

A sportmozgások biológiai alapjai

Csoknya Mária – Wilhelm Márta

A sportmozgások biológiai alapjai

Csoknya Mária – Wilhelm Márta

Publication date 2011

Szerzői jog © 2011 Dialóg Campus Kiadó

Copyright 2011., Csoknya Mária – Wilhelm Márta

Tartalom

A sportmozgások biológiai alapjai	x
Előszó	xi
1. Tájékozódás az emberi testen	1
1. Az emberi test felépítésének elvei	1
2. Az emberi test fő részei	1
3. Szimmetria síkok	1
4. Irányok	1
5. Tengelyek	2
2. A sejt	3
1. A sejt felépítése	3
2. Sejtosztódás	5
2.1. Mitózis	6
2.2. Meiozis	8
3. Transzportfolyamatok	10
3. Alapszövetek	13
1. Hámszövet (tela epithelialis)	13
1.1. Fedőhámok	13
1.2. Mirigyhám	15
1.3. Pigmenthám	16
1.4. Érzékhám	16
2. Kötő- és támasztószövetek (tela conjunctivales)	16
2.1. A kötőszövet felépítése	17
2.1.1. A sejtközüti állomány	17
2.1.2. Kötőszöveti sejtek	19
2.2. A valódi kötőszövetek típusai	20
2.2.1. Érett kocsonyás kötőszövet	20
2.2.2. A lazarostos kötőszövet	20
2.2.3. Tömöttrostos kötőszövet	20
2.2.4. Elasticus kötőszövet	22
2.2.5. Reticuláris rostos kötőszövet	22
2.3. Támasztószövetek	22
2.3.1. Chordoid szövetek	22
2.3.2. Chordaszövet	22
2.3.3. Zsírszövet	22
2.3.4. Porcszövetek	23
2.3.5. Csontszövetek	24
2.4. Speciális kötőszövetek	25
2.4.1. A vér (sanguis)	25
2.4.2. Nyirok	45
3. Izomszövet (tela muscularis)	46
3.1. Símaizomszövet	46
3.2. Harántcsíkolt izomszövet	47
3.2.1. Vázizomszövet	47
3.2.2. Szívizom	58
3.3. Myoepithel	59
4. Idegszövet (tela nervosa)	59
4.1. A neuron	59
4.2. A glia	59
4.2.1. A központi idegrendszer gliaelemei	60
4.2.2. A perifériás idegrendszer gliaelemei	60
4.3. Idegrostok	60
4.4. A neuron és környezete közti kapcsolattartás	63
4.4.1. Ioncsatornák	63
4.5. Akcióspotenciál	64
4.6. Idegvégződés	68
4.6.1. A hámszövet idegvégződései	68

4.6.2. A kötőszövet idegvégződése	68
4.6.3. Az izomszövet idegvégződése	69
4.6.4. Az idegszövet idegvégződése	69
4.7. Drogok és doppingszerek	72
4.8. Doppingellenes mozgalmak	75
4.9. A legismertebb legális drogok	75
4. Szabályozó rendszerek	76
1. Hormonrendszer	76
1.1. Endocrin szabályozás	76
1.2. Paracrin szabályozás	77
1.3. A hormonok csoportosítása	79
1.4. Endocrin mirigyek	79
1.5. Bioritmuskok	84
2. Idegrendszer	86
2.1. A központi idegrendszer	86
2.1.1. Gerincvelő (medulla spinalis)	86
2.1.2. Az agyvelő és részei	99
2.2. Környéki idegrendszer	114
2.2.1. Gerincvelői ideg (nervi spinales)	114
2.2.2. Agyidegek (nervi craniales)	114
2.3. A vegetatív idegrendszer	116
2.3.1. A sympathicus idegrendszer	117
2.3.2. A parasympathicus idegrendszer	117
2.3.3. Sympathicus és a parasympathicus idegrendszer funkcionális jellemzése	118
5. Mozgásrendszerek	122
1. A mozgás passzív rendszere. A vázrendszer	122
1.1. A vázrendszer általános jellemzése	122
1.2. Csonttípusok	124
1.3. Csontosodás	125
1.3.1. Az elsődleges (primér vagy angiogén) csontosodás	125
1.3.2. A másodlagos csontosodás	126
1.4. A csontok növekedése	128
1.5. A csontok összeköttetései	129
1.6. Az ízületek betegségei	131
1.7. A vázrendszer részei	132
1.7.1. Koponya (cranium)	132
1.7.2. A törzs csontjai	136
1.7.3. A végtagok csontjai	142
2. A mozgás aktív rendszere. Az izomzat	153
2.1. Az izomzat általános jellemzése	153
2.2. Egy izom felépítése	153
2.2.1. Az izmok járulékos berendezései	154
2.3. Az izmok alaktani csoportosítása	154
2.4. Az izmok működése	156
2.4.1. Az izomműködés biomechanikai alapjai	156
2.4.2. Az izomműködés élettani alapjai	158
2.5. Elektromyographia	165
2.6. Az izombetegségek	167
2.7. Az ember fontosabb izmai	169
2.7.1. A fej izmai	169
2.7.2. A nyak izmai	171
2.7.3. A törzs izmai	171
2.7.4. A végtagok izmai	175
3. A mozgásszabályozás anatómiai szerveződése	181
3.1. A vázizom reflexes mozgásai	181
3.1.1. Proprioceptív (izomeredetű vagy saját) reflexek	181
3.1.2. Exteroceptív reflexív, védekező, vagy fájdalomérző reflex	181
3.2. Akaratlagos mozgások	181
3.2.1. A fő szabályozó szint (figyelmet kiváltó akaratlagos mozgások)	182
3.2.2. Mellérendelt szabályozó szintek (automatikus mozgások és koordináció)	183

4. A mozgási mintázatok kialakulása	183
5. A motoros fejlődés	185
6. A komplex mozgások tanulása és rögzülése	185
Felhasznált irodalom	190
A. Név- és tárgymutató	192

Az ábrák listája

1.1. Az emberi test főbb síkjai és irányai	2
2.1. A sejt felépítésének (A), valamint különböző organelleimainak sematikus képei kiegészítve néhány elektronmikroszkópos felvétellel	3
2.2. A mitózis. Insert: A kromoszóma megkettőződésének nagyított képe	6
2.3. A meiózis	8
2.4. Különböző passzív transzportfolyamatok	10
2.5. Aktív transzport folyamatok	12
3.1. A fedőhámok típusai	13
3.2. Érzékhámok	16
3.3. Mesenchyma	17
3.4. A lazarostos kötőszövet sematikus rajza	17
3.5. A szervezet vizeit	18
3.6. Az ember különböző szerveinek, valamint néhány táplálék víztartalma	18
3.7. A szervezet vizeit	19
3.8. Az ínnyaláb felépítésének sematikus képe	20
3.9. Az ínrost finomszerkezete	21
3.10. Az inak denaturálódása túlterhelés hatására	21
3.11. A zsírszövet kis (A) és nagy nagyítású (B) képe	22
3.12. Porcszövetek	23
3.13. A csontszövet keresztmetszetén egy osteon nagyított képe (A), és a tömör csontszövet hosszmetsete (B)	25
3.14. A vérplasma (55%) és a vér alakos elemeinek (45%) aránya	26
3.15. A vér alakos elemeinek egymáshoz viszonyított aránya	26
3.16. Vérkenet részletek (minden képen vörösvértestek mellett különböző fehérvérsejtek láthatók)	27
3.17. A vér által szállított anyagok	29
3.18. A víz disszociációja	29
3.19. Különböző anyagok pH-jának és H ⁺ ion koncentrációjának összehasonlítása a vér hasonló értékeivel	30
3.20. A vér pH-ja és tejsav koncentrációjának összefüggése	31
3.21. A hemoglobin tetramer szerkezete	33
3.22. A sarlósejtes vérszegénység öröklésmenete	34
3.23. Vércsoport antigének és antitestek	34
3.24. A homo (AA) és heterozygota (A0) A, valamint a heterozygota (B0) B vércsoportú egyedek lehetséges utódainak genotípusai	35
3.25. Az Rh faktor öröklődésmenete	35
3.26. A véralvadás folyamata	36
3.27. A vér alakos elemeinek fejlődése	39
3.28. Az immunrendszer működésének bemutatása	40
3.29. Az antitest szerkezete	42
3.30. A komplement rendszer működése	43
3.31. Az általános adaptációs szindróma sémája	44
3.32. Az immunoglobulin A szintjének változása terhelés hatására	45
3.33. A: A kapilláris-filtráció folyamata. B: Nyirokképződés a nyomásviszonyok alapján	45
3.34. A sarcomer szerkezete	48
3.35. A myosin (A) és az aktin (B) myofilamentumok felépítése	50
3.36. A myosin (A) és az aktin (B) myofilamentumok kontrakciós kapcsolata	51
3.37. Fehérjék, zsírok, szénhidrátok szerepe az izomanyagcserében	52
3.38. Az energiaszolgáltató rendszerek aránya	54
3.39. A hosszú ideig tartó aerob edzés energiaszolgáltató	54
3.40. Rosttípusok megközelítő aránya különböző sportágak élsportolóiban	58
3.41. Schwann-sejtes idegrost kialakulása	61
3.42. A myelinhüvely kialakulása	61
3.43. Ranvier-féle befűződés	61
3.44. Csak myelinhüvelyes idegrost	62
3.45. Ioncsatornák	63
3.46. Az akcióspotenciál kialakulása és az ekkor megfigyelhető változások a sejtmembránban ...	65

3.47. Az ingerület a csupasz axonon pontról pontra (A), míg a velőhüvelyes axonon ugrálva terjed (B)	66
3.48. A: Réskapcsolat (gap junction) elektronmikroszkópos képe. B/1: Valódi-, B/2: -nem konvencionális kémiai synapsis (neuromusculáris junctio)	70
3.49. A drogok synapsis működést befolyásoló hatásai	73
4.1. A hormonok hatásmechanizmusa	76
4.2. A neuro-endocrin működések sémája	77
4.3. Paracrin (A) és autocrin (B) szabályozás sémája	77
4.4. A hormonok sejtszintű hatásmechanizmusai	78
4.5. A pajzsmirigy működését szabályozó hormonok	80
4.6. A hypothalamo-hypophysealis rendszer. A hypothalamus és az agyalapi mirigy elülső (A), valamint hátsó lebenyének (B) kapcsolata	82
4.7. A gerincvelő bonctani képe	87
4.8. A gerincvelő	89
4.9. A pyramispálya (tractus corticospinalis directus és cruciatus)	90
4.10. Gerincvelői ideg a thoraco-lumbális gerincvelői szakaszból	92
4.11. Dermatomák eloszlása a testen	93
4.12. Térd (patella) reflex	94
4.13. Gamma hurok	95
4.14. Keresztezett hajlító-feszítő reflex	95
4.15. Parietális vegetatív reflex	96
4.16. Viscerális vegetatív reflex	98
4.17. A fossa rhomboidea	99
4.18. A nyúltvelő zárt (A) és nyílt (B) részeinek keresztmetszete	100
4.19. A kisagy felül (A) és alulnézetben (B)	103
4.20. A nagyagy convex (A.-D. képek) és mediális (E. és F. képek) felszínei	104
4.21. Az agy alapi felszíne	105
4.22. Alfa hullámok	107
4.23. Az emberi érző- (A) és mozgatókérgi (B) reprezentáció. A homunculus	108
4.24. Törzsdúcok	110
4.25. A limbicus rendszer	112
4.26. A vegetatív idegrendszer környéki részei és kapcsolatuk a központi idegrendszerrel	116
4.27. A légkör lehetséges szennyező anyagai	120
5.1. A vér mészforgalmának szabályozásában résztvevő hormonok	122
5.2. A csontok mészforgalmának szabályozása	123
5.3. A: Egy hosszú csöves csont felépítése (hm). B: A combcsont proximális epiphysise	124
5.4. Desmális csontosodás	126
5.5. Chondrális csontosodás	127
5.6. Egy egyszerű ízület sematikus rajza	130
5.7. A koponya csontja	133
5.8. A gerinc előlről (A), oldalról (B) és hátulról (C) nézve	136
5.9. Egy ágyéksigolya	137
5.10. Kyphosis dorsalis juvenilis (Dr. Baán Ildikó ajándéka)	140
5.11. A gerinc sagittális síkban való görbülete (Dr. Baán Ildikó ajándéka)	140
5.12. Strukturális scoliosis bordapúppal (A), külön kiemelve a gerinc formáját (B) (Dr. Baán Ildikó ajándéka)	140
5.13. A borda és részei	141
5.14. A mellkas elülső felszíne	141
5.15. A lapocka és részei	143
5.16. A felső szabad végtag és részei (A)	143
5.17. A kéz csontjai	145
5.18. Vállízület	146
5.19. Könyökízület	146
5.20. A medence és részei	147
5.21. A medence boltozatos szerkezete	148
5.22. Az alsó szabad végtag és részei (A)	149
5.23. A láb csontjai	150
5.24. A lábboltozatok	151
5.25. A térdízület nyílirányú metszete	152
5.26. Egy izom keresztmetszete	153

5.27. Az izmok típusai	154
5.28. Az ín-izom szerkezet	157
5.29. Az ín-csont átmenet	157
5.30. Az orsó alakú és tollazott izmok funkcionális összehasonlítása	158
5.31. Az izom mozgásterjedelme nyugalmi hosszához képest	158
5.32. Az izotóniás (A), auxotóniás (B) és izometriás (C) izomműködés sémája	159
5.33. Az izomtömeg növelését befolyásoló tényezők	160
5.34. Az izomösszehúzódnás típusai	161
5.35. A referencia férfi és nő (20-24 éves) testösszetételének összehasonlítása ugyanakkora testtömegre kivetítve	162
5.36. A szívizomzat rétegei normál körülmények között (A) és szteroidok hatására (B)	164
5.37. Felületi elektródokkal készült elektromyogramok	165
5.38. A koponya izmai	169
5.39. Rágóizmok	170
5.40. Mellkas-karizmok	171
5.41. A mellkas saját izmai a légzőizmok	172
5.42. Hátizmok	173
5.43. Hasizmok	174
5.44. Vállizmok	175
5.45. A felkar izmai	176
5.46. Az alkar izmai	176
5.47. Csípőizmok	177
5.48. Combizmok	179
5.49. Felső (A) és mélyfekvésű (B) lábizmok	181
5.50. A mozgást szabályozó szintek és kapcsolataik	181
5.51. Erőkifejtés, mindkét lábbal	187
5.52. Erőkifejtés karral	188
5.53. 200N erő reprodukálása, mindkét lábbal a végrehajtások sorrendjében	188
5.54. 100N jobb karral történő reprodukálása a végrehajtás sorrendjében	188
5.55. Egyéni hibaértékek, karral, ill. lábbal történő erőreprodukálási feladatokban	189
5.56. Változó hibaértékek, karral, ill. lábbal történő erőreprodukálási feladatokban	189

A táblázatok listája

3.1. A fehérvérsejtek és jellemzőik	28
3.2. Az ember vérplasmájában és az izomsejtek cytoplasmájában lévő ioneloszlások	32
3.3. Izomrost típusok és főbb jellemzőik	57
3.4. Az idegrostok típusai és néhány jellemzőjük	67
4.1. A sympathicus és parasympathicus rendszer	118
5.1. Az izomsejt anyagcseréjét jelentősen befolyásoló hormonok	163

A sportmozgások biológiai alapjai

Csoknya Mária – Wilhelm Márta



Pécsi Tudományegyetem • Pécs, 2011

© Csoknya Mária, Wilhelm Márta

Kézirat lezárva: 2011. november 30.

ISBN: 978-963-642-416-9

Pécsi Tudományegyetem

A kiadásért felel: Dr. Bódis József

Felelős szerkesztő: Csoknya Mária

Műszaki szerkesztő: Dialóg Campus Kiadó – Nordex Kft.



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Előszó

A felhasználók egy olyan könyvbe nyerhetnek betekintést, amely szisztematikusan tárgyalja az emberi szervezet felépítését, szerveinek, szervrendszereinek anatómiai felépítését, az adott szövet, szerv működését, egészségtanát, s nem utolsósorban sportvonatkozásokra is utalást találnak.

A könyvet elsősorban testnevelő-edző szakos, továbbá bármilyen biológia, rekreáció szakos hallgatónak ajánljuk.

A könyv elkészítését segítette a szerzők többéves oktatási tapasztalata és azonos címen megjelent nyomtatott könyvük. Ennek átdolgozott változata ez az e-könyv. Reményeink szerint a tananyagnak ilyen feldolgozása és közzététele nagyban segíti a hallgatók anatómiai, élettani és egészségtani ismereteinek bővítését.

A könyv szerzői ezúton szeretnének köszönetet mondani a megírást segítő támogatásért és a kiadásért, utoljára de nem utolsósorban pedig a könyv ábrái készítőjének, Kiss Gyeretyánnének, valamint a Dialóg Campus Kiadó szerkesztőinek.

1. fejezet - Tájékozódás az emberi testen

1. Az emberi test felépítésének elvei

Az emberi test felépítésének két legfontosabb jellemzője:

1. részarányosság
2. szelvényezettség

A test középvonalában a nyílrányú sík tükörképszerűen két hasonló félre tagolja a testet. Ez a *részarányosság* vagy (*kétoldali bilaterális szimmetria*). Ez azt jelenti, ha a testet középen egy *nyílrányú (medián sagittális sík)* síkkal átvágjuk, akkor a test két tükörképi, azaz egy *jobb és egy bal (dexter és sinister)* félre osztható (1.1. ábra).

A *részarányosság* a fejlődés korai szakaszában tökéletes, később sok helyen aszimmetria alakul ki (pl. szív, lép, máj helyzete).

A *szelvényezettség (metaméria)* azt jelenti, hogy a törzs hosszirányban egyforma szerkezeti részekből (szelvényekből) épül fel. Embernél a szelvényezettség a bordáknál, csigolyánál, a gerincvelői idegeknél ismerhető fel.

2. Az emberi test fő részei

Az emberi test *fejre (caput)*, *nyakra (collum)*, *törzsre (truncus)* és *végtagokra (extremitates)* tagolható. Az utóbbiak tovább felső, és alsó végtagokra oszthatók.

A törzs a testüreget zárja be, amit a rekesz felső *mell- (thorax)*, és *alsó hasüregre (abdomen)* oszt. A törzs alsó részén a *medence ürege (pelvis)* helyezkedik el.

3. Szimmetria síkok

Az anatómiai képletek (pl. zsigerek, idegek) térbeli helyzetének leírásához sík- és irányjelzéseket használunk (1.1. ábra).

Azok a síkok, amelyeket a medián sagittális síkkal párhuzamosan, de tőle oldalra fektethetünk le, a (*parasagittális síkok*). Míg a sagittális síkból csak egy van, addig a parasagittális síkok száma több is lehet.

Ugyancsak a test hossz tengelyében, de a sagittális síkra merőleges a *homlok (frontális) sík* (1.1. ábra), ami a testet egy *elülső (ventrális)* és egy *hátsó (dorsális)* részre osztja. Mind a nyílrányú, mind a homloksíkra merőleges a vízszintes, azaz a *horizontális sík*, ami a testet felső, *superior* (vagy *craniális*) és *alsó, inferior* (vagy *caudális*) részre osztja.

4. Irányok

Az emberi testen megkülönböztetünk a középvonalhoz *közelebb eső (mediális)* és *távolabbi vagy oldalsó (laterális)* képződményeket. Továbbá megkülönböztetünk *elülső (ventrális vagy anterior)* és *hátsó (dorsális vagy posterior)*, valamint *felső (craniális vagy superior)* és *alsó (caudális vagy inferior)* irányt.

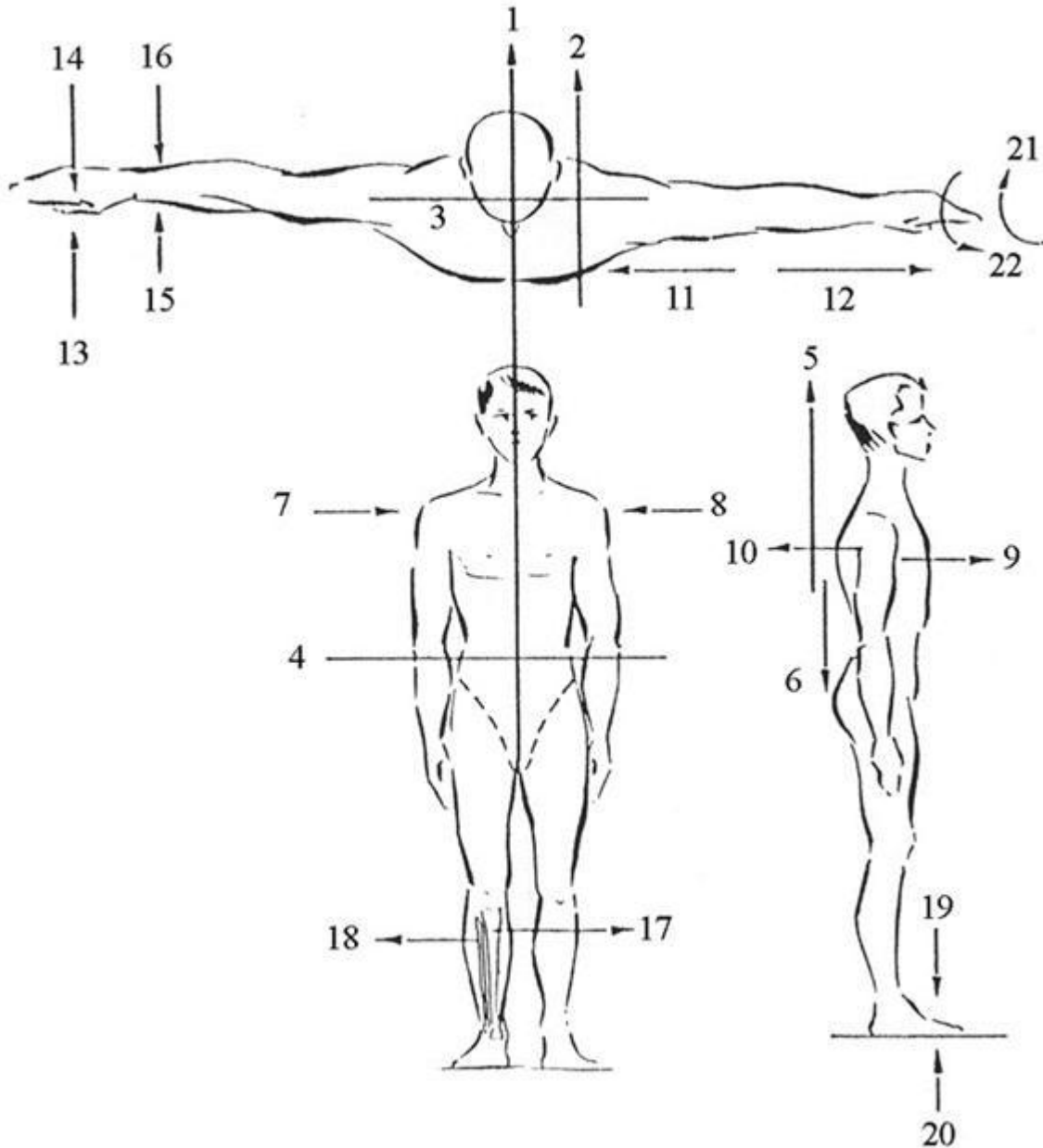
Végtagokon a *törzshöz közelebbi (proximális)*, és a *törzstől távolabbi (distális)* irányról, a kézen *tenyéri (voláris)* és *kézháti (dorsális)*, hüvelykujj *felőli (radiális)*, kisujj *felőli (ulnaris)*, a lábszáron *sípcsonti (tibiális)* és *szárkapocsi (fibuláris)*, a lábon *lábháti (dorsális)* és *talpi (plantáris)* helyzetet különböztetünk meg. A tenyér felfelé fordítását *hanyintásnak (supinatio)*, lefelé fordítását *borításnak (pronatio)*; 1.1. ábra) nevezzük.

Mind a nyílrányú, mind a homloksíkra merőleges a vízszintes, azaz a *horizontális sík*, ami a testet *felső superior* (vagy *craniális*) és *alsó inferior* (vagy *caudális*) részre osztja. A képletek réteges helyzetére a *felületes (superficialis)* és *mély (profundus)* megjelölés szolgál.

5. Tengelyek

Az ízületi mozgásokban a mozgó csont minden egyes pontja körívet ír le egy tengely körül. A mozgások leírásánál három fő tengelyt használunk. A tengelyek pontos megnevezésénél mindig meg kell adni azt a jellemző pontot, melyen keresztülhúzódnak a tengelyek. A fő tengelyek a következők: függőleges-, nyílirányú- és haránt tengely.

1.1. ábra - Az emberi test főbb síkjai és irányai



1: medián sagittális sík, 2: parasagittális sík, 3: frontális sík, 4: horizontális sík, 5: a test craniális vége, 6: a test caudális vége, 7: jobboldal, 8: baloldal, 9: hasoldal, 10: hátoldal, 11: a törzshöz közelebbi helyzet, 12: a törzstől távolabbi helyzet, 13: tenyéri felszín (ulnaris), 14: kézháti felszín (dorsális), 15: hüvelykujj felőli rész (radiális), 16: kisujj felőli rész (ulnaris), 17: sípcsont felőli rész (tibiális), 18: szárkapocs felőli rész (fibuláris), 19: lábháti (dorsális) felszín, 20: talpi felszín (plantáris), 21: hanyintás iránya, 22: borítás iránya

2. fejezet - A sejt

1. A sejt felépítése

A **sejt** az élő szervezet alapvető önálló *működési egysége*. Egyes sejtalkotók képesek ugyan önállóan is működni meghatározott körülmények között és rövid ideig, ez azonban nem jelent teljes életfunkciót. Kétféle sejtípus létezik, úgymint **prokaryota** és **eukaryota sejt**. A prokaryota sejtnek bár van örökítőanyaga (dezoxiribonukleinsav = DNS, ribonukleinsav = RNS), de az nem határolódik el a cytoplasmától. Az eukaryota sejtnek örökítőanyaga sejtmagmembránnal körülhatárolt, s így kialakul a **sejtmag**.

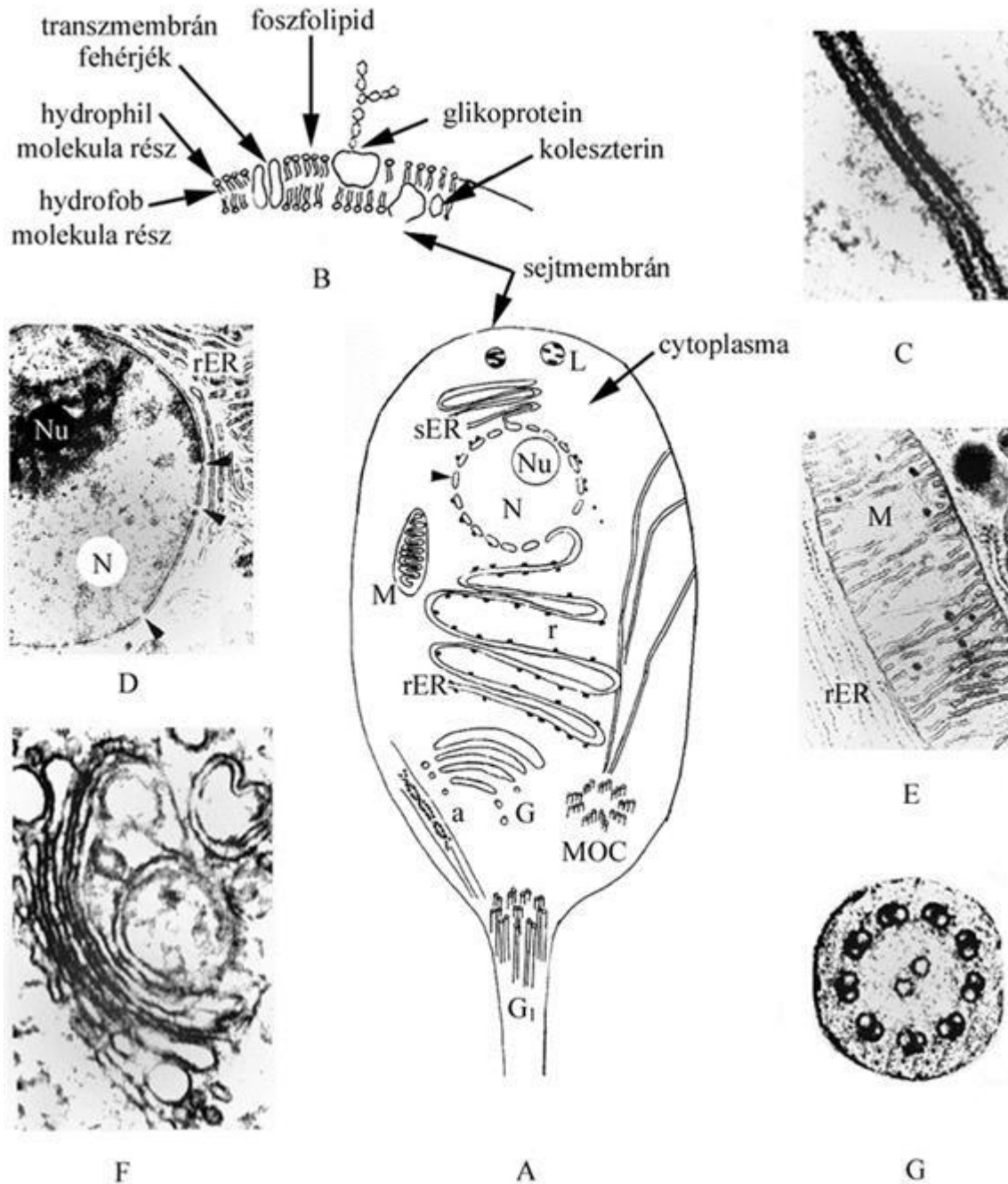
A sejtet a külvilágtól a **sejtmembrán** határolja el. Ez biztosítja a sejt alakját, térfogatát, elzárja a sejt belső terét (**intracelluláris tér**) a külső (**extracelluláris**) tértől (2.1. ábra, A. kép).

A sejtmembrán alapvetően egy **kettős foszfolipid réteg** (2.1. ábra, B. és C. képek). A foszfolipidek a trigliceridek egyik fajtája, ahol a glicerinhez két zsírsav és egy foszfátcsoport észterkötéssel kapcsolódik. Ennek következményeként a molekula **hydrophil** (*vízkedvelő*) és **hydrophob** (*vízutasító*) molekularésszel egyaránt rendelkezik. Vízen oldva a foszfátcsoportok (*hydrophil*) a víz felé, míg a zsírsavak (*hydrophob*) a víztől elfordulva helyezkednek el. A kettős rétegben a zsírsavmolekulák egymás felé fordulva rendeződnek.

A membránokban fehérjék (**membránfehérjék**) is találhatók. Ezek többségükben nagyméretű molekulák, melyek térszerkezete aszerint alakul, hogy átérik-e a membránt (**transzmembrán fehérjék**), belemerülnek, vagy csak a membrán (**felületi molekulák**) felszínén találhatók. A transzmembrán fehérjék zsírsavak felé eső felszíne **apoláros**, a foszfátcsoport és a víz felé eső felszíne **poláros**. A transzmembrán fehérjék döntő többsége csoportokba rendeződve *csatornákat* képez, amelyek a szabályozott anyagszállítás helyszínei. Minden csatornának (pl. Na⁺, K⁺, víz) megvan a saját fehérjeszerkezete. A sejtmembrán külső felszínén gyakran találunk *glikoprotein oldalláncokat*. A glikoproteinek összetett szénhidrátláncjai fontos szerepet töltenek be a sejtek közötti kölcsönhatásokban (ld. „Alapszövegek”). A membránok fontos alkotórésze a **koleszterin**, amely apoláros molekulaként lipidek membránon történő átjutását segítheti, ill. a membrán „folyékony” szerkezetét biztosítja. Az egymással összekapcsolódott molekulák egymáshoz képest oldalirányban képesek elmozdulni „úszni”, ezért ezt a rendszert **folyadék membrán-modell**nek hívjuk.

A sejt belső tereiben szintén membránrendszerek vannak, amelyek szerkezetüket tekintve alapvetően azonosak a sejtmembránnal. Az *eukaryota sejtek*ben körülhatárolt *sejtmagot* (**nucleus** = N) találunk (2.1. ábra, A. és D. képei), a határoló hárttyát **sejtmagmembránnak** nevezzük. Ezen a maghárttyán erős nagyítással pórusok találhatók, melyen keresztül fehérje és nukleinsav anyagcsere zajlik. A magmembránról fűződik le az *endoplasmás reticulum* (**endoplasmaticus reticulum, ER**), amely egy kanyarulatós zsákrendszer, s behálózza a sejt teljes belső felszínét. Kétféle típusa *simas* (*sER*) és a *durvafelszínű* (*rER*) *endoplasmás reticulum* (2.1. ábra, A. és E. képek) ismert. A rER cytoplazma felé eső felszínét **ribosomák** (**r**) borítják. A ribosomák felszínén zajlik a fehérjeszintézis.

2.1. ábra - A sejt felépítésének (A), valamint különböző organelumainak sematikus képei kiegészítve néhány elektronmikroszkópos felvétellel



B: a sejtmembrán sematikus szerkezete, **C:** sejtmembrán elektronmikroszkópos képe, **D:** nucleus (N) benne látható magvacskával (nucleolus Nu), a nyílhegyek a magpórusokra mutatnak. **E:** mitochondrium (M) körülötte durvafelszínű endoplasmás reticulum(rER) **F:** Golgi-apparátus (Seress L. felvétele), **G:** a csilló plasmafonalának keresztmetszete (elektronmikroszkópos felvétel), **G₁:** a csilló plasmafonalának sematikus képe)

A **simafelszínű ER** a sejten belüli transzportfolyamatokért (szállító folyamatok) felelős. Elsősorban ionok szállítódhatnak, ill. raktározódnak ciszternáiban. Ezek közül az egyik legfontosabb ion a Ca^{2+} , ami pl. izomösszehúzódkor kerül a cytoplasmába. A Ca^{2+} -ion mozgása alapvető fontosságú az idegsejtek működéséhez is.

A **Golgi-készülék (Golgi-apparátus = G)** szintén a sejtmembrán-halmazokból álló sejtszervecske (2.1. ábra, A. és F. képek). Egy háromdimenziós cső és zsákrendszer, amelyben a ciszternák laposak, nagyjából C-alakúak, melyek végeik felé kiszélesednek. Ezekről a kiszélesedésekről fűződnek le a Golgi-eredetű vesiculák, amelyek alapvető feladata anyagok raktározása, szállítása, secretumok módosítása.

A Golgi-készülék a sER-al közvetlen kapcsolatban van, a rER-al, a maghárttyával, ill. a sejthárttyával vesiculákon keresztül lép kapcsolatba. A Golgi-készülékről fűződnek le a **lysosomák** (L, 2.1. ábra, A. kép). Ezek apró membránnal körülhatárolt hólyagocskák, amelyek belsejében bontó enzimeket találunk. Az elsődleges lysosomák a Golgi-készülékről lefűződve sejten belüli emésztést végeznek. Ez utóbbi azonban legkifejezettebben az **apoptosis** során (**programozott sejthalál**) jön létre. (A programozott sejthalál a fejlődés, differenciálódás, immunrendszer és a **homeosztázis** fenntartásában is nagyon fontos szerepet játszik.) A másodlagos lysosomák egyéb anyagokat tartalmazó hólyagokkal történő összeolvadás eredményeként jönnek létre, és emésztik a hólyagok tartalmát. A lysosomák tartalmaznak specifikus fehérje, szénhidrát, vagy nukleinsav bontó enzimeket is.

Minden eukaryota sejt tartalmaz mitochondriumokat (M, 2.1. ábra, A. és E. képek). Valószínűleg eredetileg egy prokaryota sejtípus volt, amely szimbiózisra (együttélésre) lépett egy *eukaryota* sejtrel. Ez a sejtszervecske önálló osztódásra képes, mert megtartotta saját DNS állományát. A mitochondriális DNS mindig az anyai DNS-sel egyezik. Alapvető feladata, az energianyerés és az energia raktározása. Ez utóbbi az adenozin-trifoszfát (ATP) nagyenergiájú kötéseiben történik.

Maga a **mitochondrium** nagyjából hengeres formájú szerv, mérete változó, lehet néhány mikrométer hosszú is. A külső membrán elhatárolja a cytoplasmától. Belső membránjának felszíne rendkívül nagy, mert azon betűrődések, ún. *cristák* találhatók. Ez a membránrendszer a belső teret kisebb egységekre osztja. A mitochondrium alapállományát matrixnak nevezzük. A citromsav ciklus a mitochondrium matrixában zajlik, míg a cristák membránjába ágyazottan helyezkednek el azok az enzimek, amelyek a terminális oxidáció lezajlásáért felelősek. A citromsavciklus és a terminális oxidáció, a sejtlégzés aerob szakaszai, csak oxigén jelenlétében zajlanak le.

Cytoskeleton (sejtváz) egy hatalmas, fehérjéből felépülő rendszer. Szerepe a sejt állandó alakjának fenntartása, a sejtszervek rögzítése, a sejten belüli **transzportfolyamatok** (szállító folyamatok) biztosítása oly módon, hogy a különböző vesiculák, nagyméretű molekulák csúszva haladnak felszínén. A **microtubulusok tubulin** nevű, gömb alakú fehérjéből épülnek fel. 13 tubulin molekula alkot egy gyűrűt, a gyűrűk csöveket hoznak létre. A microtubulusokat a **microtubulus organizáló központ (MOC)** szabályozza (2.1. ábra, A. kép). Irányítja a microtubulusok felépülését és szétesését a sejt működésének megfelelően. Microtubulusokból épülnek fel azok a húzófonalak is, melyek a kromoszómák vándorlását segítik a sejtosztódás során. Az **aktin-filamentumok** (a, 2.1. ábra, A. kép) a legtöbb sejt cytoplasmájában megtalálhatók. Az **aktin** apró gyöngyformájú molekula, amely egy kettős gyöngysorra szerveződik, és a microtubulusokhoz hasonlóan felépül, ill. szétesik a sejt működésének megfelelően. Az aktin filamentumok elsősorban a sejtmembrán alatt húzódnak és azokban a sejtekben, amelyek mozgásra, ill. alakváltozásra képesek nagy mennyiségben találhatók.

Ostor (flagellum) vagy csilló (cilia) segíti azoknak a sejteknek a mozgását, amelyek önálló helyváltoztatásra képesek. Csilló boríthat azonban olyan sejteket is, amelyek maguk nem mozognak, de felszínükön anyag mozgatása történik. Ilyenek pl. a légcső falát borító sejtek (csillós hámsejtek), amelyeknek csillói a légutak tisztántartásáért felelősek.

A csillók összerendezett mozgást végeznek. Működésük egy nagyon stabil microtubulus-rendszer meglétéhez kötött. Ez azt jelenti, hogy kilenc microtubulus pár (duplet) alkotja a külső vázát, közepén pedig két darab microtubulus helyezkedik el (9+2, 2.1. ábra, G. kép) A csillók, ill. ostorok az *alapi testekből (corpusculum basale)* indulnak. Az alapi test a cytoplasmában található a csilló, ill. ostor microtubulusainak felépítése és elrendezése a feladata. Szerkezete azonban különbözik az ostor és a csilló felszínre nyúló „fonalszerű” részétől. Kilenc microtubulus hármas (triplet) alkotja, míg közepén nincsenek microtubulusok (9+0).

2. Sejtosztódás

A sejtmagplasma állománya összetételében hasonlít a cytoplasmához. Attól eltérően azonban nagy mennyiségben tartalmaz Na^+ - és Cl^- -ionokat, riboszómákat, a DNS- és RNS-szintézis közbülső termékeit, valamint kromatin állományt.

A sejtek nyugalmi állapotában a **sejt örökítőanyaga** a DNS nem tömör szerkezetű, mivel az RNS képződés így egyszerűbb. Ez a laza, de igen nagyméretű DNS-halmaz alkotja a sejtmag **kromatinállományát**, elektronmikroszkópban sötétebb színű, mint a környezete. A **kromatin** (DNS) gyöngyfüzéryszerű képlet, amelyben szabályosan ismétlődő egységek vannak. Ezeket az egységeket hívjuk **nucleosomáknak**. A nucleosomákban az egyenes DNS-szakaszokat törzs-testek kötik össze. A törzs-testekben a DNS fonal fehérjékre föltekeredve van jelen.

A sejt élete különböző szakaszokra osztható. A *nyugalmi fázis (interfázis)* biztosítja a sejtek életműködéseit. Több sejtípus képződése után elveszíti osztódóképességét (pl. idegsejtek, izomsejtek), míg más sejtek továbbra is megőrzik osztódóképességüket (pl. endothelsejtek, a vöröscsontvelő sejtjei, stb.) Az interfázis végén a sejtek átmeneti állapotba kerülnek (gap = rés, G), melyet majd a DNS megkettőződése követ (S-fázis, szintézis). A DNS megkettőződésével két azonos (kettős szálú) DNS-lánc keletkezik. A két szálát egy ponton a **centromer** tartja együtt. A megkettőződést követően a DNS-ek feltekerednek, egyre tömörebbé, kompaktabbá válnak. A folyamat végén egy kromoszóma két kromatidából áll (2.2. ábra, A. kép). A két kromatida molekuláris szerkezetét tekintve megegyezik. Az egy centromerhez tartozó kromatidákat **testvér-kromatidáknak** nevezzük.

A kromoszómák száma fajra jellemző és állandó. A testi sejtek kromoszómakészlete **diploid (2n)**, amely azt jelenti, hogy minden kromoszómából egy apai és egy anyai eredetű. Ezeket nevezzük **homológ kromoszómáknak**. A homológ kromoszómák molekuláris szerkezete nem teljesen azonos, de a DNS azonos szakaszai ugyanazon tulajdonságok kialakításáért felelősek (pl. szemszín, hajszín, fülalak, stb.). Az ember diploid kromoszómakészlete 23 pár homológ kromoszómából áll (46 kromoszóma, $2n = 23$). A homológ kromoszóma-párok különböző méretű kromoszómákból épülnek fel. Ha egy sejt valamennyi kromoszómáját (homológ kromoszóma-párját) láthatóvá tesszük, a sejt **kariotípusát** vizsgáljuk. A homológ kromoszómák közül egy pár a nemi jellegekért felelős (**nemi kromoszómák**). Emberben az XX kromoszómapár a női, az XY kromoszómapár a férfi nemi jellegek kialakulását biztosítja.

A sejtmagban található meg a magvacska (**nucleolus**). A nyugvó sejtmagban általában kettő nucleolus található. Ha a sejtben intenzív fehérjeszintézis folyik a nucleolus mérete nő. Szerkezete kompaktabb, mint a sejtmagé. Itt történik pl. a **ribosomák szintézise**. A kész ribosoma vagy a magban tárolódik, vagy a magpórusokon keresztül a cytoplasmába kerül.

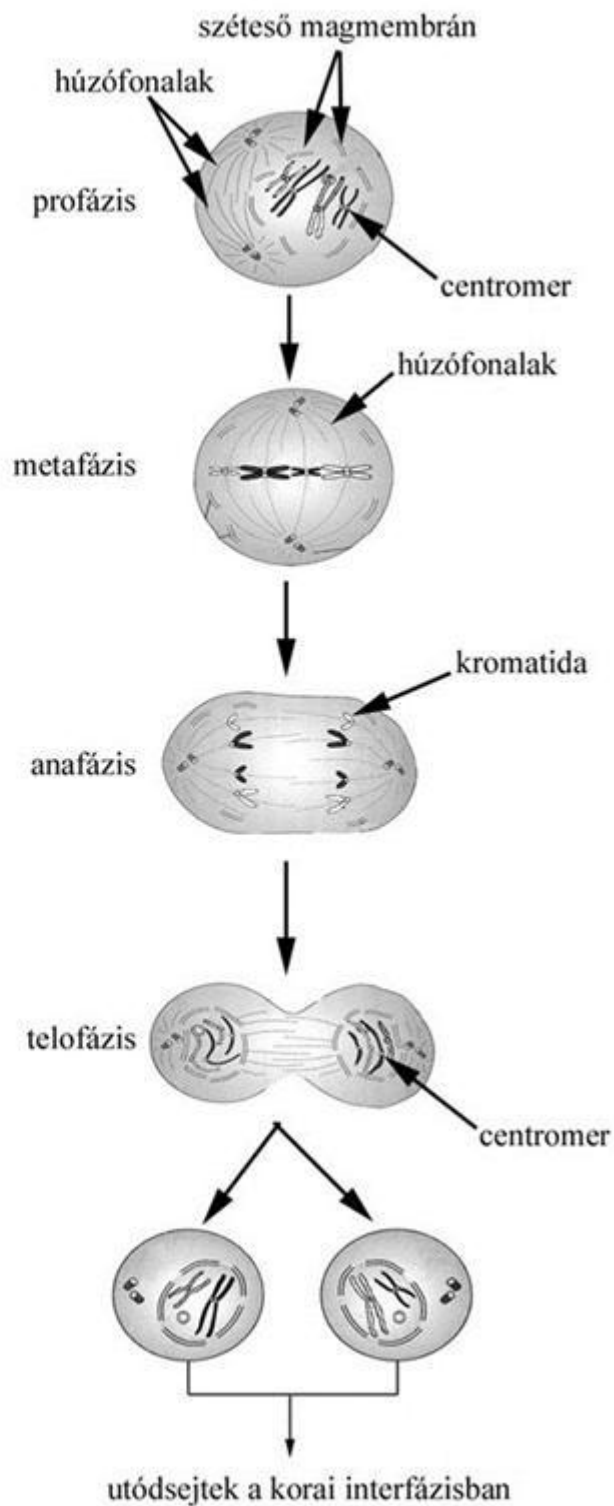
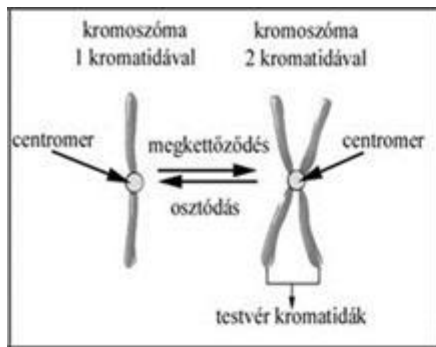
A **sejtciklusok** hossza a sejtek típusától függ. Egy ciklus az osztódás végétől a következő osztódás elejéig tart. Ha az osztódás után a sejt növekedési és differenciálódási szakaszba kerül (G0-fázis) és ott állandósult marad, nem fog többé osztódni. Lehetséges azonban, hogy viszonylag hosszú nyugalmi szakasz után a sejt G1-fázisba lép. Ez a DNS-szintézist előkészítő fázis, egyben átmenet a sejtosztódás felé.

A sejtosztódásnak két típusát ismerjük. A **mitózist**, amely „számartó osztódás” és a testi sejtekre jellemző, valamint a **meiózist**, mely „számfelező sejtosztódás” és az ivari sejtekre jellemző. Mindkét osztódásnak szakaszai vannak. A sejtosztódás és így a szakaszok időintervalluma is különböző lehet. Az egyes fázisok a kromoszómákra jellemző események alapján különíthetők el egymástól.

2.1. Mitózis

A **profázisban** a kromatin állomány fokozatos tömörödése (2.2. ábra, B. kép; kondenzáció) jellemző. A kromatida képződés minden egyes kromoszómán egyedi. A kromoszóma képződéssel párhuzamosan a nucleolusok és nucleusok lassú felbomlása történik.

2.2. ábra - A mitózis. Insert: A kromoszóma megkettőződésének nagyított képe



A **centriolum**ok lassan a sejt két pólusára vándorolnak, majd létrehoznak egy osztódási sugárrendszert (pólussugarak), amelyek microtubulusok ezreiből jönnek létre.

A **metafázis**ban befejeződik a kromoszómaképződés, a **centromerek** két kromatidát tartanak egyben. A centriolumok microtubulusai a kromoszómák centromerjével kapcsolódnak össze. Minden centromerhez külön microtubulusok futnak. Ezek a microtubulusok mint orsók, mindkét centriolummal összekötik ugyanazt a kromoszómát. Az így kialakult orsófonalak a kromoszómákat a sejt egyenlítői síkjában egyenes lappá rendezik.

Az **anafázis**ban a **testvérkromatidák** szétválnak (a centromernél elválnak egymástól), és a pólustubulusok mentén, a sejt két pólusa felé haladnak. A centriolumnál a microtubulusok folyamatosan szétesnek, emiatt egyre rövidebbé válnak. A rövidülő microtubulusok segítségével a kromatidák a sejt két pólusához jutnak.

A **telofázis**ban a mitotikus osztódás befejeződik, a sejt felkészül a nyugvó fázisára. A két kromoszóma-csoport körül felépül a sejtmagmembrán az endoplasmás reticulum membránjának segítségével. Ezután a sejt egyenlítői síkjában felépül a sejtmembrán is. A két sejt elválik egymástól, mégpedig úgy, hogy aktin fonalakból álló gyűrű képződik a két utódsejtben, s ez elhúzza őket egymástól.

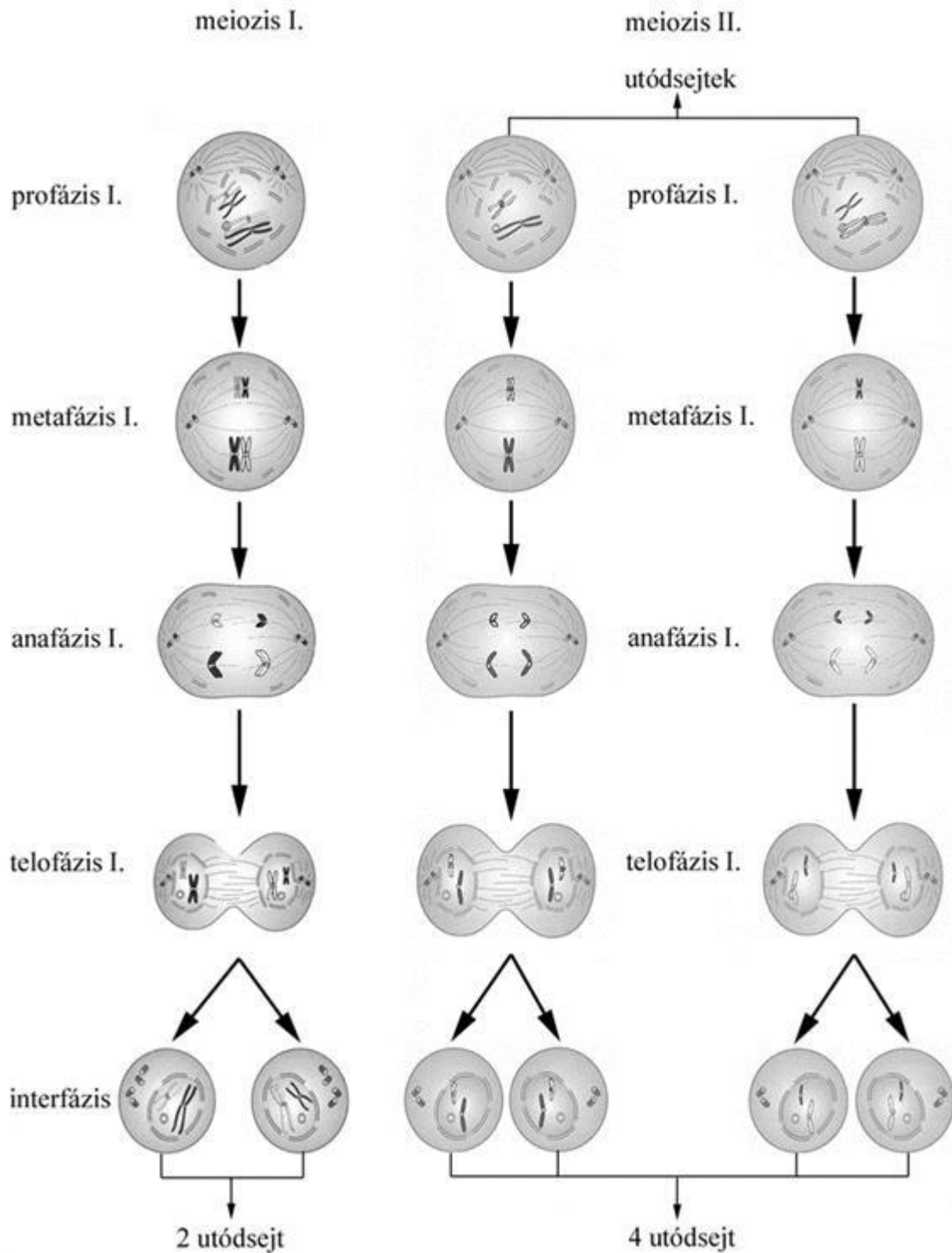
A mitózis végére a kromoszómák megkettőződésének és teljesen egyenletes megoszlásának következtében a két utódsejt genetikai állománya elméletileg tökéletesen megegyezik.

2.2. Meiozis

Az ivarsejtekre jellemző osztódási forma a **meiozis**. Ha két ivarsejt diploid kromoszómakészlettel egyesülne, a sejtek genetikai állománya minden megtermékenyítést követően megkettőződne. A sejtek kromoszómaszáma tehát a meiozis folyamán redukálódik (megfeleződik).

A meiozis két főszakaszra bontható. Az **első főszakasz** profázisában a kromatidák megkettőződése és a kromoszómák kialakulása a folyamat kezdete (2.3. ábra). A

2.3. ábra - A meiozis



profázis akár több hétig vagy hónapig is tartó folyamat lehet. A kromoszómák az egyenlítői síkba rendeződnek, majd a homológ kromoszómák párokat képeznek. Az azonos kromatidák egymásra fekszenek **tetrádot** képezve. A tetrádban tehát két apai és két anyai kromatidát találunk. A homológ kromoszómák egymáshoz tapadó kromatidaiban génkicserélődés jöhet létre (átkeresztződés, **crossing over**). Az átkeresztződés úgy zajlik, hogy a homológ kromoszómák elválásakor az egyes kromatida pontokon összetapadt részek elválása késik, az összetapadt darabok leszakadnak a kromatidáról, majd a homológ kromoszóma megfelelő kromatidaszakaszához fognak. A véletlenül múlik, hogy leszakadnak-e esetleg egész kromatidák a crossing over során, vagy csak kisebb szakaszok, esetleg a kromatidák változatlanok maradnak. A profázis végére a kromatidák tovább zsugorodnak, majd a maghátyára tapadnak.

A **metafázis** és az **anafázis** a mitózishoz hasonlóan zajlik. A maghártya és a nucleolus felbomlik, a **tetramerek** a sejt egyenlítői síkjába rendeződnek. Közben kialakulnak az orsófonalak, a centriolumok felől megindul a microtubulusok rövidülése. A meiózisban azonban a tetramer úgy válik szét, hogy a sejt két pólusa felé egész kromoszómák vándorolnak.

A kromoszómák vándorlása után nem alakul ki egy nyugalmi **telofázis**, nem jön létre két különálló sejtmag és sejt, hanem a nagyon rövid telofázist egy nagyon rövid **interfázis** követi. Az *interfázist követően a meiózis második fázisának profázisa* zajlik. A második fázisban gyakorlatilag egy szabályos mitózis. Mivel azonban az első fázisban kromoszómák vándoroltak a sejt két pólusára és ezzel a **diploid kromoszómaszám** haploiddá változott, a második fázisban a **haploid kromoszómaszám** megmarad. A szakasz végére a **telofázisban** nem kettő, hanem négy utódsejt képződik.

A genetikai állandóságot tehát a mitózis, míg a génállomány változását és ezzel a nagyfokú változatosságot egy fazon belül is a meiózis teszi lehetővé.

3. Transzportfolyamatok

Mint említettük, a biológiai membránok több funkcióval rendelkezhetnek. Részben határoló hárták, részben pedig biológiai folyamatok színhelyei. A sejt önálló működése megkívánja, hogy membránja ne legyen átjárható minden molekula számára. Alapvetően kétféle transzportfolyamatot különböztetünk meg.

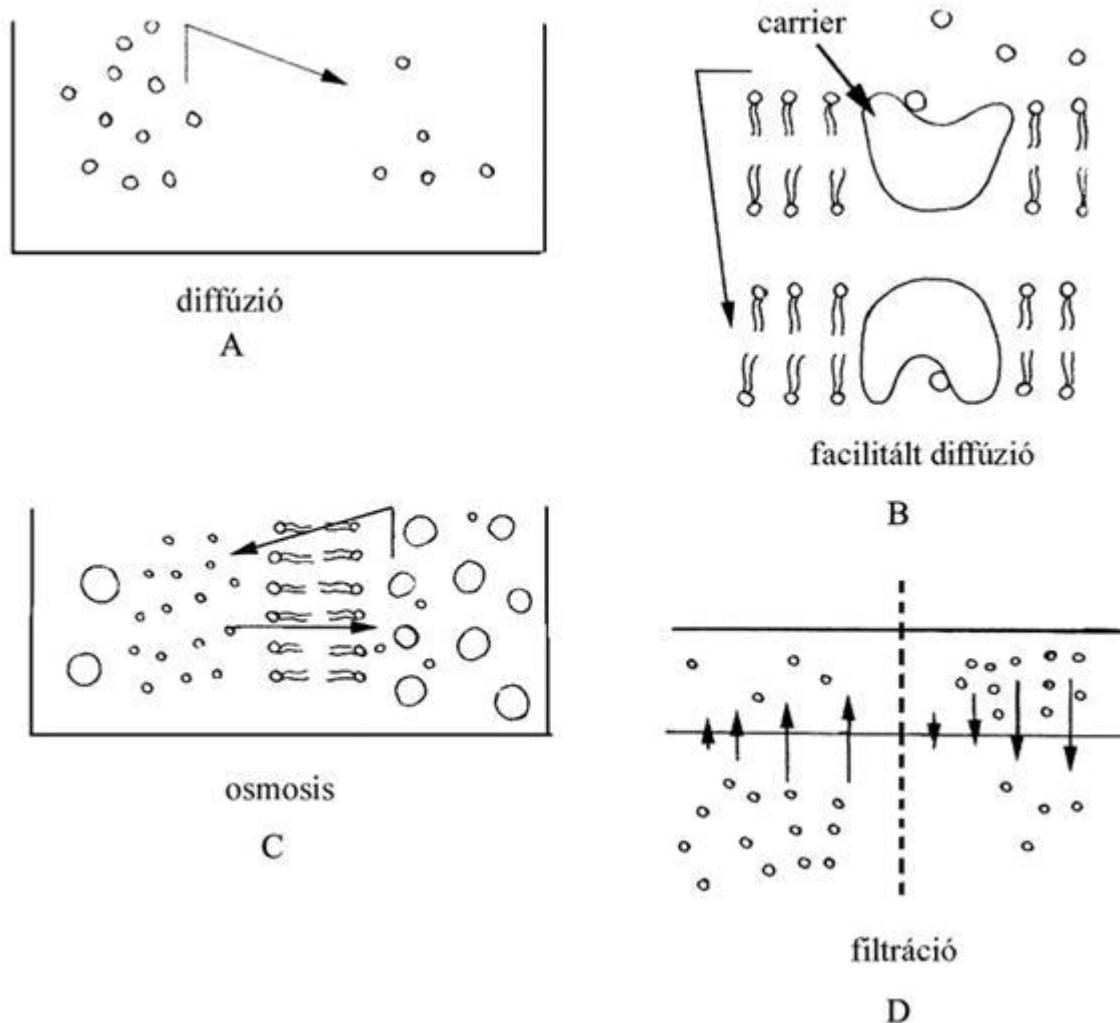
A **passzív transzport** lezajlásához energia befektetésére nincs szükség a folyamat a koncentráció különbség alapján zajlik, a nagyobb koncentrációjú hely felől a kisebb koncentrációjú hely felé áramlik (**koncentráció grádiens** irányába). Ilyen folyamat a **diffúzió** (2.4. ábra, A. kép), amely elsősorban a gázok, ill. kisméretű molekulák mozgását teszi lehetővé a membránon keresztül, esetleg a cytoplasmán át. A diffúzió sebességét alapvetően a hőmérséklet, ill. a koncentráció grádiens határozza meg. Az élő sejtekben diffúzióval mozog az O₂, CO₂, N₂ stb., emellett a víz, az alkoholok (pl. etanol), az urea, és a kisméretű lipidek többsége.

A **facilitált diffúzió** (2.4. ábra, B. kép) során szintén energia befektetése nélkül történik az anyagtranszport, de a folyamathoz egy hordozó fehérje (carrier, **transzporter molekula**) szükséges. Ennek a fehérjének a szerkezetében történő változás juttatja át az olyan molekulát a membránon mint a glükóz és az aminosavak.

Az **osmosis** (2.4. ábra, C. kép) szintén **passzív transzportfolyamat**, melynek során a membránon, amely féláteresztő hártaként működik (csak a kis molekulák jutnak át szabadon, a nagyobb molekulák nem férnek át a membrán pórusain), az oldott molekula nem fér át, ezért az oldószer vándorol. Ez a folyamat a koncentráció grádienssel ellentétes irányban zajlik. Vizes közegekben egyszerűsítve a víz mozgásaként is említik.

A **filtráció** (2.4. ábra, D. kép) szintén féláteresztő hártán történő passzív transzportfolyamat, ahol a hajtóerő az a nyomáskülönbség, ami a membrán két oldala között jelentkezik. Valójában a filtráció a sejt két oldala (külső-belső, külső-külső) között lezajló folyamat, így pl. filtráció történik a vese glomerulusaiban a szűrletképzés során, ill. filtráció zajlik a kapillárisokban a szöveti anyagcsere folyamataiban.

2.4. ábra - Különböző passzív transzportfolyamatok



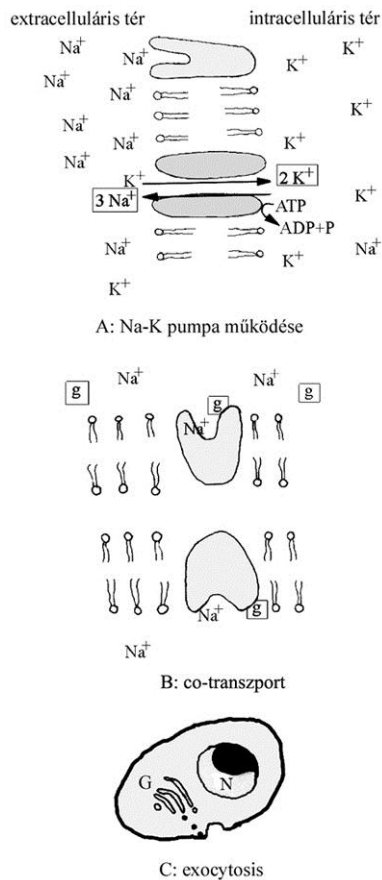
A koncentráció grádiens ellenében történő anyagtranszport többnyire energiaigényes folyamat. Ezeket nevezzük **aktív transzport**nak. Ennek egyik tipikus példája a **Na-K pumpa** (2.5. ábra, A. kép) működése, amely az ATP bontásából származó energia segítségével 3 Na⁺-iont pumpál ki, míg 2 K⁺-iont pumpál be a sejtbe kb. tízszeres koncentráció grádiens ellenében. A Na-K pumpa működése elengedhetetlen az élő sejtek léteéhez. Döntő a sejt osmotikus viszonyainak, a sejt térfogatának és alakjának fenntartásához, az idegsejtek membránjának ingerelhetőségéhez. Miután a sejt és szervezet nyugalmi energiaigényének egyharmadát a pumpa működése jelenti, s ez csak az ATP bontásával lehetséges, így a pumpát Na-K-ATP-áz-ként is említik. Hasonlóan működik a Ca²⁺ ATP-áz enzim is. Az élő sejtek működéséhez elengedhetetlen a H⁺-pumpa, amely eukaryota sejtekben a sejtorganellek falában található (pl. mitochondrium). Az esetek többségében ebből az organelumból pumpálja ki a H⁺ iont.

A **co-transzport** (2.5. ábra, B. kép) az aktív transzport azon formája, ahol egy hordozómolekula kétféle anyagot juttat át egyszerre a membránon. Ezen anyagszállítási rendszer olyan hordozómolekulákkal valósul meg, ahol a fehérjének két aktív kötőhelye van, különböző anyagok szállítására. Az anyagáramlás csak akkor lehetséges, ha mindkét kötőhely foglalt. Ilyen pl. a Na⁺ és glukóz, ill. a Na⁺ és aminosavak együttes szállítása. Tipikus példa erre a vékonybél hámsejtjein található. Az emésztés végén a glukóz és aminosavak felszívódása ilyen módon történik. A folyamat hajtóereje a Na⁺-ion koncentráció grádiens iránya. A szállítómolekulához kapcsolódva emiatt mindig „csorog” befelé Na⁺ a sejt belsejébe. A felesleges Na⁺-ot majd a Na-K- pumpa újra kipumpálja.

Antiport (counter-, ellenirányú) transzport nevezzük azt az anyagáramlást, amikor a szállítófehérje egyik anyagnak a sejt belseje felé, másik anyagnak a sejt külső felszíne felé történő áramlását segíti. A folyamat nem ATP igényes, mivel az egyik anyag passzív módon történő (koncentráció különbség) áramlása hajtja a másik anyag mozgását. Ilyen pl. a Na⁺ és Ca²⁺ ellentétes irányú mozgása. A Na⁺ koncentráció olyan kicsi a sejt belsejében, hogy annak mozgása hajtja a Ca²⁺ kifelé áramlását annak ellenére, hogy a sejtben kívül amúgy is nagyobb a kalcium koncentráció.

A membránok mozgásával járó transzportfolyamatok két fő típusa az **endocytosis (bekebelezés)** és az **exocytosis (kiürítés, kilökődés)**; 2.5. ábra, C. kép). Mindkettő nagy előnye, hogy nagyobb mennyiségű anyag felvételére ill. ürítésére képes így a sejt.

2.5. ábra - Aktív transzport folyamatok



g: glukóz, G: Golgi-apparátus, N: nucleus.

A sejtmembrán befűződésével és egy vesicula képződésével jut az anyag a sejt belsejébe. A vesicula lysosomákkal egyesül, a szükséges anyagok a célszervekhez jutnak. A tápanyagokat a **lysosoma** emésztőenzimjei lebontják. A lefűződött membrán újra felhasználódik. A nagyméretű szilárd anyagok felvételét **phagocytosis**nak, a folyadékok felvételét **pinocytosis**nak nevezzük.

Az **exocytosis** során a membránnal körülvevett anyagok mozgása az előzővel ellentétes, a sejt külső felszíne felé történik. A vesicula a sejtmembránnal egyesül, kinyílik és a szállított anyag az extracelluláris térbe ürül. Pl. a transzmitterek ürítése a synapticus vesiculákból. A különböző anyagokat termelő sejtek (hormon, enzim stb.) szintén exocytosisal ürítik az általuk termelt secretumokat.

3. fejezet - Alapszövetek

A magasabbrendű szervezetben az egyedfejlődés során a sejtek egy-egy feladat elvégzésére differenciálódnak. Az így elkülönült alaktani és élettani szempontból azonos sejtek összessége a **szövet**. A szövetet a sejten kívül változó mennyiségben sejt közötti állomány (inter- vagy extracelluláris állomány) is alkotja.

Az emberi szervezetben négy alapszövetet különböztetünk meg:

- hámszövet,
- kötő- és támasztószövetek,
- izomszövet,
- idegszövet.

1. Hámszövet (tela epithelialis)

Feladata többrétű, így részt vesz a külső hatások elleni védelemben, a felszínek hézagmentes borításában és a tápanyagok felszívásában, létfontosságú anyagok elválasztásában és kiválasztásában, valamint külső ingerek érzékelésében.

A **hámszövetre jellemző**, hogy:

1. Sejtjei szorosan kapcsolódnak, az extracelluláris tér szűk, csak rés formájában figyelhető meg.
2. Mindhárom csíralevélből fejlődhet. Ennek megfelelően beszélünk ectodermából fejlődő hámról, pl. bőrünk felhámja. Entodermális eredetű hám, pl. a bél felszívóhámja, és mesodermális eredetű hám: pl. a mesothel.
3. Lapos, köbös és hengeres formájú sejtjei egy, vagy több rétegben helyezkedhetnek el.
4. A hámszövetben csak ritkán található véredény. A hámsejtek táplálása az alatta levő kötőszövetből történik.
5. A hámsejtek alatt egy alaphártya, a bazális lamina (membrana basalis) található, ami a hámot a kötőszövettől választja el.
6. Idegrostok és idegvégződések jelentős mennyiségben találhatók benne, ezek az intraepitheliális szabad idegrostok ill. intraepitheliális idegvégtestek.

A hámszövetek *felosztása*:

Működés szerint lehetnek fedő-, mirigy-, pigment- és érzékhámok.

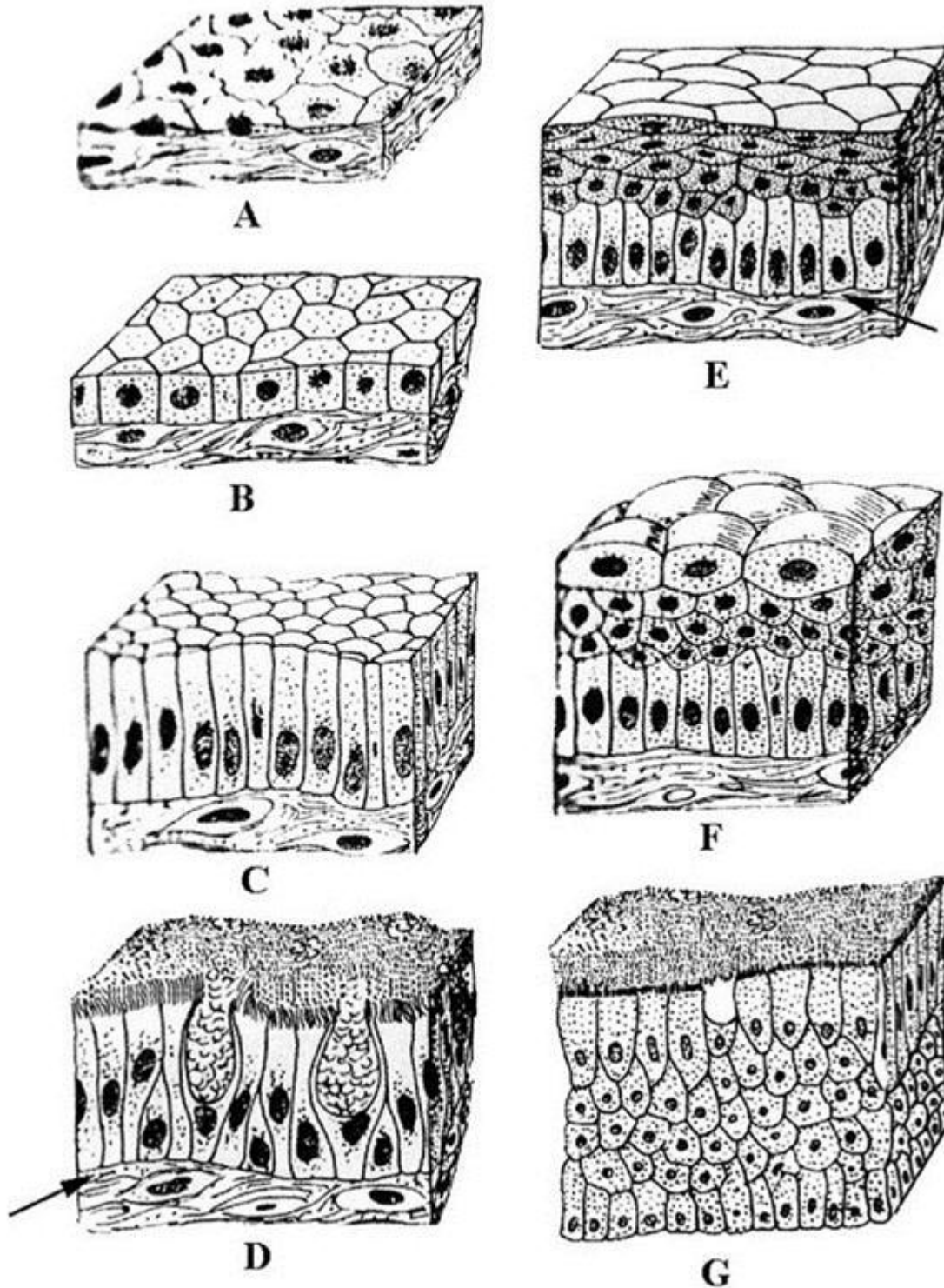
1.1. Fedőhámok

A **fedőhámok** elsődleges feladata a felszín alatti mélyebben fekvő szövetek védelme. Egy és többrétegű hámok lehetnek, bár a fejlődés kezdetén a többrétegű hámok is egyrétegű lapos sejtekből állnak, csak később alakulnak át többrétegűvé.

A fedőhámok tovább osztályozhatók a felépítésükben résztvevő sejtek alakja (lap, köb és hengeres) és a rétegek száma (egy és többrétegű) szerint. Ha ezt a két alaki szempontot egyesítjük, akkor a következő fedőhám típusokat kapjuk.

Egyrétegű lapohám: az alaphártyán szorosan záródó lapos sejtek egy rétegben helyezkednek el (3.1. ábra, A. kép). Ilyen hám alkotja pl. a vese Bowman tokjának külső lemezét.

3.1. ábra - A fedőhámok típusai



A: egyrétegű laphám, **B:** egyrétegű köbhám, **C:** egyrétegű hengerhám, **D:** egyrétegű többmagsoros csillós hám, **E:** többretegű el nem szarusodó laphám, **F:** urothelium, **G:** többretegű hengerhám. A nyilak a bazális laminára mutatnak

Egyrétegű köbhám (3.1. ábra, B. kép): A kockához hasonló hámsejtek szorosan egymás mellé rendeződnek. Pl. a vese kanyarult csatornáinak falát alkotó hám.

Egyrétegű hengerhám: Hasáb alakú sejtek találhatók az alaphártyán (3.1. ábra, C. kép). Az emésztőrendszerben a felszívóhám egyrétegű hengerhám.

Egyrétegű többmagsoros hám: A hasáb formájú hengeres sejtek alapi részénél beékelődő bazális sejtek is megfigyelhetők, melyek eltérő magasságúak lehetnek. Így az egyrétegű hengerhám sejtek magjain kívül a bazális sejtek magjai is jól megfigyelhetők. A sejtek nem, de a sejtmagok több rétegben láthatók. Innen a hám neve: többmagsoros hám. A sejtek csúcsi felszínén gyakran **csillók** találhatók (3.1. ábra, D. kép). Ilyen pl. a légcső hámja.

A többretegű laphámoknál a sejtek egymás fölött több sorba rendeződnek. Elnevezésük mindig a legfelső sejt formája szerint történik.

Többretegű laphám: Az alaphártyán egy sorban hengeres, majd felettük néhány sorban köbös, legfelül lapos sejtek láthatók (3.1. ábra, E. kép). Működés szerint két formáját nevezetesen az *elszarusodó és el nem szarusodó többretegű laphámot* ismerjük.

Elszarusodó többretegű laphám bőrünk felhámja, míg *el nem szarusodó többretegű laphám* pl. a szájüreg hámja.

Urothelium: Átmeneti hámnak is nevezik (3.1. ábra, F. kép), mivel felső rétegében sajátos alakú sejtek az ún. „esernyősejtek” foglalnak helyet. Ezek olyan sejtek, melyek csúcsi része mint a kalap vagy az esernyő, több sejtet is beborít. Az ernyő alakú sejtek poligonálisak, nagyfokú mozgékonyssággal és alakváltoztató képességgel bírnak. Húgy- és ivarszervek hámja, így a húgyhólyag hámja is urothelium.

Többretegű hengerhám: A legalsó és a legfelső sejt sor hengeres, közben változó számú köbös sejtréteg található (3.1. ábra, G. kép). Előfordulása: pl. a férfi húgycső nagy részében.

1.2. Mirigyhám

A mirigyek jellegzetes szövete, ami váladék termelésére képes. A váladék lehet a szervezetre nézve *hasznos, felhasználható (secretum)*, vagy *káros (excretum)*, végtermék, ami kiürül.

A mirigyváladék termeléshez szükséges anyagokat a vérerek szállítják. Így a mirigyhám sejtjei és a vérerek között szoros kapcsolat van. A mirigyek lehetnek különálló szervek (pl. máj), de lehetnek más szervekbe beépítettek is (pl. a bélbolyhok közötti Lieberkühn-féle mirigyek).

Felosztásuk több szempont szerint történhet. Annak alapján, hogy:

1. *Hány sejt építi fel* a mirigyhámot, beszélhetünk egy- és soksejtű mirigyekről.

- **Egysejtű mirigyek** pl. a kehelysejtek, amelyek a gyomor és a béltraktus, valamint a légzőkészülék fedőhámsejtjei között helyezkednek el. Mivel a hámsejtek között vannak **exoepitheliális mirigyek** is nevezik.
- **Soksejtű (többsejtű) mirigyek**, pl. a máj, pajzsmirigy. Általában a fedőhámsejtek alatt találhatók.

2. *Hogyan jut el a váladék* a mirigysejtektől a célsejthez. Ennek figyelembevételével két fő típusukat ismerjük, nevezetesen

- Ha a mirigysejtől a váladék csőrendszeren keresztül jut a felhasználás helyére, akkor **külső elválasztású (exocrin) mirigyekről** beszélünk (pl. fültőmirigy).

A legtöbb **külső elválasztású mirigy** a hám alatti kötőszövetben helyezkedik el, ezért **exoepitheliális** helyzetű. Osztályozásuk részben morfológiai sajátosságuk, részben a termelt váladék kémiai természete alapján lehet, de csoportosíthatjuk őket a secretios folyamat celluláris sajátosságai alapján is.

A morfológiai felosztás alapja az, hogy a váladéktermelő secretiosejtek cső vagy bogyó alakban rendeződnek, ennek megfelelően csöves, bogyós és csöves-bogyós mirigyekről beszélünk. Ezek még tovább tagolhatók a kivezetőcsöveik elágazódási formája alapján.

A mirigyek által termelt váladék kémiai természete szerint ismerünk fehérjéket, összetett szénhidrátokat, lipid természetű váladékot termelő mirigyet.

- Ha a mirigy kivezetőcsővel nem rendelkezik, akkor a termelt váladék (hormon) a keringési rendszerbe jut, és a vérrel szállítódik. Az ilyen mirigyeket **belső elválasztású (endocrin) mirigyeknek** nevezzük (pl. a pajzsmirigy; Részletesebb leírást ld. a „Hormonrendszer” című fejezetben.).
- Ismerünk ún. **kettős elválasztású mirigyeket** is. Ilyen pl. a hasnyálmirigy (**pancreas**). Itt az egyes mirigysejtek által termelt váladék csőrendszeren keresztül hagyja el a mirigyet. Ez a váladék a hasnyál. A mirigy más sejtjei, melyek kis csoportokba rendeződnek (**Langerhans szigetsejtek**), s váladékuk (hormon/) a vérrel kerül ki a mirigyből.

1.3. Pigmenthám

A **pigmenthám** sejtjeiben pigment (festék) szemcsék (granulumok) vannak. Típusos előfordulása a szem ideghártyájában a stratum pigmentosum retinae. Itt a köbös formájú sejtekben, a pigmentszemcsék **melanin** tartalmúak.

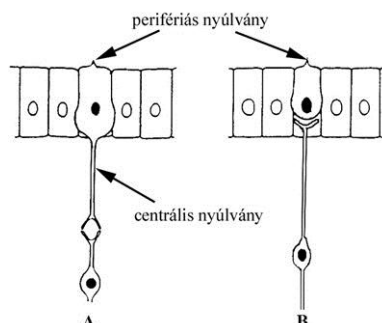
1.4. Érzékhám

A külvilág ingereinek felfogására szolgál. Érzékszervekben található. Az **érzékhámsejtek** felszínén sajátos képződmények, mikrovillák, stereociliumok vannak.

Az idegrendszerrel való kapcsolat alapján kétféle érzékhámsejtet különíthetünk el. Így az **elsőleges vagy primér érzékhámsejteket**, melyek bipoláris sejtek (3.2. ábra, A. kép). A sejteknek egy perifériás és a sejt alijából induló centrális nyúlványa van. Ez utóbbi az ingerületet a központi idegrendszerbe vezeti, perifériás nyúlványa az inger felvételére szolgál. Ilyen érzékhámsejt található pl. a szaglóhám.

Másodlagos vagy szekundér érzékhámsejteknek nincs centrális nyúlványa (3.2. ábra, B. kép). A sejttesttől az ingerület **synapsis** útján továbbítódik egy olyan idegroston, ami a központi idegrendszerből érkezik. Ilyen érzékhám van a halló- és egyensúlyozó-, valamint az ízlelőszervekben.

3.2. ábra - Érzékhámok



A: primér érzékhám, B: szekundér érzékhám

2. Kötő- és támasztószövetek (tela conjunctivales)

A **kötőszövetek** az emberi szervezetben a legnagyobb gyakorisággal előforduló szövetfélések. A test mélyebb rétegeiben (felszín alatt) található. Sejteket, különböző szöveteket, néha szerveket kapcsolnak össze.

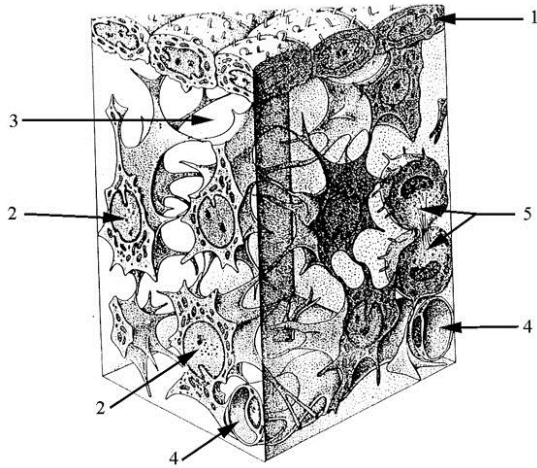
A kötőszövetek általános *jellemzése*:

1. *Sejtekből és sejtközzötti állományból épül fel*, ez utóbbi jelentősebb mennyiségű. A sejtközzötti állomány két részre, nevezetesen egy **alapállományra** és különböző kötőszöveti rostokra osztható.
2. A kötőszövetek a fejlődés során *egymásba átalakulhatnak*. Pl. felkarcsontunk helyén az egyedfejlődés során először kötőszövet, majd porcszövet és végül a csontosodás révén csontszövet található.
3. Nagy az újraképződő (regenerációs) sajátossága, amiért is alkalmas a szervezetben előforduló kisebb, nagyobb hézagok pótlására. Pl. a combhajlító izom izombőnyvének szakadása után a kötőszövet felszaporodik, a heg elmeszesedik.

4. A kötőszövetek nagy része mesodermális eredetű.

Az ontogenezis folyamán először megjelenő, legritimvebb kötőszövet a **mesenchyma** (3.3. ábra). Nyúlványos sejtekből és félfolyékony sejtközötti állományból áll. Ez később átalakul más kötőszövetté.

3.3. ábra - Mesenchyma



1: mesothel, 2: nyúlványos mesenchyma sejt, 3: sejtkezötti állomány, 4: kapilláris, 5: osztódó mesenchyma sejt

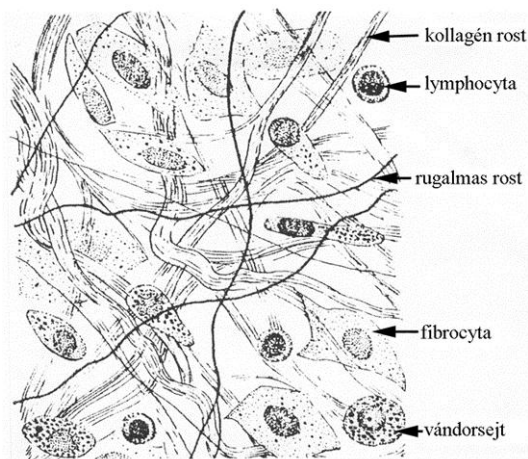
A kötőszövetek csoportosíthatók, s így beszélhetünk:

- valódi kötőszövetekről,
- támasztószövetekről és
- speciális kötőszövetekről.

2.1. A kötőszövet felépítése

A kötőszövetek közül a **lazarostos kötőszövet** minden kötőszövetféleség prototípusa, ezért először a szövet sejtkezötti állományával és sejtjeivel ismerkedünk meg (3.4. ábra).

3.4. ábra - A lazarusztos kötőszövet sematikus rajza



2.1.1. A sejtkezötti állomány

A **sejtközi állomány** vízben oldott anyagokból (**alapállomány**), és rostos organizációjú alkotórészekből áll. Az alapállomány félfolyékony, kocsonyaszerű. Vízben oldott, részben krisztalloidok, részben kolloidális állapotban lévő makromolekulák alkotják. Oldott anyagainak a szervezet vízháztartásában van nagy jelentősége.

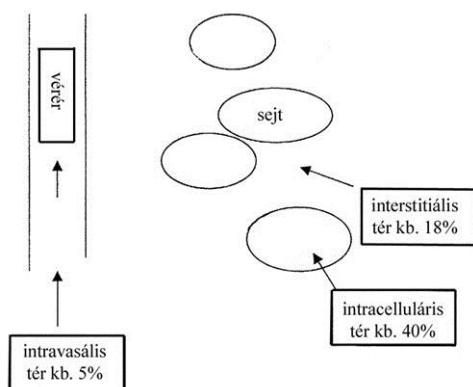
Vízterek

A szervezet minden alapvető működése vizes közegben zajlik. A víz oldószer és reakcióközeg is. A sejtmembrán választja el egymástól az intra- és az extracelluláris teret (3.5. ábra).

Az **extracelluláris tér** egyik része az ereken belül található ún. **intravasális tér** (kb. 5%, kb. 5 l), másik része az **interstitiális tér** (kb. 18%) a sejtek közötti folyadékállomány, amelynek legnagyobb része a nyiroknedvet adja.

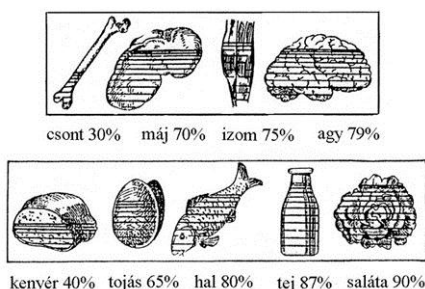
Egy átlagos férfi testtömegének kb. 55–63%-a víz (egy 70 kg-os ember esetén az extracelluláris víz 32 kg, az intracelluláris 12 kg). A nőké néhány százalékkal kevesebb. Ennek alapvető oka, hogy a nők szervezete kb. 10%-kal több zsírt tartalmaz, mint a férfiaké. A zsírszövet víztartalma a többi szövetéhez képest nagyon kicsi. Különböző típusú szövetek víztartalma jelentősen különbözik egymástól (3.6. ábra).

3.5. ábra - A szervezet vízterei



Alapvető fontosságú, hogy a létező vízterek, bizonyos határokon belül, állandóak maradjanak. Ez a **homeosztázis**. A homeosztázis a belső környezet állandóságára való törekvést jelent, ami egy dinamikus folyamat. A homeosztázis vízforgalmi állandóságát **izovolémiára (állandó térfogat)** törekvésnek nevezzük.

3.6. ábra - Az ember különböző szerveinek, valamint néhány táplálék víztartalma

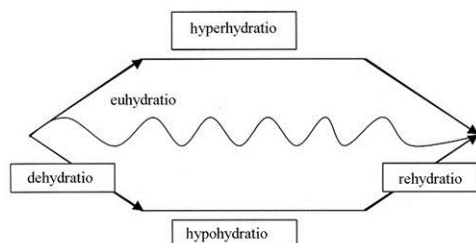


Az ember napi vízforgalma 1500-3000 ml között változik. Ez azt jelenti, hogy a napi vízfelvétel és vízleadás egyensúlyban van. Szervezetünk ételeink (500-1600 ml) és italaink (800-1000 ml) fogyasztásával jut elsősorban vízhez. Nem szabad elfelejtenünk azonban, hogy a sejt alapvető működése a sejtlegzés (biológiai oxidáció) során jelentős mennyiségben termel vizet (200-450 ml) a széndioxid mellett. Az egyensúly megtartása érdekében a vesén keresztül a vizelet kiválasztás során (600-1600 ml), székletürítéssel (50-200 ml), valamint párologtatással (a tüdőn keresztül), ill. verejtekezésével (mintegy 850-1200 ml) adunk le vizet.

Nagyobb fizikai terhelés, ill. az időjárás különböző hatásai ezeket az arányokat jelentősen megváltoztatják. A normális physiologiás változásokat **euhidratios változásnak** nevezzük (3.7. ábra). Az ettől jelentősen eltérő eseteket, **dehydrationnak (vízvesztés)** vagy **hyperhydratio** (jelentős vízfelvétel) nevezzük. A dehydration következtében a szervezet víztartalma kisebb a szükségesnél (**hypohydrált**), amelyet megfelelő víz szervezetbe juttatásával (**rehydratio**) szüntethetünk meg, állíthatjuk vissza az euhydratios állapotot. A bőrön keresztül a

nem érzékelhető izzadás kb. 350 ml/nap (**euhydratios változás** a testtömeg 0,2%-a/nap). Nagy melegben ez akár 500-700 ml/nap víz elvesztését jelenti. A tüdőn keresztül kilélegzett levegővel távozó víz mennyisége kb. 250-350 ml/nap. Ez jelentősen módosul, ha tartósan beszél valaki (500-700 ml/nap). Aktív mozgás és nagy aerob terhelés (nagy oxigén igényű mozgás) esetén akár 3-5 liter vizet is veszíthet egy sportoló kilégzés során (jelentős mennyiségű), átlagos külső hőmérséklet és páratartalom mellett is egy liter/óra vízvesztéssel számolhatunk (maraton ill. ultramaraton futások esetében).

3.7. ábra - A szervezet víztartalmának változásai



Nagy mennyiségű vizet veszíthetünk hányáskor, ill. hasmenéskor. Ez a betegség jellegétől függően napi 1500-5000 ml között is lehet (dehydratio). (Ne felejtsük el, hogy egy átlagos férfi vérmennyisége 5-5,5 liter.)

A levegő páratartalma szintén jelentősen megváltoztatja a vízvesztést. Nagy páratartalom (80-90%) kifejezetten gátja az izzadásnak, ill. a párologtatásnak. Jelentős **vízvesztés** akár egy fürdőszobamérleggel is mérhető. Általános szabály, hogy 0,5 kg testtömeg-csökkenés kb. 450 ml víz elvesztését jelenti. A jelentős vízvesztés nagy szomjúságérzettel is párosul. Fontos szabály, hogy pl. hányás és hasmenés esetén gondoskodni kell a sók pótlásáról is (ld. izotónia és izoiónia elve, Vér). Fontos tudni, hogy a különböző modern diétás rendszerek első hetének fogyása alapvetően a vízvesztés következménye, amely a diéta abbahagyásával szinte azonnal visszajut a szervezetbe.

Kötőszöveti rostok

A kötőszövet sejtközi állományának másik részét a **kötőszöveti rostok** adják (3.4. ábra), melyeknek három típusa van, nevezetesen a kollagén, rugalmas és rácstrostok.

Kollagén rostokat másként enyvadó rostoknak is nevezik, mivel főzéskor enyvet adnak. Több mint tízféle kollagén rost típust ismerünk. Ezek közül az I. típus fordul elő az inakban. A kollagén rostok általában nyálábokba rendeződnek, melyek elágazódhatnak, de maguk a rostok elágazódást nem mutatnak. Kismértékben nyújtható, ami maximális terhelésnél 1-2%-ot jelent. Nagy szakító szilárdságú. Pl. az inak szakítási szilárdsága 100 kg/cm².

Rugalmas vagy elasticus rostok. Általában vékonyabbak, mint a kollagén rostok. Magánosak (nem képez nyálábokat), és az egyes rostok elágazódhatnak. Sem főzéssel, sem savakkal, lugokkal való kezeléssel nem vihető oldatba. Fizikai tulajdonságai közül nagymértékű nyújthatóságukat kell kiemelni. Eredeti hosszuk 150%-val is megnyújthatók. Szakító szilárdsága alacsony. Általában ott találhatók, ahol nagyfokú nyomásváltozás fordul elő, pl. az erek falában.

Rács vagy reticuláris rostok. A kötőszöveti rostok közül ezek a legvékonyabbak. A rostok szitaszerű hálót képeznek, innen az egyik nevük: **rácstrostok**. Izomrostokat, mirigyek secretios sejtcsoportjait hálózák be. A hámszövet alatti bazális membrán is tartalmaz ilyen rostokat.

2.1.2. Kötőszöveti sejtek

A lazorostos kötőszövetben az alábbi sejtféleségek találhatók meg:

Fibroblastok (*fibrocyta*; 3.4. ábra) **rostképző sejteknek** is nevezik őket. A fibroblast a működő, míg a **fibrocyta** elnevezés a sejt nyugalmi állapotára utal. A kollagén rost alapegységek képzése sejten belül történik, amelyekből az extracelluláris térben majd összeáll maga a rost.

Macrophagok (*histiocyta*). **Nagy falósejteknek** is nevezik őket, szemben a microphag neutrophil granulocyttakkal. Állabakat képezhetnek, melyek segítségével idegen anyagok bekebelezésére képesek (ld. „Immunfolyamatok”).

Immunkompetens sejtek. A kötőszövetben mindig megtalálhatók lymphocyták, melyek azonosak a vér lymphocyttal. Funkcionálisan két formájuk – *a B és T lymphocyták* – ismert. Mindkettő gömbalakú, ugyancsak gömb alakú sejtmaggal. Rendkívül rugalmasak, ami lehetővé teszi, hogy átjussanak a kapillárisok falán (ld. „Vér”).

A természetes ölő NK (natural killer) sejtek. Nem specifikus sejtes immunválasz a testidegen sejtek elpusztítására. Elsősorban a vírussal fertőzött sejteket pusztítják. Hasonlítanak a lymphocytákhoz, de nem rendelkeznek a specificitáshoz szükséges sejtfelszíni receptorokkal, így a természetes immunitás részének tartjuk őket.

Eosinophil sejtek. Ugyancsak immunkompetens sejtek. Gömbölyűek, plasmájukban eosinnal pirosra festődő szemcsék találhatók. Amöboid mozgásra képes sejtek, melyek az érpályából képesek kilépni.

Hízósejtek. Viszonylag nagyméretű, kerek, vagy ovális egymagvú sejtek. A sejt plasmájában granulumok találhatók, melyek tartalmazhatnak véralvadást gátló heparint, vagy szerotonint, ill. hisztamint. Ez utóbbi anyag az allergiás reakciókban játszik szerepet. Vöröscsontvelőben termelődő, újabban a fehérvérsejtekhez sorolt sejtípus.

Zsírsejtek. Kerek sejtek, ahol a sejtmag perifériásan a sejthártya alatt található. Nagyobb mennyiségben fordul elő a bőr alatti kötőszövetben.

Pigmentsejtek. Nyúlványos sejtek. Sejtplasmájuk barna színű melanin granulumokat tartalmaz. Ilyen sejtek találhatók, pl. a szem szivárványhártyájában.

2.2. A valódi kötőszövetek típusai

2.2.1. Érett kocsonyás kötőszövet

Nagyon hasonlít a mesenchymához. Nyúlványos sejtekből áll. A sejtek között kocsonyás sejtközüti állomány található, amely kevés kollagén rostot is tartalmaz. Ilyen szövet van pl. a köldökszinórban, ahol a sejtközüti állományt **Wharton-féle kocsonyának** nevezik, s ebbe ágyazódnak a köldökerek.

2.2.2. A lazarostos kötőszövet

Felépítésére az általános jellemzésnél leírtak érvényesek. Sejtközüti állománya, rostjai és sejtjei azonosak a fent említettekkel (3.4. ábra). Sejtes és rostos állománya a különböző szervekben változó lehet. Megjelenhet egységes kötőszövetes lemez formájában, vagy pl. savóhártya formájában is.

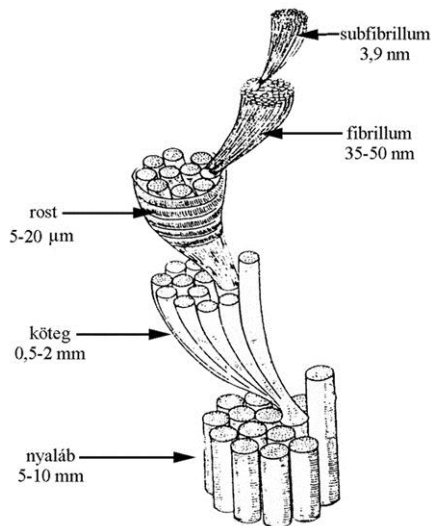
2.2.3. Tömöttrostos kötőszövet

A rostos kötőszövetek legrendezettebb formája, tipikus előfordulása az **ínszövet**. Itt a kollagén rostok nyálábokba rendeződnek, a nyálábok közötti üregekben a rostképző ún. *insejtek* találhatók.

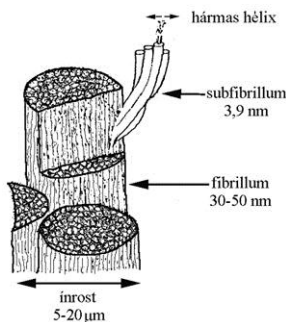
Az inak külső felszínét a **perimysium externum** borítja, amely egy kb. 0,5 mm-es kötőszövetes hártya. Ebben egy suprahélix szerkezetű kettős rostrendszer húzódik. Ez a rostrendszer nyugalmi helyzetben kb. 60°-os szöget zár be a hossz tengellyel. Az inak megfeszülése során a rostok elmozdulnak és ez a szög kb. 30°-ra csökken. A perimysium externum és az inak felszíne között egy proteoglikán tartalmú kocsonyás állomány található, melynek feladata a két réteg közötti elmozdulás biztosítása. A perimysium externum alatt helyezkedik el a **perimysium internum**, melynek rostjai behatolnak az ínrostok közé. Feladata az ínrostok és a perimysium externum közötti kapcsolat biztosítása, az ínnyálábok hüvelyezése.

Az ín makroszkópos és mikroszkópos szerkezete a sejtes elemen kívül tehát ínnyálábokra, inkötegekre, ínrostokra, infibrillumokra és subfibrillumokra bontható (3.8. ábra). Az ínrostok alapja az ún. I. típusú kollagén rost. Az ínrostok fibrillumai subfibrillumokból állnak, amelyet három I. típusú kollagén rost alfa lánc épít fel, tripla hélix formában (3.9. ábra). 5-8 tripla hélix molekula építi fel a subfibrillumokat. A tripla hélix láncok között is proteoglikán és összetett fehérjék adják a ragasztóanyagot. A subfibrillumok bonyolult fonatokat képeznek.

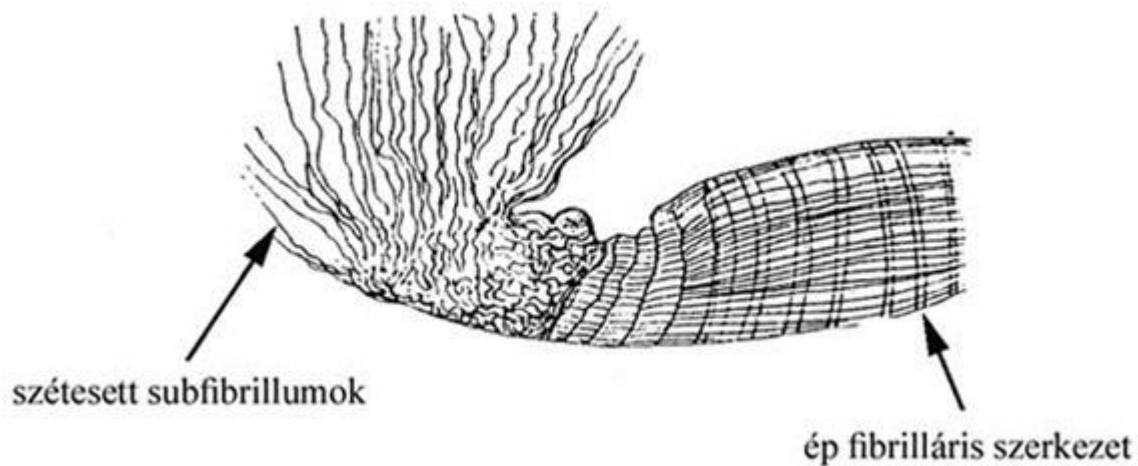
3.8. ábra - Az ínnyáláb felépítésének sematikus képe



3.9. ábra - Az ínrost finomszerkezete



3.10. ábra - Az inak denaturálódása túlterhelés hatására



Ha az inakat extrém terhelésnek tesszük ki, a ragasztóanyagok denaturálódnak, a fonatszerű struktúra szétesik, „rojtossá” válik az ín (3.10. ábra). Több száz subfibrillum alkot egy fibrillumot. A fibrillumok szintén nem egyszerűen az ín hossz tengelyével párhuzamosan futnak, hanem hosszirányban keresztezik egymást. A fibrillumok kb. negyede a hosszirányra merőlegesen tekeredik a fibrillumokra, gyűrűt képezve azok körül. Az ínrostok sem egyszerű párhuzamos elrendeződést mutatnak. A szerkezet további stabilizálását szolgálja, hogy az egyszerű kereszteződéstől a hajfonatszerű csavarodásig különböző módokon fonódhatnak egybe. Az ínrostok kb. 20%-a tér mindhárom irányába indulva további csavarodásokkal fut végig a rostrendszeren. Az ínkötegeket a perimysium internum választja el egymástól, ugyanakkor ezen keresztül a perimysium internumban futó rostok révén a kötegek együttes elmozdulása így biztosított. Az ínnyalábok szintén keresztezik egymást. Ez a szerkezet biztosítja az ín hihetetlenül nagy szakítószilárdságát és erőálló képességét (ld. Az izmok működése).

2.2.4. Elasticus kötőszövet

A kötőszöveti alapállományban nagymennyiségű **elasticus rost** található, de ezek mellett kis számban **kollagén rostok** is előfordulnak. Ez a szövet olyan helyeken fordul elő, ahol jelentős nyomásváltozás jelentkezik. Ilyenek a vérerek, különösen az artériák fala.

2.2.5. Reticuláris rostos kötőszövet

A vérképző és lymphaticus szervek alapszövege. Sejtjei nyúlványos sejtek, a nyúlványok anasztomizálnak, s így egy laza szerkezetű szitaforma alakul ki. A reticuláris sejtek a reticuláris rostokat intracellulárisan termelik, melyek a sejtől kikerülve tovább szűkítik a sejtek által kialakított ún. szita üregeket, melyekbe vérképző vagy lymphaticus sejtek csoportjai telepsznek be.

2.3. Támasztószövetek

2.3.1. Chordoid szövetek

A szűkebb értelemben vett kötő- és a támasztószövetek közötti átmenetet képviselik. Ide tartozik a **chordaszövet** és **zsírszövet**.

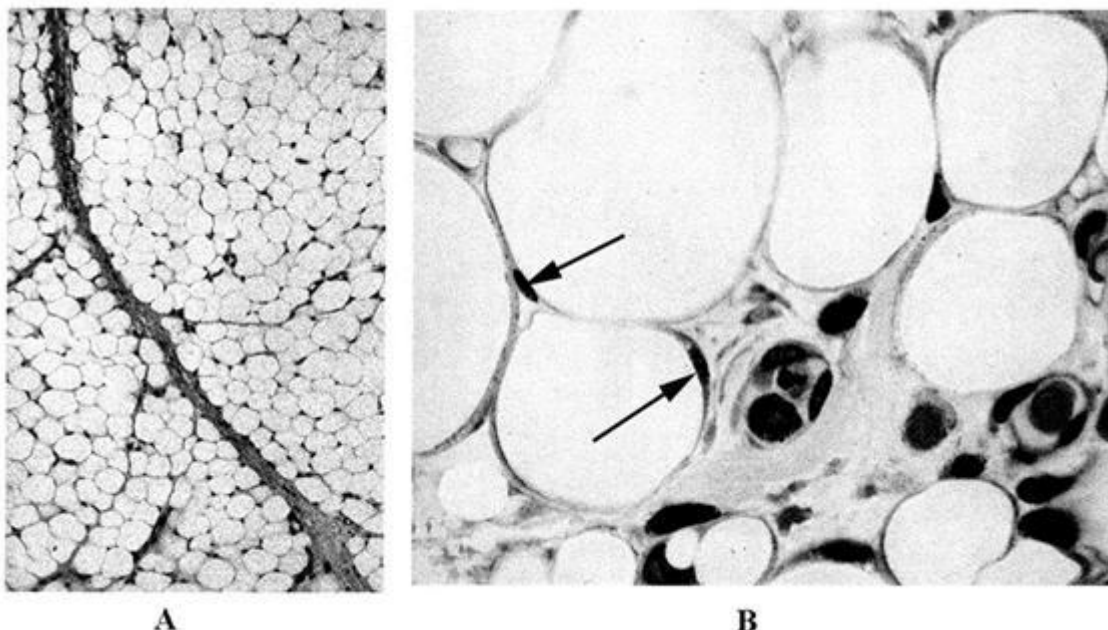
2.3.2. Chordaszövet

A vázrendszer első primitív támasztószövege. Előfordul a gerinchúrbán. A kezdetben kerekded sejtek sejten belüli és sejten kívüli váladékot is termelnek. A sejten belüli váladék a sejtmagot közvetlenül a sejthártya alá nyomja, míg a sejten kívüli váladék nagyrészt a **chordasejteket** veszi körül egységesen, s alakítja ki a **primér chordahüvelyt**. A sejtek turgora biztosítja a szövet támasztó funkcióját.

2.3.3. Zsírszövet

A sejtek cytoplasmájában zsírcseppek találhatók, amelyek az életkor előrehaladtával fokozatosan összeolvadnak. A sejtek pecsétgyűrű-formát mutatnak (3.11. ábra), mert a centrális helyzetű zsíryanagy a sejtmagot a sejthártyához nyomja. A sejtek mellett a sejtközi állományban kis kollagén rost nyalábok, néha elasticus rostok figyelhetők meg. A zsírszövetnek két formája ismert, nevezetesen a barna és a sárga zsírszövet.

3.11. ábra - A zsírszövet kis (A) és nagy nagyítású (B) képe



A nyilak a sejtmagokra mutatnak.

Barna zsírszövet

Jellemzője, hogy a sejtekben a zsírcseppek különállóak, és közöttük nagy mennyiségben mitochondriumok is előfordulnak, amelyek a biológiai oxidáció enzimjeit tartalmazó sejtorganellumok. A barna zsírszövetnek a hőtermelésben van szerepe, főleg újszülötteknél található nagyobb mennyiségben (hőtermelés fontos!).

A sárga zsírszövet

Felépítése az előzőhöz hasonló azzal az eltéréssel, hogy a sejtekben nincsenek mitochondriumok. A **sárga zsírszövet** zsírraktár, de jelentős a hézagtöltő és támasztó funkciója is.

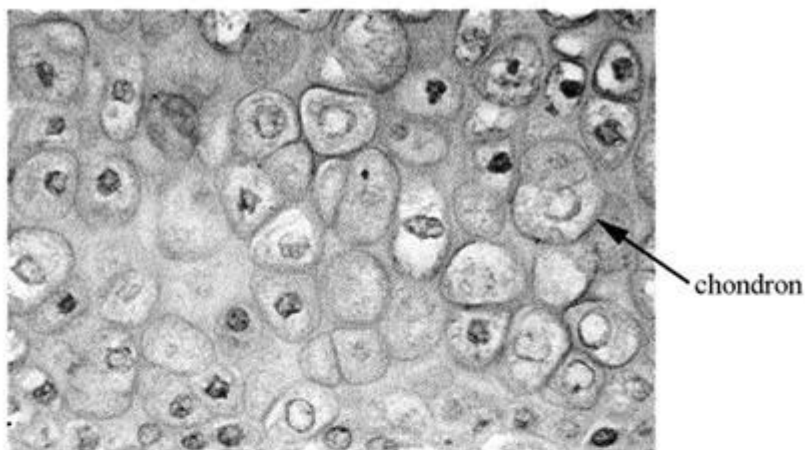
2.3.4. Porcszövetek

Sejtből és sejtközüti állományból áll, ez utóbbi keménysége biztosítja a szövet nagyobb szilárdságát. A porcsejtek nyúlvány nélküli sejtek. A **porcszövet** szerkezetére a territoriális felépítés jellemző. Ez azt jelenti, hogy az alapállományban sejtcsoportok (általában 4 sejt) alkotnak egy territoriális egységet, a **chondront**. A porcsejtek az alapállomány üregeit nem töltik ki teljesen, így körülöttük egy ún. porcudvar alakul ki. Az üreg széle a **porctok**. A territóriumok között interterritoriális sejtközüti állomány található, melyben kötőszöveti rostok vannak.

