

Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar

Sporttudományi és Testnevelési Intézet

A TERHELÉSÉLETTAN ALAPJAI I.

Szerzők

Dr. Józsa Rita – Dr. Atlasz Tamás – Tékus Éva – Dr. Wilhelm Márta

Lektor

Dr. Pósa Anikó

Pécs, 2015

ISBN 978-963-642-815-0

Tartalom

1. Bevezetés	4
2. A keringési rendszer anatómiája	5
2.1. A szív és keringési rendszer	5
2.1.1. A szív helyzete a mellüregben	5
2.1.2. A szív üregei	6
2.1.3. A szívfal szerkezete	8
2.1.4. A szívburok (pericardium).....	10
2.1.5. A szív billentyűi.....	10
2.1.6. A szív ingerképző és ingervezető rendszere	12
2.1.7. A szív saját erei.....	15
2.1.8. Medicinális vonatkozások	17
2.1.9. Értípusok, az erek felépítése és funkciója	18
2.1.10. Vértörők	20
2.1.11. A nyirokrendszer	27
2.2. A légzőrendszer	30
2.2.1. Felső légutak részei és főbb jellemzői	31
2.2.2. Alsó légutak részei és főbb jellemzői	35
2.2.3. A tüdő szöveti szerkezete	36
2.2.4. A mellhártya (pleura).....	37
3. A keringési- és légzőrendszer élettani alapjai.....	39
3.1. A keringési rendszer alapjai	39
3.1.1. A szív alapvető fiziológia sajátosságai	39
3.1.2. Az elektrokardiográfia (EKG)	41
3.1.3. Az érrendszer szerkezete, hemodinamikai alapfogalmak.....	43
3.1.4. Az artériás keringés, az artériás pulzus	43
3.1.5. A kapilláris keringés	46
3.1.6. A vénás keringés.....	47
3.1.7. A kisvérköri keringés.....	48
3.1.8. A keringésszabályozás.....	49
3.1.9. Egyes szervek keringési sajátosságai	51
3.1.9.1. A szív keringése, koronáriakeringés	51

3.1.9.2. A splanchnikus területek keringése.....	52
3.1.9.3. A vázizom vérkeringése.....	52
3.1.9.4. A bőr keringése	53
3.1.9.5. Az agy vérellátása	53
3.2. A légzőrendszer alapjai	54
3.2.1. A tüdő és a mellkas mechanikája	54
3.2.2. Tüdőtérfogatok, kapacitások	57
3.2.3. A gázcsere. Oxigénszállítás, szén-dioxid szállítás	58
3.2.4. A légzés szabályozása	60
3.2.5. A légzőrendszer edzési adaptációja.....	62
4. A légzés sejtszintű alapjai	64
4.1. Az állati sejtek általános jellemzői.....	64
4.2. A vörösvértest és a hemoglobin jellemzői és felépítése.....	71
4.3. A sejtlégzés folyamata	74
4.4. A humán vér biokémiája	85
4.4.1. A humán vér általános jellemzői és alapvető összetétele	85
4.4.2. A vérplazma összetétele	86
4.4.3. Az alakos elemek.....	88
5. A terhelés hatására kialakult akut és adaptációs változások	90
5.1. A pulzus fogalma, mérése, változása életkorok szerint és az egészségi állapot változása hatására.....	91
5.2. A pulzustérfogat, perctérfogat fogalma.....	93
5.3. A terhelés hatására kialakuló akut változások a keringésben (pulzusszám, pulzustérfogat, perctérfogat)	94
5.4. A szervezet véreloszlás nyugalomban és terhelés hatására.....	95
5.5. Adaptációs változások a keringési rendszerben	99
5.6. A vitálkapacitás fogalma, mérése.....	100
5.7. A vitálkapacitás változása az életkorok előrehaladtával és terhelés, edzés hatására	103
5.8. A légzési perctérfogat fogalma, kiszámítása.....	105
5.9. A respirációs volumen és a légzési perctérfogat változása terhelés hatására.....	106
6. A terheléses protokollok kialakítása és végrehajtása sportélettani laboratóriumban	109
6.1. Az ergometria és a spiro-ergometria alapjai.....	109
6.2. Az EKG változása terhelés hatására.....	110

6.3. Pulzusmonitorozás, pulzusváltozások értelmezése terhelés hatására	110
6.4. A sportélettani terheléses protokollok alapelvei	112
6.5. A maximális oxigénfelvevő képesség jelentése, mérése	113
6.6. A terheléses protokollok típusai	121
6.7. A legismertebb protokollok jellemzése (Bruce, Astrand, Cooper stb.).....	124
6.8. A terheléses vizsgálatok során nyert adatok értelmezése, edzéselméleti jelentősége	127
Felhasznált irodalmak	130

1. Bevezetés

A szerzők egy olyan tankönyv összeállításával mutatják be az ember keringési- és légzőrendszerének anatómiai felépítését, az adott szervek, szervrendszerek működését és terhelhetőségét, amely ismeretek egymásutáni tárgyalása eredményesebben segítheti a hallgatókat azok megértésében. A keringés és légzés szerv szintű anatómiai és fiziológiai jellemzése után a sejtszintű folyamatok élettani és biokémiai szempontú tárgyalása együtt olvasható, így az érdeklődők megismerkedhetnek a modern edzéselmélet alapjaival csakúgy, mint az edzettség biokémiai mutatóival. A könyv külön előnye, hogy összehasonlítható a gyermekek és felnőttek ugyanazon szerveinek, élettani funkcióinak fejlődése és teljesítménye is. Az olvasó így megértheti, hogy az edzésadaptáció más fiziológiai teljesítményt jelent a gyermekek és felnőttek szervezetében. Ezekre az ismeretekre alapozva alakítható a gyerek populáció terhelésének, edzettségének fejlesztését célzó mozgásprogram is. Az edzettség egzakt mérése régóta foglalkoztatja a sporttudósokat. A könyv a funkcionális ismeretek tárgyalása után konkrét példákat ad a terhelhetőség mérésére alkalmas pályatesztekről is, de legfőképpen ismerteti a modern edzésdiagnosztikai módszereket. Ehhez rendszerszemléletű bevezetést adva, részletesen tárgyalva a spiroergomatria alapjait és a különböző protokollokat is. Összességében ezzel a szerzők hiánypótló művet készítettek elsősorban testnevelő-edző, sportszervező BSc szakos, továbbá bármilyen biológia, rekreáció szakos hallgatónak, illetve az ember terhelhetősége iránt érdeklődőknek. A könyvet ajánljuk mindazoknak is, akik korábban már tanulták ezen ismereteket, de szeretnék tudásukat a modern sporttudományos szemlélettel kiegészíteni. Nem utolsósorban ajánlott azoknak a felkészült edzőknek is, akik a sikeres sporteredmények elérésében a modern edzésvezetést és a modern edzésdiagnosztikát fontosnak, gyakran nélkülözhetetlennek tartják.

A könyv elkészítését segítette a szerzők többéves oktatási tapasztalata. Ennek figyelembe vételével készítették el az ellenőrző kérdéseket is, amelyek a tanulás hatékonyságának önellenőrzésével a felkészülés színvonalát jelentősen befolyásolják, így reményeik szerint a tananyagnak ilyen feldolgozása és közzététele nagyban segíti a hallgatók tudásának bővítését, sikeres vizsgafelkészülésüket is.

2. A keringési rendszer anatómiája

A szervezet szöveteinek oxigénnel és tápanyagokkal való ellátását az erekben áramló vér biztosítja. A keringési rendszer biztosítja a légzési gázok és a tápanyagok szállítását, a kórokozók elleni védekezést, a szervezet belső egyensúlyának, az ún. *homeostasis* (testhőmérséklet, folyadékegyensúly, kémhatás) fenntartását. A keringési rendszer központja **a szív**, mely áramlásban tartja a vért a keringési rendszerben. Összehúzódásaival kialakítja a vérnyomáskülönbséget a szívből kiinduló artériák és a szívbe vezető vénák között. A **vérnyomás** a vérnek az érfalra gyakorolt hidrosztatikai nyomása. A szív biztosítja a nagy- és kisvérkörben az állandó véráramlást és egyéb tényezőkkel együtt az ehhez szükséges vérnyomást, billentyűrendszere teszi lehetővé a véráramlás egyenirányítását, saját szabályozómechanizmusai, valamint idegi- és hormonális hatások révén alkalmazkodni tud a változó terhelésekhez.

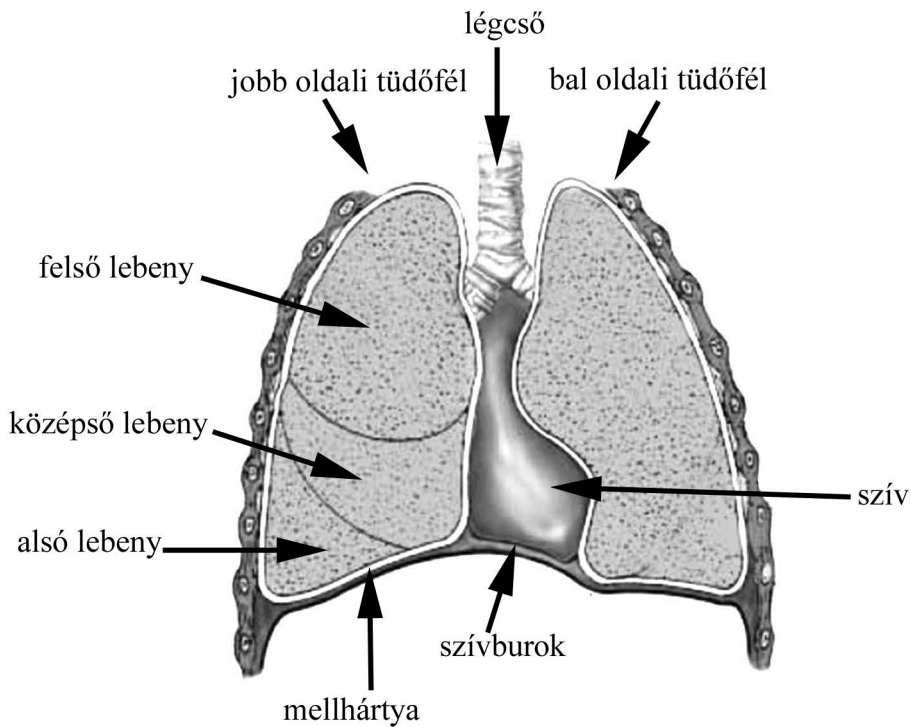
2.1. A szív és keringési rendszer

A szív, latinul **cor**, de a szakkifejezésekben használjuk a görög eredetű *cardia* kifejezést is (pl. tachycardia, kardiológia).

A szív nagysága a testtömeggel megközelítőleg arányos. A szív felnőtt férfiban kb. 300 gramm, nőben valamivel kevesebb (átlag 4 gramm/testtömeg kg). A szív kúp alakú, négy üreggel rendelkező izmos falú szerv. Kívülről a vékony, két rétegből álló szívburok borítja. A szív belső üregrendszerét egy hosszanti sövény két, egymástól teljesen elkülönülő részre: jobb és bal szívfélre osztja. A két szívfelet a szájadékokban lévő billentyűk *pitvarra* és *kamrára* tagolják. A pitvarok vékonyabb, a kamrák vastagabb izomfallal rendelkeznek. A pitvarokba nyílnak a vénák, a kamrákból indulnak ki az artériák. A jobb kamrából a tüdőartéria a *kisvérkör* felé, a bal kamrából a főverőér, az *aorta*, a *nagyvérkör* felé továbbítja a vért. A szív szöveteinek vérellátását a *szívkoszorúerek* biztosítják.

2.1.1. A szív helyzete a mellüregben

A szív a mellkasban a szegycsont és a bordák mögött, a gátorüreg (*mediastinum anterius*) elülső-alsó részében, a mellkas középvonalától balra helyezkedik el (1. ábra).



1. ábra: A szív helyzete a mellüregben. A jobb- és bal tüdő között a gátorüregben helyezkedik el, a szívcsúcs balra, a szegycsont közepétől mérve kb.8-9 cm távolságban található. Kép forrása: saját szerkesztés, <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/tabularium-pulmonologiae/ch11.html> alapján).

Felfelé tekintő része a tömegesebb (*basis cordis*), alsó keskenyebb vége a szívcsúcs (*apex cordis*). A szív képzeletbeli tengelye a jobb lapocka tövisének közepétől a szívcsúcs mellkasfali vetületi pontjához húzott vonalnak felelne meg. Kétoldalt a jobb és bal tüdő veszi körül, alul a rekeszizom inas lemezén (*diaphragma*, centrum tendineum) fekszik. Hátul, közvetlenül a bal pitvar mögött haladó nyelőcsővel, elől az elülső mellkasfallal érintkezik. A szív elülső mellkasfalra eső vetületének négy kiemelt pontja van, melyeket összekötve megrajzolható a szív kontúrvonala. A legfontosabb a szívcsúcs vetületi pontja, mely a bal V. bordaközben, a szegycsont közepétől mérve kb. 8- 9 cm távolságban van a mellkas falán.

2.1.2. A szív üregei

A szív két pitvarból és két kamrából áll. A pitvarok és a kamrák között a külső felszínen a koszorúbarázda (*sulcus coronarius*) jelzi a határt.

Jobb pitvar (*atrium dextrum*)

A jobb oldalon felül-elöl helyezkedik el, előlről látható háromszög alakú része a **jobb fülcse** (*auricula dextra*). Felülről a felső üres visszér (*vena cava superior*), alulról közvetlenül a rekesz átfúrása után az alsó üres visszér (*vena cava inferior*), hátulról a szív saját gyűjtőere, a *sinus coronarius* nyílik bele. A jobb pitvar a jobb pitvar-kamrai szájadékon (jobb vénás szájadék) keresztül közlekedik a jobb kamrával. A szájadékban a **háromhegyű vitorlás billentyű** (*valva tricuspidalis*) helyezkedik el.

Bal pitvar (*atrium sinistrum*)

A bal pitvar a szíven hátrafelé tekintő részt alkot, de egy része a szív elülső felszínén is látható, mint háromszög alakú **bal fülcse** (*auricula sinistra*). A bal pitvarba nyílik a 2 jobb, illetve a 2 bal tüdő véna (*vena pulmonalis*). A bal pitvarból a bal vénás szájadék vezet a bal kamrába. Ebben a szájadékban a **kéthegeű vitorlás billentyűt** (*valva bicuspidalis*) találjuk, melyet **mitralis** billentyűnek is neveznek.

A két pitvart vékony **pitvarsövény** (*septum interatriale*) választja el, mely felnőttben teljesen elkülöníti a két üreget. A magzati életben azonban egy ovális nyílás van benne, mely a testből származó vért a jobb pitvarból a bal pitvarba tereli. Megszületéskor az első légvétellel megnyílik a tüdő, ettől kezdve megindul a tüdőkeringés és az ovális nyílás azonnal elzáródik. Előfordul, hogy rendellenesen ez nem történik meg, ilyenkor a friss és az elhasznált vér keveredik egymással, ezáltal a szövetek nem kapnak elegendő mennyiségű oxigéndús vért.

Jobb kamra (*ventriculus dexter*)

A jobb kamra a mellkas elülső falával és a rekeszsel érintkezik. A kamra felső részéből ered a **tüdőverőér** (*truncus pulmonalis*). A kamra ürege és a truncus pulmonalis között a véráramlást **félhold alakú vagy zsebes billentyűk** (*valva semilunaris*) szabályozzák.

Bal kamra (ventriculus sinister)

A bal kamra a rekeszen nyugszik, ez alkotja a szívcsúcsot (*apex cordis*). A bal vénás szájadék mellett találjuk a bal artériás szájadékot, amely felett a felszálló aorta indul el. Ebben a szájadékban is félhold alakú vagy zsebes billentyűk vannak.

A kamrákat a **kamrasövény** (*septum interventriculare*) választja el egymástól. A kamrasövényt a bal kamra fala képezi. A jobb kamra félhold vagy C-alakú, nem vesz részt a kamrasövény kialakításában. A kamrasövényt szívizom alkotja, kivéve a nagyerek közelében lévő kis kötőszövetes részt. Ritka esetben ez a kis rész nem fejlődik ki tökéletesen, mely a kamrák között a vér összekeveredését eredményezheti. A kamrasövény vonalában a külső felszínen elől és hátul egy-egy barázda választja el a kamrákat. A barázdákban zsírszövetbe ágyazva helyezkednek el a szív saját erei.

2.1.3. A szívfal szerkezete

- szívbelhártya (endocardium)
- szívizom (myocardium)
- szívburk belső lemeze (epicardium)

Szívbelhártya (endocardium)

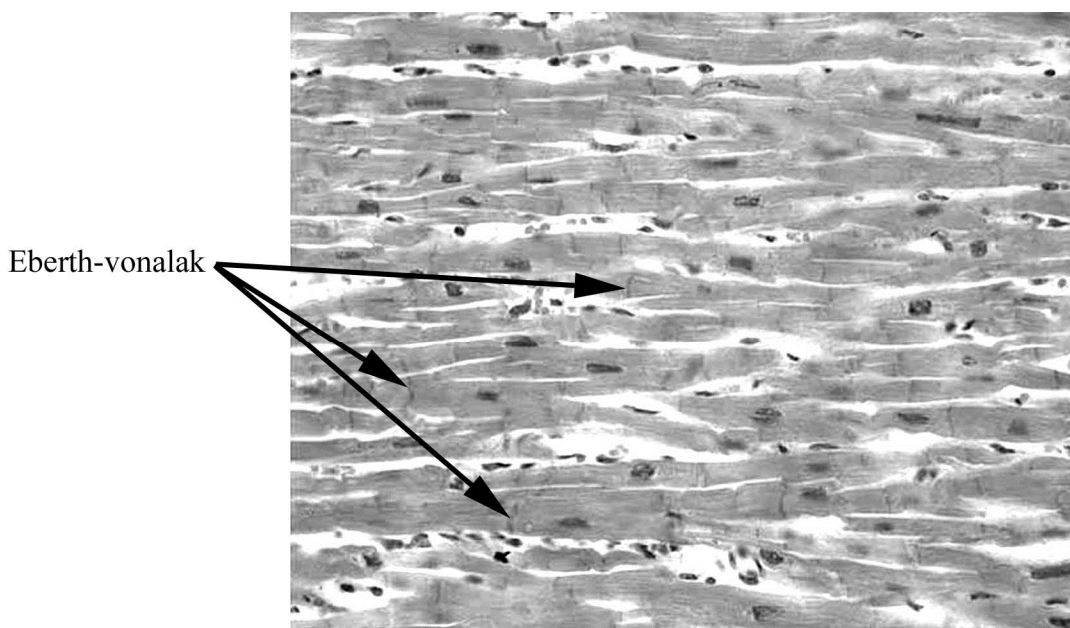
A szívet belülről egy vékony réteg, a **szívbelhártya (endocardium)** borítja. Ez képezi a szív és a benne lévő vér között a határt. Az endocardium legbelső rétegét olyan sejtek alkotják összefüggő rétegben, melyek az erek belső falát is fedik. Ezek endothel sejtek (egyrétegű laphámshövetet alkotnak). Az endothel sejteket a szívizomtól kevés érdús kötőszövet választja el (*subendocardialis kötőszövet*). Fontos tudni, hogy a szívbelhártya alkotja a billentyűket is, melyben erek nem találhatóak, ellátásuk diffúzióval történik, ezért előfordulhat különböző anyagok lerakódása a billentyűben (főként lassan diffundáló, kalcium-tartalmú vegyületek).

Szívizom (myocardium)

A szív falának izomrétegét **myocardium**nak nevezzük, melyet harántcsíkolatot mutató sejtekből álló szívizomszövet alkot. A **szívizomszövetet** alkotó szívizomsejtek csak ebben a szervben található speciális sejtek, gyors és erőteljes összehúzódásokra képesek, nem fáradékonyak, a simaizmokhoz hasonlóan akaratunktól függetlenül működnek, glikogén és

lipid tartalmuk magas. A sejtek átmérője változó, 10-100 μm lehet, hosszuk 80-200 μm körül van, kortól és edzettségtől függően. A myofibrillumok, a harántcsíkolt izomhoz hasonlóan, a szívizomban is szinkronizáltan helyezkednek el, köztük igen nagyszámú mitokondrium található. A sejtek Y-szerűen elágazódnak, hálózatot (*syncytium*) hoznak létre, egymással a végeiken megvastagodott sejthatárokkal kapcsolódnak, melyeket **Eberth-féle** vonalaknak nevezünk (2. ábra). Itt nagyszámú ioncsatorna található, mely lehetővé teszi az ingerület nagyon gyors terjedését.

A szívizomsejtek közötti gazdag kapilláris hálózat az un. végartériákból ered.



2. ábra: A szívizomszövet mikroszkópos képe. Több elágazódó izomsejtet látunk, sejtmagjuk a sejt közepén van. A szívizomsejtek között kötőszövet és kisebb erek találhatóak. A nyílak Eberth-féle vonalakat mutatnak. Kép forrása: <http://histologyolm.stevegallik.org/node/146>

A szív izomzata a pitvarokat és kamrákat elválasztó erős kötőszövetes lemeztől (*anulus fibrosus*) ered, amely a szívszájadékok peremét is alkotja. A pitvarok fala vékony (2-3 mm), kétrétegű izom alkotja: belül körkörös, kívül hosszanti izmok. A külső réteg mindkét pitvart körülveszi. A belső réteg a rostos gyűrűről ered és hurokszerű lefutás után oda tér vissza.

A **kamrák** falának izomzata háromrétegű. A *külső* réteg jobbról balra és lefelé irányuló ferde lefutású izomsejt nyálábokból áll. Ezek a jobb kamrán majdnem vízszintesen a

bal kamrán jóval meredekebben futnak a szívcsúcsig, ahol örvényszerűen visszafordulnak a belső rétegbe. A szív hátsó felszínén a rostok lefutása ellenkező irányú. A *középső* réteg izomrostjai körkörösén futnak, egy részük összefüggő gyűrűt alkot. A *belső* rétegben hosszanti, ill. enyhén spirális lefutásúak az izmok, visszafordulva izomgerendákban (*trabeculae carnae*) és a **szemölcsizmokban** (*mm. papillares*) végződnek. A szív ürege felé eső oldalon jól látható a szívizomgerendák egyenetlen felszíne.

A jobb kamra fala kb. 0,5 cm vastag, a bal kamráé a vastagabb fal, kb. 1,5 cm vastagságú (átlag felnőtt értéke). Rendszeresen végzett fizikai munka vagy sportolás hatására a szív izomzatának tömege megnő, elsősorban a bal kamráé (bal kamra hypertrophia). Ez általában együtt jár a szív teljesítményének növekedésével.

A szívburok belső lemeze (epicardium)

A szívburok belső, vagy zsigeri lemeze alkotja a szívfal legkülső rétegét. Egy rétegben mesothel sejtréteg alkotja, alatta a szívizomzattal érintkező rész zsírszövetben gazdag kötőszövet (*subepicardialis zsírszövet*), mely kiegyenlíti a szív felületének egyenetlenségeit. A zsírsejtek nagymértékű felszaporodása viszont akadályozhatja a szív mozgását, amennyiben az izomsejtek közé is benyomul.

2.1.4. A szívburok (pericardium)

A szívburok két lemezből áll, a már említett belső vagy zsigeri lemezből (epicardium) és a fali lemezből. A **fali lemez** erős kollagén rostokból épül fel. Alul összenő a rekesz inas részével, kétoldalt lazán kapcsolódik a mellhártyához, a nagyerek mentén visszahajlik a **zsigeri lemezbe** és beborítja a nagyereket néhány cm hosszúságban, majd a szív felszínén folytatódik. A szívburok lemezei közötti keskeny üreg van (**pericardium ürege**). Ez az üreg valójában csak virtuális rés, melyben pár csepp folyadék található, amely biztosítja a szív szabad, súrlódásmentes mozgását.

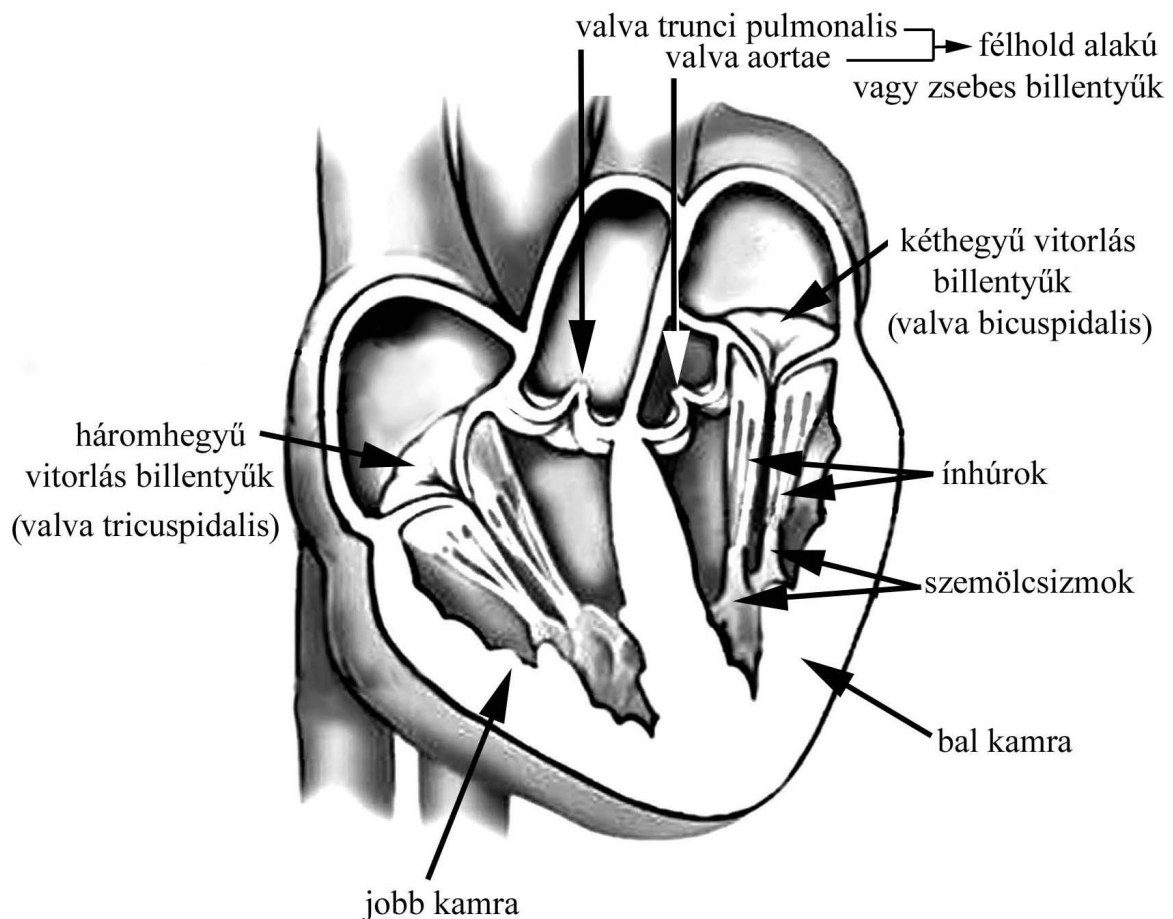
2.1.5. A szív billentyűi

A billentyűk szerkezete: endocardium kettőzetek, a felszínüket vékony rétegben endothel sejtréteg borítja, vázukat kevés kötőszövet alkotja.

Vitorlás billentyűk (*valva seu valvula atrioventricularis*)

A vitorlás billentyűk (*valva cuspidalis*) a pitvar-kamrai szájadékokban találhatók (3. ábra).

A bal pitvar-kamrai szájadékban a **kéthegeű vitorlás billentyű** (*valva bicuspidalis*, *valva mitralis*), a jobb pitvar-kamrai szájadékban a **háromhegeű vitorlás billentyű** (*valva tricuspidalis*) található.



3. ábra: A vitorlás- és a zsebes billentyűk elhelyezkedése és részei. Kép forrása: saját szerkesztés, a <http://my.clevelandclinic.org/PublishingImages/heart/insideheart2.JPG> alapján.

A vitorlás billentyűk vitorlából (*cuspis*), ínhúrokból (*chordae tendineae*) és a szemölcsizmokból (*musculi papillares*) állnak. Szerepük a vér visszaáramlásának megakadályozása a pitvarba a kamra összehúzódása alatt. A **vitorlák** a pitvar-kamrai szájadék peremét alkotó rostos gyűrűről (*anulus fibrosus*) erednek. Alakjuk a jobb vénás szájadékban

háromszögletű, a balban megközelítőleg félkör alakú. Szabad szélükhöz és a lemezek alsó felszínéhez a kollagén rostokból álló, tehát nyújthatatlan **ínhúrok** tapadnak, amelyek kamrai vége az izomfal kiemelkedéseire, főként a **szemölcsizmok**hoz rögzül.

A **kamra összehúzódásakor (systole)** a szemölcsizmok is összehúzódnak, megfeszítik az ínhúrokat, emiatt a kamrai nyomás emelkedésének hatására visszacsapódó vitorlák nem tudnak átfordulni a pitvarba, hanem széleikkel összefekve megakadályozzák a vér visszafolyását.

Félhold alakú (zsebes) billentyűk (valva seu valvula semilunaris)

A nagyartériákban, az **aorta** és a **tüdőverőér** (truncus pulmonalis) kezdeti szakaszán levő artériás szájadékban, három ún. félhold alakú billentyű (**valvae semilunares**) együtteséből álló billentyű található (**valva aortae, valva trunci pulmonalis**; 3. ábra). Zsebes billentyűnek is nevezzük, mert a két nagyér falával zsebszerű tasakokat fognak közre. Egy-egy tasak a szájadék 120°-os körcikkelyének megfelelő területet foglal el. Mindegyik billentyű-cikkely egymás felé néző szélein két vékony, endocardium kettőzetből álló félhold alakú lemez (**lunula**) foglal helyet, amelyek egymással egy kis csomóban (**nodulus**) találkoznak. Az aorta két elülső billentyűtasakjából indul el a jobb és a bal szívkoszorúér.

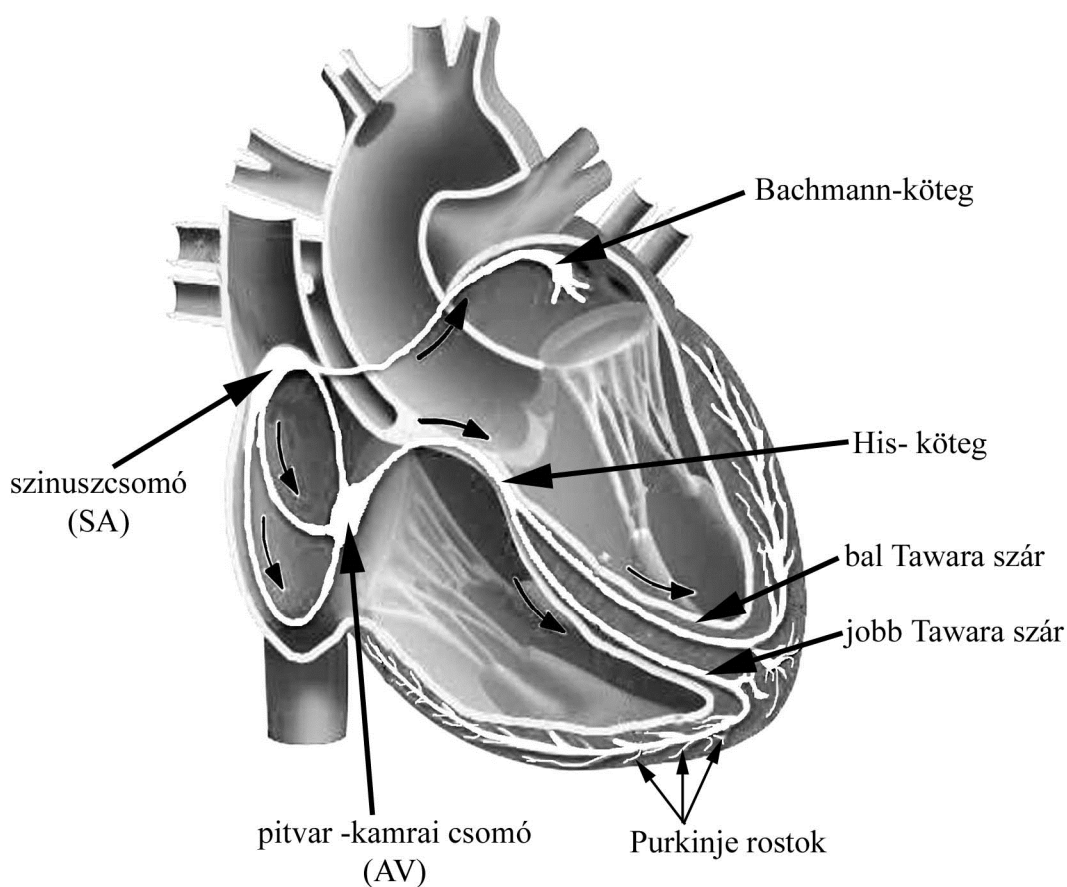
A **kamra összehúzódásakor (systole)** a kiáramló vér a félholdalakú billentyűk széleit egymástól eltávolítja és a vér a bal kamrából az aortába, a jobb kamrából a tüdőverőérbe (**truncus pulmonalis**) jut.

A **kamrák elernyedésekor (diastole)** a kamra üregében a vérnyomás hirtelen lecsökken. A nagyerekben lévő magasabb nyomás miatt a véroszlop a kamrák irányába elmozdul. A billentyűtasakokat megtöltő vér a félhold alakú lemezeket (**lunula**) egymáshoz szorítja, így a vér visszajutása a kamrába nem lehetséges. A kamrai diastole alatt a nagyerekben lévő magas nyomás biztosítja vér bejutását a koszorúerekbe is.

A mindennapi életben előfordulnak különböző billentyű hibák, melyek igen nagy orvosi jelentőséggel bírnak (ld. 2.1.8.)

2.1.6. A szív ingerképző és ingervezető rendszere

A szívizomzat ritmusos összehúzódását a szív falában lévő, **módosult szívizomsejtekből, az ún. nodális sejtekből** álló ingerképző csomók és ingervezető rostok biztosítják (4. ábra). A **nodális sejtekben** kevés myofibrillum és mitochondrium van, membránpotenciáljuk állandóan változik.



4. ábra: A szív ingerképző és ingervezető rendszere. Kép forrása: saját szerkesztés, <https://mdmedicine.wordpress.com/2011/04/24/heart-conduction-system/> alapján.

Szinuszcsonó (nodus sinuatrialis; SA csomó; Keith-Flack csomó)

A szinuszcsonó (*nodus sinuatrialis*) az **elsődleges ingerképző hely**, ez a terület a szív ritmusgenerátora (*pacemaker*), amely a jobb pitvar falában található a felső üres visszér (v. cava superior) benyílása közelében. Kisméretű, ovális alakú képlet (kb. 2.5 x 0.2 cm). Saját vérellátást biztosító ér halad benne, az ún. nodalis artéria (*a.nodi sinuatrialis*), amely a jobb koszorúér széli ágából (*r. marginalis*) származik. Vegetatív, szimpatikus és a paraszimpatikus idegrostok hálózák be. A szinuszcsonó által generált nyugalmi frekvencia 60-80 ingerület/perc. Az itt keletkező ingerület a pitvari izomzat mellett a 3 ún. internodális kötegen (hátsó, középső és elülső) keresztül terjed tovább, az elülső köteg a bal pitvart is ellátó ún. *Bachmann-köteg*. Az ingerület 1 m/s sebességgel terjed a pitvarban, majd áttérjed a pitvar-

kamrai határon lévő pitvar-kamrai csomóra (*nodus atrioventricularis*), amelyet azonos frekvenciájú inger kiegészítésére serkent. Az áttevődés 0,05 m/s.

Pitvar-kamrai csomó (*nodus atrioventricularis*; AV-csomó; Aschoff-Tawara féle csomó)

A pitvarok és kamrák közötti kötőszövetes rostrendszer (*anulus fibrosus*) magasságában, a pitvarsövény alsó részén található (kb. 2,2 x 1 x 0,3 cm). Élettani körülmények között az AV-csomó a pitvarok felől érkező ingerület vezetését végzi. Ingerképző tulajdonsággal is rendelkezik, frekvenciája kisebb, mint a SA csomóé (50-60 ingerület/perc), de élettani körülmények között nem szerepel ritmusgenerátorként (*másodlagos pacemaker*), csak abban az esetben, ha a szinuszcsomó hatása nem érvényesül (nem működik vagy vezetési zavar alakul ki). Az AV-csomó élettani szerepe a lassú ingerületvezetés, mely biztosítja, hogy az ingerület csak a pitvarok összehúzódása után jusson át kamrákra. Az ingerületet továbbítja a kamrai ingerületvezető rendszerre, melynek részei a His köteg, a Tawara szárok és a Purkinje rostok.

His köteg

A pitvar-kamrai csomóból indul a pitvar-kamrai köteg, az ún. His köteg, amely áthalad a pitvar-kamrai szájadékokat határoló rostos lemezen. A kamraközi sövényben halad lefele, majd kettéválik a jobb és a bal szára, ezek a **Tawara szárok (*fasciculus atrioventricularis dexter et sinister*)**.

Purkinje rostok

A szívcsúcsot elérve a Tawara szárok kötegei felrostdóznak, az ún. Purkinje rostokra oszlanak, melyek a szívbelhártya alatt (*subendocardialis Purkinje rosthálózat*), majd a munkaizomzatban (*terminális Purkinje rostok*) haladnak. Az utóbbiak az ingerületet a kamrai munkaizomrostokhoz és a papillaris izmokhoz juttatják, biztosítva ezáltal a két kamra izomzatának szinkron összehúzódását.

A szív beidegzése

A fentiekből jól látható, hogy a szívnek saját ingerképző rendszere van, amely a szívritmust vezérli. A szív munkájának viszont adaptálódnia kell a mindenkori megterheléshez. A vegetatív (autonom) idegrendszer feladata a szervezetnek a külső és a belső környezet változásaira adott válaszainak szabályozása, beleértve a keringési rendszer szabályozását is. A vegetatív idegrendszerhez tartozó idegek, a szimpatikus idegrendszer

nyaki dúcaiból származó szimpatikus idegek és a paraszimpatikus idegrendszerhez tartozó bolygóideg (X. agyideg, n.vagus) befolyásolják a szív működést.

A szívritmust a szinuszcsomót beidegző szimpatikus idegrostok gyorsítják (tachycardia). Szimpatikus idegrendszeri hatásra más szervekben is történik változás, a bőr és a belek arteriolái összehúzódnak, a vázizmoké kitágulnak és ezáltal a vérnyomás emelkedik. A vér eloszlása megváltozik úgy, hogy csökken a bőr és a gyomor-bél rendszer vérellátása és nő az agy, a szív és a vázizmok vérellátása. Tartós szimpatikus idegrendszeri túlsúly magas vérnyomás betegség kialakulásához vezethet. A legtöbb szimpatikus postganglionáris idegvégződés adrenerg végződés, az átvivő anyag norepinephrin (*noradrenalin*). Két fő formája van a receptoroknak az effektor szerveken, alfa- és a béta- receptorok, a szívizomban (*myocardium*) főként béta-1 receptorok találhatók.

A vegetatív idegrendszer paraszimpatikus részének működése az energia megőrzésére és újratermelésére irányul. A bolygóideg (n. vagus) a szinuszcsomót is beidegzi, ezúton képes lassítani a szívritmust (bradycardia). Az átvivőanyaga (transmitter) az acetilcholin, mely a szinaptikus résen átjutva reverzibilisen kötődik a postszinaptikus oldal cholinerg (muscarinos) receptoraihoz.

2.1.7. A szív saját erei

Koszorúerek (a. coronaria)

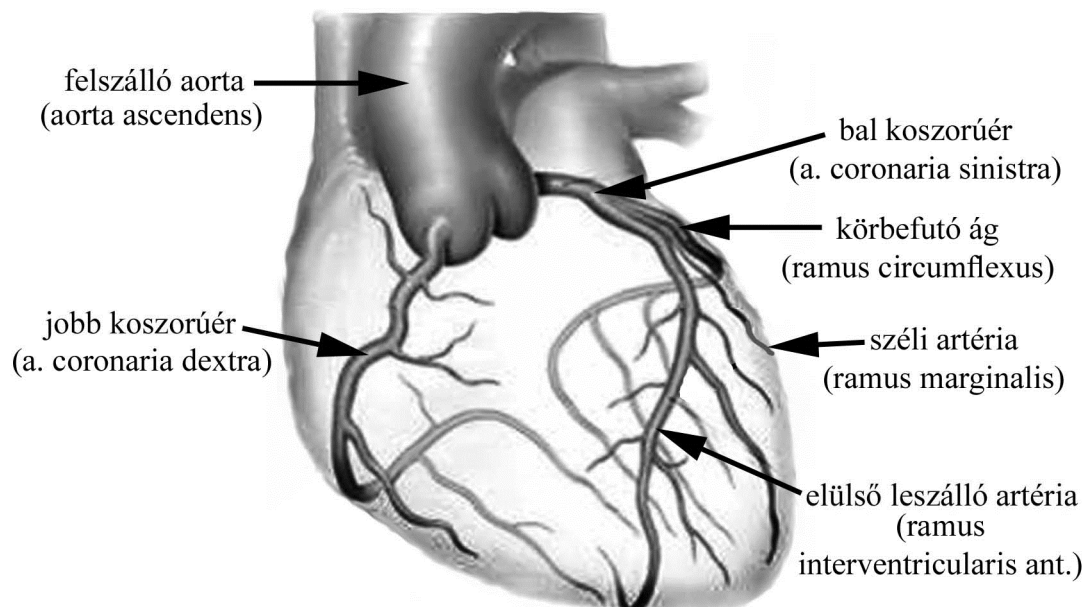
A felszálló aorta kezdeti szakaszából, annak jobb oldali öbléből indul el a **jobb koszorúér (a. coronaria dextra, vagy RCA: right coronary artery)** és a **bal koszorúér (a. coronaria sinistra vagy LCA: left coronary artery)** is (5. ábra). A **jobb koszorúér** a pitvar-kamra közötti barázdában (*sulcus coronarius*) jobbra fut, majd a szív hátsó felszínén a két kamra közötti barázdába fordul és a szívcsúcsig halad. Ellátja a jobb pitvart (ezen belül a szinuszcsomót is), a jobb kamrát és a kamrasövény hátsó 1/3 részét.

A **bal koszorúér** a felszálló aorta bal oldali öbléből indul és a pitvar-kamra közötti barázdában (*sulcus coronarius*) bal felé halad. Ellátja a bal pitvart és kamrát, valamint a kamrasövény elülső 2/3 részét. Elöl leszálló ágat ad (*ramus interventricularis anterior, vagy LAD: left anterior descending artery*) a két kamra közötti barázdához, amely a szívcsúcsnál összeköttetésben van a jobb koszorúérrel. A másik ága (*ramus circumflexus, vagy LCx: left circumflex artery*) a *sulcus coronariusban* megkerüli a szív bal oldalát, majd egy újabb ágat ad (*ramus marginalis sinister arteriae coronariae sinistrae*), mely a bal kamra vérellátásában vesz részt.

A szívfalba belépő erek az un. **funkcionális végartériák**, melyek között nincs összeköttetés (anastomosis), ezért ha elzáródnak, az a hozzájuk tartozó szövetek oxigénhiányához, majd elhalásához vezethet (infarktus).

Ha a koszorúereken szűkület található, pl. a koszorúereket érintő érelmeszesedés (*coronariasclerosis*) esetén, akkor a szűkület utáni érszakasz által ellátott terület vérellátása romlik, csökken a szívizomszövet oxigénellátottsága, melyet *ischaemia-nak* (ejtsd: *iszkémia* - görög eredetű szó) neveznek.

Testmozgás, sport esetén a megnövekedett vérnyomás, szívfrekvencia és szívizom-összehúzódás fokozza a szívizom oxigén igényét. Az oxigén felvétel a koszorúerekben nyugalmi állapotban is magas, edzéskor 80%-ra növekedhet.



5. ábra: A szív ellátását biztosító artériák.

Kép forrása: saját szerkesztés <https://www.bcm.edu/healthcare/care-centers/cardiothoracic/procedures/coronary-artery-disease-coronary-bypass> alapján.

A szív saját vénái

Mindegyik verőeret egy-egy véna kísér, amelyek végül egy közös érben, a **koszorú öbölben (sinus coronarius)** egyesülnek, mely a jobb pitvarba nyílik.

