

DEBRECENI EGYETEM
ALTALÁNOS ORVOSTUDOMÁNYI KAR
ANATÓMIAI SZÖVET- ÉS FEJLŐDÉSTANI INTÉZET

Matesz Klára

FUNKCIONÁLIS NEUROANATÓMIA



DEBRECENI EGYETEM
ÁLTALÁNOS ORVOSTUDOMÁNYI KAR
ANATÓMIAI, SZÖVET- ÉS FEJLŐDÉSTANI INTÉZET

DR. MATESZ KLÁRA

**FUNKCIONÁLIS
NEUROANATÓMIA**

egyetemi jegyzet

Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press
2015

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ.....	4
AZ IDEGRENDSZER. BEVEZETÉS.....	5
AZ IDEGRENDSZER FEJLŐDÉSE.....	6
Neurohisztogenesis.....	8
Myelinizáció.....	9
AZ IDEGRENDSZER SZÖVETI SZERKEZETE.....	10
A neuron felépítése.....	10
Gliasejtek (gliaszövet).....	13
Idegrosthüvelyek.....	14
Receptorok.....	15
A neuronok szerveződése.....	18
A perifériás idegek szerkezete.....	18
AZ IDEGSEJTEK KÖZÖTTI INGERÜLET ÁTTEVŐDÉS FORMÁI.....	20
A kémiai synapsis.....	20
Elektromos szinapszis.....	23
Nonszinaptikus transzmisszió.....	23
AXON TRANSPORT. DEGENERÁCIÓ ÉS REGENERÁCIÓ AZ IDEGRENDSZERBEN.....	25
Axon transport.....	25
Degeneráció és regeneráció.....	25
AZ IDEGRENDSZER FŐ RÉSZEI.....	28
A központi idegrendszer.....	28
A gerincvelő felépítése.....	28
Az agytörzs felépítése.....	30
Kisagy.....	36
Köziagy.....	38
Nagyagy.....	40
Körméki vagy perifériás idegrendszer.....	45
Agyidegek.....	45
Gerincvelői idegek.....	47
A KÖZPONTI IDEGRENDSZER BURKAI, LIQUOR CEREBROSPINALIS... ..	48
A KÖZPONTI IDEGRENDSZER VÉRELLÁTÁSA.....	50
AZ IDEGRENDSZER SZENZOROS MŰKÖDÉSEI.....	51
A gerincvelő érző működései.....	51
A szomatoszenzoros rendszer.....	53
A fájdalomérzet kialakulásának endogen kontrollja.....	55
A viszceroszenzoros rendszer.....	56
AZ IDEGRENDSZER SZOMATOMOTOROS MŰKÖDÉSEI.....	58
A gerincvelő somatomotoros működése.....	58
A motoros rendszerek hierarchiája.....	60
A törzsdúcok és a kisagy mint a szomatomotoros rendszer részei.....	62
A törzsdúcok.....	62
A kisagy.....	63
A VEGETATÍV IDEGRENDSZER.....	65
Sympathicus idegrendszer.....	65
Parasympathicus idegrendszer.....	66
A MONOAMINERG RENDSZER.....	68

A LIMBIKUS RENDSZER.....	70
AZ ÉRZÉKSZERVEK ÉS AZ IDEGPÁLYÁIK.....	72
Ízlelőszerv.....	72
A szaglőszerv.....	73
A látőszerv.....	74
A szemgolyó (bulbus oculi) felépítése.....	74
A szem járulékos részei.....	78
A látópálya.....	81
Halló és egyensúlyozó (vestibularis) szerv.....	82
A külső fül.....	82
A középfül.....	82
Belső fül vagy labirintus.....	83
A halló rendszer központi kapcsolatai (hallópálya)	86
Az egyensúlyozó (vestibularis) rendszer központi kapcsolatai.....	86
A bőr mint érzékszerv.....	88
A bőr (cutis) szerkezete.....	88
A bőr függelékei.....	90
A bőr mirigyei.....	91

ELŐSZÓ

A jegyzet célja a funkcionális neuroanatómia alapjainak ismertetése mindazon egyetemi hallgatók számára, akik nem az általános- és fogorvos képzés keretében tanulják a neuroanatómiát. Mivel a jegyzet ábrákat nem tartalmaz, a megfelelő részeknél zárójeles utalás történik az adott résszel kapcsolatos legfontosabb ábrákra. Az irodalmat jelző rövidítés után az ábra száma van feltüntetve.

- 1. Szentágothai János-Réthy Miklós: Funkcionális anatómia I. III. kötet 8. átdolgozott és bővített kiadás, Medicina Kiadó, Budapest, 2002. ISBN: 963 242 564 2 (Rövidítés: FI., FIII.)*
- 2. Sobotta: Az ember anatómiájának atlasza. I. kötet. Szerkesztette: R. Putz és R. Pabst. Semmelweis Kiadó, Budapest, 1994. ISBN 963-8154-52 7 (Rövidítés: S)*
- 3. Röhlich Pál: Szövettan I. II. kötet Második, javított kiadás. SOTE Képzéskutató, Oktatástechnológiai és Dokumentációs Központ, Budapest, 2002. ISBN 963-9129-37-2, 38-0, 39-9 (Rövidítés: RI., RII.)*

AZ IDEGRENSZER. BEVEZETÉS

Az állatvilág egyedeinek közös tulajdonsága, hogy a külvilág és a belső szervek ingereit képes felfogni és azokra biológiailag célszerű választ adni. Erre a feladatra specializálódott a neuroendocrin rendszer. Az endocrin rendszer a lassan kialakuló, hosszú ideig tartó válaszokért felelős, míg az idegrendszer a gyorsan kialakuló, rövid ideig tartó válaszokért felelős. Az ingerlékenység a sejt általános tulajdonsága, aminek három alapvető komponense van. Az inger felvétele, vezetése, és az ingerre adott válasz. Az inger a környezet megváltozása, amit a specifikus jelfogók, a receptorok érzékelnek. Az idegrendszer működése során igen gyorsan képes válaszolni a környezet megváltozására. Az axonok vezetési sebessége a milisekundumos nagyságrendbe esik.

Az idegrendszer építőkövei az idegsejtek vagy neuronok, amelyek egymással kapcsolatban vannak. A legegyszerűbb élőlényeknél hálózatos idegrendszer van, amiben az ingerület különböző irányokban terjed, hierarchia még nem alakul ki a rendszer tagjai között. Ez a diffúz idegrendszer csak korlátozott válaszok produkálására képes. Az evolúció magasabb fokán egyfajta központosulás következik be, bizonyos neuronok csoportokba tömörülnek. Ezek alkotják a központi idegrendszer kezdetleges fokát, az idegrendszernek ezt a formáját dúcidegrendszernek nevezzük. A következő lépés a cephalizáció, ami azt jelenti, hogy a központi idegrendszeren belül a feji dúc jobban fejlődik a többinél, és bizonyos fokú irányító szerepet tölt be. Az idegrendszer törzsfelődésének legmagasabb fokát a csőidegrendszer jelenti. Az embrionális velőcsőből alakul ki a központi idegrendszer. (*FIII: 2/53.*)

Ezekkel a folyamatokkal párhuzamosan a következő változások figyelhetők meg az idegrendszer filogenezisében. Az ingerület vezetés egyirányú lesz, az érző neuronok a periféria felől a központba, a mozgató neuronok pedig a központból a periféria felé vezetnek. A központi idegrendszerben nagy számú interneuron fejlődik ki, amelyek komplex neuronhálózatok kialakulását teszik lehetővé. A különböző funkciók ellátására különböző idegsejt csoportok és képletek fejlődnek ki a központi idegrendszerben. A speciális ingerek felvételére érzékszervek differenciálódnak.

AZ IDEGRENSZER FEJLŐDÉSE

Az idegrendszer a külső csiralemezből, az ectodermából fejlődik ki. A fejlődésnek három egymást követő szakaszát lehet megkülönböztetni. Az első a *neuralis indukció*, amelynek során az embryo dorsalis oldalán, a chorda dorsalis indukáló hatására az ectoderma megvastagodik, és kialakul a velőlemez.

A neuralis indukció molekuláris hátterét ma még nem teljesen ismerjük. A legvalószínűbb elképzelés szerint az ectodermában termelődik a bone morphogenetic protein (BMP), amelynek hatására az ectodermális sejtek az epidermalis irányába differenciálódnak. A chorda dorsalisban termelődő molekulák (chordin, follistatin, noggin) hozzákötődnek a BMP-hez és ezáltal gátolják az ectodermális sejtek epidermalis irányú differenciálódását.

A második szakasz a *neurulatio*, amelynek során a velőlemez fokozatosan lefűződve az ektodermáról *velőcsővé* záródik, amelyből a központi idegrendszer fejlődik ki. A periferiális idegrendszer fejlődése a *crista neuralis*ből és a *placodlemezből*, vagy röviden placodból történik. A crista neuralis (ganglionléc, dúcléc) a velőlemez laterális végén lévő sejtekből alakul ki, amelyek a velőcső záródásával párhuzamosan leválnak a velőlemezből. A crista neuralisból számos más, nem idegi képlet is kifejlődik. Ezekben a folyamatokban a sejt adhéziós molekulák szerepét valószínűsítik. Ezek a molekulák fontosak lehetnek az ectoderma idegi és nem idegi sejtjeinek szeparálódásában és a crista neuralis sejtjeinek migrációjában. A placodlemez az embryo feji végén alakul ki az ectoderma megvastagodásaként, és a benne lévő sejtek a mélybe vándorolva idegi és nem idegi képleteket hoznak létre. A harmadik lépés az ún. *neural patterning* vagy *morphogenesis*, amelynek során az idegrendszer különböző részének telepei fejlődnek ki az eredetileg egységes velőcsőből. (*FI. 1/14. ábra*).

A velőcső záródását követően annak feji végén kialakul a három elsődleges agyhólyag, a prosencephalon (előagy), a mesencephalon (középagy) és a rhombencephalon (utóagy) hólyag. Röviddel ezt követően kialakulnak a másodlagos agyhólyagok. Az előagyhólyagból kialakul a két telencephalon és a páratlan diencephalon (köztiagy) hólyag, míg a mesencephalon változatlan marad. A rhombencephalon differenciálódásából kialakul a myelencephalon és a metencephalon. (*FIII. 8/2. ábra*).

A későbbiek során a telencephalon hólyag differenciálódásából alakul ki a nagyagykéreg és a kéreg alatti fehérállomány, valamint a szaglóagy, a basalis ganglionok, az amygdala és a hippocampus. A diencephalonból alakul ki a thalamus

valamint a meta- epi-, hypo- és a subthalmus valamint a szemhólyag. A mesencephalonból a kifejlett agy hasonló nevű képlete differenciálódik. A metencephalonból alakul ki a híd és a kisagy, a myelencephalonból pedig a nyúltvelő.

Az agyhólyagok üregéből alakulnak ki az agykamrák, amelyeket ependyma bélel. Helyenként az agyhólyagok fala nem differenciálódik tovább, hanem megmarad egyrétegű hám formájában. Ezt a hámot türemíti be a pia mater kötőszöve és a benne lévő capillarisok. Az így kialakuló képleteket plexus choroideusnak nevezzük. (*FIII. 8/3. ábra*).

Az idegrendszer egyes részeinek morphogenesis három tengely körül zajlik le. Az anteroposterior tengely (neuraxis) mentén - ami megfelel a test későbbi hossz tengelyének - történő differenciálódás az agyhólyagok kifejlődését majd a szegmentációt jelenti (regional identity). A dorsoventralis tengely mentén történő differenciálódás a későbbi gerincvelő és agytörzs területén a sensoros és motoros rész elkülönülését jelenti, más agyrészekben pedig a majdani struktúrák telepének kialakulását (cell identity). A velőcső falában zajló sejtváندorlási folyamatok egy harmadik tengely mentén történnek: belülről-kifelé, ami a ventricularis - pialis tengelyt jelenti. Jóllehet a három folyamat egymással párhuzamosan zajlik, de az anteroposterior irányú differenciálódás megindulása előfeltétele a másik kettőnek.

Az anteroposterior irányú differenciálódásért a rhombencephalonban a szegmentációs gének felelősek. A rhombencephalon területén nyolc szegmentum (szelvény) vagy rhombomer alakul ki. Ez a szegmentáció a kifejlett agyon már nem látszik, de az egykori rhombomerek területét jól mutatják a motoros agyidegi magok. Mindegyik motoros agyidegi mag egy, vagy két szomszédos rhombomer területén található, szigorúan respektálva a rhombomerek határait. A szegmentáció kialakulása során a látszólag egyforma, de klonálisan különböző neuroblastok vándorolnak és az azonos klónhoz tartozók egyazon rhombomerbe kerülnek. A szegmentáció kialakulását egy filogenetikailag konzervatív géncsalád, a homeobox vagy Hox family gének irányítják amelyek a neuroblastokban expresszálódnak. Ezek szabják meg az egyes rhombomerek pozícióját. Ezeket az un. pozíció specifikáló géneket Drosophilában fedezték fel, ahol a kultúrák képleteinek hossz tengely mentén történő differenciálódását koordinálják.

A középagy nem szegmentálódik, az előagyban 6 vagy 7 szegmentum vagy neuomer alakul ki. Az egyes neuomerek közötti határ a kifejlett agyvelő főbb régiói közötti határnak felel meg. A neuomeren belül egy hosszanti tagozódás alakul ki, amelyek az agyon megtalálható hosszanti határokat reprezentálják. A rhombencephalonról rostralisán nincsenek meg a homeobox gének, de vannak azokhoz hasonló tulajdonságúak, amelyek ugyancsak konzervatívak. Például a Wnt-1 és a Fgf8 ami a mesencephalon és a rhombencephalon határ kialakulásához vezet. Hiányukban nem alakul ki a kettő közötti határ és a mesencephalonban kisagyi struktúra alakul ki. Mások, mint az Ems és Otx a diencephalon ventralis képleteinek kialakulásáért felelősek. A morphogenesisért felelős gének aktiválásában a retinolsav fontos szerepet játszik.

A gerincvelő szegmentálódását a paraxialis mesoderma indukálja. A paraxialis mesodermában kialakuló szegmentumok rostrocaudalis irányban polarizálódnak és a crista neuralis sejtek a szegmentum

rostralis végbe vándorolnak. A fej területén lévő mesoderma nem szegmentálódik, a feji sensoros ganglionok differenciálódását valószínűleg a Hox gének irányítják.

A dorsoventralis tengely mentén történő differenciálódás során először a velőcső ventralis oldalán, a fenéklemezben egy specialis gliasejt csoport alakul ki a középvonalban. Ezt követően a gliasejtekből érkező szignál hatására, azoknak két oldalán alakulnak ki a motoneuronok. A gerincvelői motoneuronok specifikusságát a LIM gének kódolják, ezek működése eredményezi hogy a motoneuron milyen működésű izomcsoportot fog beidegezni. A motoneuronoktól dorsalisabban a relay neuronok majd az interneuronok alakulnak ki. A fenéklemez és a motoneuron differenciációja a chorda dorsalis meglététől függ. A középvonali glia szignál az agytörzsben is megvan, például a serotoninerig raphe neuronok differenciálódását indukálja. A dorsoventralis differenciálódásért felelős gének az agy területén is megtalálhatók.

Neurohisztogenesis

A neurohisztogenesis a velőcső falában valamint a crista neuralisban lezajló sejt differenciálódási folyamatokat jelenti. Az idegszövet valamennyi sejtje közös őssejtből származik. Az őssejtből két sejt vonal differenciálódik a glioblastok és a neuroblastok. Az így kialakult sejt vonalak már elkötelezettek az egyik vagy másik irányba. Az idegrendszer fejlődése során kétszer annyi neuron fejlődik ki, mint amennyi a kifejlett idegrendszerben megtalálható. Még az embryonális élet során megtörténik a genetikailag programozott sejthalál (apoptosis).

Neurohisztogenesis a perifériás idegrendszerben. A perifériás idegrendszer legnagyobb része a crista neuralisból származik. Kivételt képez néhány agyideg ganglionja, amelyek a placod lemezből alakulnak ki. A crista neuralisban lévő, nyúlvány nélküli neuroblastokból két sejt típus alakul ki, az érző ganglionokban lévő pseudounipolaris sejtek és a vegetatív ganglionok multipolaris sejtjei. A Schwann sejtek és a ganglionok satelita sejtjei ugyancsak a crista neuralisból fejlődnek ki.

Neurohisztogenesis a központi idegrendszerben. A központi idegrendszer sejtjes elemei a velőcső falának egyrétegű többmagsoros hámjából fejlődik ki. A sejtosztódások eredményeként a velőcső fala megvastagodik, az újonnan képződött sejtek a belső felszín alatt maradnak, ezt nevezik ventricularis zónának. Így az üregtől távolabb eső terület sejtmentes marad, ez a marginalis zóna. Amikor az utolsó sejtosztódások is befejeződtek, a sejtek a ventricularis felszíntől kezdve vándorolnak kifelé a radiális glia, mint vezető médium mentén. Ennek következtében a ventricularis és a marginalis zóna között kialakul az intermedier zóna. Miután a sejtek elfoglalták végleges helyüket, megkezdődik az axon kinövése más idegsejtek illetve a beidegzendő izmok felé. A növekvő axon vége kiszélesedik, ez a növekedési kúp. A növekedési kúp haladási irányát különböző trofikus faktorok szabályozzák (extracellularis molekulák,

sejtdhéziós molekulák). Az axon növekedése során elágazik és szinaptikus kapcsolatot alakít ki a végződési helyén. Sokkal több szinapszis alakul ki, mint amennyi megmarad és stabilizálódik.

A glioblast vonal három fő irányba differenciálódik tovább, astrocyta, oligodendroglia és radiális glia precursorok alakulnak ki belőle. Az első két forma változatlan formában megmarad a kifejlett idegrendszerben. A radiális glia vagy átalakul és astrocyta, ependyma vagy tancyta lesz belőle vagy megtartja eredeti formáját és a kisagyi Bergmann glia vagy a retinalis Müller glia lesz belőle.

A gerincvelő neurohisztogenezise. A velőcső caudalis részének ventricularis felszínéből kivándorló neuroblastok két-két hosszanti oszlopot hoznak létre, az alaplemezt és a szárnylemezt. Előbbiből a ventralis szarv, és benne a somatomotoros neuronok, utóbbiból pedig a dorsalis szarv fejlődik ki. A dorsalis szarv területére nőnek be a hátsó gyöki ganglionsejtek nyúlványai a somaticus és a visceralis afferensek. A későbbi laterális szarvkialakulásához mindkét lemez hozzájárul. A laterális szarv a viseromotoros neuronokat tartalmazza. A két lemezt egymástól a sulcus limitans választja el, amely a canalis centralisban futó, később eltűnő hosszanti barázda.

Az agytörzs neurohisztogenezise. Az agytörzs alsó részén a kisagy megjelenésével a szárnylemez dorsolaterális helyzetűvé válik. Az egykori alaplemezből fejlődnek ki az agyidegek motoros magjai, a szárnylemezből pedig az érző magok. A szárnylemez és a fenéklemez elválasztó sulcus limitans az agytörzs területén megmarad. Ezen differenciálódással párhuzamosan zajlik a korábban leírt szegmentálódás.

A kisagy neurohisztogenezise. A kisagy a rhombencephalon szárnylemezből fejlődik. A kisagy fejlődésének kezdetén megtaláljuk a ventricularis, intermedier és a marginalis zónát. Az embryonalis élet harmadának végén egy második neuroblast réteg alakul ki a marginalis réteg külső területén. Ez a külső germinalis (granularis) réteg, míg az intermedier zóna neve belső germinalis (granularis) réteg. A radiális glia a ventricularis zónától a marginalis réteg felszínéig tart és a neuroblastok vándorlását irányítja. A neuroblastok a belső germinalis rétegből vándorolnak ki és belőlük fejlődnek ki a Purkinje sejtek és a Golgi sejtek, valamint a kisagymagvak. A külső germinalis réteg sejtjei befelé vándorolnak és szemcsesejteké differenciálódnak. A külső germinalis réteg sejtjeiből alakulnak ki a csillagsejtek és a kosársejtek.

Az agykéreg neurohistogenezise. Legelőször a belső réteg fejlődik ki, majd a radiális glia mentén a már kifejlődött sejtrétegeken keresztül vándorolnak a neuroblastok és mintegy egymásra rakódva alakul ki az agykéreg réteges szerkezete.

Myelinizáció

A központi idegrendszerben a velőshüvely kialakulása a hatodik magzati életben kezdődik és a folyamat az első életévben éri el a csúcspontját.

AZ IDEGRENSZER SZÖVETI SZERKEZETE

Az idegrendszer szöveti felépítésében specifikus és nem specifikus elemek vesznek részt. Specifikus elemek az idegsejtek vagy neuronok és a gliasejtek, amelyek az idegszövet támasztó elemei. A nem specifikus elemek az agyburkok és az erek.

A neuron felépítése

A neuronok az idegrendszer sejttes egységét képező, információ felvételére, feldolgozására és továbbítására alkalmas sejtek. Az emberi központi idegrendszerben az idegsejtek száma kb. 10^{10} . Az idegsejtek vagy neuronok morfológiailag négy fő részből állnak, ezek a sejttest (soma, perikaryon), a rövid nyúlványok (dendritek), a hosszú nyúlvány (axon, neurit, idegrost) és a végfácscsa (telodendrion). A *perikaryon* tartalmazza a sejtmagot, amelyben a chromatin diffúzan helyezkedik el (euchromatin) és a nucleolus(ok) jól látható(k). A cytoplasma igen gazdag durva felszínű endoplasmás reticulumban (RER), amit Nissl szemcséknek vagy Lenhossék után tigroid rögöknek neveznek. A perikaryon nagysága 10-100 μm között változik. A *dendritek* a cytoplasma nyúlványai, amelyek a sejttesthez közel vastagabbak, majd fokozatosan elvékonyodnak és általában többször is elágaznak a fa ágrendszeréhez hasonlóan. A dendritfa kiterjedése a sejttesttől néhány száz mikrométer. A kezdeti szakaszukban (proximalis dendritek) a mikrotubulusok és a neurofilamentumok mellett még megtalálható a RER és a szabad ribosomák, míg a távolabbi (distalis) dendritekben már csak cytoskeletalis elemek vannak. A dendritek felszíne gyakran nem sima, rajta kitüremkedések, dendrit tüskék találhatóak. Az *axon* a neuron hosszú nyúlványa, egy idegsejtnek általában egy axonja van. A sejttestből az axon eredési dombbal indul, aminek közvetlen folytatása az axon iniciális szegmentuma. Az axon neurofilamentumokban és mikrotubulusokban gazdag, de nem tartalmaz endoplasmaticus reticulumot. Átmérője az eredési domb után elvékonyodik, és a teljes lefutása során változatlan marad. Az axon általában nagyobb távolságra követhető a sejttesttől mint a dendrit, bizonyos esetekben egy méternél hosszabb is lehet. Lefutása során egy vagy több collateralist adhat, aminek az átmérője vékonyabb az eredő axonnál. Az axon utolsó szakasza a *telodendrion*, más néven axon terminalis, végződés vagy bouton, ami szinaptikus kapcsolatot alakít ki a szomszédos idegsejttel vagy a beidegzendő izommal illetve mirigysejttel. (RI. 9-1. ábra)

Az idegsejt egyes részei morfológiájuk mellett funkcionálisan is különböznek egymástól. Az idegi impulzus terjedési irányának megfelelően az első szakasz a receptív szegmentum. Ez a rész képes az inger felvételre és ingerületté alakítására vagy az ingerület fogadására. Morfológiailag ez az érző neuronok receptor részét jelenti a perifériás idegrendszerben, a központi idegrendszerben pedig a sejttest és a dendritek tartoznak ide. A második szakasz az iniciális szegment, ami a tovaterjedő akciós potenciál keletkezési helye. A konduktív szegment az axon, amelynek feladata az ingerület vezetése. Végül a negyedik a transzmisszív szegment, amit az axon terminalis képvisel és amelynek feladata az ingerület átadása.

A neuron a felvett ingert ingerületté, elektromos jellé alakítja. Az inger nagyságától függően a válasz lehet helyi vagy tovaterjedő. Amennyiben az inger nem éri el az adott neuronra jellemző küszöbértéket, egy lokális elektortónusos potenciálváltozás jön létre, amelynek amplitúdója az inger nagyságával arányos. Ha ez a potenciálváltozás depolarizálja a membránt EPSP-ről (excitatorikus postsynaptikus potenciál), ha hyperpolarizálja, IPSP-ről (inhibitoros postsynaptikus potenciál) beszélünk. Ha a depolarizációt okozó inger erőssége eléri a küszöbértéket, akkor tovaterjedő akciós potenciál formájában tovább viszi az ingerületet a postsynaptikus elemre. Az akciós potenciál nagysága mindig állandó, a neuronra jellemző érték. Független a stimulus erősségétől, azaz minden vagy semmi jellegű.

A neuronok osztályozása. Az idegsejteket *morfológiailag* osztályozhatjuk a sejttest alakja, a nyúlványok száma és azok elágazódási mintázata alapján. A neuron sejtteste lehet gömb, piramis, orsó alakú vagy szabálytalan sokszögű. A nyúlványok száma szerint lehet multipolaris, pseudounipolaris és bipolaris. A multipolaris neuronok több nyúlvánnyal rendelkeznek, ezek között egy axon van a többi a dendrit. A multipolaris neuronok az idegrendszer leggyakoribb sejtípusai. Egyes területeken jellemző alakúak, ilyenek a kisagy Purkinje és szemcsesejtek vagy a nagyagykéreg piramis sejtjei. A pseudounipolaris (álegnyúlványú) neuronoknál a gömb alakú sejttestből egy nyúlvány (axon) ered amely rövidesen kettéágazik. Perifériás nyúlványa szállítja az információt a központi idegrendszer felé, centralis nyúlványa a központi idegrendszerben végződik. Az embrionális élet kezdetén ezek a sejtek két nyúlvánnyal rendelkeztek, amelyek fokozatosan összeolvadtak. A pseudounipolaris neuronok sejtteste az agyidegek és a gerincvelői idegek érző ganglionjaiban található. A bipolaris neuronok gömb alakú sejttestjéből két axon ered. Tipikus előfordulási helyük az érző rendszerek. **(RI. 9-3. ábra)**

Az axon hossza szerint a neuron lehet Golgi I. típusú, ami hosszú axonú, kevés collateralissal rendelkező neuront jelent. A Golgi II. típusú neuron axonja rövid, de gazdag collateralis hálózattal rendelkezik.

Az axonok morfológiai osztályozása az idegrost hüvelyének alapján történik. A Schwann hüvelyes vagy velőtlen rostok, más néven C rostok a sympathicus idegrendszer postganglionaris rostjai. A Schwann- és velőshüvelyes rostok teszik ki a perifériás idegek legnagyobb részét. A központi idegrendszerben velőshüvelyes rostok találhatóak. **(RI. 9-9. ábra)**

A neuronokat osztályozhatjuk a *funkcionális* tulajdonságaik alapján is. Az afferens neuronok a periféria felől szállítják az információt a központ felé, ezeket sensoros (érző) neuronoknak nevezzük. Az efferens neuronok ellenkező irányban, a központtól a periféria felé közvetítik az információt, ezeket motoros vagy mozgató neuronoknak nevezik. Azokat a neuronokat amelyek hosszú axonnal rendelkezvén az idegrendszer egyik részéből egy másik részbe szállítják az információt projekciós neuronoknak nevezzük. Ezzel szemben az ún. interneuronok vagy internuncialis neuronok lokális kapcsolatokat létesítenek, az idegrendszer egyazon részén belül maradva.

A neuron mint idegszöveti egység. A neuronok az idegszövet anatómiai, fejlődéstani, funkcionális, trofikus és patológiai egységei.

- (a) Anatómiai egység. A neuron egy cellularis egység, amelynek felületét egységes, megszakítás nélküli sejtmembrán veszi körül. A két szomszédos neuron között 15-20 nm rés található, amely az idegrendszer extracellularis tere.
- (b) Fejlődéstani egység. Minden neuron az ectodermális hám származéka. Az eredetileg gömb alakú, nyúlvány nélküli sejtekből a neuron először az axonját, majd a dendritjét növeszti ki. Az axon már a magzati életben kialakítja kapcsolatait más idegsejtekkel, vagy egyéb szövetelemekkel.
- (c) Funkcionális egység. Minden neuron képes minden idegi alapjelenség (ingerlékenység, ingerület vezetés, ingerület átadás) kivitelezésére. Ha a neuron bármely részén tovaterjedő ingerületi hullám alakul ki, az végigterjed az egész neuron sejtthártyáján. A tovaterjedő ingerületi hullám minden vagy semmi jellegű, tulajdonságait, -sebességét, amplitúdóját- a neuron szövettani paraméterei határozzák meg. Kialakulási helyétől bármely irányban terjedhet, fiziológiai körülmények között azonban leggyakrabban az iniciális szegmentumban keletkezik.
- (d) Trofikus egység. A neuron nyúlványrendszere a sejtesttől elválasztva nem életképes, hiszen a fehérjeszintetizáló apparátus a perikaryonban helyezkedik el. Ha a nyúlványok összeköttetése a sejtesttel megszakad, a fehérje utánpótlás megszűnik és nyúlványok elpusztulnak.
- (e) Patológiai egység. A központi idegrendszer neuronjai nem egyformán érzékenyek a különböző káros hatásokra. Bizonyos betegségekben egyes neuroncsoportok érintettek, ugyanakkor másokban nem

mutatható ki károsodás. Ez feltehetően arra vezethető vissza, hogy az egyes neuroncsoportok kémia felépítésükben, elsősorban enzimrendszerük tekintetében különböznek egymástól.