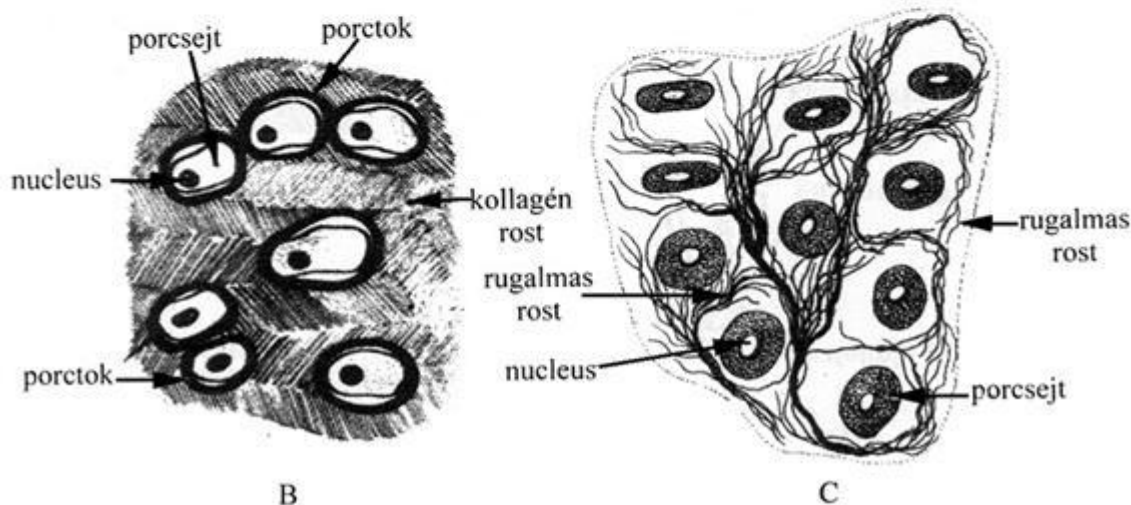
Ha a sejtközüti állomány fénymikroszkóp alatt egyneműnek tűnik, mivel kevés kötőszöveti rostját az alapállomány elfedi, akkor üveg, vagy **hyalin porcról** beszélünk (3.12. ábra, A. kép). Ilyen porc található, pl. az ízesülő csontvégeken.

Ha az alapállományban fedetlenül rostok láthatók, akkor **rostos porcokról** beszélünk. Ha ezek a rostok kollagének, akkor a porc **kollagén rostos porc** (3.12. ábra, B. kép). Ilyen porc pl. a csigolyaközüti porckorong. Ha az alapállományban rugalmas rostok dominálnak, akkor **rugalmas rostos porcról** (rugalmas porc; 3.12. ábra, C. kép) beszélünk.

3.12. ábra - Porcszövetek



A



B

C

A: hyalin porc, **B:** kollagén rostos porc, **C:** rugalmas rostos porc

A porcszövetben erek nincsenek, táplálása a porchártya erei felől diffúzióval történik, ezért a porcszövet anyagcseréje igen lassú. Ennek a lassú anyagcserének a következménye, hogy a porcok könnyen degenerálódnak. Ez jelentkezhet meszesedés és azbesztes elváltozás formájában. Meszesedés pl. a patellanál figyelhető meg, ami „tüledzékenység” jelentkezik. Ilyenkor a porc alsó részébe nagyobb mennyiségű mészkövek rakódnak le. A meszesedés kezdeti formája az azbesztes elváltozás.

2.3.5. Csontszövetek

A **csontszövet** kétféle formában a **tömör vagy kompakt (substantia compacta)** és **szivacsos (substantia spongiosa)** formában fordul elő. A két forma a különböző csonttípusokban másként és másként helyezkedik el. Mi egy hosszú csöves (pl. combcsont) és egy lapos csont (pl. koponyatető csontok) eseteiben mutatjuk be a kétféle csontszövet elhelyezkedését.

Egy hosszú csöves **csont diaphysisében** a csonthártya alatt **kompakt csontszövet** található, ami gyűrűszerűen veszi körül a csontvelő üregét. Lapos csontoknál a csonthártya alatt található a **tömör csontszövet**. A csontszövet építő egységei az **osteonok**, amelyek egy a csont hossz tengelyével nagyjából párhuzamosan rendeződő ún. **Havers-csatorna** körüli koncentrikus lemezenszerűek. A koncentrikusan rendeződő lemezeket felépítő kollagén rostok (ezeket a rostokat tulajdonképpen **osteokollagéneknek** nevezzük, mert nem fibroblastok, hanem csontképző sejtek hozzák létre) egy-egy lemezen belül párhuzamos lefutásúak, a két szomszédos lemez rostjainak irányultsága egymáshoz képest 90 fokkal tér el. Ezeket a lemezeket rájuk merőlegesen kis csatornák járók át, melyek a csontüregcskékből erednek. A csontüregcskében található a **csontsejtek (osteocyták)**, melyek nyúlványai a kis csatornába is behatolnak. A Havers-csatorna és a körülötte elhelyezkedő

lemezrendszer (**laminae speciales**) együtt egy osteont ad (3.13. ábra, A. kép). Ezek a tömör csontszövet középső részén figyelhetők meg.

A Havers-csatornában erek találhatók. Ezeket a csatornákat egymással ill. a csonthártya és a csontvelő ereivel a **Volkman-csatornák** kötik össze (3.13. ábra, B. kép). A kompakt csontszövet külső felszínén, azzal párhuzamosan 4-6 rétegben lemezrendszer, az ún. **külső általános lemez (laminae generales externae)** helyezkedik el. Ezekben a lemezekben Havers-csatorna nincs.

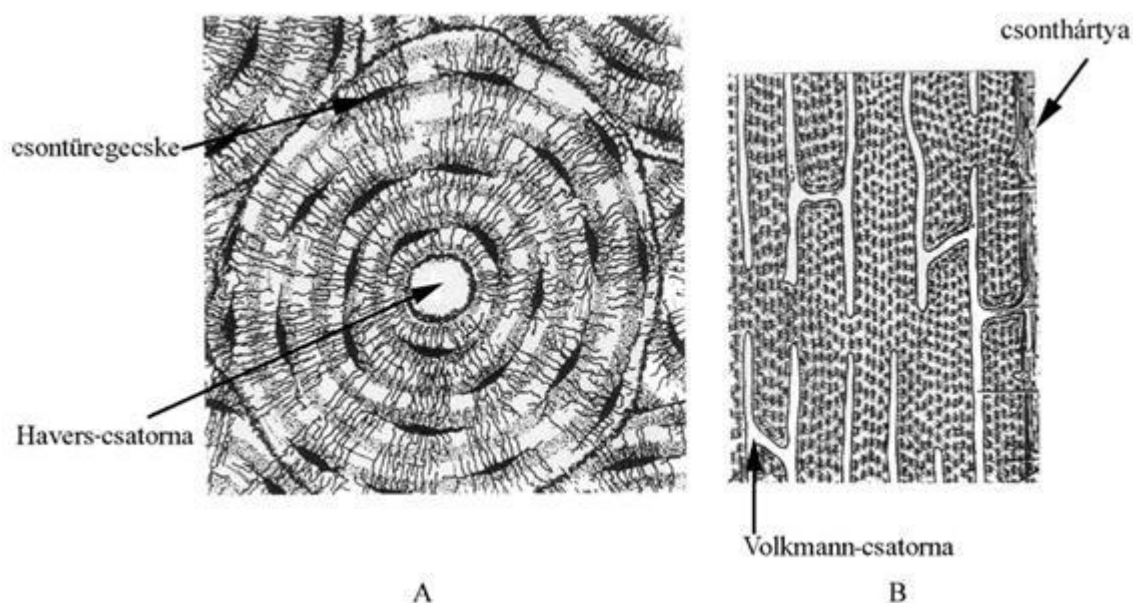
A csöves csontok belső, velőüreg felé eső felszínén az előbbiekhöz hasonló lemezrendszer figyelhető meg, ezek a **belső általános lemezek (laminae generales internae)**.

Az előbb említett három lemezrendszer nem tölti ki teljesen a csontszövet állományát, a maradék helyen még egy lemezrendszert tudunk elkülöníteni, nevezetesen a **közbeiktatott lemezeket (laminae intercalares)**.

A csontüregcskék és az osteokollagén közötti részbe rakódnak le a csontszövet keménységét adó mészsók. A csontüregcskék az alapállományban levő üregek, melyeket élő állapotban nyúlványos csontsejtek töltenek ki.

A csont lemezrendszereitől függetlenül a csontszövetben, főleg annak csonthártyával határos részén, kollagén rostok találhatók, melyek a csontszövetbe hatolnak. Ezek az ún. **Sharpey-féle rostok**. Ezek főleg a csonthártyának az ízegek felőli részénél, az izomtapadási és eredési helyeinél találhatók és az izmok szorosabb rögzítését biztosítják.

3.13. ábra - A csontszövet keresztmetszetén egy osteon nagyított képe (A), és a tömör csontszövet hosszmetesze (B)



A **szivacsos csontállomány** a csöves csontok két végén az epiphyisek területén található. Ez tulajdonképpen csontszövetből álló gerendák szövédéke, melyek hézagait a vöröscsontvelő tölti ki. Lapos csontok esetében (pl. koponyatető csontok) a csont külső és belső felszínén vékony tömör csontszövet réteg található, és közöttük helyezkedik el a szivacsos csontszövet.

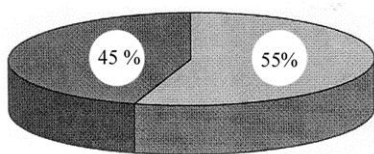
2.4. Speciális kötőszövetek

A speciális kötőszövetekhez sorolható: a vér és a nyirok.

2.4.1. A vér (sanguis)

Mint a kötőszövetek általában a **vér** is sejtekből és sejtközi állományból áll. Ez utóbbi a **vérplasma**, míg a sejtek a vér alakos állományát alkotják. A két összetevő aránya a 3.14. ábrán látható.

3.14. ábra - A vérplasma (55%) és a vér alakos elemeinek (45%) aránya



a./ A vérplasma

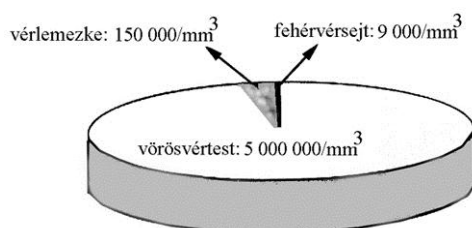
90%-a víz. Valódi és kolloidális oldott állapotban sokféle anyagot tartalmaz, így gázokat, elektrolitokat, bomlástermékeket, tápanyagokat, hormonokat (pl. szteroidokat). Fontosabb ionjai Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- . Nagy molekulájú anyagai plazmaproteinek, immunglobulinok, glükoproteidek, szteroidok, fibrinogén. Ezen kívül vérfehérjét, más szerves anyagokat, valamint szervetlen sókat tartalmaz. A vérfehérjék: a fibrinogén (kb.5%), albumin (kb. 60%) és a globulinok (35%). A vérplasmában különböző fehérje bomlástermékek, zsírok, lipoidok (koleszterin), cukor, tejsav, különböző hormonok, véralkohol, oxigén és széndioxid is található.

A **fibrinogén** a **véralvadásban** játszik fontos szerepet. Az **albumin** viszonylag kis molekulású fehérje. Az albumin a vér osmotikus koncentrációjának fenntartásában és tartalék fehérjeként játszik fontos szerepet. A **globulinok** (alfa, béta és gamma) a szervezet védekezésében fontosak. Termelődésük fokozódásával a szervezet védekező képessége megnő a fertőző betegségekkel szemben.

b./ A vér alakos elemei

A **vér alakos elemei** a vértérfogat 45%-át adják. Ezek a vörösvértestek, fehérvérsejtek és a vérlemezkék. Az alakos elemek egymáshoz viszonyított arányát a 3.15. ábra mutatja.

3.15. ábra - A vér alakos elemeinek egymáshoz viszonyított aránya



A vér speciális kötőszövet, melynek szövetközi tere folyadék. Ez a vérplasma. A szöveti sejtek pedig a **vér alakos elemei**. A vérplasma és a sejt elemek arányát a **hematokrit** érték adja meg. A hematokrit értéke nőkben és férfiakban különböző. Férfiakban ez általában 42-47%, nőkben 38-45%. A tűréshatár azonban igen nagy, normál vérkép esetén 37-50%-ig elfogadott. A hematokrit értéknek a sportolóknál is nagyon fontos szerepe van. Túl alacsony alakos elem tartalom a vér oxigén-szállító képességét rontja, a túl magas a véráramlás tulajdonságait változtatja meg. Nő a vér viszkozitása, ami növeli a súrlódást a vér és az érfal, ill. a vérsejtek között is. Ez tovább fokozza a terhelést a szervezetben, aminek a keringés összeomlása, ill. trombusok (vérrögök) kialakulása lehet a következménye. Emiatt veszélyes a vérdopping.

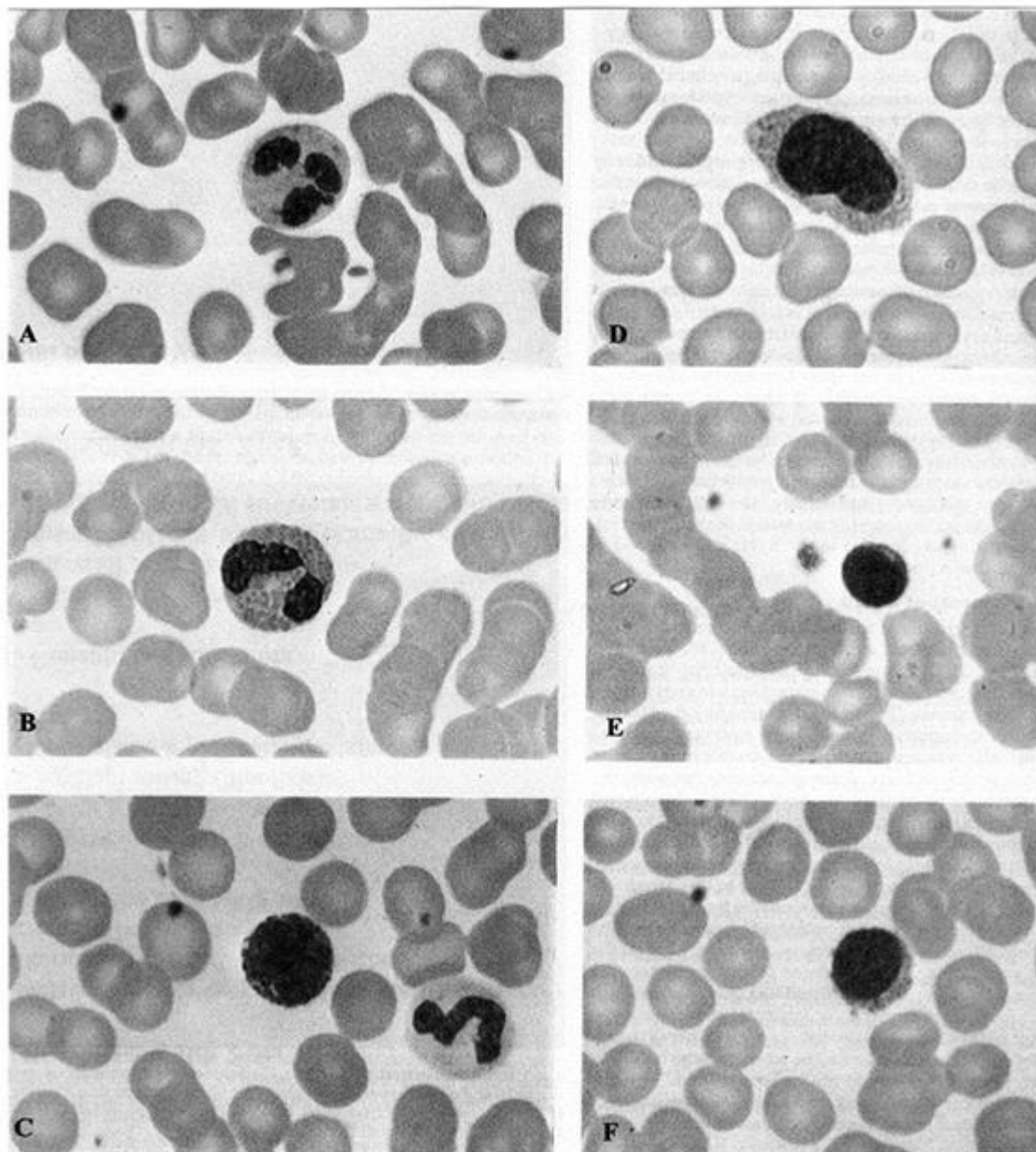
A **vérdoppingnak** két formáját különböztetjük meg. Az egyik esetben vért vesznek a sportolótól (kb. 500 ml-t). Ezt a vérhiányt a szervezet fokozott vörösvértest termeléssel helyreállítja, majd a verseny előtt a levett vért visszajuttatják a szervezetbe. Ez vértérfogat és viszkozitás növekedést is okoz.

A másik esetben **erythropoetin** nevű hormont adagolnak, ami felelős a normális vérképzésért is. Nagyobb dózisban adagolva vörösvérsejtszám növekedést lehet elérni. Mindkét eset hematokrit méréssel is tetten érhető. Egyes sportágakban a doppingvizsgálatokhoz a hematokrit mérése szorosan hozzátartozik. Az 50% fölötti értéket kizárás és szankcionálás követi. Természetes úton is el lehet érni hematokrit érték növekedést pl. magaslati edzésekkel. Ennek során az oxigén-hiány hatására fokozódik a vörösvértest termelés a szervezetben.

Vörösvértest (erythrocyta, 3.16. ábra): biconkáv alakú, azért mert a sejt közepe vékonyabb, mint a széle. Oldalról babapiskóta formát mutat. Magvatlan sejt. Magját még a vöröscsontvelőben, az érés során elveszti. Élettartama kb. 120 nap. A lép és a máj sinusainak macrophag sejtjei semmisítik meg. Számuk férfiakban 5,0-5,5 millió/mm³, nőkben 4,5-4,8 millió/mm³. A normál értéknél alacsonyabb vörösvérsejt szám

vérszegénységben és vashiányos állapotban figyelhető meg. A vörösvértestek mérete kb. 7 μm . A sejtek rendkívül rugalmasak, ezért a szűk átmérőjű kapillárisokon is áthaladnak. Plasmájukban vastartalmú **hemoglobin** található, ettől kapja piros színét. A hemoglobinban szabad vegyértékkel rendelkező vas az oxigénnel könnyen bomló kötést ad, feladata a légzési gázok szállítása. A vörösvértestek a hemoglobin mellett számos enzimet is tartalmaznak. Ezek a glükolízissal és az iontranszporttal kapcsolatosak.

3.16. ábra - Vérkenet részletek (minden képen vörösvértestek mellett különböző fehérvérsejtek láthatók)



A: neutrophil granulocyte, **B:** eosinophil granulocyte, **C:** basophil granulocyte, **D:** monocyte, **E:** kisméretű-, **F:** nagyméretű lymphocyte

Fehérvérsejtek (leucocyta). Festékanyagot nem tartalmazó mindig magvas sejtek. Heterogén csoport. 1 mm^3 vérben számuk 6 000-8 000. Csoportosításuk többféle szempont szerint történhet. Legismertebb felosztás, amikor azt vizsgáljuk, hogy a sejtek plasmájában található-e szemcse (granulum) vagy sem. Ennek alapján a fehérvérsejtek lehetnek *szemcsészetlen plasmájú agranulocyták*, és szemcséket tartalmazó **granulocyták**. Megoszlásukat az 1. táblázat mutatja.

Az *agranulocyták* további két alcsoportra, a lymphocytákra és a monocytákra oszthatók.

Lymphocyták. A fehérvérsejtek 30-40%-a. Kerek sejtek. Magjuk szinte kitölti a sejtet. Méretük szerint kis és nagy lymphocytákról (1. táblázat, 3.16. ábra, E. és F. képei) beszélünk. Átmérőjük 6-8 μm . Nyirokerekből kerülnek a vérbe.

A **monocyták** (1. táblázat, 3.16. ábra, D. kép) a legnagyobb méretű fehérvérsejtek (15-20 μm). A fehérvérsejtek 3-8%-a. Magjuk babalakú és excentrikus elhelyezkedésű. Gyulladás esetén kilépnek az érpályából és kötőszöveti macrophagokká alakulnak.

A **granulocyták** kerek sejtek, magvaik lebenyezettek. A szemcsés fehérvérsejtek a továbbiakban a szemcsék festődése alapján neutrophil, eosinophil, basophil granulációjú típusokra oszthatók. A **neutrophil granulocyták** (1. táblázat, 3.16. ábra, A. kép) a szervezet védekező elemei közé tartoznak. Szegmentált magjukról és szürkés-kékre festődő cytoplasma granulumaikról könnyen felismerhetők. **Microphagoknak** is nevezik őket, a micro jelző méretükre, míg a phag szó arra utal, hogy idegen anyagok bekebelezésére képesek.

Az **eosinophil granulocyták** (1. táblázat, 3.16. ábra, B. kép) tagolt magja a pápaszemre (szemüveg) emlékeztet. Granulumai eosinnal pirosra festődnek. Allergiás megbetegedés esetén számuk a vérben megnő. Átmérőjük 12-14 μm .

3.1. táblázat - A fehérvérsejtek és jellemzőik

Sejttípus	Százalékos előfordulásuk	A sejtmag alakja és a sejtek festődési tulajdonságai	Funkció
Neutrophil granulocytá	55%	Karélyozott sejtmag, Neutrális festékekkel	Elsősorban baktérium phagocytosis
Eosinophil granulocytá	2,5%	Karélyozott sejtmag, Savas festékekkel	Elsősorban antigén-antitest kapcsolat utáni phagocytosis
Basophil granulocytá	0,5–1%	Karélyozott sejtmag, Bázikus festékekkel	Elsősorban histamin ürítés
Hízósejt	–	Főként savas festékekkel szövetekben található	Allergiás reakciókban
Monocytá	4%	Legnagyobb sejttípus, granulumok nélkül	Szövetekbe kilépve macrophaggá válik. Baktérium és vírus bekebelezés
Szöveti macrophag	–	Enyhén savas festékekkel különböző szövetekben	Baktérium és vírus phagocytosis
B-lymphocytá	Összesen 30–35%	Plasma nem festődik	Plasmasejt és antitest termelés
T-lymphocytá		Plasma nem festődik	Vírusok elpusztítása, memóriasejtek termelése

Basophil granulocyták (1. táblázat, 3.16. ábra, C. kép), a neutrophil szemcsés fehérvérsejtekkel nagyjából azonos méretű sejtek. Ezeknek a magja is szegmentált. A plasmában található szemcsék azurkéken csillognak kenetfestés után. Átmérőjük 8-11 μm .

Vérlemezek (thrombocyták). Magvatlan plasmarészek. 2-4 μm nagyságúak, számuk: 150 000-300 000/mm³. Élettartamuk 2-4 nap. Szerepük a vérárvadásban van (ld. „Vérárvadás”).

A vér, a homeosztázis fenntartásában alapvetően szállító funkcióin keresztül vesz részt (3.17. ábra). Az anyagszállítás miatt a vér összetétele jelentősen változhat, de az **izoionia** (ion-összetétel állandósága), az

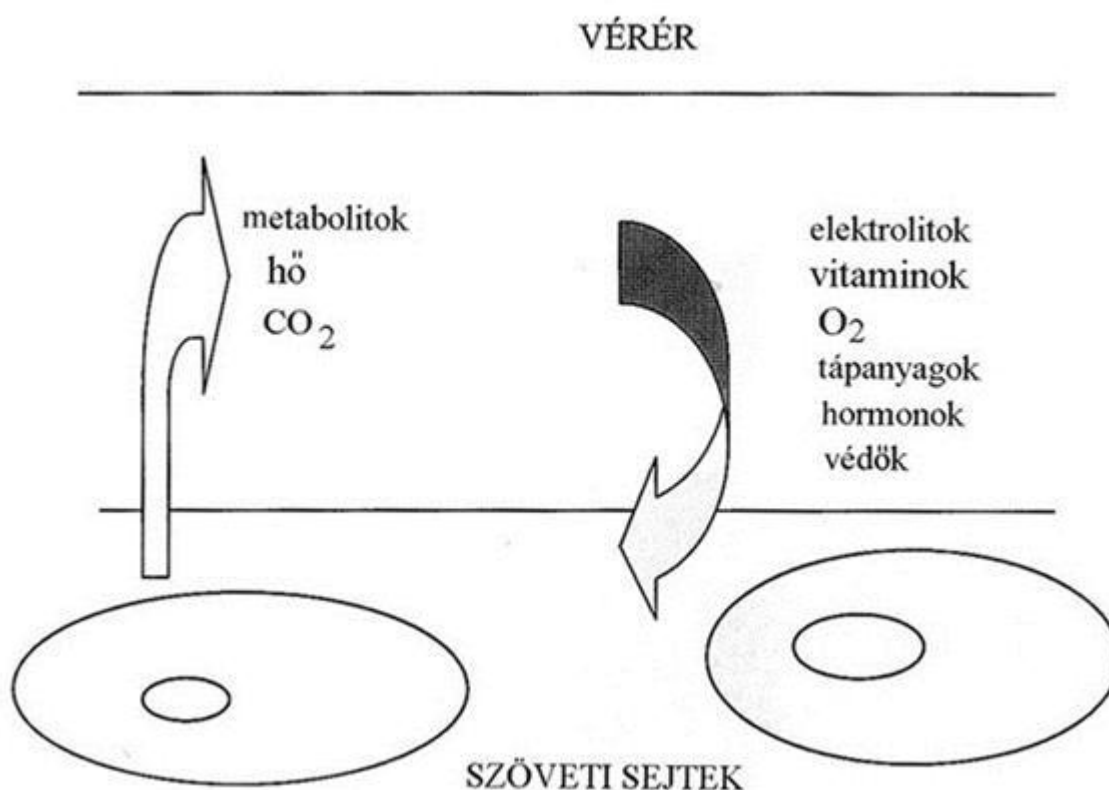
izoosmosis (osmotikus koncentráció állandósága), ill. a hidrogén ion koncentráció (**pH-szabályozás**) állandóságának fenn kell maradni.

Mind a vérplasma, mind a sejttes elemek részt vesznek az anyagok szállításában. A vérplasma adja tehát a vér kb. 55%-át. Ennek mintegy 91%-a víz, a maradék 7% fehérje, ill. 2% adja a vízben oldott elektrolitokat, tápanyagokat és a vérrel szállított hormonokat.

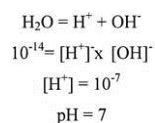
pH-szabályozás

A pH a hidrogén-ion koncentráció negatív tizes alapú logaritmus (pH = $-\lg [H^+]$). Az ion-háztartás homeostasisában (*izoionia*) erről a rendszerről külön beszélünk (3.18. ábra).

3.17. ábra - A vér által szállított anyagok



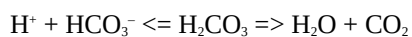
3.18. ábra - A víz disszociációja



A vér pH-ja normál körülmények között enyhén lúgos 7,35-7,45 között változik (3.19. ábra). Ha a vér pH-ja savas irányba tolódik, **acidózisról**, és ha lúgos irányba, **alkalózisról** beszélünk. A hidrogén-ion koncentrációjának megváltozása a legtöbb enzimatikus folyamatra gátló hatású, ezért nagyon fontos a pH szigorú szabályozása.

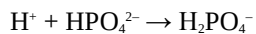
Ennek érdekében **puffer-rendszerek** működnek a szervezetben. A puffer egy gyenge sav erős bázissal képzett sója, vagy fordítva. Ezek a sók általában nagy mennyiségben képesek H⁺ felvételére anélkül, hogy szerkezetük, vagy a környezet pH-ja megváltoznék. A vér puffer-rendszereihez tartozik a bikarbonát (szénsav)- puffer, a foszfát-puffer és a vérplasma néhány fehérje alkotórésze mellett a hemoglobin is.

Az alábbi egyenlet adja a szénsav-puffer működési elvét:



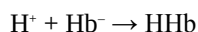
A hidrokarbonát ion a hidrogén ionokat eliminálja a vérből. A keletkezett szénsavból a széndioxid kilégzéskor a légterbe kerül. A felesleges víz a térfogat-homeosztázisában tárgyalt rendszereken keresztül ürülhet ki a szervezetből.

A foszfát-puffer a Na_2HPO_4 , ill. a NaH_2PO_4 , és más foszfátsók oldása során képződő negatív töltésű hidrogénfoszfát ionok H^+ -ion felvevő képességén alapszik (sosem foszforsav!).



E puffer-rendszer segítségével is szabályozódik a hidrogén ionok ürítése a vese distális tubulusaiban.

A vérplasma fehérjéi szintén fontos szerepet játszanak a pH-szabályozásban. Az albuminok mennyiségük, moláris koncentrációjuk, valamint térszerkezetük alapján is a legfontosabbak ebben a tekintetben. Nem szabad megfeledkeznünk azonban a hemoglobin (Hb) molekula puffer-kapacitásáról sem. Ez a molekula alapvetően az O_2 szállításért felelős. Ha azonban éppen nem tartalmaz kötött oxigént, akkor képes a H^+ ionok megkötésére:



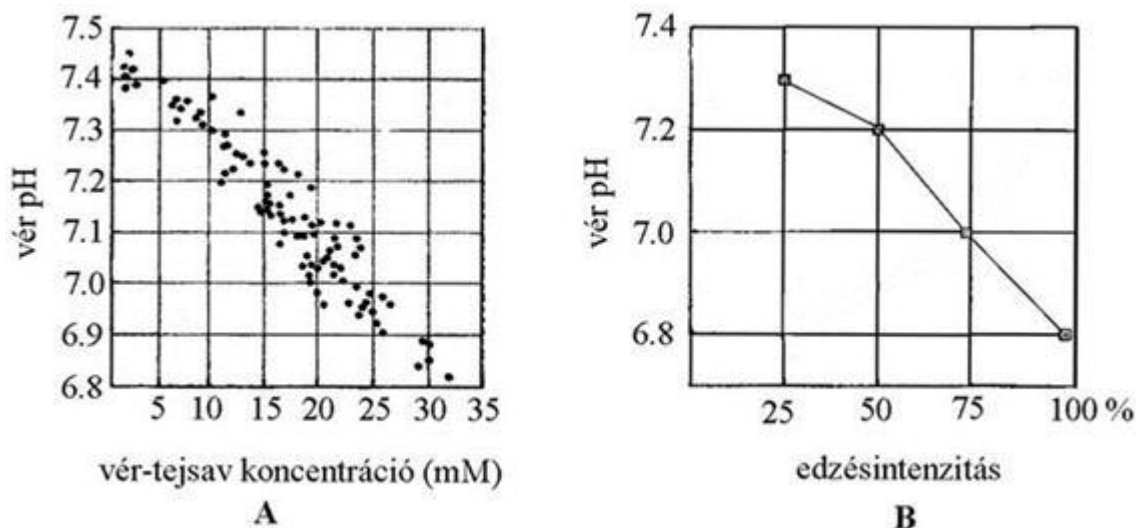
Ekkor azonban nem képes oxigén megkötésére mindaddig, amíg a H^+ iont le nem adja. Nagy és tartós terhelés esetén ennek a Hb-nak hidrogén ionnal való telítődése is hozzájárul az oxigén felvevő képesség romlásához, ílymódon a teljesítmény romlásához, ill. a teljes kifáradáshoz.

3.19. ábra - Különböző anyagok pH-jának és H^+ ion koncentrációjának összehasonlítása a vér hasonló értékeivel

[H ⁺]		pH	
10 ¹		1	tömény sósav, pl. gyomorsav
10 ²		2	gyomornedv, tömény citromlé
10 ³		3	ecet, sör
10 ⁴		4	paradicsomlé
10 ⁵		5	feketekávé (espresso)
10 ⁶		6	
10 ⁷	semleges pH [H ⁺] = [OH ⁻]	6,8	működő izom cytoplasmája
		7	desztillált víz
10 ⁸		7,3-7,45	vér pH-ja
		8	tojásfehérje
10 ⁹		9	sütőpor
10 ¹⁰		10	Nagy Sóstó (USA)
10 ¹¹		11	egyes termálvizek
10 ¹²		12	mosószappan
10 ¹³		13	tűzhelytisztítók
10 ¹⁴		14	tömény NaOH

A működő izom cytoplasmájának pH-ja 6,8 körüli érték. Ennek oka a glikolízis során a **tejsav (laktát)** termelődése és felhalmozódása, elsősorban az anaerob körülmények között végzett munka során. A laktát a keringésbe kerül, majd onnan a májba, ahol a köztianyagcsere során átalakul piroszölősavvá. Nagy terhelés hatására a működő szívizomsejtek nagy mennyiségben vesznek fel tejsavat és használják fel. A nagy mennyiségű tejsav a vér pH-jának változását idézi elő. Így a vér pH-jának ismeretében a vér-tejsav szintje megbecsülhető, ill. fordítva, a vér-tejsav szintjének ismeretében pH-ja becsülhető meg (3.20. ábra). Nyugalmi állapotban a vér laktát szintje 0,63-2,44 mmol/l (pH ≈ 7,44). Egy maximális intenzitású 200 m-es úszás során a laktát-szint jó anaerob kapacitás és jó teljesítmény mellett 9,5-10 mmol/l-re változhat (pH 7,3). Egy maratoni, egy ultramaratoni futó, vagy egy ironman vérenek savasodása még jelentősebb. A 20 mmol/l körüli tartomány a vér pH-ját 7,0 körüli értékre változtatja. Ez a legtöbb ember esetében szédülést, nagyon rossz közérzetet, esetleg ájulást is okoz. Ez az alacsony pH a fent említett sportágak képviselőinél nem okoz tüneteket. Az acidózis fokozódása 20-30 mmol/l laktát-koncentrációt jelent. A vér pH-ja ez esetben 6,8 körül van, amely a legtöbb embernél azonnali kómát vagy halált okoz. Vannak azonban olyan élsportolók, akik egy versenyt ilyen vér pH mellett fejeztek be, és ezt súlyosabb élettani következmények nélkül élték túl.

3.20. ábra - A vér pH-ja és tejsav koncentrációjának összefüggése



A: A vér pH változása a laktát koncentráció függvényében, **B:** a pH és az edzésintenzitás összefüggése

Az **alkalózis** ritkább folyamat a szervezetben. Kialakulása elsősorban a jelentős mennyiségű széndioxid kilégzéséhez köthető. Ez előfordulhat fúvós hangszereken történő tartós muzsikálás, ill. magaslati edzés során. Magaslaton a levegő O_2 tartalma kisebb, ez oxigénhiányhoz vezet, amelyet elsődlegesen szaporább légzéssel kompenzál a szervezet. A kilégzés gyakorisága és mélyülése következtében csökken a vér CO_2 tartalma, a vér lúgosodik. Ennek hatására a szervezet adaptálódása a pH visszaállítása érdekében HCO_3^- -ion ürítésével történik a vesén keresztül. Ehhez néhány napra van szükség. Mind az acidózis, mind az alkalózis létrejöhet az oxigén és széndioxid csere vagy az anyagcsere változása következtében (légzési és metabolikus acidózis, alkalózis; ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Légzőszerdszer” c. fejezetében).

Az ionösszetétel állandóságára való törekvés az intracelluláris és az extracelluláris tér különbözőségét is jelenti. Mind a kationok, mind az anionok eloszlása fontos a sejtek működése, transzport- ill. enzimatisz folyamatok szempontjából. A különböző testfolyadékok és a sejtek ionösszetétele nagyon különböző lehet (2. táblázat).

Az osmotikus viszonyok állandóságához (**izosmosis**) a Na^+ -ion koncentráció szabályozása is hozzátartozik.

Különböző fajokban százalékos eltérések lehetnek, de az emlősök általában 0,9%-os NaCl-oldat tartalmú vérplasmával rendelkeznek. Ennek a koncentrációnak a sejten belüli és sejten kívüli terekben is azonosnak kell lennie ahhoz, hogy a sejt működése, térfogata stb. ne változzon. Ezt az állapotot **izotóniás állapot**nak nevezzük.

3.2. táblázat - Az ember vérplasmájában és az izomsejtek cytoplasmájában lévő ioneloszlások

Ionok	Vérplasma (mM)	Izomsejtek cytoplasmája (mM)
Kationok		
Na^+	142	12
K^+	4	150
Ca^{++}	5	4
Anionok		
Cl^-	103	4
HCO_3^-	26	12
Fehérje	16	54

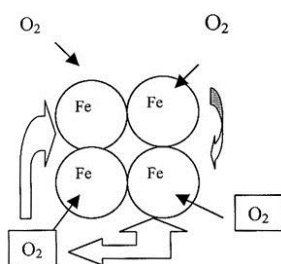
Abban az esetben, ha az oldott anyag koncentrációja csökken a sejten kívüli térben (**hypotóniás oldat**) a koncentráció-kiegyenlítés érdekében víz áramlik a sejt belsejébe (**osmosis**), így a sejt megduzzad. Ha az extracelluláris térben az oldott anyag koncentrációja nagyobb lesz (**hypertóniás oldat**), mint az intracelluláris térben, a víz kiáramlása miatt a sejt zsugorodik. Mindkét esetben a térfogat változásával a sejt működése is megváltozik, szélsőséges esetben a sejt membránja felszakad. (Pl. ha 0,4%-os NaCl oldatba helyeznénk őket.).

A vörösvértestek feladatai

A **vörösvérsejtek** sejtmagjukat érésük során elvesztik. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a sejtmag helyére hemoglobin épülhet be. A vörösvértest alapvető feladata az oxigén és a széndioxid szállítása. A hemoglobin az O_2 -t molekuláris formában, és nem kovalens kötéssel köti meg.

A **hemoglobin** térszerkezetét tekintve gömbszerű fehérje, amelynek nem-fehérje természetű része a hem. A hemoglobin egy négy funkcionális egységből felépülő molekula. Ez a négy alegység (tetramer) nem kovalens kötéssel kapcsolódik egymáshoz (3.21. ábra). A hemoglobin hem része, amely Fe^{3+} -ionja segítségével köti meg az oxigént, kovalens kötést is képes kialakítani pl. a szénmonoxid molekulával. Ez a kötés nagyon stabil, s emiatt a megkötött CO molekula napokig nem válik le a hemoglobinnal. Emiatt nagyon veszélyes a CO mérgezés, mivel oxigén adagolásával nem szorítható le a hemoglobin molekuláról. A hemoglobin tetramer szerkezete biztosítja annak O_2 -megkötő tulajdonságait. A négy molekula kaszkád-rendszer alapján köti meg az oxigént. Az első molekula nehezen, a második könnyebben, a harmadik ezek után még könnyebben, a negyedik molekula pedig a leggyorsabban képes az O_2 megkötésére. Ugyanez zajlik az oxigén leadásakor is.

3.21. ábra - A hemoglobin tetramer szerkezete



Egy hetven kilós ember szervezetének teljes vastartalma kb. 4 g, melynek 70%-a hemoglobinban található. A szervezet normális működéséhez 10-15 mg vasat igényel naponta. Ehhez kb. a tízszeresét kell bevinni a szervezetbe, a vas felszívódása ugyanis kis hatásfokú. A nőkben még ez a mennyiség is kevésnek bizonyul, mivel menstruáció, terhesség, vagy női sportolóknál a nagy terhelés, esetleg a magaslati edzés tovább fokozza a vas-szükségletet (kb. 25-35 mg/nap). A vas felszívódása csak egy speciális szállítórendszer segítségével jön létre. A vékonybél proximális szakaszában ferro (Fe^{2+})-ionná redukálódik. Ekkor a ferritin nevű szállítófehérjéhez kapcsolódik, amely átszállítja a bél falán és átadja a transzferrin nevű szállítófehérjének (ld. „Vérplasma”). A transzferrin a vasat csak ferri (Fe^{3+}) formában képes felvenni és szállítani. A vérplasmából a vas az ún. vasraktárakba (lép, máj, vöröscsontvelő) jut. A hemoglobinnal kívül a vas fontos építőanyaga még a mioglobinnak, a citokrómnak is.

A hemoglobin kiszabadul a vörösvértestből annak elpusztulásakor. Fisiológiai körülmények között a hem bilirubinná alakul, mely az epében (epefesték) raktározódik, ill. ürül a vékonybélbe. Ott tovább bomlik sterkobilinogénné, ami a széklet színező anyagát adja.

A vörösvértestek O_2 -szállító funkciója miatt nagyon lényeges, hogy számuk a normál tartományon belül maradjon. A vörösvértestek számának, és így a hemoglobin tartalom csökkenésének következtében vérszegénység (**anémia**) alakul ki. A vérszegénység kialakulásának okai lehetnek:

1. A vörösvértestek pusztulása (pl. az osmotikus viszonyok megváltozása, vagy májbetegségek stb. miatt).
2. Jelentős vérvesztés (pl. sérülések, nagy vérvesztéssel járó menstruációk).
3. A csontvelő működési defektusai.
4. Erythropoetin vesztés, amikor nem megfelelő vörösvérsejttermelés alakul ki. Pl. vesebetegeknél.
5. Étrendi problémák (pl. vashiányos étkezés, vasszorbálás zavar, B12-vitamin, ill. folsav hiánya).

Egy normál vérképben erről felvilágosítást ad a hematokrit-érték mellett a hemoglobin (37,7-50 mg/l) és a vörösvértest mennyiség, a vörösvértest átlagos térfogata (= MCV), amelyet úgy kapunk meg, hogy a hematokrit értéket elosztjuk a vörösvértest számmal [(80-97 fl (femtoliter); ld. Ángyán: Sportélettani vizsgálatok].

Abban az esetben, ha az anémia gyógyszerek szedése mellett sem, vagy csak kis mértékben javul, akkor a vérben mérhető Fe-szállító fehérjék mennyiségét is megméri (pl. transferrin). A vas felszívódását gátolhatják különböző élősokdók is a bélben.

A vörösvértesteket érintő betegség a **sarlósejtes vérszegénység** (3.22. ábra). Ez a vörösvértestek alakját érintő probléma monogénesen (egy gén, allélpár), domináns-recesszív módon öröklődik. A génhiba a hemoglobin aminosav sorrendjét érinti (glutamin helyett valin van), melynek következménye a hemoglobin alakjának és oxigénmegkötő képességének megváltozása. Az oxigénmegkötő képesség csökkenése okoz tüneteket: így ha az O₂ parciális nyomása csökken, ill., ha acidózis alakul ki. Mindkét esetben a vörösvérsejtekben lévő hemoglobin molekulák aggregálódnak (összecsapzódnak), melynek következtében a vörösvérsejt alakja sarló, vagy félhold formájúvá változik. Innen ered a betegség neve is.

A vörösvértest membránja merevvé válik és könnyen „törik”. A merev membrán miatt a vörösvértest nem tud áthaladni a hajszálereken, törése következtében pedig a vörösvértest elpusztul, a hemoglobin szabadon áramlik a vérplasmában. Az immunrendszer RES-ben lévő sejtjei pusztítják a kóros sejtet.

3.22. ábra - A sarlósejtes vérszegénység öröklésmenete

Gaméták	HbA (egészséges)	HbS (beteg)
HbA (egészséges)	HbAHbA (egészséges)	HbAHbS (egészséges)
HbS (beteg)	HbSHbA (egészséges)	HbSHbS (beteg)

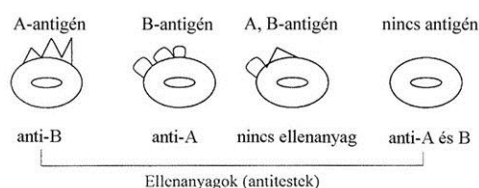
A sarlósejtes vérszegénységet hordozók túlélési esélyei jelentősen javulnak pl. Afrika malária-fertőzött vidékein. A beteg vörösvértest a **malária parazita** szaporodási ciklusához szükséges környezetet nem tudja biztosítani. A sarló alakú vörösvértestben ugyanis felborul az ioneloszlás, kálium ionok szöknek folyamatosan a sejtől. A betegséget hordozók tehát nagy valószínűséggel nem lesznek maláriások. Afrika egyes területein a lakosság 60%-a HbS alléllal bír. Az amerikai-afrikai lakosságban ez a hibás allél már csak 10%-ban található.

Vércsoportok

A vörösvértestekhez szorosan kötődő tulajdonság. Minden élő sejt felszínén léteznek glikoproteinek, amelyek szerkezete az adott fajra, vagy az adott egyedre jellemzőek. Ezek segítenek a „saját” és „nem saját”, azaz idegen sejtek, anyagok felismerésében. Ezek az anyagok nemcsak a vörösvértest membránján találhatóak, hanem az egyed minden sejtjén. **Antigéneknek** vagy **agglutinogéneknek** nevezzük őket, mert alkalmasak más anyagokhoz való kötődésre, kicsapódásra (agglutináció). Azokat a fehérjemolekulákat, amelyek a kicsapódást elősegítik **ellenanyagoknak** (**agglutinin**, **antitest**) nevezzük. Ha nem a saját antigén-szerkezetű molekulákat talál szervezetünk egy sejtén, azt testidegennek fogja tekinteni, ellenanyagaink segítségével elpusztítja azt. Ez a vércsoportok esetében sincs másként, emiatt nagyon lényeges ismerni egy személy vércsoportját pl. vérátömlesztés (**transzfúzió**) előtt.

Valójában nem vércsoportról, hanem vércsoport-rendszerekről beszélünk. Ezek közül a legismertebbek, és leggyakrabban használatosak az **AB0 és az Rh-vércsoport rendszer**. Egyetűjű ikrek vércsoportja azonos. A vörösvértest felszínén jelen lévő glikoproteinek közül az A és a B vércsoportot meghatározók egyforma erősségű domináns gének. Mivel AB-vércsoport is létezik a két antigén a kodominancia elve alapján (azonos érvényre jutás) öröklődik. A 0-ás vércsoport recesszíven öröklődik, ebben az esetben gyakorlatilag hiányzik a vörösvértest felszínéről az agglutinogén (3.23. ábra).

3.23. ábra - Vércsoport antigének és antitestek



A vörösvértest felszínén 0-ás vércsoport esetén nincs antigén, tehát nem tud ellenanyag hozzákapcsolódni. Az AB-vércsoportúaknál mindkét antigén jelen van a vörösvértest felszínén, de mivel nincs antitest (ellenanyag) a vérplasmában, ezért nem jöhet létre agglutináció. Ennek alapján világossá válik az a jól ismert tény, hogy a 0-vércsoportú ember az általános adó, az AB-vércsoportú, pedig az általános kapó. A vörösvértest felszínén 0-ás

vércsoport esetén nincs antigén, tehát nem tud ellenanyag hozzákapcsolódni. Az AB-vércsoportúaknál mindkét antigén jelen van a vörösvértest felszínén, de mivel nincs antitest (ellenanyag) a vérplasmában, ezért nem jöhet létre agglutináció. A transzfúzióval bejuttatott ellenanyagok ugyanis annyira hígulnak, hogy ezért csak nagyon lassan okoznak agglutinációt.

Természetesen transzfúzió esetén igyekeznek vércsoport azonos vért juttatni a szervezetbe.

Az öröklésmentet a *Punnett*-táblák felírásakor jól nyomon követhető (3.24. ábra)

3.24. ábra - A homo (AA) és heterozygóta (A0) A, valamint a heterozygóta (B0) B vércsoportú egyedek lehetséges utódainak genotípusai

Gaméták	A	A
B	AB	AB
0	A0	A0

Gaméták	A	0
B	AB	B0
0	A0	00

Az AB0-vércsoportrendszer kodomináns öröklésmentete

Fenotípus szerint az A0 genotípus A-, a B0-genotípus B-, az A és B allél együttes megjelenése AB-, a 00-genotípus pedig 0-vércsoportot jelent.

A különböző nagyrasszokban a vércsoportok előfordulási valószínűsége nem azonos. Az európai nagyrasszban az A- és a 0-vércsoport közel azonos arányban fordul elő (kb. 40-45%), míg a B-vércsoport a populáció kb. 10%-ban van jelen. Az AB-vércsoport az európaiak kb. 4%-ban található meg. A mongoloidoknál a B-vércsoport kb. 28%-ban fordul elő, és kb. ugyanilyen arányban van jelen az A-vércsoport antigén is. Ebben a populációban gyakoribb az AB-vércsoport is (kb. 13%). A negrideknél a vércsoportok előfordulása hasonlít a mongoloidokéhoz, de az AB-vércsoport ritkább. Az amerikai őslakosság vércsoporteloszlása nagyon különleges, mert 97%-uk 0-s vércsoportú.

A humán populációkban nagyon lényeges az **Rh-vércsoport rendszer** is. Ez is domináns-recesszív alapon öröklődő, monogén (egy génpár által öröklődő) vércsoport. Ezt az antigént *Rhesus macacus* majomban fedezték fel (Landsteiner, 1940). Az antigén (agglutinogén) vagy jelen van a vörösvértest membránján (Rh⁺), vagy nincs (Rh⁻). Fiológiai körülmények között ebben a vércsoportrendszerben nem kering **agglutinin** (ellenanyag) a vérplasmában. Termelődése akkor indul meg, ha az Rh⁻ vércsoportú egyén vérebe Rh⁺ vércsoportú vér jut. Ebben az esetben a szervezet lassan anti-Rh ellenanyagot kezd termelni (anti-D ellenanyag). Ez abban az esetben fordulhat elő, ha pl. egy Rh⁻ anya magzata Rh⁺ (3.25. ábra). Ekkor szülés során az anya és a magzat vére érintkezésbe kerülhet egymással. Az anyában egy lassú ellenanyag termelés indul meg, amely a második terhesség esetén mind az anyát, mind a magzatot veszélyezteti, még akkor is, ha a magzat Rh⁺. Ennek megelőzésére az Rh⁻ anyák szülés után anti-anti-D injekciót kapnak.

3.25. ábra - Az Rh faktor öröklődésmentete

Gaméták	+	+
-	+-	+-
-	+-	+-

Gaméták	+	-
-	+-	--
-	+-	--

(+ a faktor meglétet, - a faktor hiányt jelzi, +- heterozygóta, -- homozygóta)

Egy vágott vagy szúrt seb azonnal a homeosztázis felborulásához vezet, vagy vezethet. A bőr folytonosságának megszűnésével kaput nyitunk a kórokozónak (ld. „Immunfolyamatok”), másrészt az ér folytonosságának megszűnésével felborul az izovolémia, izoionia és az izotermia is (ld. „A vér szállító funkciói”). Így a szervezet azonnali reakciói közé tartozik a lokális érszűkítés. Ez részben egy gyors reflex folyamat, másrészt a **vérlemezkéknek (thrombocyta)** köszönhető. A véralvadás gyakorlatilag nem valósulhat meg in vivo körülmények között thrombocyták nélkül.

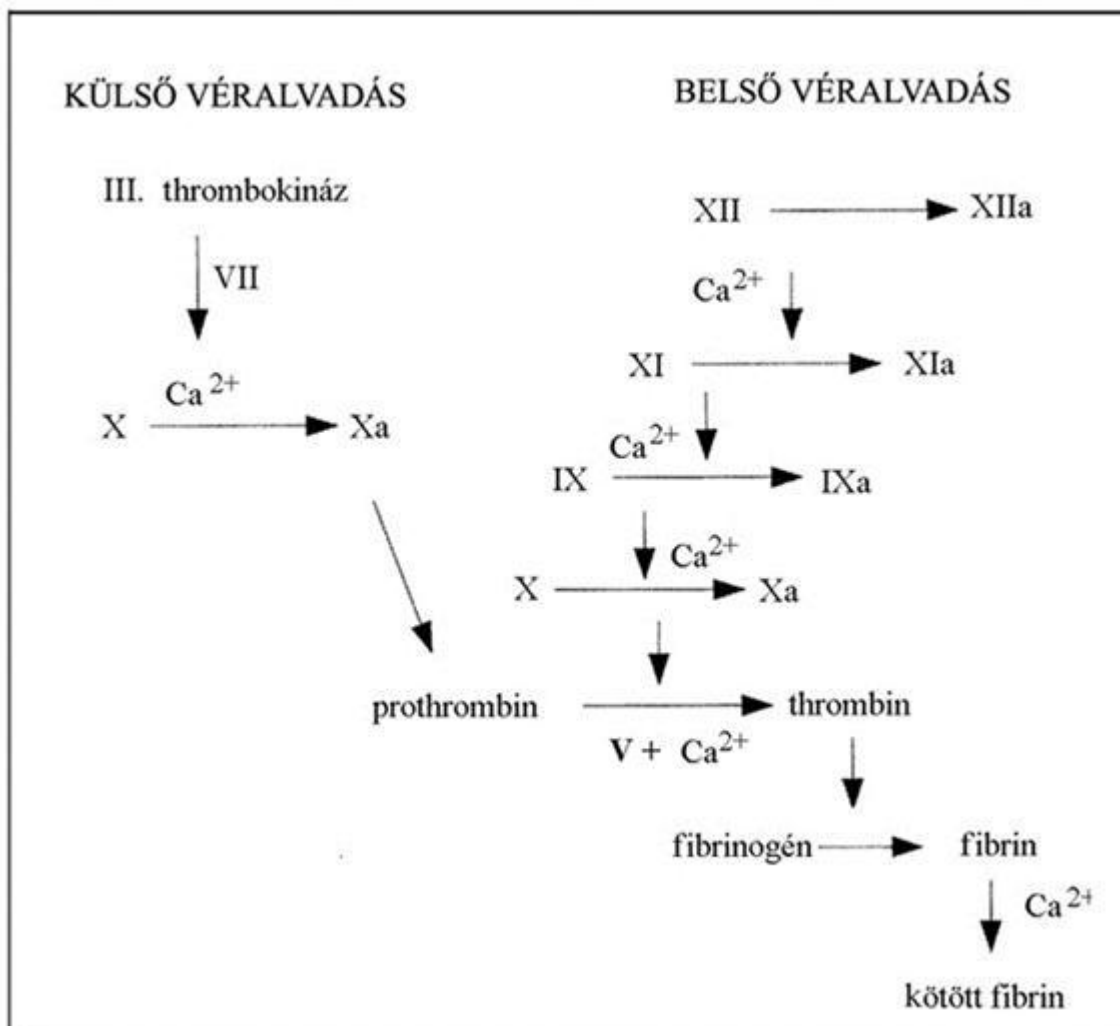
A **vérlemezkék** a megakaryocytákból alakulnak ki, mégpedig azok cytoplasmájából válnak le. Életidejük is rövid, 9-11 nap. Mitochondriumokkal, szemcsékkel, és csőrendszerrel gazdagon ellátottak. Tömött szemcséik raktározzák a szerotonint és az ADP-t (adenozin-difoszfát). Előbbi az érszűkítésért, az utóbbi pl. a vérlemezkék összetapadásáért felelős. Mint kémiai inger a thrombocyta koagulációért (összecsapzódás), és az állábképzésért felelős. Az alfa-szemcsék különböző hidrolitikus enzimeket tartalmaznak.

A plazmában számos egyéb fehérje is megtalálható, melyek pl. a vérlemezkék összehúzódásáért felelősek. A vérlemezkék plazmájában nagy mennyiségben találunk glikogén szemcséket, mivel anyagcseréjükre az anaerob glikolízis jellemző. A membránokhoz kötött nagymennyiségű foszfolipid pedig a véralvadás másodlagos folyamataiban játszik döntő szerepet.

A sérülés keletkezésekor az érintett érszakasz endothel sejtei összehúzódnak, a vérér belső felszíne durva („ráncos”) lesz, ennek következményeként a vérlemezkék azonnal kitapadnak a felszínére. A megváltozott áramlási viszonyok miatt azonban ezek a kis sejtörmelékek sérülnek, s a bennük tárolt *serotonin* lokális érösszehúzódást eredményez. A keresztmetszet csökkenése az átáramló vérmennyiséget is csökkenti, így a vérvesztés mértéke is kisebb lesz. Ugyanezek a vérlemezkék a sérült területre való kitapadásukkal egy „dugót” képeznek az érintett területen. Ehhez némi alakváltozáson mennek keresztül. Az eddig kissé tojásdad sejtek állabakat növesztenek, melyek segítségével összekapcsolódnak, s kialakítják az ún. **fehér trombus**. Ez az elsődleges akadály a vérvesztést jelentősen gátolja, azonban nem elég stabil a véráramlás, ill. az ember mozgásai ellenében. Így nagyon fontos szerep jut a véralvadás második jelentős fázisának, amelyet röviden **vörös trombus** kialakulásként is említünk. Az összetapadt vérlemezkéket egy fibrinháló tartja össze. A fibrin előfehérjéje a fibrinogén a vérplasma része, és folyamatosan kering a vérárammal együtt a szervezetben. Méretét tekintve a vérplasma fehérjéi között az egyik legnagyobb. Molekulasúlya 350 000, a máj termeli. A molekula három golyószerű alegységből áll, amelyek fonálszerű részekkel kapcsolódnak össze. Életideje 2-7 nap. A **thrombin** igen kis molekula a fibrinogénhez képest. Előanyaga a prothrombin, amely a májban termelődik K vitamin jelenlétében. A thrombin szerkezetében és hatásaiban is hasonlít a tripszinhez (ld. A sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezetben), tehát alapvetően egy fehérjebontó enzim. Thrombin hatására a fibrinogénből két különböző rész lehasad, és ezután képes a fibrinogén polimerizációval fibrinné alakulni. Ennek során a nagy molekulású fibrinogén többmilliós molekulású fibrilláris struktúrájú fehérjévé alakul. A fibrinháló kialakulásához egy kaszkádrendszer beindulására van szükség. Ennek a rendszernek a képviselői a vérplasma fehérjéi között inaktív formában folyamatosan keringenek a vérárammal együtt, ill. a vérlemezkék membránjára tapadva vagy szemcséiben tároltan találhatók meg. Maga az öngerjesztő folyamat kétféleképpen, a külső, ill. a belső úton mehet végbe.

A *belső mechanizmus* kizárólag a vérplasma fehérjéi segítségével játszódik le, akár az érrendszeren kívül is, a külső véralvadás szöveti faktorok részvételét is igényli (3.26. ábra).

3.26. ábra - A véralvadás folyamata



A **külső véralvadás** (általában sérülésnél) egy szöveti faktor (III. faktor, trombokináz) aktivizálódásával indul, mely a VII. faktort teszi aktívvá, majd a kettő együtt kalcium és foszfolipidek segítségével aktiválja a X. inaktív faktort. A Xa faktor kalciummal foszfolipidekkel és az Va aktív faktorral együtt a prothrombinból aktív trombin molekulát képez. A trombin a fibrinogént aktiválja, amely fibrinné alakul, majd egy polimerizációs folyamat során egy szabad szemmel is jól látható hosszú fehérje-fonallá alakul.

A **belső véralvadás** (sérülésnélküli alvadék-trombus képződés) hosszabb folyamat. A XII. (Hageman-faktor) aktiválódása indítja. A faktor hiánya nem vezet a véralvadás teljes hiányához, de az alvadási idő jelentősen meghosszabbodik. A XIIa pedig a XI. (Haemofília-C) faktort aktiválja. Hiánya enyhébb vérzékenységet okozhat. A XIa nagy mennyiségű kalcium jelenlétében a IX. (Haemofília B, Christmas) faktort aktiválja. Hiányában szintén vérzékenység alakul ki, s mivel a májban termelődik, májbeteg egyéneknél alacsony képzési szintje miatt szintén lehetnek véralvadási zavarok. A IXa faktor aktiválja a X. faktort. Ezen a ponton találkozik a két folyamat, mert a továbbiakban ugyanúgy zajlik minden, mint a külső véralvadás során.

A külső és belső véralvadás *in vivo* valószínűleg mindig párhuzamosan zajlik egymás mellett. A sérülés jellege határozza meg, hogy melyik folyamat van túlsúlyban adott élettani körülmények között. A 3.26. ábrán is jól látszik, hogy a legtöbb lépés csak kalcium jelenlétében zajlik, ezért az esetleges kalcium hiány a véralvadási folyamatok lassulásához vezet. Hasonlóan fontos a K-vitamin jelenléte (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezetben), amely több véralvadási faktor, (pl. a IX. és X. faktorok) szintéziséhez elengedhetetlenül szükséges. K-vitamin hiány alakulhat ki hosszú idejű antibiotikum kezelés hatására is, mert az antibiotikumok elpusztítják a bélcsatorna normál bélflóráját, ami szintetizálja a K vitamint.

A képződött fibrinháló a vérlemezkék állabaira tapadva körbefonja a fehér trombuszt, s mivel ebben vörösvértestek is fennakadnak, ezért nevezzük **vörös trombusnak**. Ha kémcsőben álló és megalvadó vért vizsgálunk, alvadás után néhány órával a véralvadék (**vérlépeny**) sárga nedvet ereszt (*serum*), elválk a szilárd fázistól, miközben az összehúzódik.

Itt érdemes megjegyezni, hogy a legismertebb véralvadási zavar az X kromoszómához kötött genetikai rendellenesség következménye, melynek oka a VIII. faktor hiánya. Ezért hívják **antihemofiliás globulin**nak. Mivel az allél (Xq, Hemofília A) recesszíven (lappangó öröklésment) öröklődik, csak férfiak betegszenek meg, a nők csak közvetítő szerepet játszanak egészséges X-kromoszómájuknak köszönhetően.

A vérlemezkék feladatai közé tartozik valószínűleg a vérerek endothel sejtjeinek stabilizálása is, mert *thrombocytopenia* során (kórosan alacsony vérlemezkeszám) a vérerek fala átjárhatóvá válik a vér sejtjes elemei számára, s így a gátolt véralvadás miatt lokális bevérvések keletkezhetnek.

A véralvadás során nagyon fontos megemlíteni a **hemolyticus faktorokat** (a véralvadás feloldásáért felelős rendszer), mert ez a faktorrendszer tartja egyensúlyban az alvadékképződés folyamatát. Ezek szintén különböző plazmafehérjék, amelyek faktorok hatására aktiválódnak, pl. a *plasminogén-plasmin átalakulás*. A plasminogén minden testfolyadékban, sőt egyes fehérvérsejtben is megtalálható. Átalakulása során aktív plasmin keletkezik, amely nagy proteolitikus hatású fehérje. Képes a fibrinogén- fibrin, valamint az V. és VIII. faktor bontására is, ilyen módon megállítva a véralvadás folyamatát. Jól ismert alvadásgátló anyag a *heparin* is. Érdekes szerep jut a vérszívó állatok életében a hemolyticus faktoroknak. Az orvosi pióca pl. *hirudint* juttat a frissen ejtett sebbe, így gátolva a préda véralvadási folyamatait.

Egy sportoló életében nagy jelentőséggel bír a véralvadási rendszer megfelelő működése. Nagy fizikai megterhelés hatására különösen a vénás rendszerben fordul elő gyakran az endothel sejtek felületének változása, amely azonnal fibrinképzéshez vezet. Ilyenkor a hemolitikus enzimeknek köszönhető a fibrin azonnali oldása. Ha ez nem történik meg **thrombosisok** (vérrög) keletkeznek, amelyek a keringés hatékonyságának változását, esetenként összeomlását eredményezik.

A sportolók életében gyakoriak a tüdőzési szindrómák is. Ez a tünet-együttes tartósan fennálló nagy fizikai megterhelésre kialakuló *physiológiai stressz*. A szervezet fáradásának, ill. kimerülésének köszönhetően kóros folyamatok indulnak meg. A véralvadás kapcsán ilyen a *thrombosis*, ill. a másik véglet a *hemolyticus faktorok kóros felszaporodása*. Ez egy nyílt sérülés kapcsán életveszélyes is lehet. Érdemes megemlíteni, hogy a **vérdopping** történetének egyik szakaszában egyrészt a vérplasma felszaporítására, másrészt a hemolitikus faktorok szervezetbe juttatására tettek kísérletet. Ezekről a módszerektől elsősorban atlétáknál vártak eredményt. Szerencsére a módszer nem volt eléggé hatásos a teljesítményfokozás szempontjából.

Vérképzés és a vérképző szervek

A vér alakos elemeinek meghatározott élettartama következtében az elpusztult sejtek folyamatos pótlására van szükség. Az új alakos elemek termelődése a vérképző szervekben történik. A folyamat maga a **haemopoézis**. Az alakos elemek eredetük szerint két fő csoportba sorolhatók. Az egyik csoportba – **lymphoid vonal** – tartoznak a lymphocyták, míg a másik csoporthoz – **myeloid vonal** – a vörösvértestek, a granulocyták, monocyták tartoznak.

Születés után a vérképző szerv a vöröscsontvelő (**medulla ossium rubra**), ami a szivacsos csontszövet üregeit tölti ki. A vöröscsontvelő reticuláris kötőszövetből, mint vázszövetből, és szabad sejtekből áll, amit véredények gazdagon hálózhatnak be. Itt a sejtjes elemek képződésének két fővonala van, nevezetesen a reticuloendotheliális és a haemocytoblasticus fővonal.

1./ A reticuloendotheliális fővonal. Ehhez a vonalhoz tartozó sejtek mesenchymális ill. reticulumsejt eredetű phagocytáló sejtek, amelyek fontos szerepet játszanak a szervezet védekezésében. A postnatális élet során a vöröscsontvelőben képződnek mint monocyták s innen kijutva a kötőszövetbe, a májba, és lymphoid szövetekbe vándorolnak.

2./ *Haemocytoblasticus fővonal*. (3.27. ábra). A vöröscsontvelő egyik legfontosabb sejtjei a **haemocytoblastok**. Ezek mintegy 30 µm átmérőjű kerek, mozgásra képes agranuláris sejtek, melyek kolóniaképző tulajdonsággal rendelkeznek. A sejt kolóniák három irányba képesek tovább differenciálódni.

2.1./ *Erythropoeticus alvonal* (3.27. ábra). A **haemocytoblastokból proerythroblastok** képződnek, melyeknek viszonylag nagy a sejtmagjuk, cytoplasmájukban fokozatosan növekszik a ribosomák száma, melyek felelősek a hemoglobin szintéziséért. A sejtben a hemoglobin tartalmának növekedésével egyidőben a sejtmag fokozatosan kisebb és kisebb lesz, feltöredezik és végül a töredékek felszívódnak, létrejön az érett vörösvérsejt, amit vörösvértestnek nevezünk.

2.2./ *Granulocyta képző alvonal*. A sejtek kialakulása ugyancsak a haemocytoblastokból indul, melyek első lépésben **myeloblastokká** alakulnak át (3.27. ábra). Ezeknek a sejteknek a plasmájában azurkék szemecskék

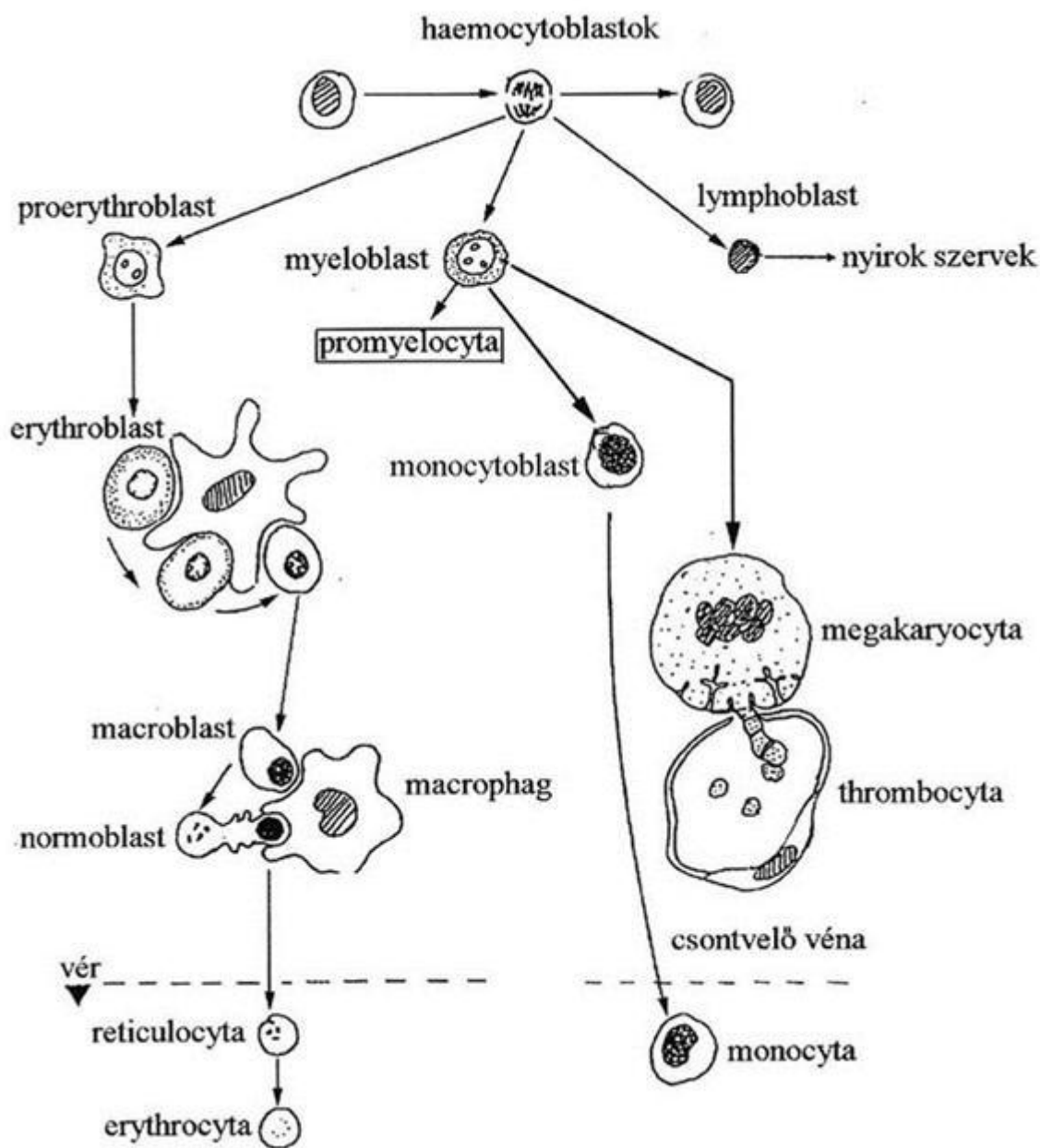
figyelhetők meg. Ebben az állapotban a háromféle granulocytá még nem különíthető el. Ezután válik szét a háromféle sejt képződése a specifikus granulumok megjelenésével. A granulocytákban a szemcsék képződésén túl, a sejtmagok alakú változásai is nyomonkövethetők, mert a kerekded magból több lépésben segmentált sejtmag alakul ki.

2.3./ *Vérlemezkék képződése* (3.27. ábra). A haemocytoblastokból tökéletes mitotikus osztódással alakulnak ki a **megakaryocytá** óriás sejtek. A nagy mintegy 40 µm nagyságú sejtek magja lebenyezett, több cytotentummal rendelkezik. Ezekből a sejtekből kis plasmatóredékek válnak le, amelyek a leválás után maguk a thrombocyták.

Lymphocyták keletkezése

A lymphaticus elemek ugyanannak a sejtörzsnek a származékai, mint amiből az előbb említett vérsejtképző kolóniák alakulnak ki.

3.27. ábra - A vér alakos elemeinek fejlődése

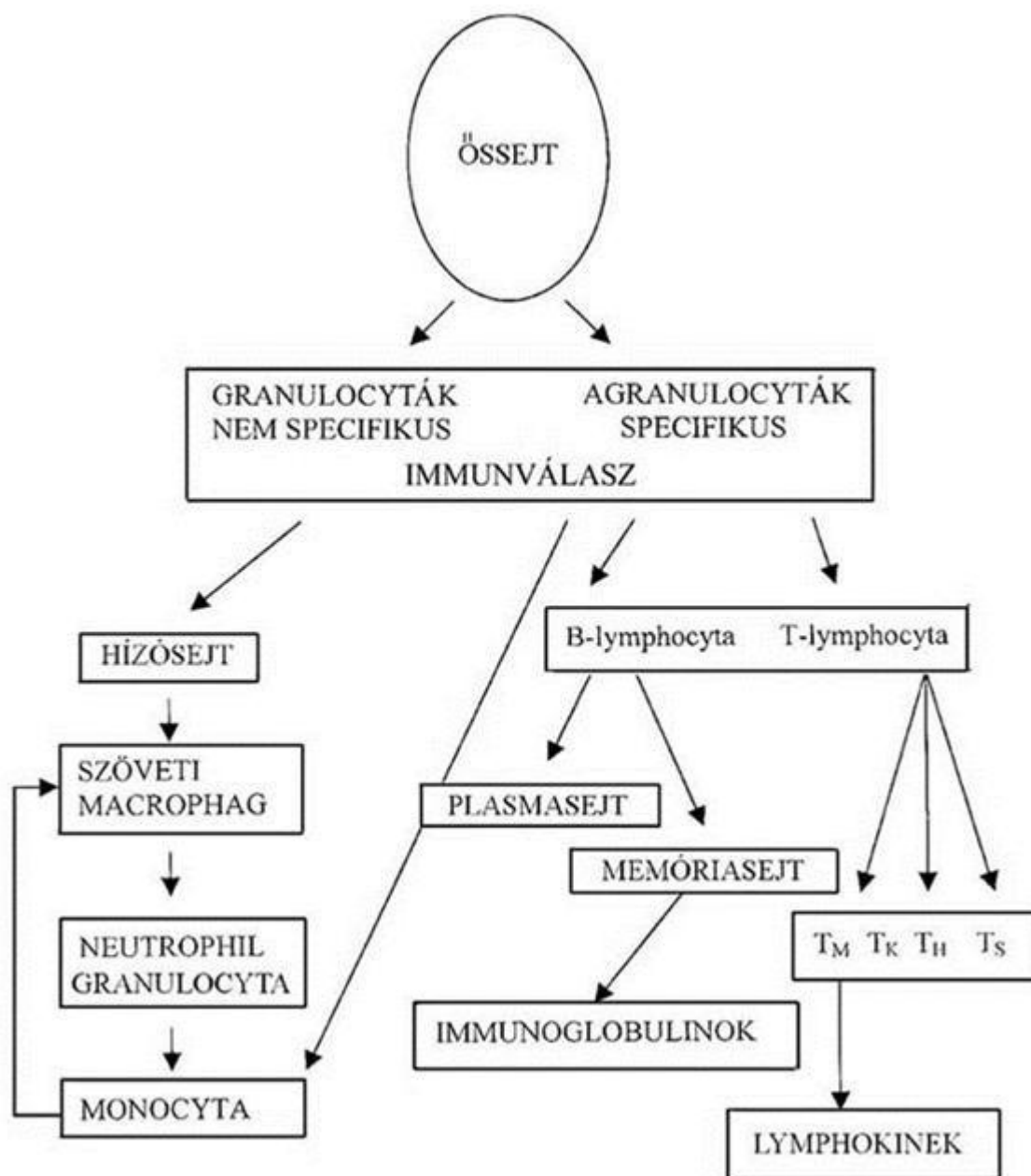


Immunfolyamatok

Sérülés során megszűnik a bőr folytonossága, amely igen kedvező a kórokozók bejutásához. A szervezet védelmére azonnal immunsejtek (**fehérvérsejtek**) támadják meg a baktériumokat és vírusokat. Az elsődleges folyamatokban elsősorban a granulocyták, míg a másodlagos immunfolyamatokban inkább a lymphocyták és a monocyták jutnak szerephez. Ezek ugyanazon őssejtnél különböző alvonalak során keletkezett sejtjei. Ha egy egyszerű horzsolásos sérülést veszünk alapul, amely bármely sportmozgás során keletkezhet, a következő folyamatok játszódhatnak le a szervezetben.

Elsőként a *nem specifikus (celluláris) immunválasz* alakul ki (3.28. ábra), amely azt jelenti, hogy az érintett fehérvérsejtek a kórokozó jellegétől függetlenül ugyanazt a sejtválaszt alakítják ki. A horzsolás helyén lévő hízósejtek hisztamint szabadítanak fel, amelynek lokális értágító hatása van. Az értágulat következtében nagyobb mennyiségű vér áramlik át az érintett területen (sérüléskor jól megfigyelhető a sérült rész pírja), minek következtében az ér endothel sejtjei távolabb kerülnek egymástól. Ennek eredményeként a vérplasmában lévő fehérjék is kijutnak a szövetközi térbe. Mivel ott megváltoztatják az osmotikus viszonyokat, vízfelvételük következtében ödémát hoznak létre (a sérült rész duzzanata). Emellett a vérplasmában lévő fibrinogén fibrinszállakká alakul, s részben megakadályozza a kórokozók szabad bejutását, részben pedig egy alvadékot képez a sérült rész felszínén. Eközben a szöveti macrophagok megkezdik a kórokozók bekebelezését (a védekezés első vonala). Endocytosissal bekebelezzik a betolakodót, majd az így kialakított vesiculákat lysosomáikba juttatják, ahol a litikus enzimek segítségével megemésztődnek.

3.28. ábra - Az immunrendszer működésének bemutatása



Ha a fertőzés veszélye továbbra is fennáll a védekezés másodlagos vonalát jelentő neutrophil granulocyták érkezik a sérülés helyére. Az intravasalis térből állabakat növesztve jutnak ki az extracelluláris térbe, ahol a macrophagokhoz hasonlóan bekebelezik a még élő kórokozókat.

A védekezés harmadik vonalát a monocyták képviselik. Ezek az agranuláris sejtek phagocytosisra nem képesek. A neutrophil granulocytákhoz hasonló szöveti infiltráció után azonban 1-2 óra alatt képesek átalakulni szöveti macrophaggá. Ilyen állapotban fontos szerepet játszanak a maradék kórokozók, ill. az elhalt neutrophil granulocyták eliminálásában. Egyszerű sérülések esetén a három védekezési vonal elegendő, különösen azért, mert a sérült szövet kemotaktikus faktorokat bocsát ki, amelyek a keringésbe jutva növelik a vérben a neutrophil granulocyta ill. monocyta számot. A szöveti fibroblast sejtek ezután megkezdik a hámréteg újjáépítését. Eközben egy váladéktasak keletkezik (genny), amely vagy felszívódik, vagy a maradék nedvet a macrophagok lassan bekebelezik. Ha ez az azonnali immunválasz nem elég hatásos, akkor a kórokozók által kibocsátott toxinok hatására egy lázreakció mellett **specifikus immunválasz** alakul ki. Ebben a folyamatban. kétféle lymphocyta-klón ismert, nevezetesen a T- ill. a B-lymphocyták. Festődésük, morfológiájuk alapján nem különböztethetők meg. Összsejtszámuk kb. 1500-3500/μl. Csecsemő és kisgyermekkorban ennél jóval magasabb a számuk, majd az életkor előrehaladtával fokozatosan csökken. A B-lymphocyták ennek a

sejtszámnak legfeljebb egy ötödét teszik ki. Nevüket végleges érési helyükről kapták. Mindkét sejttípus éretlen állapotban kerül a keringésbe, majd a megfelelő nyirokszervekben fejeződik be érésük.

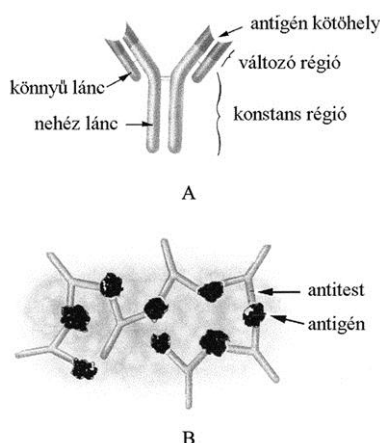
A **T-lymphocyták** érése a thymusban (csecsemőmirigy) játszódik le. Mivel a thymus felnőtt korra fokozatosan elszorvad, így érthető a megfelelő sejtszám csökkenés is. A **B-lymphocytákat** először a madarak speciális nyirokszervében (Bursa Fabricii) fedezték fel. Emberben ez a nyirokcsomóknak felel meg, ahol a lymphocyták érése történik. Alacsony számban folyamatosan jelen van mindkét nyiroksejt-típus a keringésben, fertőzések következtében, vagy nagy stressz hatására a nyirokkeringésen keresztül a vénás- majd az artériás keringésbe kerülnek. A B-lymphocyták a testidegen anyag antigénje ellen antitest termelésbe kezdenek oly módon, hogy az aktiválódott B-sejtek plasmasejtté alakulnak, s klónokat létrehozva nagy mennyiségben termelnek specifikus antitesteket. Az antitestek kapcsolódása az antigénnel a komplement rendszereket aktiválja és a kórokozókat így pusztítja el. Ez a folyamat azonban nem azonnali, néhány naptól néhány hétig tarthat, s **humorális immunválasznak** nevezzük. A plasmasejtek kis része memóriasejtté alakul. Ezek a sejtek kis számban állandóan megtalálhatók lesznek majd a szervezetben, s felszínükön az adott kórokozó ellen termelt antitesteket hordozzák. Ilyen módon alakul ki a **szerzett immunitás**. A memóriasejtek élettartama akár 10 év is lehet. Ez az alapja a mesterséges immunizálásnak is.

Az immunizálás során elölt, vagy legyengített kórokozót juttatnak a szervezetbe aszerint, hogy az adott kórokozó milyen mértékben toxikus. A kórokozó antigénjei ellen lassú antitest termelés indul meg. A cél a megfelelő memóriasejtek létrehozása. Az adott antigénnel való második vagy harmadik találkozás azonban a memóriasejtek felszínén tárolt antitesteknek köszönhetően gyorsabb antitest-termelést, és azonnali immunreakciót eredményez. Magát a folyamatot pedig **aktív immunizálásnak** nevezzük.

Passzív immunizáláson azt értjük, amikor a szervezetbe kész antitesteket juttatunk. Az immunizálásnak ezt a formáját általában a nagyon virulens kórokozóknál alkalmazzák. Számos kórokozó, különösen vírus ellen nem, vagy csak nagy nehézségek árán lehet tartósan védő antitesteket termelni, aminek az adott sejt felszínén lévő antitestek variabilitása az oka. Az influenza vírusra jellemző pl. hogy a burkában jelenlévő glikoproteinek (antigének) szinte évente változnak.

Maguk az antitestek részben a sejtek membránjához kötve, részben a vérplasmában szabadon helyezkednek el. Az antitest szerkezete egy Y-hoz hasonlít (3.29. ábra). Az Y hosszú karja az állandó régió, amely ugyanolyan polipeptid szerkezetű egy antitest osztályon belül. A rövid karja, amely kettős polipeptid-láncból áll a változó régió, amely alkalmas a meghatározott struktúrájú antigén felismerésére. Az Y mindkét rövid karja képes egy-egy antigén megkötésére. Az **immunoglobulinok** öt típusát ismerjük. A legáltalánosabban ismert az **IgG**, amely elsősorban a vérben található és különböző mikrobákat, ill. toxinokat támad meg. Az **IgM** öt antitestből álló szerkezetet alkot. Ezek a fertőzés kezdetekor jelennek meg, s még a betegség lezajlása során eltűnnek a vérből.

3.29. ábra - Az antitest szerkezete



A: az antitest szerkezete, **B:** antigén-antitest komplexek

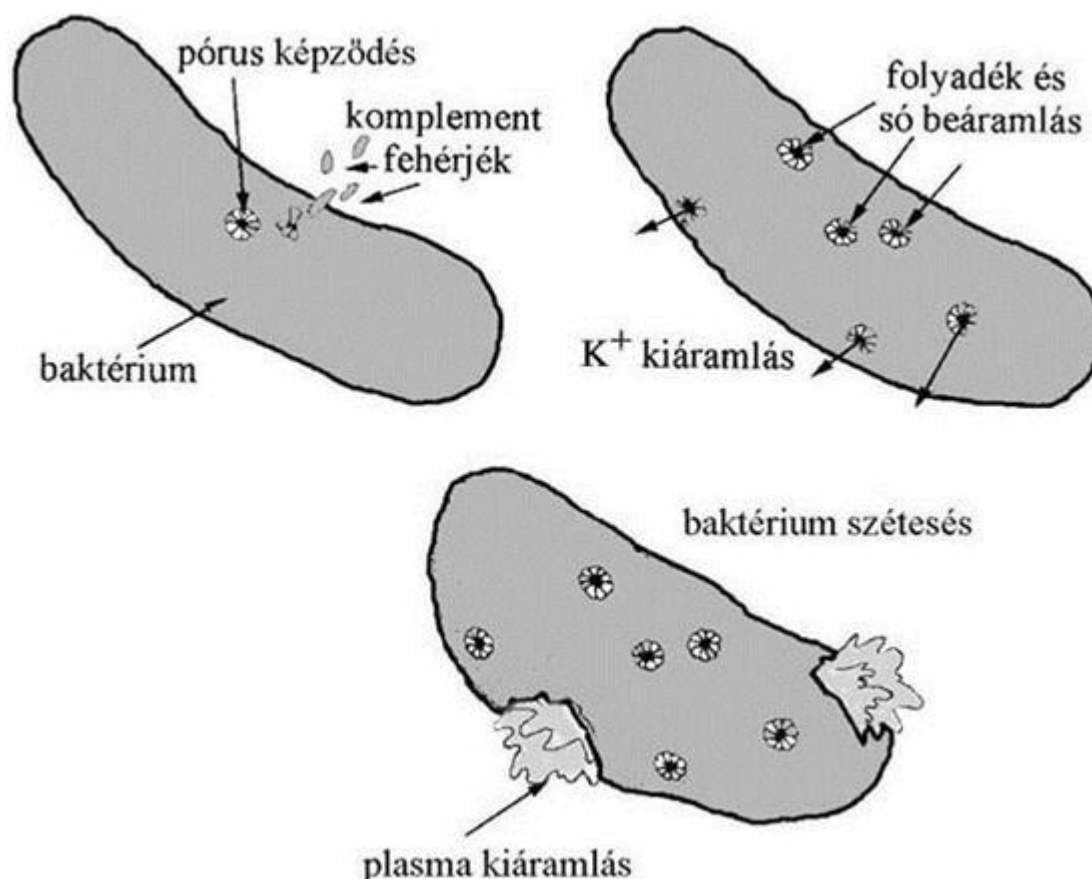
Az **IgA** két molekulából álló komplex, elsősorban a testi folyadékokban található meg, így a nyálban és a tejben is. Az **IgD** a B-lymphocyták membránján található antitestekkel azonos. Az **IgE** az allergiás reakciókban játszik fontos szerepet. Az allergiás reakciók az elmúlt évtizedben fontos szerepet kaptak a populáció 30-50%-nak életében. Az **allergiás reakció** olyan anyagok (antigének melyeket allergénnek nevezünk) ellen alakul ki, amely ellen normál physiologiás körülmények között a szervezet nem indítana reakciót. Az **IgE** nemcsak a vérben,

hanem a hízósejtek membránján is megtalálható. Az allergénnel találkozó hízósejt ezután histamint szabadít fel a granulumaiból, amely számos élettani változás okozója. Miután a hízósejtek a legtöbb életfontosságú szerv szöveteiben megtalálhatók, így kialakulhat hörgőszűkület, és váladéktermelés a hörgőkben, bőrpír vagy csalánkiütések, emésztési zavarok stb. Ez a túlérzékenységi reakció a legújabb kutatások szerint több okra is visszavezethető. Részben a kisgyermekkorban túl sterilen tartott környezetnek, részben pedig az urbanizáció okozta környezeti változásoknak (levegő, talaj, peszticidek, mesterséges adalékanyagok stb.) tudható be. Bizonyos allergiás reakciók megszüntethetők az allergén rendszeres kis dózisu szervezetbe juttatásával, mely az IgG felszaporodásához vezet, és megakadályozza az allergén és az IgE összekapcsolását. Másrészt az életmód változtatás (természetes alapú tápanyagok, rendszeres fizikai aktivitás, környezettudatos életvezetés) is enyhítheti az **allergiás tüneteket**. A legismertebb tünetek az ún. szénanátha, csalánkiütések, ekcéma, ill. az asztma lehetnek. (Természetesen az allergiáknak számtalan egyéb megjelenési formája, ill. tünet-együttese is van.) Testnevelés órákon az asztmások egyre szaporodó száma okozhat problémát. A fent említett hörgőszűkület, ill. váladékképzés következményeként nehezített légzés alakul ki. Mivel ez a gyereket megijeszti, ill. a súlyosabb esetekben a nehézlégzés hanghatása miatt a tanárt is, így nagyon fontos a tünet-együttes felismerése mellett a segítségadás módja is. A beszűkült hörgők miatt valójában a kilégzés nehezített, így a kezelés leghatásosabb módja a testnevelő tanár szemszögéből a mellkas izomzatának megerősítése, valamint a légző-mozgás technikájának javítása. Ehhez számos sportág hívható segítségül. A leghatásosabb azonban valószínűleg az úszás. A vizes közegben a víz felhajtó ereje miatt a kilégzés könnyített, míg a belégzés nehezített. Ennek következményeként a rendszeres úszás során a mellkasi izomzat megerősödik, asztmás roham idején helyes légzéstechnikával az erőltetett kilégzéssel kiáramlik a levegő a tüdőből. Ennek hatására a belégzés sem akadályozott. Szintén a hízósejteknek „köszönhető” az anaphylaxiás sokk, amely a hízósejtek granulum tartalmának teljes ürülésekor következhet be, olyan súlyos ödémát okozva, hogy a beteg megfulladhat.

A T-lymphocyták a **celluláris immunválasz** kialakításáért felelősek. Lassúbb bakteriális és gombás fertőzéseknél fontosak, valamint a testidegen szövetek eliminálásában játszanak szerepet. A kórokozó bejutásakor a T-sejtek is proliferációba kezdenek, s a folyamat eredményeként T_{KILLER} (T_k , *gyilkos*) sejtek képződnek. Ezek a sejtek membránjuk felszínén antitest jellegű receptorokat hordoznak. A kórokozó antigénjéhez kapcsolódva lysosomáikból bontó-enzimeket juttatnak a támadó sejt membránjába. Ennek hatására pórus keletkezik a sejtmembránon, a víz beáramlása miatt a cytoplasma megduzzad, így a kórokozó eliminálódik. A másik fontos T-lymphocyta típus a T_{HELPER} (T_H , *segítősejt*), melynek legfontosabb feladata valóban a többi immunsejt segítése, amely *lymphokinek* termelésével valósul meg. Ezek olyan molekulák, melyek részben a B-sejtek antitest termelését fokozzák, részben a nem specifikus immunválaszban szerepet játszó sejteket (pl. macrophagok) serkentik phagocytosisra. A $T_{SUPPRESSOR}$ (T_s , *elnyomó*) sejtek feladata az immunrendszer működésének csökkentése a fertőzés megszűnésekor. A T_{MEMORY} (T_M , *memória*) sejtek pedig a B-memória sejtekhez hasonlóan egy életre megjegyzik az adott antigén szerkezetét, s bármikor képesek lymphokinek termelésére, ha a szervezet újra találkozna az adott antigénnel. A T-sejtek legfontosabb feladata a „saját” és a „testidegen” megkülönböztetése egymástól. Emiatt kell egy szerv- vagy szövet átültetése után gyakran elnyomni a gazdaszervezet immunrendszerét, még akkor is, ha egészen közeli rokon volt a donor. Ugyanennek a folyamatnak köszönhető, hogy a placentán átjutó kórokozót a magzat szervezete a megszületés után, már sajátként ismerhet, s nem indít ellene celluláris immunválaszt (ld. AIDS, Sportmozgások biológiai alapjai II.). Az AIDS vírus reprodukciós stratégiája éppen a T_H sejtek elpusztítása, így az immunrendszer folyamatosan elnyomott (supressált) állapotban van.

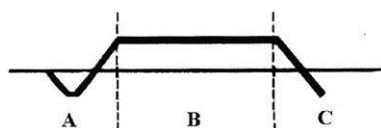
A szervezet védelmére még egy rendszer fejlődött ki. Ez a **komplement rendszer**. A vérplasmában oldva jelen vannak azok a fehérjék, amelyek a véralvadási faktorokhoz hasonlóan egy kaszkárendszer segítségével aktiválódnak. Az aktiválódott fehérjék képesek a kórokozó membránjába épülve pórusokat létrehozni (3.30. ábra), s így a belső közeg megváltoztatásával elpusztítani azokat. Másik feladatuk a membránfehérjékhez kötődve a lymphocyták aktiválása. Ezek a több oldalról is összefüggő immunfolyamatok biztosítják a homeosztatisztikus élet-folyamatok zavartalan lefolyását.

3.30. ábra - A komplement rendszer működése



Az átlagembert és a tudósokat egyaránt foglalkoztató kérdés, hogy a rendszeres testedzés erősíti avagy gyengíti az immunrendszert. A válasz nagyon összetett, bár a vizsgálatok döntő többsége arra a következtetésre jutott, hogy a közepes intenzitású rendszeres mozgás immunrendszer erősítő hatású. A kísérletek eredményei ennek a megállapításnak időnként ellentmondani látszanak. Általában külön kell kezelni az aerob terhelések hatását az erőedzések hatásaitól. Mára bizonyosnak látszik, hogy a kiegészítő sportok nélkül üzőt **rezisztencia edzések**nek nincs hatása az immunrendszerre. A rendszeres aerob edzések ezzel szemben pozitív és negatív irányba is befolyásolhatják az immunrendszer működését. Ennek megértéséhez Selye János Általános Adaptációs Szindróma sémájából kell kiindulni. Szerinte minden stressz-hatás (így a fizikai is) három fázisú reakciót vált ki a szervezetben (3.31. ábra). Először egy vészreakció (A) alakul ki, ezt követi egy rezisztencia fázis (B), végül, ha nagy a stressz, kimerülés következik be (C). Rendszeres nem túl nagy terhelés esetén tehát a vészreakció után a rezisztencia fázisnak kéne kialakulnia. Ez általában mind a specifikus, mind a nem specifikus immunrendszer erősödését jelenti.

3.31. ábra - Az általános adaptációs szindróma sémája



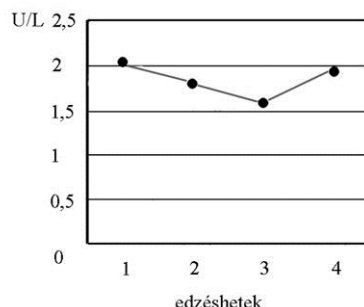
A: vészreakció (alarm), **B:** rezisztencia fázis, **C:** kimerülési fázis

A nem specifikus immunrendszerben az *NK sejtek* (*natural killer cells*), felszaporodását, valamint a különböző sejtek fagocytáló képességének növekedését eredményezi. A T sejtek esetében a killer sejtek számának növekedésével jár. Ha azonban a szervezetnek nagy megterhelést jelent az adott fizikai stressz, a rendszer kimerülése következik be. Ez a sejtszámok csökkenése mellett az Ig-ok mennyiségének változásával is jár. Régóta megosztja a kutatókat az a kérdés, hogy a különböző, nagy aerob terhelésnek kitett sportolók, gyakrabban vagy ritkábban kapnak-e felső-légúti fertőzést. Az utóbbi időben a választ éppen az immunoglobulinok mennyiségének vizsgálatával próbálták megtalálni. Jelenlegi tudásunk szerint tartós nagy terhelés hatására valóban változik az IgA mennyisége. Mivel az IgA a nyálból is kimutatható, rendszeres

vizsgálatával megállapítható lenne egy betegség valószínű bekövetkezése (3.32. ábra). Az ábrán jól látszik, hogy a nagy terhelésnek kitett versenysportolóknál hogyan változik az IgA szint (a mérés során a vérben) az edzésintenzitás változásával. A különböző edzések során a terhelés fokozódott. Az IgA szint csökkenésével több sportoló is légúti fertőzést kapott.

3.32. ábra - Az immunoglobulin A szintjének változása terhelés hatására

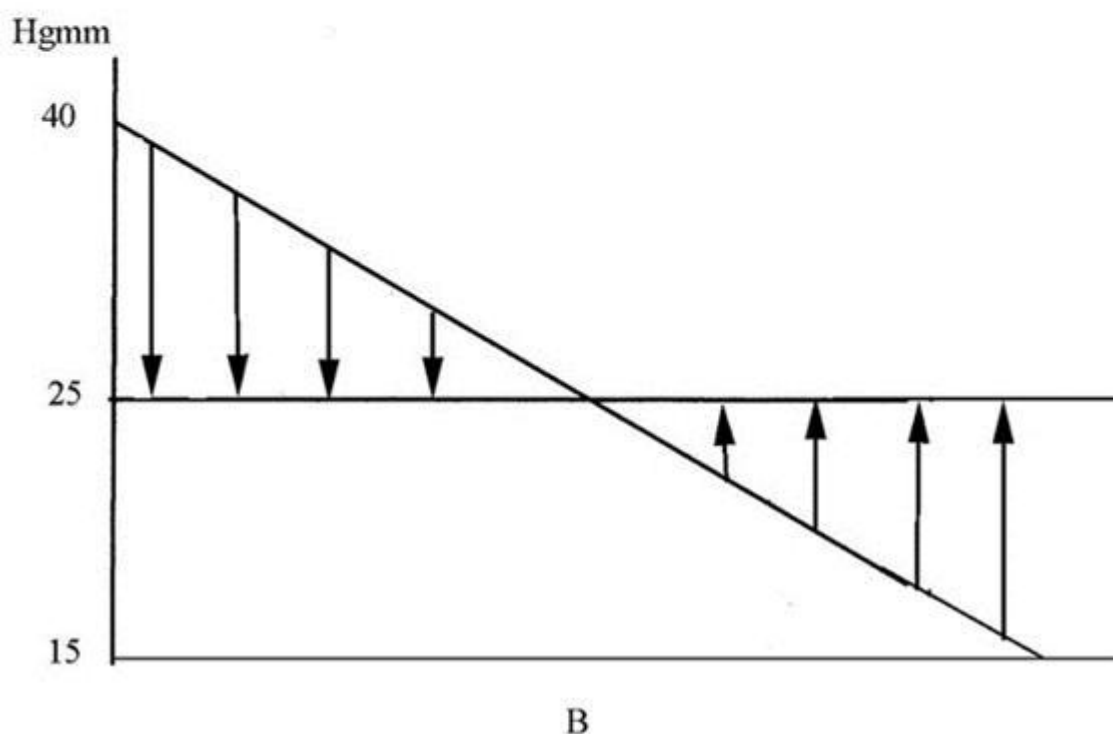
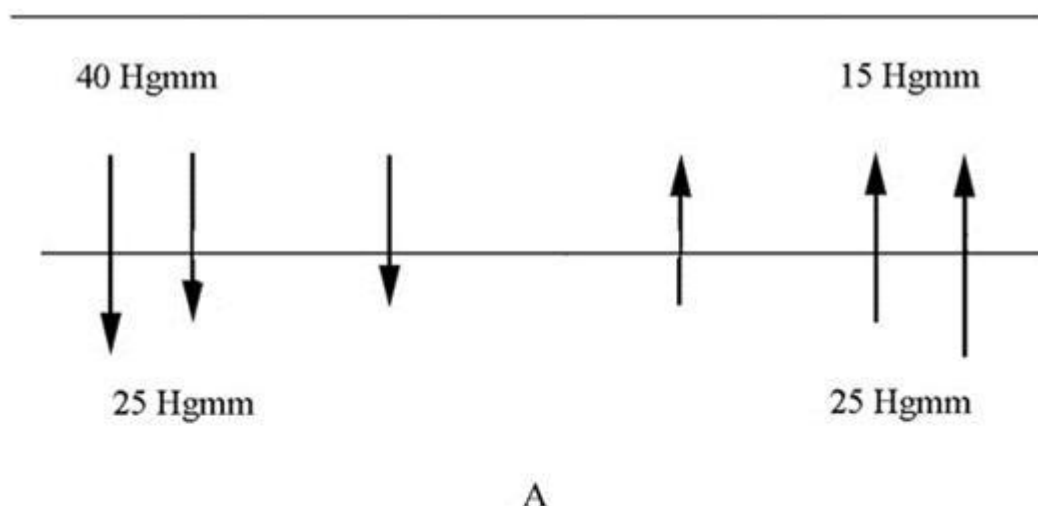
IgA koncentráció



2.4.2. Nyirok

A különböző vizek közül az **interstitiális folyadék** szerepe szintén nagyon jelentős. Ebben a térben történik az anyagok cseréje és az anyagáramlás nagy része. Az interstitiális folyadékot más néven *nyiroknak* hívjuk. A nyirokerekben keringő szövetnedv, ami vizet, ásványi anyagokat gázokat (oxigén, széndioxid, nitrogén), kolloidokat, és igen kis mennyiségben sejteket is tartalmazhat. A **nyirok** alapvetően fehérjeszegény vérplasma, de összetétele némileg változik a különböző szervekben. A májban pl. nagy mennyiségben tartalmaz fehérjét, míg az emésztőrendszerben zsírokat. A nyirok keletkezését a filtráció segíti. Az érrendszerben csak a kapillárisok fala járható át a víz és a kis molekulák számára. Itt történik tehát a legfontosabb anyagcsere. A filtráció passzív folyamat (ld. „Transzportfolyamatok”), az ér külső és belső tere között létrejövő nyomáskülönbség hajtja. A kapillárisok artériás szakaszán kb. 40 Hgmm-es hidrosztatikai nyomás uralkodik szemben az ér körüli kb. 25 Hgmm-es nyomással, amelyet az interstitialis térben lévő fehérjék kolloidális osmotikus nyomása hoz létre (3.33. ábra). A kettő között lévő nyomáskülönbség a vizet és a kis molekulákat az ér belsejéből az interstitiális tér felé hajtja. A folyamatos kiáramlás és a vérnyomás csökkenése miatt a nyomáskülönbség lassan megszűnik, s ezzel együtt a filtráció kifelé irányuló fázisa is. A kapilláris vénás oldalán az intravasalis tér nyomása tovább csökken, már csak 15 Hgmm, szemben az interstitialis tér 25 Hgmm-es nyomásával. Ekkor befelé irányuló filtráció indul meg, amely a kiáramlott víz nagy részét a különböző salakanyagokkal és egyéb kis molekulájú metabolitokkal visszajuttatja az érpályába. Ez a folyamat nagyon élénk, a víztér gyorsan cserélődik. Ennek eredményeképpen azonban napi kb. 2-4 liter szövetközi folyadék marad az interstitiális térben, amelynek a keringésbe való visszajutását segítik a **nyirokerek**. Ez a rendszer szerkezetében és működésében is nagyon hasonlít a vénás keringéshez (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Keringési rendszer” c. fejezetben).

3.33. ábra - A: A kapilláris-filtráció folyamata. B: Nyirokképződés a nyomásviszonyok alapján



3. Izomszövet (tela muscularis)

Az **izomszövetek** mesodermális eredetűek. Nagyfokú kontrakciós képesség jellemzi őket. Az összhuzékonyság jellegzetes szerkezethez kötött, s ez a struktúra az izomsejtekben fénymikroszkóposan is felismerhető **myofibrilla**. Az egyes izomsejtek myofibrillumai fénnel szembeni viselkedése alapján nem egyformák, ugyanis vannak olyan sejtek, amelyekben ezek a fibrillumok teljes hosszukban egyformán és egyszeresen törik a fényt (erre mondjuk azt, hogy **símák**), az ilyen sejteket tartalmazó szövet a **símaizomszövet**. Vannak olyan sejtek, melyekben a myofibrillumok a fényt egyszeresen (világos, izotrop) és kétszeresen (sötét, anizotrop) törő darabok szabályosan váltják egymást. Ezek a csíkok (sávok) a myofibrillumok hossz tengelyére merőlegesen (rég elnevezéssel **harántul**) helyezkednek el. Az ilyen fibrillumokat tartalmazó sejtek, ill. szövetek a **harántcsíkolt izomszövet**hez tartoznak.

3.1. Símaizomszövet

Az akaratunktól független működésű szervekben így pl. a bél falában található símaizom. A szövet orsó alakú sejtjei magánosan vagy csoportokban találhatók. A símaizomsejtek néha végükön elágazódnak, vagy

kihegyesedők. Centrális helyzetű sejtmagja pálcá alakú, végei lekerekítettek. Sejthártyáját – elhatárolva más sejtektől – **sarcolemmának** sejtplasmáját *sarcoplasmának* nevezik. A **sarcoplasma** organelumai közül még az endoplasmaticus reticulumot illetik külön névvel, amit **sarcoplasmaticus reticulumnak** neveznek. A sarcoplasmában sok glikogén szemcse és myofilamentum található. Ezek finomabb fonalacsokból, nevezetesen aktin és myosin filamentumokból épülnek fel.

Az $1\ \mu\text{m}$ hosszú **aktin** és a **myosin** (hossza $150\ \text{nm}$) filamentumok a sarcoplasmában különböző irányba haladva egy rácsszerű hálózatot hoznak létre, ahol a rácsfonal találkozási pontjánál ún. **rögzítőlemezek** jönnek létre. A símaizom kontrakciós mechanizmusa nem teljesen tisztázott.

A símaizomszövet kontrakciójáért az ún. **vegetatív idegfonadék** a felelős. A vegetatív fonadék rostjai az ún. Schwann-sejtes idegrostok, vagy más néven **Remak rostok** (ld. „Idegrostok”), melyek az izomsejtek között elágazódva haladnak. Az idegrostok a símaizomsejteken végződnek. Fontos, hogy nem minden símaizomsejt kap közvetlen idegrosttól ingerületet, azaz nincs közvetlen beidegzése. Azok a sejtek is összehúzódnak, melyek nincsenek közvetlen kontaktusban az idegrostokkal, ingerületüket a mellettük levő közvetlenül beidegzett izomsejttől kapják. Ez úgy lehetséges, hogy a símaizomsejtek között egy sajátos sejtkapcsoló struktúra figyelhető meg. Ennek lényege, hogy a két sejt membránjának külső része egy darabon szorosan egymás mellé kerül, az extracelluláris tér szinte eltűnik. A két sejt cytoplasmája csatornafehérjékkel van összekapcsolva, melyeken keresztül az ionok átáramolnak. Ez a szoros sejtkapcsoló struktúra (**gap junction** = réskapcsolat) szinte ellenállás nélküli ingerületvezetést biztosít.

A különböző szervek símaizomszövetének sejtsímaizma eltérő gazdagságú beidegzést mutatnak. A leggazdagabb a ductus deferens (ondóvezeték) símaizma, a bélizomzat közepes gazdagságú beidegzést mutat.

3.2. Harántcsíkolt izomszövet

Ez az izomszövet tovább osztható váz- és szívizomszövetre.

3.2.1. Vázizomszövet

A mozgás aktív rendszerét felépítő izmok harántcsíkolt **vázizmok**, mint pl. a törzs izmai, végtagok izmai. Szerkezeti egysége az **izomrost**, ami tulajdonképpen egy óriás sejt, amely úgy keletkezik, hogy a sok ezer magosztódást nem követi sejtszétválás. A sejtet egy sejthártya (**sarcolemma**) határolja, melyen kívül egy bazális membrán és reticuláris ill. kollagén rostborítás is megfigyelhető. A sejthártya alatt periferián helyezkednek el a sejtmagok. A sejtplasmában (**sarcoplasma**) kötegekbe rendeződött **myofibrillumok**, közöttük sok mitochondrium, símafelszínű és kevés durva felszínű endoplasmaticus reticulum, és a sejthártya alatti Golgi-apparátus is megfigyelhető.

A kötegekbe rendeződött myofibrillumok között a **sarcoplasmaticus reticulum** tubulusait figyelhetjük meg. A tubulusok egy része a myofibrillumokkal párhuzamosan fut, ezeket **longitudinális tubulusoknak** (**L-tubulusok**) nevezik. Az I és az A szakasz határán a sarcoplasmaticus reticulum gyűrűszerűen veszi körül a myofibrillumokat, ezért a tubulusoknak ezt a részét **terminális cisternáknak** nevezték el. A két terminális cisterna közé ékelődik a harántirányú **transversális tubulus** (**T tubulus**) rendszer. A T tubulus folytonos a sarcolemmával. A T rendszer oldalirányú összeköttetéseket létesít a szomszédos filamentumokkal. A sarcoplasmaticus reticulum két terminális cisternája és a közöttük levő T tubulus egy jellegzetes képletet az ún. **Porter-Palade triádot** adja. Funkcionális szerepét ld. később.

Az izomrostokban a myofibrillumok csíkoltságot mutatnak, azaz rajtuk sötét, a fényt kétszeresen törő **anizotróp** (**A-csík**) és világos, a fényt egyszeresen törő **izotróp** (**I-csík**) szakaszok szabályosan váltják egymást. Erősebb nagyítás mellett további csíkok különíthetők el. Minden I szakasz közepén egy „szitaszerű” képlet az ún. **Z-lemez** található, s minden anizotróp szakasz közepén még kissé világosabb **H-csík**. A **H-csík** közepén még egy sötétebb **M-csík** is elkülöníthető. Z-től Z-ig tartó myofibrillum rész a **sarcomer**. Ez a harántcsíkolt myofibrillum szerkezeti egysége (3.34. ábra, A. és B. képei).