2.1.8. Medicinális vonatkozások

Ez a fejezet a mindennapi életben a sportolókat is érintő legismertebb elváltozásokról ad egy nagyon rövid áttekintést:

Sportszív

A „sportszív” („athlete’s heart”) **a szervezet intenzív fizikai terhelésre kialakuló változása, mely gyakran alakul ki sportolóknál. Ez nem betegség, hanem a szív alkalmazkodása a terheléshez.** A rendszeres terhelés hatására ugyanis megnő **a szervek, sejtek tápanyag- és oxigénigénye, amelyet a szívnek a vérkeringés javításával kell biztosítani (nő a szívfrekvencia, az összehúzódások ereje, a perctérfogat).** A rendszeres **testmozgás** a szív munkáját növeli, **hatására nő a szív tömege, javul a funkciója**, ezáltal javul a keringés intenzitása is. Ha a terhelés rövid, de nagy erő kifejtést igényel (izometriás, vagy statikus terhelés), akkor a szívfallal vastagsága növekszik a szívizom megerősödése miatt (hypertrophia). **A dinamikus (izotóniás) terhelés, mint pl. a futás**, a szívizomban újabb hajszálerek alakulnak ki, illetve nyílnak meg, amelyek növelik a szív oxigén ellátottságát, így a megnövekedett tömeget a több ér hatékonyabban tudja ellátni.

Billentyűhiba (vitium)

A billentyűhibák örökletes, vagy szerzett elváltozások egy, vagy több billentyűn. Megjelenési formái a billentyű-szűkület (stenosis), vagy billentyű-elégtelenség (insufficiencia). Szűkület (stenosis) esetén a billentyű nyitott állapotban is szűkebb marad a normálhoz képest, ez megnöveli az ellenállást a véráramlással szemben és ezáltal ró nagyobb munkát a szűkület előtti szívüreg izomzatára. Ha pl. az aortabillentyű szűkülete (stenosis) alakul ki, akkor megnövekszik az ellenállás a bal kamrából az aorta felé irányuló véráramlással szemben és ez fokozott munkát ró a bal kamrára.

Billentyű-elégtelenség (insufficiencia) esetén a vér egy része visszaáramlik (regurgitáció) a billentyű előtti üregbe. Egy példát említve: kéthegyű vitorlás billentyű elégtelenség (mitrális insufficiencia) miatt a vér egy része a bal kamra összehúzódás alkalmával visszaáramlik a bal pitvarba, ezáltal az ide-oda áramló kismennyiségű vér többletmunkát ró a bal szívfélre.

2.1.9. Értípusok, az erek felépítése és funkciója

Az ereknek három típusát különböztetjük meg:

- 1.) Artéria (verőér, ütőér): a szív kamráiból a szervek felé vezető rugalmas falú ér.
- 2.) Véna (gyűjtőér, visszér): a szív pitvaraiba vezető tágulékony falú ér.
- 3.) Kapilláris (hajsztálér): a kisartériát és a kisvénát összekötő vékony falú ér.

A **verőerek, vagy artériák** tágulásra képes (gumicsőre emlékeztető) csövek, eljutnak valamennyi szervhez, csonthoz, ízülethez, izomhoz, a központi és a perifériás idegrendszerhez stb. Ellátási területükön számos kisebb ágra, végül **hajsztálerekre (kapilláris)** oszlanak. A kapillárisok összeszedődnek és **visszerek (vénák)** formájában visszajuttatják a vért a szívbe. Mindhárom értípus belső felületét egyrétegű laphám, endothel alkotja. Az artériák falában emellett kötőszövet és jelentős mennyiségű simaizom és rugalmas rost is található. A vénák falában több a kötőszövet, mint a simaizmok mennyisége.

Kapillárisok szerkezete

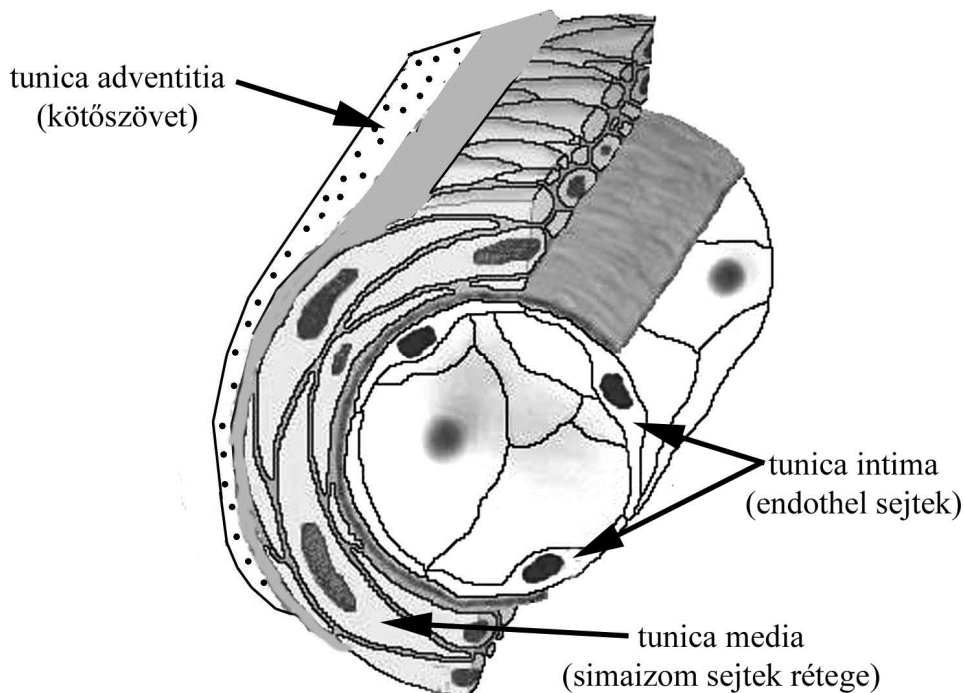
A hajsztálér hálózatban lépnek ki a vérből a tápanyagok és az oxigén a sejtek felé és itt lépnek be a vérpályába a sejtek anyagcsere végtermékei és a széndioxid. A **hajsztálerek vagy kapillárisok** falát csak lapos hámsejtek, **endothel** sejtek alkotják, amelyeket bazális membrán választ el a környező szövetektől.

Az erek falát alkotó rétegek

a.) A belső réteg (tunica intima) speciális **endothel sejtekből** és vékony kötőszöveti rétegből áll (6. ábra). Az endothel valamennyi érszakaszban megtalálható. Az endothel gátolja a vér alvadását és a sejtek között lévő felszínzáró berendezések segítségével elzárja a vér útját az erek többi rétege felé. Egyes szervekben (pl. máj, vese), ahol élénk anyagtranszport folyik a szövetek és a vér között, az endothel réteg apró nyílásokkal rendelkezik (fenesztrált).

b.) A középső réteg (tunica media) simaizom sejteket és rugalmas rostokat tartalmaz, az egyes érszakaszokban eltérő arányban. A legnagyobb erekben a rost dominál, a középnagy és kisartériákban pedig a simaizom (6. ábra).

c.) A külső réteg (tunica adventitia) laza rostos kötőszövet, melyet főként kollagén rostok alkotnak. Ebben található a nagyobb ereket ellátó saját erek elágazódásai is.



6. ábra: Sematikus ábra az erek falát alkotó rétegekről. Kép forrása: saját szerkesztés, a <http://www.lab.anhb.uwa.edu.au/mb140/corepages/vascular/vascular.htm> alapján.

A verőerek (artériák) szerkezete

a.) Nagy artéria: a szívből eredő legnagyobb ereket és ezek elsődleges ágait **nagy artériáknak** nevezzük. Ezek középső rétegét rugalmas (elasztikus) rostokból álló lemezek alkotják, melyek között simaizomsejtek találhatók. A nagymennyiségű rugalmas rost jelenléte miatt ezeket **rugalmas típusú ereknek** is nevezzük. A szívből nagy nyomással érkező vér a nagy ereket kitágítja. Amikor a vér kiáramlása a kamrából megszűnik, a kitágult rugalmas lemezek összehúzódása biztosítja a vér folyamatos továbbítását az erekben a kamrai diastole alatt.

b.) Középnagy artériák: középső rétegét simaizomsejtek és rugalmas rostok alkotják, a simaizom van túlsúlyban, ezért ezeket az ereket **izmos típusú vagy muscularis arteriáknak** nevezzük. Ebbe a kategóriába tartoznak a végtagokat és a szerveket közvetlenül ellátó erek. A többszörösen elágazódó erek középső rétege egyre vékonyabb lesz.

c.) Legkisebb artériák (arteriolák): az előttük lévő érszakaszhoz képest a bennük lévő nyomás csökken és a vékony falú hajszálerekbe kis nyomással érkezik a vér. Az arteriolák simaizomsejtjeinek összehúzódása csökkenti az arteriolák összkeresztmetszetét, ezért az

előttük lévő erekben nő a vérnyomás. Ez az érszakasz tehát a vérnyomás legjelentősebb szabályozó tényezője.

A visszerek (vénák) szerkezete

Átmérőjük és falszerkezetük alapján **kis vénákat (venula)**, középnagy és nagy vénákat, fefutásuk szerint bőralatti un. felületes vénákat és a mély vénákat különböztetünk meg. A vénák fala szabálytalanabb és vékonyabb, mint a nekik megfelelő artériáké.

Egyes vénákban (főként az alsó végtag felületes vénáiban), vékony endothel lemezekből álló billentyűk vannak. Ezek biztosítják azt, hogy a vér csak a szív felé áramolhasson.

A bőralatti un. felületes vénák fala kitágulhat, ezáltal a billentyűk zárása tökéletlenné válik. Így a vénákban visszamaradó vér tovább tágítja az ereket, létrejön a **viSSzér-tágulat (varikozitás)**, mely rontja a bőralatti kötőszövet táplálását, a tágult erekben gyulladás, a vér rögződése (**trombózis**) jöhet létre. Az ilyen állapot komolyan gátolhatja a sporttevékenységet.

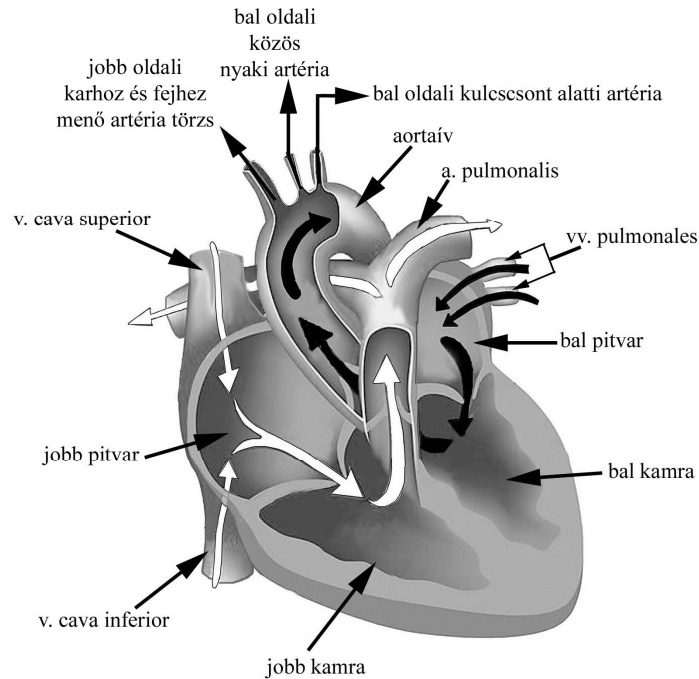
2.1.10. Vérkörök

Nagyvérkör

A szív **bal kamrájából** induló **aorta**_viszi a vért a szervek felé, a **verőerek** (artériák) eljutnak valamennyi szervhez. A nagyvérkör artériái tápanyagokban és oxigénben dús vért szállítanak a szövetekhez, ahonnan magas széndioxid tartalmú és a szövetek anyagcsere végtermékeit szállító vér érkezik vissza a szívbe. Ellátási területükön az artériák számos ágra, végül **hajszálerekre** oszlanak, majd a hajszálerek összeszedődve, **visszerek (vénák)** formájában visszajuttatják a vért a szívbe. A vér a felső és alsó üres visszéren (v. cava superior, v.cava inferior) keresztül jut vissza a jobb pitvarba (7. ábra).

Kisvérkör

A **jobb kamrából** induló **tüdőverőérrel** (artéria pulmonalis, vagy truncus pulmonalis) kezdődik, mely a jobb kamrából a test által elhasznált, CO₂-ban dús vért szállítja a **tüdőbe**. A vér felfrissítése, oxigénnel való telítése, ill. a CO₂ leadása a tüdőben a légzőanyagcserét (alveolus) körülvevő kapilláris-hálózatban történik, ezt nevezzük külső gázcserének. A friss, oxigenizált vér a **tüdő-vénákon (venae pulmonales)** keresztül jut vissza a szív **bal pitvarába** (7. ábra).

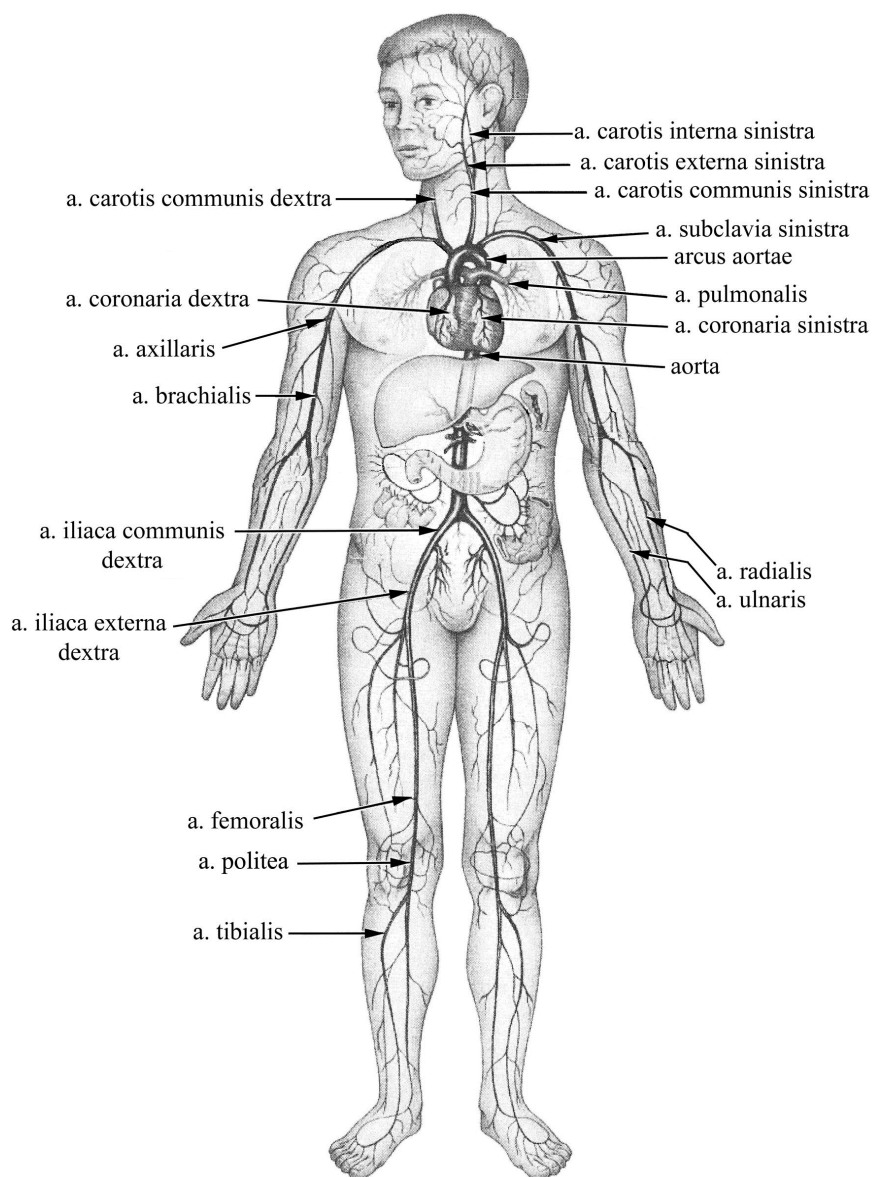


7. ábra: A vér áramlása a szív üregeiben és a nagyerekben. A *fehér színű nyilak* a nagyvérkörből érkező vénás, CO₂-ban dús vér útját mutatják a tüdőverőér irányába, a *fekete színű nyilak* a kisvérkörbe jutott, majd a tüdőben felfrissült, O₂-ben dús vér útját mutatják vissza a bal pitvarba, majd bal kamrába, onnan az aortába.

Kép forrása: saját szerkesztés, a <http://www.cardiachealth.org/how-does-your-heart-work-anatomy-heart-coronary-arteries> alapján.

A nagyvérkör főbb erei

Az emberi test artériás rendszerének főbb ereit a 8. ábra mutatja.



8 ábra: A nagyvérkör fő artériái. Kép forrása: engedéllyel átvéve Csoknya M., Wilhelm M. tankönyvéből.

A főverőér (aorta)

A bal kamrából ered, kezdeti szakasza a **felszálló főverőér** (*aorta ascendens*) jobb felé halad felfelé, majd balra fordul, ez a része a **főverőér íve** (*arcus aortae*), ami a bal főhörgőt megkerülve a gerincoszlop bal oldalára kerül, innen kezdve **leszálló főverőérnek** (*aorta descendens*) nevezik. A leszálló aorta mellkasi szakasza végigfut a hátulsó gátorüregen, majd átlépve a rekesz ágyéki szárai között a gerinc elülső felszínén halad a IV-V. ágyéki csigolya magasságáig, ahol a két közös csípőverőérre (*a. iliaca communis*) oszlik.

Az aorta ágai

A **felszálló aorta** (*aorta ascendens*) kezdeti szakaszából ered a szívét ellátó jobb és bal koszorúér.

Az **aorta ív** (*arcus aortae*) első ága a jobb oldali karhoz menő kulcscsont alatti verőér (*a. subclavia dextra*) és a jobb oldali közös fejverőér vagy fő nyaki ütőér (*arteria carotis communis dextra*) közös eredő ága, a **truncus brachiocephalicus** (7. és 8. ábra). Ezt követi a 2. ág, a baloldali közös fejverőér (**a. carotis communis sinistra**), majd a 3. ág, a baloldali kulcscsont alatti verőér (**a. subclavia sinistra**).

Az **a. subclavia** mindkét oldalon ágakat ad a nyak és a vállöv izmaihoz és a pajzsmirigyhez. A mellkas belső felszínén végigfutó ága részt vesz a bordaközi izmok, az emlő, a mellhártya, a szívburok és a rekeszizom vérellátásában, végága a szegycsont mögött áthalad a rekeszizmon és belép az egyenes hasizomba. A nyakcsigolyák harántnyúlványai közötti csatornában haladó ága a **csigolyaverőér** (**a. vertebralis**) a gerincvelő nyaki szakaszát ellátja, az öreglyukon belép a koponya üregébe, majd a kétoldali ér egyesül az agyalapon futó verőérben (**a. basilaris**). Ebből származnak az agytörzset, a kisagy nagy részét és a belső fület ellátó erek is.

Az *a. subclavia* folytatása a **hónalj-verőér** (**a. axillaris**). Ez az ér is ágakat ad a vállövhöz, ellátja továbbá a mellkas oldalsó falát és a **felső végtag artériájában** (**a. brachialis**) folytatódik. Az *a. brachialis* a könyökárokban eloszlik az **orsócsonti verőérre** (**a. radialis**) és a **síngcsonti verőérre** (**a. ulnaris**). Az *a. radialis* a csukló magasságában alkalmas pulzus tapintásra. Az *a. radialis* és *a. ulnaris* a tenyérben két artériás ívben találkozik, melyekből indulnak az ujjakat ellátó artériák.

A **közös fejverőér vagy fő nyaki ütőér** (**a. carotis communis**) pulzálása a nyakon jól tapintható. A pajzsporc felső szélénél két ágra, a **belső és külső fejverőérre** oszlik.

A **belső fejverőér** (**a. carotis interna**) az agy vérellátásának nagy részét biztosítja. Innen származik a szemgolyót ellátó ér is.

A **külső fejverőér** (**a. carotis externa**) ágat ad a pajzsmirigyhez és a gégehez. Ellátja a nyelvet, a szájüreg, az orrüreg és szemüreg egyes képleteit, a garatot, a nagy nyálmirigyeket, a fej izmait és bőrét, ágat ad a nyakszirt tájékához, a dobüreghez és a kemény agyhártyához. A közös fejverőér elágazási szögletében egy speciális szervecske a fejverőér gomolyag (glomus caroticum) a helyezkedik el, ami a vér kémiai tulajdonságainak változását érzékeli (chemoreceptor) és a nyelvgarat idegen (*IX. agyideg, n. glossopharyngeus*) keresztül továbbít információt az agyba.

A **leszálló aorta** (*aorta descendens*) a mellkasi szakasza (*aorta thoracica*) 10 pár ágat ad a bordaközökbe a bordaközi izmok ellátására. A bordaközi erek (*aa. intercostales*) ágai hozzájárulnak a mély hátizmok, a mellkas és a hát bőrének vérellátásához, ágakat adnak a gerincvelőhöz is, zsigeri ágaik a hörgőket követve táplálják a hörgőket és a tüdő szöveteit. A leszálló aortából ágak erednek a nyelőcső, a rekeszizom, a szívburkok és a gátor hátsó részének ellátására is.

A hasi szakaszon (*aorta abdominalis*) páros és páratlan ágakat különböztetünk meg. A páros ágak egy része a rekesz alsó felszínét és a hátsó hasfalat látja el. A többi páros ág és valamennyi páratlan ág a hasi szervek ellátására szolgál.

Párosak: a mellékvese középső verőere (*a. suprarenalis media*),

a veseverőér (*a. renalis*),

hereverőér (*a. testicularis*) férfiben, ill. a petefészek verőere (*a. ovarica*) nőben.

Páratlanok: a páratlan hasi zsigereket ellátó értörzs (*truncus coeliacus*),

felső bélfodri verőér (*a. mesenterica superior*),

alsó bélfodri verőér (*a. mesenterica inferior*).

A **közös csípőverőér** (*a. iliaca communis*) a hasi aorta kettéágazásával jön létre az 5. ágyékcsigolya előtt, lefelé kifelé haladva a külső és belső csípőverőerre oszlik. A **belső csípőverőér** (*a. iliaca interna*) a kismedencébe fordulva zsigeri és fali ágakat ad.

Zsigeri ágai ellátják a kismedencei szerveket, a gáttájékat és a külső nemi szerveket. Fali ágai táplálják az ágyéki és keresztcsonti tájék ízületeit és izmait, a külső és belső csípőizmokat, a csípőízületet és combközeli izmokat.

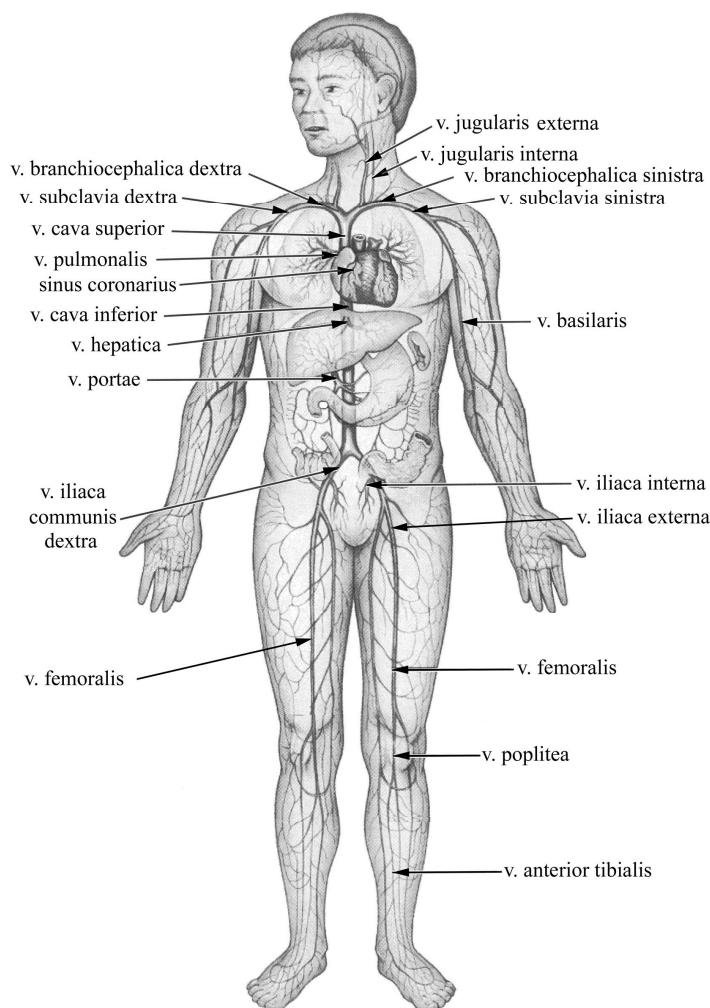
A **külső csípőverőér** (*a. iliaca externa*) egyenes folytatása a közös csípőverőérnek. Ellátja a csípőlapát belső felszínét, az elülső hasfalat, symphysist és részben a külső nemi szervek bőrét. Egyik ága az egyenes hasizomban összeköttetésben van az a. subclaviából leszálló érrel. A lágyékszalag alatt átbújva a lágyékahajlatban, majd a combon folytatódik, mint **comb artéria** (*a. femoralis*). Az a. femoralis ellátja a combon lévő összes képletet, izmokat is beleértve, részt vesz a térdízület vérellátásában, előlről-hátrafelé halad a térdhajlatba, ahol a **térdalji verőér** (*a. poplitea*) a folytatása. Ennek főbb ágai az **elülső sípcsonti verőér** (*a. tibialis anterior*) a lábszár elülső izomrekeszében halad tovább a lábfejre, a **hátsó sípcsonti verőér** (*a. tibialis posterior*) a lábszár mély hajlító izmai között fut le a talpra és a **szárkapcsi verőér** (*a. peronea*), mely a szárkapcsi izmok között fut. Az elülső sípcsonti verőér a két boka között halad a lábfejre, ahol a pulzus tapintásra is alkalmas **lábfeji verőérbe** (*a. dorsalis pedis*) folytatódik.

A test gyűjtőeres rendszere (vénák)

Az emberi test vénás rendszerének főbb vénáit a 9. ábra mutatja.

A vénás rendszert alkotó visszerek (gyűjtőerek, vénák) feladata az oxigénben szegény, széndioxidban gazdag elhasznált vér szállítása a szövetekből a szív felé. A testben a vénáknak két nagy csoportját különböztetjük meg: a felületi (bőr alatt futó) visszereket és az izmok között elhelyezkedő un. mélyvénás rendszert.

A **felületes gyűjtőerek vagy bőrvénák** a bőralatti zsírszövetben vannak és a mély vénákba ömlenek. A **mély gyűjtőerek** a végtagokon a comb, a tenyér és a talp kivételével párosával kísérik az artériákat, rendszerint közös kötőszövetes hüvelyben. A szív vénáinak kivételével a szervezet vénás vérét a **felső és alsó üres visszér (vena cava superior és inferior)** rendszere szedi össze (9. ábra).



9. ábra: A test vénás rendszere. Kép forrása: engedéllyel átvéve Csoknya M., Wilhelm M. tankönyvből

A felső üres véna (*vena cava superior*) rendszere

Az agyból és a koponya belső felszínéről a koponya vénás öbleibe összegyűlt vér a torkolati nyílásnál (foramen jugulare) kezdődő **belső nyaki vénába (v. *jugularis interna*)** ömlik. Ez összeömlik a **kulcscsont alatti vénával (v. *subclavia*)** és létrehozzák a **v. *brachiocephalica***-t. A két ér találkozási helye a **vénás szöglet (angulus venosus)**, melybe baloldalon a legnagyobb nyirokértörzs ömlik (***ductus thoracicus***).

A fej és a nyak külső részeiről a **külső nyaki véna (v. *jugularis externa*)** szedi össze a vért, amely rendszerint a v. *subclavia*-ba ömlik.

A v. *subclavia* a hónaljárokban lévő **hónaljvéna (v. *axillaris*)** közvetítésével a mellkas és a has felső részének bőre, a válltájék és a felső végtag vérét gyűjti össze.

A bal v. *brachiocephalica* hosszabb, mint a jobb. A két nagy véna a jobb oldalon az I. sternocostalis ízület mögött egyesül, létrehozva a v. *cava superior*-t, ami meredeken lefelé haladva a III. sternocostalis ízület mögött ömlik be a jobb pitvarba.

Az alsó üres véna (*vena cava inferior*) rendszere

A vér felfelé, a gravitációval szemben áramlik, ezt a feladatot az izomzat is segíti az összehúzódásával, de a vénákban lévő billentyűk szintén fontos szerepet játszanak, mert a vér visszaáramlását megakadályozzák. A működő izmok gyakorlatilag kipumpálják a vért a vénákból, az ép billentyűk működése pedig a szív felé irányulóvá teszi a véráramlást.

Az alsó végtag vénái a **combgyűjtőérbe (v. *femoralis*)** szedődnek össze. Ez átlépve a lágyékszalag alatt felfelé halad, mint **külső csípővéna (v. *iliaca externa*)**. A **belső csípővénnal (v. *iliaca interna*)** való egyesülésével létrejön a **közös csípővéna (v. *iliaca communis*)**.

A **belső csípővéna (v. *iliaca interna*)** a kismedencei szervek, a külső nemi szervek, a külső és belső csípőizmok, a keresztcsonti tájék és a combközelítő izmok vérét szedi össze. A v. *cava inferior* a hasi aortától jobbra, a gerincoszlop mentén halad felfelé. Rövid szakaszon beágyazódik a máj állományába. Abból kilépve átfúrja a rekeszt, majd a szívburkot és benyílik a jobb pitvar alsó részébe. A hasüregben felveszi a herék, ill. a petefészek, a vesék, a mellékvesék és a rekesz vénáit. Ezek páros vénák.

A páratlan hasi zsigerek (gyomor, lép, hasnyálmirigy, belek) vénás vérét a **májkapu gyűjtőér (v. *portae hepatis*)** szedi össze és viszi a májba. A májon áthaladó vér a májba ágyazott szakaszán ömlik be a v. *cava inferior*-ba.

Főbb felületes gyűjtőerek (bőrvénák) a végtagokon

A kézfejen a bőr alatti zsírszövetben apróbb vénák fonata található, melyek a kézhát bőre alatt, főleg idősebb korban, jól láthatóak. Ezekből kialakul egy-egy nagyobb bőralatti véna: a **v. cephalica** és a **v. basilica**, a kettő közötti összeköttetés a könyökárokban a jól ismert könyökvéna (**v. cubiti**).

A lábfej felületi vénáiból indul medialisán a **v. saphena magna**, lateralisán a **v. saphena parva**. A két vénás törzset számtalan kis véna köti össze (anastomosis). Az elől futó v. saphena magna a comb felső részéig halad felfelé, ott a mélybe fordul és beleömlik a v. femoralis-ba.

2.1.11. A nyirokrendszer

Nyirokerekből és **nyirokszervek**ből épül fel. A nyirokerekben kering a *nyirok* (*lymph*a), amely a nyirokerekbe bejutott szövetközi folyadék. A **nyirok** különféle sejteket, főleg nyiroksejteket (B- és T-lymphocyták) is tartalmaz.

A nyirokerek endothel-sejtekből felépülő **nyirok-kapillárisokkal** kezdődnek. Mindenhol megtalálhatók a porc, a csontvelő, a központi idegrendszer és a szaruhártya kivételével. A nyirokkapillárisok nagyobb nyirokerekbe szedődnek össze, amelyek szerkezete a vénákéra emlékeztet, csak a faluk vékonyabb. A nyirokerekben is vannak billentyűk, a nyiroknak a szív felé irányuló áramlásának biztosítására.

Valamennyi nyirokér két fő nyirokvezeték rendszeréhez tartozik. A **jobb oldali nyirokvezeték** (**ductus lymphaticus dexter**) a fej és a nyak jobb oldalának, a jobb mellkasfélnek és a jobb felső végtagnak a nyirkát gyűjti össze. A jobb vénás szögletbe ömlik. A **mellkasvezeték** (**ductus thoracicus**) a legnagyobb nyirokgyűjtő törzs. A felső testfél bal oldalának, az alsó testfélnek, hasi zsigereknek és az alsó végtagoknak a nyirkát gyűjti össze. A hasi aortával együtt halad át a rekeszen, majd a gerinc elülső felszínén végig futva a bal vénás szögletbe ömlik.

Nyirokszervek

Idetartoznak a **nyiroktüszők**, a **nyirokcsomók**, a **mandulák**, a **lép** és a **csecsemőmirigy**.

Nyiroktüszők (**folliculi lymphatici**): nyiroksejtek halmazai, melyek a szervek nyálkahártyájában vagy nagyobb nyirokszervekben találhatók.

Nyirokcsomók (*nodii lymphatici*): 20-30 mm hosszúságú, bab alakú, kötőszövetes tokkal körülvett, nyiroktüszőket tartalmazó szervek. A nyirokcsomóba **bevezető nyirokerek (*vas afferens*)** a tok alatti hézagrendszerbe öntik a nyirkot, amely átszivárog a tüszők között lévő résrendszerbe a kéreg- és a velőállományon át, majd a homorú részen lévő kapunál (hilus) az **elvezető nyirokerek (*vas efferens*)** elhagyják a nyirokcsomót. A nyirokcsomókban lymphocyták és plazmasejtek képződnek, az utóbbiak immunanyagokat termelnek.

A hónaljárokban található nyirokcsomók a felső végtagról, mellkasról és az emlőkből, a lágyékhajlatban levők az alsó végtagról, külső nemi szervekből, gáttájékról, köldök alatti hasfalról és nők esetén a méhtestből gyűjtik össze a nyirkot. Számos nyirokcsomó található a nyakon, a nyaki nagyerek mentén, az állkapocs alatti tájékban és a zsigerek közelében is. Láncolatot képeznek a gerinc előtt, az aorta mentén is.

Az elsődleges, másodlagos, harmadlagos nyirokcsomókban a szervezetre káros anyagok kiszűrődnek, a nyirokcsomókból kilépő vas efferensekben az átszűrt nyirokban egyre több nyiroksejt (lymphocytá) jelenik meg. Ha a nyirokcsomók megduzzadnak, fájdalommassá válnak, fontos jelzői lehetnek különböző megbetegedéseknek.

A mandulák (*tonsilla*) nyálkahártyába ágyazott nyiroktüsző halmazok. Csak elvezető nyirokereik vannak. A torokszorosban a két torokmandula (*tonsilla palatina*), a garat orri részében az orr-garat mandula (*tonsilla pharyngea*), a nyelvgyökön a nyelvgyöki mandula (*tonsilla lingualis*) található. A lokális védelemben van szerepük.

Lép (*lien*): a nyirokszervekhez soroljuk a lépet is. A hasüreg bal-felső részén, a rekeszizom alatt található szerv, mely részben nyirokszerv, részben a vér egy részének tárolását, valamint az előregedett vörösvértestek lebontását is végzi. A lép állománya és a lép tokja simaizomszövetet is tartalmaz, melynek összehúzódása a tárolt vért mennyiség keringésbe történő visszajuttatását segíti elő.

A **csecsemőmirigy (*thymus*)** a pubertás végéig létező nyirokszerv, a szegycsont mögött, a gátorüreg felső részében található, pubertás után visszafejlődik. T-lymphocytákat termel, melyek a sejtes immunvédekezés fontos elemei (a T-lymphocyták a csecsemőmirigyből a többi nyirokszervbe jutnak, megtelepednek és pubertás után innen jutnak a keringésbe. Több alcsoportjuk ismert, más-más feladatuk van).

Ellenőrző kérdések:

1. Melyek a szív üregei és azok főbb képletei ?

.....

2. Mely struktúrák biztosítják a vér áramlási irányát a szívüregekben?
.....
3. Melyek a pitvar-kamrai szájadékokban található billentyűk?
.....
4. Hol rögzülnek a vitorlás billentyűk ínhúrjai?
.....
5. Hány részből állnak a vitorlás billentyűk?
.....
6. Milyen típusú billentyű található a tüdőverőér kezdeti szakaszán?
.....
7. Melyik billentyű nyílik meg akkor, ha megtelik vérrel a bal pitvar?
.....
8. Melyik szívbillentyű lesz nyitva a kamrai szisztole alatt?
.....
9. Mely erek látják el a szívet oxigéndús vérrel?
.....
10. Hol található a szinuszcsomó? Hol található az AV-csomó? Mi a feladatuk?
.....
11. Melyek a szív ingerképző- és ingervezető részei az ingerület haladásának sorrendjében?
.....
12. Melyek azok az erek, amelyek a szív bal pitvarában nyílnak?
.....
13. Mit nevezünk felületes- és mély vénáknak?
.....
14. Melyik ér szállítja a felszívott tápanyagokat a májba?
.....
15. Honnan indul a veséket ellátó artéria?
.....
16. Melyek a kisvérkörhöz tartozó struktúrák?
.....
17. Hol találhatóak az Eberth-vonalak?
.....
18. Milyen jellegzetessége van a szívizomszövet felépítésének?

.....
19. Melyik ér indul ki a bal kamrából?

.....
20. Melyek az alsó végtagot ellátó főbb erek?

.....
21. Melyek az aortaívből induló erek?

.....
22. Melyek az agy vérellátását biztosító artériák?

.....
23. Hogyan nevezik az erek legbelső rétegét képező sejteket?

.....
24. Sorolja fel a főbb nyirokszerveket!

.....
25. Melyik szerv található a hasüreg bal-felső részén, közvetlenül a rekesz alatt? Mi a funkciója?

.....
26. Melyik nyirokszerv található a torokszorosban?

.....

2.2. A légzőrendszer

A légzőrendszer feladata a szervezet gázcseréjének biztosítása, az oxigén felvétele és a széndioxid leadása. A **külső gázcseré** a tüdőben folyik: a belégzett levegőből az oxigén a vérbe, a vérből a széndioxid a kilégzett levegőbe jut. A levegő a légutakban áramlik. A sejtek, szövetek a vérből felveszik az oxigént, az anyagcseretermékeket és a széndioxidot visszajuttatják a vérkeringésbe, ezt nevezzük **belső gázcserének**. Magasabbrendű élőlények szövetei csak rövid ideig képesek elviselni az oxigénhiányt, ezért fontos a szövetek folyamatos oxigénellátása.

A légzőrendszer részei

Felső légutak

- Orrüreg, amely a szaglószeret is tartalmazza.
- Garat felső 1/3-a (az alsó 2/3-a közös a tápcsatorna egy részével).

- Gége, a hangképzés szerve

Alsó légutak

- Légcső és a főhörgők.
- Tüdő, melyben a külső gázcsere történik.

2.2.1. Felső légutak részei és főbb jellemzői

Az orrüreg (cavum nasi)

Az orrüreg bonyolult falú, nyálkahártyával bélelt üregrendszer, melyet az **orrsövény** 2 részre oszt. Az orrsövényt hátul csont, elől porc alkotja. Az orrüreg oldalsó faláról három, lefelé görbülő csontlemez emelkedik el, a **felső, középső és az alsó orrkagyló**. Alattuk húzódnak az **orjáratok**.

Az orrüreg nyálkahártyájának legbelső felszínét jellegzetes légzőhám, a többmagsoros csillószőrös hengerhám borítja. A nyálkahártya bőven erezett tág kapillárisokkal. Ezekből ütésre, nyomásra, erősebb orrfúváskor vérzés indulhat (de gyakori sportsérülés esetén is, pl. kosárlabdában, kézilabdában, ökölvívásnál). Az orrüreg tetején a nyálkahártyában szaglóhámsejtek helyezkednek el, melyek a szaglás receptorai.

Az orrüreg hátul két nyílással (choana) a garat orri szakaszába nyílik.

Az orrüreg szerepe

- A belélegzett levegő felmelegítése, páratartalmának növelése, tisztítása a szennyeződésektől; a beszívott por egy részét a nyák megköti.
- Szaglóhám sejtjei révén a szaglás szerve.
- A beszédhangok egyéni hangzásának kialakításában is részt vesz.

Az orrmelléküreg (sinus paranasalis)

A koponyacsontok belsejében **nyálkahártyával bélelt üregek** vannak, melyek **összeköttetésben állnak az orrüreggel**. Ilyenek az **arcüreg, homloküreg, ékcsoni üreg, rostacsonti üregek**. Az orrmelléküregek részt vesznek a belélegzett levegő előmelegítésében és a páratartalmának növelésében. A felső orjárat mögött nyílik be az ékcsoni öböl, a homloküreg és az arcüreg, valamint az elülső rostasejtek a középső orjáratba nyílnak.

A garat (pharynx)

A garat az orrüreg, a szájüreg és a gége mögött függőlegesen elhelyezkedő, izmos falú cső, mely felül a koponya-alaphoz rögzül. Belső felszínét nyálkahártya béleli, falában vastag harántcsíkolt izomréteg van.

3 szakasza van:

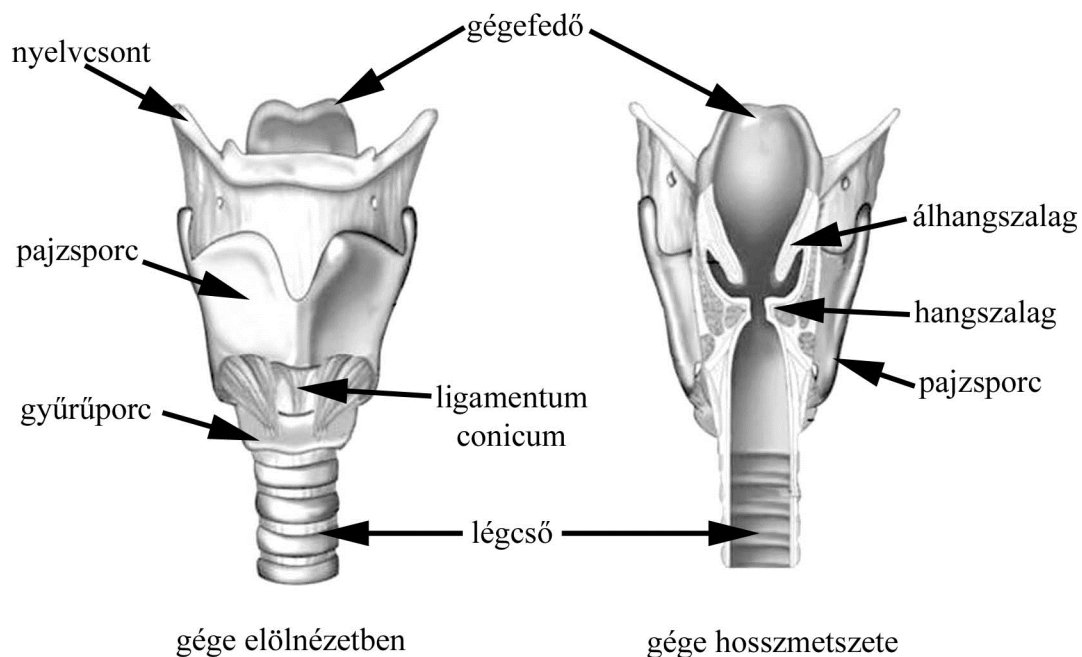
- **Orri szakasz:** melybe az orrüreg hátsó nyílása (choana) vezet. Itt található a garatmandula (tonsilla pharyngea) és a fülkürt (Eustach-kürt) nyílása.
- **Száji szakasz:** az orri szakasz alatt található, ide nyílik a szájüreg a torokszorosnál. A garatnak ez a szakasza az, ahol a levegő és a táplálék útja közös.
- **Gégei szakasz:** itt kezdődik a gége. A garat hátrafelé a nyelőcsőbe folytatódik.

Az orri rész tetején van a **garatmandula** (tonsilla pharyngea). Gyermekkorban gyakori a gyulladások miatti megnagyobbodása, amely megnehezíti az orron keresztüli légzést. Itt látható a **fülkürt (tuba auditiva vagy Eustach-kürt)** nyílása is. A fülkürt a dobüreget köti össze a garattal, szerepe a garat és a dobüreg között a légnyomás kiegyenlítése.

A levegő a garat orri részéből annak száji-, majd a gégei részébe, onnan a gégébe kerül. A tápcsatorna és a légutak közös garati szakasza teszi lehetővé, hogy a ki- és belégzést akár az orrüregen, akár a szájüregen keresztül is végezhetjük. A helyes légzési technikát sportáganként külön meg kell tanulni.

A gége (larynx)

A gége a nyak középső részén, a nyelvcsont alatt helyezkedik el. Vázát ízületekkel összekötött gégeporcok alkotják. Rajtuk izmok erednek és tapadnak, amelyek összehúzódnása a porcok helyzetét megváltoztatja. (10. ábra).