A felsorolt öt egység mellett a neuron jellemzője az un.

- (f) Histodinámiás polaritás. Fiziológiai körülmények között az ingerületi hullám a neuronon a sejttesttől a végfácscska felé történik (orthodrom vezetés). A synapsis csak egyirányú átvezetést enged meg, tehát a neuron funkcionálisan polarizált, ami azt jelenti, hogy az ingerület a preszinaptikus oldalról terjed a postszinaptikus felé, visszafelé nem. Ebből a szempontból a neuron a következő részekre osztható: receptív, iniciális, konduktív, transzmisszív. Kísérleti körülmények között ellentétes irányú, tehát antidrom vezetés is lehetséges.

Gliasejtek (gliaszövet)

A gliasejtek az idegszövet támasztó elemei amelyek a neuronok működéséhez szükséges mikrokörnyezetet biztosítják. A központi idegrendszerben megtalálható típusai a velőcsőből kifejlődő astrocyta, oligodendroglia és ependyma, valamint a mesodermális eredetű microglia. A perifériás idegrendszerben található glia sejtek a crista neuralis eredetű Schwann sejtek és a satellita sejtek.

Az *astrocyták* nyúlványos sejtek. A szürkeállományban található a protoplazmás astrocyta, vagy astroglia, amelynek sejtteste nagyobb, nyúlványai rövidebbek és elágazóbbak a fehérállományban található rostos astrocyta gliáénál. A nyúlványaik glia talpakban végződnek, amelyek vagy a neuronok környezetében találhatók, vagy a capillaris endothel sejtek körül alkotják a membrana limitans gliae-t. Ennek indukáló hatására fejlődnek ki az agyi capillaris endothel sejtek közötti tight junctionok amelyek a vér agy gátat alkotják. Minkét astrocyta glia tartalmaz egy intermedier filamentumot, a gliál fibrillary acidic proteint (GFAP). A GFAP ellenes antitest specifikusan megjelöli a gliasejteknek ezt a populációját. Az *oligodendroglia* több nyúlványú sejt, amelynek nyúlványai alkotják a központi idegrendszerben a velőshüvelyt. A *microglia* macrophag eredetű, phagocytáló képességgel rendelkező sejt, az idegrendszer sérülése esetén keletkező szövettörmelék eliminálásában szerepel, emellett antigén prezentációra is képes. Az *ependyma* sejtek az agykamrákat és a canalis centralist bélelik. Az ependyma sejtek között liquorcontact neuronok találhatók, amelyeknek a csillója érintkezésbe kerül a folyadékkal. Axonjaik az agy felszínére jutnak, és az ependyma talpak között végződnek. A liquorcontact neuronok bioaktív anyagokat termelnek és ezt a subarachnoidalis trébe juttatva részt vesznek az idegrendszer mikrokörnyezetének szabályozásában. Módosult ependyma sejtek találhatók a liquor cerebrospinalist termelő

plexus choroideusok felszínén. A *satellita sejtek* a perifériás ganglionokban találhatóak, a ganglionsejt perikaryonját veszik körül. (FI. 2/64)

Idegrosthüvelyek

A *perifériás idegrendszerben* a Schwann sejtek alkotják az idegrostok hüvelyét. A Schwann sejt külső felszínét lamina basalis borítja. Az idegrost és a Schwann sejt egymáshoz való viszonya alapján beszélünk velőtlen vagy Schwann sejttes hüvelyű rostokról valamint velőshüvelyű rostokról. A velőtlen rostok esetében a Schwann sejt membránja vályúszerűen betüremkedik, és ebbe fekszik bele az axon. A vályú falai csaknem teljesen összefeksznek az összefekvés helye a mesaxon. Ilyen módon az axont a Schwann sejt membránja csaknem teljesen körülveszi. A perifériás idegrendszer legvékonyabb rostjai, a C rostok tartoznak ide, valamint a szimpatikus idegrendszer postganglionaris rostjai. A perifériás idegrendszer többi axonja velőshüvelyű axon. Ebben az esetben fénymikroszkópos szinten az axon körül egy velőshüvelyt találunk amit a Schwann hüvely vesz körül. Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kiderült, hogy mindkét hüvelyt a Schwann sejt hozza létre. Kialakulásuk úgy történik, hogy a Schwann sejt spirálszerűen körbetekeredik az axon egy rövid szakaszán. A feltekeredés közben a Schwann sejt citoplazmája mintegy kitérül, és a két sejtmembrán közel kerülve egymáshoz koncentrikus rétegeket alkot. Citoplazma csak a legbelső és a legkülső membrán rétegek között található. Ez utóbbi területen találjuk a Schwann sejt magját és a sejtorganelumokat is. A két szomszédos Schwann sejt által alkotott myelinhüvely szegment között az axon membránja közvetlenül érintkezik az extracelluláris térrel. Ezt a helyet Ranvier féle befűződésnek nevezzük. Mivel a velőshüvely szigetelőként működik, az idegi impulzus csak a Ranvier befűződés helyén terjed tovább. Ezt nevezzük saltatorikus vagy discontinuus vezetésnek. Minél vastagabb egy axon, annál vastagabb a velőshüvely és annál gyorsabb a vezetési sebessége. A velőtlen rostokra a continuus vezetés jellemző. (RI. 9-12, 9-14, 9-25).

A központi idegrendszerben az *oligodendroglia* képezi a velőshüvelyt. Egy gliasejt több, egymás közelében futó axon velőshüvelyét alkotja. Az oligodendroglia sejt nem rendelkezik lamina basalissal.

Receptorok

A receptorok általános tulajdonságai. A központi idegrendszer neuronjai nem képesek érzékelni a tapintási, fény, stb. ingereket, a különböző energiaformákat. Ezeket az energiákat először le kell fordítani, olyan jellé kell alakítani, ami idegi választ eredményezhet. Ez a folyamat, az inger ingerületté való alakítása, a receptorokban történik. Minden fajta stimulus számára egyedi receptor populáció fejlődött ki az evolúció során, azaz a receptor érzékeny egyfajta stimulusra (például a hidegre érzékeny, de izom összehúzódásra nem). Azt az energiafajtát, amelyre a receptorok a legérzékenyebbek, adekvát ingernek nevezzük. A nem adekvát ingerre is válaszolnak, de ezekre az ingerküszöbük jóval magasabb. A receptor ingerküszöbe az a minimális intenzitású inger, amely akciós potenciált vált ki a receptorhoz tartozó axonban. A receptor specificitása annak specialis szerkezetével függ össze. A specificitás mellett azonban a receptorok működésében vannak közös vonások. Minden receptor a stimulusra a membránpotenciál megváltozásával reagál. A receptorokban generátor potenciál keletkezik, ami a membrán feszültség gradált változása, amely ha eléri a küszöbértéket, akciós potenciállá alakul. Az akciós potenciál továbbítása a központi idegrendszer felé a primer afferens rostokon keresztül történik. A primer afferens rost sejtteste a ganglion spinaleban, vagy az agyidegek érző dúcaiban helyezkedik el.

Minden receptor egy adott területről szerez információt, ezt a területet nevezzük receptív mezőnek. A bőr esetében ez azt jelenti, hogy az afferens végződés egy meghatározott bőrterületről hozható ingerületbe. A primer afferens rostok receptív mezői részben átfedik egymást.

A receptorokra jellemző az adaptáció, ami azt jelenti, hogy az érzékelés egy idő után csökken, majd teljesen megszűnik. A gyorsan adaptálódó receptorok az ingerlés után hamar beszüntetik az akciós potenciál generálását. A lassan adaptálódó receptorok az ingerlés időtartama alatt végig, bár csökkent amplitúdóval, adnak le akciós potenciált. A receptor adaptációja az egyik oka annak, hogy a érzet akkor is megszűnik, ha az inger tartósan fennmarad.

A receptorok osztályozása. A receptorokat *morfológiai* megjelenésük alapján két nagy csoportba oszthatjuk, vannak az érzéksejtek és az idegvégzódések. Az érzéksejtek esetében egy erre differenciálódott sejt veszi fel az ingert és alakítja ingerületté. Amennyiben a sejt saját axonja vezeti tovább az ingerületet, primer érzéksejtről

beszélünk. A secunder érzéksejtek esetében az ingerület egy synapsison keresztül áttevődik a primer afferens neuron perifériás nyúlványára. Az idegvégződések a primer afferens rost végződései, melyek lehetnek szabad idegvégződések és specializált végződések.

Lokalizációjuk alapján a receptorok lehetnek exteroceptorok, amelyek a külvilág ingereit érzékelik, míg a szervezet belső állapotáról az interoceptorok tájékoztatják az idegrendszert. A proprioceptorok a test aktuális térbeli helyzetéről szolgáltatnak információt.

A receptorra ható *adekvát inger* alapján a receptorok lehetnek mechano-, termo-, foto-, kemoreceptorok és polimodális receptorok.

A sokféle receptor az *inger fajtája alapján* három alaptípusba sorolható: mechanoreceptor, kemo és elektromágneses vagy fény receptor. A *mechanoreceptorok* esetében a húzás vagy nyomás a membránhoz kapcsolódó cytoskeletalis fehérjékre hat, vagy az extracelluláris tér azon szénhidrát láncaira, amelyek ioncsatornához csatlakoznak. Mindkét esetben az ioncsatorna konformációja megváltozik, az ionok vándorlása a membránpotenciál megváltozását eredményezi. A *kemoreceptorok* esetében a kémiai anyag a receptor molekulához kötődik ami a G protein aktiválásával olyan folyamatokat indít el, amelyek megváltoztatják az ioncsatorna áteresztőképességét. Vannak olyan kémiai anyagok, amelyek közvetlenül az ioncsatorna fehérje komponenséhez kötődnek. A *fotoreceptorok* esetében a foton kötődik a rodopsin nevű anyaghoz, ami a G protein rendszeren keresztül befolyásolja az ioncsatorna működését.

Az idegvégződéses receptorok fajtái. A *szabad idegvégződések*, amelyeket nociceptoroknak is neveznek legnagyobb mennyiségben az epidermisben található. Olyan mechanikai, termikus és/vagy kémiai ingerekre válaszolnak, amelyek a szövetek épségét veszélyeztetik. Magas ingerküszöbük miatt kisebb erősségű ingerrel nem hozhatók működésbe. A nociceptoroknak két fő típusát különböztetjük meg. A *specifikus nociceptorok*, amelyek vagy mechanikai, vagy termikus ingerekre reagál. Ezek a receptorok a vékony velőshüvelyes, A δ típusú primer afferens rostokhoz tartoznak. A másik receptor típus a különböző fajta ártalmas ingerekkel egyaránt aktiválható *polymodális nociceptorok*. Ezek a receptorok a velőtlen C típusú primer afferensek végződései. A nociceptorok lassan adaptálódnak. A nociceptorok nemcsak a

bőrben vannak jelen, hanem a csontban, csonthártyában, izmokban, savós hárttyákban, agyburkokban is. Másol, például az agyban teljesen hiányoznak.

A *specializált idegvégződések_mechanoreceptorok*, különböző tapintási ingerekre érzékenyek. Jellemző rájuk, hogy az axonvégződést egy specialis szerkezetű tok veszi körül, ezért enkapszulált végződéseknek is nevezik őket. Az axonnak a tokba való belépése után a myelinhüvely megszűnik. A receptorokhoz tartozó primer afferens rost vastag velőshüvelyű rost, A β kategóriába tartozik. A bőr mélyebb rétegeiben és a bőr alatti kötőszövetben található *Vater-Pacini test* és a *Ruffini test*. Mindkettőnek a receptív mezője aránylag nagy. A Vater Pacini test ovális alakú képlet, ami fénymikroszkópban kettévágott hagymára emlékeztet. A közepén található velőtlen rostot Schwann sejtekből és kötőszövetből álló koncentrikus lemezrendszer vesz körül. A lemezek között folyadék található. A lamellák nyomás vagy vibráció hatására történő elmozdulása jelenti a stimulust a receptor számára. A Vater-Pacini test gyorsan adaptálódó receptor. A Ruffini test vékony kötőszövetes tokkal körülvett képlet, a tokban folyadék található. A környező kötőszövet kollagén rostjai szoros kapcsolatban állnak a tokkal, így a kollagén elmozdulása jelenti az ingert a receptor számára. A Ruffini test lassan adaptálódó receptor. A bőr felületesebb rétegeiben helyezkednek el a finom tapintást érzékelő receptorok. Ilyen a *Meissner test*, ami gyorsan adaptálódó receptor. A szőrtelen bőrterületeken fordul elő, receptív mezeje kicsi. A Meissner test belsejében lévő velőtlen rostot szabálytalan lamellák veszik körül, amelyek között folyadék van. Tapintás során a fogás erőségét érzékeli, amikor valamit felemelünk. **(RI. 9-17, 9-18).**

Az izomorsó szerkezete. Az izomorsó kötőszövetes tokkal körülvett receptor, ami a munkaizomrostok között, azokkal párhuzamosan helyezkedik el. A kötőszövetes tokon belül néhány, a munkaizomrostoknál vékonyabb izomrost helyezkedik el (intrafusális rostok). A rostok végén található csak harántcsíkolt, a közepükben sejtmagok található. A sejtmagok elhelyezkedése alapján kétféle izomrostot lehet megkülönböztetni. Az egyik esetben a sejtmagok csoportosan helyezkednek el, és rost közepét kidomborítják (magzsák). A magzsák körül egy vastag velőshüvellyel rendelkező (Ia) érző rost tekeredik fel, ezért ezt a végződést magzsák receptornak nevezzük. A másik fajtánál a magok a rost tengelyében található, amihez egy vékonyabb velőshüvelyű (II), virágcsokorra emlékeztető elágazódással bíró rost kapcsolódik. Ez az izomcső receptor. Az izomcső felől is kiváltható a proprioceptív reflexív, de ebben az esetben legalább

egy közbeiktatott neuron is van. Az izomorsó az izom feszülési állapotát érzékeli, adekvát ingere az izom megnyúlása vagy megnyújtása. Az intrafusalis rostok esetében minden egyes izomroston egy vékony velőshüvelyes, motoros rost végződik, amely a gamma motoneuronokból ered.

Az ínorsó esetében, amely az ín-izom átmenetnél helyezkedik el egyformán aktív az izom összehúzódásakor és az izom passzív megnyújtásakor. A belőle kiinduló rostot Ib típusú rostnak nevezik. Az ínorsó felől kiváltott proprioceptív reflexív is tartalmaz interneuront. (*FIII. 814*).

A neuronok szerveződése

A perikaryonok eloszlási mintázatát cytoarchitectonikai mintázatnak nevezzük.

A központi idegrendszernek azt a részét, ahol a neuronok perikaryonjai csoportosulnak, szürkeállománynak nevezzük. A szürkeállomány a kisagy és a nagyagy hemispheriumaiban felületesen helyezkedik el, ez a kéregállomány, vagy röviden kéreg (cortex). A kérgen belül az egymás alatt elhelyezkedő neuronok rétegekben (lamina, stratum) helyezkednek el. A gerincvelő területén a szürkeállomány belül hosszanti elrendezésű oszlopokat (columna) alkotnak a neuronok, a keresztmetszeti képen az oszlopok átmetszetét szarvnak (cornu) nevezzük. A központi idegrendszer egyes részein a neuronok clusterekbe vagy csoportokba tömörülhetnek, amit magoknak (nucleus) nevezzük. A neuronok a központi idegrendszer más részeiben laza hálózatot képeznek, amit formatio reticularisnak nevezünk. A központi idegrendszer egymás mellett futó axonjai alkotják a pályákat (tractus, fasciculus, lemniscus). Az egymás mellett futó pályák alkotják a központi idegrendszer fehérállományát, vagy velőállományát (medulla).

A perifériás idegrendszerben a perikaryonok csoportosulásai a dúcok (ganglion), az egymás mellett futó axonok az idegek (nervus) vagy ágak (ramus) vagy gyökerek (radix). A periférián található axonok közül vannak olyanok, amelyeknek a sejtteste a központi idegrendszerben található. (*RII. 21-1, 21-2, 21-8, 21-17, 21-19, 21-20*).

A perifériás idegek szerkezete

A perifériás idegben az egyedi rostok körül vékony, kollagén rostokból álló endoneurium található. A kollagén rostokat a Schwann sejtek termelik. Több ilyen

rostot a perineurium vesz körül, amely epitheloid sejtekből áll, amelynek mindkét felszínén lamina basalis található. A sejtek collagen rostot termelnek, de contractilis tulajdonságokkal is rendelkeznek, a sejtek egymáshoz tight junctionokkal kapcsolódnak. Ilyen módon a perineurium egy semipermeabilis protektív barriert képez, megakadályozva bizonyos anyagok átjutását. A perifériás ideg egészét a tömött rostos kötőszövetből álló epineurium borítja. (*RII. 21-22*).

DUPRESS

AZ IDEGSEJTEK KÖZÖTTI INGERÜLET ÁTTEVŐDÉS FORMÁI

Az ingerület áttevődés az egyik idegsejtről a másikra vagy az idegsejtről az izom, illetve mirigysejtre általában *synapsis*okban történik. (FI. 2/72. ábra). A *synapsis* két formája a kémiai és az elektromos *synapsis*.

A *synapsis* fogalmát Sherrington vezette be az 1800-as évek végén és azt a helyet definiálta *synapsisként*, ahol az egyik neuron axon terminalisa anatómiai és funkcionális kapcsolatba kerül egy másik neuronnal és ilyen módon terjed tovább az ingerület.

A kémiai *synapsis*

Az emlősök idegrendszerében a *synapsis*ok legnagyobb része *kémiai synapsis*. A kémiai *synapsis*ban az ingerület terjedése egyirányú, a presynaptikus elemről terjed a postsynaptikus elemre. A *synapsis*ban a kapcsolatnak az az eleme amelyik átadja az információt a presynaptikus, amelyik pedig fogadja, a postsynaptikus elem. A kettő között található a synaptikus rés, amely 10-20 nm széles. Morfológiai megjelenésére jellemző, hogy mind a prae-, mind a postsynaptikus membrán jellegzetes megvastagodást mutat, amelyet elektronmikroszkópos megjelenése alapján pre- és postsynaptikus denzitásnak neveznek. A presynaptikus terminálisban található a synaptikus vesiculák, amelyek membránnal körülvett 20-40 nanométer nagyságú képletek. A vesiculák egy része közvetlenül a presynapticus megvastagodás közelében, az ún. aktív zónában található. A vesicula lehet ún. világos és dense core vesicula. A presynaptikus axonon futó ingerület kémiai médiatort, neurotranszmittert szabadít fel. A transzmitter exocytosisal ürül ki majd a postsynaptikus membránban lévő receptorhoz kapcsolódik és olyan változtatásokat indít el, amelyek a postsynaptikus neuron membránjának a permeabilitását megváltoztatják. (RI. 9-21, 9-22 ábra, FI. 2/74, 2/75. ábra)

A vesicula membránban calcium csatornák találhatóak, specifikus fehérjéi a synaptotagmin, synaptophysin és a synaptobrevin.

A kémiai *synapsis*ok osztályozása. Történhet aszerint, hogy a neuronok milyen részei vesznek részt a kapcsolatban. A leggyakoribb forma az axodendritikus *synapsis*, ahol a presynaptikus elem az axon terminalis, a postsynaptikus pedig egy dendrit. Ezen kívül aránylag gyakori az axosomatikus és az axodendritikus kapcsolat, ahol a postsynaptikus elem a sejttest vagy egy másik axon. Ezen kívül előfordulnak olyan

kapcsolatok is ahol a presynaptikus elem egy dendrit, vagy a sejttest, a postsynaptikus pedig dendrit, axon vagy sejttest lehet.

Egy másik fajta osztályozás a prae- és a postsynaptikus elemek morfológiája szerint történik. A Gray I. típusú vagy aszimmetrikus synapsis esetén a synaptikus vesiculák kerekerek, a postsynaptikus denzitás kifejezett. A Gray II. vagy szimmetrikus synapsisban a vesiculák általában laposak és a postsynaptikus membrán denzitása nem kifejezett. Az általánosan elfogadott elmélet szerint a Gray I. típusú serkentő, a Gray II. típusú synapsis gátló működésű.

A synaptikus kapcsolatok komplexitása szerint a legegyszerűbb a végtalpas synapsis, amely egyben a leggyakoribb is. Ebben a kapcsolatban az axon terminalis kiszélesedik, és talpszerűen borítja a postsynaptikus elemet. A glomerularis synapsisokban a részt vevő elemek kis területen, fogaskerék szerűen kapcsolódnak egymáshoz és gyakran egy glia tok veszi őket körül. A parallel kontaktusokban az axon kúszónövény szerűen felfut a dendriten és többszörös synaptikus kapcsolatot létesít vele. A kehelyszerű synapsisban a kiszélesedő axon terminalis körbefogja a sejttestet.

Konvergencia és divergencia. A neuronok egymással való kapcsolatában ritkán fordul elő lineáris kapcsolat, amikor egy neuron csak egyetlen másik neuronnal kerül kapcsolatba. Sokkal gyakrabban fordul elő, amikor egy axon többszörösen elágazódik és a terminálisai sok más postsynaptikus neuronnal lépnek kapcsolatba. Ez a jelenség a divergencia. Ennek az ellentéte, a konvergencia is gyakori az idegrendszerben: egy neuron több más neurontól fogad synaptikus bemenetet. A különböző forrásokból beérkező ingerületeket a neuron integrálja és a megfelelő választ kialakítja.

A neurotranszmisszió alapjai. A kémiai synapsis esetében a synaptikus transmissiónak öt lépését lehet megfigyelni.

1. A neurotransmitter szintézise a presynaptikus neuronban. A bioszintézishez szükséges a precursor jelenléte, a megfelelő enzim aktív formája, és az enzimaktivitás kifejtéséhez szükséges kofaktorok.
2. A neurotransmitter és/vagy precursorának tárolása a praesynaptikus terminálisban. A transmitter vesiculában tárolódik. Mivel szintézise a cytosolban történik, a vesiculába való bejutását speciális transporter molekulák segítik.
3. A neurotransmitter kiürülése (release) a synaptikus részbe. A release első lépése, hogy a vesicula fehérjék kapcsolatba lépnek a presynaptikus terminalis cytoskeletalis komponensével és elmozdítják a vesiculát az aktív zónába. A depolarizáció következtében kialakuló intracellularis Ca szint növekedése azt eredményezi, hogy a vesicula membránban lévő ún. dokkoló fehérjék (docking protein) kapcsolatba lépnek a presynaptikus membrán hasonló dokkoló fehérjéivel. Ennek következtében kialakul egy nyílás a vesiculán és a presynaptikus membránban majd a neurotransmitter exocytosisal kiürül.
4. A neurotransmitter kötődése a receptorhoz. A synaptikus részbe bejutott transzmitter a postsynaptikus neuron membránjában lévő receptorhoz kötődik. A receptor kétféle lehet, ionotróp és metabotróp. Az

ionotróp receptor esetében a receptor a membránban elhelyezkedő ioncsatorna fehérje, amely nyitott állapotban szelektíven enged át bizonyos ionokat. A csatorna receptor részéhez hozzákötődött transzmitter megváltoztatja a csatornafehérje konformációját aminek következtében a csatorna kinyílik. Az átjutott ion ezt követően depolarizációt vagy hyperpolarizációt eredményez a postsynaptikus membránban. Előzőre példa az ionotróp glutamat receptor, amelynek aktiválódása Ca beáramlást és következményes depolarizációt eredményez. Hyperpolarizációt eredményez a klorid ion beáramlása a sejtbe, ami a GABA és a glicin receptorok aktiválódása következtében jön létre. Az ionotróp receptorok aktiválódásának eredményeként a postsynaptikus oldalon gyorsan kialakuló és gyorsan lezajló változások alakulnak ki.

A metabotróp receptoroknál a receptorfehérje intracelluláris proteinekhez kötődik (pl. G protein), ami a szignált továbbítja a sejt belseje felé és ezáltal megváltoztatja az intracelluláris folyamatokat.

A transzmitterek közül egyesek ionotróp, mások metabotróp receptorokhoz kötődnek. Egyes transzmitterek, mint például a glutamat, képesek kötődni ionotróp és metabotróp receptorokhoz is.

Az autoreceptorok a presynaptikus membránban vannak, a neurotranszmitter odakötődése módosítja a transzmitter release-t vagy szintézist.

5. A kiürült neurotranszmitter inaktivációja. Inaktiváció hányában a neurotranszmitter tartós hatása alakul ki, amely tartós összehúzódot okozhat az izomban (tetanus) vagy ismételt és tartós kisüléseket a neuronokon. A neurotranszmitter eliminálása történhet oly módon, hogy a presynaptikus terminális specifikus transporter molekulák segítségével felveszi a transzmittert, vagy egy enzimatis degradáció következik be az extracelluláris térben. Bizonyos esetekben a glia is képes felvenni a neurotranszmittert.

Ahhoz, hogy egy kémiai anyag megfeleljen a neurotranszmitter kritériumának, több feltételnek kell teljesülnie. Egyik feltétel az, hogy a neuron képes legyen az adott kémiai anyag szintézisére és annak felszabadítására a neuron aktiválása során. A feltételezett transzmittert a célsejten alkalmazva ugyanazt a hatást fejtsse ki, mint ami a szóban forgó presynaptikus neuron stimulálása során alakul ki. A kémiai anyag hatását blokkolni lehessen a transzmitter antagonistájával dózis függő módon. Végezetül legyen jelen egy aktív eltávolító mechanizmus, ami lehet enzimatis degradáció vagy újrafelvétel a presynaptikus neuronba specifikus transporter molekulák révén, vagy glia által történt felvétel.

A neurotranszmitterek kémiailag több csoportba oszthatók. A központi idegrendszerben leggyakrabban előforduló neurotranszmitterek a következők:

Neuropeptidek: opioid peptidek (encephalin, dynorphin), tachykininek (substance P), egyéb (oxytocin, glucagon, secretin, neuropeptid Y, somatostatin, Calcitonin-gene related-peptid /CGRP/, cholecystokinin).

Kis molekulájú neurotranszmitterek:

Biogén aminok: acetylcholin, monoaminok: (catecholamin: dopamin, norepinephrin, epinephrin), serotonin, histamin.

Aminosavak. GABA, glicin, glutamate, aspartate,
nucleotidok: ATP.

Egyéb: nitrogén oxid

A perifériás idegrendszerben a preganglionaris rostok mindig acetylcholin segítségével közvetítik az információt a postganglionaris neuronra (kolinerger)

transmissió). A postganglionaris neuron a sympathicus idegrendszer esetében legnagyobb részben noradrenalin segítségével közvetíti az információt a célszervre (noradrenerg transmisszió) és csak kis százalékban van jelen a cholinerg transmisszió (verejtékmirigyek beidegzése). A parasympathicus idegrendszer esetében valamennyi postganglionaris rost cholinerg.

Mind a központi, mind a környéki idegrendszerben a domináns neurotransmitter mellett gyakran egy másik is megtalálható (kolokalizáció).

Elektromos szinapszis

A szinapszis másik formája az *elektromos szinapszis*. Az elektromos szinapszis vagy gap junction alacsony ellenállású helyet jelent, ahol az ionok közvetlenül átjutnak egyik neuronról a másikra. Az ionok átjutása egy connexon nevű csatornán keresztül történik. A csatorna mindkét sejt membránjában megtalálható, a szinaptikus résen keresztül a csatornák végei összeérnek. Az elektromos szinapszis esetében nincsenek meg azok a morfológiai jegyek amelyek a kémiai szinapszisoknál megtalálhatók, és a szinaptikus rés is szűkebb, kb. 2 nanométer. Az elektromos szinapszis mindkét irányban vezet. Szerepe nemcsak az ingerületvezetésben van, hanem kisebb molekulák átjuttatásában is. Ez a szerepe különösen a fejlődő idegrendszerben fontos, ahol nagy számban találunk gap junction típusú kapcsolatokat. Később ezeknek a száma csökken, különösen az emlősök idegrendszerében.

Nonszinaptikus transzmisszió

A szinaptikus kapcsolatok mellett az idegrendszerben jelen vannak az intercellularis kommunikáció egyéb módjai is, amit összefoglalóan *nonszinaptikus transzmisszió*nak nevezünk. A nonszinaptikus transzmisszió formái az ephapsis, a különböző autocrin, paracrin és hormonalis mechanizmusok, a sejt adhéziós molekulák révén történő kommunikáció és az extraszinaptikus neurotranszmisszió vagy volume transmission.

Az *ephaptikus kapcsolatban* a sejtben lévő elektromos impulzus, vagy a sejt melletti extracellularis térben lévő ionok közvetlenül hatnak egy szomszédos sejt aktivitására. A kommunikáció egyetlen szüksége morfológiai eleme a két sejtmembrán szoros közelsége. Az ephaptikus interakciók átmenetiek vagy tartósak lehetnek.

