

UKŁAD ODDECHOWY

Zasadniczą funkcją tego układu jest wymiana gazowa, tzn. doprowadzenie do organizmu tlenu i odprowadzenie z niego dwutlenku węgla. Wyróżniamy w tym układzie: **część przewodzącą** obejmującą jamę nosową, nosogardziel, krtań, tchawicę, oskrzela i oskrzeliki i **część oddechową** – oskrzeliki oddechowe, przewody pęcherzykowe i pęcherzyki płucne.

Funkcją części przewodzącej jest doprowadzenie i odprowadzenie powietrza oraz jego **klimatyzowanie**. Klimatyzowanie powietrza polega na jego ogrzewaniu, nawilżaniu i oczyszczaniu.

8.1. JAMA NOSOWA

Pierwszy odcinek tzw. dróg oddechowych to **jama nosowa**, w której wyróżniamy następujące części: **przedsionek nosa**, **część oddechową** i **część węchową**.

Przedsionek nosa pokrywa nabłonek wielowarstwowy płaski rogowaciejący będący przedłużeniem naskórka pokrywającego nozdrza. Znajdują się tutaj włosy mające znaczenie dla wstępnego oczyszczania wdychanego powietrza. Zasadniczą część jamy nosowej to **część oddechowa** obejmująca także małżowiny nosowe: środkową i dolną. Wyścięła ją **błona śluzowa**, którą tworzy **nabłonek** wielorzędowy migawkowy z licznymi komórkami kubkowymi oraz leżąca pod błoną podstawną nabłonka **blaszka właściwa błony śluzowej** zbudowana z tkanki łącznej właściwej luźnej oraz znajdujących się w tej warstwie gruczołów śluzowo-surowicznych (cewkowo-pęcherzykowych) i licznych naczyń. W błonie śluzowej małżowin nosowych znajdują się **sploty żyłne**, zwane **splotami jamistymi**. Wypełniając się krwią powodują one zwężenie jamy nosowej, co sprzyja ogrzaniu i nawilżeniu powietrza. Uchodzące do tej części jamy nosowej jamy boczne nosa wysłane są podobną błoną śluzową, jednak cieńszą. Spoczywa ona podobnie jak w całej jamie nosowej na okostnej lub chrzęstnej.

Układ odpornościowy tworzy w jamie nosowej i jej rejonie system obronny określany jako: tkanka limfatyczna związana z nosem – **NALT** (ang. *nasal associated lymphoid tissue*). Należą do niego grudki chłonne w błonie śluzowej jamy nosowej oraz migdałki: gardłowej i podniebienne (roz. 11.3.3).

Część węchowa zajmuje górną część jamy nosowej i górną powierzchnię małżowiny górnej, obejmując w obu jamach powierzchnię ok. 6 cm². Pokrywający błonę śluzową nabłonek jest również wielorzędowy, ale jest znacznie wyższy (60 μm) i ma inny skład komórkowy. W skład komórek tego nabłonka wchodzi: **komórki węchowe**, **komórki podporowe** i **komórki podstawne**. **Komórki węchowe** zajmują całą wysokość nabłonka, ich średnica u podstawy jest większa niż u szczytu. Szczytowa część komórki tworzy tzw.

pęcherzyk węchowy i połączona jest z sąsiednimi podporowymi komórkami za pomocą desmosomów. Na szczycie komórki (pęcherzyka węchowego) znajduje się kilka (6–10) rzęsek węchowych o długości 100 μm i zawierających 9 mikrotubul, u podstawy rzęski podwójnych, wyżej pojedynczych. Rzęski te zanurzone są w warstwie śluzowo-surowiczej pokrywającej powierzchnię nabłonka. Uważa się je za receptory węchu, a komórki węchowe za dwubiegunowe neurony (komórki nerwowe), których neuryty zbierając się w pęczki i przebijając blaszkę sitową tworzą nerw węchowy. **Komórki podporowe** równie wysokie jak węchowe, mają na powierzchni mikrokosmki, a jądra ich leżą wyżej niż komórek węchowych. **Komórki podstawne** spoczywają tak jak wyżej omówione komórki na błonie podstawnej, ale nie sięgają powierzchni nabłonka. Mogą dzielić się i przekształcać w komórki podporowe.

