

RENDSZEREK ÉS IRÁNYÍTÁSOK AZ EMBERI TESTBEN

**Az emberi szervezet működése rendszerszemléletű
közelítésben**

Prof. emer. Dr. Monos Emil

**Klinikai Kísérleti Kutató- és Humán Élettani Intézet
Semmelweis Egyetem, Budapest**

KULCSSZAVAK

alimentációs alrendszer
effektor mechanizmusok rendszere
hőszabályozási rendszer
információs alrendszer
információáramlás sebessége
kardiovaszkuláris rendszer
központi idegrendszer
magatartás
motiváció
negatív-visszacsatolásos szabályozás
neuroendokrin rendszer
optimalizáló szabályozási rendszer
sejtrendszerek
szervrendszerek
vérkeringési rendszer

TARTALOM

- 1.0 Bevezetés
- 2.0 Az emberi szervezet, mint „üzemi” rendszerek rendszere
- 3.0 A szervezet anyagellátó rendszere
- 4.0 A szervezet információs rendszerei
- 5.0 Referenciák

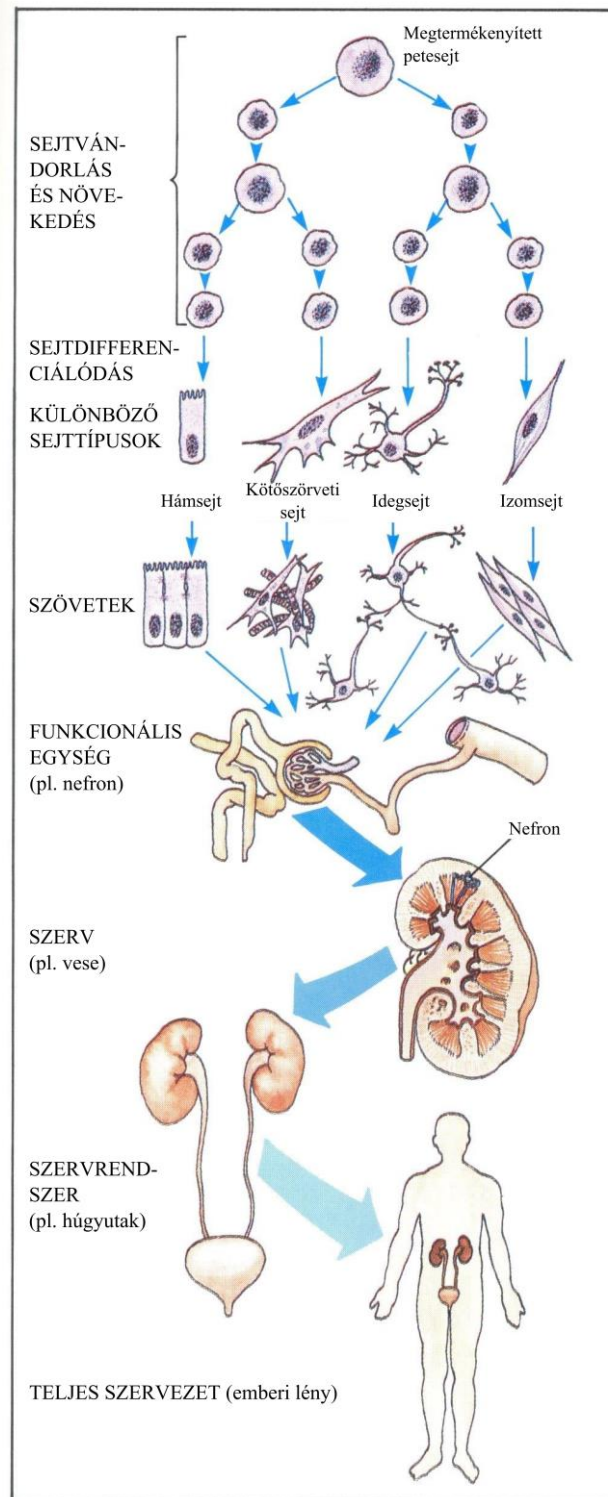
1.0 BEVEZETÉS

Szervezetünk egy csodálatos, komplex, multicelluláris organizmus (azaz soksejtű, összesen mintegy százbillió - 10^{13} - sejt), **sejtrendszerek hierarchikus rendben beágyazott rendszere**. Rendszereket ismerhetünk fel benne minden szerveződési szinten! A szervezet legegyszerűbb strukturális egységeit, amelyek még őriznek az életre jellemző funkciókat, nevezzük sejteknek. Azonban az **egyes sejteken belül is már igen bonyolult, rendszerekbe szerveződött**, alapvető energetikai (pl. a *mitokondrium*: a táp molekulák aerob oxidációja során felszabaduló energiát hasznosítja oxidatív foszforiláció révén) és információs (pl. a *sejtmag*: információtároló és sejt működést irányító génapparátus) szerepet betöltő szervecskék (sejtorganellek) működnek.

A biológiának egyik általános elve, hogy **bizonyos alapvető - de már a rendszerelv szerint szerveződött - funkciók közösek csaknem minden sejtben**, ezek képviselik a minimális követelményeket a sejt integritásának és életének a fenntartásához. Így, pl. egy emberi májsejt és egy amőba feltűnően hasonló abban, ahogyan molekulákat cserélnek ki közvetlen környezetükkel, amint energiához jutnak szerves tápanyagokból, vagy abban amiként szintetizálják a komplex molekulákat, amint megkettőzik magukat.

Minden egyes emberi szervezet élete **egyetlen sejtől** kezdődik (**1. ábra**), ez a megtermékenyített petesejt, amely **osztódik**, s két sejtet képez, ezek tovább osztódnak s négy sejt keletkezik, és így tovább. A sejtek szaporodása folyamán azonban nem teljesen azonos egyedekből álló sejtmassza jön létre, hanem fejlődésük során a **sejtek specializálódnak** bizonyos funkciók teljesítésére. Például arra, hogy kifejtsenek mechanikai erőt és mozgást (izomsejtek), vagy villamos jeleket generáljanak (idegsejtek), vagy információs kémiai molekulákat szintetizáljanak (endokrin mirigysejtek). Ezt a folyamatot, melynek során a nem specializált sejtől specializált sejt jön létre, **sejtdifferenciálódásnak** nevezzük. A differenciálódás mellett a sejtek új helyekre vándorolnak, szelektíven kötődnek egymással, s **multicelluláris struktúrákat** hoznak létre. Ily módon a test sejtjei különböző kombinációkba rendeződve **szervezett struktúrák hierarchikus rendszereit** képezik, amelyekhez igen sok, nagyrészt célszerű bemeneti és kimeneti jel (hatás) kapcsolt. Hasonló tulajdonságokkal rendelkező differenciált sejtek **szövetekké** csoportosulnak (izomszövet, idegszövet, stb.), amelyek más típusú szövetekkel kombinálódva **szerveket** formálnak, s ezek alkotják a **szervrendszereket** (pl. a húgyutak: a vizelet kiválasztás szervrendszere az **1. ábrán**).

Összefoglalva: szervezetünk minden strukturális és funkcionális szerveződési szintjén és egészében is érvényesül a rendszerelv.



