

## II. rész

### ALAPSZÖVETEK

A sejtek egy-egy funkció elvégzésére differenciálódnak, és ezek az alaktani és funkcionális szempontból azonos sejtek összessége a szövet. A sejten kívül változó mennyiségben sejtközötti állomány (extracelluláris állomány) is részt vesz a szövet alkotásában.

Négy alapszövetet különböztetünk meg. Ezek:

- 1./ Hámszövetek
- 2./ Kötőszövetek
- 3./ Izomszövetek
- 4./ Idegszövet

#### 1./ HÁMSZÖVETEK

Ez a szövet részt vesz a külső hatások elleni védelemben, résztvehet a tápanyagok felszívásában, létfontosságú anyagok elválasztásában és kiválasztásában, valamint külső ingerek érzékelésében.

A hámszövetre jellemző, hogy:

Sejtjei szorosan kapcsolódnak, az extracelluláris tér szűk.

Mindhárom csíraleveleből fejlődhet. Ectodermából fejlődik pl. bőrünk felhámja. A bél felszívóhámja entodermális, míg pl. a mesothel mesodermális eredetű.

Lapos, köbös és hengeres formájú sejtjei egy vagy több rétegben helyezkedhetnek el.

A hámszövetben csak ritkán található véredény. A hámsejtek táplálása az alatta levő kötőszövetből történik; a tápanyagok innen az extracelluláris térbe jutnak, majd a hámsejtekhez.

Idegrostok és idegvégződéses találhatók benne, ezek az intraepitheliális idegrostok, illetve intraepitheliális idegvégtestek.

Működés szerint a hámszövetek lehetnek: fedő-, mirigy-, pigment- és érzékhámok.

**a./ Fedőhámok**, melyek a felszín alatti szöveteket, szerveket védik. A felépítésükben résztvevő sejtek alakja, és a rétegek száma szerint tovább osztályozhatók.

Egyrétegű laphám pl. a vese Bowman-tokjának külső lemeze.

Egyrétegű köbhám pl. a vese kanyarulat csatornáit alkotó sejtek.

Egyrétegű hengerhám pl. az emésztőrendszerben a felszívóhám.

Egyrétegű többmagsoros hám. Minden sejt egy közös alapon van, de a sejtek eltérő nagysága miatt nem mind éri el a felszínt. Tehát a sejtek nem, de a sejtmagok több rétegben láthatók. A sejtek csúcsi felszínén gyakran csillók találhatók. Ilyen pl. a légsző hámja.

Többrétegű laphám. Az alaphártyán egy sorban hengeres, majd felettük néhány sorban köbös, legfelül lapos sejtek láthatók. Működés szerint elszarusodó (pl. bőrünk epidermis rétege) és el nem szarusodó (pl. szájüreg hámja) többrétegű laphámot ismerjük.

Urothelium. Húgy- és ivarszervek hámja így a húgyhólyag hámja is urothelium.

Többrétegű hengerhám. Előfordulása: pl. a férfi húgycső nagy részében.

**b./ Mirigyhámok**. Váladék termelésére képesek. A váladék lehet a szervezetre nézve hasznos (secretum) vagy káros (excretum). A mirigyhám alkothat különálló szervet (pl. máj), de lehetnek más szervekbe beépítettek is (pl. a bélbolyhok közötti Lieberkühn-féle mirigyek).

Felosztásuk törénhet annak alapján, hogy:

1./ Hány sejt építi fel a mirigyhámot. Ennek alapján beszélhetünk egy (pl. a kehelysejtek), és soksejtű mirigyekről (pl. pajzsmirigy).

2./ Hogyan jut el a váladék a mirigysejtektől a célsejthez. Ha a mirigysejtől a váladék csőrendszeren keresztül jut a felhasználás helyére, akkor külső elválasztású (exocrin) mirigyekről (pl. fültőmirigy) beszélünk. Ezek a továbbiakban a váladéktermelő sejtek elrendeződése alapján csöves, bogyós és csöves-bogyós mirigyekre oszthatók.

Ha a mirigy kivezetőcsővel nem rendelkezik, akkor a termelt váladék (ez a hormon) a keringési rendszerbe a vérrel szállítódik. Az ilyen mirigyeket belső elválasztású (endocrin) mirigyeknek nevezzük: pl. a pajzsmirigy.

Ismerünk kettős elválasztású mirigyeket is pl. a hasnyálmirigy. Itt a mirigysejtek legtöbbször által termelt váladék egy csőrendszeren keresztül jut el egy ún. fővezetékbe, ami a patkóbélbe torkollik, de a mirigy kisebb részét adó ún. Langerhans (vagy inzulin) sziget sejtjei hormonokat termelnek, melyek a hasnyálmirigyből kivezető vérébe kerülnek.

**c./ Pigmenthám.** A hámsejtekben melanin tartalmú szemcsék vannak. Típusos előfordulása a szem ideghártyájában a stratum pigmentosum retinae.

**d./ Érzékhám.** A külvilág ingereinek felfogására szolgáló speciális hám. Kétféle érzékhámsejtet ismerünk. Elsődleges vagy primér érzékhámsejtek, melyek bipoláris sejtek. Egy perifériás és egy a sejt aljából induló centrális nyúlványa van. Ez utóbbi az ingerületet a központi idegrendszerbe vezeti. A perifériás nyúlvány az inger felvételére szolgál. Ilyen érzékhámsejt található pl. a szaglóhámokban.

Másodlagos vagy secundér érzékhámsejteknek nincs centrális nyúlványa. A sejttesttől az ingerület synapsis útján továbbítódik. Ilyen érzékhám van a halló- és egyensúlyozó-, valamint az ízlelőszervekben.

## 2./ KÖTŐSZÖVETEK

Az emberi szervezetben a legnagyobb gyakorisággal előforduló szövettípus. Nagy részük mesodermális eredetű. A kötőszövetekre jellemző a transzformációs (átalakulási) képesség, ami azt jelenti, hogy a kötőszövetek a fejlődés során egymásba átalakulhatnak. Pl. felkarcsontunkat az egyedfejlődés során először lazakötőszövet, majd porcszövet és végül a csontosodás révén csontszövet alkotja.

A szervezetben előforduló kisebb, nagyobb hézagokat betölt. Pl. a combhajlító izom izombőnyéjének szakadása után a kötőszövet felszaporodik, a heg elmeszesedik. Az ontogenezis folyamán először megjelenő, legprimitívebb kötőszövet a mesenchyma, ami nyúlványos sejtekből és félfolyékony sejtközötti állományból áll.

Minden kötőszövet felépítésére jellemző, hogy sejtekből és sejtközötti állományból áll, ez utóbbi jelentősebb mennyiségű. A sejtközötti állomány két részre, az alapállományra és különböző kötőszöveti rostokra osztható.

Az alapállomány félfolyékony, kocsonyaszerű. Vízben oldott, részben kristalloidok, részben kolloidális állapotban lévő makromolekulák alkotják. Oldott anyagainak a szervezet vízháztartásában van nagy jelentősége.

A kötőszövet rostjai lehetnek: **kollagén rostok**, melyek nyalábokba rendeződnek, ezek elágazódhatnak, de maguk a rostok elágazódást nem mutatnak. Kismértékben nyújtható. Nagy szakító szilárdságú. Pl. az inak szakítási szilárdsága  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

**Rugalmas vagy elasticus rostok.** Általában vékonyabbak, mint a kollagén rostok. Magánosak, nem képeznek nyalábokat. Eredeti hosszuk 150%-val is megnyújthatók. Szakítószilárdságuk alacsony. Általában ott található, ahol nagyfokú nyomásváltozás fordul elő, pl. az erek falában.