Az idegrendszerben endogéne keletkező molekulák is szerepet játszhatnak az intercellularis kommunikációban szinaptikus kapcsolatok nélkül, amelyek *autocrin* mechanizmus révén saját sejtjükhöz, vagy a szomszédos sejtek receptoraihoz kötődhetnek (*paracrin* mechanizmus). Ezek a molekulák lehetnek klasszikus neurotransmitterek, neuropeptidok, neurosteroidok vagy gáznemű anyagok mint

nitrogen oxid (NO) vagy szénmonoxid (CO). A NO és a CO retrográd transzmitterként is szerepelhet, a postsynaptikus elemről közvetíti a jelet a presynaptikus elemre. A nonsynaptikus intercellularis kommunikáció formája a *hormonalis* kapcsolat. Bizonyos perifériás hormonok bejutva a központi idegrendszerbe ott serkentő, gátló vagy moduláló hatást fejtenek ki azokon a neuronokon, amelyek a hormonra specifikus receptorral rendelkeznek. A hormon hatása az idegsejtre lehet rövid távú (a neuronális aktivitás gyors megváltoztatása) vagy hosszú távú (gén expressziós változások).

A sejtek információt adhatnak át egymásnak a felszínükön található receptorok és *adhéziós molekulák* révén. Ezeknek különösen fontos szerepe van az idegrendszer fejlődése és regenerációja során. Feladatuk lehet a neuronok aktivitásának módosítása, de szerepelhetnek trofikus faktorként az axon növekedés és a synaptikus kapcsolatok kialakítása során.

A neurotranszmitterek receptorai nemcsak a postsynaptikus membránban, hanem a postsynaptikus neuronnak a synapsistól távolabb eső részén is elhelyezkedhetnek. A synaptikus részből kidiffundáló transzmitterek ezekhez az extrasynaptikus receptorokhoz kötődnek. Ennek az ún. *volume transmission*-nak szerepe lehet a neuronális aktivitás módosításában, trofikus hatása lehet, és részt vehet a neuronok közötti kapcsolatok kialakításában.

AXON TRANSPORT. DEGENERÁCIÓ ÉS REGENERÁCIÓ AZ IDEGRENSZERBEN

Axon transport

Az axon és az axon terminalis nem rendelkezik a fehérje szintézishez szükséges sejtorganellumokkal. Így valamennyi neuropeptid a sejttestben képződik, és ugyanitt történik a vesiculák szintézise is. A folyamatosan szintetizálódó komponensek az axon transport útján jutnak el a terminálisokba. Az axon transport két irányú, a sejttest felől a terminalisok felé történő transport az *anterográd*, a terminalisokból a sejttest felé történő szállítás a *retrográd* transport.

Az *anterográd* transportnak gyors és lassú komponense van. A gyors transport sebessége napi 100-400 mm. A gyors axonalis transport anterogád komponense a sejttestben kialakult synapticus vesiculákat szállítja a microtubulusok mentén. A peptid típusú transzmitterek esetében a vesicula tartalmazza a transzmittert, míg a kis molekulájú transzmitter csak a terminalisban kerül be az üresen odaszállított vesiculába. A terminálisokban megtalálhatók a kis molekulájú transzmitterek szintéziséhez szükséges enzimek. Gyors transporttal szállítódnak a mitochondriumok is, valamint a membrán fehérjék és az egyéb, újonnan szintetizált fehérjék. Az anterográd transport gyors komponensében a kinesin nevű motor protein vesz részt, amely a vesiculákat és a mitochondriumokat mozgatja a mikrotubulusok mentén. A lassú transporttal cytoskeletalis fehérjék (aktin, myosin, tubulin) és enzimek transportálódnak, ennek sebessége napi 0,1-4 mm. A lassú transport mechanizmusa ismeretlen. A *retrográd* transportnak csak gyors komponense van, sebessége naponta 50-250 mm. A dynein nevű motor molekula segítségével kapcsolódik a mikrotubulushoz a transportálandó anyag. Retrográd módon transportálódnak a különböző növekedési faktorok, amelyek akár pinocytosissal, akár receptor mediálta endocytosissal jutottak be az axon terminalisba. Ugyancsak retrográd módon szállítódnak az axon terminálisból a degradálódott sejtalkotórészek.

Degeneráció és regeneráció

A neuron elfajulási vagy degenerációs folyamatai lehetnek elsődleges vagy másodlagosak. *Elsődleges* elfajulásról akkor beszélünk, amikor valamilyen anyagcserezavar vagy ismeretlen ok következtében a neuron vagy annak különböző

részei elpusztulnak. A nyúlványok, elsősorban az axon szétesését követő folyamatokat *másodlagos* elfajulásnak nevezzük. Az axon átvágását követően a sérüléstől proximalisan és distalisan is megfigyelhetők elfajulási jelek a neuronban.

Anterograd degeneráció (Waller féle degeneráció). Az axon sérülésétől distalisan kialakuló károsodását anterograd degenerációnak nevezzük. A *perifériás idegrendszerben* a sérült szakasz és a velőshüvely is feldarabolódik és néhány nap alatt gyöngyfűzér szerűvé válik. Minimális hegszövet alakul ki a proximalis és a distalis vég között, amit az odavándorló macrophagok hamarosan eltávolítanak. A Schwann sejtek osztódni kezdenek, és az általuk termelt lamina basalissal együtt a sérüléstől distalisan egy vezető sítet alkotnak. Ezzel párhuzamosan a proximalis axon csonk növekedésnek indul, és nagyszámú új nyúlványt hoz létre (axonal sprouting). Ezek nagy része elpusztul, de lesz olyan közöttük, amelyik a növekedést folytatva eléri a target sejtet és azzal synaptikus kapcsolatot alakít ki. A regeneráció előfeltétele, hogy a proximalis és a distalis vég közele legyen egymáshoz, ezért fontos a sérülést követően az ideg összevarrása. A regeneráció sebessége naponta néhány milliméter. A folyamatban fontos szerepet játszanak a Schwann sejtek által termelt neuronális növekedési faktorok.

A *központi idegrendszerben* ezzel szemben a regeneráció nem következik be. Az oligodendroglia nem termel lamina basalist, így nincs lehetőség a vezető sín kialakítására. Ugyanakkor az oligodendroglia olyan anyagot termel, ami akadályozza az axon növekedését. A regeneráció további akadálya, hogy kialakul egy jelentős volumenű hegszövet, amit az astrocyták burjánzása hoz létre. A központi idegrendszeri axonok sérülésekor is elkezdődik az axon burjánzása, de a már említett okok miatt a folyamat hamarosan megáll.

Retrograd degeneráció. Az axon átvágást követően a sérüléstől proximalisan lévő sejttestben chromatolysis következik be. Ez azt jelenti, hogy a Nissl állomány csaknem teljesen eltűnik, ami a csúcspontját két hét alatt éri el. A későbbiek során a Nissl állomány általában regenerálódik.

Transzneuronalis degeneráció vagy atrophia. A neuron láncolatokban megfigyelhető az a jelenség, hogy a lánc egyik elemének sérülése esetén a következő elemekben is változások figyelhetők meg.

Embriionális sejtpusztulás. A neurogenesis során sokkal több idegsejt képződik, mint amennyi megmarad. Egyes számítások szerint az elpusztuló embryonalis idegsejtek aránya elérheti az összes

képződött sejt felét is. Ez az embryonalis sejtpusztulás genetikailag determinált és apoptózis révén valósul meg.

Regeneráció az idegrendszerben. A felnőtt emlős idegrendszerben a neuronok nem képesek osztódásra (a szaglóhámot kivéve), és neuronális őssejtek sincsenek. Ennek következtében az elpusztult neuronok pótlása nem lehetséges. (Újabb kutatások szerint az agykamrák közelében kis számú neuronális őssejt található).

DUPress

AZ IDEGRENSZER FŐ RÉSZEI

A idegrendszer anatómiailag központi és környéki részből áll. A környéki idegrendszerhez tartoznak az agyidegek és a gerincvelői idegek a hozzájuk tartozó dúcokkal. A központi idegrendszer felé történő információ továbbítása és az onnan érkező válasz eljuttatása a célszervekhez a gerincvelői és az agyidegeken keresztül történik.

A központi idegrendszer

A gerincvelő felépítése

A gerincvelő (medulla spinalis) kisujjnyi vastagságú hengeres test, amely a koponya egyik nyílásának, az öreglyuknak (foramen magnum) a szintjében kezdődik. Rostralis folytatásában az agytörzset találjuk. Caudalis irányban a második ágyéki csigolya közepéig tart, ahol kúpszerűen elvékonyodik. A magzati élet elején még teljes hosszában kitölti a gerinccsatornát, azonban növekedése nem tart lépést a csontok növekedési ütemével. A gerincvelőn megkülönböztetünk nyaki (cervicalis), háti (thoracalis), ágyéki (lumbalis) keresztcsonti (sacralis) és farki (coccygealis) szakaszt. Két helyen találunk rajta megvastagodást az alsó nyaki szakaszon és az ágyéki szakaszon.

A gerincvelőnek a korai magzati életben megmutatkozó szelvényezett felépítése később eltűnik, a kifejlett gerincvelőn a be- és kilépő gyökök jelzik a szelvények határait. A hátsó felszínen az érző rostokat tartalmazó radix dorsalis vagy érző gyökér, az elülső felszínen a mozgató rostokat tartalmazó radix ventralis, a mozgató gyökér található. Az érző rostok kétfélek: somatosensoros rostok a testfelületről, a viscerosensorosak pedig a zsigerekből szállítják az információt. Mindkét rostféleségnek a sejtjei a csigolyaközi dúcokban (ganglion spinale) vannak. A motoros rostok közül azokat, amelyekben a harántcsíkolt izmokat látnak el somatomotoros rostoknak, a zsigeri mozgató rostokat pedig visceromotoros rostoknak nevezzük. Előbbiek eredő sejtjei az elülső szarvban vannak, utóbbiaké az oldalsó szarvban. Mind az érző, mind a motoros gyökér a csigolyaközi dúcok felé halad, majd a ganglion distalis oldalán egyesül mint nervus spinalis, amelyben érző és mozgató rostok is találhatóak. A nervus spinalis rövid lefutás után egy ramus dorsalisra és egy ramus ventralisra oszlik, amelyek a nervus spinalishoz hasonlóan érző és mozgató rostot is tartalmaznak. A cervicalis (C)

szakaszon 8, a thoracalis (Th) 12, a lumbalis (L) és sacralis (S) szakaszon 5-5, a csökevényes farki szakaszon (Co) egy szelvény található. A gerincvelő elülső és hátsó felszínén a középvonalban egy-egy hosszanti barázda vonul végig, amelyekben erek találhatóak. A barázdától oldalra lépnek be és ki a gerincvelőbe a gyökerek. (*RII: 21/I, S 569. ábra*).

A gerincvelő keresztmetszeti képén szabad szemmel is jól láthatóan elkülönül a szürke és a fehérállomány. A szürkeállomány helyezkedik el belül, keresztmetszetben pillangóra vagy H betűre emlékeztet. A H betű középső részén található egy, a gerincvelő teljes hosszában végig futó csatorna (canalis centralis). A H betű függőleges szárának hátrafelé eső vékonyabb része a hátsó szarv (cornu posterius), az elől elhelyezkedő vastagabb rész pedig az elülső szarv (cornu anterius). A gerincvelő thoracalis, lumbalis és sacralis részén oldalt is van egy kis kiemelkedés, ez a cornu laterale. A szürkeállományt körülvevő fehérállományt a be- és kilépő gyökerek kötegekre osztják, ezek a funiculus anterior, posterior és a két funiculus lateralis vagy elülső, hátsó és oldalsó köteg. (*FIII. 8/8, S 581. ábra*).

A szürkeállomány mikroszkópos szerkezete. gerincvelő szürkeállományában lévő idegsejtek rétegekben helyezkednek el. Ezek a rétegek az un. Rexed féle laminák, amelyeket a hátsó szarv felől kiindulva római számokkal jelölnek. A lamina I jellemző sejtjei a Waldayer féle neuronok, amelyeknek hossz tengelye párhuzamosan fut a hátsó szarv felszínével. A lamina II vagy substantia gelatinosa kis méretű sejtek tömegét tartalmazó réteg. Rostjai, az átfutó velős rostok kivételével, velőtlenek. A lamina III hasonló méretű, de kevesebb sejtet tartalmaz. A lamina IV sejtjeit antenna sejteknek is szokás nevezni, dendritjeik benyúlnak a substantia gelatinosa területére. A lamina V sejtjei változatos alakúak, dendritjeik egy része benyúlik a lamina II-be. A lamina VI a hátsó szarv legmélyebb rétege. A lamina VII vagy intermediér zóna az elülső és a hátsó szarv között fekszik, a sejtek alakja változatos, a neuronok nagy része interneuron.

A gerincvelő bizonyos területein külön névvel jelölt specialis részeket tartalmaz. Ilyen a Clarke oszlop, amely a lamina VII medialis oldalán helyezkedik el a C8 és a L2 között. A thoracolumbalis és a sacralis szakaszon a lamina VII területén az oldalsó szarv vagy nucleus intermediolateralis található, ahol a vegetatív ganglionok preganglionaris rostjainak eredő sejtjei találhatóak. A lamina VIII az elülső szarv medialis részén található. Neuronjainak egy része a Lenhossék féle commissuralis magot alkotja. A lamina IX somatomotoros neuronokat, vagy alfa típusú motoneuronokat tartalmaz,

amelyek kisebb-nagyobb csoportokat alkotnak. Az alfa motoneuronok között találhatóak a gamma neuronok, amelyek az izomorsók motoros beidegzésében vesznek részt. Ugyancsak a IX laminában találjuk a Renshaw sejteket, amelyek gátló működésűek. A lamina X a canalis centralis körül található, és a gerincvelői formatio reticularisnak felel meg. (*FIII. 8/8, S 582. ábra*).

A fehérállomány szerkezete. A gerincvelő fehérállományában idegrostok találhatók, amelyek különböző pályákat alkotnak. A pályák általános elrendeződési elvében az figyelhető meg, hogy minél hosszabb egy idegrost, annál felületesebben helyezkedik el a fehérállományban és fordítva. Ennek megfelelően a leszálló pályáknál a nyaki szakaszon legfelületesebben azok a rostok találhatók, amelyek a sacralis területre haladnak. A legfelül lévő, nyaki szakaszhoz futó rostok válnak le legkorábban és lépnek be a szürkeállományba. A felszálló pályáknál ezzel szemben az alsó szelvényekből származó rostok lépnek be először a gerincvelőbe és kerülnek a szürkeállomány közelébe majd a felette lévő rostok az előzőek belső oldalához csatlakozva fokozatosan kifelé szorítják az előzőeket. A hátsó kötegi pályák lokalizációja annak következtében módosul, hogy a fejlődés során a gerincvelő eredeti dorsalis felszíne a középvonal mellé kerül, egy könyv lapjainak becsukódásához hasonlóan. Így a sacralis szakaszból származó rostok lesznek a középvonal mellett, míg a cervicalis rostok a hátsó köteg leglateralisabb részén találhatók. (*FIII. 8/9, 8/10*).

A hátsó kötegben felszálló pályákat találunk, medialisán a fasciculus gracilis (Goll) lateralisán a fasciculus cuneatus (Burdach) helyezkedik el. A funiculus lateralisban fel- és leszálló pályák vannak. A felszálló pályák a tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis valamint a tractus spinothalamicus. A leszálló pályák a keresztezett piramis pálya (tractus corticospinalis cruciatus), a tractus rubrospinalis és reticulospinalis. Az elülső kötegben nagyjából leszálló pályák vannak, ezek a keresztezetlen piramis pálya (tractus corticospinalis directus), a tractus olivospinalis, a tractus vestibulospinalis, a tractus tectospinalis, a tractus reticulospinalis, a fasciculus longitudinalis medialis. Az elülső köteg felszálló pályája a tractus spinothalamicus egy része. Valamennyi kötegben a szürkeállomány melletti keskeny területet a gerincvelő saját pályája, a fasciculus proprius vagy tractus fundamentalis foglalja el. (*FIII. 8/17*).

Az agytörzs felépítése

A gerincvelő folytatásába eső, annak szerkezetére hasonlító agyrészt agytörzsnek nevezzük. Legcaudalisabb része a nyúltvelő (medulla oblongata), ennek rostralis folytatása a híd (pons) majd a középagy (mesencephalon). Az agytörzs a pedunculus

cerebri közvetítésével kapcsolódik a hemispheriumokhoz, a három pár kisagykarral pedig a kisagyhoz. (*FIII. 8/19, S 475.477. ábra*).

A gerincvelői szürke- és fehérállomány viszonya a nyúltvelő caudalis szakaszán még felismerhető, rostralis irányba haladva a hasonlóság egyre kevésbé nyilvánvaló. Az szürkeállományban a Rexed laminák nincsenek meg, ehelyett magokat találunk. A magok lehetnek agyidegi magok, ezen belül motoros és érző magok. A nem agyidegi magok neuronjai nincsenek közvetlen kapcsolatban a perifériával, axonjaik nem hagyják el a központi idegrendszert.

A szürkeállománynak az a része, amelyik nem tartozik a magokhoz, a formatio reticularist alkotja. A formatio reticularis a neuronok laza hálózata, amely az agytörzs jelentős részét foglalja el.

A fehérállomány a nyúltvelő zárt részén még körbefogja a szürkeállományt, de a negyedik agykamrától kezdve már a ventrolateralis oldalra kerül. A gerincvelőtől eltérően gyakran előfordul, hogy a fehérállományon belül a szürkeállományhoz tartozó sejtsoportot találunk.

Az agytörzsből lépnek ki az *agyidegek*, az első kettő kivételével. Az agyidegek számozása római számokkal történik, rostrocaudalis sorrendben haladva. Az első két agyideg, a nervus olfactorius (I) és a nervus oculomotorius (II) valamint a VIII. agyideg, a nervus vestibulocochlearis érzékszervi pályák részei, ezért rájuk az agyidegek rostösszetételére vonatkozó leírás nem alkalmazható. A többi agyideg felépítésében hasonlít a gerincvelői idegekhez, azonban lényeges különbségek is vannak közöttük. A gerincvelőtől eltérően az agyidegek esetében nincs érző és mozgató gyökér, valamennyi rosttípus együtt lép ki az agytörzsből (Az agyidegek esetében az agytörzsi kilépés a használatos terminológia, jöllehet az érző rostok belépnek). A kilépés helye az agytörzs ventralis részén van, kivéve a nervus trochlearist, amely dorsalisán hagyja el az agytörzset. Az agyidegek rostösszetétele a gerincvelői idegektől eltérően heterogén. Valamennyinél megtalálhatók a somatomotoros rostok. Somatosensoros rostok csak a nervus trigeminus, glossopharyngeus és a vagus esetében vannak meg. Visceromotoros rostokat tartalmaz a nervus oculomotorius, facialis, glossopharyngeus és a vagus. Viscerosensoros komponense a nervus facialisnak, glossopharyngeusnak és a vagusnak van. (*FIII. 8/32, 8/33, 8/1. táblázat*).

Nyúltvelő. A gerincvelő a foramen magnum szintjétől éles határ nélkül folytatódik a nyúltvelőbe. Caudalis részét zárt résznek is nevezik, belsejében a canalis centralis található. Rostralis része a nyílt rész, itt találjuk a negyedik agykamrát. A negyedik

agykamra fenekét fossa rhomboideának nevezzük, amelynek caudalis része esik a nyúltvelő területére. Ventralis oldalán a középvonal mellett van egy hosszanti kiemelkedést (pyramis), ami a benne futó pyramis pályáról kapta a nevét. A felső harmadban a pyramistól oldalra található kiemelkedés az oliva, amelyet az oliva inferior hoz létre.

Az olivatól medialisán lép ki a XII. agyideg, a nervus hypoglossus, lateralisán pedig a n. glossopharyngeus (IX.), vagus (X) és accessorius (XI). Az olivatól lateralisán találjuk a kisagyba vezető pedunculus cerebellaris inferiort, az alsó kisagykocsányt. A nyúltvelő dorsalis oldalán található két kiemelkedés, a tuberculum nuclei gracilis és cuneati, amit a hátsó kötegi magvak okoznak. A két kiemelkedés rostralis irányban széttér, a köztük lévő hegyesszög a negyedik agykamra csúcsa, az obex. A fossa rhomboidea nyúltvelői részén találjuk a középvonal mellett a trigonum nervi hypoglossit, tőle lateralisán a trigonum nervi vagit, majd az area postremat. A nyúltvelő és a híd határán fut hallópályához tartozó striae medullaris.

A nyúltvelő mikroszkópos szerkezete. A nyúltvelő és a gerincvelő határán található a piramis pálya kereszteződése, amely a eredeti gerincvelői szürkeállomány ventralis szarvát két részre tagolja. Ezáltal kialakul egy dorsomedialis és egy ventrolateralis oszlop, amiben az agyidegek somatomotoros magjai találhatóak.

A somatomotoros agyidegi magoknak ez az elrendeződési elve az agytörzs többi részén is megmarad. A dorsomedialis oszlop tagja a nyúltvelőben a nucleus motorius nervi hypoglossi, a ventrolateralis oszlopban pedig a nucleus motorius nervi accessorii (caudalis része a gerincvelőbe húzódik le), valamint a nervus glossopharyngeus és a nervus vagus közös somatomotoros magja, a nucleus ambiguus található.

A gerincvelő hátsó szarva éles határ nélkül folytatódik a nucleus tractus spinalis nervi trigeminibe, amely a nyúltvelőn keresztül a hídba is követhető. A mag nemcsak a nervus trigeminus, hanem a nervus glossopharyngeus és a nervus vagus hasonló működésű rostjait somatosensoros rostjait is fogadja. Az agyidegi magok közül a nyúltvelőben találjuk még a trigonum nervi vaginak megfelelően a nucleus dorsalis nervi vagit, amely a nervus vagus egyik visceromotoros magja. Másik visceromotoros magja a nucleus ambiguustól dorsolateralisan lévő, diffúzan elhelyezkedő neuroncsoport. A nervus glossopharyngeus visceromotoros magja a nucleus salivatorius inferior, amely a nucleus ambiguustól dorsolateralisan helyezkedik el. A trigonum nervi vagi lateralis részén helyezkedik el a nucleus tractus solitarii, amely a híd területére is folytatódik. A nyúltvelői szakasza a nervus glossopharyngeus és a nervus vagus viscerosensoros rostjait fogadja. A szürkeállomány dorsolateralis részén található a nucleus vestibularis inferior, ami a VIII. agyideg magja, de érzékszervi agyidegi mag lévén, a fenti csoportosításba nem illeszthető bele.

A nem agyidegi magokhoz tartozik a nyúltvelő területén a ventralisan elhelyezkedő oliva inferior, dorsalisán pedig a nucleus fasciculi gracilis és cuneatus, amelyeket közös néven hátsó kötegi magvaknak neveznek. A gerincvelői felszálló pályák közül a fasciculus gracilis és cuneatus a hasonló nevű magvakban végződik. A hátsó kötegi magok neuronjainak axonja a középvonalat keresztezve a lemniscus medialis hozza létre, amely a thalamusig követhető. Az oldalsó köteg felszálló pályái közül a tractus spinocerebellaris dorsalis a pedunculus cerebellaris inferioron keresztül elhagyja a nyúltvelőt, míg a többi pálya folytatódik a híd területére. A leszálló pályák közül a piramis pálya a nyúltvelő ventralis oldalán található, majd a már említett kereszteződést követően kerül lateralis helyzetbe. Csupán a rostok néhány százalék marad meg az azonos oldalon. A gerincvelőnél megismert többi leszálló pálya a rostralisabb agytörzsi részekből érkezik a nyúltvelőbe, kivéve a tractus olivospinalist, amely az oliva inferiorban kezdődik. Az oliva inferiorból ered a keresztezett tractus olivocerebellaris is, amely a pedunculus cerebellaris inferioron keresztül lép be a kisagyba. **(FIII. 8/22, 24)**

Híd. A híd ventralis oldala félgömb szerűen kidomborodik, dorsalis oldalán a fossa rhomboideát találjuk. Oldalsó részéből indul ki a középső kisagykar, vagy hídkar, a pedunculus cerebellaris medius.

A hídkar előtt lép ki az V. agyideg, a n. trigeminus, mögötte pedig a n. facialis (VII.) és a n. vestibulocochlearis (VIII). A fossa rhomboidea hídkhoz tartozó részében találjuk a colliculus facialis, és egy pigmentet tartalmazó területet, a locus ceruleust.

A híd mikroszkópos szerkezete. A felépítésében az eredeti gerincvelői szerkezet már nehezen ismerhető fel. Keresztmetszetét két részre osztjuk, a dorsalis helyzetű tegmentumra és a ventralis helyzetű basis pontisra.

A hídban a somatomotoros agyidegi magok közül a dorsomedialis oszlopban találjuk a nucleus motorius nervi abducentist, a ventrolateralisban pedig a nucleus motorius nervi facialis és a nucleus motorius nervi trigeminit. A facialis magban lévő axonok dorsal felé fordulva elérik az abducens magját, és annak ventralis oldalán hajtűkanyart képezve visszafordulnak és haladnak a kilépési helyük felé. A nucleus tractus spinalis nervi trigemini rostralis folytatásában helyezkedik el a nervus trigeminus másik somatomotoros magja, a nucleus princeps nervi trigemini. A nervus trigeminus harmadik somatosensoros magjának, a nucleus mesencephalicus nervi trigemineinek a legcaudalisabb része is a hídban helyezkedik el. A visceromotoros magok közül a hídban található nucleus salivatorius superior, amely a nervus facialis magja, és annak somatomotoros magjától dorsalisán helyezkedik el. A híd

viscerosensoros magja a nucleus tractus solitarii, amelyben a nervus facialis rostjai végződnek. A szürkeállomány dorsolateralis részén találjuk a pigmentált locus ceruleust és a nucleus parabrachialist. Ugyancsak dorsolateralisan helyezkedik el a vestibulocochlearis area, amelyben medialisabban a négy vestibularis mag (nucleus vestibularis superior, medialis, lateralis és inferior), lateralisabban a két halló mag (nucleus cochlearis ventralis és dorsalis) helyezkedik el. A szürkeállomány egyéb magjai közül a hídban található az oliva superior, és a középvonalban található páratlan nucleus corporis trapezoidei és a nucleii pontis.

A formatio reticularis legnagyobb kiterjedést a hídban éri el. Bizonyos területein a neuron csoportosulásokat magoknak nevezik, ilyenek a nucleii raphe pontis különböző al csoportjai.

A fehérállományban a felszálló pályák között megtaláljuk a tractus spinothalamicust, a lemniscus medialis és a tractus spinocerebellaris ventralist. A hídból kiinduló felszálló pályák a lemniscus trigeminalis és a lemniscus trigeminalis dorsalis. A leszálló pályák közül a piramis pálya rostjai a nucleii pontis között, diffúzan haladnak, a többi leszálló pálya dorsalisabb helyzetű.

A nucleii pontisban végződik a tractus frontopontinus és a tractus temporo-occipitopontinus és innen indul ki a keresztezett tractus pontocerebellaris, amely a pedunculus cerebellaris mediuson keresztül jut el a kisagyba. A hallópályához tartozó lemniscus lateralis az oliva superiorból indul el és rostralis irányba halad.

(FIII. 8/26, 27)

IV. agykamra. Rostralis vége az aquaeductus cerebri folytatásába esik, caudalisan a canalis centralisba folytatódik.

Teteje vékony lemez, amely a medialis agyfelszín felől nézve sátoztetőhöz hasonlít. A tető caudalis része plexus choroideust tartalmaz, valamint három nyílást, ahol a liquor cerebrospinalis a cisterna cerebellomedullarisba jut. Alsó falát a fossa rhomboidea képezi, ily módon ürege a nyúltvelő és a híd területére esik.

Középagy. A híd rostralis folytatásába esik a középagy vagy mesencephalon. Három fő részét különböztetjük meg, amelyek keresztmetszeti képen figyelhetők meg legjobban. Ezek a tectum, tegmentum és a crus cerebri (pedunculus cerebri, agykocsány).

A tectumot a négy ikertest, a két colliculus superior és a két colliculus inferior alkotja, amelyek egy-egy vékony kocsány segítségével a metathalamus képleteivel vannak összekötöttsbe. A colliculus inferior mögött lép ki a nervus trochlearis, a IV. agyideg. A tegmentum az agy felszíne felől csak kevésbé látható.

A crus cerebri vagy pedunculus cerebri a mesencephalon bázisán található, rostralis irányban a capsula interna felé folytatódik, összeköttetést teremtve az agytörzs és a hemisphaeriumok között.

A crus cerebrit oldalról megkerüli a tractus opticus, amely a corpus geniculatum lateraleba követhető.

A mesencephalon ventralis oldalán a két pedunculus cerebri között lép ki a III. agyideg, a nervus oculomotorius.

A mesencephalon ürege az aquaeductus cerebri, amelye a harmadik és a negyedik agykamrát köti össze. A mesencephalont a kisaggyal a felső kisagykocsány, a pedunculus cerebellaris superior köti össze.

A középagy mikroszkópos szerkezete. A tectum opticum lemezes szerkezetű szürkeállományból épül fel. A substantia grisea centralis vagy periaqueductalis szürkeállomány (angol neve után rövidítve PAG) a canalis centralis körül helyezkedik el. Ventralis részében helyezik a dorsomedialis magoszlop két tagja, a colliculus inferior szintjében a nucleus motorius nervi trochlearis, a colliculus superior szintjében pedig a nucleus motorius nervi oculomotorii. Ez utóbbitól dorsalisán található a nervus oculomotorius visceromotoros magja, az Edinger-Westphal mag. A substantia grisea centralisban dorsalisán található a nucleus tractus mesencephalicus nervi trigemini.

A tegmentumban található a vörös mag (nucleus ruber), és az ugyancsak pigmentet tartalmazó substantia nigra. A maradék területet a formatio reticularis tölti ki.