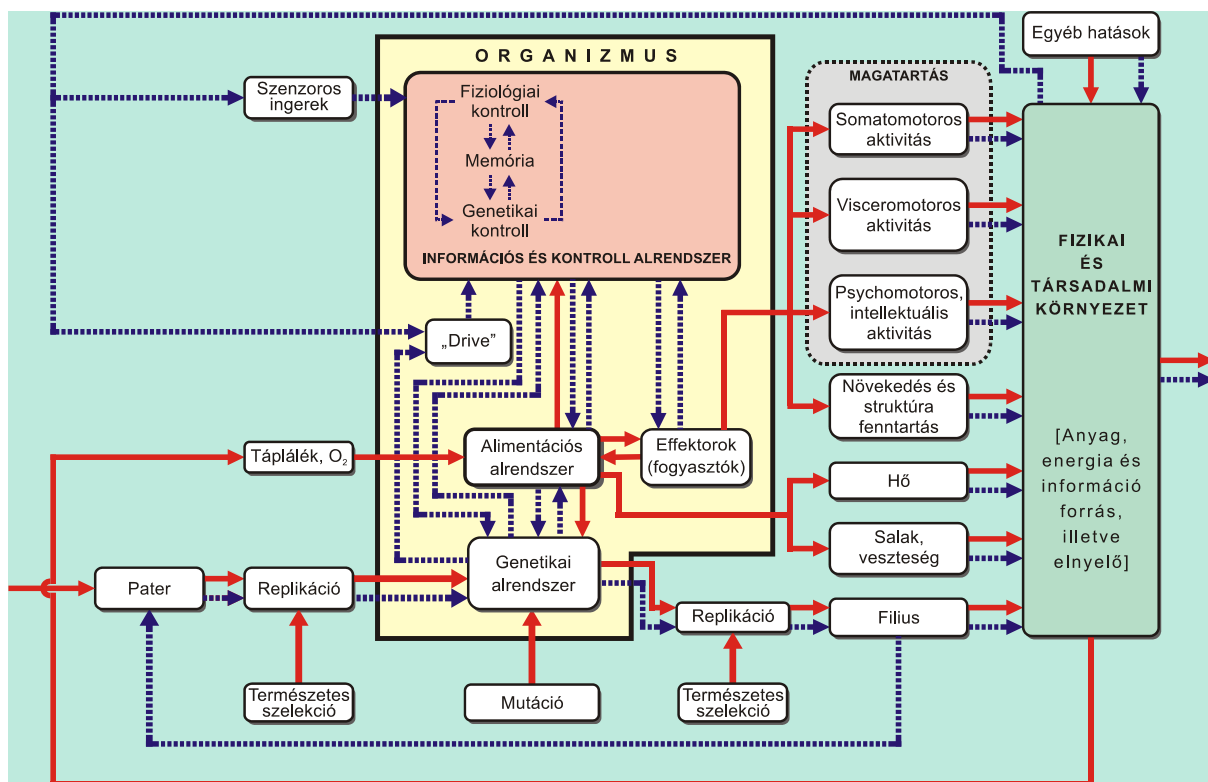
1. ábra. Az emberi lény, mint sejtszervezetek rendszere

A felnőtt emberi szervezet **összes sejtjeinek száma 10^{13}** -ra becsülhető, miként fentebb írtuk, azaz nagyságrendileg tízezerszer annyi, mint a Földön ma élő emberek száma, ~7,2 milliárd! (Szinte hihetetlen, hogy az emberi testben kb. tízszer annyi bakteriális sejt él, mint emberi!) A struktúra- és funkcióbeli

különbségek alapján mintegy **200 különbözőféle sejtet** lehet azonosítani a testben. Az alapvető funkciók szerinti osztályozással általában 4 fő kategóriába sorolják sejtjeinket: izomsejtek, idegsejtek, hámsejtek, kötőszöveti sejtek. Több fontos sejtpopuláció azonban az 1. ábrán nincsen külön feltüntetve: pl. a szervezetünk folyékony szövetének, a vérnek alakos elemei – azaz a vörös- és fehérvérsejtek, valamint az endokrin rendszer sejtjei.

2.0 AZ EMBERI SZERVEZET, MINT „ÜZEMI” RENDSZEREK RENDSZERE

Az **egyedi emberi szervezet** (organizmus) – igen nagyléptű egyszerűsítéssel – értelmezhető úgy is, mint olyan, nagyon bonyolult, alkalmazkodásra és autoreprodukcióna (szaporodásra) képes, továbbá anyagot, energiát és információt kezelő önszabályozó **üzemi rendszer**, amely hierarchikusan (azaz „vertikális” alá-fölérendeltségben működő) és heterarchikusan (azaz „horizontális” mellérendeltségi kooperációban működő) szervezett **alrendszerekből** (szervrendszerek) épül fel (**2. ábra**).



2. ábra. Az emberi szervezet, mint egyszerű tömbvázlatba redukált „üzemi” rendszerek rendszere

Folyamatos nyilak: anyag- illetve energiaáramok; szaggatott nyilak: információáramok

A **2. ábrán** szereplő *Alimentációs (tápláló, ellátó) alrendszer* magában foglalja mindazokat a szerveket, illetve szervrendszereket, amelyek a szilárd, folyékony, valamint a gáznemű anyagok külső környezetből történő felvételét (*bemeneti funkciók*), a szervezeten belüli *elosztását*, valamint a salakanyagok külső környezetbe irányuló kiürítését (*kimeneti funkciók*) szolgálják (részletesebben: **3. ábra**).

Az *Információs és kontroll alrendszer* keretébe tartozik a *genetikai szabályozás* mellett az idegi (részletesebben: **8., 9. és 10. ábra**), valamint a *hormonális (endokrin) szabályozás* teljes egésze (részletesebben: **11. és 12A. és 12B. ábra**).

Tekintettel arra, hogy mind az alimentációs be- és kimeneti funkciókat ellátó szervrendszerek működéséhez kapcsolt anyag- és energia-elosztó funkcióknak, mind pedig az endokrin szabályozásnak meghatározóan fontos *kommunikációs csatorna rendszere* a **Kardiovaszkuláris (szív-ér) rendszer**, ennek működési sajátosságait kissé részletesebben – tömbvázlatok révén rendszerekbe foglalva - mutatjuk be (**4., 5., 6. és 7. ábra**).

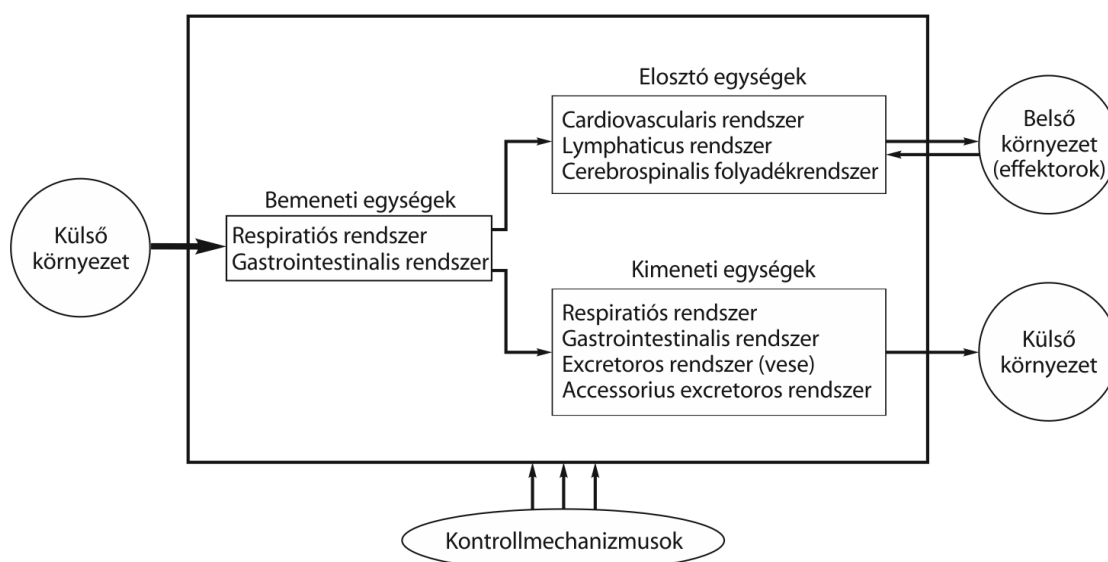
A *Magatartás* (részletesebben: **13. ábra**) a szervezet részéről a külső és/vagy belső környezet jelzéseire, ingereire adott szabályozott intenzitású, célirányított, egységes tevékenységbe rendezett, komplex *szomato-, viszcero- és pszichomotoros válaszaink* (reakcióink) együttese, amely a **központi idegrendszer legmagasabb szintű jelfeldolgozó, valamint szervező-irányító tevékenységéhez kötött**. Energetikai hátterét természetesen az *Alimentációs rendszer* biztosítja.

„**Drive**”: a *Magatartás* pillanatnyi intenzitását beállító pszichés hajtóerő (késztetés). A *motiváció drive-redukciós elmélete* a **14. ábra** kapcsán, a hőszabályozás példáján kerül kifejtésre

Genetikai alrendszeren értjük a szervezetünk azon informatikai rendszerét, amely irányítja az egyedi tulajdonságok átörökítését az előd (Pater) és az utód (Filius) között. A genom hordozza a sejtmag 23 pár kromoszómájában tárolt genetikai információt.