**Rács vagy reticularis rostok.** A kötőszöveti rostok közül ezek a legvékonyabbak. A rostok szitaszerű hálót képeznek, innen az egyik nevük: rácsrostok.

Kötőszövet sejtjei. Leggyakrabban a lazakötőszövetben találhatók.

**Fibroblastok:** rostképző sejteknek is nevezik, mivel a sejtben belül képződik a kollagén rost alapegység, amelyekből az extracelluláris térben összeáll maga a rost. A fibroblast a működő, míg a fibrocyta elnevezés a sejt nyugalmi állapotára utal.

**Macrophagok (histiocyták):** Nagy falósejteknek is nevezik őket, szemben a microphág neutrophil granulocytákkal. Állásokat képezhetnek, melyek segítségével idegen anyagok bekebelezésére képesek (ld. Immunológia).

**Immunkompetens sejtek:** A kötőszövetben mindig megtalálhatók gömbformájú lymphocyták, melyek azonosak a vér lymphocytáival. Rendkívül rugalmasak, ami lehetővé teszi, hogy átjussanak a kapillárisok falán (ld. Vér).

**A természetes öló (natural killer) sejtek:** A testidegen sejtek elpusztítását végzik (ld. Immunitás).

**Eosinophil granulocyták:** Ugyancsak immunkompetens sejtek. Gömbölyűek, plasmájukban eosinnal pirosra festődő szemcsék találhatók (ld. Vér). Amöboid mozgásra képes sejtek, az érpályából is kiléphetnek.

**Hízósejtek:** Viszonylag nagyméretű egyszakú sejtek. A sejt plasmájában granulomok találhatók, melyek véralvadást gátló heparint, vagy serotonint, illetve histamint tartalmazhatnak. Ez utóbbi anyag az allergiás megbetegedésekben játszik szerepet. A hízósejtek a vöröscsontvelőben termelődnek.

**Zsírsejtek:** Kerek sejtek, ahol a sejtmag periferián a sejthártya alatt található (pecsétgyűrű-forma). Nagyobb mennyiségben fordul elő a bőr alatti kötőszövetben.

**Pigmentsejtek:** nyúlványos sejtek. Sejtplasmájuk barna színű melanin granulomokat tartalmaz. Ilyen sejtek található, pl. a szem szivárványhártyájában. Hosszú

ideig úgy tartották, hogy ezek a sejtek mesodermális eredetűek, ma már tudjuk, hogy dúcléc származékok.

A kötőszövetek felosztása:

#### **A./ Valódi kötőszövetek**

Több típusát ismerjük, melyek a következők:

**Érett kocsonyás kötőszövet:** Felépítésében nagyon hasonlít a mesenchymához. A sejtek közötti kocsonyás sejtközötti állományban kevés kollagén rost is megfigyelhető. Ilyen szövet van pl. a köldökzsinórban (Wharton-féle kocsonya).

**A lazarostos kötőszövet:** felépítése az általános jellemzésnél leírtakkal egyezik. Megjelenhet pl. egységes kötőszövetes réteg formájában, pl. az üreges szervekben.

**Tömöttrostos kötőszövet:** A legrendezettebb kötőszövet. Típikus előfordulása az ínszövet. Itt a kollagén rostok nyalábokba rendeződnek, a nyalábok közötti üregekben a rostképző ún. in sejtek találhatók.

**Elasticus kötőszövet:** A kötőszöveti alapállományban nagymennyiségű elasticus rost mellett kevés kollagén rostok is előfordul. Ez a szövet olyan helyeken fordul elő, ahol jelentős nyomásváltozás jelentkezik. Ilyenek a vérerek, különösen az artériák fala.

**Reticuláris rostos kötőszövet:** A vérképző és lymphaticus szervek alapszövege. Sejtjei nyúlványosak, a nyúlványok anastomizálnak, s így egy laza szerkezetű szitaforma alakul ki. A reticuláris sejtek termelik a reticuláris rostokat. Előfordulása: vöröscsontvelő, nyirokszervek alapszövege.

#### **B./ Támasztószövetek**

**Chordaszövet:** Előfordul a gerinchúrban. Sejtjei intra- és extracelluláris váladékot is termelnek. A sejten belüli váladék a sejtmagot közvetlenül a sejthártya alá nyomja, míg a sejten kívüli váladék a chordahüvelyeket hozza létre.

**Zsír szövet:** A sejtek cytoplasmájában zsírcseppek találhatók. A sejtközötti állományban kis kollagén rostnyalábok, néha elasticus rostok is megfigyelhetők. A zsír szövetnek két formája ismert. A barna zsír szövet jellemzője, hogy a sejtekben a zsírcseppek mellett nagyobb mennyiségben mitochondriumok is előfordulnak. A barna zsír szövetnek a hőtermelésben van szerepe, főleg újszülötteknél található nagyobb mennyiségben. A sárga zsír szövet felépítése az előzőhöz hasonló azzal az eltéréssel, hogy a sejtekben nincsenek mitochondriumok. A sárga zsír szövet zsírraktár, de jelentős a hézagtöltő és támasztó funkciója is.

**Porcszövetek.** Felépítése a kötőszövetek általános felépítésével megegyezik. Sejtközötti állományának keménysége biztosítja a szövet nagyobb szilárdságát. A porcsejtek nyúlvány nélküli sejtek, és kisebb csoportokba ún. territóriumba (chondron) rendeződnek. A porcsejtek az alapállomány üregeit nem töltik ki teljesen, így körülöttük egy ún. porcudvar alakul ki. Az üreg széle a porctok. A territóriumok között interterritoriális, sejtközötti állomány található, melyben kötőszöveti rostok vannak.

Ha a sejtközötti állományban kevés a kötőszöveti rost az alapállomány elfedi, akkor üveg vagy hyalin porcról beszélünk. Ilyen porc található, pl. az ízesülő csontvégeken.

Ha az alapállományban fedetlenül rostok láthatók, akkor rostos porcokról beszélünk, melyek a rostok milyenségétől függően lehetnek rugalmas rostos porcok (pl. a gégeporcok), illetve kollagén rostos porcok (pl. a csigolyaközti porckorongok).

A porcszövetben erek nincsenek, táplálása a porchártya erei felől diffúzióval történik.

**Csontszövetek:** Tömör vagy kompakt (substantia compacta) és a szivacsos (substantia spongiosa) formában fordul elő. Egy hosszú csöves csont diaphysis (középrész) a csonthártya alatt, lapos csontok teljes hosszában ugyancsak a csonthártya alatt tömör csontszövet található. A csontszövet is territoriális felépítést mutat. Építő egysége az osteon, amelyek az ún. Havers csatorna körüli koncentrikus lemezrendszerből állnak. A koncentrikusan rendeződő lemezeket kollagén rostok (a rostokat tulajdonképpen

osteokollagéneknek nevezzük, mert nem fibroblastok, hanem csontképző sejtek hozzák létre) és a csontsejtek alkotják. A lemezeket rájuk merőlegesen kis csatornák járók át, melyek a csontüregecskékből erednek. A csontüregecskében található a csontsejtek (osteocyták). A Havers-csatorna és a körülötte elhelyezkedő lemezrendszer (laminae speciales) együtt egy osteont ad. A Havers-csatornában erek találhatóak. A csatornákat egymással, illetve a csonthártya és a csontvelő ereivel a Volkmann-csatornák kötik össze. A kompakt csontszövet külső felszínén, 4-6 rétegben, az ún. külső általános lemez (laminae generales externae) helyezkedik el. A lemezekben Havers-csatorna nincs. A csöves csontok belső, velőüreg felé eső felszínén az előbbiekhöz hasonló lemezrendszer figyelhető meg, ezek a belső általános lemezek (laminae generales internae). Az előbb említett három lemezrendszer nem tölti ki teljesen a csontszövet állományát, a maradék helyen még egy lemezrendszert tudunk elkülöníteni, nevezetesen a közbeiktatott lemezeket (laminae intercalares).