10. ábra: A gége anatómiai szerkezete. Kép forrása: saját szerkesztés, engedéllyel felhasználva Csoknya M., Wilhelm M. tankönyvi ábráját.

A gége porcai:

- pajzsporc
- gyűrűporc
- kannaporc

A **pajzsporc** a legnagyobb az öt gégeporc közül. Üvegporcból (hyalin porc) álló két lemeze elől szögletben találkozik, ez közismert nevén az „ádamcsutka”, mely férfiakban jobban kiemelkedik, mint nőkben. A pajzsporc hátsó széléről felfelé és lefelé is ered egy-egy pár szarv alakú nyúlvány. A felső kötőszövetesen a nyelvcsont hátsó végéhez kapcsolódik, az alsó szarv a gyűrűporccal képez egytengelyű ízületet.

A **gyűrűporc** a pajzsporcnál jóval kisebb, pecsétgyűrűre emlékeztető hyalin porc. Elülső, keskenyebb része az ív, a kiszélesedő hátsó része a lemez, mellyel a 2 kannaporc képez forgóízületet, melyek függőleges tengely mentén mozoghatnak. A **kannaporc** háromoldalú piramisra emlékeztető páros porc. A kannaporcnak a bázisán egy előre és egy oldalra irányuló nyúlványt találunk. Az előrenéző nyúlványról ered a **hangszalag (ligamentum vocale)**, mely a kannaporc és a pajzsporc között feszül ki. A két hangszalag

közti terület a **hangrész (rima glottidis)**. Belégzéskor és hangos beszédnél a hangrész tágra nyílik, kilégzéskor és halk beszédnél szűkül. Bizonyos gégeizmok összehúzódásával a hangrész tökéletesen elzárható. Köhögéskor a zárt hangrész hirtelen nyitására a levegő nagy sebességgel kiáramlik és a légutakba került idegen anyagokat, vagy a nyákot magával ragadja.

Gégefedő (epiglottis)

A gégefedő rugalmas porcból áll. Széles felső részét a **gégebemenetet (aditus laryngis)** határolja, elkeskenyedő alsó vége a pajzsporc szögletéhez rögzül belülről. A gégefedő szerepe a lenyelt tápláléknak és folyadéknak a gége két oldalán lévő mély barázdába való terelése, amin keresztül az a nyelőcsőbe jut. Előrebillenésével megakadályozza a táplálék gégebe jutását.

A gége ürege

Homloksíokban készített metszetben homokórára emlékeztető alakú. Belsejét nyálkahártya fedi. Középső része a legszűkebb, itt két redő található: a felső redő az **álhangszalag**, az alsó a **hangszalag**. Az álhangszalag fölé eső üregrész a gégetornác (vestibulum laryngis). A gége ürege a hangrész alatt kitágulva folytatódik a légcső üregébe.

A **hangszalag (ligamentum vocale)** a pajzsporc szögletének belső felszínétől a kannaporc elülső nyúlványáig húzódó páros redő. A hangszalaggal párhuzamosan keskeny harántcsíkolt izom (m. vocalis) található, mely a hangszalag feszességének „finom hangolását” végzi (énekeseknél a gyakorlással ez tökéletesíthető). Beszédkor a finomabb artikulációban van szerepe a m. vocalisnak.

A gége a hangadás szerve. A hangrészen kiáramló levegő rezgésbe hozza a hangszalagot, aminek hossza, feszessége és vastagsága szabja meg a hang magasságát, erejét pedig a kiáramló légáram erőssége. A hangképzésben, az egyéni hangszín kialakulásában, nagy szerepe van még a szájüregi képleteknek (a nyelvnek, fogaknak, szájpadnak és az ajkaknak) és az orrüregnek, orrmelléküregeknek is (közismert, hogy hurutos betegségeknél megváltozik a beszédhang, „náthás orrhangon” szólal meg az illető).

A gége működése

A gégeporcokat harántcsíkolt izmok mozgatják. Ezek a mozgások a légzéshez, a hangadáshoz és a gégeüreg elzárásához szükségesek.

A hangszalag megfeszül a pajzsporc lemezének előrebillenésekor, ezt a mozgást előidéző izom a hangmagasság beállítását végzi. A kannaporcok oldalsó nyúlványához előlről

és hátulról is tapad egy-egy izom. A hátulsó izom összehúzódásakor a hangrés kinyílik. Ez a hangrés egyetlen nyitó izma. Bénulása fulladást okozhat. A másik izompár a hangrést zárja. A gégeizmok beidegzését a n. vagus (X. agyideg) végzi.

2.2.2. Alsó légutak részei és főbb jellemzői

A légcső (trachea)

A 7. nyakcsigolyától (C7) a 4. hátcsigolyáig (Th4) tart, ahol a **két főhörgőre (bronchus principalis dexter et sinister)** oszlik. A légcső falát „C”- alakú üvegporcok alkotják. A porcos fal megakadályozza az üreg beszűkülését, ezáltal biztosítja a levegő szabad áramlását. A „C”-alakú porc szarait hátul simaizomból és kötőszövetből álló lemez. az egymás alatt lévő „C”-alakú porcokat pedig kötőszövetes szalagok kötik össze. A porcok közötti rugalmas rostos kötőszövetből álló szalagok a légcsőnek a nyak mozgásaihoz való alkalmazkodását is lehetővé teszik.

A hörgők és a légcső nyálkahártyáját csillószőrös hengerhám borítja. A hámsejtek közötti helyeisejtek és a nyálkahártya mirigyei nyákos váladékkal vonják be a felszínt. A csillók csapkodása a garat felé irányuló állandó áramlásban tartja a nyákfilmet, kifelé sodorva a légutakban lerakódott finom porcszemcséket, szennyeződést, és kórokozókat.

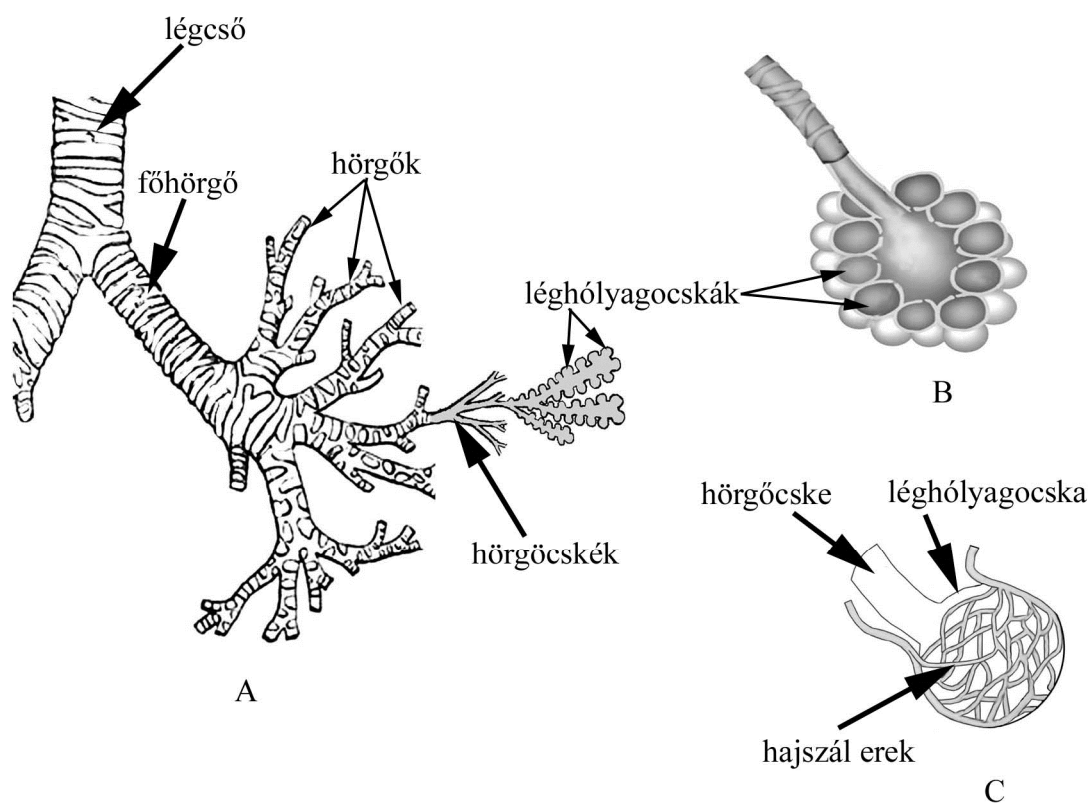
A tüdő (pulmo)

Páros szerv, amely a mellüregben helyezkedik el, a mellhártya zsigeri lemeze borítja. Felső része a **tüdőcsúcs (apex pulmonis)**, mely kb. 2 harántujjnyival a clavicula fölé nyúlik. Alsó, kiszélesedő része a **bázis (basis pulmonis)**, mely a rekeszizomra illeszkedik. Felsőínei: bordai felszín, rekeszi felszín, gátori (mediastinalis) felszín. A mediastinalis felszínen van a **tüdőkapu (hilus pulmonis)**. A tüdőkapun (hilus pulmonis) a főhörgő és a tüdőverőér lép be a tüdőbe, ill. a tüdőből itt lépnek ki a tüdő vénái és a nyirokerek. Az ereket és a hörgőket idegfonatok veszik körül. A bal oldalon a gátori felszínen a szív képez benyomatot. A 2 tüdő nem egyforma nagyságú, a szív elhelyezkedése miatt a bal oldali kisebb.

A **jobb tüdőnek** három lebenye van: **felső- (lobus superior)**, **középső- (lobus medius)** és **alsó lebeny (lobus inferior)**, melyeket hasadékok választanak el egymástól (1. ábra). A bal tüdőn a középső lebeny hiányzik, felső- (lobus superior) és alsó lebeny (lobus inferior) található.

2.2.3. A tüdő szöveti szerkezete

A **főhörgő** jobb oldalon három, bal oldalon két **lebenyhörgőre** oszlik. Ezekből 9-10 **szelvényhörgő** ágazik el, amelyek a tüdő anatómiai és funkcionális egységeinek, a tüdőszelvényeknek a tengelyében haladnak. A tüdőben a hörgők egyre kisebb hörgőkre, majd hörgőcskékre ágazva oszlanak (11/ A ábra). A légutak falában a porc egyre kevesebb lesz.



11. ábra: A tüdő szerkezete. A: a tüdő hörgőrendszerének sémás rajza; B: A léghólyagocskák sémás rajza; C: a léghólyagocskákat körülvevő érhálózat sémás rajza. Kép forrása: engedéllyel átvéve Csoknya M., Wilhelm M. tankönyvéből

A **hörgőcskék (bronchiolus, bronchioli)** fala porcot már nem, csak kötőszövetet és főleg simaizmot tartalmaz. A simaizom a hörgőcskék tágasságát széles határok között tudja megváltoztatni: a simaizom elernyedésével (szimpatikus idegrendszeri hatásra) a lumen tágul, összehúzódásával (paraszimpatikus idegi hatásra) a lumen szűkül.

A légutak végső szakasza a **léghólyagocskákból (alveolus)** áll (11/B ábra). Ezeket kívülről a kisvérkörhöz tartozó hajszálérhálózat veszi körül (11/C ábra) Az erek falán és az **alveolusok falát alkotó hámsejteken (pneumocyta)** keresztül történik a külső gázcsere.

A tüdő vázát sok rugalmas rostot tartalmazó, összességében azonban kevés kötőszövet alkotja. A rostok által alkotott térrácsban helyezkednek el az alveolusok. A belégzéskor megnyúlt rugalmas rostok összehúzódása jelentős tényezője a kilégzésnek.

A kötőszövetet számos nyirokér hálózta be. A kötőszövet falósejtjei részt vesznek a légutakba jutott szennyező anyagok eltávolításában, melyet a nyirokpályákba juttatnak.

2.2.4. A mellhártya (pleura)

A tüdőket és a mellüreg belső falát borító savós hártya, mely két, teljesen elkülönülő pleuraüreget hoz létre.

Fali lemeze (parietalis lemez) a mellkas falát belülről és a rekeszt felülről borítja. **Zsigeri lemeze (visceralis lemez)** a tüdő felszínét borítja, befedve a lebenyeket elválasztó hasadékok egymás felé néző felszíneit is. A fali és a zsigeri lemez a tüdőgyökeret alkotó erek és főhörgők mentén áthajlik egymásba. Így jobb és baloldalon is különálló, egymással nem közlekedő pleura-üreg alakul ki. A pleura fali és zsigeri lemeze között, a **pleura-üregben**, pár csepp folyadék van, amely vékony folyadékfilmet képez a mellhártya lemezeken, ezáltal súrlódáscsökkentő szereppel bír.

A tüdő alsó széle kilégzéskor oldalt és hátul nem éri el a rekeszt. Itt a pleura parietalis mellkasi és rekeszi lemeze létrehoz egy öblöt (sinus phrenicocostalis), mely a pleura-üreg legmélyebb része, ide nem terjed be a tüdő még a legnagyobb belégzés esetén sem.

A mellhártya szerepe a légzésben

Belégzéskor a mellkas átmérője a tér mindhárom irányában megnő. A pleura fali lemeze elmozdul a mellkasfallal együtt és magával húzza a tőle folyadékfilmmel elválasztott zsigeri lemezt is. Ez ahhoz a jelenséghez hasonló, melyet pl. két nedves üveglap széthúzásakor tapasztalunk. Az üveglapra merőlegesen ható erővel nem tudjuk elmozdítani egymástól az üvegeket bizonyos erőhatásokon belül, lap szerint azonban könnyen elcsúsztathatók egymáson.

A pleura zsigeri lemezére ható húzóerő miatt nő a tüdő térfogata, a levegő beáramlik a tüdőbe. A rekesz süllyedése megnyitja a sinus phrenicocostalis-t. A tüdő ide is benyomul, növelve a felvehető levegő mennyiségét, de az öblöt a legmélyebb belégzéskor sem tölti ki.

Kilégzéskor a belégző izmok ellazulnak, a hasúri nyomás a rekeszt a mellüreg felé nyomja, a kilégzést segítő belső bordaközi izmok összehúzódnak, és a mellkas fala visszaáll a belégzést megelőző helyzetbe.

Ellenőrző kérdések:

1. Melyik szervben közös a táplálék és a levegő útja?

.....

2. Hol történik a külső gázcsere? Nevezze meg pontosan a szervet és az adott szervnek azon a struktúráit, ahol a gázcsere lezajlik.

.....

3. Melyik gégeporcok között feszül ki a hangszalag?

.....

4. Nevezze meg a gége porcait!

.....

5. Hány lebenyből áll a jobboldali tüdőfél?

.....

6. A mellhártya melyik lemeze borítja a tüdőt?

.....

3. A keringési- és légzőrendszer élettani alapjai

Az állati és emberi életfolyamatok fenntartásához oxigén felvételére van szükség, majd a szervezetben keletkezett szén-dioxidot el kell távolítani. A légzési gázok cseréjét a légzőszervrendszer, a szállítását a vérkeringési rendszer biztosítja. Ez a két említett rendszer, mind anatómiailag, mind élettanilag szorosan kapcsolódik egymáshoz (cardiorespiratoricus rendszer).

3.1. A keringési rendszer alapjai

A keringési rendszer úgynevezett zárt rendszer, azaz a vér kizárólagosan különböző átmérővel rendelkező erekben kering. A rendszer középpontjában a szív áll, melyből a vér elszállítását végző artériás rendszer tagjai indulnak ki (melyben a vér lehet artériás, illetve vénás is), míg a szívbe érkező, vérszállítást végző erek, a vénás rendszer tagjai (szintén tartalmazhatnak artériás, illetve vénás vért); lásd 2.1.8. fejezet.

3.1.1. A szív alapvető fiziológia sajátosságai

A szív folyamatos (pacemaker) **összehúzódásával (szisztolé)**, illetve **elernyedésével (diasztolé)** vérnyomáskülönbséget (vért az érfalra gyakorolt hidrosztatikai nyomása) tart fenn a teljes keringési rendszerben. A szív saját billentyűrendszere (lásd 2.1.5. fejezet) gondoskodik az egyirányú véráramlásról, valamint saját szabályozómechanizmusai révén, idegi és hormonális hatások közbeiktatásával alkalmazkodni tud a különböző megterhelésekhez. A vérnyomás mérésekor mindig két adat olvasható le, a magasabb érték a 'szisztolés nyomás' (amit a szív összehúzódása idéz elő), az alacsonyabb érték a 'diasztolés nyomás' (a szív elernyedett állapotában mérhető nyomás). **A vérnyomás értéke** sok mindentől függ, egy átlagos embernél nyugalomban **120±20/80±10 Hgmm** (lásd 3.1.4. fejezet). A 140/90 Hgmm vérnyomásérték felett magas vérnyomásról (hipertónia) beszélünk.

A szívet felépítő szívmuszkulációk nem egyformák, mind morfológiailag, mind elektromos jellemzőik, mind pedig kontraktilitásuk alapján két nagyobb csoportba oszthatók. A szív tömegének nagy része a **pumpafunkciót látja el (munkaizomzat)**, míg a kisebb számban, a szív ingerképzésében és ingerületvezetésében szerepet játszó **módosult szívmuszkulációk** találhatók.

Az ingerképző rendszer legfontosabb tagja a jobb pitvar falában található kb. 8mm hosszú **szinuszcsonló**. Ez a terület a szív **ritmusgenerátora** (pacemaker), mely a szív összehúzóóásának megfelelő ütemét biztosítja. A szinuszcsonló ingerképző frekvenciája kb. 100/min körüli érték, melyet a vegetatív idegrendszer jelentősen befolyásol (lásd később). A szinuszcsonlóhoz hasonló módosult szövet, az ún. **pitvar-kamrai (atrio-ventrikuláris, AV) csonló**. Normális körülmények között az AV-csonló csak a már meglévő ingerület vezetésében játszik szerepet, de ingerképző tulajdonsággal is bír.

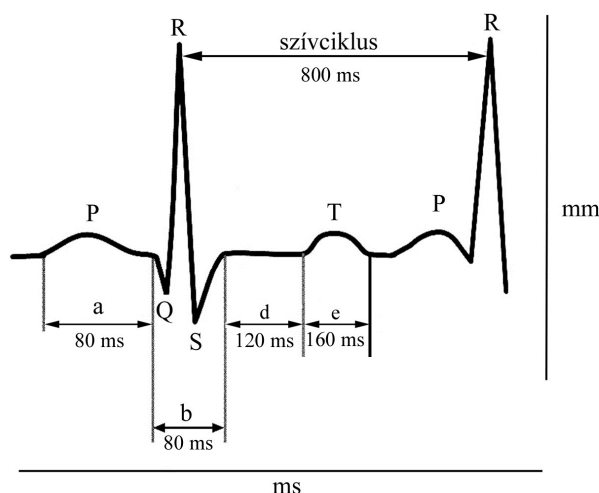
A szív nyugalomban átlagosan 72-szer húzóó össze percenként (**szívfrekvencia**; 72 beat/per minute; bpm). Egy-egy összehúzóóással a jobb és a bal kamrából mintegy 70-80 cm³ vér kerül az érpályába (**verőterfogat**). Az egy perc alatt továbbított vérmennyiség, vagyis a *keringési perctérfogat* (verőterfogat x szívfrekvencia) így kb. 5000 cm³, azaz 5 liter. Ez azt jelenti, hogy egy perc alatt a teljes vértérfogat megfordul mind két vérkörben. Kiszámolható, hogy egy átlagos, percenként 72-szer összehúzóóó emberi szív megközelítőleg 2,5 milliárdszor húzóó össze egy átlagos élettartam alatt. Nagyobb igénybevétel esetén természetesen emelkedik az egy összehúzóóással továbbított vér mennyisége, valamint az összehúzóóások száma is. Ennek következtében a keringési perctérfogat a nyugalmi érték többszörőésére emelkedhet (lásd 3.1.8. fejezet).

A szív működés ismétlődő szakaszokra, úgynevezett *szívciklusokra* tagolható. A szívciklus első ütemében a pitvarok megtelnek vérrel, majd összehúzóóódnak. A vérnyomás növekedése miatt megnyílnak a **vitórlás billentyűk** (lásd 2.1.2. fejezet), és a vér a kamrákba áramlik (**kamratelőóés**). Ezt követően a kamrák – térfogatváltozás nélkül – húzóóódnak össze (**izovolumetriás kontrakció**). A billentyűk lemezei alá nagy nyomással áramló vér bezárja a vitórlás billentyűket, melyek szorosan illeszkedő lemezei megakadályozzák a vér visszaáramlását a pitvarba. A vitórlás billentyűk zárása jellegzetes hanggal jár, mely fonendoszkóp segítségével detektálható, mint **1. szívhang** („bú”, 50-100ms). A növekvő vérnyomás miatt ugyanakkor kinyílnak a zsebes billentyűk és a vér az aortába, illetve a tüdőartériába áramlik (**kamrai ejekció**). Az artériába jutott vér belefolyik a zsebes billentyűk tasakjaiba, amelyek egymáshoz simulva megakadályozzák a vér visszaáramlását, amikor a kamra elernyed. A zsebes billentyűk bezárása, mint **2. szívhang** („tup”, 25-50ms) regisztrálható. Meg kell jegyezni, hogy a fent említett két szívhang mellett, további két szívhangot lehet elkülöníteni. A **3. szívhangot**, mely az ínhúrok megfeszüléséből és rezgéséből ered, a diasztolé alatt lehet hallani, de csak olyan egyénekben, akikre kifejezetten nagy kamratelőóés jellemző (gyermekekben és fiatal felnőttekben, illetve a terhesség utolsó trimeszterében). A **4. szívhang**, melyet nagyon ritkán lehet hallani, a pitvari szisztoléhoz

köthető, melyet a megnövekedett kamrai nyomás okán kialakuló örvénylő áramlás okoz. A kamrai elernyedést (izovolumetriás relaxáció) követően, a szív ciklus újra előről kezdődik. A jobb és a bal kamra minden egyes összehúzódásával azonos térfogatú vért továbbít a kis, illetve a nagy vérkörbe (lásd verőtérfogat).

3.1.2. Az elektrokardiográfia (EKG)

A szív működése okozta elektromos változások a test felszínére terjedve, megfelelő elektródok segítségével könnyen detektálhatók. A megfelelően felerősített, valamint elektródokkal elvezetett, ciklusosan változó elektromos változást elektrodigrammnak, rövidebb nevén EKG-nak nevezzük. Az EKG felfedezése Willem Einthoven holland élettanász nevéhez köthető, aki felfedezéséért 1924-ben fiziológiai Nobel-díjat kapott. Az EKG-görbe normálistól való eltérései fontos diagnózissal szolgálhatnak különböző kórképek, mint például ingerképzés és ingerületvezetési zavarok, szívizom hipertófia, illetve szívizom ischémia esetén. Standard **Einthoven-féle EKG** elvezetés esetén, a mérésre szolgáló elektródok a végtagokra kerülnek. Az elektródokat a jobb és bal kézre, valamint a bal lábra helyezzük, így az elektródok (három mérési pont) úgy veszik a szívet körül, hogy azok egy egyenlő oldalú háromszöget alkotnak (Einthoven-háromszög), és három ún. bipoláris regisztrálási lehetőséget adnak: I. elvezetés: jobb kéz (piros szín) és bal kéz (sárga szín) közötti; 2. elvezetés: jobb kéz és bal láb (zöld szín) közötti; III. elvezetés: bal kéz és bal láb közötti potenciálváltozást detektáljuk. A kapott EKG regisztrátum ezen potenciálváltozások (hullámok) sorozatából áll, melyek közül a pozitív irányú kitéréseket felfelé, míg a negatív kitéréseket lefelé ábrázoljuk (12. ábra).



12. ábra: Standard bipoláris Einthoven EKG vázlatos rajza

A szívizom aktivációjának kiindulása a jobb pitvar falában lokalizálódó szinuszcsomóban (sinoatriális csomó, SA) történik, mely aktivitás az SA-csomó alapvetően csekély tömege miatt az EKG görbén nem detektálható. Ezután a pitvarizomzat depolarizációja következik (**P hullám**, 80ms, a). A P-hullám végén, amikor az összes pitvari izomsejt aktiválódott (depolarizálódott), pitvari kontrakció következik. A depolarizáció a pitvarokról az ingerületvezető rendszeren keresztül (lásd anatómia 2.1.6. fejezet) a kamrák felé halad. Első szakasza az ún. **PQ szakasz**, melyet pitvar-kamrai átvezetésnek is nevezünk. Ez a szakasz izoelektromos, azaz potenciálkülönbség ez idő alatt nem mutatkozik. Az ingerület a pitvar-kamrai csomón (atrioventrikuláris csomó, AV) át jut a kamrai oldalhoz. Az AV-csomón keresztül zajló ingerületvezetés gátlódhat, melynek következtében ún. AV-átvezetési blokk alakul ki. 0,2 s-nál lassabb átvezetési időnél pacemaker beültetése javasolt. A kamrán terjedő potenciálváltozást (kamrai depolarizáció) **QRS komplexumnak** (b) nevezzük. A hullám amplitúdója jóval jelentősebb a többi hullámnál (0,5-2 mV), időtartama kb. 80ms. Erőspontok esetén a hullám amplitúdója jelentősen fokozódhat. A 4 mV-ot meghaladó érték kóros, mely a kamraizomzat hipetrófiájának jele lehet. A QRS komplexum amplitúdója csökkenhet is, melyet infarktus megléte okozhat. A QRS-komplexumot egy újabb izoelektromos rész követi, melyet **ST-szakasznak** (120 ms, d) nevezünk, amely a kamrai akcióspotenciál ún. plató szakaszával esik egybe. Az ST-szakaszt a kamrai repolarizációs hullám (T-hullám) követi. A **T-hullám** pozitív kiterjedésű, viszonylagosan hosszabb időintervallum (160 ms, d) alatt lejátszódó szakasz. A repolarizációs kitérést egy ritkán mérhető ún. **U-hullám** (kb. 80 ms) követ. Két R hullám közötti távolság a szív ciklus (e), melynek ideje 800 ms.

A standard bipoláris Einthoven-elvezetés mellett létezik ún. unipoláris elvezetés is, melynek lényege abból áll, hogy egy aktív elektróddal mérünk a szív elektromos terében. A mérés során az aktív elektródot egy nulla potenciálon lévő ún. indifferens elektródhoz viszonyítjuk. Kétféle unipoláris elvezetés ismert: a **végtagi unipoláris elvezetés (Goldberger-féle elvezetés)**; jobb kar VR, bal kar VL, bal láb VF), illetve az ún. **mellkasi unipoláris elvezetés** (Wilson-féle elvezetés), mely a mellkasfalón hat pontban (V_{1-6}) méri a potenciál változás mértékét.

3.1.3. Az érrendszer szerkezete, hemodinamikai alapfogalmak

A vér áramlása az érrendszerben két módon valósul meg. Normális körülmények között az áramlás ún. **lamináris**, az áramlási profil parabola alakú, ami azt jelenti, hogy a sebesség a cső tengelyében maximális. Bizonyos áramlási sebesség felett örvények keletkeznek (**turbulens áramlás**), az áramlási profil megváltozik. A turbulens áramlás kialakulásának orvos diagnosztikai fontossága az, hogy a beszűkült artériában létrejövő turbulencia rezgésbe hozza az érfalat, hangjelenséget kialakítva. Ezeket a turbulencia létrejöttékor kialakuló hangokat használjuk fel a vérnyomás mérési módszerében (auszkultációs mérés).

Mindkét vérkör kiindulási, illetve végpontja között (lásd 2.1.8. fejezet) nyomáskülönbség áll fenn, melyet egyrészt a szív pumpaműködése, másrészt az érrendszer ellenállása okoz. Az érrendszerben uralkodó nyomáskülönbséget ($P_{\text{kezdeti}} - P_{\text{végső}}$; $P_1 - P_2$) **perfúziós nyomásnak**, vagy más néven nyomásfőnek nevezzük. Mértékegysége kPa (10^3 Pa). Az élettanban leggyakrabban használt egysége a higanymilliméter (Hgmm). $1 \text{ kPa} = 7,5 \text{ Hgmm}$. A kamra-összehúzódás során, a keringési rendszerbe juttatott vérben sűrűlódás (ellenállás, R) lép fel. A keringési rendszer egyik legfontosabb paramétere az **áramlási intenzitás (Q)** mely egyenlő a csőrendszer két végpontja között mérhető nyomáskülönbséggel (nyomásfő), valamint az ellenállás (R) hányadosával: $Q = P_1 - P_2 / R$. Adott perfúziós nyomás mellett az áramlás fordítottan arányos az ellenállással: azonos nyomásfő mellett nagyobb ellenállás az áramlást csökkenti, kisebb ellenállás az áramlást növeli.

A vér lineáris áramlási sebessége egyetlen részecske 1s alatt történő elmozdulását jelenti. Értéke (cm/s) egyenlő a térfogatáramlási sebesség (cm^3/s) és az ér keresztmetszetének (cm^2) hányadosával. Mint ismeretes, időegység alatt minden szakaszon megegyező térfogatú vér áramlik át, így a vér lineáris sebessége fordítottan arányos az összkérszmettszettel. Mind a két vérkörben az artériás érhálózat átmérője a kapillárisokig folyamatosan csökken, azonban összkérszmettszetük nő, a kapillárisoktól a legnagyobb vénák esetében az erek összkérszmettszete csökken.

3.1.4. Az artériás keringés, az artériás pulzus

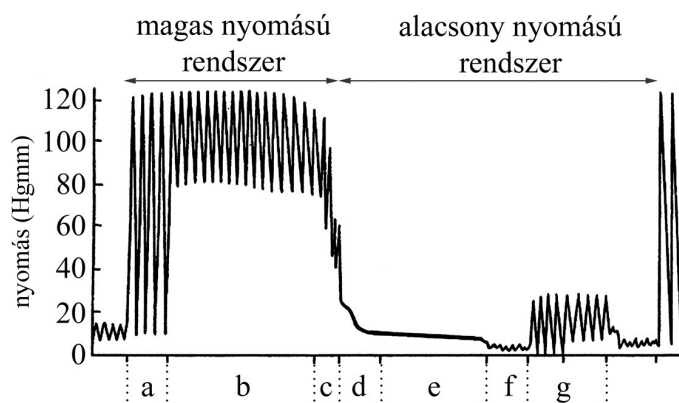
A legnagyobb méretű elasztikus szerkezettel bíró artériákat szélkázánereknek, a kisebb muszkuláris artériákat **konduktív ereknek**, a kapillárisok előtt található kisebb ereket

rezisztenciaereknek nevezzük. Nyugalomban a teljes vértérfogat kevesebb, mint 20%-a található az artériás rendszerben (1. táblázat)

	A vértérfogat százalékos aránya az érrendszerben
aorta	2
artéria	8
arteriola	1
kapilláris	5
venula	55
véna	
Vena cava	

1. táblázat: A teljes vértérfogat eloszlása nyugalomban

A nagy vérkör artériái a teljes keringési rendszert két fő részre osztják. Megkülönböztetünk az aortától a kisebb artériákig (arteriolák) terjedő **magas nyomású rendszert**, illetve az kapillárisoktól kezdődő **alacsony nyomású rendszert**, mely a kapillárisokból, a vénás rendszerből, a jobb pitvar és jobb kamrából, a tüdőkeringésből, illetve a bal pitvarból áll. A bal kamra kivételes rész, mivel az abban uralkodó nyomás 5-120 Hgmm között változik, így valójában egyik rendszerhez sem sorolható (13. ábra).



13. ábra: A magas és alacsony nyomású rendszer elhelyezkedése a keringésben

a: bal kamra, b: artéria, c: arteriola, d: prekapilláris arteriola, e: kapilláris, f: véna, g: jobb kamra

A magas nyomású rendszerben uralkodó nyomás a szisztolés (maximális nyomás) és diasztolés nyomás (minimális nyomásérték) között változik. A diasztolé végén az aortában a

nyomás kb. 80 Hgmm. A kamrai szisztolét követően kb. 70ml vér pumpálódik ki az aortába (lásd verőterfogat korábban). A verőterfogat befogadásával az aortában a nyomás 80 Hgmm-ről 120 Hgmm-re emelkedik. Az **artériás pulzusnyomást** (P_{pulzus}) a szisztolés és diasztolés nyomás közötti különbségből ($P_{\text{sziszt}} - P_{\text{diaszt}}$) számítjuk. Értéke normál körülmények között 40 Hgmm. Az artériás nyomás időbeli átlagértékét **artériás középnyomásnak** nevezzük. Nyugalomban, nyugalmi szívfrekvencia esetén a számítás a következő:

$$P_{\text{közép}} = P_{\text{diaszt}} + P_{\text{pulzus}}/3, \quad \text{mely behelyettesítve: 93 Hgmm.}$$

A szisztolés és diasztolés nyomást a mindennapokban non-invazív technikával mérhetjük. Ennek alapja az, hogy egy mandzsetta segítségével a felkarnál elzárjuk az artériás áramlást. Ezek után a nyomás csökkentés céljából, a levegőt a mandzsettából folyamatosan engedjük ki, helyreállítva a végtag keringését. A vérnyomásmérésnek két alapvető technikáját tudjuk megkülönböztetni. Az egyik az ún. **palpációs** (tapintásos) módszer, melynek segítségével kizárólagosan a szisztolés nyomás érték detektálható. Ezzel ellentétben a másik módszer segítségével, az **auszkultáció** (hallgatózás) során mind a szisztolés, mind a diasztolés érték egyaránt detektálható. A nyomás fokozatos csökkentésével a szisztolés nyomás értéke alatt az elzárt artériában megindul újra a keringés, azonban a szűkület miatt az áramlás turbulens (felső érték), ami fonendoszkóp segítségével detektálható (Korotkoff-féle hangok). Tovább csökkentve a nyomást a mandzsettában az artéria visszanyeri a kiindulási alakját és keresztmetszetét. Abban a pillanatban, amikor a Korotkoff-hangok megszűnnek, az áramlás újra lamináris lesz, a diasztolés nyomás (alsó érték) mérhető. Az átlagos felnőtt nyugalmi vérnyomás értéke 120/80 Hgmm, melytől jelentős eltérések tapasztalhatók (5.3. fejezet, 7. táblázat)

A szív összehúzódásai következtében kialakuló nyomásváltozások az artériás rendszerben, mint **pulzushullámok** jelennek meg. A pulzusszám, vagy másnéven szívfrekvencia a szív percenkénti összehúzódásainak számát adja meg. A pulzust leggyakrabban az arteria radialis, vagy az arteria carotis communis felett mérjük. Élettani fogalmak közül többféle pulzust különböztetünk meg (nyugalmi, ébredési, maximális), melyet részletesen az 5.1. fejezet tárgyal.

A kisebb artériák folytatásaként arteriolák jelennek meg, melyek átmérője 20-200 μm között változik. Faluk nagyrészt simaizom-sejtekből épül fel. Ezeket a területeket, melyek a nagy nyomású rendszert elválasztják az alacsony nyomású területektől, prekapilláris rezisztenciaereknek nevezzük. Ezeken a szakaszokon nagy nyomásesés tapasztalható, a korábban említett 90 Hgmm-es középnyomás értéke kb. 30 Hgmm-re csökken, valamint az

artériás nyomáshullám eltűnik, az áramlás pulzációja is megszűnik. Ezeken a szakaszokon az idegi szabályozás nagymértékben befolyásolja a keringési paramétereket (lásd 3.1.8. fejezet).

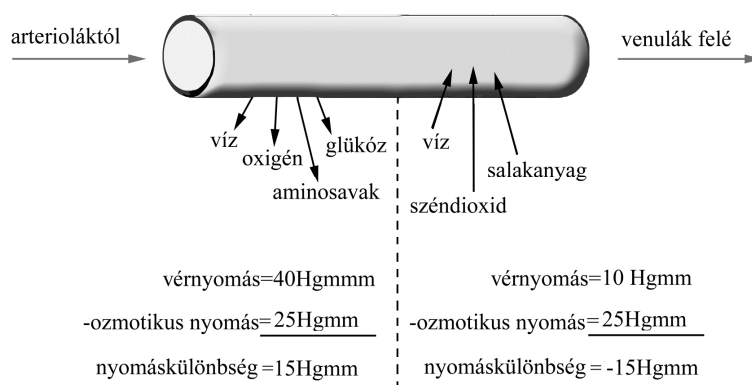
3.1.5. A kapilláris keringés

Az artériák folytatásaként megjelenő terminális arteriolák, metarteriolák, prekapilláris sphincterek, kapillárisok, valamint kisebb méretű posztkapilláris venulák területén megfigyelhető véráramlást **mikrocirkulációnak** nevezzük. Az itt kialakult speciális élettani paraméterekkel rendelkező mikrocirkuláció feladata az anyagok kicserélődése az éren belüli, illetve kívüli szakaszok között. A kisebb artériák folytatásaként megjelenő arteriolák terminális arteriolákká alakulnak, melyekben a simaizomsejtek ugyancsak összefüggő réteget alkotnak. A terminális arteriolák metarteriolákban folytatódnak, melyek falában simaizom már csak elszórtan található. A kapillárisok a terminális arteriolákból, valamint a metarteriolákból indulnak ki. A kapillárisok kezdeti szakaszán speciális, gyűrűszerű simaizomsejtek találhatók (prekapilláris sphincter), melyek szabályozzák az egyedi kapillárisok véráramlását. A kapillárisok elágazódnak, hálózatot képeznek, majd posztkapilláris venulákba szedődnek össze. Ezek a kisebb posztkapilláris erek venulákká alakulnak, melyek vénákká folynak össze.

A kapillárisok szerkezetének fő jellemzője az endothélium (az endothélsejtréteg), valamint az endothélsejteket kívülről borító bazális membrán. Szerkezetük és áteresztőképességük (permeabilitás) alapján az endothéliumoknak négy típusát különíthetjük el: (1) folyamatos endothélium, ahol az egymás mellett lévő sejteket csak keskeny rések választják el egymástól (vázizom, szívizom, simaizom, bőr); (2) speciális endothélium, ahol a permeabilitás minimális (agy, retina); (3) fenestrált endothélium, ahol a sejteken nagy nyílások, ún. ablakok találhatók (gyomor-bélrendszer, mirigyek kapillárisai); (4) diszkontinuus endothélium, ahol a sejtek fizikailag nem érintkeznek egymással (máj, csontvelő, lép, mellékvese).

A XIX sz. végén egy angol fiziológus (E. H. Starling 1866-1927) azt a feltételezést alkotta meg, miszerint az éren belüli, illetve éren kívüli folyadékmegoszlás a hidrosztatikai és kolloidozmotikus nyomások egyenlegének a következménye. Korábban már említettük, hogy a 93 Hgmm-es artériás középnyomás a prekapilláris rezisztencia erek szakaszán mintegy 35 Hgmm-re csökken. Az így lecsökkent nyomás értéke is meghaladja a szövetközi tér hidrosztatikai nyomásának értékét, ami egyes szövetekben negatív érték (-1 – -2 Hgmm), pl. izom; más szövetekben az értéke nulla, vagy enyhén pozitív, pl. zsigeri szervekben. A kolloid

ozmotikus nyomás a szövetközi térben, a teljes kapilláris szakaszán mintegy 25 Hgmm. Mindezek alapján a kiszűrődés (filtráció) mennyisége, azaz az úgynevezett **effektív filtrációs nyomás** értéke a korábban említett transzkapilláris hidrosztatikai nyomáskülönbség, és a transzkapilláris ozmotikus nyomáskülönbség közötti különbségből adódik (14. ábra).



14. ábra: Folyadékmegoszlás a kapillárisok területén

Mivel a nyomás mennyiségek különbségei a meghatározók, az effektív filtrációs nyomás értéke lehet pozitív, negatív, illetve zérus egyaránt. Ha az érték pozitív, akkor folyadék hagyja el az intravazális teret (filtráció), ha az érték negatív, akkor folyadék lép be az érbe (reabszorpció), ha nulla az érték, akkor nincs folyadékáramlás. A Starling hipotézis megalakulás óta elfogadott tény, hogy a kapillárisok kezdeti szakaszán folyadék áramlik a szövetközi térbe, míg a kapillárisok végén, - ahol a hidrosztatikai nyomás értéke kb. 15 Hgmm - folyadék áramlik vissza a kapillárisokba a szövetközi térből. A kiszűrődött, de nem reabszorbeálódott fölösleges folyadékmennyiséget a nyirokrendszer szállítja vissza a vénás keringésbe (lásd 2.1.9. fejezet). A felgyülemlett nyirok, a szövetközi tér ödémás állapotát okozza (lásd 2.1.3. A visszerek szerkezete). A jelenlegi felfogás szerint a szövetek két csoportra oszlanak. Az egyik csoportban kizárólagosan filtráció folyik, a másik csoportban reabszorpció folyik állandó jelleggel.

3.1.6. A vénás keringés

A kapillárisok elágazódó, hálózatos rendszere posztkapilláris venulákba szedődik össze. Ezek összefolyásából keletkező venulák, kisebb, majd nagyobb vénákká alakulnak. A kis vénáktól egészen a középnagy vénáig zsebes billentyűket találunk, melyek a vérnek, a szív felé történő egyirányú áramlását biztosítják. A venulákban mintegy 15 Hgmm-es

nyomásérték a szív felé haladva folyamatosan csökken, a két vena cava mellkasi szakaszában 0-2 Hgmm (centrális vénás nyomás), azaz szinte megegyezik a légköri nyomás értékével. A centrális vénás nyomás meghatározója a szív működésének, és jelzi a szív teljesítményét. Amennyiben a perctérfogat emelkedik a **centrális vénás nyomás** értéke -2 Hgmm-re csökkenhet. Ha a perctérfogat a fiziológiás érték (5-5,5l) alá esik, a centrális nyomás értéke +2 Hgmm fölé is emelkedhet.

A vénás keringés fenntartásában a szív pumpafunkcióján túl egyéb paraméterek is szerepet játszanak. Az izmok összehúzódása (izompumpa-mechanizmus) összenyomja a végtagok mély vénáit, ezzel elősegíti a vér áramlását a szív irányába. A vér egyirányú áramlását, a korábban már említett vénabillentyűk segítik. Így az izmok ellazulásakor a vér csak a legközelebbi vénabillentyűig folyhat vissza. Amennyiben hosszú ideig tartó mozdulatlan állás történik, a gravitáció miatt nagy mennyiségű vér áramlik az alsó végtagok vénáiba, és a visszaáramlás a szívbe elégtelenné válik, melynek következménye ájulás is lehet. Hosszan tartó fekvő helyzetből történő felálláskor az alsó végtag vénáira jelentős véroszlop súlya nehezedik (ha a vénás billentyűk jól működnek, ez nem következik be), melynek következtében a vénák kitágulnak. Ennek hatására vér gyülemlik fel az alsó végtagokban, minek következtében a vénás visszaáramlás a szívhez csökkenhet. A csökkent szív perctérfogat, valamint artériás vérnyomáscsökkenés ájuláshoz vezethet (orthosztatis ájulás). Mindezek elkerülhetők az alsó végtagot körülölelő rugalmas pólya segítségével, ami a vénatágulatot akadályozza meg.

3.1.7. A kisvérköri keringés

A kisvérköri keringés vagy másnéven pulmonális keringés a jobb kamrából, az artéria pulmonálisból, a kisebb artériákból, a tüdőkapilláris hálózatból, a venulákból, a nagyobb vénákból, melyek a vena pulmonalisokká szedődne össze, illetve a bal pitvarból áll. A nagy vérkörrel összehasonlítva a kisvérköri keringést megállapíthatjuk, hogy csak az áramlási értékek azonosak (perctérfogat, lökettérfogat), az összes többi paraméter (nyomásviszonyok, vérmegoszlás) különbözik (2. táblázat).

Paraméter	Nagy vérkör	Kis vérkör
Perctérfogat	5.0 – 5.5 liter	5.0 – 5.5 liter
Kamrai diasztolés nyomás	>5 Hgmm	1-2 Hgmm
Kamrai szisztolés nyomás	120 Hgmm	24 Hgmm
Artériás szisztolés nyomás	120 Hgmm	24 Hgmm
Artériás diasztolés nyomás	80 Hgmm	9 Hgmm
Pulzusnyomás	40 Hgmm	15 Hgmm
Artériás középnyomás	93 Hgmm	14 Hgmm
Vérmennyiség megoszlása	73%	27%

2. táblázat: A nagyvérkör, illetve kisvérkör keringési paramétereinek összehasonlítása

A kisvérkőri keringésben a keringő térfogat mintegy 10%-a (500 ml vér) található, melyből nyugalomban körülbelül 70-80 ml található a tüdőkapillárisokban. Amennyiben a perctérfogat emelkedik, úgy nő a megnyíló kapillárisok száma is, melynek következtében akár 2-3 szorosára is nőhet a kapillárisok össztérfogata.