3.0 A SZERVEZET ANYAGELLÁTÓ RENDSZERE

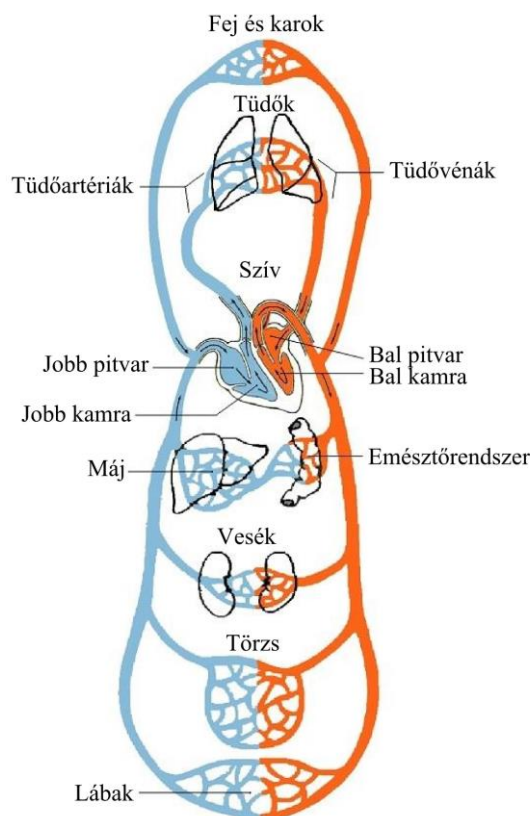
A szervezet *Alimentációs alrendszere* (lásd a **2. ábrán**) keretében működnek a *gasztrointesztinális* (gyomor-bél) és a *respirációs* (légző) szervrendszerek (**3. ábra**), amelyek a szilárd, folyékony és a gáznemű *anyagok felvételét* végzik (**Bemeneti egységek**). A szervezeten belül, az egyes sejtekhez („effektorok”) irányuló *anyagelosztás* a *kardiovaszkuláris* (szív-ér), a *lymphatikus* (nyirok) és a *cerebrospinális* (agyvíz) folyadékrendszerek (**Elosztó egységek**) funkciója. Az elosztó működéshez tartozik még az információs molekulák (hormonok, immun-mediátorok) és a hő elosztása is. A *kiürítő* (**Kimeneti egységek**) funkciók teljesítése részben a bemeneti funkciókat is ellátó *gasztrointesztinális* és *respirációs* szervrendszerek feladata (ezek tulajdonképpen betüremkedett külvilágnak tekinthetők), részben pedig *specializált excretoros* (kiválasztó) szervekhez (vese és bőrmirigyek) kapcsolt a szervezetben.



3. ábra. Az emberi szervezet alimentációs (tápláló, ellátó) rendszerének tömbvázlata

A hatalmas alimentációs összteljesítményt jellemzi, hogy egy átlagos, hatvanéves felnőtt élettartam során a felvett szilárd tápanyagok becsült mennyisége mintegy 23 tonna, a vízé 75 tonna, az oxigénfogyasztás pedig 80.000 hektoliter. Nyugalmi alaphelyzetben az egészséges, átlagtömegű szervezet ~250ml oxigént használ fel 1 perc alatt az elemi tápanyagok enzimek által irányított „égetéséhez” (alapanyagcsere). Intenzív izommunkában ez az érték mintegy 20x-osára nőhet. Egy liter oxigén felhasználása 4,8 Kalória energia felszabadulást eredményez. A felszabadított energia kb. 2/3-a hővé alakul. E teljesítmények fiziológiai hátterére vonatkozó részletes ismeretek a standard élettani tankönyvekben, kismonográfiákban megtalálhatók (pl. Fonyó 2014, Hall 2011, Monos 2012, Pavlik 2013, stb.).

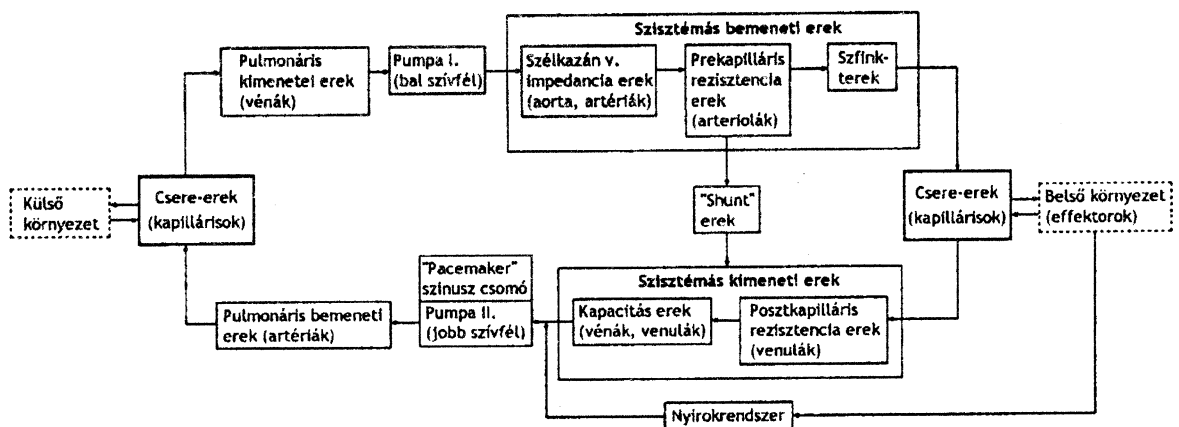
A **Kardiovaszkuláris rendszerben (4. ábra)** keringő vér olyan *flyékony szövetnek* tekinthető, amely a bemenő funkciókat teljesítő szervrendszerek által felvett és megfelelően előkészített tápanyag molekulákat, továbbá az információs molekulákat a fogyasztó sejtek közvetlen közelébe (kb. 10-100 μ m) juttatja nagy sebességgel. (Innen a sokkal lassabban, diffúzióval mozognak tovább a molekulák.) A hatalmas *elosztó kapacitásra* jellemző, hogy nyugalomban a szív mindegyik kamrája külön-külön percenként átlagosan 4,5-5,5 liter vért pumpál ki magából az aortába a jobb pitvar fele (*nagyvérkör*), illetve ezzel egy időben a tüdő artériába a bal pitvar fele (*kisvérkör*). Ez, az ún. szívperctérfogat érték, intenzív fizikai aktivitás kapcsán rövid időszakokra akár 5-7-szeresére megnőhet (utóbbi adat csúcsatlétákra jellemző). Nyugalmi körülmények mellett is a szív, egy perc alatt, a szervezetnek csaknem teljes vérmennyiségét átáramoltatja a vérkörökön. A nagyvérköri véráramot hajtó *nyomásfő* nyugalomban kb. 100 Hgmm, a kisvérkörben ez az érték alig 20 Hgmm (a szívpitvarokban a vérnyomás középértéke 0 Hgmm közelében van!).



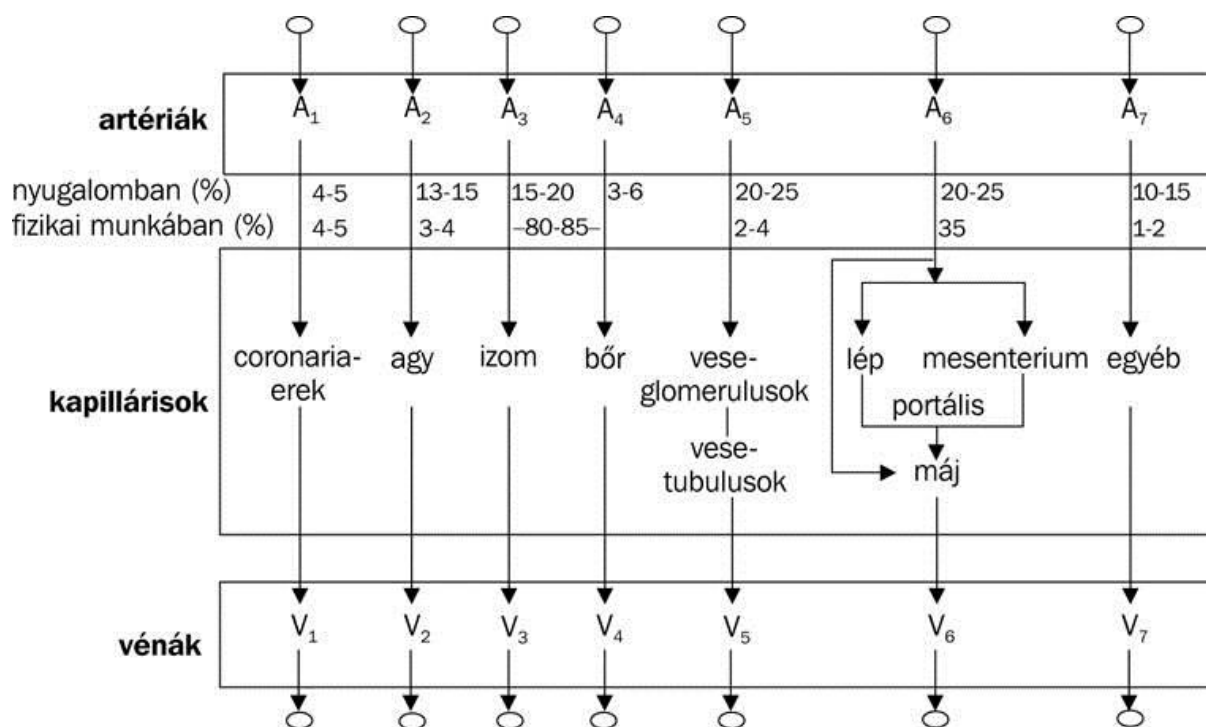
4. ábra. A kardiovaszkuláris szervrendszer a szervezet alimentációs és információs elosztórendszere