A csontüregecskék és az osteokollagén közötti részbe rakódnak le a csontszövet keménységét adó mészsók. A csontok mészforgalmát hormonok szabályozzák (ld. Hormonrendszer).

A szivacsos csontállomány a csöves csontok két végén az epiphysisek (végrészek) területén, lapos csontok esetében (pl. koponyatető csontok) a csont középső részében található. A szivacsos csontállomány csontszövetből álló gerendák szövedéke, melyek hézagait vöröscsontvelő tölti ki.

### **C./ Speciális kötőszövetek**

Mint általában a kötőszövetek, a vér is sejtekből és sejt közötti állományból áll. Ez utóbbi a vérplasma, míg a sejtek a vér alakos elemeit alkotják. A vérplasma 90%-a víz. Valódi és kolloidális oldott állapotban tartalmaz gázokat, elektrolitokat, bomlástermékeket, tápanyagokat, hormonokat. Fontosabb ionjai:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Nagy molekulájú anyagai a plasmaproteinek, immunglobulinok, glükoproteidek, steroidok. Ezen kívül vérfehérjéket és más szerves anyagokat is tartalmaz. A vérfehérjék: a fibrinogén (kb.5%), albumin (kb. 60%) és a globulinok (35%). A vérplasmában különböző fehérje bomlástermékek, zsírok, lipoidok (koleszterin), cukor, tejsav, különböző hormonok, véralkohol, oxigén és széndioxid is található.

A fibrinogén a véralvadásban játszik fontos szerepet. Az albumin viszonylag kis molekulású fehérje, a vér ozmotikus koncentrációjának fenntartásában, illetve tartalék fehérjeként jelentős. A globulinok ( $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$ ) a szervezet védekezésében fontosak. Termelődésük fokozódásával a szervezet védekező képessége megnő a fertőző betegségekkel szemben.

A vér alakos elemei a vértér fogat 45%-a. A sejt elemek (szilárd véralkotók) és a teljes vér térfogati aránya a hematokrit érték, ami férfiakban 42-47%, nőkben 38-45 %.

**Vörösvértest (erythrocyta).** Emlősökben magvatlan sejtek, innen van a vörösvértest elnevezés. A vörösvérsejtképzés a vöröscsontvelőben történik, melynek intenzitását egy a vesében termelődő hormon, az erythropoetin szabályozza. A hormon oxigénhiány (hypoxia) hatására termelődik, s a véráram útján jut el a vöröscsontvelőbe. A vörösvértestek mérete kb. 7  $\mu\text{m}$ . Számuk férfiakban 5,0-5,5 millió/ $\text{mm}^3$  vér, nőkben 4,5-4,8 millió/ $\text{mm}^3$ . A normál értéknél alacsonyabb vörösvértest szám esetén vérszegénységről beszélünk. A vörösvértest biconkáv alakú, azért mert a sejt közepe vékonyabb, mint a széle. Oldalról babapiskóta formát mutat. A sejtek rendkívül rugalmasak, ezért a szűk átmérőjű kapillárisokon is áthaladnak. Magjukat még a vöröscsontvelőben, az érés során elvesztik, a sejt mag helyére egy négy alegységből álló Fe-tartalmú kromoproteid, a hemoglobin épül be, melytől jellegzetes piros színüket kapják. A hemoglobinban szabad vegyértékkel rendelkező vas az oxigénnel könnyen bomló (reverzibilis) kötést ad. Az oxigénnel reverzibilis kötésben lévő hemoglobin az oxihemoglobin (oxigenált

hemoglobin), míg az oxigént nem kötött hemoglobint deoxihemoglobinnak (deoxigenált hemoglobin) nevezzük. A reverzibilis oxigénkötés a központi helyzetű vas ion funkciója, de a hemoglobin oxigénkötő affinitását a polipeptid láncok elsődleges szerkezete, illetve azok aktuális konformációja szabja meg. Az oxihemoglobin teljes hemoglobin mennyiséghez viszonyított arányát szaturációnak nevezzük. A tüdő alveoláris terében, lévő 100 Hgmm-es  $O_2$  nyomás mellett az oxigén telítettsége 97-98%, míg a szövetekben 40 Hgmm-es  $O_2$  nyomás mellett 75%. A szaturációt különböző paraméterek jelentősen befolyásolhatják ( $CO_2$  nyomás, pH, hőmérséklet).

A légzési gázok szállítása:

Az  **$O_2$  szállítása** fizikailag oldott (0,03 ml / 1l vérben) és hemoglobinhoz kötött (ld. fent) formában történik. A  **$CO_2$  szállítása** három különböző formában lehetséges: fizikailag oldva (0,7 ml / 1l vérben, 5%), hidrogénkarbonátion formájában (90%), illetve a hemoglobin  $NH_2$ -csoportjaihoz (aminocsoport) kötött ún. karbamino vegyület formájában (5%).

A  **$CO_2$  szállítása** a vérben. A tüdőkapillárisokban termelődő  $O_2$  a nagyobb nyomású helyről, a kisebb nyomású hely felé, azaz a vérplasmába, majd onnan a vörösvértestekbe diffundál. Itt a már előzőleg hidrogént kötött hemoglobinhoz (redukált hemoglobin) kapcsolódik, oxihemoglobint (oxigenált hemoglobin) képez, amely a vér segítségével a szövetekhez áramlik. Az oxidálódás következtében a hidrogénion szabaddá válik, mely azonnal  $HCO_3^-$  ionnal reagál, és szénsav ( $H_2CO_3$ ) keletkezik. A  $H_2CO_3$  egy kulcsenzim, a szénsavanhidráz (CA) segítségével  $CO_2$ -ra és  $H_2O$ -ra bomlik. A keletkezett  $CO_2$  az alveolusokba diffundál, mivel ott a  $CO_2$  nyomásérték alacsonyabb, mint a vénás vérben. A szövetekben mindezek a reakciók ellenkező irányban játszódnak le. A test sejtjeiből a biológiai oxidáció folyamán keletkezett  $CO_2$  a vérplasmán keresztül a vörösvérsejtbe kerül. A  $H_2O$ -val reakcióba lépve, a CA kulcsenzim segítségével  $H_2CO_3$  vegyület, majd továbbalakulva  $H^+$ , illetve  $HCO_3^-$ -képződik. A képződött  $HCO_3^-$ -nak mintegy 3/4 része  $Cl^-$ -okkal kicserélődve elhagyja a vörösvértesteket (anion kicserélő antiporter, Hamburger-féle eltolódás). A felszabadult  $H^+$ -ionok a fent említett oxihemoglobinnal reagálnak, melynek következtében redukált hemoglobin és  $O_2$  keletkezik. A keletkezett  $O_2$  a szövetekbe áramlik. A vörösvértestek a hemoglobin mellett számos enzimet is tartalmaznak. Ezek az energiatermeléssel (glikolízis) és az iontranszporttal kapcsolatosak. A vörösvértestek élettartama kb. 120 nap. A lép és a máj sinusainak macrophag sejtjei semmisítik meg azokat.

**Fehérvérsejtek (leukocyták).** Festékanyagot nem tartalmazó, mindig magvas sejtek. Számuk  $1\text{ mm}^3$  vérben 6 000-8 000. Felosztásuk történhet annak alapján, hogy a sejtek plasmájában található-e szemcse (granulum) vagy sem. Ennek alapján a fehérvérsejtek lehetnek szemcsészetlen plasmájú agranulocyták, vagy szemcsét tartalmazó granulocyták.

