

Układ limfatyczny

Twój klucz do zdrowia i
długowieczności

Anthony Rendall

Spis treści

1. Czym naprawdę jest układ limfatyczny.....	5
1.1. Drugi układ krążenia, o którym nie uczyli cię w szkole	6
1.2. Anatomia w pigułce.....	9
1.3. Limfa - czym jest ten mleczny płyn i skąd się bierze.....	13
1.4. Układ bez pompy.....	16
1.5. Strażnik odporności - węzły chłonne jako stacje filtracyjne.....	20
1.6. Limfa a jelita: układ GALT i tajemnica naczyń mlecznych	23
1.7. Glimfatyczny mózg - odkrycie, które zmieniło wszystko	26
1.8. Dlaczego medycyna odkryła ten układ tak późno	29
2. Sygnały, że limfa potrzebuje pomocy	34
2.1. Poranna opuchlizna twarzy i ciężkie nogi wieczorem.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.3. Przewlekłe zmęczenie i "mgła mózgowa"	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.4. Skóra jako lustro: wypryski, swędzenie, suchość.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.5. Nawracające infekcje i powiększone węzły chłonne.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.6. Sztywność karku, obrzęk pod oczami.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.7. Test domowy: prosta samoocena przepływu limfy.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
2.8. Czerwone flagi - kiedy iść do lekarza.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
3. Dlaczego limfa kocha chodzenie, skakanie i taniec.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
3.1. Pompa mięśniowa i zastawki - mechanika przepływu.....	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.

- 3.2. Rebounding..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.3. Spacer jako terapia..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.4. Pozycje odwrócone..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.5. Joga i qigong dla przepływu..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.6. Rozciąganie pachwin, pach i obojczyków **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.7. Siedzący tryb życia jako główny wróg limfy **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 3.8. Mikroprzerwy w pracy: protokół 3 minut co godzinę..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
4. Przepona jako serce układu limfatycznego **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.1. Przewód piersiowy - autostrada twojego ciała **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.2. Jak przepona zasysa limfę przy każdym wdechu..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.3. Oddech płytki, stresowy - dlaczego blokuje przepływ **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.4. Nauka oddechu brzuszego krok po kroku **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.5. Praktyka 4-7-8 i oddech przeponowy przed snem **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.6. Nerw błędny, przywspółczulny a limfa..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.7. Naturalny masaż wewnętrzny. **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 4.8. 10-minutowy poranny rytuał oddechowy **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
5. Drenaż limfatyczny i szczotkowanie na sucho **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.1. Manualny drenaż limfatyczny.. **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**

- 5.2. Zasady dotyku..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.3. Drenaż twarzy i szyi..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.4. Autodrenaż nóg, brzucha i ramion..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.5. Szczotkowanie na sucho..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.6. Bańki, gua sha i wałek jadeitowy..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.7. Kompresja: pończochy, opaski **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 5.8. Kiedy NIE wolno drenować..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
6. Woda, zioła i żywienie wspierające limfę..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.1. Woda: ile naprawdę potrzebuje twoja limfa.....**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.2. Sól, elektrolity i równowaga płynów w tkankach.....**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.3. Żywność przeciwzapalna kontra żywność zastoju**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.4. Kolorowe warzywa, gorzkie zioła, kiszonki.....**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.5. Zdrowe tłuszcze i wchłanianie limfatyczne w jelitach**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.6. Zioła tradycyjnie kojarzone z limfą **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.7. Jelita jako fundament..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.8. Czego unikać..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 6.9. Tygodniowy jadłospis wspierający przepływ**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
7. Ciepło i chłód - sauna, kąpiele i rytuały zdrowia.....**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**