Az érrendszer becsült *teljes hossza*, kerekítve 40000 km-re tehető (az Egyenlítő hossza!), ennek túlnyomó része a kapilláris erekre esik (a nagyvérkörben átlagosan és közelítően az *egyes kapillárisok hossza* 700-800 μm , *belsőátmérőjük* 4-5 μm , *sűrűségük* pedig $\sim 600/\text{mm}^3$ szövet). Mindebből következik az is, hogy az áramló vér és a belső környezet közötti anyagcserélődésre potenciálisan *mintegy 1000 m^2 felület* (teniszpálya méret) áll rendelkezésünkre. Egy adott pillanatban, azonban, ennek a felületnek csupán egy része nyitott a *prekapilláris szfinkterek* működése következtében, amely a helyi szöveti igényekhez igazodik.

A vérköröknek mind a **soros (5. ábra)**, mond a **párhuzamos felépítése (6. ábra)**, s utóbbi mentén a *szívperctérfogató frakcióinak eloszlása* - nyugalomban és aktivitás kapcsán egyaránt - csodálatos, funkcióorientált, adaptívan szabályozott felépítést és mechanizmus rendszereket (7. ábra) tükröz. Az *anyagelosztó működés* mellett fontos a szabályozott *energia-elosztó (hő)* és *információ-elosztó* (igen sokféle endokrin- és immun-mediátor molekula) funkció is!



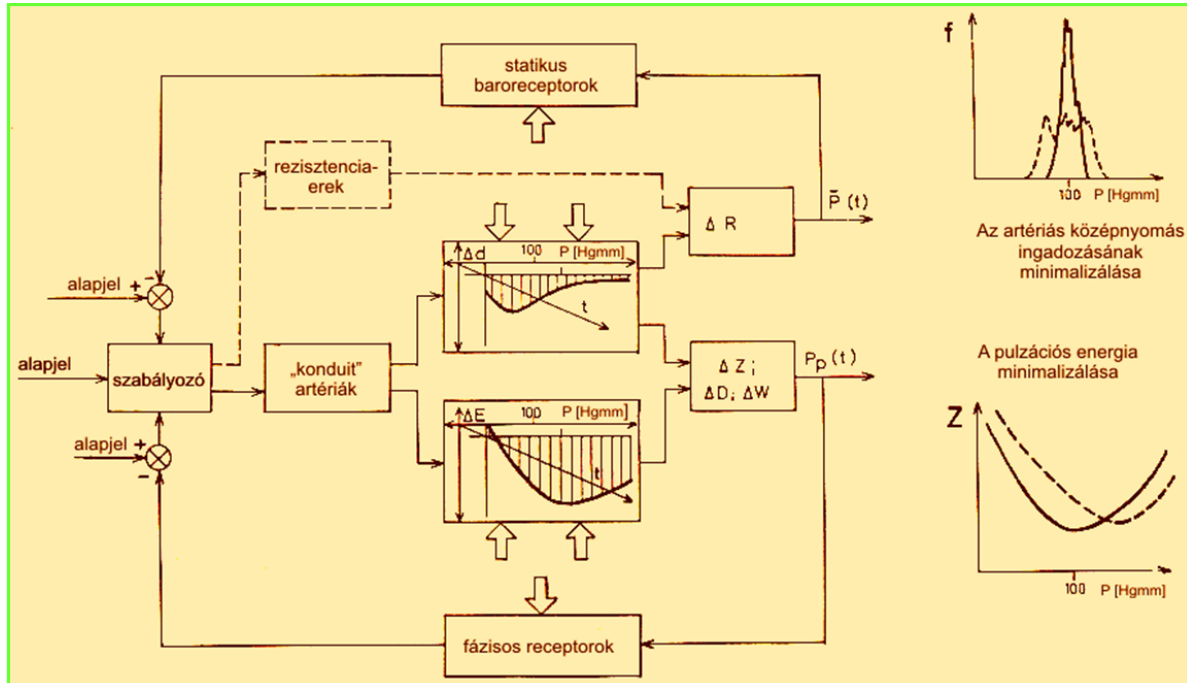
5. ábra. A vérkeringési rendszer sorosan kapcsolódó szakaszainak tömbvázlata (az egyes blokkok elnevezése tükrözi a fő hemodinamikai funkciót)



6. ábra. A szívperctérfogat-frakciók eloszlása (%) a szervezet párhuzamosan csatolt (A1/V1 - A7/V7) érterületein nyugalomban és intenzív fizikai munkában (A szív perctérfogata nyugalomban: 4,5-5,5 l/perc, intenzív fizikai munkában - 25-35 l/perc is lehet egészséges fiatal sportolóknál)

A vérkeringési rendszer egészséges működésének egyik alapvető feltétele a nagyvérköri artériás vérnyomás optimális értéken tartása pillanatról-pillanatra. E feltétel negatív visszacsatolások, értéktartó szabályozási rendszerek révén teljesül, központjuk az agytörzs, ahol az alapjel képzés, a hibadetektor működés és a szabályozó utasítások generálása történik (**7. és 14. ábra**). A szabályozási mechanizmusok működésének meghatározó érzékelő elemei (receptorai = jelátalakítói) a baroreceptorok, amelyek az aorta ív és a fő agyi artériák (jobb és bal a. carotis interna) falában helyezkednek el. E receptorok folyamatosan monitorozzák mind a vérnyomás középértékét (statikus receptorok), mind a szív pulzációjával egyidejű nyomásváltozások sebességét (fázisos, vagy sebesség-érzékeny receptorok). Feltételezhető, hogy a statikus receptorokhoz kapcsolódó szabályozási kör az artériás középnyomás ingadozásainak minimalizálásáért, a fázisos receptorok köre pedig a pulzációs energia minimalizálásáért felelős (**7. ábra**). Előbbi kör a prekapilláris rezisztencia erek tónusa révén az ohmikus egyenáramú ellenállással analóg áramlási rezisztenciát (R), utóbbi pedig az aorta és főágai (szélkazan-, vagy impedancia-erek) tónusának változtatásával a „váltóáramú” áramlási impedanciát (Z, hullámmellenállás) kontrollálja. Mindkét rendszer a nagyvérköri keringés optimális működését szolgálja, ugyanis a minimum értékek az optimumot definiálják (*kényszerlengéses szélsőérték-kereső optimalizáló szabályozási rendszer*). E megállapítás mellett szól, hogy az artériás impedancia minimum értéke a nyugalmi artériás középnyomás (~100Hgmm)

szintjére esik (**7. ábra**), tehát a balszív „váltóáramú” hidraulikus terhelése az optimális nagyvérköri nyomásfő szintjén a legkisebb.