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

Lymphocyták. A fehérvérsejtek 25-35%-a. Kerek sejtek. Magjuk szinte kitölti a sejtet. Méretük szerint kis és nagy lymphocytákról beszélünk. Átmérőjük 6-8  $\mu\text{m}$ . A nyirokerekből kerülnek a vérbe.

Monocyták. A fehérvérsejtek 4-8%-a, ezek a nagyméretű (15-20  $\mu\text{m}$ ) sejtek. Babalakú magjuk excentrikus elhelyezkedésű. Gyulladás esetén kilépnek az érpályából és kötőszöveti macrophagokká alakulnak.

Granulocyták. Kerek sejtek, magvaik lebonyozottak (szegmentáltak). A továbbiakban a szemcséik festődése alapján neutrophil, eosinophil, basophil granulációjú típusokra oszthatók.

A neutrophil granulocyták (65-67%) a szervezet védekező elemei közé tartoznak. Szegmentált magjukról és szürkéskékre festődő cytoplasma granulumairól könnyen felismerhetők. Microphagoknak is nevezik őket, a „micro” jelző méretükre, míg a „phag” szó arra utal, hogy idegen anyagok bekebelezésére képesek.

Az eosinophil granulocyták (2-4%) tagolt magja a pápaszemre (szemüveg) emlékeztet. Granulumai eosinnal pirosra festődnek. Allergiás megbetegedés esetén számuk a vérben megnő. Átmérőjük 12-14  $\mu\text{m}$ .

A basophil granulocyták a fehérvérsejtek 0,5%-a. Magjuk szegmentált. A plasmában található szemcsék azurkéken csillognak kenetfestés után. Átmérőjük 8-11  $\mu\text{m}$ .

**Vérlemezkék (thrombocyták).** Magvatlan 2-4  $\mu\text{m}$  nagyságú tojásdad formájú plasmatormelékek. Számuk: 150 000-300 000/ $\text{mm}^3$ . Élettartamuk 9-11 nap. Szerepük a vérárvadásban van.

A vérlemezkék a megakaryocyták cytoplasmájából válnak le. Mitochondriumokkal, szemcsékkel gazdagon ellátottak. Tömött szemcséik raktározzák a serotonint, az ATP-t és ADP-t, valamint  $\text{Ca}^{2+}$ -t. A serotonin az érösszehúzásért, az ATP és ADP, mint kémiai inger a thrombocyták összetapadásáért (koagulatio), és az állábképzésért felelős. A vérlemezkék plasmájában nagy mennyiségben találunk glikogén szemcséket, mivel anyagcseréjükre az anaerob glükolízis jellemző. A membránokhoz kötött nagymennyiségű foszfolipid pedig a vérárvadás másodlagos folyamataiban játszik döntő szerepet.

#### **A vérzéscsillapodás (haemostasis)**

A sérülés keletkezésekor az érintett érszakasz endothel sejtei összehúzódnak, a vérér belső felszíne hullámos lesz, és a vérlemezkék azonnal kitapadnak a felszínére. A megváltozott áramlási viszonyok miatt ezek a kis sejtörmelékek sérülnek, s a bennük tárolt serotonin helyi érösszehúzódást eredményez (első fázis). A vérlemezkék a sérült területre való kitapadásukkal azt elzárják úgy, hogy állabakat növesztenek, melyekkel összekapcsolódnak, s kialakítják az ún. fehér trombust. Ez a vérzéscsillapodás második fázisa. Ezt követi a vérárvadás (koagulatio) folyamata, melynek során a folyékony vérből laza kocsonyás jellegű test a vérlepeny képződik. Ez vérrögöt formál és elzárja a vér útját.

#### **A vérárvadás biokémiai mechanizmusa**

A vérárvadás biokémiai folyamata alatt a májban előzetesen szintetizálódott, majd a vérben aktiválódó fehérjék (kulcsenzimek, faktorok) működését értjük. Két mechanizmus létezik annak megfelelően, hogy az alvadás magából a vérplasmából indul (intrinsic, belső út), vagy a folyamatot elindító inger az érfalból vagy más szövetből érkezik (extrinsic, külső út). Mindkét út láncreakció-szerű egymás utáni fehérjeátalakulások sora (proteolitikus kaszkád), de a két út végül egy ponton (X. faktor) találkozik, és a továbbiakban a biokémiai folyamatok közös úton játszódnak le. A vérárvadásban szereplő faktorokat római számokkal (I-XIII.) szokás jelölni, felfedezési sorrendben.

A belső vérárvadási út. A XII. és a XI. faktorok adszorbeálódnak valamilyen negatív töltésű felületen (üvegfelület). A XII. (Hageman-faktor) aktiválódásának folyamata pontosan nem ismert, de aktivált formája (XIIa) a XI. (antihaemofilia-C) faktort, majd ez nagymennyiségű  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétében a IX. (antihaemofilia B, Christmas) faktort aktiválja, ami - a VIIIa faktor segítségével - a láncreakciónak megfelelően hat a X. (Stuart-Prower) faktorra. Ez az a pont, ami mind belső, mind a külső vérárvadási folyamatnál azonos, és a két folyamat, mert a továbbiakban ugyanúgy zajlik le.

A külső vérárvadási útnál (általában az érfal sérülésénél) a folyamat a X. inaktív faktor aktiválásával kezdődik, amit a III. (thrombokináz, de ma inkább a thromboplastin elnevezés használatos) és a VII. faktort tesz aktívvá,  $\text{Ca}^{2+}$  (IV. faktor, kivételesen nem fehérje természetű anyag) és foszfolipidek segítségével. A Xa faktor  $\text{Ca}^{2+}$ -al, foszfolipidekkel és az Va faktórral együtt a prothrombinból (II faktor) aktív thrombin (IIa faktor) molekulát képez. A vérárvadás befejező lépéseként az thrombin a fibrinogént (I

faktor) aktiválja, amely fibrinné (Ia faktor) alakul, majd egy polimerizációs folyamat során a XIIIa faktor segítségével (transzglutamináz) egy szabad szemmel is jól látható, stabil kovalens kötéssel rendelkező hosszú fehérjefonallá alakul.

A külső és belső véralvadás *in vivo* valószínűleg mindig párhuzamosan zajlik egymás mellett. A sérülés jellege határozza meg, hogy melyik folyamat van túlsúlyban adott élettani körülmények között. A véralvadás legtöbb lépése csak  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétében megy végbe, ezért az esetleges  $\text{Ca}^{2+}$  hiány a véralvadási folyamatok lassulásához vezet. Hasonlóan fontos a K-vitamin jelenléte, amely több véralvadási faktor, (a II., VII., IX. és X. faktorok) szintéziséhez elengedhetetlenül szükséges. K-vitamin hiány alakulhat ki hosszúidejű antibiotikum kezelés hatására is, mert az antibiotikumok elpusztítják a bélcsatorna normál bélflóráját, ami a K vitamint szintetizálja.

Az alvadás során képződött fibrinháló a vérlemezkék állábigra tapadva körbefonja a fehér trombuszt, s mivel ebben vörösvértestek is fennakadnak, ezért nevezzük vörös trombusznak. Ha kémcsőben álló és megalvadó vért vizsgálunk, alvadás után néhány órával az alvadék két részre válik: egy sejtes elemekből álló vérlepenyre, másrészt egy sárgás színű folyadékra, amelyet vérsavónak (fehérjementes vérplasma) nevezünk. A vérlepeny és a vérsavó szétválási folyamatát retrakciónak nevezzük.