A felszálló pályák közül a tractus spinocerebellaris ventralis a mesencephalonig felérve visszafordul és a pedunculus cerebellaris superioron keresztül éri el a kisagyat. A tractus spinocerebellaris, a lemniscus medialis, trigeminalis és trigeminalis dorsalis tovább haladnak a thalamus irányába, míg a lemniscus lateralis a colliculus inferiorban végződik. A leszálló pályák közül a colliculus superior területéről indul a tractus tectospinalis, a nucleus ruberből pedig a tractus rubrospinalis. Mindkét pálya még a mesencephalonban kereszteződik.

A crus cerebri középső részén halad a piramis pálya, medialis részében pedig a tractus fronto-pontinus, lateralisán pedig a tractus temporo-occipitopontinus.

(FIII. 8/30, S 501. ábra).

Formatio reticularis. Azok az agytörzsi neuronok tartoznak ide, amelyek sem az agyidegi, sem egyéb agytörzsi magok alkotásában nem vesznek részt. Filogenetikailag az idegrendszer legősibb része. A neuronok olyan lazán szerveződött hálózatát jelenti, ahol a perikaryonokat dendritkötegek és gazdag collateralis ágrendszerrel bíró axonok

választanak el egymástól. Kitölti a magok és a pályák közötti teret. Az agytörzs teljes hosszában megtalálható, funkcionálisan hasonló részek vannak a gerincvelőben és a diencephalonban is.

A benne található neuronok nagy része Golgi I. típusú neuron. Jellemzői a hosszú, sima felszínű dendritek. A dendritelágazódások az agytörzs hossz tengelyére merőlegesek. Az axonok elágazóak, rostrocaudalis irányban futva gyakran az agytörzs egész hosszában végig futnak és gazdag collateralis rendszerrel bírnak. A formatio reticularis felépítésében hosszanti elrendeződésű zónák találhatók. A középvonal mellett találjuk a paramedian zónát amelyet raphe magoknak is szoktak nevezni. Ezt követi a medialis vagy gigantocellularis zóna majd a lateralis vagy parvicellularis zóna. Mindegyik zónán belül több, egymástól nehezen elhatárolható magot különböztetünk meg.

A formatio reticularis neuronjait az általuk termelt neurotranszmitterek alapján is szokták csoportosítani. Ennek megfelelően a neuronok nagy része a monoaminerg rendszerhez tartozik.

A formatio reticularis neuronjaira jellemző, hogy kiterjedt reciprok kapcsolatban állnak a különböző központi idegrendszeri struktúrákkal. Ilyen módon a legkülönbözőbb idegrendszeri működések szabályozásában vesznek részt. Többek között részt vesznek a mentális aktivitás kontrolljában, a tudatállapot, a figyelem, az alvás - ébrenlét ciklusosságának szabályozásában. Hatással vannak a szervezet belső egyensúlyának fenntartásában azáltal, hogy a légzés, cardiovascularis, gastroenteralis, urogenitalis rendszer működését befolyásolják. Különböző reflexfolyamatokat szabályoznak, így a köhögést, nyelést, hányást, csuklást, garatreflexet. A somatomotoros rendszer működését befolyásolják a testtartási reflexek, az izomtónus, a vestibularis reflexek szabályozása révén. Egyes neuroncsoportjai gátolják a fájdalmat kiváltó impulzusok terjedését, így a belső fájdalomcsillapító mechanizmusokban vesznek részt.

Kisagy

A kisagy (cerebellum) az agyféltekék nyakszirtcsonti lebenyei alatt található. Két féltekéből áll (hemispherium cerebelli), amelyeket középen egy féregre emlékeztető képlet a vermis köt össze. A vermisbe a IV. agykamra csúcsi része nyomul be. A kisagy tekervényit foliumoknak, a közöttük húzódó barázdákat fissuranak nevezzük. A foliumok külső részében a kéregállomány, ezen belül a velőállomány található, amely sagittalis metszeten jól látható, jellegzetes rajzolatot mutat. Ez az arbor vitae. A vermisben található fissurák lebenyeket fognak közre, amelyek a hemispheriumokban is

folytatódnak. Gyakorlati szempontból jelentős lebeny a két tonsilla cerebelli, amelyek közvetlenül az öreglyuk felett fekszenek és a koponyaúri nyomásfokozódás esetén benyomulnak az öreglyukba, összenyomva az életfontos központokat tartalmazó nyúltvelőt. A kisagy fehérállományában négy páros, szürkeállományból álló mag helyezkedik el. Ezek közül legnagyobb a nucleus dentatus. (*S 474. ábra*).

A kisagykéreg mikroszkópos szerkezete. A kisagy egész területén azonos. Három rétegből áll, amelyek kívülről befelé haladva a következők:

1. Stratum moleculare. Domináns sejtípusa a kosársejtek, amelyeknek perikaryonjai a második réteghez közel helyezkednek el. Az axon a felszínnel párhuzamosan fut, kollateralisai a második rétegben lévő Purkinje sejtek sejttestét fogják körül. Ennem a rétegben található még a csillagsejtek.
2. Stratum ganglionare. A második réteg egyetlen sejtípusa a Purkinje sejtek. A központi idegrendszer legnagyobb sejtjei. Dendritfájuk a molecularis rétegben ágazódik el egyetlen, a foliumokra merőleges síkban, axonjuk a sejttest basalis részéből ered. A dendriteken nagy számban található dendrit tüskék.
3. Stratum granulosum. Nevét a benne található szemcsesejtekről kapta. Ezeknek a sejttestje kicsi, általában négy dendrittel rendelkeznek. Axonjuk a molecularis réteg felé halad, ahol T alakban kettéágazva parallel rostokat hoz létre, amelyek a folium hossza mentén kb. 1,5-1,5 mm távolságra futva kereszteződési szinapszist alkot a Purkinje sejtek dendritfájával. A szemcsesejtek mellett ebben a rétegben található a jóval kisebb számban előforduló Golgi sejtek. A kisagykéreg valamennyi sejtje, a szemcsesejtek kivételével gátló működésű. (*RII. 21-4, 21-6, FI. 2/75*).

A kisagy fehérállománya. Az afferens és efferens pályákat valamint a kisagymagvakat tartalmazza. Ezekben multipolaris sejteket találunk, jellegzetes dendritelágazódási mintázat nélkül.

A kisagy működése. A kisagykéregbe az információ két fő módon juthat el, mindkettő serkentő működésű. Az egyik afferens rost a kúszórost, amely elágazódás nélkül lép be a kisagykéregbe és ott egyetlen Purkinje sejt dendrittel létesít ismételt szinapszisokat, ún. parallel kontaktusokat. Ennek az a következménye, hogy egyetlen kúszórost a vele kapcsolatban álló Purkinje sejtet csaknem teljes biztonsággal képes ingerületbe hozni.

A másik afferens rost a moharost, amely több szomszédos foliumhoz ad ágat és a foliumon belül is többszörösen elágazik. A moharostok végződése a szemcsesejtek

dendritjével fogaskerék szerűen összekapcsolódva ún. glomerularis szinapszist alkotnak. Ebben a komplex szinapszisban részt vesz még a Golgi sejt is, és az egészet glianyúlványok veszik körül. A szemcsesejt ingerületbe kerüléséhez arra van szükség, hogy mindegyik dendritjén egyidőben legyenek aktívak a moharostokkal létesített synapsisok. A szemcsesejt aktivitása a parallel rostok révén a Purkinje sejtre terjed tovább, és az utjába eső valamennyi Purkinje sejtet egyszerre ingerli. Ahhoz, hogy a Purkinje sejt excitációs állapota elérje a külsős szintet, igen nagyszámú moharost egyidejű aktivitása szükséges. Ha azonban ez bekövetkezik, akkor nem egy Purkinje sejt lesz aktív, hanem a parallel rost utjába eső, a folium hosszában kb. 3 mm-es sávban található valamennyi sejt. Ugyanakkor a parallel rost a kosársejteket is ingerli, ami a gátló működése révén az izgalmi Purkinje sejt csíktól oldalra. 10 Purkinje sejtet gátol.

Kisagypályák. Az afferens pályák közül a gerincvelő felől érkezik a tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis. Előző az alsó, utóbbi a felső kisagykaron belépve moharostok formájába végződik. Az agytörzsből érkező pályák közül a tractus vestibulocerebellaris és a pontocerebellaris a középső kisagykaron lépnek be és ugyancsak moharost formájában végződnek. A tractus olivocerebellaris az alsó kisagykaron belépve kizárólag kúszórostok formájában végződnek. A monoaminerg rendszer területéről érkező rostok ún. aminerg rostokkal végződnek.

A kisagy egyetlen afferens eleme a Purkinje sejt, amelynek axonja általában a kisagymagokban végződik. Vannak azonban olyan Purkinje sejtek is, amelyeknek az axonja elhagyja a kisagyat és a vestibularis magvakban végződik.

Funkcionális kapcsolatai alapján a kisagyat három részre lehet osztani: spinocerebellum, olivocerebellum és vestibulocerebellum.

Köztiagy

A köztiagy vagy diencephalon csaknem teljesen különálló két félre vált agyrész, amelyek csak néhány helyen függenek össze egymással. A diencephalon legnagyobb képlete a thalamus, ide tartoznak még a hypothalamus, az epithalamus, metathalamus és a subthalamus.

Thalamus. A diencephalon legnagyobb képlete a thalamus. Szürkeállományát a lamina medullaris egy elülső, egy medialis és egy lateralis magcsoportra osztja, amelyekben

több, kisebb-nagyobb magot találunk. Ezen három magcsoporton kívül a lamina medullaris területén találjuk az intralaminaris magokat, a középvonal két oldalán pedig a középvonali magokat. Végül a thalamust héj szerűen körülvevő hálózatos szerkezetű magot reticularis magnak nevezzük.

Az elülső magcsoport afferens összeköttetését corpus mamillare felől kapja, efferens kapcsolata pedig a gyrus cinguli felé történik. A medialis magcsoport számos rostot kap a hypothalamusból, projekciós területe a frontalis kéreg. A lateralis magcsoportban a nucleus ventralis anterior és lateralis a nucleus dentatusból kap bemenetet és a mozgató kéreg felé projiciál. A lateralis magcsoportban találjuk a nucleus ventralis posteromedialist (VPM) és posterolateralist (VPL), amelyek az érző pályák rostjait fogadják és az elsődleges érző kéreg felé projiciálnak. Ez a terület tartalmazza a makroszkóposan is jól látható pulvinar thalamit.

A thalamus magjait funkcionális szempontból négy nagy csoportra osztjuk: specifikus, nem specifikus, asszociációs és reticularis magok. A specifikus magok jól meghatározott felszálló rendszerek közvetítő állomásai, amelyek a kéreg jól körülírt helyére projiciálnak. Relé magoknak is nevezik őket, bár szerepük eltérően a fizikai rendszerektől nem csupán a jeltovábbítás, hanem feldolgozás is. Ide soroljuk a sensoros rendszerhez tartozó VPL-t, VPM-t és tágabb értelmezésben a metathalamust is. A motoros relé magok az elülső magcsoport tagjai. A nem specifikus magok számos területről kapnak bemenetet és a kéreggel is diffúz kapcsolatban vannak. Ide tartoznak az intralaminaris és középvonali magok. Az asszociációs magok a diencephalon és a telencephalon képleteitől kapják a bemenetet és az asszociációs kéregbe projiciálnak. Legjelentősebb képviselőjük a pulvinar thalami. A reticularis magok neuronok laza hálózatából állnak. Külső kapcsolatuk nincs, neuronjaik a rajta keresztülhaladó, a thalamusban végződő vagy onnan induló rostokkal létesítenek kapcsolatot. (*FIII. 8/43, S 474. S 501 ábra*).

Hypothalamus. A thalamus alatt található a hypothalamus, amelynek elülső részén helyezkedik el a második agyideg (nervus opticus) kereszteződése a chiasma opticum. A chiasma mögötti terület a tuber cinereum ebbe nyomul bele a III. agykamra kitüremkedése, a recessus infundibuli, mely az infundibulumba, a hypophysis nyélbe folytatódik. A hypothalamus hátsó részén található két kis kiemelkedés a corpus mamillare, amelyben a fornix végződik. A hypothalamusban található szürkeállományban specifikus sejtcsoportokat találunk. A chiasma opticum felett

helyezkedik el a nucleus supraopticus, amelyben nagyméretű idegsejtek vannak. A másik nagysejtes mag ettől caudalisan található, ez a nucleus paraventricularis. A kis sejttes magok közé tartozik a nucleus ventromedialis, dorsomedialis és a nucleus arcuatus. A hypothalamus többi részén a sejtek diffúzan helyezkednek el, ezeket a területeket elülső, hátsó és lateralis hypothalamus areanak nevezzük (*S 474. ábra*).

Metathalamus. A metathalamushoz tartozik a corpus geniculatum mediale és laterale.

Előbbihez a mesencephalonból a brachium colliculi inferioris, utóbbihoz a brachium colliculi superioris vezet. A corpus geniculatum lateraleban a tractus opticus végződik.

(*S 504. ábra*).

Epithalamus. A diencephalon-mesencephalon átmenetnél, a III. agykamra hátsó falánál található az epithalamus. Ide tartozik a két habenula és az őket összekötő commissura habenularum, amihez a tobozmirigy vagy corpus pineale kapcsolódik.

A corpus pineale felé a III. agykamra ürege kitérnekedik, ez a recessus pinealis. Alatta találjuk a commissura posteriort majd az aquaeductus cerebri kezdetét.

(*S 501 ábra*).

Subthalamus. A thalamustól ventralisan, a capsula interna szomszédságában található. Képletei a zona incerta és a nucleus subthalamicus.

III. agykamra. A diencephalon ürege a páratlan, résszerű harmadik agykamra, amely a foramen interventricularen keresztül közlekedik az oldalkamrákkal, caudalis irányban pedig az aquaeductus cerebriben folytatódik. Elülső határa a commissura anterior, a columna fornicis és a corpus callosum lamina rostralis és terminalis. Hátsó falán az epithalamus képletei találhatóak. Oldalsó fala a thalamus és a hypothalamus, ez utóbbi alkotja az alsó falát is. Tetejét az embrionális agyhólyag maradványa alkotja. Itt található egy gyengén fejlett plexus choroideus, ami az oldalkamra plexus choroideusában folytatódik.

(*S 474. ábra*).

Nagyagy

A nagyagy vagy cerebrum két féltékéből (hemispherium) áll, amelyeket a commissuralis pályák kötnek össze. A nagyagy felső, domború felszínét konvex felszínnek nevezzük, alsó felszíne pedig az agyalap. Egy féltéken belül öt lebenyt

különböztetünk meg. Ezek közül a homloklebény (*lobus frontalis*), fali lebény (*lobus parietalis*), halántéklebény (*lobus temporalis*) és a nyakszirtlebény (*lobus occipitalis*) az agy felszíne felől látható, nevüket a szomszédos koponyacsontokról kapták nevüket. Az ötödik lebény, az *insula*, nem látható a felszínen, a *frontalis*, *temporalis* és a *parietalis* lebények *opercularis* (fedő) részei takarják. A lebények felszínén kiemelkedések (*gyrus*) és barázdák (*sulcus*, *fissura*) vannak. Ezek helyzete nagyjából állandó ugyan, de még ugyanazon agy két féltékéje között is eltérő rajzolatot találunk. A lebények felszínesen lévő szürkeállományát agykéregnek (*cortex cerebri*) nevezzük. A kéreg alatt találjuk a fehérállományt, vagy velőállományt (*medulla*) ahol a különböző pályák haladnak. (S 466., 467. 474., ábra).

A lebények felszíni anatómiája. A *homloklebény (frontalis)* a *convex*, a *medialis* és az alsó felszín alkotásában vesz részt. A *temporalis* lebénytől egy mély barázda, a *fossa lateralis cerebri* választja el. A fali lebény felé a határ a *sulcus centralis*. A *sulcus centralis* előtt van a *gyrus praecentralis*, erre merőlegesen pedig a *gyrus frontalis superior*, *medius* és *inferior*. Alsó felszínén a szaglóagyhoz tartozó *gyrusok* vannak és az első agyideg, a *nervus olfactorius* a hozzá tartozó *bulbus* és *tractus olfactorius*sal. A *medialis* felszínen találjuk a *gyrus cingulit*. A *fali (parietalis) lebény* felszínes része a féltéke *convex* és *medialis* oldalán látható. Legelülső részén találjuk a *gyrus postcentralist*. A *temporalis* lebénytől a *fossa lateralis cerebri* választja el, míg az *occipitalis* lebény felé csak a *medialis* oldalon van éles határa, a *fissura parietooccipitalis*. A *halántéklebény (temporalis) lebény* a *convex* és az alapi felszín alkotásában vesz részt. A lebény hossz tengelyével párhuzamosan futó tekervényei a *gyrus temporalis superior*, *medius* és *inferior*, ez utóbbi már az alapi felszínre esik. Ezen a felszínen találjuk a *sulcus hippocampit* amely a *crus cerebritől* választja el. A *sulcus hippocampi lateralis* oldalán a *gyrus parahippocampalis* látható, mélyén a betüremkedett ősi kéreggel, a *hippocampus*sal. A *nyakszirtlebény (occipitalis) lebény* a *convex*, a *medialis* és az alapi rész felé tekint. A *sulcus parietooccipitalisra* merőlegesen hátrafelé fut a *fissura calcarina*.

A nagyagy fehérállománya. A fehérállományban a rostok különböző irányba futó pályákhoz tartoznak. Ezek lehetnek commissuralis pályák, projekciós pályák és asszociációs pályák.

A két agyféltekét a *commissuralis pályák* kötik össze, amelyek a kétoldali kéreg azonos pontjai között létesítenek kapcsolatot. A legnagyobb commissuralis pálya a corpus callosum, amelynek átmetszete a félteke medialis felszínén látható.

Elülső része a genu corporis callosi, amely a rostrumban, majd a lamina rostralisba és lamina terminalisba megy át. A genu mögött található a corpus, majd a splenium corporis callosi. A corpus callosum rostjainak kisugárzását valamennyi lebenyben megtaláljuk.

A commissura anterior a III. agykamra elülső falának alkotásában vesz részt.

A szaglóagy részei, a kétoldali bulbus olfactorius között hoz létre összeköttetést.

A commissura hippocampi a corpus callosum spleniuma alatt található, ahol a kétoldali fornix rostjai cserélődnek ki.

Ilyen módon a kétoldali hippocampus közötti összeköttetést biztosítja. Maga a fornix a hippocampus piramis sejtjeinek axonjaiból szedődik össze és fimbria hippocampiként indul és a corpus mammillareban végződik.

Az agykéregből az agytörzs és a gerincvelő irányába haladó és onnan érkező pályákat *projekciós pályáknak* nevezzük. Ezek együttesen a corona radiatát alkotják, amelyek a thalamus és az agykéreg között futó rostokhoz, a pedunculus thalamihoz csatlakozik. A fenti rostkötegek a capsula internában gyűlnek össze (*S 543., 544. ábra*). A capsula interna a nucleus lentiformis és caudatus valamint a thalamus között helyezkedik el, elülső és hátsó szárát, valamint a kettő közötti térdet különböztetjük meg. A capsula interna térdében halad a piramis pálya, mögötte pedig az érzőpályák utolsó, thalamocorticalis szakasza. Az *asszociációs pályák* az egy féltekén belüli kéregterületeket kötik össze. Ezek lehetnek egy lebenyen belüli, vagy különböző lebenyek közötti összeköttetések is.

Törzsdúcok. A telencephalon fehérállományában idegsejt csoportosulások vannak, ezeket a klasszikus elnevezés szerint törzsdúcoknak, újabb szóhasználattal élve basalis ganglionoknak nevezünk (a két fogalom nem pontosan ugyanazokat a képleteket jelenti). Ezek egyike a nucleus caudatus vagy farkosmag, amelynek fejét, testét és farkát különböztetjük meg. A másik a nucleus lentiformis, vagy lencsemag. Az agyvelő un. Flechsig metszésén látható, a lencsemag két része, a külső sötétebb putamen és a belső világosabb a globus pallidus vagy pallidum. A putamen és a nucleus caudatus együttes

neve a kettőt összekötő csíkok miatt striatum vagy corpus striatum. A harmadik törzsdúc a claustrum, amely a lencsemagtól oldalra helyezkedik el, a lencsemag és a claustrum között pedig a capsula externa található. A negyedik törzsdúc a temporalis lebenyben elhelyezkedő mandula mag, a corpus amygdaloideum, vagy röviden amygdala.

(S 538., 544. ábra).

Oldalkamra. A telencephalon ürege a páros oldalkamra (ventriculus lateralis). Az oldalkamra központi része a fali lebenyben elhelyezkedő pars centralis, ami a halántéklebeny felé fordulva a cornu inferiusban folytatódik. Ez a két rész alakul ki elsőként a fejlődés során, majd másodlagosan nőnek ki a homloklebenyben található cornu anterius és az occipitalis lebenyben található cornu posterius.

Valamennyi rész tetejét a corpus callosum alkotja. A cornu anterius medialis fala a septum pellucidum, egy fejlődésében visszamaradt kéregterület. Oldalsó fala a nucleus caudatus feje. A cornu anterius és a pars centralis határa a foramen interventriculare, ahol az oldalkamra ürege közlekedik a III. agykamrával. A pars centralis és a cornu inferius medialis falát az embryonalis agyhólyag egyrétegű maradványa valamint a hozzá csatlakozó pia mater és capillaris gomolyag alkotja. Ez a képződmény a plexus choroideus. A cornu inferius alját egy ősi kéregrész, a hippocampus alkotja, amely az embryonalis élet elején még a felszínen található. Később a fejlődéstanilag újabb részek fokozott növekedése miatt rejtett helyzetűvé válik. A cornu posterius medialis falának képlete a calcar avis, ami a fissura calcarina betüremkedése.

(S 518., 538. ábra).

A nagyagykéreg szerkezete. A nagyagykéreg cytoarchitectonikailag különböző részekből áll. A filogenetikailag ősbibb kéreg az allocortex, ahol a sejtek 3 rétegben helyezkednek el. Ide tartozik paleocortex (szaglókéreg) és az archicortex (hippocampalis formatio). A filogenetikailag újabb kéreg a neocortex vagy isocortex, ahol hat sejtréteget találunk. Az emberi agykéreg legnagyobb részét ez a terület teszi ki.

A neocortex területén hat, a felszínnel párhuzamosan futó szövettani réteget különböztetünk meg. Ez a lamináris organizáció a kéreg fejlődését tükrözi, a fejlődés során a rétegek mintegy egymásra rakódtak. A rétegek a felszín felől haladva a következők:

1. Stratum moleculare (plexiforme). Kevés sejtet tartalmaz, ezek asszociációs sejtek. Ide nyúlnak a nagy és a kis piramis sejtek dendritjei. Az astrocyta nyúlványai gliatálpakat

képeznek és a felszín alatt és a membrana limitans gliae-t alkotják az agyállományon belüli capillarissok körül.

2. Stratum granulosum externum. Kisméretű, különböző alakú sejteket tartalmaz ezeket nevezzük gyűjtő néven szemcsesejteknak. Emellett kis méretű piramis alakú sejtek is találhatóak ebben a rétegben.

3. Stratum pyramidale externum. Közepes méretű piramis sejteket tartalmaz.

4. Stratum granulosum internum. Kisméretű szemcsesejteket tartalmaz.

5. Stratum pyramidale internum. Piramis alakú sejteket tartalmaz. Ezek az elsődleges mozgató kéregben sokkal nagyobbak, mint a kéreg más területein és Betz-féle óriássejteknak nevezzük őket.

6. Stratum multiforme. Az elnevezés a sejtek különböző méretére utal.

A piramis sejtek csúcsdendritje a felszínre merőleges, basalis dendritjei a sejt alapjáról indulnak ki. A dendriteken gyakran találunk tüskéket. Az axon a sejt bázisának közepéről ered, nagyjából a csúcsdendrit eredésével szemben. A piramis sejtek serkentő működésűek, neurotranszmitterük a glutamat/aspartat glutamat vagy aspartat.

A nem piramis sejtek alakja változatos, lehetnek csillag alakúak, fuziformisak vagy vannak a horizontális sejtek. Dendritjeiken gyakran találunk tüskéket amelyek serkentő, míg a tüske nélküliek gátló tulajdonságúak. Előzőekben a neurotranszmitter a glutamat vagy aspartat, utóbbiakban GABA vagy glicin. (RII. 21-8).

A *neocortex afferensei* több csoportba oszthatók, aszerint, hogy honnan erednek. Az egyik csoport a thalamus specifikus és nem specifikus magjaiból érkező afferensek. A másik csoportba tartozók a locus ceruleusból, az agytörzsi monoaminerg központokból és a hypothalamusból erednek. A harmadik csoportot a kéreg összeköttetései jelentik. Ezek egyik fajtája az asszociációs rostok, amelyek azonos hemispheriumon belüli agyrészeket kötnék össze, a harmadik rétegben lévő piramis sejtek collateralisai segítségével. A kérgen belüli összeköttetések másik fajtája a commissuralis rostok, amelyek a kétoldali kéreg azonos pontjait kötik össze, ugyancsak a harmadik réteg piramis sejtjeinek axoncollateralisai révén.

A *neocortex efferenseit* a kéreg ötödik rétegében lévő piramis sejtek axonjai alkotják. (FIII. 8/52).

Kérgi oszlopok. A nagyagykéreg működésére a columnaris szerkezet jellemző. A 200-300µm átmérőjű, a felszínre merőleges henger alakú oszlop a kéreg alapvető szerkezeti

modulja. A kéreg működése úgy fogható fel, hogy a modulok egymással tartanak fenn összeköttetést akár azonos féltekén belül, akár a másik féltekével. (*FIII. 8/52, 8/53*).

Kérgi dominancia. A két agyfélteke aszimmetrikus működésű. Azt a féltekét, amelyben a beszédközpont van domináns féltekének nevezik, a jobbkezes embereknél (95%) ez a bal agyféltekét jelenti. A dominancia nem jelenti azt, hogy a másik félteke alárendeltebb szereppel bír. Ehelyett arról van szó, hogy a két félteke más-más funkciókra specializálódott. A domináns félteke felelős a kategorikus gondolkozásért (realista féltekének is szokták nevezni), míg a nem domináns félteke a tér és időbeli viszonyok elemzését végzi, például arcok felismerése, tárgyak azonosítása, zenei felismerés (művészi félteke). A két félteke közötti ilyen irányú különbségeket az olyan egyéneknél figyelték meg először, akiknél a corpus callosum sérülése miatt a két félteke izolálódott (split brain).

Az agykéreg helyi különbségei. A neocortex egyes területei szerkezetükben és működésükben különböznek egymástól. Így az elsődleges motoros kéregben az ötödik réteg piramis sejtjei feltűnően nagyok, ezt a területet agranularis kéregnek nevezzük (a kisebb szemcses sejtek hiánya miatt). Az elsődleges érző kéregben ezzel szemben a sejtek nagysága hasonló, így a kéreg szemcsés jellege dominál (granularis kéreg). Az egyes kérgi területekhez különböző funkciók köthetők, ezeket Brodmann írta e elsőként, és számokat adott az egyes központoknak.

Környéki vagy perifériás idegrendszer

Agyidegek

A tizenkét pár agyideg közül a nervus olfactorius (I), nervus opticus (II) és a nervus vestibulocochlearis (VIII). érzékszervi pályák részeként a megfelelő fejezetben kerülnek ismertetésre. A III., IV. és VI. agyidegek szemizmokat látnak el. A nervus trigeminus (V.) a rágóizmok és az arc bőrének, valamint a szájüreg, orrüreg és a szem érző idege. A nervus facialis (VII.) a mimikai izmokat, könnymirigyet és nyálmirigyeket lát el, valamint ízérező rostokat tartalmaz. A nervus glossopharyngeus (IX.) a garat és a nyelv idege valaminellátja a fültömirtigyet. A nervus vagus vagus (X.) ellátja a gége izmait,

valamint a mellkasi zsigereket és a hasüregi szervek nagy részét paraszimpatikus rostokkal.

Nervus oculomotorius (III.)

Somatomotoros ágai a musculus levator palpebrae superiorist, a m. rectus bulbi medialist, superiorit, inferiorit és obliquus inferiorit idegzik be. Visceromotoros része a musculus ciliarist és a m. sphincter pupillae-t látja el. A preganglionaris rostok a ganglion ciliareban kapcsolódnak át.

Nervus trochlearis (IV.)

Somatomotoros rostjai a m. obliquus superiorit idegzik be.

Nervus trigeminus (V.)

Három elsődleges ága van, amelyek további oszlására is a hármas elágazódás jellemző. A *nervus ophthalmicus (V/1)* a szemgolyót és az arc felső részének bőrét látja el somatosensoros rostokkal. A *nervus maxillaris (V/2.)* a felső fogsort, az orrüreget, szájüreget és az arc középső részét látja el somatomotoros rostokkal. A *nervus mandibularis (V/3.)* somatosensoros rostjai az arc bőrének elülső és oldalsó részét, az alsó fogsort és a nyelv elülső kétharmadát látják el. Az érző rostokhoz tartozó ganglionsejtek a ganglion trigeminaleban vagy Gasser dúcban vannak. Somatomotoros rostjai beidegzik a rágóizmokat, a dobhártya feszítő izmot, a légyszájpad feszítő izmot és nyelvcsont feletti izmokat.

Nervus abducens (VI.)

Somatomotoros rostjai a m. rectus bulbi lateralist látják el.

Nervus facialis (VII.)