7. ábra. Az artériás pulzációs energia optimalizálására irányuló – részben hipotetikus – szabályozó-mechanizmusok folyamatábrája

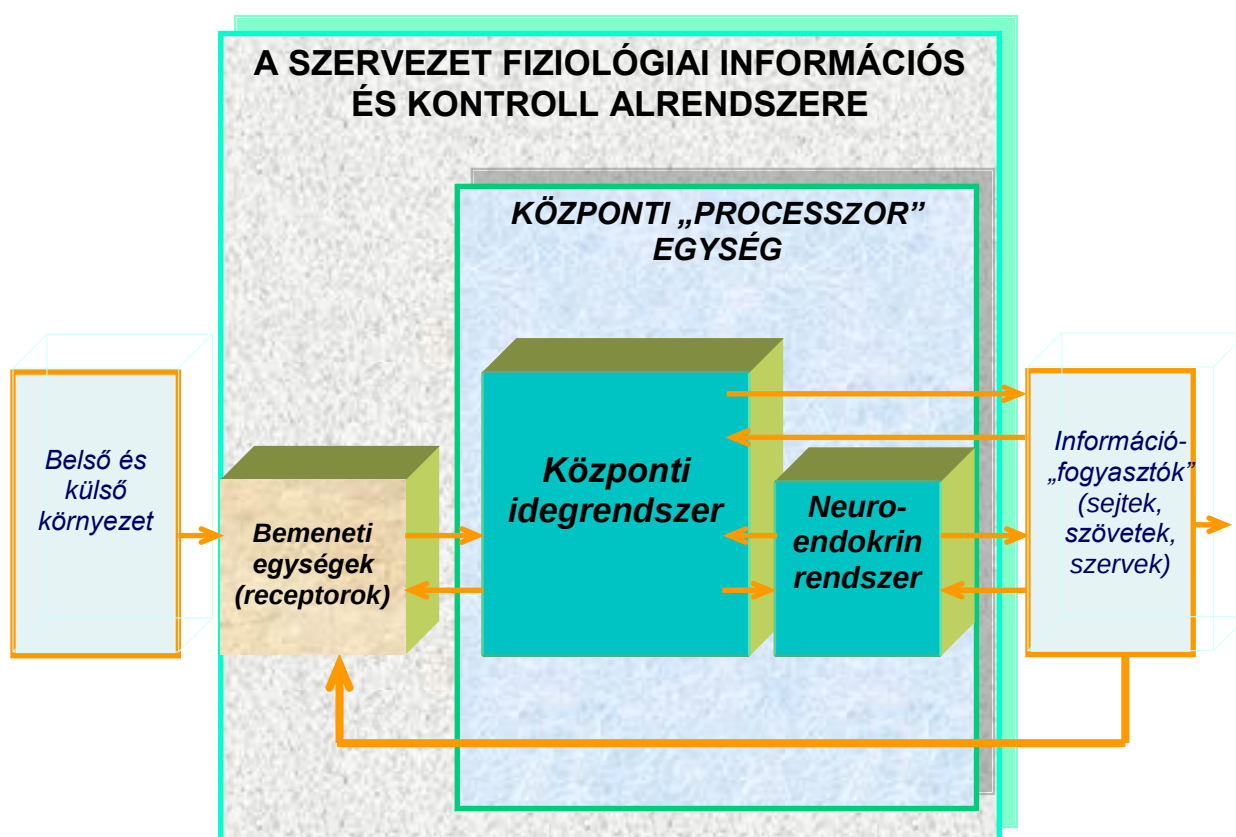
(Monos E, Szűcs B. 1995.)

Θ: összegező (hiba-detektor); Δ: fiziológiás és kóros moduláló hatások; P : intraarteriális nyomás; d : érátmérő; E : rugalmassági modulus; R : perifériás keringési ellenállás; Z : karakterisztikus áramlási impedancia; D : disztenzibilitás; W : rugalmas energia sűrűség; $\bar{P}(t)$: középnyomás időbeli változásai; $Pp(t)$: pulzusszinkron nyomásváltozások; f : gyakoriság;

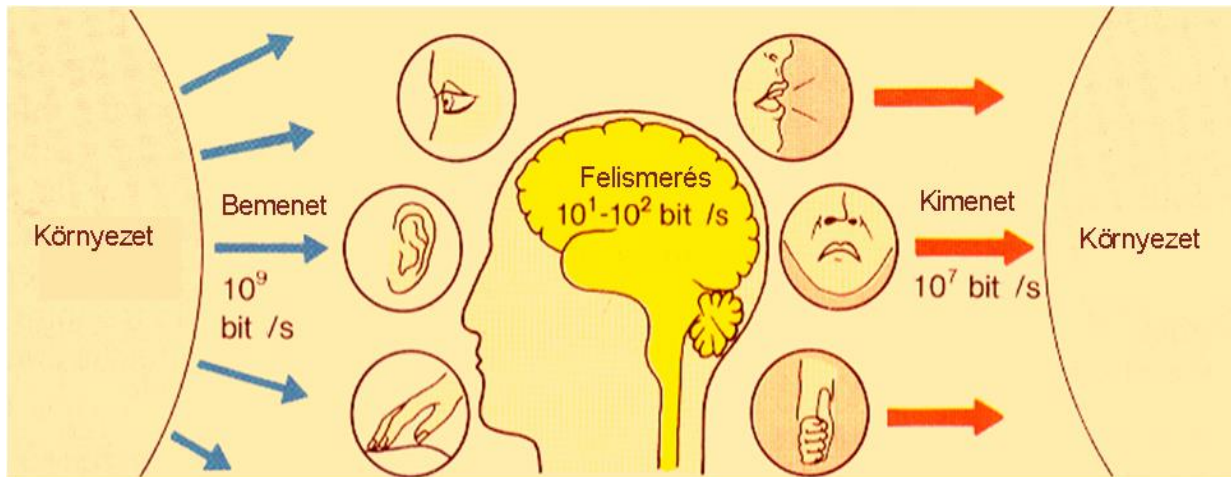
4.0 A SZERVEZET INFORMÁCIÓS RENDSZEREI

Az egész alimentációs és magatartási mechanizmus az idegi és a hormonális rendszerek által szabályozottan működik (**2. ábra: Információs és kontroll alrendszer**).

E rendszer (kissé részletezve: **8. ábra**) magában foglalja a **Központi idegrendszert** (**9. és 10. ábra**), valamint a hormonális rendszert (**Neuro-endokrin rendszer, 11., 12A. és 12B. ábra**).

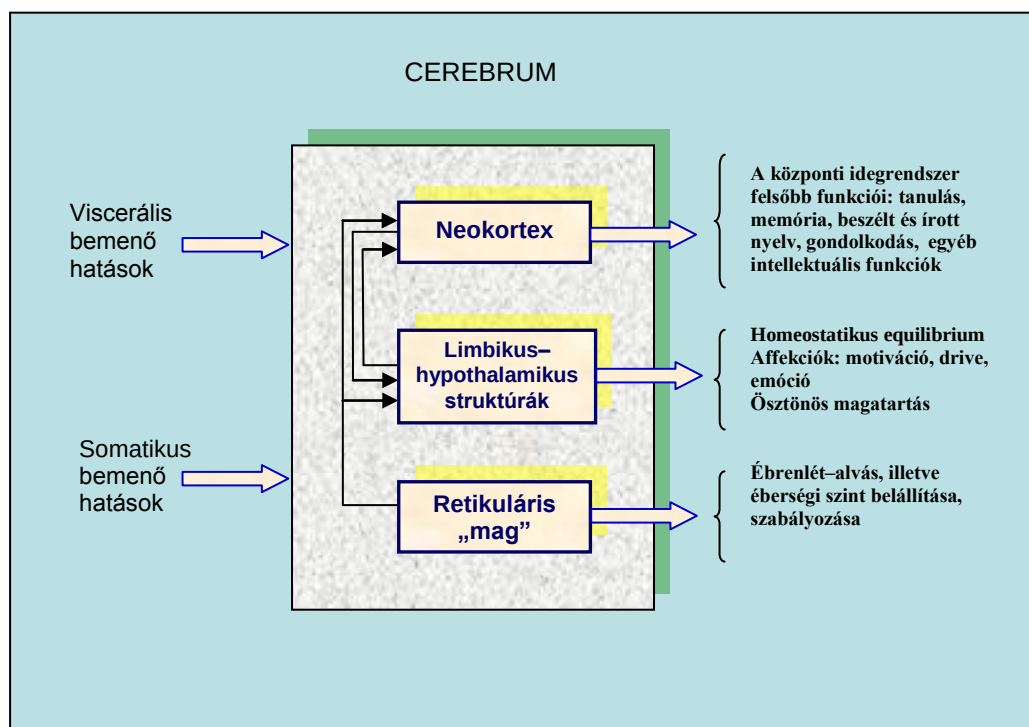


8. ábra. A szervezet fiziológiai információs és kontroll rendszerének egyszerűsített tömbvázlata