A jobb kamrában az összehúzódás alatt a nyomás 24 Hgmm-ig emelkedik. Emiatt az artériákban is ekkora a szisztolés nyomás, a diasztolés pedig 9 Hgmm. Így kiszámolhatjuk, hogy a kisvérkörben a pulzusnyomás 15 Hgmm, az artériás középnyomás értéke (14 Hgmm) jelentősen elmarad a nagyvérkőri értékhez (93 Hgmm) képest. A kisvérkőri kapillárisokban átlagosan 10 Hgmm-es, a venulákban 9 Hgmm-es, a bal pitvarban 8 Hgmm-es nyomással kell számolnunk.

A tüdőkeringésben – ugyanúgy, mint a nagyvérkőri keringésben - a hidrosztatikai és az ozmotikus nyomások különbségei határozzák meg a kapilláris ultrafiltráció és reabszorpció mértékét. Mivel a hidrosztatikai nyomásérték a kolloidozmotikus nyomásérték alatt van, így a tüdőben csak minimális intersticiális folyadék keletkezik.

3.1.8. A keringésszabályozás

A kardiovaszkuláris rendszer csak elvétve működik valódi nyugalmi körülmények között. Minthogy a keringési rendszerünk állandóan változik, így a kardiovaszkuláris változók folyamatos korrigálásra szorulnak. A nyugalmi paraméterek egyszerű helyzetváltoztatásra is megváltoznak. A legnagyobb változások az izomtevékenység (fizikai aktivitás) során jelentkeznek (5.4. fejezet). Előfordulhat, hogy a szervezetnek a fiziológiástól eltérő súlyos

megterhelésekhez (vérvesztés, folyadékvesztés) is alkalmazkodnia kell. Mindezek csak alapvető kardiovaszkuláris mechanizmusok segítségével történhetnek meg. A kardiovaszkuláris szabályozás alapmechanizmusa központ idegrendszeri struktúrák (nyúltvelő, gerincvelő) megfelelő egészséges működéséhez kötött. Ezek a struktúrák a szabályozáshoz szükséges fontos információkat az idegrendszer magasabb szintjeiről (agykéreg, limbikus rendszer, hipotalamusz) érzékelik. A kardiovaszkuláris rendszer szorosan kapcsolódik a légzőrendszerhez, a közös koordináció az agytörzsben történik. Mind a két szabályozásban közös receptorok találhatók.

A vérkeringés idegi szabályozása, gyors rövidtávú szabályozási folyamat. Ezzel szemben a hormonális szabályozás hosszútávú szabályozás. **A hormonális szabályozáshoz** sorolhatjuk a mellékvesevelő két catecholamin hormonját, az **adrenalin** és a **noradrenalin**. Emberben nagyobb részt adrenalin található, azonban az állatvilágban a két hormon aránya jelentősen eltér. A hormonok elválasztása megterhelés hatására (fizikai munka, hideg, vérvesztés stb.) fokozódik. Egy másik hormonális hatása a **renin-angiotenzin rendszer** (RAS). A vesében keletkező renin a plazma egy globulinjából, az angiotenzinogénből angiotenzin I-et hasít. A keletkezett decapeptidet az angiotenzinkonvertáló enzim (ACE) angiotenzin II oktapeptiddé alakítja. A keletkezett peptid szerepe az elektrolitforgalom és a vízfelvétel szabályozása. A peptid a szervezet leghatásosabb érszűkítő anyagai közé tartozik, így az emelkedése az artériás vérnyomás növekedéséhez vezet. Ugyancsak kardiovaszkuláris szabályozóhormon, a hipotalamuszban termelődő **arginin-vazopresszin (AVP)**, vagy másnéven antidiuretikus (ADH) hormon. Ennek a hormonnak is érszűkítő hatása van, melyet az 1-es típusú receptorához kötődve fejt ki. Az antidiuretikus, azaz vízmegtartó hatását, a 2-es típusú receptorok közvetítik.

A vérnyomásszabályozás leggyorsabban **idegi úton** történik a nyúltvelőben – a formatio reticularis területén - található keringésszabályozó központok segítségével. A vérnyomást állandó szinten tartó, szükség esetén emelő nyúltagyi idegsejtek összességét **vazokonstriktor központnak** nevezzük. A sejtek elektromos ingerlése vérnyomásemelkedést és szívfrekvencia fokozódást, a szívösszehúzódások erejének növekedését eredményezi (presszorválasz). Ezt az érszűkítő hatást a **noradrenalin** okozza, mely a szimpatikus posztganglionáris idegek rostjaiból szabadul fel. A vazokonstriktor hatás ellensúlyozására, szintén a nyúltvelőben egy gátló jellegű neuroncsoport, az ún **depresszor központ** található. A terület elektromos ingerlése vérnyomáscsökkenéssel és szívfrekvencia-csökkenéssel jár (ezt depresszorválasznak nevezzük). Ezeknek a sejteknek - a vazokonstriktor központtal ellentétben – spontán aktivitása nincs. A neuronok közvetetten a nervus vagus (X. agyideg) és

a nervus glossopharyngeus (IX. agyideg) bemeneteiből kapják az információt, és gátolják a vazokonstriktor központ neuronjainak működését. A depresszor központ neuronjai a nyaki verőér tájékon (sinus caroticum), valamint az aortaívben (sinus aorticum) található **nyomásérzékelő receptorokból**, valamint **kemoreceptorokból** kapják az afferens információt. A sinus caroticum receptoraiból elvezető idegrostok külön ideget alkotva (Hering ideg) a IX. agyideghez kapcsolódnak, és a nyúltvelőbe futnak be. Hasonlóan az aortaívből futó idegrostok a nervus vagushoz csatlakozva érik el a nyúltvelői szabályozó központot.

Normál vérnyomástartományban a baroreceptorok szabályoznak gátló módon, úgy hogyha a vérnyomás emelkedik, a depresszor központ ingerületbe jön, és vérnyomáscsökkenés következik be. Ezt a reflexet **baroreceptor-reflex**nek nevezzük. Alacsony vérnyomás esetén (60 Hgmm alatt) a baroreceptorok nem működnek. Ilyenkor a baroreceptorok közelében lokalizálható kemoreceptorok aktiválódnak. A receptorok működése a vazokonstriktor központot serkenti. Ezt a mechanizmust **kemoreceptor-reflex**nek nevezzük.

Magasabb keringésszabályozó központok a középagyi periaqueductális szürkeállomány, a hídbeli parabrachialis magok, az amygdala, a hypothalamus, valamint a praefrontális agykéreg területén lokalizálhatóak. Bizonyított, hogy a stresszhelyzetekkel összefüggő érzelmi keringési működések kialakulásáért a hypothalamikus központok a felelősek.

3.1.9. Egyes szervek keringési sajátosságai

Ismeretes, hogy az egyes szervek, illetve szervrendszerek egyedi, sajátos vérkeringéssel rendelkeznek. Ilyen különleges keringéssel rendelkezik a szív, az ún. splanchnikus területek, a vázizom, a bőr, valamint az agy területe.

3.1.9.1. A szív keringése, koronáriakeringés

A szívet az aortában található zsebes billentyűk tasakjaiból kiinduló koronáriaartériák látják el friss vérrel. A jobb oldali szívfélben található jobb pitvart, illetve jobb kamrát a **jobb arteria coronaria** táplálja, míg a bal oldali szívfelet a **bal coronária** látja el vérrel (lásd 2.1.7. fejezet, 5. ábra). A szív koronáriák megbetegedése, az emberi halálozások között vezető helyen áll. A kisebb arteriolákból kiinduló kapillárisálózat a szívben igen jellegzetes, szinte minden egyes izomrost rendelkezik kapillárisal. A kapillárisok venulákban folytatódnak, melyek nagyobb vénákként szedődnek össze a sinus coronariusban, amely a jobb pitvarba

ömlik. Érdekességként elmondható, hogy míg más területeken a szervezetben az oxigénszaturáció nyugalomban kb 75%, addig itt a **sinus coronarius** vérében ez az érték kb. 25%. Nyugalomban a coronariák véráramlása kb. 250ml/perc, a teljes perctérfogatnak mintegy 5%-a.

Szisztolé alkalmával az aorta kezdetén található félhold alakú zsebes billentyűk elzárják a vér útját a koszorús erek felé. Diasztolé kezdetekor fokozódik a véráramlás, ami a teljes diasztolé alatt fennáll. Mindenki számára ismert tény, hogy terhelés hatására a szív saját véráramlása fokozódik, mely elérheti a 900-1200ml/perc értéket. Az így kapott érték a teljes perctérfogatnak kb. 4%-a, ami azt mutatja, hogy a relatív érték (a keringés a perctérfogat százalékában) terhelés hatására nem változik, a perctérfogat növekedésével nő a szív koszorúsér ellátása, azaz a koszorúserek tágulnak. Az állandó vérellátás egyrészt azzal magyarázható, hogy a szív soha nincs nyugalomban, másrészt azzal, hogy a koszorúserek vérellátása kizárólag csak diasztolében megengedett, és a szívfrekvencia növelésével a diasztolé rövidül, így a relatív érték nem változik (5.4. fejezet).

3.1.9.2. A splanchnikus területek keringése

A splanchnikus keringési területekhez a gyomor-bél, a máj, a hasnyálmirigy, valamint a lép tartozik. Ez a terület nyugalomban, a teljes perctérfogatból, mintegy 25%-ot kap, ami kb. felnőttek esetén 1 liter vért jelent. Ebből a vértérfogatból igen nagy rész a májban lokalizálható. Mindezek alapján nem meglepő, hogy a máj jelentős vérraktár, vészhelyzetben vértartalmának akár a fele is átáramolhat a vénás rendszerbe (5.4. fejezet). Ha az életfontosságú szervek vérellátásának biztosítása megkívánja, a májhoz jutó vér akár a nyugalmi érték törtrészére csökkenhet, így elmondható, hogy vészhelyzetben az agy és a szív megfelelő vérellátását a hasi szervek csökkent véráramlása teszi lehetővé.

3.1.9.3. A vázizom vérkeringése

A vázizmainkhoz, mely a testtömegünk kb 40-50%-át alkotja, nyugalomban kevesebb, mint 1l vér jut percenként, azaz a perctérfogatból kevesebb, mint **20% kerül az izmokba**. Ez az érték nem annyira meglepő, hiszen vázizmaink jelentős hányada nyugalomban van, a felvett oxigén kb. 20%-át hasznosítja. **Terhelés alatt a vázizomzat keringése jelentősen fokozódik**, maximális izomteltjesítménynél, edzett embereknél a véráramlás elérheti a 25-30 liter/perc értéket. Ez azt jelenti, hogy ilyenkor a keringés mintegy 88-90%-a juthat az aktív

izomzathoz. Ilyen mértékű növekedés csak és kizárólag edzett embereknél figyelhető meg, és csak nagyon rövid ideig állhat fenn. Érdekes tény, hogy az egész vázizomzat véráramlása maximális munkavégzés esetén is elmarad az egyes izmok maximális áramlása alapján számított értéktől. Mindezek azt mutatják, hogy az izomzat véráramlásának felső határát nem az izomban található erek tágulata (vasodilatatio), hanem a perctérfogat maximális értéke korlátozza.

3.1.9.4. A bőr keringése

Semleges környezeti hőmérsékleten (22 °C) az emberi bőr nyugalmi vérellátása a teljes perctérfogatnak kevesebb, mint 5%-a, **kb. 200-300ml/min.** Hideg környezet esetén a vérellátás akár 100ml/perc alá is csökkenhet. Ennek fordítottjaként, melegben, akár ez az érték 8 liter/perc is lehet (13 liter/min perctérfogatnál), azaz a perctérfogat mintegy 60%-át is kaphatja (lásd 5.4. fejezet). Terhelés hatására a bőr keringése a hőháztartás miatt fokozódik, ennek ellensúlyozására verejtékezés indul el. Ilyenkor a bőr kipirul, a keringésfokozódás jól látható. Ez a növekedés a terhelés fokozódásával nem tud lépést tartani. Ennek oka lehet, hogy a fáradás előrehaladtával az izmok fokozott véráramlása nem teszi lehetővé a bőr vérellátásának fenntartását, azaz nem jut elég vér a bőrhöz, ilyenkor a kipirult sportoló elsápad, a bőrhőmérséklet csökken, a maghőmérséklet emelkedik.

Fontos tudni, hogy nagyon meleg környezetben végzett fizikai aktivitásnak az izomvéráramlás szab határt, ami a hőleadáshoz szükséges megnövekedett bőrvéráramláson felül rendelkezésre áll. Az ilyen körülmények között végzett fizikai aktivitás esetén a perctérfogat nem képes fenntartani az artériás középnyomás értékét, így akut keringési elégtelenség alakulhat ki.

3.1.9.5. Az agy vérellátása

A vérellátás folyamatossága az agy számára a legfontosabb. Amennyiben a vérellátás megszűnik, az agy működésében pár másodperc alatt súlyos zavar következik be. Három perccig tartó vérellátási zavar az agy működésében reverzibilis károsodást okoz. Ha az agyi vérellátás 3-6 perc között megszűnik, akkor a keringés helyreállítása után is működési zavarok maradnak vissza. Hat percnél hosszabb agyi keringés szünet a központi idegrendszerben irreverzibilis károsodást eredményez.

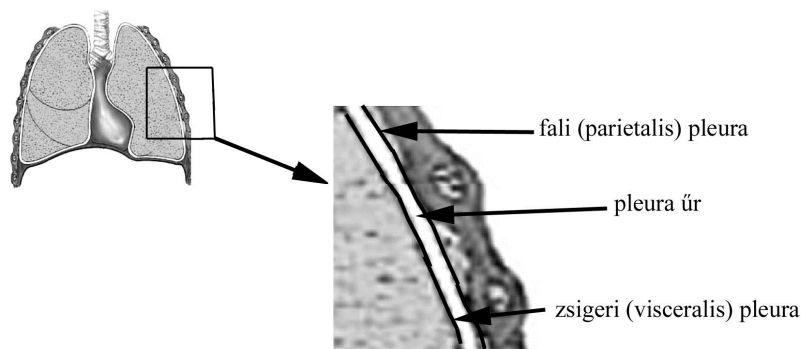
Az agyi véráramlás **percenként 750ml**, ami nyugalomban a perctérfogat 15%-át jelenti. A központi idegrendszer normális működésének a véráramlásnak minimálisan 550 ml/min értéknek kell lennie. Az agyi véráramlás független az artériás középnyomástól (autoreguláció) 60-160 Hgmm artériás középnyomás érték között állandó. Terhelés hatására az agyi véráramlás nem változik, értéke abban az esetben is 750 ml/min (lásd 5.4. fejezet). Az agyi véráramlás stabilitását az agyi keringés autoregulációja biztosítja, melyben kimagasló szerepe van az agyon átáramló vér oxigén és szén-dioxid tartalmának (agyai véráramlás kémiai szabályozása).

3.2. A légzőrendszer alapjai

3.2.1. A tüdő és a mellkas mechanikája

A légzés azokat a folyamatokat foglalja magába, melyek során az oxigént felveszi, a szén-dioxidot leadja a szervezet. **Külső légzésnek** nevezzük azt a folyamatot, amikor a levegőből oxigént veszünk fel a tüdön keresztül, illetve a keletkezett szén-dioxidot adjuk le a tüdön keresztül, valamint a gázcserét a tüdő alveolus és a vér között. A **belső légzés** folyamata során a vérből az oxigén a szövetekbe jut, a szén-dioxid pedig éppen fordítva, a szövetekből a vérbe diffundál. A humán szervezet nyugalomban kb. 250 ml oxigént fogyaszt percenként, és mintegy 200 ml szén-dioxidot termel ugyanennyi idő alatt. Az említett gázkicserélődéshez a légcserét (ventillációt) a légzőrendszer biztosítja. A légzőrendszert a légutak (felső: orr, garat; alsó: gége, légcső, tüdő), a mellkas, a légzésben szerepet játszó izmok, valamint a tüdő alkotják.

A **tüdő lebenyekre** tagozódik, baloldalon kettő, jobb oldalon három lebenyből áll. A tüdő és a mellkasfal között található a **mellhártya** (pleura). A mellhártyának két lemezét az ún. **fali** (parietalis), illetve **zsigeri** (visceralis) **lemezét** tudjuk elkülöníteni. A fali lemez a mellkasfal legbelső része, a zsigeri lemez a tüdő felszínére borul (15. ábra).

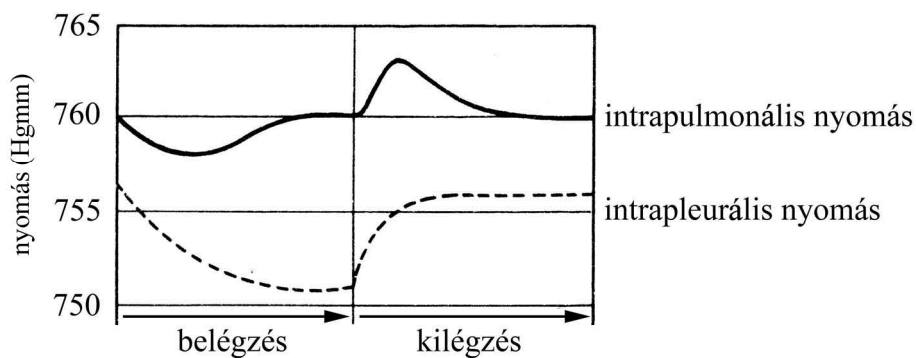


15. ábra: A mellhártya lemezeinek elhelyezkedése

A két pleuralemez között a pleuraűr található, mely egy virtuális rés, közöttük kis mennyiségű folyadék található, ami megakadályozza a két lemez szétválását.

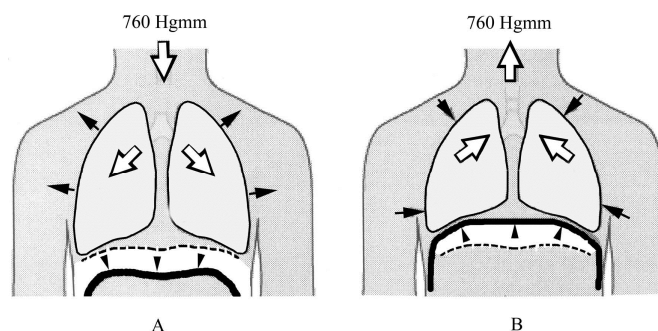
Nyugodt légzésben a **belégzés aktív** folyamat, melynek során a rekeszizom (diafragma) és a külső bordaközi izmok összehúzódnak, míg a **kilégzés passzív** folyamat, amikor a belégzőizmok elernyednek, és a kitágult mellkas spontán visszanyeri a kiindulási térfogatát. Nyugodt légzésnél a rekesz kb. 1 cm-rel lefelé mozdul, ezzel mintegy 300ml-rel növeli meg a tüdő térfogatát. Erőltetett belégzés esetén a rekeszizom és a külső bordaközi izmok fokozott kontrakciója lényegesen nagyobb mellkasi térfogatváltozást képes létrehozni. Ilyen esetben a mellkas akár 10 cm-rel is képes lefelé elmozdulni. Erőltetett belégzés esetén néhány légzési segédizom (mm. pectorales major, pectorales minor, m. sternocleidomastoideus, mm. scaleni) is részt vehet a folyamatban. Az erőltetett kilégzés szintén aktív folyamat, melynek során a hasizmok játszanak elsődleges szerepet. Ezek az izmok egyes reflexes mozgások (tüsszentés, köhögés) alatt is aktívan összehúzódnak. A hasizmokon kívül a mellkas anteroposterior átmérőjének csökkentésében a belső bordaközi izmok szerepét fontos megemlíteni.

A légzések során a nyomásváltozások két egymástól elhatárolt térben, az **intrapulmonális** és az **intrapleurális (intratorakális) térben** játszódnak le. Az intrapleurális nyomás a légköri nyomásnál mindig kisebb (3-6 Hgmm-rel), mely szerepet játszik a tüdő alakjának biztosításában (16. ábra).



16. ábra: Az intrapulmonális és intrapleurális nyomásváltozások be- és kilégzés során

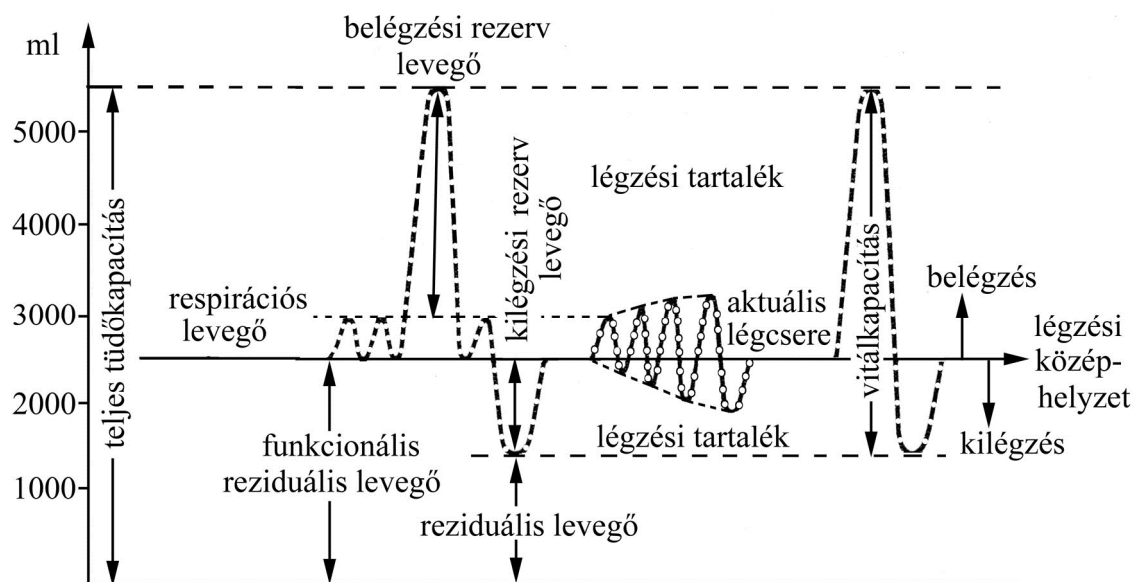
Belégzés során az aktív izomkontrakciók (rekesz, külső bordaközi izmok) következtében a mellkas térfogata nő (17. ábra, A). A térfogatnövekedés miatt az intrapleurális nyomás (-5 vízcmm) értéke csökken (-7 vízcmm), az alveolusok tágulnak, a tüdő térfogata növekszik. A megnövekedett térfogat következtében az intrapulmonális nyomás a külső atmoszférikus nyomás alá csökken (-1 vízcmm). A kialakult átmeneti nyomáskülönbség hatására a levegő (kb. 500 ml) beáramlik (diffúzió) a tüdőbe. A beáramló levegő megszünteti a nyomáskülönbséget, a belégzés végére az intrapulmonális nyomás visszaáll a kiindulási helyzetre (megegyezik a külső atmoszférikus nyomás értékével). A belégzési izmok kontrakciójának megszűnése, a **mellkas ún. expansziós, azaz tágulási tendenciájának** csökkenését okozza. Kilégzés során (17. ábra, B) az intrapleurális nyomás emelkedik (kevésbé lesz negatív /-5 vízcmm/, azonban mindig szubatmoszférikus marad), ezzel csökkenti az alveolusok térfogatát. A csökkenő térfogat miatt a tüdőben nő a nyomás (1 vízcmm). A megemelkedett intrapulmonális nyomás hatására a levegő (kb. 500 ml) a tüdőből diffúzióval a külvilágba áramlik. A levegő kiáramlása megszünteti a nyomáskülönbséget, a kilégzés végére az intrapulmonális nyomás a kiindulási térfogatra tér vissza (0 vízcmm).



17. ábra: A belégzés (A) és kilégzés (B) hatására kialakuló mechanikai változások
fehér nyíl: a levegő áramlása, fekete nyíl: a tüdő mozgása, nyílhegy: a rekeszizom mozgása

3.2.2. Tüdőtérfogatok, kapacitások

A belégzés során, valamint a kilégzésnél a tüdőből távozó levegőmennyiségeket **légzési térfogatfrakcióknak** nevezzük (18. ábra).



18. ábra: Tüdőtérfogatok, tüdőkapacitások, a spirogramm

Ezek a térfogatfrakciók természetesen egyedi, nemi, életkori, egészségi állapotra jellemző különbséget mutatnak. Az alábbiakban átlagos, felnőtt emberre vonatkoztatott értéket mutatjuk. Nyugalomban egy felnőtt, egy légvétellel, átlagosan 500ml levegőt tud belélegezni, valamint ugyanennyi levegőt kilélegezni. Az így be-, illetve kilélegzett levegőt **respirációs levegőnek** (TV) nevezzük. Nyugalomban átlagosan 12-14-szer veszünk levegőt (légzésszám), azaz a **légzési perctérfogat** (légzésszám x respirációs levegő) 6-7 liter. A nyugodt körülmények között történő normál respirációs levegőn kívül további levegő szívható be, melyet **belégzési rezervnek** (IRV) nevezünk. Értéke átlagosan 2500ml. Nyugalmi kilégzést követően erőltetve további 1000ml levegő mennyiséget tudunk kilélegezni, melyet **kilégzési rezervnek** (ERV) nevezünk. Az erőltetett kilégzést követően is marad levegő a tüdőben, melyet reziduális vagy más néven **maradék levegőnek** (RV) nevezünk. Az erőltetett belégzést, a respirációs levegőt, majd az azt követő erőltetett kilégzést (ERV+TV+IRV) **vitálkapacitásnak** (VC) nevezzük. Értéke kb. 4000ml. Nyugodt kilégzést követően a tüdőben maradt levegőt **funkcionális reziduális kapacitásnak** (FRC) hívjuk, melyet a reziduális térfogat + kilégzési rezerv térfogatának összegéből származtatjuk, értéke kb. 2500ml. A

vitálkapacitás és a reziduális térfogat összege a **tüdő teljes kapacitása** (TLC). Ennek nagysága átlagosan 5500ml.

A gyakorlatban meg kell említeni még néhány fontos paramétert. Ezek közül kiemelkedő fontosságú az ún. **FEV₁** érték, amely megmutatja a kilégzés első másodperce alatt távozott levegőmennyiséget. Leggyakrabban a vitálkapacitás százalékában fejezik ki az értékét (Tiffeneau-index, ld.5.6. fejezet), melynek értéke normálállapotban 80% felett van. Ennek az értéknek a csökkenése különböző tüdőbetegségek indikátora lehet.

3.2.3. A gázcsere. Oxigénszállítás, szén-dioxid szállítás

Normál belégzéskor - a légzőrendszer anatómai felépítéséből adódóan – a respirációs levegő egy része nem jut el a tüdő alveolus rendszeréig, hanem a légutak felső szakaszában marad, és nem vesz részt a gázcsereben. Ezt a szakaszt **anatómiai holttérnek** nevezzük, melynek értéke kb. 150 ml. A maradék rész, mintegy 350ml jut csak el a tüdő alveoláris rendszeréig, és vesz aktívan részt a gázcsereben. Ennek a percenkénti értéke 14-16 x 350ml, azaz kb. 5000ml, amelyet **alveoláris ventillációnak** nevezünk.

A tüdőben a gázcsere az alveolusok és a kapillárisok közötti passzív transzport (diffúzió) folyamat, melynek oka az O₂ és CO₂ alveoláris, illetve kapilláris nyomása közötti különbség. A parciális nyomások egyes helyeken található értékét a következő táblázat (3. táblázat) szemlélteti:

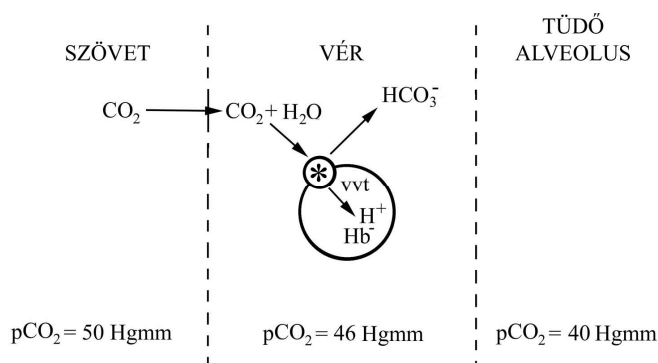
Nyomás/Hgmm	PO ₂	PCO ₂	PN ₂
Alveoláris tér	100	40	573
Artériás vér	95	40	573
Vénás vér	40	46	573

3. táblázat: Egyes gázok parciális nyomásainak értékei az alveoláris, az artériás, illetve a vénás vérben. Az értékek Hgmm-ben vannak kifejezve.

Felnőtt emberben nyugalmi körülmények között a szervezetben található 5 liter vér kb. 250ml oxigént szállít percenként. Az oxigén, a korábban említett parciális nyomásoknak megfelelően, reverzibilis módon kötődik a vörösvérsejtekben található hemoglobinhoz. A hemoglobinmolekula egy összetett fehérje, mely 4 alegységből épül fel. Minden egyes alegység polipeptidláncból és hemből áll. A vasatom (két vegyértékű Fe²⁺) funkciója az

oxigén megkötése, melyet **szaturáció**nak nevezünk. Az oxigénnel kötött hemoglobint, **oxihemoglobinnak**, míg az oxigént nem kötött hemoglobint, **deoxigenált hemoglobinnak** nevezzük. A szaturáció mértékét az O_2 -tenzió, a CO_2 -tenzió, a pH, valamint a hőmérséklet befolyásolja. A hemoglobin teljes telítettsége kb. 150Hgmm-es oxigén tenzió mellett tud létrejönni. A korábban leírt (1. táblázat) artériás vérre jellemző 95 Hgmm-es oxigénnyomáson a szaturáció értéke 97-98%.

A vérben a CO_2 három formában van jelen: (i) fizikailag oldott (5%), (ii) bikarbonátió (90%), illetve karbaminovegyület formájában (5). A CO_2 felvételt követően a három forma között új egyensúly tud létrejönni. Vizes közegben, a szövetekben keletkezett CO_2 kétirányú folyamatban, egy speciális enzim (szénsavanhidráz, CA) segítségével szénsavvá (H_2CO_3) alakul (19. ábra).



19. ábra: A szén-dioxid szállítása a vérben

A keletkezett szénsav hidrogénkarbonát (HCO_3^-), illetve hidrogén (H^+) ionra disszociál. A HCO_3^- ionokat a plazmamembrán anioncserélő antiportere kloridanionra (Cl^-) cseréli. A hidrogénion a vörösvértestekben szállított, időközben deoxigenálódott oxihemoglobinhoz (deoxihemoglobinhoz) kötődik. A tüdőkapillárisokban a leírt folyamatok ellentétes irányban játszódnak le. A deoxigenált hemoglobin oxigenálódik, róla a hidrogénionok leválnak, majd a vvt-be bejutó HCO_3^- ionnal szénsavat képeznek. A keletkezett szénsav a szénsavanhidráz enzim katalizálásával szén-dioxidra és vízre bomlik. A CO_2 a tüdő alveoláris rendszerén keresztül a külvilágba áramlik (20. ábra).

idegsejtek másik csoportja kissé ventrálisabban és laterálisabban lokalizálható (**ventrális neuroncsoport, VRG**), melyek kilégzéskor aktívak. Ezeket elsődleges kilégzőközpontnak nevezzük. A két neuroncsoport egymással reciprok innervációban van, azaz amikor az egyik aktív a másik gátlás alatt áll.

A nyúltvelői be-, és kilégzőközpontok felsőbb szabályozására a hídban újabb két neuroncsoport található (21. ábra). Az egyik a híd rostrális részén elhelyezkedő ún. **'pneumotaxikus központ'**, melyek egyrészt a **nucleus parabrachialis medialis** (NPB) és a **Kölliker-Fuse-féle magból** állnak. Aktiválódásukkor megszűnik az apneúziás légzés, a ki-, belégzés normalizálódik. Ezzel szemben a híd kaudális területén találjuk az ún. **'apneúziás központot'**, melynek aktivációja tartós belégzést (apneúzia) eredményez. Ezek a sejtcsoportok a DRG neuronjait serkentik, míg a pneumotaxikus központ neuronjai gátolják az apneúziás központot, ezáltal közvetett módon gátolják a nyúltvelői belégzőközpontot. Az agytörzsi légzésszabályozó központok jelentős információt kapnak a **felszálló retikuláris rendszerből** (RAS) is.

A légzésszabályozás alapjául szolgáló kémiai ingereket két szenzoros rendszer érzékeli. Az egyik az agytörzsben lokalizálódó **centrális kemoreceptorok** csoportja, melyek gyorsan, nagy érzékenységgel érzékelik a vér CO₂ koncentrációjának változását. Ezek a receptorok egyik fő tulajdonsága, hogy órák alatt adaptálódnak a magas CO₂-tenzióhoz, utána az érzékelésben már nem játszanak szerepet. Érdekes tény, hogy nem fiziológiás állapotoknál, az idegsejtekben képződő tejsav ingere lehet a légzésnek.

A másik szenzoros rendszer a nagy artériáknál (aorta és carotis) **található perifériás kemoreceptorok** (glomus aorticum, glomus caroticum). Ingerei a vér O₂ csökkenése, valamint a CO₂, a H⁺, illetve a K⁺ koncentrációjának emelkedése. A glomus caroticumból származó rostok a IX. agyideghez, a glomus aorticumból származó rostok a X. agyideghez futnak és ezeken az agyidegeken keresztül szabályozzák a légzőközpontok működését.

A légutak, valamint a tüdő állapotáról mechanoszenzitív receptorok adnak információt és a X. agyidegen keresztül érik el a légzésszabályozó neuronokat. A **szenzoros receptorok** közül lassan, valamint gyorsan adaptálódó típust tudunk elkülöníteni. A légutak falában, a simaizomsejtek között lassan adaptálódó receptorok találhatóak, melyek a tüdő légtartalmát, a tüdő feszülésén keresztül monitorozzák. Adott fokú belégzésnél a receptorok ingerülete reflexes gátlást hoz létre a belégzésben, melyet passzív kilégzés követ. A reflexet leírói alapján Hering-Breuer reflexnek nevezzük. Gyorsan adaptálódó receptorok a légutakat bélelő hámsejtek között találhatóak, melyeket kémiai ingerekkel (pl.: hisztamin), idegen kémiai

anyagokkal, valamint porral lehet aktiválni. A receptorok ingerületét gyakorta fokozott ventiláció, a bronchusok szűkülete, nyál szekréció, valamint köhögés követi.

3.2.5. A légzőrendszer edzési adaptációja

Fizikai aktivitás hatására légzésünk fokozódik. Növekszik a légzésszámunk, a légvételek mélysége nő, a légutak tágulnak. A légzésfokozódás több okra vezethető vissza: emelkedik a szén-dioxid koncentrációja, idegrendszeri mechanizmusok, mellékvesevelő hormonszekréciójának növekedése. Terhelés hatására a légzési perctérfogat emelkedik, edzett embereknél elérheti akár a 200 liter mennyiséget is (lásd 5.8. fejezet). A légzés fokozódása egy bizonyos szint felett (ventilációs küszöb) jelentősen megnő. Ennek oka az, hogy a vérben felszaporodik az anaerob körülmények között keletkező tejsav és hidrogénionok mennyisége, H_2CO_3 keletkezik, ami vízzé (H_2O) és szén-dioxiddá (CO_2) alakul. A megemelkedett CO_2 ingerli a légzőközpontokat (lásd 3.2.4. fejezet), ami légzésfokozódással, azaz hiperventilációval jár.

Az edzett ember légzése jelentősen gazdaságosabb. Nyugalmi körülmények között a légzésszám a normál populációval összehasonlítva kissé alacsonyabb számot (12-14/perc) mutat, ami a mélyebb légvételekkel magyarázható. Az így kialakult mélyebb légvétel jobban átszellőzteti a tüdőt, csökkenti a holtter nagyságát, fokozza a vénás visszaáramlást a szívbe. Fontos megemlíteni, hogy edzett embereknek általában nagyobb a vitálkapacitása (5.7. fejezet), azonban az állóképességgel ez nincs egyenes arányban.

Ellenőrző kérdések:

1. Definiálja a verőtérfogatot, és írja le mennyiségét is!
.....
2. Hogyan számolható ki a pulzusnyomás?
.....
3. Milyen nyomásértékek között ingadozik az aorta vérnyomása?
.....
4. Mennyi vér áramlik át 1 perc alatt a kis vérkörön?
.....
5. Nevezze meg a mechanikai szívciklus 2 fő fázisát!
.....
6. Sorolja fel a bal kamra munkadiagramjának 4 szakaszát!

-
7. Szívfrekvencia növekedése esetén a szív ciklus mely szakaszának időtartama csökken jelentősen?
-
8. Mennyi ideig tart egy szív ciklus nyugalomban?
-
9. Mekkora az artériás középnyomás értéke az aortában?
-
10. Mekkora a maximális szisztolés nyomásérték a jobb kamrában?
-
11. Mit jelent a „szaturáció” fogalma? Mik befolyásolják az értékét?
-
12. Mit jelent a respirációs acidózis, mi okozhatja?
-
13. Mit jelent a respirációs alkalózis, mi okozhatja?
-
14. Mit jelent az anatómiai holtter fogalom? Mennyi az átlagos értéke?
-
15. Mit jelent a tüdő „vitálkapacitás” fogalma? Milyen térfogatokból adódik össze?
-
16. Mennyi az átlagos értéke?
-
17. Mit jelent az alveoláris ventiláció fogalma? Mennyi az értéke?
-
18. Mit érzékelnek a centrális kemoreceptorok?
-
19. Mit érzékelnek a perifériás kemoreceptorok?
-
20. Milyen parciális nyomásértékek jellemzőek a CO_2 -ra és az O_2 -re (az alveolusban, az artériás vérben, illetve a vénás vérben)?
-

4. A légzés sejtszintű alapjai

4.1. Az állati sejtek általános jellemzői

A sejtek általános jellemzői, a Prokarióta és Eukarióta sejtek összehasonlítása

A sejt az állati és növényi szervezetek legkisebb szerkezeti és működési egysége, melyek specializálódtak egyetlen feladat ellátására. Alapvető tulajdonságaik megegyeznek, azonban más ismérvekben eltérnek egymástól. Míg egy harántcsíkolt izom sejt az izom összehúzódását (kontrakció) és elernyedését (relaxáció) biztosítja, addig egy idegsejt információt továbbít.

Az állati, **Eukarióta** (''eu'' – valódi és ''karyo'' – sejtmag görög szavakból) sejtek kialakulása evolúciósan a **Prokarióta** (''pro'' – előtt) sejtekből vezethető le, melyek a tudósok szerint mintegy 3,5 milliárd évvel ezelőtt alakultak ki. Ezek a sejtek nem rendelkeznek ''valódi sejtmaggal'', ami azt jelenti, hogy az örökítő anyagukat nem veszi körül maghártya, amely képes lenne elhatárolni a sejt plazmájától, illetve más részeitől. Ezen tulajdonságukon kívül a Prokarióta sejtek fejlődéstanilag egy jelentősen fejletlenebb sejtnek tekinthetők, mind méretükben, mind a strukturáltságukban, mind a sejt szervecskék számában és funkcióit tekintve. A 4. táblázatban találhatóak a jelentősebb különbségek, melyek a két sejt típus (Prokarióta, Eukarióta) között észlelhetők.

	Prokarióta sejt	Eukarióta sejt
DNS elhelyezkedése	Sejtplazmában	Membránnal körülvett sejtmagban
Maghártya	Nincs	Van
RNS és fehérje szintézis helyszínei	Citoplazma	Sejtmagban az RNS szintézis, sejtplazmában a fehérje szintézis
Sejtméret	1 - 10 μm	10 - 100 μm
Sejtorganellumok	Kevésszámú, fejletlen	Sok, változatos
Mitokondrium	Nincsen	Egy sejtben több is
Belső hártárendszer	Fejletlen	Fejlettebb
Szaporodás, sejtosztódás	Ivartalanul, hasadással	Ivarosan, mitózissal, meiózissal
Organizáció	Általában egysejtű	Egysejtűek, sejtcsoportok, többsejtűek

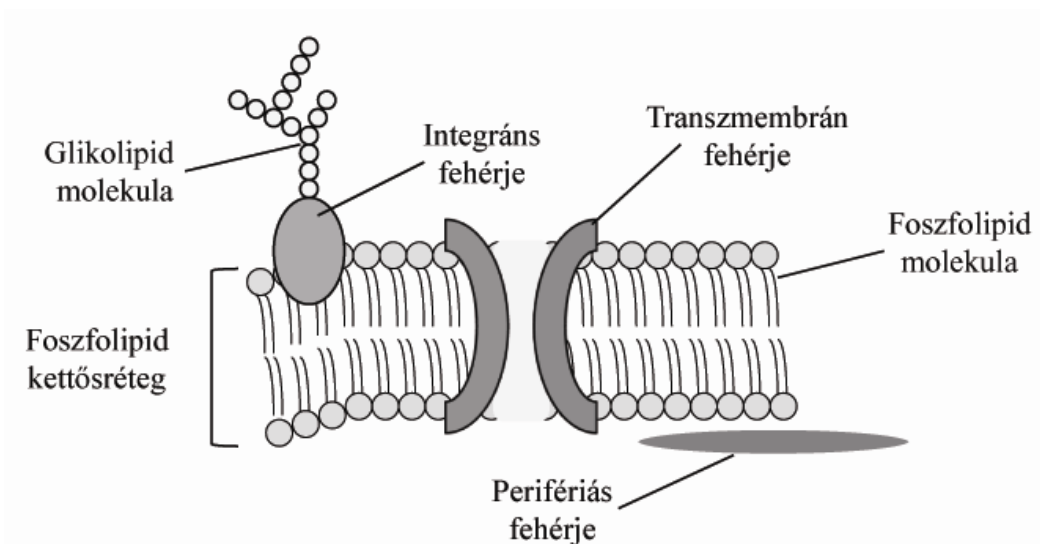
4. táblázat: A Prokarióta és Eukarióta sejtek összehasonlítása

Az Eukarióta sejtek kialakulását több elmélet is magyarázza, de napjainkban a legelterjedtebb ezek közül az Endoszimbionta elmélet. Eszerint a teória szerint az energiát termelő mitokondrium és a növényi színtestek Prokarióta sejtek voltak, melyeket nagyobb méretű Prokarióta sejtek bekebeleztek, de nem bontották le, emésztették meg. Velük szimbiózisban éltek, kihasználva azok energiatermelő képességét. Ezen elméletnek több sejt szintű bizonyítéka is van, például a mitokondriumot és a színtesteket körülvevő kettős membrán, illetve a sejtszervekben jelenlévő örökítő anyag (dezoxiribonukleinsav, DNS).

A felnőtt emberi szervezetben átlagosan 10^{14} számú sejt található, az átlagos sejt mérete 10-12 μm . A legnagyobb méretű sejt a petesejt, amely körülbelül tízszer akkora, mint egy átlagos sejt, így hozzávetőlegesen 100 μm .

Az állati sejt felépítése és a sejtszervecskék

Az állati sejteket kívülről a **sejtmembrán** (vagy másik nevén sejthártya vagy plazma membrán) határolja. A sejtmembrán vastagságát elektromikroszkópos felvételek alapján 60 nm-re becsülik. A membrán feladata, hogy elhatárolja a sejt többi részét a sejten kívüli tértől (extracelluláris mátrixtól), továbbá védelmet biztosítson például a kórokozóktól, illetve lényeges a szerepe az extra- és intracelluláris (sejten belüli) térbe irányuló anyagszállításban (transzportban) is. Azokat a folyamatokat, melyek során a sejtmembránon keresztül anyagok jutnak át, transzportfolyamatoknak nevezzük. A sejtmembrán felépítését tekintve egy **kettős foszfolipid réteg** (22. ábra), amely különböző típusú foszfolipidekből (foszfatidil-kolin, foszfatidil-szerin, foszfatidil-inozitol, foszfatidil-etanolamin) épül fel, melyek között még további membránalkotó a koleszterin, a felületi glikolipidek (például faj-, szövet-, sejt-, egyed specifikus jelölő molekulák) és a fehérjék (perifériás-, integráns- vagy transzmembrán fehérjék). Az integráns membrán fehérjék a membránba süllyedve találhatóak, át is érhetik azt (transzmembrán fehérjék, például a csatorna fehérjék), míg a perifériás proteinek a membrán felületén helyezkednek el, a membrán bármelyik oldalán előfordulhatnak. A harántcsíkolt izomsejtekben a sejthártyának egy speciális típusa található, ez a szarkolemma.