W leżącej pod nabłonkiem blaszce właściwej błony śluzowej poza typowymi składnikami tkanki łącznej są gruczoły cewkowo-pęcherzykowe zwane **węchowymi**. Ich wydzielina ma odgrywać rolę w percepcji zapachów (rozpuszczanie substancji chemicznych).

8.2. KRTAŃ

Z jamy nosowej, poprzez gardło, odcinkiem wspólnym dla układu oddechowego i pokarmowego, powietrze trafia do **krtani**. Rusztowanie krtani stanowią **chrząstki**:

- nieparzyste – **nagłośniowa, tarczowa i pierścieniowata**;
- parzyste – **nalewkowate, różkowate i klinowate**.

Chrząstki: różkowata, klinowata i nagłośniowa są sprężyste, pozostałe szkliste. Chrząstki krtani połączone są mięśniami krtani utworzonymi z włókien mięśniowych prążkowanych. Światło krtani wyściela błona śluzowa, której blaszka właściwa zbudowana jest z tkanki łącznej właściwej luźnej i zawiera gruczoły głównie śluzowe. Błonę śluzową pokrywa nabłonek wielowarstwowy płaski lub wielorzędowy migawkowy zależnie od okolicy krtani.

Nagłośnia, której „szkielet” stanowi chrząstka sprężysta, od strony językowej ma błonę śluzową pokrytą nabłonkiem wielowarstwowym płaskim, zaś od strony krtaniowej nabłonkiem wielorzędowym. Błona śluzowa spoczywa na chrząstce. Poniżej nagłośni, w zwężającej się lejkowato krtani znajdują się dwa parzyste fałdy: **fałdy przedsiolkowe** (fałdy głosowe rzekome) oraz **fałdy głosowe**, których brzegi nazywane są **strunami głosowymi**, a szpara znajdująca się pomiędzy tymi strunami nazywana jest **szparą głosową**.

Fałdy przedsiolkowe wysłane są nabłonkiem wielorzędowym migawkowym, a ich błona śluzowa właściwa zawiera liczne gruczoły surowiczo-śluzowe. Natomiast błona śluzowa **fałdów głosowych**, przy strunach głosowych zawiera wiązki włókien sprężystych, które nazywamy **więzadłami głosowymi**, natomiast nie ma tu gruczołów. Fałdy głosowe wysłane są również nabłonkiem wielorzędowym migawkowym, jedynie struny głosowe, a więc brzegi fałdów wysłane są nabłonkiem wielowarstwowym płaskim. Krtani obok funkcji przewodzenia powietrza pełni funkcję narządu głosu.

