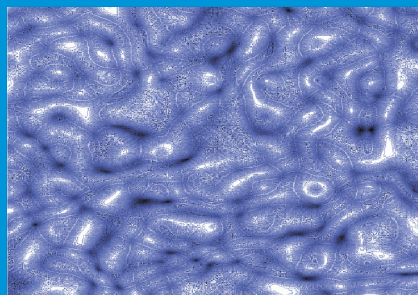
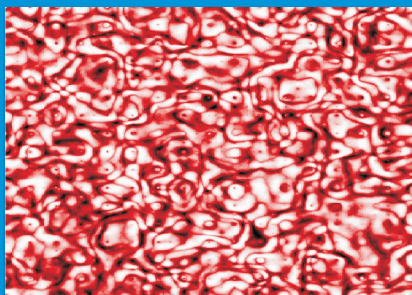


Wiktor Dzygóra

# PODSTAWY HISTOLOGII

Skrypt dla studentów licencjatów pielęgniarstwa,  
ratownictwa medycznego, fizjoterapii i wychowania fizycznego



## Część I Tkanki i ich charakterystyka



KARKONOSKA PAŃSTWOWA SZKOŁA WYŻSZA W JELENIJ GÓRZE



KARKONOSKA PAŃSTWOWA  
SZKOŁA WYŻSZA  
W JELENIEJ GÓRZE

**WIKTOR DŻYGÓRA**

# **PODSTAWY HISTOLOGII**

*Skrypt dla studentów licencjatów pielęgniarstwa,  
ratownictwa medycznego, fizjoterapii  
i wychowania fizycznego*

Część I

**Tkanki i ich charakterystyka**

Jelenia Góra 2015

RADA WYDAWNICZA  
KARKONOSKIEJ PAŃSTWOWEJ SZKOŁY WYŻSZEJ

Tomasz Winnicki (przewodniczący), Grażyna Baran, Izabella Błachno,  
Barbara Mączka, Kazimierz Stąpór, Józef Zaprucki

RECENZENCI

Zofia Ignasiak

PROJEKT OKŁADKI

Barbara Mączka

PRZYGOTOWANIE DO DRUKU

Barbara Mączka

DRUK I OPRAWA

ESUS Agencja Reklamowo-Wydawnicza  
ul. Południowa 54  
62-064 Plewiska

WYDAWCA

Karkonoska Państwowa Szkoła Wyższa  
w Jeleniej Górze  
ul. Lwówecka 18, 58-503 Jelenia Góra

ISBN 978-83-61955-39-9

Niniejsze wydawnictwo można nabyć w Bibliotece i Centrum  
Informacji Naukowej Karkonoskiej Państwowej Szkoły Wyższej  
w Jeleniej Górze, ul. Lwówecka 18, tel. 75 645 33 52

## Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Wprowadzenie do histologii .....	7
3. Klasyfikacja tkanek .....	12
3.1. Tkanka nabłonkowa .....	12
3.2. Tkanka łączna .....	14
3.3. Tkanka mięśniowa .....	15
3.4. Tkanka nerwowa .....	15
4. Ogólna charakterystyka tkanek .....	16
4.1. Tkanka nabłonkowa .....	16
4.1.1. Nabłonki pokrywające i wyścielające .....	18
4.1.2. Nabłonek gruczołowy .....	20
4.1.3. Nabłonek zmysłowy .....	23
4.2. Tkanka łączna .....	25
4.2.1. Tkanki łączne właściwe .....	28
4.2.2. Tkanki łączne podporowe/szkieletowe .....	32
a) Tkanka chrzęstna .....	32
b) Tkanka kostna i proces jej powstawania .....	35
c) Tkanka szkieletowa zęba .....	43
4.2.3. Krew i limfa jako tkanka płynna .....	45
a) Ogólna charakterystyka krwi.....	45
b) Składniki morfotyczne krwi .....	46

c) Powstawanie składników morfotycznych krwi (hemopoeza) .....	53
d) Główne etapy powstawania układu czerwonokrwinkowego – erytropoezy .....	54
e) Główne etapy powstawania układu ziarnistokrwinkowego – granulocytopenzy.....	56
f) Główne etapy powstawania układu monocytowo-makrofagowego.....	57
g) Główne etapy powstawania układu płytek krwi – megakariocytowego .....	58
h) Komórki linii limfocytarnej .....	59
i) Limfa/chłonka – rodzaje, skład i cyrkulacja .....	59
4.3. Tkanka mięśniowa .....	60
a) Tkanka mięśniowa gładka .....	61
b) Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa .....	62
c) Tkanka mięśniowa sercowa wraz z układem przewodzącym .....	67
4.4. Tkanka nerwowa .....	69
4.4.1. Ogólna charakterystyka tkanki nerwowej .....	69
4.4.2. Przewodzenie impulsów nerwowych .....	75
4.4.3. Budowa i funkcje tkanki glejowej .....	77
Literatura .....	79

# 1. Wstęp

**Histologia** jako dyscyplina naukowa pierwotnie zajmowała się jedynie **budową morfologiczną komórek, tkanek i narządów** w powiązaniu z ich **funkcjami**. Stanowiła więc uzupełnienie anatomii prawidłowej. Zastosowanie **nowoczesnych metod i technik badawczych** spowodowało niebywały przyrost informacji w zakresie **cytologii, cytogenetyki, biochemii, fizjologii i immunologii**. Dlatego też współczesna histologia stała się na wskroś dziedziną **interdyscyplinarną**, integrująca dorobek naukowy ostatnich lat z pogranicza różnych dyscyplin naukowych. Dobór adekwatnych **współczesnych treści** wraz z **ograniczeniem przyrostu objętości skryptu** stanowił nader istotny **problem** do rozwiązania, jaki stanął przed autorem.

W skrypcie zamieszczono starannie **wyselekcjonowane, niekiedy ujęte tabelarycznie zintegrowane treści**, które przybliżają studentowi występujące **zależności** pomiędzy **strukturą, organizacją budowy a funkcjami** komórek, tkanek i narządów, w powiązaniu z **osiągnięciami** dyscyplin pokrewnych. Wszelkie **terminy i pojęcia** są wyeksponowane (wytluszczone) i w pełni zdefiniowane. Treści możliwe do zróżnicowania zostały **skategoryzowane** i przedstawione w postaci adekwatnych **struktur graficznych** ułatwiających **zrozumienie** określonych procesów i zachodzących zjawisk, a tym samym **percepcję i retencję** wiedzy.

Opracowany skrypt, zawarte w nim wyselekcjonowane podstawowe treści i ich układ, jego struktura, wyartykułowane i wyjaśnione terminy, pojęcia czy też opisane procesy i zjawiska zachodzące w komórce, tkankach lub narządach oraz strona graficzna w postaci zamieszczonych schematów i tabel wskazują na jego wartość naukową i dydaktyczną.

Jest on wyjątkowo **przyjazny studentowi**, ułatwia **poznanie** i **rozumienie** określonych cech **budowy**, występujących **zależności**, **przebiegu procesów** i **zjawisk biologicznych**, sprzyjając tym samym **percepcji**, **retencji** i **trwałości** oraz **operatywności** nabywanej wiedzy. Ułatwia studentowi kształcenie, rozwijanie i doskonalenie takich **umiejętności intelektualnych**, jak: **analizowanie**, **porównywanie**, **interpretowanie**, **projektowanie**, **rozwiązywanie problemów**, **wnioskowanie** i in.

Niniejszy skrypt zorientowany jest na potrzeby studentów studiów licencyjnych w zakresie pielęgniarstwa, ratownictwa medycznego, fizjoterapii, wychowania fizycznego, jak i farmacji.

W skrypcie w stosownych częściach zamieszczonych treści wyartykułowano kolejne **numery rycin** wraz z ich **opisem**, ale **bez ilustracji**, które student będzie zmuszony odszukać w **atlasach histologicznych**, w tym m. in. w atlasie Sobotta „Histologia”. Kolorowy atlas cytologii i histologii człowieka. Tłumaczenie i opracowanie: Maciej Zabel.

Mam nadzieję, że ów skrypt spełni oczekiwania studentów kierunków przyrodniczych.

**Autor**

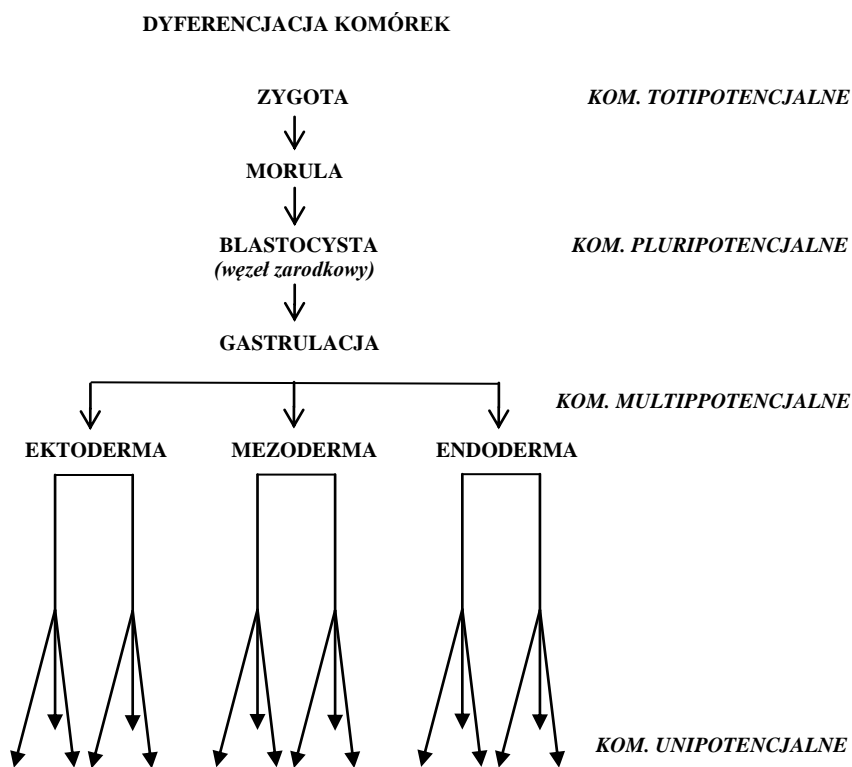
## 2. Wprowadzenie do histologii

W procesie **embriogenezy**, czyli rozwoju zarodkowego zachodzą intensywne **podziały mitotyczne**, zwiększające ilość materiału komórkowego, który w dalszym etapie podlega morfologiczno-fizjologicznemu **różnicowaniu się** (differentiatio). Wraz z różnicowaniem się komórek **zawężają się** ich potencjalne możliwości przekształcania się w większą ilość różnych typów komórek.

Największą potencjalnością odznacza się komórka powstała w procesie zapłodnienia – **zygota** lub komórki **stadium moruli** na etapie **kilku blastomerów**, bowiem z nich w dalszym rozwoju wywodzą się wszystkie rodzaje komórek całego organizmu. Komórki wykazujące tego typu właściwość nazywamy **komórkami totipotencjalnymi**. Zygota jest więc zawsze komórką totipotencjalną. Równoległe z procesem różnicowania się ewidentnie zmniejsza się ich potencjalność. I tak, tzw. **komórki pluripotencjalne**, tj. **komórki węzła zarodkowego blastocysty** mogą różnicować się w komórki **trzech** listków zarodkowych, tj. ekto-, endo- i mezodermy. **Komórki multipotencjalne** inicjują rozwój komórek wywodzących się z **jednego** listka zarodkowego. Mogą więc zainicjować rozwój każdego typu komórek różnicujących się czy to z ekto-, endo-, czy mezodermy. Wykazują one mniejszy zakres różnicowania się, np. z ektodermy powstają: neurocyty (neurony), komórki nabłonkowe, komórki gruczołowe, a mezo-



dermy – komórki mięśniowe, kostne, chrzęstne i inne. **Komórki unipotencjalne** to takie komórki, których rozwój zdeterminowany jest w kierunku tylko **jednego** typu komórek. Jeżeli np. w cytoplazmie komórek wywodzących się z mezodermy pojawiają się białka kurczliwe – aktyna, miozyna, czy troponina i inne, to możemy być pewni, że wykształcą się **komórka mięśniowa** (miocyt) [Ryc. 1].



Ryc. 1. Dyferencjacja komórek w początkowym etapie embriogenezy.

Komórki o **dużym potencjale różnicowania** się w inne typy komórek, jak ww. komórki totipotencjalne, czy pluripotencjalne nazywane są **komórkami macierzystymi**. Wzbudziły one – ze względu na możliwość praktycznego ich zastosowania – duże zainteresowanie współczesnych genetyków i biotechnologów, a także kontrowersje natury etyczno-moralnej.

Ze względu na pochodzenie wyróżnia się następujące **ludzkie komórki macierzyste**:

**a) embrionalne** (zarodkowe o charakterze toti- i pluripotencjalnym) – licznie występujące we wczesnych embrionach ludzkich (komórki stadium moruli, węzła zarodkowego blastocysty), łatwo dostępne, w przypadku klonowania zgodne immunologicznie z dawcą jądra, co umożliwia zastosowanie ich w celach terapeutycznych; można je otrzymać z embrionów uzyskiwanych metodą zapłodnienia *in vitro* i z embrionów uzyskiwanych metodą klonowania, co wywołuje współcześnie spory natury etyczno-moralnej i prawnej (ustanowione prawo nie pozwala na wykorzystywanie tego rodzaju komórek macierzystych do celów terapeutycznych),

**b) płodowe** (o charakterze multipotencjalnym) – otrzymuje się je z płodu, np. po **poronieniu samoistnym** oraz z **krwi pępowinowej**, podczas porodu oraz po porodzie, która znajduje się w naczyniach łożyska i łożyskowej części pępowiny. Wg ostatnich badań różnicują się one w komórki kościotwórcze (osteoblasty), komórki układu nerwowego, co budzi nadzieje na szersze ich zastosowanie w leczeniu chorób,

c) **somatyczne** – uzyskiwane z dorosłego organizmu ludzkiego w znacznie mniejszej liczbie jako **komórki unipotentne**, przekształcające się w jeden typ komórki narządu z którego się wywodzą lub jeśli **multipotentne**, to ograniczone do wytwarzania niewielu typów komórek.

Nie zróżnicowane **komórki macierzyste** pod wpływem określonych **czynników/bodźców** można przekształcać w **różne typy/rodzaje komórek** organizmu, np. **komórki nerwowe**, **komórki morfotyczne krwi**, **komórki mięśniowe mięśnia sercowego**, **komórki nabłonkowe** i inne. Niniejsze właściwości komórek macierzystych wraz z łatwością ich namnażania stały się głównym przedmiotem badań.

Już dziś na dużą skalę stosuje się komórki macierzyste w leczeniu niektórych **chorób krwi** metodą **autoprzeszczepu namnożonych komórek macierzystych** pobranych ze **szpiku kostnego** dorosłego pacjenta. Istnieją duże perspektywy związane z zastosowaniem komórek macierzystych – poza komórkami macierzystymi embrionalnego pochodzenia – w leczeniu różnego rodzaju chorób, począwszy od nowotworów, poprzez stwardnienie rozsiane mózgu, demencję, chorobę Parkinsona i inne.

Komórki macierzyste pochodzenia **embrionalnego** stanowią istotę wszelkich sporów i kontrowersji **moralno-etycznych** i **prawnych** we współczesnej genetyce i biologii.

Zróżnicowanie morfologiczne i wynikająca z niego odmienność fizjologiczna komórek, obejmująca całe ich zespoły, prowadzi w efekcie do wytworzenia się określonych rodzajów tkanek (histologia – nauka o tkankach).

Tkanką nazywamy **zespół komórek**, charakteryzujących się wspólnym **pochodzeniem**, podobną **budową** i przystosowanych

do pełnienia tej samej **funkcji** (np. tkanka nerwowa, kostna, mięśniowa i in.).

Proces powstawania, wyodrębniania się tkanek nosi nazwę **histogenezy**. Połączenie się kilku współdziałających z sobą tkanek prowadzi do powstania **narządu** (organu) przystosowanego do pełnienia określonej funkcji (np. nerka, serce, żołądek i in.). Proces powstawania narządów nosi nazwę **organogenezy**. Zespół narządów współdziałających (synergizm) w spełnianiu wspólnej funkcji nazywamy **układem** (np. układ krwionośny, pokarmowy i in.)

### 3. Klasyfikacja tkanek

W organizmie ssaków, w tym człowieka wyróżniamy pięć podstawowych rodzajów tkanek, tj. **tkankę nabłonkową, tkankę łączną, tkankę mięśniową, tkankę nerwową** oraz **tkankę płynną – krew i limfę**.