A harántcsíkoltság magyarázata

A fénymikroszkóppal felismerhető myofibrillumokat kétféle, nevezetesen az aktin és myosin filamentumok építik fel. Ezek összetételük mellett hosszúságukban, vastagságukban és elrendeződésükben is eltérést mutatnak.

1./ A myofilamentumok típusai

A **myosin filamentumok** 150 nm hosszú és 1,5-2 nm vastagságúak. Két alegységből, nevezetesen a *nehéz és könnyű meromyosin*ből épülnek fel. A nehéz meromyosin két, egységenként 20 nm átmérőjű fejből és 40 nm hosszú fonalszerű részből áll. A könnyű meromyosin fonalmolekula, hossza 90 nm (3.35. ábra, A. kép).

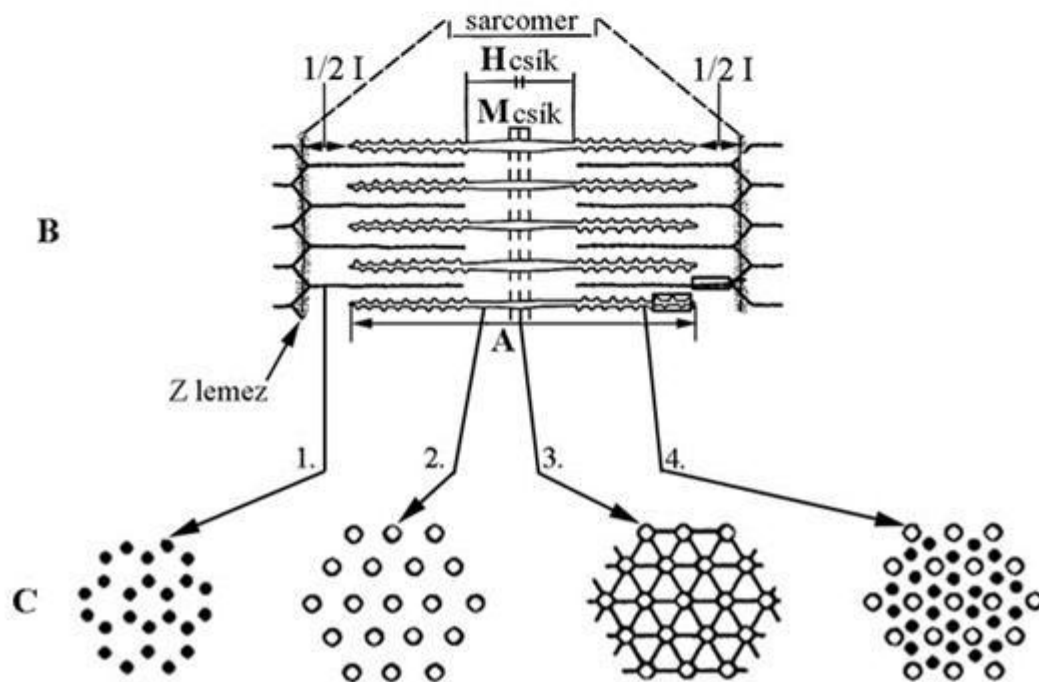
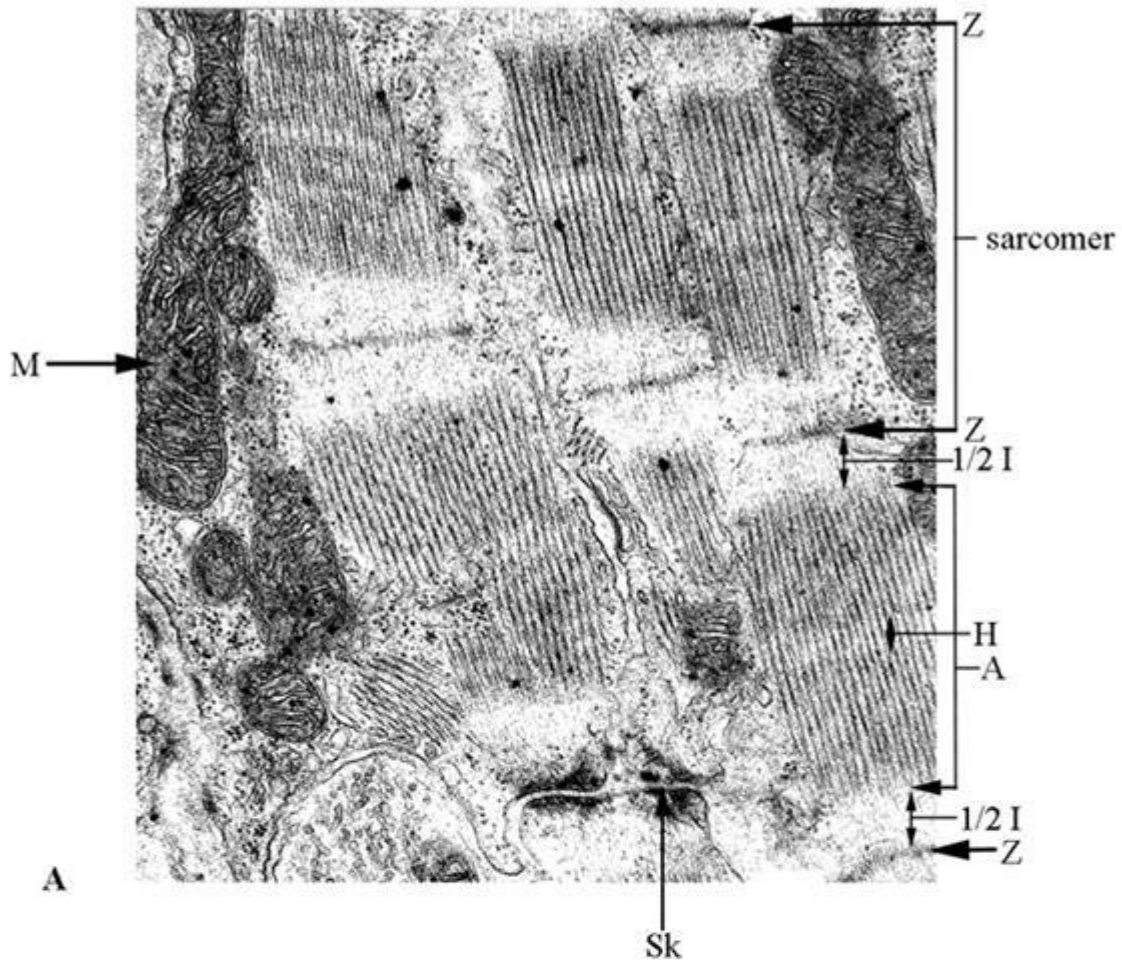
Az **aktin- filamentumok** vékonyak, 7 nm vastagok és 1 μ m hosszúak. Globuláris alegységekből (**G- aktin**) felépülő kettős fonalak, amelyek spirálszerűen feltekerednek, és ezt **F- aktinnak** nevezzük (3.35. ábra, B. kép). Az F aktinra még egy hosszú, vékony ún. **tropomyosin (Tm)** molekula tekeredik, melyhez 40 nm-ként egy-egy globuláris **troponin** molekula kapcsolódik.

2./ A myofilamentumok elrendeződése

Az aktin filamentumok a világos izotrop csík közepén húzódó Z lemezek két oldalára rendeződnek. Így a teljes I csíkban csak aktin filamentumok vannak, de tovább futva kissé benyúlnak az anizotrop A csíkba is (3.35. ábra, B. kép).

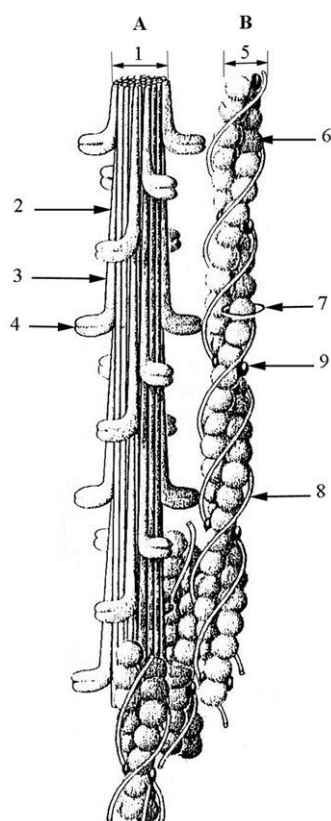
A myosin filamentumok az A csík teljes hosszát átérlik. Ott, ahol a myosin és az aktin filamentumok együtt vannak jelen az A csík sötétebb. Az A csík közepén csak myosin filamentumok vannak, s ez a darab adja a kissé világosabb *H csíkot*. A myosin lánc közepén megvastagszik, ez az *M csík* (3.34. ábra, B. kép). Ha a sarcomer különböző csíkjaiból készítünk keresztmetszetet, akkor jól megfigyelhető, hogy az I csíkban az aktin filamentumok a térben hexagonálisan rendeződnek (3.34. ábra, C1. kép). A H csíkban csak vastag myosin filamentumok találhatók hasonló elrendeződésben. (3.34. ábra, C2. kép). Feltehetően az M csík területén kapcsolódnak össze a vastag myosin filamentumok (3.34. ábra, C3. kép). Az A csíkban kapcsolódik össze a kétféle filamentum, de egyúttal azt is megfigyelhetjük, hogy minden vastag myofilamentumot 6 vékony aktin, míg egy vékony aktin filamentumot 3 vastag myosin és 3 vékony aktin filamentum határol (3.34. ábra, C4. kép).

3.34. ábra - A sarcomer szerkezete



A: elektronmikroszkópos felvétel a harántcsíkolt izomból. **M:** mitochondrium, **Sk:** részlet két izomsejt kapcsolatából (Benedeczky István felvétele). **B:** a sarcomer hosszmetzetének sematikus rajza, **C:** az egyes csíkokban a myofilamentumok elrendeződése

3.35. ábra - A myosin (A) és az aktin (B) myofilamentumok felépítése



1: myosin filamentumok, 2: könnyű meromyosin, 3: nehéz meromyosin fonál, 4: nehéz meromyosin fej, 5: aktin filamentum, 6: globuláris egység, 7: globuláris egységekből felépülő aktin fonál, 8: tropomyosin, 9: troponin

Az izomösszehúzódás molekuláris mechanizmusa

Az izom összehúzódását a rostot beidegző idegsejt axonjának végbunkóiból felszabaduló acetilcholin (ACh) indítja el akcióspotenciál hatására. Az ACh a postsynapticus membrán transzmitter-függő ion-csatornáit megnyitja és Na^+ áramlik az izomrost plasmájába, ezzel akcióspotenciált generálva.

Az **akcióspotenciál** az izomrost membránján terjed tovább, majd a sejt belsejébe a T-tubulusok közvetítésével jut el. A **T-tubulusok** a sarcolemmán nyílnak és vakon végződnek a sarcoplasmában, párhuzamosan futnak a Z-lemezekkel (azok mindkét oldalán). A T-tubulusban terjedő akcióspotenciál az L-tubulusokra terjed át. A két tubulus membránja olyan közel van egymáshoz, hogy az akcióspotenciál „átugrik” egyikről a másikra. A tubulusokból felszabadul a Ca^{2+} , és beáramlik a sarcoplasmába.

A Ca^{2+} a troponin-tropomyosin komplex konformációs (térszerkezeti) változásáért felel.

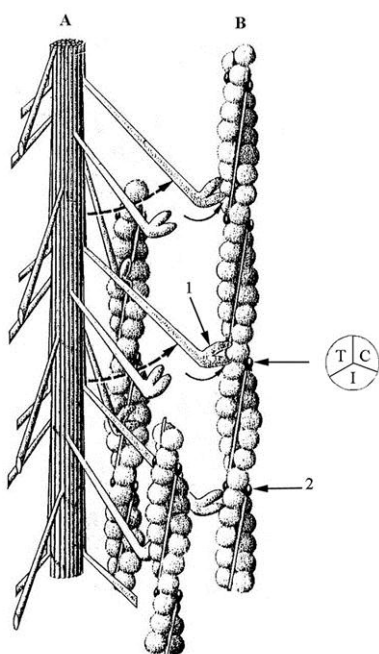
A tropomyosin láncon helyet foglaló troponin molekula-komplex, három kötőhellyel rendelkezik. A **troponin-T** a tropomyosinhoz rögzíti a troponint. A **troponin-C** a troponin molekula Ca^{2+} -kötő helye, a **troponin-I** az aktin-kötőhely (3.36. ábra). A sarcoplasmába áramló Ca^{2+} a troponin-C-hez kapcsolódik, ezzel elmozdítva a tropomyosin molekulát az aktin-filamentum árkából, miközben a troponin-I leválik az aktinról. Gyakorlatilag ez a két mozzanat (konformációs változás) teszi lehetővé az aktin és a myosin-fej összekapcsolódását azzal, hogy az akadályozó molekulát (tropomyosin, troponin-I) elmozdítja az aktin kötőhelyéről. Maga az izommozgás akkor jöhet létre, ha a myosin feje (a golfütő alakú molekula feje) kb. 45° -os szögben elmozdul, magával húzva az aktin filamentumot (3.34. ábra). Így az aktin-filamentumok az M csík irányába mozdulnak el.

Az aktin és a myosin összekapcsolódása energia befektetés nélkül is lejátszódik, a myosin fej elmozdulásához azonban energiára van szükség. Ezt biztosítja az ATP-bontásából származó energia. Az ATP bontó enzim, az ATP-áz a myosin-fejen található. Energia azonban nemcsak a myosin-fejének mozgatásához szükséges, hanem az aktin-myosin kötés felhasításához is. Az ilyenkor szétbontott kötés helyett a myosin újabb kötetést létesít a következő aktin-molekulával, így újra közelebb húzva a két I-csíkot egymáshoz (egy elmozdulás 10-30 nm-es

csúszást jelent). Ezt hívjuk „**csúszó filamentum**” modellnek. Ez a folyamat mindaddig fenntartható, amíg folyamatosan rendelkezésre állnak a Ca^{2+} ionok, és van ATP bontás. Ilyen módon válik a kémiai kötésben tárolt energiából mechanikai és hőenergia. Az ATP bontásakor felszabaduló energia kb. 60%-a hővé alakul az izomműködés során.

Ha az aktin és myosin molekula éppen összekapcsolt állapotban van, és az ATP-hasítás elmarad, úgy az izom ebben a feszített helyzetben marad. Mivel ilyen állapot csak a halál beállta után jöhet létre, ezt hívjuk hullamerevségnek (rigor mortis). A maximális összehúzódás a két I-csík találkozásáig tart, az izom maximális nyújtása akkor jön létre, amikor az utolsó myosin-fej kapcsolata az utolsó aktin molekulával kialakul. További nyújtás az izom szakadásához vezet, a két aktin-filamentum találkozásakor tovább folytatódó összehúzódás már nem hatékony az izom-erő növelése szempontjából, mivel az A-csíkban myosin filamentummal ekkor már csak az egyik aktin filamentum találkozik. Az akcióspotenciál hatásának megszűnésével a Ca^{2+} ion aktív transzport segítségével a cytoplasmából a sarcoplasmás reticulumba pumpálódik vissza. Ha a sarcoplasmában a Ca^{2+} -ion koncentrációja alacsony, a troponin-tropomyosin molekula újra elfedi az aktin kötőhelyeket, izommozgás ekkor nem lehetséges.

3.36. ábra - A myosin (A) és az aktin (B) myofilamentumok kontrakciós kapcsolata



A myosin feje (1) és az aktin molekula közötti kapcsolatot a troponin egység akadályozza meg. A troponin (2) térbeli elfordulása teszi lehetővé a kapcsolat létrejöttét

A rendszeres, hosszabb időtartamú edzés nagy terhet ró a sarcomerekre, így nagyon fontos feladat hárul a két filamentumot térben rögzítő molekulákra. Ezek közül legismertebb a Z-lemez, amely a sarcomerek határát jelzi. Alapvető feladata az aktin-filamentumok térbeli rögzítése. Alpha-aktininből épül fel. A Z-lemezeket a **desmin** tartja térbeli helyzetükben. Ez a molekula átér több sarcomert is, s így a Z-lemezek egymáshoz viszonyított helyzetének megtartásában is fontos feladata van. Hasonlóan fontos az M-csík (M-fehérje), amely a myosin filamentumokat rögzíti, s tartja megfelelő helyzetben, egymástól ugyanolyan távolságban. Ezen kívül több fehérjefonal rendszer rögzíti a myosin filamentumokat (C-, X- és H-fehérjék) melyek az M-csikkal párhuzamos lefutásúak. Rájuk merőlegesen haladnak a **nebulin** nevű fehérjefonalak, amelyek az aktin filamentumok között futva meggátolják azok térbeli kilengéseit. Ez a gazdag fonalrendszer tehát biztosítja a sarcomer térbeli szerkezetének állandóságát nagy terhelés mellett is.

A folyamatos energiaellátást az ATP molekula hasadásából származó energiának kell fedezni. Az izom **azonnali energiaraktárai** között ATP molekulákat találunk, amelyek ATP-áz enzim segítségével 2-4 sec-ig biztosítják az izom-összehúzódás energia-igényét ($\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i = \text{foszfát}$). A másik molekula az azonnali energia-raktárak közül a **kreatin-foszfát (CP)**. Ennek a molekulának a hasításával is energia szabadul fel ($\text{CP} \rightarrow \text{C} + \text{P}_i$). A felszabadult **anorganikus foszfát** az ADP-hez kapcsolódva újra ATP-t alakít ki, míg az ATP bomlásakor képződött anorganikus-foszfát a kreatin molekulához kapcsolódik. A CP további 4 sec-ig szolgálja

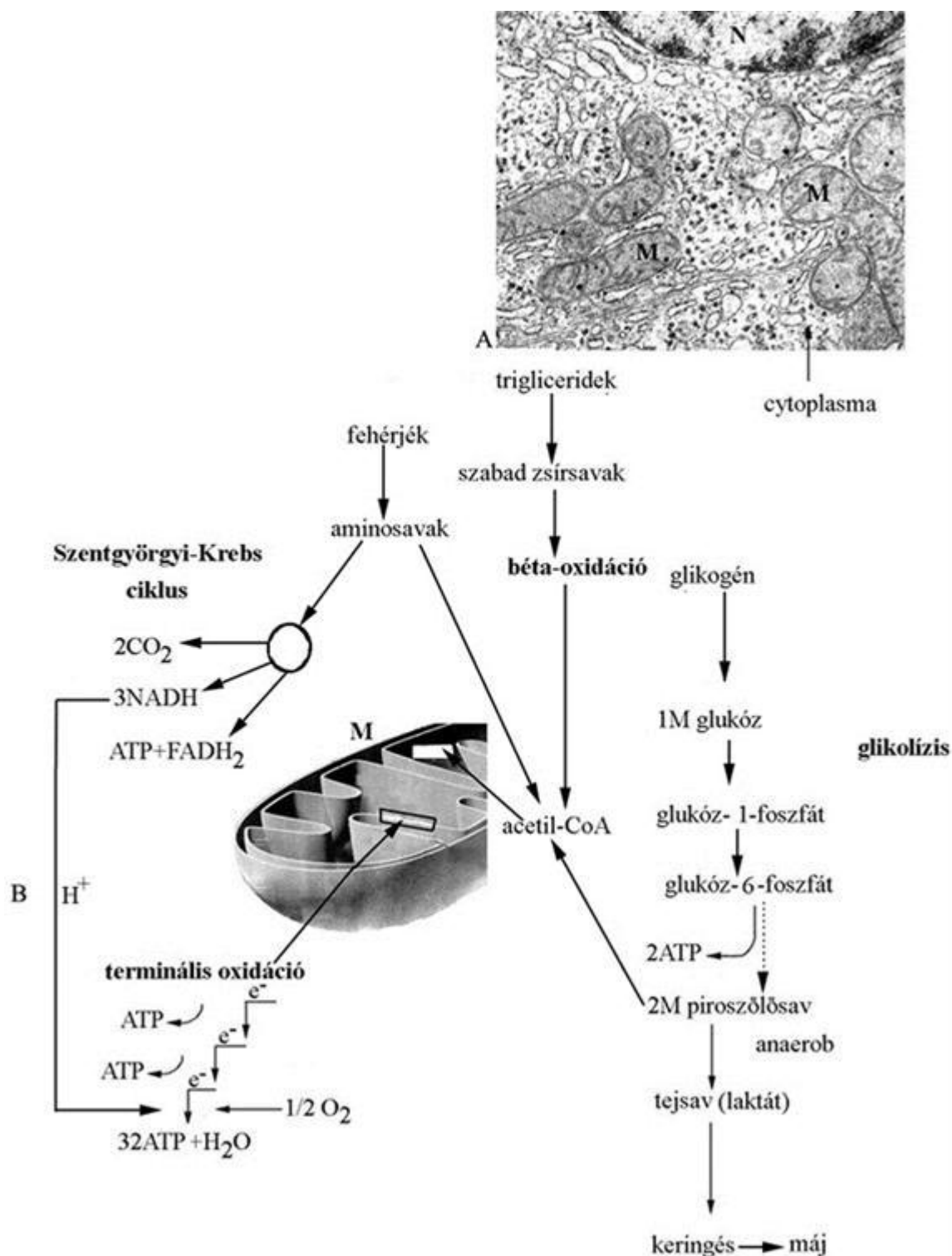
az izom energiaigényét. Az ATP mennyisége genetikailag determinált, és nem változtatható. A raktározott CP mennyisége azonban némileg módosítható. További kb. 4 sec-ra elegendő mennyiséggel „tölthető” fel az izom cytoplasmája. A kettő együtt kb. 10-12 sec-ig szolgáltatja az energiát az izomműködéshez.

Maga a kreatin-kináz enzim a myosin fej közelében az M-csíknál foglal helyet. Az első 10-12 másodpercben tehát nincs szükség sem külső energia-befektetésre, sem O₂-re. Így az izomműködés első fázisát **anaerob-alaktacid** (laktát = tejsav, *tejsavmentes*; ld. a vér) **folyamatnak** nevezzük (3.20. és 3.37. ábrák).

Az izom további működtetéséhez már egyéb *energiaforrásokra* van szükség. Ezek között a legfontosabb a *glukóz*. Az izomműködés kezdetén lecsökken a vér glukóz-szintje, a további energianyerés a **glikolízis** során valósul meg. A glikolízis az izom cytoplasmájában zajló lebontó folyamat (3.37. ábra, A. kép), melynek során a glukóz lebontása számos biokémiai lépésben történik (3.37. ábra, B. kép). Ezek közül a lebontás sebességét mindjárt az első lépés (glukóz → glukóz-6 P) határozza meg, így ezt sebesség meghatározó lépésnek nevezzük (rate limiting step). Ezt a folyamatot a **hexokináz-enzim** katalizálja, így mennyisége meghatározza a későbbi energianyerés sebességét. A glikolízis tizedik lépésében **piroszölősav** (*foszfoenol-piruvát* → *piruvát*) keletkezik. Mindaddig a glikolízis O₂ hiányos közegben is lezajlik, s a hat szénatomos glukóz-molekula lebontásakor 4 ATP keletkezik. Ebből a glikolitikus folyamatok során 2 ATP molekula újra felhasználódik, így a folyamatsor nettó energianyerése 2 ATP glukóz molekulánként.

A következő lépés az izom-szövet oxigén-ellátottságán múlik. Amennyiben nincs elegendő O₂ a közegben a piroszölősavból **tejsav** keletkezik. Itt a folyamat véget ér. Az energianyerésnek a készenlében lévő glukóz mennyisége, ill. az egyén tejsav-tűrő képessége szab határt. Ha glikolízissel nyerünk energiát az anaerob-kapacitásunkat használjuk ki. Ennek időtartama 30-180 sec-ig tartható fenn attól függően, hogy ki milyen edzettségi állapotban van. Mivel anaerob körülmények között a szőlőcukorból tejsav képződik, így a fázis **anaerob-laktacid** (3.37. ábra, B. kép). Ha azonban elegendő oxigén van jelen, akkor a piroszölősavból acetyl-csoport képződik, amely a koenzim-A-hoz (KoA) kapcsolódva, mint acetyl-KoA a mitochondriumba szállítódik és belép a citrát-körbe (Szentgyörgyi-Krebs ciklus = citromsav-ciklus).

3.37. ábra - Fehérjék, zsírok, szénhidrátok szerepe az izomanyagcsereben



A: Részlet egy sejt elektronmikroszkópos felvételéből. **B:** A cytoplasmában és a mitochondriumokban lejátszódó lebontófolyamatok. M: mitochondrium, N: nucleus

A **citrát-ciklus** körfolyamatai során részben energianyerés (2 ATP-nek megfelelő energia), részben CO₂ képzés zajlik. Ezt a sejtlégzés során képződött CO₂-t lélegezzük ki.

Az energianyerés szempontjából leglényegesebb lépés azonban a H⁺-ionok, és szabad elektronok képződése. A H⁺-ionok a citrát-ciklusban képződnek (NADH + H⁺), míg az elektronvándorlás a **terminális oxidáció**ban zajlik. A terminális oxidáció a mitochondrium belső membránján helyet foglaló citochromokban játszódik le, amelyek az elektronok átadása révén egyre alacsonyabb energiaállapotba kerülnek. Az energia-szintek változásai

következtében ATP szabadul fel. A folyamat végén a szállítódó H^+ -ionok és a légzési oxigén vízzé egyesül ($C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 = 6 CO_2 + 6 H_2O$).

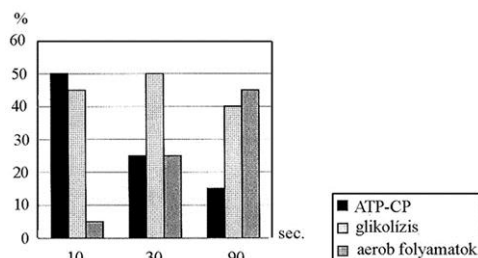
A teljes sejtlegzés lezajlásakor 36 ATP molekula képződik, szemben a glikolízis során képződő 2 ATP-molekulával.

A nagy intenzitású izommunkák során tehát tejsav termelődik. Ez az izom cytoplasmájából a vérbe jut, majd onnan a májba kerül, ahol a **glukoneogenezis** során újra piruváttá vagy glukózzá alakul. Nagy terhelés során azonban a nagy laktát-tolerancia ellenére is növekedni kezd a vér tejsav-szintje. Az **aerob-anaerob küszöb** egyénenként változik, de többnyire 4 mmol/l-ben határozzák meg. Minél nagyobb az egyén anaerob kapacitása, annál magasabb a vér laktát-szintje terhelés után (8-9 mmol/l, extrém esetben 10 mmol/l fölötti). A valódi anaerob-kapacitást pl. a Wingate-teszt segítségével állapíthatjuk meg, melynek során 40 sec-ig maximális intenzitással teker a vizsgált személy egy kerékpár-ergométeren, utána meghatározzák a vér laktát-szintjét. Valódi **aerob kapacitás**ról a sejtlegzés szintjén öt perces terhelés után beszélünk. Az izom O_2 szüksége sosem nulla egy terhelés során, de az anaerob-alaktacid és az anaerob-laktacid szakasz első felében az energianyerés nagyon kis százalékaért felelős. 90 másodperc után azonban már elég jelentős mértékben járul hozzá az energianyerés folyamatához. A valóságban tehát nem lehet csak egyik energiarendszerből fedezni az izomműködéshez szükséges ATP mennyiségét, de különböző időpillanatokban más-más energia-szolgáltató rendszer szerepe a nagyobb (3.37. ábra, B. kép).

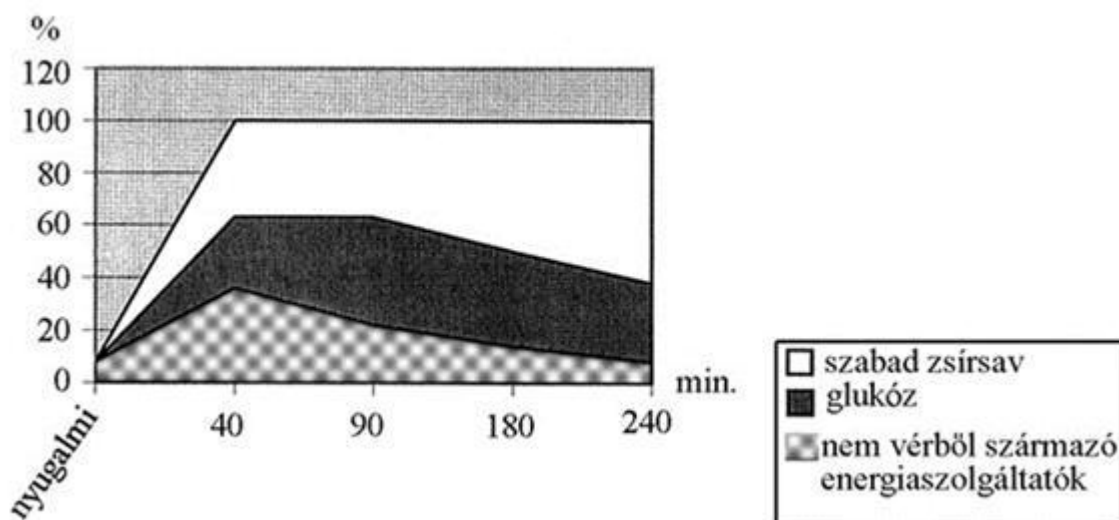
A szervezet glikogén-raktárai jelentősek, így az abból képződő glukóz aerob körülmények között hosszú ideig képes az izom energia-szükségletet fedezni.

A szervezetben a legnagyobb energiaraktár azonban a **zsírszövet** (3.37. ábra, B. kép). Trigliceridek formájában raktározódik a lipid nagy része. A trigliceridek szabad zsírsavakra bontása után kerül a zsírsav az izomsejtbe. A hosszú szénláncú zsírsavakból a sejtplasmában 2 szénatomos egységek keletkeznek. A folyamatot **β -oxidáció**nak nevezzük, az ezután következő lépések a továbbiakban a mitochondriumban zajlanak. Ennek során acetil-csoportok keletkeznek, melyek a KoA-hoz kapcsolódva acetil-KoA-ként a citrát-ciklushoz kapcsolódnak. Ne felejtjük el, hogy a citromsav ciklus csak megfelelő oxigén-ellátottság mellett működik, így zsírbontásról csak aerob körülmények között beszélhetünk. Ez pedig csak közepes tartós terhelés mellett lehetséges. Ugyanis 60%-nál nagyobb intenzitású terhelés során nő az anaerob kapacitás szerepe az izomműködésben. Másrészt a zsírok bontását a **lipázok** végzik (lipoprotein-lipáz, hormonsensitív-lipáz), amelyek csak hosszabb terhelés során aktivizálódnak. Ez edzetlen embernél 45-50 perces tartós terhelést, míg edzett embernél 30-40 perces terhelést jelent általában. A zsírbontó enzimek működésével nyert energia azonban sosem adja 100%-t az izom energiaszükségletének, kb. 60 perces folyamatos terhelés után tudja egy edzett ember energiaszükségletének kb. 50%-át a zsírok bontásából biztosítani (3.38. és 3.39. ábrák). Energetikai szempontból a lipidek bontása a szénhidrát bontásából származó energia többszörösét szolgáltatja. A hat szénatomos glukóz molekula bontásakor 36 ATP nyerhető. Az emberi szervezetben a zsírsavak többségét 16-18 szénatomos zsírsavak adják. Ideális esetet figyelembe véve 3 db 18 szénatomos zsírsav kötődik a glicerinhez. Ebben az esetben egy zsírsav lebontásával 3 x 36 ATP keletkezik. Az ideális triglicerid lebontásával tehát $3 \times 3 \times 36 + 18 = 324$ ATP nyerhető.

3.38. ábra - Az energiaszolgáltató rendszerek aránya



3.39. ábra - A hosszú ideig tartó aerob edzés energiaszolgáltató



Nem nehéz belátni, hogy a zsírok lebontása igen hosszú ideig képes szolgálni az izom energiaszükségletét. Valójában egy maratoni táv lefutásával veszít a szervezet 1 kg zsírt. Az átlagember **raktározott zsírtartalma** ennél lényegesen nagyobb. A referencia (ideális) férfi teljes zsírtartalma 12-15%, ebből esszenciális zsírtartalom 3-5%, az ideális nőé 20-25%, ebből az esszenciális zsír kb. 12%. Ez egy 70 kg-os referencia férfit figyelembe véve 8,5 kg zsír. Egy 57 kg-os nőt vizsgálva kb. 8,5 kg raktározott zsírmennyiség. A referencia-értékek az ideális eseteket mutatják. Nem kérdéses tehát, hogy a legtöbb embernek megfelelő energiaraktár áll rendelkezésére bármely mozgásához.

Mivel a kiürült zsírraktárak is gyorsan pótlódnak, így a szervezet zsír- és energiahíánya csak rendkívüli esetekben állhat elő. Ilyen eset a hosszútávfutóknál, országúti kerékpárosoknál és más extrém aerob-kapacitást igénylő sportágaknál fordulhat elő. Mérések szerint a profi férfi maratonisták testzsírtartalma 3-5% között változik. Az előző adatok ismeretében jól látszik, hogy zsírraktáraik nem jelentősek. Emiatt glukóz-szintjük folyamatos szinten tartása érdekében szénhidrát-pótlásra van szükségük a táv lefutása során. Gyakran előfordul azonban, különösen amatőr-futók esetében, hogy a szénhidrát-pótlás nem megfelelő, s emiatt a szénhidrát és zsírraktárak kimerülésekor a szervezet a fehérjék bontásába kezd.

A *fehérjék* építőkövei az aminosavak. Ezek lebontásával izomfehérjéket is veszítünk, így az ebből nyert energia a szervezet számára már káros lehet. Az aminosavak bontásakor először az amino-csoportokat kell lehasítani a molekuláról (deaminálás), majd a maradék szénláncot képes a szervezet lebontani, és belőle energiát nyerni. Az amino-csoportok a szervezet számára fölöslegesek, s karbamidként (urea) a vizeletbe kerülve távoznak. Az aminosav szénláncának hosszától függően piroszölősavat, vagy acetil-csoportokat képes a szervezet nyerni, amelyek ezek szerint két helyen is kapcsolódhatnak a sejtlégzés folyamatába. Így mind aerob, mind anaerob módon hasznosíthatók.

Összességében tehát jól látszik, hogy miért nevezzük a szénhidrátokat, fehérjéket és zsírokat **makro-nutrienseknek**, s az előbbi példák alapján az is, hogyan nyer az izom és minden más szövet energiát (ATP-t) a lebontásukkal.

A rendszeres edzés hatásai az izomra

A rendszeres edzés tehát mechanikai és biokémiai változásokat eredményez az izomműködésben. Ezeket szerkezeti, biokémiai és funkcionális változásokként szoktuk említeni.

Szerkezeti változások

- A rendszeres fizikai terhelés hatására nő a myofibrillumok száma (ez az izomrostok megvastagodásához vezet), ezen belül
- a myofibrillumok megvastagszanak.
- Az **izom kapillarizáltsága** fokozódik (ez javítja az izomsejt anyagszerését; vagyis a tápanyagokkal és oxigénnel való ellátottságát, ill. a salakanyagok gyorsabb leadását).

- d. A mitochondriumok száma nő (mivel a citrát-ciklus és a terminális oxidáció itt zajlik, ez az aerob kapacitás javulásához vezet).
- e. A sarcoplasma állománya nagyobb lesz (a fehérjefonalak munkájának mérhető következménye csak akkor van, ha a fehérjék megfelelő mennyiségű cytoplasmában vannak oldva).
- f. Nő a raktározott glikogén és trigliceridek mennyisége (bár ez a raktár nem növelhető jelentősen, az izom anyagcseréjében fontos szerepe van).
- g. Az energiaszolgáltatásban fontos szerepet játszó enzimek mennyisége megnő (pl. myosin ATP-áz; minél gyorsabb az ATP bontás és az így felhasználható energiamennyiség minél nagyobb, annál gyorsabb az izomösszehúzódás).
- h. Nőhet a **raktározott kreatin foszfát** mennyisége (a különböző rövid ideig tartó, de nagy intenzitású izommozgások során az azonnali energiaraktárak növelése teljesítmény javulással jár).
- i. A Z-lemezek vastagsága változik (minél vastagabb az aktin filamentumokat rögzítő fehérje, annál nagyobb az ellenálló képessége nagy erőhatásokra is).
- j. Erősödik az intramusculáris kötőszövet, ami védi az izmot a sérülésektől, ill. izometriás munkavégzésnél növeli az izomerőt).
- k. A rosttípusok aránya bár kis mértékben, de változtatható (ld. „Izomrost típusok”).

Biokémiai változások

- a. A hexokináz enzim aktivitása nő (glukóz → glukóz-6P átalakulást segítő enzim, a glikolízis lejárásának sebességét fokozza).
- b. A foszforiláz enzim gyors hatású.
- c. A citrát-ciklus és az elektron transzport enzimjei hatékonyabban működnek (több, gyorsabb, hatásosabb, ennek következtében nagyobb aerob kapacitás).
- d. A **tejsavdehidrogenáz** enzim összaktivitása csökken (kevesebb tejsav termelődik, így az izom, ill. a vér pH-ja lassabban tolódik el savas irányba).
- e. A myoglobin mennyisége nő (ld. később).
- f. A hormonsensitív lipáz és a lipoprotein lipáz mennyisége és aktivitása nő (ennek köszönhetően az edzett ember izma gyorsabban kezdi bontani a zsírsavakat energianyeres céljából, így több glikogént raktározva a terhelés során).

Funkcionális változások

- a. Az izom mechanikai munkája javul.
- b. A statikus izomerő nő az izometriás edzés során (ld. A mozgás aktív rendszere).
- c. Gyorsító nő (dinamikus gyakorlatok).
- d. Ízületi hajlékonysági tartalék növekedése (ez csak akkor jön létre, ha terhelés előtt és után megfelelő bemelegítéssel nyújtjuk az izmokat és inakat).
- e. Az izomtónus fokozódása. (Ez az erő növekedésével párhuzamosan jelentkezik és az izom előfeszítettségének fokozódását jelenti. Ha nem tartjuk meg az izom megfelelő nyújthatóságát, a későbbiekben gátolja az izom működését.)
- f. Az izom nyugalmi állapotában is enyhén előfeszített, így nyújthatósága normál physiologiás körülmények között nagyobb, mint összhúzókonysága.

Izomrostok típusai

Bár a harántcsíkolt izom építőkövei minden esetben az aktin és a myosin, különbségeket tehetünk a különböző izmokat felépítő rostok között. Régen ezeket vörös és fehér rost névvel illették (3. táblázat). Ma már tudjuk, éppen biokémiai ismereteink gyarapodása révén, hogy ennél összetettebb a rostok működése és kategorizálása is. Alapvető különbség mutatkozott a myosin ATP-áz működésében. A nagy ATP-bontó kapacitású, savas pH mellett inaktíválódnak a rostokat **gyors rángású rostoknak** nevezték, míg az alacsonyabb ATPáz aktivitású, savas pH-nál stabilabbak a **lassú rángású rostok**. A két rost közötti különbség az akcióspotenciált követő összehúzódás sebessége. A gyors rángású rostok adott impulzusra nagy sebességgel húzódnak össze, míg a lassú rángású rostok összehúzódási sebessége lényegesen kisebb. A gyors rángású rostok azonban tovább bonthatók két altípusra, ugyanis az egyik típus gyorsabban húzódik össze, mint a lassú rostok, de a gyors rostoknál lassúbb, azaz egy köztes izomrost típus, amelynek a biokémiai és mechanikai tulajdonságai is eltérnek a másik két rosttípustól. Felosztásuk szerint tehát a következők lehetnek:

Az **FG (II. B izomrost, 3. táblázat)** tehát a gyors rángású, glikolitikus (glikolízissal energiát nyerő) rostokat, a **FOG (II. A típusú izomrost)** a gyors rángású oxidatív és glikolitikus energiarendszerrel is működő, míg az **SO (I. típusú izomrost)** a lassú rángású oxidatív rostokat jelenti. A három rosttípus munkabírása sem egyforma. Az FT/FG rostok gyors, nagy erő kifejtésre képesek, de fáradékony izomrostok, a FOG gyors, közepes erő kifejtésre képes, közepes gyorsasággal fáradó rostok, míg a SO lassan összehúzódó, nem fáradékony, a legnagyobb erő kifejtésre képes rosttípus. Az összehúzódás és elernyedés sebessége tehát az FG és az SO között igen jelentős (FG 15-20/30-40 ms; SO 50-60/150-200 ms).

Létezik egy ún. **C-típusú rost** is, melyről nem sokat tudunk. Ismert, hogy fontos szerepe van az izomrostok differenciálódásában a magzati és a születés utáni életben is. Ez a rost játszik szerepet sérülések, izomszakadások után a különböző rostok képzésében is, továbbá a C-típusú rostokból változtatható a **rostösszetétel** az izmokban. A rostösszetétel megváltoztatásának lehetősége már nagyon régóta foglalkoztatja az edzéselméleti szakembereket. Az egyénre jellemző rostösszetétel ugyanis genetikailag determinált. Ez azt jelenti, hogy minden ember izmaiban azonos típusú rostok vannak (a fent említett négyféle rost), de ezek eltérő arányban vannak jelen a különböző izmokban.

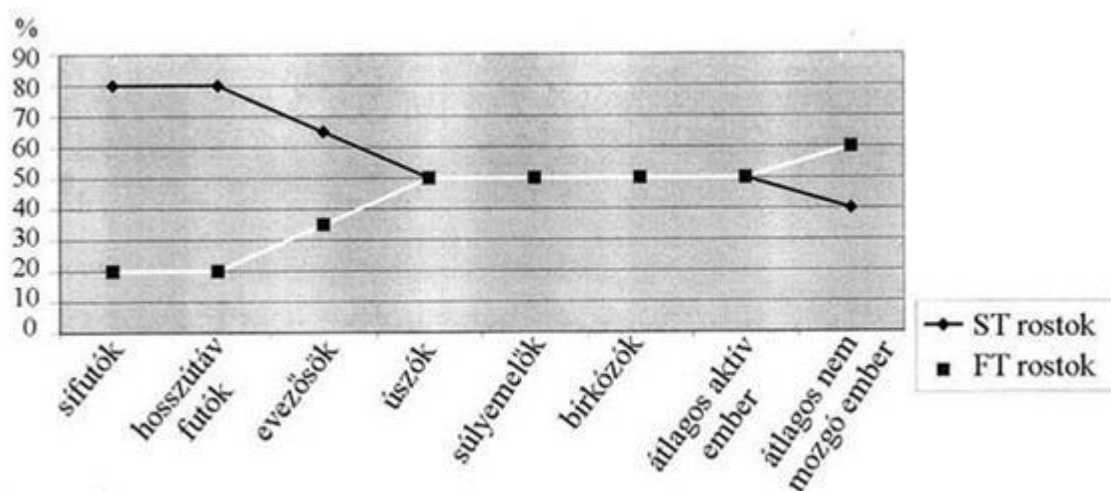
3.3. táblázat - Izomrost típusok és főbb jellemzőik

	II. B típusú rost	II. A típusú rost	I. típusú rost
Szín	Fehér rost	Piros rost	Vörös rost
Myoglobin tartalom	Nincs	Kis mennyiségben	Nagy mennyiségben
Rost átmérő	Legvastagabb	Közepesen vastag	Legvékonyabb
Összehúzódás sebessége	Leggyorsabb, FT	Közepesen gyors	Leglassúbb, ST
ATPáz aktivitás	Legnagyobb	Közepes	Legkisebb
Z-csík	Vékony	Közepesen vastag	Legvastagabb
Mitochondrium szám	Legkevesebb	Több	Legtöbb
Oxidatív enzimek (citrát-ciklus, terminális oxidáció) mennyisége	Legkevesebb	Közepes mennyiségben	Legtöbb
Glikolitikus enzimek	Legtöbb	Közepes mennyiségben	Legkevesebb
Kapillarizáltság	Legkisebb	Közepes	Legnagyobb
Fáradás	Gyorsan bekövetkezik	Lassabban következik be	Legkésőbb következik be
Új nevezéktan	FG	FOG	SO

Mivel a rostok másféle biokémiai enzimrendszerrel rendelkeznek, így alapvetően meghatározzák, és behatárolják az egyén fizikai teljesítőképességét, ill. a különböző sportágakbeli sikereit is. Ha azonban az izomrostok egymáshoz viszonyított aránya változtatható, úgy a kevésbé tehetséges emberek, ill. a hátrányosabb genetikai háttérrel született sportolók esélyei is megnövelhetők. Ez tehát a C-típusú rostok differenciálásával lehetséges. Sajnos azonban ez a változás nem mérvadó egy versenysportoló életében, ugyanis a C-rostok 3-4%-ban vannak jelen az izmokban. Éltsportolónál ez a változás nem dönti el egy jelentősebb verseny kimenetelét,

ha mindenki képes ugyanakkora változást elérni. A rostösszetételre vonatkozó genotípus tehát valószínűsíti a különböző sportágakbeli sikereket, illetve rátermettséget. Egyetlen izmunkban sincsenek tisztán ST vagy FT rostok, hanem ezek keverten fordulnak elő. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy különböző izmainkban funkciójuk szerint más-más arányban lehetnek jelen. Egy sportoló teljesítményét alapvetően a kar és a láb izmai befolyásolják. Így ha az izomrost-összetételét akarják meghatározni izom-biopsziát alkalmazva elsősorban a comb-izmait (m. quadriceps) vizsgálják. Ha az ST rostok vannak többségben, akkor a sportolónak elsősorban a nagy aerob kapacitást igénylő sportok nyújthatnak sikereket, míg a FT rostok nagyobb aránya az anaerob kapacitást igénylő sportágakban előnyös (3.40. ábra). Fontos megjegyeznünk, hogy ezek csak megközelítő adatok, egy-egy sportág kiemelkedő képviselőjénél ennél szélsőségesebb értékeket is mértek már. A gyors rostok 50% feletti aránya nem valószínű, mivel a ST rostok szerepe nemcsak a sportmozgásokban jelentős, hanem ezek a rostok felelősek a test megtartásáért is. Ha a FT rostok aránya megnőne az illető a felegyenesedést, egy helyben ülést stb. nem lenne képes kivitelezni. Ennek ellentmondanak azonban az utóbbi évek sportélettani közleményei, melyek szerint vizsgáltak olyan sprintereket is, akiknél 20%-ban voltak csak a ST rostok, míg a FT rostok 80%-ban voltak jelen. Igaz, ezen belül kb. fele-fele arányban találtak FG és FOG rostokat. A különböző rosttípusok aránya életkoronként is változik.

3.40. ábra - Rosttípusok megközelítő aránya különböző sportágak élsportolóiban



A prenatális életkorban kb. 50%-ban találtak I. típusú (ST) rostokat, míg kb. 25-25% volt a II. (FT) rostok és a C-típusú rostok aránya. Születéskor a II. típusú rostok kb. 45%-ban, az I. rostok kb. 40%-ban, míg a C rostok kb. 15%-ban voltak jelen. Az első életév végére a C-rostok már csak 3-4%-s arányban voltak megtalálhatók. Ez az arány életünk végéig megmarad. Az első év végére az éppen járni tanuló gyermekben az ST rostok aránya volt nagyobb (kb. 55%), majd felnőttkorra ez az arány ismét változott a IIB típusú rostok javára. Serdülőkorban érdekes módon a három fő rosttípus (I, IIA, IIB) kb. azonos arányban volt jelen a comb izmaiban. Ezek az adatok rávilágítanak a kamaszkori rendszeres testmozgás jelentőségére, hiszen ha a rostok aránya nem is változik, a különböző rosttípusok enzim-rendszereinek módosítása jelentősen befolyásolja majd az egyén fizikai teljesítőképességét. Különösen fontos ez akkor, ha figyelembe vesszük, hogy mind aerob, mind anaerob kapacitással rendelkező rostok ebben az életkorban vannak jelen a legnagyobb arányban a szervezetben.

3.2.2. Szívizom

A harántcsíkolt izomszövet egy másik formája. Morphológiai egysége az *elágazó szívizomsejt*. Ebben a sejtben egy centrális helyzetű sejtmag található. A szívizomsejtek egymással kapcsolatban vannak, ez a kapcsolat a fénymikroszkóppal látható **Eberth-féle vonal**. Myofibrillumai harántcsíkolttságot mutatnak. A myofibrillumok között, mint a vázizomszövetnél is, sok a mitochondrium, glikogén, Golgi-apparátus valamint símáfelszínű sarcoplasmaticus reticulum. A sejteket kívül bazális lamina határolja, amihez mind kollagén, mind reticuláris rostok kapcsolódnak. Ez a sejtfelépítés a szívizom legtöbb sejtjére igaz, melyek feladata az összehúzódnás és elernyedés. Ezért szokták munkaizomzatnak is nevezni.

Emellett a szívizomzatban található speciális ún. **ingerületképző és vezető szívizomsejt csoportok**, ami ugyancsak elágazó, harántcsíkoltat mutató izomsejtekből áll, de a sejtek kétmagvúak, a harántcsíkoltat nem olyan éles, mint amit a mechanikai munkaizomsejteknek megfigyeltünk. A sejtek igen sok glikogént tartalmaznak.

Ingerképző és ingervezető rendszer: a **sinus csomó** és a **pitvar-kamrai rendszer** (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Keringési rendszer” c. fejezetben).

3.3. Myoepithel

A **myoepithel** T alakú epithel sejtekből épül fel, ahol a sejt alsó kiszélesedő részében találhatók a myofibrillák, míg a felső rész a sejtmagot tartalmazza. Ilyen sejtek találhatók pl. a szemben, pontosan a pupilla tágítását végző musculus dilatator pupillae-ban.

4. Idegszövet (tela nervosa)

Az idegrendszer felépítésében résztvevő szövet az **idegszövet**. A külső csíralevél, az ectoderma származéka. Felépítésében idegsejtek (neuronok) *idegrostok*, gliasejtek és gliarostok vesznek részt.

4.1. A neuron

A **neuronok** az idegrendszer ingerképzésre és vezetésére alkalmas nyúlványos sejtjei. A nyúlványaik két csoportba sorolhatók, dendritek és axonok. A rövid nyúlványok a **dendritek**, melyek nagyobb számban találhatók, míg az egy, hosszú nyúlvány a *tengelyfonál* (**neurit** vagy **axon**). A sejtnek a magot tartalmazó része a **soma** vagy *perikaryon*, melyben középen található egy sejtmag.

A differenciálódott idegsejt nem osztódik, mert sejtszótóközpontja (cytocentrum) hiányzik. A sejtmag mellett jól fejlett Golgi-apparátus figyelhető meg. Jellegzetes organelluma a durva felszíni endoplasmaticus reticulum. Ezek alkotják a fénymikroszkóposan is azonosított **Nissl-állományt**, amit Lenhossék után **tigroidnak** neveznek. A durva felszíni endoplasmaticus reticulum a dendritekbe is behatol, de az axonba nem.

A sejtplasmában szabad ribosoma, símafelszíni endoplasmaticus reticulum, mitochondrium található. A neuronok cytoplasmája microtubulusokat és microfilamentumokat is tartalmaz, melyek a sejtek nyúlványaiban is megfigyelhetők. A microfilamentumok főleg aktin monomérekkel polimerizálódnak. A monomerek a sejt plasmájában szintetizálódnak, s onnan transzportálódnak a felhasználás helyére, pl. az axonba, ahol polimerizálódva a filamentum pozitív pólusát adják. A filamentumok negatív része körül ribosomák helyezkednek el. Mivel a microfilamentumoknak és a tubulusoknak ez az elrendeződése az axonban nagyon szigorú és szabályos, ezért az axoplasmában nincsenek ribosomák, nincs fehérjeszintézis. A dendritekben a microtubulusok és filamentumok nem mutatnak ilyen szabályos elrendeződést (töltés szempontjából), ezért negatív töltésű részek lehetnek a sejttesttől távolabb is. E körül ribosomák jelennek meg, s ezért van az, hogy a dendritekben fehérjeszintézis folyik. Az axon kilépése kúpszerű, és csupasz, azaz nem borítja izoláló burok. Az axonnak ez a része az ún. axon eredési kúp vagy **axondomb**. (Jelentőségét ld. később.) A neurit vége az ún. végfácska, ami kapcsolatot képes kialakítani más idegi vagy nem idegi eredetű sejtrel (ld. később).

A neuronokat morfológiai (alakítási) és működési szempontok alapján csoportosítjuk. A *morfológiai felosztás*nál azt figyeljük, hogy a sejtnek hány nyúlványa van. Ennek megfelelően beszélünk:

1. **Egynyúlványú (unipoláris) sejtekről**. Az egy nyúlvány az axon. Előfordul pl. a bélfonadékokban.
2. **Álegynyúlványú (pseudounipoláris) idegsejtek**. Ezek a sejtek tulajdonképpen kéynyúlványúak, de a nyúlványok eredő részei összeolvadtak. Ezek az idegsejtek általában érzősejtek. Megtalálhatók a csigolyaközi dúcokban, valamint érző agyidegek dúcaiban, kivéve a VIII. agyideg mindkét ducát.
3. **Kéynyúlványú (bipoláris) idegsejtek**. Az idegsejttest két oldaláról lépnek ki a nyúlványok, melyek közül az egyik a dendrit, a másik az axon. Előfordulnak pl. a VIII. agyideg mindkét ducában.
4. **Soknyúlványú (multipoláris) sejtek**. Itt a rövid nyúlványok, dendritek száma több, de axon csak egy van. Ilyen multipoláris idegsejt pl. a kisagyi Purkinje sejt, a nagyagyi pyramisisejtek.

Az idegsejtek működés szerint lehetnek érző (sensoros), összekötő (inter, vagy asszociációs), és mozgató (effektorikus) neuronok.

4.2. A glia

Az idegszövet másik sejtjes elemét a **gliasejtek** adják. Szerepük a neuronok táplálásában, izolálásában, a neuronokból kiszabadult átvivőanyagok felvételében, lebontásában, az ionok és a szövetközi víz felvételében, a myelinhüvely szintézisében van. Mind a központi, mind a perifériás idegrendszerben előfordulnak.

4.2.1. A központi idegrendszer gliaelemei

1. **Ependyma sejtek** köbös vagy hengeres formájú, nyúlványos sejtek. A sejtek alapjáról erednek a nyúlványok, amik pl. az agy szövetközi állományába hatolnak. A központi idegrendszer üregeit (agykamrák, gerincvelői csatorna) bélelik.
2. **Astrocyták** (másképpen **macroglia**) nyúlványos sejtek melyek hálózatot alkotnak. Két típusát tudjuk elkülöníteni annak alapján, hogy a sejtől mennyi nyúlvány ered, ill. a nyúlványok hosszabb vagy rövidebb távon követhetők, elágazódnak, vagy sem. Így elkülönítünk *plasmás és rostos astrocyták*at. A **plasmás astrocyták** kevés, vastag nyúlvánnyal rendelkeznek, s ezek elágazódás nélkül, viszonylag hosszan követhetők, míg a **rostos astrocyták** vékony nyúlvánnyal rendelkeznek, melyek az eredés után hamarosan elágazódnak. Míg az idegrendszer szürke állományában inkább a plasmás, addig a fehérállományában a rostos formájuk található. Az astrogliák végtalpai veszik körül az agyi kapillarisokat, megalkotva a vér-agy-gát lényeges elemét.
3. **Oligodendroglia sejtek**. Kisméretű viszonylag kevés számú nyúlvánnyal rendelkeznek. A központi idegrendszer fehérállományában található csak myelinhüvelyes idegrostok myelin burkát hozza létre (ld. Idegrostok).
4. **Mesoglia**. Ez a gliasejt féleség eredet szempontjából eltér a többi gliasejttől, mert ezek nem ectodermális, hanem mesodermális eredetűek. A sejtek kis méretűek, 2-3 nyúlvánnyal rendelkeznek. Kóros körülmények között nemcsak alakjukat, de helyüket is változtatják. Idegen anyagok bekebelezésére képesek.

Mind az oligodendroglia, mind a mesoglia sejtek a **microgliák** közé tartoznak.

4.2.2. A perifériás idegrendszer gliaelemei

1. **Schwann-sejtek**. A perifériás idegek rostjai körüli szigetelő burok kialakításában vesznek részt.
2. **Satellita sejtek**. Érző és vegetatív dúcokban a neuronok perikaryonjai körül elhelyezkedő lapos sejtek. Valószínűleg a neuronokat izolálják és anyagcseréjükben is szerepet játszanak.

4.3. Idegrostok

Mind a központi, mind a perifériás idegrendszerben a neuritek egy része körül egyfajta gliasejt által képezett hüvely alakul ki. A neuritet, és az azt körülvevő hüvelyt együttesen **idegrostnak** nevezzük. A központi idegrendszerben az oligodendroglia sejtek, a perifériás idegrendszerben a Schwann-sejtek hozzák létre ezt a hüvelyt.

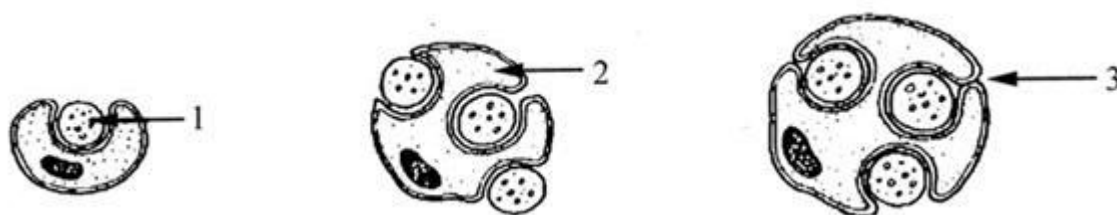
A neuritek nagy többsége valamilyen burokkal van körülvéve, és csak a legvékonyabb neuritek csupaszok, valamint minden axon eredési és végződési szakaszai. Ezek a valódi **csupasz idegrostok**. Ebben az esetben az axonok közvetlenül érintkeznek a sejtközi folyadékkal.

A *hüvellyel borított axonok* három csoportba sorolhatók:

- Schwann-sejt (Schwann-hüvelyű, vagy Remák-féle) rostok,
- Schwann-myelinhüvelyes rostok.
- Csak velőhüvelyes (myelinhüvelyes) rostok.

1./ **Schwann-sejt (Remák-féle rostok) rostok**. A legegyszerűbb elrendeződést mutató idegrostok. A vegetatív idegek tartoznak ebbe a csoportba. Egy kissé vastagabb magános, vagy vékonyabb axon csoport (5-15 axon) ágazódhat egy Schwann-sejtbe (3.41. ábra). A neurit a Schwann-sejt hártáját a fejlődése során maga előtt tolja, az kissé behorpadva alakítja ki a **mesaxont**. Egy Schwann-sejtbe több axon is benyomódhat. Egy neuritet egy Schwann-sejt mintegy 250 µm hosszúságban vesz körül. Ezután egy másik Schwann-sejt következik.

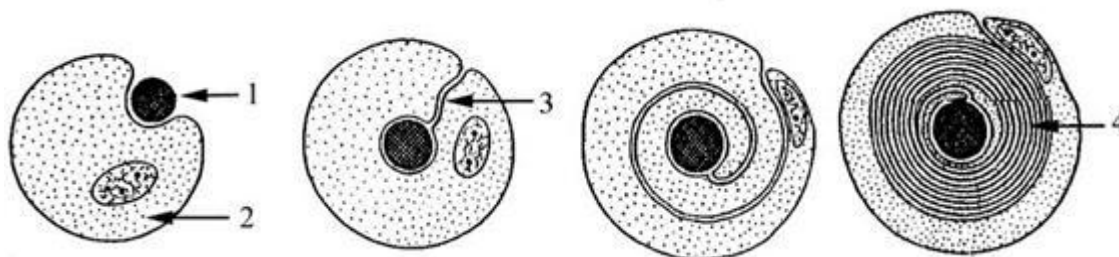
3.41. ábra - Schwann-sejtes idegrost kialakulása



1: idegrost, 2: Schwann-sejt, 3: mesaxon

2./ **Schwann-myelin hüvelyes rostok.** A perifériás idegrostok nagy része a fejlődés során nem áll meg a Remák-féle rost szintjén. Ha minden egyes axon külön Schwann-sejtbe ágyazódik, a beágyazódás után a Schwann-sejtek rotáló mozgásba kezdenek a tengelyükben levő neurit körül (3.42. ábra). Ennek az lesz a következménye, hogy a Schwann-sejt membránja ill. az egész sejt fokozatosan felcsavarodik az axon körül. Vékony rostok esetében csak néhány rétegben, vastag rostok esetében 70-80 ilyen koncentrikus réteg keletkezik. A felcsavarodó Schwann-sejt membránok közötti plasmába egy speciális lipidtermészetű anyag a myelin rakódik le.

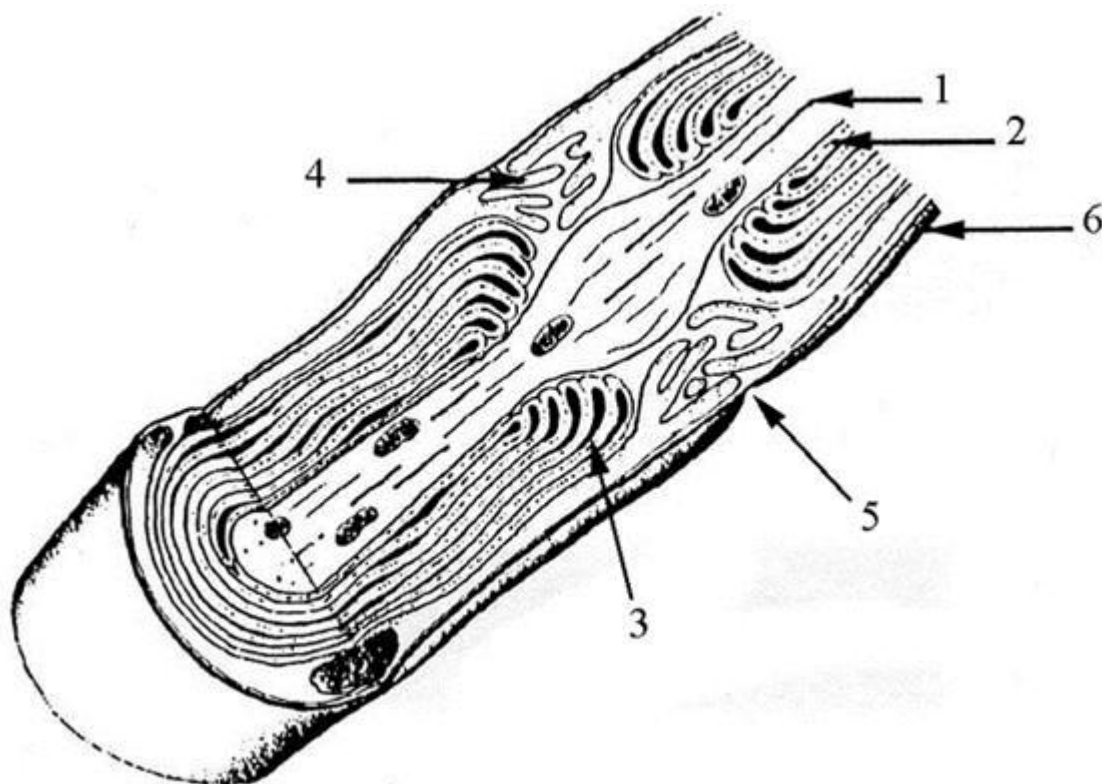
3.42. ábra - A myelinhüvely kialakulása



1: axon, 2: Schwann-sejt, 3: mesaxon, 4: myelinhüvely

Egy-egy Schwann-sejt az axonnak eredetileg mintegy 250 μm hosszú szakaszát veszi körül. Ahogy véget ér a Schwann-sejt a velőshüvely megszűnik, majd egy újabb Schwann-sejt képezi a következő darabon a velőshüvelyt. A két Schwann-sejt között az axonnak egy-egy velőshüvely nélküli szakasza látható. Ez a **Ranvier-féle befűződés** (3.43. ábra). Ezen a területen a myelinhüvely megszakadása előtt a membránkettőzetek kissé eltávolodnak egymástól, így keletkezik az ún. hajfonat-szerű struktúra. A két hajfonat közötti területben változó nagyságú kitüremkedések láthatók, melyek a két Schwann-sejt interdigitáló területeiből adódnak. A fejlődés kezdetén a Ranvier-féle befűzések 250 μm -re vannak egymástól, de a további fejlődés során ez a távolság 2 mm-re is megnőhet. A Ranvier-féle befűzések egymástól való távolsága az axon és a myelinhüvely vastagságától függ. Minél vastagabb az axon annál távolabb vannak a befűzések.

3.43. ábra - Ranvier-féle befűződés



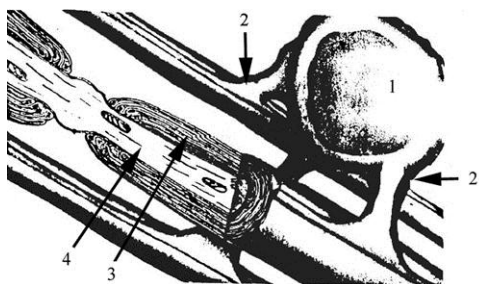
1: axon, 2: axolemma, 3: Schwann-sejt nyúlványok, 4: interdigitáló nyúlványok, 5: Ranvier-féle befűződés, 6: bazális membrán

A velőshüvely külső felszínén igen vékony plasmazegély és sejthártya látható. Ezt a plasmazegélyt régen **neurilemmanak** nevezték, és innen a Schwann-sejt másik neve a **lemnocyta**.

A Ranvier-féle befűződésnél az axonnak egy rövid, egy-két mikrométeres szakasza csupasz. Általánosan feltételezik, hogy a terjedő ingerületi állapot esetében lezajló ionvándorlások csak itt folynak le; tehát az ingerület voltaképpen ugrásszerűen halad az egyik Ranvier-befűződéstől a másikig. Feltételezve, hogy minden következő ugráshoz szükséges, és a soron következő Ranvier-befűződésnél lezajló ionvándorlási folyamat azonos időt vesz igénybe, az ingerületvezetési sebességnek annál nagyobbak kell lennie, minél nagyobbak a Ranvier befűződések közötti távolságok.

3./ **Csak velőshüvelyű (myelin hüvelyes) rostok.** Ilyen idegrostok a központi idegrendszer fehérállományában találhatók. Az axon körül a **myelinhüvelyt** az ún. oligodendroglia sejtek nyúlványai képezik úgy, hogy feltekerednek az axonra. (Figyelem: a neurit nem az oligodendroglia sejt testébe ágyazódik! 3.44. ábra). Egy adott oligodendroglia sejt a környezetében tetszés szerinti irányban futó számos idegrosthoz küld nyúlványokat (kb. 20-30-at). Egy oligodendroglia sejt több egymástól független idegrost - a hozzá közel eső - részletét látja el hüvellyel. A központi rostok velőshüvelye keletkezésében tehát szigorú területi elv uralkodik; minden oligodendroglia sejt a saját környezetéhez tartozó - ott átfutó - valamennyi idegrost hüvelyét adja. A központi idegszövetben legtöbbször különböző irányban futó és egymással összefonódó idegrostrendszerek mellett ez a felépítési elv igen gazdaságos. Az axon átmérője és a myelinhüvely vastagsága befolyásolja az idegrost vezetési sebességét (ld. később).

3.44. ábra - Csak myelinhüvelyes idegrost



1: oligodendroglia sejt, 2: az oligodendroglia sejt nyúlványa, 3: myelin konformáció, 4: axon

Ha a myelinhüvelyes rostoknál zsírkimutató reakciót végzünk (pl. ezüstreakció), fekete színreakciót kapunk. Ezért az agyból készült atlaszokban a fehérállományt feketének a szürkeállományt relatíve világosabbnak ábrázolják.

Az idegsejt tulajdonsága, hogy ingert képes felfogni, átalakítani és arra választ adni. Ezek a folyamatok jellegzetes, sejten belüli anyagszere változásokkal jellemezhetők. Mindehhez az idegsejt és környezete közti kapcsolattartás (kommunikáció) szükséges. A sejtek elsősorban transzmembrán folyamatok segítségével tartják fenn a kapcsolatot az intra- és az extracelluláris tér között. A szabályozott transzmembrán folyamatokat az ioncsatornák teszik lehetővé.

4.4. A neuron és környezete közti kapcsolattartás

4.4.1. Ioncsatornák

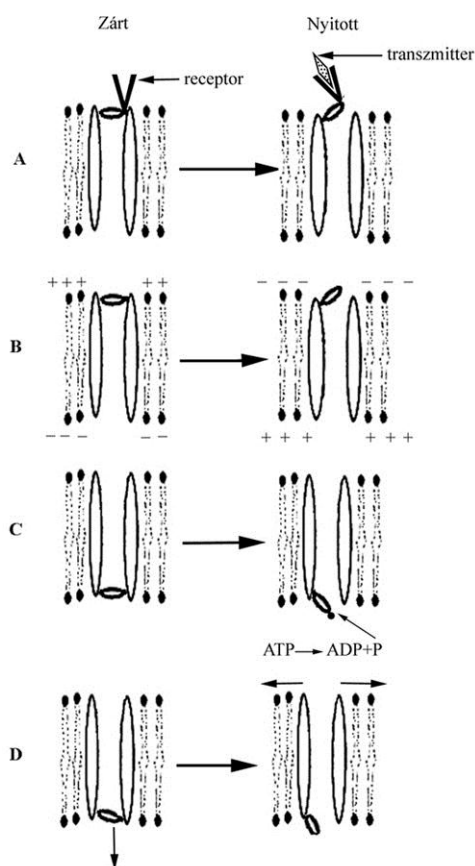
A sejt homeosztázisának fenntartásában nagyon fontos szerep jut a különböző **ioncsatornáknak**. Ezek speciális „kapuként” szabályozzák a sejt belsejébe jutó ionokat mind mennyiség, mind minőség szerint. A csatornákat transzmembrán fehérjék alkotják. Ezek többnyire olyan fehérjék, amelyek hatszor „futnak át” a membrán két oldala között (6 transzmembrán domain). Ezek a hosszú láncok egy funkcionális óriásfehérjét alakítanak ki. Egy-egy fehérje a csatorna pórusának kialakításához szükséges. Többnyire négy ilyen fehérje képes kialakítani a csatornát, középen a pórusal.

Szelektív és nem-szelektív ioncsatornákat ismerünk. A **szelektív ioncsatornák** csak bizonyos típusú iont engednek át a póruson, míg a **nem szelektív ioncsatornák** többféle kationt is átengedhetnek a sejt belseje felé.

Működésük szerint négyfélék lehetnek. Transzmitter-függő ioncsatornák, feszültségfüggő, energiafüggő és mechanoszenzitív ioncsatornák. Mint az 3.45. ábrán is jól látható a csatorna nyitására felelős kapuk a sejtmembrán külső, ill. belső felszínén is elhelyezkedhetnek.

A **transzmitter függő ioncsatorna** (3.45. ábra, A. kép) csak egy transzmitter kapcsolódásakor nyílik. Maga a kapu nem más, mint egy receptormolekula, amely megkötve a transzmitert konformáció-változáson megy át. Ennek hatására kinyílik a csatorna pórusa, és a megfelelő ion átáramolhat rajta. A transzmitter és a receptor viszonyát „kulcs-zár” kapcsolatnak is nevezzük, éppen ennek specifikus jellege miatt. Az ioncsatorna addig nyitott, míg valami el nem távolítja a transzmitert a receptorról. Ha a csatorna pl. egy acetilcholin függő Na^+ -csatorna, akkor a transzmitert az acetilcholin-észteráz hasítja ketté. Így a receptor nem ismeri föl többé a transzmitert, a csatorna pedig bezárul.

3.45. ábra - Ioncsatornák



A: transzmitter függő-, **B:** feszültségfüggő-, **C:** energiaigénylő-, **D:** mechanoszenzitív ioncsatornák

A **feszültségfüggő ioncsatorna** (3.45. ábra, B. kép) a környezetében lévő membrán polaritásának megváltozására nyílik. A kapu itt is a membrán külső felületén található. Fisiológias körülmények között a membrán külső felülete pozitív, míg a belső negatív töltésű. Ha ez egy inger hatására megváltozik a csatorna kapu kinyílik. Erre a típusra példa a feszültségfüggő Na^+ -csatorna, a Ranvier-féle befűződésekben és axon kezdeti szakaszán.

Az **energiát igénylő ioncsatorna** (3.45. ábra, C. kép) az ATP vagy egy annak megfelelő energiahordozó molekula hasításakor nyílik. Ekkor a membrán belső felületén lévő molekula foszforilálódásával alakul ki a konformáció-változás, s nyílik ki a kapu.

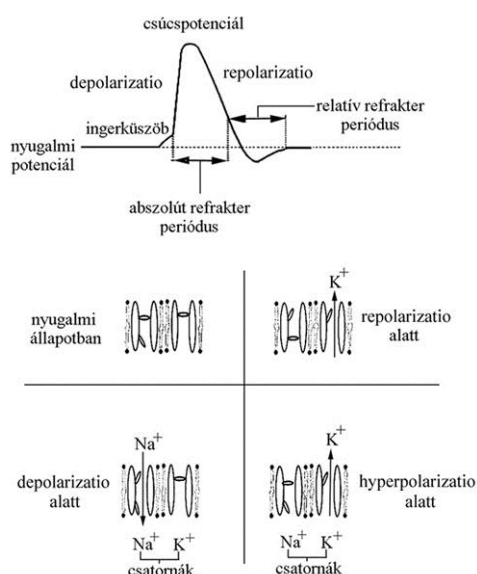
A **mechanoszenzitív ioncsatornák** (3.45. ábra, D. kép) a membrán feszülésének megváltozásakor nyitják ki a szintén a sejt belseje felé néző kaput. A feszülés megszűntekor a csatorna bezárul. Ilyen csatornák találhatók pl. a hallójárat szőrsejtjeiben. A csatornák phylogenetikailag már nagyon korán kialakultak. Az első ilyen csatornák valószínűleg már 1,4 milliárd évvel ezelőtt megjelentek csillókon, ostorokon, szőrsejteken. Hasonló ioncsatornákat találunk simaizom sejteken is. Valószínűleg ez az ősi típus volt az alap szerkezet a többi ioncsatorna kialakulásához.

4.5. Akcióspotenciál

A sejtmembrán külső és belső felületén más az **ioneloszlás**. Ez a sejtmembrán szelektív permeabilitásának és a sejt homeosztázisra való törekvésének köszönhető. Az állandó állapot elérésében a sejtet elsősorban a Na-K pumpa segíti. Ez a pumpa adott időpillanatban 3 Na^+ iont pumpál a sejt belsejéből a sejt külső térbe, míg 2 K^+ iont hoz be az extracelluláris térből a sejtbe. Mivel mindezt a fent nevezett ionok koncentráció-grádiense ellenében teszi, csak energia befektetés mellett képes erre, azaz az ATP hasításából származó energia tartja fenn ezt a működést. Mivel mindig jelen van a sejtbe jutó Na^+ ion és kifelé vándorló K^+ ion, a pumpa folyamatos működése biztosítja a két ion eredeti megoszlását a két térrészben (Na^+ kb. 12 mM intracellulárisan, 145 mM extracellulárisan; K^+ 150 mM intracellulárisan, 4 mM extracellulárisan). A terek elektromos semlegességének fenntartásához negatív töltésű ionok is kellenek. A sejtben belüli és kívüli térben is vannak negatív töltésű fehérjék, ezek többsége azonban a sejtben belül található. Mivel ezek óriásmolekulák, nem képesek vándorolni a sejtmembrán két oldala között. A Cl^- ion (a fisiológias sóoldat NaCl oldat) pedig a kismértékű diffúziójának

és relatív kicsi koncentrációkülönbségének köszönhetően nem befolyásolja jelentősen az ionegyensúlyt a membrán két felszíne között. A pozitív és negatív töltésű ionok összességében tehát teljesen egyenletesen oszlanak el a sejten belül és kívül, de amíg kívül a Na^+ ill. Cl^- ionok vannak többségben, addig a belső oldalon a K^+ ionok és a fehérje-anionok. Mivel ez utóbbiak relatív negatív töltéstöbbletet idéznek elő a sejtmembrán belső oldalán, ez magával hozza a pozitív ionok már említett egyenetlen megoszlását is. A két pozitív ion egyenlőtlen eloszlásának következtében tehát (sok Na^+ kívül, sok K^+ belül) a külső membránfelszín pozitívabb lesz a belső membránfelszínhez képest. Mindez addig a pillanatig fennáll, míg a Na-K pumpa működését nem zavarja meg valami. A membrán két oldala között így potenciálkülönbség mérhető. Ez sejtípustól és állatfajtól függően -70 - 90 mV, amit **nyugalmi membránpotenciálnak** nevezünk (3.46. ábra). Ha inger éri a sejtet, akkor a membrán Na-permeabilitása hirtelen megnő, a Na^+ ionok a koncentráció-grádiens irányába kezdenek el vándorolni, azaz a sejt belseje felé. Ennek következményeként változik a töltéseloszlás a membrán két oldalán (**depolarizáció**). Amikor a töltéseloszlás megváltozása miatt a **membránpotenciál** elér egy kritikus értéket, kinyílnak a feszültségfüggő Na-csatornák, minek hatására hatalmas mennyiségben áramlik be a Na^+ a sejt belsejébe. Ennek eredményeképpen teljesen megváltozik a töltéseloszlás, a sejt belseje lesz pozitívabb a külső felszínhez képest. Ha a sejt szétduzzanását, és elpusztulását meg akarja akadályozni akkor be kell zárnia a Na^+ csatornákat. Amikor a legnagyobb pozitív potenciál mérhető a sejtmembránon, akkor beszélünk **csúspotenciálról** (kb. $+40$ mV). A sejt nyugalmi állapotának visszaállítása érdekében a K^+ ion kezd el kivándorolni a sejtől a feszültségfüggő K^+ csatornákon keresztül (**repolarizáció**). A folyamat eredményeképpen a töltéseloszlás visszaáll az eredeti értékre, s így a membránpotenciál is, de az ioneloszlás még különbözik a nyugalmi helyzettől. Ebben az állapotban a sejt belsejében Na^+ ionokat találunk, míg a sejt a folyamat során sok K^+ iont veszít. Az eredeti ioneloszlás visszaállítását ismét a Na-K pumpa végzi. Amikor a membránpotenciál ismét eléri a nyugalmi membránpotenciál szintjét, a K^+ további kivándorlásának következtében először enyhe **hyperpolarizáció** mérhető (negatívabb mint -70 - 90 mV), majd az eredeti ioneloszlás visszaálltával ez megszűnik. A sejt akcióspotenciáljának kialakításához legfontosabb a **minden vagy semmi törvénye**, ami azt jelenti, hogy amennyiben a sejtire érkező inger által kiváltott potenciál változás nem ér el egy bizonyos értéket – **ingerküszöb** –, akkor nem alakul ki akcióspotenciál (ez a „semmi” állapot), ha azonban a változás nagysága eléri az ingerküszöböt, akkor mindig ugyanakkora potenciál változás mérhető az adott sejt membránján (minden állapot).

3.46. ábra - Az akcióspotenciál kialakulása és az ekkor megfigyelhető változások a sejtmembránban



Fontos hangsúlyozni, hogy az akcióspotenciálon kívül ismerjük a helyi jellegű potenciálokat is, ami például az 3.46. ábrán a nyugalmi és az akcióspotenciál ingerküszöbe közötti domb.

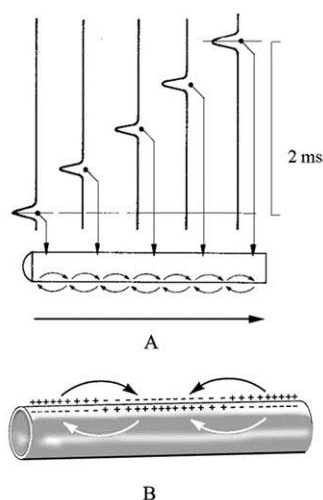
Van izgalmi és gátló, helyi jellegű potenciál. A helyi jellegű potenciálok nem tovaterjedők, nagyságuk az inger (átvivő anyag mennyisége) függvénye. Amennyiben egy helyi jellegű potenciál változása nem éri el az ingerküszöböt, akkor nem jön létre akcióspotenciál. Az ilyen nyugalmipotenciál változások zajlanak az idegsejtek testén és dedritjein. Ha az axon kezdeti szakaszán ezek a potenciál változások elérik a küszöbpotenciál szintjét, akkor **akcióspotenciált** váltanak ki. Az akcióspotenciál időben 3-4 ms hosszú. Az inger által kiváltott potenciálváltozás miatt addig nem ingerelhető újra a sejt, amíg az akcióspotenciál **refrakter**

periódusa tart. Kétféle refrakter periódust ismerünk, az abszolút refrakter periódust, ami azt jelenti, hogy semmilyen inger nem képes újabb akcióspotenciál kiváltására ebben a szakaszban, míg a relatív refrakter periódusban a szokásos ingernél nagyobb inger (szupernormális inger) újra kiválthat akcióspotenciált. Ez a szakasz nagyon fontos szerepet játszik az idegsejtek működésének szabályozásában.

A különböző transzmittereket (ingerület átvívó anyag) működésük szerint kétféleképpen csoportosítjuk. Vannak serkentő, és **gátló transzmitterek**. A **serkentő transzmitterek** (pl. ACh, glutamát) enyhén depolarizálják a membránt (pozitívabbá teszik), így könnyebben alakul ki akcióspotenciál, míg a gátlók (pl. GABA, glycin) hyperpolarizálják a sejtmembrán adott szakaszát (negatívabbá teszik), így akadályozzák az akcióspotenciál kialakulását.

Az akcióspotenciál a membrán egy pontján alakul ki, s ahhoz, hogy megváltoztassa egy sejt működését, tovább kell terjednie, s át kell adódnia egy másik sejtnek. A tovaterjedés általában a sejttest felől indul és az axonvégződés felé halad. A tovaterjedés sebessége meghatározza az ingerületvezetés és egyben az ingerület átadásának sebességét. Az ingerület terjedése kétféleképpen valósulhat meg. Egyrészt pontról pontra terjedve (3.47. ábra, A. kép), másrészt „ugrálva” (3.47. ábra, B. kép).

3.47. ábra - Az ingerület a csupasz axonon pontról pontra (A), míg a velőhüvelyes axonon ugrálva terjed (B)



A pontról pontra való terjedés viszonylag lassú folyamat. A csupasz axonok lassabban vezetnek. Ennél hatékonyabb a **saltatorikus ingerületvezetés**. Megvalósulását a myelinhüvely kialakulása teszi lehetővé. A myelinhüvelyt a Schwann-sejtek alakítják ki, oly módon, hogy többszörösen az axon köré csavarodva „szigetelik” azt. A szigetelések között bizonyos pontokon (Ranvier-féle befűződések) az axon csupasz marad. Ez a csupasz axon-membrán ad teret az akcióspotenciál terjedésének. Mivel az akcióspotenciál a refrakter periódus miatt mindig csak egy irányban terjedhet, így a csupaszon maradt felületek biztosítják a saltatorikus ingerületvezetést.

Az axonokat (idegrost) osztályozhatjuk tehát **ingerületvezetési sebességük** szerint (4. táblázat). A rostátmérő, a myelinhüvely léte vagy hiánya befolyásolja az idegrost vezetési sebességét, így elhelyezkedését is. Az izmok, inak működtetéséhez mindig gyors idegrostokra van szükség, míg az autonóm idegrendszer lassan kialakuló válaszaihoz lassú vezetési sebességű idegrostok futnak.

Az idegrostok között vannak gyorsan vezető, myelinhüvelyes és lassan vezető myelinhüvely nélküli rostok. Az idegrost vastagsága és vezetési sebessége alapján elkülöníthetünk (4. táblázat).

1. vastag, myelinhüvelyes ún. *A-rostokat*,
2. vékony, myelinhüvelyes lassúvezetésű ún. *B-rostokat*,
3. lassúvezetésű, myelinhüvely nélküli ún. *C-rostokat*.

A myelinhüvely szétesése, ill. egyéb betegségek következtében megjelenő axon-leépülések nagyon súlyos következménnyel járnak egy élő szervezetre nézve. Az axonok csupássá válása (a myelin borítás elvesztése) a

vezetési sebesség és vezetési tulajdonságok megváltozásával jár. Ha az axon vezetési sebessége csökken, természetesen a motoros működésekben és az idegrendszer egyéb integratív működéseiben is zavar áll be. Ez, ha a myelinhüvely sérülése sokáig tart, az idegsejt elhalásához is vezethet.

A gerincvelő sérülései következtében kialakuló károsodások gyakran maradandó változást okoznak az idegsejtek myelinhüvelyének szerkezetében is. Több tudományos vizsgálat is arra utal azonban, hogy az idegsejtek myelinhüvelye újjáépülhet, ilyen módon a központi idegrendszer sérülésével kialakult mozgászavarok, vagy bénulások idővel javulhatnak.

Az egyik legismertebb betegség, amely az axonok myelinhüvelyének leépülésével jár a **sclerosis multiplex**. Ez a tünetegyüttes általában fiatal felnőtt korban alakul ki, főként nőkben, gyakran a 20-40. életév között diagnosztizálják. A genetikai tényezőkön kívül környezeti faktorok is segítik a betegség kialakulását, leggyakrabban különböző vírusfertőzések hatására indulnak be a myelin vesztéssel járó folyamatok. Nagyon gyakran immunbetegségként jellemzik, aminek az az oka, hogy a betegség kialakításában fontos szerepe van a T-lymphocytáknak (ld. „Immunsejtek”). A központi idegrendszer normális körülmények között nem átjárható a lymphocyták számára, a betegség kialakulásakor azonban T-lymphocyták és monocyták vándorolnak be a központi idegrendszerbe. Ennek hatására olyan gyulladásos (immunológiai) folyamatok indulnak be, amelyek a myelinhüvely pusztulásával járnak. A Schwann-sejtek ugyan képesek visszaépíteni az axonok myelin burkát, de az immunfolyamatok öngerjesztő jellege miatt azok állandóan leépülnek. Ezek következményeként a sclerosis multiplexben szenvedő betegek életében javuló és romló szakaszok váltják egymást. Másodlagos következményként mind az agyszövet, mind ennek következtében az agyi funkciók is károsodnak. Hatására neurológiai, pszichés és motoros zavarok egyaránt kialakulnak.

3.4. táblázat - Az idegrostok típusai és néhány jellemzőjük

Idegrost típus	Átmérő (µm)	Vezetési sebesség (m/s)	Előfordulás
A (valamennyi myelinhüvelyes rost)			
Aα	15	100	Nagy, gyors rostok. Az izomból érkező rostok (afferens), és az ín Golgi-rostjai
Aβ	8	50	Közepes rostok. A nyomás, tapintás, vibráció és mozgás
Aγ	5	20	Közepes és kisméretű rostok. Izomrostokhoz futnak
Aδ	3	15	Kis méretű rostok. Érintés nyomás, hőmérséklet és gyors fájdalomérzés
B (myelinhüvelyes vagy hüvely nélküli rostok)	3	7	Kisméretű, közepes vezetési sebesség. Autonóm idegrendszer praeganglionáris rostjai
C (myelinhüvely nélküli rostok)	0,5	1	Legkisebb rostok, leglassúbb vezetés. Autonóm idegrendszer postganglionáris rostjai, lassú fájdalomérzés

Egyre több közlemény foglalkozik azonban a motoros zavarok kapcsán a mozgás, sport sclerosis multiplexben szenvedő betegekre gyakorolt hatásával. Számos kísérletet végeztek mind aerob edzések, mind erőedzések kapcsán (a korábban diagnosztizált betegeken). Az eredmények azt mutatják, hogy a rendszeres sport javítja a betegek életminőségét, és csökkenti a romlást mutató fázisok gyakoriságát. Az aerob edzéseket elsősorban kerékpár ergométeres edzésekkel (Kileff és Ashburn, 2005), ill. gyalogló programokkal valósították meg ezekben a vizsgálatokban, míg az erőedzések esetében rezisztencia tréninget végeztek. Azt tapasztalták, hogy ezek az edzések főleg a lábfunctiók javulását okozták (Romberg és mtsai, 2005).

Kerékpáros sportmozgások esetében heti kétszer 30 perc 12 héten át elegendőnek bizonyult a mérhető mobilitás-változásokhoz. Ezek az adatok is rávilágítanak arra, hogy a Magyarországon is bevált rehabilitációs mozgásterápiák (gyógytorna, gyógyúszás) tovább fejleszthetők a betegségben szenvedő egyedek életminőségének javítása érdekében.

4.6. Idegvégződés

Az idegvégződések két nagy csoportba sorolhatók, s így ismerünk terminális és interneuronális idegvégződések. A **terminális idegvégződések** a továbbiakban annak megfelelően oszthatók, hogy milyen szövetben találhatók. Így ismerünk hám-, kötő- és az izomszövetben előforduló idegvégződések. Az **interneuronális vagy intercalaris idegvégződések** magában az idegszövetben találhatók.

Az idegrostok vagy úgy végződnek a szövetekben, hogy ott a sejteknél semmiféle változást nem idéznek elő, vagy az általuk módosított sejtekkel együtt alaktani egységet hoznak létre. Az előző esetben **szabad idegvégződésről**, az utóbbi esetben **idegvégtestről** beszélünk.

4.6.1. A hámszövet idegvégződései

A hámszövet idegvégződéseit **intraepitheliális idegvégződésnek** is nevezik. Egy és többretegű hámokban egyaránt megtalálhatók, melyek lehetnek *intraepitheliális szabad és intraepitheliális idegvégtestek*.

Az **intraepitheliális szabad idegvégződések** rostjai a hám alatti idegrostokból származnak, amelyek a hámba lépve elvesztik velőhüvelyüket, és a hámsejtek közötti extracelluláris térben haladnak a hám felszíne felé. Valószínűleg a fájdalomérzékelés érzővégkészülékei (receptorai).

A mirigyek szekréciós sejtjei közé is belépnek rostok (ezek vegetatív idegrostok) és ott szabadon végződnek. Ezek a mirigyek szekretoros rostjai.

Intraepitheliális idegvégtest a Merkel-féle test. A hámban futó csupasz rost egy hámsejt csészeszerűen veszi körül. Ez a hámsejt megnagyobbodik, festődése is megváltozik. A megváltozott hámsejt és az idegrost csésze formációja együtt adják a Merkel-féle testet, ami nyomás és rezgő mozgásra érzékeny receptor.

4.6.2. A kötőszövet idegvégződései

A kötőszövetben is találunk szabad idegvégződések és idegvégtesteket. A *szabad idegvégződések* az ún. fa-alakú elágazódások, a szabad gomolyok, inorsó.

A **fa-alakú elágazódás** főleg a lazarostos kötőszövetben található, ahol a csupasz rost többszörösen elágazódhat. **Nyomásérző receptor.** Érdekes, hogy a csupasz rost legkevesebb elágazódást képez az emésztő és a légzőrendszerben és igen gazdagon elágazódik a keringési rendszerben (pl. aorta, arteria carotis falában).

Az érrendszer specifikus kémiai receptorai (a vér venozitálásának érzékelése) a *gomolyok*. Pl. a glomus caroticumban a kromaffin sejteket körülfontó csupasz rostok.

Inorsó. Az izomnak az ínba való átmeneténél található. Az ínszövet kollagén rostnyalábjai között vastag érző rost végágak alakítják ki.

A **kötőszövet idegvégtestei** közül a legegyszerűbb a **Krause-féle végtest**. A végtestben a velőhüvelyét veszített idegrost a végén többszörösen elágazódik és visszahajlik. A csupasz rost körül a kötőszöveti rostok lemezekbe rendeződnek. A kötőszöveti lemezek és a csupasz rost konformáció együtt alkotja a Krause-féle végtestet. Hő, mégpedig **hideg receptornak** tartják.

A Krause-féle idegvégtest szerkezetileg tovább bonyolódhat mégpedig úgy, hogy

- a. a kötőszövetes tokon belül nem egy, hanem *több rost gomolyt formál*. Ilyenek a **Golgi-Mazzoni féle végtestek**, amelyeket kéjtesteknek is neveznek. Nemiszervek bőrének irharétegében találhatók.
- b. a kötőszövetes tokban a csupasz rostok mellett *tapintósejtek* is megtalálhatók. Ilyen végtest a **Meissner-féle idegvégtest**. Ugyancsak a bőr irha rétegében fordul elő, ahol a végtest maga kollagén rostokkal függeszkedik a hámréteghez, ezért minden deformáció, ami az epidermist éri áttevődik az idegvégtestre. Tapintó és nyomásérző receptor.
- c. a kötőszövetes tok *lesz nagyon fejlett*. Ezt figyelhetjük meg a **Vater-Pacini-féle idegvégtesteknél**. A kötőszövetes tok lemezei egymásra rétegezve keresztmetszetben olyan képet mutatnak, mint amit akkor látunk, amikor egy hagymát keresztbevágunk. Nyomásra és vibrációra érzékeny, bőrben fordul elő. Macskák szinte minden szervében nagy számban találhatók, s rezgést érzékelő receptor volta miatt régen jó földrengés előrejelzőnek használták a macskákat.

4.6.3. Az izomszövet idegvégződése

Érző végtest csak a harántcsíkolt vázizomszövetben található. Ez az ún. **izomorsó**, ami az izomszövet bonyolult **proprioceptor**a. Az izmok kontrakciós állapotát regisztrálják a vázizmok munkavégző izomrostjai közé ékelődve.

Kötőszövetes tok határol el néhány izomrostot ezek az ún. intrafuzális rostok, szemben a tokon kívüli extrafuzális rostokkal. Az intrafuzális izomrostokra egy vastag *annulospirális rost* tekeredik, ami az izomrost passzív nyújtását érzékeli. Az intrafuzális rostok két végén vékonyabb rostok egy *virágfűzér-formát* képeznek (maglánc-receptor), ezek az izomrost kontrakciós állapotát érzékelik. A kétféle idegvégződést kialakító idegrostok ingerületvezetése eltérő. A vastagabb rostok gyorsabban vezetik az ingerületet, mint a vékonyabbak, s így a virágfűzér végzódások ingerülete később érkezik a gerincvelőbe. Ebből a gerincvelő, de leginkább a kisagy „kiértékeli” a tényleges feszülési állapotot, de ezen túl a feszülés irányát is.

Az izmok proprioceptorainak biológiai jelentősége az, hogy segít elkerülni az izmokra ható nagy passzív erőket és egyben biztosítja az izom hosszának és az általa mozgatott ízület helyzetének állandóságát egy-egy meghatározott testtartásban.

Mint minden vázizomrostnak, így az intrafuzális rostoknak is van *motoros beidegzése* (ld. synapsisok).

A símaizomszövet motoros végződése a **vegetatív alapfonadék**. A Schwann-sejtes idegrostok fokozatosan elágazódnak a símaizomsejtek között (ld. Símaizomszövet).

4.6.4. Az idegszövet idegvégződése

Ezeket a végzódásokat nevezik még intercaláris idegvégzódéseknek, **synapsisoknak** is. A synapsis elnevezés Scherringtontól (1897) származik. Maga a synapsis két idegsejt közötti speciális kontaktus. Ma már a synapsist tágabb értelemben is használjuk, mert pl. az ideg-izom kapcsolatot is synapsisnak nevezzük. A synapsisok két csoportra oszthatók, úgymint elektromos és kémiai.

Az **elektromos synapsis** olyan speciális kapcsolat, ahol az ingerületi hullám csaknem késés nélkül továbbítódik. Az elektromos ingerület átvitel helyén a sejthártyák szoros kapcsolatba kerülnek (**gap junction** vagy réskapcsolat) egymással (3.48. ábra, A. kép).

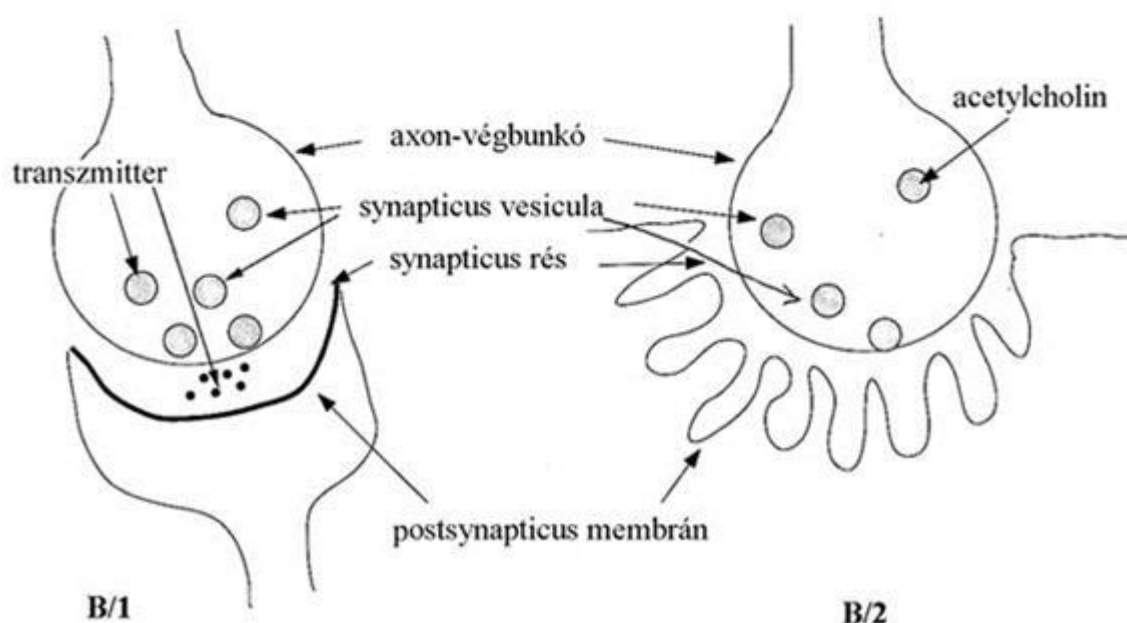
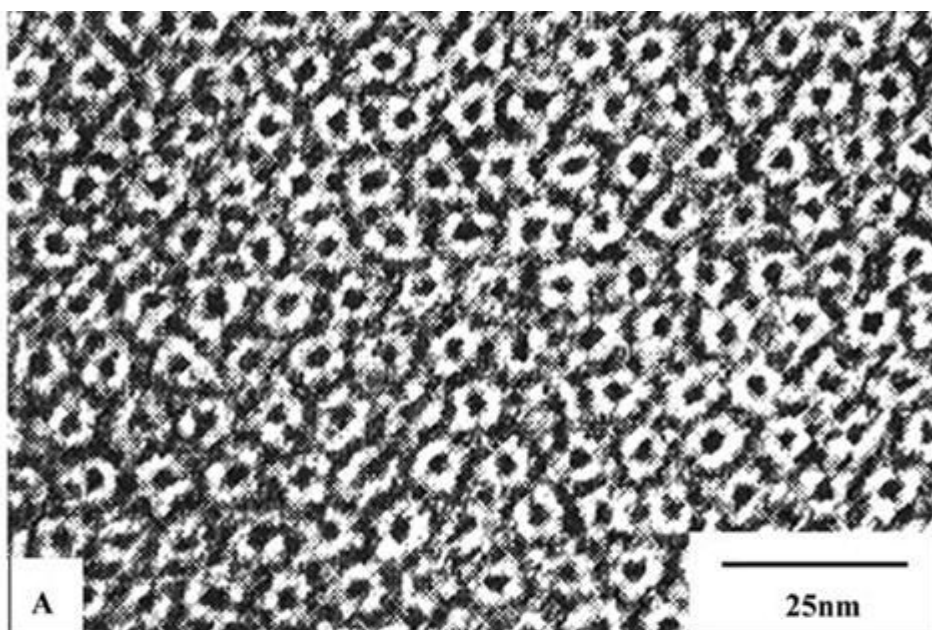
A két sejthártya között 2 nm a távolság. A résben nincs electron-denz sejtközi állomány, és a synapsis szimmetrikus. A két sejt közötti gap junction kialakításáért a connexon molekulák felelősek. Ezek a molekulák az ioncsatornák transzmembrán fehérjéihez hasonlóan többször átszövik a membránt, az ioncsatornákkal ellentétben azonban mindkét sejt membránját. Pórusaik rendkívül kicsik, így gyakorlatilag csak a szervesetlen ionok képesek átjutni rajta. Ez azonban elegendő, pl. az akcióspotenciál akadálytalan tovahaladásához. Az ingerületvezetés kétirányú.

A **kémiai synapsisok** is további két, nevezetesen a konvencionális (szabályos) és nem konvencionális kémiai synapsisok csoportjaira oszthatók. Az ingerületet hozó axon vége velőhüvelyének elvesztése után bunkószerűen kiszélesedik. Ez a terület adja a synapsis praesynapticus területét. Az axonvégen vesiculák figyelhetők meg, amelyek különböző kémiai anyagokat (ingerületátvivő transzmitterek, mediatorok) tartalmaznak. Ezek kiürülve az ún. synapticus részbe kerülnek, amelyen át eléri a másik idegsejt testét, vagy nyúlványát, ami a postsynapticus területet adja.

A neuronok axonvégződéseiben a vesiculák transzmitterei serkentő és gátló hatásúak lehetnek. Serkentő transzmitter pl. az **acetylcholin** és a glutamát, gátló transzmitter pl. a GABA és a glicin.

A **szabályos kémiai synapsisok** (3.48. ábra, B/1. kép) egyszerűsítve a következő képpen működnek. Az akcióspotenciál eljut a synapticus végbunkóhoz, ahol az ingerület-áttevődés transzmitter anyagok közvetítésével valósul meg. Az akcióspotenciál hatására a **synapticus vesicula**, melyhez a transzmitter anyag kötődik, a **praesynaptic membrán**hoz vándorol, ahol **exocytosis**szerűen kiüríti tartalmát a **synapticus** részbe. A transzmitter a fogadó sejt **postsynapticus membrán**jához vándorol, ahol egy receptorhoz kapcsolódik. Ezek a receptorok specifikusak az adott transzmitterre (kulcs-zár kapcsolat). A receptor egy ioncsatorna „kapuja”. Az ioncsatorna akkor nyílik ki, ha a receptor megkötötte a transzmittert, ekkor Na^+ ion vándorol a postsynapticus membrán belseje felé, megváltoztatva annak töltésviszonyait, s így elindítja az akcióspotenciál kialakulását. A transzmitter addig kapcsolódik receptorához, míg egy hasító-enzim el nem bontja. Így a receptor-molekula nem ismeri fel többé, és bezárja a csatornát.

3.48. ábra - A: Réskapcsolat (gap junction) elektronmikroszkópos képe. B/1: Valódi-, B/2: -nem konvencionális kémiai synapsis (neuromusculáris junctio)



A szervezet egyik fontos transzmittere az ACh, amelyet az acetilcholin-észteráz enzim hasít acetil csoportra és cholinra. Ha az ACh elbomlott, szállító-molekulák segítségével visszajut a praesynapticus végbunkóba, ahol újra ACh-ná alakul, becsomagolódik a synapticus vesiculába, s így újra-hasznosítható. A valódi kémiai synapsis postsynapticus membránja megvastagodott, amely a rengeteg viszonylag kis területen elhelyezkedő ioncsatornának köszönhető.

A **nem konvencionális kémiai synapsis** (3.48. ábra, B/2 kép) postsynapticus membránja többszörös membránhullámokba rendeződik, teljesen körülölelve a praesynapticus végbunkót. Így jóval nagyobb felületen képesek elrendeződni az ioncsatornák. Ilyen nem valódi kémiai synapsis a vázizomszövet motoros végződése a **mozgató véglemez**. Itt a vázizomrostokhoz futó idegrost szőlőfürt, vagy szarvasagancs-szerűen elágazódik. Az idegrost az izomsejt felőli oldalán elveszti velőhüvelyét és a csupasz roston számos kiöblödés formálódik. Ezek benyomulnak az izomsejt sarcolemmája által kialakított mélyedésekbe, melyek felszíne nem síma, hanem ujjszerű kitüremkedések figyelhetők meg rajta. Az idegrost membránja és a sarcolemma között mintegy 60 nm-

es rés található. A kiszélesedő axonvégekben vesiculák találhatók, melyek acetylcholint, mint transzmitter anyagot tartalmaznak.

A motoros véglemezek funkcionális szempontból azért fontosak, mert ez egy olyan synapsis, amelyik minden körülmények között átvezeti a mozgatórost ingerületét az izomrostra.

4.7. Drogok és doppingszerek

„A dopping a versenyzők által alkalmazott testidegen szerek, abnormális mennyiségű élettani vegyületek, vagy más eszközök ill. módszerek alkalmazása, a vegyület ill. szer normálistól eltérő úton az emberi szervezetbe juttatása abból a célból, hogy mesterségesen és csalással növeljék a versenyteljesítményt.

Ha orvosi kezelés céljából alkalmaznak gyógyszert és annak bármilyen alkotórésze természeténél, adagolási módjánál vagy mennyiségénél fogva alkalmas arra, hogy a sportoló teljesítményét emelje a versenyzés során mesterséges ill. tisztességtelen módon, akkor ez is doppingolásnak számít.” (NOB, ill. annak Orvosi Bizottsága.)

A **dopping** kifejezés eredetileg az angol „dope” szóból ered, jelentése kábítószer, izgatószer, serkentőszer. Bár ilyen nevet csak 1889 körül adtak ennek a módszernek, a valóságban a dopping már az ókorban is létezett. Sokáig úgy gondolták, hogy a doppingot a versenysport táplálja, ma már sajnos számtalan bizonyíték van arra, hogy a szabadidősportban is megjelent a doppingolás.

A doppingszerek csoportosítása

1./ Tiltott szerek:

Stimulánsok: amfetamin és származékai, koffein, sympatho-mimeticumok (pl. ephedrin).

Az *amfetamint* elsősorban a fájdalomtűrés fokozása érdekében szedik, ugyanakkor fokozza az agressziót és csökkenti az egyén ítélőképességét. Az *amfetamin és származékai* a fáradtságérzést nem szüntetik meg, de elfedik azt, ilyen módon nagyon balesetveszélyesek is.

A *sympatho-mimeticumok* a keringési és légzőrendszer továbbá a központi idegrendszer működését fokozó hatásuknak köszönhetően népszerűek.

Narkotikumok. Erős fájdalomcsillapító hatásúak.

Anabolikus szerek.

Nemihormonok (pl. androgének, ösztrogének, progeszteron)

Stressz hormonok (pl. glükokortikoidok, ACTH)

Diuretikumok (*vízajtók*). Ezeket elsősorban a súlycsoportos sportágakban használják a testsúly gyors csökkentésére, másodsorban pedig a doppingszerek szervezetből történő gyorsabb kiürítése céljából. Ilyen módon próbálják meg kijátszani a doppingellenőrzéseket. Ezeknek a szereknek jelentős teljesítménycsökkentő hatása van, mivel mind a vérplasma mennyisége, mind a szervezet víztartalma csökken. Ez jelentősen rontja az állóképességi sportolók, valamint az erősportok képviselőinek teljesítőképességét is. Ezzel párhuzamosan izomgörcsöket, szédülést, ill. vesekárosodást okozhat.

Peptidek és glikoproteinek vagy analógjaik. Hormonok, peptidhormonok, mint pl. inzulin, STH (somatotrop = növekedési hormon), EPO, parathormon, szteroidhormonok.

2./ Tiltott módszerek.

Vérdopping (ld. „Vér”). Az EPO mellett, ami önmagában is kb. 10%-os teljesítmény növekedést okozhat, megjelent egy klinikai kipróbálás alatt lévő szer az efaproxiral (RSR13). Ez a molekula a hemoglobin alloszterikus módosításával lehetővé teszi az oxigén gyorsabb leadását a szövetek felé, így nagyon ígéretes a hypoxiát okozó betegségekben. Ilyen lehet a különböző vérrögzítődések után fellépő szöveti hypoxia.

Pharmacologiai, kémiai és fizikai manipulációk (katéterezés, vizeletcsere, vizelethamisítás, vizelet-kiválasztás akadályozása pl. probenecid és származékai).

3./ Részben tiltott szerek:

(Meghatározzák az előfordulási dózis maximumát, vagy különböző körülményeket vesznek figyelembe, pl. betegségek).

- Alkohol
- Marihuana (kannaboidok)
- Lokális érzéstelenítők
- Corticosteroidok
- Béta-blokkolók. Elsősorban a szorongás oldására, illetve a pulzus lassítására használják. Nagy fizikai aktivitást igénylő sportágakban nem korlátozzák a használatát, mivel teljesítményrontó hatású. Hatására csökken a vázizomzat vérellátása, a várható pulzusszám, valamint metabolikus hatása is van, amely elsősorban a glikolízis akadályozása maximális terhelés esetén. Elsősorban lövészetben, íjászatban használatos.