8.3. TCHAWICA

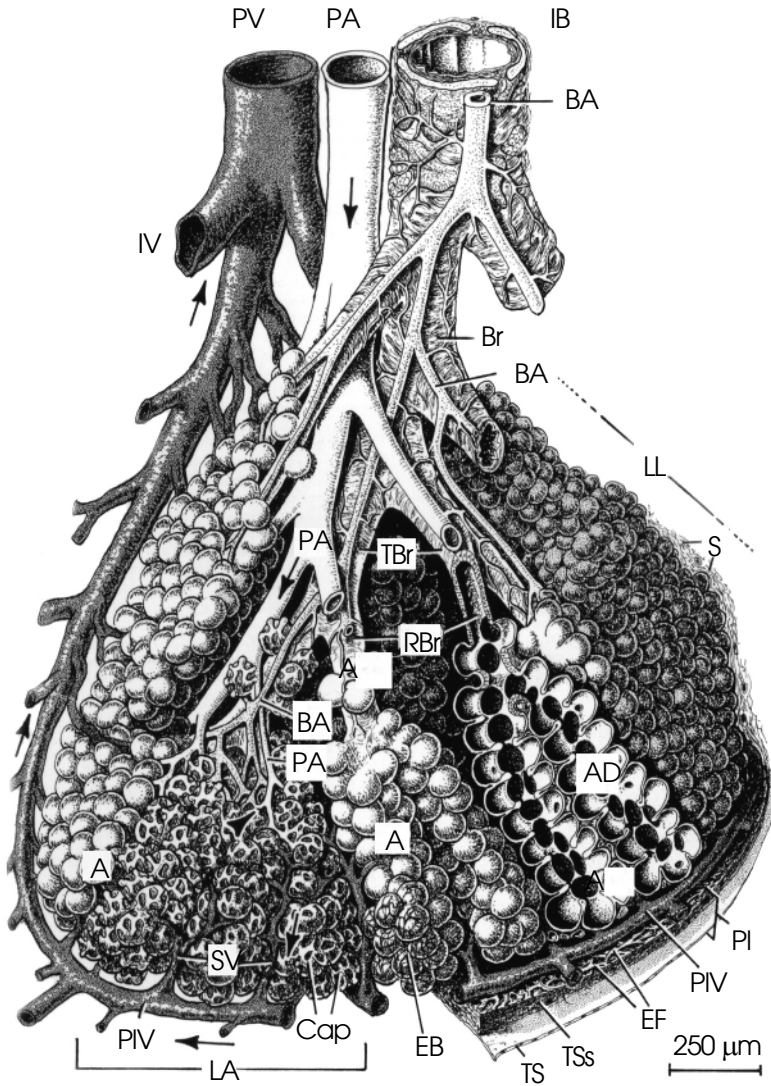
Krtań łączy się z **tchawicą**. „Szkielet” tchawicy tworzą półpierścienie około 20 chrząstek szklitych, których ramiona skierowane są do tyłu i połączone błoną, zwaną ścianą błoniastą. Zawiera ona komórki mięśniówki gładkiej oraz tkankę łączną luźną. Chrząstki tchawicze znajdują się w błonie podśluzowej i połączone są ze sobą przez tkankę łączną włóknistą zawierającą włókna kolagenowe, które tworzą tzw. więzadła obrączkowate. W istocie łączą one ze sobą ochrząstne sąsiadujących chrząstek. Od strony światła tchawicy jej błonę podśluzową zawierającą chrząstki pokrywa błona śluzowa, na powierzchni której znajduje się nabłonek wielorzędowy migawkowy. Tworzy go 6 rodzajów komórek, które spotyka się nie tylko w tchawicy, ale wszędzie tam, w drogach oddechowych, gdzie znajduje się nabłonek wielorzędowy. Najczęściej występujący rodzaj komórek to (1) **komórki z migawkami** (rzęskami), mające liczne mitochondria szczególnie w górnej części komórki. Także dość liczne są (2) **komórki kubkowe**, które w górnej części (nadjądrowej) mają liczne ziarna wydzielnicze, a w dolnej RER i AG. Obok wyżej wymienionych komórek występują komórki zwane **szczoteczkowymi**, z których jedne mają charakter komórek (3) niezróżnicowanych mogących prawdopodobnie przekształcać się w komórki migawkowe i kubkowe, a inne (4) kontaktują się z włóknami nerwowymi i mają dobrze rozwiniętą SER. Na błonie podstawnej nabłonka leżą komórki, które w przeciwieństwie do wyżej opisanych nie sięgają powierzchni nabłonka. Są to: (5) **komórki podstawne** i (6) **ziarniste**. Komórki podstawne są aktywne mitotycznie i wśród nich znajdują się komórki pnia tego nabłonka. Natomiast komórki ziarniste zawierają ziarnistości wydzielnicze o średnicy 100–300 nm, odpowiadające ziarnistościom zawierającym katecholaminy, prawdopodobnie odgrywają one rolę w regulowaniu aktywności wydzielniczej błony śluzowej.

Błona podśluzowa i w mniejszym stopniu śluzowa tchawicy zawiera gruczoły śluzowo-surowicze. Błonę podśluzową i śluzową rozdziela **blaszka sprężysta**.

8.4. OSKRZELA

Tchawica rozdziela się na dwa **oskrzela główne**: prawe i lewe. Prawe dzieli się następnie na trzy oskrzela płatowe, a lewe na dwa. Następnie każde z oskrzeli płatowych dzieli się dychotomicznie (dwudzielnie), a powstałe odgałęzienia dzielą się znowu dychotomicznie i tak dochodzi do 23 takich podziałów, przy czym średnica powstających odgałęzień staje się coraz mniejsza. Po 12 podziałach osiąga ona 1 mm. Dalsze odgałęzienia nazywamy **oskrzelikami** (13–23 podziałów).