- 7.1. Naczynia pod wpływem temperatury **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.2. Sauna sucha, parowa i infrared - co wybrać **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.3. Prysznic naprzemienny: protokół dla początkujących..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.4. Morsowanie i zimne zanurzenia **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.5. Kąpiele z solą Epsom, magnezem i ziołami **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.6. Sen jako czas pracy układu limfatycznego **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.7. Stres, kortyzol i zastój - dlaczego relaks to nie luksus..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 7.8. Ubranie, biustonosz, pasek..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
8. Program, który zmieni twoją codzienność..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.1. Zanim zaczniesz: punkt wyjścia i pomiary **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.2. Tydzień 1 - Nawodnienie i ruch: fundamenty **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.3. Tydzień 2 - Oddech i dotyk: dodajemy drenaż..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.4. Tydzień 3 - Talerz: przebudowa jadłospisu **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.5. Tydzień 4 - Rytuały: ciepło, chłód, sen..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**
- 8.6. Poranny i wieczorny protokół w wersji 10-minutowej **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**

8.7. Co dalej - jak utrzymać nawyki na lata..... **Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**

1. Czym naprawdę jest układ limfatyczny

1.1. Drugi układ krążenia, o którym nie uczyli cię w szkole

Skala układu limfatycznego w ciele dorosłego człowieka jest imponująca. Kiedy zaczynamy przyglądać się parametrom fizycznym tej struktury, zauważamy jej ogromne rozbudowanie. Łączna długość wszystkich naczyń limfatycznych w naszym organizmie sięga dziesiątek tysięcy kilometrów. Naczynia te przenikają niemal każdą tkankę, tworząc gęstą sieć, która pod względem rozpiętości dorównuje sieci naczyń krwionośnych. W ludzkim ciele znajduje się od kilkuset do nawet siedmiuset węzłów chłonnych, w zależności od indywidualnych cech anatomicznych. Rozmieszczenie tych struktur nie jest równomierne, a ich największe skupiska występują w kilku określonych rejonach naszego ciała.

Najwięcej węzłów chłonnych gromadzi się w rejonie szyi, pach oraz pachwin. To właśnie tam zlokalizowane są największe grupy, które przyjmują limfę z obszarów głowy, kończyn górnych i dolnych. Znaczna liczba węzłów znajduje się również wewnątrz jamy brzusznej oraz klatki piersiowej, gdzie układają się wzdłuż głównych szlaków przepływu. Skupienie węzłów w tych rejonach wynika z topografii dróg limfatycznych. Każdy węzeł stanowi fizyczną stację na drodze naczyń, przez którą przepływa chłonka z określonego terytorium tkankowego.

Objętość limfy przemieszczającej się każdego dnia przez główne naczynie całego układu, czyli przewód piersiowy, wynosi u dorosłego człowieka średnio od dwóch do trzech litrów na dobę. Wartość ta może ulegać wahaniom w zależności od poziomu aktywności fizycznej, pozycji ciała oraz nawodnienia organizmu. Przepływ ten odbywa się w sposób ciągły, zapewniając stały odpływ płynu z przestrzeni międzykomórkowych do głównego pnia limfatycznego. Powyższe liczby pokazują wyraźnie, że mamy do czynienia z potężną i niezwykle rozbudowaną strukturą anatomiczną, zajmującą znaczną część objętości naszych tkanek.

Rozpatrując budowę układu limfatycznego, należy zwrócić uwagę na jego relację przestrzenną z układem krwionośnym. Naczynia limfatyczne przebiegają w organizmie równolegle do żył. W niemal każdym obszarze ciała, w którym znajduje się naczynie żylne, w bliskim sąsiedztwie zlokalizowane jest odpowiadające mu naczynie limfatyczne. Taki układ anatomiczny sprawia, że obie sieci naczyń współlistnieją w tych samych przestrzeniach tkankowych. Mimo tego bliskiego sąsiedztwa i równoległego przebiegu, struktury te różnią się zasadniczo pod względem swojej architektury.

Układ krwionośny jest systemem zamkniętym, w którym krew krąży w nieprzerwanej pętli między sercem, tętnicami, naczyniami włosowatymi i żyłami. Układ limfatyczny jest natomiast systemem otwartym i jednokierunkowym. Jego początek znajduje się bezpośrednio w przestrzeniach międzykomórkowych tkanek, gdzie najdrobniejsze naczynia limfatyczne, mające ślepe zakończenia, absorbują płyn tkankowy. Od tego otwartego końca płyn porusza się wyłącznie w jednym kierunku - od tkanek obwodowych w stronę centralnych rejonów ciała. Nie ma tu żadnego cyklu zwrotnego wewnątrz samych naczyń limfatycznych.