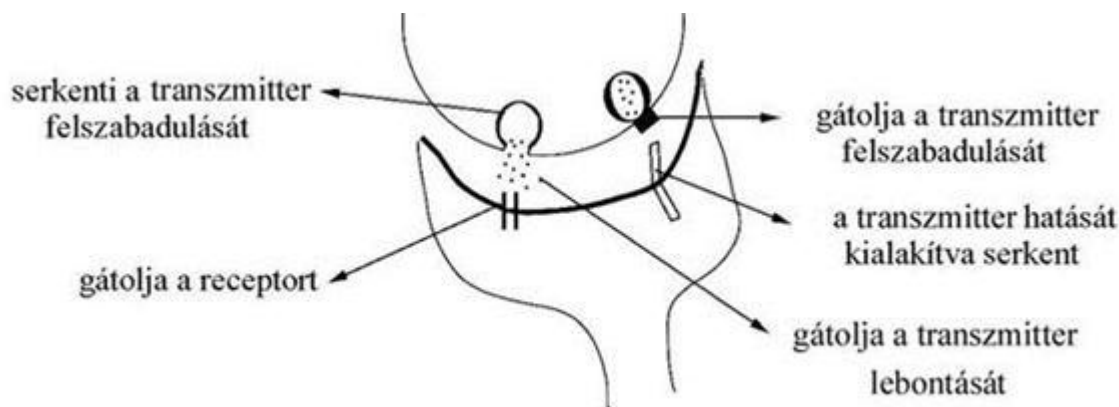
Drogok csoportosítása

- Stimulánsok
- Hallucinogének
- Szorongásoldók
- Narkotikumok
- Nyugtatók

Megkülönböztetünk legális és illegális drogokat. A **legális drogok** azok a szerek, melyek megvásárlását a törvények és a társadalmi elvárások nem vagy csak részben korlátozzák, míg az **illegális drogok** használata, terjesztése polgárjogi következményekkel jár. Legális drogok: kávé (koffein), alkohol, cigaretta, ill. más dohányárúk, bizonyos gyógyszerek. Ezen gyógyszerekről ugyan tudott, hogy addiktív hatásúak, mégis vény nélkül megvásárolhatók a patikákban.

A drogok többsége a limbikus rendszert befolyásolva hat. A limbikus rendszer feladata a szervezetben nagyon sokrétű, de elsősorban az ember érzelmi, szociális viselkedését befolyásoló része az agynak (ld. Idegrendszer). Így szabályozza a fájdalom-érzést, az örömet és a bánatot, a félelmet és a dühöt, a részvétet, együttérzést, a memóriát, és a szexuális érdeklődést. Így tehát a limbikus rendszer sérülése súlyosan befolyásolja az egyén személyiségét, „anti-szociális” viselkedést kialakítva. A központi idegrendszer működését oly módon befolyásolják, hogy egy adott transzmitter felszabadulását serkenthetik vagy gátolhatják. Serkentetik egy serkentő transzmitter felszabadulását, gátolhatják egy gátló transzmitter felszabadulását (a gátlás-gátlása, azaz serkentés). A depresszánsok pl. serkentetik a gátló transzmitter felszabadulását, vagy gátolhatják a serkentő transzmitter felszabadulását. Ezek a hatások tehát a synapsisok működésének megváltoztatásával alakíthatók ki (3.49. ábra). Miután megváltoztatják a központi idegrendszer működését, beavatkoznak a szervezet homeosztázisába is. Gyakran előfordul, hogy egy drog rendszeres adagolása akadályozza a szervezet saját transzmitterének termelődését. A drog elhagyásával tehát transzmitter hiány alakul ki, amelynek súlyos élettani és pszichológiai hatásai lesznek. Így alakulnak ki a **megvonási tünetek**. Megvonási tünetek: ha a használó abbahagyja a drog szedését, melynek hatására bizonyos tünetek jelennek meg a szervezetben. Ezek a tünetek ellentétes hatásúak a drog hatásaival. Ha pl. a heroin eufóriát okoz, akkor megvonása dysphoriát (rendkívül ingerlékeny nehezen elviselhető állapot). Ez alapvetően annak köszönhető, hogy a hosszú ideig szedett szer megváltoztatta a belső környezetet, amelynek eredményeként a homeostasis ellentétes irányú változtatásokat alakít ki a hatás megszüntetésére. Ha a szert abbahagyjuk, ezek a hatások jutnak érvényre. Ugyanakkor éppen ezek a hatások okozzák, hogy egyre több (nagyobb dózis) szükséges ugyanannak az állapotnak az eléréséhez. Ez a **tolerancia**, azaz csökkent érzékenység a drog iránt, amely a drog rendszeres használata következtében alakul ki.

3.49. ábra - A drogok synapsis működést befolyásoló hatásai



Ha **opiátokat** szisztémásan adagolunk (keringésbe), akkor azok az endogén opiát receptorokat serkentik, melyeknek számtalan hatása van a szervezetre. Így pl. analgesia (csökkent fájdalomérzés, periaqueductalis terület), hypothermia (csökkent testhőmérséklet, preopticus terület), sedatio (formatio reticularis), valamint reinforcement (ventralis tegmentalis area, nucleus accumbens).

Számtalan irodalmi adat ismert arra vonatkozóan, hogy a reinforcement dopaminerg neuronokon keresztül valósul meg. Ha olyan anyagot adunk a nucleus accumbensbe, amely az opiát receptorokat blokkolja, a heroin reinforcing hatása nem érvényesül. Nagyon fontos megfigyelés, hogy a periaqueductalis területre adott heroin megvonása egyben megvonási tüneteket is produkál, még akkor is, ha magának a heroinnak nem volt reinforcing hatása.

Többféle irodalmi adat is igazolja, hogy a drog-függőség élettani függőséget jelent. Ennek ellentmond, hogy számos drog, így pl. a kokain sem okoz élettani függőséget, ugyanis azok, akik fogyasztják nem alakítják ki a tolerancia jellemzőit, ha pedig abbahagyják nem mutatnak megvonási tüneteket. Mégis, ezek az emberek nagyon erősen heroin függők. Más anyagok kialakítanak függőséget, megvonási tünetek jelentkeznek abbahagyásukkal. Mégsem alakítanak ki abúzus magatartást, aminek az az oka, hogy nincs reinforcing hatásuk. Tehát mind a fiziológiai, mind a pszichológiai függés egyforma jelentőséggel bír, sőt a pszichológiai függőség nehezebben gyógyítható.

Tolerancia minden alábbiakban felsorolt drog esetében kialakul.

A **narkotikumok** közé sorolhatók az ópium, a morphin, a heroin, codein, methadon, Chloral-hydrat és egyéb narkotikumok. Hatásidejük általában 3-6 óráig terjed, de a methadon hatásideje akár 24 óra is lehet. Felhasználásuk elsősorban szájon át (oralisan), injektlva, vagy felszippantva lehetséges. A codein kivételével mindegyik esetben bizonyított mind a pszichológiai, mind a fiziológiai függés kialakulása. Hatásaik euphoria, légzésl lassulás, álomság, pupilla szűkület, nausea. Túladagoláskor kóma vagy halál is kialakulhat. Megvonási tünetek pl. orrfolyás, könnyezés, ásítózás, étvágytalanság, tremor, félelem, irritabilitás.

A **nyugtatók** közé a barbiturátokat, tranqilizereket soroljuk. Hatásaik 4-8 órán át tartanak. Oralisan vagy injektlva használják. Mind pszichológiai, mind fiziológiai függés kialakul. Hatásaik a mosott beszéd, disorientatio, részegségre utaló tünetek. Túladagoláskor tág pupillák, gyenge, de szapora pulzus alakul ki. Megvonási tünetek a tremor, delirium, idegesség, insomnia (alvászavarok). Használatuk esetlegesen halállal végződhet.

A **stimulánsokhoz** a kokaint, amphetamint, amphetamin származékokat soroljuk. Hatásidejük általában 2-4 óra, szájon át vagy injektlva használatosak. A pszichológiai függés bizonyítottan a fiziológiai valószínűleg kialakul. Hatásaik az éberség, fokozódása, euphoria, pulzusszám fokozódása, étvágytalanság, insomnia, tág pupillák. Megvonási tünetek a depresszió, apátia, irritabilitás, disorientatio, hosszú alvásidő. Túladagoláskor a testhőmérséklet növekedése, hallucinációk alakulnak ki, illetve halál is beállhat.

Hallucinogének az LSD, mescaline, PCP és egyéb hallucinogének. Hatásidejük változó, oralisan, injektlva orron át vagy füstölve adagolják. A tolerancia kialakulása bizonyított, valamint a pszichológiai függés is.

A kokain és az amphetamin hasonló magatartási hatásokkal bír, mivel mindkettő a dopamin agonistájaként fogható fel. Hatásukat úgy fejtik ki, hogy gátolják a dopamin visszavételét a synapticus részből. Az amphetamin önmagában is serkentőleg hat a dopamin felszabadulására. A „crack” (a kokain egyik formája) valószínűleg az összes ismert drog közül a leggyorsabb megerősítő szer. A kokain-fogyasztók úgy vélik, hogy a szer aktívva,

beszédessé, euphorikussá teszi őket. Úgy érzik, hogy erősek, bátrak. A kokain-fogyasztók háromszor olyan valószínűséggel halnak bele a szer használatába, mint a morfinisták. Mind a kokain, mind az amfetamin fogyasztásával súlyos pszichés-tünetek alakulnak ki. Ilyenek pl. a hallucinációk, magatartási zavarok, sztereotip (ismétlődő) mozgássorok. Ezek a tünetek nagyon hasonlítanak a paranoid schizophreniára. Ha a függőségben szenvedő abbahagyja a szer szedését, a kialakult agyi működészavarok nem szűnnek meg (a *nucl accumbens* sérülése miatt), sőt ha az illető „visszaeső” akkor a pszichés tünetek azonnal felerősödnek.

4.8. Doppingellenes mozgalmak

1999-ben Lausanneban (Svájc) létrejött egy új szervezet a **WADA** (World Anti-Doping Agency), melynek alapvető célja egy nemzetközi standard (IS) jól körülhatárolt kódrendszer megállapítása volt. Ennek értelmében némileg módosították a doppinglistát, sőt valószínűleg további változások várhatók, ugyanakkor szigorúbban ellenőrzik a sportolókat a versenyeken és versenyeken kívül is. Ettől a sport „tisztaságának” visszanyerését remélik. Működésük eredményét hazánk sportolói is megtapasztalhatták Athénben 2004-ben. A genetika tudományának fejlődésével még modernebb problémák elé nézünk. A különböző génmanipulációk nemcsak a növényekben és kísérleti állatokban lehetségesek, hanem elméletileg az emberben is.

4.9. A legismertebb legális drogok

A nikotin és a koffein, valamint az alkohol.

Bár ezeket a drogot nem szokták a „nehéz drogok” közé sorolni, különösen a **nikotin** hatásai nagyon veszélyesek. Mindkét drog addiktív, bár a koffein általában nem fogyasztható akkora dózisban, hogy egyértelműen bizonyíthatóak legyenek vele kapcsolatos betegségek. Nem így van a nikotinnal kapcsolatban. A cigarettában több ezer káros anyagot tartanak számon, ezek közül csak az egyik a nikotin. Ez a molekula az acetilcholin pharmacológiai agonistája, azaz ugyanolyan hatásai vannak a szervezetben, mint az acetilcholinnak. Emellett segíti a *nucleus accumbens*-ben a dopamin felszabadulását a neuronokból. Több kutató szerint ez a hatása több „nehéz drog-függőt” gátol a leszokásban. Maga a nikotin egy lúgos kémhatású, levegőn barna, csípős ízű folyadék. Halálos adagja kb. 60 mg, egy erős dohányos óránként kb. 10-20 mg-t juttat a szervezetébe. Függőség, ill. tolerancia viszonylag rövid idő alatt kialakul. Minél fiatalabb egy szervezet, annál biztosabb a függőség kialakulása. Megvonási tünetei rendkívül sokrétűek, mind pszichológiai, mind physiologiai vonatkozásban.

A **koffein** a sejtek Ca-raktárait mozgósítja, melynek legfontosabb eredménye a sejtek (elsősorban a központi idegrendszer neuronjainak) serkentése. Megszorításokkal doppingszernek is minősül. Ha a vizeletben 12 µg/ml érték mutatható ki, a doppingteszt pozitívnak számít. (Egy adag „dupla” kávé kb. 80-120 mg koffeint tartalmaz. Magas a koffeintartalma a Cola-nak, teának, Red Bull energiatálnak, több csokoládénak.) Túladagoláskor tachycardia, nyugtalanság, hiperaktivitás, fejfájás, esetleg depresszió, diurézis (fokozott vizeletürítés) alakul ki.

Alkohol (etil-alkohol). Ennek a szernek van valószínűleg legnagyobb hatása az emberi társadalmakra, mind a hatására kialakuló betegségek miatt, mind az alkohol-betegek szociális helyzetének változása miatt. Súlyos fokú alkoholizálás a terhesség alatt fejlődési rendellenességet, magzati halált okozhat.

Az alkoholnak kis mennyiségben elsősorban anxioliticus (szorongásoldó) hatása a legjellemzőbb. Ennek hatására olyan dolgokat is végrehajtanak a fogyasztók, amit normális körülmények között nem tennének meg. Nagy dózisban a koordináció megszűnését és nyugtató hatását ismerjük. Az alkohol GABA-receptorokat képes stimulálni, serkenti a dopaminerg sejteket a *nucleus accumbens*-ben és a ventrális tegmentális areaban, továbbá megváltoztatja a sejtmembrán szerkezetét, ezzel gyakran a sejt halálát okozva. A barbiturátok hatása nagyon hasonló az alkoholéhoz, a dopaminerg neuronokra azonban nem hatnak. Bár valószínűleg a sejtmembrán különböző pontjain kapcsolódnak, hatásuk additív. Kis mennyiségű alkohol és kis mennyiségű barbiturát együttes hatása halálos lehet. Mindkettő nagyon súlyos, életveszélyes megvonási tüneteket okozhat. Az alkohol csökkenti az izomerőt, a neuro-musculáris ingerület áttevődést, valamint hypoglykémiát is okoz.

Irodalmi adatok is igazolják, hogy a testkép megváltozása, a testépítő sport, mint fontos szabadidős tevékenység népszerűvé válása növelte a rekreációs sportot űzők körében is a dopping térhódítását. Az USA-ban egy felmérés szerint a középiskolások 3-7,6%-a használ szteroidokat (Komorski és Rickert, 1992; Whitehead és mtsai., 1992), emellett azonban egyre népszerűbb a növekedési hormon fogyasztása is. A megkérdezett diákok társaik 30%-ról tudták, hogy élnek ilyen szerrel (Rickert és mtsai., 1992), a megkérdezettek 5%-a pedig el is ismerte. Saját felméréseink alapján a konditermeket látogatók 60-70%-a használ anabolikumokat, a nem versenysportolók pedig nagyobb arányban használják, mint „profi” társaik.

4. fejezet - Szabályozó rendszerek

Az emberi szervezet különböző szervrendszereinek működését, a szervezet belső állandóságát, szervezetnek a környezeti változásokhoz való adaptálását a szabályzó rendszerek biztosítják. A klasszikus szabályozó- az ún. **neuro-endocrin rendszer**, ami az ideg- és az endocrin (belső elválasztású) rendszer együttes működését jelenti. Működésüket összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az **endocrin szabályozás** lassú, tartós szabályozás azért, mert az irányítás az endocrin mirigyek által termelt váladékkal, a hormon/okkal történik. A **hormonok** a **belsőelválasztású mirigyek** váladéktermelő sejtjeiben képződnek. Ahhoz, hogy a hormon hatást tudjon kifejteni, egy meghatározott koncentrációban jelen kell lennie a vérben, ennek megtermeléséhez és a célszervhez juttatásához idő szükséges. Ezért a hormonhatás lassan jelentkezik. A hormonok bomlása (mint kémiai folyamat) ugyancsak időt igényel. A termelés és a bontás folyamatosan lejátszódó események.

Az idegi szabályozás gyors szabályozás. Gondoljunk csak a ragadozó és a préda viszonyára. Pl. ha egy sas meglátja prédáját, hirtelen lecsap rá, ami egy gyors reakció. A neuro-endocrin szabályozásban az idegrendszer befolyással van a hormonális rendszerre. Ezt a kapcsolatot bizonyítjuk a hypothalamo-hypophysealis rendszerrel (ld. később).

1. Hormonrendszer

1.1. Endocrin szabályozás

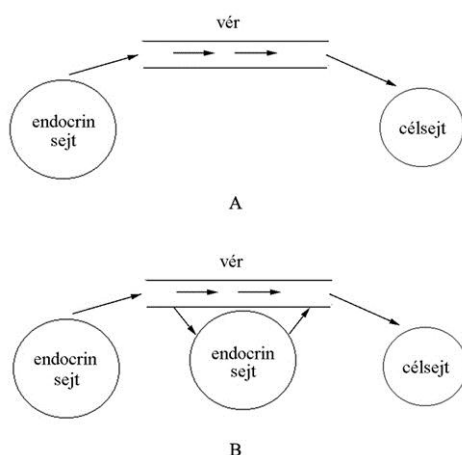
A hormonok (belső elválasztású mirigyek váladékai) olyan kémiai anyagok, amelyeket a vér szállít a célmirigyhez vagy célsejthez. Ez a klasszikus *endocrin* szabályozás jellemzője. Ma már ismert az ún. *paracrin* szabályozás is (ld. később).

A hormonok endocrin mirigyekben, ill. bizonyos szervek (pl. hasnyálmirigy, here, petefészek) speciális sejtjeiben termelődnek. Endocrin mirigyekként ismertek a corpus pineale (tobozmirigy), a hypophysis (agyalapi mirigy), a glandula (= gl.) thyroidea (pajzsmirigy), gl. parathyroidea (mellékpajzsmirigy), gl. suprarenalis (mellékvese), a pancreas (hasnyálmirigy), a testis (here) és az ovarium (petefészek) belső elválasztású sejtjei. Vannak a szervezetben olyan szervek is, amelyek hormontermelő sejteket is tartalmaznak, pl. a hepar (máj), thymus (csecsemőmirigy), a ren (vese), cor (szív), ventriculus (gyomor), duodenum (patkóbél).

A vegetatív idegrendszerrel szoros kapcsolatban álló hypothalamus idegsejtjeinek egy része hormonokat (**neurohormonok**) termel, melyeknek fontos szerepe van az agyalapimirigy működésének szabályozásában.

A hormonok kétféle mechanizmus szerint működnek. Egyrészt az endocrin mirigyből való felszabadulásukat követően bekerülnek a véráramba, s azzal eljutnak a célsejtekig (4.1. ábra, A. kép), másrészt az endocrin mirigy hormonja a vérárammal egy következő endocrin mirigy, vagy sejt működését szabályozza (pl. **trophhormonok**), amely mirigy hormonja ezután eljut a célsejtekig, s azok működésére van hatással (4.1. ábra, B. kép).

4.1. ábra - A hormonok hatásmechanizmusa

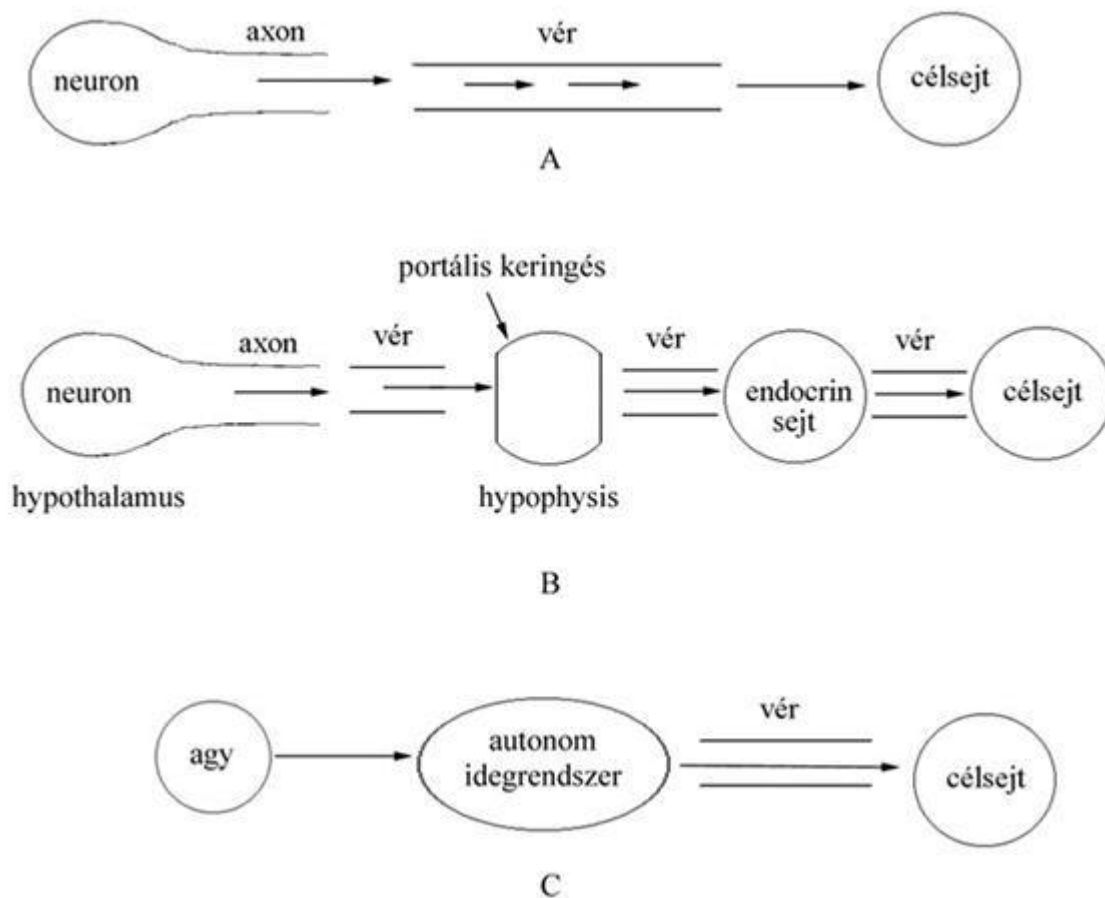


A: egyszerű endocrin sejt-célsejt-, **B:** endocrin sejt-endocrin sejt-célsejt hatás

A neuro-endocrin szabályozás többféleképpen is megvalósulhat. A legegyszerűbb formában az idegsejtek axonja üríti váladékát a keringésbe, amely közvetlenül hat a célsejtre (hypothalamus egyes sejtjei, 4.2. ábra, A. kép). Bonyolultabb formában a neuron axonjából (hypothalamus) a portális keringésen keresztül (ld. később) a secretum a hypophysis elülső lebenyébe kerül, ahol újabb hormon szabadul fel. Ezt az anyagot a vér elszállítja a megfelelő perifériás endocrin mirigy sejtjeihez, melyek által termelt hormon a célsejtekhez jut, s megváltoztatja azok működését (4.2. ábra, B. kép).

A neuro-endocrin szabályozás harmadik típusa az, amikor a hormon secretum direkt módon hat az autonóm idegrendszer működésére (pl. a pineale direct módon befolyásolja a sympathicus idegrendszer működését; 4.2. ábra, C. kép).

4.2. ábra - A neuro-endocrin működések sémája

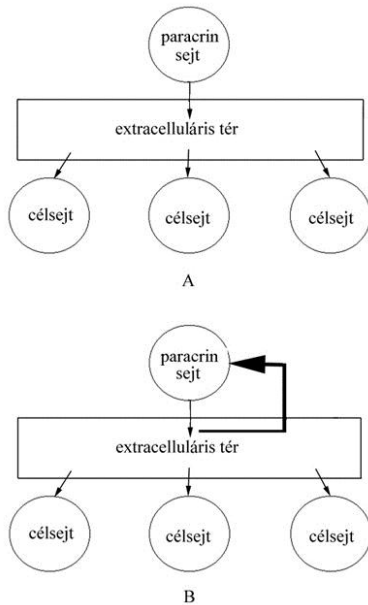


A: neuron-célsejt-, **B:** neuron- endocrin szerv által közvetített-, **C:** neuron-peripherias endocrin sejt-célsejt kapcsolat

1.2. Paracrin szabályozás

A **paracrin szabályozás** lényege, hogy pl. a bél egysejtű mirigyei által termelt váladéka a sejtől kijutva nem kapillárisokba kerül, hanem diffúzióval jut el a szomszédos sejtekhez (nem nagy távolságra), s hatását ott fejti ki (4.3. ábra, A. kép). A paracrin szabályozás másik módja az **autoreguláció**. Ennek során a sejtől felszabaduló hormon nemcsak a körülötte lévő szöveti sejtekre, hanem visszahat a felszabadító sejt működésére is. Ezt hívjuk autocrin szabályozásnak (4.3. ábra, B. kép). A vér tehát nem játszik szerepet sem az autocrin, sem a paracrin szabályozásban.

4.3. ábra - Paracrin (A) és autocrin (B) szabályozás sémája

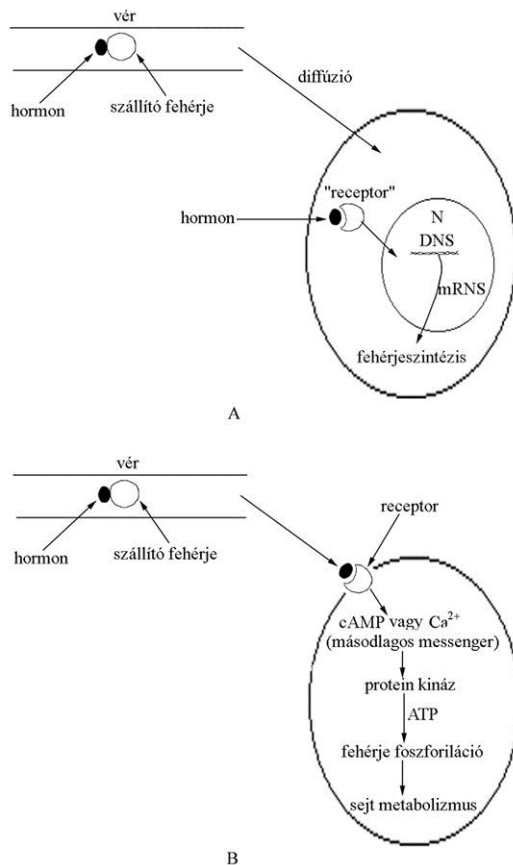


A hormonok többnyire nem fajspecifikusak. Ez azt jelenti, hogy pl. ha a sertés inzulint embernek adják, ugyancsak csökken a vércukorszint. Maguk a hormonok kétféleképpen hathatnak a célsejt működésére gyors (másodpercek vagy percek alatt kialakuló hatások), vagy lassú változásokat (néhány óra vagy nap alatt kialakuló hatások) kialakítva a sejtekben. A lassan kialakuló hatások esetében a felszabadult hormon a vérplasma specifikus transzporter fehérjeihez kötődik, amelyek elszállítják a célsejtekhez. A transzporter fehérjék a májban termelődnek. A célsejtek közelében a hormon leválik a szállító-fehérjéről, és átdiffundál a sejtmembránon (4.4. ábra, A. kép). A sejt cytoplasmájában egy „receptor-molekulához” kötődik. A **hormon-receptor** komplex egy aktív molekula, amely a DNS-hez kapcsolódva mRNS-képzést indukál. Az mRNS kivándorol a cytoplasmába, és megjelenésével fehérjeszintézis indul el, melynek eredményeként megváltozik a sejt anyagcseréje. Ilyen módon befolyásolják a sejtek működését pl. a szteroid hormonok és a tiroxin. is sok sejt működését képes megváltoztatni egyszerre.

A gyorsan kialakuló változások egy „**másodlagos messenger rendszeren**” keresztül fejtik ki hatásukat. A hormon (elsődleges messenger) a sejtmembránon lévő specifikus receptorához kötődik (tehát nem lép be a sejtbe, 4.4. ábra, B. kép). A hormon-receptor kötődés hatására a cytoplasmában megváltozik a **cAMP**- vagy a Ca^{2+} -szint. A cAMP (ciklikus AMP) ATP-ből képződik az adenilát-cikláz nevű enzim hatására. A cAMP egy protein kinázhoz kapcsolódik, melynek fehérjék foszforilálása a feladata. A fehérje ezzel a foszforilációval inaktív molekulából aktív molekulává válik. Ez a folyamat szintén energia (ATP) igényes. Az aktív fehérje pedig megváltoztatja a sejtben az anyagcsere-folyamatokat. Így hat pl. a glukagon és a noradrenalin. Ennek a mechanizmusnak előnye, hogy kis mennyiségű anyag (hormon) is sok sejt működését képes megváltoztatni egyszerre.

Lehetséges, hogy az endocrín mirigyek sejtjei a szükségesnél több hormont termelnek (**hyperfunkció**), vagy a szükségesnél kevesebbet (**hypofunkció**), de lehetséges, hogy az endocrín mirigy nem termel váladékot (**afunkció**).

4.4. ábra - A hormonok sejtszintű hatásmechanizmusai



A: cytoplasmic receptor-, **B:** másodlagos messenger rendszeren keresztül

1.3. A hormonok csoportosítása

A hormonok csoportosítása ma már *kémiai felépítésük* alapján történik. Ennek alapján megkülönböztetünk:

1. *Szteroid hormonokat* (szterán vázas vegyületek, pl. a nemi mirigyek hormonjai, mellékvesekéreg hormonjai).
2. *Aminosav-származékok* (ilyenek pl. a tiroxin, adrenalin).
3. *Peptid-hormonok* (a polipeptidektől a fehérjéig sokféle molekulaszervezet előfordul. Pl. insulin, növekedési hormon).

1.4. Endocrin mirigyek

a./ Agyalapi mirigy (hypophysis)

Babalakú mirigy, ami a köztiagy aljáról a hypothalamusról egy nyéllel lóg le. Maga a mirigy az éksont töröknyergi (sella turcica, ld. „Mozgásrendszerek”) mélyedésében található. Fejlődéstanilag két, a garathám (entodermális) eredetű elülső, és az idegi eredetű (ectodermális) hátsó részből áll.

Az agyalapi mirigy elülső része (**adenohypophysis**) tovább tagolható. Egy a nyelet körül fogó részre, a **pars tuberalis**ra, a legnagyobb térfogatú **elülső lebenyre (lobus anterior)**, és az elülső és a hátsó lebeny közti **pars intermediaria**. Az elülső lebenyben secretios sejteket találunk, csoportokba rendeződve, melyek között tágult kapilláris rendszer figyelhető meg. A sejtek immuncytokémiai festésekkel több csoportra oszthatók, melyek mindegyike más és más hormont termel. Ezeket a hormonokat centrális hormonoknak is nevezzük. A centrális hormonok ún. **trophhormonok**, ami azt jelenti, hogy a hormon egy ún. perifériás endocrin mirigy, vagy sejt hormon termelésére hat.

Az elülső lebeny több hormont is termel, melyek közül a hat legismertebbről teszünk említést.

A hátsó lebenyben (lobus posterior; **neurohypophysis**) hormontermelés nincs, de benne kétféle hormon tárolódik. Mivel a hátsó lebeny nem termel hormont, csak hormont tárol, ezért **neurohemális szervnek** nevezik.

Az elülső lebeny hormonjai:

1./ **Növekedési (somatotrop, STH) hormon** a növekedés, a genetikailag meghatározott testmagasság kialakulásának legfőbb szabályozója (ld. „Csontosodás”), de emellett anyagcserefolyamatok szabályozásában is részt vesz. Ez a hormon fokozza a glukoz és az aminosavak felvételét az izomban (de hat a máj és a zsírszövet aminosav, ill. glukoz felvételére is). Anabolikus hatása miatt a jelenkori dopping kedvelt szere.

A hypothalamus két hormonja a növekedési hormont-serkentő hormon (somatotrop hormon) és a **somatostatin** (mely gátolja a növekedési hormon termelését) befolyásolja az agyalapi mirigy növekedési hormon termelését. (A somatostatin megtalálható a hasnyálmirigyben is, és csökkenti mind a glukagon, mind az inzulin termelését. (Ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezetben). Emellett csökkenti a gastrin, secretin és renin termelést, csökkenti a bélmotilitást. Tehát nemcsak hypothalamicus neurohormon, hanem paracrin funkciója is van, sőt **neuromodulátorként** is hat a központi idegrendszer idegsejtjeiben.

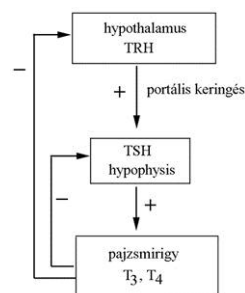
Az ontogenezis korai szakaszán jelentkező hiányának, vagy csökkent termelésének következménye a **törpenövekedés (hypophyser törpe, azaz arányos törpe)**. A hypophysisből előállított hormon készítményt a törpenövés kezelésére használják. A hormon túltermelése pedig **óriásnövekedést (gigantizmus, arányos óriás)** eredményez.

Felnőtt szervezetben történő túltermelődése **acromegáliát** idéz elő, amikor is az állkapocs, orr, fülek, lábfej megnövekszik.

2./ **Pajzsmirigyserkentő (thyrotroph-stimuláló hormon, TSH) hormon** a pajzsmirigy működésére serkentően hat.

A tiroxin (T4) és a trijód-tironin (T3) a pajzsmirigy hormonjai. Felszabadulásukat a TRH (Tirotropin Releasing Hormone) indukálja a hypothalamusból (4.5. ábra). Hatására TSH (Thirotropin) szabadul fel a hypophysis elülső lebenyének béta-sejtjeiből. A TSH serkentőleg hat a T3, T4 felszabadulására a pajzsmirigyből. A negatív visszacsatolás elve ideálisan ebben a hormonrendszerben valósul meg. A sejtekre minden esetben a T3 (tíródtironin) van hatással, tehát a T4 is átalakul T3-á.

4.5. ábra - A pajzsmirigy működését szabályozó hormonok



A TSH-nak is van önálló hatása. Egyrészt zsírszövet felhalmozódást okoz, így a TSH túltermelésnek exophthalmus (szem kidülledése) a következménye, másrészt önálló lipolitikus (zsírbontó) hatással is rendelkezik. Ugyanez a hormon fokozott termelése esetén a pajzsmirigyben megnöveli a sejtszámot (hyperplasia), vagy a sejtek méretét (hypertróphia). Ennek következménye a **golyva**.

A **hyperthyroidizmus** (pajzsmirigy túlműködés) egyik felnőttkori megjelenési formája a **Basedow-kór (Graves-szindróma)**. A betegre a kidülledt szem a jellemző, a szemgolyó mögötti kötőszövet elszaporodása miatt.) Ez egy **autoimmun betegség**, melyben a TSH-receptor ellen antitesttermelés zajlik a szervezetben pajzsmirigy túlműködés alakul ki. A pajzsmirigy túlműködésével megnő az alapanyagcsere (akár 100%-kal is), csökkennek a glikogén és zsírraktárak. A beteg emiatt lesoványodik, feszültebb lesz, cardiovascularis és pulmonális túlműködés jellemzi. Ez azt jelenti, hogy nyugalmi pulzusa akár 150 ütés/perc értékre nőhet. Az anyagcsere fokozódása miatt jelentősen nő a testhőmérséklet, izzad a beteg, bőre általában nyirkos. Izomgyengeség alakulhat ki, melyet az idegrendszer túlműködése miatt izomremegés is követhet. Élénkül a bélmozgás, gyakran tartós hasmenés, hányás alakul ki. A 20-50 év közötti korosztályt érinti elsősorban. A nők között ötször

gyakoribb a megbetegedés, mint a férfiak között. A genetikai háttér mellett jelentős szerepet kap a betegség kialakításában a dohányzás, stressz, ill. bakteriális, vagy vírusos fertőzések.

A Basedow-kórral ellentétben a **hypothyreosis** tünetegyüttese a **myxoedema**, melynek során az alapanyagcsere jelentősen lecsökken (akár az eredeti 40%-ára). Leggyakrabban ez is autoimmun betegséggé alakul. A pajzsmirigy szövetét lymphocyták pusztítják, így a szövetelhalás eredményeként tiroxin és trijodtironin sem termelődik megfelelő mennyiségben. A betegség általában idősebb korban jelentkezik. Hatására az érintett személy lelassul fizikai és mentális teljesítményét tekintve is. Külsője is változik. Felpuffad az arca (a bőralatti kötőszövetben az ödéma képződés miatt), vékony lesz a bőr. Az anyagcsere lassulás következményeként rossz étvágy, emésztőrendszeri zavarok, székrekedés alakul ki. A testsúly emiatt lassan gyarapszik. A pulzusszám csökken, gyakran a normál physiologias tartomány alá (<60), a testhőmérséklet szintén csökken, a beteg gyakran fárad.

3-4./ *Tüszőserkentő (FSH) és a sárgatest képződését serkentő (LH) hormonok.* A **tüszőserkentő hormon** a petefészekben az éretlen tüszők növekedését és az **ösztrogén** hormon termelődését idézi elő. Ugyanakkor fokozza a sárgatest serkentő hormon felszabadulását is (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Nemi szervek” c. fejezet).

A **sárgatest serkentő hormon** a tüszőrepedés után képződött sárgatest fennmaradását biztosítja és fokozza a **progeszteron** termelődését. Az ösztrogén és progeszteron termelés szabályozása az indirekt negatív visszacsatolási elven alapszik, melynek során az ösztrogén és a progeszteron a hypothalamusban termelt **releasing-hormonok** majd ezeken keresztül az FSH és az LH termelését befolyásolja. Érdemes megjegyezni, hogy az agyalapi mirigy és a hypothalamus között működik egy direkt visszacsatolás is, aminek révén az agyalapi mirigy trophohormonjai a releasing hormonok elválasztását szabályozzák.

5./ *Mellékvese kéregre ható (adenocorticotrop ACTH) hormon.* Az ACTH felszabadulását a nucleus paraventriculárisban termelődő **corticotrop releasing faktor (CRF)** serkenti. Az ACTH termelődése direkt módon hat a zsíryananyagcsere, úgy, hogy fokozza a lipolízist (zsírbontás). A zsírraktárak trigliceridjeiből zsírsavak szabadulnak fel, s így az azokból nyert energia segíti az izomműködést, a szénhidrát raktárak szinten tartása mellett. Az ACTH hat a mellékvese kéregállományára, serkentve a glükokortikoidok és mineralokortikoidok felszabadulását/szintézisét. Emellett fokozza a mellékvesekéreg vérátáramlását is.

A **glukokortikoidok** hatásai az anyagcsere-folyamatokban, az immunrendszer működésében és a különböző gyulladásos folyamatokban is tetten érhetők. A kortizol fokozza az aminosavak lebontását, de nem katabolikus folyamatok során, hanem azért, hogy gátolja a fehérjeszintézist aminosavakból. Ilyen módon az aminosavak a glukoneogenezisben használandóak fel. Ennek hatására a raktározott glikogén, ill. a glukóz később kerül lebontásra. Az izomban a kortizol csökkenti a szénhidrát felhasználását is.

Az immunrendszerre, mint szuppresszáns hat. Egyrészt csökkenti a lymphocyták számát, másrészt a csecsemőmirigy atrofiját okozza. Gátolja a plasmasejtek képződését, és így az immunoglobulinok termelődését is. A glukokortikoidok hiánya hypoglikémiát és hypotóniát (alacsony vérnyomás) okoz.

A stresszorok fokozzák a CRF termelését, melyen keresztül a glukokortikoidok termelődését. A stresszorok különbözőek lehetnek. Ilyenek pl. a hideg, éhezés, vérnyomásesés, véröngképződés, műtét, fertőzések és fájdalom, törések, fizikai túlterhelés és emocionális stressz. ACTH hiányában nem megfelelő a glukagon, a növekedési hormon és a katekolaminok (adrenalin, noradrenalin) termelése sem. Tartós túltermelés gyomorfekélyt, magas vérnyomást, érrendszeri zavarokat okoz, továbbá a nyirokcsomók sorvadása és a fehérvérsejtszám csökkenése következik be.

6./ *A tejelválasztást befolyásoló hormon (lactotrop, prolactin).* A prolactin (PRL) a tejelválasztást serkentő hormon, melynek hatása csak szülés után érvényesül annak ellenére, hogy termelődése már a pubertás idején megindul. Szülés után ugyanis jelentősen csökken a szervezet progeszteron szintje, ami addig gátolta a prolactin hatásának érvényesülését. A tej ürülése azonban csak oxitocin jelenlétében lehetséges.

Az agyalapi mirigy hátsó lebenyében tárolt hormon az

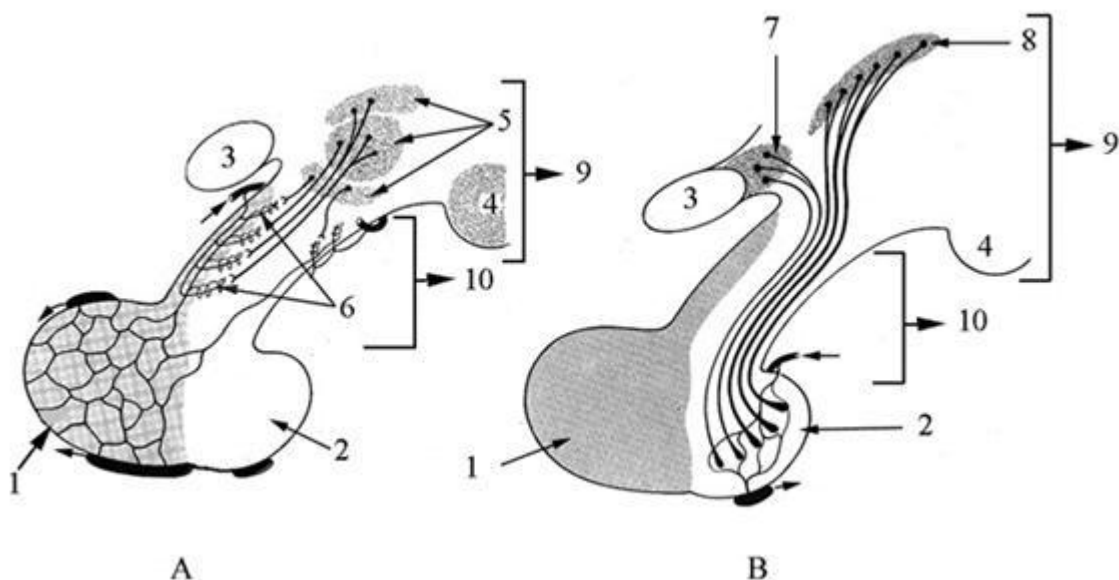
1. **Oxitocin** a simaizom, főleg a terhes méh simaizmának kontrakcióját fokozza közvetetten, ennek a szülés alatt van jelentősége, de hatással van a tejmirigy vezetékeinek izmaira is.
2. **Antidiureticus hormon (vasopressin)** a vesében a nephron tubulusaiban a víz visszaszívását fokozza. Termelődését a vér osmotikus koncentrációja szabályozza (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II.

„Kiválasztórendszer” c. fejezetben). A vértérfogat szabályozásán keresztül a vérnyomás fenntartásában is fontos szerepet játszik (Ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Keringési rendszer” c. fejezetben.)

a.a./ Hypothalamo-hypophysealis rendszer

Az idegrendszer befolyásolja az endocrin mirigyek működését. Ezt bizonyítja a hypothalamus és az agyalapi mirigy közötti kapcsolat. A hatás az agyalapi mirigy két lebenyére nem egyforma (4.6. ábra).

4.6. ábra - A hypothalamo-hypophysealis rendszer. A hypothalamus és az agyalapi mirigy elülső (A), valamint hátsó lebenyének (B) kapcsolata



1: elülső lebeny, 2: hátsó lebeny, 3: látóideg kereszteződés (chiasma opticum), 4: corpus mamillare, 5: tubero-infundibuláris rendszer eredő magcsoportjai, 6: portális erek, 7: nucleus supraopticus, 8: nucleus paraventriculáris, 9: hypothalamus, 10: hypophysis nyél

A hypothalamus az elülső lebenyt közvetetten, azaz a vér útján szállított hormonokkal befolyásolja. A III. agykamra körül ún. **neurosecréciós sejtcsoportok** találhatók, (a neurosecréciós sejtek olyan idegsejtek, melyek váladékot is termelnek), melyek együtt az ún. **tubero-infundibuláris (kis sejtes magcsoportok)**; 4.6. ábra, A. kép) **rendszert** adják. Közülük a **nucleus arcuatus** a legjelentősebb. A mag sejtei ún. faktoranyagokat termelnek, melyek a sejtekből a mag körüli kapilláris rendszerbe jutva, nagyobb ereken át (portális keringés; ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Keringési rendszer” c. fejezetben) az elülső lebenybe kerülnek, és az elülső lebenyi sejtek működését vagy serkentik (**releasing faktor**), vagy gátolják (**inhibiting faktor**). Az elülső lebeny hormonjai **trophhormonok**, egy célmirigyre (perifériás endocrin mirigy), vagy a növekedési hormon esetében a májsejtek somatomedin szintézisére hatva annak hormon termelését befolyásolják. Maga a trophhormon visszahat a nucleus arcuatus sejteinek működésére. A folyamat a negatív visszacsatolás, vagy feed-back szabályozás.

A hypothalamus a hátsó lebenyre közvetlenül, azaz idegi úton hat. Ez a hatás a hypothalamus ún. **magnocelluláris (nagy sejtes magcsoportok) rendszerén** keresztül jut kifejezésre. A rendszer két fő magja a **nucleus supraopticus** és a **nucleus paraventricularis**. Nagyméretű idegsejtekből épülnek fel, melyek hormont termelnek. Ez a hormon az idegsejtek axonjain keresztül az agyalapi mirigy hátsó lebenyébe jut, ott tárolódik, és szükség esetén a vér szállítja tovább.

b./ Pajzsmirigy (glandula thyroidea)

A pajzsporc két oldalán elhelyezkedő két lebenyből álló endocrin mirigy. A két lebenyt egy páratlan hídrész köti össze. A mirigyet kötőszövetes tok határolja, melyen belül az ún. mirigyparenchyma található, ami számos **folliculusból** (folliculus egy zárt hólyag), közöttük lazarostrós kötőszövet, benne ún. parafolliculáris sejtek és gazdag vérkapilláris rendszer figyelhető meg.

A **folliculáris sejtek** termelik a **thyroglobulint**. Ez a thyroglobulin jóddal egyesülve képezi a mirigy hatásos hormonját a **trijódtironint (T3)** és a **tetrajódtirozint (T4)**, melyek elsősorban a lebontó, azaz az oxidatív anyagcserére hatnak.

A pajzsmirigy hormonnak van egy *morphogeneticus* hatása is. Embrionális korban hatással van az idegrendszer fejlődésére. Születés utáni ill. gyermekkori alacsony hormonszint következménye lesz az ún. **kretinizmus**, ami mindig törpenövést és a szellemi képesség csökkenését jelenti. Aránytalan testméretváltozás más okból is bekövetkezhet (*torz törpék*), de ez nem jár mindig együtt a csökkent értelmi képességgel.

Ha a szervezetben nincs elegendő jód, hypofunkcióhoz vezet. Szervezetünkbe a jód ivóvízzel, jódozott konyhasóval, vagy tengeri hallal kerül. A pajzsmirigy jellegzetes megbetegedése a **struma**, ennek súlyosabb változata a **golyva**. Ezekben az esetekben a mirigy kötőszövetes állománya is felszaporodik.

A pajzsmirigy hormon termelését az agyalapi mirigy első lebenyének **thyrotrop-stimuláló hormonja (TSH)** befolyásolja. Ha a vérben sok a tiroxin akkor az negatívan hat az agyalapi mirigy pajzsmirigyserkentő hormont termelő sejtjeire, de ugyanakkor ez a negatív hatás érvényesül a hypothalamus tubero-infundibuláris rendszer megfelelő sejtjeire is.

A pajzsmirigy folliculusai között is találhatók kisebb-nagyobb sejtcsoportok, ezek az ún. **parafolliculáris sejtek**. Ezek termelik a **calcitonin** nevű hormont, ami a vér Ca^{2+} szintjét csökkenti azzal, hogy megakadályozza a csontokból a Ca^{2+} mobilizálását. (részletesen ld. „Mozgásrendszerek”).

c./ Mellékpajzsmirigy (*glandula parathyroidea*)

Négy borsó nagyságú test, amelyek a pajzsmirigy lebenyek hátsó mediális felszínéhez közel helyezkednek el. Köb-formájú sejtjei sorokba (gerendákba) rendeződnek. A sejtek granulumokat nem tartalmaznak. A pubertás körüli időben közöttük ún. acidophil sejtek is találhatók. Hormonja a **parathormon**, a szerepe a szervezet Ca^{2+} forgalmában van (ld. „Mozgásrendszerek”).

d./ A hasnyálmirigy Langerhans-szigetei

A pancreas (hasnyálmirigy) a patkóbél kanyarulatában elhelyezkedő kettős elválasztású mirigy. Külső elválasztású része termeli a **hasnyálat** (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezetben), belső elválasztású sejtcsoportja (**Langerhans-szigetek sejtjei**) hormont termelnek. A sziget sejtjei kerekdedek, világosabbra festődnek, mint a külső elválasztású rész sejtjei. A szigetsejtek négyfélék, úgymint A, B, C és D sejtek. Ezek közül a **B sejtek termelik az inzulint**. Ez a hormon a **vércukorszintet** csökkenti, mivel segíti a glukoznak glükogén formában történő raktározását. (Ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezet.) Hiányában alakul ki a cukorbetegség. Ez azt jelenti, hogy a vér glukoz tartalma az átlagosnál magasabb. Az inzulinnak fontos szerepe van még a zsír és a fehérje anyagcserében is.

Az **A sejtek a glucagont** termelik, ami az inzulinnal ellentétes hatást vált ki, tehát növeli a vércukorszintet azáltal, hogy segíti a cukorraktárakból a glukoz felszabadulást. (Ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezet.)

A **C sejtek pancreas-peptidet**, míg a **D sejtek a somatostatint** termelik. Ezek paracrin szabályozó hormonok.

e./ Mellékvese (*glandula suprarenalis*)

Páros, a vesék csúcsán elhelyezkedő szerv. Narancssárga, tömör tapintású, kötőszövetes tokkal határolt endocrin mirigy. Két részre, a **kéreg-** (*cortex = substantia corticalis*) és a **velőállományra** (*medulla = substantia medullaris*) különül.

A kéregállomány három szövettani részre, a zona glomerulosa, zona fasciculata, zona reticularisra tagolódik.

A **zona glomerulosa**ban a sejtek kis csoportokba rendeződnek, a **mineralocorticoidot** termelik, ami a vesében a Na^+ visszaszívását befolyásolja (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Kiválasztórendszer” c. fejezet).

A **zona fasciculata**ban a sejtek oszlopos elrendezésűek, hormonja a **glükocorticoid** a szénhidrát anyagcserét befolyásolja (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezet).

A **zona reticularis**: hormonja az **aldoszteron**. Mindkét nemből termelődik, ivarérettől férfiakban megjelenik a tesztoszteron, s ez a két hormon együttesen fejti ki hatását, s jeleníti meg a másodlagos nemi jellegeket. Nőkben,

ahol nincs tesztoszteron a testizomzat stb. nem fejlődik olyan mértékben, mint férfiaknál. A két hormon együttes hatásának felismerése indította el sportolóknál a doppingszerek használatát.

A *mellékvese velőállománya* (idegi eredetű), nagy kerekded sejtekből áll, melyek az **adrenalin** ill. **noradrenalin** nevű hormonokat termelik. Az adrenalin hat a cukoranyagcserére, hatása az inzulinnal ellentétes, a glucagonnal megegyező. Az adrenalin nemcsak hormon, hanem a sympathicus idegek transzmitterre is, és a két rendszer együttes hatása (**sympathico-adrenális rendszer**) a szervezet erő kifejtését növeli.

f./ Ivarmirigyek hormontermelése

Az ivarmirigyek (here és a petefészkek) nemcsak ivarsejteket, de hormont is termelnek.

Petefészkek esetében ez a **tüszőhormon (folliculus hormon FH = ösztrogén)** és a **sárgatest hormon (progeszteron)**.

A tüszőhormont a fejlődő (érő) petesejt körül levő granuláris sejtek termelik. Ovulációkor a kilökődő pete helyén, egy „hegyszövet” képződik, s ez termeli a progeszteron nevű hormont.

Mindkét hormon termelését az agyalapi mirigy folliculus stimuláló és sárgatest serkentő hormonja befolyásolja (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Nemi szervek” c. fejezetben).

Herében a herecsatornácskák közötti laza kötőszövetben kerekded ún. interstitiális vagy leírójuk után **Leydig-féle sejteket** találunk. Ezek a sejtek a here állományának mintegy 20%-át adják. Ezek a sejtek termelik a **tesztoszteront**. A hormon embrionális korban felelős a here és vezetékei kifejlődésért, valamint a herének a testüregből a scrotumba történő vándorlásáért. Nemi éréstől pedig a másodlagos nemi jellegek kialakítását (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Nemi szervek” c. fejezetben) szabályozza.

Terhesség alatt a méhlepény is termel hormonokat, tehát belső elválasztású mirigyként is funkcionál. Hormonjai főleg peptid hormonok, pl. **choriongonadotropin**, ami segíti a sárgatest terhességi fennmaradását, a **placentális laktogén** feltehetően segíti az emlő növekedését, a **relaxin**, ami lazítja a méh simaizomzatát.

g./ Tobozmirigy (epiphysis)

A köztiagy tetején található. **Melatonin** nevű hormont termel, amit a szerotoninből állít elő. A belső cirkadian ritmus, az alvás-ébrenlét ciklus szabályozza az agyműködést, a fiziológiai és magatartási funkciókat, mégpedig úgy, hogy az ébrenlét és az azzal kapcsolatos működések napfényben, míg az alvás és az ahhoz kapcsolódó agyműködés sötétben működnek a legoptimálisabban. Mindezen működések összerendezése elengedhetetlenül szükséges a szervezet homeosztázisának, a normális neuronális működések fenntartásának érdekében. A melatonin mennyisége a **cirkadián ritmusnak** megfelelően változik a szervezetben. A melatonin bontását a fény segíti. Emiatt mennyisége a nap folyamán alacsony, éjszaka pedig a bontás hiányában megemelkedik. Ott, ahol viszonylag alacsony a napfényes órák száma jelentős mennyiségű melatonin képződik, és ez egy betegséget idéz elő, amit *skandináv depressio* néven ismerünk. Gyógyítása fényterápiával történik.

Egyes kutatási eredmények szerint a melatonin kiváló antioxidáns. Kísérletek szerint kétszer hatékonyabb, mint az E-vitamin, vagy az ascorbinsav.

1.5. Bioritmusok

A szervezetben és a mindennapi életben is számos dolog ritmicitást mutat. A ritmusok felborulása gyakran befolyásolja az egyén működési állapotát, tehát megváltoztatja homeosztázisát. A ritmus tulajdonképpen nem más, mint meghatározott sorrendben ismétlődő események láncolata. Ezek lezajlásához mindig ugyanannyi idő kell. Ez a *periódus*-, vagy **ciklus-idő**. A ritmusok egy sinus-hullámmal írhatóak le. A hullám két végpontja közötti rész az amplitúdó.

A bioritmusoknak három csoportját ismerjük. Az egyik az ún. **külső ritmus**, amely azt jelenti, hogy az élőlény adott ritmusát csak a külvilági ingerek szabályozzák. Ha ezek az ingerek elmaradnak, az adott ritmus sem jelentkezik. Ilyen pl. a madárdal, amelyet fényviszonyok szabályoznak. Nyári zivatarok idején naponta többször is hallhatunk „reggeli” vagy „esti” madárdalt.

A **belső ritmus** esetén az élőlény belső szervezete szabályozza a ritmus idejét, lezajlását. Ilyen pl. a szívritmus (pulzus), elektro-encephalogramm (EEG).

A **külső-belső ritmusokat** a külvilági ingerek is szabályozzák, de ezek elmaradása után is a bioritmus fennmarad. Ezek elsősorban a szervezet időbeli és térbeli tájékozódását szolgálják. Sokféle ritmust ismerünk, különböző ciklusidőkkel. Ilyenek pl. az *évszakok*, vagy *napszakok* váltakozásai. Ezek közül a hétköznapi életben a legfontosabbak:

- a napi ritmus kb. 24 órás ciklusidővel (ld. később),
- az ár-apály ritmus (12,4 órás ciklusidő),
- a holdnapos, vagy lunadikus ritmus (24,8 órás ciklusidő),
- holdhónapos ritmus (29,5 napos ritmusidő), valamint
- az éves, annuális ritmus (365 napos ritmusidő).

Természetesen léteznek a napi ritmusnál jóval rövidebb ciklusidejűek is. A növekedési hormon felszabadulása 4 óránként ismétlődik; az alvás bizonyos fázisai 9 órás ciklusidővel rendelkeznek.

A hétköznapi életben a napi ritmus a legegyszerűbben megfigyelhető. Ezt a bioritmust **cirkadián** (*körülbelül napi*) **ritmusnak** nevezzük. A ciklusidő egyénenként változik 24,7 és 25,1 óra között. Mivel a napokat 24 órára osztjuk, így nem nehéz belátni, az egyén napi ritmusa és a naptári napi ritmus egyeztetésre szorul. Ezt alapvetően a szociális tényezők fogják megtenni számunkra. A cirkadián ritmus egy külső-belső ritmus, szabályozásában a fény intenzitása is szerepet játszik, de a fény hiányában is fennmarad. Ha kiiktatjuk a fényt a szervezet saját ciklusideje nagyon pontosan követhető (egy állatnál pl. a motoros aktivitás alapján). A ritmusadó tehát a szervezeten belül van. Számtalan kísérlet igazolta, hogy a **nucleus suprachiasmaticus** (SCN), a hypothalamus egy magcsoportja a belső óra a szervezetben. Ez, mint pacemaker (ritmusadó) működik, alárendelt oscillátorai (szervi ritmusadó rendszerek) működnek pl. az emlősökben a szívben, a tüdőben a májban és a vesében, a fibroblast kötőszöveti sejtek és a tobozmirigyben (Bell-Pedersen és mts., 2005).

Kísérletek szerint a SCN kiirtása megzavarja a hormon-háztartást, az alvás-ébrenlét idejét, a táplálkozási szokásokat és a motoros aktivitást is. A mag szabályozó szerepét igazolja az a tény is, hogy irtása után az alvás napi összideje nem változott, csak az alvás-ébrenlét ritmusa borult fel. Ha hosszú ideig sötétben tartott állat fényt kap, a szabadon futó ritmus megváltozik a fény által befolyásolt rendszerre alakul ismét. Emlősökben az egyetlen terület a SCN, amely a retinából fénybemenetet kap a retino-hypothalamicus pályán keresztül. Ha a fényviszonyok változnak a SCN sejtjeiben megváltozik a **per** (*periódus, óra*) **gének** működése.

Több olyan gént leírtak, amelyek a bioritmus szabályozásában játszanak szerepet az egysejtűektől az emlősökig. Az első ilyeneket per1, per2 névvel illették. A SCN direkt képes szabályozni viselkedés mintázatokat is, míg a periférián lévő szervek oszcillátorai nem. Az alvás-ébrenlét ciklusa tehát az egyik legfontosabb tényező egy személy életében. Hétköznapi értelemben rövidalvókat (napi 6 óránál kevesebb) és hosszúalvókat (napi 9 óránál több) különböztetünk meg. Gyakran a rövidalvókat energikus, ambiciózus, míg a hosszúalvókat befelé forduló, szorongó típusú embereknek tartják.

Alvás-ébrenléti ritmusunktól függetlenül, ismerjük a **testhőmérséklet ritmusát** is. Ez szintén cirkadián ritmust mutat kb. 25 órás ciklusidővel. A napi testhőmérséklet ingadozás 0,6-0,8 °C, reggel alacsonyabb, késő délután a legmagasabb. Emiatt tapasztalható lázas betegek esetében is a legmagasabb testhőmérséklet délután 5 óra körül.

Érdekes módon szorosan összefügg a testhőmérséklet és a **fáradtságérzet változása**, bár a kettő szabályozása független egymástól. Tartósan ébren tartott egyének testhőmérséklete napi ritmus szerint változik, de a legalacsonyabb testhőmérséklet értékeknél a legnagyobb az egyén fáradtságérzete. A nap folyamán a legalacsonyabb testhőmérséklet éjjel 1 és 3 óra között mérhető, ekkor a legfáradtabb az egyén.

A hétköznapi életben ismert fogalom a bagoly és a pacsirta típus. A bagoly típusú ember későn kelő, későn fekvő típus, testhőmérséklete reggel lassan emelkedik, az átlaghoz képest 1-2 órás késéssel. Teljesítmény maximuma éjjel 22 óra körül mérhető. A pacsirta típus ezzel szemben korán kel és fekszik, testhőmérséklete reggel gyorsan emelkedik, teljesítmény maximuma reggel vagy délelőtt mérhető. Normálisan egy egyén bioritmusának két csúcsa van egy nap folyamán. Ez átlagosan 9-11, ill. 15-18 óra között mérhető.

A **szívrítmus** (pulzus) változása a testhőmérséklettől független, de azzal párhuzamosan változik. Alacsony testhőmérséklet esetén a pulzusszám kisebb, magasabb testhőmérséklet esetén nagyobb. Ennek alapján régebben a háziorvosok egy pulzuszám mérés segítségével megállapították, hogy mennyire lázas a beteg, ugyanis 0,5 °C-os testhőmérséklet változás 10-15/perces pulzusszám növekedést okoz.

A *veseműködés ritmusa* szintén cirkadián ritmus. Érdekes módon külön szabályozódik a vizeletmennyiség és külön az ionösszetétel. A veseműködés éjjel a leglassúbb, nappal a vizeletürítés ritmusa átlagosan 3-4 óra. Ha a vizeletmennyiség, illetve az ionösszetétel ritmusa nem esik egybe, akkor az általában veseproblémákat, működési zavarokat okoz.

A *fájdalom érzékenység ritmusának* csúcsa 18 és 22 óra között mérhető. Különböző enzimeink felszabadulásában is mérhető ritmus, meghatározott ciklusidőkkel. Az alkohol-dehidrogenáz enzim (az alkohol lebontásához szükséges) felszabadulási minimuma 6-11 óra között, maximuma 14 és 24 óra között mérhető. Ez a magyarázata annak, hogy a reggel elfogyasztott alkohol sokkal tovább kimérhető a szervezetben.

A különböző népszerű bioritmus-számítások alapja az, hogy megfigyelések szerint az ember fizikai, mentális és pszichés állapotában is megfigyelhető egy bioritmus. Ezek szerint a fizikai 23, az érzelmi 28, míg az értelmi ritmus 33 napos ciklusidő szerint változik.

A bioritmus kutatás egyik fontos pontja lett az **időzóna fáradtság** vizsgálata. Ez annak köszönhető, hogy a repülés a populáció egyre szélesebb rétegeit érinti. Gyakoribbá váltak a kontinensek közti utazások. Az időzóna-fáradtság egy szindróma, amely számos tünet együtteséből alakul ki, alapvetően azonban az alvás-ébrenlét ritmusának megváltozásaként érzékeli a legtöbb érintett. Itt nem szabadon futó ritmusról beszélünk (a fényviszonyok nem állandósulnak), hanem arról van szó, hogy egy megszokott fény-sötét viszonyból egy újabb ciklus szerint működő fény-sötétség ciklushoz kell alkalmazkodni. Az alkalmazkodási zavarok 2-3 időzóna (1 időzóna = 1 hosszúsági fokkal) átlépése után szoktak jelentkezni, s minél több időzónát utazik át az egyén a bioritmus zavarai annál súlyosabbak lehetnek. Ez vegetatív funkciók zavaraitól a teljesítményromlásra át a különböző sérülések fellépéséig tarthat. Irodalmi adatok és gyakorlati megfigyelések szerint is a szervezet nehezebben alkalmazkodik a kelet-, mint a nyugat felé irányuló utazásokhoz. Pirritano és mts. (1997) a kelet felé 60 perc/napos, míg a nyugati irányú repülések esetében 90 perc/napos alkalmazkodást állapítottak meg. Ez azt jelenti, hogy a belső ritmusunkat kb. 60-90 perccel tudjuk illeszteni a külső (adott fényviszonyok) ritmushoz.

A repülőutak után a bioritmus átállításához többnyire 2-4 napra van szüksége a szervezetnek, ha azonban az utazás keleti irányú és 8 időzónán is áthalad az utas, az alkalmazkodás egy hétig vagy tovább is eltarthat. Mindezt tovább módosítja az életkor (idősebbek nehezebben alkalmazkodnak), ill. az alvás-ébrenlét egyéni jellemzői. A pacsirtáknak általában nagyobb nehézséget jelent a bioritmus átállítása, megfigyelések szerint azonban a bagoly típus nagyon rosszul tűri a keleti irányú utazásokat.

Mindezek figyelembe vételével alakítják most már a sportolók tengeren-túli útjait, ill. ezen adatok ismeretében állapítják meg, hogy egyes versenyek előtt hány nappal kell megérkeznie a versenyzőnek a verseny színhelyére. Az utazás utáni első két napban általában olyan komoly változások mérhetők a szervezetben, hogy a sportoló terhelése sérülésveszélyes.

A bioritmus átállításának zavarai nemcsak a sportolókat, hanem a gazdasági élet számos szereplőjét is érintik, ezért a bioritmus átállításával foglalkozó kutatások nagyon népszerűek. Számos mérés utalt arra, hogy a melatonin külső bevitelével meggyorsítható az alkalmazkodás, valójában ezeket az adatokat a gyakorlati életben nem sikerült bizonyítani. A SCN direkt módon szabályozza a melatonin termelést a tobozmirigyben, de a periféria ritmusadóit a melatonin közvetlenül nem tudja befolyásolni. Maga a hormon részt vesz az alvás-ébrenlét szabályozásában is. Elképzelések léteznek arra vonatkozóan is, hogy a melatonin szintjének ingadozása befolyásolja a pubertás alakulását is, az adatok azonban egyenlőre nagyon ellentmondásosak.

2. Idegrendszer

Az **idegrendszer** a hormonrendszer mellett a szabályozó rendszerek másik nagy alkotó eleme. Felosztása történhet morfológiai és fiziológiai szempontok szerint.

A *morfológiai felosztás szerint* elkülönítünk központi-, környéki és vegetatív idegrendszert. Működés szerinti felosztás alapján somaticus és vegetatív idegrendszerről beszélünk.

2.1. A központi idegrendszer

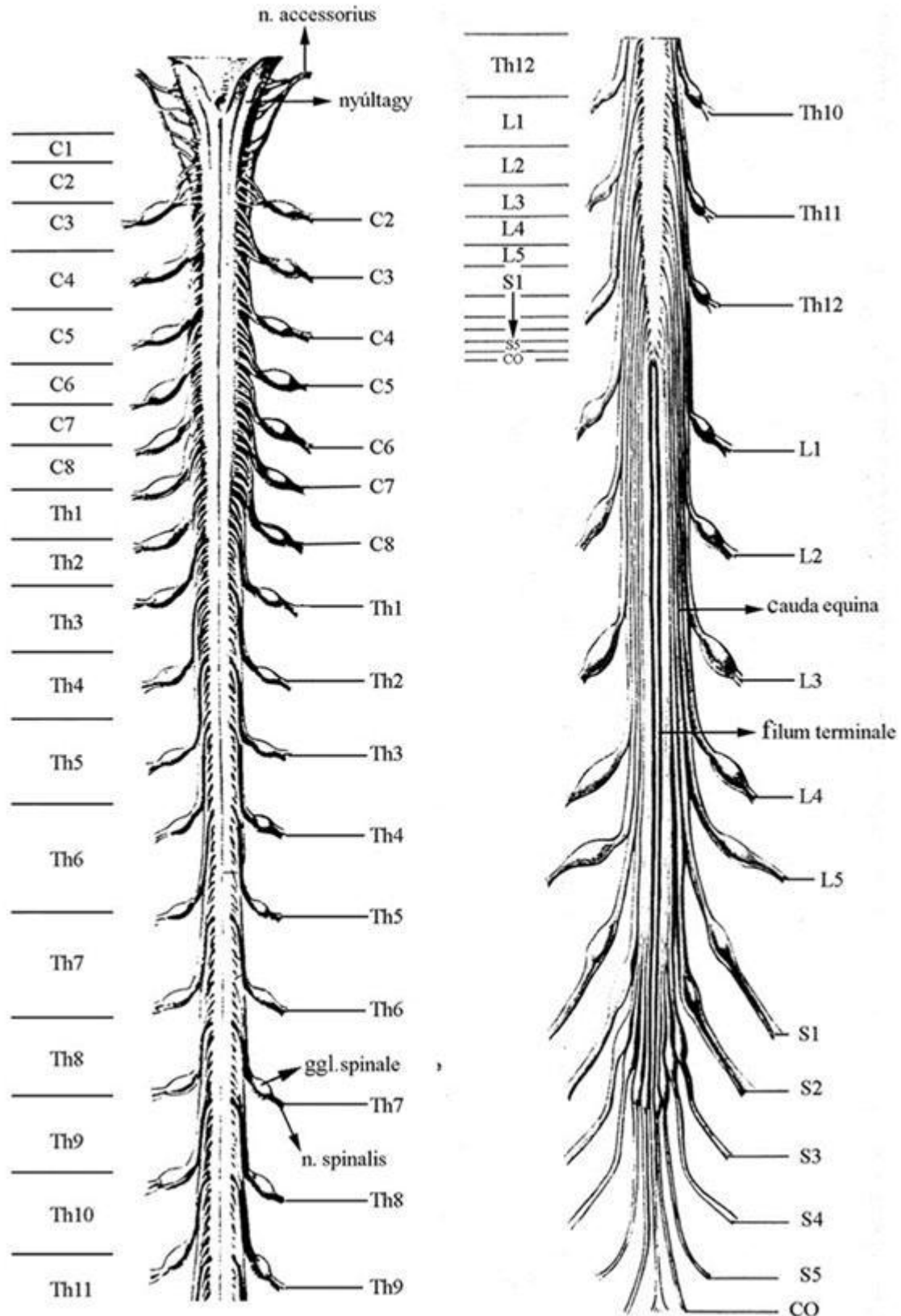
A **központi idegrendszer**hez tartozik a gerincvelő és az agyvelő különböző agyszakaszai.

2.1.1. Gerincvelő (medulla spinalis)

A **gerincvelő** ujjnyi vastagságú, 40-45 cm hosszú, rugalmas, fehér pálcá, ami a csigolyaívek által alkotott gerinccsatornában található. Az öreglyuktól az 1-2. ágyékcsigolyáig tart. Védelmét a csontokon kívül a gerincvelő burkai látják el (ld. „A központi idegrendszer burkai”).

A gerincvelőn ugyanúgy, mint a gerincen, nyaki-, háti-, ágyéki-, kereszt- és farki szakaszok különíthetők el (4.7. ábra). A nyaki és az ágyéki szakaszon a gerincvelő kissé megvastagszik. Ezek a szakaszok idegzik be a végtagokat, s a bonyolultabb izommozgásokat (szemben a törzs izmainak mozgásával) nagyobb számú idegsejt irányítja, amelyeknek hely kell, s így ott a gerincvelő vastagabb. A gerincvelő lefelé kúpszerűen elvékonyodik, majd idegszövetet nem tartalmazó fonalakban (*filum terminale*) végződik.

4.7. ábra - A gerincvelő bonctani képe

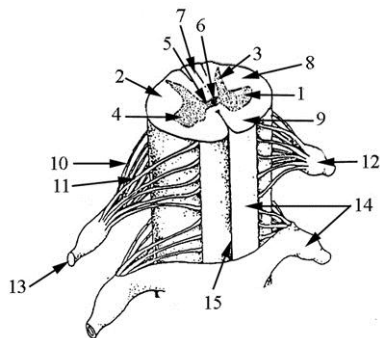


C: nyaki (cervicális)-, **CO:** farki (coccygeális)-, **Th:** háti (thoracális)-, **L:** ágyéki (lumbális)-, **S:** kereszt (sacrális) régiókhoz tartozó gerincvelői idegek

Keresztmetszetén két állományt a *külső fehér (substantia alba)* és a *belső szürkeállomány (substantia grisea)* különíthetjük el (4.8. ábra).

A fehérállomány jelentős részben myelin hüvelyes rostokból áll, idegsejtek csak a szürkeállományban találhatók. A szürkeállomány „H” vagy pillangóformát mutat, ami *két hátsó (cornu posterius)* és *két elülső szarvra (cornu anterius)* különül. A gerincvelő háti és ágyéki szakaszán *oldalszarvak (cornu laterale)* is megfigyelhetők. A jobb- és a baloldali szarvakat szürkeállományú *ereszték (commissura grisea)* kapcsolja össze, amiben a *gerincvelői csatorna (canalis centralis)* foglal helyet.

4.8. ábra - A gerincvelő



1: szürkeállomány, **2:** fehérállomány, **3:** hátsó szarv, **4:** elülső szarv, **5:** szürke commissura (ereszték), **6:** gerincvelői csatorna, **7:** hátsó köteg, **8:** oldalsó köteg, **9:** elülső köteg, **10:** hátsó gyökér, **11:** elülső gyökér, **12:** csigolyaközi dúc, **13:** kevert gerincvelői ideg, **14:** A gerincvelő burkai, **15:** fissura mediana anterior.

A gerincvelő szarvai funkcionálisan is eltérőek. A hátsó szarvak **érző szarvak**, mert a testfelületről, zsigeri szervektől ide érkeznek az érző ingerületek. Az elsődleges érző neuronok a gerincvelőn kívül, a hátsó gyökéren lévő *csigolyaközi dúcban (ganglion spinale)* találhatók (4.7. és 4.8. ábrák). A csigolyaközi dúc sejtjei álegynyúlványú sejtek, perifériás axonjaik a testfelszínen, vagy a testüregi zsigeri szervekben levő receptoroktól hoznak érző ingerületeket, centrális nyúlványaik ezt a gerincvelő hátsó szarvába továbbítják. A hátsó szarv neuronjai főleg interneuronok, vagy felszálló pályák eredő neuronjai.

A gerincvelő elülső szarvai **mozgató szarvak**, bennük találhatók a harántcsíkolt vázizmokat innerváló somatomotoros, multipoláris sejtek. Rajtuk végződhetnek a perifériáról érkező érző idegrostok, valamint a mozgató kéregből leszálló pyramispálya rostjai. A motoneuronok axonjai a gerincvelői idegeken át érik el a vázizmokat.

Az oldalsó szarv neuronjai a **vegetatív, sympathicus magot** alkotják, ami a sympathicus idegek eredési helye. Az idegsejtek axonjai az elülső szarvon át a gerincvelői idegekben haladnak, ahonnan összekötő ágakon keresztül a vegetatív idegrendszer határkötegi dúcaival lépnek kapcsolatba (ld. Vegetatív idegrendszer és a gerincvelői idegek).

A gerincvelő fehérállománya kötegekre tagolt (4.8. ábra). A két hátsó szarv között a *hátsó köteg (funiculus posterior)*, egy mellső és egy hátsó szarv között az *oldalsó köteg (funiculus lateralis)*, és két elülső szarv között az *elülső köteg (funiculus anterior)* található. A kötegeket felépítő csak myelin hüvelyes idegrostok pályákba rendeződnek. (**Pálya** = több idegrost egymáshoz közel, az ingerületet egy irányba vezeti).

A szürkeállomány idegsejtjeit legtöbbször annak alapján tárgyalhatjuk, hogy az idegsejt testek hol helyezkednek el. Ennek figyelembevételével *Rexed X réteget* különített el. A rétegek számozása a hátsó szarvtól az elülső szarv felé történik, de a X. réteg a canalis centralis körül helyezkedik el.

A substantia grisea neuronjait annak alapján is csoportosíthatjuk, hogy axonjuk merre hagyja el a szürkeállományt. Ennek alapján a neuronok három csoportba sorolhatók, úgymint gyökér (radiculáris)-, kötegi (funiculáris)- és eresztéki (commissurális) sejtek.

Gyökérsejtek azok a neuronok, melyek axonjai az elülső gyökéren át hagyják el a szürkeállományt. Ilyen neuronok az elülső szarv **somatomotoros sejtjei**, valamint a thoraco-lumbális gerincvelői szakasz oldalszarvi sejtjei.

Funiculáris neuronok pl. azok a neuronok, melyek az oldalsó kötegbe lépnek: Ilyenek a tractus spinocerebellaris dorsalis eredő neuronjai.

Commissurális neuronokhoz tartoznak azok az idegsejtek, melyek axonja a commissura albában (fehér vagy elülső ereszték) kereszteződik, s ezután valamelyik funiculusban haladnak tovább.

2.1.1.1. A gerincvelői pályák

Négy csoportjukat különítjük el, nevezetesen a felszálló vagy érző-, leszálló vagy mozgató-, vegetatív- és belső pályarendszerekről beszélhetünk.

1./ Felszálló (érző) pályarendszerek: a bőr, ízületek és izmok receptorai által felvett érző ingerület a gerincvelői idegeken át a gerincvelőbe jut. A receptorhoz tartozó érző neuron a csigolyaközi dúcban van. A sejtek centrális nyúlványai a gerincvelőben ágakra (collaterálisok) oszlanak. Közülük az egyik kilépve a fehérállományba, pályába rendeződik, és az ún. felszálló pályarendszer alkotója. Ilyen pályarendszerek:

- a. *A hátsó köteg pályái a Goll (funiculus gracilis Gollii) és a Burdach pályák (funiculus cuneatus Burdachii).* A pályán haladó ingerület az epikritikus sensibilitást hozza létre, ami a felszínes discriminatív tapintásérzetek összessége.

A Goll és Burdach pályákhoz tartozó receptorok az ízületi tokokban, a bőr alatti kötőszövetben, izmok feszülési állapotáról, bonyolult tapintási érzésekről adnak tájékoztatást. A receptoroktól az ingerület a gerincvelői idegen át a hátsó szarvba jut. A gerincvelőbe belépő rostok collaterálisokra szakadnak, melyek egyike a hátsó kötegben halad a nyúltvelő felé.

Az alsó testfélből jövő rostok mediálisan (Goll pálya) a test felső részéből jövők laterálisan (Burdach pálya) helyezkednek el. A rostok a nyúltvelői *Goll és Burdach magokon* végződnek. Az itt levő idegsejtek axonjai adják a *mediális hurokpályát (lemniscus medialis)*, ami a hátoldalról ventrális oldalra megy, minden rostja kereszteződik, majd a thalamus VPL (nucleus ventralis postero-lateralis) mag sejtjein végződik. A VPL mag sejtjeinek axonjai az ingerületet a nagyagykéreg gyrus postcentralisába vezetik.

- b. *Az elülső-oldalsó köteg pályarendszerei:* A **tractus spinothalamicus**, nyomás, tapintás, fájdalom és hőingerületet továbbít. A protopatiás érzékváltozások kialakításáért felelős, ami az inger durva feldolgozását végzi, melyek a bőrben ill. a bőr alatti kötőszövetben elhelyezkedő receptorokban keltett ingerületeket továbbítanak.

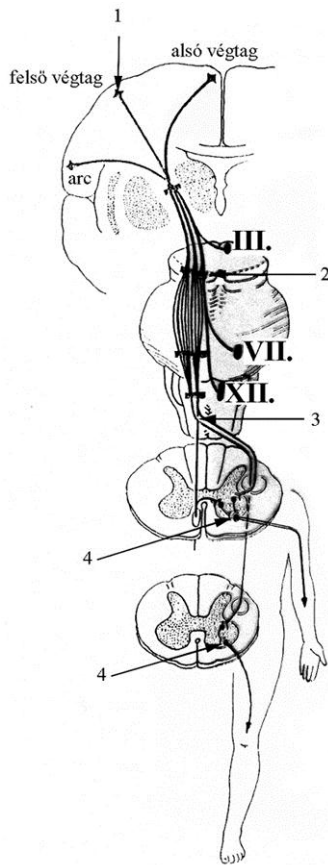
A pálya eredő sejtjei (második érző neuronok) a hátsó szarvban vannak (a sejt a csigolyaközi dúcsejtől, mint elsődleges érzősejtől kapja ingerületét), neuritjei kereszteződve az ellenkező oldal elülső-oldalsó kötegében futnak. Thalamicus átkapcsolás után a nagyagy gyrus postcentralis területén végződik.

- c. *Az oldalköteg pályarendszerei* (kisagyi rendszer, **tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis**. Információkat szállít a kisagyhoz az izmoktól, ízületektől, melyek alapján az izmok tónusszabályozása, a testhelyzet aktuális beállítása történik (a pályának nincs kérgi vetülete). Eredő neuronjai a hátsó szarv tövében vannak. Részben ellenoldalon, részben azonos oldalon jutnak fel a kisagyba. A tractus spinocerebellaris dorsalis rostjai a gerincvelőbe való belépéssel megegyező oldalon, az alsó kisagykaron jutnak a kisagyba. A tractus spinocerebellaris ventralis pályarendszer gerincvelői szinten kereszteződik, felmegy a hídig, ahonnan a középső kisagykaron át ugyancsak a kisagyba fut. A kisagy e két pályarendszeren keresztül kap információt testünk mozgásállapotáról, amit a mozgások kivitelezésének tökéletesítésében reflexesen hasznosít.

2./ Leszálló (mozgató) pályarendszerek: A gerincvelő elülső és oldalsó kötegében helyezkednek el.

- a. *Pyramispálya (tractus corticospinalis; 4.9. ábra).* A pálya az agykéreg gyrus praecentralisának pyramissejtjeiből indul az agytörzsön át (itt collaterálisokat adhat le szemizmokat mozgató agyidegi magvakhoz) a gerincvelői somatomotoros sejtekhez. A pálya rostjainak nagy része (kb. 90%) a nyúltagy alsó harmadában kereszteződik, s ezért a gerincvelőben a nem kereszteződő rostok (**tractus corticospinalis directus**) az elülső kötegben a ventrális árok két oldalán, míg a kereszteződő rostok (**tractus corticospinalis cruciatus**) az oldalsó kötegben haladnak lefelé. A részleges kereszteződés miatt, ha a bal haemisphera adott területén valamilyen sérülés következik be, a jobb testfél izmainak mozgása megváltozik. Ilyen pl. az agyvérzés utáni bénulás is.

4.9. ábra - A pyramispálya (tractus corticospinalis directus és cruciatus)



1: pyramissejt, 2: pyramispálya, 3: a pyramispálya részleges kereszteződése, 4: gerincvelői somatomotoros sejt, III., VII., XII. agyidegek motoros magvai

Mind a keresztezett, mind a nem kereszteződő pyramisrostok a megfelelő gerincvelői szelvényben az elülső szarv motoros neuronjaihoz kapcsolódnak. Azok a rostok, melyek nyúltagyi szinten nem kereszteződtek, a gerincvelői szürkeállományba való belépés előtt kereszteződnek.

A pálya szerepe az akaratunktól függő mozgások elindítása, a folyamatban levő mozgások megváltoztatása.

- b. **Extrapiramidális pályák:** Eredő sejtjei nem az agykéregben, hanem a *kéregalatti szürke magokban (basalis ganglionok)* vannak, melynek fő részei a *farkosmag (nucleus caudatus)*, a *lencse-mag (nucleus lentiformis)*, a *zár (clastrum)*. Ezek a magok a thalamus alatti *subthalamicus*, a *középagyi vörös- (nucleus ruber)* és *fekete magokkal (substantia nigra)* a *törzsdúc-rendszert* adják. Az, hogy az eredő neuronok nem az agykéregben vannak, nem jelenti azt, hogy az említett magok nem kapnak afferens ingerületet a frontális kéregtől.

Az extrapyramidális rendszerhez számos pálya tartozik: így a középagy tetejéről induló *tractus tectospinalis*, ami az eredés után még középagyi szinten kereszteződik, s a gerincvelőben a nem kereszteződött pyramispályáktól laterálisan halad.

A középagyi vörös magból (**nucleus ruber**) ered a **tractus rubrospinalis**. A pálya az eredés után kereszteződik. Emberben kevésbé fontos pálya. Tarkóizmokhoz küld ingerületet.

A nyúltagy-híd határán helyezkednek el a **vestibuláris magok**. A magok sejtjeinek egy része nincs közvetlen kapcsolatban az egyensúlyozó szervvel, hanem a kisagy által már feldolgozott ingerületet kapja és továbbítja. A vestibuláris magokból (főleg a *nucleus vestibularis lateralis*) ered a **tractus vestibulospinalis**. A mag sejtjeinek axonjai collaterálist képeznek, melynek egyik ága a gerincvelői pályát adja, másik része középre fut, ahol T alakban elágazódik. A T-forma felső ága a III. agyidegi mag neuronjain végződik, míg a T-forma szára lefelé halad a gerincvelőbe és ott az elülső kötegben a pyramispályától kissé oldalt és felül halad, és a tarkóizmot innerválja. Ez a T-formájú rostrendszer a **fasciculus longitudinalis medialis**.

Az említett pályáknak a mozgások harmónikus tételében, automatizálásában, az izomtónus szabályozásában van szerepe (részletesen ld. „Mozgás aktív rendszere”).

c. **Vegetatív pályák.** Az agyvelőben fekvő magasabb vegetatív központokból induló motoros pályák, a gerincvelő oldalsó kötegében húzódnak az oldalszervi vegetatív sejtekhez, ahol végződnek. A vegetatív működések (pl. mirigyek, símaizom) számára szállítanak impulzusokat. Közülük az egyik legismertebb a vasoconstrictor (az erek összehúzódását, tónusát szabályozó) pálya, amelyik az oldalsó (keresztezett) pyramis pályától ventralisan fut a vegetatív gerincvelői maghoz.

A gerincvelő az egyetlen szervünk, ami megtartotta ősi szelvényességét. Egy gerincvelői szelvény kb. egy csigolyatest magasságnak felel meg.

A gerincvelő **szelvény szerv**. Egy gerincvelői szelvényen a gerincvelőnek azt a részét értjük, amelyből egy gerincvelői idegpár ered, amelyek a környéki idegrendszer egyik részét adják. Az embernek 31 gerincvelői szelvénye és így 31 pár gerincvelői idege van. A gerincvelői idegek, a környéki idegrendszer részei. A 31 pár gerincvelői idegből: 8 nyaki, 12 háti, 5 ágyéki, 5 kereszt-táji, 1 farki ideget különítünk el (4.5. és 4.6. ábrák).

1./ Páros idegek: ez azt jelenti, hogy egy gerincvelői szelvényből a jobb és baloldalon egy-egy ideg lép ki, ami hamarosan két ágra egy dorsális és egy ventrális ágra szakad (4.10. ábra).

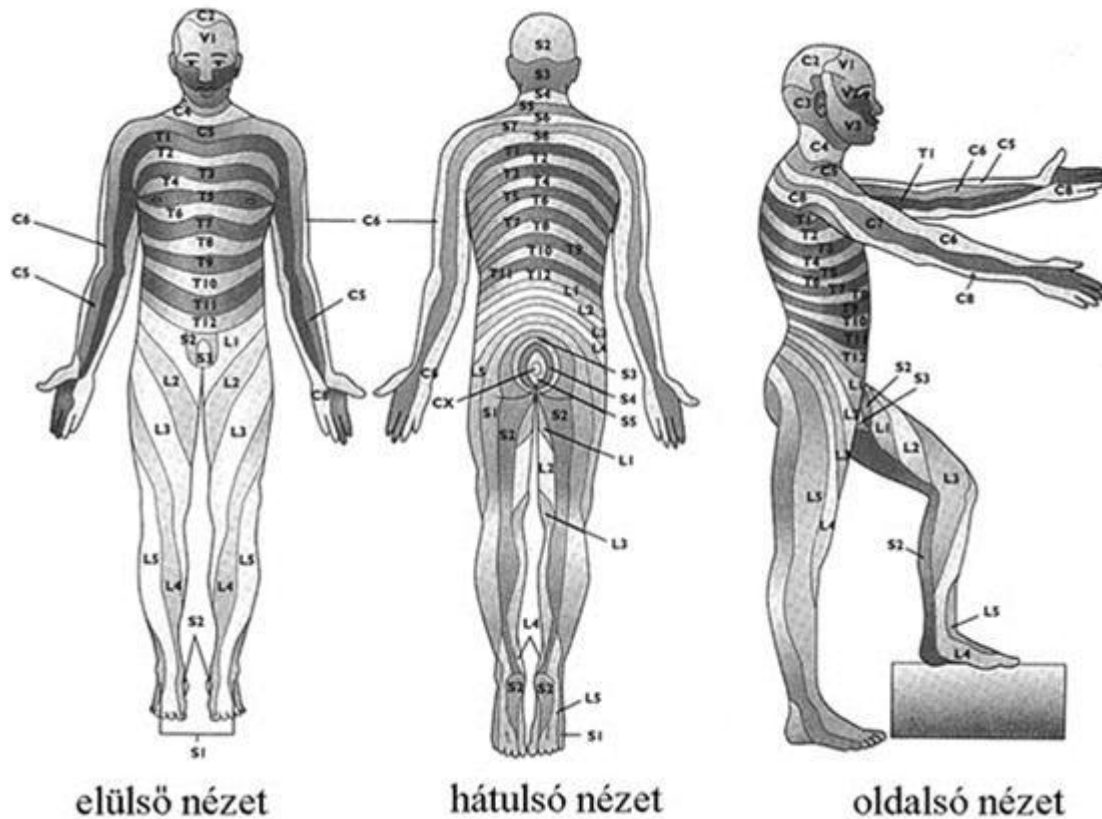
A detailed diagram of a flower's cross-section. The central part is the ovary (6), which is divided into three chambers (locules). Above the ovary is the style (7) and stigma (8). The ovary is surrounded by the endosperm (9) and embryo sac (10). The ovary is attached to the filament (5), which is part of the stamen (1). The stamen also includes the anther (4). The ovary is surrounded by the petal (2) and sepal (3). The diagram is labeled with numbers 1 through 10.

2./ **Kevert idegek:** ez azt jelenti, hogy érző és mozgató rostokat is tartalmaznak. Ezek somaticus érző és mozgató rostok, de a gerincvelő háti és ágyéki szakaszához tartozó gerincvelői idegek vegetatív sympathicus rostokat is tartalmaznak. A gerincvelő keresztjtájéki idegeiben pedig parasympathicus rostok vannak.

Az érzőrostok különböző vastagságúak lehetnek, s így vezetési sebességük is eltérő. Ez utóbbi alapján történik csoportosításuk. A rostok, melyek az izomból és az ínből jönnek A α rostok, A β és A γ rostok tapintósejektől, míg A δ rostok fájdalom, hő és nyomásérzők, valamint C-rostok szintén fájdalom, valamint tapintásérzők. A fájdalomérző rostok között vannak vékonyabbak és vastagabbak is. Feltehetően ezért érezzük a fájdalmas behatást kettősnek, mert először egy rövid éles, majd rögtön ezután egy hosszú tompa fájdalomérzés következik.

A bőr érző beidegzése megközelítően az eredeti szelvényezetttséget tartotta meg. A gerincvelői idegek bőrágai a szelvényezetttségnek megfelelő, egymásután következő bőrterületeket látják el. Az ugyanazon érző gyökérhez tartozó idegrostok által beidegzett bőrterületet **dermatomának** nevezzük. A dermatomák szelvényes elrendeződése még a végtagokon is megmutatkozik (4.11. ábra).

4.11. ábra - Dermatomák eloszlása a testen



A bárányhimlő (Varicella zoster) vírusa okozza az **övsömört**. A tipikusan gyermekbetegségként ismert tünetegyüttes gyógyulása után a vírus a szervezetben marad. Az érző idegek idegvégződéseibe vagy a dúcba telepszik be. Bizonyos idő után a vírus aktiválódhat, s ennek hatására bőrtüneteket okoz. A vörös viszkető bőrfoltok a gerincvelői ideg által beidegzett bőrfelületen sávokban jelennek meg, ezért nevezik **övsömörnek**. A bőrfoltok a bárányhimlőhöz hasonlóan hólyagossá válnak, majd 2-3 hét múlva beszáradnak és eltűnnek. Megjelenésük főleg a törzsön, ill. az arcon várható. A tünetek megjelenése előtt és után is az érintett bőrfelületen fájdalom érzékelhető. A betegség bármely életkorban megjelenhet, de főként az 50 év feletti korosztályt, ill. a gyengébb immunrendszerrel élőket veszélyezteti (AIDS-betegeknél gyakori). Az övsömör a már korábban bárányhimlőn átesett tünetmentes embereknél is jelentkezhet.

4./ *Szimmetrikus lefutásúak, és nem lépik át a test középvonalát.* Az egy szelvényből jobbra és balra kilépő idegek egymás tükörképei, s a jobb és baloldali idegek nem lépik át a test középvonalát. Ez a szimmetrikus elrendeződés a törzs területén jól látszik, de a végtagoknál a gyakoribb fonadékképzés miatt már nehezebben ismerhető fel.

5./ *Helyenként plexusokat (fonadékokat) képeznek.* Ez azt jelenti, hogy az egyes gerincvelői idegből kisebb rostnyalábok kilépve, az alattuk vagy a felettük levő ideghez csatlakoznak. Ilyen fonadékok találhatók a nyak, a kar, az ágyék, a kereszt- és a farki tájékon.

A csigolyaközi *porckorongok elváltozásai*, pl. elcsúszásuk, kopásuk, a gerincvelői idegek helyi nyomását okozhatják. A porckorong elváltozások legismertebb formája a **porckorongsér**. A porckorong külső erősebb kötőszövetes gyűrűje meggyengül, vagy elszakad, a rugalmas belső mag kinyomja. A kiboltosult porckorong nyomja a gerincvelői ideget, ami fájdalmat, zsibbadás érzetet (érzékiesést) és akár bénulást is okozhat.

2.1.1.3. Gerincvelői reflexek

A gerincvelő reflexközpont, ami azt jelenti, hogy a koponyától lefelé a törzs és a végtagok akaratunktól független mozgásainak szabályozó központja. A mozgást kiválthatja a külvilágból ill. a belső szervezetben ható inger. Ennek megfelelően a gerincvelői reflexek két nagy csoportját, nevezetesen a somaticus és a vegetatív reflexeket különítjük el.

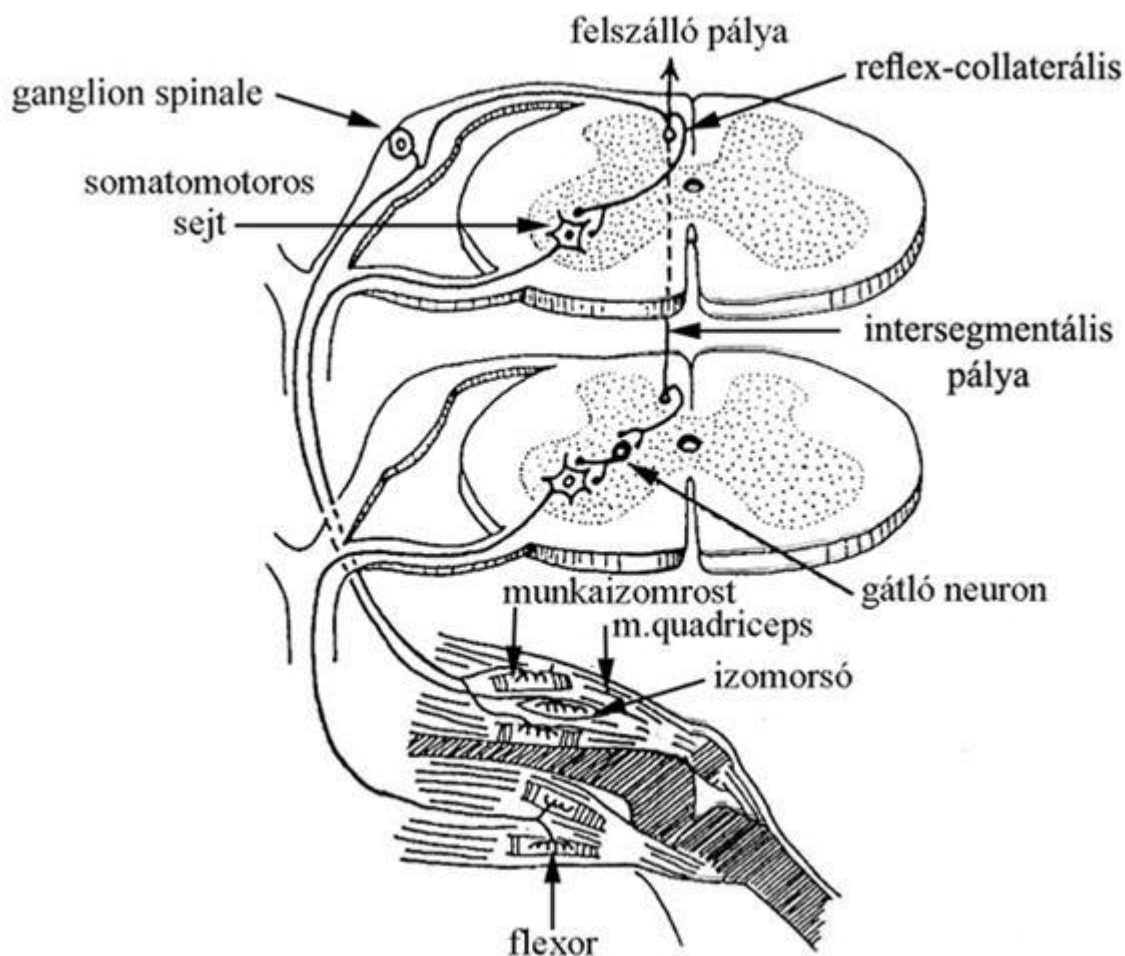
a./ Somaticus reflexek

A **somaticus reflexek** a testfal bőr és vázizomzatához kapcsolódó reflexek. Két fajtájuk úgy mint a proprioceptív és exteroceptív reflexek ismertek.

a.a./ *Proprioceptív (izomeredetű, saját vagy myotaticus) reflexek.* Ez a reflex elsősorban az antigravitációs izmokban jelentkezik. Izomeredetű reflex azért, mert a reflexív egy vázizomból indul, azaz az izomban van az érző végkészülék a receptor, ami képes az ingert ingerületté átalakítani és a végrehajtó készülék, az effektor is ugyanabban az izomban van. Myotaticus reflexeknek is nevezik, mivel az izom hosszának és feszültségi állapotának beállítását és annak megtartását végzi.

Ilyen pl. a *térd vagy patella reflex* (4.12. ábra). Ha reflex kalapáccsal a térdalatti ínra ütünk, akkor az izom hirtelen megnyúlik. Ez a megnyúlás a négyfejű combizomban elhelyezkedő izomorsó (receptor) specifikus ingere. Az izomorsó annulospirális afferens rostja (az intrafuzális vázizomrostokra tekeredő idegrost) a lumbális 2-4 gerincvelői szelvények hátsó gyökerén lép a gerincvelőbe. Az afferens rost érző sejtje a csigolyaközi dúcban helyezkedik el. A sejt centrális nyúlványa a gerincvelő hátsó kötegében három collaterálisra oszlik. Az *egyik collaterális* az elülső szarv mozgató idegsejtjéhez megy, és annak adja át ingerületét. A mozgató sejt axonja az elülső gyökerén, a kevert gerincvelői idegen át a négyfejű combizom vázizomrostján végződik. A reflexív két neuront tartalmaz, s közöttük egy synapsis van.

4.12. ábra - Térd (patella) reflex

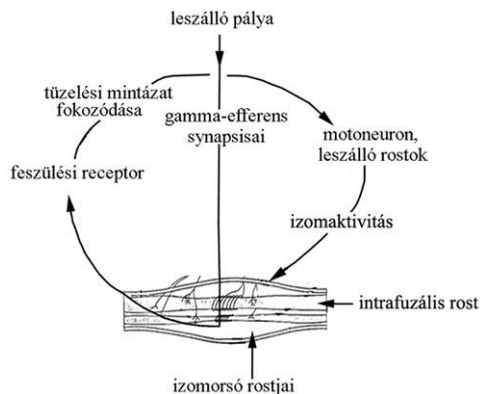


A lábszár előre lendüléséhez az szükséges, hogy az antagonista izmok egyidejűleg elernyedjenek. Ezért az érzősejt centrális nyúlványának *másik collaterális*a egy szelvénnel lejjebb egy gátló interneuronon át az ugyanazon szelvény elülső szarvának *motoneuronjához* viszi az ingerületet, ami a combhajlító izomban végződik, és azokat ellazítja, mert motoneuronjaik működését gátolja. A *harmadik collaterális*, gerincvelői kötegbe kilépve felszállópálya rostját adja.

A **reflexidő mérése** ma már könnyen megoldható. Egy computerhez csatlakoztatott időmérő-készülékkel pontosan mérhető az adekvát inger érkezése és a reflex kialakulása közti idő. Ez az adat alapvetően a receptorok működéséről, ill. az idegsejtek ingerületvezető képességéről ad információt.

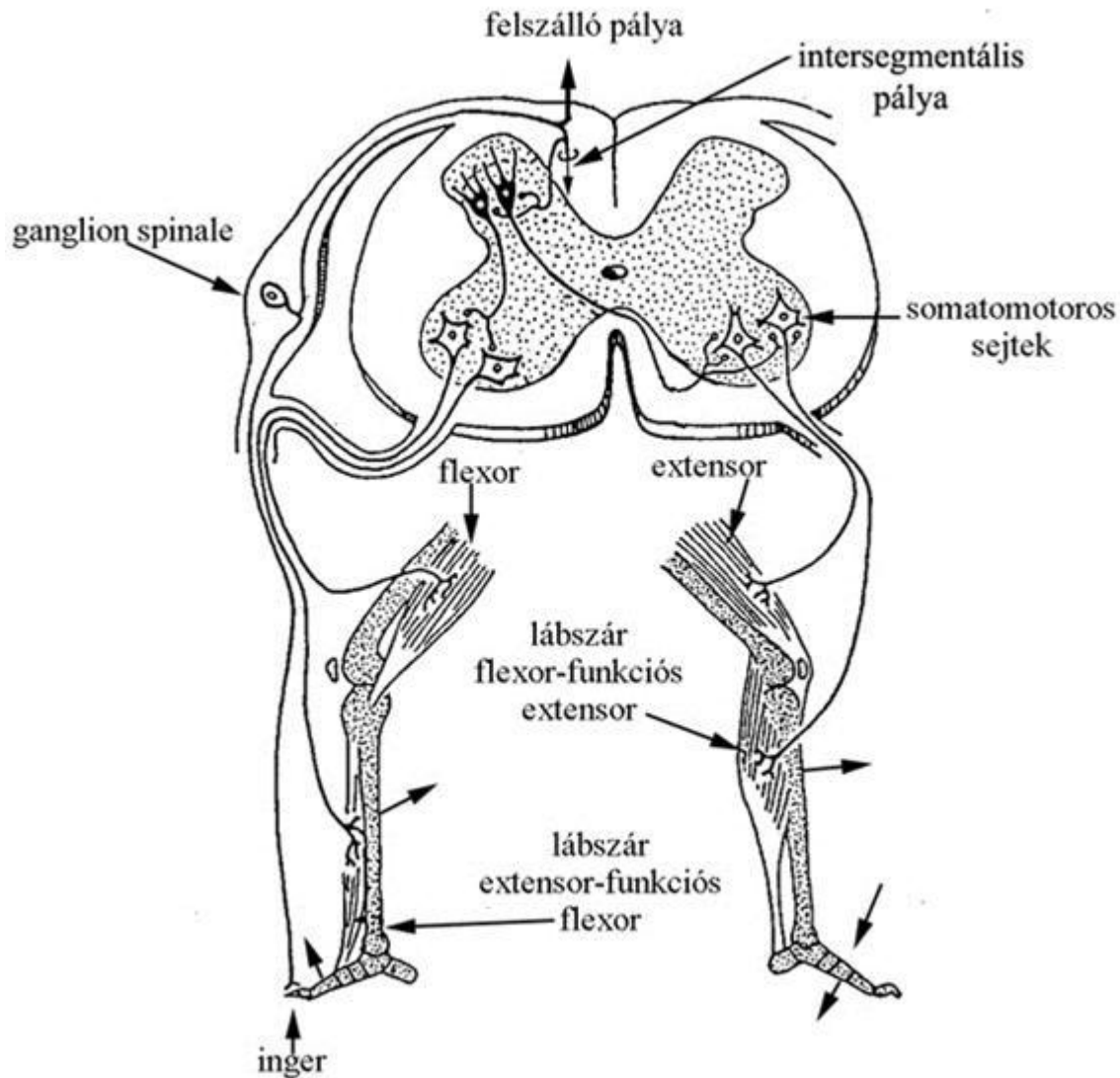
a.b./ Gamma hurok. A központi idegrendszer leszálló pályákon keresztül szabályozza az izmok működését oly módon, hogy a reflexkörök működését befolyásolja. A leszálló pálya efferens rostjai A γ motoneuronokat aktiválnak. Ezek a neuronok az izomorsó intrafuzális rostjaira csavarodva érzékelik a rostok passzív nyújtását (4.13. ábra). Az intrafuzális rostok feszülésének megváltozása ingerli a feszítési receptorokat, azok tüzelési mintázata megváltozik. Ennek hatására gerincvelői vagy agytörzsi motoneuronok aktiválódnak, és aktiválják a munkaizomrostokat. Ezt hívjuk **gamma-huroknak**, amely csak a központi idegrendszer hatására aktiválódó rendszer. Alapvető feladata van pl. a testtartás, testhelyzet stabilan tartásában, a mozgás intenzitásának változtatásában, különösen annak lefékezésében vagy gyorsításában, valamint a lassú de nagy erejű izommozgások kivitelezésében. A reflexes A α -rostok és az A γ -rostok egyidejű aktiválása is lehetséges, amely a motoneuronok folyamatos aktiválását eredményezi (erő változtatása).

4.13. ábra - Gamma hurok



a.c./ Exteroceptív reflexív. Védekező, vagy bőreredetű reflex, ami a szervezetet megóvjá valamilyen károsodástól. Pl: ha jobb lábbal rajzszögbe lépünk, akkor a jobb lábat elhúzzuk a káros ingertől és, hogy egyensúlyunkat el ne veszítsük, a bal lábunkat megfeszítjük, ide helyezve testsúlyunkat. Ez egy exteroceptív, vagy *idegen (bőreredetű) reflex* azért, mert a reflexív kezdete a receptor, és vége az effector nem ugyanabban a szervben van. Példánkban a receptor a bőrben, az effector vázizomban van (4.14. ábra).