#### 3.1. Tkanka nabłonkowa

– ze względu na **funkcję** dzielimy ją na:

**1. nabłonek pokrywający i wyścielający** (powierzchniowy), który z uwagi na:

**A/ kształt** komórek dzielimy na:

- a) **płaski**
- b) **sześcienny** (kostkowy)
- c) **cyldryczny** (walcowaty)

**B/ liczbę warstw** komórek dzielimy na:

• **nabłonek jednowarstwowy**

- a) **płaski** – powierzchnia błon surowiczych (otrzewna, opłucna, osierdzie), śródbłonek naczyń krwionośnych..
- b) **sześcienny** – odcinki wydzielnicze i przewody gruczołów, pęcherzyki tarczycy, kanaliki nerki, na soczewce, na jajniku...
- c) **cyldryczny** – przewód pokarmowy, przewody gruczołów, jajowód, macica, pęcherzyk żółciowy...
- d) **wielorzędowy migawkowy** – drogi oddechowe: jama nosowa, górna część gardła, krtań, tchawica, oskrzela i niektóre oskrzeliki,

• **nabłonek wielowarstwowy**

- a) **plaski** – *nierogowaciejący*: jama ustna, część środkowa i dolna gardła, przełyk, pochwa...,  
– *rogowaciejący*: powierzchnia skóry (naskórek), przedsionek nosa...,
- b) **sześcienny** – przewody wyprowadzające niektórych gruczołów,
- c) **cyldryczny** – załamek spojówki, przewód nosowo-łzowy, część jamista cewki moczowej męskiej...,
- d) **prześciowy** – drogi moczowe.

2. **nabłonek gruczołowy** (wydzielniczy) – buduje **gruczoły**, które ze względu na kryterium klasyfikacji – sposób wydzielania sekretu (wydzieliny) – dzielimy na:

**A/ gruczoły zewnątrzwydzielnicze** (egzokrynowe) – wydzielinę odprowadzają bezpośrednio lub za pośrednictwem przewodów wyprowadzających. Ze względu na ich budowę i związek z nabłonkiem pokrywającym dzielimy je na:

- a) **gruczoły jednokomórkowe** – komórki kubkowe wydzielające śluz (drogi oddechowe, przewód pokarmowy),
- b) **gruczoły wielokomórkowe wewnątrz nabłonkowe** – żołądek, kanaliki odprowadzające jądra...,
- c) **gruczoły wielokomórkowe poza nabłonkowe** – cewkowe, pęcherzykowe i cewkowo-pęcherzykowe o różnym stopniu złożoności, np. gruczoły łojowe, jamy ustnej, żołądka, ślinianki, trzustka...,

**B/ wewnątrzwydzielnicze** (endokrynowe/dokrewne) – nie posiadają przewodów wyprowadzających, ich wydzielina dostaje się bezpośrednio do krwi, np. szyszynka, przysadka mózgowa, tarczyca, nadnercza i in.,

3. **nabłonek zmysłowy** (receptorowy) – nabłonek węchowy, kubki smakowe, ucho wewnętrzne, siatkówka oka.

### 3.2. Tkanka łączna

Do tkanek łącznych zaliczamy szereg tkanek wybitnie zróżnicowanych pod względem budowy i funkcji, zbudowanych z dwu podstawowych składników: **komórek** i **substancji/istoty międzykomórkowej**. Wzajemne ich proporcje stanowią podstawę klasyfikacji tkanek łącznych, jak następuje:

1. **tkanki łączne właściwe** – w odróżnieniu od tkanek oporowych wykazują wysoki metabolizm, duże zróżnicowanie komórkowe, wybitne własności regeneracyjne oraz brak substancji twardych w istocie międzykomórkowej. Należą do nich następujące tkanki:
  - a) **tkanka łączna galaretowata** – zarodek, płód, pępowina,
  - b) **tkanka łączna siateczkowata** – grudki chłonne, węzły chłonne, śledziona, szpik kostny..,
  - c) **tkanka łączna mezoglejowa** – ośrodkowy układ nerwowy,
  - d) **tkanka łączna włóknista:**
    - **luźna** (błoniasta, półkowa i beleczkowata) – błony surowicze, skóra właściwa, pajęczynówka, wszystkie narządy,
    - **zbita nieupostaciowana** – skóra właściwa, drogi moczowe,
    - **zbita upostaciowana:**
      - **ścięgnista** – ścięgna, więzadła, rozciągna, powięzie,
      - **sprężysta** – ścięgna, więzadła żółte, ściany naczyń krwionośnych,
      - **splotowa** – skóra właściwa, okostna, chrzęstna, opona twarda, błona biaława jąder i jajników,
  - e) **tkanka łączna tłuszczowa** (żółta i brunatna) – utkanie podskórne, policzki, skroń, krezka, okolice nerek, nadnerczy i in.,

## 2. tkanki łączne podporowe:

### a) tkanka chrzęstna:

- **szklista** – powierzchnie stawowe, część chrzęstna żeber,
- **włóknista** – krążki międzykręgowe, spojenie łonowe...,
- **sprężysta** – nagłośnia, trąbka słuchowa, małżowina uszna...,

### b) tkanka kostna – zasadniczy składnik szkieletu,

### c) tkanka szkieletowa zęba (zębina).

## 3. krew i limfa – tkanka płynna zbudowana z **osocza** i składników **upostaciowanych** (morfotycznych).

### 3.3. Tkanka mięśniowa

– ze względu na kryterium klasyfikacji – budowę i funkcję dzielimy na:

#### a) **gładką** – ściany naczyń krwionośnych, przewodu pokarmowego...,

#### b) **poprzecznie prążkowaną:**

- **szkieletową** – dowolna, buduje mięśnie szkieletowe,
- **sercową** – mimowolna, buduje serce,
- **układu przewodzącego serca** – węzeł zatokowy, węzeł przedsionkowo-komorowy, pęczek Palladino-Hisa z odgałęzieniami.

### 3.4. Tkanka nerwowa

– zbudowana z **komórek nerwowych** (neurocytów = neuronów) i włókien oraz swoistej tkanki łącznej – **tkanki glistkowej**.



## 4. Ogólna charakterystyka tkanek

### 4.1. Tkanka nabłonkowa

Tkanka nabłonkowa zbudowana jest z **komórek nabłonkowych** (*epitheliocyti*) ściśle przylegających do siebie. Jest więc tkanką zwartą i ubogą w istotę międzykomórkową, która występuje jedynie w postaci **blaszki podstawowej**. Komórki nabłonkowe w większości charakteryzuje polaryzacja (biegunowość). Można w nich niekiedy wyróżnić powierzchnię **szczytową**, **boczną** i **przypodstawną**. Ich błony komórkowe różnią się rozmieszczeniem **receptorów**, **białek transportowych**, jak i cząsteczek **adhezyjnych**. Nabłonek nie posiada **naczyń krwionośnych**, a odżywia się za pośrednictwem tkanek, które pokrywa. Posiada duże zdolności **regeneracji**, co jest bardzo ważne ze względu na częstość urazów, będących wrotami infekcyjnymi. Kształt (morfologia) i rodzaj komórek nabłonkowych jest wyrazem ich adaptacji do pełnionych funkcji. Pokrywa ona **skórę**, **błony śluzowe**, wyściela **jamy ciała** (błony surowicze), **przewody** oraz **naczynia krwionośne i limfatyczne**, tworząc tzw. **śródbłonek** (*endothelium*). Wykształca się ze wszystkich listków zarodkowych, łącznie z **mezenchymą**, która powstaje z **mezodermalnych komórek gwiaździstych**.

Nabłonki pełnią następujące funkcje:

- **ochronną** – stanowią one barierę między środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym, a także między narządami,

chronią głębiej położone tkanki przed czynnikami mechanicznymi, chemicznymi i fizycznymi, a także biologicznymi (bakterie, wirusy...),

- **wydzielniczą/sekrecyjną** – niektóre z nich przystosowane są do funkcji **wydzielniczej** (sekrecyjnej), produkują i wydzielają różne substancje (gruczoły, nabłonek jelita...),
- **resorpcyjną** – wchłaniają różne substancje (nabłonek jelitowy, nabłonek kanalików nerkowych...),
- **transportową** – regulują transport różnych substancji (śródbłonek naczyń włosowatych, nabłonek pęcherzyków płucnych, nabłonek jelitowy...),
- **zmysłową** – przystosowane do odbioru (repcji) bodźców (siatkówka, nabłonek węchowy..).

Podstawowym kryterium klasyfikacji tkanek nabłonkowych jest ich **funkcja** jaką pełnią w ustroju. Dlatego też wyróżnia się **tkankę pokrywającą, gruczołową i zmysłową**. Biorąc pod uwagę **kształt** komórek nabłonkowych, dzielimy je na **płaskie, sześciennie i cylindryczne** (walcowate), natomiast ze względu na liczbę warstw lub rzędów komórek na nabłonki **jedno-** lub **wielowarstwowe** oraz **jedno-** lub **wielorzędowe**.

Nabłonek może być zbudowany z dwu i więcej warstw, a o jego klasyfikacji decyduje kształt warstwy wolnej – powierzchniowej.

Odmianą nabłonka jednowarstwowego jest nabłonek **wielorzędowy/wielozeregowy**, np. **migawkowy**, którego **jądra** komórek położone są na różnych poziomach, a **podstawy** wszystkich komórek dochodzą do powierzchni wewnętrznej. Jednakże nie wszystkie komórki osiągają powierzchnię wolną nabłonka. Komórki nabłonka niejednokrotnie opatrzone są w utwory

dodatkowe pełniące określone funkcje, np. **rąbek oskórkowy**, **rąbek szczoteczkowy**, **migawki** i in.

#### 4.1.1. Nabłonki pokrywające i wyścielające

**Nabłonek jednowarstwowy płaski** zbudowany jest z **komórek spłaszczonych, wielobocznych**, z kulistym centralnym jądrem.

Występowanie: pokrywa **blony surowicze** (otrzewna, opłucna, osierdzie), wyściela **naczynia krwionośne i chłonne** (śródbłonek), tylną powierzchnię **rogówki**, **ucho środkowe** i **wewnętrzne...**

**Nabłonek jednowarstwowy sześcienny** składa się z komórek o podobnych wymiarach wysokości i średnicy.

Występowanie: wydzielnicze odcinki i niektóre **przewody odprowadzające gruczołów**, w **pęcherzykach tarczycy**, **kanalikach nerkowych**, **naczyniówce o.u.n.**, przednia powierzchnia **soczewki**, na powierzchni **jajnika** i w **uchu środkowym**.

**Nabłonek jednowarstwowy cylindryczny** zbudowany jest z komórek w kształcie graniastosłupów, których wysokość jest kilkakrotnie większa od ich średnicy.

Występowanie: wyściela **przewód pokarmowy** od żołądka do odbytnicy, w dużych **przewodach odprowadzających gruczołów**, w **jajowodzie**, na **blonie śluzowej macicy**, w **pęcherzyku żółciowym**.

**Nabłonek wielorzędowy migawkowy** składa się z jednej warstwy komórek tworzących dwa rzędy, tj. komórek, których przeciwległe ścianami uczestniczą w wytworzeniu powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej (zwykle walcowate) oraz komórek,

które biorą udział w tworzeniu tylko powierzchni wewnętrznej (komórki klinowate, zwane zastępczymi). Część komórek walcowatych przekształca się w gruczołowe **komórki kubkowe**, gdy pozostałe komórki zaopatrzone są często w **rzęski**.

Występowanie: w **drogach oddechowych** – jama nosowa, górna część gardła, krtań, tchawica, oskrzela i niektóre oskrzeliki.

**Nabłonek wielowarstwowy płaski** jest typowym **nabłonkiem ochronnym**, zbudowanym z kilkunastu warstw zróżnicowanych morfologicznie komórek.

Wśród nich – idąc od warstwy najgłębiej położonej nabłonka rogowaciejącego skóry – wyróżniamy:

- **komórki walcowate**, rzadziej sześciennie, tworzące warstwę **podstawną**,
- **komórki maczugowate**, z wypustką, tworzące drugą warstwę komórek,
- **komórki skrzydłowate**, z 2-3 wypustkami cytoplazmatycznymi, tworzące od jednej do kilku warstw komórek,
- **komórki wieloboczne**, tworzące kilka następnych warstw komórek,
- **komórki płaskie** (keratynocyty), najliczniej występujące, tworzące kilka warstw komórek spośród których wierzchnie ulegają **rogowaceni** (keratynizacji), a następnie **złuszczeniu**.

Występowanie: nabłonek **rogowaciejący**: powierzchnia **skóry** (naskórek); nabłonek **nirogowaciejący**: **jama ustna**, odcinek środkowy i dolny **gardła**, **przelyk**, przednia powierzchnia **rogowki** i w **pochwie**.

**Nabłonek wielowarstwowy sześcienny** różni się od poprzedniego warstwą zewnętrzną złożoną z komórek sześciennych.

Występowanie: **przewody wyprowadzające** niektórych gruczołów.

**Nabłonek wielowarstwowy cylindryczny** składa się z kilku – kilkunastu warstw, przy czym komórki u podstawy są sześciennie, środkowej warstwy – wieloboczne, wierzchniej – w postaci graniastosłupów.

Występowanie: **załamek spojówki, woreczek łzowy, przewody nosowo-łzowe**, część błoniasta i jamista **cewki moczowej**.

**Nabłonek wielowarstwowy przejściowy** zbudowany jest z 3-5 warstw komórek. Najgłębiej położone mają kształt **walcowaty**, warstwy środkowej – **wieloboczny** i wierzchniej – **sześcienny**. Szczytowa błona komórek powierzchniowych chroni nabłonek i położone głębiej tkanki przed bezpośrednim oddziaływaniem kwaśnego i hiperosmotycznego moczu.

Występowanie: **moczowody** – drogi wyprowadzające mocz. [patrz: Ilustracja tkanek nabłonkowych, w: *Histologia: kolorowy atlas cytologii i histologii człowieka*, Johannes Sobotta; tł. Maciej Zabel].

#### 4.1.2. Nabłonek gruczolowy

Nabłonek gruczolowy, jego komórki (sekretocyty) przystosowane są do wytwarzania wydzieliny (sekrety), która może być pochodzenia plazmatycznego lub jądrowego. Wyróżnia się trzy sposoby wydzielania:

- a) **wydzielanie merokrynowe** (cząsteczkowe) – uwalnianie wydzieliny odbywa się przez błonę komórkową, bez uszkodzenia komórki,

**b) wydzielanie apokrynowe** (szczytowe) – nagromadzona wydzielina w szczytowej części sekretocytu ulega oderwaniu (dekapitacji),

**c) wydzielanie holokrynowe** (całkowite) – cała komórka przekształca się w wydzielinę, odłączając się od nabłonka gruczołowego, np. gruczoł łojowy.

W zależności od sposobu wyprowadzania wydzieliny wyróżnia się dwa rodzaje gruczołów:

**a) gruczoły zewnątrzwydzielnicze** (egzokrynowe) – wydzielina wydostaje się na zewnątrz gruczołu poprzez specjalne przewody wyprowadzające, np. ślinianki,

**b) gruczoły wewnątrzwydzielnicze** (endokrynowe) – nie dysponują przewodami wyprowadzającymi, dlatego też wydzielina bezpośrednio dostaje się do naczyń krwionośnych, chłonnych, komórek nerwowych, np. gruczoły dokrewne.

Wydzielanie zewnętrzne nosi nazwę **sekrecji**, natomiast wydzielanie wewnętrzne – **inkrecji**. Niektóre wydzieliny gruczołów egzokrynowych nie są zużywane przez organizm i te nazywamy **wydalinami** (ekskretami), np. mocz, pot.

### **Gruczoły egzokrynowe.**

**Gruczoły jednokomórkowe** – typowym gruczołem jednokomórkowym jest **komórka kubkowa** (mukocyt), wytwarzająca i wydzielająca śluz. Ma ona kształt odwróconej butelki, która szyjką (nóżką cytoplazmatyczną) opiera się o błonę podstawną.

Występowanie: **nabłonek wielorzędowy migawkowy** dróg oddechowych, **nabłonek jednowarstwowy walcowaty** przewodu pokarmowego, **nabłonek przewodów odprowadzających** dużych gruczołów.

**Gruczoły wielokomórkowe wewnątrz nabłonkowe** – wykształcają się w nabłonku pokrywającym.

Występowanie: nabłonek części oddechowej nosa, nabłonek wielorzędowy migawkowy nagłośni, nabłonek kanalików odprowadzających jądra i nabłonek błony śluzowej żołądka.

**Gruczoły wielokomórkowe zewnątrz nabłonkowe** – zbudowane są z większej liczby komórek gruczołowych tworzących cewki, pęcherzyki lub cewko-pęcherzyki, leżące poza nabłonkiem pokrywającym. Wyróżnia się następujące gruczoły wielokomórkowe zewnątrz nabłonkowe:

- a) gruczoły pojedyncze/proste – składają się z jednej cewki, pęcherzyka lub cewko-pęcherzyka,
- b) gruczoły rozgałęzione – zbudowane są z kilku – kilkunastu cewek, pęcherzyków lub cewko-pęcherzyków,
- c) gruczoły złożone – powstają w wyniku połączenia licznych gruczołów rozgałęzionych, przy czym w ich budowie bierze udział tkanka łączna.