Fizyczne połączenie obu tych systemów następuje w ściśle określonym miejscu układu żylnego. Limfa zebrana z całego ciała wraca do krwioobiegu w rejonie tak zwanych kątów żylnych, zlokalizowanych w okolicy obojczyków. Kąt żylny to miejsce zbiegu żyły szyjnej wewnętrznej oraz żyły podobojczykowej po obu stronach szyi. Z prawej strony do układu żylnego uchodzi przewód chłonny prawy, zbierający limfę z prawej górnej części ciała. Z lewej strony do krwioobiegu uchodzi przewód piersiowy, transportujący limfę z całej pozostałej części organizmu. W tym punkcie zawartość naczyń limfatycznych powraca do krwioobiegu.

W programach nauczania biologii na poziomie szkolnym oraz w akademickich podręcznikach medycznych proporcje materiału poświęconego układowi limfatycznemu i krwionośnemu są mocno zaburzone. Układ krwionośny zajmuje zazwyczaj obszerne rozdziały,

obejmujące szczegółowe opisy anatomii serca, fizjologii krążenia oraz hemodynamiki. Układ limfatyczny najczęściej zostaje sprowadzony do kilku akapitów lub w najlepszym razie kilku stron, zlokalizowanych na marginesie głównego materiału. Edukacja anatomiczna i fizjologiczna wyraźnie marginalizuje ten temat, pozostawiając go w cieniu zagadnień kardiologicznych.

Ta wyraźna dysproporcja edukacyjna przekłada się bezpośrednio na poziom wiedzy w społeczeństwie. Zdecydowana większość pacjentów nie posiada podstawowych informacji na temat lokalizacji i działania układu limfatycznego. Brak świadomości w tym zakresie powoduje, że wczesne objawy zastoju limfatycznego są często ignorowane lub błędnie interpretowane przez samych chorych. Ludzie nie potrafią połączyć obrzęków kończyn, uczucia ciężkości czy nawracających problemów z napięciem tkanek z dysfunkcją naczyń limfatycznych, szukając przyczyn w układzie żylnym lub kostno-stawowym.

Problem ten dotyczy również wielu lekarzy pierwszego kontaktu. Z powodu niewielkiej ilości czasu poświęcanego na limfologię podczas studiów medycznych, diagnozowanie problemów limfatycznych na wczesnym etapie bywa utrudnione. Pacjenci z początkowymi fazami zastoju często nie otrzymują trafnego rozpoznania podczas rutynowych wizyt w gabinetach lekarskich. Zamiast ukierunkowanego leczenia układu limfatycznego, zaleca się im odpoczynek lub preparaty działające na naczynia krwionośne. Dopiero w zaawansowanych stadiach, gdy obrzęki stają się rozległe, pacjenci trafiają do wyspecjalizowanych placówek.

Mimo że naczynia limfatyczne oplatają większość tkanek w naszym ciele, istnieją rejony całkowicie pozbawione tych struktur. Klasycznymi przykładami tkanek nieposiadających naczyń limfatycznych są chrząstka stawowa, rogówka oka oraz szpik kostny. W tradycyjnym ujęciu anatomii do tej grupy zalicza się również ośrodkowy układ nerwowy. Odprowadzanie płynu tkankowego i produktów przemiany materii z tych obszarów wymaga całkowicie odmiennych mechanizmów fizjologicznych, funkcjonujących poza siecią naczyń chłonnych.