Oskrzela główne mają budowę bardzo zbliżoną do tchawicy, natomiast oskrzela płatowe mają już chrząstki nie w postaci półpierścieni, lecz płytek. Płytki zbudowane z chrząstki szklistej znajdują się w błonie podśluzowej oskrzela, która od wewnątrz chrząstek zawiera gruczoły śluzowo-surowicze. Na granicy błony podśluzowej i śluzowej znajduje się warstwa mięśniówki gładkiej, obejmująca całe światło oskrzeli. Komórki mięśniowe ułożone są w krzyżujące się spirale. W oskrzelach począwszy od płatowych, blaszka sprężysta (na granicy błony podśluzowej i śluzowej) rozdziela się na **pasma sprężyste**,



Ryc. 8.1. Płacik płucny.

LL – płacik płucny, PI – opłucna płucna, S – przegroda międzypłacikowa, IB – oskrzele, Br – oskrzelik, TBr – oskrzelik końcowy, RBr – oskrzeliki oddechowe, AD – przewody pęcherzykowe, A – pęcherzyki, LA – gronko opłucne, EB – koszyczek sprężysty, PA – odgałęzienie tętnicy płucnej, Cap – siatka naczyń włosowatych, SV – żyły krótkie, PIV – żyły opłucnej płucnej, IV – żyły przegród międzypłacikowych, PV – żyły płucne, BA – tętnice oskrzelowe, TS – nabłonek surowicy, TSS – tkanka podsurowicza, EF – włókna sprężyste.

które biegną aż do końca oskrzelików. W błonie śluzowej właściwej występują gruczoły surowiczo-śluzowe. Nabłonek jest analogiczny jak w tchawicy, chociaż w oskrzelach małych jest on niższy, a komórki kubkowe bardziej liczne.

Jak wspomniano wraz ze zmniejszeniem się średnicy oskrzela dochodzi do zmian w budowie jego ściany, chrząstka staje się coraz mniejsza, szklista zastępuje sprężystą.

W błonie śluzowej oskrzeli i oskrzelików znajdują się komórki tuczne, opłaszczone immunoglobulinami klasy IgE. Jeśli do dróg oddechowych trafi swoisty dla immunoglobulin alergen może dojść do degranulacji komórek tucznych i uwolnienia się zawartych w nich substancji biologicznie czynnych takich jak histamina, serotonina, bradykinina, oraz wydzielania leukotrienów. Substancje te powodują skurcz oskrzeli i oskrzelików, a przez to zaburzenia w oddychaniu (dychawica oskrzelowa).

8.5. OSKRZELIKI

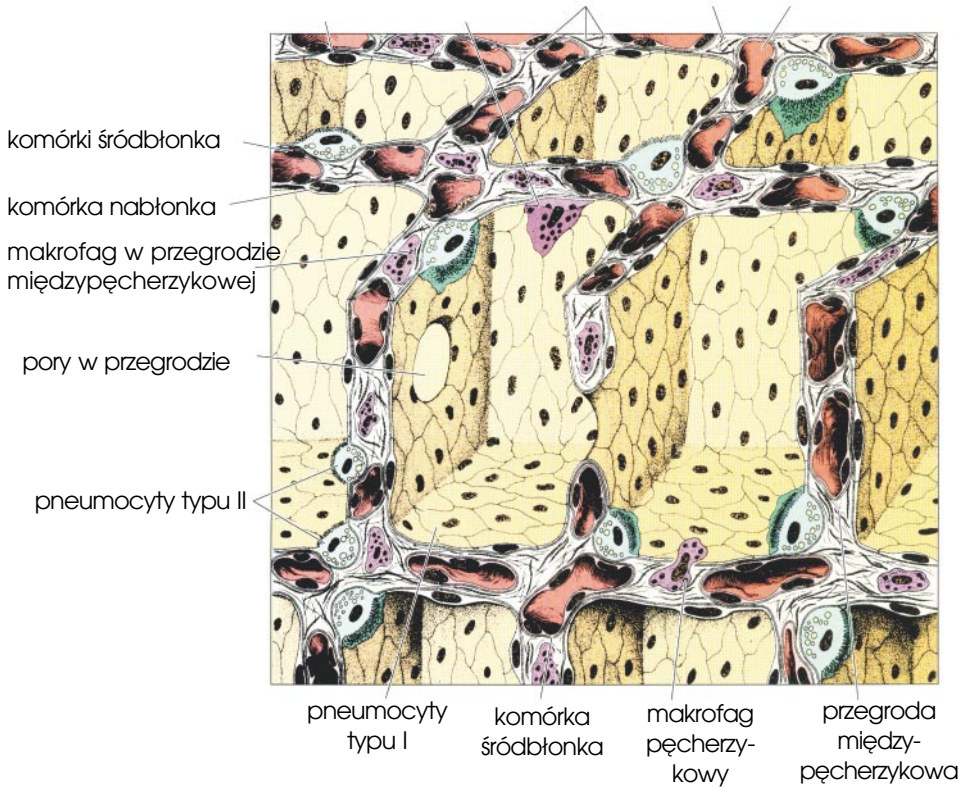
Ściana oskrzelika nie zawiera chrząstki i gruczołów, a tworzą ją: tkanka łączna i stosunkowo gruba warstwa mięśniowa. Nabłonek jest jednowarstwowy walcowaty i nie zawiera komórek kubkowych. Tworzą go cztery rodzaje komórek:

1. migawkowe (rzęsate);
2. oskrzelikowe (Clary). Ultrastruktura tych komórek przypomina komórki wydzielnicze. Rola komórek oskrzelikowych nie jest poznana;
3. z mikrokosmkami, nieliczne, być może różnicujące się w inne komórki nabłonkowe;
4. ziarniste, również nieliczne.

Ostatnie rozgałęzienie dychotomiczne oskrzelików nazywamy **oskrzelikami końcowymi**. Przechodzą one w tzw. **oskrzeliki oddechowe**, a te w **przewody pęcherzykowe**. Odgałęzienia jednego oskrzelika końcowego tworzą **gronko płucne** (*acinus*), otacza je cienka warstwa tkanki łącznej. Kilkanaście gronek tworzy **placik płucny** (*lobulus*), stożek o średnicy u podstawy 1–2 cm (ryc. 8.1). Placiki tworzą **segmenty**, a te **płaty płucne**. Na oskrzelikach końcowych kończy się część przewodząca układu oddechowego, a zaczyna część oddechowa. Następny odcinek – **oskrzeliki oddechowe** w ścianie swojej zawierają pęcherzyki płucne w których zachodzi już wymiana gazowa. Mają one średnicę ok. 0,3 mm. Dzielą się trzykrotnie, oczywiście dychotomicznie. Ściana ich wysłana jest nabłonkiem jednowarstwowym sześciennym migawkowym, zawiera on także komórki oskrzelikowe. W tkance łącznej pod nabłonkiem można zobaczyć błonę z mięśniówki gładkiej. Oskrzeliaki oddechowe przechodzą w **przewody pęcherzykowe**, które dzielą się dwukrotnie. Ściany ich w istocie tworzą otwarte do przewodów pęcherzyki płucne, nimi też kończą się przewod.

8.6. PĘCHERZYKI PŁUCNE

Pęcherzyki płucne, o średnicy ok. 200 μm , stanowią te struktury płucne, w których zachodzi wymiana gazowa, jest ich ok. 300 milionów. Oddzielone są one od siebie przegrodami międzypęcherzykowymi, które stanowią jakby wspólną ścianę sąsiadujących pęcherzyków. Przegroda międzypęcherzykowa zawiera tkankę łączną luźną, z licznymi włók-



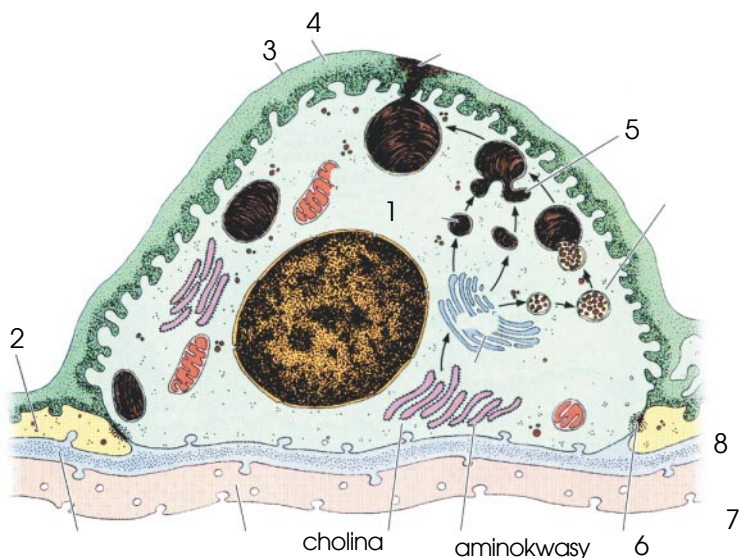
Ryc. 8.2. Trójwymiarowy schemat pęcherzyków płucnych i budowy przegród międzypęcherzykowych.