Somatomotoros rostjai a mimikai izmokat, a középfülben található m. stapediust, valamint nyelvcsont feletti izmokat látnak el. Visceromotoros rostjai a submandibularis és sublingualis nyálmirigyek beidegzésében vesznek részt. A preganglionaris rostok a ganglion pterygopalatinum és a ganglion submandibulareba futnak. Viscerosensoros ízérző rostokkal a nyelv elülső kétharmadát látja el, a rostok eredő sejtjei a ganglion geniculiban vannak.

Nervus glossopharyngeus (IX.)

Somatomotoros rostjai részt vesznek a garat és a légyszájpad izmainak ellátásában. Somatosensoros rostokkal a nyelv hátsó egyharmadát, a garat nyálkahártyáját látja el. Visceromotoros komponense a parotist idegzi be, a preganglionaris rostok a ganglion oticumba haladnak. A viscerosensoros rostok felelősek a nyelv hátsó egyharmadában az ízlelőbimbók beidegzéséért valamint a carotis sinus reflex afferens beidegzését adják. A sensoros rostok ganglion sejtjei a ganglion inferiusban és superiusban vannak.

Nervus vagus (X.)

Bolygóidegnek is nevezik, nemcsak a fej és a nyak, hanem a mellüreg és a hasüreg területén is jelentős beidegzési területei vannak. Somatomotoros rostjai részt vesznek a légyszájpad, a garat, a gége és a nyelvcső izmainak ellátásában. Somatosensoros rostjai a külső hallójárt bőrének ellátásában vesznek részt. Visceromotoros rostjai a mellkasi zsigerek és a felső hasi zsigerek parasymphaticus beidegzését adják. A preganglionaris rostok a beidegzett szervbe lépnek be és a szerv falában elhelyezkedő ganglion sejtekkel alkotnak synaptikus kapcsolatot. A viscerosensoros rostok az említett szervek érző beidegzésében vesznek részt, valamint a nagyerek specialis reflexeinek afferens szarát alkotják. Az érző rostok ganglionjai a ganglion superiusban és inferiusban vannak.

Nervus accessorius (XI.)

Somatomotoros rostjai a m. sternocleidomastoideust és trapeziust látják el.

Nervus hypoglossus (XII.)

A nyelv izmait és a nyelvcsont alatti izmokat látja el.

Gerincvelői idegek

A gerincvelői idegek dorsalis ágai jóval gyengébbek, mint a ventralisak. Plexusokat nem képeznek, segmentalisan látják el a test háti oldalán a megfelelő bőrterületet és az izmokat. A ventralis ágak vagy fonatokat (plexus) képeznek, vagy segmentalisan maradván nem vesznek részt plexus képzésében.

Plexus cervicalis. A nyaki fonat az első négy nyaki ideg ventralis ágából alakul ki. Ellátási területe a nyak bőre, a nyakizmok egy része és a rekeszizom. Ez utóbbihoz futó rostok eredő sejtjei a negyedik nyaki szelvényben vannak.

Plexus brachialis. A karfonat a négy alsó nyaki és az első háti ideg ventralis ágából alakul ki. A nyak oldalsó részéhez érve az idegek törzsekbe (truncus) rendeződnek, majd ezek kötegeket (fasciculus) hoznak létre. Ezekből alakulnak ki az idegek, amelyek a felső végtag érző és mozgató beidegzését biztosítják. A plexus brachialis legnagyobb ágai a nervus axillaris, radialis, musculocutaneus, ulnaris és medianus.

Intercostalis idegek. A thoracalis szakasz tizenkét ramus ventralisa mint bordaközi (intercostalis) ideg folytatódik a mellkas elülső felszíne felé. Beidegzik a bordaközi izmokat, valamint a mellkas bőrét és a has bőrének egy részét.

Plexus lumbalis. Az ágyékfonat az utolsó thoracalis és az első négy lumbalis ideg ventralis ágából alakul ki. Az alsó végtag, elsősorban a comb elülső érző és mozgató beidegzésében vesz részt, legnagyobb ága a nervus femoralis.

Plexus sacralis. A keresztcsonti fonat az utolsó lumbalis szelvényből valamint a sacralis és coccygealis szelvényekből alakul ki. Két részét különböztetjük meg, a *Plexus ischiadicus*t (ülőfonat) és a *Plexus pudendohemorrhoidalist* (szemérem-végbélfonat).

A plexus ischiadicus az alsó végtag legnagyobb részének érző és mozgató idegtörzse, a plexus pudendohemorrhoidalis a kismedencét látja el. Legnagyobb ága a nervus ischiadicus amelyből a nervus tibialis és a nervus peroneus communis erednek. A plexus pudendohaemorrhoidalis a kismedence és a gát területét látja el.

A KÖZPONTI IDEGRENSZER BURKAI, LIQUOR CEREBROSPINALIS

A központi idegrendszer burkai. A központi idegrendszer egészét egy három rétegű burokrendszer (meninges) veszi körül. Ezek kívülről befelé a keményagyhártya (dura mater, pachymeninx) és a két rétegből (arachnoidea és a pia mater) álló lágyagyhártya (leptomeningis) (S 464., 517. ábra).

Az agyat körülvevő dura mater egy lemezből áll, amely szorosan összenő a csonthártyával. A felette lévő térséget epiduralis térségnek nevezzük, amelyben a tápláló artériái futnak. A koponyacsont törésekor a sérülésükből származó epiduralis vérzés életveszélyes állapotot jelent. A dura mater sarlószerűen benyomul a nagyagy és a kisagy és féltekéi közé, mint falx cerebri és falx cerebelli. A hemisphaeriumokat a kisagytól egy sátryszerű dura lemez, a tentorium cerebelli választja el. A dura mater helyenként két lemezre válva vénás öblöket hoz létre (sinus).

Ezek közül legnagyobb a koponyatető belsején futó hosszanti öböl, a sinus sagittalis superior. A sinusrendszer utolsó tagja a sinus sigmoideus, amelynek koponyán kívüli folytatása a vena jugularis interna. Nevezetes sinus a töröknyereg két oldalán futó sinus cavernosus, amelyben az arteria carotis interna, valamint a nervus trigeminus első ága, a nervus ophthalmicus, valamint a nervus oculomotorius, trochlearis és abducens fut. A sinus cavernosus összeköttetésben áll a szemüreg vénáival. A dura mater diaphragma szerű lemeze a töröknyeregben lévő agyalapi mirigyét védi.

Az arachnoidea vagy pókhálómembrán hozzáfekszik a dura mater belső felszínéhez. Jellegzetes képződményei (granulationes arachnoideae) a dura mater felső sinusába benyomulva a liquor cerebrospinalis felszívódásában vesznek részt. A dura mater és az arachnoidea közötti térség a subduralis tér. Az agy felszínén lévő vénák ezen áthaladva érik el a dura sinusokat (hídvénák). Ezen vénák sérülése az elhúzódóan kialakuló subarachnoidalis vérzéshez vezet. A pia mater pontosan követi a gerincvelő és az agyvelő felszínét. A pia mater és az arachnoidea közötti térség a subarachnoidalis tér, amelyben liquor cerebrospinalis található. A subarachnoidalis tér tágulatai a cisternák. Klinikai szempontból legjelentősebb a cisterna magna, amelyből az öreglyukon keresztül mint a vehető a cerebrospinalis folyadékból.

A gerinccsatornában lévő dura mater két lemezből áll, a külső szorosan összenő a csonthártyával. A két lemez közötti térség az epiduralis tér, amelyben vénás fonat található. A klinikai gyakorlatban az epiduralis érzéstelenítésnél ide fecskendezik be az érzéstelenítő oldatot. A gerinccsatorna területéről a harmadik és negyedik lumbalis

csigolyák közötti képleteket átszúrva nyerhető liquor cerebrospinalis (lumbal punctio). A pia mater a gerincvelői szakaszon az elülső és hátsó gyökerek között oldal felé húzódva a gerincvelő rögzítésében vesz részt. (S 573- ábra).

Liquor cerebrospinalis. Az agykamrák megfelelő részeiben található plexus choroideusok termelik, a felszínüket borító hám aktív szekréciója révén. A liquor az agykamrákból a negyedik kamra tetején lévő nyílásokon keresztül a cisterna magna-ba jut. Innen a nagyobbik része a gerincvelő hátsó felszínén lefelé, majd az elülső felszínen felfelé áramlik, és végül a granulationes arachnoideae-kon keresztül szívódik fel a vénás rendszerbe. A fokozott termelődés és a felszívódási zavarok következtében vízfejűség (hydrocephalus) alakul ki. A liquor feladata a központi idegrendszer mechanikai védelme. Emellett részt vesz az anyagcsere-termékek eltávolításában, a neuronok és a gliasejtek táplálásában valamint a mikrokörnyezetük biztosításában. (S 518. ábra).

A vér-agy gát. Az agyi capillarisok falában lévő endothel sejtek a rendkívül szoros zárást biztosító tight junctionokkal kapcsolódnak egymáshoz. Ez a kapcsolat jelenti a vér-agy gátat, amely biztosítja az agyi extracelluláris tér ionösszetételének állandóságát. Megakadályozza hogy a neurotranszmitterek bejussanak a szisztémás keringésbe. Ugyanakkor a keringésből csak bizonyos anyagok jutnak be az agyba, mások nem. Ezért az idegrendszeri betegségek kezelésekor figyelembe kell venni, hogy a választott gyógyszer képes-e átjutni a vér-agy gáton.

Az agyi extracelluláris tér, ami az agy térfogatának 20-40%-át teszi ki, ionösszetételét a vér-liquor gát is biztosítja. Ezt a gátat a plexus choroideust borító ependyma sejtek közötti tight junctionok és az arachnoidea sejtei közötti tight junctionok biztosítják.

A KÖZPONTI IDEGRENSZER VÉRELLÁTÁSA

A *gerincvelő* hosszában három artériás törzs fut végig. Ezek az arteria vertebralis rendszeréhez tartoznak, amiket a csigolyák közötti lyukakon belépve a segmentalis artériák erősítenek. A három artériát a gerincvelő felszínén körbefutó anastomosis rendszer köti össze. A belőlük eredő ágak a felszínre merőlegesen lépnek be a gerincvelő állományába. A felszínről a központi idegrendszer állományába belépő artériák már végartériák, a szomszédos ágak között nincsenek összeköttetések. Ezért ezen ágak sérülése az adott terület elhalását vonja maga után. A vénák hasonló elrendezésben találhatók, majd ezeket a gerinc vénás fonatai gyűjtik össze.

Az *agyvelő* artériás vérellátására az agyalapon alakul ki egy gyűrűszerű anastomosis, a circulus arteriosus Willisii. A gyűrű kialakításában a két arteria carotis interna és a két arteria vertebralis egyesüléséből származó arteria basilaris vesz részt. A gyűrűből eredő artériák közül az arteria cerebri anterior a féltekék medialis felszínét, az arteria cerebri media a féltekék konvex felszínét és a törzsdúcokat, az arteria cerebri posterior a féltekék hátsó részét látják el. Az agytörzs vérellátását az arteria vertebralis és az arteria basilaris biztosítja. Az agyállományba belépő artériák a gerincvelőhöz hasonlóan végartériák. Az agy saját vénái a dura mater sinusai felé vezetik el a vért. Az agy legnagyobb saját vénája a vena cerebri magna. (S 468. ábra).

AZ IDEGRENSZER SZENZOROS MŰKÖDÉSEI

Az érző vagy szenzoros rendszer a külső és a belső környezetről tájékoztatja az idegrendszert, amelynek ingereit specifikus receptorok érzékelik. A külső környezet információit a bőr és a nyálkahártyák mechano- termo-, foto-, kemo- és polimodális receptor vagy nociceptív receptorai (exteroceptorok) veszik fel. A receptorok az ingert ingerületté alakítják, amely a különböző reflexívek afferens szárán keresztül a központi idegrendszerbe jut és az ingerületre valamilyen somatomotoros, visceromotoros vagy pszichomotoros válasz alakul ki. Az érző rendszerek által szállított ingerület a gerincvelőben, az agytörzsben vagy a magasabb központokban történő átkapcsolódás után az agykéregben érzetté alakul. Az ascendáló út mellett van egy descendáló is, ami a felszálló rendszerek kontrollját jelenti. Ennek feladata a inger felvételének optimalizálása és az ingerület továbbításának módosítása.

A szenzoros rendszerek általános felépítése sok hasonlóságot mutat egymással. A receptorok az ingert elektromos jellé, generátor vagy receptor potenciállá alakítják át, majd a kialakuló akciós potenciál a primer afferens rostban továbbítódik. A központba belépett afferens rostok az idegrendszerben többször átkapcsolódnak, a primer afferens neurontól az agykéregig tartó szakaszt érző pályáknak vagy felszálló pályáknak nevezzük. Az átkapcsolódás nem csupán jeltovábbítást (a fizikából ismert relé működést) jelent, hanem az átkapcsolási központokban ingerület feldolgozás történik, az itt lévő interneuronok módosítják az ingerület továbbítását. Az érző pályák lefutásában közös, hogy a thalamusban a szaglópálya kivételével valamennyien átkapcsolódnak. A szenzoros rendszerek működése során nemcsak a periféria felől áramlik információ a központba, hanem a központ is kontrollálja a felszálló információt. Ez az afferens kontroll vagy a receptor szinten valósul meg, vagy a központi idegrendszerben a különböző átkapcsolások szintjén.

A gerincvelő érző működései

A gerincvelőbe a hátsó gyökéren keresztül egy complex, térben és időben összerendezett ingerület sorozat érkezik perifériás receptorokból. Mielőtt az ingerületet továbbítódik a magasabb központok felé, egy ingerületet feldolgozási folyamat történik, amelyben egy complex neurotranszmitter rendszerrel bíró, bonyolult neuroncsoport

vesz részt. Az ingerület ezt követően a magasabb központok felé továbbítódik, és átkapcsolódások után jut el a sensoros kéregbe.

Nociceptív reflexek. Minden olyan behatás, amely a szövetek épségét veszélyezteti, védekező reflexet vált ki. Emberben a sérülésnek leginkább kitett helyek a végtagok, így ha a végtagot fájdalmas inger éri, a végtag visszahúzása, a károsító tényezőtől való eltávolítása következik be. A végtag megrövidítésében a flexor izmok játszanak szerepet. A receptorok a bőrben található szabad idegvégződéses, a nociceptorok. Az afferens szár az ezekből a receptorokból kiinduló rost vékony velőshüvelyű A delta vagy velőshüvely nélküli C rost kategóriájába tartozik. A sejttest a ganglion spinaleban helyezkedik el, a centralis nyúlvány a hátsó gyökéren lép be a gerincvelőbe. A belépés szintjében kettéágazik, majd a Lissauer zónában rostralis és caudalis irányban fut. A szürkeállományba belépve annak dorsalis részén végződik. Az itt történő ingerület feldolgozás után a interneuronok gyűjtik össze a kimenő jelet és továbbítják az azonos oldali flexorokat beidegző motoneuronhoz, amelynek axonja a perifériára jutva a megfelelő flexor izmot idegzi be. Szokás a reflexívet polysynaptikus reflexnek, vagy flexor reflexnek, vagy bőr eredetű reflexnek is nevezni.

A nociceptív reflexválasz során fontos, hogy a test egyensúlyi helyzete megmaradjon. Ezt úgy lehet biztosítani, hogy a flexor izomhoz haladó axon collateralisa átkereszteződik az ellenoldalra és ott a végtag megtámasztásában szereplő extensor izmokat idegzi be.

A flexor izmokhoz haladó axon collateralisa kereszteződik, és a tractus spinothalamikus pályarendszerének kialakulásához járul hozzá.

A hátsó gyökéren keresztül belépő primer afferens rostok különböző vastagságúak. A vékony rostok a hátsó gyökérben a gerincvelőbe való belépésnél laterálisan találhatóak. Mielőtt belépnek a szürkeállományba a Lissauer kötegben fel és leszállnak néhány szegmentumot. A medialisan elhelyezkedő vastag rostok a hátsó kötegben felszálló pályák alkotásában vesznek részt, collateralisaik pedig belépnek a szürkeállományba.

A primer afferens rostok végződési mintázata. Az I. lamina sejtjein A δ és C rostok végződnek, amelyeknek a neurotranszmittere a glutamát, valamint a substance P és a CGRP. Az I lamina sejtjei fájdalmas és hőingerekre reagálnak. A sejtek enkephalin és SP pozitívak. A SP excitatoros szerepet játszik azokban a folyamatokban, amelyek

eredményként fájdalom alakul ki. Opiát receptorok igen nagy számban fordulnak elő a lamina I és II-ben. Az enkefalin, az endogen opioidok parallel megoszlásban vannak az opioid receptorokkal. Ilyen módon az opiat receptorok és az endogen ligandjaik egy belső fájdalomcsillapító rendszer tagjai lehetnek. A sejtek kereszteződő axonja az ellenoldali tractus spinothalamikus alkotásában vesz részt. A primer afferensek vagy közvetlenül végződnek a projekciós neuronokon, vagy interneuronnal szinaptizálnak.

A lamina II sejtek axonjainak egy része kilép a Lissauer zónába vagy a laminán belül le és felszáll néhány segmentumot, majd abban a magasságban lép be újra a substantia gelatinosába. Az axonok egy része visszakanyarodik az I. laminába. A nociceptív és a thermoreceptív neuronok a felületesebb, a mechanoreceptív neuronok a substantia gelatinosa mélyebb részben vannak. Olyan sejtek nincsenek a substantia gelatinosában, amelyeknek axonjai közvetlenül részt vennének felszálló pályák alkotásában, tehát a substantia gelatinosa egy zárt rendszert alkot, amelynek fontos szerepe van a továbbítandó információ modulálásában.

A lamina IV. sejtjeit antenna sejteknek is nevezik. Dendritjeik benyúlnak a substantia gelatinosába és az ott kialakult információt összegyűjtik. Axonjaik a tractus spinothalamicus alkotásában vesz részt, illetve a flexor izmok motoneuronjaihoz haladva a nociceptív reflexív kialakításában szerepelnek. Az A δ rostok a mélyebb zónákban is végződnek egészen az V. lamináig.

A projekciós neuronokhoz mind a bőr, mind a zsigerek felől érkezik információ, tehát a primer afferensek konvergálnak a projekciós neuronon. Mivel az idegrendszer nem képes elkülöníteni, hogy az inger a melyik forrásból származik, a fájdalmat nem a megbetegedett zsigerben, hanem a test meghatározott helyén érzékeljük. ténylegesen fájdalmas testtájékról származik-e, vagy az ugyancsak oda projiciáló bőr területről. Ez a magyarázata a kisugárzó fájdalomnak, így a szívizom oxigénhiányos állapotában a bal felső végtagba sugárzik a fájdalom.

(FIII. 8/15).

A szomatoszenzoros rendszer

A testfelületet és a testnyílások nyálkahártyáját ért ingerekről, a végtagok helyzetéről a somatoszenzoros rendszer ad információt az idegrendszer számára. A primer afferens rostok által szállított ingerület a gerincvelői és az agytörzsi reflexívek afferens szárát képezve jut be a központba. A kialakuló válaszreakció részben tudat

alatti reflexválaszban nyilvánul meg, ehhez a gerincvelői és az agytörzsi központokban lévő történések elegendőek. A felszálló pályákon haladó ingerület egy része az agykéregben tudatosul, és érzet alakul ki. A limbikus rendszeren keresztül az ingerület affektív reakciókat is kiválthat. Az érző pályák legnagyobb része a thalamusban átkapcsolódva éri el a megfelelő agykérgi területet, ahol az érzet kialakul.

A somatosensoros rendszer anatómiailag és funkcionálisan két nagy részre osztható. Az egyik a *hátsó kötegi-lemniscus medialis rendszer*, a *tractus spinothalamicus* (újabb néven anterolateralis rendszer).

A hátsó kötegi-lemniscus medialis rendszer. Hozzá kapcsolható a tapintás és a helyzetérzés vagy propriocepció. A magasan specializált receptorokból, vastag rostokon szállított ingerület a hátsó gyökéren keresztül vezetődik a gerincvelőbe. A rostok a hátsó kötegbe lépnek be és a nyúltvelő területén a hátsó kötegi magvakban, a Goll és Burdach magokban végződnek, tehát a primer érző neuronban keletkező ingerület átkapcsolódás nélkül jut el a nyúltvelőbe. A hátsó kötegi magok neuronjainak axonjai keresztezik a középvonalat, és a kereszteződött rostok a lemniscus medialis hozzák létre. A lemniscus medialis a hídon és a mesencephalonon áthaladva a thalamusba jut, ahol a nucleus ventralis posterolateralisban végződik. Ezt követően a capsula internában haladva érik el a gyrus postcentralist, a primer érző kérget (Brodmann 3, 1, 2) ahol a pálya véget ér.

A fej területéről származó hasonló információt a nervus trigeminus szállítja. A primer érző neuronok sejtteste a Gasser dúcban található, centralis nyúlványuk az agytörzsbe belépve a nucleus princeps nervi trigeminiben végződik. Átkapcsolódás után a rostok keresztezik a középvonalat és mint lemniscus trigeminalis dorsalis jutnak el a thalamus nucleus ventralis posteromedialisába. Innen a rostok ugyancsak a capsula internán keresztül jutnak el a primer érző kéregbe. A felszálló rostok kevés kollateralist adnak a formatio reticularishoz.

(FIII. 8/57).

A spinothalamikus pálya vagy anterolateralis rendszer. A felületes tapintás, hő érzés, fájdalom érzés közvetítése kapcsolható a pályához. A receptorok nagy része szabad idegvégződés, ahonnan vékony velőshüvelyes, vagy velőshüvely nélküli rostok szállítják az információt a gerincvelőbe. A gerincvelőbe bejutó rost belép a szürkeállomány hátsó szarvába és ott végződik. A projekciós neuronok az I, IV és a VIII laminában elhelyezkedő sejtek, amelyek az ellenoldalra kereszteződve az elülső és

oldalsó kötegben szállnak fel. A felszálló rostok a thalamusig jutnak, ahol részben a VPL-ben, részben a nem specifikus magokban kapcsolódnak át. Innen az út hasonló a lemniscus rendszerénél leírtakhoz hasonlóan az érző kéregbe vezet, de emellett a rostok egy része a frontális lebenybe projiciál. Az agytörzsből felszálló rostok egy része a hypothalamushoz ad collateralisokat. Ez a magyarázata annak, hogy a fájdalmat gyakran kísérik vegetatív tünetek (vérnyomás emelkedés, pulzus szaporulat, bőrpír). A spinothalamicus pálya sok collateralist ad a formatio reticularishoz. Filogenetikailag ősi, mint a hátsó kötegi rendszer.

A fej területén a spinothalamicus pálya megfelelője a nervus trigeminussal kapcsolatos. A Gasser dúc sejtjeinek centralis nyúlványai a nucleus tractus spinalis nervi trigeminibe lépnek be, ahol a gerincvelő hátsó szarvához hasonlóan egy komplex ingerület feldolgozás történik. Az ellenoldalra kereszteződött rostok a lemniscus trigeminalisban szállnak fel és a spinothalamicus pályához hasonlóan végződnek a thalamusban azzal a különbséggel, hogy a VPL helyett a VPM fogadják a rostokat. (*FIII. 8/56*).

Mindkét pálya esetében a gerincvelőtől kezdve az érző kéregig szomatotópiás lokalizáció figyelhető meg.

A fájdalomérzet kialakulásának endogen kontrollja

Az idegrendszer a nociceptív ingerek útját képes kontrollálni és ezáltal a fájdalom kialakulását csökkenteni. Ez a fájdalomcsökkentő vagy analgetikus hatásban kitüntetett szerepe van az endogen opiatoknak. Egyik lehetséges mechanizmus szerint a periaquaeductalis szürkeállományból monoaminerg pályák szállnak le a gerincvelő hátsó szarvába, ahol gátolják a nociceptív neuronokból az ingerületátadást a spinothalamikus pálya felé. A monoaminerg neuronokon gátló GABA neuronok végződnek, amelyeknek az ingerülete megakadályozza a monoaminerg neuronok aktivitását. A GABAerg neuronokon opiat receptorok vannak, amelyekhez az endogenen termelődő opiátok vagy a kívülről bejuttatott morfin kötődik. Ezáltal a GABA által okozott gátlás megszűnik, és a leszálló monoaminerg pálya képes hatékonyan megakadályozni a nociceptív ingerület terjedését a magasabb központok felé. A másik lehetséges mechanizmus szerint a leszálló monoaminerg pályák olyan opioid interneuronokon végződnek, amelyeknek transzmitterei vagy presynaptikusan gátolják a transzmitter leadást a primer afferens nociceptorokból, vagy postsynaptikusan gátolják a spinothalamikus pálya neuronjait.

A viszceroszenzoros rendszer

A belső szervek állapotáról az interoceptorok tájékoztatják az idegrendszert, amelyek a belső szervekben helyezkednek el. Ebben a vonatkozásban az erek és a test különböző helyein, így a bőrben található mirigyek is vegetatív irányítás alatt állnak. Az interoceptorok képezik a *vegetatív reflexív* első tagját. Az interoceptorok lehetnek nociceptorok, amelyek szabad idegvégződéses és amelyek olyan stimulusra válaszolnak, amelyek potenciális veszélyt jelentenek a szervre (gyulladás, emésztőrendszeri puffadás, görcs). Vannak olyan szabad idegvégződéses amelyek a nem károsító ingerekre válaszolnak, például mozgás, feszülés vagy hirtelen nyomás változás. A specializált interoceptorok lehetnek baroreceptorok, amelyek a vérnyomás változásra reagálnak. A kemoreceptorok valamilyen kémiai ingerre specifikusak, ami lehet a vér összetételének megváltozása. Az ízérező és a szagló receptorok is kemoreceptorok. A primer afferens viszcroszenzoros rost vékony velőshüvelyű vagy velőtlen rost, amelynek sejtteste a ganglion spinaleban vagy az agyidegek érző ganglionjában van. A centralis axon a gerincvelőbe lépve a szürkeállományban végződik az I-V és a VII-VIII laminában. A információ innen egyrészt a gerincvelő oldalsó szarvában lévő viszcromotoros neuronokhoz jut, másik részük felszálló pályák alkotásában vesz részt. A sympathicus idegrendszer esetében a viszcromotoros neuronok a thoracolumbalis gerincvelő oldalsó szarvában vannak, amelyeknek axonja a somatomotoros axonokkal együtt a ventralis gyökéren keresztül hagyja el a gerincvelőt. A somatikus reflexívvel ellentétben a kilépett axon nem közvetlenül éri el a beidegzendő szervet, hanem átkapcsolódik. A szimpatikus idegrendszer esetében a rostok nagy része belép a sympathicus dúclánc (truncus sympathicus) paravertebralis ganglionjába és ott kapcsolódik át. A ganglionba belépő rostot preganglionaris rostnak, egy ganglionba belépő rostok összességét ramus communicans albusnak hívják, a velőshüvelyű rostok fehér színéről. A ganglionokban elhelyezkedő multipolaris idegsejtek axonja a postganglionaris rost, amely a beidegzendő szervhez halad. A postganglionaris rostok velőtlenek, emiatt szürkék, így a gangliont elhagyó rostok összességét ramus communicans griseusnak nevezzük. Vannak olyan preganglionaris rostok, amelyek csak áthaladnak a ganglionon, de átkapcsolódni majd a gerincoszlop előtti praevertebralis ganglionokban fognak. A parasymphaticus idegrendszer esetében a preganglionaris viszcromotoros neuron vagy az agyidegek viszcromotoros magjaiban

vagy a sacralis gerincvelő oldalsó szarvában van. Az átkapcsolódás vagy az agyideg parasympathicus (vegetatív) ganglionjában, vagy a beidegzendő szerv falában lévő ganglion sejteken történik. Ez utóbbiakat intramuralis ganglionoknak nevezzük. A beidegzett periferiás képlet a vegetatív ganglionok esetében simaizom, szívizom, vagy mirigy. (*FIII. 8/16*).

Az agyidegek közül a nervus facialis, a glossopharyngeus és a vagus rendelkezik viscerosensoros rostokkal. A primer afferens rostok ganglionja a nervus facialis esetében a ganglion geniculi, a nervus glossopharyngeusnál a ganglion superius és inferius. A nervus vagus két ganglionját ugyancsak ganglion superiusnak és inferiusnak nevezik. A ganglionsejtek centralis nyúlványa a megfelelő agyidegen keresztül a nucleus tractus solitariiben végződik. Innen a rostok nagy része a formatio reticularishoz jut, és általában ennek közvetítésével jut el az információ a visceromotoros neuronokhoz. A felszálló rostok eljutnak a nucleus parabrachialisba, a hypothalamusba, majd a thalamusba és végül az agykéreg különböző területeire.

A nociceptív és a vegetatív reflexív esetében a központi átkapcsolódás helyén a két forrásból származó rostok végződési területében átfedés van. Ezzel magyarázható a klinikai gyakorlatban jól ismert izomvédekezés a défense musculaire. Valamely hasúri zsiger gyulladása esetén (appendicitis) az azt beidegző gerincvelői szelvényhez tartozó hasizmok görcsös összehúzódása következik be. Ennek az a morfológiai alapja, hogy a gyulladt szervből és a felette lévő bőrterületről befutó érző rostok convergálnak, legalábbis részben azonos neuronon végződnek. A hátsó szarvban történő ingerület feldolgozás után a kimenő jel az adott szelvényben lévő hasizom (funkcionálisan flexor) motoneuronjához fut, és a végeredmény az izom összehúzódása. Ha a gyulladás tartósan fennáll, a folyamatosan beérkező ingerület tartós és fájdalmas izom összehúzódást fog eredményezni. A reflexív biológiai szempontból hasznos, mert az izom összehúzódás védi a szervet a külső behatástól és a kialakuló fájdalom figyelmeztet az elváltozásra.