W chrząstce szklistej, pokrywającej powierzchnie stawowe, brak naczyń limfatycznych wiąże się również z brakiem naczyń krwionośnych. Tkanka ta radzi sobie z odprowadzaniem płynu dzięki procesom powolnej dyfuzji przez macierz zewnątrzkomórkową. Pod wpływem obciążeń mechanicznych wywieranych na staw płyn przemieszcza się z chrząstki do jamy stawowej, skąd jest wchłaniany przez błonę maziową. Podobnie sytuacja wygląda w rogówce oka, gdzie przejrzystość tkanki wymaga absolutnego braku jakichkolwiek naczyń. Płyn dyfunduje tam bezpośrednio do cieczy wodnistej wypełniającej przednią komorę oka, skąd trafia do odpływów żylnych zlokalizowanych w kącie przesączania.

Szpik kostny, wypełniający jamy kości długich i płaskich, wykazuje gęste unaczynienie krwionośne, ale jest pozbawiony klasycznych naczyń limfatycznych. Wymiana płynów w szpiku opiera się na bezpośrednim transporcie do szerokich zatok żylnych. Z kolei w ośrodkowym układzie nerwowym, według klasycznych opisów anatomicznych, tkanka mózgowa i rdzeniowa nie posiadają własnej sieci chłonnej. Odprowadzanie płynu tkankowego z tych struktur odbywa się poprzez jego przesączanie się do płynu mózgowo-rdzeniowego. Płyn ten ostatecznie trafia do układu żylnego za pośrednictwem ziarnistości pajęczynówki zlokalizowanych w świetle zatok opony twardej.

1.2. Anatomia w pigułce

Sieć naczyń limfatycznych stanowi fundament całego układu i rozpoczyna swój bieg w tkankach pod postacią kapilar limfatycznych. Są to najdrobniejsze naczynia o ślepych zakończeniach, wnikające bezpośrednio w przestrzenie międzykomórkowe narządów. Ściana tych początkowych kapilar wykazuje specyficzną budowę, opartą na pojedynczej warstwie komórek śródbłonna. Komórki te nie łączą się ze sobą ściśle w jednej linii, lecz układają się dachówkowato, zachodząc swoimi brzegami jedna na drugą. Taka konfiguracja umożliwia powstawanie szczelin, przez które płyn tkankowy swobodnie wnika do światła kapilary.

Z poziomu najdrobniejszych naczyń włosowatych chłonka przemieszcza się dalej, trafiając do naczyń zbiorczych. Charakteryzują się one grubszyimi ścianami i wyraźnie określonym kierunkiem przebiegu. W miarę oddalania się od tkanek obwodowych, naczynia zbiorcze zaczynają się ze sobą łączyć, tworząc struktury o coraz większym przekroju. W ten sposób powstają pnie limfatyczne, które przejmują zadanie odprowadzania płynu z poszczególnych, rozległych partii ciała. Pnie te prowadzą zebraną limfę ku centralnej części organizmu, kierując się w stronę klatki piersiowej i szyi.

Ostatecznym etapem drogi naczyń limfatycznych są dwa główne przewody. Największym naczyniem limfatycznym ludzkiego ciała jest przewód piersiowy. Charakteryzuje się on asymetrycznym obszarem drenażu, zbierając chłonkę z większości terytorium organizmu: z obu kończyn dolnych, jamy brzusznej, miednicy, lewej połowy klatki piersiowej, lewej kończyny górnej oraz lewej strony szyi i głowy. Drugim głównym naczyniem jest przewód chłonny prawy, który zbiera limfę z prawej górnej ćwiartki ciała, obejmującej prawą stronę klatki piersiowej, prawą rękę oraz prawą połowę szyi i głowy.

Na drodze naczyń limfatycznych rozmieszczone są węzły chłonne, grupujące się w konkretnych rejonach ciała. Skupiska te określa się w zależności od ich lokalizacji. Węzły szyjne zlokalizowane na przebiegu szyi odprowadzają płyn z obszaru głowy i struktur twarzoczaszki. Węzły pachowe, usytuowane w dołach pachowych, drenują kończyny górne oraz powłoki klatki piersiowej. Węzły pachwinowe odbierają limfę z kończyn dolnych oraz dolnej części tułowia. Na przebiegu rąk i nóg znajdują się również mniejsze grupy, takie jak węzły łokciowe czy podkolanowe.