Występowanie: gruczoł potowy, gruczoły właściwe żołądka, małe gruczoły jamy ustnej, przełyku, gruczoły dwunastnicze, prostata, gruczoł mleczny, łzowy, wątroba, trzustka, ślinianki. [patrz: Typy budowy gruczołów egzokrynowych, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

### **Gruczoły endokrynowe.**

**Gruczoły endokrynowe**, nazywane są **zamkniętymi**, bowiem nie mają przewodów odprowadzających, łączących je z jamami ciała lub powierzchnią. Wydzielina tych gruczołów dociera za pośrednictwem układu krążenia do odległych części ustroju, wywierając działanie zwykle pobudzające. Dlatego też wydzieliny

gruczołów endokrynowych nazywamy **hormonami** (gr. *hormao* – pobudzam).

Narządy, tkanki i komórki na które oddziałują hormony nazywamy strukturami **docelowymi** (wrażliwymi). Wrażliwość na dany hormon zdeterminowana jest obecnością na powierzchni lub wewnątrz komórki specyficznej substancji – najczęściej białkowej – zwanej **receptorem**. Utworzenie kompleksu **hormon-receptor** inicjuje cały ciąg reakcji biochemicznych, stanowiących istotę tego działania. Za ich pośrednictwem dochodzi do wzrostu lub zahamowania aktywności enzymatycznej oraz otwarcia lub zamknięcia odpowiednich miejsc przejścia.

Część gruczołów tworzy narządy **zwarte**, do których należą: szyszynka, przysadka mózgowa, tarczyca, przytarczycy, nadnercza, ciała przyzwojowe współczulne i przywspółczulne.

Pozostałe gruczoły są **rozproszone** w większym lub mniejszym obszarze ustroju i należą do nich: wyspy trzustkowe, komórki śródmiąższowe gonad, komórki dokrewne przewodu pokarmowego, komórki neurosekrecyjne w różnych częściach układu nerwowego i inne.

Szczegółowe informacje o gruczołach endokrynowych zamieszczono w tomie II.

### 4.1.3. Nabłonek zmysłowy

Nabłonek zmysłowy występuje w narządach zmysłowych.

**Narząd powonienia** stanowi nabłonek węchowy wraz z receptorami w postaci **komórek nerwowo-zmysłowych węchowych**, znajdujący się na powierzchni małżowiny nosowej górnej.

**Narządem smaku** są **kubki smakowe** położone w grzbietowej części języka w brodawkach okolonych, grzybowatych



i liściastych. Kubki smakowe występują także na podniebieniu miękkim, na nagłośni i tylnej ścianie gardła. Receptorem bodźców w kubkach smakowych jest **pręcik smakowy**.

**Narząd wzroku** zaopatrzony jest m. in. w **siatkówkę**, której część wzrokowa posiadająca komórki światłoczułe, złożone z **komórek pręciko-** i **czopkonośnych**, przystosowanych do odbioru wrażeń świetlnych (natężenie światła i barwa).

**Narząd słuchu** (przedsionkowo-ślimakowy) przystosowany jest do odbioru wrażeń dźwiękowych i do określania położenia głowy w przestrzeni (narząd równowagi). W dolnej ścianie przewodu ślimakowego, tzw. blaszce podstawnej znajduje się **narząd spiralny**, zbudowany z około 15 000 komórek zmysłowych włosowatych, zwanych **rzęsatymi** (każda posiada ok. 20 włosków), które odbierają drgania spowodowane przez fale akustyczne. Woreczek i łagiewka błędnika błoniastego pokryte są **nabłonkiem nerwowym** (plamka woreczka i plamka łagiewki). Na włoskach komórek zmysłowych tego nabłonka leży **błona kamyczkowa** zawierająca kryształki węglanu i fosforanu wapnia, tzw. **statokonie**. Nabłonek plamki woreczka i łagiewki pod wpływem oddziaływających nań statokonii, w zależności od położenia głowy daje poczucie równowagi lub jej utraty, informuje o jej położeniu w przestrzeni [patrz: Nabłonki zmysłowe, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

## 4.2. Tkanka łączna

Tkanka łączna rozwijają się z **mezenchymy** wyodrębniającej się z mezodermy, natomiast w niektórych częściach głowy i szyi – z **neuroektodermy**. Należy ona do najbardziej rozpowszechnionych tkanek organizmu, bowiem występuje we wszystkich narządach, w tym także w ośrodkowym układzie nerwowym (opony mózgowo-rdzeniowe).

Tkanka łączna pełni następujące funkcje w organizmie:

- łączy, utrzymuje i stanowi podparcie dla innych tkanek,
- uczestniczy w transporcie substancji odżywczych, tlenu, metabolitów i produktów metabolizmu,
- odpowiada za wrodzone i nabyte procesy obronne,
- reguluje i koordynuje czynności komórek, tkanek i narządów poprzez produkcję i wydzielanie substancji biologicznie czynnych,
- bioakumuluje substancje zapasowe (np. lipidy) i uczestniczy w ich metabolizmie.

Zbudowana jest z dwóch składników: **komórek** i **istoty międzkomórkowej**, złożonej z substancji **podstawowej** i trzech rodzajów **włókien** w niej rozmieszczonych, tj. kolagenowych (klejodajnych), sprężystych (elastycznych) i siateczkowych (retikulowanych/kratkowych/srebrochłonnych).

**Włókna kolagenowe** – mają grubość od kilku do kilkunastu  $\mu\text{m}$ , występują w postaci **pęczków**, są odporne na rozciąganie i wytrzymałe na rozerwanie. Zbudowane są one z drobnych włókienek – **fibryli** o grubości od 20 – ponad 200 nm. Pod względem chemicznym zbudowane są z glikoproteidu – **kolagenu**, którego cząsteczki mają postać sztywnego pręta o długości ok. 280 nm

i grubości 1,5 nm. W skład kolagenu – poza innymi aminokwasami – wchodzi głównie **glicyna** (co trzeci aminokwas), w  $\frac{1}{4}$  **prolina** i **hydroksyprolina** oraz w znacznych ilościach **lizyna** i **hydroksylizyna**. Zależnie od struktury I-rzędowej łańcuchów polipeptydowych wyróżnia się 27 odmiennych genetycznie typów kolagenu. Do najbardziej rozpowszechnionych typów należą: **typ I** (90%) – obecny w kościach, zębinie, ścięgnach, więzadłach, torebkach włóknistych... i **typ II** – w chrząstkach szklistych i sprężystych, cieple szklistym gałki ocznej, jądrach miążdżystych dysków międzykręgowych wraz z pierścieniem.

**Włókna sprężyste** – osiągają grubość do 1  $\mu\text{m}$ , występują pojedynczo tworząc sieci lub blaszki. Włókna rozciągają się o ok. 100% swej długości i dlatego też występują one w narządach poddawanych sprężystem odkształceniom (ściany naczyń krwionośnych, pęcherzyki płucne, oskrzela, chrząstka sprężysta, więzadła żółte, struny głosowe...). Zbudowane są one z białka elastyny, bogatego w glicynę i prolinę.

**Włókna siateczkowe** – osiągają grubość ok. 1 – 2  $\mu\text{m}$ , zbudowane z kolagenu typu III, układają się w gęste sieci i kraty. Stanowią one rusztowanie, podporę dla narządów limfatycznych i szpiku kostnego, element błon podstawnych...

Substancja podstawowa to bezstrukturalna składowa występująca w postaci galaretowatego śluzu, bądź blaszek. Jednym z zasadniczych składników są **mukopolisacharydy kwaśne**, zbudowane z heksozaminy (glikozaminy lub galaktozaminy) i z kwasów uronowych (glukuronowego i galakturonowego). Do głównych mukopolisacharydów należą: kwas hialuronowy, chondroityno-6-siarczan (chondroityna A) i chondroityno-4-siarczan (chondroityna C).

Komórki tkanki łącznej wykazują daleko idące zróżnicowanie, począwszy od nie zróżnicowanych komórek mezenchymy, poprzez fibroblasty, histiocyty, komórki plazmatyczne, komórki tuczne (mastocyty), komórki barwnikowe, aż do komórek tłuszczowych i innych.

**Niezróżnicowane komórki mezenchymy** – leżą głównie w pobliżu naczyń krwionośnych, różnicują się, tworząc **nowe rodzaje komórek** tkanki łącznej.

Wybrane komórki tkanki łącznej:

**Fibroblasty** – spłaszczone, wrzecionowate lub gwiaździste komórki, posiadające zdolność wytwarzania **włókien** tkanki łącznej oraz innych składników macierzy. Spoczynkową formę fibroblastu nazywamy **fibrocytem**.

**Histiocyty** – mają kształt kulisty, owalny lub wydłużony, które z formy spoczynkowej przekształcają się w wędrujące komórki żerne, zwane **makrofagami**, które wykazują zdolność fagocytozy. Generalnie makrofagi wywodzą się bezpośrednio z monocytów.

**Komórki plazmatyczne** (plazmocyty) – nazywane immunocytami posiadają kształt kulisty lub owalny, mają bardzo dobrze wykształcone retikulum granularne i aparat Golgiego, wytwarzają **przeciwciała** (immunoglobuliny). Prekursorami plazmocytów są limfocyty B.

**Komórki tuczne** (mastocyty) – mają kształt kulisty, owalny lub wrzecionowaty, zawierają ziarnistości z **heparyną** (związek przeciwkrzepliwy) i **histaminą** (zwiększającą przepuszczalność naczyń krwionośnych i podnoszącą ciśnienie krwi).

**Komórki barwnikowe** (melanocyty) – mają kształt gwiaździsty lub nieregularny, w ich cytoplazmie znajdują melanosomy

z ziarnistościami melaniny. Występują one w tkance łącznej właściwej skóry, nabłonku wielowarstwowym płaskim skóry, w naczyniówce, tęczówce oka...

**Komórki tłuszczowe** (lipocyty) – są kulistego lub elipsoidalnego kształtu, wykazują szczególną zdolność bioakumulacji związków tłuszczu, który zajmuje centralną część komórki, spychając protoplast w stronę błony komórkowej.

[patrz: Charakterystyczne komórki tkanki łącznej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

#### 4.2.1. Tkanki łączne właściwe.

**Tkanka łączna galaretowata** (embrionalna=zarodkowa) zbudowana z komórek gwiaździstych słabo zróżnicowanych i istoty międzykomórkowej. Komórki wykazują potencjalną zdolność wytwarzania wszystkich komórek występujących w tkance łącznej.

Występowanie: **zarodek** i początkowy okres **plodowy**, gdzie jej komórki ulegają dyferencjacji na wszystkie rodzaje komórek tkanki łącznej, sznur pępowinowy, miazga zęba.

**Tkanka łączna siateczkowata** (retikulinowa) składa się z komórek gwiaździstych, o długich wypustkach protoplazmatycznych za pośrednictwem których łączą się między sobą, tworząc **siateczkę** (cytoreticulum), w której oczkach przebiegają włókna siateczkowe i znajdują się limfocyty. Część komórek zachowuje nadal zdolność przekształcania się w inne rodzaje komórek tkanki łącznej i krwi (fagocyty, makrofagi).

Niniejsza tkanka wraz z komórkami śródbłonka naczyń krwionośnych włosowatych wątroby, szpiku kostnego, łącznie z makrofagami i monocytami, tworzy **układ siateczkowo-śródbłonkowy**, odpowiedzialny za niszczenie ciał pochodzenia

zewnątrznego i własnego. Głównie dzięki makrofagom, obdarzonym zdolnością ruchu i fagocytozy oraz wytwarzaniu przeciwciał. Grupę glikoproteidów uwalnianych przez komórki w odpowiedzi na infekcję nazywamy **interferonem**, który to wykazuje właściwości przeciwnowotworowe.

**Występowanie:** tworzy zrąb dla narządów limfopoetycznych i szpiku kostnego, znajduje się w grudkach chłonnych, węzłach chłonnych, śledzionie, wątrobie, błonie śluzowej jelita, błonie śluzowej macicy.

**Tkanka łączna mezoglejowa** zbudowana jest z komórek glijowych w postaci tzw. oligodendrocytów, astrocytów i komórek mikrogleju, które cechuje zróżnicowana ilość i długość wypustek protoplazmatycznych. Pełnią one funkcje podporowe dla komórek nerwowych, izolując je od siebie, pośredniczą w przemianie materii, mogą przejawiać właściwości żerne. Jest to tzw. **glej właściwy**. Wyróżnia się jeszcze **glej wyściółkowy**, zbudowany z komórek sześciennych lub cylindrycznych, który wyściela komory mózgowia i kanał środkowy rdzenia kręgowego.

**Występowanie:** układ nerwowy ośrodkowy.

[patrz: Budowa tkanki łącznej galaretowatej, siateczkowatej i mezoglejowej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

### **Tkanka łączna włóknista.**

**Tkanka łączna włóknista luźna/wiotka** zawiera niewiele włókien kolagenowych i sprężystych występujących w postaci luźno rozrzuconych pęczków, natomiast znaczną ilość różnego rodzaju komórek, jak fibroblasty, fibrocyty, makrofagi, komórki tłuszczne, plazmatyczne, barwnikowe i inne.

**Występowanie:** znajduje się we wszystkich narządach, gdzie styka się z innymi tkankami, oplata je, wypełnia przestrzenie

międzykomórkowe, pośredniczy między naczyniami a komórkami w transporcie składników odżywczych i produktów przemiany materii, stanowi podstawowy budulec błon surowiczych (otrzewna, opłucna).

**Tkanka łączna włóknista zbita nieupostaciowana** zawiera znacznie więcej splatających się z sobą włókien kolagenowych i sprężystych (mniej) niż tkanka luźna. Występują one na przemian, między włóknami kolagenowymi biegną włókna sprężyste, ułożone w pęczki, nadając zwartość i oporność tkance. Tkanka zawiera mniej komórek, wśród których dominują fibrocyty.

Występowanie: głównie skóra właściwa, błona śluzowa niektórych odcinków dróg moczowych, torebki włókniste narządów, twardówka gałki ocznej.

**Tkanka łączna włóknista zbita upostaciowana** charakteryzuje się uporządkowanym, równoległym przebiegiem głównie grubych włókien kolagenowych i sprężystych zebranych w pęczki, co wynika z ich roli mechanicznej. Między nimi w regularne szeregi układają się fibrocyty.

Występowanie: ścięgna, więzadła, powięź, rozciągna, błony włókniste.

Wyróżniamy trzy rodzaje tkanek:

- **tkankę łączną ścięgniastą** – zawierającą znaczną ilość włókien kolagenowych, o przebiegu uzależnionym od sił mechanicznych, co gwarantuje wytrzymałość na rozciąganie (siła rozciągania  $5 \text{ kg/mm}^2$ ); w ścięgnach biegną one równolegle, w powięziach ich pęczki krzyżują się,
- **tkankę łączną sprężystą** – zawierającą włókna sprężyste, występującą w więzadłach żółtych kręgosłupa oraz w ścianach naczyń krwionośnych,

- **tkankę łączną splotowatą** – z dominującą ilością włókien kolagenowych i małą sprężystych, które splatają się na kształt warkoczy; występuje w skórze właściwej, okostnej, chrzęstnej, oponie twardej, w błonie białawej jądra i jajnika.

[patrz: Budowa tkanki łącznej włóknistej luźnej, zbitej nieupostaciowanej i upostaciowanej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

**Tkanka łączna tłuszczowa** zbudowana jest z dużych **komórek tłuszczowych** (lipocytów/adipocytów) osiągających wielkość do 120  $\mu\text{m}$ , układających się w zraziki, otoczone tkanką łączną luźną. Centralną część komórki wypełnia materiał zapasowy w postaci dużej **kropki tłuszczu**, która spycha cytoplazmę wraz z organoidami do błony komórkowej. Materiał zapasowy gromadzony jest bądź w formie wyższych kwasów tłuszczowych, pochodzących z pokarmów, bądź zsyntetyzowanych w wątrobie, czy też w formie trójglicerydów zsyntetyzowanych przez same lipocyty. **Lipocyty** powstają z mezynchematycznych komórek macierzystych, przekształcających się w tzw. **lipoblasty**, które ulegają mitozie. Powstałe komórki potomne różnicują się w dojrzałe **lipocyty**.

Wyróżniamy dwa rodzaje tkanki tłuszczowej: **żółtą i brunatną**, które różnią się między sobą m. in. tym, że: w tkance żółtej tłuszcz występuje w postaci jednorodnej kropki, ma charakter naciekowy, komórki wykazują odmienną wrażliwość na hormony, natomiast brunatnej – w postaci drobnych kropelek tłuszczu jest wytwarzany przez komórkę, zawiera glikogen, cholesterol, barwnik i inne.



Lipocyty oplecione są delikatnymi włóknami siateczkowymi, występują pojedynczo lub w skupiskach tworzących zraziki, zwykle kształtu piramidowego. Wyposażone są one w **enzymy** odpowiedzialne za tworzenie z glukozy **glicerolu** oraz **wyższych kwasów tłuszczowych**, **estryfikację** i tworzenie **trójglicerydów** (lipogeneza), a także w **lipazę** uwalniającą produkty hydrolizy lipidów do naczyń krwionośnych. Syntetyzują one hormon **leptynę**, który oddziałuje na receptory jąder podwzgórza obniżając uczucie łaknienia.