22. ábra: A sejtmembrán felépítése

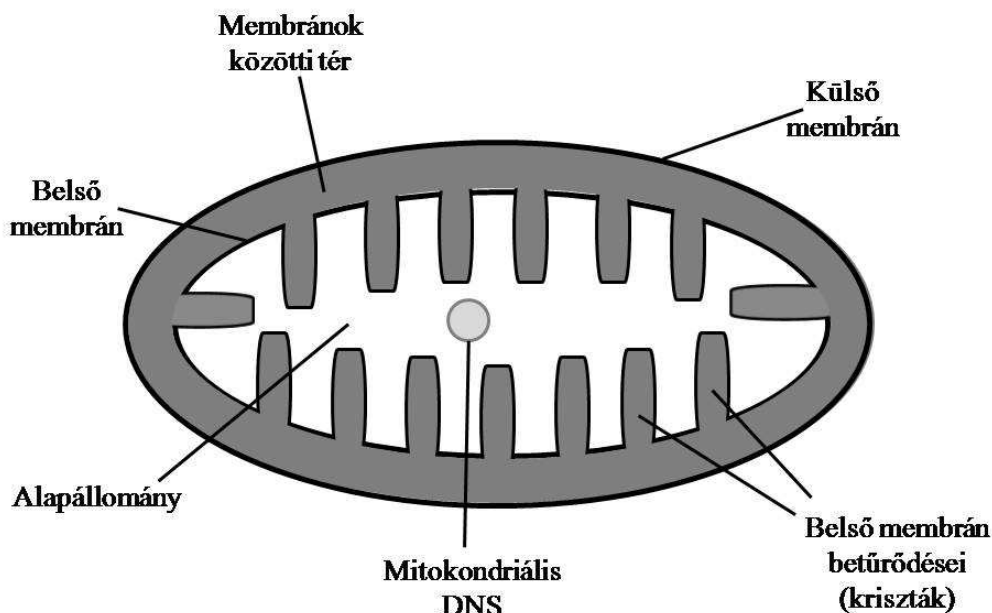
A foszfolipidek amfipatikus molekulák, egy hidrofób farki rész (apoláros) és egy hidrofil feji rész (poláros) részből épülnek fel. A sejtmembrán amfipatikus tulajdonsága meghatározza az áteresztőképességet (permeabilitást), milyen anyagok képesek egyszerű diffúzióval keresztülhaladni rajta.

A **sejtplazma** (vagy másik nevén a citoplazma) a sejt alapállománya, mely a sejtmembrán által körülhatárolt teret tölti ki és számos sejt szervecskét (sejtorganeliumot) tartalmaz. Fél-folyadék, gélszerű halmazállapotú, legnagyobb mennyiségben vizet (80-95 %) tartalmaz, de megtalálhatóak benne ionok (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) és szerves molekulák (fehérjék, lipidek, szénhidrátok, DNS, ribonukleinsav – RNS –) is. Harántcsíkolt izom sejtben lévő változatát szarkoplazmának nevezik.

A sejt szervecskéket lehet csoportosítani aszerint, hogy membránnal határoltak, vagy membrán nem veszi körül azokat. A membránnal körülhatárolt sejt szervecskék legalább egyrétegű foszfolipid membránnal rendelkeznek, így nem érintkeznek közvetlenül a citoplazma állományával. Ebbe a csoportba tartozik: a mitokondrium, az endoplazmatikus retikulum, a Golgi készülék, a lizoszóma és a peroxiszóma.

A **mitokondrium** nagyjelentőségű sejtorganelium, számos biokémiai folyamat helyszínéül szolgál (23. ábra). Gyakran emlegetik, mint a sejtek "kazánját", utalva az itt zajló biokémiai folyamatokra. Kettős foszfolipid membrán határolja, a belső membránja redőzött, ezen redőzöttséget szokták krisztáknak is nevezni. A mitokondrium belső membránján található a terminális oxidáció elektron-transzportáló rendszere is, mely az adenzin-trifoszfát (ATP) szintézis fő helyszíne (lásd a 4.3. fejezetben). A különböző sejtek eltérő számú

mitokondriumot tartalmazhatnak, például egy izomsejtben több ezer darab is lehetséges, míg fehér zsírsejtben jelentősen kevesebb található. A mitokondrium önálló DNS-sel rendelkezik, melyet mitokondriális vagy anyai DNS-nek szokás nevezni.

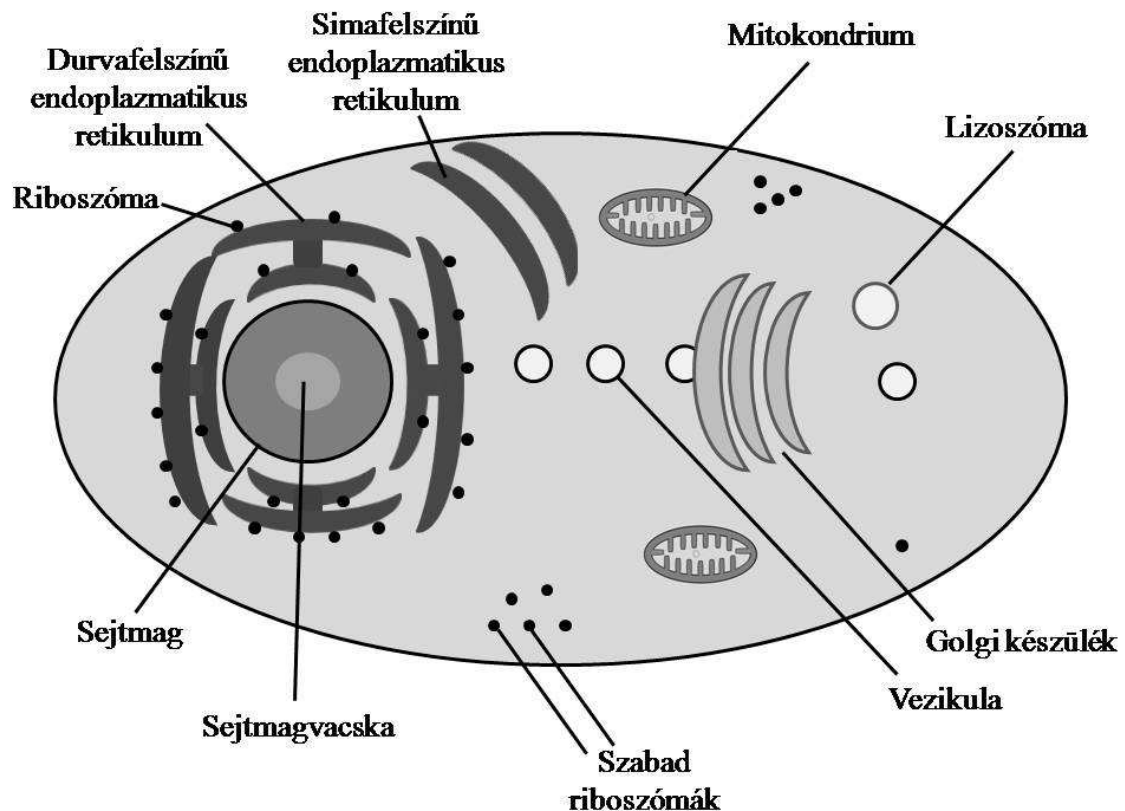


23. ábra: A mitokondrium felépítése

Az **endoplazmatikus retikulumnak** (ER) két típusa ismert a sejtekben (24. ábra), az egyik a simafelszínű ER (SER), a másik a durvafelszínű ER (DER). A SER legfontosabb feladata a zsírok szintézise, de termel szteroid hormonokat is. A lipidek az extracelluláris térbe kerülnek, apoláros természetük révén egyszerűen átlépnek a membránon. A DER nevét arról kapta, hogy felületén riboszómákat tartalmaz, melyek a fehérjék szintézisének helyszínei. Az ER-hez kapcsolt riboszómákon elsődlegesen a membránfehérjék és az extracelluláris fehérjék képződnek. A riboszómák felületén képződő fehérjék vezikulákba csomagolva továbbítódnak a Golgi készülékbe. Az ER a sejt belsejében lévő összetett membránrendszernek az egyik alkotója, a sejthártya, a sejtmaghártya és a Golgi készülék mellett. Fontos szerepe van a különböző anyagok sejtmag felőli transzportjában, a sejtplazma irányába. A harántcsíktolt izomsejtben a DER-nek egy speciális típusa található, melynek a neve szarkoplazmatikus retikulum. Fontos kiegészítő feladata a Ca^{2+} ionok raktározása, melyek nélkül az izom összehúzódási folyamata (kontrakció) nem tud lezajlani.

A **Golgi készülék** (vagy másik nevén a Golgi apparátust) szokták a sejtek "postájának" is nevezni (24. ábra). A sejtben keletkező végtermékeket becsomagolja, membránnal veszi körül és ha nincsen szükség azokra, akkor exocitózissal kiürülnek a sejtől. A membránnal határolt különféle anyagokkal teli hólyagokat vezikuláknak nevezzük. (Az exocitózis egy többlépcsős folyamat, melynek során a sejt különböző anyagokat tartalmazó veziculákat ad le az extracelluláris térbe.) A sejtben keletkezett fehérjék és zsírok a készülék lumenébe kerülnek, keresztülhaladva rajta módosuláson mennek át. A fehérjék esetében ezt a poszt-transzlációs (átfordítódást követő) módosulásnak nevezzük. A folyamat során a lipidek és a proteinek szénhidrát vagy foszfát oldalláncokat kapnak. A módosulást követően a Golgi készülékből kikerülve becsomagolódnak és a sejt megfelelő részére irányítódnak. Három lehetséges helyre kerülhetnek, vagy a lizoszómához kerülve endoszómává válnak, vagy a sejtmembrán alkotói lesznek, vagy kiválasztódnak a sejtől.

A **lizoszóma** egy bontó enzimeket tartalmazó, membránnal körülvett vezikula (24. ábra). A membrán biztosítja, hogy a vezikulában található lizozim enzim ne károsítsa az intracelluláris tér egyes részeit. Működése során a lizoszóma az endocitózis folyamatával a sejtbe kerülő veziculákkal összeolvadva együttesen egy endoszómát hoz létre. (Az endocitózis egy többlépcsős, ellentétes irányú folyamat, melynek során a sejt különböző anyagokat tartalmazó veziculákat vesz fel az extracelluláris térből.) Az összeolvadást követően az endoszómális vezikulák tartalmát a lizozim lebontja, vagy elpusztítja. A lebontott anyagokat a sejtek felhasználják, vagy kiválasztják, exocitózissal kiürítik a sejtől. A lizoszómáknak továbbá lényeges szerepe van a programozott sejthalál (apoptózis) folyamatában. Ha a sejtsejtszervecskében lévő lizozim enzim a sejt belsejébe kerül, felemészti azt, a sejt elpusztul, így a lizoszóma épsége meghatározza a sejt élettartamát.



24. ábra: Az állati sejtek általános felépítése

A peroxiszóma felépítésében nagyon hasonlít a lizoszómához. Hasonlóan a másik sejtorganelumhoz egy enzimeket tartalmazó vezikula, melyben peroxid enzimek találhatóak. Feladata során a sejt egyes részeit elszeparálja a többitől (kompartimentalizáció), hogy megvédje a sejtet, például a nem megfelelően zajló anyagcseréjétől, annak termékeitől. Így ha a peroxiszóma funkciója zavart szenved, számos betegség, köztük a rákos megbetegedések nagyobb eséllyel alakulnak ki a sejtben. Másik hasonlóság a lizoszómával, hogy a peroxiszóma is képes endoszómákat kialakítani endoplazmatikus veziculákkal.

A sejtszervecskék másik típusa nem rendelkezik membránnal. Ide sorolhatóak: a riboszóma, a sejtvázs és a sejtmagvacskák (24. ábra).

A **riboszóma** a fehérje szintézisének, a translációnak a helyszíne. Az átíródás (transzkripció) során képződő hírvivő (messenger) RNS (mRNS) átfordítódik, a bázishármasok (triplet) információtartalma szerint aminosavak épülnek be, melyek elsődlegesen polipeptideket alkotnak. A polipeptidek különböző átalakulások után válnak funkcionális fehérjévé. A riboszómának két típusa van, az egyik a DER felületéhez kötötten található, míg a másik a sejtplazmában szabadon. A DER-hez kapcsolt riboszómán elkészülő fehérjék innen a Golgi készülékhez kerülnek, majd a sejtmembránhoz vagy az extracelluláris

térben használnak fel. A szabad riboszómák fehérjéi általában a sejten belüli használatra készülnek. Mindkét típusa két (nagy és kicsi) alegységből épül fel, ezekből mindkettő szükséges a fehérjék felépítéséhez. Egy sejtben számos riboszóma található.

A sejtvázs (**citoszkeleton**) a sejt alapállományában található szilárdító struktúra, tubulusokból és filamentumokból épül fel. Ezeknek három fajtája van: a mikrofilamentumok, az intermedier filamentumok és a mikrotubulusok. Feladatuk a sejthalak kialakításában, a mozgásokban és sejtosztódásban van. Az állati sejtek aktív helyváltoztató mozgásában két sejtservecskének van jelentős szerepe, melyek hasonlóan a sejtvázhhoz mikrotubulusokból épülnek fel. Ezek a csilló (cilia) és az ostor (flagellum).

A **sejtmag** (nucleus) tartalmazza az örökítő anyagot, a DNS-t, illetve mint korábban említettük a mitokondrium is rendelkezik önálló DNS-sel. A DNS hordozza az információt, mely a sejtek működéséhez szükséges. Ezen információ nélkül a sejtosztódás, de a sejtekben zajló fehérjeszintézis is elképzelhetetlen. Nukleinsavon kívül fehérjék is találhatóak itt, melyeket együttesen kromatin állománynak nevezünk. A kromatin állomány lehet diszperz, szétszórtan elhelyezkedő, ekkor eukromatinnak nevezzük, illetve lehet kompakt, összesűrűsödő, ilyenkor heterokromatinnak hívjuk. A heterokromatin a sejt nyugvó fázisaiban jellemző, míg az eukromatin sejtosztódáskor, illetve a fehérje szintézisben aktív sejtekre jellemző.

A **sejtmagvacska** (nucleolus) a sejtmag középső elkülönülő része, mely összetételét tekintve fehérjéket és RNS-t tartalmaz. Szerepét tekintve a riboszómák alegységei itt képződnek és innen transzportálódnak a sejtmag alapállományán (mátrixán) keresztül a sejtplazmába.

Ellenőrző feladatok:

1. Sorolja fel, melyek a legfontosabb különbségek a Prokarióta és Eukarióta sejtek között!
.....
.....
2. Mi a legelterjedtebb teória, mely magyarázza az Eukarióta sejtek kialakulását? Mi a teória lényege?
.....
.....
3. Milyen szempont szerint csoportosítaná az állati sejtek sejtservecskéit? A szempontok szerint csoportosítsa azokat!

.....
.....
4. Sorolja fel a sejthártya felépítésében résztvevő anyagokat!

.....
5. Milyen közös jellemzője van a mitokondriumnak és a sejtmagnak?

.....
6. Mely sejtszervecskére/kékre jellemző a következő állítás? Membránnal körülvett vezicula, mely emésztő enzimeket tartalmaz.

.....
7. Mely sejttorganellumok bírnak esszenciális szereppel a fehérjék szintézisében?

.....
8. Sorolja fel az ER típusait és írja le a legfontosabb funkciójukat!

.....
9. Mely sejttorganellumra szokták mondani, hogy a sejt "postája" és miért?

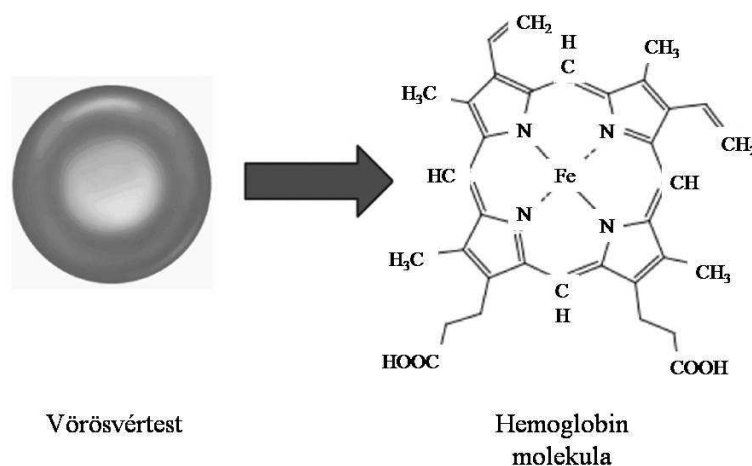
.....
10. Sorolja fel a sejtmag és a sejtmagvacska legfontosabb feladatait!

4.2. A vörösvértest és a hemoglobin jellemzői és felépítése

A vörösvértest a légzési gázok szállítására specializálódott sejt. Egy vastartalmú fehérjét tartalmaz, a **hemoglobint**, amely az O_2 és a CO_2 megkötésére szolgál (25. ábra). A vörösvértest egy átlagos felépítésű sejtnek kezdi az életét, azonban a vörös csontvelőben történő érése során elveszíti sejtmagját és a mitokondriumát, helyükre épül be a hemoglobin molekula. A többi sejtrel hasonló kettős foszfolipid rétegből álló sejthártyával rendelkezik, melyen keresztül szabadon áramolhat a víz, az O_2 , a CO_2 , a glükóz és még sok más anyag, azonban a hemoglobint nem engedi át. A sejthártya felületén találhatóak glikolipid molekulák, melyek a vércsoport antigének és meghatározzák az egyénre jellemző vércsoportot.

A **vörösvértest** alakja biconkáv, oldalnézetben lapított korong alakú. Ez a forma hozzájárul ahhoz, hogy a térfogatához mért felülete nagy legyen. Nagy rugalmasságú, a sejtmag hiányában a sejt jelentős alakváltozásokra képes, ami nagyon fontos, ha kiskeresztmetszetű ereken (kapillárisok) kell áthaladnia. A vörösvértest pusztulásával a hemoglobin vas ionja a transferrin transzportfehérje segítségével a vörös csontvelőbe kerül, ahol újabb vörösvértest előállításában vesz részt. A hemoglobin azon része, mely nem vesz részt az újabb vörösvértest képzésében, bilirubinná alakul, és a széklet színét adja.

A vér vörös színét is a hemoglobin molekulának köszönheti (25. ábra). Ha a hemoglobin oxigént köt (oxihemoglobin), akkor színe világos vörös, ha az oxigén leválik róla (deoxihemoglobin), akkor a vér sötétebb színű lesz.



25. ábra: A vörösvértest és a hemoglobin

A hemoglobin egy **tetramer szerkezetű komplex fehérje**. Négy polipeptid láncból áll, amelyek felépítésében 140 aminosav vesz részt. Kétféle polipeptid láncból, egy α és egy β alegységből áll. Ez a két alegység két közel azonos felépítésű $\alpha\beta$ dimert alkot, melyben egy-egy α (α_1 , α_2) és egy-egy β (β_1 , β_2) alegység van. A molekula alegységenként egy-egy hemet, összesen négy hem részt tartalmaz.

A **hem résznek** a négy pirrol gyűrűből felépülő porfirin váz az alapja, a pirrol gyűrűket metin csoportok kapcsolják össze. A hem középpontjában a vas-ion található, ami mind ferro (Fe^{2+}), mind ferri (Fe^{3+}) formában képes komplexet képezni. A ferro vas képes O_2 -t kötni, míg a ferri vas inkább a vizet köti. Egy hemoglobin molekula négy hem része, négy O_2 megkötésére képes. Az O_2 megkötésének hatására a molekulában térszerkezeti

(konformációs) változás jön létre. Az $\alpha_1\beta_1$ és $\alpha_2\beta_2$ dimerek egymáshoz képest elmozdulnak és a deoxihemoglobinban jelen lévő $\alpha_1\beta_2$ és $\alpha_2\beta_1$ közötti kölcsönhatások megszűnnek. Az O_2 megkötésével a vasion kimozdul a síkból az O_2 irányába.

A hemoglobin O_2 kötődését (affinitás) számos tényező befolyásolhatja. Az alacsonyabb pH csökkenti az O_2 kötő affinitást, ezt a jelenséget Bohr-effektusnak nevezik. Minél intenzívebb egy sejtben az anyagcsere, a sejtlégzés folyamata, annál több O_2 -t ad le a hemoglobin a szöveteknek.

Fontos tudni, hogy a hemoglobin a CO_2 -t nem a hem részével köti, hanem a hemoglobin β alegységének N-terminálisához kötődik, ahol kovalens kötéssel rögzül. A hemoglobin a CO_2 -t csak nagyon kis mennyiségben képes kötni, szerepe a CO_2 szállításában elenyésző.

A hemoglobin molekula a légzési gázokon kívül a szén-monoxidot (CO) is képes megkötni és transzportálni. Ez a kötés kétszázszor erősebb, mint az O_2 -nel kialakított kapcsolata, így a hemoglobin nagyobb affinitással kapcsolódik a CO-hoz. Ezért jöhetnek létre CO mérgezések már kisebb mennyiségű CO belélegzése esetén is.

A magzati hemoglobin felépítése különböző a későbbi hemoglobin szerkezetétől, a β alegység helyett γ lánc szintetizálódik, így $\alpha\gamma$ dimereket hozva létre. Ez a típus nagyobb affinitással köti az O_2 -t, mint a születés után jellemző forma, ennek következtében a magzati légzés, amely az anya vérében szállított O_2 -re épül, hatékonyabb, mint az anyáé, legalábbis a rendelkezésre álló O_2 megkötése szempontjából. Születést követően kezdődik meg a β alegység termelődése.

Ellenőrző feladatok:

1. Melyek a vörösvértest és egy átlagos sejt felépítése között megfigyelhető legfontosabb különbségek?

.....

2. Milyen részekből épül fel a hemoglobin molekula?

.....

3. Mi az a Bohr-effektus? Jellemezze röviden!

.....

4. Miért veszélyes a CO mérgezés? Mi a jellemzője a CO és hemoglobin közötti kötésnek?

.....

5. Különbözik-e a magzati hemoglobin felépítése a születés utáni formától? Ha igen, jellemezze!

.....

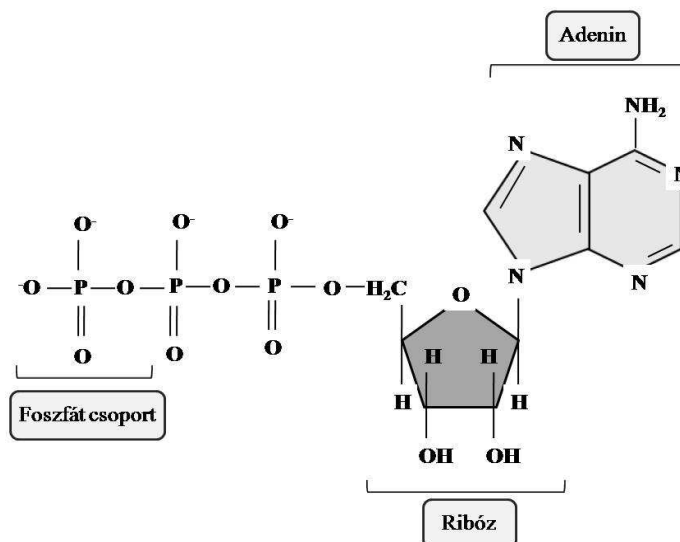
4.3. A sejtlélegzés folyamata

i. A sejtlélegzés folyamatáról általában és az adenosin-trifoszfát molekula

Az állati szervezetekben az életműködéshez szükséges energiát sejtjeink az elfogyasztott tápanyagok O_2 jelenlétében történő lebontása, oxidációja során képesek előállítani. Ezt a folyamatot sejtlélegzésnek nevezzük.

A szénhidrátok (szacharidok), a zsírok (lipidek) és a fehérjék (proteinek) katabolizmusa során nyeri a szervezet a kémiai energiát, amely elsődlegesen az **adenozin-trifoszfát (ATP)** molekula makroerg kötéseiben raktározódik (26. ábra). Hasonló a felépítése (szerves bázisban különbözik) a guanosin-trifoszfátnak (GTP), citidin-trifoszfátnak (CTP), uridin-trifoszfátnak (UTP) és a timidin-trifoszfátnak (TTP), továbbá az energiaértékükben is azonosak az ATP-vel. Ezen molekulákban a makroerg kötés felbomlása, hidrolízise, nagy negatív szabadentalpia változással jár. Energia szabadul fel, mely alapvetően háromféleképpen használódhat fel az élő szervezetekben. Egyrészt mechanikai munkára a vázizmok összehúzódásakor, másrészt kémiai munkára a különböző biomolekulák szintézisére a felépítő folyamatokban, harmadrészt szállító (transzport) folyamatokban, a különböző anyagok koncentráció grádienssel szemben történő aktív transzportjára.

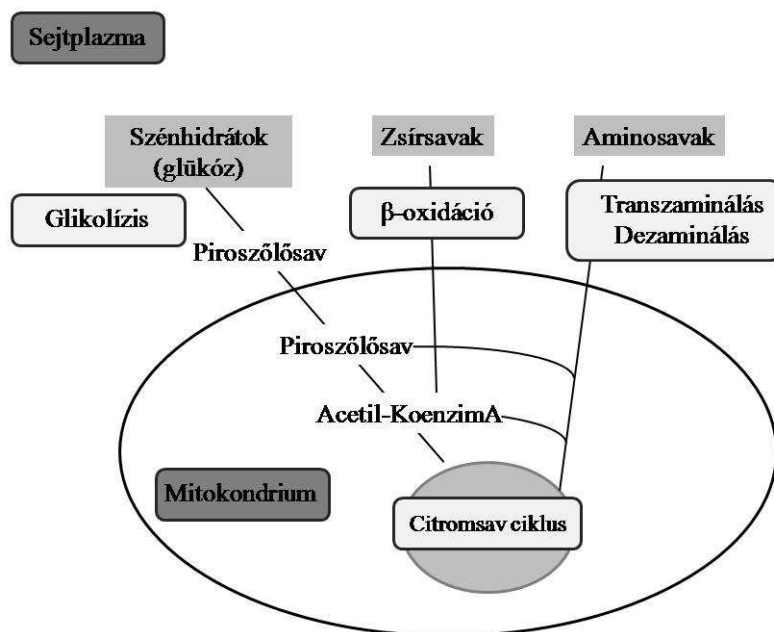
Az ATP molekula első makroerg kötésének hidrolízisével **adenozin-difoszfáttá (ADP)** alakul, miközben egy foszfát csoportja lehasad és energia szabadul fel. A következő foszfát csoport hidrolízise során további energia szabadul fel, az ADP molekula **adenozin-monofoszfáttá (AMP)** alakul.



26. ábra: Az adenzin-trifoszfát molekula felépítése

A **sejtlégzés** három részfolyamatból áll. Az első részfolyamatban (27. ábra) a szénhidrátok lebomlása zajlik acetil-csoportig, majd az acetil-csoport egy Koenzim-A (KoA) molekulával kapcsolódik. Az így keletkezett acetil-Koenzim-A (acetil-KoA) a Citromsav ciklusba lépve, a mitokondriumban eloxidálódik. Az első és második részfolyamat során keletkező elektronok (e⁻), a redukált nikotinsavamid-adenin-dinukleotid (NAD) és flavin-adenin-dinukleotid (FAD) molekulák által szállítódnak a harmadik részfolyamatba, a Terminális oxidációba. Itt a légzési láncon végighaladva, légköri O₂-nel reagálnak. Víz keletkezik és a nyert energia segítségével ATP szintézis zajlik.

A zsírsavak és az egyes aminosavak lebontása során is acetil-csoportok képződnek, melyekből a további lebontása során, a Citromsav ciklusban és a Terminális oxidációban energiát szolgáltató vegyület (ATP) képződik (27. ábra).



27. ábra: A szénhidrátok, a zsírsavak és az aminosavak lebontó folyamatai

i. Az első részfolyamat, a Glikolízis és a Fermentáció

A szénhidrátok lebontásának, a **Biológiai oxidáció**nak, az első részfolyamata a **Glikolízis** (28. ábra). A folyamat a sejtplazmában zajlik, kiindulási anyag a szőlőcukor (glükóz).

A folyamat bruttó egyenlete:



A Glikolízis egy tízlépéses folyamat, melynek végeredményeként acetil-csoport képződik. Az első lépés során a sejtbe kerülő glükózt a hexokináz enzim glükóz-6-foszfáttá alakítja, úgy hogy az ATP egy foszfát csoportját lehasítja. Az ATP-ből ADP keletkezik.

A második lépésben a glükóz-6-foszfát átalakul fruktóz-6-foszfáttá, a lépést a foszfoglukóz-izomeráz enzim katalizálja.

A harmadik lépésben a foszfofruktokináz-1 enzim által, újabb ATP hidrolízisével, a fruktóz-6-foszfát átalakul fruktóz-1,6-biszfoszfáttá.

A negyedik lépésben a hat szénatomból álló fruktóz-1,6-biszfoszfát széthasad két, három szénatomból álló szénhidrátra: a dihidroxiaceton-foszfátra és a gliceraldehid-3-foszfátra. Ezen lépést a fruktóz-bifoszfát aldoláz katalizálja.

Ez a két vegyület képes egymásba átalakulni egy reverzibilis folyamat során, ez a Glikolízis ötödik lépése. Ezen lépéshez a triózfoszfát-izomeráz enzim szükséges.

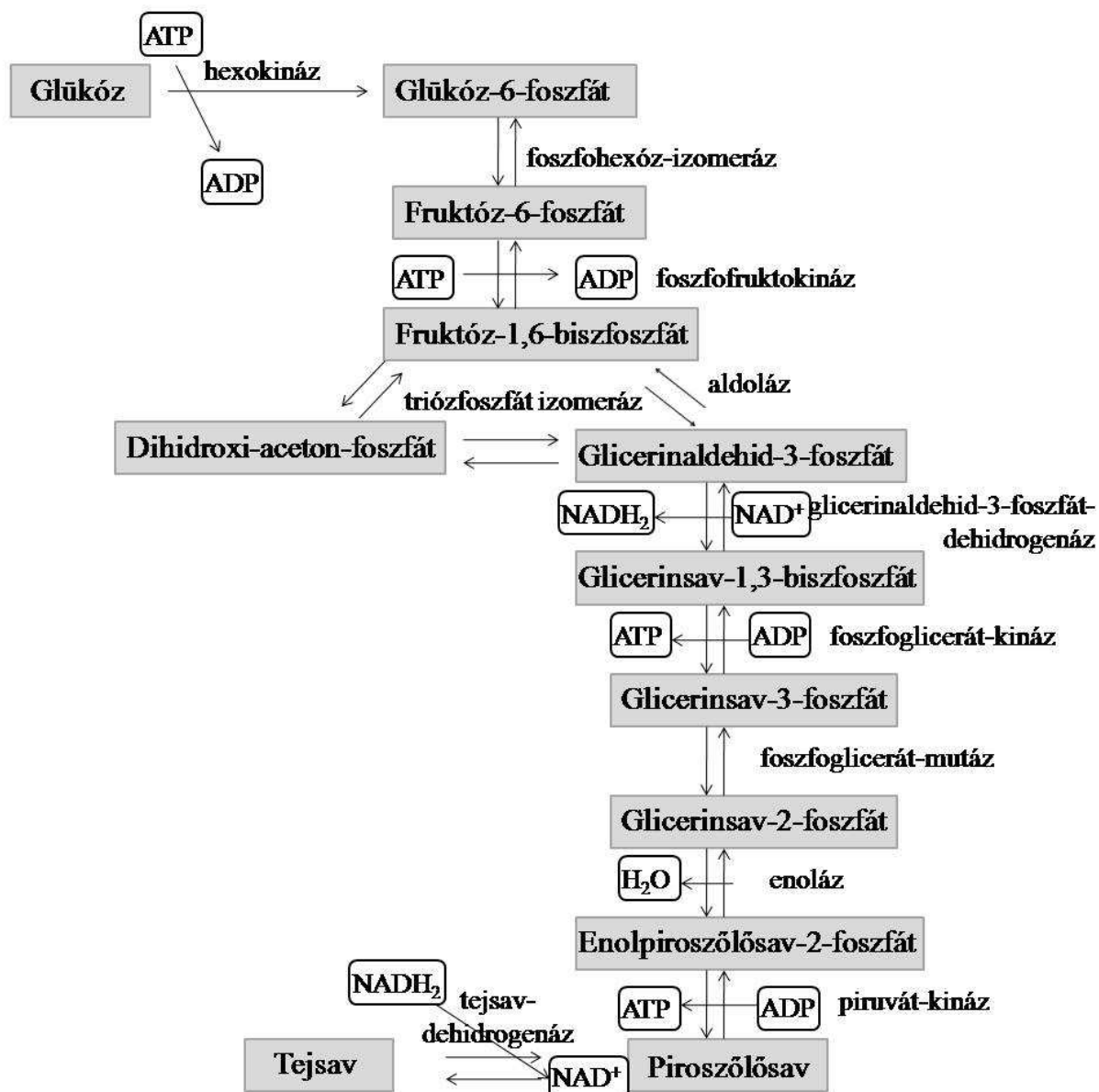
A hatodik lépésben a gliceraldehid-3-foszfát oxidálódik glicerinsav-1,3-biszfoszfáttá, miközben $2 e^-$ kerül a NAD^+ -ra és 2 NADH képződik. Ezt a folyamatot gliceraldehid-foszfát dehidrogenáz katalizálja.

A hetedik lépésben egy glükóz molekulára számítva 2 ATP szintetizálódik úgy, hogy a 2 glicerinsav-1,3-biszfoszfát 2 foszfát csoportja közvetlenül 2 ADP molekulára kerül, miközben glicerinsav-3-foszfát keletkezik. Az átalakuláshoz a foszfoglicerinsav-kináz enzim szükséges.

A nyolcadik lépésben a glicerinsav-3-foszfát foszfát csoportja áthelyeződik a második szénatomra és glicerinsav-2-foszfát képződik. A reakciót a foszfoglicerinsav-mutáz katalizálja.

A kilencedik lépésben a glicerinsav-2-foszfátból foszfoenol-piroszölősav keletkezik vízkilépéssel, ehhez a foszfoglicerinsav-hidratáz (enoláz) enzim szükséges.

Végül a tizedik lépésben foszfoenolpiroszölősav foszfát csoportját hasítva **piroszölősav**vá alakul, miközben ADP-ből és a lehasított foszfát csoportból ATP keletkezik. A tizedik reakciót a piroszölősav kináz enzim katalizálja. Ebben a lépésben, egy glükóz molekulára számítva 2 ATP keletkezik. A Glikolízis hetedik és tizedik lépésében az ATP keletkezését szubsztrát szintű foszforilálásnak nevezik.



28. ábra: A Glikolízis és a Fermentáció folyamata

Ezt követően a piroszölősav a mitokondrium mátrixába szállítódik, ahol a piruvát dehidrogenáz enzimkomplex működése révén karboxil csoportját elveszti, $2 e^-$ elvesztésével oxidálódik és kapcsolódik a KoA molekulához, így **acetil-KoA** képződik. A folyamatot oxidatív dekarboxileződésnek nevezzük. Ezután az acetil-KoA belép a **Citromsav ciklus**ba.

A piroszölősav kináz és a foszfofruktokináz-1 enzimek aktivitása szigorú allosztérikus és hormonális szabályozás alatt áll. A piroszölősav dehidrogenáz enzim is allosztérikus reguláció alatt áll. Az allosztérikus szabályozás során az enzim aktivitását a folyamatban keletkező végtermék felhalmozódása gátolja meg egy negatív visszacsatolás során.

A Glikolízis teljes folyamata, valamennyi lépése csak O_2 jelenlétében, aerob körülmények között játszódik le. Ilyenkor a folyamat lépéseiben NAD^+ -ból redukálódó NADH az e^- -okat a mitokondrium légzési láncának adja át (részletei a Terminális oxidáció részben).

Ha nincs O_2 , anaerob körülmények között a folyamatot **Fermentációnak** nevezzük (28. ábra). Ebben az esetben a NADH által szállított e^- -ok a piroszőlősavhoz kerülnek, amely a folyamat során tejsavvá (laktáttá) alakul. A folyamat megerőltető, nagy intenzitású testedzés során megfigyelhető. Hátránya, hogy a piroszőlősav nem oxidálódik acetyl-csoporttá, nem folytatódik a folyamat a Citromsav ciklussal és a Terminális oxidációval, így egy glükóz molekula lebontásakor az energianyereség csupán 2 ATP. A termelődő tejsav a májba kerülve a Cori-körben képes visszaalakulni piroszőlősavvá, illetve glükózzá.

- i. A második részfolyamat, a Citromsav ciklus (Szent-Györgyi-Krebs ciklus, Trikarbonsav ciklus, Citrát-kör)

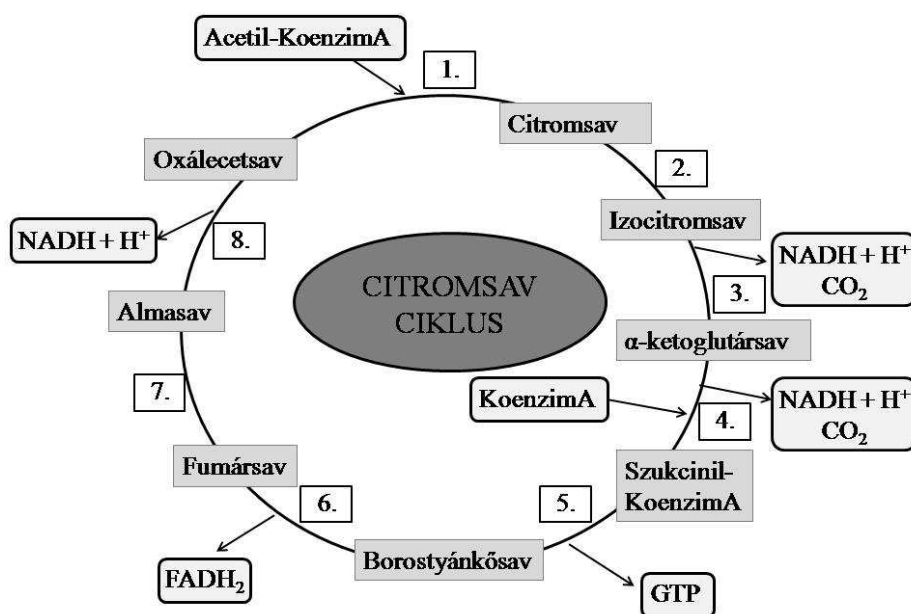
A Citromsav ciklus a mitokondriumban lejátszódó nyolclépéses körfolyamat (29. ábra).

A folyamat bruttó egyenlete:



Az első lépésben a folyamatba belépő KoA által szállított acetyl-csoportból és az oxálecetsavból citromsav képződik, a citromsav-szintáz enzim által katalizált kondenzációs, majd hidrolitikus reakcióban. A második lépésben a citromsav egy izomerizációs reakcióban izocitromsavvá alakul, mely reakciót az akonitáz enzim katalizálja. A harmadik lépésben az izocitromsavból izocitromsav-dehidrogenáz enzim katalízise révén α -ketoglutarát és CO_2 keletkezik, miközben egy NAD^+ molekula redukálódik. A negyedik lépésben az α -ketoglutarát dehidrogenáz enzim katalizálja az α -ketoglutarát szukcinil-KoA átalakulást, miközben CO_2 és NADH képződik. Az ötödik lépésben a szukcinil-KoA hidrolízisével borostyánkősav (szukcinilsav) és KoA keletkezik. Ezt a reakciót a szukcinil-KoA-szintetáz enzim katalizálja, GDP-ből és szervetlen foszfátból (P_i) energiahordozó vegyület, GTP keletkezik (bioenergetikai szempontból hatása megegyezik az ATP-vel). A hatodik lépésben a

borostyánkősav oxidációjával fumársav képződik FAD redukciója közben, mely folyamatot a borostyánkősav-dehidrogenáz katalizál. A hetedik lépésben a fumársavból víz addíciójával, egy H^+ és OH^- kapcsolódásával almasav keletkezik. Ezen lépést katalizáló enzim neve a fumaráz. A befejező nyolcadik lépés során az almasav a kiindulási oxálecetsavvá alakul, miközben NAD^+ redukálódik NADH-vá, a reakciót az almasav-dehidrogenáz enzim katalizálja.



29. ábra: A sejtlégzés második részfolyamata, a Citromsav ciklus

A Citromsav ciklusban összességében a 3., a 4. és a 8. lépésben keletkezik a reakcióból e-kilépéssel a NAD^+ -ból NADH, illetve a 6. lépésben a FAD az e^- akceptor molekula. A 3. és 4. lépés dekarboxilációs reakciók, melynek során CO_2 keletkezik. Az 5. lépésben szubsztrát szintű foszforilációval GTP keletkezik.

i. A harmadik részfolyamat, a Terminális oxidáció

Ezen utolsó részfolyamatban történik az ATP szintézise, melynek molekuláris folyamata a kemiozmotikus modell alapján írható le (30. ábra). A **Terminális oxidáció** elektrontranszportáló rendszere a mitokondrium belső membránján helyezkedik el. Az elektrontranszportáló légzési láncot négy nagyméretű fehérje komplex építi fel. A Glikolízis,

a β -oxidáció és a Citromsav ciklus során képződött redukált koenzimek (NADH, FADH_2) szállítják az e^- -t és a p^+ -t a terminális oxidáció helyszínére.

Az első komplex a NADH-ubikinon - oxidoreduktáz fehérje, melyet szokás NADH-dehidrogenáznak is nevezni. A mitokondrium alapállománya felé néző kötőhelyeire a korábbi folyamatok során keletkezett NADH molekulák bekötődnek. A NADH által szállított e^- -ok az első komplexről a harmadik komplexre, az ubikinonra tevődnek át. Ezen komplexnek protonpumpa aktivitása is van, p^+ juttat a mitokondrium alapállományából a membránközi térbe.

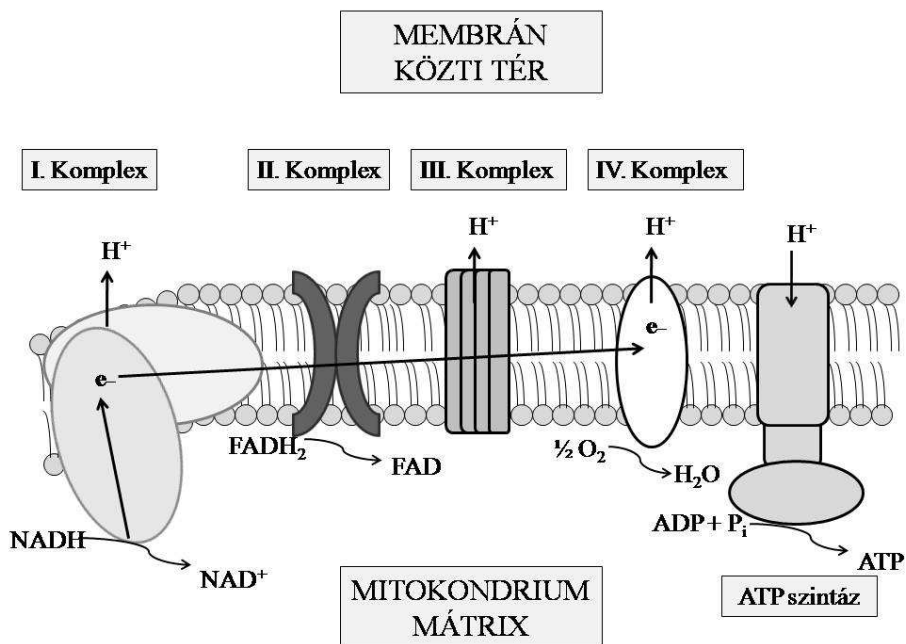
Az elektrontranszportáló rendszer második tagja a borostyánkősav-Koenzim Q oxidoreduktáz enzimkomplex, melynek része a Citromsav ciklus borostyánkősav dehidrogenáz enzime. A Citrát körben termelődő FADH_2 által szállított e^- -ok a második komplexről hasonlóan az előzőhöz, az ubikinon molekulára kerülnek. Az ubikinon protonpumpa aktivitással nem rendelkezik.

A harmadik komplex az ubikinon-citokróm C oxidoreduktáz enzim. Az e^- -ok az ubikinonról a citokróm c-re kerülnek. A harmadik komplex ugyancsak protonpumpa aktivitással rendelkezik.

A negyedik komplex a citokróm-oxidáz, melynél a vízképződés zajlik.