Oprócz węzłów leżących powierzchownie, organizm dysponuje rozbudowaną siecią węzłów głębokich. W jamie brzusznej zlokalizowane są węzły krezkowe, które zbierają płyn bezpośrednio z narządów układu pokarmowego i przestrzeni trzewnych. W klatce piersiowej funkcję drenażu narządów wewnętrznych pełnią węzły śródpiersiowe. Precyzyjna lokalizacja tych skupisk sprawia, że płyn z

każdego obszaru ciała musi przepłynąć przez wyznaczoną stację węzłową przed dotarciem do głównych pni.

Pojedynczy węzeł chłonny posiada ściśle określoną budowę anatomiczną. Z zewnątrz otoczony jest torebką łącznotkankową, która nadaje mu kształt przypominający ziarno fasoli. Wnętrze narządu dzieli się na warstwę obwodową, zwaną korą, oraz część centralną, określaną mianem rdzenia. Do wypukłej powierzchni węzła wnika kilka naczyń doprowadzających, którymi płyn dostaje się do środka. Z przeciwnej strony, w rejonie tak zwanej wnęki, struktura posiada zazwyczaj tylko jedno naczynie odprowadzające, z którego limfa opuszcza węzeł i płynie w dalszą drogę.

Śledziona jest największym narządem wchodzącym w skład układu limfatycznego, umiejscowionym w lewym podżebrzu, tuż pod przeponą. Jej rozmiary odpowiadają w przybliżeniu wielkości zaciśniętej pięści. Mimo swojej przynależności do narządów limfatycznych, śledziona wykazuje odmienną specyfikę działania. Jest ona włączona bezpośrednio w krwiobieg, a przez jej wnętrze przepływa krew, a nie limfa. Budowa wewnętrzna narządu opiera się na dwóch wyraźnie oddzielonych strefach: miazdze czerwonej oraz miazdze białej.

Główną fizjologiczną rolą śledziony w organizmie dorosłego człowieka jest filtrowanie krwi z przepływających przez nią cząstek. Szczególną funkcję pełni tu miazga czerwona. To w niej zachodzi proces wychwytywania oraz usuwania starych, zużytych lub uszkodzonych krwinek czerwonych, czyli erytrocytów. Narząd ten działa jako miejsce utylizacji elementów morfotycznych krwi, które utraciły już swoją elastyczność i użyteczność dla organizmu. Stały przepływ krwi pozwala na bieżące monitorowanie stanu krwinek.

Chociaż do śledziony nie wchodzi naczynia limfatyczne doprowadzające, pozostaje ona kluczową częścią systemu odpornościowego. O przynależności do tego układu decyduje obecność miazgi białej. Jest to przestrzeń gęsto utkana tkanką limfatyczną. Fakt, że narząd filtruje krew, a nie chłonkę, sprawia, że pełni on uzupełniającą

rolę wobec węzłów chłonnych, rozszerzając zakres działania układu limfatycznego na cały system krwionośny człowieka.

Grasica jest zaliczana do narządów limfatycznych pierwotnych, a jej fizyczna lokalizacja znajduje się w przedniej, górnej części klatki piersiowej, tuż za mostkiem. W strukturze układu zajmuje miejsce szczególne, ponieważ to w niej zachodzi kluczowy proces dojrzewania limfocytów T. Narząd ten zapewnia środowisko, w którym komórki te przechodzą złożone etapy różnicowania i przygotowania do pełnienia swoich funkcji. Prawidłowy rozwój tych jednostek warunkuje funkcjonowanie układu na dalszych etapach życia.

Cechą charakterystyczną grasicy jest jej unikalna dynamika rozmiarów w ujęciu chronologicznym. Narząd ten jest bardzo dobrze rozwinięty u dzieci, a jego masa rośnie sukcesywnie wraz z wiekiem młodego człowieka. Grasica osiąga swój maksymalny rozmiar i największą aktywność w okresie dojrzewania. To właśnie wtedy wykazuje się najwyższym stopniem rozwoju tkanki gruczołowej, niezbędnej do wytwarzania dojrzałych form limfocytów T.