Az alvadás-szabályozás elengedhetetlen eleme, hogy a thrombin a szükséges idő után inaktiválódhasson. Ezt részben a vérplasma egyik fehérjéje, az antithrombin végzi. Az alvadás egyik leghatásosabb *in vivo* és *in vitro* gátlószere a heparin. A heparint a thrombosisok kezelésére, valamint a szív- és érsebészetben is egyaránt használják. Az alvadék miután betöltötte szerepét, megindul a trombus fibrinszállainak feloldása. Ez a folyamat a fibrinolízis. Ezt a plazmin nevű proteolitikus fehérje végzi. A plazmin előanyag formában, mint plazminogén van jelen a testfolyadékban, sőt egyes fehérvérsejtekben is. Itt érdemes megjegyezni, hogy a legismertebb véralvadási zavar a X. kromoszómához kötött genetikai rendellenesség következménye, melynek oka a VIII. faktor hiánya. Ezért hívják antihemofiliás globulinnak. Mivel az allél (Xq, Hemofilia A) recesszíven (lappangó öröklésmenet) öröklődik, csak férfiak betegszenek meg, a nők csak közvetítő szerepet játszanak.

### A vércsoportok

Landsteiner 1900-ban állapította meg, hogy az emberek négy vércsoport (A, B, AB, 0) valamelyikébe tartoznak. A vörösvértestek felszíni membránján léteznek glikolipidek és glikoproteinek, amelyek szerkezete az adott egyedre jellemző. Ezek segítenek a saját és az idegen sejtek, anyagok felismerésében. Antigéneknek vagy agglutinogéneknek nevezzük őket. A sejt felszíni antigének egy N-acetil-glükózamint és egy ehhez kapcsolódó galaktózt tartalmaznak. Az emberek nagy többségében egy specifikus transferáz (H-enzim) a fukóz nevű monoszacharidot kapcsolja. Ez a transferáz a H-gén terméke. Az így keletkezett N-acetilglükózamin-galaktóz-fukóz sorrendel végződő alapvegyület a H-antigén, -az ABO-vércsoportrendszer alapvegyülete- melyek a 0-vércsoportéhoz tartozó egyének vörösvértestjeinek membránjában jelenik meg. Ezeknek a H-antigének galaktózmazmaradékának módosítása határozza meg a további vércsoportokat. Az A-vércsoportú egyedeknél egy specifikus transferáz - az A-gén terméke - , a galaktózmazmaradékhoz egy további N-acetil-galaktózamint kapcsol. A B-vércsoportnál, a B-gén által kódolt transferáz, a galaktózhoz egy további galaktózcsoportot kapcsol. Ha a vörösvértestek membránjában mindkét vércsoportantigén megjelenik, az egyén az AB-vércsoportéhoz tartozik.

A vérplasma tartalmaz vörösvérsejteket kicsapó fehérjemolekulákat, amelyek ellenanyagoknak (agglutinin, antitest) nevezzük. Az A antigénnel reagáló agglutinint  $\alpha$ -val a B antigénnel reagálót  $\beta$ -val jelöljük. Alapvető törvényszerűség, hogy egy ember

vérplasmája nem tartalmazza azt az agglutinint, amelyik a saját vörösvértestjeiben levő antigénnel reagál.

Ha nem saját antigén-szerkezetű molekulákat talál szervezetünk egy sejten, azt testidegennek fogja tekinteni, ellenanyagaink segítségével elpusztítja azt. Mivel véradás során az adó (donor) vérplasmája a fogadó (recipiens) vérében felhígul, ezért véradásnál az adó antigénjeinek a recipiens antitestjeivel való kompatibilitása válik döntővé. Ennek alapján érthető az a tény, hogy a 0-vércsoportú ember (nincsenek reakciót adó antigénjei) az általános adó, az AB-vércsoportú (nincsenek reakciót adó antitestjei), pedig az általános kapó. A vörösvértest felszínén 0-ás vércsoport esetén nincs antigén, tehát nem tud ellenanyag hozzákapcsolódni. Az AB-vércsoportúaknál mindkét antigén jelen van a vörösvértest felszínén, de mivel nincs antitest (ellenanyag) a vérplasmában, ezért nem jöhet létre agglutináció. Érdeemes megjegyezni, hogy az A- és a B-gének kodominánsan öröklődnek, ezért mind az A-, mind a B-gén jelenléte esetén a csoportra jellemző tulajdonság megjelenik a fenotípusban. A 0-gén (H-gén) recesszív öröklődésű.

Az említett ABO rendszer mellett egy másik, az Rh-vércsoport rendszert is meg kell említenünk. Az Rh-antigént a bunder-(vagy rhesus-) majomban (*Macaca mulatta*) fedezték fel (Landsteiner, 1940), innen származik nevének rövidítése is. Az Rh-antigén (D-antigén), előfordulását tekintve, vagy jelen van a vörösvértest sejtmembránján ( $Rh^+$ , 85%), vagy nincs ( $Rh^-$ , 15%). Normál körülmények között a vérplasmában nincs jelen az Rh-agglutinín (ellenanyag). Termelődése az  $Rh^-$  vércsoportú egyén vérében csak akkor indul meg, ha abba  $Rh^+$ -vércsoportú vér jut. Ebben az esetben az  $Rh^-$  egyén szervezete lassan anti-Rh ellenanyagot (anti-D ellenanyag) kezd termelni. Ez előfordulhat akkor is, ha pl. egy  $Rh^-$  anya  $Rh^+$  magzatot hordoz (az aapától származó, domináns,  $Rh^+$  vércsoportot kialakító gén jelenléte miatt). Ekkor, a szülés során, az anya és a magzat vére érintkezésbe kerülhet egymással. Az anyában egy lassú ellenanyag termelés indul meg, amely a második terhesség esetén mind az anyát, mind a magzatot veszélyezteti. Ennek megelőzésére az  $Rh^-$  anyák szülés után mindig anti-D (antitest=szérum) injekciót kapnak.

**A nyirok** az intersticiális folyadék, ami a különböző vízterek közül talán a legjelentősebb. Ebben a térben történik az anyagok cseréje és az anyagáramlás nagy része. A nyirok ereken keringő szövetnedv, ami vizet, ásványi anyagokat, gázokat, kolloidokat, és igen kis mennyiségben sejteket is tartalmazhat. A nyirok alapvetően fehérjeszegény vérplasma, de összetétele némileg változik a különböző szervekben. A májban pl. nagy mennyiségben tartalmaz fehérjéket, míg az emésztőrendszerben zsírokat.

### 3./ IZOMSZÖVETEK

Az izomszövetek mesodermális eredetűek. Nagyfokú kontrakciós képesség jellemzi őket, ami egy jellegzetes szerkezethez kötött, s ez az izomsejtekben előforduló myofibrilla. Az izomsejtek myofibrillumai fényel szembeni viselkedése alapján csoportosíthatók. Vannak olyan sejtek, amelyekben ezek a fibrillumok teljes hosszukban egyformán és egyszeresen törik a fényt, az ilyen sejteket tartalmazó szövet a simaizomszövet. Vannak olyan sejtek, melyekben a myofibrillumok a fényt egyszeresen (világos, izotrop=I) és kétszeresen (sötét, anizotrop=A) törő darabok szabályosan váltják egymást. Ezek a csíkok a myofibrillumok hossz tengelyére merőlegesen helyezkednek el. Az ilyen fibrillumokat tartalmazó sejtek, illetve szövetek a harántcsíkos izomszövethez tartoznak.

#### **Simaizomszövet**

A szövetet orsó alakú sejtek építik fel, melyekben a sejtmag centrális helyzetű. Sejt határoló hártáját sarcolemmának, sejtplasmáját sarcoplasmának nevezik. A sarcoplasma organellumai közül még az endoplasmaticus reticulumot illetik külön névvel, amit sarcoplasmaticus reticulumnak neveznek. A sejtplasmában sok glikogén szemcse és fonalas struktúrák, myofibrillumok találhatóak. Ezek vékonyabb fonalacskákból, aktin és myosin filamentumokból épülnek fel.