Występowanie:

- tkanka tłuszczowa **żółta** – utkanie podskórne, tworzy niekiedy poduszeczki tłuszczowe (na policzku i skroni), pełni funkcję osłaniającą, izolującą oraz zapasową i energetyczną;
- tkanka tłuszczowa **brunatna** – gromadzi się w sąsiedztwie niektórych narządów, jak np. przytarczyc, nerek, nadnerczy, krezki, stanowi materiał zapasowy i energetyczny, bierze udział w miejscowym wytwarzaniu energii cieplnej.

[patrz: Budowa tkanki tłuszczowej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

#### 4.2.2. Tkanki łączne podporowe/szkieletowe.

a) **Tkanka chrzęstna** stanowi tkankę łączną uzupełniającą układ kostny. Zbudowana jest z komórek chrzęstnych – **chondrocytów**, **włókien** i **istoty międzykomórkowej**, w skład której wchodzi: kwas chondroitynosiarkowy i chondromukoid, które wpływają na zmniejszenie jej przepuszczalności i zwiększenie spistości, rozciągliwości i wytrzymałości na ściskanie. Występuje w organizmie w postaci tkanki chrzęstnej **szklistej**, **włóknistej**

i **sprężystej**. Wywodzą się one z mezenchymy, która gromadzi się w określonych miejscach, jej komórki tracą wypustki protoplazmatyczne, a następnie łączą się w zespólnię (*syncytium*). Wyodrębnione komórki z mezenchymy nazywamy komórkami chrząstko-twórczymi – **chondroblastami**, wytwarzającymi poza komórkami chrzęstnymi, zwanymi **chondrocytami**, także istotę międzykomórkową **prochondralną zasadochłonną**, która w dalszym etapie przekształca się w substancję **kwasochłonną – protochondralną**. Chondroblasty nadal produkują substancję prochondralną. W najbardziej zróżnicowanej chrząstce szklistej chondroblasty trzykrotnie wydzielają substancję prochondralną, która przekształca się w proto-, a następnie **metachondralną**. Przy działających różnorodnych siłach środowiska zacierają się granice pomiędzy substancją pro-, proto- i metachondralną. Istota międzykomórkowa staje się jednorodna (homogeniczna), co można zaobserwować szczególnie w tkance chrzęstnej szklistej.

**Chondrocyty** mają kształt kulisty lub elipsoidalny, położone są w **jamkach chrzęstnych**. Chondroblasty intensywnie dzielą się. Po podziale część komórek różnicujących się w chondrocyty pozostaje we wspólnej jamce, otoczonej delikatną torebką, tworząc grupę komórek chrzęstnych, zwaną grupą **izogeniczną** o wspólnym pochodzeniu.

Grupa izogenicznych komórek chrzęstnych wraz z torebką, polem wewnętrznym i zewnętrznym tworzą terytorium komórkowe, zwane **chondronem**, stanowiącym morfologiczno-czynnościową jednostkę budowy tkanki chrzęstnej. Przestrzeń między tymi jednostkami wypełnia **istota międzykomórkowa** (substancja podstawowa).

Chrzątka od zewnątrz otoczona jest **ochrzęstną** (*perichondrium*), tj. warstwą tkanki łącznej włóknistej zbitej, której pęczki włókien kolagenowych wielokrotnie krzyżują się z sobą. **Ochrzęstna** wyposażona jest w naczynia krwionośne i chłonne, odżywiające chrząstkę i odprowadzające produkty przemiany materii. Wykazuje ona zdolność **tworzenia** i **regeneracji** uszkodzonej chrząstki, dzięki obecności tzw. **chondroblastów**, różnicujących się w chondrocyty. Chondroblasty powstają w wyniku przekształcania się **fibroblastów**.

Zależnie od przewagi typu występujących włókien wyróżnia się trzy rodzaje tkanek chrzęstnych:

- **Tkanka chrzęstna szklista** – zbudowana jest z **komórek chrzęstnych** (chondrocytów), ułożonych w jamkach przeważnie w grupy izogeniczne, rzadziej występują pojedynczo i **istoty międzykomórkowej**, w której obecne są **włókna kolagenowe**. Wokół chondrocytów nagromadza się substancja międzykomórkowa, z której wytwarzane są **torebki**. **Chrzątka szklista**, z wyjątkiem chrząstek pokrywających powierzchnie stawowe posiada **ochrzęstną**. Dlatego też chrząstki stawowe pozbawione są zdolności **regeneracyjnych** i odżywiane są za pośrednictwem wydzielanej **mazi** przez błonę maziową torebki stawowej.

Występowanie: chrząstki żebrowe, chrząstki nosa (grzbietowa, koniuszka nosa), chrząstki stawowe, chrząstki krtani (tarczowa, pierścieniowata, nalewkowata), chrząstki pierścieni tchawicy i dużych oskrzeli.

- **Tkanka chrzęstna włóknista** – zbudowana jest z **chondrocytów**, dużej ilości grubych **włókien kolagenowych** oraz stosunkowo małej ilości **istoty międzykomórkowej**.

Występowanie: krążki międzykręgowy, spojenie łonowe, chrząstki śródstawowe.

- **Tkanka chrzęstna sprężysta** – składa się z **chondrocytów**, dużej ilości włókien **sprężystych** tworzących gęste sieci i małej ilości włókien kolagenowych oraz **istoty międzykomórkowej**.

Występowanie: chrząstki uszu (małżowina, przewód słuchowy, trąbka słuchowa), chrząstki krtaniowe (nagłośnia, wyrostek głosowy chrząstek nalewkowatych, chrząstki różkowate), płytki chrzęstne w małych oskrzelach).

[patrz: Budowa tkanki chrzęstnej szklistej, włóknistej i sprężystej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

#### **b) Tkanka kostna i proces jej powstawania.**

**Tkanka kostna** jest zasadniczym składnikiem kośćca. Jej charakterystyczną cechą jest znaczna **twardość** oraz względnie duża elastyczność. Zawiera od 60 – 66% składników nieorganicznych, głównie soli wapnia (fosforan wapnia – ok. 38%, węglan wapnia – ok. 12%, chlorek wapnia – ok. 0,6%, fluorek wapnia – ok. 0,6%). Łącznie około 97% wapnia ustroju znajduje się w elementach kostnych. Nadto w nieznacznej ilości występuje fosforan magnezu (ok. 1,5%). Tkanka kostna wykazuje dużą **wytrzymałość** na takie czynniki mechaniczne, jak ściskanie ( $15 \text{ kg/mm}^2$ ), rozciąganie ( $10 \text{ kg/mm}^2$ ), wyginanie itp. Jest ona zbudowana z komórek kostnych, zwanych **osteocytami** i **istoty międzykomórkowej**.

**Osteocyty** są podstawowymi, najliczniej reprezentowanymi komórkami kości, owalnego kształtu, z licznymi wypustkami protoplazmatycznymi. Układają się one swoją długą osią (20 – 25  $\mu\text{m}$ )

równolegle do osi kości. Leżą w **jankach** i **kanalikach kostnych** występujących w istocie międzykomórkowej. Poszczególne jamki łączą się cieniutkimi kanalikami, w których znajdują się wypustki osteocytów, łączących się między sobą. Ich funkcja polega na **utrzymaniu** i **odnowie** macierzy organicznej kości. Odżywiają one także osseomukoid. Występujące tzw. **osteocyty powierzchni kości** są wrażliwe na hormony, głównie na **parathormon** i **kalcytoninę**, które mają decydujący wpływ na szybką regulację gospodarki **wapniowo-fosforanowej** organizmu. Na szlifie poprzecznym kości osteocyty występują w ilości około **4 – 9** koncentrycznie, współśrodkowo ułożonych warstw wokół wielu kanałów, zwanych **kanalami Haversa**, w których biegą naczynia krwionośne, chłonne i włókna nerwowe.

Do komórek tkanki kostnej należą **komórki osteogenne**, wywodzące się z mezenchymy. Różnicują się one w kierunku **chondro-**, bądź **osteoblastów**, co jest uzależnione od **ciśnienia parcjalnego tlenu** oraz ich **położenia**, tj. przy naczyniach krwionośnych różnicują się w osteoblasty, natomiast leżące dalej – w chondroblasty. Komórki osteogenne występują również w dojrzalej okostnej, śródkościu, tworząc warstwy kambialne oraz w szpiku. Znajdują się one w spoczynku do momentu zadziałania bodźca (np. pęknięcie, złamanie kości) indukującego wytwarzanie tkanki kostnej.

W tkance kostnej poza komórkami osteogennymi i osteocytami wyróżniamy tzw. **osteoblasty**, zwane komórki kościotwórczymi, które mają kształt **kulisty** lub **elipsoidalny**, natomiast w okresie dużej aktywności przyjmują kształt **sześcienny**. Osiągają wielkość w granicach 15 – 20  $\mu\text{m}$ . W największej ilości występują w okresie rozwoju tkanki kostnej na jej powierzchni,

pomiędzy nią a okostną. Biorą udział w syntezie **macierzy organicznej** kości, a także w procesie jej **mineralizacji**. W kościach dojrzałych, po zakończeniu syntezy istoty międzykomórkowej przekształcają się w osteocyty, pojawiając się ponownie w przypadku złamań i innych uszkodzeń kości. Aktywność osteoblastów indukują takie **hormony** jak: parathormon, somatotropina, hormony tarczycy oraz **cytokiny**: peptydowe (wzrostu i dyferencjacji), limfokiny, monokiny i prostaglandyny. Działanie inhibicyjne powodują **kortykosteroidy**.

Trzecim rodzajem komórek są **osteoklasty**, zwane komórkami kościogubnymi stanowiącymi trzeci rodzaj **wielojądrczystych**, bardzo **dużych** komórek o wielkości od 20 – 100  $\mu\text{m}$ . Ich powierzchnia od strony tkanki kostnej zaopatrzona jest w **rąbek szczoteczkowy** związany z funkcją resorpcyjną. Ich rola w warunkach fizjologicznych polega na rozpuszczaniu i niszczeniu kości, a zatem tworzeniu kanałów, jam i innych, czyli modelowaniu i przebudowie tkanki kostnej. Zagłębienia powstałe w wyniku resorpcji nazywamy **zatokami erozyjnymi** lub **zatokami Howshipa**. Osteoklasty wykazują wrażliwość na **hormony**, głównie parathormon i kalcytoninę oraz biorą udział w regulacji wapniowo-fosforanowej. **Parathormon** w warunkach niskiego poziomu  $\text{Ca}^{2+}$  pobudza osteoklasty do resorpcji, co prowadzi do wzrostu jego stężenia we krwi. Aktywność osteoblastów hamowana jest przez **kalcytoninę** (antagonista parathormonu). Kalcytonina wydzielana jest przy podwyższonym stężeniu wapnia w osoczu krwi.

**Istota międzykomórkowa** zbudowana jest z **części organicznej** na którą składają się: **substancja podstawowa i kolagen** oraz **związków mineralnych**.

W skład **substancji podstawowej** wchodzi **proteoglikany**, zawierające głównie siarczan chondroityny i dermatanu, **białka niekolagenowe** i **morfogenetyczne** stymulujące osteogenezę, **fosfoproteiny**, **lipidy** i inne. Synonimem terminu „proteoglikany” jest osseomukoid.

**Włókna kolagenowe**, zwane osseinowymi zbudowane są głównie z **kolagenu typu I**, którego głównym składnikiem jest **kwask chondroitynosiarkowy**. W substancji podstawowej rozmieszczone są **pęczki włókien kolagenowych** i skumulowane sole wapnia, nadające kości twardość. Liczne włókna osseinowe układają się w swoisty sposób, przypominając **sprężynę** o zróżnicowanym skoku, zachowując w określonych odcinkach ten sam kierunek przebiegu. Tak ułożone włókna kolagenowe spojone substancją podstawową tworzą jednostki budowy kości – **blaszki kostne** o grubości od 5 – 10  $\mu\text{m}$ .

**Związki mineralne** występują w postaci głównie fosforanu wapnia (około 80%), następnie węglanu wapnia, fosforanu magnezu, soli sodu i potasu oraz śladowych ilości jonów potasu, chloru i fluoru.

Zależnie od układu **włókien kolagenowych** wyróżnia się dwa rodzaje tkanki kostnej:

- **tkankę kostną grubowłóknistą** (kość splotowata),
- **tkankę kostną drobnowłóknistą** (kość blaszkowata).

**Tkanka kostna splotowata** charakteryzuje się tym, że występują w niej nieregularnie biegnące, **grube pęczki włókien kolagenowych**. Stanowi tkankę **pierwotną**, wykształcającą się podczas rozwoju kości. W dalszym etapie rozwoju zostaje zastąpiona przez tkankę **kostną blaszkowatą**, pozostając jedynie w szwach kostnych, błędniku kostnym i wyrostkach zębodołowych. Tego

rodzaju tkanka pojawia się przy określonych **schorzeniach kości**, np. chorobie Pageta, osteoporozie.

**Tkanka kostna blaszkowata** posiada blaszki kostne – podstawowe struktury kości, w których przebiegają równolegle względem siebie, pojedyncze włókna kolagenowe połączone substancją podstawową. Układ tych włókien przypomina sprężynę o skokach małych (gęste utkanie) i dużych (luźne utkanie). Włókna występujące w sąsiednich blaszkach biegną pod pewnym kątem, co ewidentnie podnosi wytrzymałość mechaniczną tkanki.

Pod względem histologicznym **tkankę kostną blaszkowatą** dzielimy na:

- **tkankę kostną zbitą** (istota zbita),
- **tkankę kostną gąbczastą** (istota gąbczasta).

**Tkanka kostna zbita** buduje trzony kości długich, zewnętrzną warstwę nasad oraz pokrywa kości płaskie. Na szlifie poprzecznym trzonu kości długiej, na jej obwodzie tuż pod okostną występują blaszki kostne w ilości od kilku – kilkunastu i nazywamy je blaszkami **podstawowymi zewnętrznymi**. Podobne blaszki otaczają jamę szpikową, tworząc pod śródkostną blaszki **podstawowe wewnętrzne**. Pomiędzy blaszkami podstawowymi zewnętrznymi i wewnętrznymi zawarta jest zasadnicza masa kości, występująca w postaci **osteonów** (systemów Haversa), stanowiących jednostkę architektoniczną kości zbitej. **Osteon** składa się z **kanalu osteonu** (Haversa), o średnicy od 20 – 200  $\mu\text{m}$ , wypełnionego tkanką łączną wiotką, w którym leżą naczynia krwionośne, chłonne i włókna nerwowe. Wokół kanału koncentrycznie, współśrodkowo ułożone są tzw. **systemowe blaszki kostne** w ilości od 6 – 15. Co kilka blaszek znajdują się również współśrodkowo ułożone jamki kostne z kanalikami kostnymi, wypeł-



nione **osteocytami**. Pomiędzy walcowatymi osteonami, biegnącymi równoległe do osi kości znajdują się tzw. **blaszki między-systemowe**. Kanały Haversa biegną w osi długiej osteonu, łączą się między sobą kanałami **obocznymi** (anastomozami), tworząc sieć kanałów, które łączą się z mniej prawidłowo rozmieszczonymi kanałami **Volkmana**. Zewnętrzne blaszki podstawowe, od strony okostnej przenikają pęczki włókien, szczególnie liczne w miejscach przyczepu ścięgien i więzadeł, zwane **włóknami Sharpey`a**.

**Tkanka kostna gąbczasta** występuje w nasadach kości długich, wewnątrz kości krótkich, różnokształtnych i płaskich pokryta blaszkami podstawowymi zewnętrznymi. Główna masa nasady kości długich, czy też innych zbudowana jest z blaszek uformowanych w **beleczki kostne**, które łączą się z sobą w układ gąbczasty. Ich przebieg, architektonika zdeterminowana jest działaniem sił mechanicznych, którym kość podlega. Blaszki w beleczkach biegną równoległe. Pomiędzy beleczkami znajduje się **szpik kostny czerwony**.

Na zewnątrz kości, z wyjątkiem powierzchni stawowych występuje błona łącznotkankowa w postaci tkanki łącznej zbitej, zwana **okostną** (*periostium*). Wyróżnia się w niej dwie warstwy:

- **zewnętrzną** – bardziej zbitą, zawierającą niewiele elementów komórkowych,
- **wewnętrzną** (kambialną) – bezpośrednio przylegającą do kości, silnie unaczynioną, zawierającą liczne komórki osteogenne (komórki macierzyste), które mogą ulegać dyferencjacji w kierunku osteoblastów lub chondroblastów.

Jamę szpikową i kanały naczyniowe wyściela, a beleczki kości gąbczastej pokrywa tzw. **śródkostna**, utworzona z warstwy komórek osteogennych.

[patrz: Budowa tkanki kostnej zbitej i gąbczastej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

### **Powstawanie tkanki kostnej.**

Proces tworzenia się tkanki kostnej nazywany jest **osteogenezą**, która odbywa się na podłożu **mezenchymatycznym** i **chrzęstnym** (bezpośrednio i pośrednio).