Po okresie pokwitania rozpoczyna się fizjologiczny proces znany jako inwolucja grasicy. Polega on na powolnym, stopniowym zaniku aktywnej tkanki gruczołowej i limfatycznej narządu. Z upływem lat miejsce zanikających komórek zajmuje tkanka tłuszczowa oraz łączna. Proces ten postępuje równomiernie i powoduje, że u starszych osób dorosłych narząd ten staje się strukturą w dużej mierze złożoną z depozytów tłuszczu, choć nigdy nie zanika całkowicie.

W rejonie gardła znajduje się skupisko tkanki limfatycznej określane jako pierścień Waldeyera. Tworzą go przede wszystkim migdałki podniebienne zlokalizowane po bokach gardła, migdałek gardłowy umiejscowiony na tylnej ścianie nosogardzieli oraz migdałek językowy leżący u nasady języka. Ustawienie tych struktur tworzy okrąg na skrzyżowaniu dróg oddechowych i pokarmowych. Taka lokalizacja sprawia, że pierścień ten stanowi pierwszą strefę kontaktu tkanek z patogenami przedostającymi się do organizmu wraz z wdychanym powietrzem oraz połykanym pożywieniem.

Migdałki pełnią rolę wczesnych strażników, monitorując materiał wnikający do wnętrza ciała. Ze względu na swoje strategiczne umiejscowienie w przestrzeni gardłowej, tkanka migdałków nieustannie ma kontakt ze środowiskiem zewnętrznym. U dzieci pierścień ten charakteryzuje się bardzo dużą aktywnością i bywa powiększony fizjologicznie. To naturalna reakcja rozwijającego się młodego organizmu na obfitość bodźców docierających do błon śluzowych gardła i nosa.

Obecność migdałków u dzieci rodziła przez wiele lat liczne dyskusje medyczne dotyczące zasadności ich chirurgicznego usuwania w sytuacjach nawracających dolegliwości. Dawniej zabieg ten był wykonywany z dużo większą częstotliwością. Obecnie, dzięki lepszemu zrozumieniu roli pierścienia Waldeyera na wczesnych etapach życia, decyzje o usunięciu migdałków podejmuje się z większą ostrożnością. Uznaje się ich przydatność jako bariery na początkowym odcinku dróg oddechowych, rezerwując interwencje chirurgiczne dla wyraźnie zdefiniowanych przypadków medycznych.

1.3. Limfa - czym jest ten mleczny płyn i skąd się bierze

Proces powstawania limfy rozpoczyna się na poziomie najdrobniejszych naczyń krwionośnych naszego organizmu, czyli naczyń włosowatych. Krew przepływa przez te mikroskopijne struktury pod określonym ciśnieniem hydrostatycznym, generowanym przez pracę serca. Zjawisko to powoduje ciągłe wypychanie części osocza przez cienkie ściany kapilar bezpośrednio do przestrzeni otaczających komórki. Zjawisku temu przeciwdziała ciśnienie onkotyczne, wytwarzane przez obecność białek we krwi, które wykazują tendencję do zatrzymywania wody wewnątrz naczyń. Równowaga między tymi dwiema siłami, znana w fizjologii jako prawo Starlinga, determinuje kierunek i wielkość przemieszczania się płynów.

W uproszczeniu można powiedzieć, że na tętnicznym końcu naczynia włosowatego przeważa ciśnienie wypychające płyn na zewnątrz,

podczas gdy na końcu żylnym dominują siły wciągające płyn z powrotem. Mechanizm ten nie jest jednak w pełni symetryczny. Objętość płynu opuszczającego naczynia krwionośne jest zawsze nieco większa niż objętość płynu, który jest w stanie do nich powrócić w odcinku żylnym. Szacuje się, że w ciągu doby z naczyń krwionośnych do przestrzeni tkankowych przechodzi około dwudziestu litrów płynu, z czego tylko siedemnaście litrów wraca bezpośrednio do układu żylnego.