Az e^- -k a légzési láncon vándorolva, energiát biztosítanak a p^+ transzportjára a mitokondrium alapállományából a két membránja közti térbe. Mikor a p^+ -ok ATP szintázon keresztül beáramlanak a két membrán közti térből az alapállományba, energia generálódik, amely ADP és P_i kiindulási anyagokból ATP szintézisére fordítódik. A folyamatot az ATP-szintáz enzimkomplex katalizálja és ebben a reakcióban az ATP keletkezését oxidatív foszforilációnak nevezzük. Egy FADH_2 molekula oxidációja során képződő 2 mol ATP, míg egy NADH molekula esetében 3 mol ATP keletkezik.

Egyetlen glükóz molekula oxidációja során 36 mol ATP keletkezik oxidatív foszforilációval, míg további 2 mol ATP szubsztrát szintű foszforilálással. Így összesen 38 mol ATP keletkezik egy glükóz lebontása során. A zsírsav molekula esetén mérete szabja meg a keletkező energia mennyiségét, például a palmitinsav esetében 131 mol ATP keletkezik.



30. ábra: A sejtlégzés harmadik részfolyamata, a Terminális oxidáció

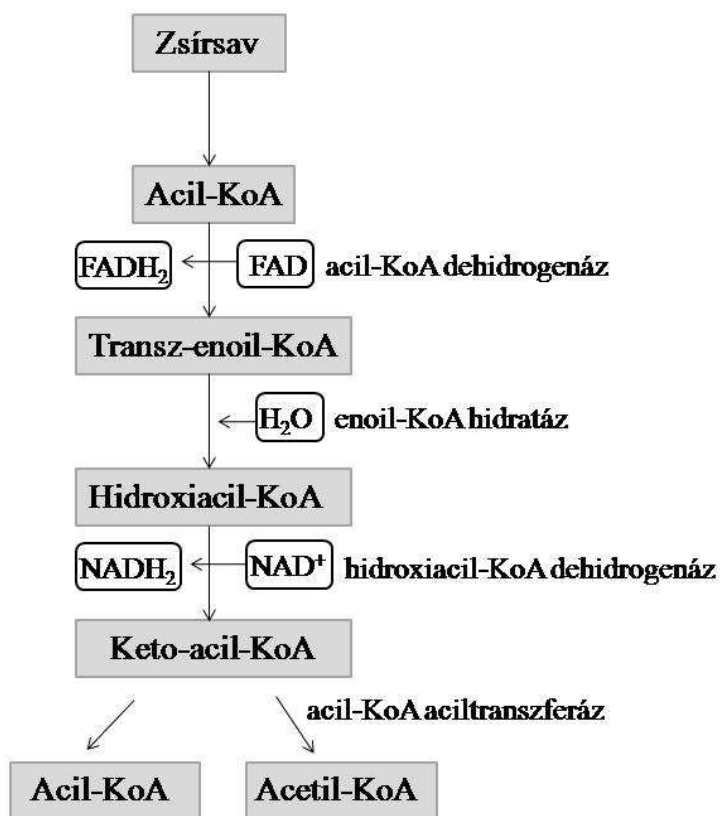
a. A zsírsavak és az aminosavak lebontása, az egyes reakcióutak kapcsolata

A **β -oxidáció** a zsírsavak lebomlásának a folyamata (31. ábra), amely a mitokondrium alapállományában zajló folyamat. Először a zsírsav a mitokondriumba való belépése előtt ATP bomlása közben aktiválódik, tioéter kötés alakul ki a zsírsav karboxil csoportja és a KoA szulfhidril csoportja között. Ez a folyamata a mitokondrium külső membránján játszódik le és az acil-KoA szintetáz enzim katalizálja. Ezt követően az aktivált zsírsav a karnitin molekulához kapcsolódik, és a karnitin acil-karnitin formájában átszállítja a mitokondrium belső membránján. A reakciót a karnitin-aciltranszferáz I enzim katalizálja. A mitokondrium mátrixában a karnitin leválik a zsírsavról, amely újból a KoA-hoz kapcsolódik. Ehhez a lépéshez a karnitin-aciltranszferáz II enzim szükséges. Ezután a karnitin visszakerül a mitokondrium külső, sejtplazma felőli részére. Végül megkezdődik a zsírsav tényleges oxidációja, amely négy lépésből áll.

Az első lépésben KoA-hoz kapcsolt zsírsav (acil-KoA) oxidációja játszódik le, ezt a reakciót az acil-KoA dehidrogenáz enzim katalizálja. Az α (2.) és β (3.) szénatomok között kettőskötés alakul ki, transz-enoil-KoA keletkezik, közben FAD koenzim redukálódik. A második, az enoil-KoA hidratáz enzim által katalizált lépés, melynek során víz addíciója zajlik, a β szénatomhoz egy hidroxil-csoport kapcsolódik, az α és β szénatomok közötti kettőskötés felbomlik és hidroxiacil-KoA keletkezik. A harmadik lépésben a hidroxiacil-KoA

újából oxidálódik a β szénatom hidroxil csoportja keto-csoportra cserélődik, NAD^+ redukálódik és ketoacil-KoA keletkezik. Ezt a lépést a hidroxiacil-KoA dehidrogenáz katalizálja. A negyedik, befejező lépésben a ketoacil-KoA molekulában hasítás következik be az α és β szénatomok között, a reakciót az acil-KoA aciltranszferáz enzim katalizálja.

Zsírsvan annyi hasítási ciklus játszódik le ahány kétszénatomos darabra lehet darabolni az eredeti molekulát. A végeredmény egy acetil-KoA és egy két szénatommal rövidebb acil-KoA.



31. ábra: A β -oxidáció folyamata

Az **aminosavak lebontása** a sejtekben zajló folyamat (27. ábra), lényeges lépése az amino-csoport és/vagy a karboxil-csoport eltávolítása, mely lehetővé teszi az aminosavak más anyagcsere utakba való bekapcsolódását. Az egyik ilyen folyamat az **oxidatív dezaminálás**, melynek során az α -aminosav az aminocsoportját α -ketoglutaminsavnak átadja, így az glutamattá alakul, majd ez később oxidatív deamináción esik át és ammónia képződik.

Másik lehetőség, amikor egy α -aminosav egy α -karbonsavnak átadja az aminocsoportját. A korábbi aminosav karbonsavvá, míg a karbonsav aminosavvá alakul. Ez a

folyamat megfordítható. Az aminocsoport átvitelét α -aminosavról egy α -karbonsavra a különböző aminotranszferáz enzimek katalizálják.

A harmadik lehetőség esetén a szerin és a treonin aminosavak direkt deaminációt hajtanak végre, az aminocsoportjuk leválik és közvetlenül átalakul ammóniává, a reakciót a szerin- és a treonin-dehidratáz katalizálja. Az α -aminosavakból pedig α -karbonsav lesz.

Az előzőekben említett átalakulások révén képesek az aminosavak belépni a Citromsav ciklusba, illetve piroszölősavvá alakulva akár a Glikolízis folyamatába is.

Ellenőrző feladatok:

1. Sorolja fel, hogy az állati szervezetek milyen biomolekulák lebontásával képesek energiát nyerni!

.....

2. Milyen kifejezés rövidítése az ATP? Melyek a legfontosabb funkciói?

.....

3. Sorolja fel a sejtlégzés három részfolyamatát és jellemezze röviden azokat!

.....

4. Milyen kifejezés rövidítése a NAD^+ , a FAD és a KoA? Mi a legfontosabb feladatuk?

.....

5. A Glikolízis mely lépéseiben képződik ATP, illetve redukálódik NAD^+ ?

.....

6. Mi a fermentáció és milyen esetben következik be?

.....

7. A β -oxidáció melyik lépéseiben zajlik dehidrogénezés? Jellemezze azokat!

.....

8. A Citromsav ciklusból mely anyagok és milyen mennyiségben távoznak? Ezek közül melyek vesznek részt a Terminális oxidáció folyamatában?

.....

9. Mit jelent a kemiozmotikus modell?

.....

10. Foglalja össze a sejtlégzés folyamatát röviden!

.....

4.4. A humán vér biokémiája

4.4.1. A humán vér általános jellemzői és alapvető összetétele

A felnőtt emberi szervezet ereiben átlagosan 4-5 liter vér kering folyamatosan. A vértérfogat függ az életkortól, a nemtől, a testtölegetől és a testösszetételtől is. Egy átlagos embernek 60-65 ml/ testsúly kilogramm (tskg) vére van. A vér pH értéke 7,35 - 7,45 közötti szűk tartományban változik, amely az enyhén lúgos kémhatású állományba tartozik. Viskozitása nagyobb, mint a vize.

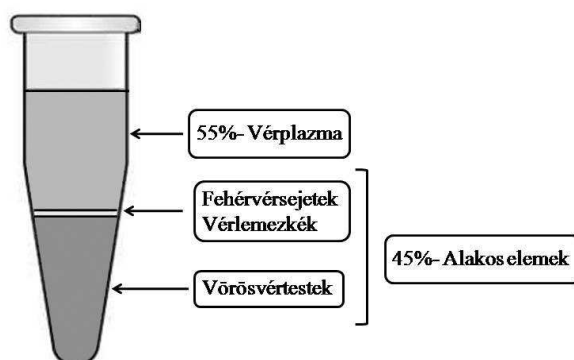
A **vér** egy szállításra specializálódott testfolyadék, amely keresztülhaladva a tüdőn O₂-nel dúsul, majd a nagy vérkörben a belekből felszívódó tápanyagokat és az O₂-t szállítja egészen a sejtekig, biztosítva a működésükhöz szükséges tápanyagokat. Ezt követően felveszi és transzportálja a sejtekben keletkező bomlástermékeket és a CO₂-t (részleteiben 2.1.8. fejezetben). A szállításon kívül jelentős szerepe van a szervezet védekezésében, a hőszabályozásban és a vérvesztés csökkentésében, mely funkcióját a vérárvadás folyamatán keresztül fejt ki.

A vér egyszerre tekinthető egy szövetnek és egy testfolyadéknak. Szövet (módosult kötőszövet), hiszen számos **sejtes elem** (fehérvérsejtek, vörösvértestek) található benne, testfolyadék, mivel ezek a sejtek mind a folyékony **vérplazmában** találhatóak.

A vér összetételét a szervek, szervrendszerek működése jelentős mértékben befolyásolja. Ez az egyik oka annak, hogy napjainkban az egészségdiagnosztikai vizsgálatok nagy részét a vérből végzik. Az összetételt befolyásolja a tüdő működése, mely a vörösvértestek által szállított légzési gázok cseréjét biztosítja, a tápcsatorna, melyből felszívódó tápanyagokat a vér szállítja, a vese, amely a felesleges víztől és vízben oldott

bomlástermékektől tisztítja a vért. A belső elválasztású (endokrin) mirigyek által termelt hormonok kiválasztása a vérbe történik és azon keresztül szállítódnak a célszervekhez. Számos, a vérben található anyag koncentrációja a hormonok által, negatív visszacsatoláson keresztül szabályozódik. Ilyen anyag például a vérben található glükóz.

A vér összetételét és funkcióját tekintve felbontható két részre, a vérplazmára és az alakos elemekre. A vérplazma a teljes vérmennyiség hozzávetőlegesen 55 %-a, míg az alakos elemek a fennmaradó 45 %-ot teszik ki (32. ábra). Az **alakos elemek** közé tartoznak a vörösvértestek, a fehérvérsejtek és a vérlemezkék. Az említett sejtés elemek eltávolításával jutunk a vérplazmához.



32. ábra: A vér összetétele

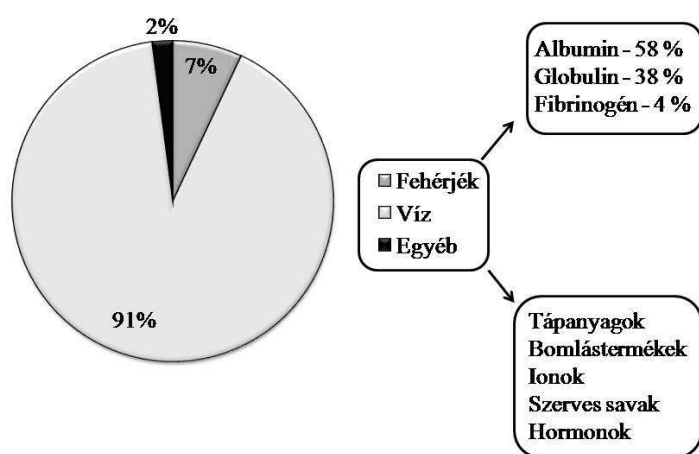
4.4.2. A vérplazma összetétele

A **vérplazma** a vér folyadék halmazállapotú része, melynek 90 %-át a víz alkotja, a további 10 %-át a különböző vízben oldott ionok és szerves molekulák (33. ábra). Egy fiatal felnőtt férfi esetében az átlagos vérplazma mennyisége 35 ml/ tskg.

A vérplazma legnagyobb arányban (7 %) fehérjéket tartalmaz, melyeknek többsége a májban termelődik. Ezek közül is a plazmában az **albumin** található legnagyobb mennyiségben (fehérjék 60 %-a). A fehérjék szerepet játszanak az erekben keringő víz visszatartásában, ezáltal a kolloid ozmotikus nyomás fenntartásában, illetve a zsírsavak, a bilirubin szállításában is fontos. A vérben található fehérjék másik típusa a **globulinok**, melyek heterogén csoportot alkotnak, és számos funkcióval rendelkeznek. Míg a B-limfociták által termelt immunglobulinok (γ -globulinok) az immunfolyamatokban, az α - és a β -

globulinok a zsírok, a szteroidok, B₁₂ vitamin, hemoglobin és a fémionok (vas, réz) szállításában fontosak. A plazma fehérjék harmadik nagy csoportja a **fibrinogén**, amely a vérclóadás folyamatában esszenciális funkcióval bír.

A vérplazma tartalmaz zsírokat is, melyek plazmában lévő szintjét leginkább a táplálkozás és a testmozgás befolyásolja, de örökletes tényezők is hatnak rá. A zsírok közül a plazmában a koleszterin található a legnagyobb koncentrációban, de foszfolipidek és a trigliceridek is nagymennyiségű alkotói. Ezeknél valamivel kisebb mennyiségben vannak jelen a szabad zsírsavak.



33. ábra: A vérplazma összetétele és az egyes alkotók aránya

A plazma tartalmazza továbbá a fehérjék bomlástermékeit (húgsav, kreatinin), számos szerves savat (piroszölösav, tejsav, citromsav), melyek a sejtek anyagcsere folyamatainak termékei, illetve további, a bélcsatornából felszívódó tápanyagokat (glükóz, aminosavak).

Ezen testfolyadékban lényeges alkotói a szervetlen vegyületek közül, a vízben oldott formában jelen lévő pozitív (kation) és negatív töltésű ionok (anion), melyek a kolloid ozmotikus nyomás kialakításában fontosak, de a szív, az ideg- és izomrendszer megfelelő működéséhez is lényegesek.

A **kationok** közül a nátrium ion (Na⁺) a legnagyobb mennyiségben jelen lévő, ezt követi jóval alacsonyabb koncentrációjával a kálium ion (K⁺, 5. táblázat). Mindkettő plazmában lévő mennyiségét a mellékvese kéregállományában termelődő aldoszteron hormon szabályozza. További, az előző kettőnél alacsonyabb koncentrációban jelen lévő kation a

magnézium ion (Mg^{2+}) és a kalcium ion (Ca^{2+}), amely részben fehérjékhez kötött formában található. A Ca^{2+} mennyiségét két hormon, a Ca^{2+} szintet emelő parathormon és a csökkentésében szerepet játszó kalcitonin szabályozza. A vas- (Fe^{2+} vagy Fe^{3+}), a réz- (Cu^{2+}) és a cink-ionok (Zn^{2+}) kisebb mennyiségben szükségesek számos enzim, fehérje felépítéséhez és működéséhez is.

Ionok	Koncentráció (mmol/l)
Na^+	136 - 146
K^+	3,8 - 5,2
Ca^{2+}	2,3 - 2,7
Mg^{2+}	0,8 - 1,2
Cl^-	96 - 106
HCO_3^-	24 - 28
HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	1,0 - 1,4

5. táblázat: A vérplazmában előforduló leggyakoribb ionok

Az **anionok** közül legnagyobb mennyiségben a klorid ion (Cl^-) található a vérplazmában, azt követi a bikarbonát-ion (HCO_3^-), amely a CO_2 szállításában és a pH szabályozásában játszik szerepet, majd a hidrogénfoszfát-ion (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), mely erős puffer hatással bír (5. táblázat). A jodid (I^-) nyomokban szükséges a pajzsmirigy tiroxin hormonjának előállításához.

Az összes endokrin mirigy váladéka, valamennyi hormon megtalálható a vérplazmában. Az említett vegyületeken, molekulákon kívül még számos összetevője lehet a vérplazmának, melyek kisebb jelentőségük miatt itt most nem kerülnek említésre.

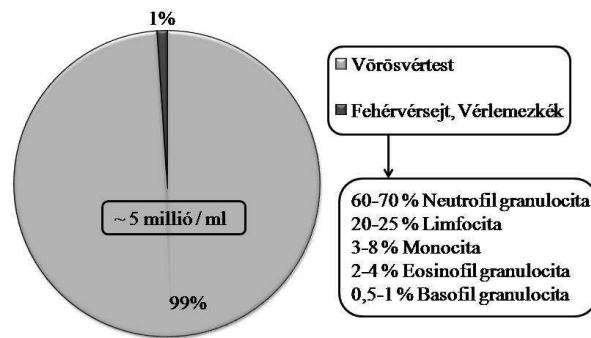
4.4.3. Az alakos elemek

A vér alakos elemei közé tartoznak a vörösvértestek, a fehérvérsejtek és a vérlemezkék. A vérben **vörösvértestek** találhatóak a legnagyobb arányban, a sejttes alkotók, mintegy 99 %-át teszik ki. Az összes többi sejtípus kevesebb, mint 1 %-át alkotja az alakos elemeknek (34. ábra). A vörösvértestek feladata a légzési gázok szállítása. A fehérvérsejtek a celluláris és humorális immunitásban vesznek részt, míg a vérlemezkék a véralvadás folyamatában lényegesek.

A **fehérvérsejtek** tovább csoportosíthatóak, aszerint, hogy rendelkeznek-e granulomokkal vagy sem. A granuláris fehérvérsejtek közé tartoznak a bazofil, eozinofil,

neutrofil granulociták, míg az agranulociták csoportjába a T- és B-limfociták, valamint a monociták. A **vérlemezkék** a vérárvadás folyamatában lényegesekek.

Felnőttkorban mindegyik sejtes elem a vöröscsontvelőben képződik, azonban az embrionális élet során a szikhólyag és a máj is részt vesz a vérsejtek képzésében (hematopoiesis). A sejtes alkotók érése azonban különböző helyeken zajlik.



34. ábra: Az alakos elemek százalékos megoszlása

Ellenőrző feladatok:

35. Sorolja fel a vér alapvető funkcióit!

.....

36. Melyek a vérplazma legfontosabb szerves és szervetlen összetevői?

.....

37. Sorolja fel a vérplazmában található legfontosabb fehérjéket és jellemezze röviden azokat!

.....

38. Sorolja fel a vérplazmában található kationokat és anionokat!

.....

39. Milyen sejtes alkotóit ismeri a vérnek? Csoportosítva sorolja fel azokat!

.....

5. A terhelés hatására kialakult akut és adaptációs változások

A sporttudomány alkalmazott tudomány, melynek legfontosabb célja az egyén fizikai állapotának, teljesítőképességének jellemzése a más tudományterületeken leírt jelenségek, kutatási módszerek felhasználásával. Korábban ezeket a módszereket elsősorban az élsportban alkalmazták, azonban a modern sporttudomány már a rekreációs sportokban résztvevőknek is segítséget nyújt egészségük megőrzéséhez, edzéseik megtervezéséhez. A molekuláris biológia eszközei jelentős új felfedezésekkel és módszerekkel segítette az edzéselmélet fejlődését. Ezek az eredmények a minden élőlényben zajló anyagcsere-folyamatok minőségére utalnak, így valóban minden korosztály és mindenféle fizikai állapottal rendelkező egyén számára segítséget nyújthatnak. A minőségi edzőmunka tehát elképzelhetetlen az egyén fizikai állapotának felmérése, illetve nyomonkövetése nélkül. Leggyakrabban **állapotvizsgálatokkal** találkozunk az átlagember, hiszen ezeket a módszereket ismeri edzés nélkül is, rendszeres orvosi vizsgálatok során. Az állapotvizsgálatok tehát az egyén aktuális állapotára utalnak. Ilyen vizsgálatok pl. a magasság, a testtömeg, a pulzus, vérnyomás, légzésfunkciók stb. mérése. A fizikai teljesítőképességre csak bizonyos feltételek mellett utalnak, inkább az egészséggel kapcsolatos fogalmak közé sorolhatók az állapotvizsgálatok adatai. A **terhelési vizsgálatok** a szervezet terhelhetőségét, teljesítőképességét mérik, így az egészségi állapot meghatározására is alkalmasabbak. Gyakran ugyanazokat a módszereket alkalmazzák, mint az állapotvizsgálatoknál (pl. pulzusmérés, vérnyomás, légzésmonitorozás), de fizikai aktivitás közben. A még nem túl beteg szervezet ugyanis nyugalomban gyakran az egészséges szervezetre jellemző paramétereket mutathatja, terhelhetősége azonban már lényegesen kisebb, nagyobb élettani változások szükségesek a szervezetben a teljesítmény fenntartása érdekében.

Fizikai aktivitás hatására a szervezet energia-igénye drasztikusan megváltozik, a nyugalmi homeosztatikus állapot felborul. Az energia-igény kielégítése érdekében változik a légzés, a keringés is, ezeket az azonnali változásokat hívjuk akut változásoknak. Ha a szervezetben rendszeresen ismétlődnek ugyanazok az élettani változások (rendszeres edzés), a szervezet gyorsabban és hatékonyabban reagál a kialakult energia-hiányra, azaz alkalmazkodik, adaptálódik. Mind az akut változások, mind a krónikus változások (rendszeres edzés hatására kialakult adaptáció), a szervezet minden anyagcsere folyamatát érintik, bár eltérő mértékben. A fizikai teljesítmény szempontjából az edzéselmélet elsősorban a keringési, légzési, illetve mozgatórendszeri változásokat szokta rendszeresen monitorozni.

5.1. A pulzus fogalma, mérése, változása életkorok szerint és az egészségi állapot változása hatására

A szívfrekvencia (pulzus, heart rate: HR) mérésére az orvostudományban gyakran az auszkultációs módszert használjuk. Ez gyakorlatilag a fonendoszkóppal/sztetoszkóppal való hallgatózás módszerét jelenti. A **pulzusszám** a szív percenkénti összehúzódásainak számát adja meg. Mérése az egyik legegyszerűbb és egyben leginformatívabb módszerek egyike, melyet az orvostudomány mellett korán felfedezett a sporttudomány/edzéstudomány is, s eszközkészletében a leggyakrabban alkalmazott adat. A pulzus sok csontos felszínen mérhető, de leggyakrabban az arteria radialis felett (csukló felett) vagy az arteria carotis communis (nyaki ütőér) felett mérjük. Megkülönböztetünk többféle pulzusértéket. A **nyugalmi pulzust** a nap folyamán bármikor mérhetjük öt perces pihenést követően. Ekkor 15 év felett, átlagosan $70(72) \pm 10$ ütés/perces (beat per minute: bpm) szívfrekvencia mérhető. Többféle mérési és számítási módszer ismeretes, de a leggyakrabban a minimum 15 másodpercig (secundumig, s), maximum 1 percig tartó méréseket ajánlják. (A szív ciklus hosszának, a pulzusszám változásának és ritmusosságának követésére az EKG és a pulzushullám terjedését mérő készülékek is alkalmasak.)

A HR az életkor előrehaladtával csökken, férfiakban alacsonyabb, mint nőkben. Ennek oka elsősorban a testi fejlődés ütemében keresendő. Újszülöttkorban a szív tömege 20-22g. Mivel a mérete nagyon kicsi, így a balkamra térfogata is lényegesen kisebb, mint a pubertáskor után mérhető balkamrai térfogat. Emiatt a mérhető nyugalmi HR 100-150 bpm, a szívtérfogat 20-25ml, verőtérfogat 5 ml. 12-13 éves korban a pulzustérfogat 85ml a fiúk 83ml lányok esetében. 15 éves korban a szív tömege 180g körüli érték, a verőtérfogat tovább nő. A balkamra térfogata és a nyugalmi pulzus értéke is a felnőtt értékeket megközelíti, vagy el is éri. Felnőtt férfiak verőtérfogata átlagosan 90ml felnőtt nőké átlagosan 75ml (Cain és mtsai, 2009). Az adatokból jól látszik, hogy prepubertás korban a két nem verőtérfogatában elenyésző a különbség, míg pubertás után a különbség a szívizom tömegében és így a verőtérfogatot tekintve is jelentős, melynek oka elsősorban a tesztoszteron hormon mennyiségi növekedése, s annak anabolikus hatása. A pubertás előtt a test hosszirányú növekedése elsősorban a törzs növekedésében figyelhető meg, s a törzs növekedésével a szív mérete is nő. A csúcs növekedési lökés (PHV) idején újabb jelentős méretváltozás tapasztalható, amely a szív méretének változásában is tetten érhető. A szív és a nagyerek mérete a PHV végére nagyon hasonló a kifejlett felnőttéhez. Fontos megjegyezni, hogy az

életkor előrehaladtával (regresszió folyamata) a szívizom tömege is csökken, így a pulzustérfogat is kisebb lesz, mint fiatal felnőttkorban.

Az **ébredési pulzus** vagy **alappulzusként** ismert szívfrekvencia közvetlenül ébredés után, még fekvő helyzetben mérendő. Ez a nap folyamán mérhető legalacsonyabb HR érték, általában 10 bpm-el alacsonyabb a nyugalmi pulzusnál. Nagyon informatív, mert a szervezet aktuális élettani állapotáról ad felvilágosítást. Hőmérsékletemelkedés, alváshiány, az izgalmi állapot változása stb., jól követhető az ébredési pulzusok ismeretében, ezért több sportágban az edzésnapló tartalmazza a mindennapi ébredési pulzust. A **maximális pulzus** (HRmax) a nagy terhelés hatására kialakuló szívfrekvencia érték. Ezt az állapotot az egyén genetikai jellemzői, aktuális edzettségi állapota, életkora, neme befolyásolják. Becslésére számtalan módszert ismerünk (ld. Lejebbb) ilyenkor tehát a várható maximális pulzus becslését végezzük. A maximális pulzus mérése megoldható terheléses vizsgálatok során vita maxima terhelésekben (ld. Lejebbb), illetve sporttesztterekkel. A szívfrekvencia három ujjal tapintandó és a következő általános információkhoz juthatunk: a HR szaporasága (szapora = frekvens, vagy ritka = rarus), az ütések erőssége (normális, kicsi = parvus, nagy = altus), ritmusossága (reguláris = az ütések szabályosan követik egymást, illetve irreguláris = szabálytalan), elnyomhatósága lehet normális, könnyen elnyomható (lágú = mollis) nehezen elnyomható (feszés = durus). A pulzust befolyásolja a szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszer aktuális állapota is. Sportolóknál a nagyobb kamrai térfogat stb. hatására kialakul a bradycardia, ennek hatására a HR kisebb érték lesz, a szív beidegzését nézve paraszimpatikus túlsúly alakul ki. Ez az állapot mindaddig fennáll, amíg a személy jó fizikai állapotban van. Az edzettség csökkenésével a kamrai összehúzódások hatásfoka is csökken, így a pulzus is emelkedik, a paraszimpatikus túlsúly megszűnik. Sportolóknál nem ritka a 40-50 bpm-es HR. Átlagemberekben a 40 bpm-es szívfrekvencia ájuláshoz és keringési elégtelenséghez vezet.

A várható HRmax kiszámításakor számtalan módszer használatos. Az orvosdiagnosztikában a 200-életkor (években) képlet használatos. A sporttudományban a leggyakoribb formula a 220-életkor, de ez gyakran pontatlan. Az egyik legmegbízhatóbb formulának a

$HR_{max} = 205,8 - (0,685 \times \text{életkor})$ bizonyult (HIV).

Bár itt is nagy a szórás, mégis átlagosan ez a módszer felelt meg arra, hogy utána az edzéspulzus célzónákat kalkulálni lehessen nagyobb beavatkozások nélkül (6. táblázat).

Életkor	5	10	20	30	50	70
Nyugalmi pulzus	80-90	70-80	60-70	60-70	55-65	50-70
Maximális pulzus	210-220	210-220	190-200	185-195	170-180	160-170

6. táblázat: A nyugalmi és várható maximális pulzus Berg-Lehmann-Keul (1986) nyomán különböző életkorokban

Tanaka és munkatársai (2001) azonban több kutatás eredményeinek összehasonlítása és statisztikai analízise után (metaanalízis) arra a következtetésre jutottak, hogy a HRmax becslésére a legpontosabb képlet:

$208 - (0,7 \times \text{életkor})$.

A képlet nemtől függetlenül a legpontosabb becslést adja a felnőtt populációban. A szerzők szerint ez a képlet a legmegbízhatóbb az egészséges idősök HRmax értékének becslésére is, mivel több képletben jelentősen alulbecslik az idősök HRmax értékeit. Az ébredési, a nyugalmi és a maximális pulzus is csökken az életkor előrehaladtával (6. táblázat). Ennek részben anatómiai okai vannak (szív térfogatának növekedése, kamrai falvastagság növekedése), részben pedig az idegrendszer, illetve a hormonrendszer változása. Meg kell jegyeznünk, hogy a 60. életév után a bradycardia jelensége a hormonrendszer és az idegrendszer regressziós folyamatainak következménye.

5.2. A pulzustérfogat, perctérfogat fogalma

A **pulzustérfogat, vagy verótérfogat** az a vérmennyiség, amely egy összehúzódás során ürül a balkamrából. A pulzustérfogat kiszámítható a végdiasztolés és a végszisztolés térfogat különbségéből. Az ejectios frakció (azaz mennyi vért pumpált ki a szív) kiszámítható a pulzustérfogat és a végdiasztolés térfogat hányadosából. Ezt megszorozva százszal kapjuk meg a pontos **ejectios frakció** értéket (tehát azt, hogy a kamrai térfogat hány százaléka ürült egy összehúzódás során). Egy átlagos felnőtt férfi szívet tekintve ez 70-80 ml. Értékét a nem, életkor, edzettségi állapot, genetikai tényezők egyaránt befolyásolják.

A **pulzusnyomás** az a nyomás, amely úgy számítható, hogy a szisztolés értékből, kivonjuk a diasztolés értéket. Így azt a nyomást számíthatjuk ki, amelyet a szívnek ki kell fejtenie a nagynyomású rendszerben ahhoz, hogy legyőzze a diasztolés nyomás értéket (ld.

3.1.1 szívciklus), illetve az a nyomás, amelyet a szívnek létre kell hoznia annak érdekében, hogy a vér továbbítódjon a nagyvérkörben. Ha az átlagos vérnyomás 120/80 Hgmm, akkor a pulzusnyomás 40Hgmm. Ha a vérnyomás 140/90 Hgmm, akkor a pulzusnyomás 50Hgmm, ami önmagában jó érték lenne, ha nem vennénk figyelembe a magas diasztolés nyomást, amely az erek falának rugalmatlanná válását jelzi. Ha valakinek a vérnyomása 110/70 Hgmm, akkor, mind az erek falának rugalmassága megfelelő, mind a pulzusnyomás ideálisnak tekinthető. Ha azonban az egyén vérnyomása 100/70Hgmm, akkor a pulzusnyomás is kicsi (30Hgmm), ami a keringés szempontjából már szintén nem előnyös. Egészséges emberben terhelés hatására nő a pulzusnyomás, úgy, hogy a diasztolés érték nem, vagy csak keveset változik. Ez tehát azt jelenti, hogy a vérnyomás szisztolés értéke emelkedik, míg a diasztolés változatlan marad.

5.3. A terhelés hatására kialakuló akut változások a keringésben (pulzusszám, pulzustérfogat, perctérfogat)

A vérkeringés fenntartásában fontos szerepet játszik több tényező is. A szív pumpáló működése mellett elengedhetetlen az állandó vértérfogat is. A zárt keringési rendszer biztosítja ennek lehetőségét. A vértérfogat változását két tényező befolyásolja. Egyrészt a HR, átlagos felnőttet tekintve 60-80 bpm, másrészt a pulzustérfogat, amely átlagos felnőtt szívet tekintve 70-80 ml. A kettő szorzata adja a perctérfogatot.

Nyugalomban egy orvosi átlagos pulzusszámmal és pulzustérfogattal számolva ($72 \text{ bpm} \times 70 \text{ ml} = 5040 \text{ ml}$) a perctérfogat felnőttek esetében kb. 5 l (7. táblázat). Könnyű, közepes és nehéz munkában megváltozik a pulzusszám és a pulzustérfogat is, ami a perctérfogat megváltozásához vezet. Kis terhelés esetén a szervezet elsősorban a pulzusszám megváltoztatásával reagál, így a perctérfogat növekedéséhez is ez a paraméter járul hozzá jobban (pl. $120 \text{ bpm} \times 70 \text{ ml} = 8400 \text{ ml}$). Ebben az esetben tehát a pulzusszám megváltozásával nőtt a perctérfogat (szimpatikus tónusfokozódás). Ha a terhelés kis intenzitással, de tartósan éri a szervezetet további pulzusszám növekedés és pulzustérfogat változás is tapasztalható, így a perctérfogat a nyugalmi érték kétszeresére növekszik (kb. 9000-9500 ml). Közepes intenzitású fizikai munka során mind a HR, mind a pulzustérfogat nő, emiatt a perctérfogat is jelentősebben változik (pl. $160 \text{ bpm} \times 80 \text{ ml} = 12800 \text{ ml}$). A pulzustérfogat növekedése egyéni varianciát mutat, amit részben az illető egészségi, részben pedig fizikai állapota határoz meg. Egészséges felnőtt férfiban a közepes terhelés hatására jelentősebb pulzustérfogat emelkedéssel is számolnunk kell, így a várható perctérfogat 18 l

körüli érték. Nehéz fizikai munkában a pulzusszám tovább nő, a pulzustérfogat szintén, de már nem jelentősen, a szívizomsejtek nyújtással szembeni erőközlési képessége csökken. Emiatt a szív és a keringés teljesítménye romlik. A várható maximális HR érték közelében mérhető a maximális munkapulzus. Átlagos ember várható perctérfogata 21-22 l körül van. Az edzettebb emberek 22-25 literes perctérfogattal, a legedzettebbek 25 liternél magasabb értékekkel számolhatnak, az ekkor mérhető pulzustérfogat 140 ml körüli (7. táblázat).

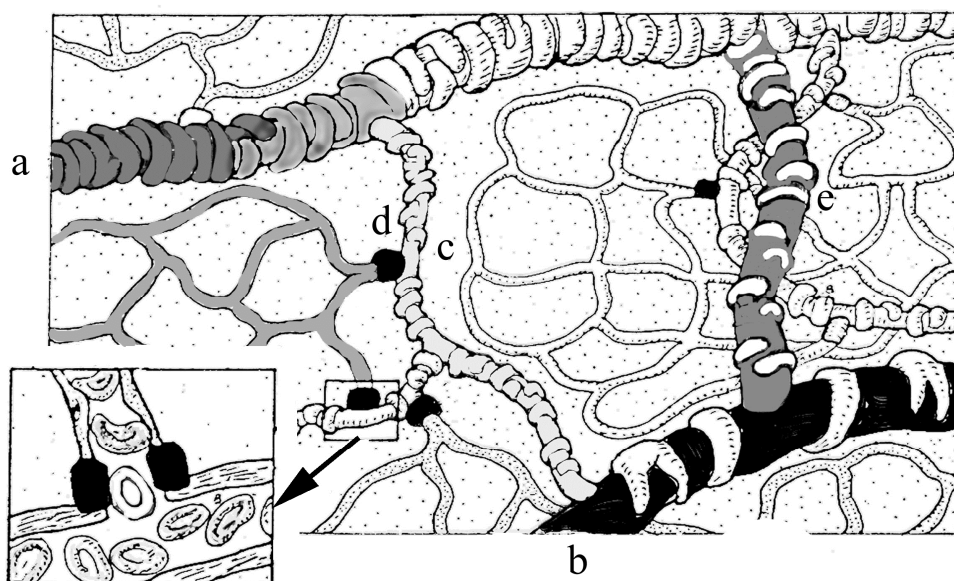
Funkció	Nyugalmi érték	Közepes munka	Nehéz munka
Perctérfogat (l)	5,2-5,4	17-19	25-30
Pulzustérfogat (ml)	70-90	140-170	140-150
Systoles nyomás (Hgmm)	120-130	160-180	200-220
Pulzusszám (bpm)	60-80	110-140	180-200

7. táblázat: Átlagos paraméterek a keringési rendszerben különböző intenzitású terhelések hatására. A nyugalmi értékek fekvő, illetve álló embereken változnak. Befolyásolja még a keringési rendszer változásait a nem, az életkor, a fittségi állapot is.

5.4. A szervezet véreloszlás nyugalomban és terhelés hatására

Mindez felhívja a figyelmet arra, hogy a kevés mozgás, ülő életmód rontja a vénás keringés hatékonyságát. Azok, akiknek hosszas ülés után dagad a lába, tapasztalatból tudják ezt. A mögötte meghúzódó mechanizmus a következő: A mozgás hiánya a vénákban csökkenti a véráramlás sebességét, növeli a véna adott szakaszon mérhető térfogatát. Ez a keringésváltozás visszahat a kapillárisokra is, ahol megnő a nyomás. Így a filtráció egyirányúvá válik, a vérplazma egy része a szövetközi térben marad. Ez csökkenti a keringésben levő plazmamennyiséget, de növeli a szövetközi tér víztartalmát is (ödéma). A helyzetet súlyosbíthatja, hogy a nyirokkeringés nem megfelelő működése következtében valóban jelentős vízmennyiség marad egyes testrészekben (többnyire az alsó végtagban). A

vénás rendszer vérraktár funkciót is betölt. Nyugalomban akár 1 l vér is raktározódhat a vénás rendszerben (nyugalomban a vénás rendszerben található a keringésben részt vevő vér több mint 60%-a), amely csak a közepes intenzitású mozgás hatására kerül vissza a keringés fő áramába. A vérraktár funkciót a szervekben lévő kapilláris keringés is segíti. A kapillárisok (kis egyéni keresztmetszet, nagy összkérsztmetszet) egyébként is nagy mennyiségű vér áramoltatására, raktározására képesek oly módon, hogy bennük a véráramlás sebessége kisebb, mint a nagyobb erekben, másrészt a metarteriolák, illetve shuntok működése tovább szabályozza a mikrokeringést. A metarteriolák (35. ábra) a venulák és arteriolák közötti összekötő erek, amelyekből kiágazódnak a kapillárisok. A kapillárisok kezdeti szakaszán sphinctereket találunk. Ezek záróizomként szabályozzák a kapillárisba vezető út keresztmetszetét. Ha kicsi a keresztmetszet a kapillárisokba kerülő vérmennyiség kisebb, csakúgy, mint az onnan visszajutó vér mennyisége. Ilyen módon az adott szervben „pang” a vér, raktározódik.



35. ábra: A mikrokeringés anatómiai felépítése, a kapilláriskeringés szabályozása (Kapit és mtsai nyomán, 1987)

a: arteriola; b: venula; c: metarteriola; d: sphincter; e: shunt

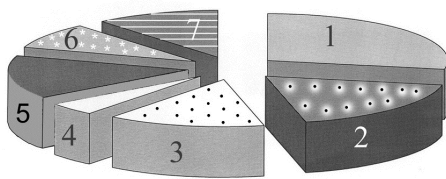
A kapillárisok rendszere a sphincterek mögött látható hálózat

Ha az adott szerv anyagcsereigénye megnő (pl. sportmozgás), a sphincterek kinyílnak, a vérátáramlás sebessége fokozódik, a raktározott vérmennyiség a keringés fő áramába kerül

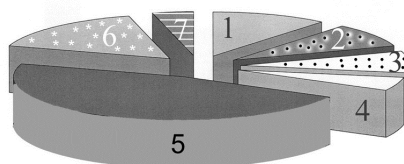
vissza. A shuntok a legrövidebb utat képezik a venulák és az arteriolák között, „rövidre zárják” a keringési kört az adott szervben. Ez akkor válik nagyon fontossá, ha szinte teljes nyugalomban van az adott szerv, illetve amikor nagyon nagy fizikai terhelés hatására olyan nagy vérmennyiség kerül az izomba, hogy az életfontos szervek kivételével szinte teljesen kiiktatódik egy adott szerv a megváltozott keringésből. A véreloszlás tehát a különböző erek nyitásával-zárásával szabályozható. Így terhelés hatására több vér áramlik a működő izmokba, különösen azon a területen, ahol az izomműködés erőteljesebb (ld. 36. ábra).

A vérmennyiség eloszlása az erekben a közlekedő edényekéhez hasonló. Minél több érbe áramlik be az adott vérmennyiség egy adott pillanatban, annál kisebb mennyiség jut egy adott érbe, így annál kisebb nyomást kifejtve az adott ér falára. Az erek falának szerkezete pedig nagymértékben befolyásolja az erek dilatációs képességét (tágulékonyságát, ld. 2.1.9. erek frellépítése), ily módon tovább szabályozva az erekben mérhető nyomást. A szisztolé során az aorta kezdeti szakaszán elhelyezkedő félhold alakú billentyű elzárja a koronáriák felé vezető utat, így a nagynyomású és viszonylag nagy vérmennyiséget továbbító rendszer nem roncsolja a koronáriák falát, nem károsítja azokat. A testbe jutó vérmennyiséget, azaz a perctérfogat eloszlását a működő szervek, szövetek aktuális energiaigénye határozza meg.

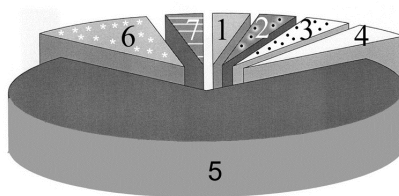
A nyugalomban lévő testben a perctérfogat (nagyjából 5 l) kb. 15%-a jut az izmokhoz (36. ábra). Ez mozgás hatására jelentősen megváltozik, nagy terhelés hatására akár a keringő vérmennyiség 80-90%-a eljuthat az izmokba. Ez a nyugalmi perctérfogat huszonötszöröse is lehet. A keringő vérmennyiség 20-22%-a a vesékbe jut, hiszen annak fontos szerepe van a méregtelenítésben és a vérnyomás-szabályozásban is.



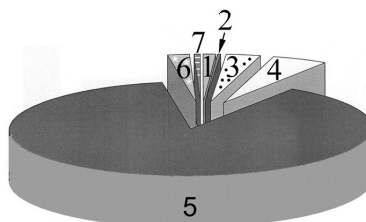
Véreloszlás az emberi szervezetben nyugalomban



Könnyű fizikai munka során



Közepes fizikai munka során



Nehéz fizikai munka során

36. ábra: A véreloszlás nyugalomban és annak változása terhelés hatására a különböző szövetekben, szervekben

Kis terhelésben ez némileg tovább fokozódik, nagy terhelés hatására pedig folyamatosan csökken a vesék vérellátása, emiatt akadályozva annak méregtelenítő funkcióját. A máj nyugalomban a veséknél is több vérhez jut (a keringő vérmennyiség több mint 25%-a), nagy terhelés hatására azonban ennek a szervnek a vérellátása is jelentősen csökken, a keringő vérmennyiség kb. 5%-a jut csak a májba, rontva ezzel mind a méregtelenítő, mind a szénhidrát szolgáltató funkcióját. Részben ennek tudható be, hogy nagy

terhelés hatására exponenciálisan nő a vér tejsav-szintje, hiszen a Cori-körben csak kis mennyiség fog visszaalakulni glükózzá. Ugyanakkor nem változik jelentősen az agy és a koronáriák vérellátása a nyugalmihoz képest, bármely fázisát is vizsgáljuk a terhelésnek. A bőr vérellátása jelentősen nő terhelés hatására. Ennek nagyon fontos szerepe van a hőleadásban, mivel, ha nő a maghőmérséklet, a fehérjék denaturálódhatnak, a fizikai aktivitás pedig jelentős hőtermeléssel jár. A bőrerek vazodilatációjának látható jelei is vannak (bőr pirulása). Nagy terhelés hatására azonban (vita maxima vagy ahhoz hasonló állapot), olyan nagy mennyiségű vér áramlik az izmokba, hogy a bőr vérellátása is romlik, így a színe fehér, sápadt lesz. Ha az illető nem fejezi be a nagy terheléssel járó fizikai aktivitást, a maghőmérséklet növekedése miatt a szervezet az életmentés érdekében csökkenti a teljesítményt (pl. ájulás). Ebben az esetben vért vonunk el az izmoktól, növeljük a létfontosságú szervek vérellátását, stabilizáljuk a szervezet hőháztartását is.