Na podłożu **mezynchematycznym** powstaje większość **kości płaskich**. W tym procesie można wyróżnić kilka etapów:

- Powstają silnie unaczynionych obszarów mezenchymy, w których koncentrują się komórki niezróżnicowane, połączone wypustkami protoplazmatycznymi.
- Niniejsze komórki podejmują produkcję kwasochłonnej istoty międzykomórkowej układającej się pasmowo, zawierającej niektóre białka charakterystyczne dla istoty międzykomórkowej.
- Niezróżnicowane połączone komórki lokalizują się na powierzchni pasm, różnicują się w osteoblasty, produkujące i wydzielające składniki włókien i substancji podstawowej, które natychmiast ulegają mineralizacji. Osteoblasty przekształcają się w osteocyty z których powstają beleczki kostne.
- Beleczki obwodowej części kości grubieją w wyniku aktywności osteoblastów, co prowadzi do powstania zwartej struktury kostnej wraz z naczyniami krwionośnymi, czyli korowej warstwy kości.

- Wzrost beleczek kostnych części środkowej zostaje zahamowany, a przestrzenie między nimi wypełnia tkanka szpikowa.

Na podłożu **chrzęstnym** powstają **kości kończyn, miednicy, kręgów i podstawy czaszki**. W embriogenezie np. kość długa zbudowana jest z tkanki chrzęstnej szklistej. Analizując proces powstawania tkanki kostnej na podłożu chrzęstnym można wyróżnić kilka etapów:

- Komórki chrzęstne centralnej części trzonu ulegają hipertrofii (komórki powiększają się, zachodzi intensywna wakuolizacja cytoplazmy, gromadzi się glikogen), po czym degenerują.

Hipertroficzne chondrocyty wydzielają metaloproteinazy, hydrolizujące bezpośrednio otoczenie. Istota międzykomórkowa ulega mineralizacji, natomiast chondrocyty obumierają – powstaje **pierwotny punkt kostnienia**. Ochrzęstna ulega intensywnemu unaczynieniu i przekształca się w **okostną**, która podejmuje czynność osteogenną. W ten oto sposób powstaje mankiet kostny.

- Od strony okostnej wnikają pęczki naczyń z **tkanką mezychematyczną**, z której różnicują się **osteoblasty** rozpoczynające wytwarzanie kostnej istoty międzykomórkowej, podlegającej mineralizacji. Sukcesywnie powstają **pierwotne beleczki kostne**.
- Degeneracja chrząstki i odkładanie się substancji kostnej przesuwają się ku nasadom kości. Osteoklasty powiększają jamę szpikową do której wnikają komórki układu krwiotwórczego.

- Pomiedzy trzonem a nasadą chrząstka tworzy **plytkę wzrostową**. Złożona jest ona z kilku poprzecznie ułożonych stref tworzących – idąc od nasady – chrząstki: spoczynkowe, **intensywnie dzielące się, hipertroficzne**, degenerujące i pozostałe zmineralizowane na których lokalizują się **osteoblasty**. Wytwarzają one belecзки kostne, ułożone wzdłuż długiej osi kości.
- W obrębie nasad powstają **wtórne centra kostnienia**. Chrząstka utrzymuje się tylko w plytkach wzrostowych, gdzie nadal zachodzi ich intensywnie mnożenie się, czego następstwem jest odsuwanie nasad od trzonu, a zatem wzrost kości na długość.
- Około 20 r. ż. zanikają chrząstki w plytkach wzrostowych, powodując połączenie trzonu z nasadami, a tym samym zakończenie wzrostu kości na długość.

c) **Tkanka szkieletowa zęba** wraz z przyzębkiem (ozębna, dziąsło i wyrostki zębodołowe) tworzy **narząd zębowy**. Ząb zróżnicowany jest na:

- **koronę** – wystającą ponad dziąsło,
- **szyjkę** – stanowiącą granicę między koroną a korzeniem,
- **korzeń** (1 – 3) – tkwiący w zębodole szczęki lub żuchwy.

W koronie zęba znajduje się **komora zęba**, zwężająca się w kierunku korzenia przechodząc w **kanał korzeniowy**, kończący się otworem korzeniowym. Wypełnione są one miazgą zęba. Między korzeniem a ścianą zębodołu występuje **ozębna**.

W skład budowy zęba wchodzi:

- **Zębina** – stanowi większą część korony i korzenia, ogranicza komorę zęba i kanał, jest elastycznym podkładem dla

szkliwa i cementu. Właściwości fizyko-chemiczne zbliżone są do kości. W skali dziesięciostopniowej Mohsa jej twardość wynosi od 4 – 5 stopni. Wytwarzana jest ona przez komórki zębiniotwórcze, zwane **odontoblastami**, położone na powierzchni miazgi zęba. Odpowiedzialne są za produkcję istoty międzykomórkowej.

W skład zębiny wchodzi około **70% związków nieorganicznych** (fosforan wapnia w postaci dwuhydroksyapatytu – ok. 95%, węglany i śladowe ilości jonów magnezu, potasu, sodu, żelaza i chromu), **18% związków organicznych** (włókna kolagenowe typu I – ok. 90%, fosfoproteiny, glikoproteiny i proteoglikany) i **12% wody**.

- **Szkliwo** – pokrywa koronę (ok. 2 mm grubości) i szyjkę (ok. 0,01 mm grubości). Stanowi najtwardszą substancję w organizmie, osiągając wartość 6 – 7 stopni twardości minerałów w skali Mohsa. Ma charakter półprzepuszczalny, dlatego też mogą przenikać różnorodne substancje, np. woda, barwniki, mocznik, jod, fluor i inne. Szkliwo wytwarzane jest przez komórki nabłonkowe, zwane **ameloblastami** (adamantoblastami).

W skład szkliwa wchodzi około **97% związków nieorganicznych**, tj. sole wapnia, głównie fosforany (90%), węglany, fluorki i jony magnezu oraz około **3% związków organicznych**, w tym głównie fosfoproteiny i glikoproteiny, a także glikozaminoglikany, aminokwasy, lipidy i fosfataza zasadowa.

- **Cement** – pokrywa warstwą o grubości około 40  $\mu\text{m}$  zębinę korzeniową w okolicy szyjki zęba, natomiast w części wierzchołkowej jego grubość dochodzi do 800  $\mu\text{m}$ . Chroni

zębinę i łączy ząb z zębodołem. Składem chemicznym i właściwościami fizyko-chemicznymi przypomina tkankę kostną. Wykazuje niższy stopień mineralizacji (około 60%). **Fosforany wapnia** występują w postaci kryształów hydroksyapatytu. W około 90% cement zawiera **włókna kolagenowe** spojone istotą podstawową, złożoną z fosfoprotein, glikoprotein i proteoglikanów. Cement jest wytworem **cementoblastów**, przekształcających się **cementocyty**. [patrz: Budowa zęba, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

### 4.2.3. Krew i limfa jako tkanka płynna.

#### a) Ogólna charakterystyka krwi.

**Krew** jest płynną tkanką łączną, pochodzenia mezenchymatycznego, w skład której wchodzi: nieupostaciowane **osocze** (plazma) krwi i upostaciowane elementy morfotyczne krwi, czyli **komórki krwi**. Krew wypełnia naczynia krwionośne wysłane komórkami śródbłonna naczyniowego, odgraniczającego od innych tkanek organizmu. Całkowita objętość krwi łożyska krwionośnego stanowi od 1/13 – 1/20 masy ciała i wynosi przeciętnie 5 l, tj. około 7% masy ciała.

Przeciętnie krew zawiera około **45%** elementów morfotycznych i **55%** osocza. W składzie krwi występują różnice płciowe. U mężczyzn elementy morfotyczne stanowią **47%**, osocze **53%** objętości całej krwi, natomiast stosunek objętości składników morfotycznych do objętości całej krwi, czyli **wskaźnik hematokrytu** wynosi **0,47 l/l**. U kobiet jest mniejszy i wynosi **0,42 l/l**.

**Osocze krwi** zawiera **75 – 80%** wody, **17 – 24%** substancji organicznych i **1%** nieorganicznych. W skład substancji organicznych wchodzi: **białko** w postaci albumin, globulin i fibrynoge-

nu oraz **węglowodany**, **lipidy** i **witaminy**. **Albuminy** są białkami globularnymi, produkowanymi przez hepatocyty, utrzymują ciśnienie onkotyczne krwi, regulują jej objętość i są także nośnikami niektórych jonów. Globuliny to białka globularne, syntetyzowane przez hepatocyty, występują w kilku frakcjach, przy czym najważniejsze są  **$\gamma$ -globuliny** (immunoglobuliny) wytwarzane przez limfocyty **B** i komórki plazmatyczne, które wiążą się z antygenami. **Fibrynogen** jest białkiem fibrylarnym, uczestniczącym w procesie krzepnięcia krwi tworząc nierozpuszczalny włóknik – **fibrynę**. Osocze pozbawione fibrynogenu nosi nazwę **surowicy krwi**. W skład substancji nieorganicznych wchodzi składniki mineralne, jak: chlor, sód, wapń, potas, magnez, nieznaczna ilość żelaza i jodu oraz śladowe ilości innych pierwiastków.

**Osocze** warunkuje homeostazę, utrzymując stałe parametry środowiska wewnętrznego, tj. pH, temperaturę, skład chemiczny, ciśnienie osmotyczne, lepkość, napięcie powierzchniowe. Dzięki obecności immunoglobulin chroni ustrój przed infekcjami.

Najczęściej prowadzi się badania dotyczące oznaczenia szybkości opadania erytrocytów (OB), objętości krwi krążącej, ciężaru właściwego i lepkości.

## **b) Składniki morfotyczne krwi.**

**Elementy morfotyczne krwi** zróżnicowane są na trzy typy:

**1. erytrocyty (krwinki czerwone),**

**2. leukocyty (krwinki białe):**

**A/ granulocyty** (krwinki białe ziarniste):

**a) neutrofile** (granulocyty obojętnochłonne),

**b) eozynofile** (granulocyty kwasochłonne).

**c) bazofile** (granulocyty zasadochłonne),

**B/ agranulocyty** (krwinki białe nieziarniste):

- a) limfocyty: B, T, NK,  
 b) monocyty,  
 3. trombocyty (płytki krwi).

Tab. 1. Podział i wybrane parametry składników morfotycznych krwi.

Lp.	Składniki morfotyczne krwi	Średnica w $\mu\text{m}$	Liczba w $\text{mm}^3$	% leukocytów
1.	Erytrocyty	7,7	4,0 – 5,0 mln	–
2.	Leukocyty	–	5 – 9 tys.	–
<b>Granulocyty</b>				
a/	Nutrofile	12 – 15	–	45 – 65
b/	Eozynofile	14	–	2 – 5
c/	Bazofile	9 – 12	–	0,5 – 1,0
<b>Agranulocyty</b>				
a/	Limfocyty	8 – 15	–	28 – 42
b/	Monocyty	15 – 20	–	4 – 8
3.	Trombocyty	2 – 4	200 – 400 tys.	–

Krew pełni wiele istotnych funkcji, m. in. pośredniczy w wymianie gazowej, rozprowadza tlen, substancje odżywcze, hormony, ciała odpornościowe, wyprowadza z organizmu produkty przemiany materii, zapewnia homeostazę środowiska wewnętrznego, uczestniczy w procesie termoregulacji.

**Erytrocyty** stanowią główny składnik morfotyczny krwi. Ich ilość waha się od 4,5 – 5,0 mln w  $\text{mm}^3$ . Powstają w szpiku kostnym **czerwonym** i żyją od 60 – 120 dni. Mają kształt kolisty, przypominają dwuwklęsły dysk o średnicy **7,7  $\mu\text{m}$** . Noszą one nazwę **normocytów**. Taki kształt zapewnia erytrocytom wyjątkowo dużą powierzchnię w stosunku do objętości, elastyczność,



odkształcalność i oporność na uszkodzenia, co jest wyrazem ich adaptacji do pełnionych funkcji. Wyposażone w **hemoglobinę** wykazują zdolność **odwrotnego wiązania tlenu**, zależnie od jego ciśnienia parcjalnego. Hemoglobina jest tetramerem i składa się z dwóch par łańcuchów peptydowych ( $\alpha$ -globiny i  $\beta$ -globiny), z których każdy zawiera jedną grupę hemową, a zatem jedno miejsce wiązania tlenu (1 cz. hemoglobiny wiąże 4 cząsteczki tlenu). Każda cząsteczka hemu zawiera  $\text{Fe}^{2+}$ . Cząsteczka hemoglobina stanowi więc około **33%** całkowitej masy krwinki (suchej masy ok. 90%). Erytrocyty większe od normocytów to **makrocyty**, mniejsze – **mikrocyty**. Niedobór hemoglobiny wywołuje chorobę nazywaną **anemią** (niedokrwistością).

Dojrzały erytrocyt charakteryzuje brak **jądra komórkowego** i innych organelli komórkowych, co zwiększa efektywność roznoszenia tlenu po całym organizmie, bowiem poprzez zahamowanie procesów metabolicznych zmniejsza się zapotrzebowanie energetyczne komórki. Erytrocyty mogą więc przetransportować o **1/10 tlenu więcej** do otaczających tkanek i narządów. Z zewnątrz erytrocyt otoczony jest  **błoną komórkową** pokrytą **glikokaliksem**, w którym znajdują się ugrupowania antygenowe decydujące o **grupie krwi**. Tuż pod błoną komórkową znajduje się fibrylarne białko cytoszkieletowe – **spektryna** utrzymujące kształt komórki. Białka błonowe umożliwiają wymianę jonów dwuwęglanowych na chlorkowe, transport glukozy i inne.

[patrz: Budowa erytrocytu, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Okolo 1 – 2% erytrocytów to **retikulocyty**, czyli niedojrzała postać tych komórek, które po 2 – 3 dniach przekształcają się w formę dojrzałą.

Erytrocyty w roztworach hipertonicznych zmniejszają objętość i przybierają kształt morwowaty (dehydratacja), natomiast hypotonicznych pęcznieją i pękają (hydratacja), uwalniając hemoglobinę, co nazywamy **hemolizą**.

**Leukocyty** to morfotyczne składniki krwi występujące w liczbie od **5 – 9 tys.** w  $1\text{ mm}^3$  tworzą niejednorodną populację komórek o zróżnicowanych cechach morfologicznych. Od erytrocytów różni je brak hemoglobiny i obecność jąder komórkowych. Nadto wszystkie leukocyty wykazują zdolność ruchu **ameboidalnego** (pełzakowatego). Dość powszechnym zjawiskiem jest zdolność do **fagocytozy**. Liczba leukocytów w warunkach chorobowych może się zmniejszać, co określamy mianem **leukopenii**, bądź zwiększać, co nazywamy **leukocytozą**.

Rodzaj i ilość **ziarnistości** (granul) stanowi główne kryterium klasyfikacji leukocytów na:

A/ leukocyty z ziarnistościami – **granulocyty** i B/ leukocyty nieziarniste – **agranulocyty**.

A/ **Granulocyty** dzielimy na trzy rodzaje: obojętnochłonne (**neutrofile**), kwasochłonne (**eozynofile**) i zasadochłonne (**bazofile**).

**Nutrofile** stanowią najczęściej występującą postacią morfologiczną leukocytów (**25 – 65%**), o średnicy od 12 – 15  $\mu\text{m}$  i zróżnicowanej liczbie od 2 – 5 płatów (segmentów). Pojedyncze jądra występują u form najmłodszych. Na **skali Arnetha** uszeregowane są neutrofile wg liczby płatów, tj. od **1 – 5**. W stanach chorobowych następują przesunięcia na skali w lewo (więcej jąder z małą

liczbą płatów), np. przy ostrej białaczce lub w prawo, np. przy deficycie witaminy B<sub>12</sub>. Ziarnistości otoczone błoną zawarte w cytoplazmie zawierają m. in. fosfatazę kwaśną, lizozym, elastazę, kolagenazę, laktoferrynę i inne.

Okolo 50% neutrofilów znajduje się we krwi obwodowej (okres przebywania kilka godzin), pozostała część w tkance łącznej (okres przebywania 4 – 5 dni). Podstawowa ich funkcja polega na udziale w stanach zapalnych i fagocytozie mikroorganizmów. Ich aktywacja następuje przy infekcjach lub uszkodzeniach tkanki, gdzie migrują one na zasadzie chemotaksji, a następnie fagocytują bakterie lub uszkodzone tkanki. Neutrofile wydzielają wiele **cytokinin**, indukujących proliferację innych komórek.

**Eozynofile** występują w ilości od 2 – 5% wszystkich leukocytów, osiągają średnicę około 14 μm, zawierają najczęściej dwa płaty. W cytoplazmie znajdują się otoczone błoną ziarnistości o charakterze kwasochłonnym. Zawierają one białka i fosfolipidy. Biorą one udział w reakcjach **alergicznym**, unieczynnając mediatory produkowane przez komórki tuczne, np. histaminę. Ich zdolność fagocytowania jest mniejsza niż neutrofilów. Eozynofile żyją około 12 dni.