4.14. ábra - Keresztezett hajlító-feszítő reflex



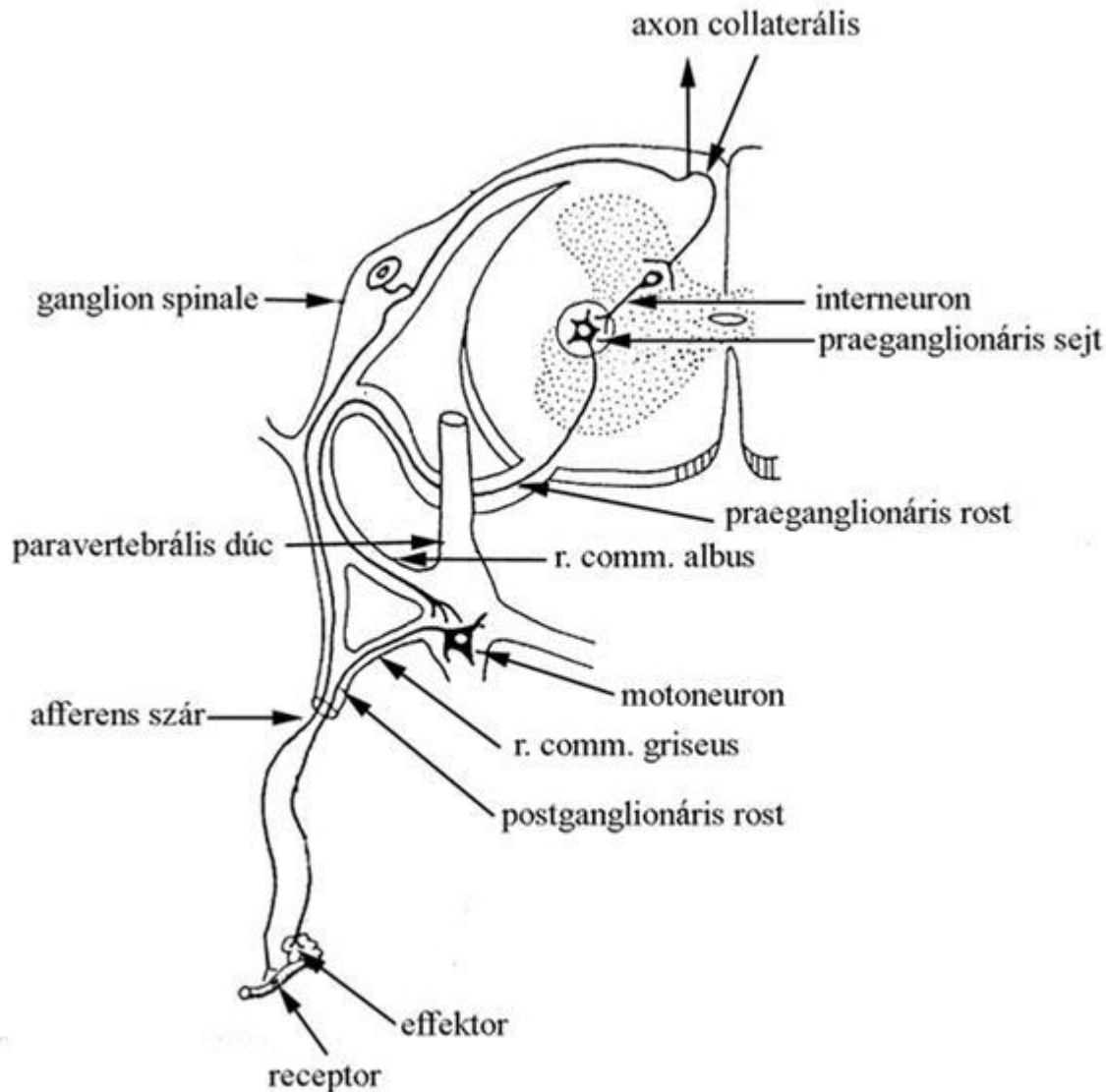
A rajzszőg által okozott fájdalmat (inger) a bőr epidermisében levő intraepitheliális szabadidegvégződés ingerületté alakítja. Ez a receptor a csigolyaközi dúcsejt perifériás nyúlványának kezdete. A csigolyaközi dúcsejt a gerincvelő azonos oldali hátsó szarvához fut, ahol axon collaterálisokra oszlik. Ezek egyike egy interneuronon át az azonosoldali elülső szarvba megy, ahol somatomotoros sejtekkel synaptizál, s a láb hajlító izmain végződik. A másik collaterális egy interneuronon át az ellenkező oldali motoneuronokkal tart kapcsolatot, melyek ingerületüket a másik láb feszítő izmaihoz viszik. Ez az interneuron teszi lehetővé, hogy egyidőben a jobb lábunkat behajlítsuk és a bal lábat megfeszítsük. Természetesen ezzel egyidőben működik a korábban leírt egyszerű izomeredetű reflex (ld. térdreflex) is.

b./ Vegetatív reflexek

A gerincvelői vegetatív reflexeknek is két csoportját, az ún. parietális és visceralis vegetatív reflexeket ismerjük annak alapján, hogy a vegetatív szerv a testfalban vagy a testüregben helyezkedik el.

b.a./ **Parietális vegetatív reflexek** (4.15. ábra). Receptorai azokban a vegetatív szervekben vannak, amelyek a testfalban (bőrben, vázizomzban) találhatóak, pl. bőrmirigyek, vérerek.

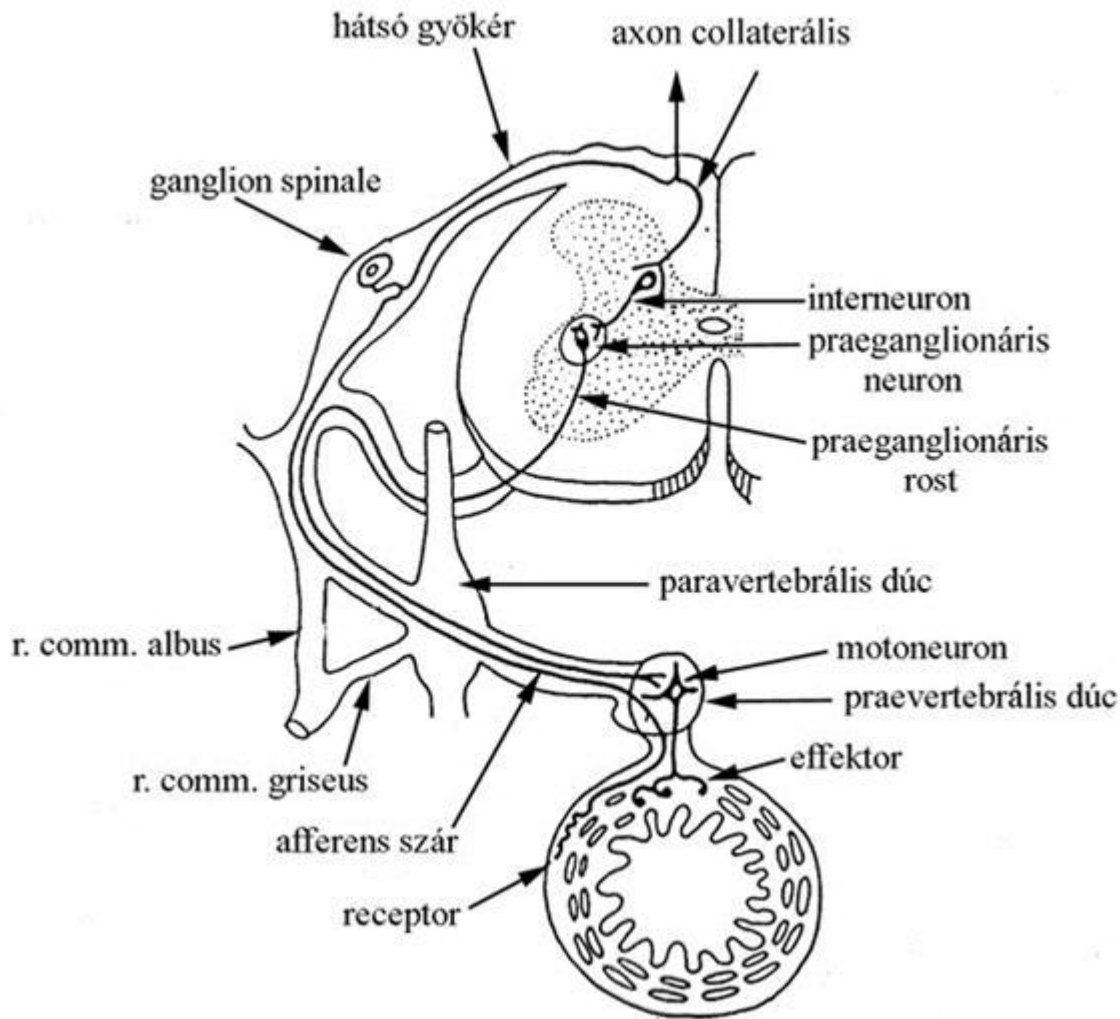
4.15. ábra - Parietális vegetatív reflex



A receptorhoz tartozó érző idegsejt a csigolyaközi dúcban helyezkedik el, melyek a thoraco-lumbális gerincvelői szakasznál vannak. Az érző sejt perifériás nyúlványa a kevert gerincvelői idegekben futva hozza az ingerületet a sejttesthez. A sejt centrális nyúlványa a gerincvelőbe érve több collaterálisra oszlik. Az egyik collaterális egy interneuronon át a gerincvelői oldalszervi sympathicus sejttel synaptizál. Ennek a sejtnek az axonja az elülső gyökéren át a gerincvelői idegbe lép. Mivel vegetatív sympathicus reflexről beszélünk, ezért a gerincvelői idegből a praeganglionáris sympathicus rost a ramus communicans albuson át a paravertebrális dúcba lép, ahol egy dúcsejttel synaptizál. A dúcsejt axonja, mint postganglionáris rostok a ramus communicans griseuson át visszalép a gerincvelői idegbe, mivel a vegetatív szerv ennek az idegnek a lefutásában van, majd a vegetatív szervben egy effektorban (pl. az erek simaizmában) végződik.

b.b./ Viscerális vegetatív reflexek. A testüregi vegetatív szervből indul, a reflexív. Ez legyen pl. a bél (4.16. ábra). Ha kevés táplálékot fogyasztottunk, csökkentebb lesz a peristalticus mozgás. A táplálék nyomás hiányát a bélfal receptora megérzi, s ezt az ingert ingerületté alakítja. Az ingerület a csigolyaközi dúc álegynyúlványú sejtjének peripheriás nyúlványán keresztül jut a gerincvelőbe. A perifériás nyúlvány mint idegrost, vegetatív sympathicus dúcokon át (praevvertebrális és paravertebrális dúcok) a szürke összekötő ágon át összeköttetésbe kerül a gerincvelői ideggel. A gerincvelői hátsó gyökéren a csigolyaközi dúcban van az elsődleges érzősejt teste, melynek centralis nyúlványa a gerincvelőbe lép, ahol collaterálisokra szakad. Az egyik collaterális egy vegetatív felszállópályába lép, a másik egy interneuronon át az **oldalszervi sympathicus mag** egyik sejtjével tart kapcsolatot. A sympathicus sejt axonja a gerincvelő elülső szarván, az elülső gyökéren át kilép, majd a gerincvelői idegen halad, ezután a fehér összekötő ágon és a határkötegi paravertebrális ganglionon át egy praevvertebrális ganglionba lép, s az ottlevő idegsejttel, mint végső mozgató sejtrel létesít synapticus kapcsolatot. Ennek a dúcsejtnek az axonja a bélal simaizomzatán effektorban végződik.

4.16. ábra - Viscerális vegetatív reflex



2.1.1.4. Reakcióidő mérések

A **reakcióidő** mérésekor az adekvát inger kialakulása és az arra adott cselekvés megkezdése között eltelt időt mérjük. Az **egyszerű reakcióidő** mérésekor az előre tudott ingerre (pl. fény) kell pl. gombnyomással válaszolni. Ebben az esetben a reflexidőt, az akaratlagos működés megkezdéséhez szükséges időt mérjük. Ilyen módon tehát lehetőség nyílik az idegrendszer aktuális állapotának mérésére.

A **választásos reakcióidő** mérésekor több lehetséges inger közül kell kiválasztani a megfelelőt (pl. fény és hangterek közül). Ebben az esetben az agyi folyamatok idejéhez az inger kiválasztása is hozzátartozik. Ennek értelmében a választásos reakcióidő hosszabb, mint az egyszerű reakcióidő. A hangterekre adott válasz pedig általában rövidebb a fényingerre adott válasz idejénél.

Az átlagos reakcióidő felnőttek esetében 150-300 ms között változik. Gyermek reakcióideje általában hosszabb, részben a velőshüvely nem tökéletes volta, részben az idegrendszer fejletlensége miatt. Az idegrendszer, ill. az izomrendszer fáradása növeli a reakcióidőt.

A reakcióidő változásával kapcsolatban többféle vizsgálat is ismert. Egyik ilyen vizsgálat során baseball játékosokat hasonlítottak össze különböző szituációkban. A kísérletek során kiderült, hogy az érkező labdát figyelve a „futni vagy maradni” kérdés eldöntésében a baseball játékosok sokkal jobban teljesítettek, mint a teniszezők, vagy a nem-sportolók. A baseball játékosok egyszerű reakcióideje nem változott, míg a választásos-reakcióidő (menni vagy maradni) lényegesen javult egy kétéves megfigyelés során (Kida és mts., 2005).

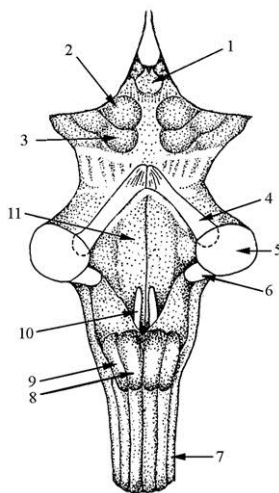
Egy ettől eltérő kísérletben mentálisan visszamaradott csoportokat vizsgáltak. Valamennyi alany azonos IQ-val rendelkezett, életkoruk és mozgásos előképzettségük megegyezett. A reakcióidőt felmérték a vizsgálat elején,

majd az alanyok egyik csoportja 7 hónapig hetente háromszor Taekwondo edzésekre járt. A 7 hónap leteltével ismét megvizsgálták a reakcióidőket mindkét csoportnál, egy EMG vizsgálattal kiegészítve. Mind a vizsgálat elején, mind a vizsgálat végén ugyanazon mozgásokat vizsgálták. A szerzők megállapították, hogy míg a praemotoros reakcióidő nem változott, addig a motoros reakció-idő szignifikánsan kisebb lett az edzett csoportnál.

2.1.2. Az agyvelő és részei

Az agyvelő a központi idegrendszernek az a része, ami a koponyaüregben található. Részei az agytörzs, a köztiagy, a kisagy és a nagyagy. Az **agytörzs** az öreglyuktól felfelé kúpalakúan szélesedő agyszakasz. Hátsó felületén egy rombusz alakú mélyedés a **rombusz árok (fossa rhomboidea)** található (4.17. ábra). A mélyedés maga a IV. agykamra, melynek alját a nyúltvelő és a híd, oldalát a három (alsó, középső és felső) kisagykar, tetejét a primitív agyhólyag hámja és a vele összenövő lágy agyhártya adja. A IV. agykamra a híd felső részén ismét mélybe süllyed. középagyban, mint szűk csatorna halad tovább.

4.17. ábra - A fossa rhomboidea



1: tobozmirigy, 2: colliculus superior, 3: colliculus inferior, 4: felső-, 5: középső-, 6: alsó kisagykar, 7: gerincvelő, 8: Goll mag, 9: Burdach mag, 10: XII agyideg magva, 11: IV. agykamra alja

Az **agytörzsben** egy sajátos rendszer az ún. **formatio reticularis** (hálózatos állomány) figyelhető meg. A hálózatos állományt *Lenhossék József* írta le. Ez az állomány idegsejt csoportokból, a sejtcsoportok közötti laza elrendeződésű idegsejtekből és az ezeket elválasztó fehérállományból (rostnyalábok) áll. Az egyes magcsoportok kapcsolatban vannak egymással, ezáltal egy hálózat alakul ki.

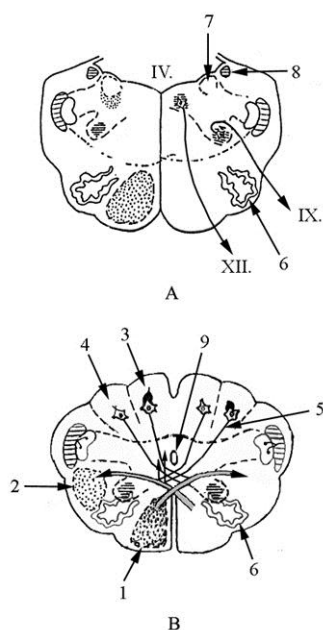
A hálózatos állomány működésileg fontos, mivel a szívfrekvenciát, a légzésszámot és a vérnyomást szabályozó központokat találjuk itt. A belégző központ a nyúltvelő caudális részének mediális szakaszán, a kilégző központ dorsálisan helyezkedik el. A hídban a légzés serkentését ill. gátlását szabályozó magasabb központok vannak. A szívfrekvencia szabályozásában a nervus vagus (X. agyideg) játszik szerepet. A nyúltvelő farki részének ingerlése vérnyomás csökkenéshez, más részének ingerlése vérnyomásemeléshoz vezet (e központokról részletesen a megfelelő szervrendszereknél teszünk említést).

2.1.2.1. Nyúltvelő (medulla oblongata)

Az agytörzs legalsó része, az öreglyukon keresztül tart kapcsolatot a gerincvelővel. Két a dorsális és a ventrális felszínét különíthetjük el. A nyúltvelő ventrális oldalán az alsó 1/3-ának magasságában középen, egy kidudorodás figyelhető meg. Ez a kidudorodás tartalmazza a pyramispálya kereszteződő rostjait. Dorsális felszínét a rombusz árok alsó része adja.

A nyúltvelő metszetén magcsoportokat és pályarendszereket találunk (4.18. ábra). Fontosabb pályarendszerei: **pyramispálya**, ami a nyúltagy alsó 1/3-ban részlegesen kereszteződik. (ld. „Gerincvelő leszálló pályái”). A kereszteződő rostok a gerincvelői elülső szarvának megfelelő szürkeállományból egy részt (sejtcsoportot) fog levágni. A levágott sejtek térben felfelé oszlopot formálnak. Az oszlop neve **nucleus ambiguus**. Benne továbbra is a sejtek motorosak, melyek agyidegek (IX., X., XI. agyidegek) motoros magvai lesznek.

4.18. ábra - A nyúltvelő zárt (A) és nyílt (B) részeinek keresztmetszete



1: pyramispálya, 2: keresztezett pyramispálya, 3: Goll mag, 4: Burdach mag, 5: mediális hurokpálya, 6: oliva mag, 7: ala cinerea, 8: area postrema, 9: canalis centralis. Szaggatott vonal jelzi a gerincvelői szürkeállományt

Mediális hurokpálya (lemniscus medialis), ami a nyúltvelői Goll és Burdach magoktól indul. Ezeken a magokon végződik a gerincvelői Goll és Burdach pálya. A mediális hurokpálya a nyúltvelőben teljes mértékben kereszteződve a dorsális oldalról a ventrális oldalra jutva halad felfelé (ld. Felszálló gerincvelői pályák). E két fő pályarendszer a gerincvelő pillangó alakú szürkeállománya hátsó szarvaiból fog levágni egy perifériás részt, amiből a trigeminális hurokpálya, a fej tájék fájdalomérző pályája indul. Mediális része pedig megmarad, s térben oszlopformát mutat, ez az **ala cinerea** és a **nucleus tractus solitarii**, a VII., IX., és a X. agyidegek zsigeri érző magjai találhatók benne.

A gerincvelőnél említett *tractus spinocerebellaris dorsalis* a nyúltvelőből kilépve a kisagyba vezet. A pálya rostjai a kisagyba érnek. Ugyancsak a nyúltvelőből a kisagyba vezető pálya indul az **oliva inferior**ból.

A nyúltvelő-híd határán laterálisan helyezkedik el négy vestibuláris mag. Közülük a laterális helyzetű mag (**Deiters-mag**) az izomtónus szabályozásában játszik fontos szerepet, nincs közvetlen kapcsolatban a helyzetérzékszervvel, a kisagy által feldolgozott egyensúlyi ingerületet kap. Ezekből a vestibuláris magokból indul a *tractus vestibulospinalis*, ami a gerincvelőben leszállva, nyak és tarkóizmokat idegzi be.

Az alsó vestibuláris mag neuronjainak axonágai a nyúltvelő középrészén T alakban elágazódnak és ez a T formájú rostrendszer adja a **fasciculus longitudinalis medialis**t, ami a felfelé a III. agyideg, lefelé a nyaki gerincvelő motoros sejtjeinek közvetítésével a tarkó és a váll izmait innerválja.

A gerincvelő középtájékán a canalis centralis a nyúltvelő magasságában fokozatosan dorsális irányba tolódik, s a nyúltvelő középső részén eléri a felszínét, s kiszélesedve adja a IV. agykamrát. Ennek az lesz a következménye, hogy a gerincvelői elülső szarvnak megfelelő a canalis centralis körül elhelyezkedő motoros sejtek az agykamra középső, míg a dorsális szarv sejtjei ezekről kissé oldalra helyezkednek el.

A nyúltvelő középső részén a formatio reticularis a mozgás gátlásáért felelős. Ez az izomtónus csökkenését, ill. a reflexek megszűnését idézi elő. A híd és a középagy a mozgások serkentésében vesz részt. A formatio reticularis az agykéreg befolyásoló hatására az ébrenlétet, ill. az alvást is szabályozza (az agytörzsi terület érintett ebben). Ha az érző-kéreg befolyása erősödik, akkor az ébrenléti állapot erősödik, a figyelem fokozódik az agyi elektromos tulajdonságok (**EEG**) megváltoznak. A formatio reticularis szabályozza az ébredés kialakulását is. Amennyiben ez a terület sérült nem ébreszthető fel többé a beteg.

A nyúltvelő-híd komplex működésének köszönhető számos **nyálkahártya-reflex**, amelyek alapvető feladata a védekezés. Ílyenek pl. a köhögés, tüsszentés, hányás reflexei. A táplálkozás kapcsán fontos megemlíteni a nyelés reflexét is, mely a nyelvgyök érintésével kiváltható, hasonlóan az öklendezés, hányás reflexéhez.

A nyúltnélve felelős a testtartás, mozgás és az izomtónus szabályozásáért is. A testtartással kapcsolatos reflexeket elsősorban macskákon vizsgálták. Az agytörzs különböző pontjainak átmetszésével a testtartás és a járás számos aspektusára, szabályozási pontjára derült fény. Ha az agy átmetszését a nyúltnélve vagy a híd területén ejtették meg, akkor ún. decerebrált állatot láttak. Az ilyen állatban az összes feszítő izom tónusfokozódása figyelhető meg, nyújtásreflex nélkül (**decerebrációs rigiditás, merevség**). Ebben az állapotban az állat hely, vagy helyzetváltoztatásra nem képes, de ha lábra állítjuk, akkor az adott helyzetet megtartja. A feszített helyzet azonban akkor is fennmarad, ha az állatot az oldalára fektetjük.

2.1.2.2. Híd (pons)

Alakja és funkciója is tükrözi nevét. A rombuszárak felső részét adja. Két, a felső **tegmentum pontis** és az alsó **basis pontis** részre tagolódik. A hídban a IV. agykamra fokozatosan a dorsális felszínről ventrális irányba helyeződik át és szűk csatornává szűkül. A beszűkülő IV. agykamra oldalfalát a felső kiagykar adja, melyet idegrostok építenek fel, amelyek a híd és a kisagy közötti kapcsolatot biztosítják.

Szerkezetében a gerincvelő szürkeállományának pillangó formája már nem ismerhető fel. Fontosabb sejtcsoportjai a **nucleus salivatorius superior** és az **V. agyideg motoros és fő sensoros magvai**. Az utóbbiból egy pálya indul a nyúltnagy felé. Ez a fej fájdalomérző rendszerének egyik részét adja. A trigeminus magtól oldalt helyezkedik el a **locus coeruleus**.

A híd-alapban (**basis pontis**) egy magcsoport található, ahonnan a kisagy felé indul egy pálya.

Átmenő pályarendszerei, melyekkel a hídban nem történik semmi, csak átfutnak rajta, mind afferensek, mind pedig efferensek lehetnek

Afferens átfutó pályái: a nagyagy felé: a mediális hurokpálya (lemniscus medialis), kisagyhoz a kisagykaron kilépve a gerincvelői tractus spinocerebellaris ventralis, fasciculus longitudinalis medialis, ami felfelé a középaggyal, lefelé a gerincvelővel tart kapcsolatot.

Efferens átfutó pályái: az agykéreg homloklebenyéből induló pyramispálya, a középaggyból induló extrapyramidális pályák.

A híd a nyúltnélvél együtt fontos szerepet tölt be számtalan alapvető életfolyamat szabályozásában. Így pl. légző és érmozgató központ (vérnyomás szabályozás) helyezkedik el (ld. formatio reticularis). Motoros magjai a nyelv mozgatásáért, az arc és rágóizmok beidegzéséért felelősek. Halló és egyensúlyozó központ, továbbá a vegetatív működések közül szabályozza a nyálérválasztást.

2.1.2.3. Középagy (mesencephalon)

Vékony agytörzsi terület, közepén húzódik egy szűk csatorna az **aqueductus mesencephali**. Egy alapi- (**basis mesencephali**) és egy fedőrése (**tegmentum mesencephali**) különíthető el. A középagy ventrális oldalát a V alakban széttartó agykocsányok adják, melyben mind fel, mind leszálló pályák haladnak. Az agykocsányok felett egy szalagszerű sötét mag a substantia nigra helyezkedik el. Benne olyan idegsejteket találunk, melyek egy **dopamin** nevű transzmitter anyagot termelnek. A dopamint termelő sejtek axonjai a corpus striatumba vetülnek, és az ott levő cholinerg sejtekre gátlólag hatnak. Ha ez a dopamin által kifejtett gátlás a cholinerg sejteknél megszűnik, akkor egy jellegzetes betegség a **Parkinson-kór** tünetei (ld. később) ismerhetők fel.

A fekete mag felett kissé oldalt a **vörösmag (nucleus ruber)** található. Az extrapyramidális rendszer része. A vörösmag embernél kissé alárendelt szerepű. Az innen induló pálya a tarkóizmokat innerválja.

A középagy felső része a **tetőlemez (tectum)**, rajta szimmetrikus elrendeződésben, két elülső és két hátsó dudorszerű kiemelkedés, az ún. **ikertestek** láthatók. A négy kiemelkedés a **corpora quadrigemina**. Ebből az első kettő a **colliculus superiores**, míg a hátsók a **colliculus inferiores** (4.17. ábra). A **colliculus superiores** a köztiagy külső térdesmagvával (nucleus corpus geniculatum laterale) áll összekötetésben és a látásból eredő agytörzsi reflexet szervezi. A **colliculus inferiores** ugyancsak a thalamussal, mégpedig a belső térdesmaggal (nucleus corporis geniculatum mediale) létesít kapcsolatot, ami a hallópálya egyik átkapcsoló állomása. Az ikertestek a hallásból eredő agytörzsi reflexeket szervezik, pl. a hirtelen zajra kialakuló megijedés, odafordulási reflex.

Az ikertestek az agykéreghez hasonlóan réteges felépítésűek. A tectumból indul a tectospinális pálya (ld. „Gerincvelő”).

A tegmentum közepén az aqueductus mesencephali található, amit szív alakban vesz körül egy egységes szürkeállomány. Ebben elől egymás mellett két motoros magcsoport különíthető el, ezek a **III. agyideg magvai**. Ezekből az egyik a külső szemizomhoz, míg a másik (*Edinger-Vestfal mag*) belső szemizmokhoz fut. Ez a mag a parasympathicus központ (ld. „Vegetatív idegrendszer”). A középagyi szürkeállomány hátsó részében a **IV. agyideg** motoros magva van, ahonnan az agyideg ered. A szív formájú szürkeállomány legelső részén szimmetrikusan egy magcsoport látható, melynek érdekessége, hogy pseudounipoláris sejteket tartalmaz, melyek érzősejtek. Csak itt található szenzoros sejt a központi idegrendszerben. Ehhez a magcsoportához kötődnek a rágás reflexeívei (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Emésztőkészülék” c. fejezetben).

2.1.2.4. Köztiagy (diencephalon)

Nem szelvényezett, belőle agyidegek nem erednek. Középső része a legnagyobb kiterjedésű thalamus, hátsó része a metathalamus. A thalamus felett helyezkedik el az epithalamus. A köztiagy alja a hypothalamus.

a./ *Epithalamus*

A közép- és a köztiagy átmeneténél található. Részét képezi egy páros magcsoport (*habenuláris magok*), melyek közötti összeköttetésről emelkedik ki a tobozmirigy (ld. „Endocrin mirigyek”). Az epithalamus alatt található a III. agykamra, melynek felső faláról türemkedik be a kamra üregébe a **plexus chorioideus** nevű érgomolyag, melynek szerepe az agy-gerincvelői folyadék termelésében van.

b./ *Thalamus*

Tojás formájú agyszakasz, oldalról fehérállomány a belső tok (capsula interna), alul a hypothalamus határolja. Az egyensúlyozási és a szagló pályán kívül minden érzőpálya mielőtt a nagyagykéreghez érne, belép a thalamusba, ahol a megfelelő thalamus magnál átkapcsolás történik. Ugyanakkor a thalamus kapcsolatban van az előagyi mozgó központokkal is (ld. „Mozgásszabályozás”).

A thalamust egy fehérállományból álló Y alakú lemez három, az elülső, az oldalsó és a belső magcsoportra osztja, melynek további magjai vannak. Ezek lehetnek specifikus és nem specifikus magok. A specifikus magokról tudjuk, hogy sejtjei szenzoros ingerületet kapnak. Ilyen mag pl. a nucleus ventralis posterolateralis, ahol a medialis hurokpálya kapcsol át. E mag agykérgi projectioja is jól körülhatárolt.

A nem specifikus magok sok területről kapnak afferens ingerületet és a nagyagykéreg kiterjedt területére vetülnek.

c./ *Metathalamus*

A thalamus mögött helyezkedik el. Legfontosabb magjai a külső (vagy laterális) és a belső (mediális) térdesmag. Az előzőben a látó, az utóbbi magban a hallópálya átkapcsolása történik. (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Érzékszervek” c. fejezetben).

d./ *Hypothalamus*

A köztiagy alja, előtte látható a szemideg részleges kereszteződése. Alsó felszínéről egy nyélen lóg le az agyalapi mirigy, vagy hypophysis.

A hypothalamus mind endocrin mirigyekkel, mind a vegetatív idegrendszerrel is szoros funkcionális kapcsolatban van, ezért mondhatjuk, hogy endocrin (ld. Belsőelválasztású mirigyek) és vegetatív központ is.

A hypothalamus felső középső részén a III. agykamra figyelhető meg. A hypothalamusnak az agykamra körüli részein jól körülhatárolt sejtekből felépülő magok találhatók, míg oldalsó részein a sejtcsoportok nem különülnek el élesen, ezért itt ún. területekről (areák) beszélünk. A hypothalamus fontosabb areái és magcsoportjai:

A hypothalamus *elülső oldalsó területe* hűtő- és parasympathicus, míg a *hátsó oldalsó területe* fűtő és sympathicus központ. Ezek magasabbrendű vegetatív központok, melyeket a limbikus rendszer befolyásol.

A hypothalamus *középső oldalsó területéhez* az éhség, míg, a *középső mediális magjához* a jóllakottsági központ tartozik.

A hypothalamusnak a III. agykamra alján és oldalán kis apró sejteket tartalmazó csoportok vannak, melyek közül kiemelhető a *nucleus arcuatus*. Ezek a sejtcsoportok együtt adják a *tubero-infundubuláris rendszert* (ld. Hypothalamo-hypophyseális rendszer).

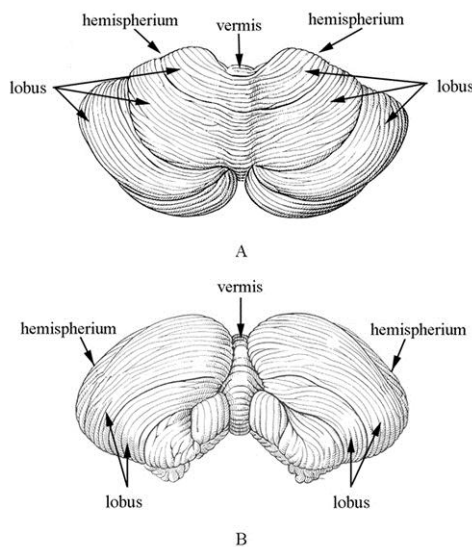
A szemideg kereszteződésének magasságában és az agykamra felső részénél egy-egy nagyméretű idegsejt csoportot is megfigyelhetünk. Ezek a *nucleus supraopticus* és a *nucleus paraventricularis*, melyek a *magnocelluláris rendszerhez* tartoznak adják (ld. „Hypothalamo-hypophyseális rendszer”).

A hypothalamusban éppen a szemideg kereszteződésénél található egy sejtcsoport, a *nucleus suprachiasmaticus*, ami a szervezet bioritmusának ún. ritmusadó magcsoportja (ld. „Bioritmusok”).

2.1.2.5. Kisagy (cerebellum)

A nagyagy féltekék nyakszirti lebenye alatt a koponyaalap hátsó gödrében helyezkedik el. Alsó felszínén jól elkülöníthető részei a félgömb alakú **kisagyi féltekék** (*hemispheria*) és az őket összekötő **féreg** (**vermis**). A féltekéken harántirányú elrendeződésben lebenyeket, s ezeken belül lebenyeket (foliumok) figyelhetünk meg (4.19. ábra).

4.19. ábra - A kisagy felül (A) és alulnézetben (B)



A kisagy felszínes rétegét szürkeállomány foglalja el, ami három rétegű. A legfelszínesebb a molekuláris réteg kevés idesejttel. A középső, a **Purkinje sejtek** rétege (vagy ganglionáris réteg), míg a harmadik a szemcses sejtréteg, amit apró idegsejtek építenek fel. A velőállomány a IV. agykamra tetején helyezkedik el és benne kisagyi magok találhatók. A kisagy és az agytörzs közötti összeköttetést a három kisagyi kar biztosítja, melyekben mind afferens, mind efferens rostok haladnak.

A kisagynak fejlődéstanilag és működésileg is különböző részeit lehet elkülöníteni. Ezek közül a legősibb (**archicerebellum**), főleg a vestibuláris magokkal való kapcsolata révén az egyensúlyozásban játszik szerepet, a **paleocerebellum** része a gerincvelővel, míg a **neocerebellum** (legújabb rész) az agykéreggel van kapcsolatban.

A kisagyba vezető fontosabb *afferens pályák*:

1. a törzsizmokból, inakból a gerincvelőn át,
2. a nagyagyból.

A kisagy *efferens pályái*:

Főleg az agytörzsbe vezetnek, s ezen keresztül a mozgásszabályozásba avatkoznak be. Ezek a pályák a kisagy Purkinje sejtjeitől erednek egy részük a kisagyi magvaknál (a fehérállományban levő idegsejtcsoportok) végződnek, majd a *nucleus ruber*hez futnak. Innen induló *tractus rubrospinalis* vázizomhoz, tarkóizmokhoz megy.

A vestibuláris pályán keresztül a Purkinje sejteken valamint a nucleus vestibularis lateralis sejtjein végződnek és az egyensúly fenntartásában játszanak szerepet.

Összefoglalva elmondható, hogy a kisagyhoz főleg a vázizmoktól, valamint az egyensúlyozó szervtől érkeznek ingerületek, ugyanakkor a kisagykéreg a kisagyi magvakon keresztül összeköttetésbe lép a test perifériás mozgató (vázizmok) részével. A kisagy működésének teljes kiesése sem az akaratlagos motorikát, sem pedig a tudatos érzékeléseket nem szünteti meg. Afferens ingerületei révén a kisagyvelő erősítő és gátló befolyást gyakorol a testizomzat tartási tónusára és tónuseloszlására, valamint a szemmozgató izmok beidegzésére és úgy szabályozza ezeket, hogy állásnál és járásnál az egyensúlyi helyzet folyamatosan fennmaradjon. Tehát a kisagy szerepe az izomtónus fenntartásában és megfelelő eloszlásában van.

A kisagy károsodása az izomtónus csökkenésével, súlyos esetben teljes megszűnésével jár. Az akaratlagos mozgások összerendezetlenek, egyensúly és járászavar alakul ki (**ataxia**). A lépések nagyságát nem tudja megfelelően szabályozni a beteg, állására, járására terpesztartás jellemző.

A kisagyi károsodásra jellemző, hogy az egyén a megindított mozgást nem tudja megállítani, akaratlagosan szabályozni. A mozgás megindítása lassul, a mozgás pontatlanná válhat. Pl. az orr ujjal való megérintésekor a beteg nem éri el az orrát, vagy túl szeretne nyúlni azon, esetlegesen mellé ér. A betegre az ún. **intenciós tremor** jellemző, ami azt jelenti, hogy egy cél irányába történő mozgás során oldalirányú remegések jelennek meg a végtag mozgása során.

Az összetett mozgások végrehajtása nehezített. Skandáló beszéd is jellemezheti a kisagy-károsodásban szenvedő egyént. A szemmozgások zavarai is kialakulhatnak. Ez egyrészt a fixálás zavara lehet, másrészt spontán ritmikus szemmozgások alakulhatnak ki (**nystagmus**).

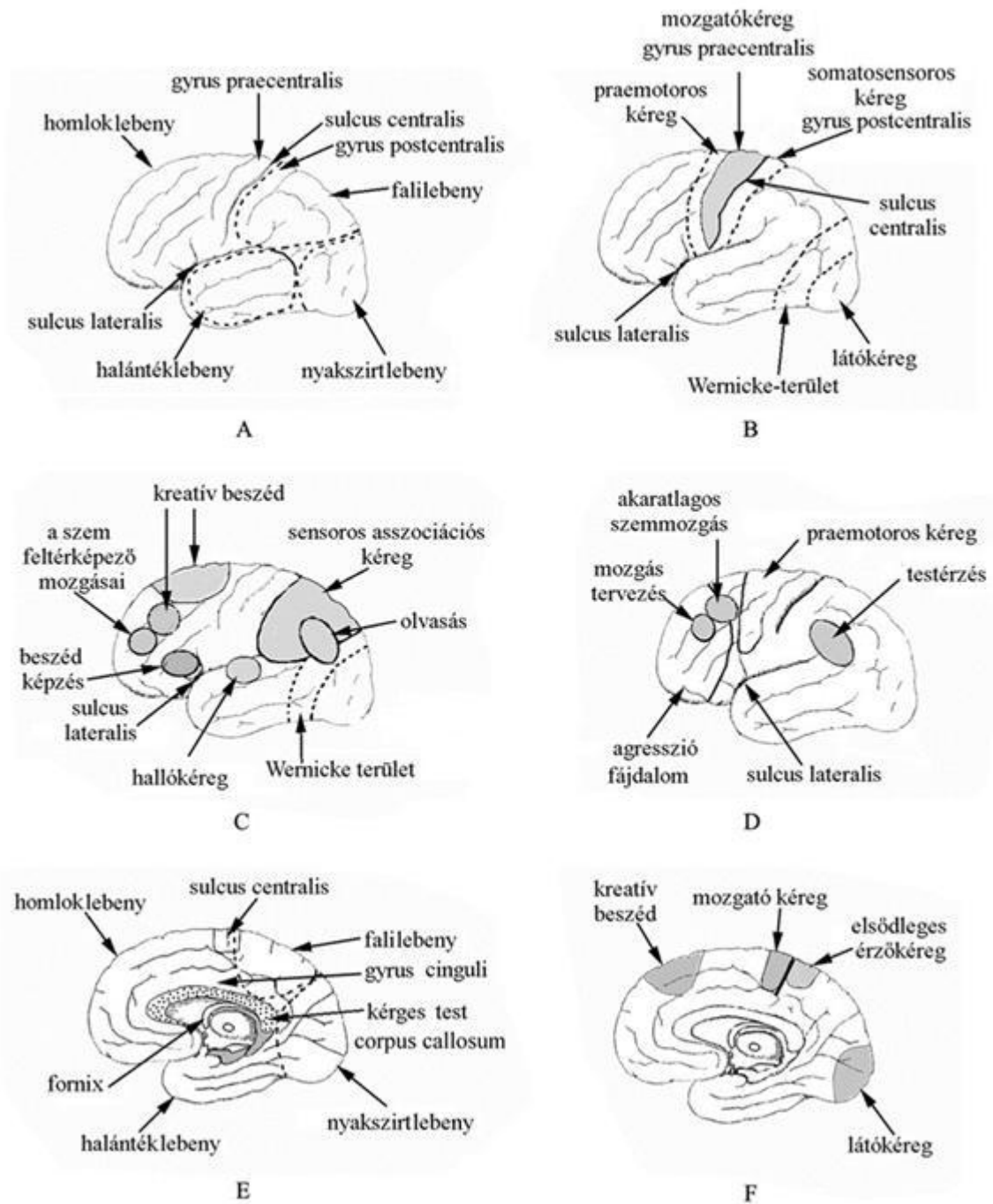
2.1.2.6. Nagyagy (telencephalon)

Két féltekéből (*hemispherium*), az ezeket összekötő páratlan rostrendszerekből (*commissurák*) és hosszú pályarendszerekből áll. A hosszú pályarendszerek vagy a féltekék kérgi részéből indulnak ki, vagy ide érkeznek.

a./ *Hemispherium*

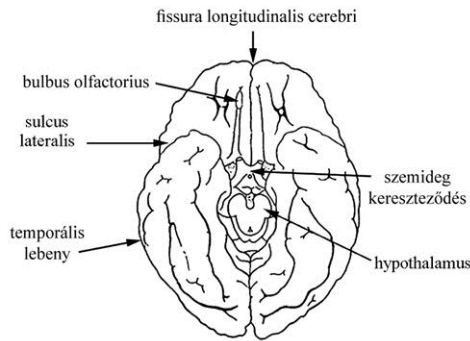
A féltekéket a dorsális oldalon egy mély hasadék (*fissura longitudinalis cerebri*) választja el egymástól, ami csak a kérges testig ér. Minden féltekén három, az *oldalsó* (*facies convexa*; 4.20. ábra, A-D. képek), a *mediális* (*facies medialis*; 4.20. ábra, E. és F. képek) és az *alapi* (*facies basalis*; 4.21. ábra) felszint különítünk el.

4.20. ábra - A nagyagy convex (A.-D. képek) és mediális (E. és F. képek) felszínei



A szaggatott vonalak a lebenyhatárokat, a szürke részek a lebenyekben található központokat jelzik

4.21. ábra - Az agy alapi felszíne



Az agyféltekék külső kéreg (szürkeállomány) és belső velőállományra (fehérállomány) tagolhatók. A **kéreg (cortex)** felszíne nem sima, mélyedések, azaz **barázdák (sulcus)** és kiemelkedések, azaz **tekervények (gyrus)** láthatók rajta. Több barázda és tekervény egy nagyobb egységet, **lebenyt (lobus)** ad. A féltekék lebenyei a következők: homlok, fali, nyakszirt, halánték és szigetlebeny (4.20. és 4.21. ábrák).

A **homloklebeny (lobus frontalis)** mindhárom agyfelszínen megfigyelhető. Három nagy tekervény és az ezeket elválasztó barázdák alkotják. A féltekék oldalsó felszínén a lebeny alatt egy mély barázda húzódik (**sulcus lateralis** = **Sylvius-féle árok**; 4.20. ábra, A-D. képek), ami az agy alapi felszínére is átnyúlik (4.21. ábra).

A homloklebenyt hátrafelé egy központi barázda (**sulcus centralis**) választja el a fali lebenytől. A barázda a mediális felszín felső részén is megfigyelhető. A barázda előtt egy tekervény a **gyrus praecentralis** található, az agy elsődleges motoros régiója, innen indul az akaratlagos mozgatópálya, a **pyramis pálya** (4.20. ábra, B. kép).

Halántéklebeny (lobus temporalis) a convex felszínen a homloklebeny alatt található. A lebeny alsó része átnyúlik a félteke alapi felszínére (4.20. ábra, A-D. képek, 4.21. ábra).

Falilebeny (lobus parietalis). A sulcus centralis mögött helyezkedik el. Közvetlenül a barázda melletti tekervénye a **gyrus postcentralis**, ami az elsődleges általános testérző terület (4.20. ábra, A. kép).

Nyakszirtlebeny (lobus occipitalis). A halántéklebeny felett, és a falilebeny alatt található. Egy fontos érzőközpont, a látóközpont található benne.

Szigetlebeny (insula) a frontális és temporális lebenyek által fedett.

a.a./ Az agykéreg

Az agykéreg területeinek leírása: Az agykéreg alapszerkezete területenként változik. Emiatt több szerző is foglalkozott a nagyagy területeinek feltérképezésével. Broca (több társával együtt) már az 1800-as évek végén több nagyagyi funkciót leírt és lokalizált. **Brodmann** 1909-ben készült térképe a legelfogadottabb. Miután ez a térkép a majom agyában már ismert pontok emberre vonatkoztatásával készült, és később több olyan területet is találtak, amelyet a majom agyban még nem ismertek. Így az emberi agyon a számok nem növekvő sorrendben követik egymást. A különböző gyrusokat, sulcusokat számokkal látta el, amelyek konkrét funkciókat is jelölnek. Így pl. a **gyrus praecentralis** az agykéreg motoros területe, Brodmann 4-es és 6-os sorszámmal látta el ezeket. Ha az említett agyi területeket ingereljük, akkor izommozgások jelentkeznek a test megfelelő pontjain.

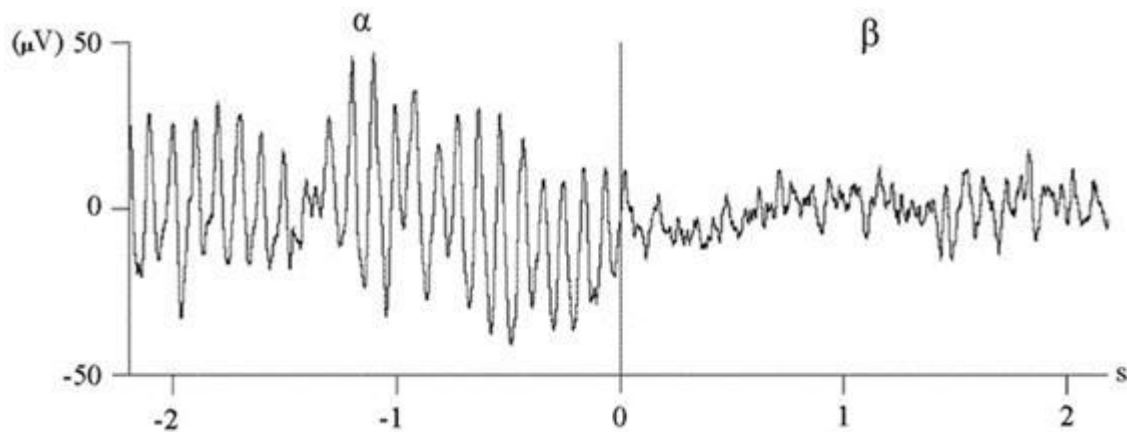
Az agy éber és alvó állapotban egyaránt aktív, ennek következtében nagyon magas energiaigényű. Más szervektől eltérően szinte kizárólag glukozt használ energiaforrásként. Ha azonban a szervezet nem jut elegendő tápanyaghoz az idegsejtek képesek a ketontestek (a **ketontestek** a zsírok lebontásakor keletkező molekulák) felhasználására is. Ez azonban nagyon korlátozott, ezért a vércukorszint csökkenése (pl. insulin túladagolás) azonnali eszméletvesztéshez vezet. Fiatalkorban ezek felhasználása jelentősebb. Az aktív agyterületek vizsgálata többféle nehézségbe ütközik. A módszerek széles eszköztára áll rendelkezésre, ezek közül az egyik az agy elektromos tulajdonságainak vizsgálata, a másik a **vérátáramlás mértékének** megállapítása. Minél aktívabb egy agyterület, annál több vér áramlik át a megfelelő kapillárisokon. Ha megfestjük a vért, a véreloszlás, valamint az átáramlás mértéke könnyen megállapítható lesz egy arra alkalmas eszköz segítségével.

Az utóbbi időben gyakran ezt a módszert alkalmazzák a kéreg egyes területeinek funkcionális elkülönítésére. Ha pl. a test teljes nyugalomban van, csak a frontális kéreg aktív, különösen a praemotoros kéregben (4.20. ábra, B. kép) tapasztalható nagyobb mértékű vérátáramlás. Ha ökölbe szorítjuk a kezünket, vagy gondolkodás nélkül szavakat sorolunk, a mozgató kéreg megfelelő részei (kéz, ajak, nyelv, arcizmok beidegzéséért felelős

kéregrészek) aktivizálódnak (4.20. ábra, B. kép). Ha csak megérintjük a kezét, akkor csak az **érzőkéreg megfelelő részein** lehet aktivitást mérni. Ha a beszéd kreatív gondolkodás eredménye, úgy a beszéd asszociációs központjai, a **Wernicke-terület (lebeny)** stb. (4.20. ábra, B. és C. képek) vérátáramlása is fokozódik. Ha valakinek epilepsziás rohama van, az extrém elektromos aktivitás mellett vérátáramlás és sejtm metabolizmus fokozódás figyelhető meg az érintett területen (pl. temporális lebeny), ha bizonyos idegrendszeri betegségeket vizsgálunk (ilyenek pl. a schizophrenia, a szellemi leépülés-dementia, depressio), akkor a vérátáramlás és a sejtm metabolizmus csökkenését lehet megfigyelni.

Az agykéreg vizsgálatának másik módja az elektromos aktivitás regisztrálása és értékelése. Az agyfelszínre, ill. koponyára erősített elektródok segítségével feszültség ingadozások mérhetők, melyek összességét **elektroencephalogrammnak (EEG)** nevezzük. (A készüléket, amellyel ezek a jelek értelmezhetők elektroencephalographnak hívjuk.) Ez alapvetően a kéregben helyet foglaló sejtek afferensei alapján létrejövő elektromos aktivitás. Az EEG hullámokról megállapítható a különböző frekvenciájú és amplitúdójú hullámok alapján, hogy egy adott agyterület idegsejtjei mennyire aktívak az adott pillanatban. Ehhez a következő alaphullámokat használják. A teljes test és szellemi nyugalomban lévő (de nem alvó) ember esetén **alfa-hullámok** mérhetők (4.22. ábra). Frekvenciájuk kb. 8-13/s,

4.22. ábra - Alfa hullámok



EEG regisztrátum egy félálomban lévő egyén koponyafelszínéről. Az alfa-hullámok végénél erős inger hatására éber, aktív állapot figyelhető meg a cortexben (béta-hullámok)

amplitúdójuk viszonylag nagy, kb. 50 µV. Ha a nyugvó egyén fizikai, vagy mentális állapota változik, akkor az EEG hullámok frekvenciája nő (14-30/s), míg amplitúdója csökken (5-50 µV). Ezt nevezzük **béta-hullámnak**, és a csendes figyelés állapotát tükrözi. Ezt **desynchronization**nak hívják, fokát az befolyásolja, hogy mekkora a mentális, vagy fizikai igénybevétel. Minél nagyobb, annál nagyobb lesz a desynchronizáció is. Ezzel ellentétben a nyugvó ember elálmosodását a további frekvencia csökkenés mutatja (4-7/s). Ez a **theta-hullám**, aminek az amplitúdója nő az alfához képest. Ha az egyén ezek után elalszik, akkor az amplitúdóban további fokozódás figyelhető meg (>50 µV), míg a frekvenciában további csökkenés látható (1-3/s). Ezt nevezik alvászorsónak, amely **delta-hullámokból** áll. Minél mélyebb álmot alszik az egyén annál több a **delta-hullám** az EEG-görbében. A comában lévő embernél szintén főként delta-hullámok mérhetők. A comát az alvástól az különbözteti meg, hogy az alvásból az egyén felkébreszthető külső ingerekkel (pl. hang, fény), comában nem. Az alvás, ami egy periodikusan ismétlődő élettani folyamat, tulajdonképpen az EEG synchronizációjával jár együtt. Az alvást fázisokra osztják, s a különböző fázisokra különböző EEG képek a jellemzőek. A legegyszerűbb az ún. szenderegés állapota, ahol csak. időnként jelennek meg az ún. alvászorsók.

A mély alvás a 4. fázis, amelyben kizárólag delta hullámokat lehet megfigyelni. Alvásunk ezután egyre felületesebbé válik, míg végül bekövetkezik az utolsó fázis, a **REM-szakasz** (rapid eye movement). Ekkor az EEG hullámok béta-hullám szerűekké válnak, az agyi működések hasonlóan az éber állapothoz, pedig az egyént rendkívül nehéz felébreszteni. A REM-szakasz az alvási ciklus kb. 20%-t teszi ki, s ekkor jelennek meg az álmok is, főként a reggeli órákban.

Csecsemőkben az alvásidő kb. 50%-t teszi ki a REM-fázis. Valójában nevét onnan kapta, hogy a szemmozgató izmok aktívak (kereső szemmozgások), de a test többi izma nincs tónusos állapotban. Az alvás különböző fázisai is ciklusokban jelentkeznek. Egy alvási ciklus kb. 90 percig tart. Az alvás diurnális ritmust mutat, genetikailag behatárolt, megváltoztatása a fény-sötét viszonyok változtatásával lehetséges. A napi

alvásszükséglet egyénenként és életkoronként változik. Az átlagos felnőtt alvásigény 7-9 óra/nap, míg egy 10 éves gyermeké kb. 12 óra/nap. Az újszülöttekben a 24 órás cirkadián ritmus kialakulása viszonylag lassú folyamat. Megszületésekor egy gyermek 30-90 percet tölt ébren 2-3 órás alvási periódusokkal váltakozva.

A cirkadián ritmus, az alvás-ébredlét ritmusának elméleti háttere még nem tisztázott. Egyes elméletek szerint a megszületéskor nyitott koponya biztosítja a megfelelő fény mennyiség eljutását az agyba, segítve a nucleus suprachiasmaticus a valódi cirkadián ritmus kialakításában. Mások szerint a magzat aktív-passzív állapotainak ideje információt szolgáltat a leendő szülőknek arról, hogy a gyermek milyen gyorsan fog alkalmazkodni a fény-sötét viszonyokhoz. Az alvás agyi központjai a formatio reticularis területén, a raphe magokban, ill. a locus coeruleusban találhatók. A raphe magokban szerotonin szabadul fel és serkenti a lassú hullámú alvást, míg a locus coeruleus neuronjaiból noradrenalin szabadul fel, és a REM alvást serkenti. Ha a két transzmitter mennyisége csökken, alvászavarok alakulnak ki. Ennek tipikus megjelenési formája az insomniá, ami az álmoság teljes hiányával jár.

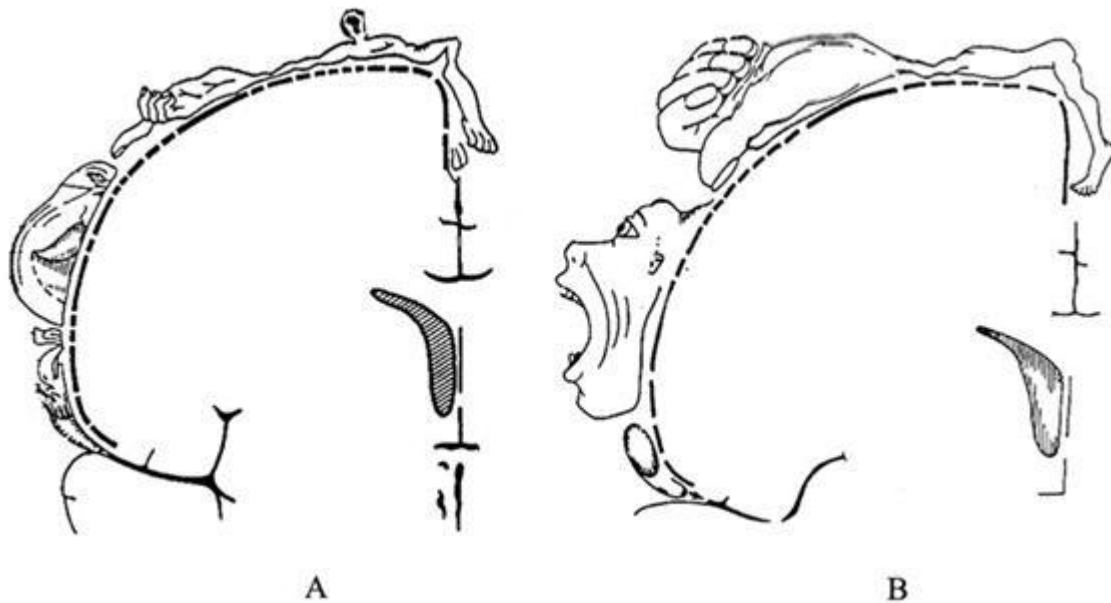
Az agyi területek feltérképezése az ún. kiváltott potenciálokkal történt. Ez azt jelenti, hogy egy adott perifériás receptor adekvát ingerrel történő ingerlésének következtében a megfelelő kérgi érző területen potenciálváltozások voltak mérhetők. Ezt nevezték el primér kiváltott potenciálnak. Az adott receptornak megfelelő területet a legnagyobb potenciál mérésekor lehetett meghatározni.

Az agykéreg nagyobb része sem érző, sem motoros feladatokat nem lát el. Ezek a területek a **magasabb asszociációs feladatok** ellátásáért felelősek. Mivel ezek a kérgi részek állatoknál nem vagy csak részlegesen működnek ilyen funkcióban, így nagy valószínűséggel ezek az agyterületek különböztetik meg az állati és az emberi agyműködést egymástól. A bal frontális lebeny kiesése esetén pl. az egyén képes volt a beszéd megértésére (4.20. ábra, C. kép), de értelmes mondatokat nagy nehézségek árán tudott összeállítani. Ezt hívják **motoros aphasiának** (aphasia = beszéd zavar). Ha a cortex parietális/temporális lebenyénél (Wernicke-lebeny, 4.20. ábra, C. kép) észlelhető a zavar, a beteg nem vagy csak részlegesen érti a beszédet, holott nincsenek hallászavarai. Ezt nevezik **sensoros aphasiának**. Ezen vizsgálatok alapján megállapították, hogy a bal agyfélteke felelős a beszédkésztségért, a beszéd kialakulásáért. Ha tehát a beszéd kialakulását vizsgáljuk, akkor a következő sorrendet állapíthatjuk meg. Először a hangok érzékelése a feladat, ezért az elsődleges hallóközpont a felelős. Ezután az információ a beszéd asszociációs központjába jut, onnan pedig a Wernicke-területre. Ahhoz, hogy válaszolni is tudjunk a hallottakra, a beszéd praemotoros kéreg, majd motoros kéreg aktivitása szükséges. A beszédhez szükséges izmok működését ez a terület fogja elindítani. A **dyslexia, dysgraphia** (olvasás, írás zavarai) vizsgálatok hasonló eredményre jutottak. A szavak alakjának felismerése a **visuális asszociációs központban** történik. Innen az információ a praemotoros kéregbe, onnan a motoros kéregbe (kéz beidegzése) és a Wernicke-területre fut. A motoros kéreg indítja majd meg a kéz mozgását.

A frontális lebeny aktivitása fokozódik, ha a félelem, aggodalom lesz úrrá rajtunk. Ugyanez a terület aktivizálódik, ha probléma megoldással, tervezéssel kapcsolatos gondolataink vannak.

Az **érzőkéreg feltérképezése** a kiváltott potenciálok elve alapján valósult meg. A bőrben mechanikai ingerek hatására akcióspotenciálok voltak mérhetők a kéreg bizonyos ellenkező oldali területein. Így pontról-pontra a teljes testfelület feltérképezhető volt. Az eredmény egy **homonculus** (4.23. ábra, A. kép). A homonculus fejjel lefelé, a hátával hátrafelé az embert némileg torzán tükröző kép a gyrus postcentralison. Az alsó végtag a fissura longitudinalisban helyezkedik el, míg a láb – és kezujjak képviselete a sulcus centralisban helyezkedik el. A teljes bőrfelszín az ellenoldali agykéregben található, kivéve a fejen és az arcon lévő pontokat, mert azoknak azonos oldali képviselete is ismert. Az egyes területek kérgi reprezentációja nem a dermatoma nagyságával, hanem a receptor-sűrűséggel arányos (ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Érzékszervek” c. fejezetben). Számos kérgi neuront hozhat működésbe egyetlen kis terület érintése (pl. az ajkak környéke), míg a kéregben egyetlen neuron ingerlésével nagy bőrfelületen aktiválhatjuk a receptorokat. Ez azt jelenti, hogy egy-egy receptor receptormezője igen kicsi pl. az ajkak környékén (nagy receptorsűrűség), míg a receptormező igen nagy a háton, ahol kicsi a receptorsűrűség. Ennek megfelelően alakult a **kétpontküszöb-térkép** is. Adott ingerre a receptormező közepének érintésével kaphatjuk a legnagyobb akcióspotenciált, míg a receptormező szélén gátlást tapasztalhatunk.

4.23. ábra - Az emberi érző- (A) és mozgatókérgi (B) reprezentáció. A homonculus



A Sylvius-hasadék mélyén találták meg a somatosensoros area II-t, ahol azonos és ellentétes oldali ingerekkel is kiválthatók az akcióspotenciálok.

Az izomreceptorok kérgi reprezentációja is ismert. Ezek egybeesnek a megfelelő bőrterület kérgi képviselésével.

A **mozgatókéreg vizsgálata** úgy történt, hogy bizonyos agykérgi neuronok ingerlésével mozgást tudtak kiváltani. A vizsgálatok során a gyrus praecentralis területét motoros kéregnek nevezték el. A későbbi vizsgálatok során fedezték fel a praemotoros kérget, majd a járulékos mozgatókérget. A hagyományosan érzőkéregnek tartott agyterületeken is tudtak ingerlés után mozgást regisztrálni, ezért ma úgy gondoljuk, hogy az érző és mozgató területet egységesnek tekinthetjük a magasabbrendűek körében és ez a **sensori-motoros** kéreg nevet viseli. A motoros kéreg alapvetően a finom mozgások szabályozásáért felelős. Ez azt jelenti, hogy a külvilági ingerek és a taktilis ingerek segítségével ez a terület szabályozza az ingerek által indukált mozgásos cselekvéseket. A mozgatókéreg sérülése emberben sosem heverhető ki teljesen. Bár a mozgás újra rendeződhet, a különböző testtartási reflexek közül a testsúly-áthelyezési, az egy lábás mozgások ill. a finommozgások sérülnek, a szemmozgások azonban nem. A mozgatókéregre is elmondható, hogy a test kérgi reprezentációja a receptorsűrűség függvénye. A finom mozgásokhoz szükséges területek sokkal nagyobb receptorsűrűséggel és így kérgi területtel rendelkeznek, mint akár a szenzoros megfelelőjük (4.23. ábra, B. kép). A praemotoros kéreg az előre elgondolt, célirányos mozgások, mozgássorozatok szabályozásáért felelős. Így ha enyhe laesio (sejtpusztulás) figyelhető meg a területen, a mozgászavarok is enyhék lesznek. A beteg „ügyetlennek” látszik. Az egyszerű mozgások végrehajtására képes, de a mozgássorokba rendezés már zavart szenved. Súlyosabb lesio esetén a mozgásutánzás lehetséges, de előre eltervezett mozgások megvalósítására nem képes az egyén. Abban az esetben, ha a domináns agyfélteke lesiója alakul ki, akkor a beteg már mentális zavarokban is szenved.

A nagyagy fejlődéstanilag legújabb része hat szövettani rétegre tagolható, melyek a felszíntől befelé a következők:

1. Molekuláris réteg (stratum moleculare),
2. Külső szemcsésréteg (stratum granulosum externum),
3. Kis pyramissejtek rétege (stratum pyramidale externum),
4. Belső szemcsés réteg (stratum granulosum internum),
5. Nagy pyramissejtek rétege (stratum pyramidale internum),
6. Polimorph sejtek rétege (stratum multiforme).

Az agykéreg érző és mozgató területein is ez a hat réteg figyelhető meg, eltérés csak a rétegek vastagságában tapasztalható. A mozgató kéregrészekben főleg a pyramissejtek rétegei (III. azaz a kis pyramissejtek rétege, és

V. azaz a nagy pyramis sejtek rétege, míg az érző kérgi részekben az ún. szemcsesejtek rétegei (II., vagy külső szemcsés réteg és IV. vagy belső szemcsés réteg) fejlettebbek.

A nagyagy központjai hierarchikus rendben szabályozzák működését. A hallás kapcsán a belső fülből a corpus geniculatum medialén keresztül az **elsődleges hallókéregbe** érkeznek, ahol az elsődleges analízis történik (pl. szavak megértése). Ezután a **másodlagos központba** jut az ingerület (a hallás asszociációs központjába), majd innen egy **magasabb asszociációs központba (Wernicke-terület)**. Itt már a szöveg szimbolikus értelmezése történik. Ezután az információfeldolgozás következő szintje ugyanabban az agyféltekében a **frontális kéreg praemotoros területe** lesz (harmadlagos központ). Ez a terület már a beszéd (tehát a hallottakra adott válasz) kialakításában segít, és aktiválja a beszédhez szükséges mozgató központokat.

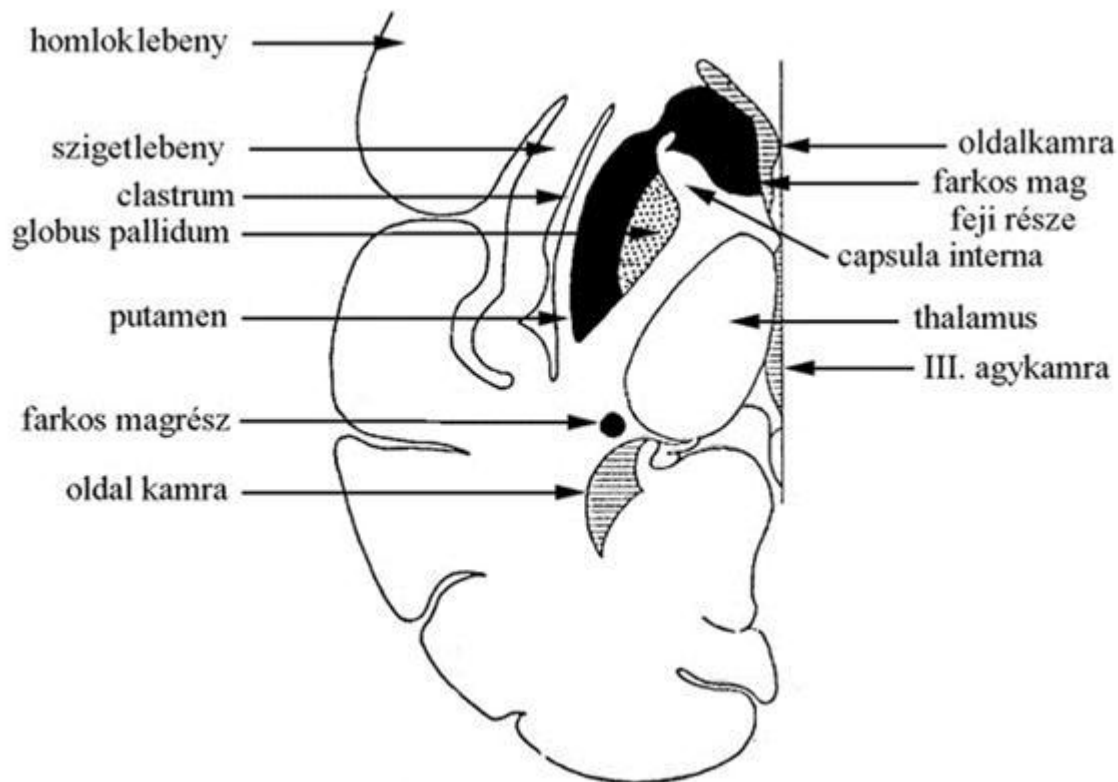
A nagyagy legősbibb részét képviseli a *szaglóagy*. Felépítését és kapcsolatrendszerét ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Érzékszervek” c. fejezetben.

Az agyféltekék fehérállományában sejtcsoportokat, magokat találunk, melyeket együttesen törzsdúcoknak neveznek.

a.b./ Törzsdúcok vagy basalis ganglionok

A féltekék belsejében bazálisan helyezkednek el (4.24. ábra). Nagy részük telencephalicus eredetű, ilyen a *farkosmag (nucleus caudatus)*, a *lencse mag (nucleus lentiformis)* putamen része, valamint a *zármag (clastrum)*. A lencse mag *globus pallidus* része köztiagy eredetű. Az agyköpenyt a farkos mag felső feji részével szürkeállományból álló lemezek kötik össze, ezért a farkos mag és a lencse mag köpenyét csíkoltnak (*corpus striatum*) nevezzük.

4.24. ábra - Törzsdúcok



Parkinson-kór

Valójában **Parkinson-szindrómáról** kell beszélni. A genetikai hajlamon túl számtalan egyéb tényező létrehozhatja ezt a tünetegyüttest. Ilyenek pl. a különböző betegségek (pl. agyhártyagyulladás), toxikus anyagok, ill. egyéb az idegrendszer leépüléseként kialakuló betegségek. Kialakulása elsősorban az idősebb generációra jellemző, de első tünetei 30-40 éves korban is megjelenhetnek már. A férfiak valamivel gyakrabban szenvednek ebben a betegségben, mint a nők. A striatum dopaminerg részeinek pusztulása, vagy dopamin tartalmának

csökkenése, a substantia nigra sejteinek elhalása jellemzi. Fontos szerepet játszik a dopamin tartalom csökkenése mellett a szerotonin és a noradrenalin szintjének megváltozása is. Az idegsejtek elhalása a betegség kialakulásakor akár már 80%-os is lehet, a mérhető dopaminszint az eredeti egyötöde. Jellemző tünetei a mozgás lelassulása, a mozgások megindításának nehézsége. Ha a mozgást el is tudja indítani a beteg, akkor vagy nagyon lassan kivitelezhetőek számára, vagy először túl gyorsak. Pl. járás esetén az első lépést nagyon nehezen teszi meg a beteg, majd ezután apró lépésekkel szinte szalad, járása csoszogó. Nyugalmi helyzetben elsősorban valamelyik végtag spontán remeg (**tremor**). A kéz mozgásai gyakran apró ismétlődő pénzszámoláshoz hasonló mozgások. Az izmok nyugalmi állapotban is előfeszítettek (rigoros izomtónus-fokozódás). Az izomnyújtás után gyakran az eredeti állapotban marad. Mivel ilyenkor épek a reflexek, ill. az izom sem sérült, valószínűleg az agykéreg fokozott működése alakítja ki a tónusfokozódást. A mozgászavarok mellett a vegetatív idegrendszer zavarai is fellépnek, csökken a gyomor secretióis tevékenysége. Szellemi leépülés, ill. depresszió kísérheti. Az arc izmai megmerevednek, ún. maszk-szerű arca lesz a betegnek.

Huntington-szindróma

A betegség általában 40-50 éves korban kezdődik. A 4. számú kromoszómán lévő domináns gén betegsége okozza. A Parkinson-szindróma ellentétéként ismerjük. Az acetilcholin és a GABA hiánya és a dopamin túlsúlya jellemzi. A striatum sejteinek pusztulásával járó folyamat. *Choreaként* ismeri a szakirodalom, amely akarattól független váratlan „csapkodó” mozgásokat jelent a végtagok esetében, grimaszokat az arcizmoknál. Járás közben táncjellegű mozgás a jellemző (**vitustánc**). Megjelenésekor a betegre a szórakozottság, nyugtalanság jellemző, majd ez szellemi leépüléssel végződik. Ez járásképtelenséggel, ill. a beszédkézség megszűnésével jár együtt. Kísérheti athetosis, amely a kéz, ill. az ujjak, esetlegesen a lábfej lassú csavaró mozgásaként jelenik meg.

Alzheimer-kór

A betegség leírójáról kapta nevét. Valójában egy *szellemi leépüléssel (dementia)* járó tünet-együttesről van szó. A dementia idegsejt elhalás következtében alakul ki, ezt azonban csak kóronctani vizsgálattal lehet egyértelműen megállapítani. Az elbutulás azonban lassan induló folyamat, amely hétköznapi értelemben is tetten érhető. Az életkor előre haladtával gyakran természetes folyamatnak tekintik. A tünetek a 40. életév körül jelentkezhetnek legkorábban. Az érintett személy szórakozottnak tűnhet, mivel a rövidtávú memória sérül, s emiatt nem emlékszik néhány perccel előbbi eseményekre, nevekre, számokra stb. Ebben a betegségben szenvedők agyi acetilcholin és szerotonin szintje alacsonyabb volt az egészségesekénél. Mivel mindkét transzmitter fontos szerepet tölt be az agyi működésekben, a betegség előrehaladtával kialakuló pszichés zavarok is érthetővé válnak. A betegeknek gyakran depresszió, vagy agresszió is jelentkezhet, de kialakulnak különböző hallucinációk is. A beszéd mosottá vagy értelmetlenné válik, a beteg nem ismer fel szavakat, vagy esetleg nem emlékszik pontos jelentésükre. Az **Alzheimer-kór** az izomműködésben is okoz zavarokat, egyszerű mozgások elvégzése is nehézkes lehet. Felborul az alvás-ébrenlét ritmus, a humán élet számtalan aspektusa zavart szenved (pl. higiénia).

Mivel számtalan más betegség következményeként is kialakulhat szellemi leépülés, ezért nagyon körültekintő klinikai vizsgálatosorozat előzi meg a diagnózist, de egyszerű mentális teszteket is használnak a klinikai gyakorlatban. A gyógymódok elsősorban a transzmitter szintek visszaállítására, ill. az agyi vérállítás javítására irányulnak. Az agyi vérállítás fokozható pl. a Ginkgo biloba (páfrányfenyő) kivonatával is, amely természetes gyógymódként memóriazavarok esetén is használatos. A kór következtében kialakuló mentális leépülés lassítható megfelelő mentális foglalkoztatással (beszéd, mozgásos játékok, olvasás stb.).

A korábban igen magas intelligencia hányadossal rendelkező egyéneknél nehezebben és később, így előrehaladottabb állapotban diagnosztizálható a kór. A fejlett társadalmak egyik nagy rémének tekintik, mivel a várható élettartam növekedésével nő a szellemi leépülésben szenvedő idős emberek száma, így az Alzheimer-kórban szenvedő embereké is.

b./ A nagyagy féltekéket összekötő páratlan részek

A nagyagy féltekéit összekötő páratlan rész a **kérgestest**, az *elülső ereszték*, a *boltozat*, a *hippocampalis ereszték*. Közülük a legnagyobb kiterjedésű a **kérgestest (corpus callosum)** (4.20. ábra, E. és F. képek). Idegrostok építik fel, melyek a két félteke azonos vagy különböző magasságú részeit kötik össze.

Az agy két féltekéje bár szerkezetileg hasonló, működésükben csak részben egyeznek meg. Az agy jobb féltekéjének említett asszociációs kérgi, ill. Wernicke-area sértése nagyon kismértékű beszéd vagy írászavarhoz vezet. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy miután a népesség 90%-a jobbkezes, a bal agyfélteke dominál

ezen működések beindításakor. A két agyfélteke a *corpus callosumon* keresztül kommunikál egymással. Ha a corpus callosum sérül vagy súlyos epilepsia esetén átmetszik, kiderül, hogy mindkét oldalon más jellegű működések jellemzőek. Ha pl. a corpus callosum sérült, és egy a szemet eltakart betegnek egy kulcsot adunk a kezébe a beteg érzi a kulcsot (az érző pálya átkereszteződik a bal féltekére), majd meg is tudja nevezni a tárgyat, amit a kezébeadtunk (kulcs). Ha a kulcsot a bal kezébe adjuk, a beteg érzi a kulcsot, de megnevezni nem tudja. Ha a tárgy képét látja, akkor arra rámutat. Ez azt jelenti, hogy a felismerő funkció nem sérült, a beszéd azonban nem alakul ki, mivel a jobboldali mozgató-pályáról a corpus callosum sérülése miatt nem képes visszajutni az információ a bal agyféltekébe. Ez valóban azt igazolja, hogy a beszéd központja a bal agyféltekében helyezkedik el, amely a corpus callosumon keresztül kommunikál a jobb agyféltekével.

A jobboldali cortex a percepció, kognitív és a nem verbális motoros funkciókért felelős. A jobb féltekének köszönhető a zenei hallás, a beszéd intonációs képesség, az emotio, a humor és a különböző metaforák megértésének képessége. Ennek alapján összességében a művészi képességekért tartják felelősnek. A bal félteke ezen kívül a logikai, analitikai képességek kialakulásában játszik szerepet. Igen érdekes a beszéd vizsgálatok kialakult kép.

Az **agyi aszimmetria** egyik tipikus példaként tartják számon a beszédközpontot. Ez azt jelenti, hogy a jobbkezeseknél a bal agyfélteke lenne felelős a kreatív beszéd kialakulásáért. Más vizsgálatok azonban megállapították, hogy ez egyén, nem és kezesség-függő. A jobbkezeseknél nagyobb dominanciát találtak, mint a balkezeseknél. Utóbbiaknál majdnem fele-fele arányban osztozott a két félteke a beszéd organizációjában. A férfiaknál nagyobb agyi aszimmetriát találtak, mint a nőknél. Normális körülmények között azonban a két félteke együttes működése szabályozza ezeket a humán funkciókat.

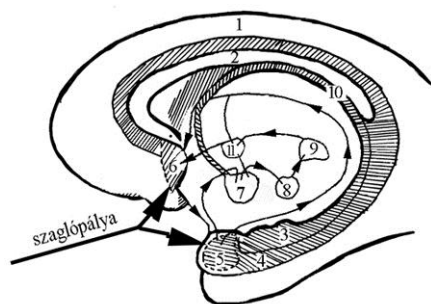
c./ Hosszú projectio pályák

Ezek egy része érző, más részük mozgató pálya. A *hosszú érzőpályák* részben testérzők (tractus spinothalamicus, hátsókötégi pályák, mint a Goll és Burdach pályák ld. gerincvelő), más részük egyéb érzékszervektől közvetít ingerületet a nagyagyba. A mozgatópályákat (pyramis és extrapyramidális pályák) korábban ismertettük.

d./ A limbicus rendszer

A nagyagy peremterületét foglalja magába. Az agyféltekék mediális felszínén a diencephalon körül látható. Egyéb funkciói mellett a vegetatív idegrendszer magasabb, a hypothalamus fölé rendelt központja. Több magcsoportból áll, melyek kapcsolatban vannak egymással. Az összekapcsolt magcsoport-rendszer (limbicus gyűrű) két helyről kap bemeneti ingerületet afferens rostokon át, s ugyanakkor két helyre küld efferens rostokat, ill. ingerületet (4.25. ábra).

4.25. ábra - A limbicus rendszer



1: gyrus cinguli, **2:** corpus callosum, **3:** gyrus dentatus, **4:** hippocampus, **5:** amygdala, **6:** septalis magok, **7:** corpus mammillare, **8:** nucleus interpeduncularis, **9:** habenula, **10:** fornix, **11:** nucleus anterior thalami. A nyilak az ingerület haladási irányát mutatják

A limbicus rendszerhez érkező *afferens rostok* erednek:

- a. a szaglórendszerből. A felső orrkagylóban elhelyezkedő szaglóhám primér érzékszervei a bulbus olfactoriusba jutva átkapcsolódnak. Ezután a szaglópályán haladnak, ami a mandulamagba (amygdala) vetül. Innen bonyolult, többszörös átkapcsolással az ingerület a formatio reticularishoz jut.

b. a testfelszínről érző ingerületet hozó *tractus spinothalamicus*ból eredő rostok. A pálya számos elágazást ad a hídhoz a középagyi formatio reticularishoz és a centrális szürkeállományához, de ezekből rostok mennek a hypothalamushoz is.

A limbicus rendszerből kivezető, *efferens pályák*:

a. a *Papez gyűrű*, amelyhez a hippocampusból a boltozaton áthaladó rostok tartoznak. Ezek a thalamus elülső magcsoportján át az övtekervényhez (gyrus cinguli) juttatnak ingerületet.

b. a másik efferens pálya az agytörzsi *formatio reticularis*hoz jutattja vissza az információt.

A limbicus rendszer egyes részeinek kiirtásával, ill. izgatásával változások következnek be a magatartásban, valamint ennek alapját képező motivációs és emocionális reakciók megnyilvánulásában.

A limbicus rendszer számtalan agyi-élettani funkció fenntartásáért kialakításáért felelős. Fontos szerepet tölt be az energiaháztartásban, az érzékelések közül legfontosabb a szaglás, alvás-ébrenlét állapotának kialakításában, a fajfenntartásban, a figyelem, tájékozódás a felderítés (exploráció) a támadás és menekülés, megerősítés és az emocionális faktorok kialakításában. (Az emocionális faktorokat ld. „Drog és doppingerek” c. fejezetben.) Fontos szerepet tölt be a memória, az emlékek megerősítésében is.

A fajfenntartásban betöltött szerepe régóta ismert. Külön agyi struktúrák szabályozzák az egyértelműen hím jellegű és külön az egyértelműen női jellegű szexuális viselkedést. A nucleus praeopticus magcsoportjai felelősek ezekért a különbségekért, valamint az anyai viselkedésre jellemző mintázatokért, továbbá a territoriális és az agresszió viselkedésmintázatát kialakító idegi működésekért. Ha a nucleus praeopticus egyes területeit roncsolják, megszűnik a hímekre jellemző **szexuális viselkedésmintázat**, ha a hypothalamus ventromediális magcsoportját, akkor a női viselkedésmintázat szűnik meg. Az agyi működéseket befolyásolják a nemi hormonok, de ezen túlmenően az egyes transzmitterek is. Az oxitocin pl. a hímekben az erekció és az ejakuláció kialakításáért felel az előbb említett magcsoportokban, míg a nőstényekben a hím elfogadását irányító magatartást szabályozza. Hímekben a dopamin fokozza, a szerotonin gátolja, a vasopressin pedig szintén serkentőleg hat a szexuális viselkedésre.

A limbicus rendszer a **támadás-menekülés** viselkedésmintázat kialakításában is fontos szerepet játszik. Ez a magatartásforma mind a ragadozók vadászatához, mind a préda meneküléséhez elengedhetetlen. A hypothalamus laterális magcsoportjának ingerlése a támadókészséget fokozza. A támadókészség függ az állat éhségérzetétől is. Jóllakott állatát negatívan, míg az éhes állatát serkentőleg befolyásolja. A hypothalamus egyes magjai a düh és az áldüh kialakításában is jelentősek. Az androgén hormonok és a laktációs hormonok fokozzák az agressziót, míg az ösztrogén jelenléte csökkenti azt.

A **térbeli tájékozódás**, ill. a felderítés szintén a limbicus rendszer megfelelő működésétől függ. Ha a frontális kéreg vagy a hippocampus területeit elroncsolják, úgy az **explorációs viselkedés** fokozódni fog, tehát a magasabb agyi központok gátló hatást fejtenek ki a limbicus rendszerre. Az amygdala felelős a várható fájdalom jelzéséért, az étel, ital, só jelenlétének tudatosulásáért, a várható rivális, vagy pár felismeréséért, ill. az éhező utód jelenlétének érzékeléséért. Ez az agyterület a felelős a különböző ízek kellemes, vagy kellemetlen voltának tudatosulásáért, és az azt követő elutasító, vagy éppen kíváncsi reflexek megindulásáért. Az averzív (elkerülő) magatartások kialakításában is fontos szerepet tölt be. Az averzió a menekülés egyik fontos feltétele. A menekülő, elkerülő viselkedés részben öröklött, részben pedig tanult magatartásforma.

A limbicus rendszer funkciói: a nemi és egyéb hormonális működések magasabb fokú integrációja. A szaglás és a bőrkontaktus révén érkező szexuális ingerek az agyalapi mirigy nemi mirigyekre ható hormonjait, a veszélyt jelző ingerek a mellékvesére ható hormont aktiválják. A hippocampusnak szerepe van az emléknemok rögzítésében, ezen keresztül a tanulásban.

2.1.2.7. Agykamrák (*ventriculi cerebri*) és az agy-gerincvelői folyadék

Az agyhólyag fejlődése során visszamaradt tágult üregek az **agykamrák**. Négy agykamrát különböztünk el. Oldalkamrák (*ventriculi laterales*; I. és II. agykamra) a nagyagy féltekékben helyezkednek el. A III. agykamra (*ventriculus tertius*) a köztiagyhoz, míg a IV. agykamra (*ventriculus quartus*) a nyúltagy-hídhoz tartozik.

Az agykamrákat az agy-gerincvelői folyadék (**liquor cerebrospinalis**) tölti ki. A folyadékot a plexus chorioideusok termelik. Ilyen található a rombusárok hátsó alsó részénél, a III. agykamránál és az oldalkamrákban.

Az agynak saját vízterei vannak. Ez egyrészt az agyszövet extracelluláris víztere, melynek része az agykamrák és a gerinccsatorna speciális folyadéka, a **liquor**. A liquor pH-ját és osmolaritását tekintve megegyezik a vérplasmáéval, anyagösszetételét tekintve azonban nem. Összehasonlítva elmondható, hogy lényegesen alacsonyabb a K^+ , és Ca^{2+} -ion, valamint a glücoz tartalma, de magasabb a Na^+ és a Cl^- tartalma.

A liquor áramlása lassú, a III. és IV. agykamrákon át a gerinccsatorna felé halad. Itt tovább lassul az áramlás, amit a légzés, a testmozgás, különböző testhelyzetek és pl. a tüsszentés segítenek. A liquor nyomását vízcsm-ben mérik. A kamrai nyomás 13-15 vízcsm, a gerinc lumbális szakaszánál 30-40 vízcsm álló emberben.

Az ún. lumbálás a liquor vizsgálatát jelenti. A benne található anyagok mennyisége az agyszövet állapotáról, az agyi működésekről ad felvilágosítást. A vénás vérnyomás emelkedése a liquor nyomásának emelkedésével is jár. Emiatt a tartós nyomásváltozás az agyszövet működését is befolyásolja. A liquor az agyi nyomás térfogati szabályozásában játszik szerepet, tehát ha nő a liquor nyomása, megnő a kamrák mérete az agyszövet kárára (azt összenyomja). Hosszú távon ez szövetelhalást okoz. Fokozott liquor-nyomás alakulhat ki daganatok, vérzések, gyulladások, ill. ödéma esetén. Ha az agyszövetben változik a víz (vagy a fehérje) mennyisége, akkor a folyadék áramlási iránya megváltozik, a liquor felől az agyszövet felé irányul, s víz szaporodik fel az agyszövetben. Ezt nevezzük **agyödémának**. Ez az állapot jöhet létre súlyos hypertóniás (magas vérnyomás) krízisben, de sokkal gyakrabban fejlet érő sérülés esetén. Ilyenkor a vénás visszaáramlás akadályozott, a kamrák deformálódnak, a liquor áramlása gátlódik. Súlyos esetben ez halálhoz is vezethet.

A **hydrocephalia** (vízfejűség) a liquor-keringés zavarai hatására kialakuló kórállapot, melynek alapvetően háromféle oka lehet. Egyrészt a liquoráramlás akadályozottsága, másrészt a liquor túltermelése, harmadrészt a liquor felszívásának csökkenése. Valamennyi eset agyszövet vesztéssel járó folyamat.

Az **agyvérzés** (**apoplexia**) nem más, mint az agyi vérerek sérülése következtében vérömleny képződése, mert az érből vér jut az agyszövetbe. A vérellátás károsodását okozhatja a magas vérnyomás, érlemezsedés, értágulat (**aneurysma**). Agyvérzés során a vér egy része a liquorba is kerülhet.

2.1.2.8. A központi idegrendszer vérellátása

Mint minden szerv így az idegrendszer is kap oxigénben és tápanyagokban gazdag oxigénes vért, de ugyanakkor vannak erei, melyek a széndioxidot és a bomlástermékeket elszállítják. A központi idegrendszer vérellátását ld. A sportmozgások biológiai alapjai II. „Keringésrendszer” c. fejezetnél.

2.1.2.9. A központi idegrendszer burkai

A gerincvelőt is és az agyvelőt is burkok védik. Ezek a kemény agyhártya, a pókhálódhártya és a lágyagyhártya.

A **kemény agyhártya** (*dura mater*), a legkülső burok. Két lemezből áll, köztük egy vénából álló érfonat helyezkedik el. A dura mater külső lemeze szorosan összenőtt a gerinccsatorna ill. a koponya belső felszínével, a belső lemez zsákszerűen (durazsák) fogja körül a lágy agyburokkal fedett gerincvelőt.

A durazsákkal érintkező agyburok a **pókhálódhártya** (*arachnoidea*).

A legbelső burok mind az agyvelő, mind a gerincvelő felszínéhez hézagmentesen rögzülő **lágyagyhártya** (*pia mater*), ami közvetlenül az agy ill. a gerincvelőre fekszik rá. A pia mater és az arachnoidea közötti rés található (*subarachnoideális rés, cavum subarachnoideale*), amit az agykamrákból származó **agy-gerincvelői folyadék** (*liquor cerebrospinalis*) tölt ki.

2.2. Környéki idegrendszer

A központi idegrendszerből (gerincvelő és agyvelő) kilépő és a perifériára futó idegek tartoznak ide. Így beszélünk gerincvelői idegekről és agyidegekről.

2.2.1. Gerincvelői ideg (nervi spinales)

31 pár gerincvelői idegünk van. Részletes leírásukat ld. „Gerincvelő”-nél.

2.2.2. Agyidegek (nervi craniales)

12 pár agyidegünk van. Az általános meghatározás szerint az agyidegek rostjai az agyból lépnek ki és haladnak a perifériára. Ezalól az I. (szaglóideg, nervus olfactorius), a II. (látóideg, nervus opticus) és a VIII. (halló- és

egyensúlyozó ideg *nervus statoacusticus*) agyidegek kivételek, mert ezen idegek rostjai az agyba vezetnek az ingerületet, ezért nem valódi agyidegek. Fejlődésüket figyelve elmondható, hogy agyhólyag eredetű részekből erednek, melyek a korai embrionális fejlődés során kitűnődtek, s a periférián maradtak.

Az agyidegek egy másik szempont szerint: érző-, mozgató- és kevert agyidegek lehetnek.

a./ *Érző (tisztán érző) agyidegek. Ide tartoznak:*

I. Szaglóideg (nervus olfactorius). A felső orrkagyló nyálkahártyájában elhelyezkedő primér érzékhámsejtek centrális nyúlványaiból szedődik össze, és a szaglóagyba vezet.

II. Látóideg (nervus opticus). A szem ideghártyájában levő ganglionáris sejtek axonjai alkotják ezt az ideget.

VIII. Halló- és egyensúlyozó ideg (nervus statoacusticus), a belső fülben elhelyezkedő egyensúlyozó szervtől, valamint a Corti-féle szerv secunder érzékhámsejtjeitől vezet el az ingerületet. Az érzékszervi idegek részletes ismertetését ld. Sportmozgások biológiai alapjai II. „Érzékszervek” c. fejezet megfelelő részeinél.

b./ *Motoros (tisztán motoros) agyidegek:*

III. Közös szemmozgató ideg (nervus oculomotorius). Tisztán motoros agyideg. A középagyból ered, ahol két magja van, az egyik mag sejtjeinek axonjai a felső -, az alsó- és a belső egyenes szemizmokat, valamint az alsó ferde szemizmot, a másik magjából eredő rostok belső szemizmot innerválnak.

IV. Sodorideg (nervus trochlearis). Tisztán mozgató agyideg. A középagyból ered. A külső szemizmok közül a felső ferde szemizmot látja el mozgató végződésekkkel.

VI. Távolítóideg (nervus abducens). Motoros magva a nyúltagi formatio reticulárisban van. Egyetlen szemizmot, mégpedig a külső egyenes szemizmot innerválja.

XI. Járulékos ideg (nervus accessorius). Nyúltagyból ered. Főleg a gégeizmokat és a musculus cleidomastoideust látja el mozgató rostokkal.

XII. Nyelvalatti ideg (nervus hypoglossus). A nyelv külső izmait idegzi be. Eredő sejtjei a nyúltagy legfelső részén vannak.

c./ *Kevert agyidegek*

V. Háromosztatú ideg (nervus trigeminus). Kevert agyideg, azaz érző és mozgató rostokat egyaránt tartalmaz. Motoros rostjai a középagy-híd határán levő motoros magból erednek, s rágóizmokat idegeznek be. Érző magja hosszan elnyúló. Fő része a középagy híd határán van, ez a *nucleus principalis*, amihez egy középagy, és egy nyúltagi trigeminális érző mag is csatlakozik. A háromosztatú ideg érző dúca a *Gasser dúc (ganglion semilunare = ganglion Gasseri)*. A dúcban pseudounipoláris neuronok vannak. A sejtek centrális nyúlványai a magesoportok sejtjeihez kapcsolódnak.

A dúcsejtek nyúlványai kisebb idegekbe a perifériára futnak. Ezek a csak érző rostokat tartalmazó *nervus ophthalmicusba* (kb. a szemgödör és a felette levő homlokterületet látja el érző rostokkal) és a *nervus maxillarisba* (a felső fogsor és a szemgödör közti terület érző idege), valamint az érző és mozgató rostokat egyaránt tartalmazó *nervus mandibularisba*.

VII. Arcideg (nervus facialis). Motoros magva a nyúltvelő és a híd határán helyezkedik el. Beidegzi a mimikai izmokat, a platysmat és néhány nyelvcsont feletti izmot. Az arcideg érző dúca (*ganglion geniculi*) az agytörzsi maggal (*nucleus tractus solitarii*) tart kapcsolatot. A nyelv legnagyobb ízérző idege. Az állkapocsalatti és a nyelvalatti nyálmirigyeket, a könnymirigyet vegetatív parasymphicus rostokkal látja el.

IX. Nyelv-garatideg (nervus glossopharyngeus). A garat, a nyelv, a sinus caroticus érző, a fültőmirigy secretoros idege. Motoros magva a bolygóideg magvával közös helyről ered. Érző dúca (*ganglion petrosum*), melynek pseudounipoláris sejtjei a tractus solitarii és az ala cinerea-hoz kapcsolnak. A perifériáról a szájüreg hátsó felső, a nyelv hátsó és a garat felső részéről szállít érző ingerületet.

X. Bolygóideg (nervus vagus). Érző, somatomotoros és vegetatív rostokat egyaránt tartalmaz. Motoros magva a nucleus ambiguusban található. Vegetatív parasymphicus magva a IV. agykamra alján van. Érző ganglionjainak (*ganglion jugulare és a ganglion nodosum vagi*) rostjai nagyrészt a nucleus tractus solitariiben

kapcsolnak át. Érző ingerületet a nyelőcső, a hörgők és a szív felől szállít. A legtöbb parasympathicus rostot tartalmazza, és beidegzési területe a nyaki zsigerek nagy része és a törzs területének vegetatív szervei a kismedence kivételével.

2.3. A vegetatív idegrendszer

A szervezet belső állandóságát, homeosztázisát biztosítja, a zsigeri szervek működését szabályozza. Ezek a szervek automatikusan működnek, azaz felsőbb szintű beidegződés nélkül is, képesek ellátni feladatukat.

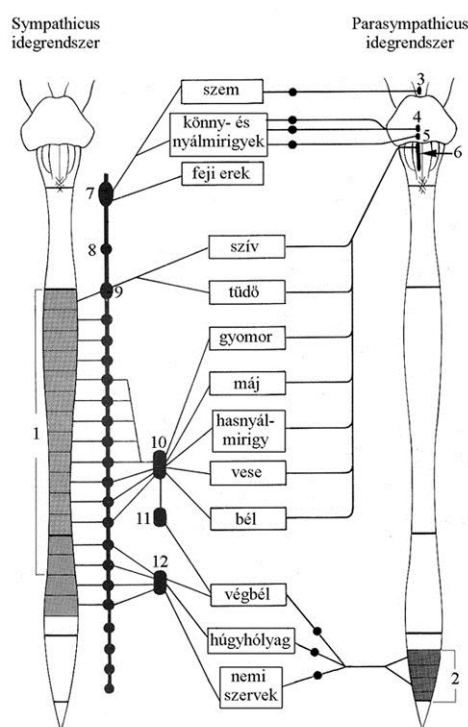
A vegetatív idegrendszer központi és környéki részből áll.

A vegetatív idegrendszer *központi része* magában a központi idegrendszerben van, *nevezetesen a gerincvelőben, a nyúltagyban és a középgyban*.

A vegetatív idegrendszer *környéki része* vegetatív idegekből és az ezek lefutásába iktatott vegetatív dúcokból áll. Ezek a dúcok elhelyezkedhetnek (4.26. ábra):

1. A gerincoszlop két oldalán. Ezek a paravertebrális ganglionok.
2. A gerincoszlop előtti praevertebrális dúcok.
3. A különböző szervek előtti viscerális dúcok.
4. A szervek falában levő fali vagy parietális dúcok.
5. A fejen az agytörzs közelében levő agyidegek vegetatív dúcai.

4.26. ábra - A vegetatív idegrendszer környéki részei és kapcsolatuk a központi idegrendszerrel



1: a gerincvelő thoraco-lumbális szakasza, **2:** a gerincvelő sacrális szakasza, **3:** a középgygi Edinger-Vestfal mag, **4, 5, 6:** a nyúltagy VII., IX. és X. agyidegek vegetatív parasympathicus magok, **7:** a felső nyaki sympathicus dúc, **8:** a középső nyaki sympathicus dúc, **9:** ganglion stellatum, **10:** ganglion coeliacum, **11:** ganglion mesentericum superius, **12:** ganglion mesentericum inferius

Paravertebrális ganglionok. A gerincoszlop két oldalán gyöngysorszerű dúcláncot alkotnak, amit *truncus sympathicusnak (határköteg)* nevezünk. A dúcláncnak nyaki, háti ágyéki és farki szakaszát tudjuk elkülöníteni. Minden háti és ágyéki csigolyatest magasságában található egy ganglion, amit a felette ill. az alatta levő dúccal idegek (connectívumok) kötnek össze. Ez a nagyon szabályos elrendeződés a nyak területén nincs meg. Itt összesen három dúc található, nevezetesen a felső, a középső nyaki dúc, míg a legalsó nyaki ganglion az első háti dúccal olvad össze, ez a dúc a *csillagdúc, vagy ganglion stellatum*.

A hát- és ágyéki szakasz paravertebrális dúcai összeköttetésben vannak a gerincvelői idegekkel két, az ún. *szürke és fehér összekötő ággal (ramus communicans griseus és ramus communicans alba*; ld. Gerincvelői idegek). A fehér összekötő ágon a gerincvelő oldalsó szarvában helyet foglaló sympathicus magcsoport neuronjainak axonja mint sympathicus rostok a határkötegi ganglionokba lépnek. A gerincvelő oldalsó szarvának neuronjai a vegetatív sympathicus központok legalacsonyabb szintjét képviselik. Innen erednek a sympathicus idegek. A sympathicus rostok a határkötegen át vagy közvetlenül-, vagy praevertebrális dúcokon jutnak el a vegetatív szervek dúcaihoz.

Praevertebrális dúcok. A hasüregben a gerincoszlop előtt találhatók. Ilyen dúc csak három van, ezek a ganglion coeliacum, a ganglion mesentericum superius és inferius.

A *szervek kapujában levő dúcok* közvetlenül a szerv előtt, míg a **parietális dúcok** magában a szerv falában helyezkednek el.

A vegetatív idegrendszer fontos anatómiai sajátossága, hogy rostjai eredési helyükről nem mennek közvetlenül a beidegzett perifériás szervhez, hanem egy lefutásukban elhelyezkedő dúcban átkapcsolnak. Így a vegetatív rostok részben praeganglionáris (átkapcsolás előtti), részben postganglionáris (átkapcsolás utáni) neuronokból indulnak.

A vegetatív idegrendszer funkcionálisan két részre a sympathicus és a parasympathicus rendszerre tagolható, annak megfelelően, hogy a praeganglionaris sejt a központi idegrendszer melyik részében található.

2.3.1. A sympathicus idegrendszer

A gerincvelő thoraco-lumbális gerincvelői szürkeállomány oldalsó szarvából ered (ezek sympathicus praeganglionáris sejtek). A sejtek axonjai a gerincvelőt elhagyva a ramus communicans albuson át a határkötegebe (truncus sympathicus) jutnak. A rostok egy része a dúcban átkapcsolás után a ramus communicans griseuson át visszajut a gerincvelői idegbe, vagy a határkötegi dúcokon át tovább haladva vegetatív szervhez megy.

Tehát a gerincvelő oldalszarva sympathicus-, mégpedig a legalacsonyabbrendű sympathicus központ. Ezeket a hypothalamus hátsó oldalsó területének sympathicus (ugyanakkor fűtőközponti) sejtjei befolyásolják. Ez a terület magasabbrendű sympathicus központ, amit a limbicus rendszer (legmagasabbrendű központ) tart ellenőrzése alatt.

2.3.2. A parasympathicus idegrendszer

A *parasympathicus részének legalacsonyabbrendű központjai*, ahonnan a parasympathicus idegek is erednek, egyrészt a gerincvelő sacralis tájékán (figyelem itt nincs oldalszarv) ill. az agytörzsben (III., VII., IX., X. agyidegek vegetatív magcsoportjai) vannak. Ezek az említett magcsoportok neuronjainak axonjai lesznek az eredő parasympathicus praeganglionáris rostok.

Fontos megjegyezni, hogy a legalacsonyabbrendű parasympathicus központ két helyen van, nevezetesen a gerincvelő sacralis részén és az agytörzsben (de a két terület azonos szintű központ).

Ezen központokat is magasabbrendű parasympathicus központ tartja ellenőrzése alatt. Így a hypothalamus első oldalsó része, amit a limbicus rendszer befolyásol.

Minden zsigeri szervünk kettős beidegzésű, ami azt jelenti, hogy működését mind sympathicus, mind parasympathicus rostok biztosítják. A sympathicus rostok a vegetatív szervek működésére általában serkentően hatnak, a parasympathicus rostok a szervek működését általában gátolják.

Mindkét idegrendszer praeganglionáris szakaszán az acetilcholin a transzmitter. A postganglionáris szakaszon azonban a parasympathicus idegrendszerben a transzmitter az acetilcholin marad, míg a sympathicus idegrendszerben a noradrenalin. A két rendszer hatásait szervekre lebontva mutatja az 5. táblázat.

A mellékvese velőállományának hormonja az adrenalin szabaddítja fel, ami a vérárammal a működő szervekhez jutva ugyanazt a hatást éri el, mint a sympathicus postganglionáris idegrostok. Az adrenalin-hatás tehát mintegy kiegészítő tényezője a sympathicus izgalomnak. Ilyen értelemben beszélünk sympathico-adrenális rendszerről, ami akkor lép működésbe, amikor a szervezetet a külső körülmények nagyobb feladatok elé állítják (**Cannon-féle vészreakció**).

2.3.3. Sympathicus és a parasympathicus idegrendszer funkcionális jellemzése

A sympathicus és parasympathicus idegrendszer hatásában ellentétes, míg a sympathicus idegrendszer elsősorban serkentőleg hat a szervezetre, (kivétel a bélcsatorna), addig a parasympathicus idegrendszer főként gátló, lassító hatású (kivétel az előbb említett bélcsatorna). Hatásaikat két szlogennel nagyon könnyű összefoglalni. A sympathicus idegrendszert az „Üss, vagy fuss!”, míg a parasympathicust a „Háztartási alkalmazott” kifejezésekkel illehetjük. Ez azt jelenti, hogy a sympathicus idegrendszer az ún. vészreakciókat (alarm) szabályozza, míg a parasympathicus idegrendszer a nyugalmi szerv működésének fenntartásáért felel.

Rendszeres izommunka következményeként a szív nyugalomban parasympathicus túlsúllyal működik, azaz a nyugalmi pulzus csökkenése figyelhető meg. A rendszeres edzés megszűntével lassan újra a genetikailag, élettanilag meghatározott pulzus szám áll vissza, azaz néhány hónap alatt a pulzusszám emelkedik. Ez a parasympathicus túlsúly más szervek esetében nem alakul ki.

A szervek működésének fenntartásához folyamatos sympathicus és parasympathicus impulzusokra van szükség. Ezt az állapotot hívjuk **vegetatív tónusnak**. Különböző behatásokra hol a sympathicus, hol a parasympathicus tónus fokozódik (5. táblázat). Pl. a hasi zsigeri szervekben sympathicus hatásra vasokonstriktio (érszűkítés) következik be, amely a vérátáramlást lassítja, az átáramló vér mennyisége kisebb lesz, míg a parasympathicus idegrendszer éppen vasodilatációt (értágulat) okoz, ami a vérátáramlás fokozódásával jár. Az egyensúlyiállapot azonban külső vagy belső hatásokra eltolódhat valamelyik rendszer irányában.

4.1. táblázat - A sympathicus és parasympathicus rendszer

	Beidegzés	Sympathicus hatás	Beidegzés	Parasympathicus hatás
Szem	Th1-4 segmentum	érszűkítés, távolbalátás biztosítása, pupilla tágítása	III. agyideg	pupilla szűkítés (közellátás biztosítása)
Nyálmirigyek	Th1-4 segmentum	serosus nyálelválasztás gátlása (mucinosus nyále nem)	VII. IX. agyidegek	nyálelválasztás serkentése, vasodilatatio a nyálmirigyek ereiben
Szív	Th1-5 segmentum	pulzusszám fokozódás, coronariák vasodilatációja, összehúzódás fokozódása, pulzustérfogát növekedése	X. agyideg	nyugalmi pulzus fenntartása, esetleg lassítása, coronariák szűkítése
Tüdő	Th2-6 segmentum	bronchusok tágítása	X. agyideg	bronchusok szűkítése
Hasi zsigeri szervek	Th5-12 segmentum	vasokonstriktio, a peristalticus mozgás gátlása; máj: lebontó folyamatok serkentése (glikogénolízis); vese: enyhe sympathicus hatásra serkentés, erősebb sympathicus hatásra vizeletkiválasztás lassulása; mellkésveselő serkentése, adrenalin felszabadulás	X. agyideg	vasodilatáció, perisztaltika fokozása; máj: felépítő folyamatok fokozása (glikogén felépítése); emésztőenzimek secretiojának fokozása; vese: alapvetően nincs hatása
Medencei zsigerik	Th5-12 segmentum	perisztaltika gátlása; a hólyag ellazítása (vizeletürítés gátlása); vasokonstriktio, ejaculatio	ganglion a zsigerek falában	vizeletürítés serkentése (hólyag összehúzása); vastagbél és végbél összehúzás, perisztaltika

	Beidegzés	Sympathicus hatás	Beidegzés	Parasympathicus hatás
				fokozása; erekció
Bőrerek	minden Th-L szakasz segmentum a	a bőr ereiben vasokonstriktio; működő izmokban vasodilatáció; verejtékmirigyek működésének serkentése; piloerectio	nincs hatással	nincs hatással

A légköri változások légnyomás-változással, az elektromos tér megváltozásával stb. járnak. Ezek élettani változások sorát gerjesztik az emberi szervezetben. Normál körülmények között a homeosztázis gyorsan alkalmazkodik ezekhez, az érintett személyben nem alakul ki diszkomfort. Nem így tapasztaljuk ezt betegeknél, serdülőknél, sőt az utóbbi időben a légköri frontok egyre drasztikusabbá válása miatt az egészséges emberek jelentős részénél sem. A diszkomfort a különböző légköri események következtében egyre gyakoribb, a jelenséget hétköznapi értelemben **frontérzékenységnek** nevezzük. Alapvetően két igen jelentős frontot ismerünk. A *meleg vagy felsiklási frontot*, melynek jellemzője, hogy a környezethez képest melegebb levegőt hoz. A meleg levegő könnyebb a hideg levegőnél, így fölé siklik, és fentről melegíti át az alatta lévő hideg levegőt. A felsiklási front kiterjedése igen jelentős 250-300 km szélességű sávot is érint, míg az a terület, ahová éppen „felsiklik” akár további 500 km is lehet. Egy-egy melegfront hatására így akár „országos esőről” is beszélhetünk. A front tehát két egymástól jelentősen különböző légréteget választ el, s az általa felmelegítendő terület lehet kb. 500 km kiterjedésű. A melegfrontok előtt, a felsiklás helyén csapadékos az időjárás. A melegfront élettani hatásai még az időjárás megváltozása előtt érzékelhetőek.

Ezzel szemben a *hideg vagy betörési front* lényegesen kisebb területet érint. Nevét onnan kapta, hogy a környezetnél hidegebb levegőt szállít, így az benyomul a melegebb levegő alá, szinte azonnal kialakítva hőmérsékleti és egyéb hatásait. Az általa megemelt meleg levegő nagy sebességgel emelkedik fel. A front szélessége kb. 50-80 km. Az a terület, ahol megkezdődik a meleg levegő felemelése szintén kisebb a melegfrontnál, kb. 200 km széles. A front hatására képződő csapadék, az időjárás megváltozása után érkezik. A hidegfronti hatások később, az időjárás megváltozása után tapasztalhatók. Alapvetően a rossz közérzetet nem a hőingás okozza, bár meg kell jegyeznünk, hogy az utóbbi évek heves frontjainak hőingása következtében kialakuló tünetek sem elhanyagolandóak. A frontok azonban nagyon jelentősen befolyásolják a szervezet életfolyamatait. A két front egymással ellentétes hatásokat eredményez. Hidegfrontban az életfolyamatok lassulnak, míg melegfrontban éppen fokozódnak. Jelentősen módosulnak kognitív funkciók is. Hidegfrontban a koncentrációs képesség javulását, melegfrontban romlását tapasztalták. Változik az ember hangulata is. Hidegfrontban nyugodt, kellemes alaphangulatról számoltak be, míg melegfrontban először egy határozott javulás, sőt enyhe hiperaktivitás is jellemző lehet, majd ezt egy gyors és határozott hangulatromlás követi („A jó számár megérzi az esőt” -szóltak mondani a gyerekek hirtelen hangulatváltozásaira ilyen alkalmakkor.) A közlekedésben nagyon fontos szerepet kap a frontok helyzetfelismerésre gyakorolt hatása. Hidegfrontban ez a képességünk romlik, míg melegfrontban általában javul. Ennek tudható be, hogy a meteorológiai jelentések, már jó előre tájékoztatnak a várható frontokról. Hasonlóan fontos szerepet kap a helyzetfelismerés a különböző sportágakban, különösen a labdajátékok során.