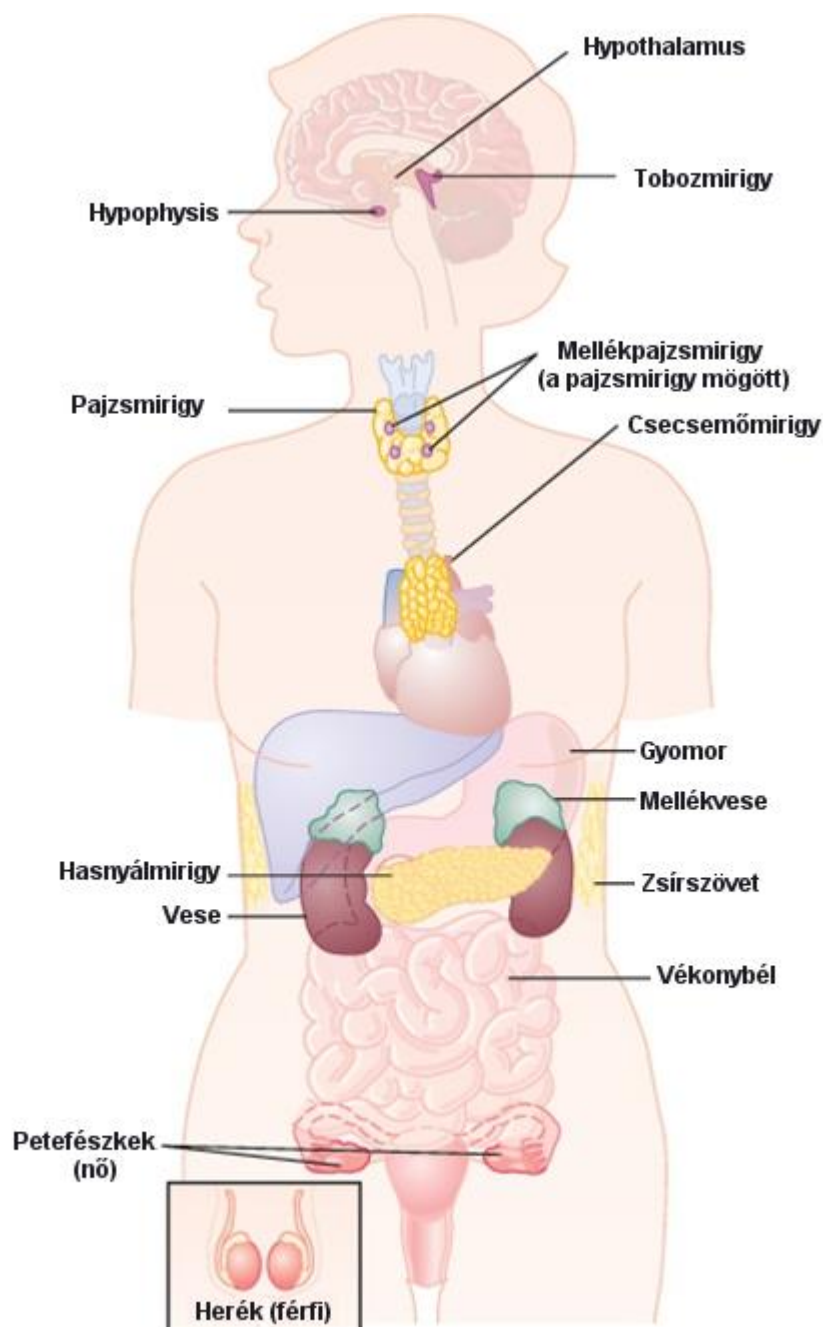


9. ábra. Az információáramlás sebessége a központi idegrendszeren (agyon) keresztül

Az agy alapvető integratív funkciói (**10. ábra**) a hierarchikus szerveződés rendszerét tükrözik: „**Neokortex**”, „**Limbikus-hypothalamikus struktúrák**”, agytörzsi „**Retikuláris mag**”.



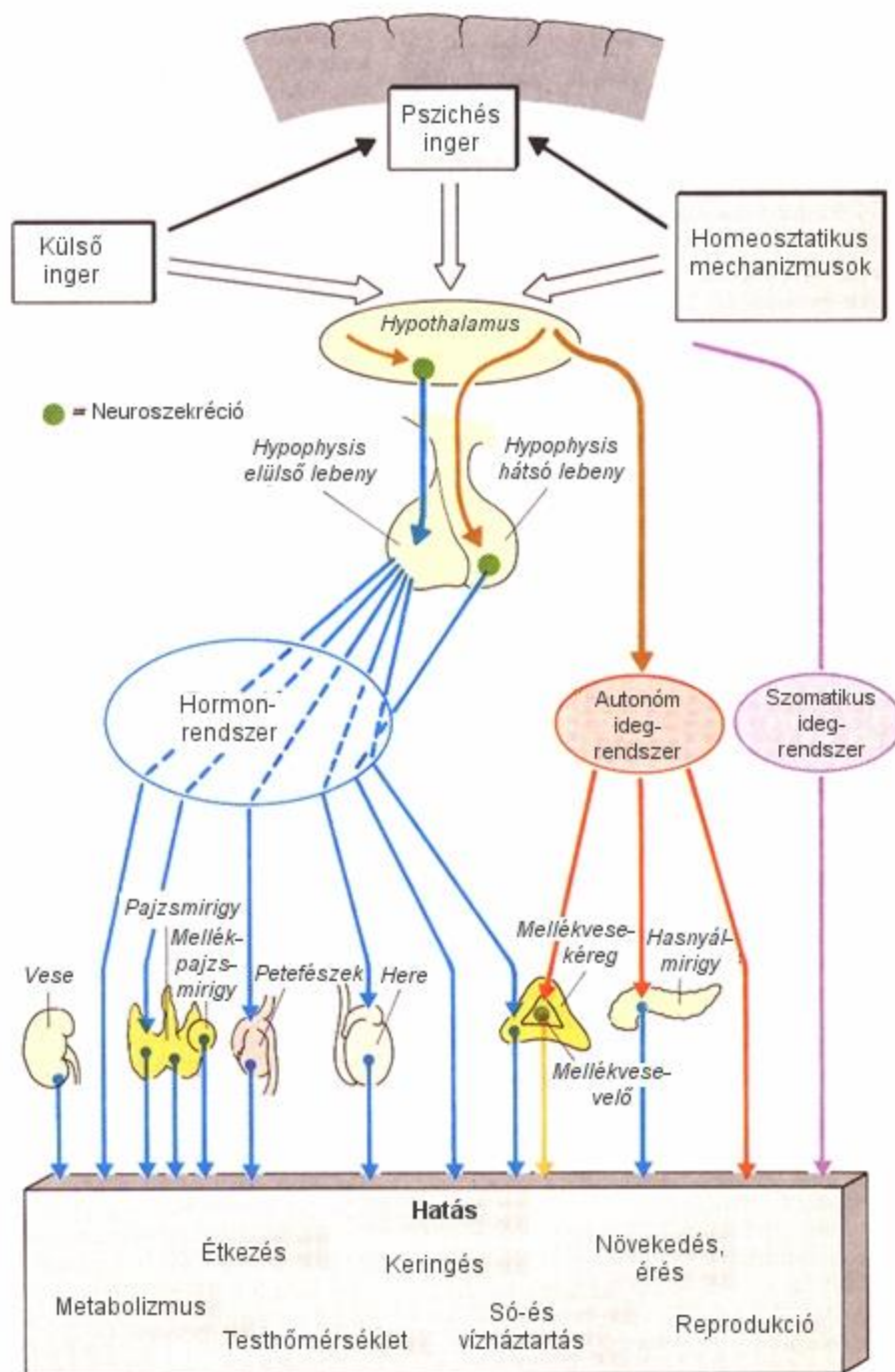
10. ábra. A nagyagy (CEREBRUM) fő integratív funkcióinak hierarchikus rendszere