A gerincvelőből felszálló rostok részben a tractus spinothalamicushoz, részben a tractus spinoreticularishoz csatlakoznak. Az előző pályán haladók a thalamus nucleus ventralis posterolateralisában végződnek, majd innen egy újabb neuron halad a gyrus postcentralisba és az insula kérgébe. A visceralis fájdalom lokalizálása pontatlan, egyrészt a receptorok alacsony denzitása miatt, részben a nagy receptív mező miatt. Azok a rostok amelyek a tractus spinoreticularisban haladnak, a formatio reticularis különböző területein végződnek, majd eljutnak a hypothalamusba, a periaqueductalis szürkeállományba, majd a thalamus nem specifikus magjaiba. Innen a rostok különböző kérgi területekre projiciálnak. A hypothalamusba eljutott viscerosensoros információ a zsigeri működéseket befolyásolja.

AZ IDEGRENSZER SZOMATOMOTOROS MŰKÖDÉSEI

A gerincvelő somatomotoros működése

A gerincvelői motoneuronokon konvergálnak a primer érzőrostokon és a leszállópályákon érkező impulzusok, amelyeket a motoneuron feldolgoz. Emiatt az összegző működés miatt a motoneuronok rendszerét végső közös útnak is szokták nevezni. A motoneuronhoz az információ vagy közvetlenül, vagy interneuronokon keresztül jut el. A motoneuronok az információt a ventralis gyökérben futó axonjaikon juttatják el a beidegzendő izmokhoz. Az axonokból a kilépésük előtt egy visszakanyarodó collateralis ered, amely a Renshaw sejtekig követhető vissza. A Renshaw sejtek gátló működésűek, axonjuk egy szomszédos motoneuronon végződik. Így egy motoneuron csoporton belül mindig lesznek aktív és gátolt sejtek, az adott időpillanatban aktív sejt egy bizonyos idő eltelte után gátolt állapotba kerül és fordítva. Ennek a váltakozó aktivitásnak különösen fontos szerepe van az izomtónus fenntartásában. A motoneuronok elrendeződésére somatotopias localizatio jellemző.

A flexor izmok motoneuronjai dorsalisán, az extensoroké ventralisan vannak. Legmedialisabb helyzetűek a törzs izmokat beidegzők, majd a végtagokat beidegző motoneuronok proximodistalis eloszlásban.

A gerincvelőben a somatomotoros működés szempontjából eltérő szakaszokat lehet megkülönböztetni. Az első három a felső nyaki terület, a negyedik nyaki szelvény pedig a rekeszizom beidegzéséért felelős. Az utolsó négy nyaki és az első thoracalis szelvény a brachialis szakasz. A thoracolumbalis (Th2-L3) terület a törzs beidegzéséért felelős. A végtagi szakasz a lumbosacralis terület (L4-S2), a conus terminalisnak megfelelő rész pedig a pudendohaemorrhoidalis rész. Az egyes szakaszok determinációja már korai embryonalis korban megtörténik.

Egy motoneuron és az általa beidegzett izomrostok összességét nevezzük motoros egységnek. A motoneuron és az izomrostok aránya attól függ, hogy az adott izom milyen fajta mozgások végzéséért felelős. Minél kisebb a motoros egység, annál finomabb mozgáskoordinációra van lehetőség. A szemmozgató izmok esetében az egy motoneuronra eső izomrostok száma kb. 10, míg a nagy törzsizmoknál több ezer is lehet.

Proprioceptív reflexív. A reflexív biológiai jelentősége az, hogy megvédi az izmot a rá ható passzív erőktől, és egyben biztosítja az izom hosszának, és ezzel az ízületek helyzetének állandóságát a mindenkori testtartásnak megfelelően. Ez a reflexív kevésbé fejlett azokban az állatokban, amelyek vízben élnek, vagy a földről nem emelkednek fel, hiszen ebben az esetben izmaikra passzív külső erők nem, vagy csak mérsékelten hatnak. A reflexív madarakban és emlősökben fejlődött ki teljes egészében. A járás és állás során a test tömege a rá ható gravitációs erők miatt a végtagokat összecsuklásra kényszerítene és ez ellen hat a proprioceptív reflex mechanizmus. A reflex azokban az izmokban fejlett, amelyek a gravitáció ellenében működnek. Ezek az extensor izmok, amelyeket antigravitációs izmoknak is szoktak nevezni. Fejlett proprioceptív reflexívvel rendelkeznek azok az izmok is, amelyeknél fontos a megfelelő feszülési tartomány beállítása. Ilyen izomcsoport a légzőizmok.

A reflexív receptorai az izmokban elhelyezkedő izomorsó annulospiralis idegvégződése, a magzsák receptorok. A receptor specifikus ingere az izom megnyúlása vagy megnyújtása. Ennek megfelelően az izom aktív összehúzódása esetén a receptor aktivitása csökken, majd megszűnik. A reflexív afferens szarát alkotó Ia típusú rostok a hátsó gyökéren lépnek be a gerincvelőbe, és a hátsó kötegben felszálló pályák alkotásában vesz részt. A rost collateralisa belép a szürkeállományba és a ventralis szarvban az alfa motoneuronokon végződik, ilyen módon a reflexívben egyetlen synapsis szerepel, ezért monosynaptikus reflexívnek nevezzük. Az afferens szár az alfa motoneuron axonja, amely megszakítás nélkül fut ahhoz az izomhoz, amelyből a reflexív afferens szára elindult. Ezért a proprioceptív reflexet saját reflexnek is nevezik. Az effektor rész a feszítőizom, amely a választ jelentő összehúzódással védi az izmot a megnyúlás ellen, és biztosítja az ízületek stabilitását a mindenkori testhelyzetnek megfelelően. Az afferens axon a motoros végtag területén számos elágazással végződik az izomroston. A végződésekben lévő szinaptikus vesiculák acetilkolinot tartalmaznak. (*FIII. 8/12, RI. 9/20*).

A reflexív normális működéséhez kiegészítő kapcsolatok szükségesek. Ezek egyike arra irányul, hogy az extensor izom összehúzódásakor az antagonista flexor izmok elernyedjenek. Ez úgy valósul meg, hogy az izomorsó afferens collateralist ad egy gátló neuronhoz, amely a flexor izmokat beidegző motoneuronon végződik.

A kiegészítő kapcsolatok másik fajtáját gamma huroknak nevezzük. Az alfa motoneuronok között elhelyezkedő kisméretű, gamma motoneuronok az izomorsó motoros beidegzését végzik. A gamma neuronok aktivitása esetén az izomorsó rostjai

összehúzódnak. Minél erősebb az összehúzódnak, az izomrost annulospiralis receptora annál érzékenyebb lesz az izom megnyúlására. Így a gamma neuronok az izom aktuális működési állapotától függetlenül beállítják az izomrost érzékenységét. A gamma neuronok másik működése abban nyilvánul meg, hogy a leszálló pályákon érkező ingerület nem közvetlenül éri el az alfa motoneuronokat hanem a gamma neuronokat aktiválja. Ennek következtében az izomrost rostjai összehúzódnak, ami aktiválja az anulospiralis receptorokat. A receptorok fokozott működése ingerületbe hozza a munkaizomrostokat beidegző alfa motoneuronokat, ami az izom összehúzódnak eredményezi. Ez a neuron láncot nevezzük gammahuroknak, ami lehetővé teszi, hogy a magasabb szintről érkező utasítások az izmok mindenkori összehúzódnak állapotától függően kerüljenek végrehajtásra.

A motoros rendszerek hierarchiája

A központi idegrendszer egyik funkciója a mozgatórendszer irányítása. A motoneuronok egy részének axonja (alfa motoneuronok) a harántcsíkolt izmokhoz fut, az ezzel kapcsolatos működést somatomotorosnak nevezzük. A zsigerek beidegzése pedig, ami a simaizmok, mirigyek és a szívizom beidegzését jelenti, a visceromotoros funkció.

A somatomotoros funkciókhoz tartoznak a reflexműködések, a testtartással, helyváltoztatással kapcsolatos mozgások, de bizonyos zsigeri működések egyes részei is, mint a légzőizmok beidegzése, nyelés. Ugyancsak ide tartoznak bizonyos magatartási reakciókkal kapcsolatos mozgások, a különböző emóciókat kísérő pszichomotoros tevékenység.

A mozgatórendszer szervezésében egyfajta hierarchia nyilvánul meg: a gerincvelő, az agytörzs és a mozgató kéreg tartoznak a hierarchia egyes szintjeihez. A rendszer alsó szinteken lévő tagjai, a gerincvelői és agytörzsi somatomotoros neuronok bizonyos önállóságra képesek, a gerincvelői és agytörzsi reflexek lezajlanak a magasabb központok jelenléte nélkül is. A természetben azonban ezeket a reflex folyamatokat befolyásolják a magasabb központok. Minden magasabb központból jövő információ közvetve vagy közvetlenül az alfa motoneuronokra érkezik, így a harántcsíkolt izomhoz juttatott információ továbbítása csak ezeknek az axonján keresztül lehetséges. A hierarchia mellett egy egymás mellé rendelt kapcsolatrendszer is létezik, ez a kisaggyal

és a basalis ganglionokkal való kapcsolatot jelenti. Ezek a területek a hozzájuk beérkező információt a mozgatórendszer két végpontja felé – a motoros kéreg és somatomotoros neuronok – közvetítik. (*FIII. 8/58*).

A klasszikus leírások a mozgások szabályozásában két rendszert különítenek el. Az egyik a piramis pálya, amely az agykéregből indul és a motoneuronokon végződik. Ez a pálya felelős az akaratlagos mozgások kontrolljáért. A másik az extrapiramidális rendszer, amelynek több központja van az idegrendszer különböző területein, és az ezekből származó kimenetek érik el a motoneuronokat. Az extrapiramidális pálya szerepe az automatizált mozgások biztosítása, mint az izomtónus eloszlása, az antagonista izomcsoportok egyensúlya, az izmok ízület rögzítő funkciója, az emóciókat kísérő mozgások, hangulati megnyilvánulásokat kísérő mozgások. Mai ismereteink szerint az extrapiramidális rendszer szerepe jelentősebb az agykérgi aktiválás területén, mint a motoneuronokra közvetlenül ható kontroll révén. Ilyen módon a két rendszer működése nem választható el élesen egymástól. Hogy a piramis és extrapiramidális rendszer szóhasználata fennmaradt annak az az oka, hogy a klinikai gyakorlatban a két rendszer károsodásakor kialakuló tünetek jól megkülönböztethetők egymástól.

A *pyramispálya* rendszer az akaratlagos mozgások szabályozását végzi az agytörzsi és a gerincvelői szinten. Az akaratlagos mozgások kérgi reprezentációja az elsődleges mozgató kéregből (gyrus precentralis, Brodmann 4), az előtte lévő szupplementer motoros areából és a premotoros kéregből áll (Brodmann 6). A primer motoros kéregben a végső integráció történik meg, ami a mozgás kivitelezésére adja ki az utasítást. A premotoros kéreg valószínűleg a mozgási reakciók előkészítésében, azok kezdeti fázisában játszik fontos szerepet. A szupplementer motoros kéreg funkciója a mozgási feladatok megtervezése, ami különösen a kombinált mozgásminták esetében lényeges. A piramis pálya nemcsak az elsődleges mozgató kéregből ered, hanem a premotoros és a szupplementer kéregből is, de erednek rostjai az elsődleges érző kéregből (gyrus postcentralis, Brodmann 3, 1, 2) és más kérgi területekből is. Az eredő neuronok a neocortex ötödik rétegében vannak, a primer motoros kéreg ezen rétegben lévő pyramis sejteket Betz-féle óriássejteknek nevezik. Az elsődleges mozgatókéreg területén somatotopias lokalizáció figyelhető meg, azaz minden egyes testtájék meghatározott területen reprezentálódik. Hasonlóan az érző rendszerhez, a kérgi terület nem a beidegzett terület nagyságával arányos. Az alsó végtag területe a középvonalhoz közel van, ettől laterális irányban a törzs, a felső végtagok majd a fej következnek. Aránytalanul nagy kérgi területtel rendelkeznek az öregujj, a hüvelykujj, a mutatóujj, az

ajak és a nyelv. A pyramispálya rostjai a corona radiatában majd a capsula interna térdében haladnak, szigorúan megtartva a somatotopiás rendet. Ezt követően a crus cerebri közepén halad a pálya, majd a hídban fellazulva található a nuclei pontis között. A nyúltvelőben a pyramis területén halad, majd a rostok kb. 98%-a a nyúltvelő-gerincvelő határon kereszteződik (tr. corticospinalis cruciatus). A keresztezett rész a funiculus lateralisban halad, míg a keresztezetlen rostok a funiculus anteriorban. A végződési szintben ezek a rostok is kereszteződnek az ellenoldalra (tr. corticospinalis directus). A pyramis rostok végződése a gerincvelőben interneuronokon történik, majd innen jut el az információ a motoneuronokhoz. Kivételt képeznek azok a pyramispálya rostok, amelyek az ujjak mozgásában részt vevő izmok motoneuronjait közvetlenül látják el.

A középagytól kezdve a pyramis pályából fokozatosan leváló rostok a formatio reticularison keresztül érik el a somatomotoros agyidegi magokat (tractus corticomesencephalicus, tractus corticobulbaris). Ezek a magok kétoldali rostokat kapnak a pyramis pályából, két kivétellel. Ezek egyike a nervus facialis száj körüli izmait beidegző motoneuron csoport, ahol a száj körüli izmok csak ellenoldali beidegzést kapnak. Ez az anatómiai alapja annak, hogy a capsula internában lévő vérzés esetén az ellenoldali száj körüli izomzat bénult, míg a homlok és a szemkörüli izmok épsége megmarad. A másik kivétel a nervus hypoglossus azon neuronjai, amelyek a m. genioglossust idegzik be, amelyet csak ellenoldali pyramis rostok látnak el. (FIII. 8/59).

A törzsdúcok és a kisagy mint a szomatomotoros rendszer részei

A törzsdúcok

A klasszikus leírások szerint a *törzsdúcokhoz* tartoznak a telencephalon fehérállományában lévő magvak: a nucleus caudatus, a nucleus lentiformis, a claustrum és a corpus amygdaloideum vagy röviden amygdala. A későbbiekben kiderült, hogy ezek funkcionálisan különböző rendszerekhez tartoznak, ezért újabban a *basalis ganglionok* elnevezést használják, amely csak részben fedi a fenti struktúrákat, illetve más, nem telencephalikus tagokkal is kiegészül. A basalis ganglionok a legáltalánosabban elfogadott meghatározása szerint a kéregből kiinduló és oda visszatérő pályarendszer állomásai. Ide sorolják a nucleus caudatust, a nucleus lentiformist, a nucleus subthalamicust és a substantia nigrát. Ezen belül a nucleus

caudatust és a nucleus lentiformist együttesen corpus striatumnak, vagy egyszerűen striatumnak nevezik. Neostriatumnak nevezik a nucleus caudatust és a nucleus lentiformis putamen nevű részét, míg a nucleus caudatus globus pallidusa a paleostriatum. A striatum elnevezés a makroszkópos megjelenésére utal, az összekötő rostok miatt a képletek csíkozott megjelenést mutatnak. (S 544. ábra)

Afferens kapcsolatok. A striatum a legtöbb afferens rostot az agykéregből kapja, emellett a thalamus nem specifikus magjai szerepelnek afferens forrásként. Az afferens rostok serkentők, neurotranszmitterük a glutamat. Klinikai szempontból legjelentősebb bemenete a substantia nigra felől van, dopaminerg rostokon keresztül. Az agytörzs felőli érkező többi afferens rost a raphe magokból érkezik.

Efferens kapcsolatok. A striatumból kiinduló rostok két irányban követhetők. Az egyik a striatopallidalis rendszer, amely a pallidum felé projiciál, az egyik neurotranszmitter a substance P a másik pedig a GABA. A másik a striatonigralis rendszer, amely ugyanezzel a két transzmitterrel működik. A striatopallidaris rendszer fő kimenetét a thalamus alsó szélén húzódó ansa lenticularis jelenti. Az ebben haladó rostok elsősorban a thalamus elülső magjaihoz haladnak, amelyek a mozgató kéreggel vannak kapcsolatban. Az ansa lenticularis többi rostja a nucleus subthalamicushoz és a substantia nigrához halad.

(FIII. 8/55, 8/58).

A kisagy

A kisagy afferens kapcsolatai. A kisagyba érkező információk közül a gerincvelőből kiinduló tractus spinocerebellaris dorsalis és ventralis azokból a rostokból kap információt amelyek az izomorsóból vagy ínorsóból érkeznek. A tractus spinocerebellaris dorsalis a Clarke oszlopból indul el, amely a gerincvelő alsó thoracalis és felső lumbalis szakaszán helyezkedik el. A rostok azonos oldalon szállnak fel. A tractus spinocerebellaris ventralis a szürkeállomány VI. és VII. laminájából indul és kereszteződik az ellenoldalra. Az agytörzs területéről több pálya indul a kisagyba. A tractus olivocerebellaris az oliva inferiorból induló keresztezett pálya. Az oliva inferior afferentációja a fasciculus tementalis centralison keresztül történik, amely a thalamusból és a nucleus ruberből indul. A tractus pontocerebellaris keresztezett pálya, afferens rostjait az agykéregből kapja a tractus frontopontinus és a tractus temporo-occipitopontinuson keresztül. A vestibulocerebellaris pálya kiinduló állomása a

nucleus vestibularis lateralis, a tractus reticulocerebellaris pedig a formatio reticularis különböző területeiről indul el.

(FIII. 8/42B).

A kisagy efferens kapcsolatai. A kisagy egyetlen kimenetét a Purkinje sejtek képezik, amelyeknek axonja a kisagygyagokban végződik, majd az innen induló efferens pályák különböző területeken végződnek, így a nucleus ruberben a thalamus elülső magcsoportjában, a formatio reticularisban és a vestibularis magokban. A kisagy hatása további ingerület feldolgozás után jelentkezhet a mozgató agykéregben, és a leszálló pályák (tractus rubrospinalis, tractus reticulospinalis, tractus vestibulospinalis, tractus olivospinalis, fasciculus longitudinalis medialis) közvetítésével a motoros agyidegi magokon és a gerincvelői motoneuronokon.

A VEGETATÍV IDEGRENSZER

Az idegrendszernek azt a részét, amely a szervezet belső egyensúlyának, homeostasisának megtartásáért felelős, vegetatív idegrendszernek nevezzük. Az autonóm idegrendszer elnevezés is használatos, mivel működése az akaratunktól független. Hasonlóképpen a visceralis, zsigeri elnevezés is, mivel a beidegzési terület a simaizom, szívizom és a mirigyek. Morfológiai, fiziológiai és farmakológiai tulajdonságok alapján sympathicus és paraszimpatikus idegrendszerre osztható.

Sympathicus idegrendszer

A sympathicus idegrendszer praeganglionaris rostjai a thoracalis és a felső lumbalis gerincvelői szelvények oldalsó szarvából erednek. A gerincvelőből kilépő rostok a truncus sympathicus irányába haladnak, amely a gerincoszlop két oldalán húzódik a koponyaalaptól a kismedencéig. A rostok vagy az azonos szelvényhez tartozó paravertebralis ganglionban végződnek, vagy néhány szelvényt felszállva egy cranialisabb helyzetű ganglionban kapcsolódnak át, vagy a paravertebralis dúcon áthaladva a praevertebralis ganglionokban végződnek.

A truncus sympathicus nyaki szakasza három gangliont tartalmaz. Az ezekből a ganglionokból származó postganglionaris rostok az artériák mentén haladva részben vasomotoros működésűek, részben pedig eljutnak a beidegzendő szervhez. Így felső nyaki sympathicus ganglionból eredő rostok, melyek a Th1-3 szelvényből kapják praeganglionaris rostjaikat, látják el a szemben a m. dilatator és a szemhéjak simaizmainak a beidegzését. A kis és nagy nyálmirigyek, a fej bőrének mirigyei, és az agyi erek is innen kapják sympathicus beidegzésüket. Az agyi erek sympathicus beidegzésének másik forrása az alsó nyaki ganglion vagy ganglion stellatum. A ganglion cervicale superius rostokat küld a szívhez és a garathoz is. A középső nyaki ganglion a szívhez, a garathoz és a pajzsmirigyhez ad rostokat. A szívhez és a tüdőhöz menő sympathicus rostok nagy része a Th3-5 szelvényből ered és a ganglion stellatumban kapcsolódik át.

A truncus sympathicus háti szakasza a testfalhoz, valamint a felső végtaghoz küld sympathicus rostokat. A Th6-os szelvénytől lefelé a praeganglionaris rostok nagy része már csak áthalad a ganglionon és a rostok nervus splanchnicus major et minor

néven a hasüregbe jutnak. Itt a rostok synaptikus kapcsolatot létesítenek az ott lévő multipolaris sejtekkel és a postganglionaris rostok a felső hasi zsigereket látják el. A praeganglionaris rostok hasüregbe jutott egy része a ganglion mesentericum superiusba és inferiusba jut, és az artériák mentén jut el a szervekbe. Az alsó thoracalis és felső lumbalis szelvények sympathicus rostjai a truncus sympathicuson keresztül az alsó végtagot látják el. A truncus sympathicus legalsó része a kismedencében található, az utolsó két dúc a keresztcsont előtt egyesül. A kismedencei zsigerekhez haladó sympathicus rostok a kismedencei plexusokba (plexus hypogastricus superior és inferior) jutnak. Ezek egyúttal a parasympathicus rendszerhez is tartoznak, így tehát a kismedence területén nem válik el anatómiailag a vegetatív idegrendszer két része.

(*FIII. 8/70, 71*).

Parasympathicus idegrendszer

Cranialis és sacralis részét különböztetjük meg. A cranialis a megfelelő agyidegekhez tartozik, a sacralis pedig a gerincvelő hasonló nevű szakaszával kapcsolatos.

Cranialis parasympathicus rendszer. A nervus oculomotorius parasympathicus magja a mesencephalonban található Edinger-Westphal mag. Praeganglionaris rostjai a ganglion ciliarehoz haladnak, postganglionaris rostjai ellátják a szem belső izmait. A nervus facialis parasympathicus magja a nucleus salivatorius superior. Praeganglionaris rostjai a nervus perosus major útján a ganglion sphenopalatinumba jutnak, és a postganglionaris ágak a trigeminus érző rostjaihoz csatlakozva érik el a könnymirigyet, valamint az orr- és szájnyálkahártya kis nyálmirigyeket. A nervus facialis másik parasympathicus rostokat tartalmazó ága a chorda tympani. Ugyancsak trigeminus ághoz csatlakozik, rostjai a ganglion submandibulareban kapcsolódnak át, majd beidegzik a submandibularis és sublingualis nyálmirigyeket. A glossopharyngeus parasympathicus magja a nucleus salivatorius inferior. Praeganglionaris rostjai a nervus petrosus minor útján érik el a ganglion oticumot, majd ugyancsak trigeminus ághoz csatlakozva jutnak el a partisba, amit ellátnak parasympathicus rostokkal. A nervus vagus egyik parasympathicus magja a nucleus dorsalis nervi vagi. Ezek a rostok közvetlenül haladnak a beidegzendő hasi szervekhez (felső hasi zsigerek és a belek a colon transversumig) és azoknak a falában kapcsolódnak át ganglion sejtekre. A postganglionaris rostok innen érik le a beidegzendő képletet. A szív és a tüdő

preganglionaris neuronjai a nucleus ambiguustól dorsolateralisan lévő sejtcsoportban vannak és a szervek közvetlen közelében lévő ganglion sejteken kapcsolódnak át.

Sacralis parasympathicus rendszer. A praeganglionaris rostok a sacralis gerincvelő oldalsó szarvából erednek, és a sympathicus idegrendszerrel említett zsigeri fonatokba jutnak. A ganglionsejtek a szervek közelében vagy a szervek falában vannak.

A kétféle rendszer működése ellentétes hatású. A sympathicus izgalom a vérnyomás emelésével, a véreloszlás megváltoztatásával, a sejtek anyagcseréjének fokozásával, a vércukorszint emelésével, a szellemi teljesítmény serkentésével az egész szervezetet fokozott aktivitásra készíteti. A parasympathicus hatás a helyreállító folyamatokban, a szervezet nyugalmi működésében játszik fontos szerepet.

(FIII. 8/69).

A MONOAMINERG RENDSZER

Azokat a neuron rendszereket soroljuk ide, amelynek tagjai biogen aminokat (monoaminok) használnak neurotranszmitterként. Kémiai tulajdonságaik alapján catecholaminok és indolaminok lehetnek.

A **catecholaminok** közé tartozik a noradrenalin (norepinephrin), adrenalin (epinephrin), és a dopamin.

A *noradrenerg* rendszer neuron csoportjainak jelölése A1-7 ig történik, ezen belül néhánynak definitív anatómiai neve is van. A rendszer legnagyobb magja a locus ceruleus, de a híd és a nyúltvelő más részein is vannak a rendszerhez tartozó sejtcsoportok. A neuronok a központi idegrendszernek szinte minden részébe küldenek rostokat. Leszálló rostjai a cerulospinalis pályát alkotják, amelyek a gerincvelő oldalsó szarvának preganglionaris sejtjein végződnek, de a rostok egy része a hátsó és az elülső szarvban végződik. A nyúltvelőben végződő noradrenerg rostok közvetve vagy közvetlenül befolyásolják a cardiovascularis és a légző központok működését. Erős noradrenerg köteg halad a kisagyi Purkinje sejtekhez, ahol a Purkinje sejteket gátolják. A felszálló noradrenerg rendszer rostjai a hypothalamusban, amygdalában, a septum pellucidumban valamint az agykéregben végződnek. Ilyen módon beavatkoznak a hypothalamus közvetítésével az endocrin mechanizmusokba, a limbikus rendszeren keresztül a motivációs és a hangulati mechanizmusokba. Az agykérgi végzésekkel keresztül az alvási és ébrenléti állapot szabályozásába avatkoznak be. A noradrenerg rendszer működése a receptoroktól függően serkentő vagy gátló is lehet. Ha az α_1 receptorhoz kötődik depolarizációt okoz, az α_2 receptorhoz kötődve pedig hyperpolarizációt vált ki a postsynaptikus neuronon. Egyes betegségek esetén, például Parkinson kórban, Alzheimer kórban a noradrenerg rendszer csökkent működése figyelhető meg. Az adrenalin a központi idegrendszerben ritkán szerepel neurotranszmitterként.

A *dopaminerg* rendszer neuronjai legnagyobb mennyiségben a substantia nigrában fordulnak elő. Az innen induló pálya a striatumban végződik, és fontos szerepet játszik a motoros rendszer szabályozásában.

A dopaminerg rostok a postsynaptikus neuron hyperpolarizációját okozzák, ilyen módon gátló tevékenységet fejtenek ki a rendszerben. Dopaminerg neuronok az idegrendszer sok más területén előfordulnak, így a hypothalamusban és a bulbus olfactoriusban is.

Indolaminok. Ide tartozik a serotonin vagy 5-hydroxytriptamin (5-HT). A neuroncsoportok jelölése B1-B9 néven történik, de hasonlóan a noradrenerg rendszerhez, a nagyobb *serotoniner*g neuroncsoportok saját anatómiai névvel is rendelkeznek. A legtöbb serotoniner neuron a híd és nyúltvelő középvonali un. raphe magjaiban van. A neuronok hyperpolarizációt vagy depolarizációt okoznak a postsynaptikus neuronon az ott elhelyezkedő receptor függvényében. A raphe magvából a rostok jelentős része a gerincvelő felé projiciál. A hátsó szarvban végződő rostok a nociceptív ingerek továbbítását gátolják, az oldalsó szarvban végződők a cardiovascularis szabályozásban vesznek részt. Felszálló rostjaik révén az alvás ébrenlét ciklusosságát befolyásolják. Részt vesznek a különböző magatartási folyamatok, a táplálék felvétel szabályozásában, a hormonális szabályozásban, sexualis magtartás kontrolljában. Hatással vannak a hőszabályozásra, vasoconstrictor hatásúak az agyi erekre, emiatt szerepük lehet a migrén kialakulásában.

A LIMBIKUS RENDSZER

A limbikus rendszerhez fejlődéstanilag a telencephalon hólyag azon részei tartoznak, amelyek a telencephalonnak a prosencephalonból való kitüremkedésekor széli helyzetűek (limbus: széle valaminek). Ezek a részek az embrionális élet kezdetén felszínes helyzetűek, később a neocortex erőteljes növekedése miatt mélyebbre kerülnek. Az ide tartozó agyrészek az area piriformis, a gyrus parahippocampalis, a hippocampus, a gyrus dentatus, a gyrus cinguli, a septum pellucidum.

A limbikus rendszer legfontosabb *afferens kapcsolatai* a szaglórendszer és a medialis előagyi köteg. A medialis előagyi köteg a tractus spinothalamicusból és a formatio reticularisból kapja a legfontosabb bemenetét. A köteg a harmadik agykamra falában, a hypothalamus oldalsó részében haladva éri el a limbikus rendszer struktúráit. *Efferens kapcsolatai* közül a következő három csoportban oszthatók. Ezek közül az egyik rendelkezik definitív elnevezéssel, a másik kettőnél a kapcsolatokban rész vevő struktúrákat szokás felsorolni.