Mindkét front jelentős anyagcsere változásokat okoz, tehát jelentősen befolyásolja a vegetatív idegrendszer működését. A pulzusszám, a légzésszám, a testhőmérséklet, a vércukorszint, a Ca^{2+} -szint, általában az anyagcsere lassul a szervezetben hidegfront hatására (**trophotrop tónus**), míg melegfrontban az anyagcsere és az előbb felsorolt paraméterek fokozódnak (**ergotrop tónus**). Ezért a hidegfrontot általános parasympathicus hatást okozónak, míg a melegfrontot általános sympathicus hatást okozónak tartják. Igen jelentősen befolyásolja mindkét légköri esemény a keringést, abban is kiemelve a vérnyomást. Hidegfront hatására a systoles érték csökken, míg a diastolés nő. Ennek hatására kisebb lesz a pulzusnyomás, a szív működés határfoka romlik. Ez különösen kellemetlenül érint mindenkit, de talán a legjobban az alacsony vérnyomású, és szívbeteg egyéneket. A melegfront ezzel szemben növelő hatású a systoles és csökkentő hatású a diastolés nyomásra nézve. A diastolés nyomás csökkenése jó hatású lehetne a magas vérnyomású egyénekre, de a systoles érték további emelkedése mindenképpen rossz közérzetet eredményez ebben az esetben. Minél erősebb a front annál határozottabb változásokat eredményez a szervezetben. Sportolóknál nagyon fontosak lehetnek mind a kognitív, mind pedig a vegetatív működésben tapasztalható változások, ezért többféle módszer ismeretes az aktuális vegetatív-szint felmérésére. Ezek közül a Botár által módosított „Oculocardiális-reflex” vizsgálata a legegyszerűbb. Ennek lényege, hogy egy szemnyomási inger megváltoztatja az egyén pulzusát (nervus trigeminus, nervus vagus reflexívén keresztül). Aszerint, hogy a szemnyomása közben és után, hogyan változik

a pulzus, megállapítható, hogy sympathicus, vagy parasympathicus túlsúly tapasztalható a szervezetben, ebből pedig következtethetünk az illető várható teljesítményére is.

Mint az előbb említettük a melegfront teljesítmény-javulással járhat, de csak rövid ideig, ezért elsősorban az egyéni sportágat űzők közül azoknál lehet előnyös akik 1-2 percen belül teljesítik a távot (pl. rövidtávfutók). A csapatjátékokban az egyéni és a csapatteljesítmény egyaránt fontos, így a vegetatív működések megváltozása nagyon jelentős következményekkel járhat. Magyar adatok alapján a melegfront labdajátékokban az első félidőben kedvező, míg a második félidőben kedvezőtlen hatású volt.

Hidegfront előtt és alatt is teljesítményromlást mértek. Általában kevés mozgást tapasztaltak a pályán, kicsi volt a gólképesség a lövések pontatlansága miatt. A támadókésztséget viszont jobbnak találták az átlagosnál, a második félidőben pedig valamelyest javult a teljesítmény. Sportolóknál a front hőmérsékleti hatásaival is számolni kell különösen szabadtéri sportok esetén. 15-20 °C között sympathicus tónus fokozódást, míg 20-22,5 °C között a parasympathicus tónus fokozódását mérték. A hőmérséklet befolyásolja az izomremegéseket is (tremor), amelyek különösen fáradás hatására jelentősek lehetnek. A komfortzóna alatti hőmérséklet általában csökkenti, míg a komfortzóna feletti fokozza a tremort. Ez a célzott mozgások pontos kivitelezését jelentősen módosíthatja.

A légköri frontok szélsőségesebbé válásának számtalan oka van. Ezek közül az egyik valószínűleg az **üvegházhatás felerősödése**. Ez azt jelenti, hogy a Föld légkörében felszaporodó CO₂, metán, por, korom és egyéb anyagok ugyan nem gátolják a napsugarak légkörbe jutását, de gátolják az így keletkezett hő távozását, mivel ezek a részecskék a hőt ismét visszaverik a Földre. Ha az üvegházhatást okozó anyagok mennyisége nő a légkörben a hőmérséklet lassan emelkedik. Számítások szerint az elmúlt száz évben a Föld légkörének átlaghőmérséklete 0,5 °C-t nőtt. Becslések szerint a hőmérséklet emelkedésének üteme fokozódik.

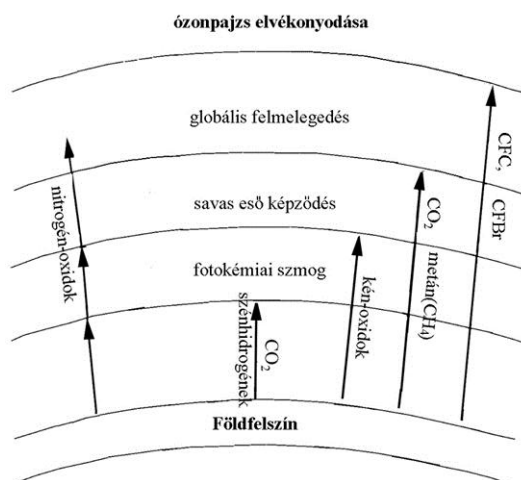
A fejlődő, vagy közepesen fejlett országokban a nagy népszaporulat óriási mezőgazdasági gondokat is jelent. A mostohább földrajzi adottságokkal rendelkező területeken a nagyon kevés élelem okoz gondot (sivatagi, félsivatagi körülmények), az ennél jobb körülmények között élőknél pedig a rabló-gazdálkodás. Ez jellemző a trópusi területeket művelő parasztokra is. Számos országban a Földhöz jutás egyetlen módja, hogy kiirtsák az őserdőt, s a helyén termeljenek. Sajnos azonban a magas hőmérséklet nem segíti a humuszban és tápanyagokban gazdag talaj kialakulását, így az adott földterület nagyon hamar kimerül, mezőgazdasági művelésre alkalmatlanná válik. A földművelésből élő igen szegény emberek ekkor ismét kiirtanak egy erdőrészt és így tovább. Mindez nemcsak az ottani emberek problémája, hiszen közismert tény, hogy a trópusok dús őserdei termelik a Föld oxigén készletének legnagyobb részét. Az oxigénszint csökkenése és a széndioxid mennyiségének emelkedése hozza létre azután az üvegházhatás felerősödését.

A melegedés egyrészt hirtelen és heves monszun-eső jellegű csapadékhullást eredményezhet egyes helyeken, míg máshol elsivatagosodást okozhat. Ezt felfoghatná valaki helyi problémának, de a hőmérséklet emelkedésével a sarki jégtakaró lassú olvadásnak indul. Ezzel az óceánok és tengerek vízszintje megemelkedik, ami egyes szárazföldi területek eltűnéséhez vezethet. Gondoljunk csak arra, hogy a tengerek, óceánok partjai a legtöbb helyen igen sűrűn lakottak. Eltűnhet egész Hollandia, a Világ egyik legnagyobb városa New York, Florida, Velence és így tovább!

Szomorú aktualitása van 2000-ben és 2001-ben a fakitermelésnek, hiszen az óriási tiszai árvíz éppen a környező országokban jellemző tarvágások miatt szakadt ránk. Az erdők ugyanis részben visszatartják a hó hirtelen eltűnését, a gyökerek pedig bevezetik a víz jelentős részét a talajba, így az áradás valamivel kisebb mértékű lett volna. A másik valószínű ok éppen az üvegházhatás, hiszen egyre nyilvánvalóbb, hogy a tél-tavasz átmenet egyre rövidebb és élesebb, felborulni látszik a szabályos négy viszonylag egyenlő hosszú évszakra való tagolódás.

A légkör összetételének változása sajnos nem merül ki a CO₂ mennyiségének megváltozásával. A 4.27. ábra szemlélteti azokat a szennyező anyagokat, amelyekből egyre több van a légkörben. A CO felszabadulás a különböző kipufogó gázok révén nemcsak az üvegházhatásért felelős, hanem a rengeteg fejfájás, rossz közérzet, légzési elégtelenségek okozója is. A vér hemoglobinja az oxigént nem kovalens kötéssel köti, ellenben a CO-t igen. Ennek a molekulának oly nagy az affinitása a hemoglobinhoz, hogy hetekig kering a vérben.

4.27. ábra - A légkör lehetséges szennyező anyagai



A kén-oxidok a levegő vízpárájával kénsavat, vagy kénessavat alkotnak, és a csapadékkal bemosódnak a talajba. Ez okozza a **savasesőt**. A savasesőre számtalan növény reagál. Közülük egyesek viszonylag gyorsan kihevernek egy-egy ilyen incidenst, de vannak olyanok, amelyek sohasem. A látszólag ok nélküli növénypusztulásnak gyakran a talaj pH-jának megváltozása, ill. a csapadékkal a növény levelére eső sav az oka.

Ma már sokan tudják, hogy a hűtőszekrények, poroltók olyan anyagokat tartalmaztak, amelyek roncsolják az **ózonréteget**. Ilyen anyagok a desodorokban és egyéb spraykben (vivőgáz) is előfordultak. Ezek a vegyületek összefoglaló néven chloro-fluoro-carbonátok (CFC) és halonok. Ezek a molekulák földközeli hőmérsékleten és nyomáson inert gázként viselkednek, azaz nem reagálnak semmivel. A stratoszférában, az ózonpajzs környékén uralkodó hőmérsékleten száz-százötven évig vannak jelen és nem viselkednek inert gázként, hanem folyamatosan bontják az ózont (O_3) O_2 -re és ClO-ra. Az ózon egyébként is egy igen instabil vegyület, és éppen az UV sugarak tartják egyensúlyban ($O_3 \rightarrow O_2 + O$). Ugyanezektől a sugaraktól véd meg bennünket az ózonréteg. Ha azonban az oxigént valami megköti, megszűnnek a szükséges feltételek az ózon képződéséhez. A hírek nagyon gyakran csak a Délisark fölötti ózonlyukról tesznek említést, fontos azonban tudnunk, hogy a nyári időszakokban hosszabb-rövidebb időre egyéb helyeken is képződnek lyukak, ill. a jelentős légköri mozgások következtében egyes helyeken vékonyabb lesz az ózonpajzs. Így pl. 1992-93-ban Bécs fölött is volt egy ózonréteg vékonyodás. Nem véletlenül lesz egyre nagyobb jelentősége a különböző napkrémeknek.

Az ózon csak a stratoszférában jótékony hatású, bioszféránkban éppen ellenkezőleg, káros az egészségre. Előbb a növények leveleinek foltosodását, majd lehullását okozza. Nem kevésbé kellemetlenek az ózon hatásai az emberre sem. Légzési zavarok, fejfájás, rossz közérzet, kimerültség, súlyosabb esetben idegrendszeri zavarok, esetleg halál okozója. Elsősorban a gyerekek érzékenyek a magasabb O_3 tartalomra (0,35 ppm már magas érték). Nagyvárosokban sajnos előfordulhatnak ilyen körülmények. Az USA-ban Los Angelesben részben a földrajzi és légköri viszonyok miatt, részben az ipari létesítmények miatt nagy a smog veszély. Többször előfordult már, hogy az iskolás gyerekeket nem engedték ki az iskola épületéből, mert túl magas volt az O_3 szint. Fontos tudnunk, hogy a modern technika ózongyártó készülékekkel is felszerelt bennünket. A modern fénymásológépek, printerek működésük közben nemcsak sok hőt, hanem ózont is termelnek. A fent említettek elkerülése érdekében a nagyteljesítményű fénymásolókat mindenképpen jól szellőztethető helyiségekben célszerű elhelyezni.

Nitrogén-oxidok, szénmonoxid, széndioxid, metán, és más szénhidrogének az autók kipufogó gázaiban nagymennyiségben találhatók. Nitrogén- és kén-oxidok a hőerőművek vagy

vegyigyárak kéményfüstjéből jutnak a levegőbe. A metán a háztartásokban és a mezőgazdaságban is képződik (pl. a kérődző állatok gyomrából sok kerül a levegőbe), valamint a mocsarokból is felszabadul.

5. fejezet - Mozgásrendszerek

A test térbeli hely- és helyzetváltoztatásában résztvevő szervek a mozgásrendszert adják. A mozgásrendszer két fő részből, nevezetesen a *passzív és az aktív* rendszerből áll. A passzív rendszerhez tartoznak a csontok, inak és a csontokat összekötő ízületek, az aktív rendszerhez tartoznak a vázizmok.

1. A mozgás passzív rendszere. A vázrendszer

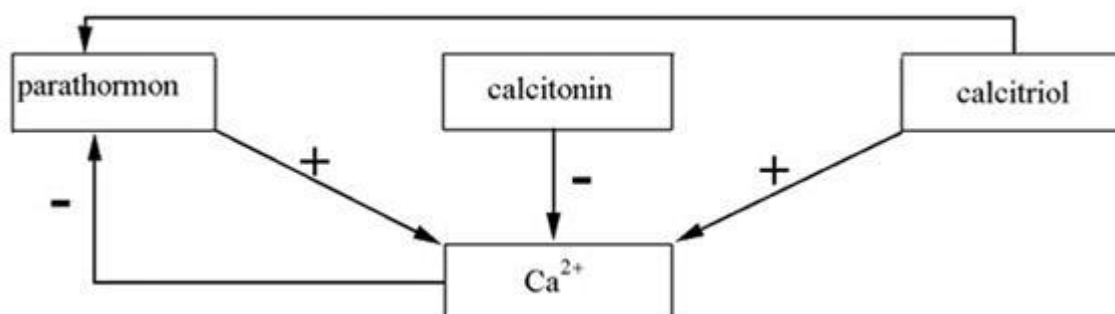
1.1. A vázrendszer általános jellemzése

Az ember csontváza a szervezet szilárd vázának alkotása mellett biomechanikai és védőjellegű is. Az izmok hatóerejüket a csontok ízületekben való elmozdításával fejtik ki. Fontos szerepe van a csontokba zárt vöröscsontvelőnek is, ami születés után vérképzőszerv.

A **vázrendszerben** 206 különálló, de valamilyen módon (bár különböző mértékben) rögzített csont található, melyeket szilárdságuk és rugalmasságuk jellemez. Szilárdságukat a különböző *szervetlen sók* pl. Ca-hidroxipatit, Ca-foszfát adják. Rugalmasságukat a csont szerves állománya az **ossein** biztosítja. A két állomány aránya az élet során változik. Fiatal korban a csontok több szerves anyagot tartalmaznak, mint szervetlent.

A sejtek közötti extracelluláris térben található Ca^{2+} ion mennyisége alapvetően befolyásolja az izom, idegsejtek működését, a csontok mérszorgalmát. Emiatt többféle hormon is szabályozza a vérplasma, ill. a csontok Ca-tartalmát (5.1. ábra). A kalcium a vérplasmában részben fehérjéhez kötve, részben pedig szabad ion formájában fordul elő.

5.1. ábra - A vér mérszorgalmának szabályozásában résztvevő hormonok



A csontok mérszorgalmát a **parathormon** (a mellékpajzsmirigy fősejtjeiben termelődik), a **calcitonin** (a pajzsmirigy parafolliculáris sejtjeinek hormonja), és a **calcitriol** hormonok szabályozzák. (A calcitriol előanyaga a bőrben, mint **D- vitamin** termelődik, majd a májban alakul át. Az **osteoblastok** Ca felvételét, a vékonybél hámsejtjeinek Ca felszívását, valamint a nephron distális csatornájában a Ca reabszorpciót befolyásolja).

A **calcitonin** az osteoblastok működését serkenti, míg az **osteoblastok**ét gátolja. Ez tehát a csontszerkezet építésében, a kalcium csontokba való beépülésében jelenik meg, a vérplasma Ca-szintjét csökkenti. Ez a hormon a csontszerkezetet erősíti, amit a gravitáció, a csontokra nehezedő munka, ill. a fizikai aktivitás jelentősen fokoz.

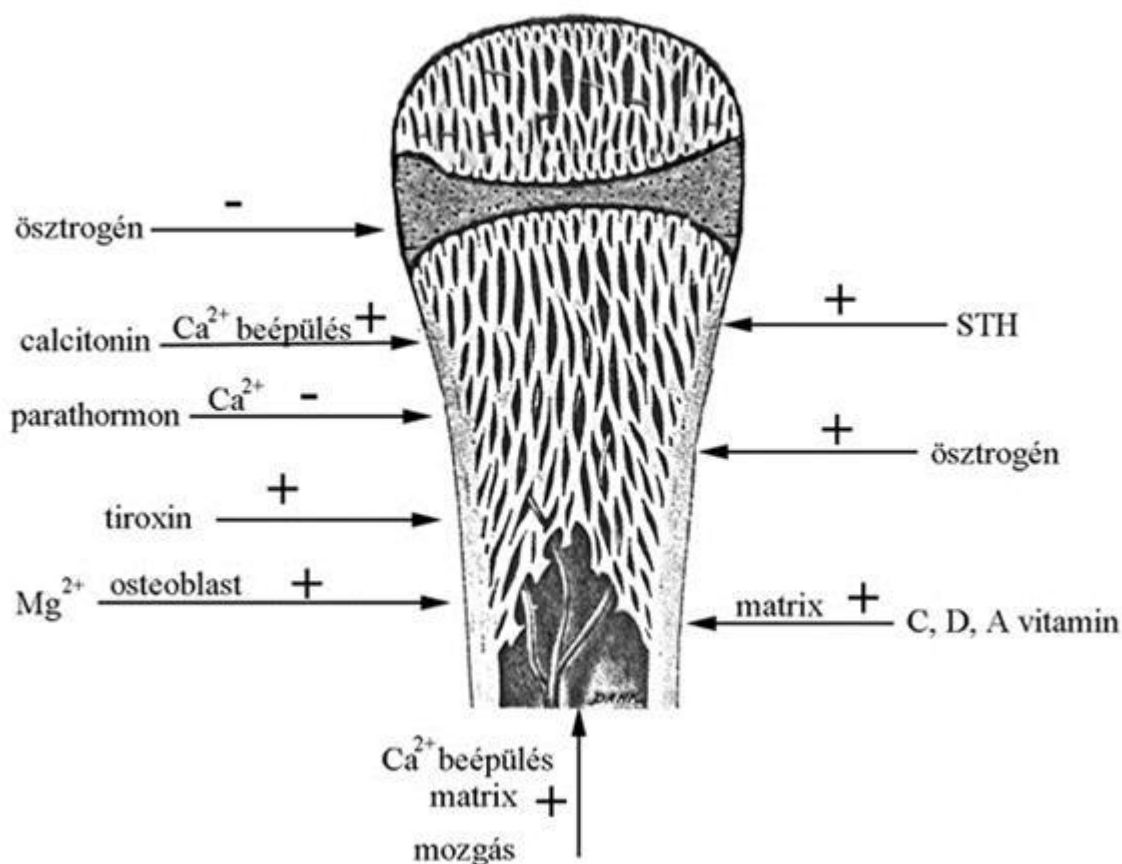
A különböző sportágak növelik a **csontsűrűséget**, fokozzák a csont gerendázatának az inger irányába ható fejlődését. Nem minden sportág azonos hatású ebben a tekintetben. A legkisebb hatásfokú az *úszás*, hiszen a víz felhajtó ereje ellene hat a nehézségi erőnek, így a csont sűrűsége nem változik jelentősen.

Élsportoló úszóknál régebben kifejezetten a mérszortalom és a csontsűrűség csökkenését tapasztalták. Részben ennek tudható be, hogy az utóbbi időben az úszókkal szárazföldi edzéseket is végeztenek. A nehézségi erő „csontépítő” hatását bizonyítja az a tény is, hogy régebben az úrben hosszabb időt töltő úrhajósok csontjai jelentős mértékben elvékonyodtak, esetlegesen a súlytalanság állapotának megszűntével el is törtek. Ez a felismerés vezetett el oda, hogy a különböző úrállomásokon hosszabb időt eltöltő kozmonautáknak kötelező edzésprogramot írnak elő, melynek betartása a **csontdenzitás** csökkenése ellenében hat.

Az egyik legnagyobb csontsűrűséggel a *tornászok* rendelkeznek. Prepubertás korban vizsgált tornász, úszó és nem sportoló (kontroll csoport, rendszeres fizikai aktivitás csak rekreációs szinten volt jelen) kislányok közül a legnagyobb csontdenzitással a tornász lányok bírtak ($0,897 \text{ g/cm}^2$), míg a kontroll és úszó kislányok értékei azonosak voltak ($0,859 \text{ g/cm}^2$). A legnagyobb különbségeket a lumbális területen és a radiusban mérték. A különbség megmaradt egy évvel később is, annak ellenére, hogy a két csoport között testméret különbség volt tapasztalható a kontroll csoport javára. Megállapították azt is, hogy a sovány testtömeg korrelál a test várható csontsűrűségével is.

A **parathormon** az osteoklastok működésének serkentésével a csont matrixának leépülését idézi elő (**osteolysis**), ilyen módon kalcium felszabadulását eredményezi, ami a vérplasmában mérhető. A parathormon serkenti a Ca^{2+} -ion visszaszívását a vesetubulusokból, ugyanakkor serkenti a HPO_4^{2-} ürítését ugyanebben a rendszerben (5.2. ábra).

5.2. ábra - A csontok mészforgalmának szabályozása



A parathormon fokozza a kalcium felszívását a vékonybélből részben direkt, részben indirekt módon. A közvetett szabályozás a D3-vitamin felszívásának serkentésével valósul meg. A D3-vitamin calcitriollá, majd calcitriollá alakul.

A **calcitriol** serkenti a kalcium szállítófehérjéinek termelését, majd ezen keresztül a kalcium-felvételét is. A vérplasma normál Ca-szintje kb. 10 mg/100 ml . Az ennél alacsonyabb kalcium-szintet **hypocalcaemia**nak nevezzük. Ez számtalan külső jelből is felismerhető. Pl. a 5.2. ábrán a csont mészforgalmát befolyásoló hormonokat és szerepüket tüntettük fel.

A Ca^{2+} -ion mennyiségének csökkenése (1-2%-os csökkenés, hypocalcaemia) az idegsejtek és izomsejtek aktivitásának fokozódásához vezet. Az utóbbi akár a tetánia (izomgörcs) állapotáig is eljuttathatja az adott izmot (ez kb. $4,5 \text{ mg/100 ml}$ koncentráció esetén alakul ki). Mindezek mellett kalcium hiányában csökkent a neurotranszmisszió, azaz az idegsejtek közti ingerületvezetés jelentősen késik. Ennek speciális tünetegyüttesét nevezzük **Trousseau-tünetnek**. Ez a csukló és a hüvelykujj merev kb. derékszögű meghajlását (flexio), míg az ujjak merev kiegyenesedését (extensio) jelenti. A hypercalcaemia (magas kalcium tartalom a vérplasmában) pedig a calcitonin termelés fokozódásához vezet.

A **Ca-egyensúly** kialakításához (felvétel és leadás egyensúlya) napi 1g kalcium bevitele szükséges. A leadás nagy része a székklettel, kis része a vizelettel történik. A kalcium felvétele elsősorban a tej és tejtermékekből, ill. a húsfélékből biztosított. A kalcium felvételét fokozza a savas kémhatás, a D-vitamin ellátottság, ill. a táplálék fehérjetartalma. Erősen gátolja a lúgos kémhatás, a zsírfelszívás zavara, ill. a tápanyag magas foszfát, vagy oxalát tartalma. A magas foszfát-tartalom több üdítőitalban megtalálható, így ezek gátolják a normális kalcium-felvételt. Rendszeresen nagy mennyiségben fogyasztva ezzel esetlegesen fiatalkori csonttritkulást, csontépítési zavarokat okozva. A csont ásványi készlete a hydroxyapatit ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{OH})_2$). A foszfát ellátás zavarai nagyon ritkán fordulnak elő, a szervezet foszfát-tartalma állandónak vehető.

Nagy mértékű foszfát megkötésére a nagy dózisu vasbevétel képes. Ha a foszfát-tartalom jelentősen megemelkedik a vérben, akkor kalcium-szintje csökkenni fog. A parathormon nem szabályozza a foszfát-tartalmat, csak a kalcium-ionét.

A parathormon szinergistájaként tekinthető a **D-vitamin**. Ez zsírban oldódó vitamin. Serkenti a Ca-felszívódását a bélből. Mind a csontba való kalcium lerakódást, mind pedig a csontból való felszabadulást segíti. Valójában a csontépítő folyamatok helyes irányba való terelése a feladata, a kalciumot felszabadítva segíti annak az éppen épülő csontba való felvételét. D-vitamin adagolásával a tetania is megszüntethető. D-vitamin hiányos állapotban a parathormon sem működik megfelelően.

A csontok szerkezetének alakulásáért az **ösztrogén** is felelős. Fokozza az osteoblast aktivitást és a kalcium beépülését a csontokba. Ennek köszönhető, hogy a menopausa következményeként lecsökkenő ösztrogén-mennyiség részben lecsökkenti a csontok kalcium felvételét, segítve az **osteoporosis** kialakulását. Az ösztrogén segíti az epiphysisek elcsontosodását, így a nőkben fokozott termelésének köszönhetően a hosszú csöves csontok növekedése gyorsabban fejeződik be, mint a férfiakban.

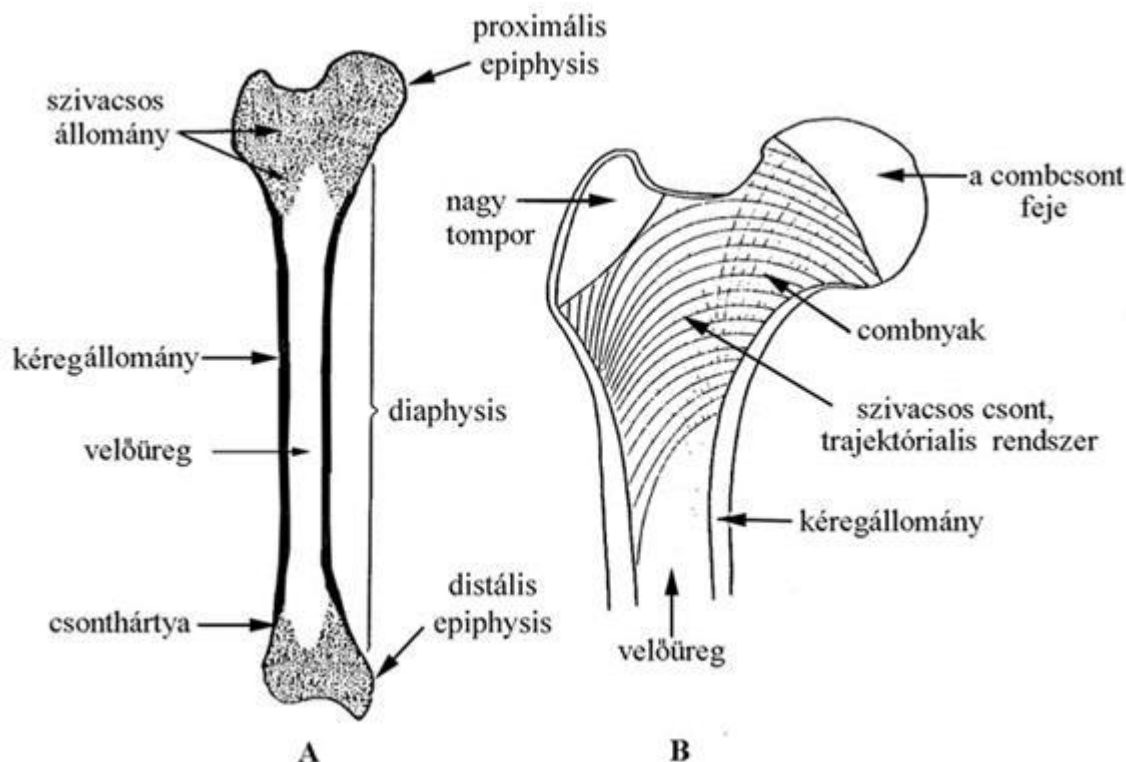
1.2. Csonttípusok

A csontok *alakjuk szerint* lehetnek:

- hosszú csöves,
- lapos,
- köbös,
- légartalmú csontok.

A **hosszú csöves csontok** (5.3. ábra). A végtagok tengelyében előforduló üreges csontok (pl. felkarcsont), melyek végein vaskosabb *végrészek* (**epiphysisek**) találhatók. A végrészek közül a törzshöz közelebbi (felső végrész) a *proximális*, míg a távolabbi (alsó végrész) a *distális epiphysis*. A csont középrésze a **diaphysis**. Ennek egységes üregét **velőüregnek** nevezzük. Ezt fiatal korban vöröscsontvelő, felnőtt korban sárgacsontvelő tölti ki.

5.3. ábra - A: Egy hosszú csöves csont felépítése (hm). B: A combcsont proximális epiphysise



Az epiphysisek *ízfelszínét* hyalin vagy üveggörcc borítja, alatta csontszövetet találunk; egy igen vékony rétegben **tömött csontszövet** formájában, amit **kéregállománynak** nevezünk. Ez alatt a **szivacsos csontállomány** található. Ebben az ún. **csontgerendák** jellegzetes elrendeződést mutatnak (**trajektóriális rendszer**). A statika szabályai szerint helyezkednek el, lefutási irányuk a külső hatóerőknek felel meg azaz, a lehető legkevesebb csontállomány igénybevételével a legnagyobb teherbírási képesek. Így a csont a ráható húzó és nyomóerőknek jobban ellenáll, mintha tömör csontállomány volna. Ha az erőhatások megváltoznak (pl. csonttörés, csontelferdülés, kiskorban túlzott és helytelen technikai kivitelezéssel végzett erőfejlesztés, nagy statikus terhelés), a szivacsos csontállományban az erővonalak átrendeződnek. A szivacsos csont ilyen szerkezete a legkifejezettebb a combcsont fejében, a sarokcsontban és a csigolyákban.

A hosszú csöves csontok diaphysisén a csontvelőüreget tömör csontszövet veszi körül.

A csontszövetet **csonthártya (periosteum)** burkolja, de a velőüreg és a tömör csontszövet határán is található egy ún. **belső csonthártya (endosteum)**.

Lapos csontok (pl. agykaponya csontjai), külső és belső felszínén tömör-, közöttük a szivacsos csontállomány (**diploe**) helyezkedik el, melynek üregeiben egész életen át megtalálható a vöröscsontvelő.

Köbös csontok (pl. csigolyatestek). Szabálytalan, de nagyjából köbös formát mutatnak. Szinte teljes egészében szivacsos csontszövetből épülnek fel, ezért a normál anatómiai erőhatásoktól eltérő terhelésre gyakran összeroppanásos törést szenvednek. Ennek egyik oka az időskori csonttritkulás.

Légtartalmú (pneumaticus) csontok. Az orrüreg csontjai között találhatók. Szerepük a könnyűszerkezeti felépítettség mellett, hangadáskor a rezonáló terek biztosítása. Felépítésükből következően rendkívül könnyen sérülnek, pl. küzdősportoknál (ld. ökölvívás, birkózás).

1.3. Csontosodás

A csontszövet ritkán elsődlegesen általában azonban másodlagosan, más szövet átépítése során keletkezik. Fajtái:

1.3.1. Az elsődleges (primér vagy angiogén) csontosodás

Az elsődlegesen alakuló csontszövet az emberi szervezetben alárendelt jelentőségű. A csontképződésnek az a formája, amikor kisebb erek környezetében differenciálatlan mesenchyma sejtek csontalapállomány termelése mellett csontszövetté alakulnak. Ilyen csontosodás figyelhető meg, pl. koponyacsontok varratainál, vagy bizonyos csonttörések esetében. A csontosodás létrejöttének feltételei:

- ép csonthártya,
- fontos, hogy a törvégek között szűk rés legyen,
- a csontvégek térben rögzítettek legyenek.

A csonthártya kapillárisai mentén differenciálatlan mesenchyma sejtek haladnak a törvégek felszínére, ott letelepedve csont alapállományt termelnek. Ez a csontréteg újabb sejtek rátelepedésével vastagszik, míg a törésvégek össze nem csontosodnak.

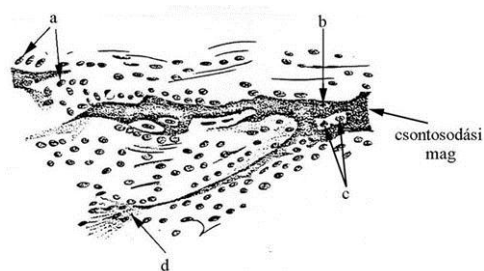
1.3.2. A másodlagos csontosodás

Bár a csontszövet is a mesenchyma származéka, mégis ebből közvetlenül csak kevés helyen fejlődik ki. Közvetlenül a mesenchymában történő csontfejlődést *kötőszövetes vagy desmális csontfejlődésnek* nevezzük. Legtöbbször a mesenchyma először porccá alakul és később a porc helyén fejlődik ki a csont. Az így kialakuló csont a *porcos vagy chondrális csontfejlődés* eredménye. Mindkét esetben a mesenchymális kötőszöveti sejtek *csontképző sejtekké (osteoblast)* alakulnak át, melyek maguk közé sejtközötti állományt termelnek.

1.3.2.1. Desmális csontosodás

A *desmális csontosodással* alakulnak ki pl. a koponyatető csontjai. A csontok helyén a **mesenchyma** sejtek, ha érintkeznek a feji bőr hámsajtjeinek extracelluláris matrixával egy ponton felszaporodnak, és átalakulnak csontképző (**osteoblast**) sejtekké. Ezek együtt adják a csontosodási magot (**punctum ossificationis**, 5.4. ábra). A csontképző sejtek maguk köré sejtközötti állományt termelnek, és ettől az állapottól kezdve ezeket a sejteket csontsejteknek (**osteocyt**) nevezzük. Az így kialakult csontosodási mag felszínére újabb **osteoblastok** telepsznek le, melyek sejtközötti állományt termelnek, és így a csontosodási mag fokozatosan nő. A növekedés azonban a csontosodási mag nem minden pontján egyforma. Van, ahol erőteljesebb, máshol gyengébb. Az erőteljesebb kiugró csontosodott részek *csontgerendákat* alkotnak, melyek felszínére is osteoblastok telepsznek. Ezek működése során a gerendák vastagodnak. A csontgerendák között kötőszövet van, ez az **elemi csontvelő**. Ennek sejtjei a későbbi fejlődés során végleges csontvelősejtekké alakulnak át.

5.4. ábra - Desmális csontosodás



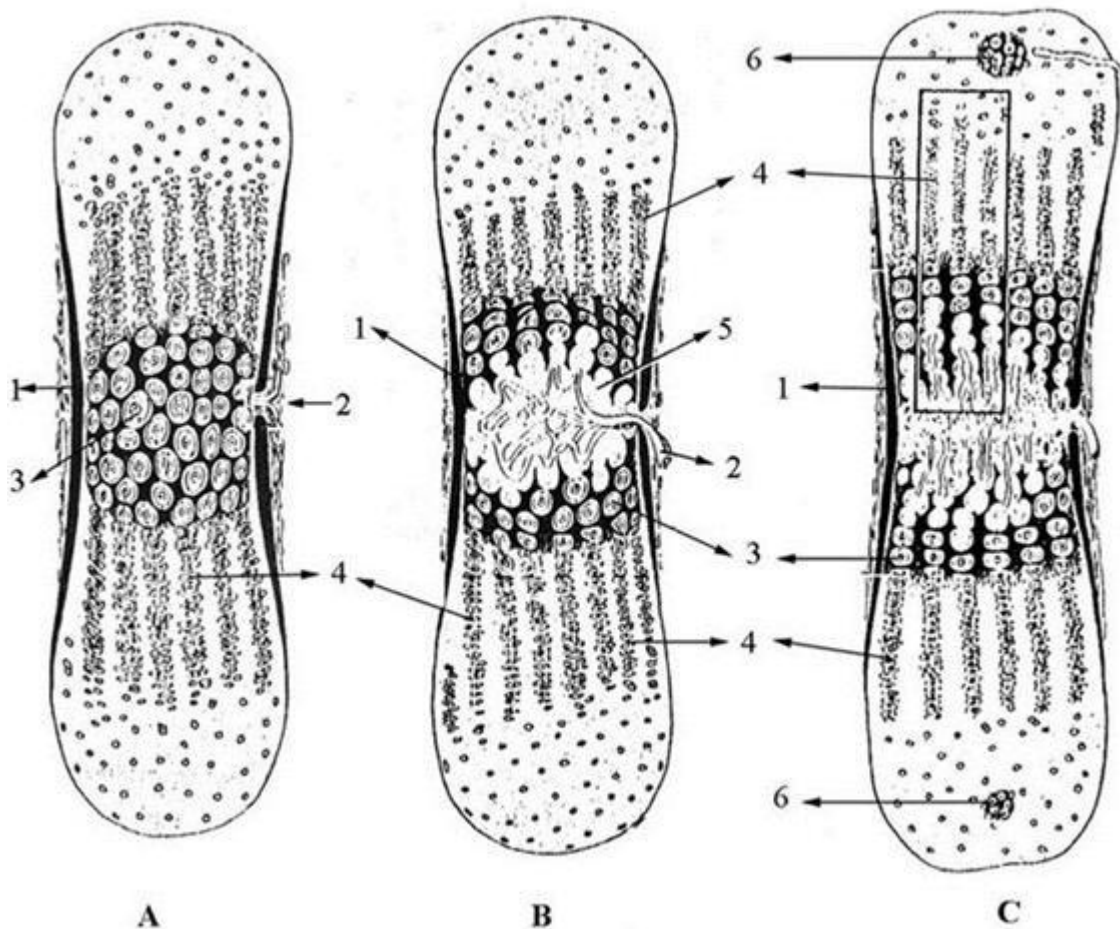
a: osteoblastok, **b:** csont alapállomány, **c:** csontsejtek, **d:** meszesedő kötőszöveti nyalábok

1.3.2.2. Chondrális csontosodás

A *chondrálisan fejlődő csontok* helyén eredetileg üvegporc volt, ami a csontosodás folyamán fokozatosan elpusztul, és helyét csontszövet foglalja el. Ez a két folyamat, a porc pusztulás és a csont képződése, egymás mellett játszódik le.

A chondrális csontosodást egy csöves csont, pl. az ujjperc kialakulásánál kövessük nyomon. Az említett folyamatok egyrészt a csontok felszínén, másrészt a porc belsejében játszódnak le. Időben előbb a porc felszíne felőli az ún. **perichondrális csontosodás** kezdődik, majd később indul meg a porc belsejében az **enchondrális csontosodás** (5.5. ábra).

5.5. ábra - Chondrális csontosodás



A, B, C: a csontosodás előrehaladtát jelzik. **1:** csonthártyával borított perichondrális csont, **2:** a csonthártyából a csont közepe felé növekvő vérér, **3:** duzzadt porcsejtek, **4:** oszlopos porctér, **5:** csontosodási mag a diaphysisben, **6:** csontosodási mag az epiphysisben

A **perichondrális csontosodás** egy csöves csont esetében a diaphysisnél indul meg és terjed a csontvégek, az epiphysisek felé. A perichondrális csontosodás a desmális csontosodáshoz hasonló, ugyanis a porchártya belső differenciálatlan sejtjei osteoblastokká alakulnak, és csontszövetet hoznak létre. Így a diaphysis területén a porc körül egy csontgyűrű alakul ki, ami fokozatosan nő a csontvégek felé, de képződése megáll az **epiphysis porckorongok**nál.

A felszíni perichondrális csont fokozatosan vastagszik, mert a vékony csontrejteget borító most már csonthártya belső felületén levő differenciálatlan sejtek a csontállományra letelepsznek, és újabb csontállományt termelnek. Ezt a csontrejtegződést **kambium szerkezetnek** nevezik.

A perichondrális csontosodást időben kissé később követi az **enchondrális csontosodás**, ami a csontosodási magokból indul. Egy hosszú csöves csontban három **enchondrális csontosodási mag** található, egy a diaphysisben, és egy-egy az epiphysisekben. A három mag nem egyszerre jelenik meg. Először a diaphysisben majd később az epiphysisekben formálódik.

A folyamat úgy játszódik le, hogy a csonthártya felől erek nőnek a diaphysisbe, majd a csontosodási mag területén először a porcsejtek vizet vesznek fel, és megduzzadnak, úgy, hogy szinte eltűnik a sejtek körül a porcudvar. A kapillárisok mentén **porcfaló sejtek (chondroblast)** is bekerülnek, melyek pusztítják a porcot, mind a porcsejteket, mind az alapállományt. Az elpusztult porcsejtek helyén egyenlőtlen nagyságú és falú üregek, az **elemi velőüregek** jelennek meg, melyeket mesenchymális sejtek töltenek ki. Ezek a sejtek hozzátapadva a velőüreg falához osteoblastokká alakulva csont alapállományt termelnek. Az említett folyamatok a csontosodási magtól mindkét epiphysis felé haladnak úgy, hogy a csontosodási magtól legtávolabbi részen a porcsejtek duzzadnak, pusztulnak, s új csontállomány keletkezik.

Az elemi velőüregeket egymástól a *csontosodást irányító gerendák* formájában megmaradt porc alapállomány választja el. A diaphysis közepe felé a csontgerendák száma csökken, a meglévők vastagodnak, s lefutási irányukat tekintve látszólagos össze-visszaságot mutatnak. A mechanikai szempontból felesleges helyen képződött csontgerendák felszívódnak, azok, amelyekre szükség van, megerősödnek.

A lemezes csontok a periosteum felől úgy alakulnak ki, hogy a csonthártya alatt kötegesen nőnek a csontlécek, majd **elemi osteonokká** alakulnak. A csatornaszerű üregekbe (**Havers-csatorna**) rekedt érkacsok körül új osteoblastok jelennek meg, amelyek a csatorna belső felszínéhez simulva rostállományt, valamint alapállományt termelnek. Ez megfelel a **lamina speciálisoknak**, ahol a csontsejtek alakult osteoblastok a lemezek belsejénél fekszenek. A kész lemezek belső felszínéhez újabb osteoblastok fekszenek, és újabb lemezt képeznek. Ezért helyezkednek el a speciális lemezek koncentrikusan az erek körül. A meglévő lemezeket *osteoklastok (csontfaló sejtek)* pusztítják, majd osteoblastok újjáépítik.

Hasonló folyamatok játszódnak le az epiphysisek területén is. Az epiphysisek felőli valamint a diaphysis felőli csontosodás csak az **epiphysis porckorongig** halad. A porckorong mindkét felszíne fokozatosan csontosodik, míg a középrészen a porcsejtek állandóan osztódnak. Így biztosítódik a csont hossznövekedése.

A növekedés befejezésekor a porckorong is elcsontosodik, s ezzel egyidejűleg megáll a hossznövekedés. A folyamat hormonálisan szabályozott.

1.4. A csontok növekedése

Növekedésben levő szervezetben pl. a hosszú csöves csontok epiphysis porckorong sejtjei osztódnak, a porckorong felülete pedig állandóan csontosodik. Így nő egy hosszú csöves csont. A növekedés megállását a **sexuálhormonok** megjelenése és a **tiroxin** idezi elő (5.2. ábra). A csontnövekedés nemcsak a végtagcsontjainál, hanem a gerincnél ill. az azt felépítő csigolyáknál is megfigyelhető.

A csontok vastagságbeli gyarapodása a csontot körülvevő csonthártya felől történik. Mind a hossznövekedés, mind a vastagságbeli növekedés tehát ráakódásos **appozicionális változás** (ld. chondrális csontosodás).

A csontok fejlődésével párhuzamosan az epiphysisek állapota alapján megbecsülhető egy személy biológiai életkora (a szervezet biológiai állapota alapján becsült életkor). Az epiphysisek elcsontosodása a csont hosszirányú növekedésének végét jelzi. Különböző csontok más-más életkorban állandósulnak. A csontosodási folyamatok hasonló elven, de másként zajlanak a hosszú, s másként a rövid csontokban. Mindezek figyelembevételével standard képsorozatok készülnek különböző testtájékokról. A legelfogadottabb módszer a kéz és a csukló vizsgálata.

Leggyakrabban a *Tanner-módszer* használatos, amely a kéztőcsontok és az ujjpercsontok állapota alapján végzi a korbesorolást. A kéztőcsontok elcsontosodása a 12-13. év körül fejeződik be, így a pubertás ill. a serdülőkor kezdeti szakasza ezzel a módszerrel is jól követhető.

A csontéletkor idősebb korban is fontos, ekkor azonban a csont leépülésének folyamatát vizsgáljuk. Az öregedéssel, különösen mozgásszegény életmód mellett, a csont sűrűsége (ásványi anyag tartalma) csökken, a hosszú csöves csontok gerendázata leépül. Így alakul ki a **csontritkulás**. Ennek nyomkövetése ma már igen egyszerű. A standardokat szintén a kéz, lábfej-boka, ill. a medence tájék változásai alapján készítették.

A csont nem passzív élettelen állomány, hanem állandó változáson megy át. Felépítő sejtjei újabb és újabb csontállományt hoznak létre.

A csontok növekedésére és fejlődésére nagyon jelentős hatással bír a **növekedési hormon (STH)**. Hatását indirekt módon fejt ki a somatomedineken keresztül. A **somatomedinek** a máj által secretált hormonok, szerkezetük nagyon hasonlít az inzulinéra. Már a növekedési hormon korai vizsgálatai során is megfigyelték, hogy a növekedési hormon működéséhez inzulinra is szükség van. Patánykísérletekkel igazolták, hogy a STH folyamatos adagolásával az állat élethosszig tartó növekedése figyelhető meg, a csontok epiphysise nem fog elcsontosodni (5.2. ábra).

Emberekben a STH túlermelése **óriásnövéshöz (gigantizmus)** vezet. Ennek hátterében a növekedési hormon csontokra és egyéb lágy szövetekre való hatása áll. Egyrészt fokozza a sejtek aminosav felvételét és a fehérjeszintézist, másrészt serkenti a sejt proliferációt. A csontok epiphysisénél ez porc és csontsejtek kialakulását jelenti, amelyek biztosítják a csont hosszirányú növekedését. Hasonló hatást fejt ki izom ill. kötőszövetre is. Felnőtté válás után a hormon nagy mennyiségben való termelődésekor az elcsontosodott

epiphysisek miatt hosszirányú növekedésre már nem kerül sor, ebben az esetben a mandibula, az orr, kéz és lábfej növekedése figyelhető meg. Ezt hívjuk **acromegáliának**. Ez a hatása árulkodó jegy azokra nézve is, akik a növekedési hormonnal visszaélnak a dopping során. Ebben az esetben a mandibula alakjának megváltozása a fej, arc szerkezetének megváltozásával is jár, nem beszélve a rendkívüli mértékben megnőtt kéz és lábfejről. A gyermekkorban hiányos STH termelés következménye az **arányos törpe (dwarfizmus)** alak kialakulása. Az idegrendszer megfelelően, de a csont és izomrendszer STH hiányában kevésbé jól fejlődik.

A növekedési hormon 4 óránkénti ciklusokban szabadul fel a szervezetben éjjel és nappal is, de nagy mennyiségű hormon kerül a vérbe az alvás első fázisában. Nagyon gyakran ezért javasolják a napi kétszeri alvást gyermekeknek. A testépítő és erősportok esetén szintén javasolják az edzés utáni alvást, éppen a növekedési hormon fehérjesszintézist és izomnövekedést serkentő hatása miatt.

1.5. A csontok összeköttetései

A vázrendszer felépítésében résztvevő csontok többféle módon kapcsolódhatnak egymáshoz. Ezek két, a folytonos és félbeszakított összeköttetések csoportjába sorolhatók.

a./ Folytonos csontösszeköttetések (synarthrosis)

Ezek is lehetnek mulandó és állandó **csontösszeköttetések**. Az előzőek a fejlődő csontoknál találhatók, az utóbbiak a csontösszeköttetést biztosító szövetek alapján tovább osztályozhatók:

- a.a./ **Kötőszövetes összeköttetés (syndesmosis)** esetében a csontvégeket kollagén, ritkán rugalmas rostok kapcsolják egybe. Ennek figyelembevételével ismerünk:
 - a.a.b./ **Varratokkal (sutura)** történő összeköttetést. Előfordul a koponyacsontoknál. A varratok további osztályozása csontszélek formái alapján történhet. Így ismert:
 - a.a.c./ **Harmonika varrat (sutura plana)**, ahol a kapcsolódó csontszélek enyhén hullámosak, pl. az arccsontoknál.
 - a.a.d./ **Pikkelyvarrat (sutura squamosa)** esetében a csontszélek elvékonyodva illeszkednek egymáshoz, pl. a koponya halántéki csontjának pikkely része és a falcson között.
 - a.a.e./ **Fogazott varratok (sutura serrata)**; A találkozó csontvégek erőteljesen hullámosak, pl. a lambda varrat.
 - a.a.f./ **Beékelődéssel történő összeköttetés (gomphosis)**. A fogak és az állcsont kapcsolódásánál található, ahol az állcsontok alveolusaiba fogak illeszkednek.
 - a.a.g./ **Szalagos összeköttetés** található a combcsont fejénél, itt az ízületi vápához kötőszöveti szalag (ligamentum teres femoris) rögzít, vagy a csigolyatesteknél húzódo kötőszövetes szalagok.
 - a.b./ **Porcos összeköttetés (synchondrosis)** esetében a csontvégek között porc található, ami a fejlődés folyamán eltűnhet (pl. az üvegporcos az epiphysis porckorongok), vagy mindvégig megmaradnak (pl. a kollagén rostos porcból felépülő csigolyaközi porckorongok = fibrocartilago intervertebrales, és a két szeméremcsont közötti symphysis ossium pubis).
 - **Csontos összeköttetés (synostosis)**. Ilyenkor két vagy több csont forr össze pl. a medencénél, ahol a szemérem-, a csípő- és az ülőcsontok csontosodtak össze.

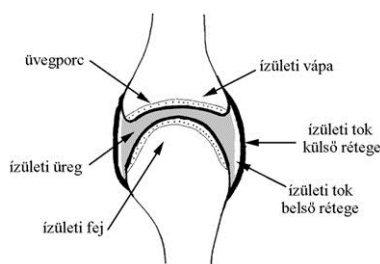
b./ Félbeszakított összeköttetések (diarthrosis) vagy **ízületek (articulationes)**

Az érintkező csontvégek között kisebb-nagyobb rés található. Az ízületben, ha két csontvég találkozik, akkor egyszerű ízületről beszélünk. Az ízület alkotói lehetnek állandó és járulékos alkotórészek.

b.a./ Az egyszerű ízület szerkezete

A találkozó **csontvégek** közül az egyik domború, gömb alakú, ez az **ízületi fej**, míg a másik a homorú, ez az **ízületi vápa** (5.6. ábra). Az ízületi fej nem mindig gömb formájú, lehet hengeres, elliptikus stb. Fontos az ízületi fej formája, mert az ízületekben végbemenő mozgás terjedelmét és minőségét határozza meg.

5.6. ábra - Egy egyszerű ízület sematikus rajza



Ízületi porcok. Az ízesülő csontvégek *ízfelszíneit üveg vagy hyalin porc borítja*. Kivétel az állkapocs ízülete, a szegyes és a kulcsfonti ízület, ahol rostos porc található. Ha az ízesülő csontfelszínek nem összeillők, akkor közöttük járulékos **ízületi porckorongok** (*fibrocartilago interarticulares*) jelennek meg. Ezek kétfélek lehetnek, nevezetesen discusok és meniscusok.

A **discus** kétszer domború kollagén rostos porcdarabok, ami két homorú felszínű ízesülő csontvég között található. Pl. a szegyes-kulcsfont ízesülésénél.

Meniscus. Két ízesülő domború csontvég közé egy kétszer homorú rostos porc darab ékelődik. Pl. térdízületben. Járulékos ízületi alkotórész még az ízvápajkak. Akkor, amikor az ízületi felszínt borító üvegporc szélein rostos porcgyűrűbe (ízvápajkak) megy át, ami arra szolgál, hogy az ízületi árkot mélyítse. Ilyen figyelhető meg a váll- és a csípőízületben.

Ízületi tok, egy olyan kötőszövetes burok, ami az ízesülő felszíneket kapcsolja egybe. Nagy mozgású ízületeknél tág, máskor feszes. Maga a tok két részre, nevezetesen a **külső (membrana fibrosa)** és a **belső (synoviális hártya)** membránra tagolható. A belső membrán bolyhai (*villi synoviales*) termelik azt a néhány csepp savós folyadékot, ami az ízületi üregben, mint **ízületi nedv** található. Sűrűlődashcsökkentő szerepe van. Ha kevés a folyadék az elmozduló porcvégek sűrűlődashnak, ilyenkor mondjuk, hogy ropog az ízület.

Ízületi szalagok. Ezek lehetnek tokszalagok, amikor a szalag az ízületi tokba ágyazott, ill. önállóak. Szerepük az ízületek stabilitásának biztosítása.

Ízületi üreg, az ízületi tokkal határolt tér, melynek része a két ízesülő csontvég közötti rés. Az ízületekhez tartoznak gyakran az önálló, vagy a közeli izmokból elkülönülő, a tokon tapadó **ízületi izmok**. Ilyen található pl. a bokaízületnél.

Az ízületek a bennük szereplő csontok száma alapján osztályozhatók, s így beszélünk egyszerű és összetett ízületekről.

b.b./ Az egyszerű ízületek (articulatio simplex) típusai

- *b.b.a./ Mozgékony vagy szabad ízületek*, melyeket elmozdulásuk tengelyszáma alapján szokás osztályozni.

- *b.b.a.a./ Egytengelyű ízületek*

Csuklóízület (ginglymus). Az elmozdulás a csont hossz tengelyére merőleges, pl. az ujjpercek között található. Mozgás: hajlítás feszítés.

Forgóízület (articulatio trochoidea) a mozgás síkja az ízesülő Csontok tengelyében van, pl. a második nyakcsigolya (epistropheus = axis) fognyúlványa és az atlas (első nyakcsigolya) között. Mozgás: forgás a csont hossz tengelye körül.

- *b.b.a.b./ Kéttengelyű tojásízület*

Tojásízület (articulatio ellipsoidea). Az ízületi felszínek tojás formájúak, ennek megfelelően két, egymásra merőleges tengely mentén történik az elmozdulás. Ilyen ízület pl. az articulatio-atlanto-occipitalis.

Nyeregízület (articulatio sellaris). Itt a mozgás két egymásra merőleges tengely mentén történik. Pl. a hüvelykujj és a kéztő-kéz közép csontnál.

- b.b.a.c./ *Soktengelyű ízületek (articulatio spherioidea)*. Szabad ízületeknek is nevezik. Az elmozdulás egymásra merőleges tengelyek mentén történik. Ide tartozik a:

Gömbízület. Ilyen ízület a vállízület. Az ízület érdekessége, hogy kicsi a vápa, ezért könnyen kificamodik. A gömbízület egy változata a

Dióízület, ahol az ízületi vápa a fej legnagyobb részét magába foglalja. Pl. csípőízületben a combcsont feje, kb. 2/3 része az ízületi vápában van.

- b.b.b./ *Feszés ízületek (amphyartrosis)* az ízesülő csontvégek, az ízületi tokban szorosan kapcsolódnak. Kicsi, vagy semmiféle elmozdulásra nincs lehetőség. Pl. a csípő- és a keresztcsont közötti ízület.

b.c./ *Összetett ízületek (articulatio composita)*

Csukló-forgó ízületek (trochoginglimus). A mozgás lehetőségét a kevesebb tengelyű ízület határozza meg. Ide tartoznak a könyök és a térd ízületei.

1.6. Az ízületek betegségei

Az ízületek különböző betegségei súlyosan érintik a mozgás kialakulását, a mozgásképesiséget. Az ízületi sérülések általában valamilyen mozdulat nem physiológiás befejezésekor jönnek létre. Ilyenek pl. a húzódás, megbicsaklás, a ficam, vagy a meniscus sérülése.

Megbicsaklás (distorsio) a járás során is létrejöhet, de gyakori sportsérülésnek számít. Ha az ízületi szalagok lazák, túlnyújtottak, a sérülés veszélye fokozódik. A húzódás következtében vér kerülhet az ízületbe vagy az érintett szövetbe. Ha ugyanannak az ízületnek gyakori húzódására kerül sor, az ízület degenerációja vagy a szalagok szakadása is bekövetkezhet. A húzódás után az adott ízület tehermentesítésével csökken a fájdalom, gyorsítható a gyógyulás.

Ficam (luxatio) esetén az ízületet alkotó két csont elmozdul egymáshoz viszonyított helyzetéből. Esetenként a csontok visszaugranak eredeti helyükre, többnyire azonban orvosi segítségre van szükség az ízület eredeti állapotának visszaállításához. A ficam következményeként gyakran részleges, vagy teljes ízületi szalagszakadás, vagy inszakadás, esetlegesen csontsérülés következik be. Az ízület a sérülés következményeként megduzzad, mivel vér vagy nagy mennyiségű víz kerülhet az ízületi részbe. Ha a ficam gyakorivá válik, az adott ízület labilis lesz, a sérülés mértéke egyre nő. Kialakulhat az ízület degenerációja is.

Labdajátékosoknál viszonylag gyakori a **meniscus sérülés**. A térd nagy igénybevétele mellett hirtelen elindulások, megállások, gyakori térdelések stb. következtében a meniscus becsípődhet a combcsont és lábszárcsont közé. Ilyenkor a szalagok vagy az ízületi tok sérülése is előfordulhat. Mindegyik esetben orvosi beavatkozásra van szükség.

Gyakran előfordul a térd bevérvése is. Az ízületekbe került vért gyorsan el kell távolítani, mivel az fokozza az arthrosis kialakulásának veszélyét. Az **arthrosis** nem más, mint a csontok felszínén elhelyezkedő porc kopása, elvékonyodása. Miután ez egy degeneratív folyamat az ízület mozgásterjedelmének megváltozásával és fájdalommal jár. Kialakulása a felnőttkor bármely szakaszában megfigyelhető, de idősebb korban, és nőknél gyakoribb. Megjelenése számtalan okra vezethető vissza. A legtöbb esetben nem ismerik a kiváltó okot, más esetekben azonban veleszületett rendellenességek, balesetek, sportsérülések következtében alakul ki.

Előfordul különböző anyagcserezavarok következményeként (pl. köszvény, cukorbetegség), de kialakulásában gyakori ok éppen a mozgáshiányos életmód, vagy a túlsúly is. Tipikus tünete az ízület fájdalma bármely mozgásra. A fájdalom lehet olyan jelentős, hogy egy adott mozgás elindítását is akadályozza. Az érintett ízület mozgásterjedelme csökken, deformitások vagy duzzadások jelennek meg. A betegség kialakulása után reggel az érintett ízület merevsége, a nap későbbi szakaszaiban fájdalma a jellemző. A betegség előrehaladtával az ízület körüli izmok is elsorvadhatnak, mivel a nagy fájdalom miatt a beteg tehermentesíti az adott testtájékot. Ha gyulladás is kialakul, az adott ízület meleg, duzzadt, a fájdalom fokozódik.

Ha az arthrosis a fokozott igénybevétel miatt alakul ki (pl. labdajátékok), akkor a kopások röntgenfelvételeken jól láthatók. Nőknél gyakori a kezek, ill. a térd arthrosisa. A kezeknél az ízületek deformitása figyelhető meg (bűtykös ujjak).

Röntgenfelvételeken arthrosisos betegek ízületeiben meszes lerakódások, ill. csontos felrakódások is megfigyelhetők. A betegség kezelése műtétrel, vagy gyógyszeres úton is megoldható. Az utóbbi időben egyre

elterjedtebbek az ún. porcképző gyógyszerek, amelyek chondroitin-szulfátot, vagy glükózamin-szulfátot tartalmaznak és segítik a porcszövet újraképződését. Az arthrosis kialakulása legalábbis késleltethető megfelelő életmóddal, úgymint helyes táplálkozás, ill. a rendszeres rekreációs mozgás beépítése a mindennapokba.

Az utóbbi időkben szintén növekvő számban fordul elő a *sokízületi gyulladás (rheumatoid arthritis)*. Ez egy autoimmun betegség. A korai tünetek között a synoviális folyadék felszaporodását látják, a porc pusztulása később alakul ki. Az arthritis tünetei mellett még az is jellemző erre a betegségre, hogy szimmetrikus (mindkét oldali) ízületi gyulladások alakulnak ki. A betegség előrehaladtával az ízületi mozgásterjedelem jelentős csökkenése, porc és csontpusztulás, ill. súlyos esetben porc és csontösszenövés alakulhatnak ki. A beteg gyakran külső segítséget igényel a helyváltoztató mozgásokhoz.

Magyarországon viszonylag ritka betegség a **köszvény**, amely tulajdonképpen anyagcserezavar. A vérben megnő a húgysav szintje. A felesleges húgysav molekulák a rossz keringésű ízületekben túlszaporodnak, a testhőmérséklet (különösen az érintett végtagon) megemelkedik. Mindehhez rendkívüli fájdalom társul. A köszvény főként a végtagok ízületeiben alakul ki, különösen azokban, amelyek hőmérséklete valamivel alacsonyabb az átlagosnál. A betegség kialakulását a genetikai tényezőkön kívül az életmód is befolyásolja. Hajlamosító tényező a nagymennyiségű fehérjebevitel (pl. túlzott húsfogyasztás), az alkohol (sör és bor), a túlsúly, ill. az ízületek túlzott igénybevétele, láb esetén főként a kemény aljzat (pl. beton alapú pályák) történő edzés).

A köszvény rohamokban jelentkezik. A rohamok spontán módon néhány nap alatt „gyógyulnak”, ha pihentetik, tehermentesítik az érintett ízületet. A kezeletlen köszvény azonban egyre gyakrabban visszatérhet, végül ízületi deformitást okozhat. A megfelelő terápia mellett a fokozott folyadékbevitel, ill. az energiaszegény étel fogyasztása javasolt.

Sportolóknál gyakori betegség az ínhüvelygyulladás és a nyáktömlőgyulladás. Mindkettő kialakulhat túlzott igénybevételtől.

Ínhüvelygyulladás (tendovaginitis) esetén a fellépő fájdalom a legkisebb mozgást is megakadályozhatja. Hatására az ínhüvely belső felszíne egyenetlen „durva” lesz, sűrűdik mozgás közben, ami akadályozza a normál physiologiás mozgások véghezvitelét is. A gyulladás következtében a környező szövet megduzzad. Ha ilyenkor nem kezelik és tehermentesítik az adott testrészt szalag és ínszakadások alakulhatnak ki.

A *nyáktömlőgyulladást (bursitis)* reuma, bakteriális fertőzés, vagy köszvény is kiválthatja. Kezelése és a betegség következményei hasonlóan az ínhüvelygyulladáséhoz.

1.7. A vázrendszer részei

A vázrendszer három fő részre a koponyára, a törzsre és a végtagokra osztható.

1.7.1. Koponya (cranium)

Porcos és csontos tok, az agyat, az emésztő- és légzőrendszer bemenetét, valamint a fejen levő érzékszerveket védi. Két nagy részre, az agy és az arckoponyára osztható.

a./ *Agykoponya (cranium cerebrale)*. A koponyának ez a része védi az agyvelőt és a feji érzékszerveket. Hét csont építi fel, melyek közül három páratlan és kettő páros.

Az agykoponya *páratlan csontjai*:

Homlokcsont (os frontale, 5.7. ábra, A. és C. képek). Pikkelyrésze a koponya elülső, felső részét, a homlok és a szemüreg tetejét alkotja. A homlokcsont belsejében az orrtájék felett üreget találunk (homloküreg, **sinus frontalis**), ez az orrüreg egyike.

A *homlokeresz* a homlokcsont kitüremkedése a szemüreg fölött. A koponyán archaikus jelleg, ma már atavisztikus jegyként tartjuk számon (atavizmus: olyan ősi jellegek visszatérése, amelyek az adott fajra ma már nem jellemzőek). A főemlősök koponyáján ma is megfigyelhető, alapvetően a szem védelmére szolgál.

Ékcson (os sphenoidale, 5.7. ábra, C. kép). A koponya alapján, középen van. Részei közül a *testben (corpus)* egy öböl van (**sinus sphenoidales**), ami az orrüregekkel közlekedik. Koponyaüregi felszínén látható a *török nyereg (sella turcica; 5.7. ábra, C. kép)*, mélyedésében az agyalapi mirigy található. Kis és nagyszármái a

koponyaárcok és a szemgödör falát alkotják. Az éksont teste és a nyakszirtecsont alapi része kb. 16 éves korig porcos összeköttetésben vannak, ezután összezsontosodnak.

Nyakszirtecsont (**os occipitale**, 5.7. ábra, A., B. és C. képek). A nyakszirtecsontnak megfelelő csont. Részei az öreglyukat (**foramen magnum**) fogják közre. Ezen a lyukon keresztül tart kapcsolatot a gerinccsatorna a koponya üreggel. Az agykoponya külső felszínén az öreglyuktól két oldalra egy-egy elliptikus formájú bütyök található, ami egy kéttengelyű ízület része. Ez az ízület az **articulatio atlanto-occipitalis**, ami a fej igen mozgását biztosítja. A nyakszirtecsont legnagyobb része a kagylóformájú pikkelyrész. Ennek külső felszínén egy kiemelkedés a *protuberantia occipitalis externa* található. Ez a pont antropológiai mérőpont, a koponya hosszának meghatározásánál.

5.7. ábra - A koponya csontja



A: oldalnézet, **B:** alsó felszín, **C:** a koponya belső felszíne felülről nézve

Az agykoponya *páros csontjai*.

Falcsont (os parietale, 5.7. ábra, A. kép). Kizárólag a koponyatetőt alkotja.

*Halántékcson*t (**os temporale**, 5.7. ábra, A. és C. képek). A koponyán oldalt helyezkedik el. Belső részében (*pars petrosa* = *sziklacsont-piramis*) van a halló- és egyensúlyozó szervünk. A halántékcson kívül, oldalról jól látható nyílást a *külső hallónyílást (porus acusticus externus)* fogja közre. A nyílás felett és előtt helyezkedik el a csont *pikkelyrésze* (*pars squamosa*). Alsó felszínén egy *ízületi árok (fossa mandibularis)* van, ahol az állkapocs egyik nyúlványának fejével a koponya egyetlen mozgatható ízületi összeköttetését adja.

a.b./ Az agykoponya legnagyobb varratai

A két falcsont a koponyatetőn a *nyílvarrattal (sutura sagittalis)* kapcsolódik össze. A falcsont és a homlokcsont pikkelyrésze között a koszorú vagy *koronavarrat (sutura coronalis*, 5.7. ábra, A. kép), a falcsont és a nyakszirtecsont pikkelyrésze között a *lambdavarra*t (*sutura lambdoidea*, 5.7. ábra, A. kép) található. A falcsont és a halántékcson pikkelyrésze között pedig a pikkelyvarra (*sutura squamosa*) látható (5.7. ábra, A. kép).

Az agykoponyát ért sérülések során életveszélyes lehet egy repedés, különösen akkor, ha ez egy belső verőér sérülésével jár együtt. Az érpályából kikerülő vér, nyomás fokozódást idéz elő a koponyában és az agyat károsítja. Agyalapi törés pl. zuhanás, súlyosabb esés (motorsport, ejtőernyőzés) következtében léphet fel.

b./ Az arckoponya (**cranium viscerale**).

A szemgödör, az orrüreg és a szájüreg körül elhelyezkedő 15 csont alkotja. Ezek részben páratlan, részben páros csontok.

Az arckoponya *páratlan csontjai*:

Rostacsont (os ethmoidale). Vékony csontlemez, ami légtartalmú üregeket tartalmaz, amelyek az orr melléküregeihez tartoznak. Vízszintes helyzetű lemeze a *lyuggatott rostalemez (lamina cribrosa*, 5.7. ábra, C. kép). Likacsain lépnek a szaglórostok a koponya üregébe.

Ekecsont (vomer). Nevét ekevas formájáról kapta. Az orrsövény alsó és hátsó részét alkotja.

Állkapocs (mandibula, 5.7. ábra, A. kép). Az arc alsó részének vázát alkotja. Patkó formájú. Ízülettel kapcsolódik a halántékcsonthoz. Testből (*corpus mandibulae*) és mindkét végén ágas vagy *nyúlványos részekből (ramus mandibulae = állkapocsszár)* áll. A mandibula teste szöglettel megy át az ágakba. A test felső része a *fogmedri rész (pars alveolaris)*. Ennek szélén találjuk a fogmedri alveolusokat. A ramus mandibulae felfelé két nyúlványban a *processus condylaris* és a *processus coronoideus*ba folytatódik. A két nyúlvány között bevágás az *angulus mandibulae* található. A processus condylaris vesz részt az állkapcsi ízület alkotásában.

Az arckoponya *páros csontjai*:

Felső állcsont (maxilla, 5.7. ábra, A. és B. képek). Az arckoponya elülső felszínének tetemes részét és a szemüreg alsó és mediális, a csontos orrnyílás nagy részét, vízszintes nyúlványával a kemény szájpad jelentős részét alkotja. A csont testében az *arcüreg (sinus maxillaris)* helyezkedik el, ami a középső orrjáratokkal közlekedik. Testének első részén van a *fogmedri nyúlvány (processus alveolaris)*. Közép felé irányul a *szájpadnyúlványa (processus palatinalis)*, ami a kemény szájpad alkotásában vesz részt.

Járomcsont (os zygomaticum, 5.7. ábra, A. és B. képek). Az arc formájának, és az arc statikájának jelentős tényezője. A halántékcson felé irányuló nyúlványa a *járomív (arcus zygomaticus*; 5.7. ábra, A. és B. képek).

A járomív szélessége az embernél a rasszjellegek megállapításánál is fontos lehet. (A zygion-zygion mérőpontok távolsága alapján mérjük.) Az ázsiai és afrikai nagyrassz képviselőinél szélesebb, az europidoknál keskenyebb a járomív. Kifejezetten archaikus jellegnek is tartják. Az europidok koponyáján a Cromagnoni B típusnál szélesebb, mint a többi europid csoport koponyáján. A széles járomív az arc alakját is meghatározza.

Orrcsont (os nasale, 5.7. ábra, A. kép). A csontos orrhát alkotásában vesz részt.

Szájpadcsont (os palatinum, 5.7. ábra, B. kép). „L” betűhöz hasonló, két lemezből álló csont. Vízszintes lemeze a kemény szájpad, függőleges lemeze az orrüreg hátsó részének alkotásában vesz részt.

b.a./ Az arckoponya fontosabb csontösszeköttetései:

Az arckoponya varratai: az arcon elől és fenn, az agy és az arckoponya határán az *orrgyökérvarrat (sutura frontalis)*; (5.7. ábra, A. kép) látható.

A homlokcsont és a felső állcsont kapcsolódása a **sutura fronto-maxillaris**.

Az arckoponya egyetlen ízületét a halántékcsont állkapcsi gödre és a maxilla nyúlványa a processus coronoideus alkotja, s ez az **articulatio temporo-mandibularis**. Az ízület korlátozott szabadízület. Mozgásai:

- a. a száj nyitása és zárása,
- b. az állkapocs előre-hátra mozgatása,
- c. örlőmozgások.

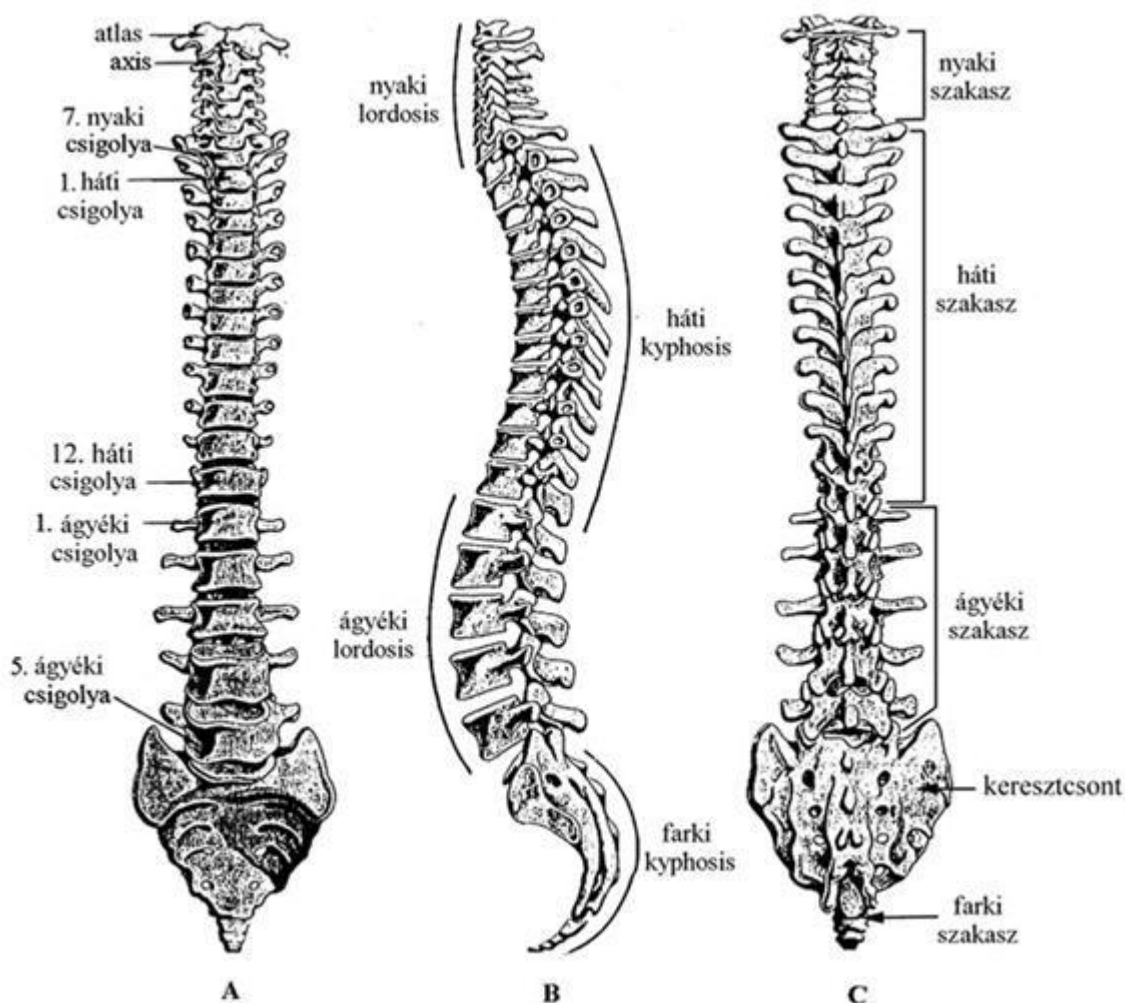
1.7.2. A törzs csontjai

Ide tartoznak a csigolyák, melyek a gerincet építik fel, a bordák és a szegycsont.

a./ A gerinc

A gerinc (**columna vertebralis**, 5.8. ábra, A., B. és C. képei) a test csontos tengelyét képezi. *Csigolyákból (vertebrae)* épül fel. A gerincen különböző, nevezetesen nyaki, háti ágyéki, kereszt és farki szakaszokat lehet elkülöníteni. „S” alakúan görbült. A nyaki és ágyéki szakasz előre domborul (**lordosis = hajlat**), a hát és keresztcsonti szakasz hártafelé görbül (**kyphosis**). A gerinc frontális síkban is kismértékű görbületet mutat (**scoliosis**). Ez azt jelenti, hogy a gerinc a háti szakaszon kissé jobbra, a nyaki és ágyéki részen balra görbül. Az amerikai, európai és a magyar gerincgyógyász társaságok egybehangzó véleménye szerint nincs physiologiás scoliosis. A scoliosis mindig kóros. A gerincet felépítő csigolyák közül 24 valódi és 9-11 álcsigolyát különítünk el.

5.8. ábra - A gerinc előlről (A), oldalról (B) és hátulról (C) nézve

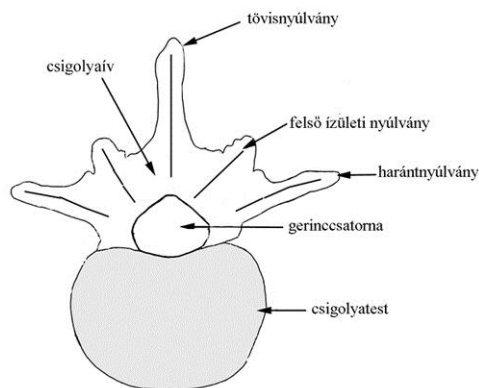


A csontok különböző életkorokban érik el végleges alakjukat, ill. csontosodnak el. A gerincgörbületek kialakulása a 7. életév körül várható, de a csigolyák végleges elcsontosodása csak a 20-21. életévben következik be. Így a testnevelő tanárnak még középiskolában is van lehetősége a tartás korrekcióra. A hosszú csöves csontok epiphysise fiúkban a 18-21; lányokban a 15-20. életévben csontosodik el, lezárva a hosszirányú növekedést. A medenceöv csontjai a 7. életév körül kezdenek összezsontosodni, de a folyamat a 20-21. életévig tart. Az ujjpercek végleges alakja a 10-11. életévben alakul ki, míg a kézfej csontjai csak a 13-14. évben veszik fel végleges számukat és alakjukat. Ezek a csontok a születés után kezdik meg fejlődésüket és a pubertás korban többnyire elcsontosodnak.

a.b./ A csigolya részei, típusai

Egy **valódi csigolya** részei (5.9. ábra). Megkülönböztetünk rajta egy változó, a koponyától lefelé fokozatosan nagyobbodó korong formájú *csigolyatestet* (*corpus vertebrae*). Szivacsos csontállományból áll, amit kívül kéregréz borít, mely számos helyen erekkel átluggatott. A csigolyák egymás felé lapos felszínnel záródnak. A csigolyatesten hátrafelé egy *csigolyaív látható* (*arcus vertebrae*). Az ív és a test között van a *csigolyalyuk* (*foramen vertebrae*). Ezek térben együtt a *gerinccsatornát* (*canalis vertebralis*) alkotják. A csigolyaívról erednek a csigolyák nyúlványai. Így oldalfelé (a legtöbb csigolyán így van) a *harántnyúlvány* (*processus transversus*), hátul középen a *tővisnyúlvány* (*processus spinosus*), felfelé és lefelé az *ízületi nyúlványok* (*processus articularis superior és inferior*) láthatók.

5.9. ábra - Egy ágyékcsgigolya



A valódi csigolyák a nyaki, a háti és az ágyéki csigolyák. A csigolyák ízületekkel, szalagokkal és porckorongokkal kapcsolódnak.

Nyakcsigolyák (*vertebrae cervicales*) számuk hét. Viszonylag kis testű csigolyák. Közülük az első két csigolya eltérő felépítésű. Az első csigolya a *fejgyám (atlas)* a második a *forgó (axis = epistropheus)*. Az atlas a fej hordozását végzi. Nevét az ókori mitológiai földgolyót tartó alakról kapta. Felépítésében eltér a többi nyakcsigolyától, ugyanis nincs csigolyatest. Az atlas az agykoponya nyakszirti bütykével egy kéttengelyű ízületben kapcsolódik (ld. agykoponya, és csontösszeköttetések).

A második nyakcsigolya a *forgó (axis = epistropheus)*. Érdekessége, hogy csigolyatestéről előrefelé egy nyúlvány (*dens axis*) ered, ami az első csigolyával egy forgóízületet alkot. A nyaki csigolyák a horizontális síkban kis mozgást tesznek lehetővé (fejkörzés).

Hátcsigolyák (*vertebrae thoracales*). Számuk 12. Testük, az előző csigolyákhoz képest nagyobb. A csigolyalyuk szűk. Tövisnyúlványaik cserépszindely módjára fedik egymást. Hosszúak és csak kis mozgási kitérést biztosítanak. A háti szakaszon a kis ízületek síkja a frontális síkban helyezkedik el, ezért elsősorban oldalra, kisebb mértékben előre ill. hártahajlítás lehetséges.

Ágyékcsigolyák (*vertebrae lumbales*). Számuk 5. Nagy, bab-alakú testük van. Izületi nyúlványai erősen fejlettek. Harántnyúlványai nem igazi nyúlványok, hanem bordacsőkevények. Az ágyéki gerinc csigolyáinak kis ízületi síkja sagittális irányú, így erre a szakaszra az előre és hártahajlítás jellemző.

A gerinc álcsigolyái. Ezek fejlődésük folyamán először önállóak, később egymással összenőve a gerincen a keresztcsontot és a farkcsontot alkotják (5.8. ábra, A., B., C. képek).

Keresztcsont (*os sacrum*). 5-7 csigolya összenövéséből jön létre. Kapa alakú, előregörbült ívű csont. Női egyedben szélesebb és enyhébben ívelt, mint férfiakban.

Farkcsigolyák csőkevényesek, 3 db általában különálló.

a.c./ A gerinc összeköttetései

A csigolyákat a kötőszöveti szalagok, porcok és ízületek kapcsolják gerincoszloppá. A csigolyatestek elülső és hátulsó felszínein is, szorosan hozzájuk tapadva, *hosszú, erős kötőszövetes szalagok* húzódnak. A csigolyatestek hátsó felszínén húzódó szalag a gerincsatornában van. A hosszú szalagrendszereken kívül, rövid szalagok a szomszédos harántnyúlványokat kötik össze, s így erősítik a gerincet.

A csigolyatestek között a **csigolyaközi porckorongok** vannak, melyek fő funkciója a hosszanti tengelyirányú (zökkenések) erőbehatások tompítása (párnafunkció). A porckorongok gyűrűszerűek, kollagén rostos porcszövetből épülnek fel. Közepükön egy lágy pulparész (*nucleus pulposus*) van.

Sok sportolónál a helytelen technika, a korai terhelés következtében, pl. súlyemelőknél, atlétáknál, a rostos gyűrű elszakadhat, ezáltal a kocsonyás anyag kitüremkedik, és a gerincvelői idegek gyökereinek nyomásával igen kellemetlen fájdalmat okozó betegséget a *porckorongsérvet (discus hernia)* idézi elő.

A csigolyák közötti porckorongok, szalagos összeköttetések és az ízületi nyúlványok közti kis ízületek a gerincnek nagy szilárdságot biztosítanak, és az egymásutáni csigolyák nagyobbfokú elmozdulását egymással

szemben kizárják. Mégis a porckorongok rugalmassága folytán a kis mozgások összetevődéséből a gerinc egész terjedelmében jelentős mozgásra képes. Így lehetséges a törzs előre, hátra, oldalra hajlítása és rotációja.

a.d./ Porckorongok és a testmagasság

A testmagasság részben a csigolyák közti porckorongok vízvesztése miatt naponta változik. Fekvő helyzetben a porcszövet több víz megtartására képes, míg álló helyzetben a víz egy része kipréselődik a porckorongokból. Emellett a testtartás és a talpboltozat fáradása következtében tovább csökkenhet a testmagasság a nap végére. Nagy fizikai terhelés tovább fokozza a gerincoszlop rövidülését. Így a napi testmagasság ingadozása 1-5 cm is lehet.

a.e./ A gerinc görbületei

A gerinc fejlődésének korai (méhen belüli fejlődés) szakaszában hátrafelé domború ívben (**kyphosis**) hajlik előre, miközben a tarkóizomzat passzív, nyújtott állapotban van. Születés után a csecsemő háton fekvése következtében a gerinc egyenes, csak a keresztcsonti részen van egy kisfokú *kyphosis*. Később a hasrafordulás, a fej emelése miatt kialakul a nyaki és ágyéki szakaszon az előrefelé domború görbület (**lordosis**). Az ülés, majd az állás és a járás szakaszában a nehézségi erő, az izomerő és a szalagrendszer együttes hatásának következtében kialakul a már említett „S” alakú görbület.

a.f./ Testtartás

Tágabb értelemben a testtartás az egész test tartása, beleértve a fej, a törzs és a végtagok tartását is. Szűkebb értelemben a testtartás csak a gerinc helyzetét jelenti. Az egyéni testtartás és járás tulajdonságai részben genetikailag determináltak, azonban az élet folyamán külső és belső tényezők állandóan befolyásolják. Az egyénre jellemző testtartás kialakulása befolyásolható és szükség esetén módosítható tanúlással, tudatos neveléssel. A testtartásnál beszélünk a test súlypontjától független normális gerincgörbület mellett *aktív és passzív testtartásról*.

Aktív testtartásnál izomerővel közömbösítjük a nehézségi erőt, a test súlypontja ilyenkor a csípő középpontját összekötő tengely előtt helyezkedik el. Ezt a helyzetet huzamosabb ideig kifáradás nélkül nem lehet fenntartani.

Passzív testtartásnál a súlypont az előbb említett tengely mögött helyezkedik el, ilyenkor a szalagok feszülése biztosítja csak a labilis egyensúlyi állapotot, ami a test súlya és a nehézségi erő között keletkezik. A szalagok fokozottabb igénybevétele részleges izomműködés nélkül túlfeszítést eredményez a szalagokban, a gerinc élettani görbületei nyugalomban is fokozódnak, kialakul a hanyag tartás ill. a testhibák.

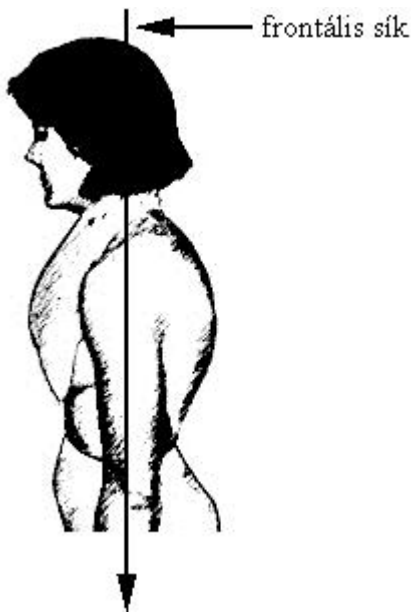
A jó testtartást a helyes egyensúly jellemzi, ez egy dinamikus egyensúlyi állapot, melyet a tartásért felelős izmok állandó, sokirányú tevékenysége tart fenn. A helyes testtartás kulcsa a medence és a keresztcsont megfelelő dőlésszöge, a lumbo-sacrális szög és a gerinc physiológiai görbületei. Így az ízületi tokok és szalagok feszülése a physiológias állapotnak megfelelő, a tartásért felelős izmok, harmonikus, szimmetrikus együttműködése miatt az izomzat erő kifejtése és energia felhasználása minimális, mindezek következtében a porckorongok és az ízületi felszínek terhelése egyenletes.

Hanyag testtartás. Ez a serdülő korosztály jellemző problémája. Mindkét nemből előfordul. Létrejöttükben pszichés, életkori, életviteli okok egyaránt szerepelhetnek. A pszichés okok közül kiemelhetjük, pl. a pocakos gyermekeket, akik pocakjuk eltüntetése érdekében a hasat behúzzák. Ez az ágyéki gerinc lordosisának csökkenését vonja maga után. Ez a magatartás idővel automatikussá, az egyénre jellemző testtartássá válik, és sokszor a kiváltó ok megszűnése után is megmarad. Az ágyéki lordosis csökkent volta a csigolyák aphysiológias terheléséhez, korai degeneratív megbetegedéséhez vezet.

A mozgásszervrendszer szempontjából a hanyag tartások jellemzője a *gerinc physiológias görbületeinek mértékváltozása*, ami az esetek döntő többségében izomgyengeséggel is jár. A physiológias görbületek egyaránt lehetnek kórosan csökkentek, vagy fokozottak. Egy emberen belül mindkettő előfordulhat két szomszédos gerincszakaszon (**kypholordicus gerinc**). Az, hogy az izomgyengeség, a tartási rendellenesség oka vagy következménye, nem tisztázott kérdés.

A serdülőkor jellemző betegsége a **kyphosis dorsalis juvenilis**, lányokban gyakoribb. Jellemző tünete a fokozott háti kyphosis, mely ellentétben a hanyag tartások hasonló deformitásával strukturális eredetű, a csigolyatestek ventrális irányú ék alakúvá válásának következménye. Jellemző még a fokozott háti kyphosis, az ún. *punctum maximumának* lefelé (distális) tolódása (5.10. ábra). Oka a csigolyatestek elhalála. Gyakran társul enyhe scoliosissal.

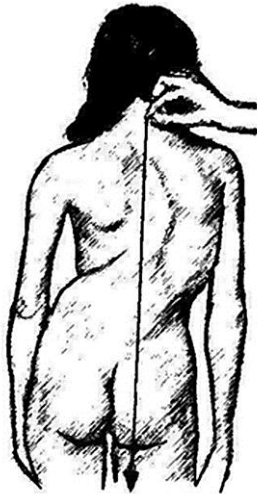
5.10. ábra - Kyphosis dorsalis juvenilis (Dr. Baán Ildikó ajándéka)



a.g./ Gerincferdülések (*scoliosis*ok)

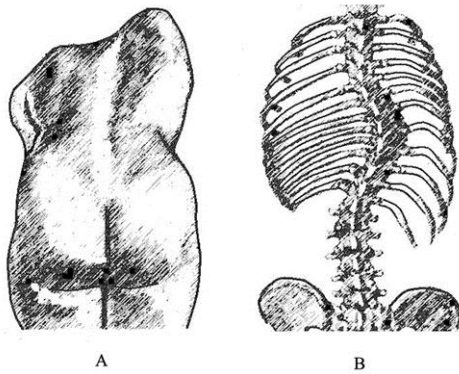
A gerincgörbület oldalirányú és frontális síkú kóros elváltozás (5.11. ábra). A kóreredit szerinti osztályozás alapján ismert és ismeretlen eredetű gerincferdülésekről beszélünk. Előbbi esetben egy felismert betegség (angolkór), vagy fejlődési rendellenesség (pl. ékcsigolya) lehet az oka.

5.11. ábra - A gerinc sagittális síkban való görbülete (Dr. Baán Ildikó ajándéka)



Ismeretlen eredetű *scoliosis* pl. a késői gyermekkor és a serdülőkor betegsége az idiopáthiás strukturális *scoliosis*. Jellemzője a jobbra konvex háti *scoliosis*. Fájdalmatlan bordapúp okozza a mellkasi deformitást, ami a szív és a tüdő károsodását is okozhatja. A bordapúpok a borda deformálódás eredményei, melyeket a csigolyák csavarodása idéz elő (5.12. ábra). A folyamat a csontos érettség végével lelassul, majd meg is állhat. Más megjelenési formái is vannak, melyekben a görbület lehet dupla („S” alakú), amikor a háti gerinc jobbra vagy balra konvex görbülete alatt az ágyéki gerinc ellenirányú deformitása látható.

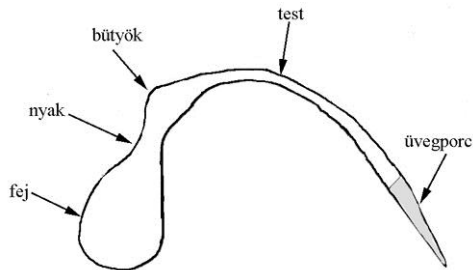
5.12. ábra - Strukturális *scoliosis* bordapúppal (A), külön kiemelve a gerinc formáját (B) (Dr. Baán Ildikó ajándéka)



b./ Bordák (*costae*)

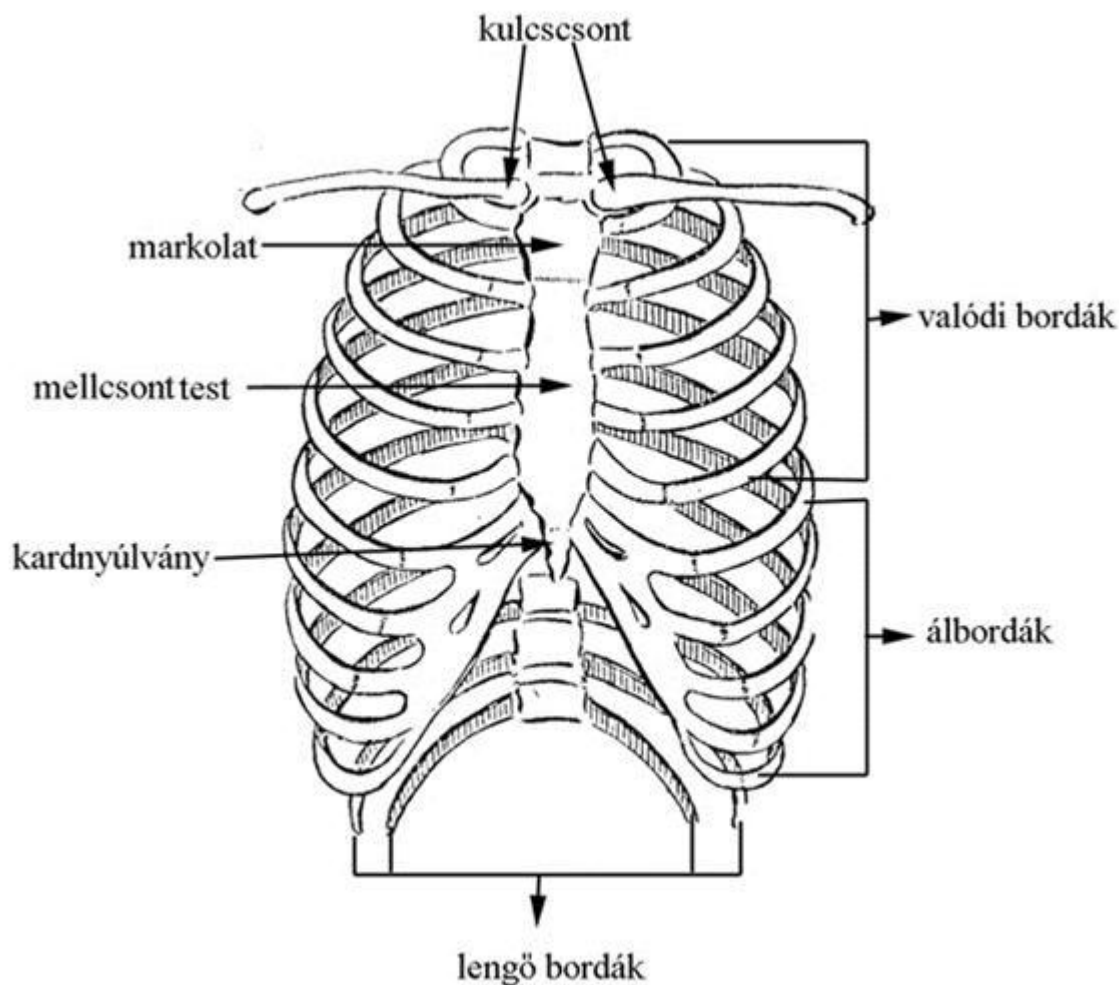
Abroncs alakú, lapjukra hajlított és csavart lapos csontok. 12 pár bordánk van. A **bordák** részei (5.13. ábra) a *bordafej* (*caput costae*), ezt követi a keskeny *bordanyak* (*colum costae*), majd az ívben hajlott *borda test* (*corpus costae*) következik. A bordatest hátsó felső részén az ún. *bordabütyök* (*tuberculum costae*) található. A bordák szegycsont felé eső részén üvegporc van.

5.13. ábra - A borda és részei



Annak alapján, hogy a bordák üvegporc része hogyan kapcsolódik a szegycsonthoz, három féle bordatípust tudunk elkülöníteni (5.14. ábra). Ha a bordapár, ilyen a felső 7 pár, külön-külön porccal kapcsolódik a szegycsonthoz, akkor **valódi bordákról** beszélünk.

5.14. ábra - A mellkas elülső felszíne



Ha a bordák közös porccal kapcsolódnak a szegycsonthoz, akkor ezek adják az **álborderákat**. Ilyen a 8., a 9. és a 10. bordapár.

A 11. és 12. bordapár nincs összeköttetésben a szegycsonttal, az izomban szabadon végződnek. Ez a két pár borda a **repülő bordapár**.

A bordák két helyen ízesülnek a csigolyákhoz. A bordák feje a csigolyatestével forgó, míg a borda bütyök a harántnyúlvánnyal csuklóízületet formál. A bordák a forgóízületben a bordaközi izmok hatására elfordulva a mellkast nyírási irányban és harántirányban is tágitják, szélesítik. A bordák porcoss végei fokozzák a mellkas rugalmasságát, ezek a légzés mechanizmusában fontos tényezők.

c./ Szegycsont (mellcsont, **sternum**)

A mellkas közepén levő római kardhoz hasonló csont (5.14. ábra). *Markolat* (*manubrium sterni*), *test* (*corpus sterni*) és *kardnyúlványi* (*processus ensiformis*) részt lehet rajta elkülöníteni. A markolat két oldalához ízesülnek a kulcscsontok.

Mellkas

A **mellkas** csontos vázát a bordák, a szegycsont és a hátszigolyák alkotják. Ürege a **mellüreg** (**cavum thoracis**). A rekesz a testüreget két részre osztja. A felső rész a mellüreg, az alsó része a hasüreg. A **mellüreg** a légcsövet, nyelőcsövet, tüdőt és a szívet védi, míg a **hasüreg** a hasüregi szervek egy részét, mint pl. a májat, gyomrot, lépét.

1.7.3. A végtagok csontjai

Felső és alsó végtagokról beszélünk. Szerkezeti felépítésük azonos. Manipulációra, a dinamikusabb nagyterjedésű mozgásokra a felső végtag, a test tömegének alátámasztására, statikai funkciókra az alsó végtag specializálódott.

Mindkét végtag a törzshöz *függesztő*övekkel kapcsolódik. Ez a felső végtagnál a vállöv, az alsónál a medenceöv. A függesztőövekhez kapcsolódnak a *szabad, felső és alsó végtagok*.

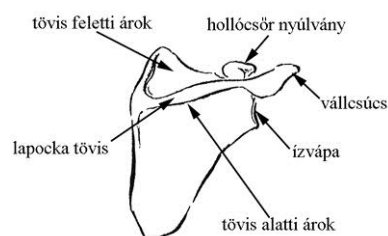
a./ *A felső végtag: részei a vállöv és a felső szabad végtag.*

a.a./ *Vállöv.* A felső szabad végtagot kapcsolja a mellkashoz. Részei a kulcscsont és a lapockacsont.

Kulcscsont (clavicula). A mellkas felső részén, vízszintes síkban helyezkedik el „S” alakban görbült. Belső vég része a szegycsont markolatával (5.14. ábra), míg külső vég része a lapockával a vállcsúcsban ízesül. Indirekt erőhatásra, a kéz letámasztásakor hajlítós törése, birkózók, sízők, röplabdázók között gyakori.

Lapockacsont (scapula). Háromszög alakú, lapos csont a hát felső részén (5.15. ábra). Hátsó felszínén a felső egyharmadában *lapockatővis (spina scapulae)* van, aminek túlnyúló az ízületi árok fölé hajló része a *vállcsúcs (acromion)*. A lapockatővis felett mély árok, mögötte pedig egy nyílabb gödör látható. A lapocka hónalj felé eső részéről indul a *hollócsőr csont nyúlvány (processus coracoideus)*, ami jól kitapintható.

5.15. ábra - A lapocka és részei



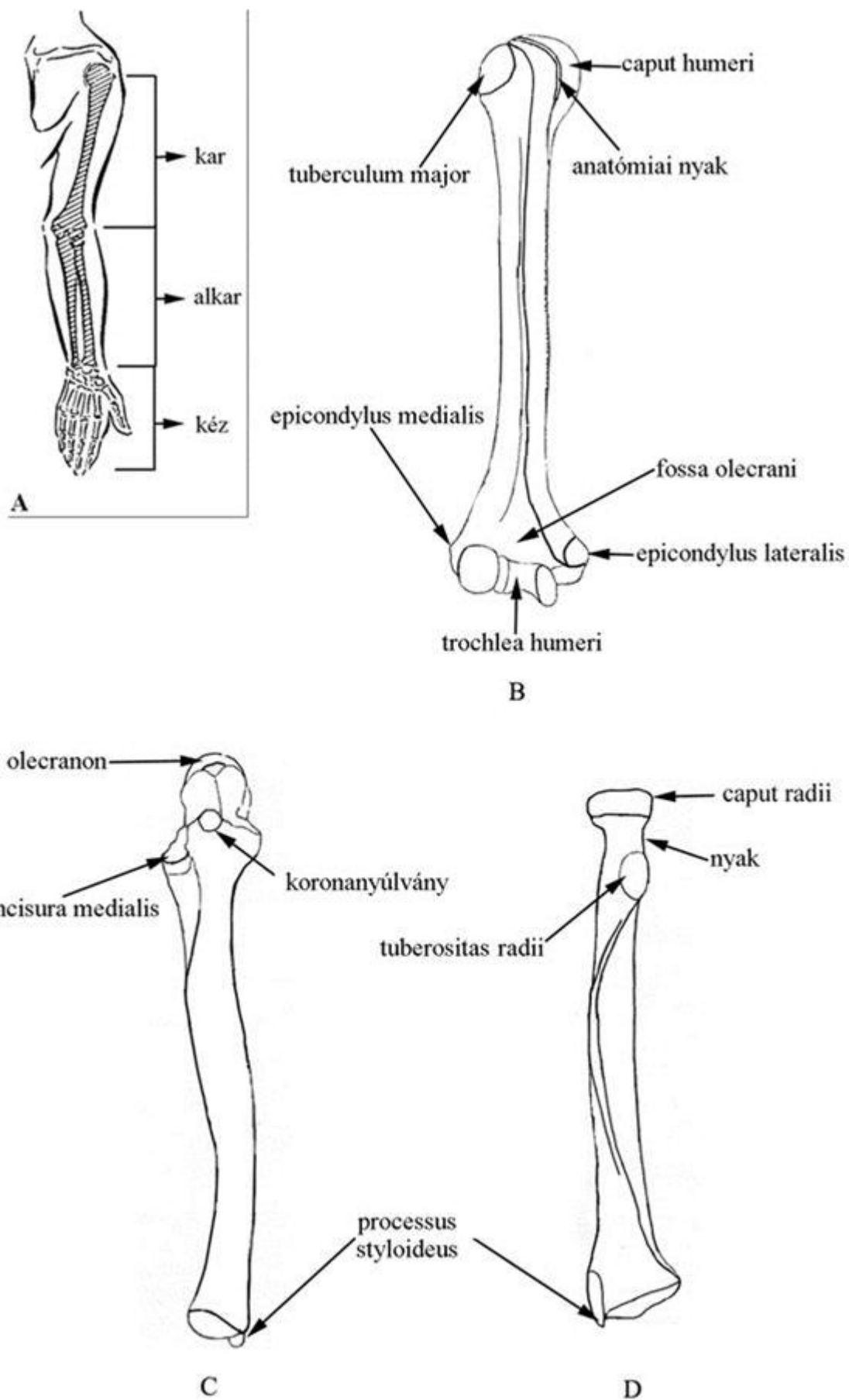
a.b./ *Felső szabad végtag: részei*

- *Kar (brachium)*
- *Alkar (antebrachium)*
- *Kéz (manus)*

A *kar csontja a felkarcsont (humerus)*, 5.16. ábra, A. és B. képek). Hosszú csöves csont. A testén található érdesség az izomtapadást segíti. Proximális epiphysisén egy gömbölyű rész a *humerus feje (caput humeri)* található, ami a vállízület részét képezi. A fejet az *anatómiai nyak* veszi körül. A nyak alatt két gumószerű kiemelkedés található. A középvonalhoz közelebbi *kis- (tuberculum minus)*, míg a távolabbi a *nagy gumó (tuberculum majus)*. A felkar distalis epiphysise a könyökízület alkotásában vesz részt.

A felkar végrészén két kiemelkedés található, melyek közül a belső az *epicondylus medialis*, oldalsó az *epicondylus lateralis*. A humerus distalis részén két porcborítású ízületi felszín is található. A medialis pörge a *trochlea humeri* ez a singcsonttal, az oldalsó a *capitulum humeri* az orsócsonttal ízesül.

5.16. ábra - A felső szabad végtag és részei (A)



B: felkarcsont, **C:** singcsont, **D:** orsócsont

Az *alkar* csontjai a singcsont és az orsócsont.

A *singcsont* (**ulna**, 5.16. ábra, C. kép). Teste keresztmetszetben háromszög alakú. Az orsócsont felé eső felszínén éles taraj húzódik, melyen a két alkarcsont közötti hártya tapad. A singcsont proximális vég része villásan ágazik el. A villa előretekintő része a felkarcsont trochlea humeri-jével ízesül. Az ízfelszín közepén egy csontléc szerű kiemelkedés látható, aminek felső kampószerű része az *olecranon*. Az ulna bemélyedésének elülső részén a *koronanyúlvány* (*processus coronoideus*) látható.

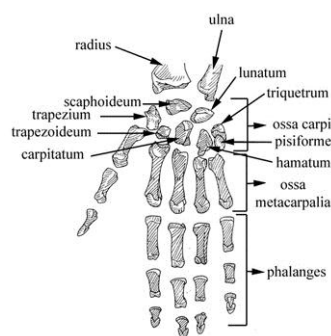
A singcsont distális vége gömbszerű, melyből dorso-mediálisan egy kis csonttövis a *processus styloideus* nyúlik lefelé.

Orsócsont (**radius**, 5.16. ábra, D. kép). Nagyjából kerek keresztmetszetű. A csont proximális vége kisebb, mint a distális. A proximális végen találjuk az orsócsont *fejét* (*caput radii*), s alatta az orsócsont *nyaki* részét tudjuk elkülöníteni. Ezen elöl és mediálisan dombszerű érdesség a *tuberositas radii* található.

A csont távolabbi vége kiszélesedik, melynek külső oldalán található a *processus styloideus*.

A **kéz csontjai** a kéztő-, a kézközép- és ujjpercek csontjaiból állnak (5.17. ábra).

5.17. ábra - A kéz csontjai



Kéztőcsontok (**ossa carpi**). Számuk nyolc. Szabálytalan alakú, kis csontok. Két sorban helyezkednek el. A közelebbi sorban (a hüvelykujj felől) *sajkacsont* (*scaphoideum*)-, *holdas* (*lunatum*), *háromszögű* (*triquetrum*) és a *borsócsont* (*pisiforme*), míg a távolabbi sorban a *nagy* (*trapezium*)-, és *kis szögű* (*trapezoideum*)-, a *fejes* (*capitatum*) és *horgas* (*hamatum*) csontok helyezkednek el.

Kézközépcsontok (**ossa metacarpalia**). Rövid, csöves csontok. Számuk öt. Proximális végük ék alakú, távolabbi végükön gömb alakú ízületi fej található. Ettől csak a hüvelykujj tér el, mert a nagyszögű csonttal nyeregízülettel kapcsolódik.

Ujjperccsontok (**phalanges**). Minden ujj alapfelépítése azonos, azaz alap-, közép- és körömpercből állnak, kivétel a hüvelykujj, amelyik két ízü.

a.c./ A felső végtag csontjainak összeköttetései

a.c.a. A vállöv ízületei:

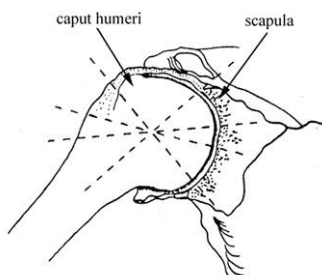
Szegy-kulcs csonti ízület: az ízületben egy járulékos porckorong (*discus*) is található. Az ízület korlátozott mértékben de a tér minden irányában képes kitéréseket végezni, tehát szabad ízület. Fő mozgásai a homlok-, a nyírányú síkokban, valamint forogni (30-35°) képes a hossz tengelyében.

Vállcsúcs-kulcs csonti ízület: a lapocka tövisnyúlványának végén, a vállcsúcson levő lapos felszín és a kulcs csont távolabbi vége, mint ízületi fej közötti korlátozott szabad ízület. Ez az ízület járul hozzá ahhoz, hogy a vállöv szabadabb mozgást végezzen, de ugyanakkor ez az ízület teszi lehetővé azt, hogy az izmokba ágyazott lapockának nem kell a mellkas felületéről felemelkednie.

a.c.b. A felső szabad végtag ízületei

Vállizület (articulatio humeri; 5.18. ábra) a felkarcsont és a lapocka közötti mozgatható csontösszeköttetés. A humerus feje, mint ízületi fej és a lapocka kivájt ízületi bemélyedése képez egy soktengelyű gömbízületet. Az ízületi fej és az ízületi vápa nem azonos kiterjedésűek, az ízületi vápa kisebb a fejnél. Ez a mozgás kiterjedését teszi lehetővé. Az erős ízületi tokon kívül még két csont – a hollócsőr nyúlvány és a vállcsúcs – között kifeszülő szalag is védi, főleg a nyújtott karral a földre való zuhanáskor. Ilyenkor a boltozatként viselkedő szalag közvetítésével indirekt úton törhet le a lapocka tövise a vállcsúcs, vagy gyakrabban a kulcscsont. Bár erős az ízület tokja, mégis nagy szükség van az ízület helyben tartásához a vállat körülvevő erős izomköpenyre.

5.18. ábra - Vállizület



A szaggatott vonalak a mozgástengelyeket mutatják.