A simaizomszövet sejtjeiben az 1 µm hosszú aktin és a 150 nm hosszúságú myosin filamentumok a sarcoplasmában egy rácsszerű hálózatot hoznak létre, ahol a rácsfonal találkozási pontjánál ún. rögzítőlemezek jönnek létre. Ez az izomszövet az akaratunktól független működésű szervekben így pl. a bél falában található.

A simaizom kontrakciós mechanizmusa nem teljesen tisztázott. A kontrakcióért az ún. vegetatív idegfonadék a felelős, melyet az ún. Schwann-sejtes idegrostok, vagy más néven Remak rostok (ld Idegrostok) hoznak létre. Az idegrostok a simaizom sejteken végződnek. Fontos, hogy nem minden simaizom sejt kap közvetlen idegrosttól ingerületet. Azok a sejtek is összehúzódnak, melyek nincsenek közvetlen kontaktusban az idegrostokkal, ingerületüket a mellettük levő közvetlenül beidegzett izomsejttől kapják. A simaizom sejtek között egy sajátos, ún. szoros sejtkapcsoló struktúra (gap junction = réskapcsolat) figyelhető meg, ami szinte ellenállás nélküli ingerületvezetést biztosít.

A leggazdagabb beidegzésű a ductus deferens (ondóvezeték), közepes gazdagságú beidegzést figyelhetünk meg a bél simaizomzatánál.

Harántcsíkos izomszövet tovább osztható váz- és szívizomszövetre.

**Vázizomszövet.** A mozgás aktív rendszerét felépítő izmok harántcsíkos vázizmok. A vázizomszövet szerkezeti egysége az izomrost, ami egy óriás sejt. A sejtet határoló sarcolemmát kívül egy bazális membrán és ezen reticuláris illetve kollagén rost borítás is megfigyelhető. A sejthártya alatt perifériásan helyezkednek el a sejtmagok. A sejtplasmában kötegekbe rendeződött myofibrillumok, közöttük mitochondriumok, sima- (sarcoplasmaticus-) és durva felszíni endoplasmaticus reticulum, valamint Golgi-készülék is megfigyelhető.

A sarcoplasmaticus reticulum tubulusainak egy része a myofibrillumokkal párhuzamosan fut, ezeket longitudinális (L) tubulusoknak nevezik. Az I és az A szakasz határán a sarcoplasmaticus reticulum gyűrűszerűen veszi körül a myofibrillumokat, melyeket terminális cisternáknak neveztek el. A két terminális cisterna közé ékelődik a harántirányú transversalis (T tubulus) tubulus rendszer. A T tubulus folytonos a sarcolemmával. A T rendszer oldalirányú összeköttetéseket létesít a szomszédos filamentumokkal. A sarcoplasmaticus reticulum két terminális cisternája és a közöttük levő T tubulus egy jellegzetes képletet az ún. Porter-Palade triadot adja. Funkcionális szerepét ld. később.

A vázizomrostokban is a myofibrillumokon, a fényt kétszeresen törő anizotróp (A csík) és világos, a fényt egyszeresen törő izotróp (I- csík) szakaszok szabályosan váltják egymást. Erősebb nagyítás mellett megállapítható, hogy minden I szakasz közepén egy „szitaszerű” képlet az ún. Z lemez található, s minden anizotrop szakasz közepén még kissé világosabb H csík. A H csík közepén még egy sötétebb M csík is elkülöníthető. Z-től Z-ig tartó myofibrillum rész a sarcomer, ami a harántcsíkos myofibrilla szerkezeti egysége.

A harántcsíkostság magyarázata: a fénymikroszkóppal felismerhető myofibrillákat kétféle, nevezetesen az aktin és myosin filamentumok építik fel.

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

Az aktin filamentumok vékonyak, 7 nm vastagok és 1  $\mu\text{m}$  hosszúak. Globuláris alegységekből (G aktin) felépülő kettős fonalak, amelyek spirálszerűen feltekerednek, és ezt F aktinnak nevezzük. Az F aktinra még egy hosszú, vékony ún. tropomyosin molekula tekeredik, melyhez 40 nm-ként egy-egy globuláris troponin molekula kapcsolódik.

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

A myosin filamentumok az A csík teljes hosszát átérlik. Ott, ahol a myosin és az aktin filamentumok együtt vannak jelen, az az A csík, ez sötétebb. Az A csík közepén csak myosin filamentumok vannak, s ez a darab adja a kissé világosabb H csíkot. A myosin lánc közepén megvastagszik, ez az M csík.

Az izom összehúzódását a rostot beidegző idegsejt axonjának végbunkóiból felszabaduló acetilcholin (ACh) indítja a postsynapticus membrán transmitter-függő ioncsatornáit megnyitja és  $\text{Na}^+$  áramlik az izomrost plasmájába akciós potenciált generálva.

Az akciós potenciál az izomrost membránján terjed tovább, majd a T-tubulusokhoz jut el. A T-tubulusokban terjedő akciós potenciál az L-tubulusokra terjed át. A két tubulus membránja olyan közel van egymáshoz, hogy az akciós potenciál „átugrik” egyikről a másikra. A tubulusokból felszabadul a  $\text{Ca}^{2+}$ , és beáramlik a sarcoplasmába.

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

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

Ez a folyamat mindaddig fenntartható, amíg folyamatosan rendelkezésre állnak a  $\text{Ca}^{2+}$  ionok, és van ATP bontás. Ilyen módon válik a kémiai kötésben tárolt energiából mechanikai és hőenergia. Az ATP bontásakor felszabaduló energia kb. 60%-a hővé alakul az izomműködés során.

A maximális összehúzódás a két I-csík találkozásáig tart, az izom maximális nyújtása akkor jön létre, amikor az utolsó myosin-fej kapcsolata az utolsó aktin molekulával kialakul. További nyújtás az izom szakadásához vezet. Az akciós potenciál hatásának megszűnésével a  $\text{Ca}^{2+}$  ion aktív transzport segítségével a cytoplasmából a sarcoplasmaticus reticulumba pumpálódik vissza. Ha a sarcoplasmában a  $\text{Ca}^{2+}$ -ion koncentrációja alacsony, a troponin-tropomyosin molekula újra elfedi az aktin kötőhelyeket, izommozgás ekkor nem lehetséges.

A kontrakciós folyamat energiaellátását részben az ATP molekula hasadásából származó energia részben a kreatin-foszfát biztosítja. Az izom további működtetéséhez már egyéb energiaforrásokra is szükség van. Ezek között a legfontosabb a glükóz, ami bomlásával (glikolízis) szolgáltatja az energiát.

Fontos az izomszövet oxigén-ellátottsága. Amennyiben nincs elegendő  $\text{O}_2$  a glükóz bontása során keletkező piroszőlősavból tejsav keletkezik. A keletkezett tejsav a májba kerülve köztes termékek képződésén keresztül újra felhasználódik. (intermedier anyagcsere, glükoneogenezis).

### **Izomrostok típusai**

Bár a harántcsíkolt izom építőkövei minden esetben az aktin és a myosin, különbségeket tehetünk a különböző izmokat felépítő rostok között. Régen ezeket vörös és fehér rost névvel illették. Ma már tudjuk, hogy ennél összetettebb a rostok működése és kategorizálása is. Alapvető különbség mutatkozott a myosin ATP-áz működésében. A nagy ATP-bontó kapacitású, savas pH mellett inaktívuló rostokat gyors rángású rostoknak nevezték, míg az alacsonyabb ATPáz aktivitású, savas pH-nál stabilabbak a lassú rángású rostok. A két rost közötti különbség az akciós potenciált követő összehúzódás sebessége. A gyors rángású rostok adott impulzusra nagy sebességgel húzódnak össze, míg a lassú rángású rostok összehúzódási sebessége lényegesen kisebb.