Az egyéb belső szervek vérellátása is jelentősen romlik terhelés hatására. Míg a táplálkozás megnöveli az emésztőrendszeren átáramló vér mennyiségét a felszívás biztosítása érdekében, addig a fizikai aktivitás hatására csökken a splanchnikus szervek vérellátása. Mindezeket elsősorban a szimpatikus idegrendszer érszűkítő hatásaként értékelhetjük (gyors vérnyomás-szabályozás, vasomotoros tónus). Az érkontrakció hatására kevesebb vér áramlik át ezeken az ereken, míg ugyanez a rendszer az izom és a szív ereit tágítja (a szív és az izmok szimpatikus idegrendszer által szabályozott működése).

Nyugalmi helyzetben a vízben állás növeli a vénás visszaáramlás mértékét (összenyomja a vénákat), emiatt rövid időre nő a szívbe visszajutó vér mennyisége, nő a vesék méregtelenítő szerepe, ami a vénákat érintő zavarok esetén kifejezetten jótékony hatású. Különösen igaz ez semleges, vagy enyhén hűvös/hideg vízben. Ugyanilyen hatás érhető el a szaunázást követő zuhanyozással, vagy vízbe merüléssel, valamint hosszú állás után fekvő helyzetben megemelt lábakkal is.

5.5. Adaptációs változások a keringési rendszerben

Az adaptációs változások a rendszeres (hetente többszöri, de legalább 3) és alkalmanként legalább 30 perces fizikai aktivitás hatására alakulnak ki. Az aerob állóképességet fejlesztő, illetve elsősorban izomtömeget növelő edzések eltérő hatásokkal járnak a keringés adaptációját illetően. Megfelelően tervezett, rendszeres fizikai aktivitás következményeként változások jönnek létre a szív szerkezetében is. Az adaptáció egyrészt a **szívizom** megerősödésével és **hipertrófiájával** jár. Ennek következményeként szisztolében

nagyobb erővel húzódnak össze a kamrák, nagyobb lesz az ürülő pulzustérfogat. A perctérfogat nyugalomban állandó (a HR és a pulzustérfogat szorzata), az egyik növekedése (pulzustérfogat) a másik csökkenésével jár (HR). Így az egyik legkönnyebben mérhető és tapasztalható változás a nyugalmi HR csökkenése. **Aerob edzések** hatására fontos adaptációs változás a kamrai térfogat növekedése, ami további nyugalmi HR csökkenést eredményez. Ennek következtében több éves rendszeres állóképességi edzés hatására kialakulhat a **sportszív**. A pumpafunkció változása nagyon fontos és könnyen tetten érhető, de legalább ennyire jelentősek az érrendszert érintő változások is. A keringésben tapasztalható nagy vérmennyiség változás a nyíróerők növekedésével jár. Ennek hatására a nagy érfelszíni súrlódás az erek belső falának tisztán tartásával lassítja az érrendszer öregedését (meszesedés hiánya), illetve a nyíróerők növekedése az erek simaizmainak aktuális állapotát is javítja, a vazodilatáció és a vazokonstrikció is hatékonyabbá és esetlegesen gyorsabbá is válik, ami az azonnali keringésváltozást hatékonyabbá teszi. Nemcsak az artériák, hanem a vénák fala is feszebbé válik (simaizom tónusfokozódás), ami a vénatágulatok kialakulását gátolja. Mivel az erek keresztmetszete gyorsan változik, a keringésben tapasztalható nyomásemelkedést azonnal vazodilatációval ellensúlyozza a szervezet, így az állóképességi sportot űzők nagyon ritkán szenvednek magas vérnyomás betegségben (hipertónia). A fizikai aktivitás hatására a kapillárisokban is változik a nyíróerő, valamint hipoxia is fellép, ez pedig hosszú távon új kapillárisok képződését (**kapillarizáció növekedése**) is serkenti.

5.6. A vitálkapacitás fogalma, mérése

A légcsere során a tüdő térfogata folyamatosan változik. Egy légvétel során nyugalomban férfiak esetében kb. 500 ml levegő áramlik be/ki a tüdőbe/ből. Ezt a mennyiséget **respirációs volumen**ként ismerjük (ld. 18. ábra). Fizikai aktivitás hatására a respirációs volumen térfogata megnő. Az erőltetett maximális belégzés hatására további kb. 2500 ml felvételére képes egy egészséges férfi. Ezt belégzési tartaléknak (belégzési rezerv) nevezzük.

Erőltetett kilégzés következtében még kb. 1000 ml levegő távozhat a tüdőből. Ez a kilégzési tartalék, vagy kilégzési rezerv. A respirációs levegő, valamint a belégzési és kilégzési tartalék együtt adja a **vitálkapacitást**. Ennek értéke egészséges felnőtt férfiak esetén 4000-4500 ml. A nők tüdeje kisebb, így vitálkapacitásuk is kb. 1 literrel kisebb érték, 3000-3500 ml. A vitálkapacitás és a reziduális levegő összege a tüdő térfogata kb. 5500-6000 ml. Rendszeres fizikai aktivitás következményeként, különösen fiatalokban nő a tüdő térfogata és

a vitálkapacitás is. Az 500 ml respirációs levegőmennyiség azonban nem teljesen hasznosul, az anatómiai holtterben (kb. 150 ml) nincs légzőfelület, a felvett levegő kilégzésnél kiáramlik a tüdőből. A felvett 500 ml levegőből valójában 350 ml O₂-tartalmát hasznosítjuk (alveoláris ventiláció). Mivel a levegő 21%-a oxigén a hasznos respirációs levegő kb. 73,5 ml felvehető oxigént tartalmaz.

A légzőrendszer aktuális állapotának meghatározásához a spirometria használatos, amely egy állapotvizsgálat. A tüdő légtereinek megállapításánál az egyik legfontosabb paraméter a ventiláció során kicserélődő levegőmennyiség, a respirációs levegő (ld. spirogramm, 18. ábra). A ventiláció az a levegőcsere, amely tengerszint feletti magasságon az 1 atmoszféra nyomású légtér és a tüdő között történik. A levegő a nyomásviszonyok alapján diffúzióval áramlik a nagyobb nyomású hely felől a kisebb nyomású hely felé. Tehát belégzéskor a tüdőbe, kilégzéskor a légtérbe áramlik a levegő.

A légzésfunkció mérések során az abszolút értékeken kívül (pl. vitálkapacitás, 8. táblázat) vizsgálni kívánjuk az esetleges obstrukciókat is. Az obstrukció tulajdonképpen nehézlégzést jelent, melynek számos oka lehet. A tüdő légtereinek mérése segít feltérképezni az esetleges eltérések valószínű okait, úgy, hogy a vizsgált személynek ez semmiféle kellemetlenséget nem okoz.

A tüdő aktuális állapotának vizsgálatára spirométereket használnak. A modern készülékek automatikusan elvégzik a referenciaértékekkel való összehasonlítást. A referenciaértékeket, nem, életkor, testmagasság és az utóbbi időben a testtömeg alapján állapítják meg. Emiatt a komputerbe betáplálják a vizsgált személy aktuális adatait, majd erőltetett belégzést követően a személy szájába veszi a csutorát, s erőltetett kilégzést végez. Vannak készülékek, amelyekkel több egymást követő belégzést és kilégzést is vizsgálnak. A legegyszerűbb készülékek a következő adatokat szolgáltatják:

Mért paraméter	Mért érték	A referenciaérték százaléka (%)
FVC (l)		
FEV1 (l/s)		
FEV1%		
PEF (l/s)		
2575 (l/s)		
FET (s)		

8. táblázat: Az egyszerű spirométerek által szolgáltatott adatok. A rövidítések értelmezését lásd a szövegben

A kapott adatok a következőket jelentik:

FVC: Erőltetett kilégzési vitálkapacitás (Forced Vital Capacity); az erőltetett belégzés és kilégzés közti térfogatváltozás literben, mérését maximális belégzési helyzetből kezdjük. Érdemes legalább háromszor mérni, majd a legjobb értéket feljegyezni. Átlagos értéke egy 14 éves gyerek esetében 2500-2800 ml, felnőtt nőkben 3-4 l, férfiak esetében 4-5 l. A FVC szoros összefüggést mutat a testmérettel és a mellkas méretével.

FEV1: Kilégzési térfogat az első másodpercben (Forced Expiratory Volume in the 1st second), mértékegysége l/s. A legfontosabb paraméter az **obstruktív** légzőszavar kimutatására. Ha kilégzési zavarok jellemzik a vizsgált személyt, az FEV1 értéke jelentősen csökken, általában az FVC értékének csökkenése mellett. Az iskoláskorú populációban is a szezonális pollenallergiák, illetve az asztma meglétére utal.

FEV1% (FEV1/FVC): Az első másodpercben kilélegzett levegő hány százaléka a vitálkapacitásnak, más néven a **Tiffeneau-index**. Az obstruktív légzőszavarok legérzékenyebb mutatója. Fiatal felnőtteknél a referenciaérték 80% fölött van. Az életkor előrehaladtával ez az érték csökken, 65 éves kor felett már 65% a határérték. Az FEV1% jelentősen csökken abban az esetben, ha a kilégzés akadályozott. A kilégzés nehezzé válik pl. asztma esetén, mivel a bronchusok, bronchiolusok szűkületének következtében megnő az ellenállás a légutakban. Megfelelő mennyiségű levegő kifújása csak erőltetett kilégzéssel lehetséges. Az ellenállást tovább növeli a hörgők belső falát borító nyák. Asztmás roham esetén a beteg nem képes ezt az ellenállást legyőzni, tehát nem képes megfelelő kilégzésre, ennek következtében pedig friss levegő belégzésére sem. Asztma esetén tehát mindig a kilégzés vizsgálata utal az obstrukció mértékére. Ha a spirometriás vizsgálat során az FVC valamivel kisebb az átlagosnál, a kilégzés elnyújtott és a FEV1% kisebb, mint 70%, abban az esetben asztmáról beszélhetünk. Hasonló tünetek jelentkezhetnek kezeletlen pollenallergia következtében is. A Tiffeneau-index 80% fölötti értéke is betegségre utalhat. **Fibrózis** esetén ugyanis jelentősen megnő a tüdő kötőszövetes állománya, minek következtében a tüdő rugalmatlanná válik. Ebben az esetben a belégzés válik nehezítetté, s a tüdő a kilégzés során „összeesik”, rendkívül gyorsan csökken a térfogata. Fibrózis esetén tehát jóval kisebb a vitálkapacitás az átlagosnál, ugyanakkor az FEV1% 90% körüli érték. Azon sportágak képviselőinél, ahol fontos a gyors kilégzés, szintén nőhet az FEV1%, de többnyire 90% alatt marad.

PEF: Kilégzési csúcsáramlás (Peak Expiratory Flow), mértékegysége l/s. A kilégzésnek arra a szakaszára utal, ahol az erőltetett kilégzés erejét vizsgálhatjuk. Értéke emiatt nagyobb, mint a vitálkapacitásé.

2575: Maximális közép-kilégzési áramlás, a FVC 25% és 75% közé eső részének kilégzése során keletkező átlagos áramlási sebesség, mértékegysége l/s. Elsősorban a kislégúti (bronchiolusok) obstrukciójának jelzője. Alsó határértéke általában $FVC \times 0,65$ l/s.

FET: Az erőltetett kilégzés ideje (Forced Expiratory Time), mértékegysége secundum (s). Egy egészséges ember átlagos FET értéke kb. 3s. Légúti obstrukció esetén a FET értéke megnő, 5s-nál hosszabb ideig tarthat. Abban az esetben, ha a légzési idő szabályozásával javítható a teljesítmény, a sportolók kilégzési ideje 3s-nál rövidebb lehet, bizonyos mozgásformák esetében viszont jelentősen meg is nőhet (pl. jóga).

A referenciaértékektől való jelentős eltérést a készülékek többnyire külön jelzik.

A légzésfunkciók vizsgálatakor fontos lehet a maximális akaratlagos légzési térfogat (maximal voluntary ventilation, MVV). Az MVV-t úgy mérik, hogy 15 s-ig szapora erőltetett légzést végeztetnek az egyénnel, majd ebből kiszámítják az 1 percre jutó légzési perctérfogatot. Az így kapott érték kb. 25%-al nagyobb, mint a maximális terhelés során mérhető légzési perctérfogat. Fiatal férfiaknál a MVV átlagosan 140-180 l/min, míg nőknél 80-120 l/min.

5.7. A vitálkapacitás változása az életkorok előrehaladtával és terhelés, edzés hatására

Serdülőkorban a hirtelen hosszirányú növekedés következtében megnő a törzs mérete, ennek következtében pedig a mellkas és a tüdő térfogata is. A légcső hossza megnő 12-13 éves korban, hasonlóképpen a bronchusoké is és azok szövettani szerkezete is jelentősen változik ebben az életkorban. Pubertáskorig főként elasztikus rostokat tartalmaznak, serdülőkorban azonban megnő a bronchusok rugalmas rost tartalma is. Normális esetben a méretbeli és a szövettani változás párhuzamosan zajlik. Ha azonban a rugalmas rost tartalom növekedése késik, a tüdő sérülékennyé válik és már közepes fizikai terhelés hatására is összeeshet, kialakulhat légmell. Az alveolusok száma már a születéskor adott, a test és a tüdő méretének növekedésével azonban az alveolusok mérete is nő. Mindezek következtében mérhető vitálkapacitás növekedés tapasztalható.

A rendszeres aerob jellegű fizikai aktivitás gyermekkortól bármely életszakaszban vitálkapacitás növekedéshez vezet. A legjelentősebb változás éppen serdülőkorban érhető el (spontán növekedés + fizikai aktivitás), ezért ezt az időszakot a légzésfejlődés szempontjából

szenzitív időszakként ismerjük. Ha 11-12 éves korban nem végez rendszeres fizikai aktivitást a serdülő a genetikai potenciálját a tüdőtérfogat szempontjából már nem érheti el. A 9. táblázatban látható, hogy a gyermekek testtömege és testmagassága alapján számított vitálkapacitás és az ugyanazoknál mért értékek eltérnek egymástól. A rendszeresen sportoló gyerekeknél azonban megfigyelhető, hogy 12 éves korban a számított és a mért érték már megegyezik. Ez a növekedésen kívül annak is köszönhető, hogy a légzőizmok megerősítése önmagában is funkciójavulást okoz. A vitálkapacitás növekedése nemcsak mozgással, hanem rendszeres énekléssel és fúvós hangszereken való zenéléssel is elérhető. Az operaénekesek vitálkapacitása eléri, esetenként meghaladja az élsportolókét. A légzésfrekvencia gyermekkortól a pubertás végéig csökken a respirációs levegő mennyiségének növekedésével párhuzamosan.

Életkor	Mért vitálkapacitás (ml)	Számított vitálkapacitás (ml)	Sportolói vitálkapacitás (ml)
10	1960	2100	2050
11	2040	2400	2290
12	2130	2500	2530
13	2430	2900	2920
14	2780	3400	3470
15	3120	3600	3980
16	3350	3800	4100
18	3520	4100	4316

9. táblázat: A számított vitálkapacitás a testtömeg és a testmagasság alapján fiatalokban.
(Mészáros, 2003)

Felnőtt nők vitálkapacitása átlagosan 3-4 l, a férfiaké 4-5 l. Ettől az élsportolók vitálkapacitása sem tér el szignifikánsan. Érdekes módon nemzetközi irodalmak szerint a közép- és hosszútávfutók vitálkapacitása nem tér el az átlagostól, labdarúgók vitálkapacitását kisebbnek találták, mint az azonos termetű átlagemberekét. Érdemi eltérést csak úszóknál, illetve egyéb vízisportot űzőknél találtak. Ennek fő oka, hogy a vízben nehezített a belégzés, (felhajtóerővel szemben) ezért nagyobb erőt kell kifejteni a mellkas mozgatása érdekében. Hosszútávon ez a mellkas, illetve a tüdő térfogatának növekedéséhez vezet. Jelentősen nagyobb vitálkapacitást figyeltek meg sífutóknál is. Ha valaki tartós fizikai aktivitást végez,

előbb-utóbb légszomjat tapasztal. A tartós szubmaximális terhelés jelentős erő kifejtést igényel a légzőizmoktól is. Mivel a légzőizmokat harántcsíkolt izom építi fel, fáradékonyak. A rendszeres nagy terhelés tehát a légzőizmok adaptációját okozza, ugyanazt a légteret a sportoló hosszabb ideig képes kihasználni. A vitálkapacitás tehát nem az edzettség mutatója, kizárólag a tüdő és a légutak aktuális állapotára utal.

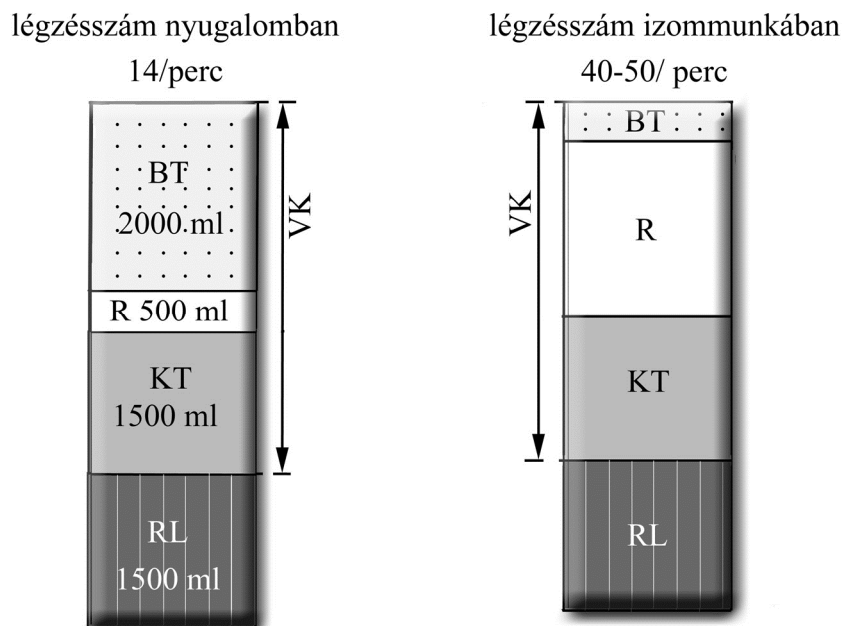
A tüdő légtereinek megfelelő kihasználása szempontjából nagyon fontos a „hasi légzés”. Légcseré akkor is kialakul, ha a rekeszizom csak kissé laposodik el belégzés közben. Ennek következtében természetesen a respirációs levegő mennyisége is csökken (pl. 500 ml helyett csak 450 ml). Az anatómiai holtter nagysága nem változik (150 ml), tehát az egy légcseré során hasznosuló levegő mennyisége jelen példában csak 300 ml, az abban lévő hasznosítható O₂ mennyisége 63 ml. A hasi légzés rendszeres fizikai aktivitás hatására spontán kialakul, egyébként tanulni kell. Ez különösen igaz a lányokra, akiknek légzése felszínebb. Megfelelő légzőgyakorlatokkal (jógalégzés, Pilates légzés) azonban ez a mozgás tanítható testnevelés órán is. A felületes légzés a tüdő felső felét érinti csak, így az alsó 2/3-ban nem történik valódi gázcsere. A tüdő vérraktárként azonban éppen az alsó részében funkcionál. Ezért a hasi légzés nemcsak a megfelelő légcserét, hanem a gázcserét is szolgálja. A rekeszizom kisgyermekkorban magasabban helyezkedik el, mint a pubertás korban, vagy azután. A rekeszizom kupolája gyermekkorban a 3-4. borda, míg fiatal felnőttkorban kb. az 5. borda magasságában helyezkedik el. Megfelelő mozgásával a respirációs volumen jelentősen növelhető.

5.8. A légzési perctérfogat fogalma, kiszámítása

Nyugalomban a percenkénti légvételek száma (**légzés frekvencia**) 12-18 (37. ábra). Normális ütemű légzés esetén a belégzés ideje kb. 2s, a kilégzésé 3s, a két folyamat között általában nincs szünet. A légzés szabályos, ritmusos. Ezt hívjuk **eupnoe**-nak. Ha két légvétel között hosszabb szünet tapasztalható (6-60s) **apnoe**-ról beszélünk. A légzésszám (respirációs ráta, RR) vizsgálata nem olyan egyszerű, mint a HR vizsgálata, mivel a légvételek száma akaratlagosan nagyon könnyen változtatható. A tudatos légzésszabályozás teszi lehetővé az éneklést, egyes hangszereken való muzsikálást, de sok sportmozgást is. A vizes sportágakban pl. az egyik legfontosabb feladat a légzésszám és respirációs volumen tudatos befolyásolása.

A **légzési perctérfogat** az egy perc alatt felvett levegő mennyisége, amely kiszámítható a légvételek számából (RR) és a respirációs levegő mennyiségéből. Egy átlagos

férfi esetén nyugalomban ez tehát $14 \times 500 = 7000$ ml. Az anatómiai holtér figyelembe vétele esetén a hasznosuló levegő mennyisége $14 \times 350 = 4900$ ml.

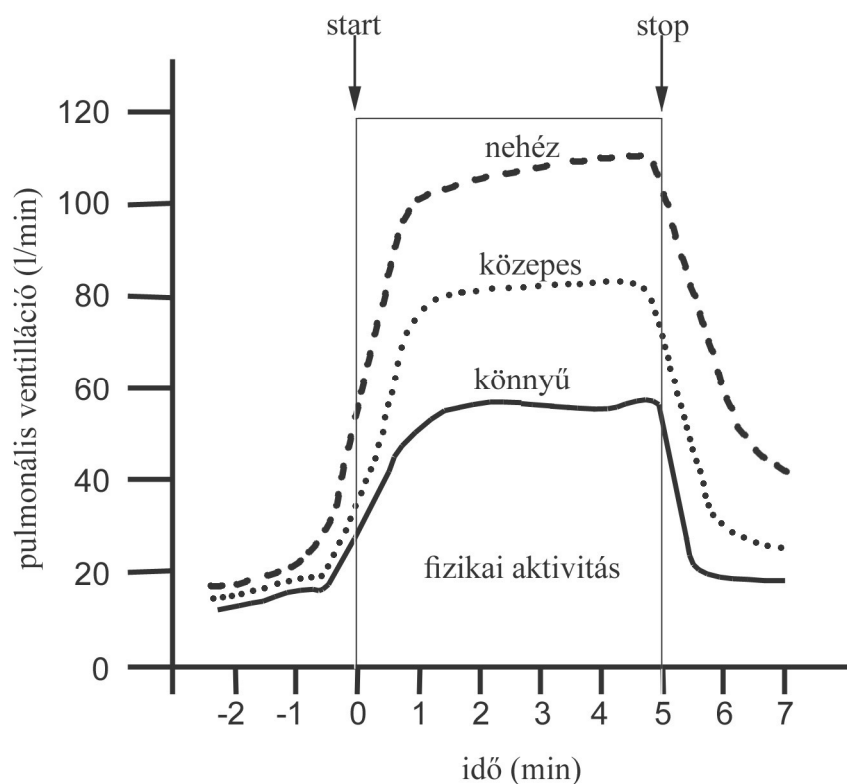


37. ábra: A légzésszám és a légcseré jellemzői nyugalomban és terhelés hatására

5.9. A respirációs volumen és a légzési perctérfogat változása terhelés hatására

Fizikai aktivitás hatására nő a légzésfrekvencia, extrém esetben akár 42 is lehet, nő a respirációs levegő mennyisége is (37. ábra). Ez a **hiperventilláció**. Eupnoe esetén a vitálkapacitás kb. 10-12%-t használjuk ki, hiperventilláció esetében ez kb. 50%. Tartós fizikai aktivitás hatására (pl. hosszútávú futás) erőltetett kilégzés is segíti a gyors légcserét, ennek ellenére a teljes vitálkapacitás kihasználása lehetetlen a nagy légzésfrekvencia miatt. Ha a hiperventilláció meghaladja a 45-t, általában ájulás következik be, mert a rendkívül gyors légcseré miatt a gázcseré nem jön létre (túl rövid az idő az O_2 diffúziójához), az oxigénhiányos állapot pedig eszméletvesztést okoz.

Hiperventilláció esetén a légzési perctérfogat jelentősen megnő. Ha a RR 40, a respirációs levegő mennyisége pedig 2000 ml, a légzési perctérfogat 80 l (38. ábra). Ez a levegőmennyiség egy kis-közepes terhelés esetén biztosítja a szervezet oxigén-igényét. Extrém esetben a légzési perctérfogat akár 200 l-re is emelkedhet.



38. ábra: A fizikai aktivitás hatására nő a légzési perctérfogat. Könnyű, közepes és nagy terhelés hatására jelentős légzési perctérfogat változások mérhetők.

Terhelés közben a vitálkapacitás nem nőhet, hiszen a tüdő térfogata nem változik. Tartós nagy terhelés hatására azonban a mérhető vitálkapacitás csökken. Ennek oka, hogy a légzőizmok elfáradnak (erőltetett kilégzés is kialakul), a mellkas maximális tágulását már nem képesek biztosítani. Ez azonban időleges, a fáradás megszűntével az eredeti vitálkapacitás értékek mérhetőek. A 6 éves gyermekek nyugalmi légzési perctérfogata 2,5-3 l. Nagy terhelés hatására ez kb. nyolcszorosára növekszik, ami még mindig jelentősen kisebb, mint a felnőttek terhelés hatására mérhető légzési perctérfogata. Ha azonban ezt az értéket testtömegre vonatkoztatva értékeljük, az értékek a két korosztályban hasonlóak lesznek (ld. 6.5. relatív aerob kapacitás).

Ellenőrző kérdések:

1. Mi az állapotvizsgálat és a terheléses vizsgálat definíciója, mi a lényeges különbség közöttük?

.....

2. Mi a nyugalmi és az alappulzus?
.....
3. Hogyan becsülhető a várható maximális pulzus?
.....
4. Mi a keringési perctérfogat, hogyan változik terhelés hatására?
.....
5. Mi a légzési perctérfogat, hogyan változik terhelés hatására?
.....
6. Mi a Tiffeneu-index és mit jelez?
.....
7. Mekkora a bal kamra térfogata, hogyan változik terhelés hatására?
.....
8. Hogyan változik a bőr és az izom keringése terhelés hatására?
.....
9. Hogyan változik a mikrocirkuláció terhelés hatására?
.....
10. Hogyan változik a vitálkapacitás mért és számított értéke gyermekek fejlődése során?
.....
11. Mi az eupnoe és apnoe?
.....
12. Hogyan változik a légzési perctérfogat terhelés hatására?
.....
13. Mi a különbség az ébredési és a nyugalmi pulzus között?
.....

6. A terheléses protokollok kialakítása és végrehajtása sportélettani laboratóriumban

A technikai fejlődés és a tudományos érdeklődés következtében egyre több, korábban csak orvos-diagnosztikában, vagy az iparban használatos módszer, eszköz, műszer került az edzéstudománnyal foglalkozó szakemberek látókörébe. A pontosabb, gyorsabb mintavételnek köszönhetően már nemcsak a statikus mérések, hanem a dinamikus monitorozás, a mozgás, teljesítés folyamán történő adatgyűjtés is egyre fontosabbá vált. Az orvos-diagnosztika és a sporttudomány közös érdeklődési területe lett (bár nem ugyanazon a mintán), a vizsgált személyek teljesítőképességének megállapítása, a terhelés közben kialakuló élettani és anyagcsere változások mérhetővé tétele.

6.1. Az ergometria és a spiro-ergometria alapjai

Ezek a vizsgálatok nagy megterhelést jelentenek a vizsgált személy szervezetének, ezért több feltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy egy ilyen vizsgálatot valóban elvégezhesse egy laboratóriumban.

Fontos, hogy a vizsgált személy saját akaratából vegyen részt a vizsgálaton (1972, Helsinki egyezmény), lehetőleg egészséges legyen, könnyű sportruházatot viseljen. A valódi terheléses vizsgálatokon a hölgyek a menstruáció első három napjában nem vehetnek részt. A vércukorszint vizsgálathoz 12 órás éhezés után, éhgyomorra kell érkezni.

A terheléses vizsgálatok lebonyolítása, csak megfelelő szakszemélyzet jelenlétében lehetséges. Ez sportorvos, kardiológus, vagy más szakorvos aktív jelenlétét feltételezi, valamint az újraélesztésben jártas segédszemélyzet jelenlétét, közreműködését is.

A létesítményi feltételek betartása is nagyon fontos. Az ÁNTSZ előírásoknak megfelelő élettani vizsgálatra alkalmasnak minősített helyiség álljon rendelkezésre, megfelelő szellőzéssel, nemenként megfelelő tisztálkodási és kézfertőtlenítési lehetőséggel, a személyiségi jog figyelembe vételével (fényáteresztő, de belátást nem adó ablakok); biztonságos, érintésvédelemmel ellátott elektromos berendezések, elzárható vizsgálati eszközök (különös tekintettel a szűrő és vágó eszközökre); a veszélyes hulladék megfelelő tárolási és megsemmisítési lehetőségével (használt tűk, véres vatták, stb.). Az eszközöknek hibátlannak, a vizsgálni kívánt paraméter megbízható mérésére alkalmasnak kell lenniük.

6.2. Az EKG változása terhelés hatására

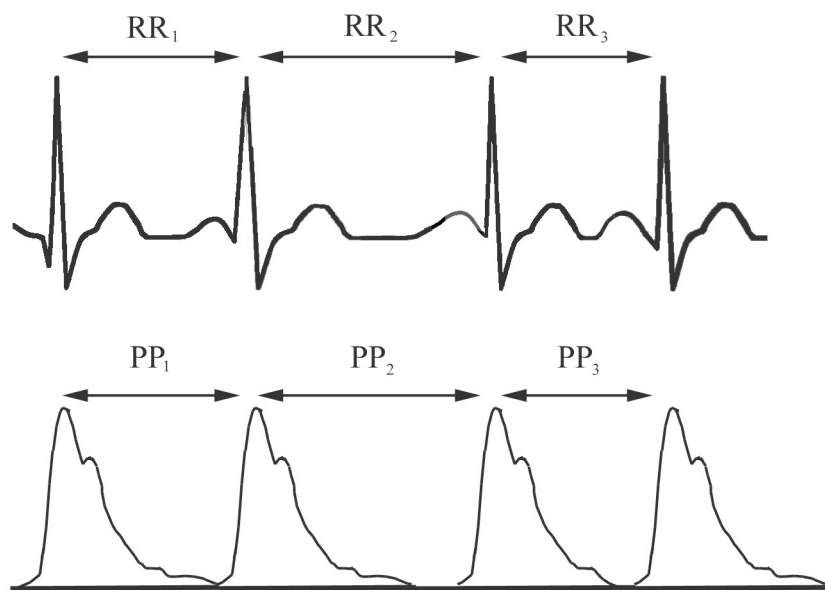
A szív szerkezeti változása nemcsak betegségekben, hanem edzés hatására is bekövetkezik. Általában különbséget teszünk a dinamikus és statikus izommunkák szívre kifejtett hatásai között, bár ezt többen vitatják. A dinamikus, nagy aerob kapacitást igénylő sportágak esetén a szív térfogata is jelentősen változik. Ez elsősorban a bal kamra térfogati növekedését jelenti. Így a kamra lényegesen több vért tud kipumpálni magából egy összehúzódásra. Ez a szív működést hatékonyabbá teszi. Természetesen mindez csak a kamra falának megvastagodásával lehetséges. Ez az EKG görbén magasabb és valamivel szélesebb QRS-hullámot jelent (ld. 3.1.2. fejezet). Erősportok esetén azonban előfordulhat, hogy a kamra fala igen jelentősen megvastagszik a térfogat jelentős megváltozása nélkül. Ez a QRS-hullám méretének növekedésével jár ugyan, de térfogati növekedés hiányában a szív működése nem lesz hatékonyabb. Ez az elváltozás elsősorban a súlyemelőket és testépítőket szokta érinteni, akiknél az igen jelentős mellkasi prés következtében a nagy nyomás elviselésére vastagszik meg a kamrák fala. Igen jelentős falvastagodás figyelhető meg különböző doppingszerek (pl. szteroidok) rendszeres fogyasztásával is. Ez tehát szintén látható elváltozásokat eredményez a rutin EKG görbén is. Főleg akkor válik ez egyértelművé, ha echocardiográfiás vizsgálatokkal is kiegészítik a méréseket.

6.3. Pulzusmonitorozás, pulzusváltozások értelmezése terhelés hatására

A pulzus (HR) vizsgálatára a tapintásos és auszkultációs módszereken túl megbízható és folyamatos követési módszereket dolgoztak ki. Ezek a pulzusmonitorok (sporttesztterek) nemcsak a pulzusszám pontos mérésére alkalmasak, hanem a tudományban eddig leírt egyenletek segítségével a pulzusszámok alapján meghatározzák az illető energia-szükségletét, oxigén-felhasználását, sebességét, stb. Képesek az adatok tárolására, grafikus megjelenítésére, valamint a szervezet vegetatív idegrendszeri állapotának meghatározására. A mintavétel ideje már beállítható, így az 1 secundumonkénti, 5 secundumonkénti mintavétel is nagyon informatív lehet. A valódi munkapulzus folyamatos kijelzésén kívül az edzési célzóna is beállítható, vagy figyelhető a pulzustartalék is.

A rendszeres edzés következményeként az egyik könnyen mérhető változás az ébredési és a nyugalmi HR csökkenése. Ez a vegetatív idegrendszer működésében is tapasztalható változást okoz. A nyugalmi HR csökkenése a paraszimpatikus túlsúly kialakulásának köszönhető. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a vegetatív idegrendszer

szimpatikus idegrendszeri szakasza nem működik megfelelően. A modern sporttesztetek egyik legnagyobb előnye éppen az, hogy a vegetatív idegrendszer aktuális állapota folyamatosan monitorozható. A pulzus, a szív ciklusok jelzésére alkalmas. A szív ciklusok hossza azonban, nagyon keveset ugyan, de változik, éppen a vegetatív idegrendszer állapotának függvényében (39. ábra).



39. ábra: A szív ciklusok hosszának változása, amely mind az EKG götbén, mind a pulzushullám görbén látható. RR: a szív ciklus hossza (RR távolság) az EKG görbén; PP: két pulzushullám között mérhető időbeli távolság.

A spontán pulzus variabilitást három élettani tényező határozza meg. Az egyik a vérnyomás ingadozásaiból és így a vérnyomás-szabályozás változásaiból származik, a másik a hőszabályozás, s a harmadik tényező a légzés. Az "ütésről-ütésre" változás az R-R távolságok változásával jár, ezt hívjuk RR variabilitásnak (Heart Rate Variability, HRV). A HRV pulzusmonitorokkal való vizsgálata ma már egy fontos paraméter az edzettség megállapításához. A HR Hz-ben való megadása után különböző frekvenciasávok mérhetőek. A High Frequency (nagy frekvenciájú) $\geq 0,15$ változások, a légzésváltozásnak (légzési aritmia) köszönhetők, a Low Frequency (alacsony frekvenciájú) sáv $0,004-0,15$ Hz, ami az artériás nyomás változása miatt alakul ki, és a Very Low Frequency (nagyon alacsony frekvenciájú) $\leq 0,04$ Hz, ami a perifériás vazomotoros aktivitásnak köszönhető (Perini és

Veicsteinas 2003). A 0,15 Hz fölötti változások kizárólag a Vagus-tónus (X. agyideg) változásaiból adódnak, míg az alatta levőket a szimpatikus és paraszimpatikus hatások együtt alakítják ki. Emiatt a LF/HF arány a két rendszer aktuális viszonyát mutatja meg.

6.4. A sportélettani terheléses protokollok alapelvei

A sportélettan tulajdonképpen az edzettség élettana. Az edzettség elérése kívánatos, változásának követése pedig elengedhetetlen egy sportoló életében, akár rekreációs, akár élsportoló az illető. Az **edzettség**, *a szervezet olyan pszichofiziológiai harmóniája, mely egyidejűleg jelenti az ember optimális teljesítőképességét, szilárd egészségi egyensúlyát és lelki, szellemi teherbírását. Az edzettség kialakulása mind fizikai, mind erkölcsi-akarat* tulajdonságok fejlődését jelenti (Frenkl, 1985). Az edzettséget hibásan az állóképesség fogalmával is azonosítják. Ezek kétségtelenül szoros összefüggésben állnak egymással, a két fogalom közé azonban egyenlőség nem tehető. Az állóképesség a szervezet elfáradással szembeni ellenálló-képessége. Attól függően, hogy mikor következik be a teljesítmény romlása, beszélhetünk: rövidtávú (45 s – 2 min), középtávú (2 – (5)9 min) és hosszútávú ((5)9 min<) állóképességről. Köthetjük az állóképességet bizonyos mozgásfajtákhoz is, így létezik például az ugró állóképesség, erő-állóképesség, gyorsasági-állóképesség. Ezeket összefoglaló néven kondicionális képességeknek hívjuk. A sportélettani vizsgálatokat az erőnlét, a kondíció, a sportági felkészültség felmérésére végezzük. A nyert információkat használhatjuk (i) sportági kiválasztáshoz, (ii) sportolók edzés-hatékonyságának növelésére, (iii) az edzés módszer hatékonyságának ellenőrzésére, (iv) az esetleges megbetegedések korai kiszűrésére, illetve megelőzésére, (v) sérülések utáni rehabilitációs programok kidolgozásához illetve azok hatékonyságának ellenőrzésére, és nem utolsósorban (vi) tudományos kutatás céljából.

A **valódi terheléses vizsgálatok** adják a legpontosabb adatokat egy személy aktuális állapotáról (kondíciójáról). Ezek a vizsgálatok alkalmasak arra, hogy pontosan megmutassák a vizsgált személy élettani paramétereit (pulzus, vérnyomás, EKG stb.), közben mérjék az illető aerob, illetve relatív aerob kapacitását, fizikai teljesítményét is. Képet kaphatunk az illető izomteljesítményéről is, hiszen a teljesítés során mérik az egyes szintekhez tartozó teljesítési időt és sebességet, vagy Wattban mért teljesítményt is. Az eredményeket megfelelően ábrázolva (pl. sebesség és relatív aerob-kapacitás értékek, ld. 43. ábra), megállapítható, hogy milyen paraméterek mellett érte el a vizsgált személy a relatív VO_{2max} értékét.

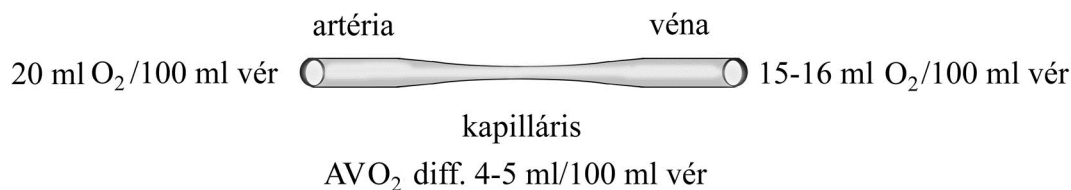
Mivel a szervezet oxigén felvétele szoros összefüggésben áll (egyenes arányosság) az energiaforgalommal, valóban meg tudjuk mérni a vizsgált személy aerob munkavégző képességét. Ennek ismeretében meghatározható milyen körülmények között kell edzeni a további fejlődés érdekében. Mivel lehetőség szerint a valódi maximális teljesítmény meghatározása a cél (vita maxima), a vizsgálatok végrehajtása nagy körültekintést igényel, számos fontos orvos-egészségügyi szabály betartása mellett.

6.5. A maximális oxigénfelvevő képesség jelentése, mérése

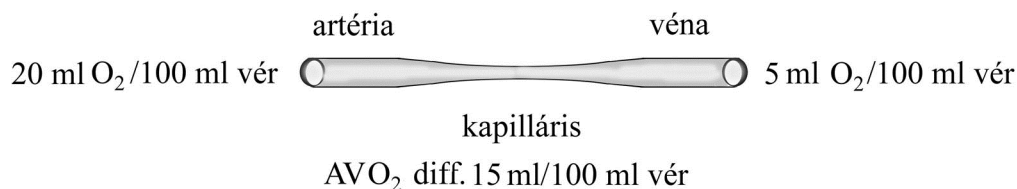
A **maximális oxigénfelvevő képesség** a szervezet azon munkavégző képessége, amelyet a vizsgált személy megfelelő oxigénellátás mellett képes elvégezni. Számos szinonimáját ismerjük, pl. aerob kapacitás, $VO_2\text{max}$. Az oxigénfelvevő képességet alapvetően az edzettség befolyásolja. A megfelelő oxigénfelvételhez nem nagy tüdő (vitálkapacitás), hanem a vér megfelelő oxigénszállító-, valamint az izomsejtek oxigén-felhasználó képessége szükséges. A megfelelő szállító funkció függ:

- a vér vörösvértest-számától (hematokrit),
- a vörösvértest oxigénfelvevő képességétől (hemoglobin mennyisége, az alveolusokból a vérbe kerülő oxigén 98%-a hemoglobinhoz kötve szállítódik).
- az izmok kapillarizáltságától,
- a mitokondriumok számától (a felvett oxigén szállítása mellett annak hasznosítási képessége is meghatározza az aerob kapacitást, ebben a mitokondriumok száma meghatározó).
- A tápanyagok raktározási- és hasznosítási képessége (glikogén, glükóz, zsírsavak) befolyásolja a mitokondriumokban nyerhető energia mennyiségét. Ehhez a különböző enzimrendszerek adaptálódása is szükséges (ATP és CP, mobilizálás, termelés).

Az edzettebb egyének több oxigén hasznosítására képesek egyetlen légvétellel is. Erre utal pl. az **arterio-venosus oxigénkülönbség** (a-v O_2 diff), amely azt méri, hogy két légvétel között mennyi oxigént adott le a vér a környező szövetekbe (40. ábra).



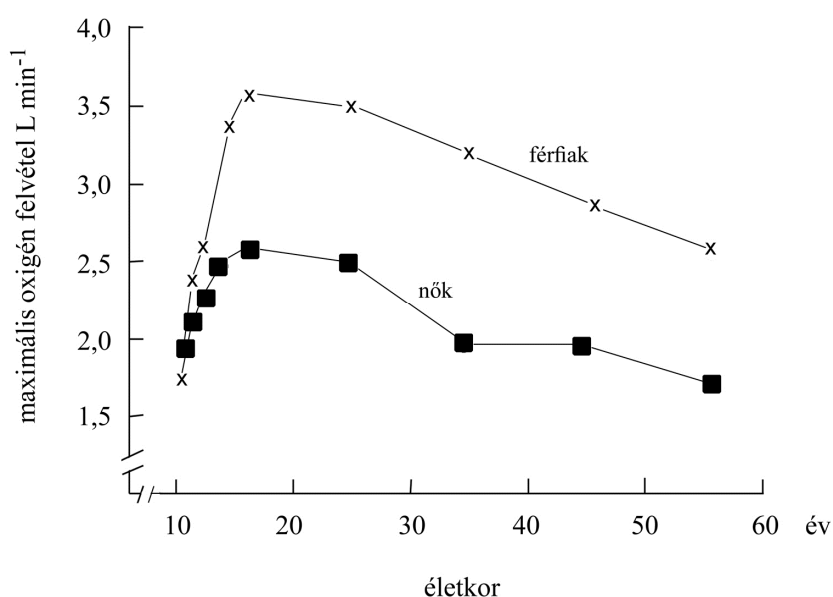
A



B

40. ábra: A nyugalomban és terhelés hatására mérhető arterio-venosus oxigén különbség

Az aerob kapacitás az életkor előrehaladtával nő (a keringés és a tüdő növekedése is befolyásolja), de a legfontosabb tényezőnek a kapillarizáltság tűnik. Ahogy a gyermekek izomzatának és kapillárisainak arányai csökkennek, úgy az oxigénfelvevő képesség csökken, a görbe ellaposodik (41. ábra). Ez nem azt jelenti, hogy a maximális oxigénfelvevő képesség nem befolyásolható, hanem azt, hogy a pubertás tájékán éri el a szervezet a genetikai potenciálját megközelítő mértéket.