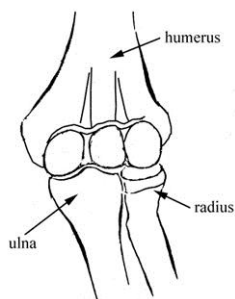
Fő mozgásai a tér három irányának megfelelő tengely körül történnek.

1. A nyílrányú tengely körül a törzshöz közelítés-távolítás.
2. A homloksíkban levő vízszintes tengely körül előre-hátra lendítés (anteflexio-retroflexio).
3. A felkarcsont hossztengelye körüli kifelé-befelé való forgás.

A tengelyeket figyelembevéve a felkar egy kúp-palást mentén végezheti mozgásait (ez természetesen csak a lágyrészekről mentes vállizületre vonatkoznak). Ezeknek a mozgásoknak mértékét az ízületet burkoló izomköpeny korlátozza. Az, hogy a sportoló képes-e a mozgások szélső értékeit – anatómiai határait megközelíteni, nagyban függ az ilyen irányú sportedzés időpontjától és annak mennyiségétől, minőségétől. Pl. korai és túlzott lazító-nyújtó edzőmunka sok későbbi sérülés oka, sőt súlyosabb esetben a sportolói pályafutás végét is jelentheti (tornászok, küzdősportolók, dobóatléták).

Könyökízület (articulatio cubiti; 5.19. ábra). Összetett ízület, mivel létrehozásában - egy közös ízületi tokon belül - három csont vesz részt, nevezetesen a felkarcsont, az orsócsont és a singcsont. Az ízület mozgásában mindhárom csont részt vesz, három részízület van jelen, úgymint a felkarcsont-orsócsont, felkarcsont-singcsont, orsócsont-singcsont ízületei.

5.19. ábra - Könyökízület



A **felkarcsont a singcsont ízülete**, ahol a felkarcsont a singcsont villakulcs formájú mélyedésébe, mint ízületi vápába illeszkedik. Az ízvápa felszínén vezetőléc emelkedik ki az oldalmozgások kiküszöbölésére. Az ízületi tengely a felkar hossztengelyére nem merőleges, befelé kissé lejt. Így alaphelyzetben (függőlegesen lógatva) mély tartásban az alkar és a felkar között kifelé tompaszög keletkezik, ami a csípőhajlatot követi. Nőknél ez fokozottabb.

A felkarcsont és az orsócsont ízülete. A csontok alakjuk szerint szabad ízületet alkotnak, az orsócsontnak a singcsontozatba való rögzítettsége azonban ezt alaposan korlátozza.

A másik fő mozgás a **két alkarcsont közötti ízületben** játszódik le. Itt az ízületi fejet az orsócsont henger alakú fejének oldalán levő ízületi porccal burkolt hengerpalást jelenti, mely a singcsont vájulatában helyezkedik el. A teljes ízület szerkezetéhez hozzá tartozik, az orsó és a singcsont távolabbi végén elhelyezkedő ízület is, melyben a két alkarcsont egymással a fentiekhez hasonlóan kapcsolódik, de megfordított szerepkörben. Alul a singcsont képezi az ízületi fejet és az orsócsont oldalsó vájolata az ízvápa.

Az ízület mozgása két tengely körül valósul meg. A felkarcsont pörgőjének közel vízszintes tengelye körül a **hajlítás-feszítés** történik. Itt a lágyrészek fejlettsége, súrlódásuk képezhet akadályt. Feszítésnél a szalagok és izmok feszülése csontos ütközés nélkül is előbb lép fel a túlfeszítettség gátló tényezőjeként. A **forgatás** a felkarcsont hossz tengelyének meghosszabbításából adódó tengelye körül történik. Az egymáshoz képest történő elmozdulás eredményeként a **tenyér felfelé (supinatio)** ill. **lefelé (pronatio)** fordulása következik be. Ha nyújtjuk a könyököt akkor még a vállízületben, sőt a vállövben is forgási lehetőség adódik.

a.c.c. A kéz ízületei

Kéz csukló-ízület. A kéztőcsontok proximális sorát alkotó csontok fejei és az orsócsont ízvápája, valamint a singcsontot meghosszabbító ízületi porc (discus) között alakul ki. Az ízületben csuklónkat a haránttengely körül feszíteni (kézháti) és hajlítani (tenyér) tudjuk.

Kéztő és a kézközépcsontok közötti ízületek feszes ízületek. Egyedül az első kézközép és a nagy sokszögletű csont közti nyeregízület biztosít nagyobb mozgást.

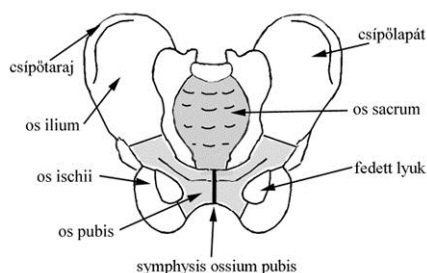
Kézközépcsontok és az ujjak alappercei közötti ízületekben tenyéri hajlítás és kismértékű háti feszítés vihető ki, valamint az ujjak egymáshoz viszonyítva közelíthetők és távolíthatók.

Az ujjpercek között hengerízület van, a mozgás hajlítás és feszítés.

b./ Alsó végtag részei a medenceöv és az alsó szabad végtag.

b.a./ **Medenceöv.** Egy zárt csontgyűrű (5.20. ábra), ami felül szélesebb, alul keskenyebb. Felépítésében résztvevő csontok a medencecsont és a páratlan keresztcsont. Ez utóbbit ld. a gerincnél.

5.20. ábra - A medence és részei



Medencecsont (os coxae). Három különálló csontból fejlődik, melyek kb. a nemi érés kezdetekor összezsugorodnak. Csontjai:

Csípőcsont (os ilium). Test és csípőlapát részét tudjuk elkülöníteni. A test zömök és a csípőízület vápájának kialakításában vesz részt. A **csípőlapát** felfelé kiszélesedik, pereme a csípőtaraj, amin hasizmok eredésére ill. tapadására szolgáló érdes vonalak vannak.

A csípőlapát elülső felső és elülső alsó részén kiemelkedések, a **csípőtővisék** figyelhetők meg. Csípőtővisék a csípőlapát hátsó részén is megfigyelhetők hasonló elrendezésben, mint az elülső részen.

Ülőcsont (os ischii). A csont teste szintén a csípőízület vápájának alkotásában vesz részt. Szára szögletben megtörve az ülőgumót képezi a vízszintes szárba való átmenet határán.

Szeméremcsont (os pubis). Ez a csont is részt vesz a csípőízület alkotásában. Alsó része „V” alakot mutató szárai közül a felső a kismedence bemenetét képezi. A kétoldali szeméremcsont elöl közepén a **symphysis**

egyedül. Az innen kiinduló szára az ülőcsont száraival együtt a *fedett lyukat (foramen obturatorium)* fogják közre.

A kétoldali szeméremcsont rostos porcos összeköttetéssel kapcsolódik egymáshoz. A porc belsejében egy keskeny rés van.

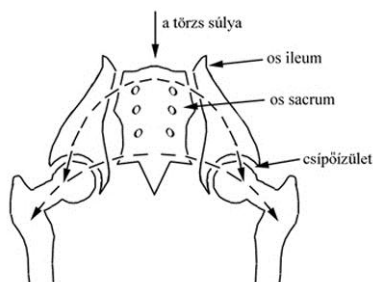
Medence (*pelvis*)

A medenceöv csontjai a kétoldali medencecsont, a keresztcsont a hozzá csatlakozó farokcsont ízületesen kapcsolódva egy tölszerű formájú csontos gyűrűt alakít ki, amit *medencének* nevezünk. Ürege a medence ürege (*cavum pelvis*). Kis- (*pelvis minor*) és nagymedence (*pelvis major*) részre tudjuk osztani. A kismedence a tulajdonképpeni csontgyűrű alsó része, míg a nagymedence a csípőlapátok és az ágyéki gerinc által határolt terület.

A medence statikája

A medence felépítésében ellentmond a boltíves szerkezet építészeti elvének. Az építészetben a szélesebb építőelemek alul, míg a keskenyek felül helyezkednek el. A medence esetében ez fordítva látható (5.21. ábra). Ennek ellenére a keresztcsont mégsem csúszik a medencecsontok közé, mert a rájuk ható erők szinte összeprésselik a csontfelszíneket a szalagrendszer áttételével.

5.21. ábra - A medence boltozatos szerkezete



A medence feladata a test súlyának hordozása. A test felső részének súlya a gerinc csigolyáira nehezedik. Ez a súly áttevődik a keresztcsont, ami ezt oldalra a két medencecsont felé továbbítja. A két medencecsont felől a súly az alsó végtagokra tevődik át a csípőízületen keresztül.

A medence végleges formája a járás során alakul ki. A csecsemő keresztcsontja még teljesen egyenes, a csípőlapátok csaknem a sagittális síkban helyezkednek el. A járás tanulásával a medencére nehezedő testsúly fokozatosan kialakítja a keresztcsont vájulatát és az oldalirányba ható erők a csípőlapátnak a homloksíkba történő elhajlását. Üléskor a medencére más erőhatások érvényesülnek. Ilyenkor a medence a két ülőgumóra támaszkodik.

Nemi különbségek

A női medencebemenet haránt-ovális, a férfié szív alakú. A női medence alacsonyabb és szélesebb, mint a férfié. A szeméremcsontok által bezárt szög a nőknél nagyobb (kb. 90°), mint férfiaknál (kb. 75°). A symphysis a nőknél alacsonyabb. A foramen obturatum nőknél háromszög, a férfiaknál ovális alakú. A női csípőcsontok szárnyai szélesebbek és laposabbak, a *spina iliaca anterior (csípőtővis)* nőknél általában hegyesebb. A symphysis a 30. életév körül lassú szerkezeti átalakuláson megy keresztül, ugyanis a rostos porc elmeszesedik, mely a medence tágulékenységét gátolja, a medence-bemenet részlegesen beszűkül. Emiatt a nőknél az első szülést a 30. életév előtt javasolták. Ekkor ugyanis szülés közben a rostos porc szerkezete kissé fellazul, eredeti struktúrája nem áll vissza, így a medence-bemenet enyhén megnagyobbodik. Ennek különösen nagy jelentősége lett az elmúlt évtizedekben, ugyanis az újszülöttek testsúlya is szignifikánsan nagyobb. A két faktor együtt növeli a „császár-metszéssel” szülés esélyét.

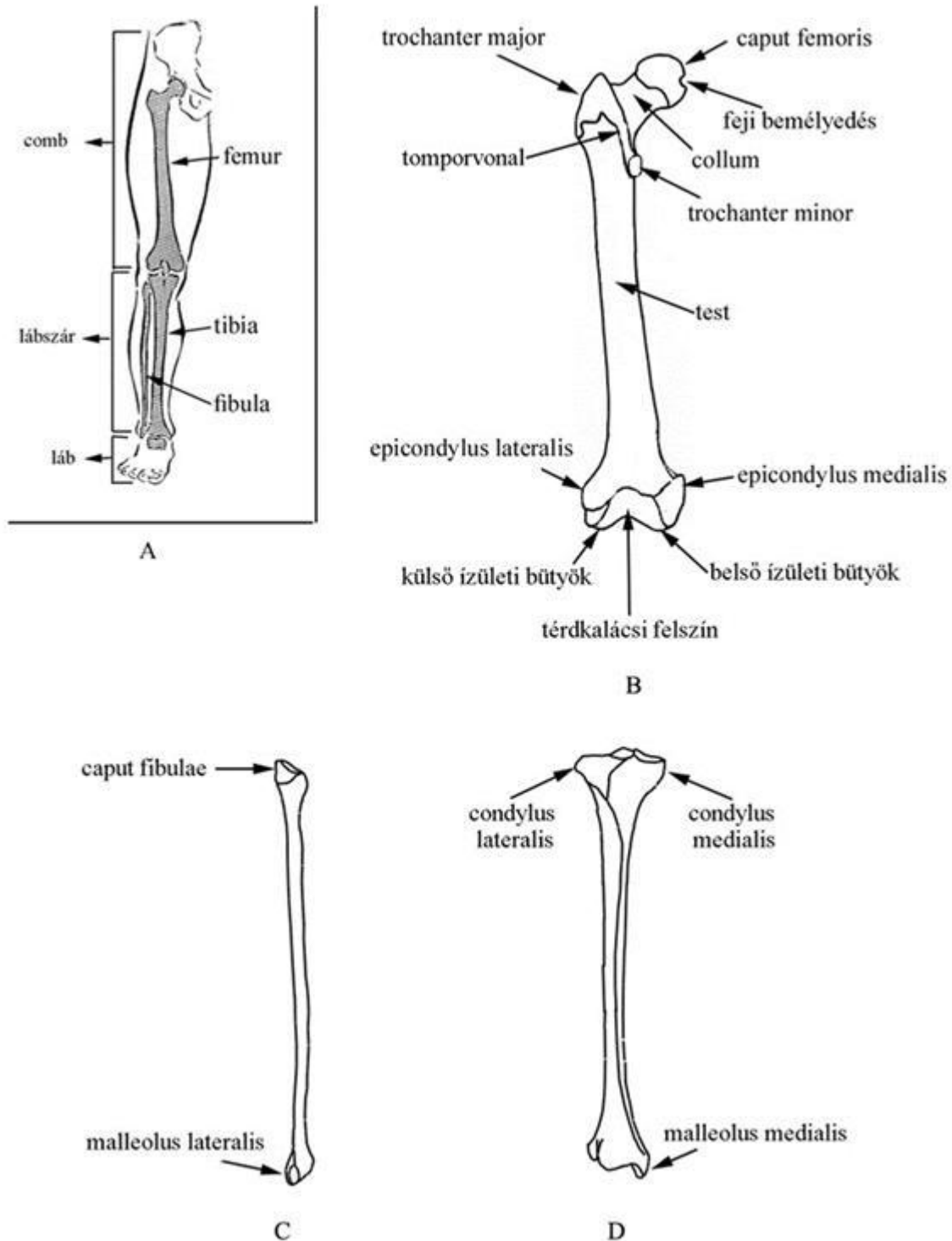
b.b./ Alsó szabad végtag

Részei (5.22. ábra, A. kép):

- comb (femur)

- lábszár (crus)
- láb (pes).

5.22. ábra - Az alsó szabad végtag és részei (A)



B: combcsont, **C:** szárkapocs, **D:** sípcsont

A comb csontja a **combcson**t (**femur**, 5.22. ábra, B. kép). Testünk legnagyobb és leghosszabb csontja. Testén érdes élek húzódnak, melyek izmok tapadására szolgálnak. Proximális epiphysisén találjuk a combcsont gömbalakú *fejét* (*caput femoris*). A fej az elkeskenyedő *nyakban* (*collum*) folytatódik, ami a combcsont *testével*

tompaszögben találkozik. A test és a nyak határán *csontdudorok* (*nagy és kistompor; trochanter major és trochanter minor*) emelkednek ki.

A combcsont testtől távolabbi (distális) epiphysisén kiszélesedő *külső és belső bütykök vagy dudorok* (*epicondylus lateralis és medialis*) láthatók, amelyek a térdízület alkotásában vesznek részt. A combcsont elülső felszínéhez a térdkalács illeszkedik.

Térdkalács (patella). Lapos szelídgesztenyéhez hasonló csont. A combfeszítő izmok tapadó inában és a térdízületi tokban található, mint „íncsont”.

A *lábszár* csontjai a sípcsont és a szárkapocs.

A *sípcsont* (**tibia**; 5.22. ábra, D. kép) erősebb csont, mint a szárkapocs. A csont keresztmetszetben háromszögletű formát mutat. Felszínei közül az elülső közvetlenül a bőr

alatt tapintható. Oldalsó felszíne ettől oldalt, míg hátsó felszíne a láb-hajlító izmai felé néz. A felszínek élekben találkoznak. Élei közül az elülső, különösen felső részén érdes, ami az izomtapadást szolgálja. Oldalsó élén a síp és a szárkapocscsont közt kifeszülő csonthártya tapad.

A csont közelebbi (proximális) epiphysise antik oszlopfőhöz hasonlóan kiszélesedik. Ezek a kiszélesedések mediális és laterális helyzetűek (*condylus medialis és lateralis*), melyek mindegyikén ízfelszín található. Az ovális ízfelszínek között járulékos porckorongok (meniscus) található.

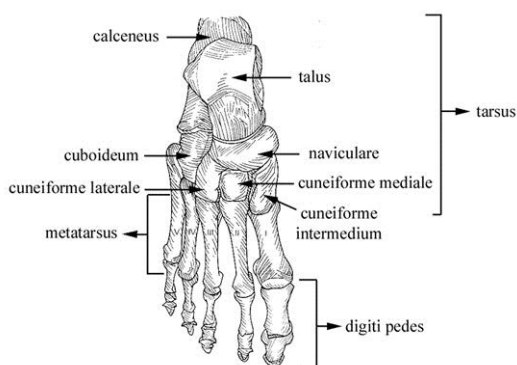
A csont távolabbi vége (distális epiphysis) ugyancsak kiszélesedve megvastagszik, és a bokavilla mediális oldalán (*malleolus medialis*), az ugrócsonttal létesít ízületi kapcsolatot.

Szárkapocs (fibula; 5.22. ábra, C. kép). Vékony pálcaszerű csont. Ez a csont is keresztmetszetben háromszögletű. Testközeli csontvégén a szárkapocs *fejecse (caput fibulae)* van, amin a sípcsont felé néző lapos ízületi felszín látható.

A csont távolabbi végére kiszélesedik és a *külső (laterális) bokát (malleolus lateralis)* képezi. Mint a bokavilla külső ága, befelé néző felszíne porccal borított. Az ugrócsonttal és a sípcsonttal alkotja a felső ugróízületet.

A **láb csontjai** a lábtő, a lábközép és az ujjpercek csontjai (5.23. ábra).

5.23. ábra - A láb csontjai



Lábtőcsontok (tarsus). Számuk 7. Ezek az *ugrócsont (talus)*, a *sarokcsont (calcaneus)*, a *sajkacsont (naviculare)*, a *belső- (cuneiforme mediale)*, a *középső- (cuneiforme intermedium)* és a *külső ékcsonok (cuneiforme laterale)*, valamint a *köbcsont (cuboideum)*.

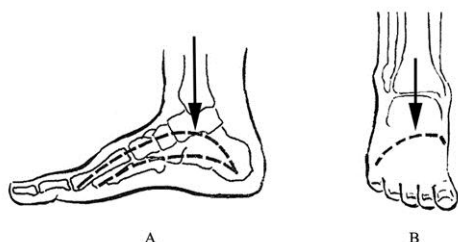
Közülük a lábszárcsontokhoz legközelebb az ugrócsont helyezkedik el. Felfelé néző domború vége, mint ízületi felszín a bokavillába illeszkedik. Alsó részén több ízületi felszín található, melyek a sarokcsonttal létesítenek kapcsolatot.

A *sarokcsont* szabálytalan téglalap alakú. Hátsó sarokgumó részén tapad az Achilles ín. Felső részén az ugrócsonttal ízesül.

Lábboltozatok

A láb szerkezetének megértéséhez a *lábboltozatokat* kell megismerni (5.24. ábra).

5.24. ábra - A lábboltozatok



A: hosszanti boltozat, **B:** harántboltozat

Egy hosszanti és egy harántirányú boltozatot különíthetünk el. A *hosszanti boltozat* a sarokcsont, a három ékcsontról és a köbcsontból alkotja. Ennek a boltozatnak az az érdekessége, hogy a testsúly nem az ív közepén, hanem hátsó részén az ugrócsont (boka) nehezedik. A boltozat szerepe a rázkódások csillapítása, a talpon levő lágyrészek védelme. Ha az ízületi szalagok, az izmok összetartó ereje gyengül, akkor az ugrócsont feje lesüllyed, aminek jeleként nedves talppal a talajon hagyott lábnyom babapiskóta-formája helyett szabálytalan, ovális lenyomatot mutat. Ekkor laposlábról, **bokasüllyedésről** beszélünk.

Az ékcsontról és a lábközépcsontok közelebbi végreszei harántirányban szintén boltozatos szerkezetet mutatnak (*harántboltozat*). Ez a boltozat is a lágyrészekben levő erek, idegek és inak védelmét biztosítja. A harántboltozat süllyedése a **lúdtalp** (*pes planus*), mikor a boltozat ellapulása miatt az előláb kiszélesedik.

Lábközépcsontok (metatarsus) és az ujjperccsontok (digiti pedes), hasonlóak a kézközép és kézujjpercek csontjaihoz azzal az eltéréssel, hogy ezek kissé vastagabbak, vagy főleg az ujjperccsontok csőkevényesek.

b.c./ Az alsó végtag csontjainak összeköttetései

b.c.a. A medenceöv ízületei

Medenceízület (articulatio sacroiliaca). A keresztcsont két oldalán levő ízületi felszínek a medencecsontokkal kapcsolódnak feszes ízületben. A csontok között elmozdulás alig történik.

Symphysis pubica. A kétoldali pubis között elől porcos összeköttetés (ld. Csontösszeköttetések). A szeméremcsontok elől *porcos, szalagos összeköttetésekben* egyesülnek.

b.c.b. Az alsó szabad végtag ízületei

Csípőízület (articulatio coxae). A medenceövet az alsó végtaggal kapcsolja össze (5.21. ábra). A medencecsont ízvápja mély, a combcsont fejének 2/3-át befogadja. (dióízület ld. Csontösszeköttetések). Mivel a combcsont feje teljes egészében a csípővápában van, ezért pl. eséseknél a combcsont nyaki része reped vagy törik el (*combnyak törés*). Az ízületi tokot kívülről számos szalag erősíti. Ilyen szalag van magában az ízületben is (*ligamentum teres femoris*).

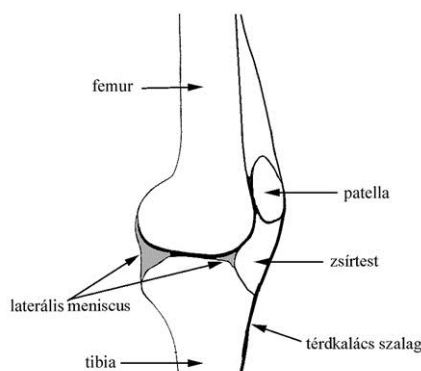
Mozgása három tengely mentén történik:

1. Flexio-extenzio a haránttengely mentén. A feszítés kisebb fokú, mint a hajlítás, mert a feszítésnél az ízületi tokra csavarodó ízületi szalagok gátolják a további hátramozgást.
2. Közelítés-távolítás, ahol a távolítás a nagyobb mértékű.
3. Forgás (rotáció). Kifelé és befelé is történhet. A kifelé forgatás a nagyobb mértékű. Behajlított térd mellett a forgatás 90°-ot is elérheti.

A látszólag nagyobb kitérések pl. spárta és egyéb testhelyzetek esetén a medence egyéb mozgásainak (előrehajlása) következményeként fogható fel.

Térdízület (*articulatio genus*). (5.25. ábra). Az ízület kialakításában a combcsont és a sípcsont mellett a térdkalács is részt vesz.

5.25. ábra - A térdízület nyílrányú metszete



Az ízfeket a combcsont bütykei, míg a vápákat a sípcsont felső részén található ízfelszínek szolgáltatják. Az ízesülő csontvégek felszínei egymásnak nem lenyomatai, ezért mediális és laterális meniscusok illeszkednek a csontvégek közé.

A térdet két-két *oldalszalag* (*mediális és laterális*) valamint az *elülső és a hátsó keresztszalag* stabilizálja. Az oldalszalagok a kóros oldalirányú erőbehatásoktól, a keresztszalagok a lábszárnak a combcsonthoz képest előre ill. hátra irányuló elmozdulásától védnek.

A térdízület fő mozgásai:

- hajlítás-feszítés,
- nyújtás (extenzio)
- forgatás (rotáció).

Hajlításnál a belső keresztszalagok megfeszülése és a lágyrészek torlódása kb.160°-nál szab határt. Feszítéskor csak minimális mértékben haladja meg az ízület a 180°-os alapállást. A túlfeszítést az oldalszalagok megfeszülése akadályozza meg.

Forgatás csak behajlított térd esetében lehetséges, mert ekkor az oldalszalagok lazák. Nyújtott térdnél az oldalszalagok megfeszülnek s ilyenkor a forgás a csípőízület forgatásából adódik.

A lábszárcsontok összeköttetései. A lábszárcsontokat felül ízület, alul szalagok kapcsolják össze. Az ízület alkotásában a sípcsont külső bütyke és a szárcapoc fejének lapos felszíne vesz részt. Az ízület tokja feszes. Elülső és hátsó felszínén egy-egy erősítő szalagot találunk. Típusát tekintve feszes ízület.

A sípcsont és a szárcapoc szalagos összeköttetése két részből áll, a lábszárcsontok között kifeszülő kötőszöveti hártýából és a csont alsó végrészeit összekötő szalagokból.

A szárcapoc külboka feletti keskeny része befekszik a sípcsont szárcapcsi bevágásába. A csontvégeket erős szalag fűzi össze. A lábszárcsontok kapcsolódása nem mozgékony.

A láb ízülete. A láb váza a test súlyát hordozó különböző helyváltoztatásokhoz (járás, futás, ugrás) jól alkalmazkodó statikai szerkezet.

Bokaízület. Ez az ízület a lábszárat a lábbal kapcsolja össze. Benne egy felső (**articulatio talo-cruralis**) és egy alsó (**articulatio talo-tarsalis**) *ugróízületet* különítünk el. A felső ugróízületben a lábszárcsontok alsó végei által alkotott bokavillában (mint ízvápa) fordul el az ugrócsont, mint ízületi fej. Maga az ízület mozgását tekintve csuklóízület. Mozgásai a hajlítás, feszítés. Alatta helyezkedik el az alsó ugróízület, mely az ugrócsont és a sarokcsont között van, mozgása a supinatio és a pronatio. Az ízületi tok mindkét ugróízületet magában foglalja, erős oldalszalagok feszülnek a két oldalán, ezek sérülései gyakoriak.

A boka ún. rándulása, a leggyakoribb sportsérülések egyike. Általában supinatio irányú rándulás jön létre, mely a külső bokaszalagok húzódásával, részleges vagy teljes szakadásával jár.

Lábtőízületek (*articulationes intertarseae*). A lábtő egészben feszes ízületek által összetartott szerkezet. Mégis az ugrócsontnak a többi lábtőcsonttal alkotott ízületei (alsó ugróízület) nem feszes, hanem korlátozott mozgékonyaságú egytengelyű ízületet képeznek.

2. A mozgás aktív rendszere. Az izomzat

2.1. Az izomzat általános jellemzése

A **mozgás aktív rendszerét** a vázizomzat adja, ami önálló **izmokból** (**musculi**; izom = musculus = m.) áll. Az izmok az akaratlagos mozgás szerkezeti és működési egységei. Az izmok nem egyedül, hanem csoportosan működnek. Ennek alapján beszélünk:

1. Azonos működésű (*agonista*, vagy *társizmok*, amit **sinergista izmok**nak is neveznek) izmokról, amelyek egy ízület meghatározott irányú mozgásában vesznek részt. Pl. a kétfejű combizom és bármelyik más térdhajlító izom (pl. musculus sartorius).
2. Azokat az izomcsoportokat, amelyek egymással ellentétes működést fejtenek ki **antagonista izmok**nak hívják (pl. a két- és a háromfejű felkarizom).
3. Azokat az izmokat, amelyek egy másik izom nem kívánatos hatását mozgás komponensét ellensúlyozzák, **közömbös izmok**nak nevezzük (Pl. a csuklót tenyér irányba főleg az orsócsonti és singcsonti csukló hajlító izom mozgatja. Amennyiben egyikük működése kiesik, nem jön létre ún. tiszta tenyéri irányú hajlítás, mert érvényesül a társizom mellékműködése, vagyis hajlítás közben orsócsonti vagy singcsonti irányba húzza a kezét.

Az izmokat *hatásuk és funkcióik* irányára szerint csoportosítjuk, s így beszélhetünk:

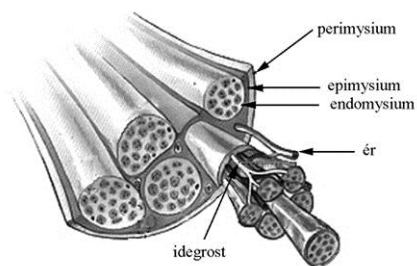
1. hajlító (flexor),
2. feszítő (extenzor),
3. közelítő (adduktor),
4. távolító (abduktor),
5. forgató (rotátor) izmokról.

2.2. Egy izom felépítése

Az izmok fő tömegét az ingerek hatására összehúzódásra képes **izomhas (venter)** adja. Az izomhasat felépítő izomrostok az izomműködés szempontjából nagyon fontos inakba folytatódnak. Az utóbbiak kevésbé nyújthatók és kontrakcióra sem képesek. Az izomhas elernyedtt állapotban puha, összehúzódáskor fokozatosan megkeményszik.

Minden izmot kívülről egy kötőszövetes réteg a **perimysium externum** burkol (5.26. ábra). Ez a réteg válaszfalakat bocsát az izom állományába (*perimysium internum* = **epimysium**). Ezek a válaszfalak az izmot elsődleges, másodlagos és harmadlagos nyalábokra tagolják. Bennük futnak az izom véreire és idegei. Végül is a kis válaszfalak (**endomysium**) az izomrostokat határolják (Izomrost felépítését ld. „Vázizomszövetnél”).

5.26. ábra - Egy izom keresztmetszete



Az izmok felszínét a saját kötőszöveti hüvelyükön kívül, még egy kötőszövetes *izompólya* (*fascia*) is borít. Általában minden fascia csak egy izmot borít, de ismerünk speciális fasciákat is, amelyek több izmot, vagy izomcsoportot vesznek körül (pl. combpólya, lábszárpólya).

Az izomhas a két végén inakban (**tendo**) végződik, ami tömörtrostos kötőszövetből álló selymesfényű szalag. Ezt lazarostos kötőszövetből álló hüvely borítja. A végződésük közül az egyik az eredés, a másik a tapadás. Az izomnak az a vége adja az eredést (**punctum fixum**), amelyik az izom összehúzódásakor nem mozdul el. Tapadásnak pedig azt a végét nevezzük, amelyik összehúzódáskor mozgásban van (**punctum mobile**).

2.2.1. Az izmok járulékos berendezései

Ilyenek a fasciák (ld. korábban), az inahüvelyek, a nyálkatömlők, sesamporcok és a zsírtestek.

Az *inhüvelyek* (**vaginae tendinum**), az izom síkosságát biztosítják. Belső rétege a viscerális lemez befelé az innal nő össze, majd egy szűk rés után az inahüvely fali lemeze következik. A két lemez közötti nedv biztosítja az izmok hüvelyen belüli csúszását. A fali lemezhez tapad a stratum fibrosum.

A *nyálkatömlők* (**bursae synoviales**) feladata közvetlenül a csonton elcsúszó izom védelme.

Sesamporcok, vagy csontok (**ossa sesamoidea**) az inak nyomásnak kitett helyein fordulnak elő. Ilyen csont pl. a patella.

Zsírtestek (**corpora adiposa**). Az egyes izmok között terülnék el és könnyítik elmozdulásukat.

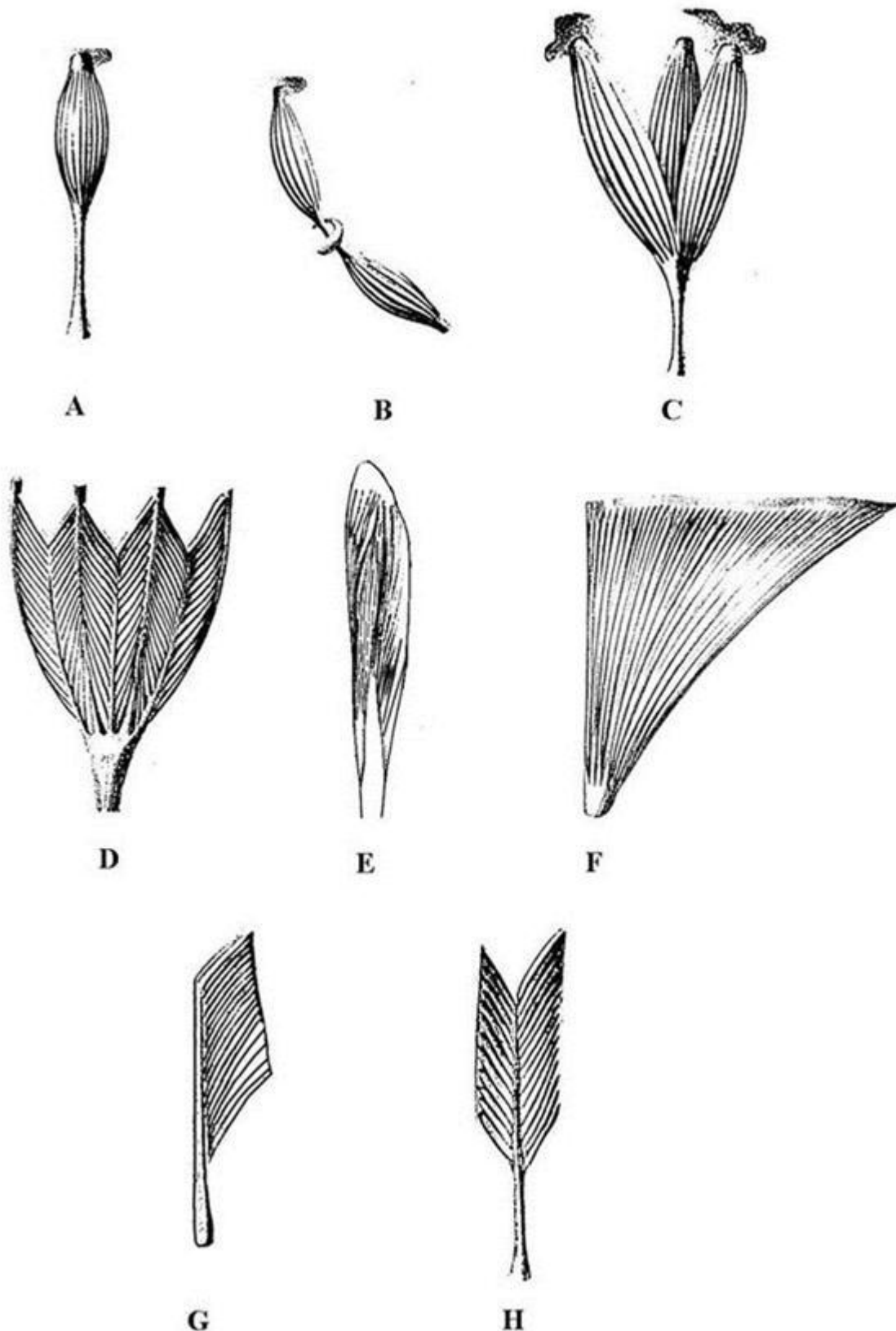
Az izmok erekkel és idegekkel gazdagon ellátottak. Az idegek lehetnek érző, mozgató és vegetatív idegrostok (ld. „Izomszövet idegvégződése”).

2.3. Az izmok alaktani csoportosítása

Általában az izmoknak egy eredése és egy tapadása van. A kettő között található az izomhas. Az ilyen megjelenésű izom az orsó vagy **egyhasú izom** (5.27. ábra, A. kép). Ha az izomhasat egy kötőszövetes befűződés két részre osztja, akkor **kéthasú izomról** beszélünk (5.27. ábra, B. kép). Némely izomnak két vagy több eredése is lehet, amelyek közös izomhasba mennek át és egyetlen innal végződnek. Ebben az esetben *két-, három-, négyfejű izomról* (m. *biceps*, *-triceps*, *-quadriceps*) beszélünk (5.27. ábra, C. és D. képek).

Az olyan izmot, amelynél az egységes izomhas különálló és külön-külön végződő inakra tagolódik, *sokfarkú izomnak* (m. **multicaudatus**; 5.27. ábra, E. kép) nevezik.

5.27. ábra - Az izmok típusai



A: egyhasú -, **B:** kéthasú-, **C:** háromfejű-, **D:** többfejű-, **E:** többfarkú-, **F:** lapos-, **G:** egytollú-, **H:** kéttollú izom

Inas beírás (inscriptio tendinae) keletkezik abban az esetben, ha az ínszövet nem nyomul át az izom egész vastagságán. Gyakran az ín egy darabon benyomul az izomhas belsejébe, és az izomrostok a toll sugaraihoz hasonlóan kapcsolódnak az ínhöz, ezáltal *tollszerű izmok (musculi pennati)* keletkeznek. Van *egytollú izom (m. unipennatus, 5.27. ábra, G. kép)*, amelyen az ín az izom egyik szélét foglalja el és a hosszú harántcsíkolt

izomrostok csak az egyik oldalról tapadnak. A *kéttollú izom* (**m. bipennatus**, 5.27. ábra, H. kép) esetében az ín az izomhas közepén fekszik, és az izomrostok két oldalról csatlakoznak hozzá.

Lapos izmok (5.27. ábra, F. kép) esetében az ín laposan, hosszan elnyúló, amit *bőnyének* (**aponeurosis**) nevezünk.

Gyűrűs izmok: A testnyílások körül találhatók.

Az említett izomtípusok nem azonos mennyiségű és hosszúságú izomrostokat tartalmaznak. A párhuzamos rostú izmokban kevés, de hosszú-, a tollas izmokban sok, de rövid izomrost található. Ezek a tényezők szabják meg az izom megrövidülési képességét, s az általa kifejtett erő nagyságát. Az izom megrövidülése az izomrostok hosszúságától függ, az izom ereje pedig az izomrostok összkeresztmetszetével arányos. Az egyhasú izom viszonylag kis erőt fejt ki, de nagymértékben képes megrövidülni. A tollasizom pedig nagy erő kifejtésére képes, de kismértékben húzódik össze.

2.4. Az izmok működése

2.4.1. Az izomműködés biomechanikai alapjai

Az egyedi izomrostok nem olyan hosszúak, mint az egész izom, de megközelítik azt. Az izom inakkal kapcsolódik a csontozathoz. Ha az *izom-ín-csont kapcsolat* megszűnik, az izom összehúzódásra nem lesz képes. Ezért az *inak szerepe* rendkívül fontos az izommozgások kivitelezésében és az izom rögzítésében.

Hosszú ideig úgy gondolták, hogy az inak nem nyújthatók. Szakítószilárdságuk valóban több fémével is vetekszik, mégis kiderült róluk, hogy nyújthatók, mintegy 2-4%-ban. Ha ennél jobban megnyújtjuk az inakat, akkor az eredeti állapotba nem képesek visszatérni. A normál mozgások kb. 0,5%-kal nyújtják meg az inakat, amikor is a fibrillumaikban lévő cikk-cakk szerkezet kiegyenesedik.

Az izomról képződő erő átvitele ma már nem értelmezhető mechanikusan. Az izom-összehúzódás nem egyenletes, a csont eltérő pontjain különböző erőhatások érvényesülnek. Így az ín szerkezetének ehhez alkalmazkodónak kell lennie, s az erőt mégis egyenletesen kell elosztania. Más esetekben viszont éppen összegeznie kell a különböző pontokról eredő erőt (pl. tollas = tollazott izmokban).

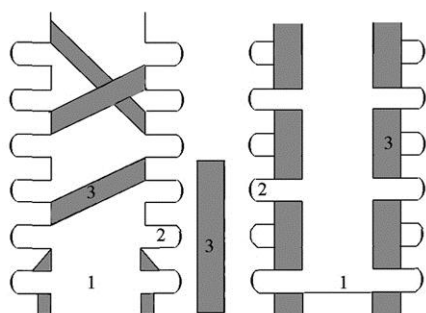
A sportmozgások különösen nagy erő kifejtésére készítik az inakat, így szerkezetüknek olyannak kell lennie, hogy a rájuk nehezedő erő sokszorosát is elbírhák. Az ín szerkezetéből adódóan következik, hogy mm²-ként ugyanakkora teherbírási. Szakítószilárdságuk 45-70 N/mm². A csontok szakítószilárdsága pl. 35-50 N/mm², az alumíniumé 25-40 N/mm² körüli érték. A férfiak esetében ez az érték 25-30%-kal magasabb, mint az azonos életkorú nőké, mindkét esetben a maximumot 20-30 éves kor körül mérhetjük. Az inak szakítószilárdsága 50%-tól akár a többszörösével is nagyobb lehet a hozzájuk tartozó izom húzóerejének. Különbség mérhető a jobb és a bal testfél között is a domináns oldal javára.

Az *inak nyújthatóságát* a peritoneum externum akadályozza, amely rostszerű hálózatos alakú, s az ín nyújtása során ráfeszül az inra. *Physiológiai nyújtás* során az ín visszatér eredeti állapotába, ennél nagyobb erejű nyújtás esetén ez nem következik be. Sportmozgásoknál nagyon fontos az ízületi szalagok, inak nyújtása, több sportágban azonban az inakat túlnyújtják, hogy fokozzák az ízületi mozgásterjedelmet. Ennek hátránya, hogy az ízületi szalagok nem tartják stabilan a csontokat, gyakoriak lesznek a húzódások, rándulások, stb. A szubfibrillumokat és fibrillumokat összekötő proteoglikánok (ragasztóanyag) szerkezete deformálódik, sőt a kollagén-fehérje szerkezete is megváltozik. További nyújtás (az eredeti hossz 10-20%-a) esetén az ín elszakad. Ez a folyamat természetesen módosítható az erő nagyságával és az erőközlés sebességével. Ha az inakat physiologián nyújtjuk, majd ugyanezzel az erővel többször is megteesszük ugyanezt, az adott ín már csak az eredeti hossz 50%-ra húzódik össze. Ezt használják ki a különböző sportágakban is.

Mivel az ín alapvető feladata mégis az erő közvetítése az izomról a csontra, mindkét szövethez stabilan kell rögzülnie. Mind az izom-ín, mind az ín-csont átmenet speciális szerkezetű.

Az *izom-ín átmenet* nem folyamatos. Az izomsejtek inközeli felszínén apró kidudorodások jelennek meg (1-5 cm hosszan), amelyek a bazális membránhoz hasonló szerkezetűek. Ezekre az apró „bolyhokra” az infibrillumok hosszirányban és spirál alakban is ráfonódnak (5.28. ábra). Így az izomsejtek közötti infibrillumok, valamint az izomsejtekre ráfonódó fibrillumok együtt egy speciális hálózatot hoznak létre (lemezek). Ezek a lemezek adják pl. a tollazott izmok „tollait”.

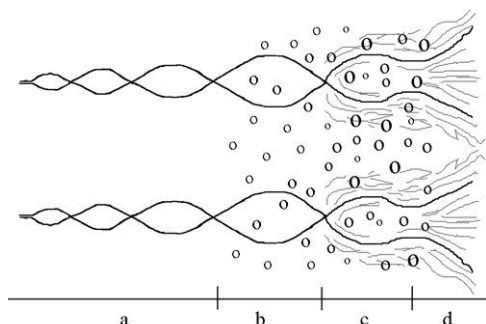
5.28. ábra - Az ín-izom szerkezet



1: izomsejt, 2: tűszerű kitüremkedés, 3: infibrilla

Az **ín-csont átmenet** (5.29. ábra) folyamatos. Az ín tapadásfelőli oldalán felszaporodik a fibrillumok között az alapállomány, majd porcsejtek is megjelennek. Ezek a sejtek tolják szét a fibrillumokat, így az ín nagyobb felületen fog tapadni. A csontközeli felszínen rostos porclemez található. Ez a porclemez a csont felszínén elmeszesedik (meszes porc), a fibrillumokon is apatit (mészlerakódás) figyelhető meg. Végül a fibrillumok behatolnak a csontkéregbe. Ezek a speciális rétegek biztosítják, hogy az ín nagy erőbehatásra sem válik le sem az izomról, sem a csonttól. Ha sérülés következik be, akkor gyakoribb az izom szakadása, esetleg az ín a csontból egy darabot kitépve válik le onnan.

5.29. ábra - Az ín-csont átmenet



a: infibrillum, **b:** a porcszövetben futó fibrillumok, **c:** meszes porcszövet, **d:** csontszövet

Az **ínak anyagcseréje** meglehetősen lassú. Bár az oxidatív folyamatokhoz szükséges enzimek is megtalálhatók ebben a szövetben, az alapvető energianyerési folyamat a glikolízis (anaerob folyamat). Az ínakra ható erők fokozzák az ínak anyagcseréjét, míg a nyugvó ínak anyagcseréje lassul. Ez azért fontos, mert az anyagcsere szorosan összefügg a kollagén képzésének folyamatával. Tehát a működő ínban fokozódik a kollagén képződése (erősödik az ín), míg a nyugvó ínban a kollagén képzés szinte elhanyagolható. Fontos ez mind a rehabilitáció, mind pedig a fizikai aktivitás tervezése során is.

A közepes és kisfokú ciklikus terhelés növeli az ínak elaszticitását és hőálló képességét is. Ez gyermekkorban és fiatal korban kifejezettebb. Ciklikus submaximális terhelés során az ín terhelhetősége és szakítószilárdsága csökken.

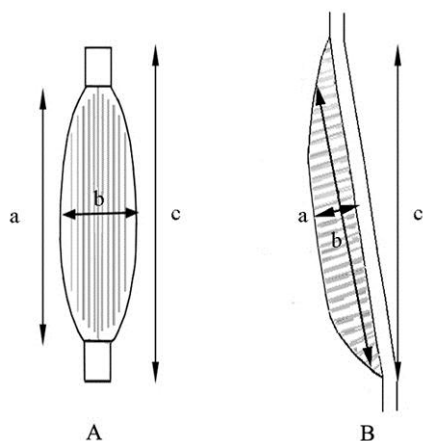
Rendszeres izommunka hatására nő az ínak oxidatív anyagcseréje, és a kollagén rostok képzése is. Az inaktivitás (fizikai munka hiánya) során nem változik meg az ínak összkeresztmetszete, megváltozik viszont összetétele. Csökken a fibrillumok mérete, nő az alapállomány, megváltozik a fonatok jellege. Jelentősen csökken az anaerob glikolitikus kapacitás, míg az oxidatív kapacitás nem változik. A glikolitikus kapacitás azért is fontos, mert az ínak ereiben nem gazdagok. Az erek többnyire a nem hosszirányú fascicululusokban futnak.

Az ínak érzőfunkciót is ellátnak. Az ín izom felőli oldalán található az **ínorsó**. Ennek végtalpai (**Golgi-végfácska**) mechanoreceptorokként funkcionálnak. Az ínak mozgásszervező funkcióját látják el. Mivel az ínorsó eredetű reflex gyorsabban zajlik le, mint az ugyanabban a pillanatban keletkező izomorsó eredetű reflex, így nagyon fontos szerepe van az izom védelmében is. Az izom számára túl nagy és sérülésveszélyes munkát az izomorsó eredetű reflex megakadályozza.

Az orsó alakú izmok eredésénél és tapadásánál található nagyobb tömegben ín, az izomsejtek az infibrillumokkal párhuzamosan futnak. Ugyanígy ezekkel párhuzamosan fut az izomerő eredője is. A tollazott izmokban az ínelemek hosszanti lefutásúak, s az izomsejtek erre a lemezre különböző szögben helyezkednek el. Az erő itt is az izomsejtekkel párhuzamos. Működés szempontjából ez egyrészt az izom-összehúzódás irányát mutatja meg, másrészt az összehúzódás mértékére is utal. Az orsó alakú izmok rostjai hosszabbak, így az összehúzódás mértéke is nagyobb, mint a tollazott izmok esetében.

Érdekes összefüggés tapasztalható a működés jellege és az izom szerkezete között is. Az orsó alakú izmokat főként a FG izomrostok alkotják (gyors rángású, glikolitikus, ld. „Izomszövet”), míg a tollazott izmokat főként SO (lassú rángású, oxidatív rostok). Mint azt említettük a legvastagabb rosttípus a FG, a legvékonyabb pedig, a SO. Így ugyanabban a keresztmetszetbe a lassú rángású rostokból több épülhet bele. Ráadásul a tollazott izmok aktív keresztmetszete nagyobb, mint az orsó alakú izmoké (5.30. ábra). Ez azt jelenti, hogy bár a tollazott izmok lassabban húzódnak össze, nagyobb erő kifejtésére tartósabban képesek, mint az orsó alakú izmok.

5.30. ábra - Az orsó alakú és tollazott izmok funkcionális összehasonlítása



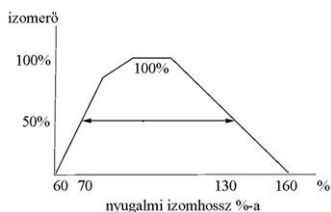
A: orsó alakú izom, **B:** tollazott izom; **a:** az izomrostok hossza, az izom megrövidülésének iránya, **b:** az izom funkcionális keresztmetszete, **c:** az izom teljes hossza

2.4.2. Az izomműködés élettani alapjai

Az izomműködés külső ingerek hatására vagy akaratlagos cselekvés során alakul ki. Kísérleti körülmények között az izom eredését és tapadását rögzítik, s az izom elmozdulását egy írókar jelzi. Az elmozdulás mértéke (amplitúdó) és időbeli viszonyai is tanulmányozhatók. Ha elektromos ingerlés hatására húzódik össze az izom, akkor indirekt ingerlésről beszélünk, ha hő vagy kémiai ingert alkalmazunk, akkor direkt módon ingereljük az izmot.

Bár az izom-összehúzódások egy-egy izomsejtre vonatkozóan a minden vagy semmi törvényének megfelelően zajlanak, a funkcionális izomé természetesen nem. Egyes esetekben az izom-összehúzódás kis mértékű, más esetekben pedig nagy erővel zajlik. Az **izom-összehúzódás ereje** az összehúzódásban részt vevő rostok számával arányosan nő. Az összehúzódás ereje azonban egy izomrost esetében is fokozható, mégpedig az izomsejt hosszának változtatásával. Minden izomsejtnak van optimális hossza, amikor a legnagyobb erő kifejtésére képes. Ez a **csúszó-filamentum elmélet** szerint jól értelmezhető, hiszen az összehúzódás ereje a sarcomerben kialakuló keresztkötések számával arányos. Ha túlnyújtjuk az izomrostot kevés keresztkötés alakul ki az aktin és myosin filamentumok között. Ha túlságosan összehúzzuk az izmot, két aktin filamentum egymásra csúszhat, a keresztkötések száma csökken, így az izomerő is. Az optimális tartomány tehát relatíve kicsi. Ez a kar esetében azt jelenti, hogy a maximális erő kifejtésére a m. biceps brachii úgy képes, ha az alkar és a felkar derékszöget zárnak be egymással. Nyújtott kar esetén a biceps túlnyújtott, a kézben lévő tárgy megemelése nehezebb. Egyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy az izmot nyugalmi hosszához képest kb. 40%-kal lehet rövidíteni, és kb. 60%-kal nyújtani (5.31. ábra).

5.31. ábra - Az izom mozgásterjedelme nyugalmi hosszához képest

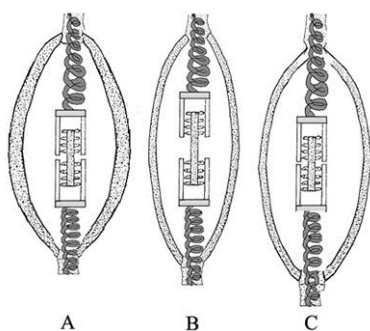


Funkcionális szempontból az izom soros és párhuzamos egységekre bontható. A párhuzamos egységeket könnyű belátni, hiszen az izomrostok lefutása valóban párhuzamos, és mint korábban említettük összehúzódásuk nem feltétlenül összehangolt. Az izom sorosan kapcsolt egységei egyrészt az ín-izom-ín szerkezet, másrészt az ín-kötőszövet-ín működési egység, amelyek elasztikusak.

Az izom működése során tehát a következő lehetőségek vannak:

1. Az izom kis ellenerővel szemben működik. Az izom megrövidül (sarcomer rövidül az aktin és a myosin filamentumok egymásba csúszásának következményeként). Ebben az esetben az izom párhuzamosan kapcsolt egységei (kontraktilis rész) működnek a többi passzívan követi azokat. Ezt nevezzük **izotóniás összehúzódásnak**. Az izom tónusa nem változik, csak a hossza (ellenerő < izomerő). Fisiológias körülmények között tisztán izotóniás összehúzódás pl. egy vékony papírlap megemelése (5.32. ábra, A. kép).
2. Az izom nagy ellenerővel szemben működik. Fisiológias körülmények között ez az ellenerő nagyobb, mint az izom saját ereje (izomerő < ellenerő). Bár az izomrostok itt is rövidülnek, az izom nem lesz rövidebb a soros (elasztikus) elemek miatt. Az inak és a kötőszövet megfeszül, emiatt rövidülés nem látszik. Ezt **izometriás működésnek** nevezzük, amely lehet pl. egy zongora megemelése kísérlete (5.32. ábra, C. kép).
3. Közepes ellenerővel szemben az izom **auxotóniásan működik**, ami azt jelenti, hogy a mozgás kivitelezése során az izmok soros és párhuzamos egységei is működnek. Kísérleti körülmények között ezt az állapotot úgy vizsgálják, hogy az izmot tapadásánál egy rugóhoz erősítik, így mind a rövidülés, mind a feszülés tanulmányozható (5.32. ábra, B. kép).

5.32. ábra - Az izotóniás (A), auxotóniás (B) és izometriás (C) izomműködés sémája



Az *élettani és edzéselméleti fogalmak* nem teljesen egyeznek meg az izotóniás, ill. izometriás edzés esetében. Erőfejlesztésről csak akkor beszélhetünk, ha az izomerő a mozgás hatására nő. Így a saját alkar ellenállásával szembeni izommunkát, ami valódi izotóniás erő kifejtés, csak rehabilitációban használják. Más esetekben a kis ellenerővel szemben nagy ismétlésszámban végzett izommunkát tekintik az edzéselmélet izotóniásnak.

Az **izometriás erőfejlesztés** során pedig az általunk nem mozgatható tárgyakkal (ellenerő nagyobb, mint az izomerő) végzett munkát nem tekintik erőfejlesztésnek.

Izometriás izommunkáról akkor beszélünk, ha a nagy ellenerőt kis ismétlésszámmal mozgatjuk. Újabban az erőedzésekben izometriás edzés módszer az is, ha az egyén kezébe olyan súlyokat adunk, melyek megemelésére nem volt képes, megtartására esetleg igen. Ebben az esetben az izom elasztikus rendszere extrém nagy munkának van kitéve. Gyakran előfordul azonban, hogy az egyén nem tudja megtartani az adott súlyt. Ebben nagy szerepe van az ínorsónak. Ilyen esetekben ugyanis az ínorsó feladata az izom védelme a sérüléstől.

Az edzéselmélet más módon is csoportosítja az erőedzéseket. Az izotóniás munkát *dinamikus*, az izometriást pedig *statikus munkaként* is emlegeti. A dinamikus edzést további két csoportra bontják.

A **koncentrikus edzés** az izom megrövidülésekor (izom rövidülés közben az ín is megfeszül kissé) zajlik. Ilyen pl. egy kézi súlyzó megemlése.

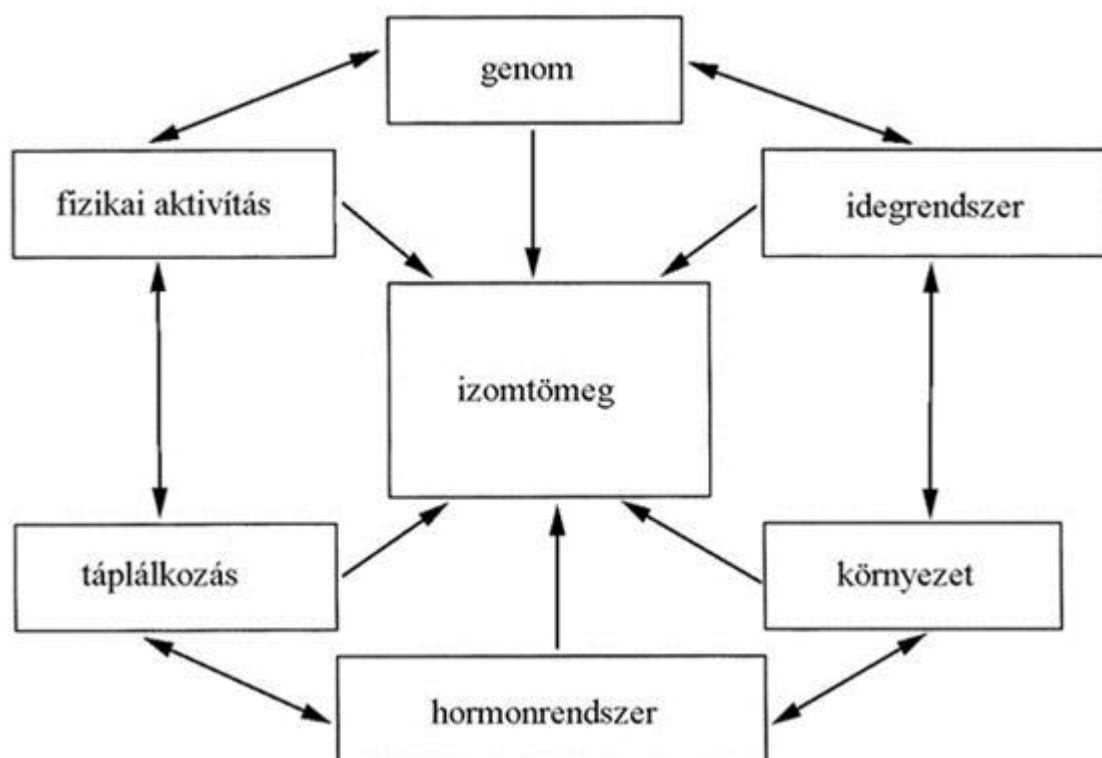
Az **excentrikus erőedzés** az izom megnyúlásakor történik. Ez történik pl. a kézi súlyzó lassú leengedésekor. Az ellenerő nagysága miatt nemcsak megnyúlik az izom, hanem az ín további feszülése tapasztalható. A koncentrikus és excentrikus erőedzés együttese sokkal hatékonyabb az izomerő fejlesztése szempontjából, mint az egyszerű koncentrikus edzésmódszerek.

A robbanékonyság fejlesztésére használatos az ún. **pliometriás edzés**. Azokban a sportágakban használják, ahol a hirtelen ugrások, megállások befolyásolják a teljesítményt. Edzésmódszerként az állóhelyből végrehajtott ugrások, „mélybeugrások” stb. használatosak.

Fontos beszélni a *gyerekek erőedzéséről*. Számos érv szól amellett, hogy specifikus erőedzéseket gyermekkorban nem célszerű alkalmazni. A gyerekek csont- és izomrendszeri fejletlensége esetleg maradandó deformitások, egészségkárosodás kialakulásához vezethet. Nemcsak a vázrendszer, de még az ideg- és hormonális rendszer sem fejlett, így az izomtömeg növekedéséhez szükséges tesztoszteron-szint sem mérhető még. Ennek ellenére egyes kutatások szerint szigorúan ellenőrzött körülmények között, a pontos végrehajtásra figyelve, kis súlyokkal végezethetünk gyerekekkel is erőedzéseket.

A csontrendszer fejlődését figyelembe véve ez a 10-12 életév előtt nem javasolt. A kutatók szerint a gyermekkorban végzett erőedzések nem az izomerő növelésével, hanem az ideg-izom kapcsolatok fejlesztésével érnek el eredményt. Testnevelés órán általánosan elfogadott szabály, hogy az erőfejlesztés saját testsúllyal megoldható (talicskázás, pók- és fókamászás, stb.). Az izomtömeg növekedési ütemét azonban nemcsak az edzésmódszerek befolyásolják. Nagyon fontos szerepe van a génállománynak (nemiség, rostösszetétel stb.; 5.33. ábra), az idegrendszer aktuális állapotának, ill. az endocrin rendszernek (hormonszintek a szervezetben, egészségi állapot stb.). Ezen főbb tényezőket tovább befolyásolják a környezeti hatások és az egyén táplálkozása is.

5.33. ábra - Az izomtömeg növelését befolyásoló tényezők

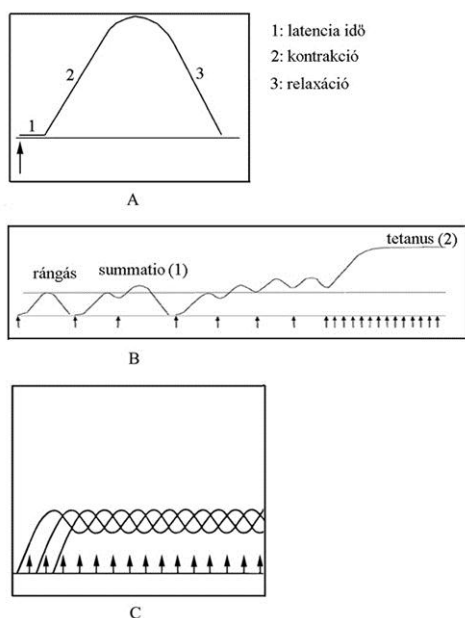


- Az izom egy összehúzódását **rángásnak** nevezzük. Az inger megérkezésekor először bizonyos latencia-idő mérhető (2-3 ms). Ez idő alatt inger hatására Ca^{2+} -ionok szabadulnak ki a sarcoplasmaticus reticulumból, eljutnak a troponin-tropomyosin komplexre, elindítva az összehúzódást. Ezután az izom-kontrakció (összehúzódás), majd az izom-relaxáció (elernyedés) következik (5.34. ábra, A. kép). A gyors és lassú

rángású izmoknak más a kontrakciós és relaxációs ideje is. A gyors rángású izomrost kontrakciós ideje 15-20 ms, míg a lassú rángású izomé 50-60 ms. A relaxációs idő 30-40 ms, a lassú rángású izomrost esetében 150-200 ms. Ebben természetesen maga a sarcomer elrendezés is szerepet játszik, hiszen a gyors rángású izmokban a kontrakciós fehérjékben, a Z-lemezekben és a sarcoplasmaticus reticulumban is van különbség. Minél gazdagabb a sarcoplasmaticus reticulum cisterna-rendszere, annál gyorsabban jut el a Ca^{2+} -ion az aktin filamentumhoz.

Ha a következő inger az idegsejt refrakter periódusának végén érkezik, akkor ez az inger már az izomsejt elernyedésének fázisában éri el az izomsejtet. Így a kezdeti elernyedés után az izomsejt újra összehúzódik. Ilyenkor az összehúzódás mértéke nagyobb lesz, mint egy rángás esetén. Ezt nevezzük **summationnak** (összeadás; 5.34. ábra, B. kép). Ha meghatározott időközönként ismétljük az impulzusokat, akkor az izom folyamatosan összehúzódik és elernyed, de nagy előfeszítettségi állapotban kezdődik minden újabb összehúzódás, mert az elernyedés nem volt teljes. Ezt az állapotot **inkomplett tetanusnak** nevezzük (5.34. ábra, C. kép). Az összehúzódások között nagyon rövid idejű elernyedések figyelhetők meg. Ha az abszolút refrakter periódus végén sorozatban ingereljük az idegsejtet és így az izmot, maximális összehúzódás érhető el elernyedés nélkül. Ez a **komplett tetanus** állapota (5.34. ábra, B. kép).

5.34. ábra - Az izomösszehúzódás típusai



A: rángás, **B:** summatio (1), tetanus (2), **C:** inkomplett tetanusok summatioja, nyilak: ingerhatást mutatják

A komplett tetanus kialakításához a lassú rángású izomrostokban kevesebb, mint 20 inger közlése szükséges másodpercenként. A gyors rángású izomrostokban több mint 30 inger közlésére van szükség ugyanennyi idő alatt. Komplett tetanusnak tűnő tartós izomösszehúzódás úgy is elérhető, hogy a működő izomcsoport motoros egységei inkomplett tetanusban egy fél sinushullám eltolással összehúzódnak és elernyednek (5.34. ábra, C. kép). Ilyen módon az izomcsoport összehúzódása folyamatosnak látszik. A lassú rángású rostokat általában lassabb vezetésű axonok idegzik be, míg a gyors rángásúakat gyorsabban vezető axonok. Így maga a reflexidő is különbözik a két izom esetén. Nagy erejű összehúzódások esetén nemcsak az izomrostok összehúzódásának mértéke változik, hanem a működő izom egyre több sejtje kapcsolódik be ebbe a folyamatba (rekrutálódik).

A mozgások jellegét az is befolyásolja, hogy egy idegsejt hány izomsejttel létesít kapcsolatot. Ezt hívjuk **motoros egységnek**. Mivel egy izomroston csak egy motoros véglemez található, nem mellékes, hogy hány collaterálist ad a mozgató idegsejt axonja. A finom mozgások esetében kis *motoros egységekről* beszélünk. Ebben az esetben egy idegsejt kevés izomrosttal létesít kapcsolatot. Ha tehát az idegsejtet ingereljük egyszerre kevés izomsejt húzódik össze, aminek eredményeként finom mozgások jönnek létre. A szemmozgató izmok esetében egy motoneuron 10 izomsejttel képez motoros egységet. A nagy, durva mozgásokat a nagy motoros egységek (több száz izomsejt) szabályozzák. A motoros egységeket az idegsejt által beidegzett izomrostok típusai alapján csoportosítjuk.

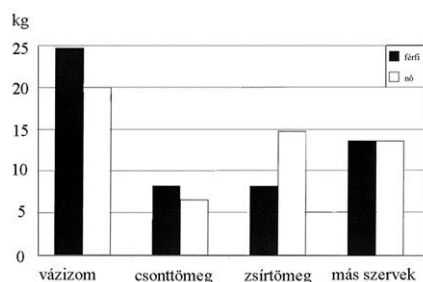
A **motoros véglemez** (ideg-izom kapcsolat, synapsis) is befolyásolható. Egyes vizsgálatok szerint a nagy intenzitású edzések a motoros véglemezek számát növelik, míg az alacsony intenzitású edzések a meglévő synapsis méretét. Az izom maximális munkavégzését nagymértékben befolyásolja az idegrendszer is. Maximális intenzitás, ill. erősportok esetén nagyon fontos a *gátló (inhibitio) hatások* megakadályozása. Mivel a motoros véglemezen csak serkentő hatás lehetséges (az ACh, mint serkentő transzmitter működik), így a gátlás csak a gerincvelői, vagy magasabb idegrendszeri szinten szabályozott. Ezen *gátlások megszüntetése (disinhibito)* a serkentés fokozását jelenti. A disinhibito hatása tehát a gyors, nagy intenzitású mozgások esetén a maximális serkentés lehet. Ugyanez az idegrendszeri hatás felelős a mozgások tanulásakor, ill. az erőedzések legelső fázisaiban, amikor az **izomhypertrófia** még nem figyelhető meg, mégis izomerő növekedés, ill. teljesítményjavulás mérhető. Jelenleg úgy gondoljuk, hogy az izommunka javulását tehát időben először az idegrendszer, másodszor az izomerő fokozódása és harmadszor időben néhány hét vagy hónap múlva) az izomhypertrófia idézi elő.

A mozgások kivitelezésekor egy adott izomban csak néhány motoros egység aktiválódik. Ha azonban fokozzuk az erőt, a mozgásban résztvevő motoros egységek száma is nőni fog. Ha a mozgáshoz még nagyobb erő kifejtésre van szükség, akkor egyre több nagyméretű axonnal gyorsan vezető idegsejttel rendelkező motoros egységet kapcsolunk be a folyamatba. A motoros egységek számának növelése vagy csökkentése a mozgás jellegét is meghatározza. Egy könnyű tárgy felemeléséhez elegendő azon néhány motoros egység bekapcsolása, amelyek lassú rostokat idegeznek be (SO, vagy I-es típusú rostok). Ezek a rostok aktiválódnak joggolás, séta, hosszútávfutás során. Súlyemelésnél a nagy FG, FOG (II. A és B típusú rostok) bekapcsolása is fontos, hiszen egyszerre nagy erővel és intenzitással, de viszonylag rövid ideig működik az adott izomcsoport (szinkron működés). Így a nagy motoros egységek inkább a nagyerejű mozgásokat segítik, míg az SO rostokat tartalmazó motoros egységek biztosítják, hogy egyszerre viszonylag kevés rost működik, míg a többi pihen (aszinkron működés). Ilyen módon jelentősen kitolható a fáradás ideje is. Minél bonyolultabb a mozgás, annál többféle motoros egység kapcsolódik be a mozgás végrehajtásába.

Hasonló a helyzet a mozgások tanulása során is. A *mozgástanulás* kezdetén a magasabb idegrendszeri szabályozás nagy mértékű, s ezzel párhuzamosan több motoros egység kapcsolódik be a mozgás végrehajtásába. Ha a mozgást megtanultuk, kevesebb motoros egységgel „gazdaságosabb” a végrehajtás. Az izom maximális ereje kb. 15-30 N/cm² között változik. Az erő nagyságát befolyásolja az anatómiai képlet maga (pl. milyen a csontos kapcsolat), és az izom keresztmetszete. Ha az erőt abszolút értelemben vizsgáljuk, a férfiak sokkal erősebbek, mint a nők. Felsőtestük kb. 50%-al, alsótestük pedig kb. 30%-al erősebb, mint a nőké. Ez alól csak azok a sportoló nők kivételek, akik bizonyos izmokat, izomcsoportokat specifikusan edzenek. Ilyenkor a különbség kisebb. Ha a súlyemelőket vizsgáljuk, akik a testtömegük alapján kerülnek versenykategóriákba, akkor azt tapasztalható, hogy az alacsonyabb súlycsoportban versenyző nők és férfiak között kisebb a különbség az erő szempontjából, mint a nehezebb súlycsoportokban versenyzőknél. Ha az izomerőt a sovány testtömegre, zsírtmentes testtömegre vagy az izomkeresztmetszetre adjuk meg, a különbség a két nem között nagymértékben lecsökken. A két nem közötti különbség nagyobb, ha edzetlen embereket mérnek.

A testösszetétel sem egyforma a nők és férfiak esetén. A férfiak nagyobb izomtömeggel, kissé nagyobb csonttömeggel, ugyanakkor lényegesen kevesebb zsírral rendelkeznek, mint a nők (5.35. ábra). Alacsony testtömeg esetén is jól látszik ez. A férfiak testének kb. 45%-t izom teszi ki, míg a nők testében csak 36%-ban találunk izmot. Gyermekekben születéskor kb. 23-24% izmot mértek. Kisiskolás korra ez mindössze néhány százalékot változik (kb. 27%). Az izomtömeg aránya a pubertáskorban nő jelentősebben, amikor a test kb. 32%-a izom. Mivel férfiakban nagyobb mennyiségben van jelen tesztoszteron mint a nőkben, az izomtömeg növekedése nagyobb mértékű lesz, emiatt a felnőtt férfiakban is nagyobb izomtömeggel számolhatunk.

5.35. ábra - A referencia férfi és nő (20-24 éves) testösszetételének összehasonlítása ugyanakkora testtömegre kivetítve



Az **izomtömeg növekedését** és annak anyagcsere folyamatait számtalan hormon befolyásolja (6. táblázat). A *növekedési hormon indirekt hatásai közé tartozik* a porcképzés és a harántcsíkolt izomszövet növekedésének serkentése, mégpedig oly módon, hogy fokozza a fehérjeszintézist. A *direkt hatásain* keresztül egyrészt emeli, vagy szinten tartja a vércukorszintet (*anti-inzulin hatás*), ezzel nagyban befolyásolja a tartós munkavégzés lehetőségét és hatékonyságát. A növekedési hormon másrészt segíti az adipocytákból a trigliceridek felszabadulását, javítva ezzel az izom anyagcseréjét. Terhelés hatására fokozódik a növekedési hormon elválasztása. Ha a terhelés tartós, a növekedési hormon felszabadulás tovább fokozódik.

5.1. táblázat - Az izomsejt anyagcseréjét jelentősen befolyásoló hormonok

Hormonok	Fehérjeszintézis	Szénhidrát felvétel	Zsíryanycsere, zsírsav felvétel
STH	+	+	+
TSH, tiroxin	+	+	+
Cortizol	–	+	+
Adrenalin, Noradrenalin		+	+
Inzulin	+	+	+
Tesztoszteron	+		+

A fizikai aktivitás fokozza az *endogén opiátok* felszabadulását is. Ezek az anyagok viszont tovább serkentik a *növekedési hormon* felszabadulását. A megfelelő terhelés mellett végzett fizikai aktivitás hatására fokozódik a *TSH és tiroxin* termelés és felszabadulás is, melynek eredményeképpen a sejtek anyagcseréje fokozódik, a sejtek növekedésének mértéke gyorsul.

Hasonlóan anyagcsere fokozó hatású az *adrenalin és a noradrenalin*. Mindkettő serkenti a glikogén-lebontást (glükóz felszabadulás) segíti a triglicerid felszabadulást a zsírsejtekből. Adrenalin nagyobb mennyiségben különösen nagy terhelés hatására szabadul fel. A mellékvesekéregből szintén nagy terhelés hatására *cortizol* szabadul fel, melynek szintén serkentő hatása van a zsír és szénhidrát anyagcserére, ugyanakkor nagy terhelés mellett a fehérjelebontást (protein katabolizmus) is fokozza.

Az *inzulin* ugyan vércukorszint csökkentő hatású hormon, mégis nagy jelentősége van izommunkában. A vércukorszint csökkentése mellett fontos szerepet játszik a sejtek glükóz-, zsírsav- és aminosav-felvételében. A terhelés fokozásával felszabadulása csökken. Doppingszerként alkalmazva a sejtszintű anyagcserehatásait használják ki.

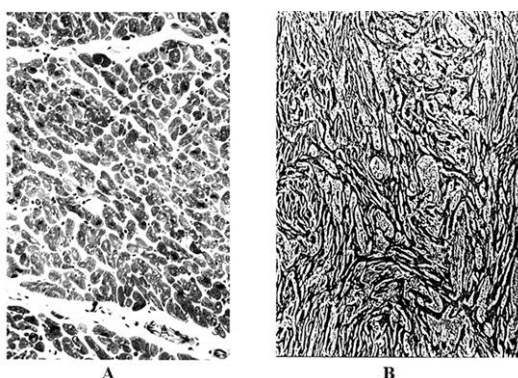
Mint említettük az izomtömeg növelésében nagyon fontos szerep jut a here hormonjának a *tesztoszteron*nak. Terhelés hatására elválasztása fokozódik, izomsejt növekedést alakítva ki (izomhypertrófia és sejtszám növekedés is). Fokozza a zsíryanycserét, így csökkenti a test zsírtartalmát. Doppingviszálelések során ezt a hatását használják ki.

Az *androgén hormonok* közül a legnagyobb népszerűségnek a tesztoszteron és származékai számítanak a doppinglistán. Izomépítő hatása miatt elsősorban a nagy izomtömeget igénylő sportágakban terjedt el (nehézsúlyos, súlyemelés, testépítés), de visszaélések egyéb sportágakban is tapasztalhatók. Miután a *szteroid hormonok* enzimindukciós hatással rendelkeznek, így a szervezet homeosztázisát alapvetően befolyásolják. Tartósan viszonylag nagy adagban adagolva tolerancia alakul ki, így ugyanazon hatás eléréséhez egyre nagyobb dózisa van szükség. A szteroid-receptor-komplex RNS-polimeráz serkentő, ennek hatására fokozódik a fehérjeszintézis. Ha a fehérje vagy aminosav bevitel megfelelő a nitrogén-egyensúly pozitívvá válik. A szteroidok kötődnek a glukocortikoidok receptoraihoz, melynek eredményeként anti-katabolikus hatásúak is. A tolerancia kialakulásával számos anyagcserezavar jelentkezik. Ezek közül a legfontosabbak a májműködés zavarai, ill. vesekárosodások, a belső elválasztású mirigyek rendszerének zavara. Az izomépítéssel párhuzamosan nem erősödik az inrendszer, emiatt súlyos sérülések, izomkárosodások következhetnek be. A csontokban szintén anyagcserezavarok, illetve degeneratív folyamatok indulhatnak el. Nem jön létre a kapillarizáltság fokozódása az izomtömeg növekedésével párhuzamosan, így az izom vérellátásában zavarok keletkeznek.

Jelentősen megnő a szívizom tömege is. Ennek hatására a szívizomzat réteges, egymással párhuzamos rostokból álló rendszere megszűnik. A sejtek elhelyezkedése rendezetlenné válik, ami rontja az összehúzódás

hatékonyaságát is (5.36. ábra, A és B. képek). A nagyobb izomtömeghez rosszabb keringés tartozik, mivel a koszorúerek nem fejlődnek. Nőkben mindezekkel párhuzamosan elférfiasodás (virilizáció) alakul ki. Ebben az esetben a férfiakéhoz hasonlóan kopaszodás, hajhullás, a test egyéb részein a testszőrzet erősödése figyelhető meg. Ezzel párhuzamosan mélyül a hang is. A férfiaknál fájdalmas mellmegnagyobbodás, nőknél inkább zsugora figyelhető meg. A nők esetében menstruációs zavarok, terméketlenség, a clitoris megnagyobbodás jelentkezik. A férfiak esetében inkább heresorvadás, impotencia és sterilitás, valamint a prostata megnagyobbodása a jellemző. A szteroiddal való visszaélés a bőrön is látható elváltozásokat okoz. Tág bőrpórusok, fokozott faggyúelválasztás figyelhető meg. Ez a törzsön és időnként az arcon is *acnék* megjelenésével társul. Az acnék gyakran gennyes váladékot ürítenek meglehetősen nagy mennyiségben, s ez többnyire fájdalmas. A szem és a bőr elszíneződhet, sárgássá válhat, a nyelv megduzzadhat. A máj súlyos károsodása következik be, ami a nőknél kifejezettebb, mivel a szervezet rosszabbul tűri a magas androgén-szintet. Emellett megemelkedik a vér LDL-koleszterin tartalma, ami a keringés korai öregedéséhez és keringési zavarokhoz vezet. Az orálisan adagolt anabolikumok károsítják a májfunkciókat (hepatotoxikusak).

5.36. ábra - A szívizomzat rétegei normál körülmények között (A) és szteroidok hatására (B)



A szteroid-visszaélésnek *idegrendszeri hatásai* is vannak. Ezek közül a legfontosabbak a pszichés zavarok. A szteroid hatására depresszió, agresszió egyaránt kialakulhat. Az agresszió ingerlékenységben, dührohamokban és fizikai agresszió formájában is jelentkezhet. Mindemellett kialakul az ún. **inverz anorexia**. Ez a testképzavar a férfiakra jellemző elsősorban. A test izomzatának növelése érdekében az egyén a rengeteg edzés mellett is keveset eszik, hogy a test zsírtartalmát csökkentse. Bár az izomtömeg nő, az érintett személy mégis elégedetlen alakjával.

Világszerte egyre nagyobb problémát jelent a rekreációs sportokban is megjelenő **doppingolás**. Korábban ezt az élsport kizárólagos jellemezőjeként tartották számon. Ma már több rendszeresen sportoló egyén választja a különböző szerek segítségével történő „önbizalom növelést”, hiszen a nagyobb testmérettel rendelkezők jó része szebbnek és fontosabbnak is tartja magát, ha sikerül növelnie testméreteit. A dopping terjedése az ifjúság körében számtalan problémát vet fel. Az USA-ban egy felmérés során azt tapasztalták, hogy a megkérdezett középiskolások 3-7,6%-a használ szteroidokat. A megkérdezett tízezer iskolás közül Coloradoban 2,7% ismerte el az anabolikus szteroidok használatát. Az átlagos életkor a szteroidok szedésének elkezdésére 14 év volt! A többség – hasonlóan más felmérések adataihoz - nem ismerte ezen szerek mellékhatásait, vagy jelentéktelennek tartotta azokat. Nagy problémának tűnik a növekedési hormon fogyasztása is. A diákok társaik 30%-ról tudták, hogy szednek növekedési hormont. Az érintettek 5%-a el is ismerte a visszaélést. Európában is hasonló tapasztalatokhoz jutottak a kutatók. Svájcban egy önbevallásos vizsgálat során a válaszadók 64%-a elismerte, hogy megkereste háziorvosát annak érdekében, hogy segítse anabolikumokhoz. A teenagerek 10-20%-a és az amatőr sportolók 61%-a vallotta azt, hogy megkereste orvosát ezzel a problémával, s az orvos általában biztosította számukra a kért terméket. Egy franciaországi vizsgálatban a háziorvosok 30%-a ismerte el, hogy felkeresték hasonló kéréssel. Saját felméréseink szerint a rendszeresen de nem versenyszerűen sportolók 47,8%-a úgy nyilatkozott, hogy alkalmazta már a dopping szereket. Számtalan sportágban érintettek az emberek, de legnagyobb számban a testépítéssel és fitnesszel foglalkozók körében terjedtek el a dopping szerek. A testépítésben visszaélést elismerők 10%-a volt versenyző, a 90%-uk hobbyszinten űzi ezt a sportágat. Életkor szerinti megoszlásban mindkét nemnél a 25-26 éves korosztály volt a leginkább érintett. Nyugat-európai szakirodalmak szerint a „konditermekbe” járók kb. 30%-a ismeri el a visszaélést.

Az izom egyik jellemzője a fáradás. Ennek több oka is lehet, de tipikusan magának az izomsejtnak a fáradása alakul ki. Az **izomsejt fáradása** alapvetően az anyagcsere „kifáradását” jelenti. Ilyen pl. az energiaszolgáltató

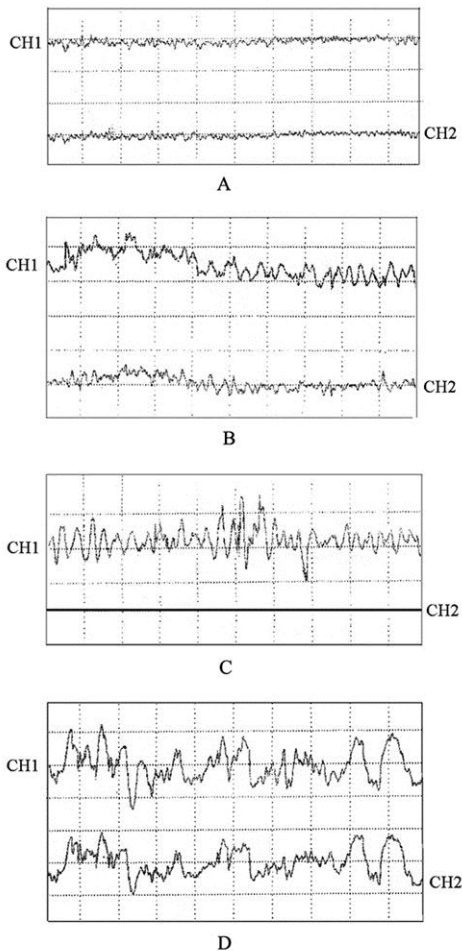
rendszer elfáradása (nincs elég glikogén, glükóz, nincs elegendő ATP), a sejt cytoplasmájának savasodása. A H^+ -ionok felhalmozódása gátolja a sejt energiaszolgáltató rendszerének működését. Az izomfáradás azonban bekövetkezhet az idegsejt szintjén is (a motoros véglem nem szabadít fel elegendő ACh-t, vagy az idegrendszer fáradása miatt az idegsejt nem továbbít megfelelő impulzusokat).

Az izom nemcsak fáradhat, hanem sérülhet is. Ennek elkerülésére számos lehetőség adódik, de az egyik ezek közül az izom védelmében maga az ínorsó. Az ínorsó Golgi-végfácskái gazdagon elágazódva behálózzák az ín izomhoz közeli oldalát, és a feszülést érzékelik. Ha az izom mozgásakor a feszülés kicsi, nem befolyásolják az izommozgást. Ha azonban a feszülés nagy, a Golgi-végfácskák impulzusai erősebbek lesznek. Ezek az impulzusok a gerincvelőbe futnak, ahol a gátló közti neuronokhoz kapcsolódnak. A gátló interneuron pedig synapsisa révén megakadályozza a mozgató neuron működését. Ilyen módon az ínorsó legfőbb feladata az izom védelme abban az esetben, ha az túl nagy munkavégzésre kényszerülne. Ilyen eset pl., amikor a súlyemelő nem képes megemelni egy súlyt.

2.5. Elektromyographia

Az izom működésének vizsgálatára az **elektromyographia** szolgál. Ez a módszer az izom elektromos aktivitásának változásait méri. A mérések során készült regisztrátumot **elektromyogramnak** nevezzük (5.37. ábra). A vizsgálathoz kétféle **elektród** használatos. A felületi elektródok a bőrre helyezve mérik az elektromos változásokat. Ebben az esetben a működő izomcsoportról kapunk információkat. Ha az elektródot bejuttatjuk az izomba (mélyelektródok), akkor néhány izomrost működését tudjuk tanulmányozni. A nyugalomban lévő izom elektromos aktivitása nagyon kicsi, alvó ember esetén spontán aktivitás nem is mérhető. Mély elektródák esetén nyugalomban lévő izomban található elektromos aktivitást nem mutató izomrost. A felületi elektródok nem alkalmasak arra, hogy elektromos aktivitás nélküli izmot találjunk, mivel a nyugalmi izomtónus fenntartásához is szükség van némi alapaktivásra. Enyhe izom összehúzódás esetén egy motoros egység aktív, ilyenkor különösen mélyelektródokkal motoros egység potenciálokat vezethetünk el. A regisztrátum jellege, amplitúdója azon is múlik, hogy mekkora motoros egységeket vizsgálunk. 50-500 μV amplitúdójú, 10-20 ms-ig tartó potenciálváltozás figyelhető meg. Az összehúzódásban részt vevő izomrostok számával arányosan nő az amplitúdó és a frekvencia (5.37. ábra), végül pedig nem különíthetők el az elektromos egységek potenciáljai egymástól. Ebben az esetben már interferencia-görbékről beszélünk. Ennek az interferencia-görbének az amplitúdója szintén egyenes arányban áll az izom összehúzódás mértékével, erejével. Tehát az izom összehúzódás ereje növelhető a mozgásban részt vevő izomrostok számával és az izomra érkező impulzusok számával.

5.37. ábra - Felületi elektródokkal készült elektromyogramok



A: mélytartásban relaxált kar nyugalmi elektromyogramja, **B:** fekvőtámasz során regisztrált görbék ugyanazokról az izmokról. **C:** m. triceps erősítő fekvőtámasz. A biceps fölötti elektród alig ad jelet, miközben a triceps fölötti nagy izomaktivitást mutat. **D:** guggolás-felállás közben mért combhajlító és combfeszítő izom elektromos aktivitása. CH1: a m. triceps brachii hajlítóizomról és a CH2: a m. biceps brachii feszítőizomról történő elvezetés

Nagy erejű izommozgások esetén mindkét paraméter nő. A mélyelektrodokat elsősorban rehabilitációban, ill. a klinikai gyakorlatban érdemes használni. Utóbbi esetben az izom gyengülésének, ill. bénulásának mértéke állapítható meg elektromyographiával.

A test izomerejét, izomcsoportok erejét **erőmérések** segítségével becslik. Az erőmérők használatával konkrét izomcsoportokat vizsgálnak, de általában ezekben a mérésekben is bizonyos sportmozgások kivitelezése közben. Az izomerő becslésére a testnevelés órákon a különböző motoros pályateszteket alkalmazzák. Az erő nagyságát abszolút értelemben ugyan nem lehet meghatározni, de következtetni lehet az adott mozgás kivitelezéséhez szükséges izmok állapotára, erejére. Ezek a pályatesztek elsősorban az önkontrollós vizsgálatokra alkalmasak (az egyén önmagához viszonyított fejlődése), de a vizsgált populáció átlagához viszonyított tájékozódás is adekvát információkkal szolgál.

Számtalan sportágban fontos a *gyors- és robbanékonyság* fejlesztése, mérése. A robbanékonysággal azt az erőt jellemezzük, amely azt mutatja meg, hogy mennyi időre van szüksége az izomnak ahhoz, hogy feszülése elérje az ellenerő mértékét. Pl. mérésekor azt az időt mérjük, amelyre az izomnak szüksége van ahhoz, hogy egy 25 kg-os súlyt megemeljen. A robbanékonyságot az erő-idő görbe meredekségével szokták jellemezni. A gyors erő ennél bonyolultabb, erő-idő-teljesítmény görbékkel jellemezhető. A súlyok mozgatásakor tehát figyelembe kell venni, hogy mekkora súlyt, milyen sebességgel képes valaki mozgatni. Minél nagyobb a súly, annál lassabban mozgatjuk. A sebesség csökkenése hiperbolikus. Ha a nehézségi erőt megszorozzuk a mozgatási sebességgel, egy teljesítménygörbét kapunk. A teljesítménygörbe és az erő-idő görbe összehasonlítása adja az aktuális gyors erő mértékét.

Az izomösszehúzódnak sebessége nagymértékben függ az ellenelő nagyságától. Az ellenelő fokozódásával az összehúzódnak sebessége hiperbolikus görbe mentén csökken. Ez a **Hill által** leírt összefüggés a következő:

$$V = \frac{b(P_m - P)}{P + a}$$

ahol **V**: az összehúzódnak sebessége, **P**: megterhelés (ellenelő), **P_m**: maximális izometriás erő, **a**: erőkonstans, **b**: sebességi konstans.

A gyorselő nem tévesztendő össze a gyorsasággal. A gyorsaság egy adott súly maximális sebességgel történő mozgatóját jelenti. A robbanékonyelő, a gyorselő és a gyorsaság együttesen befolyásolják az erőt és a gyorsasági állóképességet is. Érdekes módon a tesztoszteron nemcsak az erő nagyságára van befolyással, hanem a gyorsaságot is befolyásolja. Valószínűleg a tesztoszteron szint növekedése az izomkontrakció idejét is csökkenti. Ha egy sportoló vérében a mért tesztoszteron mennyisége nő, teljesítménye is fokozódik. A teljesítményjavulás és a tesztoszteron-szint változása egyenes arányossággal jellemezhető.

A **THG (tetrahidrogesztronone)** egy mesterségesen előállított androgén. Mivel szövetspecifikus (pl. izomszövet építő) hatásai vannak és nagy hatékonysággal növeli az androgén-receptor aktivitását igen népszerű lett a doppingolók körében. Számos tekintetben azonban progeszteron hatással is bír, melynek következtében nagyon súlyos károsodásokat hoz létre a szervezetben. A THG-visszaélők agyvérzésre, infarktusra, trombózisok kialakulására számíthatnak. Ezen kívül csökkenti a csontok teherbíró-képességét, nőkben mellrákot is okozhat.

2.6. Az izombetegségek

Mivel az izomszövet az emberi test 38-44%-t teszi ki, ezért sérülései, betegségei jelentős életminőség romlással járnak. Az öröklött ártalmakon kívül az izombetegségeknek a következő okai lehetnek:

- maga az izom károsodik (myogén kórképek),
- az idegrendszer valamely része károsodik (neurogén betegségek),
- anyagcserezavarok vagy hormonális rendellenességek.

Az izombetegségek következtében az izomban szerkezeti és funkcionális változások figyelhetők meg. Ezek többsége az izom leépülését jelenti. Elsősorban gyengeség, bénulás, *sorvadás (atrophia)* következik be, másodsorban az izomsejtek leépülésével párhuzamosan zsírszövet, vagy kötőszövet rakódik le az elhalt izomsejtek helyére (**dystrophia**). Szinte valamennyi izomműködési zavar electromyographiával kimutatható.

A sportolók számára a legismertebb izomfunkció zavar az **izomláz**. Ez a nagy fizikai terhelés után 24-36 órával jelentkezik. Elektronmikroszkópos vizsgálatok során mikroszakadásokat figyeltek meg az izomsejteken. A sarcolemma sérülései során valószínűleg kalcium-beáramlás jön létre, melynek hatására az adott izomsejtek hyperkontrakcióval válaszolnak. Ezzel párhuzamosan a fájdalomérző receptorok is ingerlékenyebbé válnak, részben a nagymennyiségű laktát (tejsav), részben a lokális immunfolyamatok miatt. Lokálisan ugyanis hisztamin, prosztaglandin felszabadulás figyelhető meg. Valószínűleg a mikrosérülések miatt az izomsejt javítómechanizmusok között a kontraktilis elemek szintézise is fokozódik, így bizonyos edzésszakaszokban egyes edzők előnyösnek tartják az izomláz megjelenését.

Az *endocrin zavarok* között a pajzsmirigy hyper- és hypofunkciója, valamint a növekedési hormon időskori túlermelése által előidézett acromegalia és a mellékvese hormonok zavarai is – különböző mechanizmusokon keresztül – izomgyengeséget okoznak.

Az *izomanyagcsere zavarai* szintén izomgyengeséghez vezetnek. A glikolitikus enzimek hiányos működése energiahányt okoz, melynek következtében izomgörcsök léphetnek fel. Előfordul a béta-oxidációban részt vevő enzimek zavara is. Ebben az esetben az izom a zsírsavakból nem, vagy csak kis hatásfokkal képes energiát nyerni.

Az izomsejtek leépülésével járó folyamatot **izomdystrophiának** nevezzük. Ebben a betegségben az izom degenerálódik és elsorvad. Újszülött korban még csak néhány izomrost elhalása figyelhető meg, később azonban az elhalás üteme felgyorsul, az elhaló sejtek helyén kötő- és zsírszövet felhalmozódás látható. A rostok eredeti aránya hosszú ideig nem változik, a betegség előrehaladtával azonban egyre több C-típusú rost jelenik meg. Mivel a károsodott izomsejtekbe nagymennyiségű kalcium áramlik be, így ezek a sejtek hyperreaktívakká válnak. A sérült izomsejtekben számtalan biokémiai elváltozás tapasztalható. Proteáz enzimek lebontják a kontraktilis fehérjét (aktin, myosin), és számos enzimet is. Mindeközben nőhet a fehérjék mennyisége az

izomsejtekben. Károsodik a mitochondrium, a troponin-C kalciumkötő képessége fokozódik, s ennek hatására alakulnak ki a tartós kontrakciók.

Az idegrendszeri zavarok között előfordulhat:

a./ A **neuromusculáris-junctio zavara**, vagy a mozgató neuronok működésében bekövetkezett zavar is.

Az ingerületáttevődés zavarait okozhatják toxinok és gyógyszerek is. Ezen anyagok hatása egyrészt lehet az acetilcholin felszabadulásának gátlása a praesynapticus oldalon, másrészt a postsynapticus oldalon gátolhatják az acetilcholin kötődését. A kurare mérge (béka bőr mérge) pl. erősebben kötődik az acetilcholin receptorához, mint maga az acetilcholin, így meggátolva az izomkontrakciót. A mozgató idegsejt zavarai lehetnek örökletesek és különböző gyulladások következményei. A polyomyelitis pl. vírus eredetű megbetegedés, amely a mozgatóneuron-axonjának elhalásához vezet.

b./ **Izomgörcs**

Ha az izom vérellátása csökken, a káros anyagcseretermékek felhalmozódása az izomrostok görcsös összehúzódásához vezethet. Előfordulhat vízhiány, sóháztartási zavarok, rossz lábbelik vagy nagy terhelés következményeként. Ha melegben izzadással sok vizet veszítünk az így kialakult dehidrátság szintén görcsökhöz vezet. Egyes esetekben a görcsök kialakulásáért a szervezet magnéziumhiánya a felelős. Bizonyos esetekben éjszakánként jelentkező lábikragörcsök is jelentkeznek (főleg idősebb emberekben). Ezek nagy része masszírozással kezelhető, általában nem szükséges a gyógyszeres kezelés. Az izom ellenirányú nyújtása általában hatékony az izomgörcsök ellen. Melegvizet borogatás (sosem hidegvizes) szintén enyhítheti a fájdalmat, csökkentheti a görcskészséget.

c./ **Izomzúzódás**

Ütközések, ütések hatására keletkező sportsérülés. A sérülés helyén néhány órával később vérömleny keletkezik (**haematoma**). A kék folt általában csak akkor fájdalmas, ha az adott területre nyomást gyakorolnak. A haematoma kialakulási veszélye fokozódik véralvadást gátló gyógyszerek szedése esetén. Ha a vérömleny kialakult hidegvizes borogatással csökkenthető a duzzanat. A természetes gyógy módok közül az árnikapakolás, árnikás kenőcsök, valamint túr- vagy búzadara pakolások javasoltak. A sérült testrészt általában felpolcolják.

d./ **Izomhúzódás, izomszakadás**

Szintén tipikus sportsérülésnek tekinthető, amely gyakran a helyes bemelegítés hiánya miatt alakul ki. Gyakran előfordul, hogy sportolók a felszíni réteg felmelegítésével (sportkrémek) az izmot bemelegítettnek tekintik, holott az izom megfelelő keringés és anyagcsere fokozása nem történt meg. Ebben az esetben nagy terhelés hatására néhány izomrost szakadása (túlnyújtás) fordulhat elő (izomhúzódás). Ha az izom teljesen átszakad, akkor beszélünk **izomszakadásról**. Szerencsére ez ritkább sérülés. Az izomszakadást műtétiileg gyógyítják (összevarrják), melynek gyógyulási ideje kb. 6 hét. A húzódások nem igényelnek műtéti beavatkozást, kb. 4 hét alatt gyógyulnak. Mindkét esetben az izom tehermentesítése szükséges. Ha a húzódás kezelése nem megfelelő, a sérülés helyén nagyobb hegek alakulhatnak ki, amelyek a későbbiekben csökkentik az izom mozgásterjedelmét és erejét. Mindkét sérülés esetén a gyógyulást rehabilitációval segítik. Vízben végrehajtott tornák, zuhany-terápiák, ultrahangos kezelések a leggyakoribbak. Mivel a sérülés helyén vérömlenyek is kialakulhatnak, azok kezelésére a zúzódásnál tárgyalt természetes gyógy módok használhatók.

e./ **Izomgyulladás (myositis)**

Számtalan okra és kórokozóra vezethető vissza, a tünetek azonban nagyon hasonlóak. Ezek elsősorban izomlázszerű fájdalmakat, hőemelkedést vagy lázat, tartós fogyást jelentenek, gyakran rossz hangulattal társulva. Ez a betegség a nőket gyakrabban érinti, mint a férfiakat. A kórokozók hatására kialakuló **myositis** ritkább, mint az autoimmun eredetű gyulladás. Általában lassú izomsorvadással jár. Az elhaló izomsejtek által kibocsátott anyagcseretermékek veszélyesek a szervezetre, shockot is kialakíthatnak, ezért teljes ágynyugalom mellett gyógyszeres kezelés, illetve nagyon óvatos (szakszerű) gyógytorna a használatos.

f./ **Sérvek**

A hasfal kötőszövege meggyengül, nem tud ellenállni a belső részek nyomásának. Ennek következtében kötőszöveti rések keletkeznek, amelyen keresztül lágyrészek nyomulnak elő. Legtipikusabbak a **köldöksérv**, a **lágysérv** és a **felső hasfalú sérv**. Megjelenhet lassan, nem múló duzzanat formájában, vagy hirtelen nagy terhelés hatására. A **sérv** általában nem fájdalmas. Ha a sérv kizáródik (a belfodor vérellátása romlik vagy

megszűnik, az adott szakasz elhal és nem továbbítja a béltartalmat) azonnal műtetre szorul. A hajlamosító tényezők között a kötőszövet gyengesége mellett szerepel a túlsúly, a hasizomzat állandó túlterhelése, a gyakori hasprés. Viszonylag gyakori a **rekeszizom sérv**, amely általában gyomorégést, gyomorfájdalmakat, a szív és a hát irányába kisugárzó fájdalmat produkál. A műtét szükségességéről az orvos dönt.

2.7. Az ember fontosabb izmai

Az ember izmait több szempont szerint is csoportosíthatjuk. Az egyik szempont szerint *az izmok eredését és tapadását figyeljük*. Azokat az izmokat, melynek az eredése és tapadása is csonton van, **vázizmoknak** nevezzük. Ezzel szemben azokat az izmokat, melyeknek vagy eredése, vagy tapadása, vagy esetleg mindkét vége bőrben van, **bőrizmoknak** nevezzük. Ilyen izmok pl. az arc mimikai izmai.

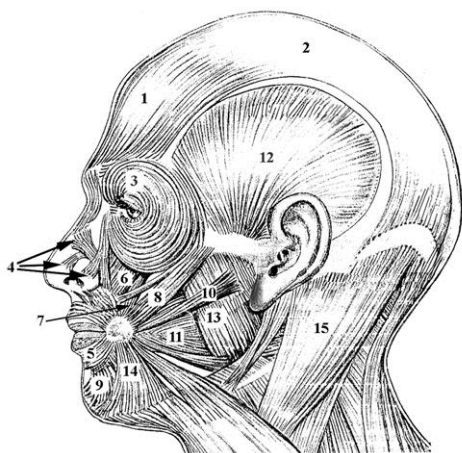
Izmainkat *testtájak szerint* is tárgyalhatjuk. Így beszélhetünk a fej, a nyak, a törzs és a végtagok izmairól. Fontosabb izmaink ezen csoportosítás alapján kerülnek ismertetésre.

2.7.1. A fej izmai

Két csoportba, a mimikai és a rágóizmokra oszthatók.

a./ **Mimikai izmok**. Ezek bőrismok. A koponyán erednek és a fej vagy az arc bőrében tapadnak. A száj, a szem és az orrnyílás körüli izmok, ezek nyitását és zárását végzik, de az érzelmek kifejezésére is szolgálnak (5.38. ábra). Felosztásuk, elhelyezkedésük alapján történik. Így lehetnek:

5.38. ábra - A koponya izmai



1: m. frontalis, 2: galea aponeurotica, 3: m. orbicularis oculi, 4: orrnyílás körüli izmok, 5: m. orbicularis oris, 6: m. levator labii superioris, 7: m. levator anguli oris, 8: m. zygomaticus major, 9: m. depressor labii inferior, 10: m. risorius, 11: m. buccinator, 12: m. temporalis, 13: m. masseter, 14: platysma 15: m. sternocleidomastoideus

a.a./Fejtetői izmok:

- **m. frontalis** a homlok bőrét ráncolja.
- **galea aponeurotica** (fejszak; „skalp”), amit két páros izom mozgat. Az egyik a galeat felfelé húzza (csodálkozás) a másik hátrafelé mozgatja.

a.b./ Szemkörüli izmok: A szemhéjak pislogását, zárását, szemhunyorítást végzik. Fő részét a

- **m. orbicularis oculi**, a szemrés gyűrűs izma adja.

a.c./ **Orrnyílás körüli izmok**: Emberben csökevényesek az orrnyílást szűkíteni, tágítani és tágítani és emelni (felhúzza az orrát) képesek.

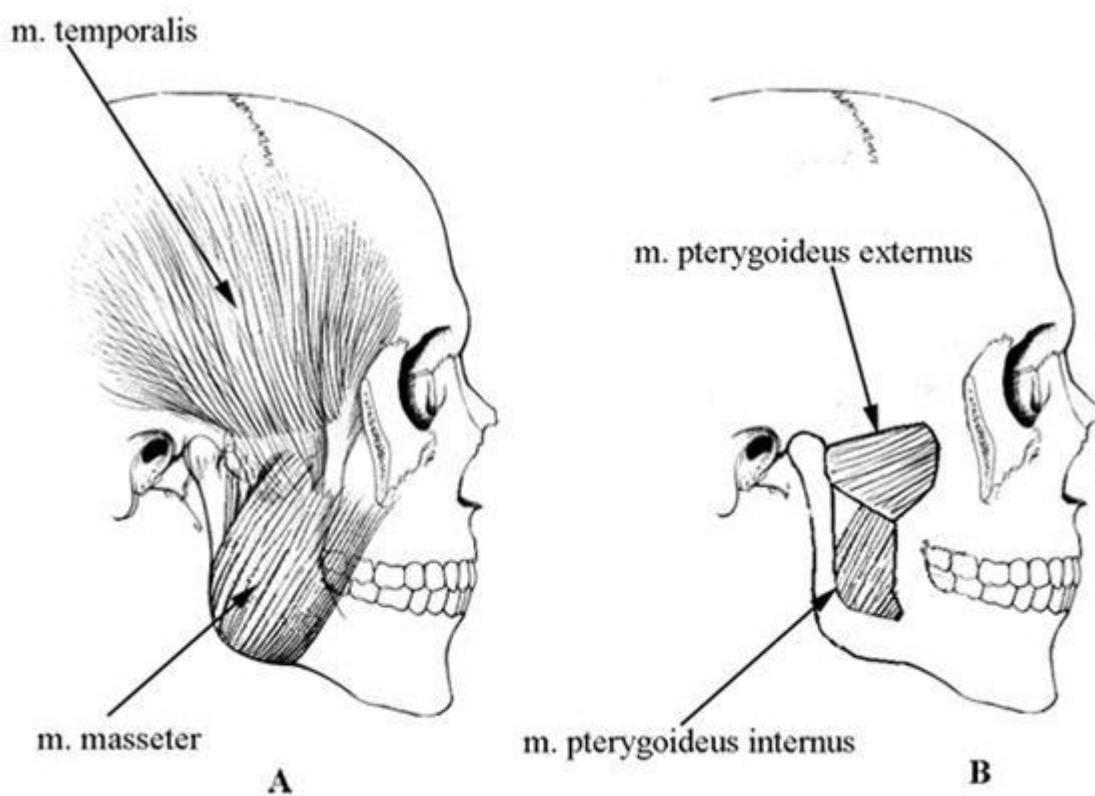
a.d./ Szájkörüli izmok: A szájrés körüli gyűrűs izom a

- **m. orbicularis oris**, ami a szájrést szűkíti (csücsörítés, fűtyülés), a többi izom a szájjugot és a felső ajkat emeli
- **m. levator labii superioris**, az ajkat oldalra húzza (nevetés),
- **m. levator anguli oris**. A szájjugtól oldalra húzódik a
- **m. zygomaticus major**,
- **m. depressor labii inferior**. Az ajak süllyesztő a szájjug oldalán a
- **m. rizzorius** (nevető izom) látható, ami a szájnylást oldalra húzza.
- **m. buccinator** (trombitaizom) a pofa vázát adja, a rágást segíti.

a.e./ Fülkagylóhoz tartozó izmok. Csökevényesek, jelentőségük alig van.

b./ **Rágóizmok** (5.39. ábra A. és B. képek). A koponya egyetlen mozgatható csontját, a mandibulát mozgatják. Ezek a

5.39. ábra - Rágóizmok



Halántékizom (m. temporalis; 5.39. ábra, A. kép). A fogsorok ill. a fogak zárását végzi. Eredése a halántékcsonton van, miután az izom átbújik a járomív alatt a mandibula processus coronoideusán tapad.

Járomcsonti rágóizom (m. masseter; 5.39. ábra, A. kép). Ugyancsak zárja a fogsorokat. Eredése a járomcsonton és a járomíven van. Tapad a mandibula szögletének külső szélén.

Külső rőpnyúlványi izom (m. pterygoideus externus; 5.39. ábra, B. kép). A mandibulát előre húzza. Eredése az ékcsontról egy részére és a rőpcsontra esik. Tapadása nagyrészt a mandibula elkeskenyedő részén van.

Belső rőpnyúlványi izom (m. pterygoideus internus; 5.39. ábra, B. kép). A fogsor zárásában szerepel. Eredése hasonló az előzőéhez. Tapadása a mandibula szögletének belső felületén található.

2.7.2. A nyak izmai

A nyak és a fej mozgását végzik. Felületes-, nyelvcsonti- és mély nyakizmokra különíthetők.

a./ *Felületes helyzetű nyakizmok*

A *felületes bőrízom* vagy *nyaki bőrízom* (**platysma**; 5.38. ábra). A mandibula alsó éléről az arcizmokkal részben összenőve ered, s a kulcscsont alatt a mell bőrében sugárzik szét.

A *fejbiccentő izom* (**m. sternocleidomastoideus**), ami az arcot felfelé mozgatja, fekvő helyzetben emeli a fejet. Ha a kétoldali izom külön-külön húzódik össze, akkor az arc oldalra fordítását segíti (5.38. ábra).

b./ **Nyelvcsonti izmok**, melyek helyzetük szerint lehetnek nyelvcsont feletti és alattiak. Sok apró izom tartozik ide, amelyek a száj nyitásában, a nyelésben, a gége rögzítésében és a szopásban működnek közre. A nyelvcsont alatti izmok a nyelvcsontot, és vele együtt a gégét lefelé húzzák. A nyelvcsont feletti izmok rögzített nyelvcsont mellett emelik a fejet.

c./ **Mély nyakizmok**. Főleg a nyak elülső és oldalsó részén helyezkednek el. A fej előrehajlásában vesznek részt, ezen túl légzési segédizmok is.