Pozostała objętość, wynosząca średnio od dwóch do trzech litrów na dobę, nie może pozostać w przestrzeniach międzykomórkowych, ponieważ doprowadziłoby to do zaburzenia fizjologicznych funkcji tkanek. Ten nadmiar przefiltrowanego osocza musi zostać odprowadzony inną drogą. W tym momencie do akcji wkraczają początkowe naczynia układu limfatycznego, które przejmują nadmiarowy płyn tkankowy. Objętość ta stanowi podstawę dobowej produkcji limfy, zapewniając ciągły drenaż obszarów obwodowych całego organizmu.

Biorąc pod uwagę pochodzenie limfy, jej głównym składnikiem jest woda, stanowiąca rozpuszczalnik dla wszystkich innych substancji w niej zawartych. W jej środowisku zawieszone są liczne elementy komórkowe i chemiczne, wśród których na kolejnych etapach drogi pojawiają się limfocyty. Płyn ten zawiera również pełen zestaw elektrolitów, których stężenie ściśle odpowiada wartościom obserwowanym w osoczu krwi. Limfa przejmuje także z przestrzeni międzykomórkowych różnorodne produkty przemiany materii, wytwarzane na bieżąco przez pracujące komórki.

Kluczowym elementem wchodzącym w skład limfy są białka. Choć ściany naczyń włosowatych krwi są dla nich w dużej mierze nieprzepuszczalne, pewna ich pula stale przedostaje się do przestrzeni tkankowych. Te cząsteczki są zbyt duże, aby mogły powrócić do układu żylnego tą samą drogą, którą go opuściły. Naczynia limfatyczne, dzięki specyficznej budowie swoich ścian i obecności mikroskopijnych szczelin między komórkami śródbłonna, są w stanie bez problemu wchłaniać te wielkocząsteczkowe struktury białkowe z otoczenia.

Zawartość białka w limfie jest zauważalnie niższa niż w osoczu krwi, z którego ten płyn pierwotnie pochodzi. Podczas gdy osocze zawiera średnio około siedmiu gramów białka na decylitr, w limfie płynącej w naczyniach obwodowych stężenie to wynosi zazwyczaj od jednego do dwóch gramów na decylitr. Wartości te charakteryzują się pewną zmiennością w zależności od bieżącego stanu nawodnienia organizmu. Niezależnie od tych wahań, odzysk białek z tkanek stanowi jedną z najbardziej istotnych ról całego drenażu limfatycznego.

Limfa przepływająca przez większość naczyń w naszym ciele jest płynem przezroczystym i niemal bezbarwnym, jednak sytuacja wygląda zupełnie inaczej w rejonie jamy brzusznej. Chłonka odpływająca z narządów układu pokarmowego, a w szczególności z jelit, przybiera charakterystyczny, mlecznobiały kolor. Ta specyficzna odmiana limfy nosi w medycynie miano chylusu. Jej nieprzezroczysty wygląd i gęsta konsystencja wynikają z bardzo wysokiej zawartości chylomikronów, transportowanych drogą naczyń chłonnych.

Wygląd chylusu nie jest wartością stałą i ulega wyraźnym zmianom w zależności od rytmu odżywiania. Po spożyciu posiłku chłonka w naczyniach krezkowych staje się gęsta i intensywnie biała. Z kolei w okresach dłuższego postu, na przykład w godzinach porannych przed śniadaniem, limfa w tym samym obszarze traci swoje mleczne zabarwienie i zaczyna przypominać przezroczysty płyn obserwowany powszechnie w innych częściach ciała. Różnice te wynikają bezpośrednio z ilości substancji odżywczych wchłoniętych danego dnia.

Ten uderzający, biały kolor chłonki jelitowej po posiłku został dostrzeżony bardzo wcześnie przez badaczy anatomii, co znalazło odzwierciedlenie w specjalistycznym nazewnictwie medycznym. Naczynia limfatyczne odbierające chylus z obszaru jelit zostały określone mianem naczyń mlecznych. Termin ten, wprowadzony do powszechnego użytku anatomicznego, bardzo dokładnie opisuje wizualny charakter płynu transportowanego przez te konkretne przewody po posiłku. Obserwacja tej zmienności pokazuje dynamikę zjawisk zachodzących w układzie limfatycznym.