**Bazofile** należą do najmniejszych granulocytów, osiągających średnicę od 9 – 12 μm, posiadających jądro w postaci jednego lub trzech płatów. Cytoplazma prawie całkowicie wypełniona jest zasadochłonnymi ziarnistościami otoczonymi błoną. Zawierają one kwaśne śluzowielocukrowce oraz wiele substancji biologicznie czynnych: histaminę, serotoninę, heparynę i inne. Uwalniane z krwinek substancje mogą indukować reakcje alergiczne

miejscowe lub ogólnoustrojowe, w tym groźny dla organizmu wstrząs anafilaktyczny.

[patrz: Leukocyty granularne, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

**B/ Agranulocyty** zróżnicowane są na **limfocyty** i **monocyty**.

**Limfocyty** występują w ilości od 28 – 42% wszystkich leukocytów, są komórkami małymi, kulistymi o średnicy od 8 – 15  $\mu\text{m}$ , posiadającymi duże jądro komórkowe. Ze względu na miejsce dojrzewania, skład antygenów powierzchniowych oraz roli w odpowiedzi immunologicznej limfocyty dzielimy na: **limfocyty B**, **limfocyty T** i **komórki NK**.

**Limfocyty B** (B od łac. Bursa Fabricii – kaletka Fabrycjusza) u człowieka wytwarzane są w szpiku kostnym. Ich nazwa pochodzi od **bursy Fabrycjusza**, miejsca ich powstawania u ptaków. Odpowiedzialne są one w organizmie za odporność typu humoralnego, czyli z udziałem przeciwciał (immunoglobulin). Wyposażone są one w błonowe receptory immunoglobulinowe, za pomocą których identyfikują antygeny. Po zadziałaniu antygeny różnicują się one w komórki plazmatyczne, intensywnie produkujące swoiste przeciwciała.

**Limfocyty T** (T od łac. thymus – grasica) powstają w grasicy, stanowią od 50 – 80% wszystkich limfocytów i uczestniczą w odporności typu komórkowego, tj. bez udziału przeciwciał. Populacji limfocytów T zróżnicowana jest na kilka **subpopulacji**, które pełnią odmienne funkcje i różnią się receptorami powierzchniowymi. Subpopulacja limfocytów cytotoksycznych **Tc** wydziela **perforyny**, które bezpośrednio zabijają komórki zainfekowane wirusem lub komórki nowotworowe wskutek tzw. efektu cytotoksycznego. Limfocyty **Th** (pomocnicze) produkują **limfokiny** sterujące funkcją innych komórek układu immunolo-

gicznego. Natomiast limfocyt supresorowe **Ts** kontrolują aktywność pozostałych limfocytów, **hamują** reakcje immunologiczne.

**Komórki NK** (Natural Killer) to duże limfocyty, stanowiące około 10% limfocytów krwi obwodowej. Wykazują one właściwości cytotoksyczne, niszczą komórki głównie nowotworowe.

Limfocyty pełnią istotną rolę w procesach **odpornościowych**, jak i w reakcjach **nadwrażliwości**. Wykazując zdolność **recyrkulacji**, tj. przenikania limfocytów z układu krwionośnego do tkanek/narządów limfatycznych i odwrotnie, mają one możliwość kontroli całego organizmu.

**Monocyty** są największymi leukocytami, osiągającymi średnicę od 15 – 20  $\mu\text{m}$ , posiadającymi charakterystyczne nerkowate jądro. Stanowią od 4 – 5% leukocytów krwi obwodowej. Z nich powstają w różnych tkankach fagocyty jednojądrowe – **makrofagi**. Cysterne aparatu Golgiego zawierają m. in. enzym **peroksydazę**, pełniący istotną rolę w procesie fagocytozy. Występujące w cytoplazmie liczne lizosomy są bogate w enzymy hydrolityczne.

Monocyty powstają w szpiku kostnym, po czym przenikają do krwi, w której przebywają przez kilka dni, skąd przedostają się do tkanek stając się makrofagami tkankowymi – **histiocytami**. Charakteryzują się one dużą ruchliwością i chemotaksją względem obumarłych tkanek, mediatorów procesów zapalnych i mikroorganizmów, wykazując wyjątkowo dużą zdolność fagocytozy. [patrz: Leukocyty agranularne, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.]

**Trombocyty** powstają w wyniku odszczepienia ok. 150 fragmentów cytoplazmy **megakariocytów**, komórek macierzystych znajdujących się w szpiku. Dlatego też mają one różne kształty, najczęściej owalne, wielkości 2 – 4  $\mu\text{m}$ . W  $\text{mm}^3$  znajduje się od 200 – 400 tys. Obwodowa część cytoplazmy płytek jest przejrzysta

i bezziaarnista, zwana **hialomerem**, natomiast środkowa, ziarnista – **granulomerem**. Ziarnistości zawierają  **płytkowy czynnik krzepnięcia III** oraz inne białka uczestniczące w procesie krzepnięcia krwi, a także histaminę, serotoninę, ADP, jony wapnia i inne.

[patrz: Trombocyty, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Podstawową funkcją trombocytów jest **ochrona śródbłonna** naczyń krwionośnych oraz zahamowanie krwawienia poprzez wytworzenie skrzepu. W końcowym etapie procesu krzepnięcia, przy udziale czynników osoczowych, płytek krwi i zawartego w nich czynnika płytkowego **fibrynogenu** obecnego w osoczu, który pod wpływem **trombiny** przekształca się we **włóknik (fibrynę)**. Tworzy się więc sieć, która wraz ze związanymi erytrocytami wzmacnia i powiększa skrzep. Procesem przeciwnym do krzepnięcia jest **fibrynliza**, odbywająca się w obecności **plazminy** powstającej z plazminogenu.

### c) Powstawanie składników morfotycznych krwi (hemopoeza).

W okresie życia płodowego narządami krwiotwórczymi (hemopoetycznymi) są: **pęcherzyk żółtkowy**, który już w 6 tygodniu życia płodowego rozpoczyna wytwarzanie krwinek, **wątroba** i **śledziona**. Pod koniec życia płodowego, w ostatnim trymestrze tę funkcję przejmuje szpik kostny, który po urodzeniu pozostaje jedynym narządem hemopoetycznym.

Komórki macierzyste krwiotworzenia (hemocytoplasty), morfologicznie zbliżone są do limfocytów i stanowią około 1% wszystkich komórek jądrzastych szpiku. Inicjują one rozwój dwóch typów komórek:

- **komórek linii szpikowej** – proces ich dojrzewania zachodzi w szpiku,

- **komórek linii limfocytarnej** – ich dojrzewanie kontynuowane jest także poza szpikiem.

Z **komórek linii szpikowej** pod wpływem różnych czynników wyzwalających dyferencjację powstają **komórki macierzyste**, zorientowane na poszczególne linie układu krwiotwórczego:

1. **układu czerwonokrwinkowego** (erytrocytarnego),
2. **układu ziarnistokrwinkowego** (granulocytarnego i monocytarnego),
3. **układu płytkowego** (magakariocytarnego).

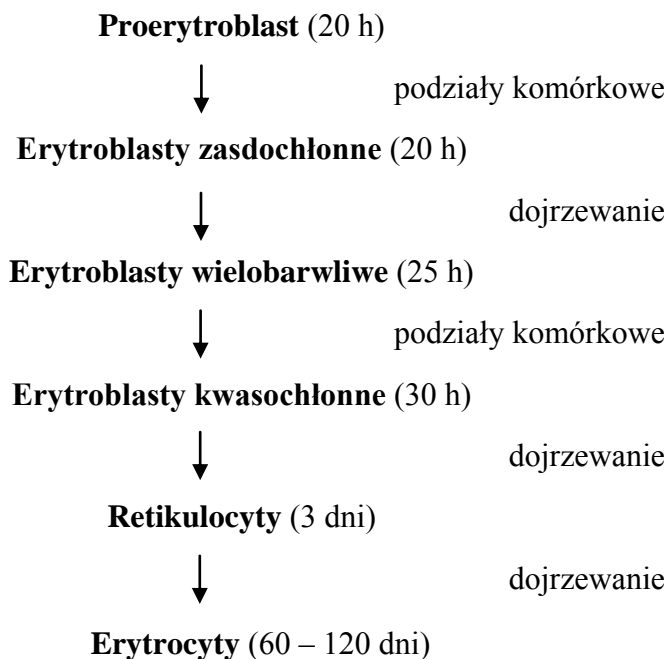
#### d) **Główne etapy powstawanie układu czerwonokrwinkowego – erytropoezy.**

- **Proerytroblast** – komórka kulista, duża, o średnicy od 15 – 20  $\mu\text{m}$  i silnie **zasadochłonnej cytoplazmie**. Posiada duże jądro z **1 – 3 jąderek**. W wyniku podziałów powstają **erytroblasty zasadochłonne**.
- **Erytroblast zasadochłonny** – pojawiają się przejaśnienia zasadochłonnej cytoplazmy wskazujące na **początek biosyntezy** hemoglobiny.
- **Erytroblast wielobarwny** – **wzrasta** stężenie kwasochłonnej hemoglobiny, **zmniejsza się** ilość rybosomów, a cytoplazma staje się zasado- i kwasochłonna. W następnym etapie zachodzi dalsza **redukcja rybosomów i kondensacja chromatyny**. Po podziałach powstają **erytroblasty kwasochłonne**.
- **Erytroblast kwasochłonny** – komórka z pyknotycznym jądrem, dużą ilością hemoglobiny, a zatem wyraźnie kwasochłonnej cytoplazmie, przypomina barwą dojrzały erytrocyt. Na tym etapie nie zachodzi już biosynteza hemoglobiny.

ny. Małe **pyknotyczne jądro** przemieszcza się w kierunku błony komórkowej (lateralizacja), po czy podczas przenikania komórki przez ścianę zatok szpiku zostaje ono wraz z rąbkiem cytoplazmy **usunięte** z komórki.

- **Retikulocyt** – komórka pozbawiona już jądra, w cytoplazmie znajdują się skupiska pozostałości rybosomów w postaci substancji siateczkowo-ziarnisto-włóknistej, która następnie zanika. Retikulocyt przyjmuje kształt dwuwklęsłego krążka i przekształca się w ostateczną postać – **erytrocyt**.
- **Erytrocyt** – opisany wcześniej.

### SCHEMAT ERYTROPOEZY





e) **Główne etapy powstawania układu ziarnistokrwinkowego – granulocytopoezy.**

- **Mieloblast** – najmłodsza, duża, kulista komórka spośród granulocytów, o jądrze kolistym z luźną chromatyną i **zasadochłonną cytoplazmą** oraz słabo wykształconym retikulum endoplazmatycznym (podobna do proerytroblasta).
- **Promielocyt** – jest dalszym etapem dojrzewania mieloblastu. Jest komórką większą, z jądrem siateczkowatym, o cytoplazmie mniej zasadochłonnej i występującymi dwoma typami **ziarnistości**, tj. lizosomalne, uważane za lizosomy wtórne i azurochłonne, odpowiadające lizosomom pierwotnym. Do tego etapu wszystkie linie rozwojowe granulocytów przebiegają identycznie.
- **Mielocyt** – postać bardziej dojrzała, na etapie której następuje **różnicowanie się ziarnistości wtórnych** na w szereg granulocytów obojętno, kwaso- i zasadochłonnych. Cytoplazma barwi się mniej intensywnie, ich jądro jest duże o dość zwartej chromatynie.
- **Metamielocyt** – nie wykazuje zdolności podziałowej jak poprzednie komórki. Jest to etap dojrzewania, którego symtmem jest m. in. głęboka **reorganizacja struktury jądra** komórkowego (staje się bardziej zbite, przewęża się, przyjmuje postać nerkowatą, ulega segmentacji).
- **Granulocyt** – ostatnia **dojrzała** postać komórki. Granulocyty opisano wcześniej.



- **Monoblast** – najmłodsza forma komórkowa, z zasadochłoną cytoplazmą i kulistym jądrem. Wykazuje dużą ruchliwość i właściwości fagocytarne. Przekształca się w następne stadium komórkowe – promonocyt.
- **Promonocyt** – posiada jądro z wyraźnym wpukleniem i luźną chromatyną. Podobnie do monoblastu wykazuje zdolność fagocytozy. W dalszym etapie przekształca się w monocyt.
- **Monocyt** – dojrzała postać komórki charakteryzująca się dużym polimorfizmem, o jądrze nerkowatym lub podkowistym, położonym ekscentrycznie. Dojrzałe monocyty posiadające wypustki cytoplazmatyczne (pseudopodia), a zatem wykazują dużą ruchliwość i zdolność do fagocytozy. W krwi obwodowej żyją 1 – 2 dni. Posiadając receptory powierzchniowe rozpoznają, przyłączają, a następnie fagocytują obce antygeny i substancje. Monocyty po dostaniu się do tkanek przekształcają się w **makrofagi** tkankowe.

#### g) Główne etapy powstawania układu płytek krwi – megakariocytowego.

Komórki prekursorowe tego układu wywodzą się z komórek **mieloidalnych**.

- **Megakarioblast** – pierwsza duża komórka tego szeregu osiągająca średnicę od 20 – 40  $\mu\text{m}$  z dużym, nieregularnego kształtu jądrem z licznymi jąderkami. Cytoplazma jest beziarnista i silnie zasadochłonna.
- **Promegakariocyt** – komórka dojrzewająca, której jądro staje się płątowate i pyknotyczne, natomiast cytoplazma bardziej kwasochłonna z ziarnistościami.

- **Megakariocyt** – komórka w pełni dojrzała, zwana komórką olbrzymią szpiku kostnego (do 100  $\mu\text{m}$ ). Posiada jądro wielopłatowe, poliploidalne ulegające w miarę dojrzewania podziałom (kariogamii). W kwasochłonnej cytoplazmie występują ziarnistości azurochłonne, które wraz z wiekiem tworzą skupienia nazywane **granulomerami**, oddzielonymi od siebie bezzziarnistą cytoplazmą – **hialomerem**. Niniejsze części odrywają się od megakariocyty, przenikają do naczyń i stają się **płytkami krwi**.
- **Płytki krwi** (trombocyty) – powstają z **megakariocytów**, przy czym jedna komórka uwalnia kilka tysięcy płytek, po czym zanika. Czynnikiem odpowiedzialnym za regulację wytwarzania płytek krwi jest **trombopoetyna**, przyspieszająca dojrzewanie megakariocytów i dyferencjację komórek macierzystych w kierunku linii megakariocytarnej.

#### **h) Komórki linii limfocytarnej.**

Rozwój komórek linii limfocytarnej kontynuowany jest także poza szpikiem (grasica, węzły chłonne, grudki chłonne, migdałki, śledziona) i nosi nazwę **limfocytopenozy**. **Limfoblasty** są komórkami macierzystymi limfocytów.

#### **i) Limfa/chłonka – rodzaje, skład i cyrkulacja.**

**Limfa** (*lymph*), to płyn tkankowy zawarty w naczyniach limfatycznych/chłonnych, który zależnie od naczynia w jakim się znajduje różnicowany jest na chłonkę **pierwotną** i **wtórną**. **Pierwotna** zawarta jest w kapilarach i nieznacznie różni się od właściwości płynu tkankowego, natomiast **wtórna**, transportowana jest w naczyniach średnich i dużych, powstaje przez zagęszczanie się chłonki pierwotnej. Nadto wyróżnia się chłonkę

wtórna **przedwężłowa**, pozbawioną limfocytów i chłonkę **zawężłową**, wyposażoną w limfocyty.

Limfa składa się z:

- a/ części płynnej** – zawierającej mikroelementy (np. Na, K), składniki mineralne (np. Ca, P), białko, związki związane z białkiem, enzymy, cytokiny, jak i zemulgowane krople tłuszczu (chylomikrony), szczególnie w pniach jelitowych, nadające chłonce zabarwienie mleczne, skąd wywodzi się nazwa mlecz (*chylus*),
- b/ komórek** – w postaci głównie limfocytów, w tym T, stanowiących do 97% elementów komórkowych (2 000 – 20 000 w mm<sup>3</sup>).

Do czynników umożliwiających **krążenie chłonki** należą m. in.:

- intensywność przepływu filtrowanej części osocza do przestrzeni międzykomórkowej, a następnie naczyń chłonnych kapilarnych,
- ruchy poszczególnych części ciała,
- praca ssąca serca i tętnienie tętnic,
- bierne i czynne ruchy narządów, np. ruchy perystaltyczne jelit, skurcze naczyń krwionośnych i chłonnych oraz innych.

### 4.3. Tkanka mięśniowa

**Tkanka mięśniowa** należy do tkanek o wyższym stopniu różnicowania, charakteryzujących się zdolnością silnego **kurczenia się** dzięki szczególnym białkom kurczliwym, budującym **włókienka mięśniowe** (miofibryle). Właściwość ta umożliwia

poruszanie się całego organizmu, jego części oraz prawidłowe funkcjonowanie ważnych dla życia narządów. Wszystkie tkanki mięśniowe mają pochodzenie **mezodermalne**.