nami sprężystymi, jednak jej zasadniczym składnikiem jest sieć naczyń włosowatych. W istocie płuca to gigantyczne sieci naczyń włosowatych o łącznej powierzchni około 140 m². Często naczynia te leżą bezpośrednio pod nabłonkiem wyściełającym pęcherzyk płucny, a wtedy błona podstawna śródbłonka łączy się z błoną podstawną nabłonka pęcherzykowego. W przegrodach spotyka się **otwory zwane pęcherzykowymi**.

Nabłonek wyściełający pęcherzyki zawiera trzy rodzaje komórek: **pneumocyty typu I, II i III**.

Pneumocyty typu I (inaczej płaskie): stanowią znaczną większość komórek nabłonka (ponad 90%), są znacznie spłaszczone. Łączą się połączeniami zamykającymi (*occludens*). Odgrywają zasadniczą rolę w wymianie gazowej.

Pneumocyty typu II (inaczej duże): mają kształt zbliżony do sześciangu, okrągłe jądro. Na powierzchni mają mikrokosmki. Cytoplazma zawiera mitochondria, RER, AG, peroksosomy oraz charakterystyczne **ciałka blaszkowate**. Ciałka te zawierają fosfolipidy, które są składnikiem tzw. **surfaktantu** – czynnika powierzchniowego. Właśnie produkcja surfaktantu to zasadnicza funkcja tych komórek (ryc. 8.3).

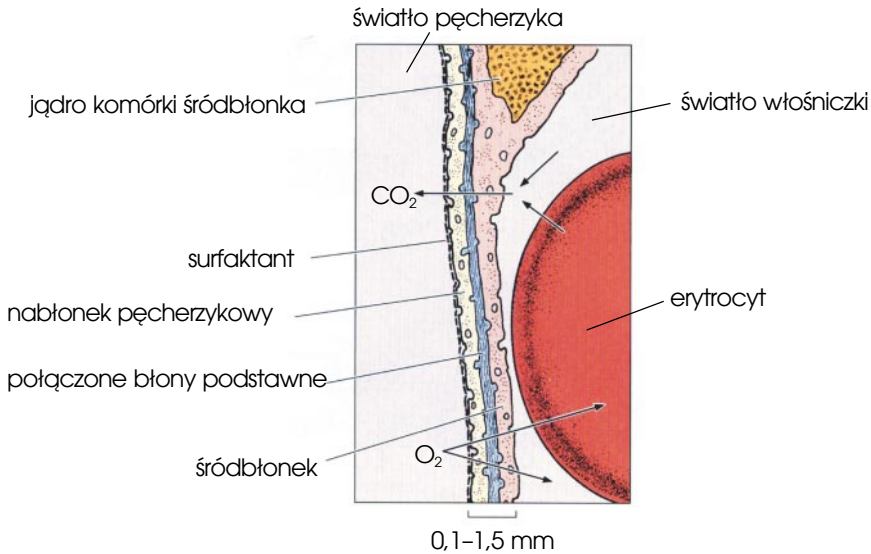


Ryc. 8.3. Komórka typu II nabłonka pęcherzyka płucnego. Tworzenie i wydzielanie surfaktanu. 1 – pneumocyt II typu, 2 – pneumocyt I typu, 3 – surfaktant faza lipidowa, 4 – surfaktant faza wodna, 5 – tworzenie się ciała blaszkowego, 6 – połączenie zamykające, 7 – makrofag, 8 – błona podstawna.