1. Papez gyűrű. A hippocampusból kiinduló fornix a corpus mamillareban végződik. Az itteni átkapcsolódás után a fasciculus mamillothalamicus megy tovább a thalamus elülső magjaiba. Itt újabb átkapcsolódást követően az axonok a gyrus cinguliban végződnek.

2. Az amygdala neuronjai a stria terminalison keresztül a septum pellucidumba jutnak és itt átkapcsolódnak. A septum pellucidumból kiinduló stria medullaris a habenula magvakban végződik. Innen indul a fasciculus retroflexus (tractus habenulo-interpeduncularis) ami a nucleus interpeduncularisban végződik.

3. A gyrus dentatus neuronjai a gyrus fasciolarisba, majd innen az indusium griseumba projiciálódnak, majd a rendszer a septum pellucidumban ér véget.

A gyrus dentatus-hippocampus neuronális kapcsolatai. A hippocampus három rétegből álló módosult kéregrészt. A piramis sejtek bázisa a felszín, a csúcscsodritje az agy belseje felé néz. Ennek a látszólag ellentétes orientációnak az oka, hogy a hippocampus a fejlődés során begyűrődik, és az eredeti felszín kerül a mélybe. A piramis sejtek axonjainak a kötege hozza létre a fornixot. A gyrus dentatus felé eső piramis sejtek axonjainak visszakanyarodó collateralisai, a Schaffer-féle collateralisok a távolabbi piramis sejtek csúcscsodritjeivel létesítenek kapcsolatot. A hippocampusba érkező afferensek részben a fornixon keresztül, az ellenoldali hippocampusból jönnek a commissura hippocampin keresztül. Afferens rostok érkeznek a gyrus cinguli felől, és a fasciculus perforanson keresztül a gyrus parahippocampalisból. A gyrus dentatus szemcsesejtjeinek az axonjai a moharostok, amelyek a piramis sejtek csúcscsodritjén

alkotnak serkentő synapsisokat. Mind a gyrus dentatus, mind a hippocampus sejtjei collateralisokat adnak a kosársejtekhez, amelyek gátló működésűek.

A *limbikus rendszer működése* sokrétű. A homeostasis szabályozásában több szinten vesz részt. Aktiválja a zsigeri efferens rendszereket. Módosítja a hypothalamo-hypophysealis rendszer működését, részt vesz a gastrointestinalis működések szabályozásában. Befolyásolja a magatartási reakciókat, beleértve a sexualis viselkedést. Fontos szerepe van a tanulási folyamatokban.

A limbikus rendszer egyes tagjainak sérülésekor jellegzetes tünetek alakulnak ki. Az amygdala léziót követően megnövekedett sexualis aktivitás és a táplálkozási szokások megváltozása figyelhető meg. A hippocampus károsodása után a memória, tanulás, figyelem, motiváció zavarai alakulnak ki. Gyakori az agresszív magatartás és az endocrin szabályozási zavarok. Mindkét esetben gyakoriak az emocionális zavarok, gyakran alakul ki epilepsia. Személyiségzavarok is gyakran kísérik a limbikus rendszer károsodását.

(FIII. 8/60B).

AZ ÉRZÉKSZERVEK ÉS AZ IDEGPÁLYÁIK

Ízlelőszerv

Ízlelő érzékszerven az ízlelőbimbók (caliculi gustatorii) összességét értjük. Legnagyobb számban a nyelvháton, a nyelv oldalán, kisebb számban a légyszájpadban, garatban, és szórványosan a gégebemenet környékén találjuk meg őket. Az ízlelőbimbók mikroszkópban hagymára emlékeztető képletek, amelyek a felsorolt helyeken a hámban találhatóak. Háromféle sejtből állnak, a nagyobb támasztó sejtekből és a vékonyabb érzékszervekből, amelyek secunder típusú érzékszervek, valamint a basalis sejtekből, amelyek tartalék sejtek. A támasztó és érzékszervek illeszkedése úgy történik, hogy a szabad felszínen egy tűszúrásnyi nyílás, a porus gustatorius található. Így az érzékszervek csak a nyálban oldott anyagokkal kerülnek kapcsolatba. Az érzékszervek felszínén számos mikroboholy szerű nyúlvány van. Azok a stimulusok, amelyek a sós, savanyú és részben a keserű íz kialakulását eredményezik, az érzékszervek apicalis felszínén ioncsatornákat nyitnak vagy blokkolnak. Az édes és részben a keserű íz érzetet kialakuló ingerek a sejtek basolateralis részén a G-protein mediálta második hírvivő rendszert aktiválják.

Afferens beidegzésük a nyelv elülső kétharmadán a nervus facialis chorda tympani nevű ága, hátsó egyharmadán a nervus glossopharyngeus felől történik. A nervus facialis esetében a primer afferens rostok ganglion sejtjei a ganglion geniculiban, a glossopharyngeus esetében a ganglion superiusban és inferiusban vannak. A ganglionsejtek centralis nyúlványa a nervus facialis részeként a hídba, a nervus glossopharyngeus részeként pedig a nyúltvelőbe lép be. A belépő rostok a tractus solitariiiban haladnak, majd a nucleus tractus solitariiiban végződnek. Innen a rostok egy része felszáll a thalamus nucleus ventralis posteromedialisába és ott átkapcsolódik. A thalamocorticalis rostok a gyrus postcentralis alsó részébe projiciálnak. A kapcsolat kizárólag ipsilateralis. (R11. 13-7).

A szaglószer

Az ember szaglórendszere az állatokéhoz képest gyengén fejlett. Ennek megfelelően a szaglóhám az orrüreg nyálkahártyájának csak egy kis területén található. Ez a terület a regio olfactoria amely az orrüreg felső részén található. A szaglóhamban érzékszettek, támasztósejtek és basalis sejtek találhatóak. Az érzékszettek a szagló receptorok, típusuk szerint kemoreceptorok. Morfológiailag elsődleges érzékszettek, amelyek két nyúlvánnyal rendelkeznek. A felszínesen lévő dendrit szerű nyúlványok a szaglópálcák. Ezek stereociliumokból állnak, amelyek nem közvetlenül nyílnak az orrüregbe, hanem egy vékony secretum film borítja a felszínüket. A sejt alapján ered az axon, ami a fila olfactoriában hagyja el az orrüreget és lép be a koponyaüregbe. A szagló receptor sejtek fejlődéstanilag a központi idegrendszerhez tartoznak, és eltérően a többi központi idegrendszeri neurontól regenerációra képesek. Élettartamuk 1-2 hónap, ezt követően a basalis sejtekből történik a pótlásuk. Az érzékszettek felszínén lévő receptorok G-proteinhez kapcsolódnak, ami a adenylát cyclaset aktiválja, majd a keletkező cAMP megnyitja az ioncsatornákat.

A szagló rostok a koponyába történt belépés után a bulbus olfactoriusba lépnek be, ahol glomerularis synapsisok alkotásában vesznek részt. Egy glomerulusba több tízezer szaglórost lép be. A bulbus olfactoriusban háromféle sejt található. A mitralis sejt axonja a homloklebenybe projiciál, ahol az amygdalában és a szomszédos kérgi területben végződik. A pamacsos sejtek nyúlványai biztosítják a hypothalamushoz vezető kapcsolatot. Axonjainak egy része a commissura anteriorban kereszteződik és bejut az ellenoldali bulbus olfactoriusba. Itt a harmadik sejt típuson, a szemcsesejten végződik, ami gátló módon avatkozik be a glomerulus olfactorii működésébe. (*RII. 15-1*).

A látószerv

A látószerv az alábbi fő részekből tevődik össze:

- Szemgolyó (bulbus oculi), a szoros értelemben vett látószerv
- Szemideg (nervus opticus) és annak központi készüléke
- Járulékos szervek: a) a szem mozgató készüléke b) a szem védőkészüléke c) könnykészülék

A szemgolyó (bulbus oculi) felépítése

A szemgolyó gömb alakú, kb. 24 mm átmérőjű test, amely a csontos szemüregben, zsírszövetbe ágyazva helyezkedik el. A felszínen való tájékozódás céljából a földgömbnél használt beosztást alkalmazzuk. Így megkülönböztetünk rajta elülső és hátsó pólust, hosszúsági és szélességi köröket (meridian), valamint egyenlítőt (equator). Az equator a frontális síkban a szemet elülső és hátsó féltekére osztja. A két fő meridián és az equator a szemgolyót nyolc egyenlő részre, octansra osztja fel. A szemgolyó három burokból áll, amelyek közül a külső védő, a középső tápláló, a belső pedig ingerfelvevő és továbbító funkciójú. Belsejében találjuk a szemcsarnokokat kitöltő csarnokvizet, a szemlencsét és az üvegtestet.

A külső rostos burok a tunica fibrosa, amely a szemgolyó vázának fogható fel és amelyet a szem tartalmának nyomása tart feszesen. Elülső, kisebbik része a szaruhártya (cornea), hátsó nagyobbik része a fehér színű ínhártya (sclera). A cornea hátrafelé óraüveghez hasonlóan illeszkedik a sclerába, amelyet a szemgolyóba lépő ér és idegképletek fűrnak át. A cornea a szem egyik fő fénytörő közege. A törőképességet dioptriában mérjük, ami a méterben mért fókusztávolság reciproka.

A cornea ereket nem tartalmaz, átlátszóságát specialis szövettani felépítése biztosítja. Elülső felszínét vékony, többrétegű el nem szarusodó laphám borítja, míg hátsó felszínén a hám egyrétegű laphám. Az elülső hámfelszín alatt egy vastagabb kötőszövetes lemez, a lamina limitans anterior vagy Bowman hártya található, a hátsó hámfelszín alatt pedig a jóval vékonyabb lamina limitans posterior (Descemet hártya). A két membrán közötti teret a cornea legvastagabb rétege, a substantia propria corneae (stroma) tölti ki: Ebben a rétegben egymással párhuzamosan futó kollagén rostokból álló lemezek találhatók. Egy rétegen belül a rostok egymással párhuzamosan futnak, míg a szomszédos rétegek rostlefutási iránya merőleges egymásra.

A középső burok vagy érhártya (tunica vasculosa) három részből áll. A szemgolyó hátsó kétharmadán található része a tulajdonképpeni érhártya, vagy choroidea, ennek folytatása előrefelé a sugártest vagy corpus ciliare ami majd az érhártya harmadik

részébe, a szivárványhártyába (iris) megy át. A choroidea nevének megfelelően dús érfonatokat tartalmaz, amely a rendkívül oxigén igényes ideghártya oxigénellátását és táplálkozását biztosítja. A choroidea a később leírandó ora serrata területén megy át a corpus ciliaréba, amely beemelkedik a szem ürege felé. A sugártest tartalmazza a sugárizmokat és róla indulnak el a lencsefüggesztő rostok. A sugártest érfonatai termelik a csarnokvizet. A szivárványhártya diaphragma szerű lapos képlet, amelynek közepén szabályos kör alakú nyílás, a pupilla helyezkedik el. A benne lévő pigment tatalom határozza meg a szem színét. Az iris elülső felszíne és a cornea közötti teret elülső szemcsarnoknak nevezzük, amelyet csarnokvíz tölt ki. Az iris tartalmazza a pupillaszűkítő és tágító izmokat. Előbbi a paraszimpatikus, utóbbi a szimpatikus idegrendszer irányítása alatt áll.

A belső burok az ideghártya vagy retina. Fejlődéstanilag a központi idegrendszer származéka, a diencephalon hólyag önmagába való betüremkedéséből alakul ki. Ennek a kettős falú kehelynek a külső része teljes egészében pigmenthám réteggé alakul át, míg a belső rétege nem pigmentált. Ez a nem pigmentált rész a szem hátsó kétharmadában egy több rétegből álló képletté differenciálódik, ami a látó receptorokat tartalmazza. Előrefelé az ora serrata nevű zezugos vonal mentén elvékonyodik. Az ora serrata mögötti rész könnyen leválasztható a külső pigmentált részről, élőben az üvegtest nyomása tartja helyben. A retina nasalis (orr felé néző) részén található a látóideg (nervus opticus) belépése, a papilla nervi optici. Ezen a részen nincsenek receptorok, ezért vakfoltnak is nevezik. A vakfolttól oldalra, temporalis irányba (halánték felé eső) található a sárgafolt. Ez az éleslátás helye. Szemtükör segítségével jól láthatók a retina erei. Ez az egyetlen olyan hely a szervezetben ahol az erek állapota közvetlenül vizsgálható, amely különböző betegségekben diagnosztikus értékű lehet.

A retina szerkezete. A retina két nagy részből áll, a pars coeca (vak) retinae-ből és a pars optica (látó) retinae-ből. Amikor a retina szót használjuk, az utóbbit értjük alatta. A retina a diencephalonból fejlődik, amelynek kitüremkedését szemhólyagnak nevezzük. A szemhólyagból alakul ki a kettős falú szemserleg, amelynek külső lemezéből alakul ki a retina pigment rétege, belső lemezéből a maradék kilenc réteg. Ilyen módon a retina tíz rétegből áll, amelyek a pigment réteg felől a szem belseje felé haladva a következők:

1. Stratum pigmentosum retinae

Egyrétegű köbhám alkotja, az öt- vagy hatszögletű hasáb alakú sejtek szorosan illeszkednek egymáshoz. A pigmentsejtek polarizáltak, a külső(basalis) felszínük membrán betüremkedéseket tartalmaz, ami az aktív transzportmásra jellemző. A szomszédos sejtek között zonula occludensek vannak, amelyek a vér-

retina gátat alkotják a csapok és pálcikák valamint a choroidea vascularizált szövettere között. A pigmentsejtek apicalis felszínén nyúlványok vannak, amelyek a csapok és a pálcikák közé türemkednek be. A retina pigment rétegét és a fotoreceptorok rétegét a glicosaminoglicanokat tartalmazó matrix tartja össze, valamint a szem belső nyomása. A pigment szemcsék a cytoplasma nyúlványok felé eső részében és a nyúlványokban vannak. Ezeknek feladata, hogy a retinán áthaladt fényt elnyeljék, és ezzel megakadályozzák, hogy a visszaverődés révén romoljon a kép minősége. A pigmentsejtek másik feladata, hogy az előregedett fotoreceptorokat fagocitálja és lebontja a lysosomái segítségével. A pigmentsejtek feladata a retinál szállítása a fotoreceptorok felé. A retinál a fotopigmentek prostetikus csoportja. Ugyancsak a pigmenthám végzi retinál reizomerizációját, ami a látópigment fényexpozíció utáni regenerálódásának alapja. A pigmenthám trofikus funkciót is ellát.

2. Csapok és pálcikák rétege

A csapok és a pálcikák a fotoreceptorok, hossz tengelyükkel a retina felszínére merőlegesen elhelyezkedő secunder érzékhámsejtek. Külső részük a pigmentsejtek közé nyomul be, magjuk a stratum granulosum externumban helyezkedik el. Belső részük az ötödik réteg felé halad és ott synaptikus kapcsolatot létesít. Magukon a fotoreceptorokon megkülönböztetünk kültagot, beltagot és a kettőt összekötő részt. A kültagban membránbetüremkedések vannak, amelyek megnagyobbítják azt a felszínt amely a fotoreceptor molekulákat, a fotopigmentet tartalmazza. A beltagban termelődik a látópigment és itt vannak a mitochondriumok. A kültagot a beltaghoz egy mozdulatlan csilló kapcsolja a kültaghoz, amely tulajdonképpen a csilló módosulata. A pálcikák ingerküszöbe alacsony, tehát gyenge megvilágításnál is képesek a fényinger érzékelésére. A csapok kevésbé érzékenyek, azonban képesek a különböző hullámhosszúságú fénysugarak felfogására, és ilyen módon a színlátásért felelősek. Attól függően, hogy kültagjukban milyen fényelnyelési maximummal rendelkező fotopigment van, vörös, zöld vagy kék fényre lehetnek érzékenyek. A csapok felelősek az éleslátásért is. A pálcikák és a csapok megoszlása a retina különböző részein nem egyforma. A pálcikák összességében többen vannak, a sárgafolt területén csak csapok találhatók.

3. Membrana limitans externa

Fénymikroszkópban vékony vonalnak látszik, elektronmikroszkópban zonula occludens típusú sejtkapcsoló struktúrák, amit a Müller féle gliasejtek külső nyúlványa és a csapok és a pálcikák beltágjának töve között alakul ki. A külső határhártya ilyen módon két trofikus egységre osztja a retinát, a csapok és a pálcikák a pigmenthám közvetítésével táplálkoznak a choroidea felől, a retina belső rétege pedig az arteria centralis retinae felől. A membrana limitans gliae fejlődéstanilag megfelel az agykamrai felszínnek, a Müller féle gliasejtek pedig az ependymának.

4. Stratum granulosum externum

A pálcikák és a csapok magjait tartalmazza. Nagy részük a pálcikákhoz tartozik, ezek a kisebb magok 6-8 réteget képeznek. A csapok magjai kevesebben vannak, nagyobbak és nem egyetlen rétegben helyezkednek el.

5. Stratum plexiforme externum

A csapok és a pálcikák a bipolaris neuronokkal valamint a horizontális sejtekkel alkotnak specialis szerkezetű synapsist. A horizontális sejtek asszociációs neuronok, amelyeknek a synaptikus kapcsolatban való részvétele azt biztosítja, hogy a csapok és a pálcikák egymással is kapcsolatban állnak.

6. Stratum granulosum internum

A bipolaris neuronok sejttesteit találhatók ebben a rétegben. A bipolaris sejtek száma egy nagyságrenddel kisebb mint a fotoreceptoroké, tehát a konvergencia elve érvényesül. Ebben a rétegben találhatók a horizontális sejtek magjai is, és itt találjuk még az amacrin sejteket. A horizontális sejthez hasonlóan az amacrin sejt is a horizontális kapcsolatokért felelős, és a bipolaris sejt-ganglionsejt kapcsolatban vesz részt. A negyedik sejttest ebben a rétegben a Müller sejtekhez tartozik.

7. Stratum plexiforme internum

A belső synaptikus rétegben a bipolaris sejtek a ganglionsejteknek adják át az információt, és a komplex synaptikus kapcsolatban részt vesznek az amacrin sejtek is.

8. Stratum ganglionare

A multipolaris ganglionsejteket találjuk ebben a rétegben. Dendritjeik az előző réteg synaptikus kapcsolataiban vesznek részt, axonjuk a nervus opticust alkotja. Több típusuk ismeretes, ezek a látás különböző modalitásaival (szín, alak, éleslátás) vannak kapcsolatban. A morfológiai különbségek a dendritfa alakjában és a ganglionsejtek axonjainak végződési mintázatában mutatkoznak meg.

9. Optikus rostok rétege

Ebbe a rétegbe futnak a ganglion sejtek axonjai, amelyek a (vakfolt) papilla nervi optici területén látóideggé (nervus opticus) egyesülve hagyják el a szemet

10. Membrana limitans interna

A Müller sejtek végtalpatól és azokat az üvegtesttől elhatároló lamina basalisból állnak. A retina mikrokörnyezetét biztosítja, lezárja a retinát az üvegtest felé.

(RII. 22-13).

A szemfenéki kép. A retina nasalis részén található a látóidegfő (papilla nervi optici). A szegéllyel körülvevett bemélyedésnél hagyják el az optikus rostok a retinát és itt lépnek be a retina erei (arteria és vena centralis retinae) amelyek a retina felszínén ágazódnak el. Ez a hely a vakfolt, itt fotoreceptorok egyáltalán nem találhatóak. A sárgafolt a

látóidegfőtől temporalis irányba esik, sárgás színű pigmentet tartalmaz. Ez az éleslátás helye. (S 623. ábra).

A **szemlencse (lens)** kétszer domború, 9 mm átmérőjű, átlátszó, ereket nem tartalmazó képlet, a szem legerősebb fénytörő közege. Az iris és az üvegtest között található, a lencsefüggesztő rostok körkörösén rögzítik a sugártesthez. Rugalmasságánál fogva képes a domborúságát, ilyen módon a törőképességét változtatni (accomodatio). Az accomodatio alapja, hogy a sugárizom összehúzódása ellazítja a lencsefüggesztő rostokat, a lencse domborúbbá válik, és ezáltal a szem közelre állítódik be. A sugárizom elernyedésekor a lencsefüggesztő rostok megfeszülnek és a lencsére húzást gyakorolva, az laposabbá válik. Idősebb korban a rugalmassága csökken és fokozatosan laposabb állapotban merevedik meg. Ez vezet az öregkori távollátáshoz (presbiopia). A lencse állománya idős korban gyakran elszürkül és a szürke hályog kialakulásához vezet.

A lencse felépítésében kívül megtaláljuk a lencsetokot, ami egy vastag lamina basalisnak felel meg. A magzati élet kezdetén a lencse egy egyrétegű hámmal bélelt lencsehólyag, A hátsó felszín sejtjei fokozatosan megnyúlnak és a lencserostokat alakítják ki.

Az **üvegtest (corpus vitreum)** a lencse és a lencsefüggesztő rostok mögötti teret kitöltő magas víztartalmú, kocsonyás anyag. Átlátszó, ereket nem tartalmaz, a szem fénytörő közegeinek egyike. Fontos szerepe a szemgolyó feszességének biztosítása. Sérülése esetén a szemgolyó összeesik.

A **szemcsarnok (camera bulbi)** a cornea hátsó felszíne, a sugártest elülső felszíne, a lencsefüggesztő rostok és a lencse elülső felszíne által határolt térség. A szivárványhártya elülső és hátsó szemcsarnokra osztja. A szemcsarnokot víztiszta anyag, a csarnokvíz tölti ki, amely a fénytörő közegek közé tartozik. Termelése a sugártest érfonataiban történik, innen a hátsó szemcsarnokba jut. A pupillán keresztül eléri az elülső szemcsarnokot, majd a sclerán lévő réseken keresztül a vénás rendszerbe ömlik. A csarnokvíz elfolyási akadály következtében megnő a szemnyomás és kialakul a zöldhályog.

(RII. 22-1, 22-5).

A szem járulékos részei

Ide tartoznak a szemhéjak, a könnykészülék és a szemizmok.

A **szemhéjak** (palpebra) kívül bőrrrel, belül kötőhártyával (conjunctiva) borított redők. A conjunctiva a szem scleráját is beborítja, áthajlását a szemhéj felé fornixnak nevezzük. Kötőszövetes váza a tarsus, amelyben a Meibom féle módosult faggyúmirigyek vannak, amelyek a conjunctivalis felszínre nyílnak. A felső szemhéj a nagyobb, a benne található harántcsíktolt izmokat a n. facialis és a n. oculomotorius idegzi be. A szemhéjak szerepe a szem védelme, a pislogás során nedvesen és melegen tartják a szegolyót. A **könnykészülék** egyik része a könnymirigy, amely a szegödör oldalsó, felső részén található. Az általa termelt erősen sós, víztiszta folyadék a szem elülső felszínét egy vékony filmréteg formájában állandóan bevonja. Elvezetése az orrüreg felé történik a csontos szemüreg medialis részén kezdődő könnyvezetéken keresztül.

A szemizmok és működésük. A szegolyókat egyenként hat harántcsíktolt izom mozgatja. (S 607. ábra)

Közülük négy egyenes (musculus rectus superior, inferior, medialis és lateralis) és két ferde szemizom (musculus obliquus inferior és superior). A négy egyenes és a felső ferde szemizom kúp alakban halad a szemüreg hátsó részéről a szegolyó felé. Az egyenes szemizmok az equatornál elérik a szegolyót és előtte tapadnak az ínhártyában. A felső ferde szemizom a szemüreg nasalis oldalán megtörik, majd hátra és oldal felé haladva tapad a szegolyón. Az alsó egyenes szemizom lefutása eltérő a többitől, a szemüreg alsó és belső részétől kiindulva halad a szegolyó felé. A szemizmok közül a musculus obliquus superior a nervus trochlearis, a musculus rectus laterális a nervus abducens, a többit pedig a nervus oculomotorius látja el. A szemmozgató izmok esetében a motoros egység kicsi, egy-egy mozgató idegrost néhány izomrostot idegez be.

A szemizmok működésének megértéséhez azt kell figyelembe venni, hogy a szem optikai tengelye és az egyenes szemizmok által alkotott kúp a vízszintes síkban 23 fokkal eltér egymástól. Ennek következtében csak a m. rectus medialisnak és a m. rectus laterálisnak van egyirányú hatása a szemre. A m. rectus medialis a szemet adducálja vagy más megfogalmazással befelé téríti. A m. rectus laterális hatása ezzel ellentétes, a szegolyót abducálja, azaz kifelé téríti. A felső és alsó egyenes szemizom csak 23 fokkal oldalra térített szem esetén emeli illetve süllyeszti a szemet függőlegesen, mert ilyenkor a szem és az izmok tengelye egybeesik. A m. rectus superior hatása tehát a szem illetve a tekintet emelése, befelé térítése (adductio) és befelé hengeríti. (A hengerítést aszerint jelöljük, hogy a szivárványhártya egy adott pontja az orrgyök felé vagy a halánték felé mozdul. Embernél, a kerek pupilla miatt a hengerítést rátekintésre nem lehet felismerni). Minél jobban befelé tekint a szem, annál inkább a befelé hengerítő hatás kerül előtérbe. A m. rectus inferior a szemet süllyeszti, befelé téríti és kifelé hengeríti. Ilyen módon a két izom a függőleges mozgások és a hengerítés tekintetében antagonisták, a befelé térítésben pedig szinergisták. Ez a konvergencia, például a közelre nézéskor jelentős, mert a két belső egyenes szemizom munkáját a felső és az alsó egyenes szemizmok is segítik. A musculus obliquus superior hatását a második szakaszának lefutásából lehet megérteni. Ennek megfelelően az előrenéző szemet befelé hengeríti, valamint kifelé és lefelé téríti. A musculus obliquus inferior az előrenéző szemet kifelé

hengeríti, kifelé és felfelé téríti. Tehát a tisztán felfelé tekintést a m. rectus superior és a m. obliquus inferior végzik, a tiszta lefelé tekintéskor pedig a m. rectus inferior és a m. obliquus superior aktív. Így a függőleges mozgásnál az ellentétes nevű egyenes és ferde izmok működnek együtt. Az azonos nevű egyenes és ferde izmok együtt a szem tiszta hengerítését végzik az optikai tengely körül. Ez utóbbi akaratlagos mozgásként nem fordul elő, de a vestibulo-ocularis reflexeknél nélkülözhetetlen abban, hogy a fej mindenkor helyzetében a szem meg tudja tartani a látótere állandóságát.

A szemmozgások. Mivel a látótér emberben binocularis, a két szem koordinált mozgására van szükség ahhoz, hogy a kép mindig a két retina azonos pontjára essen. A szemmozgások a konvergencia kivételével un. conjugált szemmozgások, azaz a két szem nem egymástól függetlenül mozog, hanem mindig azonos irányban és mértékben tér ki. A szemmozgások egyik típusa a gyors követő mozgás (saccad), ami akkor zajlik le, ha egy tárgy keresése során tekintetünk egyik objektumról a másikra ugrik. A lassú követő szemmozgás során egy mozgó tárgyat követünk. Mindezen mozgások során vestibularis ingerek indukálta szemmozgások (vestibulo-ocularis reflex) felelősek azért, hogy a fixált kép mindig a retina fovea centralisára vetüljön.

A konvergencia vagy konvergáló szemmozgás akkor zajlik le, amikor a fixált tárgy képe távolabbról közeledik a szemgolyó irányába. Ilyenkor mindkét szem befelé, az orr felé mozdul el. Ezzel együtt a szem közelre nézéskor akkomodál, azaz a m. ciliaris összehúzódik és ezáltal a lencse görbületei sugara nagyobb lesz, ami által megnő a fénytörése. A folyamat során a pupilla szűkül.

A szemmozgások koordinálása. A szándékos tekintő mozgások esetében a kivitelezést végző kérgi mező a gyrus frontalis medius (Brodmann 8, alfa, gamma, delta). A vízszintes vagy horizontális tekintés pályái a capsula internán keresztül haladnak, majd a mesencephalon és a híd határán kereszteződnek. A kereszteződés után a híd területére szállnak le, ahol az abducens mag mellett végződnek a formatio reticularisban. Ez a hídi subcorticalis tekintési központ. Innen egy kapcsoló neuron a mellette lévő, tehát a kérgi központtal ellentétes oldalú abducens magba projiciál és synaptikus kapcsolatot létesít az abducens motoneuronokkal. Ugyanakkor a kapcsoló neuronnak egy collateralisa visszamegy az ellenoldalra, tehát a kérgi központ oldalára, és a fasciculus longitudinalis medialisban felszáll az oculomotorius magba. Itt azokon a neuronokon végződik, amelyek a m. rectus medialis látják el. Ebből a lefutásból érthetővé válik, hogy a egy adott kérgi mező a szemet a vele ellentétes oldalra téríti. Ennek következtében, ha a horizontális tekintés pályája a kéregtől a középagyig sérül, az ellenoldal felé való tekintés bénul, ha viszont a hídban következik be a károsodás a sérülés oldala felé történő tekintés bénul. Ha a fasciculus longitudinalis medialis sérül, a két szem disszociált mozgása következik be, a m. rectus lateralis a szándékolt tekintés felé eső oldalon működik, míg a másik oldali m. rectus medialis asszociált mozgása elmarad.

A vertikális (függőleges és vízszintes) tekintés pályái kétoldaliak. A kéregből leszálló rostok a középagyban, a nucleus interstitialis Cajal-ban és a nucleus commissurae posterioris-ban végződnek. Innen a másodlagos neuronok a fasciculus longitudinalis medialis útján jutnak el az oculomotorius és trochlearis mag megfelelő neuronjaihoz.