W zależności od budowy i funkcji wyróżnia się: tkankę mięśniową **gładką** i tkanki mięśniowe **poprzecznie prążkowane**.

#### **a) Tkanka mięśniowa gładka.**

Zbudowana jest z **komórek wrzecionowatych** (miocytów gładkich), o długości od **20  $\mu\text{m}$** , np. w ściankach naczyń krwionośnych do **600  $\mu\text{m}$** , np. w ścianie macicy ciężarnej. Występują one pojedynczo, ale najczęściej układają się w pęczki lub zwarte błony mięśniowe, tworząc mięśnie gładkie unerwione przez układ autonomiczny. Skurcze ich są powolne, lecz długotrwałe, zmęczenie następuje powoli. Mięśnie gładkie są mięśniami **mimowolnymi** (nie podlegają naszej woli).

Komórki otoczone są **bloną komórkową** (sarkolemą) i siecią włókien retikuliny, pełniących istotną rolę podczas rozkurczu komórek. Posiadają one zdolność biosyntezy m. in. kolagenu, elastyny, proteoglikanów. Ich **jądro** jest wydłużone, położone centralnie z rozmieszczonymi wokół organelami komórkowymi zawieszonymi w sarkoplazmie. Pod sarkolemą występuje wyspecjalizowany system **blon gładkich**. Do nader istotnych struktur znajdujących się w sarkoplazmie należą **włókienka kurczliwe**, tzw. **miofibryle** zbudowane z mniejszych jednostek – **miofilamentów cienkich i grubych**. Tworzą one sieć krzyżujących się pęczków. **Miofilamenty cienkie** zbudowane są z **aktyny** i **tropomiozyny** oraz **kalmoduliny**, przejmującej rolę troponiny, występującej w tkance poprzecznie prążkowanej. **Miofilamenty grube** budują cząsteczki **miozyny**, których główki występują na

jednym z końców filamentu. Skurcz zapoczątkowany jest przez **fosforylację główek miozyny** przez **kinazę miozynową** i polega na ich przesuwaniu się na aktynie.

Charakterystyczną cechą tych komórek jest obecność **ciałek gęstych** występujących w cytoplazmie lub **płytek mocujących** przytwierdzonych do sarkolemmy. Zbudowane są one – podobnie jak linie Z w tkance poprzecznie prążkowanej – z  **$\alpha$ -aktyniny** (miejsce przyczepu miofilamentów).

W tkance mięśniowej gładkiej występują pojedynczo lub otoczone są miocytami tzw. **śródmiaższowe komórki Cajala**, stanowiące odmianę komórek mięśniowych gładkich. Wykazują one zdolność **generowania bodźców**, pełniąc funkcje rozruszników wywołujących **skurcz mięśniówki**.

Komórki mięśniowe gładkie wykazują zdolność **regeneracji** lub **zwiększania** swoich wymiarów (namnażanie się – hiperplazja, zwiększanie wymiarów – hipertrofia).

[patrz: Budowa tkanki mięśniowej gładkiej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

## **b) Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa.**

**Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana** swą nazwę zawdzięcza naprzemiennemu występowaniu ciemniejszych i jaśniejszych prążków na włóknach mięśniowych, które są **zespólniami** (syncytiami) wielojądrzastymi, powstałymi w wyniku fuzji wielu **mioblastów**. Nazywane są one również **miocytami poprzecznie prążkowanymi**. Osiągają one długość od **kilku mm** do **40 cm**.

Tkankę mięśniową poprzecznie prążkowaną dzielimy na **szkieletową i sercową**.

**Tkanka mięśniowa szkieletowa** jest czynnym elementem układu ruchu, zbudowanym z poprzecznie prążkowanych, długich, cylindrycznych włókien mięśniowych, posiadających liczne, położone obwodowo jądra komórkowe. Włókna mięśniowe jako zespólnie komórkowe (miocyty) biegną równolegle względem siebie. Ich średnica wynosi od **10 – 100  $\mu\text{m}$** , natomiast długość od **1 – 20 mm**, a niekiedy nawet do **40 cm** (w mięśniu krawieckim). W sarkoplazmie, poza typowymi organellami komórkowymi znajdują się włókienka mięśniowe – **miofibryle** o średnicy **1 – 2  $\mu\text{m}$** .

Prążkowanie włókien poprzecznie prążkowanych związane jest ze szczególną strukturą i ułożeniem **miofilamentów cienkich i grubych**, składowych miofibryli, których prążkowanie jest wynikiem naprzemiennego występowania dwóch substancji białkowych. W świetle spolaryzowanym jedna z nich jest dwuwłomna (prążki ciemne), **anizotropowa (A)**, druga – jednołomna (prążki jasne), **izotropowa (I)**. Charakterystyczną cechą **miofibryli** jest to, że wszystkie prążki ciemne **A** i jasne **I** położone są mniej więcej **na tych samych poziomach**, co daje obraz poprzecznego prążkowania. W miofibrylach rozkurczonych włókien mięśniowych występują poprzeczne, cienkie prążki w postaci tzw. **blonek granicznych** (prążki, linie **Z**), przebiegających przez środek **prążków I**. W prążku **A** występuje przejaśnienie w postaci prążka **H**, a w nim pośrodkowo biegnie cienki prążek (linia) **M**.

Jednostką strukturalną jest **sarkomer**, czyli odcinek miofibryli między błonkami granicznymi **Z**, obejmujący **linię Z**, połowę **prążka I**, **prążek A**, połowę **prążka I** i **linię Z**.

W skład **miofibryli** wchodzi więc dwa rodzaje **miofilamentów**, tj. **cienkie i grube**.



**Miofilament cienki** osiąga około **1  $\mu\text{m}$**  długości, zbudowany jest z trzech białek, głównie **aktyny**, **tropomiozyny** i **troponiny**. Aktyna **G** należy do białek globularnych, które łącząc się z sobą tworzą tzw. aktynę **F**, o charakterze fibrylarnym. Dwa skręcone łańcuchy aktyny **F** tworzą **rdzeń** na który nawinięte są dwie fibryle **tropomiozyny**. Wzdłuż rdzenia w stałych odstępach występuje związana globularna **troponina**, zbudowana z trzech podjednostek białkowych odgrywających istotną rolę w procesie skurczu. Jedna z podjednostek łączy się z **jonami wapnia**, powodując zmianę położenia **tropomiozyny** na **aktynie**, celem odsłonięcia miejsca wiążącego **miozynę**. Miofilamenty cienkie połączone są z linią **Z** dzięki  **$\alpha$ -aktyninie** i **winkulinie**.

**Miofilament gruby** osiąga długość około **1,5  $\mu\text{m}$** , zbudowany jest z białka fibrylarnego – **miozyny** oraz **białka C**, łączącego cząsteczki miozyny. Cząsteczka miozyny zbudowana jest z dwóch łańcuchów ciężkich tworzących ogonek i lekkich – zróżnicowanych na dwie osadzone na szyjkach główki, dzięki którym mogą zmieniać swoje położenie. Każda główka wyposażona jest w miejsce wiązania aktyny i ATP. Rdzeń miofilamentu grubego składa się z wielu skręconych łańcuchów ciężkich miozyny, natomiast główki wystają na zewnątrz na obu jego końcach. Za utrzymanie uporządkowanego położenia miofilamentów grubych w sarkomerze odpowiada tzw. **miomezyna** tworząca linie **M**. Łączą się one również z liniami **Z** włókienkami zbudowanymi z białka **titiny**.

Nadto w tkance mięśniowej szkieletowej występują **filamenty pośrednie desminowe** odpowiedzialne za utrzymanie spistości i ułożenie miofibryli poprzez oplecenie ich gęstą siecią.

Na szczególnie potraktowanie zasługuje charakterystycznie wykształcone retikulum sarkoplazmatyczne w postaci tzw. **triady**

**mięśniowej** utworzonej w postaci **kanalika T** i dwóch **cystern brzeżnych**. Kanaliki T to rurkowate **wpuklenia sarkolemy**, ułożone poprzecznie względem miofilamentów na granicy każdego prążka **A** i **I**, docierające do każdego sarkomeru. Po bokach każdego kanalika biegną dwie **cysterny brzeżne**, stanowiące agranularną (gładką) część retikulum sarkoplazmatycznego, otaczającą wszystkie miofibryle. Predysponowane są one do bioakumulacji jonów wapnia dzięki **pompie wapniowej** wbudowanej w błonę cystern. Jony wapnia mogą być uwalniane do sarkoplazmy przez **kanały wapniowe** otwierające się podczas procesu depolaryzacji.

Mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego ma charakter wieloetapowy. Uwolniona w płytce motorycznej **acetylocholina** inicjuje depolaryzację **sarkolemy**. Depolaryzacji ulegają błony **retikulum sarkoplazmatycznego**, czyli **kanalików T** i **cystern brzeżnych**, powodując tym samym otwieranie się kanałów wapniowych występujących w błonach cystern. W efekcie ponad 1000-krotnie wzrasta stężenie jonów  $\text{Ca}^{2+}$  w sarkoplazmie, gdzie łączą się one z podjednostką C troponiny, powodującej przesunięcie tropomiozyny i odsłonięcie miejsc aktyny wiążących główki miozyny. Obydwie głowy miozyny hydrolizują ATP uzyskując energię umożliwiającą im przemieszczanie się wzdłuż podjednostek aktynowych (rodzaj kroczenia). Miofilamenty cienkie wsuwane są między miofilamenty grube, powodując skracanie się sarkomerów o ok. 30% (skraca się lub zanika prążek I oraz prążek H). Proces ten przebiega synchronicznie we wszystkich sarkomerach miofibryli całego włókna, prowadząc do jego skurczu. Po depolaryzacji następuje repolaryzacja ww. błon, kanały wapniowe zostają zamknięte, natomiast pompa wapniowa

wpompuje jony wapnia z sarkoplazmy do cystern brzeżnych, troponina oddaje jony wapnia, tropomiozyna zajmuje swoje pierwotne położenie, miozyna traci kontakt z aktyną. W efekcie następuje rozkurcz sarkomerów i całego włókna mięśniowego.

Różnice dotyczące cech morfologiczno-funkcjonalnych włókien mięśniowych pozwoliły wyróżnić trzy ich rodzaje:

- **włókna czerwone** – **bogate** w sarkoplazmę, zawierającą dużo mioglobiny wiążącej tlen i nadającą barwę, mitochondriów a **mniej** miofibryli, co pozwala na wykonywanie dłuższej pracy,
- **włókna białe** – **ubogie** w sarkoplazmę, zawierają zatem **mniej** mioglobiny i mitochondriów, natomiast **więcej** miofibryli, co predysponuje je do szybkich i efektywnych skurczów przy szybkim męczeniu się,
- **włókna pośrednie** – wykazują cechy pośrednie ww. rodzajów.

Włókno mięśniowe jest **jednostką strukturalną** tkanki mięśniowej/mięśnia szkieletowego. Każde pojedyncze włókno mięśniowe otoczone jest **śródmięsną**, nazywaną błoną podstawną lub blaszką zewnętrzną. Utworzony pęczek włókien złożony z kilku lub z kilkunastu włókien mięśniowych otoczony jest tkanką łączną – **omięsną**. Pęczki łączą się w większe skupienia – pęczki drugiego i trzeciego rzędu, tworząc mięsień szkieletowy otoczony tkanką łączną, tzw. **namięsną**, na zewnątrz której zwykle występuje błona łączno-tkankowa nazywana **powięzią**. Namięsna kurczy się wraz z mięśniem, natomiast powięź pozostaje nieruchoma, tworzy kanał określający kierunek działania mięśnia.

Do każdego **włókna mięśniowego** dochodzi zakończenie nerwu ruchowego, co określamy mianem **plytki motorycznej** lub

połączeniem nerwowo-mięśniowym. Płytką motoryczną swoją budową przypomina synapsę nerwową. Mediatorem jest acetylocholina. Jedno włókno nerwowe ruchowe może unerwiać od 1 do około 160 włókien mięśniowych. Grupę włókien mięśniowych unerwianych przez jedno włókno nerwowe nazywamy **jednostką motoryczną**.

Tkanka mięśniowa jest bardzo **bogato unaczyniona**, bowiem na 1 kg wagi sieć naczyń włosowatych osiąga łączną długość około 2 000 km, a przy ogólnej wadze mięśni człowieka wynoszącej około 20 kg sieć naczyń włosowatych ma łączną długość około 40 000 km.

Mięśnie szkieletowe wykazują zdolność regeneracji dzięki obecności tzw. **komórek satelitarnych**, tj. nieaktywnych mioblastów występujących wokół włókien mięśniowych. Położone są one na powierzchni włókna mięśniowego pod **blaszką podstawną**. Mogą się one **namnażać** i **przekształcać** w nowe włókna mięśniowe lub **wbudowywać** w istniejące włókna, zwiększając ich przekrój poprzeczny, a tym samym wydolność. Niniejsze zmiany indukowane są systematycznie prowadzonym treningiem. [patrz: Budowa tkanki mięśniowej szkieletowej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

#### **4.3.3. Tkanka mięśniowa sercowa wraz z układem przewodzącym.**

**Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca** zbudowana jest z **włókien** kurczliwych, mających liczne rozgałęzienia, za pomocą których łączą się one z sobą bocznymi odgałęzieniami (anastomozami), tworząc charakterystyczną przestrzenną sieć.

Każde włókno składa się z komórek mięśniowych sercowych zwanych **kardiomiocytami**. Poszczególne komórki oddzielone są od siebie poprzecznymi błonami – **wstawkami**. Mają one około **100  $\mu\text{m}$**  długości, wykazują poprzeczne prążkowanie i posiadają jedno lub dwa centralnie położone jądra komórkowe. Zawierają one więcej sarkoplazmy niż włókna mięśniowe szkieletowe, natomiast mniej ułożonych bardziej obwodowo miofibryli, zróżnicowanych na odcinki izo- i anizotropowe. Występują pewne różnice w budowie triady mięśniowej. Kanaliki T są dłuższe i biegną na wysokości linii **Z**. Retikulum sarkoplazmatyczne jest słabiej rozwinięte i obok kanalików T najczęściej występuje tylko jedna cysterna końcowa. Stąd taki układ nosi nazwę **diady**. W związku z bardzo dużym zapotrzebowaniem energetycznym prawie połowę objętości komórki zajmują mitochondria.

**Wstawki** jako najbardziej charakterystyczne struktury włókna mięśnia sercowego stanowią połączenia międzykomórkowe, co ma duże znaczenie przy jednoczesnym skurczu wszystkich kardiomiocytów we włóknie.

[patrz: Budowa tkanki mięśniowej sercowej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

**Tkanka mięśniowa układu przewodzącego serca** zbudowana jest z komórek mięśniowych sercowych, które zatrzymały się na wcześniejszym etapie różnicowania się, wykazujących zdolność **generowania skurczów** mięśnia sercowego. Komórki te rozmieszczone są w sercu nierównomiernie tworząc skupiska w postaci dwóch **węzłów**, tj. **węzła zatokowo-przedsionkowego** i **przedsionkowo-komorowego** oraz odchodzących od niego komórek wchodzących w skład rozgałęzionego **pęczka Hisa**, przechodzącego do mięśni komór. Zespoły komórek budujących

pęczek Hisa tworzą **włókna Purkinjego**. Komórki tych włókien zawierają jeszcze więcej sarkoplazmy z dużą ilością glikogenu i znacząco mniej obwodowo ułożonych miofibryli.

Ww. elementy, tj. węzły i pęczek Hisa tworzą tzw. **układ bodźczo-przewodzący serca**, odpowiedzialny za jego rytmiczną pracę. Impulsy generuje węzeł zatokowo-przedsionkowy, dalej pobudzenie za pośrednictwem włókien Purkinjego rozchodzi się po całym sercu, powodując jego rytmiczne skurcze.

[patrz: Budowa układu bodźczo-przewodzącego, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

## 4.4. Tkanka nerwowa

### 4.4.1. Ogólna charakterystyka tkanki nerwowej.

**Tkanka nerwowa** pod względem budowy i funkcji przystosowana jest do odbioru różnorodnych bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego, jak i wewnętrznego. Przekształcane (transformowane) są one na odpowiednie impulsy, które przekazywane (transmitowane) są do odpowiednich ośrodków nerwowych w celu sterowania całym organizmem. Występuje ona we wszystkich narządach organizmu. Największe jej skupiska tworzą ośrodkowy i obwodowy układ nerwowy.

Tkanka nerwowa zbudowana jest z komórek nerwowych – **neurocytów**, których liczbę ocenia się na 14 – 15 miliardów i ze swoistej tkanki łącznej zwanej **tkanką glejową** (neuroglej). Tkanki te rozwijają się głównie z **ektodermy**, jedynie część tkanki glejowej powstaje z mezenchymy (tworzy się ona z komórek gwiaździstych wywędrowujących z mezodermy).