**Szívizom.** A harántcsíkolt izomszövet egy másik formája. Morphologiai egysége az elágazó szívizomsejt, melynek egy centrális helyzetű sejtmagja van. A szívizomsejtek egymással kapcsolatban vannak, ez a kapcsolat a fénymikroszkóppal látható Eberth-féle vonal. Myofibrillumai harántcsíkolttságot mutatnak. Az egyéb sejszervecskék azonosak a vázizomszövetnél megfigyelttel. Ez a sejtfelépítés a szívizom legtöbb sejtjére igaz, melyek feladata az összehúzódás és elernyedés. Ezért szokták munkaizomzatnak is nevezni.

Emellett a szívizomzatban található speciális ún. ingerületképző és vezető szívizomsejt csoportok, ami ugyancsak elágazó, harántcsíkoltat mutató izomsejtekből áll. (Részletesen ld. Keringési rendszer).

#### 4./ IDEGSZÖVET

Az idegrendszert építi fel. A külső csiralevél, az ectoderma származéka. Felépítésében idegsejtek (neuronok) idegrostok, gliasejtek és gliarostok vesznek részt. A neuronok nyúlványos sejtek. A nyúlványok közül a rövid nyúlványok a dendritek, melyek nagyobb számban találhatók, míg az egy, hosszú nyúlvány a neurit vagy axon. A sejtnak a magot tartalmazó része a soma vagy perikaryon.

A differenciálódott idegsejt nem osztódik, mert sejtosztóközpontja (cytocentrum) hiányzik. A sejtmag mellett jól fejlett Golgi-apparátus, sima- és durva felszínű endoplasmaticus reticulum figyelhető meg. Ez utóbbi alkotja a fénymikroszkóposan is azonosított Nissl állományt, amit Lenhossék után tigroidnak is neveznek. A durva felszínű endoplasmaticus reticulum a dendritekbe is behatol, de az axonba nem. Továbbá a sejtplasmában szabad ribosomák, simafelszínű endoplasmaticus reticulum, mitochondrium, microtubulusok és microfilamentumok is megfigyelhetők. A microfilamentumok főleg aktin monoméerekből polimerizálódnak. A monomerek a sejt plasmájában szintetizálódnak, s onnan transzportálódnak a felhasználás helyére, pl. az axonba, ahol polimerizálódva a filamentum pozitív pólusát adják. A filamentumok negatív része körül ribosomák helyezkednek el. Mivel a microfilamentumoknak és a tubulusoknak ez az elrendeződése az axonban nagyon szigorú és szabályos, ezért az axoplasmában nincsenek ribosomák, nincs fehérjeszintézis. A dendritekben a microtubulusok és filamentumok nem mutatnak ilyen szabályos elrendeződést (töltés szempontjából), ezért negatív töltésű részeik lehetnek a sejttesttől távolabb is. E körül ribosomák jelennek meg, s ezért van az, hogy a dendritekben fehérjeszintézis folyik. Az axon kilépése kúpszerű, és csupasz, azaz nem borítja izoláló burok. Az axonnak ez a része az ún. axon eredési kúp vagy axondomb. A neurit vége az ún. végfácska (telodendrion), ami kapcsolatot képes kialakítani más idegi vagy nem idegi eredetű sejttel.

A neuronokat morfológiai (alaktani) és működési szempontok alapján csoportosítjuk. A morfológiai felosztásnál azt figyeljük, hogy a sejtnak hány nyúlványa van. Ennek megfelelően beszélünk:

**Egynyúlványú (unipolaris) sejtekről.** Az egy nyúlvány az axon. Előfordul pl. a bélfonadékokban.

**Álegynyúlványú (pseudounipolaris) idegsejtek.** Ezek a sejtek tulajdonképpen kétnyúlványúak, de a nyúlványok eredő részei összeolvadtak. Ezek az idegsejtek általában érzősejtek. Megtalálhatók pl. a csigolyaközti dúcokban.

**Kétnyúlványú (bipolaris) idegsejtek.** Az idegsejttest két oldaláról lépnek ki a nyúlványok, melyek közül az egyik a dendrit, a másik az axon. Előfordulnak pl. a VIII. agyideg mindkét dúcában.

**Soknyúlványú (multipolaris) sejtek.** Itt a rövid nyúlványok, dendritek száma több, de axon csak egy van. Ilyen multipolaris idegsejt pl. a kisagyi Purkinje sejtje. Az idegsejtek működés szerint lehetnek érző (sensoros), összekötő (inter vagy asszociációs) és mozgató (effectoricus) neuronok.

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

A központi idegrendszer gliaelemei:

Az **ependyma sejtek** hengeres formájú sejtek. A sejtek alapjáról nyúlványok erednek, amelyek pl. az agy szövetközi állományába hatolnak. A központi idegrendszer üregeit (agykamrák, gerincvelői csatorna) bélelik.

Az **astrocyták** (másnéven macroglia) nyúlványos sejtek melyek hálózatot alkotnak. A nyúlványok száma, hossza és azok elágazódása alapján csoportosíthatók. Így elkülönítünk plasmás és rostos astrocytákat. Az előző sejtek kevés, vastag nyúlvánnyal rendelkeznek, s ezek elágazódás nélkül, viszonylag hosszan követhetők, míg az utóbbi sejtek vékony nyúlvánnyal rendelkeznek, melyek az eredés után hamarosan elágazódnak. Míg az idegrendszer szürke állományában inkább a plasmás, addig a fehérállományában a rostos formájuk található. Az astrogliák végtalpai veszik körül az agyi kapillárisokat, megalkotva a vér-agy-gát lényeges elemét.

**Microgliák** közé soroljuk az oligodendroglia és a mesoglia sejteket. Oligodendrogliasejtek. Kisméretű viszonylag kevés számú nyúlvánnyal rendelkeznek. A központi idegrendszer fehérállományában található csak myelin hüvelyes idegrostok myelin burkát hozzák létre (ld. Idegrostok).

Mesoglia. Mesodermális eredetű. A sejtek kisméretűek, 2-3 nyúlvánnyal rendelkeznek. Idegen anyagok bekebelezésére képesek.

A perifériás idegrendszer gliaelemei:

**Schwann-sejtek**. A perifériás idegek rostjai körüli szigetelő burok kialakításában vesznek részt.

**Satellita sejtek**. Érző és vegetatív dúcokban a neuronok perikarionjait körülveve azokat valószínűleg izolálják és anyagcseréjükben is szerepet játszanak.

Idegrostok

Mind a központi, mind a perifériás idegrendszerben a neuritek egy része körül a gliasejt által képezett hüvely alakul ki. A neuritet, és az azt körülvevő hüvelyt együttesen idegrostnak nevezzük. A központi idegrendszerben az oligodendroglia-sejtek, a perifériás idegrendszerben a Schwann-sejtek hozzák létre ezt a hüvelyt. Csak a legvékonyabb neuritek csupaszok, valamint minden axon eredési és végződési szakaszai. Ebben az esetben az axonok közvetlenül érintkeznek a sejt közötti folyadéktérrel.

A hüvellyel borított axonok három csoportba sorolhatók:

1./ **Schwann-sejtes (Remak-féle) rostok**. A vegetatív idegrostok tartoznak ide. Általában vékonyabb axon csoport (5-15 axon) ágyazódhat egy Schwann-sejtbe úgy, hogy a neuritek a Schwann-sejt hártáját a fejlődése során maguk előtt tolják, és egy kissé behorpasztják azt, kialakítva a mesaxont. Egy neuritet egy Schwann-sejt mintegy 250 µm hosszúságban vesz körül. Ezután egy másik Schwann-sejt alakítja ki a szigetelő mesaxont.