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

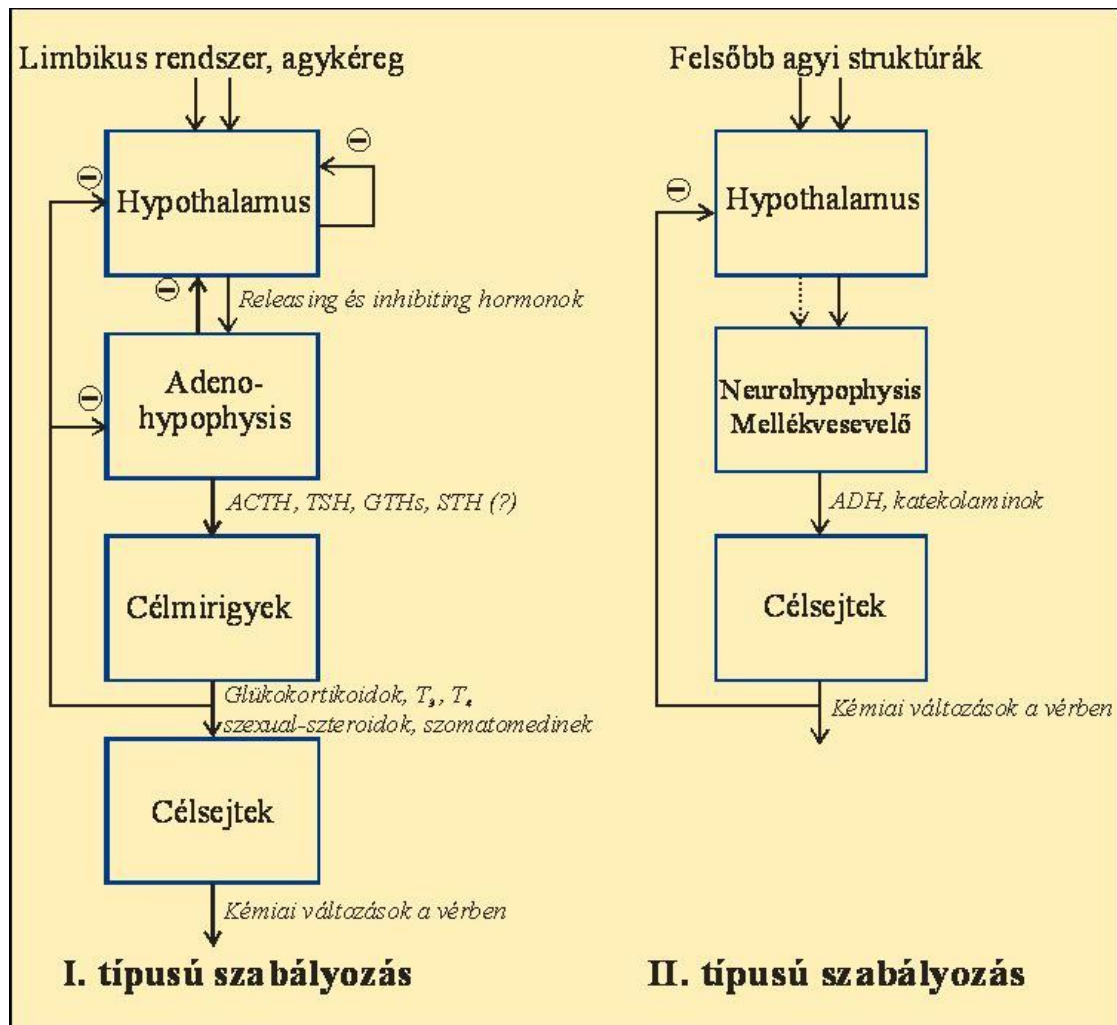
11. ábra. A neuro-endokrin rendszer szervei, a hormontermelő mirigyek

A **neuro-endokrin rendszer** termeli a hormonokat, amelyek a vérpálya útján, illetve diffúzióval jutnak el sejtjeinkhez s befolyásolják azokat, amelyek megfelelő recepttorral (érzékelő elemmel) rendelkeznek. E rendszer hierarchikus és heterarchikus szerveződését, valamint a hormonelválasztás szabályozásának negatív visszacsatolósos alapmechanizmusait demonstrálja a **12A.** és a **12B. ábra.**



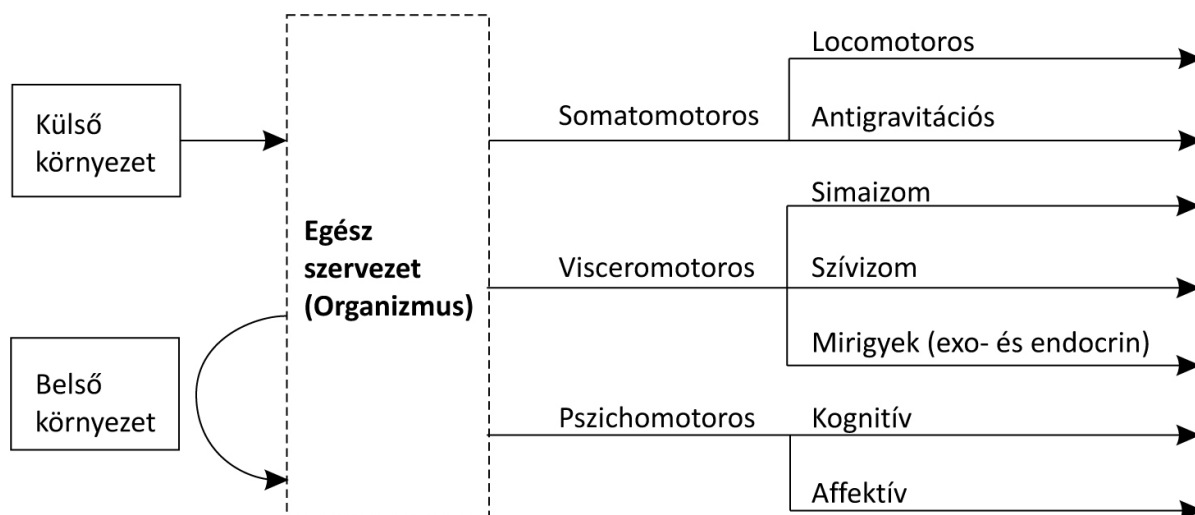
12A. ábra. Neuro-endokrin és autonóm idegi effektor mechanizmusok rendszere
 Az Autonóm idegrendszer akaratunktól függetlenül, a Szomatikus idegrendszer pedig az akaratától függően működik

E rendszer hierarchikus szerveződését mutatja a nagyagykéreg („**Pszichés inger**”), a vegetatív agy („**Hypothalamus**”), az agyalapi mirigy („**Hypophysis**”) és a „**Hormon-rendszer**” perifériás célmirigyjeinek („**Pajzsmirigy**”, „**Mellékvese**”, stb.) szubordinált, de összetett visszacsatolásokkal és kölcsönhatásokkal szabályozott rendje.



12B. ábra. A hormonszekréción rendszerek neuroendokrín szabályozásának többszintű negatív visszacsatolással működő két alaptípusa (ACTH: az agyalapi mirigy első lebenye által termelt, mellékvesekéregre ható tróphormon; TSH: pajzsmirigyre ható tróphormon; GTHs: nemi mirigyekre ható tróphormonok; STH: növekedést serkentő hormon; Glükokortikoidok: a mellékvesekéreg kortizol és kortikoszteron nevű hormonjai; T₃, T₄: pajzsmirigyhormonok; szomatomedinek: máj által termelt növededésre ható hormonok; ADH: az agyalapi mirigy hátsó lebenye által szekretált vesére és erekre ható hormon; katekolaminok: adrenalin és noradrenalin (a mellékvesevelő hormonjai); Kémiai változások a vérben (II. típusú): ozmótikus koncentráció, illetve glükóz koncentráció)

A **Magatartás** (viselkedés, angolul *behavior*), a szervezet részéről a külső és/vagy belső környezet jelzéseire, ingereire adott szabályozott intenzitású, célirányított, egységes tevékenységbe rendezett, komplex *somato-, viszcero- és pszichomotoros válaszok* (reakciók) együttese (részletezve: **13. ábra**), amely a **központi idegrendszer legmagasabb szintű jelfeldolgozó, szervező-irányító tevékenységéhez kötött**.



13. ábra. A motivált magatartás mechanizmusainak illusztrálása

A vázizomzathoz, mint végrehajtó (effektor) szervrendszerhez kötött **szomatomotoros** aktivitási mintázatok csoportosíthatók *testtartási* (antigravitációs) és *lokomotoros* (helyváltoztató), valamint *expresszív* (mimika, gesztikuláció, stb.) akaratlagos/tudatos válaszokra. E legutóbbi válaszok a pszichomotoros tevékenységekhez kapcsolódnak. A szomatomotoros aktivitást, fő funkciói szerint, az előbbieket figyelembevételével, lehet még *támasztómotorikára* (antigravitációs) és *célmotorikára* osztani.

A **viszceromotoros** reakciók fő végrehajtó szervei, illetve szövetei a *szívizom és a simaizomzat*, valamint a *külső- és a belső-elválasztású mirigyek*, ennek megfelelő a válaszok sokfélesége.