A látópálya

A retina ganglion sejtjeinek axonjai a *nervus opticus*ba szedődnek össze és lépnek ki a szemüregből. A koponyában a *chiasma opticumban* kereszteződnek úgy, hogy a temporalis retinafélből érkezők (a nasalis látóteret reprezentálók) azonos oldalon, míg a nasalis retinafélből érkezők (a temporalis látóteret reprezentálók) ellenoldalon haladnak. A *chiasma opticum* után a rostok a *tractus opticus*ban haladnak és a *corpus geniculatum laterale*ban végződnek és kapcsolódnak át. Az itt lévő interneuronok módosítják a továbbítandó ingerületet. A *corpus geniculatum laterale*ban lévő projekciós neuronok axonjai a *radiatio optica*ban haladnak és az occipitalis lebenyben a *fissura calcarina* két ajkán elhelyezkedő *elsődleges látókéreg*ben (Brodmann 17) végződnek. Az elsődleges látókéregből az ingerület a másodlagos (Brodmann 18) és a harmadlagos (Brodmann 19) látókéregbe kerül, ahol egy komplex ingerületfeldolgozás történik. (FIII. 8/82. ábra).

A retinából származó rostok a *corpus geniculatum laterale*n kívül más agyterületeken is végződnek: a *colliculus superior*ban, az *area pretectalis*ban, a *hypothalamus*ban és a *tegmen* mesencephaliban.

A pupilla fényreflexíve. A *tractus opticus* területéről eredő rostok egy része a *regio pretectalis*ban végződik. Az innen induló kapcsoló neuronok egy része azonos oldali, másik része a kereszteződés után az ellenoldali Edinger-Westphal mag pupillomotoros, parasymphicus működésű preganglionaris neuronjain végződik. Ezen neuronok axonjai a *nervus oculomotorius*ban haladnak és a szemüregben lévő ganglion ciliareban kapcsolódnak át. Az itt lévő postganglionaris neuronok axonjai a szemgolyóba lépve beidegzik a pupillaszűkítő izmot és a m. ciliarist. A fenti anatómiai háttér miatt az egyik szem megvilágítása esetén a másik oldali pupilla is szűkül. Mivel a pupilla reflexben résztvevő rostok a *radiatio optica*ban már nincsenek jelen, ennek sérülése esetén a pupilla fényreflexe megmarad.

Halló és egyensúlyozó (vestibularis) szerv

A fülben kétfajta érzékszerv, a hallás és az egyensúlyozás receptorai helyezkednek el, amelyek anatómiailag szorosan összefüggnek egymással. A vestibularis rendszer információt kap a fej mozgásáról és a fej helyzetének változásáról. A fej mozgásaival párhuzamosan biztosítja a tárgy fixálását. Növeli az antigravitációs izmok tónusát, így segít megtartani a test mindenkorai helyzetét a gravitációval szemben.

A halló és egyensúlyozó szervet tartalmazó fület anatómiai szempontból három fő részre osztjuk: külső fül, középfül, belső fül. (S 638. ábra)

A külső fül

A **külső fül** részei a fülkagyló és a külső hallójárat. A fülkagyló bőrrel fedett képlet, amely rugalmas rostos porcot és emberben csökevényesen fejlett izomzatot tartalmaz. A külső hallójárat egy kb. 2,5 cm hosszú, a fülkagyló közvetlen folytatásába eső, gyengén görbült csatorna amelynek külső harmada porcból, a belső kétharmada pedig csontból épül fel. Belső végét a dobüreg felé a dobhártya (membrana tympani) zárja le. A külső hallójáratot bőr borítja, amelynek faggyúmirigyei a fülzsírt termelik. A dobhártya kb. 10 mm átmérőjű, csaknem kör alakú feszes vékony lemez, amely a külső hallójáratához rögzül. Felső része tompa, alsó része hegyes szöveget zár be a külső hallójáratval, a dobüreg felé tölcépszerűen bedomborodik. Felső része vékonyabb, ez a pars tensa, alsó nagyobb része vastagabb ez a pars laxa. Külső felszínét bőr, belső felszínét a dobüreg nyálkahártyája borítja.

A középfül

A **középfül** vagy dobüreg (cavum tympani) a halántékcsontról piramisában helyezkedik el. Téglalakra hasonló, oldalirányban lelapított levegővel telt üreg amelyet nyálkahártya bélel és amely a hallócsontokat tartalmazza. A fülkürt (tuba auditiva) révén összeköttetésben van a garattal.

A **dobüreg falai**. A dobüreg lateralis falát a dobhártya alkotja. Medialis falán egy kiemelkedés található, a promontorium, amit a csiga basalis kanyarulata hoz létre. Ettől hátrafelé helyezkedik el két nyílás, amelyen keresztül a dobüreg a belső fül felé létesít kapcsolatot. A két nyílás közül a felső az ovális ablak, ebbe fekszik bele a kengyel talpa. Az alsó nyílás a kerek ablak, ami egy rugalmas lemezzel, a másodlagos dobhártyával van lezárva. A promontorium felett van a facialis csatorna, amelyben a hasonló nevű agyideg fut. Ettől felfelé pedig a belső fül oldalsó ívjáratát okoz egy kiemelkedést a dobüreg medialis falán. A dobüreg a hátsó falán keresztül közlekedik a csecsnyúlvány légtartalmú üregrendszerével. Az elülső falából indul ki a fülkürt, ugyancsak az elülső fallal áll kapcsolatban az arteria carotis interna

tartalmazó csatorna és a dobhártyafeszítő izom is ide rögzül. A felső fal egy vékony csontlemez, amely a koponya üregétől választja el a dobüreget. Végül az alsó fal a koponyaalap külső felszíne felé tekint.

A *fülkürt* részben porcos, részben csontos csatorna, amelyen izmok tapadnak. Az izmok nyelés alkalmával tágítják a fülkürtöt, így biztosítják a dobüreg szellőzését, és biztosítja azt, hogy a dobhártya két oldalán a légnyomás egyforma legyen.

Hallócsontocskák. A dobüregben három, egymással izülettel kapcsolódó csontot találunk, amelyek kívülről befelé haladva a kalapács, az üllő és a kengyel. A kalapács nyele szorosan összenőtt a dobhártyával, feje az üllőhöz illeszkedik, az üllő nyúlványa pedig a kengyelhez kapcsolódik. Az így kialakult, emelő módjára működő hallócsont láncolat a dobhártya rezgéseit a kengyel talpa segítségével viszi át a belső fülben lévő folyadékra.

A dobüreg izmai. A dobüregben két kis harántcsíktolt izmot találunk. A dobhártyafeszítő izom a kalapács nyelén tapadva szabályozza a dobhártya feszességét, a kengyelizom pedig kiemeli a kengyel talpát az ovális ablakból és ezáltal védi a belső fület a túlságosan erős hangrezgésektől.

(S 652. ábra)

Belső fül vagy labirintus

A belső fül alkotásában a csontos és a hártás labirintus vesz részt. A csontos labirintus a halántékcsontról származó részében elhelyezkedő bonyolult üregrendszer, amelyen belül találjuk a hártás labirintust. A csontos és a hártás labirintus közti teret az extracelluláris folyadékhoz hasonló összetételű perilympha tölti ki. A hártás labirintusban található folyadék az endolympha, összetétele az intracelluláris folyadékhoz hasonló. A perilympha és az endolympha egymással nem közlekedik. A halló és egyensúlyozó receptorok a hártás labirintusban helyezkednek el.

A csontos labirintus. A csontos labirintus központi ürege a tornác (*vestibulum*), amelyből a három félkörös ívjárat (*canalis semicircularis lateralis* vagy *horizontalis*, *anterior* és *posterior*) és a csiga (*cochlea*) indul ki. A *vestibulum* falában találjuk az ovális ablakot. A *félkörös ívjáratok* a tér három síkjában, egymásra merőlegesen helyezkednek el. Az oldalsó ívjárat a vízszintes, az elülső és a hátsó a függőleges síkban

helyezkednek el. A három ívjárat összesen öt nyílással nyílik be a vestibulum hátsó részébe. Mindegyiknek van egy tágult, ún. ampullaris, és egy egyenes vége, de az elülső és hátsó ívjárat egyenes részei összenöttek. A vestibulum elülső részéből kiinduló *csontos csiga* a kerti csigához hasonló képződmény, központi tengelye üreges, ez a modiolus. A csiga járata a tengelye körül $2\frac{3}{4}$ fordulattal tekeredik. A modiolusról oldal felé induló, de az oldalfalat el nem érő csigalépcső szerű csontos lemez a csiga járatát tökéletlenül két részre osztja. A csiga csúcsa felé esőt scala vestibulinak, a csiga alapja felé esőt scala tympaninak nevezzük. Mivel a csiga két scaláját elválasztó ductus cochlearis a csiga csúcsában vakon végződik, a scala vestibuli és tympani itt közlekednek egymással. Ezt a helyet helicotremanak nevezzük. A scala vestibuli közlekedik a vestibulum üregével, a scala tympani egy csontlemezzel lezárva vakon végződik. Itt a dobüreg felé közlekedne a kerek ablakon keresztül, de azt a másodlagos dobhártya lezárja.

(S 668., RII. 23-8).

A hártvás labyrinthus. A hártvás labyrinthus részei a tömlőcske (utriculus), zsákocská (sacculus) a hártvás félkörös ívjáratok (ductus semicircularés) és a hártvás csiga. Az utriculus és a sacculus a vestibulumban helyezkednek el, egymással egy vékony járat van összekötve. A hártvás félkörös ívjáratok a csontos ívjáratokban vannak, azoknak az alakját pontosan követik. Öt nyílással az utriculusba nyílnak be. A hártvás csiga (ductus cochlearis) a csontos csigában elhelyezkedő, átmetszetben háromszög alakú tömlő. Csúcsi része vakon végződik, alapi része a sacculusba nyílik.

(RII. 23-1, 23-2).

A vestibulocochlearis receptorok szerkezete. A törzsfejlődés során először a vestibularis rendszer jelenik meg és ebből alakul ki a hallórendszer. Ennek megfelelően a kétféle receptor készülék sok tekintetben hasonlít egymáshoz. A receptor sejtek mechanoreceptorok, placod eredetű, secunder érzékhám sejtek. Szőrsejteknek is nevezik őket, elnevezésüket az apicalis felszínükön lévő stereociliumokról és az egy kinociliumukról kapták. A szőrsejtek polarizáltak, ami azt jelenti, hogy a nyúlványoknak a kinocilium felé történő elmozdulása depolarizációt, míg az ellenkező irányú elmozdulás hyperpolarizációt eredményez a sejtben. A szőrsejteknek afferens és efferens beidegzésük is van.

A vestibularis receptorok. A lineáris gyorsulást az utriculusban és a sacculusban található receptorok, a *macula utriculi* és *sacculi*, érzékelik. A maculák lapos, kissé kiemelkedő képletek, amelyek érzéksejtekből és támasztósejtekből állnak. A szőrsejtek nyúlványai egy mészkristályokat tartalmazó kocsonyás anyagba az otolith membránba vannak beágyazva. A szőrsejtek orientációja a sacculusban és az utriculusban különböző, ezért a sacculus a függőleges, az utriculus pedig a vízszintes elmozdulást érzékeli.

A szöggyorsulás receptorai a *crista ampullarisok*, nevüknek megfelelően a félkörös ívjáratok ampulláiban helyezkednek el. Tarajszerűen kiemelkedő képletek, támasztó és érzéksejteket tartalmaznak. A szőrsejtek nyúlványai a cupula nevű kocsonyás anyagba vannak beágyazva. (*RII. 23-5, 23-6, 23-7*).

A halló receptorok. A ductus cochlearis alsó fala a membrana basilaris a scala tympani felé tekint. Felső fala a scala vestibuli felé tekintő membrana vestibularis, míg oldalsó fala egy érfonatot tartalmazó képződmény. Ez utóbbi termeli az endolymphát. A hallószerv (Corti szerv, organum spirale) a membrana basilarison fekvő képlet, annak spirálszerű lefutását követő képlet, amelynek felépítésében támasztósejtek és érzéksejtek vesznek részt. A támasztósejtek egyik típusa a belső és a külső pillérsejt, amelyek a Corti alagutat határolják. A belső sejt a modiolus felé a külső a csiga oldalfala felé néz. A támasztósejtek másik típusa a külső és belső phalangealis sejtek, amelyek ujszerű nyúlványaikról kapták a nevüket. Az érzéksejtek vagy szőrsejtek közül a belsők egy sorban helyezkednek el, a külsők pedig három sorban. A Corti szervhez tartozik egy kocsonyás anyagból álló fedőlemez, a membrana tectoria, amely a csiga középső részéhez rögzül. A perilymphában terjedő hangrezgések keltette hullámok a membrana basilaris és a membrana tectoria kitérését eredményezik, aminek következtében a membrana tectoria elhajlítja az érzékszöröket, ami által a sejtek ingerületbe kerülnek.

A modiolusban elhelyezkedő bipolaris érző neuronok perifériás nyúlványa a Corti szerv szőrsejtjeivel létesít szinaptikus kapcsolatot. A szőrsejtekben keletkező akciós potenciál ezeken a szinapszisokon keresztül tevődik át a bipolaris neuronokra és továbbítódik és továbbítódik a központi idegrendszer felé. Ugyankor a központból is érkezik visszajelzés a szőrsejteken végződő efferens neuronokon keresztül. (*RII. 23-11*).

A halló rendszer központi kapcsolatai (hallópálya)

A nervus vestibulocochlearis pars cochlearisának bipolaris ganglion sejtjei a ganglion spiraleban helyezkednek el, ami a modiolusban található. Centralis nyúlványai a piramiscsont hátsó felszínén lévő nyíláson hagyják el a belső fület és a nyolcadik agyideg pars cochlearisát alkotják. Az ideg a híd hátsó részénél lép be az agytörzsbe. Valamennyi axon lead egy collateralist a nucleus cochlearis ventralisba, majd a fő ág a nucleus cochlearis dorsalisban végződik. A másodlagos neuronok axonjai a dorsalis magból a felszínhez közel haladva átjutnak az ellenoldalra és ott az oliva superiorban végződnek. A ventralis mag neuronjai az azonos oldali oliva superior felé projiciálnak. Az azonos oldali oliva superiorból származó axonok egy része a középen elhelyezkedő, trapéz alakú testben (corpus trapezoideum) átkapcsolódik és innen az ellenoldali oliva superior felé továbbítódik az információ. Az oliva superiorból induló axonok a lemniscus lateralist hozzák létre amely a mesencephalon colliculus inferiorjában végződnek. A colliculus inferiorból induló neuronok a corpus geniculatum medialeban végződni, majd az innen induló neuron a temporalis lebeny felső tekervényének fossa lateralis cerebri felé eső részében, a gyri transversiben végződnek. Ez az elsődleges hallókéreg, Brodman számjele 41, 42.

A hallópálya minden szintjéből indulnak ki leszálló neuronok, amelynek az a feladata, hogy a magasabban elhelyezkedő központ kontrollálja az alacsonyabban lévő működését.

A hangforrás lokalizálásában kétfajta mechanizmus játszik szerepet. Az egyik az oliva superior azon neuronjainak integratív tevékenysége, amelyeknek egy medialis és egy lateralis irányba induló dendritnyalábuk van. A lateralis nyaláb az azonos oldali fülből, a medialis pedig az ellenoldali fülből fogadja az információt, és ezáltal tájékoztatja az idegrendszert a hangforrás irányáról. A másik mechanizmus a hallópálya állomásainak agytörzsi szinten lévő központjai, amelyek összeköttetésben vannak az ellenoldali párjukkal. Ezekben az összeköttetésekben a gátló működésű synapsisok dominálnak.

Az oliva superior egyes neuronjai a Corti szerv szőrsejtjeit idegzik be, ezek az efferens neuronok gátló mechanizmussal módosítják a receptor sejtekben keletkező impulzust. (*FIII. 8/89.*)

Az egyensúlyozó (vestibularis) rendszer központi kapcsolatai

A nervus vestibulocochlearis vestibularis részének ganglionja a belső hallójárat fenekén található. Axonjaik a hídba belépve négy magban végződnek: ezek a nucleus vestibularis superior, medialis, lateralis és spinalis vagy descendens.

A másodlagos vestibularis neuronok axonjai a magból kilépve számos központi idegrendszeri struktúrával létesítenek kapcsolatot. Az egyik fontos projekciós terület a szemmozgató agyidegek magjai. A vestibularis rostok a fasciculus longitudinalis medialis útján jutnak el az abducens, trochlearis és az oculomotorius magokba. Az összeköttetés feladata a vestibularis ingerek hatására létrejövő kompenzáló szemmozgások biztosítása. A kapcsolatban valamennyi vestibularis mag részt vesz kisebb-nagyobb súllyal, részben serkentő, részben gátló synapsisokkal.

A másodlagos vestibularis neuronok másik fontos projekciós területe a gerincvelő, ahová két pályán keresztül érkezik az információ. Az egyik a fasciculus longitudinalis medialis, amely legnagyobb részben a medialis és a spinalis vestibularis magból szállít rostokat. A másik a tractus vestibulospinalis, amely a nucleus vestibularis lateralisból indul el. Mindkettő azonos oldalon száll le és a gerincvelő funiculus anteriorjában halad. A rostok terminalisai közvetve vagy közvetlenül végződnek a motoneuronokon, elsősorban a feszítő izmokat beidegzőkön. Ez a vestibulospinalis kapcsolat a test egyensúlyi helyzetének megtartásához járul hozzá.

A harmadik fontos projekciós terület a kisagy, ahová a rostok nagy része a lateralis vestibularis magból érkezik. A rostok a kisagy jól körülírt területén a vestibulocerebellumban végződnek. Ugyanerről a kisagyi területről a Purkinje sejtekből jelentős gátló impulzus érkezik vissza a lateralis vestibularis magba.

A fenti kapcsolatok mellett más agytörzsi struktúrák is összeköttetésben állnak a vestibularis rendszerrel. Igen nagy számú terminalis található a formatio reticularis területén, ahonnan az információ az agytörzsi és gerincvelői vegetatív központok felé továbbítódik. Ez a kapcsolat a morfológiai alapja a vestibularis izgalom kapcsán fellépő vegetatív tüneteknek (hányás, szédülés). (*FIII. 8/88.*)

A bőr mint érzékszerv

A bőr vagy kültakaró igen sokféle feladatot lát el. A test felszínét beborítva nemcsak mechanikai védelmet nyújt az alatta fekvő részeknek, hanem megakadályozza a szervezet kiszáradását is. Pigment termelése révén védekezik a túlzott sugárzással szemben. A szervezet legfontosabb hőszabályozó berendezése, részben az erek tágasságának változtatásával, részben a mirigyek párologtató tevékenységével. Alacsonyabb rendű élőlényekben a bőrlégzés fontos szerepet játszik. A verejtékmirigyek révén a salakanyagok kiválasztásában is szerepel. A bőralatti zsírszövet tápanyagraktárként és hőszigetelő réteggént szolgál. Részt vesz a biológiai védekező mechanizmusokban, tapintó érzékszerv, hámszármazékai részben a védelmet szolgálják, részben a vázrendszer kiegészítői (kőröm). Az epidermalis eredetű tejmirigy az újszülöttet táplálja.

A bőr (cutis) szerkezete

A bőr három rétegből épül fel, ezek az epidermis (felhám), dermis (írha) és a bőralatti kötőszövet (hypodermis, subcutis). A bőr egyes helyein speciális képletekké differenciálódik, ezek a haj, a kőröm, a bőr mirigyei és az emlőmirigy.

Az *epidermis* többrétegű elszarusodó laphám, ami a tenyéren és a talpon öt rétegű, (vastag bőr) máshol a *stratum lucidum* hiányzik (vékony bőr). A *membrana basalis*on nyugvó első rétege a *stratum basale*, ahonnan a sejtek pótlása történik. A második réteg a *stratum spinosum*, ahol a sejtek *desmosom*akkal szorosan összekapcsoltak. A *stratum granulosum* sejteinek *cytoplasmájában* erősen *basophil keratohyalin szemcsék* vannak. A *stratum lucidum* vékony, áttetsző, metszetben eosinnal élénken festődő réteg, amely elhalt sejteket tartalmaz. A *stratum corneum*ban teljesen elszarusodott sejtek vannak, a *cytoplasmát* keratin tölti ki, *sejtorganellumok* már nincsenek jelen.

Az epidermisben négyféle sejt található: a keratinocyta, a Langerhans sejt, a melanocyta és a Merkel sejt. Rutin hisztológiai metszetben nem lehet őket egymástól megkülönböztetni. A legnagyobb számban a keratinocyták vannak jelen, ezekben zajlik le a szarusodási folyamat és egy lipid természetű anyag szintézise, ami a bőr vízhatlanságát biztosítja. Az elszarusodás során a *cytokeratin* nevű intermedier

filamentum tonofibrillumokká alakul át és a keratohyalin szemcsékkel összekapcsolódva lágy keratin képződik.

A Langerhans sejtek a stratum basale és spinosum rétegében fordulnak elő. Csontvelői eredetű sejtek, amelyek az antigént felveszik és a nyirokcsomóba szállítva a T lymphocytáknak prezentálják. A melanocyták vagy pigmentsejtek a stratum basale sejtszelei között elszórtan helyezkednek el. Feladatuk a melanin pigment termelése. Ennek első lépéseként a tirozinból DOPA keletkezik, ami majd melaninná alakul. A pigmentet tartalmazó, membránnal körülvett melanosomák a melanocytá nyúlványiba vándorolnak és citocrin secretioval a szomszédos keratinocyták plazmájába jutnak. A citocrin secretio során a keratinocyták phagocitálják a melanosomákat tartalmazó cytoplasma nyúlványokat. A Merkel sejtek a stratum basaleban található érzékszövetek, amelyek az ujjbegyben fordulnak elő nagy számban és a tapintásban játszanak fontos szerepet. A sejtek alapján synaptikus vesiculák vannak, amelyekhez idegvégződés kapcsolódik.

A *dermis*ben stratum papillare és stratum reticulare különböztetünk meg. Előbbi a hám alatt található, és kesztyűujjszerűen türemkedik be az epidermis behúzódaiba. Ezek a kötőszöveti papillák különösen jól fejlettek a nagy mechanikai hatásnak kitett testrészekben (tenyér, talp). A stratum papillare éles határ nélkül megy át a stratum reticulareba, amely kollagén és elasztikus rostkötegeket tartalmaz. A rostok rombusz alakú mezőket közrefogva keresztezik egymást. A rombuszok hossz tengelye a Langer féle vonal, amely általában egybeesik a bőr feszülési vonalával, így az ezzel párhuzamosan ejtett bőrmetszések szélei könnyebben összeilleszthetők.

A *subcutis* vagy bőralatti kötőszövet változó mennyiségű zsírt tartalmaz testtájéktól függően. A bőrt rögzíti az alatta lévő szervekhez.

(RII. 19-1)

A bőr vérellátása. A bőrt ellátó artériák a *subcutis* és a *dermis* határán egy hálózatot hoznak létre. Az innen eredő ágak a felszín felé haladnak, majd a kötőszöveti papillák tövéénél újabb hálózatot alkotnak. Ezekből egy capillaris hurok ered és lép be a papillába. Az epidermisben nincsenek erek, táplálása diffúzióval történik.

A bőr idegellátása, a bőr receptorai. A bőr különböző érző receptorokat tartalmaz, amelyek az epidermisben, az epidermis és a *dermis* határán vagy a *subcutis*ban találhatóak. A szőrös bőrben a szőrtüszők receptorai a szőrszálak elmozdulását érzékelik. A sima bőr receptorai a finom tapintási információt dolgozzák fel. A szabad idegvégződés az epidermisben, a sejtek között található. Mechanikai, termikus

és/vagy kémiai ingerekre válaszolnak. A Meissner test a szőrtelen bőrben található, a dermalis papilla csúcsa alatt helyezkedik el és a finom tapintást érzékeli. A Vater-Pacini test és a Ruffini test a mélyebb rétegekben helyezkednek el, tapintás és vibráció érzékelésében vesznek részt. **(RI. 9-17, 9-18).**

A bőr függelékei

A fejlődés során az epidermisből hámbimbók nőnek be a dermisbe és belőlük alakul ki a szőrtüsző, a bőr mirigyei és az emlőmirigy. Ugyancsak az epidermis származéka a köröm.

A szőrtüsző, szőr. Az epidermis rétegei hozzák létre a szőrtüszőt, amelynek sejtjeiből a szőrszál fejlődik ki. Az ember szőrzete a tapintási információk kialakulásában játszik fontos szerepet. A szőrtüsző elhelyezkedhet a dermisben vagy a subcutisban, a bőr felszínével hegyes szöveget zár be. A tompaszög előli oldalán találjuk a simaizomból álló m. arrector pili, amelynek összehúzódása következtében a bőr besüllyed, a szőr melletti rész pedig kiemelkedik (libabőr). Az izmot sympathicus rostok idegzik be. A szőrtüsző tartozéka a faggyúmirigy, ami az izom feletti részen nyílik a szőrtüszőbe. A szőrtüszőt kívülről egy kötőszövetes hüvely veszi körül, majd az epidermalis eredetű külső és belső gyökérhüvely következik. Ezen belül találjuk a hajcuticulát, amelyet a belső gyökérhüvely sejtjei termelnek. Ez a réteg kemény keratinból áll, amelynek felülete tetőcserepszerű rajzolatot mutat. A rajzolat az alapján el lehet dönteni, hogy a kérdéses szőrszál emberből vagy állatból származik-e. A szőrszál kéregállománya kemény keratinból áll, a velőállomány pedig lágy keratinból. A szőrtüsző alsó, kiszélesedő része a hajhagyma (bulbus pili), amelynek alapjába benyomul a dermis, ereket tartalmazó papilla formájában (papilla pili). A hajhagyma dermissel szomszédos sejtjei alkotják a szőrtüsző germinatív rétegét, amelynek osztódó sejtjei hozzáadódnak a növekvő szőrszálhoz, és azt szaruvá történő átalakulásuk során fokozatosan kifelé préselik.

(RII. 9-15).

A köröm. Kemény keratinból álló lemez, amely megfelel az epidermis stratum corneumának. Proximalis részén világos, félhold alakú terület van, ahol még az elszarusodás nem teljes. A körömlemez az epidermis alsó rétegeit tartalmazó körömágyon fekszik, amelynek proximalis része kiszélesedik. Ez a kiszélesedő rész a matrix, amiből a körömlemez növekedése történik. Distalis része a köröm szabad széle alatt a hyponychiumot alkotja, amelynek fontos záró funkciója van. A körömsánc vagy

eponychium a bőrnek az a része, amely a körömlemezre proximalis és lateralis irányban ráterjed. A körömlemez alatt találjuk a dermist, amely szorosan összenőtt az alatta fekvő csonthártyával. (*RII. 19-22*).

A bőr mirigyei

Faggyúmirigy. Kivezetőcsövük a szőrtüszőbe nyílik, és a váladékuk, a sebum, ilyen módon kerül a külvilágba. Néhány helyen előfordul, hogy nem szőrtüszőbe nyílnak, hanem közvetlenül a bőr felszínére. A végkamra sejtei a perifériás részen polygonalis alakúak, és sok bennük a mitotikus alak. Az újonnan képződött sejtek fokozatosan a végkamra felé nyomulnak, közben megnagyobbodnak és fokozott lipidszintézist mutatnak. A lipidcseppek egyre inkább kitöltik a cytoplasmát, miközben a mag piknotikussá válik. Végül a sejtek szétesnek és a kiürülő, sejtörmelék tartalmazó anyag a faggyú. Ezt a fajta secretot holocrin secretionnak nevezzük.

Merocrin verejtékmirigy. A szőrtüszőtől függetlenül helyezkednek el, egyszerű, felcsavarodott tubularis mirigyek (glandula glomiformis), amelyek a bőr felszínére nyílnak. A végkamrákban található sejtek közül a világos sejtek a verejték víztartalmú részét, míg a sötét sejtek a fehérjetartalmú részét termelik. A myoepithel sejtek kontraktilis elemek, amelyek a verejték kiürülését segítik elő a végkamra lumenéből. A kivezetőcső módosítja a verejték összetételét nátrium és víz resorptiójával. A mirigy fontos szerepet játszik testhőmérséklet szabályozásában.

Apocrin verejtékmirigy. Kivezetőcsöve a szőrtüszőbe nyílik, a faggyúmirigy nyílása felett. A kivezetőcső nem módosítja a verejték összetételét. Az apocrin mirigy a hőszabályozásban nem vesz részt.

A bőr mirigyeinek beidegzése. Mind a merocrin, mind az apocrin mirigy sympathicus beidegzés alatt áll. A merocrin mirigyek esetében acetylcholin, az apocrin mirigyeknél adrenalin a neurotranszmitter. Az apocrin mirigy működését emotionális hatások befolyásolják. A faggyúmirigy secretióos tevékenysége hormonális hatás alatt áll, secretomotoros beidegzése nincs.

Írta: Dr. Matesz Klára
egyetemi tanár

Debreceni Egyetem
Általános Orvostudományi Kar
Anatómiai, Szövet- és Fejlődéstani Intézet

ISBN 978-963-318-300-7

© Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press,
beleértve az egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát is

Kiadta a Debreceni Egyetemi Kiadó Debrecen University Press
Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi
Készült a DE sokszorosítóüzemében, 2015-ben