**Neurocyty** (neurony) należą do dość dużych komórek, których wielkość samego **ciała komórki**, poza wypustkami protoplazmatycznymi waha się od **5 – 150  $\mu\text{m}$** . Największe z nich występują w korze mózgowej (komórki Betza), mózdzku (komórki Purkiniego) i istocie szarej rdzenia kręgowego (komórki ruchowe). Charakterystyczną cechą neurocytu są wypustki protoplazmatyczne o zróżnicowanej liczbie. Jedna z wypustek, zwykle dłuższa nosi nazwę wypustki osiowej, czyli **aksonu/neurytu**, która może osiągać długość nawet **1,5 m**. Inne dość licznie występujące i drzewkowato rozgałęzione wypustki noszą nazwę **dendrytów**. Neuryty przewodzą pobudzenie od ciała komórki na obwód (odśrodkowo), natomiast dendryty z obwodu do ciała komórki (dośrodkowo). Obszar neurocytu obejmujący jądro i neuroplazmę otaczającą ją nosi nazwę **perikarionu**.

Zależnie od morfologii **perikarionu** wyróżnia się neurocyty: **piramidalne** (kora mózgu), **gruszkowate** (kora mózdzku), **gwiazdziste** i **owalne**.

[patrz: Zróżnicowanie neurocytów ze względu na morfologię perikarionu, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Ze względu na liczbę wypustek wyróżniamy trzy rodzaje neurocytów:

- **jednobiegunowe** (unipolarne) – komórka ma tylko jeden akson, np. komórki węchowe występujące w nabłonku węchowym, w niektórych jądrach podwzgórza,
- **dwubiegunowe** (bipolarne) – mają dwie wypustki: akson i dendryt, np. komórki zwoju spiralnego ślimaka, zwoju przedsionkowego nerwu przedsionkowo-ślimakowego, siatkówce oka; odmianą tych komórek są komórki rzekomojednobiegunowe (pseudounipolarne) – wychodzi jedna

wypustka, która rozgałęzia się na akson i dendryt, np. w zwojach czuciowych obwodowego układu nerwowego,

- **wielobiegunowe** (multipolarne) – są najczęściej spotykanymi komórkami, posiadają większą ilość wypustek, w tym jeden akson a pozostałe dendryty, np. większość komórek ośrodkowego układu nerwowego.

[patrz: Zróżnicowanie neurocytów ze względu na liczbę wypustek protoplazmatycznych, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Jedynymi neurocytami pozbawionymi aksonu są komórki amakrynowe oka i komórki ziarniste opuszki węchowej.

Ze względu na funkcję neurocyty dzielimy na:

- **ruchowe** (motoryczne) – nadzorujące działalność efektorów (mięśni, gruczołów),
- **czuciowe** (sensoryczne) – odbierające bodźce ze środowiska zewnętrznego i wewnętrznego,
- **wstawkowe** (pośredniczące) – łączą różne rodzaje neurocytów.

Jednym ze składników neuroplazmy jest **perikarion** stanowiący centrum metaboliczne wraz z pośrodkowo występującym kulistym lub elipsoidalnym **jądrem komórkowym** z jąderkiem. Wypełnione jest ono **karioplazmą**, w której zawieszona jest eu- i heterochromatyna (chromatyna luźna i zwarta).

W karioplazmie neurocytów kobiet, w okolicy jąderka występuje zespiralizowana chromatyna płciowa zwana ciałkiem Barra.

Perikarion przenika dobrze wykształcone **granularne retikulum neuroplazmatyczne** (ziarniste). Skupiska tych błon wraz z licznymi rybosomami tworzą **tigroid** (ciałka Nissla), uczestniczący w biosyntezie białek strukturalnych, błonowych, cytoszkieletu i neuromediatorów. W neurocytach występuje także **agranu-**



**larne retikulum** (gładkie), szczególnie dobrze wykształcone w neurocytach mózdku.

W pobliżu jądra położony jest **aparat Golgiego** uczestniczący w procesach wydzielniczych. Liczne jego pęcherzyki poprzez akson docierają do zakończeń nerwowych – kolbek synaptycznych jako pęcherzyki synaptyczne.

**Mitochondria** rozmieszczone są nierównomiernie w neuroplazmie. Liczne **grzebienie** mitochondrialne świadczą o dużym zapotrzebowaniu energetycznym komórki.

Do charakterystycznych struktur neurocytów należy cytoszkielek w postaci delikatnych tworów włókienkowych – **neurofibryli** przebiegających w ciele komórki i wypustkach. Zbudowane są one z dwóch rodzajów struktur włókienkowych:

- **neurofilamentów** – filamentów pośrednich o średnicy około 10 nm, zbudowanych z podjednostek białkowych, zwanych neurokeratynami, nadających kształt i wzmacniających mechanicznie wypustki,
- **neurotubuli** – rurczkowatych tworów, o średnicy od 20 – 25 nm, na powierzchni których występują liczne, boczne wypustki wiążące z sobą elementy cytoszkieletu. Głównym białkiem tych struktur jest **tubulina** oraz grupa białek **MAP** (microtubul associated proteins). Destabilizacja **neurotubul** powoduje zakłócenia w transporcie aksonalnym, co uznaje się za jedną z przyczyn choroby Alzheimera.

W neuroplazmie występują także struktury niestałe, np. ziarna **lipofuscyny**, prawdopodobnie pochodzenia lizosomalnego, w skład których wchodzi lipidy, białka i częściowo węglowodany, **melanina**, której ilość wzrasta wraz z wiekiem i inne.

Z zewnątrz neurocyt i wypustki protoplazmatyczne otoczone są błoną komórkową, zwaną **neurolemą**, która pełni wiele różnych funkcji m. in. odpowiada za recepcję i transformację bodźca w impuls nerwowy, transmisję impulsów.

**Dendryty** na całej długości są bogato rozgałęzione z zaznaczonymi na powierzchni **pączkami dendrytycznymi** stanowiącymi części postsynaptyczne, bowiem do nich dochodzą kolbki synaptyczne aksonów innych neurocytów. Neurotubule rozmieszczone są równoległe do długiej osi dendrytu. Neurofilamentów jest mniej i występują one pojedynczo.

**Akson** (neuryt) jest pojedynczą wypustką od której odchodzą boczne odgałęzienia zwane **kolateralami**. Zarówno akson jak i kolateralia rozgałęziają się na końcu tworząc tzw. **telodendria** zakończone kolbkami synaptycznymi. Miejsce wyjścia aksonu z perikarionu nosi nazwę wzgórka aksonalnego. Głównym składnikiem aksoplazmy są **neurofilamenty** oraz **neurotubule**, odpowiadające za transport substancji syntetyzowanych w perikarionie, składowych cytoszkieletu, fragmentów błon i niektórych organelli. Transport tych substancji odbywa się dwukierunkowo przy udziale **kinezyiny** oraz **dyneiny** i nazywa się on **transportem aksonalnym**.

Wiązki aksonów lub dendrytów, czy wiązki mieszane przebiegające poza ośrodkowym układem nerwowym nazywamy **nerwami**.

[patrz: Budowa neurocytu/neuronu, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Wypustki neurocytów w postaci włókien osiowych – aksonów lub rzadziej długich dendrytów nazywamy **włóknami nerwo-**

**wymi**. Akson od zewnątrz otoczony jest jedną lub dwoma osłonkami, tj. **rdzenną/mielinową** oraz **glejową/neurolemą**, które wytwarzane są przez komórki glejowe. Dobrze izolują one włókna nerwowe od środowiska zewnętrznego, zapewniając korzystne przewodnictwo impulsów nerwowych.

W okolicach ośrodkowego układu nerwowego i zakończeniach nerwowych występują także **włókna bezrdzenne** (bezmielinowe), pozbawione osłonki rdzennej.

Przeważnie akson otoczony jest osłonką **rdzenną** (mielinową), a zatem tego typu włókna nazywamy **włóknami rdzennymi** (mielinowymi). Wytwarzana jest ona przez oligodendrocyty i jest tworem białkowo-lipidowym. Osłonka rdzenna jest nieciągła, składa się z **segmentów** (międzywęzli), przy czym każdy z nich mielinizuje odrębna komórka glejowa. Segmenty oddzielone są odcinkami bezmielinowymi, zwanymi **przewężeniami Ranviera**, które okryte są jedynie aksolemą.

W większości nerwów obwodowych włókna nerwowe przekraczające średnicę 1 mm otoczone są zarówno osłonką **mielinową**, jak i **neurolemą** (osłonką Schwanna). Obydwie otoczki są wytworem **komórek Schwanna** (lemocytów).

Rodzaj i liczba osłonek pozwala wyróżnić włókna nerwowe:

- **nagie** – bez osłonek, np. początkowe i końcowe części nerwów, nerwy węchowe,
- **rdzenne** (mielinowe) – otoczone osłonką mielinową, np. włókna ośrodkowego układu nerwowego, nerw wzrokowy,
- **rdzenne** (mielinowe) – otoczone osłonką mielinową i neurolemą (osłonką Schwanna), np. większość nerwów obwodowych,

- **bezdżenne** (beźmielinowe) – otoczone tylko neurolemą, np. autonomiczny układ nerwowy.

[patrz: Budowa włókien nerwowych, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

#### 4.4.2. Przewodzenie impulsów nerwowych.

Proces przewodzenia impulsów nerwowych przebiega **odmiennie** we włóknach beźmielinowych i mielinowych.

We włóknach **beźmielinowych** aksolema, podobnie jak błona komórkowa (neurolema) całego neurocytu wykazuje zdolność polaryzacji elektrycznej, co wynika z nierównomiernego rozmieszczenia jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  po obu stronach błony. Na zewnątrz dominują jony **sodu**, natomiast wewnątrz neuroplazmy jony **potasu** (włókno spolaryzowane). Za przewodzenie odpowiadają błonowe białka aksolemy tworzące **kanały sodowe**. Otwarcie ich następuje pod wpływem impulsu nerwowego, w następstwie czego jony sodu nagle przepływają do aksolemy powodując lokalną **depolaryzację**, która w postaci fali przenosi się z prędkością 0,5 – 3 m/sek na sąsiednie obszary błony (przewodnictwo ciągłe). Obecna tam pompa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  w procesie **repolaryzacji** przywraca pierwotne różnice w rozmieszczeniu obu jonów, doprowadzając aksolemę do stanu **polaryzacji**.

Oślonka **rdżenna** włókien mielinowych pełni funkcję izolatora. Kanały sodowe zlokalizowane są w przewężeniach Ranviera. Tutaj powstaje impuls nerwowy transmitowany z prędkością 15 – 120 m/s do następnego przewężenia (węzła). Niniejszy sposób przekazywania impulsów nazywamy **przewodnictwem skokowym**.

[patrz: Mechanizm przewodzenia impulsów nerwowych, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

Połączenie czynnościowe, w którym zachodzi przekazywanie impulsu nerwowego z jednego neurocytu do drugiego nazywamy **synapsą**. Połączenia tego typu ze względu na uczestniczące elementy neurocytów mogą być **aksodendrytyczne** (akson i dendryt), **aksosomatyczne** (akson i ciało nerwowe) i **aksoaksoniczne** (akson jednego i akson drugiego neurocytu).

Sposób przekazywania impulsu nerwowego stanowi podstawę wyróżnienia dwóch rodzajów synaps, tj. **chemicznej i elektrycznej**.

W każdej synapsie występują dwie części: **presynaptyczna** (przedsynaptyczna) i **postsynaptyczna** (zasynaptyczna).

**Synapsę chemiczną**, jej odcinek **presynaptyczny** charakteryzują **kolbkowato** rozdęte końcowe rozgałęzienia (telodendria) aksonu. Zawierają one mitochondria, neurotubule oraz liczne **pęcherzyki synaptyczne z neuromediatorami**: acetylocholiną, noradrenaliną, dopaminą, serotoniną oraz dużą grupą peptydów (somatostatyna, endorfina...). W błonie pęcherzyków występują białka (synaptofizyna i synaptotagmina) uczestniczące w procesie egzocytozy.

Odcinek **postsynaptyczny** stanowi błona (neurolema) otaczająca perikarion, akson lub dendryt. Pod błoną występują drobne filamenty, tworzące **rąbek postsynaptyczny**. Na powierzchni błony znajdują się **receptory** wiążące neuromediatory. Pomiedzy odcinkiem pre- i postsynaptycznym znajduje się **szczelina synaptyczna** z mostkami utworzonymi z kadheryn obu błon, utrzymujących oba odcinki.

Kiedy **impuls nerwowy** dotrze do odcinka **presynaptycznego** błony pęcherzyków synaptycznych łączą się z aksolemą, natomiast **neuromediator** w wyniku **egzocytozy** przedostaje się przez szczelinę do błony **postsynaptycznej**, gdzie łączy się

z odpowiednimi **receptorami**, otwierającymi kanały jonowe. W dalszym etapie następuje przepływ jonów i powstanie impulsu nerwowego, czyli depolaryzacji.

[patrz: Budowa synapsy chemicznej, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

**Synapsa elektryczna** charakteryzuje się zredukowaną szczeliną synaptyczną. Błony presynaptyczna i postsynaptyczna bezpośrednio do siebie przylegają (połączenie typu nexus). Przez kanały białkowe przenikają jony i niewielkie cząsteczki. Dzięki temu fala depolaryzacji przenosi się szybko, bez opóźnień. Tego typu synapsy u człowieka **nie występują**, natomiast u innych kręgowców występują rzadziej niż chemiczne.

#### 4.4.3. Budowa i funkcje tkanki glicyjowej.

**Tkanka glicyjowa** (glicja) obok neurocytów należy do podstawowych składników ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego. Nie przewodzą one impulsów nerwowych, lecz pełnią funkcję **podporową, ochronną, pośredniczą w metabolizmie**, mogą wykazywać właściwości **żerne** (fagocytoza) w stosunku do neurocytów.

Zależnie od histogenezy wyróżniamy dwa rodzaje glicji:

**1. neuroglicja** – neuroektodermalny,

**2. mezoglicja** – mezodermalny.

W ośrodkowym układzie nerwowym występują cztery charakterystyczne typy komórek glicji: **astrocyty** (komórki gwiaździste), **oligodendrocyty** (komórki skąpowypustkowe), **ependymocyty** (komórki wyściółki) i **mikroglicja** (komórki mezoglicji).

Typowymi i charakterystycznymi komórkami gleju w obwodowym układzie nerwowym są: **amficyty** (komórki satelitarne) i **lemocyty** (komórki Schwanna).

**Astrocyty** są największymi komórkami glejowymi z licznymi wypustkami, oplatającymi naczynia krwionośne, jak i komórki nerwowe. Pośredniczą one w wymianie substancji budulcowych, energetycznych i produktów metabolizmu pomiędzy krwią a neurocytami. Odgrywają one istotną rolę w **zabezpieczeniu** przewodnictwa i recepcji bodźców, a także wykazują pewne możliwości **reperacyjne** (wypełnienie ubytków, np. po zniszczeniu neurocytów).

**Oligodendrocyty** należą do **najliczniej** występujących komórek gleju, z niewielką ilością wypustek zakończonych kolbkowatymi zgrubieniami. Są odpowiedzialne za wytwarzanie **osłonki mielinowej** spełniającej funkcję izolatora oddzielającego neurocyty oraz udział w metabolizmie neurocytów.

**Ependymocyty** przypominają komórki tkanki nabłonkowej, mogą być spłaszczone, sześciennie lub cylindryczne, wyposażone w mikrokosmki i rzęski. Wyścielają układ komorowy mózgowia i kanał środkowy rdzenia kręgowego. Za ich pośrednictwem odbywa się transport produktów metabolizmu z mózgu do płynu mózgowo-rdzeniowego. Uczestniczą w tworzeniu bariery płyn mózgowordzeniowy-mózg.

**Mikroglej** budują **najmniejsze** komórki gleju, występujące we wszystkich strukturach ośrodkowego układu nerwowego. Wykazują one właściwości żerne i zdolność migracji. Komórki mikrogleju to **makrofagi** centralnego układu nerwowego. Otaczają one miejsca uszkodzone i fagocytują fragmenty obumarłych neurocytów.

[patrz: Komórki gleju, w: *Histologia: kolorowy atlas...*, dz. cyt.].

## Literatura

1. Cichocki T., Litwin J., Marecka J.: *Kompendium histologii*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego. Kraków 2009.
2. Sawicki W., Malejczyk J.: *Histologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL Warszawa 2012.
3. Sawicki W.: *Histologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2003.
4. Young B., Lowe J. i wsp.: *Histologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL Warszawa 2010.
5. Welsch U.: Sobotta. *Histologia. Kolorowy atlas cytologii i histologii człowieka*. Urban & Partner. Wrocław 1998.
6. Welsch U.: *Atlas histologii człowiek*. Urban & Partner, Wrocław 2002.
7. Zabel M. (red): *Histologia*. Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner Wrocław 2006.
8. Zabel M.: *Histologia. Podręcznik dla studentów medycyny i stomatologii*. Wydawnictwo Medyczne. Urban & Partner. Wrocław 2013.
9. Zawistowski S.: *Zarys histologii*. PZWL. Warszawa 1976.





K P S W

**KARKONOSKA PAŃSTWOWA  
SZKOŁA WYŻSZA  
w Jeleniej Górze**

**ISBN 978-83-61955-39-9**