41. ábra: A percenkénti oxigénfelvétel különböző életkorokban terhelés hatására

A **relatív aerob kapacitás** (a testtömeg kg-ra jutó oxigénfelvétel ml-ben percenként, ml/kg/min) valójában tehát a szövetek (elsősorban az izomszövet) oxigénfelvevő képességét mutatja. A szállított oxigént el kell juttatni a működő izomsejtekhez. Ez a képesség az izomszövet kapillarizáltságán múlik. A kapillárisok az izmok rendszeres használatával maradnak életképesek. Ha az adott izmot mindig csak kis intenzitású izommunkában használja a szervezet, a kapillárisok elsorvadnak. Ha azonban gyakran viszonylag nagy intenzitású munkának vannak kitéve, akkor új kapillárisok fejlődnek az izomban. Ezt a folyamatot **angiogenezis**nek nevezzük. A kapillárisok fejlődésének ingerét a rendszeres és viszonylag nagy vérátáramlás indukálja. A vérátáramlás sebességének fokozódása először a már meglévő vérerek keresztmetszetének növekedését és az erek falának átrendeződését (vastagodás) eredményezi (**arteriogenezis**). Ez a folyamat önmagában azonban csak a nagyobb nyíróerő elviselését biztosítja. Az angiogenezis a véreloszlás megváltozását, a nagyobb vérmennyiség izomba áramlását teszi lehetővé. Edzett emberekben az aerob teljesítőképességet először a keringés limitálja. A megfelelő mitokondriumokkal rendelkező izomszövet oxigén-hasznosítási képessége lényegesen nagyobb, mint a szív és keringési rendszer vérszállító képessége az izmokhoz. A rendszeres aerob edzés hatására az izmok O_2 -hasznosítási képessége 200-300%-t is javulhat, ugyanakkor a $VO_2\max$ csak 20-25%-al nő. Ezzel ellentétben a $VO_2\max$ az edzetlen emberekben viszonylag gyorsan nő edzés hatására, míg a mitokondriumok száma, azok enzimszereinek hatékonysága később fog csak változni. Mindezek alapján az aerob kapacitás független a harántcsíkolt izomszövettől. Az élsportolók teljesítményének határait tehát keringési és légzési paramétereik fogják meghatározni. Emiatt nagy előny a szív méretének növekedése, a sportszív kialakulása.

A nyugalmi légzés során percenként kb. 250 ml oxigén jut a vérbe és kb. 200 ml CO_2 jut a vérből a tüdőbe. Nehéz aerob munka hatására ennek akár 25-szörösére is emelkedhet az O_2 -felvétel. A légzés alapvető feladata nagyjából állandó szinten tartani az oxigén és a széndioxid koncentrációt a vérben. Ha a fizikai aktivitás intenzitása nő, a szervezet oxigén-igénye is fokozódik. Az oxigén-igény kielégítése érdekében fokozódik a légzési frekvencia, a felvett levegő mennyisége (respirációs volumen), így a felvett oxigén mennyisége is. Ezek a paraméterek azonban nem változtathatók vég nélkül, a terhelés növelésével eljut a szervezet a maximális O_2 felvevő képességéig. Ha ezt grafikonon ábrázoljuk, akkor egy kb. exponenciálisan emelkedő görbe a tetőpontját elérve ellaposodik, majd egy csúcspont után csökkenni fog. Az aerob teljesítőképesség szorosan összefügg a $VO_2\max$ -al, de önmagában ez az érték nem mutatja meg, hogy kinek milyen nyeresési esélyei vannak egy versenyen. A $VO_2\max$ ismerete azonban megmutatja a szervezet aerob-kapacitását, illetve azt, hogy

tartósan nagy fizikai terhelés esetén milyen teljesítményre lehet képes a vizsgált személy. Az átlagos külföldi adatsorok szerint a felsőoktatásban jelen lévő hallgatók $VO_2\text{max}$ értéke kb. 38-42 ml/kg/min nők és kb. 44-50 ml/kg/min férfiak esetében. Élsportolóknál ugyanez kb. 80-90 ml/kg/min a nagy aerob kapacitást igénylő sportok esetében.

A teljesítőképességet az állóképességi sportokban alapvetően két tényező határozza meg. Az általános aerob kapacitás (general aerobic capacity, GAC) és a lokális aerob kapacitás (local aerobic capacity, LAC). Az általános aerob kapacitást elsősorban az oxigénszállító képesség, a keringési rendszer aktuális állapota, a szív munkavégző képessége határozza meg, míg a LAC a mioglobintartalom, az izom kapillarizáltsága, valamint a mitokondrium enzimrendszerének függvénye (Astrand and Rodahl, 1977).

Az aerob kapacitás nemek és életkorok szerint változik. A maximális oxigénfelvevő képességet alapvetően meghatározza a kapillarizáltság, amely a fiúk/férfiak esetében általában nagyobb, mint a nők esetében. A kisebb aerob kapacitás a nők esetében kialakulhat talán a női szerepek gyakorlásától is, a leánygyermek sokkal immobilisabbak, mint a fiúk már kicsi korukban is. A szív és a tüdő térfogata kisebb, az izomtömeg kisebb, mint a férfiakban, a test zsírtartalma nagyobb, mindezek predesztinálják a nőket az alacsonyabb aerob kapacitás kialakulására. Ráadásul a nemi ciklus hatására alacsonyabb a hemoglobinszint, mint a férfiakban, amely tovább rontja az aerob kapacitást. A relatív és abszolút aerob kapacitás is csökken az életkor előrehaladtával. Inaktív emberek esetében ez gyorsabb, 25-30 éves kor körül kb. 1%-al csökken évente.

A lokális keringés állapotára, valamint az izomszövet mitokondriális enzimrendszerének hatékonyságára utal az arterio-venozus O_2 -különbség. Ennek ismeretében pl. kiszámítható a szervezet O_2 -felvevő képessége:

$O_2\text{-felhasználás} = \text{perctérfogat} \times a-v O_2 \text{ diff}$

Az $a-vO_2$ diff egyértelműen az izomszövet O_2 -felhasználó képességétől függ, ezt pedig a mitokondriumok száma, s azok energia-rendszerei befolyásolják. Ha valaki edzetlen, akkor a keringés elszállítja az O_2 -t az izomszövethez, de az izomba bediffundálni nem fog (az $a-vO_2$ diff kicsi marad). Így az edzetlenek terhelései során a $VO_2\text{max}$ értéke nemcsak kicsi lesz, hanem a csúcserő elérése után a görbének nincs platója, sőt a görbe felfelé futásából jól látható, hogy lehetnének még további mérési pontok.

A fizikai teljesítményt és az anyagcsere szintjének változását a terheléses vizsgálatok során a MET értékekkel is monitorozzák. A MET megmutatja, hogy hányszorosára változott az anyagcsere szintje a nyugalmi anyagcseréhez képest. Mivel az anyagcsere változását méri, ezért szoros összefüggésben van a szervezet O_2 -felvételével.

1MET megfelel percenként kb. 450 ml O₂ felvételének férfiakban és 400 ml oxigén felvételnek nőkben.

Ha tehát egy terhelés során a fizikai aktivitás 4MET energiaigényű (férfiak esetében közepes terhelés), a percenkénti oxigén-felhasználás 1800 ml volt. Mivel a relatív aerob kapacitás összehasonlíthatóbbá teszi a különböző testfelépítésű egyének adatait, abban kifejezve 1MET = 3,6 ml/kg/min oxigén felvételnek felel meg, tehát 1 kg testtömeg percenkénti oxigén-felhasználása 3,6 ml. Ezen adatok ismeretében lehet a különböző edzőtermek eszközein is O₂-felhasználási értékeket olvasni spirometriai készülékek nélkül is. Az alábbi táblázatban a különböző fizikai aktivitási szintek (10. táblázat) és az anyagcsere változásának értékei olvashatók.

TERHELÉS	Oxigén igény (ml/kg/min)	Energia szükséglet (kcal/min)	MET
Könnyű	F 6,1-15,2	2,0-4,9	1,6-3,9
	N 5,4-12,5	1,5-3,4	1,2-2,7
Közepes	F 15,3-22,9	5,0-7,4	4,0-5,9
	N 12,6-19,8	3,5-5,4	2,8-4,3
Nagy	F 23,0-30,6	7,5-9,9	6,0-7,9
	N 19,9-27,1	5,5-7,4	4,4-5,9
Nagyon nagy	F 30,7-38,3	10,0-12,4	8,0-9,9
	N 27,2-34,4	7,5-9,4	6,0-7,5
Extrém nagy	F 38,4-	12,5-	10,0-
	N 34,5-	9,5-	7,6-

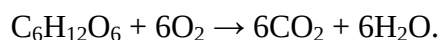
10. táblázat: Különböző terhelések során mért relatív aerob kapacitás és a terhelés energiaigénye

A spiro-ergometriai vizsgálatok során a felvett és leadott levegő O₂ (felvett) és CO₂ (kilélegzett) szintjeit mérik légvételtől légvételre. A modern szenzorok csutora méretű eszközök. A két gáz nemcsak abszolút értékét vizsgáljuk, hanem a kettő arányát is. Ez az érték a légzési hányados (RQ).

Respirációs kvociens (RQ) = CO₂/ O₂

A légzési hányados aszerint változik, hogy milyen tápanyagokat fogyasztott, vagy használ éppen a kísérleti személy energianyerésre.

Szénhidrátokban a glükóz bontásának (elégetésének) képlete alapján számítjuk a RQ-t:



A képlet alapján jól látszik, hogy ebben az esetben a szükséges O_2 és a keletkezett CO_2 mennyisége azonos, így a $\text{RQ}=1$. ($6\text{CO}_2: 6\text{O}_2$). Ha tehát a $\text{RQ}=1$, tisztán szénhidrátokat használ a szervezet energianyerésre, 1 fölötti érték esetén pedig már O_2 -hiányos közegben (anaerob körülmények között) történik az energianyerés. Így az aerob-anaerob küszöb megállapítása a RQ folyamatos figyelésével a legegyszerűbb.

Az aerob kapacitás vizsgálatát a gyakorlatban az aerob-anaerob-küszöb meghatározásával együtt végzik. Ehhez gyakran használják a vértéjsav-szint méréseket (laktát-szint). Többféle módszer létezik, de leggyakrabban a tejsav-küszöb (4 mmol/l) használatos. Abban az esetben, ha a vértéjsav szintje elérte a 4 mmol/l-t a tejsav mennyisége a vérben exponenciálisan emelkedik. A tejsav-küszöböt ezért a VO_2max százalékában adják meg. Így elmondható, hogy a különböző edzettségi állapotú emberek esetében a VO_2max hány százalékánál jelenik meg az anaerob teljesítés, tehát az oxigén deficit a teljesítés során. Átlagemberek esetében az aerob-anaerob átmenet általában a VO_2max 50-60%-nál mérhető, míg az edzett sportolók esetében ez a maximális oxigénfelvevő képesség 70-80 %-a. Természetesen ez azt jelenti, hogy nagyobb terhelés, intenzitás mellett is hosszabb ideig képesek fizikai aktivitásra aerob módon. Az aerob módon végzett fizikai aktivitás tehát a szervezet (vér, izom) biokémiai változásainak segítségével is képes jelentősen növelni a fizikai teljesítőképességet. Ennek köszönhető, hogy a modern edzéstudomány alapvetően az izom biokémiai rendszerének változására fókuszál.

A VO_2max fejlesztését és aktuális értékét az edzések mellett a genetikai potenciál, valamint az életmód is befolyásolja. Az elmúlt évtizedekben tapasztalható fejlődés a humán genetikai kutatásokban felkeltette a sporttudósok érdeklődését is. Olyan genetikai módosulásokat keresnek, amelyek nagymértékben meghatározhatják egy személy állóképességét, izomtömegét stb. Edzetleneket állóképességi edzések után vizsgálva több genetikai tényezőt is leírtak, amelyek befolyásolják az aerob-kapacitás fejleszthetőségét. Ilyenek pl. a zsírsav mobilizáló képesség, a Ca-szignál rendszer állapota, izomfunkciók, de sejt-sejt kommunikációt meghatározó géneket is leírtak, valamint a veleszületett immunrendszer állapota is befolyásoló tényező. Az elmúlt években kiderült, hogy a kalcineurin nevű fehérje nagyon fontos jelölt a sportgenetikai kutatások területén. A kalcineurin egy szignálmolekula a harántcsíkolt izomban, amely a lassú rángású, oxidatív

rosttípusba (SO) való átalakulást serkenti (Wolfarth és mtsai, 2014). Azokban a kísérleti egerekben és vizsgálati személyekben, akiknél egy génhiba miatt (ACTN3) a kalcineurin aktivitása magasabb volt, az izomrosttípusok edzés hatására nagyobb mértékben alakultak át lassú rángású rostokká és állóképességi edzés hatására az adaptáció nagyobb mértékű volt. Ezeket az eredményeket izombiopsziával is megerősítették. Az életmódi tényezők közül az egyik legfontosabb a táplálkozás, amely nemcsak az élsportolók, hanem a rekreációs szinten sportolók aerob teljesítményére is kihat. A hosszú ideig tartó folyamatos izommunka végzésének energiaigénye igen nagy. A korábbi sejtanyagcsere folyamat fejezetből is megtudható, hogy a folyamatosan biztosított ATP mennyisége a mitokondriumokban szénhidrátokból és zsírokból nyerhető. A rendszeres edzést folytatók ezért gyakran fogyasztanak olyan táplálék-kiegészítőket, amelyekről az aerob teljesítőképesség növekedését remélik. Nagyon gyakran fogyasztanak sportolók creatin-monohidrátot (CrH_2O). Mivel a kreatin a szervezet azonnali energiaraktára, csak a nagy robbanékonyságot, nagy erő kifejtést igénylő és rövid ideig tartó mozgásokban van megbízható hatása (5-10%, McArdle és mtsai, 2009). Hosszú ideig tartó közepes intenzitású mozgásokra nincs hatása. Különböző kerékpár-ergométeres tesztekben, ha sprint sorozatokat végeztek olyan egyének, akik előtte néhány napig creatint fogyasztottak, akkor a sprintek közötti pihenők biztosítása mellett a teljesítményük nagyobb volt, mint a kreatint nem fogyasztóké, s a teljesítés 30-80 percig is jobb volt, mint a nem fogyasztóké. Ennek alapján a röplabdázóknál és amerikai football játékosoknál írtak le bizonyítható teljesítmény javulást, de tartósan kb. ugyanolyan intenzitású hosszabb terhelés mellett pozitív hatást nem írtak le. A folyamatos aerob teljesítmény biztosítása érdekében a megfelelő szénhidrát és zsíryanagcsere a hatásos eszköz. A szénhidrát-raktárak feltöltése (glikogén) minden edzés után nagyon fontos. Ha a glikogén-raktárak hiányosak az edzés megkezdésekor, akkor nemcsak aerob teljesítmény romlás lesz tapasztalható, hanem nő a sérülésveszély is. A szervezet legnagyobb szénhidrát-felvevő képessége edzés után az első két órában mérhető. Újabban a zsíryanagcsere fokozásában látják a legígéretesebb táplálkozási segítséget állóképességi sportolók számára. A szervezetben raktározott trigliceridek biztosítják a legtöbb energiát a tartós izommunka számára. A zsírsavak β -oxidációval acetil-csoportokra bontódva kerülnek a citromsav-ciklus, terminális-oxidáció folyamatába (ld 4.3.4. fejezet). Az emberi szervezetben a zsírsavak többsége 16-18 szén-atomos molekula. Ezek a hosszú zsírsavláncok lassítják a táplálék ürülését a gyomorból, majd vékonybélben a felszívódásuk is nagyon lassú (több óra). A nyirokerekbe szívódnak fel, s ráadásul kilomikronokba csomagolva jutnak el a raktárakba, vagy a felhasználás helyére. Ezzel szemben a közepesen hosszú zsírsavak (pl. kókuszolaj,

pálmamag olaj) 8-10 szénatomos zsírsavakat tartalmaznak, amelyeket már a gyomorban előemésztünk, közvetlenül átdiffundálnak a vékonybél endothel sejtjein, nem kerülnek a nyirokkeringésbe és nem csomagolódnak kilomikronokba (McArdle és mtsai, 2009). Szállítómolekulák nélkül diffundálnak a mitokondriumok membránján és nincs szükségük az acetil-KoA rendszerre sem. Ezek a molekulák többnyire nem raktározódnak a zsírszövetben, megemelik a vér szabad zsírsavszintjét, így azonnal hasznosulhatnak. Így módon a máj és izomglikogén később kerül felhasználásra. Ha a közepesen hosszú zsírsavakat fogyasztották, inkább csökkent a sportolók teljesítménye (kerékpár), ha azonban szénhidráttal együtt, akkor jelentős teljesítmény fokozódást tapasztaltak (14%). Az állóképességet rontja a C-, D- és E-vitamin hiány is.

Az egy szívösszehúzódnál alatt továbbított és felvett oxigén mennyiségét nevezzük **oxigénpulzusnak**. Kiszámítása a következő: VO_2 / percenkénti pulzusszám, tehát az egy balkamrai összehúzódnál során továbbított vér oxigén tartalmát jelenti. A balkamrai végdiasztolés térfogatról, szív működés gazdaságosságáról, valamint a teljesítőképességről ad felvilágosítást. Nyugalmi értéke férfiaknál 4-4,5, míg a terhelés maximumában 13-15 között van. Értéke (mind nyugalomban, mind a maximális terhelésnél) annál nagyobb, minél edzettebb az egyén. Nagy aerob állóképességet igénylő sportágak versenyzőinél értéke elérheti a 25-öt is. Az 11. táblázatban jól látható, hogy gyermekkorban az életkor előrehaladtával nő a szív mérete, ezzel nő az O_2 -pulzus is,

Életkor	HRMax	rel VO_{2max}	O_2 Pulzus	Laktátszint
4	200-210	47,3±3,1	4,04±0,5	4,64±0,34
5	200-210	48,3±3,1	4,27±0,5	5,3±0,42
6	200-210	49,36±3,91	5,0±0,61	6,15±0,44
7	195-205	48,7±2,88	5,45±0,59	6,48±0,53
8	190-205	50,36±3,38	5,45±0,59	8,00±0,5
9	190-200	50,27±3,69	6,03±0,66	8,58±0,59
10	190-200	50,87±3,89	8,59±0,88	9,33±0,8
11	190-200	50,67±3,55	9,64±0,9	9,76±0,97

11. táblázat: Néhány élettani paraméter változása az életkor függvényében. Mészáros (1994) nyomán

Az adatsor jól mutatja, hogy gyermekekben a keringési- és légzőrendszer fejlődése jelentősen befolyásolja a vizsgált paramétereket. A növekedési lökés következtében jelentősen nő a kamrai térfogat, így az O₂-pulzus is, viszont a relVO₂max inkább csökken a prepubertás korhoz képest. Érdekes, hogy miután az adott izomtömegre jutó érellátás gyermekekben nagyobb, mint felnőttekben, így a várható laktát-szintek lényegesen kisebbek, mint nagy aerob kapacitású élsportolóknál.

6.6. A terheléses protokollok típusai

A terheléses vizsgálatok között ismerünk valódi terheléses vizsgálatokat, valamint megnyugvási próbákat. A valódi terheléses vizsgálatok során meghatározott protokoll szerint terhelik a vizsgált egyént, s közben monitorozzák a szervezetében kialakuló változásokat. A megnyugvási próbák lényege, hogy egy jól definiált terhelés után a szervezet megnyugvási ütemét, a megnyugvás során tapasztalható változásokat vizsgálják. A legmegfelelőbb protokollok és eszközök alkalmazásával mind a terhelés közbeni, mind a terhelés után tapasztalható változásokat követhetjük.

A protokollok típusait tekintve ismerünk lépcsős protokollokat, valamint ramp protokollokat. A lépcsős protokollok esetében 2-3 percenként változtatunk a terhelés mértékén sebesség, dőlésszög, ellenállás növelésével, esetenként egyszerre több tényezőnél is. A ramp (rámpa) típusú protokollok során minden percben változik egy, vagy két paraméter (pl. sebesség és dőlésszög). Lehetőség szerint vita maxima terheléseket végeznek. Ez különösen az élsportban fontos, de orvos-diagnosztikai szempontból is fontosak lehetnek. A vita maxima azt jelenti, hogy az egyén maximális terhelhetőségét, teljesítőképességét vizsgáljuk, ezért határterhelésnek is szokták nevezni. Ha valaki vita maxima terhelésen vesz részt a protokollt úgy kell megválasztani, hogy a terhelés valóban nagy teljesítményt igényeljen a vizsgált személytől. Ez úgy érhető el, hogy a teljes izomtömegnek legalább 50%-t mozgatni kell a terhelés közben. Ilyen mozgás a futás, a kerékpározás és az evezés. Ezért futószalag-ergométereket, kerékpár-ergométereket (42. ábra) és evezőpad-ergométereket szokás használni.



42. ábra: Kerékpár- és futószalag-ergométeres terheléses vizsgálatokhoz alkalmas computer-asszisztált mérőrendszer

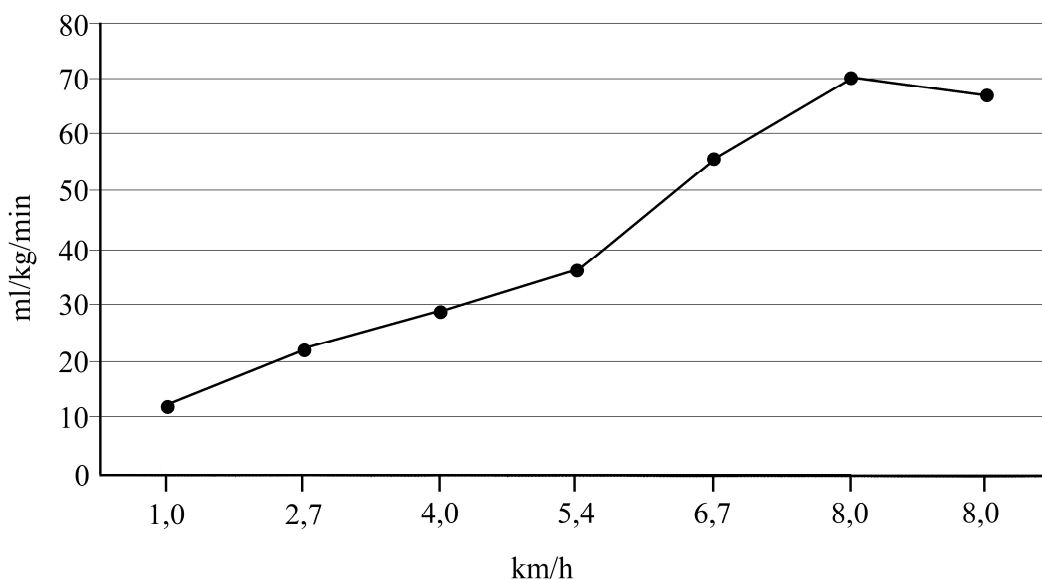
A vita maxima terheléseknél fontos, hogy a teljesítés független legyen az illető testméretétől, izomerejétől, valamint sportági képességeitől. Ez alól az úszók, evezősök vagy korcsolyázók számára kifejlesztett speciális tesztek kivételt képeznek.

Fontos, hogy a terhelés ideje se túl rövid, se túl hosszú ne legyen. Ideális esetben egy vita maxima terhelés 6-12 percig tart. A legtöbb protokollt azonban 20-25 percesre írják. Szintén alapvető feltétel, hogy a vizsgált személy megfelelően motivált legyen, mivel a terhelés valóban nagy erő kifejtést igényel.

A korábban leírt és alkalmazott protokollok közül a futószalag ergométerekre leírtak esetében bizonyos idejű gyaloglás után a vizsgálati személyeknek futniuk kellett. A nagyobb testű egyének, betegek esetében, illetve a kerékpár sportok esetében a teszteket kerékpár-ergométerrel végezték. Nagyon gyakran azonban főleg edzetlenek esetében az alanyok izomzata jóval előbb elfáradt, mint keringési és légzőrendszerük eljutott volna maximális teljesítőképességéhez. Ezért az utóbbi években több steady state gyalogló protokollt vezettek be a sporttudományi kutatásokban. Ezek lényege, hogy nagyjából közepes terhelést kapnak a vizsgálati alanyok, s az adott intenzitáson terhelik őket teljesítőképességük határáig, így

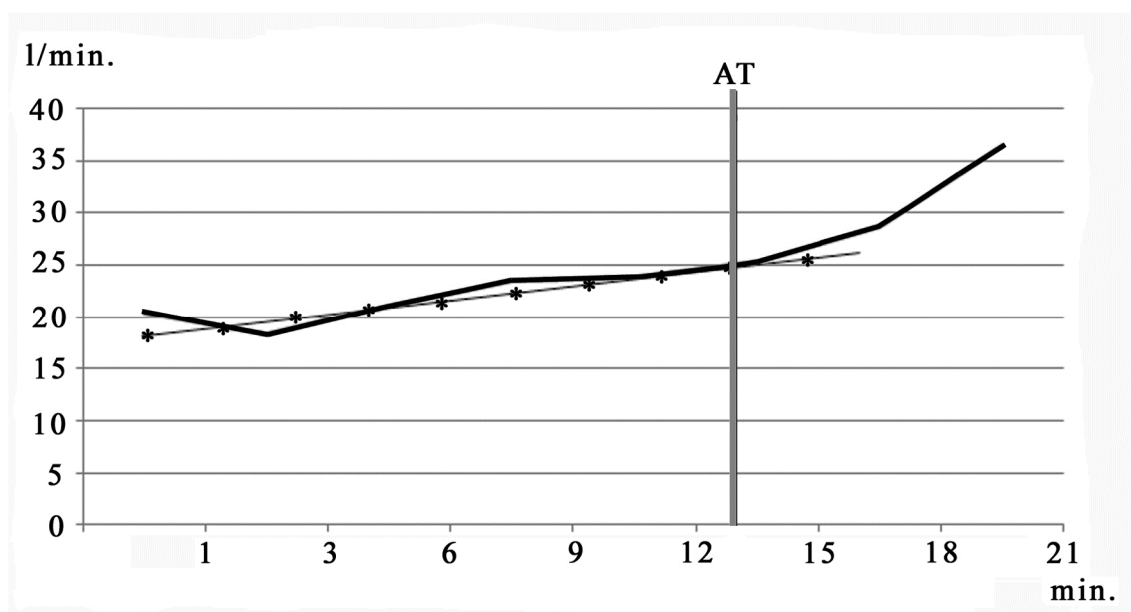
elérve a vita maxima állapotot. A rekreációs sportokat űzők, valamint gyermekek teljesítőképességének vizsgálatára vezették be a gyalogló protokollokat, melyek lényege, hogy az intenzitás, a dőlésszög, ellenállás változik, de a vizsgálati alanyok úgy jutnak el a határterhelésig, hogy a terhelés során nem kell futniuk, vagy csak az extrém nagy terhelést elérve. A modernebb laboratóriumokban a futószalag-ergométerek dőlésszöge már mindkét irányba változtatható, így nemcsak hegyre fel, hanem hegyről lefelé mozgásokat is ki lehet alakítani a terhelések során.

A valódi terheléses vizsgálatok adják a legpontosabb adatokat egy személy aktuális állapotáról (kondíciójáról). Ezek a vizsgálatok alkalmasak arra, hogy pontosan és folyamatosan mutassák a vizsgált személy élettani paramétereit (pulzus, vérnyomás, EKG stb.), közben mérik az illető aerob, illetve relatív aerob kapacitását is. Fontos megjegyeznünk, hogy képet kaphatunk az illető izomteljesítményéről is, hiszen a teljesítés során mérik az egyes szintekhez tartozó teljesítési időt és wattban mért teljesítményt is. Az eredményeket megfelelően ábrázolva (pl. sebesség és relatív aerob-kapacitás értékek, ld. 43. ábra), megállapítható, hogy milyen paraméterek mellett érte el a vizsgált személy a relatív VO_{2max} értékét, milyen körülmények között kell edzeni a további fejlődés érdekében. Fontos figyelni a $relVO_{2max}$ konkrét értékét, valamint azt, hogy az illető elérte-e a várható VO_{2max} értékét.



43. ábra: A terhelés közben mérhető oxigén-felvétel. Az ábrán jól látszik, hogy a futószalag sebességének növekedésével jelentősen nő a sejtek oxigén-igénye. Bizonyos sebesség értékig ez lineárisan nő, majd a sejszintű anyagcsere ugrásszerű növekedésével az oxigén-szükséglet is exponenciálisan nő a szervezetben.

A 43. ábrán megfigyelhető, hogy a $\text{relVO}_{2\text{max}}$ elérése után az erősen motivált személyek bizonyos ideig képesek ellenállni a szervezet fáradásának, s az O_2 -felvétel csökkenése mellett is folytatják a terhelést. Ilyenkor a teljesítés már anaerob körülmények között, jelentős laktát termelés mellett zajlik. A légzési percventilláció és az oxigén-felvétel görbéje alapján is meghatározható az aerob-anaerob küszöb (AT küszöb) a szervezet munkavégzése során (44. ábra). A terhelés során az oxigénfelvétel lineárisan változik a terhelés növekedésével addig, amíg a terhelés közepes intenzitású az egyén számára, majd a szervezet oxigén-igényét már nem lehet egyszerűen a légzésfrekvencia, illetve pulzusszám növelésével kielégíteni. A jelentős légzésfrekvencia növekedése mellett a volumen is, keringés esetében pedig a végdiasztolés térfogat is jelentősen nőni fog. Ekkor a görbe exponenciálisan emelkedik.



44. ábra: Az aerob-anaerob küszöb (AT) meghatározása az oxigén-felvétel görbéje alapján.

6.7. A legismertebb protokollok jellemzése (Bruce, Astrand, Cooper stb.)

A legkorábban leírt és standardizált protokoll Robert A. Bruce nevéhez köthető. 1949-ben közölte az első közleményt, amelyben a terheléses protokoll leírása és annak szerepe a diagnosztikában olvasható. Ekkor még egyetlen sebességen, a dőlésszögek változtatása nélkül terheltek az egészséges és beteg embereket 10 percre. A terhelés közben már elvezetések segítségével folyamatosan figyelték a vizsgálati személyek EKG változását, valamint a légzési paramétereket (légcseré és gázcsere vizsgálata is) percenként elemezték. Azt a

terheléses protokollt, amelyet ma is ismerünk, s amelyben a futószalag sebessége és dőlésszöge is 3 percenként változik, 1963-ban tette közzé (12. táblázat). A terhelés vita maxima, amelyet azóta annyiban változtattak, hogy a futószalag kezdő sebességét és dőlésszögét alacsonyabb szintről indítják, hogy betegek, átlagemberek, beleértve az időseket is, valamint sportolók vizsgálatára is alkalmas legyen. Ezt módosított Bruce protokollként ismerjük, s az egyik leggyakrabban használt terheléses vizsgálat ma is. Bruce sok évig tartó és részletes munkájának köszönhető a terhelés hatására kialakuló keringési és légzőrendszeri változások jellemzése, monitorozása, valamint a $VO_2\text{max}$ becslése és mérése is.

Szintek	Dőlésszög	Sebesség	MET
1	10	2.7	5
2	12	4.0	7
3	14	5.4	10
4	16	6.7	13
5	18	8.0	15
6	20	8.8	18
7	22	9.6	20

12. táblázat: A Bruce protokoll paraméterei

Közzétettek képleteket is a $VO_2\text{max}$ becslésére, ha a terhelés közben nem tudjuk mérni a gázcserét. Ebben az esetben a futószalagon eltöltött idő ismeretére van szükség. Az egyik legismertebb formula:

$$VO_2\text{max (ml/kg/min)} = 14.76 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$$

T: terhelési idő, pl. 8 min 30s a képletbe helyettesítve 8,5 (ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual)

Külön formulák léteznek a $VO_2\text{max}$ becslésére nemre, korosztályokra vonatkoztatva is.

Astrand-teszt

Kerékpár- vagy futószalag-ergométer segítségével becsüljük meg a relatív aerob kapacitást. A kezdősebesség 8,05 km/h. 3 percenként 2,5%-al emeljük a dőlésszöget, a sebesség azonban nem változik a terhelés során. A teszt addig tart, amíg a vizsgált személy tartani képes a megadott sebességet. A vizsgálat értékelése:

Fontos feljegyeznünk a teljesítés idejét (min, s). Ennek ismeretében a következő képlettel számolunk:

$$VO_{2\max} = (\text{Idő} \times 1,444) + 14,99 \text{ (ml/kg/min)}$$

A Cooper Intézet standardjai a Balke teszt alapján készültek (13. táblázat), amely valódi vita maxima terhelés. Hátránya, hogy sokkal hosszabb ideig tart, mint a többi terheléses teszt. A férfiak és nők eltérő protokoll szerint végzik a felmérést. A futószalag sebessége nem változik, csak a dőlésszöget változtatják. A HR vizsgálata és az EKG követése a protokollok része.

Nem	Sebesség (km/h)	Dőlésszög (%)	Időintervallum (min)
Férfi	5,6	0	1
	5,6	2	1
	5,6	3	1
	5,6	4	1 *
Nő	3,0 mph	0	1
	3,0	2,5	3
	3,0	5	3 *

13. táblázat: A Balke-teszt protokollja

A Balke-féle protokoll férfiak esetén minden további percben 1%-os dőlésszög változás, nők esetében 2,5%-os változás 3 percenként teljes kimerülésig.

A terheléshez nem használnak spirométert a $VO_{2\max}$ becslésére a következő képleteket használják:

Férfiak: $VO_2 \max = 1.444 (\text{Idő}) + 14.99$ [Pollock et al., 1976]

Nők: $VO_2 \max = 1.38 (\text{Idő}) + 5.22$ [Pollock et al., 1982]

Idő: terhelés ideje percben, tizedessel megadott másodperccel (ld. Bruce protokoll számításánál).

Gyermekeknek (10-14 év) egy módosított Balke protokollt fejlesztettek ki Marinov és munkatársai (14. táblázat, 2000). Előnye, hogy nem kell szimptóma limitált terhelést elviselniük a gyermekeknek, nem tart nagyon sokáig, s mégis megbízható a $VO_{2\max}$ mérést illetően. Valójában egy ramp protokoll, de csak a futópad dőlésszöge változik a terhelés során, a sebesség állandó marad. Meg kell jegyezni, hogy a mért $VO_{2\max}$ elmarad a Bruce protokollal mért értékektől.

Sebesség (km/h)	Dőlésszög (%)	Időintervallum (min)
5,6	6	1
5,6	8	1
5,6	10	1
5,6	12	1
5,6	14	1
5,6	16	1
5,6	18	1
5,6	20	1
5,6	22	1

14. táblázat: A gyermekekhez módosított Balke-protokoll (Marinov és mtsai, 2000)

6.8. A terheléses vizsgálatok során nyert adatok értelmezése, edzéselméleti jelentősége

A fentiekben láttuk, hogy az aerob kapacitást a GAC és a LAC rendszer működése fogja meghatározni (6.5. fejezet), ami a teljesítmény egyik legfontosabb meghatározója az állóképességi sportoknál, ezért nem mellékes, hogy a fiatal sportolók aerob kapacitása meddig fejleszthető, vannak-e még tartalékok az aerob rendszerben. Ennek kiderítésére is alkalmazzák a terheléses vizsgálatokat. A sportolókat az utóbbi időben tapasztalt teljesítményük, valamint a terheléses vizsgálat során mért értékek alapján csoportokba sorolták, amelyek a következők:

- nagy teljesítmény, alacsony energia-befektetés
- alacsony teljesítmény, alacsony energia-befektetés
- nagy teljesítmény, nagy energia-befektetés
- alacsony teljesítmény, nagy energia-befektetés

A négy csoport különböző szintű teljesítmény tartalékokkal rendelkezik. Az első esetben még nagy tartalékokkal rendelkezik a sportoló, a másodikban még lehetséges a tartalékok mozgósítása, a harmadik esetben már szinte teljesen kihasználtuk az élettani lehetőségeket, az utolsó esetben nagyon alacsony élettani tartalékokkal rendelkezik a sportoló (Szögy, 1989). A GAC a maximális oxigén pulzus alapján becsült érték általában. Az energia-

befektetés és a tartalékok viszonyát a nyugalmi pulzus alapján becsülik. (Ne felejtsük el, hogy létezik a pulzus-tartalék becslése, amely a munkapulzus maximuma és a várható maximális pulzus közötti különbség.) A LAC becslésére a $VO_2\text{max}$, a maximális oxigénfelvevő képesség, használatos. Ezt egészítik ki a 4 mmol/l-es vétejsav-szint mérésekor tapasztalható pulzusértékkel. Ennek alapján elmondható, hogy a sportoló jövőbeni teljesítménye a LAC függvénye (Szögy és mtsai, 1989). A teljesítőképesség alapvetően a kapillarizáltság fokozásával, a mioglobin/hemoglobin mennyiségével, valamint az enzimrendszer fejlesztésével érhető el. A GAC-t befolyásolja a genetikai háttér, így a szív mérete, a maximális pulzusszám stb.

Nagyon pontos információk nyerhetők a vizsgált személy anaerob kapacitását illetően is. Az RQ ismeretében időben is vizsgálható az anaerob kapacitás, az RQ maximális értéke pedig az egyén hipoxia-tűrő képességéről is ad információt. Mivel a modern spiroergometriai rendszerek a folyamatos HR monitorozás mellett az EKG változásait is azonnal mutatják, nagyon pontos információk nyerhetők a szív morfológiai és működési paramétereit illetően. Ha megfelelő ergométert választunk a vizsgált személy számára, akkor az izom teljesítménye is mérhető. Mivel vita maxima vizsgálatokat végzünk, amelyek nagyon nagy terhelést jelentenek a szervezet számára, csak megfelelő feladatorientáltság és esetleges diszkomfort tűrés mellett lehetséges a maximális teljesítőképesség mérése. Így a vizsgált személy tűrőképessége, pszichés állapota is megfigyelhető. Előfordul, hogy a spiro-ergometriás vizsgálattal párhuzamosan reakció-idő vizsgálatokat is végeztenek sportolókkal. Ebben az esetben az idegrendszer aktuális állapota, fáradékonysága is vizsgálható. Összességében tehát nagyon fontos adatok nyerhetők a keringés, a légzés aktuális állapotáról, az izom teljesítőképességéről, enzimrendszereiről, az idegrendszer aktuális állapotáról, tehát a kondíciót meghatározó tényezők többségéről. Ennek köszönhető, hogy a gyógyászatban is (pulmonológia, kardiológia), s a gyakorlatban a sport különböző szintjein is az egyik legkedveltebb diagnosztikai módszer.

Ellenőrző kérdések:

1. Melyek a terheléses vizsgálatok alapelvei?

.....

2. Milyen ergométereket alkalmaznak leggyakrabban a terheléses vizsgálatok során?

.....

3. Mi a vita maxima terhelés?

.....

4. Mit jelent az aerob kapacitás, hogyan mérjük?
.....
5. Mire utalnak a pulzusmonitorokkal mérhető frekvencia-változások?
.....
6. Mi a GAC és LAC, melyek utal az edzettségre?
.....
7. Hogyan változik a relVO₂max az életkor előre haladtával?
.....
8. Milyen terhelési protokollokat alkalmaznak leggyakrabban az edzettség meghatározására?
.....
9. Mit jelent a ramp protokoll?
.....
10. Mi az AT, hogyan mérjük?
.....
11. Mi az O₂-pulzus?
.....
12. Mi az arterio-venosus oxigénkülönbség?
.....
13. Mi az RQ, mi a jelentősége az edzettség meghatározásakor?
.....

Felhasznált irodalmak

- Ádám, Gy., Fehér, O. (1988) Élettan biológusoknak I-II. Tankönyvkiadó, Budapest
- Berne, L. (2005) Principles of Physiology (Third edition) Mosby
- Bodzsár É. (1999): Humánbiológia. Fejlődés: növekedés és érés. ELTE Eötvös Kiadó
- Bouchard, M.A.C. (2014) Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2013. Med Sci Sports Exerc, 46: 851-859.
- Bruce, R.A., Lovejoy, F.W., Pearson, Jr. R., Yu, P.N.G., Brothers, G.B., Velasquez, T. (1949). Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. J. Clin. Invest 28 (6 Pt 2): 1423–1430.
- Cain, PA, Ahl, R, Hedstrom, E, Ugander, M, Allansdotter-Johnsson, A, Friberg, P, Arheden, H (2009) Age and gender specific normal values of left ventricular mass, volume and function for gradient echo magnetic resonance imaging: a cross sectional study. BMC Medical Imaging, 9:2
- Csoknya, M., Hernádi, I. (2009) Az emberi szervezet felépítése és működése. Pécs
- Csoknya, M., Wilhelm, M. (2013): A sportmozgások biológiai alapjai II., Pécs
- Dickhuth, H.H (2005) Sportélettan, sportorvostan, Dialog Campus Kiadó
- Fischer E. (2004) A funkcionális sejttan alapjai. Dialóg Campus Kiadó
- Fonyó, A. (2008) Az orvosi élettan tankönyve. Medicina Kiadó
- Frenkl, R. (1985) Sportélettan, Budapest
- Ganong, W.F. (1990) Az orvosi élettan alapjai. Medicina Kiadó
- Gayton, H. (2012) Medical Physiology. Elsevier
- Gilbert HF. (2000) Basic concepts in Biochemistry: A student's survival guide. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Gilroy A.M. (2012) Atlas of Anatomy. Thieme Medical Publishers,
- Hamamoto et al (2005) In situ Ca^{2+} dynamics of Purkinje fibers and its connection with subjacent ventricular myocytes. Journal of Molecular and Cellular Cardiology, 38/4, 561-569
- Hansen JT. (2009) Netter's Anatomy Coloring Book. **Publisher:** Saunders; 1 ed.
- Hanson, P. (1984) *Clinical Exercise Training*. In: **Sport Medicine**. Ed: Strauss, R. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company. 13-40.
- Kahle, W, Leonhardt, H, Platzer, W. Anatómia I-III., SH atlasz
- Katch VL, McArdle WD, Katch FI. (2011) Essentials of exercise physiology. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business

- McArdle, WD., Katch, FI., Katch, VL. (1996): Exercise Physiology. Williams and Wilkins, Baltimore (USA).
- Kapit, W., Macey, RI., Meisami, E. (1987): The Physiology Coloring Book. Addison Wesley Longman Inc, Menlo Park (USA).
- Kékes, E, Regös, L. (1995) EKG atlasz, Programozott EKG tankönyv, Springer Hungarica
- Kiss, F, Szentágothai, J. (2001) Az ember anatómiájának atlasza, I-II. (Medicina)
- Magyar, I, Petrányi, Gy. (1970): A belgyógyászat alapvonalai I-II. Medicina Könyvkiadó, Budapest
- Marinov, B., Kostianev, S., Turnovska, T. (2000) Submaximal treadmill test for screening of physical capacity in pediatric age group. *Pediatrics* XL(2): 38-41.
- Martin, DE, Youtsey, JW. (1987) Respiratory anatomy & Physiology. C.V.Mosby Co.
- McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (2009) Sports and exercise nutrition. Lippincott Williams & Wilkins, Wolters Kluwer
- McCardle, W.D., Katch, FI., Katch, VL. (1997): Exercise Physiology. Lippincott Williams & Wilkins, Wolters Kluwer
- McPhee, SJ, Lingappa, VR, Ganong, WF, Lange, JD. (2006) Pathophysiology of Disease, McGraw-Hill
- Mészáros, J. (2003) A gyermeksport biológiai alapjai. Budapest, A TF egyetemi tankönyve
- Nyitrai L, Pál G. (2013) A biokémia és a molekuláris biológia alapjai. e-tankönyv:
- Pavlik, G. (2011) Élettan- Sportélettan, Medicina Kiadó
- Perini, R., Veicsteinas, A. (2003) Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Physiol.* 90: 317-325.
- Pocock, Richards (2006) Human Physiology (Third edition). Oxford University Press
- Rogers, K. (2011) Blood physiology and circulation. Encyclopædia Britannica, Inc. New York
- Sobotta (2012) Az ember anatómiájának atlasza I-III. (szerkesztők: Paulsen, F. - Waschke, J., Medicina Kiadó (ISBN szám: 978 963 226 366 3)
- Szarvas, F, Csanádi, M. (2006) Belgyógyászati fizikális diagnosztika. Semmelweis Kiadó, Bp,
- Szeberényi, J. (2011) Molekuláris sejtbiológia. Dialóg Campus Kiadó
- Szentágothai, J, Réthelyi, M. (2002) Funkcionális anatómia I-III. (Medicina, 8., átdolg. és bőv. kiadás)

- Tanaka, H., Monahan, K.D., Seals, D.R. (2001) Age-predicted maximal heart rate revisited. J. Am. Coll. Cardiol, 37: 153-156.
- Tulassay, Zs. (2007) A belgyógyászat alapjai. Medicina Kiadó, Budapest
- Waite GN, Waite LR. (2007) Applied Cell and Molecular Biology for Engineers. The McGraw Companies, Inc.
- Wolfarth, B., Rankinen, T., Hagbero, J.M., Loos, R.F., Pérusse, L., Roth, S.M., Sarzynski,