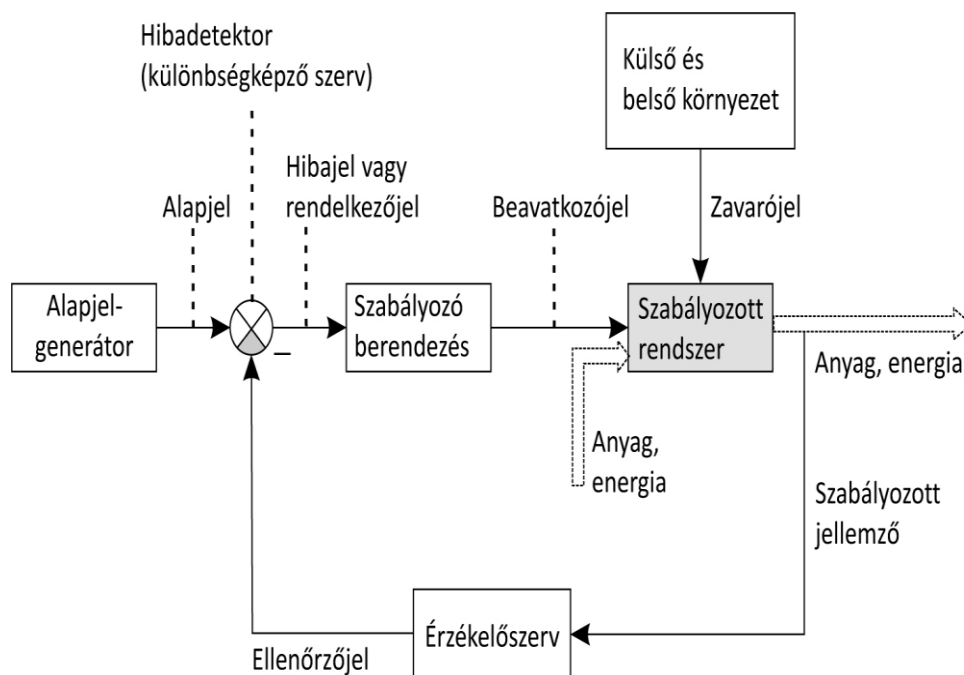
A **pszichomotoros** tevékenység *kognitív* (ún. legfelsőbb központi idegrendszeri megismerő funkciók, mint a tanulás, a beszéd, a gondolkodás stb. – **10. ábra**) és *affektív reakciók* (motiváció, pszichés drive, érzelem) csoportjaira bontható.

A magatartásmintázatok lehetnek *öröklöttek* (ösztönösek, veleszületettek) és *tanultak* (szerzettek). A szerzett tulajdonságok örökölhetőségének tudományos kérdéseivel a modernszemléletű *epigenetika* foglalkozik.

A magatartás röviden a következő módon is definiálható: *emóciókkal* (érzelmeikkel) kísért *motivált viselkedés/cselekvés*.

Motiváció (igény, vágy, szükséglet) a magatartás irányának és intenzitásának beállítását eredményező *pszichofiziológiai mozgatóerőt*, hajtóerőt értjük (**13. ábra**). A kifejezés a latin *movere*, *motio* (mozogni, mozgás) szavakból származtatható (mozgat, aktivitásra készlet, cselekvésre ösztönöz). A motiváció az egész egyed tendenciája arra, hogy szervezeten és szelektíven legyen aktív. Például a táplálkozási magatartás motivációja az éhség, a vízivásé a szomjúság, a szexuális motiváció a nemi vágy, a hőszabályozás motivációja a hődiszkomfort érzés. Nem azonos a motívum a cselekvés okával. A motiváció lehet tudatalatti is.

A motivált cselekvés pillanatnyi intenzitását beállító pszichés hajtóerőt **drive**-nak (késztetés) is nevezik. Fiziológiai szempontból a drive ekvivalensnek tekinthető a motivációban részes mechanizmus/ok aktiváltságának fokával. A *motiváció drive-redukciós elmélete* szerint kellemetlen hatások intenzitásának redukciója, vagy prevenciója révén motiválódhat a magatartás. E teória a szükséglet pszichológiai megfelelőjét *fiziológiai hibajelként* értelmezi. Erősen leegyszerűsítve, ezt az elméletet a **hőszabályozási rendszer** példáján illusztráljuk az értéktartó (homeosztatis) *negatív-visszacsatolásos szabályozás* műszaki tömbvázlatának segítségével (**14. ábra**).



14. ábra. A negatív visszacsatolásos szabályozás tömbvázlata (hőszabályozás az egyik élettani példa)

A szervezet belső, ún. maghőmérséklete a *Szabályozott jellemző*. *Zavarójel* hatására a fiziológiai *Alapjeltől* történő kisebb *maghőmérséklet-eltérés* (a *Hiba*) rendszerint autonóm, azaz tudatalatti - hőtermelő, illetve hőkonzerváló - mechanizmusok révén korrigálódik, ebben a vérkeringés és a

pajzsmirigyhormonok szerepe jelentős. Az *Alapjel generátor* és a *Hibadetektor* az agy alapi részén elhelyezkedő hypothalamus hőközpontjaiban képzelhető el. Az esetben, ha a fiziológiai szükséglet (a Hiba) nem korrigálódik automatikusan, azaz tudat alatt a *Szabályozó berendezés/ek* révén (az anyagcsere, érrendszer, stb.), akkor a perzisztáló Hiba nem-specifikusan, fokozatosan ébreszti a központi idegrendszert, azaz *arousalt* kelt. Az éberségi szint emelkedésével együtt megjelenik, tehát tudatosan a termoregulációs pszichofiziológiai hajtóerő - a *motiváció és drive* (pl. hideg környezetben a fázás, mint motiváció). A drive, mint egy *kiegészítő, az autonóm mechanizmusokra ráépülő pszichofiziológiai Rendelkezőjel*, meghatározott irányítottságú és intenzitású, célirányos cselekvést (lásd a **13. ábrát**), azaz tudatos és *specifikus magatartási mintázatot* (lehülés veszélye esetén intenzív hőtermelő testmozgás, öltözködés, fűtés, stb.) „energetizál”, amely a Hiba teljes korrekcióját eredményezi, s ez által kielégüléshez (példánkban *hőkomfort-érzéshez*) vezet. Külön figyelemre érdemes, hogy hasonlóan a műszaki rendszerekhez (pl. az automatikusan, termosztáttal szabályozott központi fűtés, vagy a hűtőszekrény), a nagy energiával működő fiziológiai üzemet, azaz a hőszabályozott szervezet maghőmérsékletét beállító szervrendszereket, viszonylag igen kis energiatartalmú szabályozó jelek (idegi akcióspotenciál frekvencia, kémiai hírvivők, hormonok koncentráció változásai) szabályozzák.

5.0 REFERENCIÁK

ALBERGONI V, COBELLI G, FRANCINI GL.

„Biological systems – An engineering approach to physiology.”

Pitagora Ed., Bologna, 1974.

CSÁKI F, BARS R.

„Automatika”.

Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.

FONYÓ A.

„Az orvosi élettan tankönyve.” 6. átdolgozott és bővített kiadás.

Medicina, Budapest 2014.

HALL J.

„Guyton-Hall Textbook of Medical Physiology.” 12th Edition.

Saunders, Philadelphia, 2011.

KENNER T, BUSSE R, HINGHOFFER-SZALKAY H. (Eds.)

„Cardiovascular System Dynamics (Models and Measurements).”

Plenum, New York, 1980.

MONOS E.

„Blood Circulation: Its Dynamics and Physiological Control”, in Physiology and Maintenance,

edited by OOP Hänninen, M Atalay, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>], 2006.

MONOS E.

„Hemodinamika – A vérkeringés biomechanikája”. 3. átdolgozott és bővített kiadás. Semmelweis Kiadó, Budapest, 2012.

MONOS E.

„A motiváció, az érzelem és a magatartás pszichofiziológiai alapjai.” 3. átdolgozott és bővített kiadás.

Semmelweis Kiadó, Budapest, 2014.

MONOS E, NÁDASY G, DÖRNYEI G, SZÉKÁCS B.

A keringés-szabályozás és célszervek változásai időskorban.

Háziorvosi Továbbképző Szemle, 10: 31-36, 2005.

MONOS E, SZÚCS B.

Optimization of hemodynamic energy expenditure in the arterial system.

Obes. Res. 3: 811S-818S, 1995.

PAVLIK G.

„Élettan – sportélettan.” Medicina, Budapest, 2013.

RAFF H, LEVITZKY M.

„Medical Physiology: A Systems Approach.”

McGraw-Hill LANGE, New York, 2011.

VANDER AJ, SHERMAN JH, LUCIANO DS.

„Human Physiology – The mechanismus of body function.” 5th Edition.

McGraw-Hill, New York, 1990.