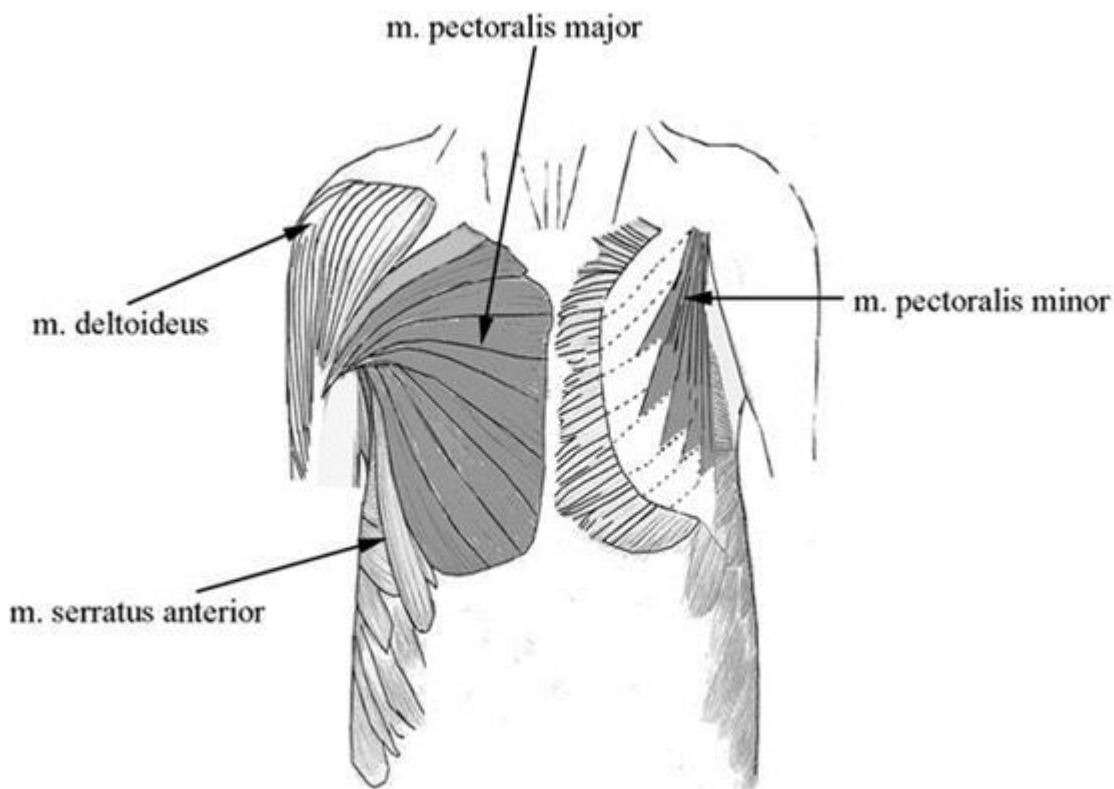
2.7.3. A törzs izmai

Három fő csoportra oszthatók, amelyek tovább kisebb izomcsoportokra bonthatók. A főbb izomcsoportok: mellizmok, hátizmok, hasizmok.

a./ **Mellizmok**: amelyekhez tartoznak a felső végtaghoz húzódó mellkas-karizmok, és a mellkas saját izmai, vagy mély mellkasizmok, másnéven légzőizmok.

a.a./ A *mellkas-karizmok izmai* (**thoraco-humerális izmok**, 5.40. ábra), topográfiaiag lehetnek felületes nagy izmok, melyek a mellkasról erednek és a felső végtag csontjain tapadnak, azokat mozgatják. Rögzített felső végtag mellett viszont a mellkast emelik, így fontos légzési segédizmok is. Ide sorolhatók:

5.40. ábra - Mellkas-karizmok



A kép baloldalán a felületes, míg a jobboldalon a mélyebb fekvésű izmok láthatók.

Nagy mellizom (m. pectoralis major; 5.40. ábra). Oldalfelé emeli, és előre húzza a kart. Légzést segítő izom. Több helyen is ered. Így a kulcscsont középső részén, a szegycsonton és a felső (2-6) bordaporcokon, valamint az egyenes hasizom hüvelyének első részén. Tapadása: a felkarcsont proximális végén. A távolított felkart előrehúzza és lefelé a törzshöz közelíti.

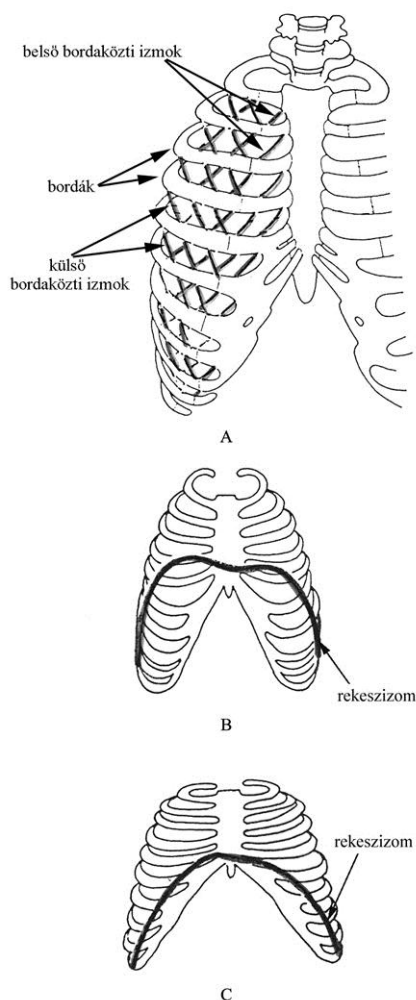
Kis mellizom (m. pectoralis minor; 5.40. ábra). A lapockát rögzíti, előre és lefelé húzza. Eredése: a 3-5 bordaporc elülső részén, míg tapadása a lapocka processus coracoideusán van.

Kulcscsont alatti izom (m. subclavius). A kulcscsont rögzítését végzi. Eredése az elülső bordák elülső részén, tapadása a kulcscsont oldalsó alsó részén található.

Nagy (vagy elülső) fűrészsizom (m. serratus anterior; 5.40. ábra). Eredése az 1-9 bordán, tapadása a lapocka gerinc felőli oldalán van. A lapocka mozgásával lehetővé teszi a kar fej fölé emelését, de egyúttal légzési segédizom is.

a.b./ A mellkas saját izmai (légzőizmok; 5.41. ábra, A.-C. képek): Ide tartoznak:

5.41. ábra - A mellkas saját izmai a légzőizmok



A: A bordaközi izmok. A rekeszizom helyzete ki- **(B)** és belégzéskor **(C)**.

A külső bordaközi izmok (m. intercostalis externus; 5.41. ábra, A. kép). Mindig a bordák alsó szélén erednek, felülről lefelé és előre haladó rostok a gerincnél kezdődnek, de elől a bordaporcok szélétől inas lemezben folytatódnak a szegycsontig. Tapadásuk az alsó bordák felső széle. Összehúzódásukkor az alsó bordákat emelik, így a mellkast tágítják. Belégző izmok.

A *belső bordaközi izmok* (**m. intercostalis internus**; 5.41. ábra, A. kép). A *külső bordaközi izmok* merőlegesei rostjai, a mellcsonttól a gerincig ferdén futnak. Összehúzódásukkor a felső bordákat süllyeszti (mellkast szűkíti). Kilégző izmok.

Rekeszizom (**diaphragma**; 5.41. ábra). Kupola alakban elhelyezkedő izmos-inas lemez, ami a mellüreg és a hasüreget választja el. Ered a 2. és 4. ágyéksigolyáról, a hat alsó bordaporc belső, és a szegycsont kardnyúlványának ugyancsak belső felszínéről. Az izomrostok a közepén levő *inas részhez* (*centrum tendineum*) sugároznak be. Ez az inas rész háromlevelű lóheréhez hasonlít, egy elülső és két hátsó résszel, melyekre elől a szív, hátul a két tüdő fekszik rá. A rekeszizom rostjai összehúzódva az eredetileg kupola formát ellaposítják (5.39. ábra, B. és C. képek). A rekeszizom belégzőizom.

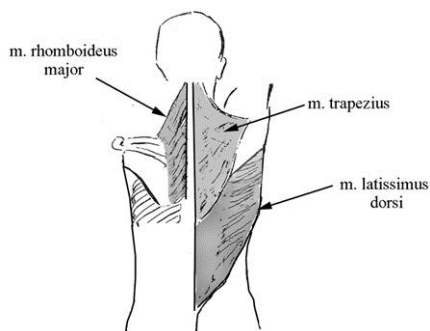
b./ *Hátizmok*, melyek

- felületes,
- mélyfekvésű és
- tarkóizmokra különíthetők.

Ide tartoznak:

b.a./ *Felületes hátizmok*. (5.42. ábra). Általában széles, lapos izmok. Nagy részük a felkaron tapad.

5.42. ábra - Hátizmok



Csuklyásizom (**m. trapezius**; 5.42. ábra). Lapocka rögzítő és mozgató izom is. A nyakszirtcsonton, a nyak és hátsigolyák tövisnyúlványain ered. Több helyen is tapad, így a lapocka tövisén, a vállcsúcson és a kulcscsonton.

Széles hátizom (**m. latissimus dorsi**; 5.42. ábra). Több helyen is ered, így az alsó nyakcsigolyák tövisnyúlványán, a medence felső élén és az alsó bordákon, míg tapadása a felkarcsont kis gumóján (tuberculum minus) van. A felkart mozgatja, mégpedig a törzshöz közelíti, hátrahúzza és befelé forgatja.

Rombuszizom (**m. rhomboideus**; 5.42. ábra). Két a m. rhomboideus major és minor részre tagolható. Ered az alsó nyakcsigolyák és a felső hátsigolyák tövisnyúlványain, míg a lapocka gerinc felőli szélén tapad. Működésekor a lapockát hátra és felfelé húzza.

Lapockaemelő izom (**m. levator scapulae**). Mint a neve is mutatja a lapocka emelését végzi. Ered a felső nyakcsigolyák harántnyúlványán, tapad a lapocka felső részén.

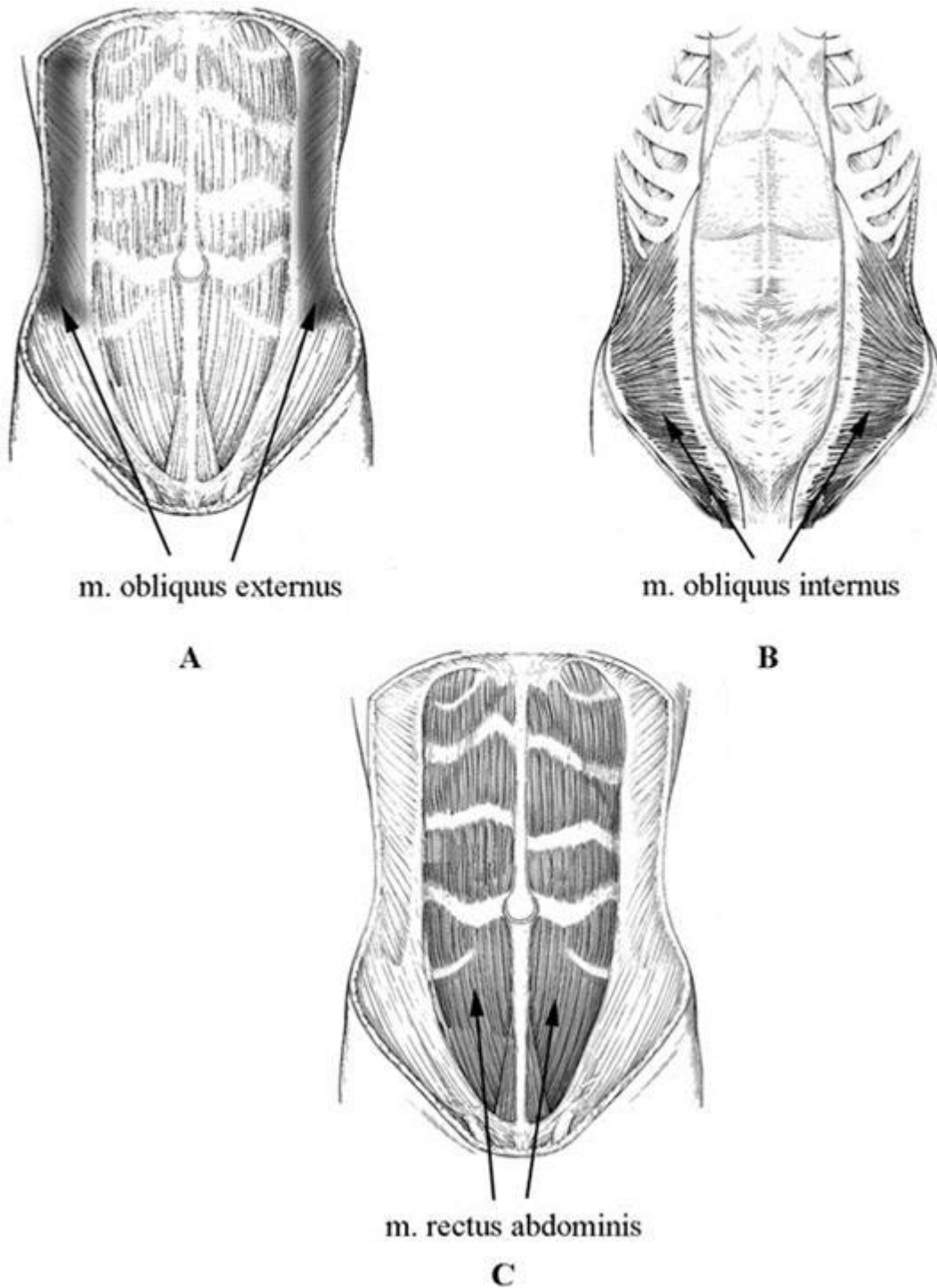
b.b./ *Mélyfekvésű hátizmok*. Különböző nagyságú izmokból áll. A csigolyák és a bordák közötti mélyedést töltik ki. A gerinc nyak-, hát- és ágyéki szakaszán végig megtalálhatók. Együttes működésükkel a gerinc merevítését végzik. Összefoglaló néven *törzsmerevítő izmokként* (**m. erector trunci**) említik.

b.c./ *Tarkóizmok*. Mélyfekvésű rövid izmok, amelyek közül a **m. spenius capitis**-t emeljük ki. A tarkóizmok a nyakszirtcsont és az első két nyakcsigolya között helyezkednek el. Működésükkor a fej hátra ill. oldalra hajlik.

c./ *Hasizmok*

Széles lapos izmok, melyek a hasüreg elülső és oldalsó részét határolják. Általában az alsó bordákon erednek, és a csípőlapáton tapadnak. Izomhasuk széles inas lemezbe (bőnye) megy át, és az ellenkező oldali rostokkal összeszövődnek. Bizonyos védelmet nyújtanak a hasüregben a zsigeri szerveknek (5.43. ábra, A.-C. képek).

5.43. ábra - Hasizmok



Ide tartozik:

Külső ferde hasizom (m. obliquus externus; 5.43. ábra, A. kép). Eredése az 5-12. borda külső felszínén, tapadása a csípőlapát szélén található. Az izom elülső rostjai a széles bőnyébe (aponeurosis) mennek át.

Belső ferde hasizom (m. obliquus internus; 5.43. ábra, B. kép) a külső ferde hasizom alatt helyezkedik el. A hasfal középső rétegét képezi.

Haránt hasizom (m. transversus abdominis). A hasfal harmadik rétegét adja.

Egyenes hasizom (m. rectus abdominis; 5.43. ábra, C. kép). A hasfal elülső részén, a középvonal mellett függőlegesen fut végig. Ered az 5.-7. borda külső felszínén. Tapad a szeméremcsont felső ágán. Lefutását az inas rész (*intersectiones tendinae*) szakítja meg.

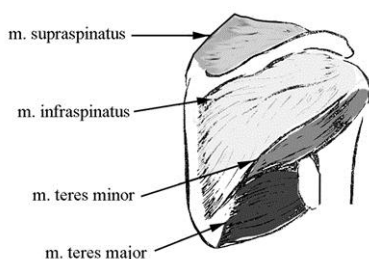
A hasizmok együttes működésének eredménye a **hasprés**, ami a zsigerek összenyomásával az elernyed rekeszizom kupoláját visszanyomja. Ezzel a kilégzésben játszik fontos szerepet. A vizeletürítés, a székelés, szülés, köhögés, hányás, továbbá a törzs szilárdítása pl. teher felemelésénél, a hasizmok együttes működésével jön létre. Ha a hasizmok összehúzódnak, a törzs előrehajlik. Azonos oldali hasizmok összehúzódásával a törzs oldalra hajlik, míg az ellentétes oldali külső és belső ferde hasizmok összehúzódása a törzs forgatását eredményezi. Működésük attól is függ, hogy a mellkas vagy a medence rögzített-e. A mellkas rögzítése esetén (fejjállás, kézállás, függő és támasztóhelyzetek) a medence mozgásában vesznek részt.

2.7.4. A végtagok izmai

a./ A felső végtag izmai. Ide soroljuk a váll-, a felkar-, az alkar és a kéz izmait.

a.a./ Vállizmok. Köpenyszerűen burkolják a vállízületet, ezek erősítik az ízületi tok összetartó erejét. Működésileg ide tartoznak a mellkas-karizmok, melyek a vállízületben hoznak létre elmozdulást (5.40. és 5.44. ábrák).

5.44. ábra - Vállizmok



Deltaizom (m. deltoideus; 5.40. ábra) eredése a kulcscsont oldalsó harmadán a vállcsúcson a lapockatővisen található. Tapadása a felkarcsont érdességén van. A felkart távolítja a törzstől ill. előre-hátra húzza és forgatja.

Lapockatővis feletti izom (m. supraspinatus; 5.44. ábra). Ered a lapockatővis feletti árokban, míg tapadása a felkarcsont nagy gumóján van. Működése a felkar távolítása.

Lapockatővis alatti izom (m. infraspinatus; 5.44. ábra). Ered a lapockatővis alatti árokban, tapad a felkarcsont nagy gumóján. Működése: a felkart kifelé forgatja.

A kis és nagy görgeteg izmok (m. teres minor és m. teres major; 5.44. ábra), az előző kifelé, az utóbbi izom befelé rotálja a kart. Ebben a mozgásban részt vesz még a

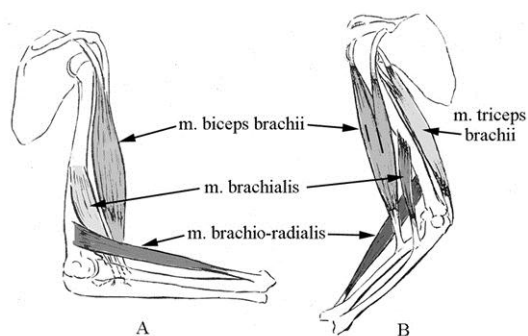
Lapocka alatti izom (m. subscapularis), és a hollócsőrkarizom (m. coracobrachialis ventralis) is. Eredésük általában a lapockán és tapadásuk a felkarcsonton van.

a.b./ A felkar izmai. Elsősorban a könyökízületben fejtik ki hatásukat, de van köztük olyan is, amelyik a vállízület mozgásában is részt vesz. Funkcionálisan a felkaron elől elhelyezkedő hajlító (flexor) és a felkar hátsó részén található feszítő (extenzor) izmokra oszthatók. (5.43. ábra, A és B. képek).

a.b.a./ A felkar hajlító izmai:

A kétfejű karhajlítóizom (m. biceps brachii, 5.45. ábra, A és B. képek) az alkart hajlítja. *Hosszú feje* a lapocka ízületi felszíne felett ered, tapadása az orsócsonton van. *Rövid feje* a hollócsőrscsont nyúlványán van, tapadása a singscsont felső harmadán található.

5.45. ábra - A felkar izmai



Karizom (m. brachialis, 5.45. ábra, A. és B. képek) a felkarcsont középső részén ered és a singcsont felső harmadán tapad. Az alkart hajlítja.

Karorsóizom (m. brachio-radialis, 5.45. ábra, A. és B. képek). A felkarcsont alsó harmadán ered és az orsócsont végén tapad. Az alkart hajlítja (pronálja és supinálja).

a.b.b./ A felkar feszítő izmai:

Háromfejű karizom (m. triceps brachii, 5.45. ábra, B. kép). Mint a neve is mutatja három helyen ered. Hosszú feje a lapocka ízületi árka alatt, belső feje a felkarcsont felső részén, külső feje pedig a felkarcsont hátsó külső felszínén ered. Tapadása a singcsont olecranonján van.

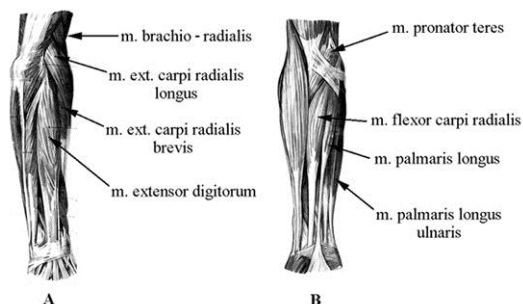
Kampóizom (m. anconeus). Eredése a felkarcsont távolabbi végrészének külső bütyke, míg tapadása a singcsont könyökkampóján (olecranon) van.

a.c./ Az alkar izmai (5.46. ábra). A csukló és az ujjak hajlító, feszítő izmai. Az extensorok körülvevő az orsócsontot, ennek voláris oldalára is átnyúlnak, míg a flexorok az ulna körül csoportosulnak.

a.c.a./ Az alkar hajlító izmok felületes és mélyebb rétegű elhelyezkedést mutatnak. Leginkább a felkarcsont distális epiphysis belső bütykén, a singcsontot körülvevő erednek az alkar elülső felszínén húzódnak tapadási helyük felé.

Hengeres borítóizom (m. pronator teres; 5.46. ábra, B. kép). Két fejjel ered. Az erősebb fej a felkar mediális epicondylusán, a kisebb fej a singcsont coronaryúlványán ered. Az izom tapadása a radius testén van. Működése: az alkar pronálása és a könyök hajlítása.

5.46. ábra - Az alkar izmai



A: extensor-, **B:** flexor izmok

Orsócsonti csuklójajlító izom (m. flexor carpi radialis; 5.46. ábra, B. kép). A humerus belső könyökdudorán ered, és a II. metacarpus medialis oldalán tapad.

Singcsonti csuklójajlító izom (m. flexor carpi ulnaris; 5.46. ábra, B. kép). A humerus belső könyökdudorán ered, míg tapadása erős ínna a borsócsonton van. Működése az előző izommal együtt a rögzített könyök mellett a csuklót mozgatja, míg rögzített csukló mellett a könyök mozgásában vesz részt.

Hosszú tenyérizom (m. palmaris longus; 5.46. ábra, B. kép). Ugyancsak a felkarcsont belső könyökdudorán ered, tapadása a tenyéri bőnyében van. Működése lehetővé teszi a tárgyak biztos megfogását.

a.c.b./ Az alkar feszítő izmai szintén felületes és mélyfekvésűek lehetnek. Eredésük a felkarcsont távolabbi végén van, az orsócsont megkerülésével az alkar háti oldalán haladnak, majd a csuklón és a körömpercek háti felszínén tapadnak.

Hosszú orsócsonti csuklófeszítő izom (m. extensor carpi radialis longus; 5.46. ábra, A. kép). A felkarcsont külső könyökdudora felett ered, majd egy hosszú ínnal a II. kézközépcsont alapjának háti oldalán tapad.

Rövid orsócsonti csuklófeszítő izom (m. extensor carpi radialis brevis; 5.46. ábra, A. kép). Eredése az előző izoméval egyezik, tapadása a III. kéztőcsont háti oldalán van.

Mindkét orsócsonti csuklófeszítő izom rögzített csukló mellett a könyökízületet feszíti, ill. rögzített könyök mellett a csuklót kézháti irányba feszíti.

Az ujjakat feszítő izom (m. extensor digitorum; 5.46. ábra, A. kép). A külső könyökdudoron ered, míg az izom a végén négy ágra válva a II.-V. ujj dorsális oldalán tapad. Az ujjak extensora.

a.c.c./ Forgatóizmok. Az orsó és a singsont között harántul futnak. A két alkarcsont egymáshoz viszonyított forgó mozgásában vesznek részt.

a.d./ Kézizmok. A hüvelykujjpárna a kisujjpárna és a tenyérközép izmaiként a tenyéri oldalon vannak. Az ujjak közelítő, távolító és hajlító izmai.

b./ Az alsó végtag izmai

Az ide tartozó izmok a csontok szerkezeti egységeinek megfelelően csoportosíthatók, melyek:

b.a./ Csípőizmok (5.47. ábra, A.-D. képek), melyek külső és belső csípőizmok lehetnek.

b.a.a./ Belső csípőizmok:

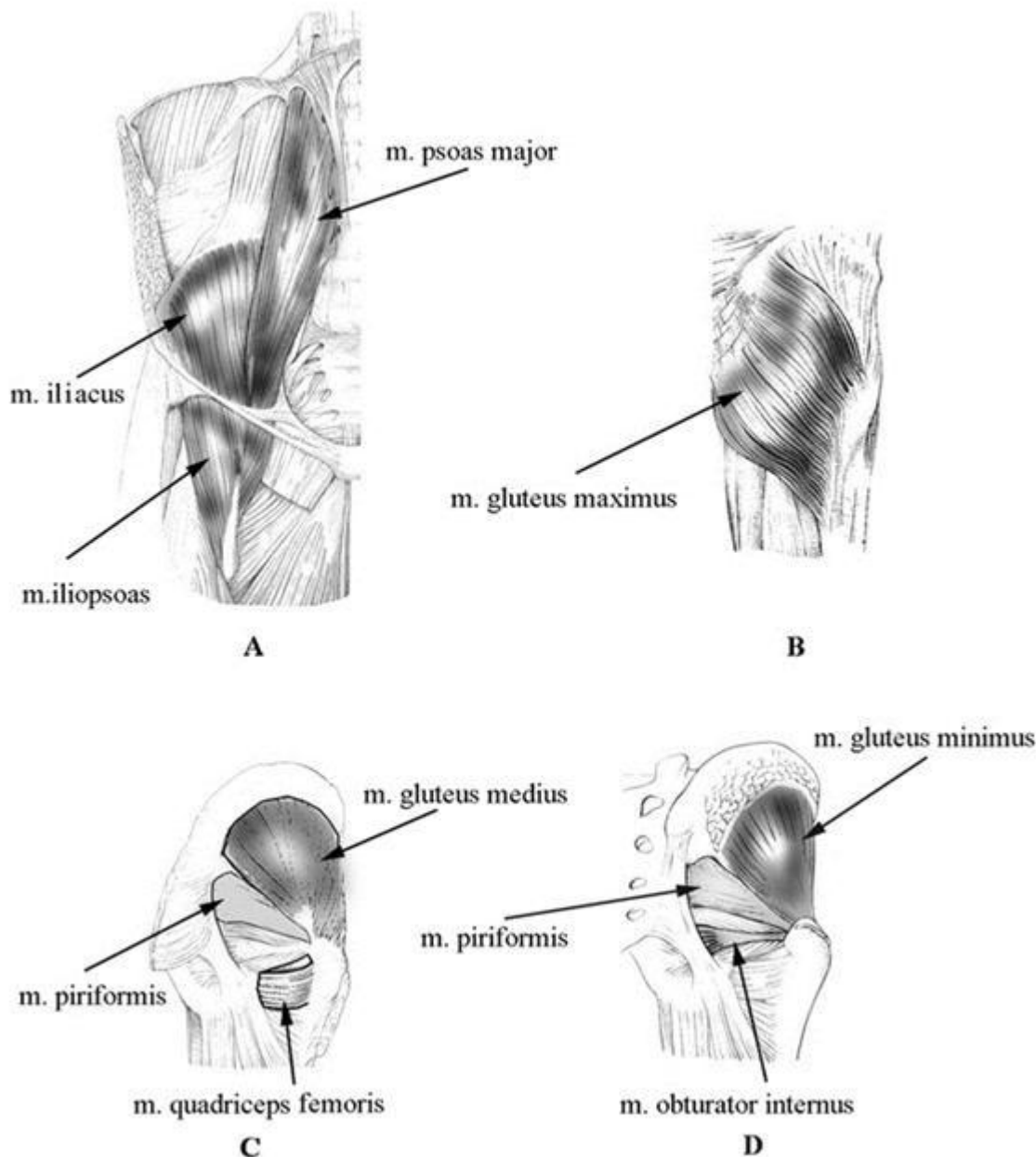
Csípő-horpaszizom (m. iliopsoas; 5.47. ábra, A. kép). Két részből, nevezetesen a nagy horpaszizomból és a csípőizomból áll. A *nagy horpaszizom (m. psoas major; 5.47. ábra, A. kép)* az utolsó háti és az 1.-4. ágyékcsigolyákon ered és a femur kis tomporon tapad. Működése során a combcsontot hajlítja, de a törzset is képes hajlítani, ha az alsó végtag rögzített. *Csípőizom (m. iliacus, 5.47. ábra, A. kép).* A csípőlapáton ered, tapadása hasonló az előzőéhez. Működése egyezik a nagy horpaszizoméval.

Körteképű izom (m. piriformis; 5.47. ábra, C. és D. képek). Eredése a keresztcsont belső felszínén van, míg tapadása a combcsont nagy tomporán található. A combcsontot távolítja, ill. kifelé forgatja.

Belső fedettizom (m. obturator internus; 5.47. ábra, D. kép) a fedett lyuk belső peremén ered, tapadása a combcsont nagy tomporán van. A combot kifelé forgatja.

KEP129

5.47. ábra - Csípőizmok



b.a.b./ Külső csípőizmok:

Farizmok néven is ismertek. Három részüket különítjük el, úgymint:

A nagy farizmot (**m. gluteus maximus**; 5.47. ábra, B. kép),

középső (**m. gluteus medius**; 5.47. ábra, C. kép) és

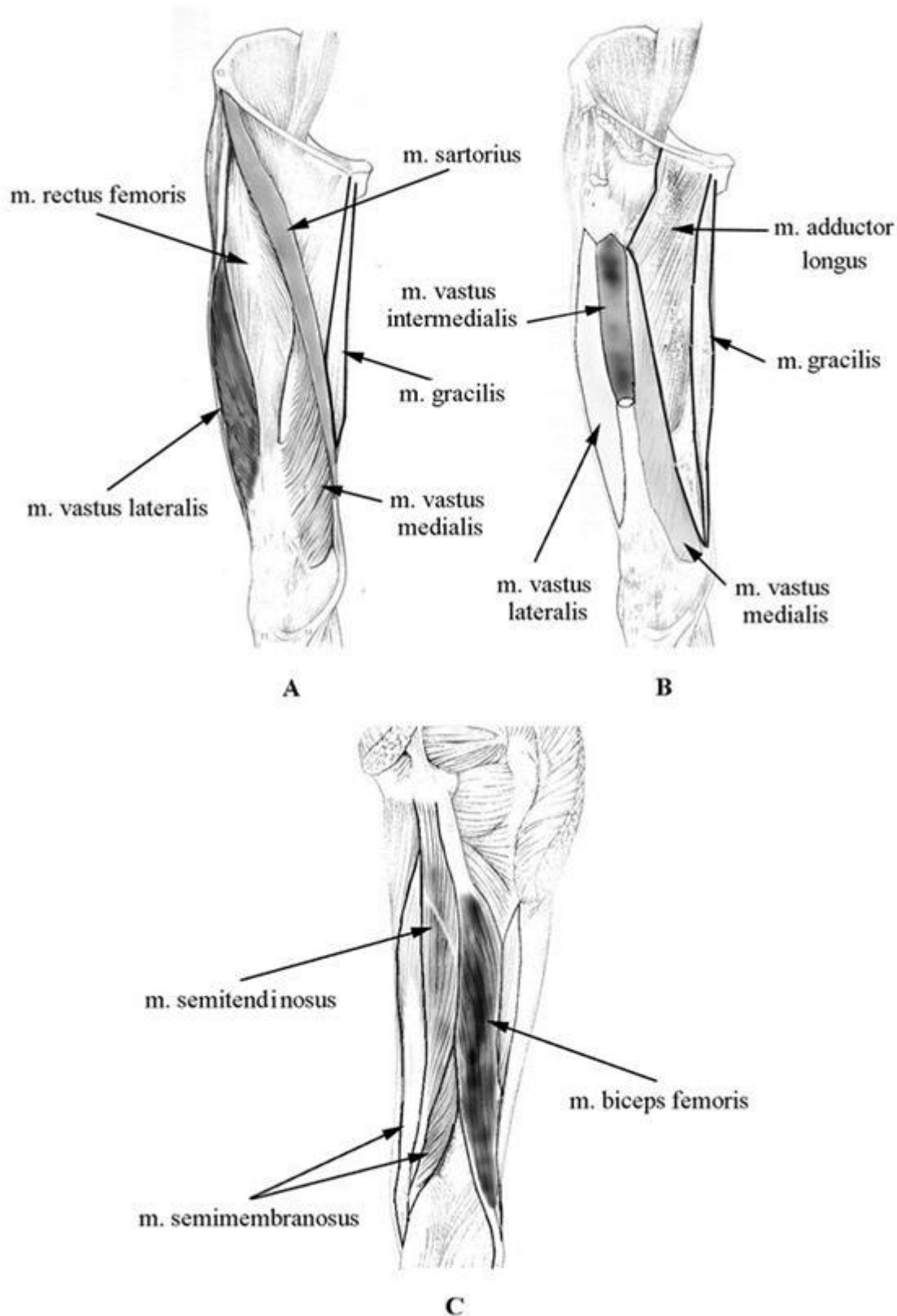
kis farizmot (**m. gluteus minimus**; 5.47. ábra, D. kép). A csípőlapátról erednek és a combcsonton tapadnak. A nagy farizom működése folyamán a combot távolítja, de képes kifelé forgatni. Ez az izom biztosítja az egyenes testtartást. A középső és a kis farizom a combot távolítja, forgatását is elvégzi, mégpedig a középső farizom kifelé, míg a kis farizom a combot befelé forgatja.

Combólya feszítő izom (m. tensor fasciae latae). Ered a csípőtővisen és rögzül a sípcsont külső büttyén. Működésére jellemző, hogy rögzített medence mellett a csípőízületet hajlítja, a combot emeli.

Négyszögű combizom (m. quadratus femoris; 5.47. ábra, C. kép), ami az ülőgumón ered és a combcsont közepén tapad. A combot kifelé forgatja, ill. forgatás után emeli.

b.b./ Combizmok. Az ide tartozó izmok teljesen körülveszik a combcsontot. Működés szerint lehetnek a combot fesztítő, hajlító és közelítő izmok. (5.48. ábra. A., B. és C. képek).

5.48. ábra - Combizmok



b.b.a./ Fesztítő izmok:

Szabóizom (m. sartorius; 5.48. ábra, A. kép) Hosszú lapos izom. A felső csípőtővisen ered és a sípcsont érdességén tapad. Működése: a csípő és a térdízületet hajlítja, a csípőízület hajlítása után a combot kifelé forgatja

Négyfejű combizom (m. quadriceps femoris). Négy helyen ered, úgymint az elülső-alsó csípőtővisen, a combcsont belső, elülső és külső felszínén. Minden eredését külön névvel illetik. Így:

Egyenes combizom (m. rectus femoris, 5.48. ábra, A. kép),

Belső 5.48. ábra, A. és B. képek) és középső vaskosizom (m. vastus intermedius; 5.48. ábra, B. kép) különíthető el. Tapadásuk helye a térdkalács felső részén és a sípcsont érdességén van. Ez az izom a lábszár feszítését és a comb hajlítását végzi.

b.b.b./ Hajlító izmok:

Félig inas izom (m. semitendinosus; 5.48. ábra, C. kép). Az ülőgumón ered, míg tapadása a sípcsont belső érdességén van. Működése: rögzített medence mellett a térdízületet hajlítja, majd a lábszárat befelé forgatja. Rögzített lábszár mellett a csípőt feszíti, a combot gyengén közelíti.

Félig hártás izom (m. semimembranosus; 5.48. ábra, C. kép). A félig inas izommal részben fedett. A térdet hajlítja, a lábszárat befelé forgatja és védi a térdízület tokját a becsípődéstől.

Kétfejű combizom (m. biceps femoris; 5.48. ábra, C. kép). Az ülőgumón és a combcsont középső részén ered, és a szárkapocscsont felső részén tapad. Ez az izom lábszárhajlító.

b.b.c./ Közelítő izmok. A comb belső oldalán helyezkednek el. Nagyrészt a szeméremcsonton erednek és a combcsonton tapadnak. Közülük a legfontosabbak:

Fésűsizom (m. pectineus). A szeméremcsonton ered és a combcsonton tapad. Rögzített medence mellett a combot közelíti, a csípőízületet hajlítja. Rögzített comb esetén a medencét előredönti.

Hosszú és a rövid combközelítő izom (m. adductor longus; 5.48. ábra, B. kép, és brevis). A szeméremcsonton erednek és a combcsont felső harmadában tapad. Működésére jellemző, hogy a combcsontot közelíti és kifelé forgatja.

Nagy combközelítő izom (m. adductor magnus). Működése az előző izoméval egyezik meg. Az ülő és a szeméremcsonton ered, tapadása a combcsont érdes vonalán van.

Karcsúizom (m. gracilis; 5.48. ábra, A. és B. képek). A szeméremcsonton inasan ered, és a sípcsont érdességén tapad.

c./ Lábszárizmok. (5.49. ábra, A. és B. képek). Feszítő és hajlító izmokra oszthatók. A feszítő izmok más néven lábháti hajlítóizmok, a lábszár elülső felszínén vannak. A hajlító izmok a lábszár hátsó felszínén felületes és mély rétegben helyezkednek el. Közülük kiemeljük a

Háromfejű lábikraizmot (m. triceps surae), ami két részből épül fel, nevezetesen a felületesebb

Kétfejű lábikraizomból (m. gastrocnemius, 5.49. ábra, A. kép) és egy mélyebb fekvésű

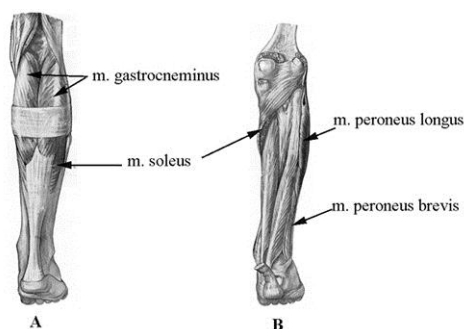
Gázlóizomból (m. soleus; 5.49. ábra, B. kép). A lábikraizom ina az **Achilles-ín**, az emberi szervezet legerősebb ina. Az izom működésére jellemző, hogy emeli a sarokgumót. Járás, futás eseteiben fontosak ezek az izmok.

Elülső sípcsonti izom (m. tibialis anterior; 5.49. ábra, B. kép). Ered a tibia condylus laterálisának oldalsó felszínén és tapad az első metatarsális csonton. Működésére jellemző, hogy a lábat supinálja és dorso-laterális irányba mozgatja.

Hosszanti szárkapcsi izom (m. peroneus longus; 5.49. ábra, B. kép). Ered a szárkapocs fején, míg tapadása a lábtőcsontok közül a belső ékcsonton van. Rögzített lábszár mellett a láb külső szélét emeli, kismértékben segíti a láb talpi hajlítását.

A rövid szárkapcsi izom (m. peroneus brevis; 5.49. ábra, B. kép). A szárkapocs laterális felszínén ered, és az V. lábközépcsont alapján tapad. Működése során lehetővé teszi a tiszta lábháti hajlítást.

5.49. ábra - Felszínes (A) és mélyfekvésű (B) lábizmok



A hosszú lábujjakat feszítő izom (**m. extensor digitorum longus**). A lábszárizmok laterális tagja. A sípcsont külső bütékén ered, majd tapadása előtt több (öt) ágra szakadva ujjfeszítést végez.

d./ Lábizmok. A lábháton és a talpon levő kisebb izmok, melyek a lábujjakat hajlítják, feszítik és szétterpesztik. Működésükre a statikai tartó szerep a jellemző.

3. A mozgásszabályozás anatómiai szerveződése

Somaticus és autonom motoros rendszer

Az izommozgások két nagy csoportba sorolhatók, úgymint reflexes és akaratlagos mozgások. A reflexes mozgások nem tudatosulnak, alacsonyabb idegrendszeri részekben van a központjuk pl. gerincvelő.

3.1. A vázizom reflexes mozgásai

Ezek a **somaticus reflexek** (ld. „Idegrendszer”). A somaticus reflexek tovább osztva, lehetnek izom és bőreredetű reflexek.

3.1.1. Proprioceptív (izomeredetű vagy saját) reflexek

Izomeredetű reflex ez azt jelenti, hogy a reflexív egy vázizomból indul, itt van az érzővégkészülék (receptor), ami képes az ingert ingerületté alakítani, és a végrehajtó készülék az effektor is ugyanabban az izomban van. Ezt a reflexet **myotacticus reflexeknek** is nevezik, mivel az izom hosszának és feszültségi állapotának beállítását és annak megtartását végzi. Ilyen reflex pl. a *térdreflex*. (ld. „Idegrendszer”).

3.1.2. Exteroceptív reflexív, védekező, vagy fájdalomérző reflex

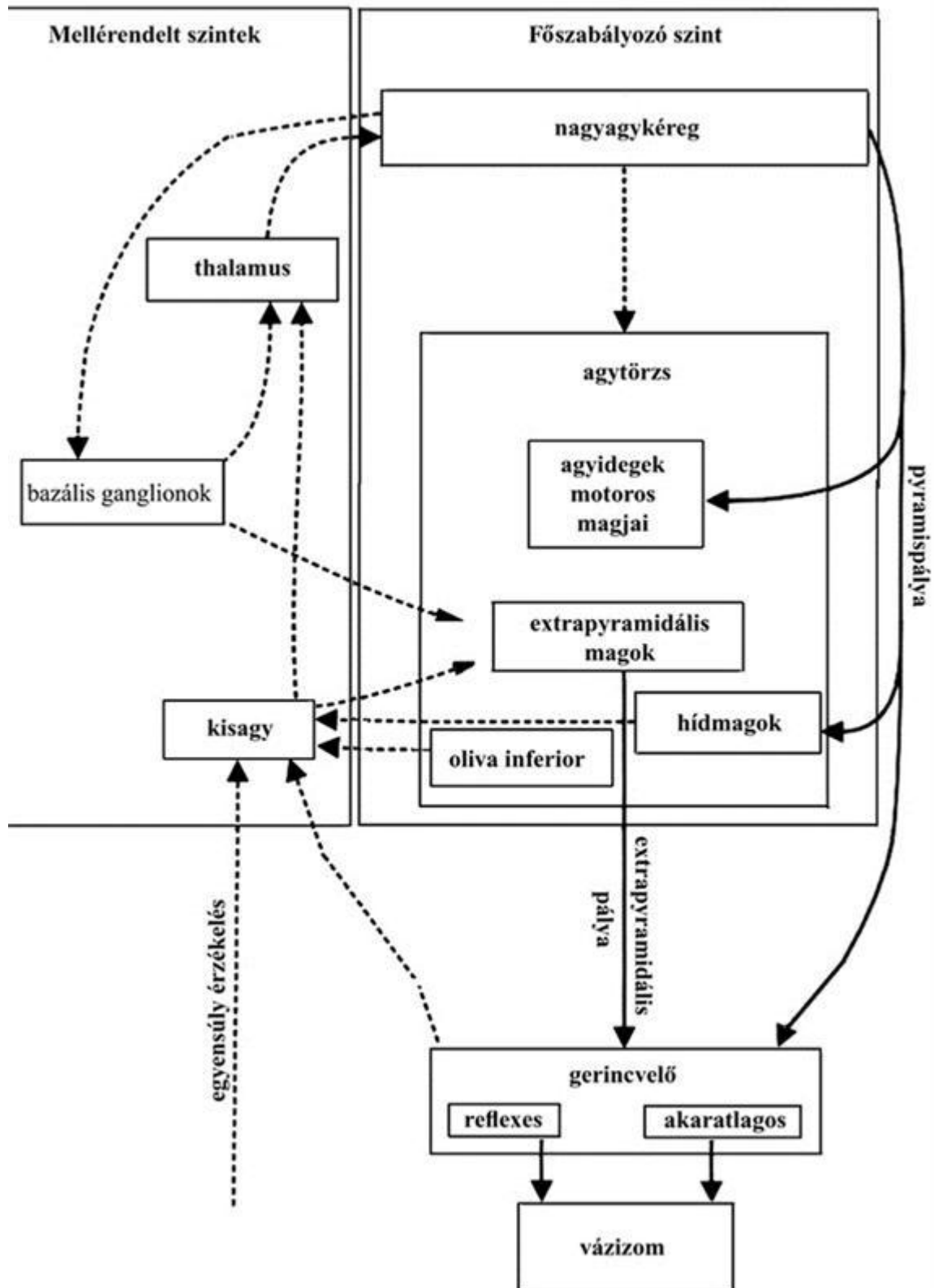
A szervezetet megóvjva valamilyen károsodástól. Ez exteroceptív vagy **idegen reflex** azért, mert a reflexív kezdete a receptor, és vége az effektor nem ugyanabban a szervben van. (ld. „Idegrendszer”).

3.2. Akaratlagos mozgások

A mozgató rendszert irányító központok elrendeződése hierarchikus, azaz egymás felett elhelyezkedő neuroncsoportok (gerincvelő, agytörzs, agykéreg) sejtjei egymás fölé rendeltlen működnek.

Az **agykéreg (fő szabályozó szint)** az akaratlagos mozgásokat vagy közvetlenül, azaz a gerincvelőn át, vagy közvetve (agytörzsi motoros agyidegi magvakon át) irányítja. Az agykéregnek van alárendelve két **mellérendelt szabályozó szint**, nevezetesen a **bazális ganglionok és a kisagy szintje** (5.50. ábra).

5.50. ábra - A mozgást szabályozó szintek és kapcsolataik



3.2.1. A fő szabályozó szint (figyelmet kiváltó akaratlagos mozgások)

a./ A *pyramispálya* (*tractus corticospinalis*). Az agykéregből indul és végződik az agytörzsben levő motoros agyidegi magvakon, ill. a gerincvelő motoros sejtjein. A pálya szerepe az akaratunktól függő mozgások elindítása, a folyamatban levő mozgások megváltoztatása.

b./ Az **extrapyramidális pályák**. Valamilyen tanult automatikus mozgásforma kiváltására extrapyramidális rostok futnak motoros sejtekhez. A pályák eredő sejtjei nem az agykéregben, hanem a kéreg alatti subcorticális magokban vannak, de ezek a magok is a frontális kéreg ellenőrzése alatt állnak.

Az **extrapyramidális magok** emeletszerűen épülnek fel, vagyis a gerincvelői, agytörzsi reflexeket, a nyúltagyi oliva inferior, a középagy nucleus ruber, és a substantia nigra, majd nagyagy fehérállományában levő corpus striatum (csíkolts test) összetettebb mozgásokká fűzi.

Az említett pályáknak a mozgások harmonikussá tételében, automatizálásában, az izomtónus szabályozásában van szerepe. Míg az újonnan tanult, még be nem gyakorolt mozgások a pyramispályán, addig az automatizált mozgások az extrapyramidális pályán nyerne kivitelezést.

Az extrapyramidális rendszerhez számos pálya tartozik. Így a középagy tetejéről induló **tractus tectospinalis**, a középagy vörös magból ered a **tractus rubrospinalis**, a nyúltagy-híd határán helyezkednek el a vestibuláris magokból eredő **tractus vestibulospinalis**. Ezen utóbbi magok közül a *Deiters-mag* nincs közvetlenül kapcsolatban az egyensúlyozó szervvel, hanem a kisagy által már feldolgozott ingerületet kapják és továbbítják. Az extrapyramidális pályákhoz tartozik még a **fasciculus longitudinalis medialis** is.

3.2.2. Mellérendelt szabályozó szintek (automatikus mozgások és koordináció)

A motoros rendszer mellérendelt szabályozó szintjei: a **basalis ganglionok** és **kisagy rendszer**. Mindegyik szintnek van afferens bemenete, illetve efferens kimenete.

a. A **basalis ganglionok afferens idegrostjai** az agykéregből (frontális kéreg) kapja, **kimeneti efferens rostjainak** egy része a thalamuson át visszajut az agykéreg frontális lebenyébe, más része agytörzsi magokkal (*extrapyramidális magok*) létesít kapcsolatot.

b. A **kisagy rendszer: afferens idegrostjai** eredhetnek:

az egyensúlyozó szervtől;

a törzsizmokban keletkezett ingerületet a gerincvelői tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis közvetíti,

a hídmagvaktól, az oliva inferiorától.

c. A **kisagyból efferens idegrostok** mennek a thalamuson át az

agykéreghez, az

agytörzsi magokhoz (pl. vestibuláris magok), ill.

ezen keresztül a gerincvelőhöz, ill. a vázizmokhoz.

4. A mozgási mintázatok kialakulása

A testtartással kapcsolatos reflexek a központi idegrendszer különböző szintjein szabályozottak. Míg az egyszerű myotaticus reflex, a **tartási reflexek**, gerincvelői szinten, a fej elmozdítása vagy elfordítása már a nyúltvelő szintjén szabályozott. A különböző felegyenesedésekkel kapcsolatos reflexek, a fej és test emelése már a középagy befolyása alatt áll, bizonyos felegyenesedési reflexek, valamint a járás kialakulásához szükséges lépések megtétele agykérgi szinten szabályozott reflexek. Kialakulása részben corticospinális, részben agytörzsi (extrapyramidális) eredetű pályák segítségével valósul meg. Különböző állatokban különböző ideig tart a járás megtanulása, amely részben öröklött, részben pedig tanult folyamat. Növényevő állatoknál a járástanulás néhány óra, ragadozóknál néhány hét, míg embernél egy vagy két év kell a járás végleges kialakításához.

Az akaratlagos mozgások rendeződése soklépcsős folyamat. Az inger az agy érzőkérgébe jut, onnan az asszociációs kéregbe, az asszociációs kérgi információk a praemotoros, majd a motoros kéregbe jutnak. A motoros kéreg megindítja a mozgást.

A motoros kéreg az apró mozgásminták, a finom mozgások elindításáért felelős, míg a praemotoros kéreg a különböző mozgás-mintázatok elindítását szabályozza. Aktiválásával különböző izomcsoportok együttes mozgása lehetséges, ezért a „durva motoros mozgások, a grossmotor” aktivitás kialakulásáért felelős. A praemotoros kéreg sérülése esetén az egyszerű mozgásokban nem tapasztalható zavar, míg az akaratlagos

mozgások elindítása, végrehajtása nem, vagy csak nagy nehézségek árán lehetséges. A komplexebb akaratlagos mozgások csak a sértetlen basalis ganglionok és thalamus működésével lehetséges. Az inger a mozgás megindítása érdekében a basalis ganglion felől érkezik. A thalamicus pályákon való áthaladás után az ingerület a praemotoros-, majd innen a motoros kéregbe jut. Míg a motoros mintázatok kialakításáért, az izomcsoportok akaratlagos mozgásáért, valamint a „durva motorika” (nagymozgások, grossmotor activity) a praemotoros kéreg a felelős, addig a finom mozgások és az apró mozgásminták kialakításáért már a motoros kéreg szabályos működése a felelős. A motoros tanulás folyamatában nagy szerepe van tehát mind a *percepció*s, mind a *valódi motoros tanulás*nak. Ehhez elengedhetetlenül szükségesek a *mozgásélmények*.

Az agy fejlődése a születés után is folytatódik, bár a változások egy része inkább mennyiségi, mint minőségi változás. A motoros fejlődést egyrészt a synapticus körök kialakulása, másrészt az idegsejtek myelinizációja befolyásolja kisgyermekkorban. Óvodáskorban nem fejeződik még be sem a myelinizáció folyamata, sem a synapticus körök kialakulása, így a különböző izmok egymástól függetlenül mozognak, az ingerület továbbítása pedig még viszonylag lassú folyamat.

A motoros tanulás elmélete többféle modell értelmezésével írható le. Az inger érkezése után egy **percepció**s **tanulási folyamat** következik, ezután a motoros tanulást követően alakul ki az ingerre adott válasz. A tanulás nem más, mint olyan folyamat, melynek során a tapasztalatok megváltoztatják a központi idegrendszer működését és így adott helyzetben a viselkedésünket is. Ezeket az agyi változásokat nevezzük *memóriának*. A **memória** kialakulása valójában neuronális hálózati körök megváltozásával járnak.

Születésünkön is rendelkezünk már reflexekkel, amelyek fajunkra jellemzően kialakuló válaszok egy adott ingerre. Ezeket **feltétlen reflexeknek** nevezzük, és életünk során mindig ugyanúgy zajlanak. A csecsemő megszületésekor az ajak érintésére először csücsörít, vagy fejével kereső mozgást végez (táplálékkeresés).

A patella alatt az ín reflex kalapáccsal történő ingerelésével jellegzetes reflex alakul ki, a láb felemelkedik.

Ezzel szemben a tanulási folyamatok **feltételes reflexeket** alakítanak ki. A feltételes reflexek úgy jönnek létre, hogy egy feltétlen reflexet kiváltó inger egy másik közömbös ingerrel társul. Ha a közömbös inger és a reflexet kiváltó inger többször egymás után jelenik meg, akkor a két inger társul, a közömbös ingernek jelző szerepe lesz. Ha pl. a csecsemő az ajakérintéssel egyidőben anyatejszagot is érez, néhány ismétlés után a tejszagot érezve tudja, hogy táplálékot fog kapni. A tanulásnak két típusát tudjuk megkülönböztetni. Az **obligát tanulás** azt jelenti, hogy az illetőnek kell tanulnia (pl. ha túl akar élni), a **fakultatív tanulás** lényege, hogy nem létfontosságú információkat tanul az egyén.

A feltételes reflex vizsgálatában Pavlov tett igen jelentős lépéseket. Az általa leírt kísérletekben kutyák hanginger érkezése után kaptak táplálékot. A táplálék igen erős inger, a hang viszont a kutya tájékozódási reflexét indítja el (fejfordítás a hang irányába), de az előbbinél gyengébb inger. A két inger akkor alakít ki feltételes reflexet, ha egyidőben érkezik. A két egymástól független reflex egy újabb, a korábbtól eltérő reflexívét alakít ki. A kísérletek ismétlődésével a hanginger elveszíti értelmét (az állat *habituálódik, hozzászokik*). Emiatt a tájékozódási reflex már el sem fog indulni, miközben az állat a hang hallatán azonnal a megjelenő táplálékra vár. A két inger társításával (kondicionálás) alakítottuk ki az új reflexet. Ez úgy jön létre, hogy adott esetben a tájékozódási reflex afferens szára és az erősebbik (táplálkozás) reflexív efferens szára között elsődleges kapcsolat jön létre.

A központi idegrendszerben nemcsak képződnek, hanem meg is szűnnek kapcsolatok (reflexívek). Ez biztosítja az idegrendszer plaszticitását, folytonos tanulási képességünket. A reflexív megszűnése synapticus gátlásokon keresztül történik. Ez azt jelenti, hogy gátló synapsisok alakulnak ki. Ilyen módon a gátló neuron hyperpolarizálja a vele kapcsolatban lévő neuron sejtmembránját (emeli az ingerküszöböt), emiatt ingerületáttevődés nem, vagy csak szupernormális inger esetén valósulhat meg. Vannak kifejezetten gátló neuronok, és léteznek idegsejtek, amelyek serkentő és gátló transzmitterrel is rendelkeznek különböző idegsejtekre.

A táplálkozási vagy védekezési reflexek mozgásokban is megnyilvánulnak (pl. a táplálék keresése). Ha egy feltételes reflex kiépítéséhez valami speciális mozgás elvégzése is szükséges operáns tanulásról (**operáns kondicionálás**) beszélünk.

Ha pl. egy patkányt egy speciális ketrecbe teszünk, ahol van egy pedál, az állat a táplálékkeresés közben véletlenül is megnyomhatja ezt. Ha a pedál nyomásakor táplálék kerül a ketrecbe, akkor az állat másodszor, harmadszor is véletlenszerűen fogja megnyomni a pedált (arra ugyanis emlékszik, hogy valahol arra jelent meg

az étel), de néhány újabb ismétlés után szándékosan nyomja a pedált, hogy táplálékhoz jusson. A táplálék megjelenése segíti a megerősítést.

5. A motoros fejlődés

A motoros képességek színvonalát befolyásolják ugyan genetikai tényezők, de a környezet által támasztott követelmények nagymértékben visszahatnak a motoros fejlődésére. Különösen fontos a környezet szerepe az *első gyermekkorban*, hiszen innentől kapcsolódhatnak be először a rendszeres testnevelésbe, amelynek színvonala hosszú időre megszabja motorikus fejlődésüket. Az izmok aktuális állapotára épül a kondicionális képességek fejlesztése. Ez a képesség egyenletesebben fejleszthető, mint a motoros tanuláshoz kapcsolódó többi képesség. A **koordinációs képességek** neurológiai folyamatokon alapulnak, ezért általánosan elfogadott, hogy a koordináció fejlesztésének szenzitív időszaka 7-12 éves korig tart. Ugyanakkor a koordinációs képességek megfelelő színvonala az intellektuális és zenei képességek előfeltétele is. Emiatt a megfelelő motoros képességfejlesztés nemcsak elkerülhetetlen az óvodáskorban, hanem az iskolai teljesítmény egyik meghatározó faktora. A fejlődés során először a nagyizmok fejlődnek ki, csak utána a kisebb, finomabb izmok. Tehát először a nagymozgások, majd a finommozgások alakulnak ki. Az intelligencia és a koordináció közötti kölcsönhatás annál szorosabb, minél fiatalabb a gyerek. A fejlesztő programokon résztvevő gyerekek intelligencia és megfigyelés tekintetében lényegesen jobb eredményeket értek el, mint az irányított mozgásokat nem végző társaik. Ma az óvodákban elsősorban a finommozgásokra helyezik a hangsúlyt, a nagymozgások fejlesztését elhanyagolják. Ezzel figyelmen kívül hagyják azt a tényt, hogy durvamotoros alapok hiányában a finommotoros képességek effektíven nem fejleszthetők. A fejlettebb nagymozgások fejlettebb finommozgásokkal párosulnak, a nagymozgások alapul szolgálnak a finommozgásokhoz. A dinamikus egyensúlyozás korábban kezd fejlődni, mint a statikus. Mindkét nemnél 6-7 éves korban történik a legnagyobb fejlődés, de míg a fiúknál 6 éves korig a dinamikus, utána a statikus egyensúlyozás a fejlettebb, addig a lányoknál ez pont fordítva történik.

Egyre több vizsgálat jelenik meg, amely a mai fiatalok motoros képességeinek alacsony színvonaláról árulkodik. Folyamatosan nő továbbá a magatartási és tanulási zavarokkal küzdő gyerekek száma is. A motoros zavarokkal küzdő gyerekeknek gyakrabban vannak kognitív zavarai is 3-6 éves korban. Azok a gyerekek, akik jártak valamilyen képzési rendszerbe az iskolába lépés előtt minden szempontból jobban teljesítettek, mint azok, akik nem. Ez az eredmény független volt az anya iskolázottságától. A motoros és kognitív elemeket részekre bontva azt tapasztalták, hogy a motoros teljesítmény, a vizuális integráció képessége és a memória összefüggtek csakúgy, mint a motoros teljesítmény és a feladattal foglalkozás folyamatossága. A nyitott szemmel egy lábon állás képessége szorosan összefügg az olvasási és helyesírási képességekkel. Dyslexiás gyerekek egyensúlyozási képessége szignifikánsan rosszabbnak bizonyult kontroll társaikénál.

A proprioceptív különbségek a gyerekek és felnőttek között nagy valószínűséggel a tapasztalat alapján fejlődő somatosensoros visszacsatoláson keresztül alakulnak ki. A gyerekek a mozgásos memórián keresztül fejlesztik a végtagokra vonatkozó testérzésüket. Mindezek okán számos fejlesztő programot dolgoztak ki az utóbbi időben, ezek viszont csak az „orvosi esetekkel” foglalkoznak. Éppen ezért lenne szükség megelőzés céljából az óvodás és kisiskoláskorban folytatott testnevelés színvonalát magasabb szintre emelni, és nagyobb hangsúlyt fektetni a koordináció, azon belül is a nagymozgások fejlesztésére.

Egy Japánban készült felmérés szerint a gyerekek egészségét nagymértékben befolyásolta az életmód, ezen belül is a fizikai aktivitás, az alvásidő, a reggelizési szokások. Azok a gyerekek, akik kevesebbet mozogtak rosszabb egészségi és fittségi állapotban voltak, rosszabb volt az alaphangulatuk, mint aktív társaiké. Ezek az eredmények függetlenek voltak a nemtől, testtömeg indextől, a szociális háttértől és egyéb somaticus tünetektől is. Mindez tovább erősíti azt a közismert tényt, hogy az egészséghez és a magasabbrendű idegrendszeri funkciókhoz is a mozgáson át vezet az út.

A mozgások alapvetően három szakaszra oszthatók. Ezek a mozgásindítás, a mozgáskoordináció és a mozgás megállítása. Mindhárom folyamat akaratlagosan is befolyásolható és így edzhető is. A mozgáskoordináció fejlesztése a sportmozgások alapja, bár sportjátékokban az indítás és megállás megfelelő szintű szabályozása is nagyon fontos. Minél összetettebb egy mozgássor, annál hosszabb ideig tart a pontos végrehajtás megtanulása. Egy egyszerű mozgás reflexessé tétele kb. 14 egymást követő 14 napi gyakorlással megtörténik. A mozgás kivitelezésének befolyásolása már 2-3 hónapot is igénybe vesz. Ha ezután a mozgások különböző elemeit összekapcsoljuk (pl. egy talajgyakorlat esetén), akkor az életkortól, korábbi mozgásélményektől függően ez akár 6-12 hónapig is eltarthat.

6. A komplex mozgások tanulása és rögzülése

A **mozgássorok tanulása** hasonlít az állatok útvonaltanulásához. Ha egy egeret labirintusba teszünk, először nagyon lassan tapogatva járja végig az utat, majd a gyakorlás során egyre több szakaszt „futva” tesz meg (ezeket tekinti ismertnek). Ha eltéved, visszatér az első általa ismert ponthoz, ahonnan előbb lassan tapogatózva halad, majd az ismert szakaszokon ismét fut. A mozgássor tehát egyes kondicionált cselekvések sorozataiként alakul ki. Hasonló folyamatokat figyelhetünk meg egy gyermek verstanulása során. Ha téveszt, mindig visszatér egy általa már ismert szakaszhoz. Emberi mozgássorozatok esetén gondolhatunk egy jól felépített támadásra. Ha a begyakorolt támadási program kudarcot vall, a játékosok pl. kézilabdában mindig visszatérnek a kilences vonalhoz az újabb támadás felépítése érdekében.

Ha az állat mozgása során akadállyal találkozik, a mozgássor javítására kerül sor, ami a „szinkópa” jelensége (lépés rövidítés, fél lépés). Minél nagyobb az állat mozgástere, annál nehezebben korrigálja a mozgásokat (sok a szinkópa, „suta mozgású”), minél szűkebb az egyszerre átlátható élettér, annál könnyebben korrigálja a mozgásokat az állat (a vadlovak pl. nehezen tanulnak mozgásokat, a zergék nagyon könnyen). A mozgásmintázatok tehát genetikailag determináltak és az élettér befolyásolta a filogenetikai fejlődést. A legbonyolultabb mozgássorokkal és a legjobb kineveléssel (testézés) a fán lakó állatok rendelkeznek. A jól begyakorolt, elsajátított mozgások számos tulajdonsága megegyezik egy örökletes mozgásával.

A mozgássorok tanulására jellemző, hogy magának a mozgásnak az öröme a jutalom, készteti az állatot újabb mozgások elsajátítására (funkció öröme). Minél bonyolultabbnak érzi az állat az adott mozgás végrehajtását, annál nagyobb örömforrás (jutalom) annak véghezvitele, tehát annál szívesebben gyakorolja az állat. Embernél is egy új mozgás kialakításakor a mozgás tökéletesedésével időt és fölösleges mozgásokat takarít meg az ember, tehát a tökéletesedéssel további önkéntes gyakorlás váltható ki (perfection-reinforcing mechanism).

A helyváltoztató mozgások endogén ingertermeléssel és központi idegrendszeri koordinációval működnek, így kívülről csak elindítani vagy fékezni lehet, de az alakjukat alapvetően változtatni nem. Az alkalmazkodás a mozgás szempontjából azt jelenti, hogy az örökletesen meglévő mozgásforma oszthatóvá válik, kisebb részekre osztható és így bármilyen sorrendben újjáépíthető. A fán lakó majmok közül pl. azoknak, amelyek ugrásokkal közlekednek előrettekintő arca van, a tér egyszerre két szemmel való érzékelése érdekében. Ilyen arcszerkezettel bírt már az ember őse is. Az ember esetében akaratlagos mozgásról – eredeti értelemben – csak akkor beszélhetünk, amikor először teszünk kísérletet egy adott mozgás végrehajtására. (A mozgás elemeit már ismerjük, csak új sorrendbe rakjuk azokat.) Az ilyen mozgások szerkezetükben nagyon hasonlítanak az egér labirintusbeli mozgástanulásához. A mozgás tanulásához azonban elengedhetetlenül fontos a tér érzékelése és átlátása. A motoros tanulást tehát behatárolja a sensoros rendszer fejlettsége.

A mozgásfejlesztés csúcspontja a **dinamikus stereotípiá** kialakítása. Ez azt jelenti, hogy a mozgás kivitelezésére a külső körülményekhez igazítva az egyén bármely helyzetben képes. Sportmozgások esetében a dinamikus stereotípiá kialakítása az élsportra való alkalmasságot is jelenti. A sportág jellegétől függően ez 6-12 év fejlesztés során alakulhat ki. A legösszetettebb mozgások a labdajátékok, ezek közül is a nagy térben játszott csapatsportágak. A dinamikus stereotípiá kialakulását az idegrendszer aktuális állapota is befolyásolja. A tér és testérzékelés, a kognitív funkciók, valamint a motoros rendszer összehangolt működése a legtöbb sportágban csak a 20. életév után várható, amikor az idegrendszer fejlettsége eléri a felnőttekre jellemző szintet. Ha ezután a motoros képességek nem is fejlődnek, az intelligencia fejlődésével még további teljesítményjavulás érhető el. Maga a mozgáskoordináció egyrészt a reflexek segítségével, másrészt a visszacsatolás (feedback) elve alapján szabályozható.

A játék

A legtöbb magatartásformában, amit **játéknak** nevezünk, az a közös, hogy bizonyos tevékenységek, amelyeket máshonnan ismerünk, megjelennek de úgy, hogy nem eredeti funkciójukat töltik be. Ezek a tevékenységek általában üres aktivitások, amelyek elsősorban a helyváltoztatás különböző módjai. Állatok esetében bizonyos idő után átmehetnek menekülési vagy támadási mozgássorokba. Tehát ezek a létező ösztönös mozgásminták szabad átmenetei egymásba. Minél magasabbrendű egy állatfaj, annál komplexebb játékokra képes. Ugyanazon állatfajban gyakran különböző játékokat lehet megfigyelni, ezek egymástól teljesen elkülönülő mozgássorokra épülnek. A különböző macskaféléknél a küzdőjátékok abban különböznek a valóságos helyzetektől, hogy az állatok nem használnak fegyvert (karmokat, fogakat). A vegetatív idegrendszer aktivációja sem jellemző ezekben az esetekben, azaz a macskák pl. nem borzolja fel a szőrüket. A játékot gyakran a mozgás végrehajtására vonatkozó szenvedély motiválja, s így gyakran nagyon elegáns mozgásformák kialakulásához vezet. A lehető legjobb motoros tevékenység gyakran a legkisebb energiafelhasználást eredményezi. Állatoknál ez gyakran külső energiaforrások kihasználásával jár (pl. madaraknál és vízi emlősöknél). A főemlősök körében van a legnagyobb jelentősége a játéknak, már a test szerkezete alapján is, hiszen mellősi végtagjaik alkalmassá teszik őket különböző tárgyak megragadására. Emiatt az akaratlagos mozgások széles tárháza áll

rendelkezésükre. A játéknak akkor lesz nagy jelentősége, ha az üzése során kialakított mozgásformák a gyakorlatban is alkalmazhatóakká válnak. (Embernél ilyenek pl. a sportjátékok egyes elemeinek tanulási folyamatai egyszerűbb „rávezető” játékokkal, a küzdősportok technikáinak alkalmazása a hétköznapi életben, mint pl. esések.) A felderítés és a játék az emberi magatartás alapvető része. A játék következménye maga a művészet is, legalábbis a mozgásművészetek. A begyakorolt mozgások egymásutánja egyre harmonikusabbá válik, a végrehajtás tökéletesedik, végül maga a mozgás szépérzékünket is ki fogja elégíteni. Ebben az esetben táncnak, vagy egy adott sport valamelyik mozgássorának fogjuk már tekinteni.

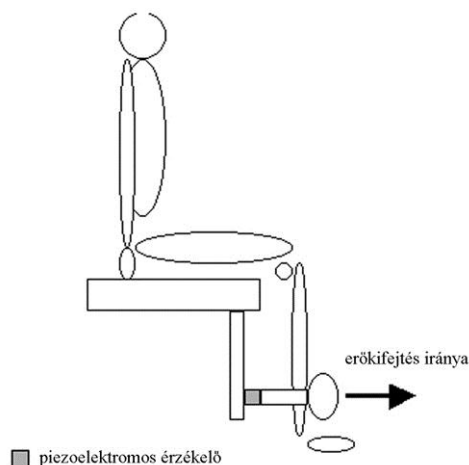
További idegrendszeri integráló működést igényel egy adott mozgásforma transzformálása egyik végtagról a másikra. Vizsgálatok (Karsai I. személyes közlése alapján) célja az volt, hogy megállapítsa a különböző sportági jártassággal rendelkező személyek milyen pontossággal képesek transzformálni a lábbal tanult erő kifejtést a karral történő végrehajtás esetére. Ehhez vizsgálni kell a meghatározható erő kifejtés esetleges cognitív reprezentációját is. Számos szerző bizonyította a pozitív transzfer hatását jobbkar, balkar esetére, vagy a tanult érték anticipálásának készségét más erőérték létrehozása során.

A mozgás és erő kifejtés

A különböző ingerekre adott válaszok közötti összefüggések minősége, jól jellemzi az akaratlagos cselekvések kontrollszintjét, annak működési hatékonyságát. A szabályozás mechanizmusa jelenleg pontosan nem ismert, de a rendszer működését vizsgáló tanulmányok utalnak a mozgást meghatározó paraméterek kódolási módjának és „neuronal representatio”-jának szerepére, ezért ezek működési színvonala a végrehajtások minőségét befolyásolja. A lassú mozgások mesterséges neuron hálózaton (artificial neural network) történő modellezése során, a tanulás folyamata biomechanikai funkciók alapján valósul meg, matematikai és fizikai törvényszerűségeket figyelembe véve. A rendszer hálózati struktúrája és működése hasonlítható az agy és a peripherias idegrendszer anatómiai sajátosságaihoz és élettani funkcióihoz, ezért feltételezhetjük, hogy az általunk alkalmazott feladat végrehajtásának színvonala függ a rendszer működésétől. Amennyiben az eredmények, jelentős egyéni differenciálódást mutatnak ki a célérték megközelítésének általunk kiválasztott szempontjai alapján, feltételezhető, hogy egy egyénre jellemző sajátos képességtípus jellemzi a végrehajtást. A képesség, magában foglalja a számítási műveletek elvégzésének sebességét és pontosságát, amely sportági eredményességben döntő tényező lehet.

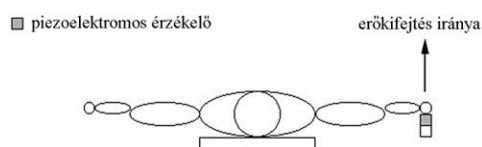
A vizsgálatban 11 testnevelés szakos férőhallgató vett részt, akik ülésben (5.51. ábra), függőleges törzshelyzetben, térdek 90°-os szögben hajlítva, mindkét lábbal egyszerre a lábtámaszt előre feszítve 100N erőt fejtettek ki. A 100N erő értéket 2 sec. időtartamig meg kellett tartaniuk, a kifejtett erő értékét, önállóan az erőmérő műszer kijelzőjéről olvasták le.

5.51. ábra - Erő kifejtés, mindkét lábbal



Az adatokat Tenzi típusú, hitelesített erőmérő padon regisztrálták. 5 perc elteltével meg kellett kísérelni a 100N erő reprodukálását, és ezt megismételni még két ízben 5-5 perces pihenő intervallumok után, úgy, hogy az erő kifejtést jobb karral (5.52. ábra), fekvő testhelyzetben, kellett végrehajtaniuk. Az erő kifejtésének irányát szóban határozták meg, az erő mértékét a lábbal végrehajtott erő kifejtés érzete alapján kellett reprodukálniuk. Az erőmérő műszer kijelzője, akkor mutatta az előző beállításnak megfelelő erő értéket, ha a kísérleti személyek az erőmérőpad fogantyúján, függőleges irányban fölfelé fejtettek ki erőt. A kifejtett erő értékéről a vizsgálati alanyok a kísérlet folyamán nem kaptak visszajelzést.

5.52. ábra - Erőkifejtés karral

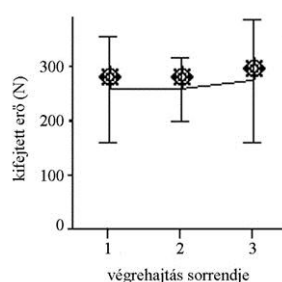


Az azonos végtaggal történő tanulást és reprodukálási képességet mindkét lábbal 200N értékkel is megismételték a 5.51. ábra szerint.

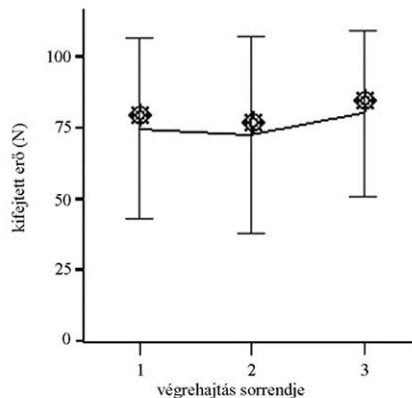
A leíró statisztikai számítások mellett, egyéni és változó hibaszámítást végeztek. Mérési eredményeik megbízhatóságát Cronbach's alfa tesztel ellenőrizték.

A 200N lábbal történő tanulás utáni végrehajtások értékeit a 5.53. ábra, a karral végrehajtott mozgást a 5.54. ábra tartalmazza.

5.53. ábra - 200N erő reprodukálása, mindkét lábbal a végrehajtások sorrendjében



5.54. ábra - 100N jobb karral történő reprodukálása a végrehajtás sorrendjében



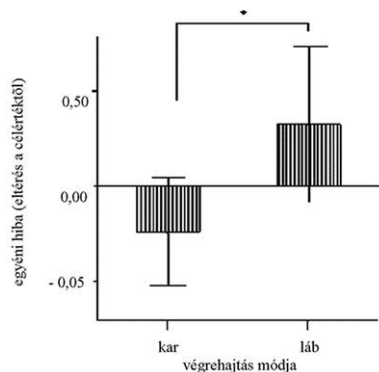
Arra a kérdésre, hogy a kísérleti személyek számára milyen mértékben jelentett nehézséget a két feladat végrehajtása, két szempontból vizsgálták. A karral való végrehajtás esetén az erőkifejtés anticipálásakor, több tényezőt kell figyelembe venni. Így:

- a kinesztézis erőparaméterének transzformálása másik izomcsoportra,
- eltérő testhelyzet következtében a gravitáció szerepének kalkulálása,
- eltérő ízületi szöghelyzetek és izomhossz értékek,
- valamint, hogy az erőkifejtés több ízületen keresztül valósul-e meg, szemben az azonos helyzetben való erőreprodukálás feladatával (az anticipáció szabadságfoka lényegesen megemelkedik).

Számításaik alkalmával, a végrehajtások során realizálódott hibaértékeket hasonlították össze. Az egyéni hibák közti eltérés mértékét Wilcoxon tesztel vizsgálták. A két feladat végrehajtása során, az egyéni hibák mértékei között (5.55. ábra szignifikáns különbséget állapítottak meg ($p < 0,05$). Lábbal történő reprodukálás a feladat

egyszerűsége ellenére nehezebbnek bizonyult, a céltól nagyobb eltérést produkáltak a vizsgált személyek. A másik szempont az volt a két feladatot összehasonlítva, hogyan tévedtek a kísérletben részt vevők saját hibájukhoz mérten.

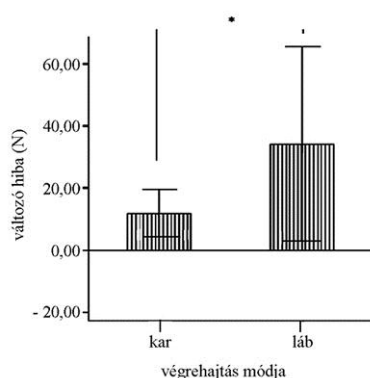
5.55. ábra - Egyéni hibaértékek, karral, ill. lábbal történő erőreprodukálási feladatokban



A karral történő feladat végrehajtás esetén szinte kivétel nélkül mindenki negatív irányban tévedett, kisebb erőt fejtettek ki, mint a célérték, a lábbal történő végrehajtásnál, viszont majdnem mindenki nagyobb erőt reprodukált. A két adatsor közötti kapcsolat szignifikáns. Az adatok arra engednek következtetni, hogy a tévedés az erőparaméter értékeinek kódolásánál, ill. tárolásánál jött létre, a szisztematikus hiba az anticipálás során végzett kalkuláció állandóságára utal.

A két feladatot összehasonlítva, változóhiba értékeiben szignifikáns különbség $p < 0,05$ áll fenn (5.56. ábra). Annak ellenére, hogy a kísérleti személyek tévedése a célérték anticipálásában igen eltérő, a végrehajtás konzisztenciájában lényeges különbség mutatkozik a karral történő végrehajtás alkalmával. Nagyobb pontossággal ismételték meg az általuk valósnak tartott célérték megközelítését a háromszori végrehajtás során.

5.56. ábra - Változó hibaértékek, karral, ill. lábbal történő erőreprodukálási feladatokban



Mérési eredményeikből arra következtethetünk, hogy a lábbal tanult kinesztetikus erőparaméter transzformálható a karral történő végrehajtásra. A lábról karra történő feladat végrehajtása során megoldandó anticipálás sok tekintetben hasonló módon történhet az azonos végtagon tanult és végrehajtott feladatával. A különbségek az anticipált erő kifejtés célértékéhez viszonyított irányában és konzisztenciájában mutatkoznak. A két feladat végrehajtásának konzisztenciájában nincs kapcsolat az egyéni teljesítményeket tekintve, így valószínűsíthetően más mechanizmus is közreműködik, amely a végrehajtást befolyásolja.

Felhasznált irodalom

- Ábrahám, A., Bende, S., Megyeri, J. (1979): *Anatómia, élettan*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Ádám, Gy., Fehér, O.(szerk). (1991): *Élettan biológusoknak. I-II*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Ángyán, L. (1995): *Sportélettani vizsgálatok*. MOTIO, Pécs.
- Bálint, P. (1975): *Orvosi élettan I-II*. Medicina, Budapest.
- Bell-Pederson, B., Cassone, VM., Earnest, DJ., Golden, SS., Hardin, PE., Thomas, TL., Zoran, MJ. (2005): *Circadian rhythms from multiple oscillators: Lessons from diverse organisms*. Nat Rev Genet, 6: 544-556.
- Bosco, C., Tihanyi, J., Viru, A. (1996): *Relationship between field fitness test and basal serum testosterone and cortisol levels in soccer players*. Clin Physiol, 16: 317-322.
- Carlson, NR. (1994): *Physiology of behavior*. Allyn and Bacon. A Division of Paramount Publishing, Neetham Heights (USA).
- Courteix, D., Lespessailles, É., Louseau-Peres, S., Obert, P., Ferry, B., Benhamou, CL. (1998): *Lean tissue mass is a better predictor of bone mineral content and density than body weight in prepubertal girls*. Expansion Scientifique Publications, 5: 328-336.
- Courteix, D., Lespessailles, É., Jaffre, C., Obert, P., Benhamou, CL. (1999): *Bone mineral acquisition and somatic development in highly trained girl gymnasts*. Acta Paediatr, 88: 803-808.
- Deschenes, MR., Covault, J., Kraemer, WJ., Maresch, CM. (1994): *The neuromuscular junction. Muscle fiber type differences, plasticity and adaptability to increased and decreased activity*. Sports Med, 17: 358-372.
- Donáth, T. (2004) *Anatómia-élettan*. Medicina, Budapest.
- Heimer, I. (1983): *The human brain and spinal cord. Functional neuroanatomy and Dissection guide*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo.
- Józsa, L. (1983): *Az inak biológiája*. A biológia aktuális problémái, 28: 101-132.
- Kahle, W. (1991): *SH atlasz. Anatómia III*. Springer Hungarica, Budapest.
- Kapit, W., Macey, RI., Meisami, E. (1987): *The Physiology Coloring Book*. Addison Wesley Longman Inc, Menlo Park (USA).
- Komoroski, EM., Rickert, VI. (1992): *Adolescent body image and attitudes to anabolic steroid use*. Am. J Dis Child, 146: 823-828.
- Laure, P. (1997): *Doping in sports: doctors are providing drugs*. Br J Sports Med, 3: 258-259.
- Laure, P., Binsinger, C., Lecerf, T. (2003): *General practitioners and doping in sport: Attitudes and experience*. Br. J. Sports Med, 37: 335-338.
- Mader, SS. (1995): *Human Biology*. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque (USA).
- McArdle, WD., Katch, FI., Katch, VL. (1996): *Exercise Physiology*. Williams and Wilkins, Baltimore (USA).
- Osnes, JB., Hermansen, L. (1972): *Acid-base balance after maximal exercise of short duration*. J Appl Physiol, 32: 59.
- Pirritano, M., Cei, A. (1997): *La sindrome da jet lag in atleti italiani di alto livello*. Scuola dello sport, 39: 10-14.
- Platzer, W. (1991): *SH atlasz. Anatómia I*. Springer Hungarica, Budapest.

- Rickert, V.I., Pawlak-Morello, C., Sheppard, V., Jay, M.S. (1992): *Human growth hormone: a new substance of abuse among adolescents?* Clin Pediatr (Phila), 31: 723-726.
- Sellye, J. (1978): *Életünk és a stressz*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Sofic, E., Rimpapa, Z., Kundurovic, Z., Sapcanin, A., Tahirovic, I., Rustembegovic, A., Cao, G. (2005): *Antioxidant capacity of the neurohormone melatonin*. J Neural Transm, 112: 349-358.
- Song, KY., An, JD. (2004): *Premotor and motor reaction time of educable mentally retarded youths in a Taekwondo program*. Percept Mot Skills, 99: 711-723.
- Szentágothai, J. (1977): *Funkcionális anatómia I., II., III.* Medicina, Budapest. (harmadik javított kiadás).
- Szollár, L. (szerk) (1996): *Kórélettan*. Semmelweis Kiadó, Budapest.
- Tanner, SM., Miller, DW., Alongi, C. (1995): *Anabolic steroid use by adolescents: prevalence, motives, and knowledge of risks*. Clin J Sport Med, 5: 108-115.
- Terney, R., McLain, LG. (1990): *The use of anabolic steroids in high school students*. Am J Dis Child, 144: 99-103.
- Tihanyi, J. (1998): *Az edzésadaptáció élettani és biomechanikai alapelvei a gyors- és robbanékonyerő fejlesztésében*. Sporttudományos füzetek, II/1: 32-75.
- Whitehead, R., Chillag, S., Elliot, D. (1992): *Anabolic steroid use among adolescents in a rural state*. J Fam Pract, 35: 401-405.
- Williams, C., Devlin, JT. (ed) (1992): *Foods, nutrition and sports performance*. E& FN Spon, London (UK).

A. függelék - Név- és tárgymutató

I. típusú izomrost

II. A típusú izomrost

II. B izomrost

III. agyideg

IV. agyideg

A

a kötőszövet idegvégtestei

a lábszárcsontok összeköttetései

a mozgás aktív rendszere

AB0 és az Rh-vércsoport rendszer

abdomen

acethylcholin

Achilles-ín

acidózis

acromegalia 1

acromegalia 2

A-csík

adenocorticotrop ACTH

adenohypophysis

adrenalin

aerob kapacitás

aerob-anaerob küszöb

afunkció

agglutinin 1

agglutinin 2

agglutinogének

agranulocyták

agyhártya

agyi aszimmetria

agyidegek

agykamrák

agyödema
agytörzs
akcióspotenciál 1
akcióspotenciál 2
aktin 1
aktin 2
aktin-filamentumok 1
aktin-filamentumok 2
aktív immunizálás
aktív testtartás
aktív transzport
ala cinerea
alapállomány 1
alapállomány 2
álbordák
albumin
aldoszteron
álegynyúlványú (pseudounipoláris) idegsejtek
alfa-hullámok
alkalózis 1
alkalózis 2
alkohol
állandó térfogat
allergiás reakció
allergiás tünetek
alsó inferior
Alzheimer-kór
amphyartrosis
anabolikus szerek
anaerob-alaktacid
anaerob-laktacid
anafázis 1

anafázis 2
anemia
aneurysma
antagonista izmok
anterior
Antigének
antihemofiliás globulin
antiport
apoláros
aponeurosis
apoplexia
apoptosis
appozicionális változás
archicerebellum
arcus zygomaticus
arthrosis
articulatio atlanto-occipitalis
articulatio composita
articulatio coxae
articulatio cubiti
articulatio ellipsoidea
articulatio genus
articulatio humeri
articulatio sacroiliaca
articulatio sellaris
articulatio simplex
articulatio spheroida
articulatio talo-cruralis
articulatio talo-tarsalis
articulatio temporo-mandibularis
articulatio trochoidea
articulationes

articulationes intertarseae

astrocyták

ataxia

atlas

atrophia

autoimmun betegség

autoreguláció

auxotóniásan működik

axis

axon

axondomb

azonnali energiaraktár

B

β-oxidáció

barna zsírszövet

basalis ganglionok 1

basalis ganglionok 2

basalis ganglionok 3

Basedow-kór

Basophil granulocyták

bekebelezés

belső elválasztású mirigyek

belső ritmus

belső véralvadás

Belső, saját pályarendszer

belsőelválasztású mirigyek

béta-hullám

B-lymphocyták

bokaízület

bokasüllyedés

bordák

bőreredetű

bőrismok

Brodmann

bursae synoviales

bursitis

C, Cs

Ca-egyensúly

calcitonin 1

calcitonin 2

calcitonin 3

calcitriol 1

calcitriol 2

cAMP

canalis centralis

Cannon-féle vészreakció

caput

caudális 1

caudális 2

caudális 3

cavum thoracis

celluláris immunválasz

centriolum

centromer 1

centromer 2

chondrális csontfejlődés

chondrálisan fejlődő csont

chondroklast

chondron

chordasejtek

chordaszövet

choriongonadotropin

ciklus-idő

cilia

cirkadián
cirkadián ritmus
citrát-ciklus
clavicula
collumn
columna vertebralis
commissura grisea
commissurális neuronok
cornu anterius
cornu laterale
cornu posterius
corpora adiposa
corpora quadrigemina
corpus callosum
corpusculum basale
cortex
corticotrop releasing faktor
co-transzport
craniális 1
craniális 2
craniális 3
cranium
cranium cerebrale
cranium viscerale
crossing over
C-típusú rost
cytoskeleton
csak velőhüvelyű (myelin hüvelyes) rostok
csigolyaközi porckorongok
csillók
csont diaphysis
csontdenzitás

csontgerendák

csontösszeköttetések

csonttritkulás

csontsűrűség

csontszövet

csúcspotenciál

csupasz idegrostok

csúszó-filamentum elmélet

„csúszó filamentum” modell

D

decerebrációs rigiditás

dehydratio (vízvesztés)

Deiters-mag

delta-hullámok

dementia

dendritek

depolarizáció

dermatoma

desmális csontfejlődés

desmális csontosodás

desmin

dexter és sinister

diaphragma

diaphysis

diffúzió

digiti pedes

dinamikus stereotípia

dióízület

diploe

diploid (2n)

diploid kromoszómaszám

discus

discus hernia

distális

distorsio

diuretikumok

dopamin

dopping

doppingolás

dorsális 1

dorsális 2

dorsális 3

dorsális 4

D-vitamin 1

D-vitamin 2

dwarfizmus

dystrophia

E

Eberth-féle vonal

EEG

egyhasú izom

egynyúlványú (unipoláris) sejtek

egyrétegű hengerhám

egyrétegű köbhám

egyrétegű laphám

egyrétegű többmagsoros hám

egysejtű mirigyek

egyszerű reakcióidő

elasticus rost

elasticus rostok

elektród

elektroencephalogramm

elektromos synapsis

elektromyogram

elektromyographia
elemi csontvelő
elemi osteonok
elemi velőüreg
első főszakasz
elsődleges csontosodás
elsődleges hallókéreg
elszarusodó többrétegű laphám
enchodrális csontosodás
enchondrális csontosodás
endocrin mirigyek
endocrin szabályozás
endocytosis
endomysium
endoplasmaticus reticulum, ER
endosteum
energiát igénylő ioncsatorna
eosinophil granulocyták
eosinophil sejtek
ependyma sejtek
epimysium
epiphysis
epiphysis porckorong 1
epiphysis porckorong 2
epithalamus
ergotrop tónus
erőmérések
erythrocyta
erythropoetin
érzékhámsejtek
érző szarvak
érzőkéreg

euhydratios változás 1

euhydratios változás 2

eukaryota

excentrikus erőedzés

excretum

exocrin mirigy

exocytosis 1

exocytosis 2

exocytosis 3

exoepitheliális

exoepitheliális mirigy

explorációs viselkedés

exteroceptív reflexív

extracelluláris

extracelluláris tér

extrapyramidális pályák

extrapyramidális pályák

extremities

F

F-aktin

fa-alakú elágazódás

facilitált diffúzió

fakultatív tanulás

falilebeny

farkcsigolyák

fasciculus longitudinalis medialis 1

fasciculus longitudinalis medialis 2

fasciculus longitudinalis medialis 3

fedőhámok

fehér trombus

fehérvérsejtek

felkarcsont a singcsont ízülete

felkarcsont és az orsócsont ízülete

felső superior

feltételes reflexek

feltétlen reflexek

felületi molekulák

femur

feszültségfüggő ioncsatorna

fibrinogén

fibroblastok

fibrocyta

fibula

fibuláris

ficam

filtráció

flagellum

folliculáris sejtek

folliculus hormon

folyadék membrán-modell

foramen magnum

formatio reticularis

fossa rhomboidea

fő szabályozó szint

frontális

frontérzékenység

funiculáris neuronok

funiculus anterior

funiculus cuneatus Burdachii

funiculus gracilis Golli

funiculus lateralis

funiculus posterior

G

G-aktin

galea aponeurotica
gamma-hurok
ganglion spinale 1
ganglion spinale 2
gap junction
gap junction
gátló transzmitterek
gerinc álcsigolyái
gerincvelő
gigantizmus 1
gigantizmus 2
ginglymus
gliasejtek
glikolízis
glucagon
glukokortikoidok
glukoneogenezis
glükocorticoid
Golgi-apparátus
Golgi-Mazzoni féle végtestek
Golgi-végfácska
golyva 1
golyva 2
gomphosis
gömbízület
granulocyták 1
granulocyták 2
gyors rángású rostok
gyökérsejtek
H
haematoma
haemocytoblastok 1

haemocytoblastok 2
haemopoézis
halántéklebény
hallucinogének
hámszövet
hanyag testtartás
haploid kromoszómaszám
harántcsíkolt izomszövet
hasnyál
hasprés
hasüreg
határköteg
Havers-csatorna 1
Havers-csatorna 2
H-csík
hematokrit
hemispherium
hemoglobin 1
hemoglobin 2
hemolyticus faktorok
hexokináz-enzim
híd
hideg receptor
Hill
hízósejtek
homeosztázis 1
homeosztázis 2
homlokeresz
homloklebény
homológ kromoszómák
homonculus
horizontális sík 1

horizontális sík 2

hormon

hormon-receptor

hosszú csöves csontok

humerus

humorális immunválasz

hyalin porc

hydrocephalia

hydrophil

hydrophob

hyperfunkció

hyperhydratio

hyperpolarizáció

hyperthyroidizmus

hypertóniás oldat

hypocalcaemia

hypofunkció

hypohydrált

hypophyzer törpe

hypothalamus

hypothyreosis

hypotóniás oldat

histiocyta

I

I-csík

idegen reflex

idegrendszer

idegrost

idegszövet

idegvégtest

időzóna fáradtság

illegális drog

immunkompetens sejtek
immunoglobulin
immunválasz
inak anyagcseréje
inak nyújthatósága
ín-csont átmenet
inferior
ingerküszöb
ingerületképző és vezető szívizomsejt csoportok
ingerületvezetési sebesség
inhibiting faktor
inkomplett tetanus
ínorsó 1
ínorsó 2
inscriptio tendinae
ínszövet
intenciós tremor
interfázis 1
interfázis 2
interneuronális vagy intercaláris idegvégződések
interstitiális folyadéktér
interstitiális tér
intracelluláris tér
intraepitheliális idegvégződés
intraepitheliális szabad idegvégződések
intravasális tér
inverz anorexia
inzulin
ioncsatornák
ioneloszlás
izoionia
izom kapillarizáltság

izomdystrophia
izomeredetű reflex
izomeredetű, saját vagy myotaticus reflexek
izometriás erőfejlesztés
izometriás működés
izomgörcs
izomhas (venter)
izomhypertrófia
izom-ín átmenet
izomláz
izomorsó
izom-összehúzódás ereje
izomrost
izomsejt fáradás
izomszakadás
izomszövetek
izomtömeg növekedés
izovolémia
izoosmosis
izosmosis
izotóniás állapot
izotóniás összehúzódás
ízület
ízületi fej
ízületi izmok
ízületi nedv
ízületi porckorongok
ízületi porcok
ízületi szalag
ízületi tok
ízületi üreg
ízületi vápa

J

játék

K

kambium szerkezet

kariotípus

kémiai synapsisok

kérgestest

két alkarcsont közötti ízület

két gyökérrel erednek

kéthasú izom

kétnyúlványú (bipoláris) idegsejtek

kétoldali bilaterális szimmetria

kétpontküszöb-térkép

kettős elválasztású mirigyek

kettős foszfolipid réteg

kevert idegek

kéz csontjai

kéz csukló-ízület

kézizmok

kézközépcsontok és az ujjak alappercei közötti ízületek

kéztő és a kézközépcsontok közötti ízületek feszes ízületek

kis sejtes magcsoportok

kisagyi féltekék

kisagyi rendszer

kiürítés

koffein

kollagén rost

Kollagén rostok

kollagén rostos porc

kompakt csontszövet

komplement rendszer

komplett tetanus

koncentráció grádiens

koncentrikus edzés

koordinációs képességek

Köbös csontok

köszvény

kötőszövetek

kötőszöveti rostok

középagy

közömbös izmok

központi idegrendszer

Köztiagy

Krause-féle végtest

kreatin-foszfát

kretenizmus

kromatin

kromatinállomány

külső elválasztású mirigy

külső ritmus

külső véralvadás

külső-belső ritmus

kypholordicus gerinc

kyphosis

kyphosis

kyphosis dorsalis juvenilis

L

láb csontjai

lábboltozatok

laktát

lamina cribrosa

lamina speciálisok

laminae generales externae

laminae generales internae

laminae intercalares
laminae speciales
Langerhans szigetsejtek
Langerhans-szigetek sejtjei
lapos csontok
lassú rángású rostok
laterális
lazarostos kötőszövet
legális drog
légzőizmok
lemniscus medialis 1
lemniscus medialis 2
lemnocyta
leucocyta
Leydig-féle sejtek
limbicus rendszer
lipáz
liquor
liquor cerebrospinalis
lobus anterior
locus coeruleus
longitudinális tubulusok
lordosis 1
lordosis 2
L-tubulusok
lúdtalp
luxatio
lymphocyták
lymphoid vonal
lysosoma 1
lysosoma 2

M

m. adductor longus
m. adductor magnus
m. anconeus
m. biceps brachii
m. biceps femoris
m. bipennatus
m. brachialis
m. brachio-radialis
m. buccinator
m. coracobrachialis ventralis
m. deltoideus
m. depressor labii inferior
m. erector trunci
m. extensor carpi radialis brevis
m. extensor carpi radialis longus
m. extensor digitorum
m. extensor digitorum longus
m. flexor carpi radialis
m. flexor carpi ulnaris
m. frontalis
m. gastrocnemius
m. gluteus maximus
m. gluteus medius
m. gluteus minimus
m. gracilis
m. iliacus
m. iliopsoas
m. infraspinatus
m. intercostalis externus
m. intercostalis internus
m. latissimus dorsi
m. levator anguli oris

m. levator labii superioris
m. levator scapulae
m. masseter
m. multicaudatus
m. obliquus externus
m. obliquus internus
m. obturator internus
m. orbicularis oculi
m. orbicularis oris
m. palmaris longus
m. pectineus
m. pectoralis major
m. pectoralis minor
m. peroneus brevis
m. peroneus longus
m. perygoideus internus
m. piriformis
m. pronator teres
m. psoas major
m. pterygoideus externus
m. quadratus femoris
m. quadriceps femoris
m. rectus abdominis
m. rectus femoris
m. rhomboideus
m. rizorius
m. sartorius
m. semimembranosus
m. semitendinosus
m. serratus anterior
m. soleus
m. spenius capitis

m. sternocleidomastoideus
m. subclavius
m. subscapularis
m. supraspinatus
m. temporalis
m. tensor fasciae latae
m. teres major
m. teres minor
m. tibialis anterior
m. transversus abdominis
m. trapezius
m. triceps brachii
m. triceps surae
m. unipennatus
m. vastus intermedius
m. zygomaticus major
macroglia
macrophagok
magasabb asszociációs feladatok
makro-nutriensek
malária parazita
mandibula
második főszakasz
másodlagos messenger rendszer
maxilla
M-csík
mechanosensitiv ioncsatornák
medenceöv
mediális
medián sagittális sík
medulla ossium rubra
megakaryocita

megvonási tünetek
meiozis 1
meiozis 2
Meissner-féle idegvégtest
melanin
melatonin
mellérendelt szabályozó szint
mellizmok
mellkas
mély nyakizmok
membrana fibrosa
membránfehérjék
membránpotenciál
memória
meniscus
meniscus sérülés
Merkel-féle test
mesaxon
mesenchyma 1
mesenchyma 2
mesoglia
metafázis 1
metafázis 2
metaméria
metatarsus
metathalamus
microgliák
Microphagok
microtubulus organizáló központ (MOC)
microtubulusok
mimikai izmok
minden vagy semmi törvénye

mineralocorticoid
mitochondrium
mitózis
monocyták
motoros aphasia
motoros egység
motoros véglemez
mozgássorok tanulása
mozgató szarvak
mozgató véglemez
mozgatókéreg
musculi
musculi pennati
myelinhüvely
myeloblastok
myeloid vonal
myoepithel
myofibrilla
myofibrillum
myosin
myosin filamentumok
myositis
myotacticus reflex
myxoedema
N, Ny
nagy falósejtek
nagy sejtes magcsoportok
Na-K pumpa
narkotikumok
natural killer cells
nebulin
nem konvencionális kémiai synapsis

nem szelektív ioncsatornák
nemi kromoszómák
nervus abducens
nervus accessorius
nervus facialis
nervus glossopharyngeus
nervus hypoglossus
nervus mandibularis
nervus maxillaris
nervus oculomotorius
nervus olfactorius
nervus ophthalmicus
nervus opticus
nervus statoacusticus
nervus trigeminus
nervus trochlearis
nervus vagus
neurilemma
neurit
neuro-endocrin rendszer
neurohemális szerv
neurohormonok
neurohypophysis
neuromodulátor
neuromusculáris-junctio zavar
neuronok
neurosecréciós sejtsoportok
neutrophil granulocyták
nikotin
Nissl-állomány
noradrenalin
növekedési hormon

nucleolus
nucleosomák
nucleus
nucleus ambiguus
nucleus arcuatus
nucleus ruber 1
nucleus ruber 2
nucleus salivatorius superior
nucleus suprachiasmaticus
nucleus tractus solitarii
nyakszirtleány
nyálkahártya-reflex
nyelvcsonti izmok
nyirok
nyirokerek
nyomásérző receptor
nystagmus
nyugalmi membránpotenciál
nyugtatók
nyúltvelő
O, Ö
obligát tanulás
oldalszarvi sympathicus mag
oligodendroglia-sejtek
oliva inferior
operáns kondicionálás
opiátok
orrnyílás körüli izmok
os coxae
os ethmoidale
os frontale
os ilium

os ishii
os nasale
os occipitale
os palatinum
os parietale
os pubis
os sacrum
os sphenoidale
os temporale
os zygomaticum
osmosis 1
osmosis 2
ossa carpi
ossa metacarpalia
ossa sesamoidea
ossein
osteoblast
osteoblastok 1
osteoblastok 2
osteoblastok 3
osteocyta
osteocyták
osteokollagén
osteolysis
osteon
osteoporosis
oxitocin
ózonréteg
ösztrogén 1
ösztrogén 2
övsömör

P

paleocerebellum
pálya
pancreas
pancreas-peptid
parafolliculáris sejtek
parasagittális síkok
parasympathicus idegrendszer
parathormon 1
parathormon 2
parathormon 3
paravertebrális ganglionok
parietális dúcok
parietális vegetatív reflexek
Parkinson-kór
Parkinson-szindróma
pars alveolaris
pars intermedia
pars tuberalis
passzív immunizálás
passzív testtartás
passzív transzport
passzív transzportfolyamat
patella
patella reflex
pelvis 1
pelvis 2
per
percepció tanulási folyamat
perichondrális csontosodás 1
perichondrális csontosodás 2
perikaryon
perimysium externum 1

perimysium externum 2
perimysium internum
periosteum
phagocytosis
phalanges
pharmacologiai
pH-szabályozás
pigmenthám
pigmentsejtek
pinocytosis
piroszőlősav
pitvar-kamrai rendszer
placentális laktogén
plantáris
plasmás astrocyták
platysma
plexus chorioideus
pliometriás edzés
pneumaticus csontok
poláros
porckorongsér
porcszövet
Porter-Palade triád
posterior
postsynapticus membrán
praesynapticus membrán
praevertebrális dúcok
primér chordahüvely
primér érzékhámsejtek
processus alveolaris
processus palatinalis
profázis 1

profázis 2
profundus
progeszteron 1
progeszteron 2
programozott sejthalál
prokaryota
prolactin
pronatio 1
pronatio 2
proprioceptor
proximális
puffer-rendszerek
punctum fixum
punctum mobile
punctum ossificationis
Purkinje sejtek
pyramispálya

R

rácsrostok
radiális
radius
rágóizmok
raktározott kreatin foszfát
raktározott zsírtartalma
ramus communicans albus
ramus communicans griseus
rágás
Ranvier-féle befűződés
reakcióidő
reflexidő
refrakter periódusa
rehydratio

rekeszizom sérv

relaxin

releasing faktor

releasing-hormonok

Remak rostok

Remák-féle rostok

REM-szakasz

repolarizáció

repülő bordapár

reticuláris rostok

rezisztencia edzések

rheumatoid arthritis

Rh-vércsoport rendszer

ribosomák (r)

ribosomák szintézise

rostképző sejtek

rostos astrocyták

rostos porcok

rostösszetétel

rugalmas rostos porc

S, Sz

saltatorikus ingerületvezetés

sarcolemma

sarcolemmának

sarcomer

sarcoplasma 1

sarcoplasma 2

sarcoplasmaticus reticulum 1

sarcoplasmaticus reticulum 2

sárga zsírszövet

sárgatest hormon

sárgatest serkentő hormon

sarlósejtes vérszegénység

Satellita sejtek

savaseső

scapula

Schwann-myelin hüvelyes rostok

Schwann-sejtek

sclerosis multiplex

scoliosis 1

scoliosis 2

secretum

sejt

sejt örökítőanyaga

sejtciklus

sejtközötti állomány 1

sejtközötti állomány 2

sejtmag

sejtmagmembrán

sejtmembrán

sejtváz

sensori-motoros

sensoros aphasia

serkentő transzmitterek

sérv

sexuálhormonok

Sharpey-féle rostok

simafelszínű ER

símaizomszövet

sinergista izmok

sinus csomó

sinus frontalis

sinus maxillaris

sinus sphenoidales

soknyúlványú (multipoláris) sejtek

soksejtű (többsejtű) mirigyek

soma

somaticus reflexek 1

somaticus reflexek 2

somatomedinek

somatomotoros sejt

somatostatin 1

somatostatin 2

somatotrop, STH hormon

specifikus immunválasz

sternum

STH

stimulánsok 1

stimulánsok 2

struma

substantia compacta

substantia spongiosa

sulcus centralis

summatio

superficiális

superior

supinatio 1

supinatio 2

sutura

sutura coronalis

sutura frontalis

sutura fronto-maxillaris

sutura lambdoidea

sutura plana

sutura sagittalis

sutura serrata

sutura squamosa 1
sutura squamosa 2
Sylvius-féle árok
sympathico-adrenális rendszer
sympathicus idegrendszer
Symphysis pubica
synapsis
synapsisok
synapticus rés
synapticus vesicula
synarthrosis
synchondrosis
syndesmosis
synostosis
synoviális hártya
szabad idegvégződés
szabad ízületek
szabályos kémiai synapsisok
szalagos összeköttetés
szegy-kulcscsonti ízület
szekundér érzékhámsejtek
szelektív ioncsatornák
szelvény szerv
szerzett immunitás
szexuális viselkedésmintázat
szigetleány
szivacsos csontállomány 1
szivacsos csontállomány 2
szívizomsejt
szövet
T
T tubulus

támadás-menekülés
tarsus
tartási reflexek
tectum
tegmentum pontis
tejsav 1
tejsav 2
tejsavdehidrogenáz
telofázis 1
telofázis 2
telofázis 3
tendo
tendovaginitis
térbeli tájékozódás
természetes ölő NK (natural killer) sejtek
terminális cisternák
terminális idegvégződés
terminális oxidáció
testhőmérséklet ritmus
testvérkromatidák
testvér-kromatidák
tesztoszteron
tetrád
tetrajódtirozin (T4)
tetramerek
thalamus
theta-hullám
THG (tetrahydrogestrinone)
thoraco-humerális izmok
thorax
thrombin
thrombocyta

thrombocyták
thrombosis
thyroglobulin
thyrotroph-stimuláló hormon
thyrotrop-stimuláló hormonja (TSH)
tibia
tibiális
tigroid
tiroxin
T-lymphocyták
tolerancia
többrétegű hengerhám
többrétegű laphám
tömött csontszövet
tractus corticospinalis 1
tractus corticospinalis 2
tractus corticospinalis cruciatus
tractus corticospinalis directus
tractus rubrospinalis 1
tractus rubrospinalis 2
tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis
tractus spinothalamicus
tractus tectospinalis
tractus vestibulospinalis 1
tractus vestibulospinalis 2
trajektóriális rendszer
transzfúzió
transzmembrán fehérjék
transzmitter függő ioncsatorna
transzporter molekula
transzportfolyamatok
tremor

trijódtironin (T3)

trochoginglimus

trophhormonok 1

trophhormonok 2

trophhormonok 3

trophotrop tónus

tropomyosin

troponin

troponin-C

troponin-I

troponin-T

Trousseau-tünet

truncus

T-tubulusok

tubulin

tüszőhormon

tüszőserkentő hormon

U, Ü

ulna

ulnaris

urothelium

üvegházhatás

V

vaginae tendinum

választásos reakcióidő

vállcsúcs-kulcscsonti ízület

vállöv

vállöv ízületei

valódi bordák

valódi csigolya

vasopressin

Vater-Pacini-féle idevégtestek

vázizmok 1
vázizmok 2
vázrendszer
vegetatív alapfonadék
vegetatív idegfonadék
vegetatív idegrendszer
vegetatív pályák
vegetatív tónus
vegetatív, sympathicus mag
velőüreg
ventrális 1
ventrális 2
vér
vér alakos elemei 1
vér alakos elemei 2
véralvadás
vérátáramlás mértéke
vércsoportok
vércukorszint
vérdopping 1
vérdopping 2
vérdopping 3
vérlemezkek
vérlepeny
vermis
vérplasma
vertebrae
vertebrae cervicales
vertebrae lumbales
vertebrae thoracales
vestibuláris magok
viscerális vegetatív reflexek

visuális asszociációs központ

vitustánc

vízvesztés

voláris

Volkman-csatornák

vomer

vörös trombus 1

vörös trombus 2

vörösvérsejtek

W

WADA

Wernicke-terület

Wharton-féle kocsonyának

Z, Zs

Z-lemez

zsírsejtek

zsírszövet

zsírszövet