Surfaktant obok fosfolipidów zawiera również białka i węglowodany. Tworzy on warstwę pokrywającą powierzchnię nabłonka pęcherzyków. Wyróżniamy w nim dwie warstwy: **hipofazę**, leżącą bezpośrednio na komórkach, zawiera ona głównie hydrofilne białka oraz **warstwę fosfolipidową**, zawierającą głównie **dwupalmitynian fosfatydylocholinę**. Surfaktant zmniejsza napięcie powierzchniowe i zapobiega zapadaniu się pęcherzyków w czasie wydechu.

Pneumocyty typu III – bardzo rzadkie, na powierzchni mają mikrokosmki. Są bogate w organella, zawierają dużo glikogenu. Zaobserwowano połączenia tych komórek z włóknami nerwowymi, co nasunęło przypuszczenie, że mogą pełnić funkcję chemoreceptorów.

Na powierzchni nabłonka pęcherzykowego napotkać można **makrofagi**, występują one również wewnątrz przegród międzypęcherzykowych. Gromadzą one cząsteczki pyłów docierających z powietrza do pęcherzyków i dlatego noszą nazwę **komórek pyłowych**. Gdy z powodu wad serca dochodzi do zastoju krwi w płucach i przechodzenia krwinek czerwonych do światła pęcherzyków, makrofagi gromadzą wtedy hemosyderynę powstałą z hemoglobiny sfagocytowanych erytrocytów i przyjmują charakterystyczny żółto-brązowy kolor. Nazywa się je wtedy **komórkami wad serca**. Z pęcherzyków makrofagi wędrują do oskrzelików, a potem ze śluzem do górnych części dróg oddechowych i są wydalane. Makrofagi płucne, tak jak i inne komórki należące do układu fagocytów jednojądrzastych, pochodzą ze szpiku kostnego i drogą krwi jako monocyty trafiają do płuc.



Ryc. 8.4. Fragment przegrody międzypęcherzykowej pokazujący barierę krew-powietrze.

Powietrze w pęcherzykach płucnych od krwinek czerwonych w naczyniach włosowatych oddziela kolejno: surfaktant – cytoplazma pneumocytów (najczęściej typu I) – błona podstawna nabłonka pęcherzykowego – błona podstawna śródbłonka – cytoplazma komórek śródbłonka. W sumie te elementy tworzą to co nazywamy **barierą krew-powietrze**. To przez nią odbywa się przenikanie drogą dyfuzji, dzięki różnicy ciśnień parcjalnych: tlenu ze światła pęcherzyków do naczyń włosowatych i odwrotnie dwutlenku węgla. W efekcie utlenowana i pozbawiona CO_2 krew odpływa z płuc, a na jej miejsce napływa krew uboga w tlen a zawierająca duże stężenie jonów wodorowęglanowych. Część (zasadnicza) krążenia w płucach, która spełnia taką właśnie rolę określamy jako krążenie czynnościowe. Tworzą je tętnice płucne powstające z pnia płucnego, oraz odprowadzające utlenowaną krew żyły płucne. Istnieje również krążenie odżywcze, tworzą je tętnice oskrzelowe doprowadzające krew utlenowaną; odżywiają one drzewo oskrzelowe, nerwy i tkankę łączną, ich ostatnie odgałęzienia łączą się z naczyniami włosowatymi krążenia czynnościowego.

8.7. OPŁUCNA

Opłucna (*pleura*) zbudowana jest z dwóch blaszek: blaszki pokrywającej bezpośrednio miąższ płuca nazywanej **opłucną płucną** oraz blaszki pokrywającej ścianę klatki piersiowej od wewnątrz nazywanej **opłucną ścienną**. W okolicy wnęki płuc blaszki te łączą się ze sobą. Pomiędzy blaszkami znajduje się przestrzeń, w warunkach fizjologicznych szczelinowata z niewielką ilością płynu surowiczego, nazywana **jamą opłucnej**.

Oplucna płucna od strony jamy wysłana jest nabłonkiem jednowarstwowym (*mesothelium*). Nabłonek spoczywa na błonie podstawnej pod którą znajduje się cienka warstwa tkanki łącznej włóknistej zawierającej głównie włókna kolagenowe, która łączy się z tkanką łączną mięszu płucnego, bogatą we włókna sprężyste.

Oplucna ścienna wysłana jest także nabłonkiem jednowarstwowym płaskim spoczywającym na błonie podstawnej. Pod nią warstwa tkanki łącznej włóknistej zbitej.