2./ **Schwann-myelin hüvelyes rostok**. A perifériás idegrostok nagy része tartozik ide. Minden axon külön Schwann-sejtbe ágyazódik, a beágyazódás után a Schwann-sejtek rotáló mozgásba kezdenek a neurit körül. Ennek az lesz a következménye, hogy a Schwann-sejt membránja, illetve az egész sejt fokozatosan felcsavarodik az axon körül. A felcsavarodó Schwann-sejt membránok közötti plasmába egy speciális lipid természetű anyag a myelin rakódik le.

Egy-egy Schwann-sejt az axonnak mintegy 250 µm hosszú szakaszát veszi körül. Ahogy véget ér a Schwann-sejt a velőshüvely megszűnik, majd egy újabb Schwann-sejt képezi a következő darabon a velőshüvelyt. A két Schwann-sejt között az axonnak egy-egy velőshüvely nélküli szakasza látható. Ez a Ranvier-féle befűződés. Ezen a területen a myelin hüvely megszakadása előtt a membránkettőzetek kissé eltávolodnak egymástól, így keletkezik az ún. hajfonat-szerű struktúra. A Ranvier-féle befűzések egymástól való távolsága az axon és a myelin hüvely vastagságától függ. Minél vastagabb az axon annál távolabb vannak a befűzések. A velőshüvely külső felszínén igen vékony plasmaszegély és sejt hártya látható. Ezt a plasmaszegélyt régen neurilemmának nevezték.

A Ranvier-féle befűzésekénél az axon egy rövid szakasza csupasz. A terjedő ingerületi állapot esetében lezajló ionvándorlások csak itt folynak le; tehát az ingerület

voltaképpen ugrásszerűen halad az egyik Ranvier-befűződéstől a másikig. (Részletesen ld. a Sejt felépítése és működése c. részben).

3./ **Csak velőhüvelyű (myelin hüvelyes) rostok** a központi idegrendszer fehérállományában találhatók. Az axon körül a myelin hüvelyt az ún. oligodendroglia sejtek feltekeredett nyúlványai képezik. Egy oligodendroglia sejt minden egyes nyúlványa más és más axonon képezi a szigetelő réteget, s így igaz, hogy egy axon körül több oligodendroglia sejt nyúlványa alakít ki szigetelő burkot.

Az idegrostok között vannak gyorsan vezető, myelin hüvelyes és lassan vezető myelin hüvely nélküli rostok. Az idegrost vastagsága és vezetési sebessége alapján elkülöníthetünk.

- 1./ vastag, myelin hüvelyes ún. A-rostokat,
- 2./ vékony, myelin hüvelyes lassúvezetésű ún. B-rostokat,
- 3./ lassúvezetésű, myelin hüvely nélküli ún. C-rostokat.

#### Idegvégződés

Az idegvégződés terminális és interneuronális idegvégződés lehetnek. A terminális idegvégződés a továbbiakban annak alapján csoportosíthatók, hogy milyen szövetben találhatók. Így ismerünk hám-, kötő- és az izomszövetben előforduló idegvégződéseket. Az interneuronális idegvégződés magában az idegszövetben találhatók.

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

A hámszövet idegvégződéseit intraepitheliális idegvégződésnek is nevezik. Egy és többretegű hámokban is megtalálhatók, melyek lehetnek intraepitheliális szabad és intraepitheliális ideg végtestek.

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

Intraepitheliális ideg végtest a Merkel-féle test. A hámban futó csupasz rost egy hámsejtet csészeszerűen vesz körül. Ez a hámsejt és az idegrost csésze formációja együtt adják a Merkel-féle testet, ami nyomás és rezgő mozgásra érzékeny receptor.

A kötőszövet idegvégződése is lehetnek szabad idegvégződéseket és idegvégtesteket. A szabad idegvégződés az ún. fa-alakú elágazódások, a szabad gomolyok, ínorsó.

A fa-alakú elágazódás főleg a lazarostos kötőszövetben található, ahol a csupasz rost többszörösen elágazódhat. Nyomásérző receptor pl. aorta, arteria carotis falában.

Az érrendszer specifikus kémiai receptorai (a vér venosításának érzékelése) a gomolyok. Pl. a glomus caroticumban a kromaffin sejteket körülvevő csupasz rostok.

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

A kötőszövet idegvégtestei közül a legegyszerűbb a Krause-féle végtest. A végtestben a velőhüvelyét vesztett idegrostot kötőszöveti rostokból felépülő lemezek veszik körül. Hidegérző receptornak tartják.

Golgi-Mazzoni féle végtestknél a kötőszövetes tokon belül több csupasz rost tekeredik. A nemiszervek bőrének irharétegében találhatók.

Meissner-féle ideg végtest esetében a kötőszövetes tokban a csupasz rostok mellett tapintósejtek is megtalálhatók. Ugyancsak a bőr irha rétegében fordul elő. Tapintó és nyomásérző receptor.

Vater-Pacini-féle ideg végtesteknél a kötőszövetes tok lemezei egymásra rétegződnek. Nyomásra és vibrációra érzékeny receptorok.

Az izomszövet idegvégződései közül érző végtest csak a harántcsíktal vázizomszövetben található. Ez az ún. izomorsó, ami az izmok kontrakciós állapotát regisztrálja. Egy kötőszövetes tok határol el néhány izomrostot ezek az ún. intrafusális rostoktól, szemben a tokon kívüli extrafusális rostokkal. Az intrafusális izomrostokra egy vastag annulospirális rost tekeredik, ami az izomrost passzív nyújtását érzékeli. Az intrafusális rostok két végén vékonyabb rostok egy virágfüzér-formát képeznek, ezek az izomrost kontrakciós állapotát érzékelik. A kétféle idegvégződést kialakító idegrostok ingerületvezetése eltérő. A vastagabb rostok gyorsabban vezetik az ingerületet, mint a vékonyabbak, s így a virágfüzér végződés ingerülete később érkezik a gerincvelőbe. Ebből a gerincvelő, de leginkább a kisagy „kiértékeli” a tényleges feszülési állapotot, de ezen túl a feszülés irányát is.

Mint minden vázizomrostnak, így az intrafusális rostoknak is van motoros beidegzése.

A simaizomszövet motoros végződése a vegetatív alapfonadék. A Schwann-sejtes idegrostok fokozatosan elágazódnak a simaizomsejtek között (ld. Simaizomszövet).

Az idegszövet idegvégződése

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

Az elektromos synapsis olyan speciális kapcsolat, ahol az ingerületi hullám csaknem késés nélkül továbbítódik. Az elektromos ingerület átvitel helyén a sejthártyák szoros kapcsolatba kerülnek (gap junction vagy réskapcsolat) egymással. A két sejthártya között 2 nm a távolság, a synapsis szimmetrikus. Az ingerületvezetés kétirányú.

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

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

A nem konvencionális kémiai synapsis a vázizomszövet motoros végződése a mozgató véglemez. Itt a vázizomrostokhoz futó idegrost többszörösen elágazódik. Az idegrost az izomsejt felőli oldalán elveszti velőhüvelyét és a csupasz roston számos kiöblösödés formálódik. Ezek benyomulnak az izomsejt sarcolemmája által kialakított mélyedésekbe. Az idegrost membránja és a sarcolemma között mintegy 60 nm-es rés található (ld. Vázizomszövet). A kiszélesedő axonvégekben a vesiculák acetilcholint tartalmaznak.

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