W literaturze medycznej i biologicznej spotykamy się z dwoma terminami określającymi płyny poza naczyniami krwionośnymi: płynem śródmiąższowym oraz limfą. W praktyce jest to ta sama substancja, a jedynym kryterium różnicującym nazewnictwo jest aktualna lokalizacja przestrzenna płynu. Płyn śródmiąższowy, często określany jako płyn tkankowy, to substancja wypełniająca wolne przestrzenie między komórkami poszczególnych narządów. Jego obecność zapewnia odpowiednie środowisko fizykochemiczne dla prawidłowego funkcjonowania komórek całego ciała.

Zmiana nazewnictwa z płynu śródmiąższowego na limfę następuje w chwili przekroczenia ściśle określonej granicy anatomicznej. Kiedy płyn tkankowy przedostaje się przez komórki śródbłonna do wnętrza kapilary układu chłonnego, automatycznie zyskuje miano limfy. Proces ten ma charakter ciągły i odbywa się nieustannie w większości tkanek. Z chemicznego punktu widzenia na tym początkowym etapie nie dochodzi do żadnych modyfikacji składu, zmienia się jedynie przestrzeń, w której dany płyn aktualnie przebywa.

Zrozumienie faktu, że płyn tkankowy i limfa to w rzeczywistości ta sama substancja znajdująca się na różnych etapach swojej drogi, tłumaczy trudności w określeniu stałej objętości chłonki w ludzkim ciele. Limfa nie jest zmagazynowana w statycznym, określonym objętościowo zbiorniku, lecz nieustannie przepływa. Jej całkowita ilość w danym momencie zależy od aktualnych proporcji między płynem wchłoniętym do naczyń a tym, który wciąż pozostaje w tkankach, co zmienia się na bieżąco pod wpływem warunków fizjologicznych.

1.4. Układ bez pompy

W strukturze naczyń limfatycznych funkcjonują specjalne jednostki napędowe, określane mianem limfangionów. Limfangion to precyzyjnie zdefiniowany odcinek naczynia zbierającego, znajdujący się pomiędzy dwiema sąsiadującymi ze sobą zastawkami. Ściany tych segmentów są wyposażone we własną warstwę komórek mięśniowych gładkich, co

nadaje im zdolność do aktywnego kurczenia się. Każdy taki odcinek funkcjonuje jako niezależna, mikroskopijna jednostka tłocząca, przesuująca płyn do kolejnego segmentu.

Działanie limfangionów opiera się na rytmice zbliżonej do pracy serca, choć odbywa się na zupełnie innej skali. Ich skurcze pojawiają się samoczynnie, generowane przez wewnętrzne mechanizmy komórkowe rozruszników. W warunkach spoczynkowych pojedynczy limfangion kurczy się z częstotliwością od sześciu do dziesięciu razy na minutę. Ta podstawowa aktywność zapewnia stały, powolny ruch chłonki nawet wtedy, gdy cały organizm znajduje się w stanie całkowitego relaksu.

Częstotliwość pracy tych odcinków ulega natychmiastowej modyfikacji w odpowiedzi na zmiany ilości płynu tkankowego. Kiedy do naczynia napływa więcej limfy, ściany limfangionu ulegają silniejszemu rozciągnięciu. Receptory w ścianie naczynia reagują na ten bodziec fizyczny, drastycznie przyspieszając rytm skurczów. Przy dużym obciążeniu płynem częstotliwość może wzrosnąć nawet trzykrotnie, aby sprawniej odprowadzić gromadzącą się chłonekę w kierunku większych pni zbiorczych.

W świetle naczyń limfatycznych znajdują się liczne zastawki jednokierunkowe, które warunkują właściwy kierunek przemieszczania się płynu. Są to cienkie, delikatne płatki zbudowane z tkanki śródbłonkowej, które wyrastają z wewnętrznej ściany naczynia. Zastawki te otwierają się pod wpływem naporu płynu napływającego z dołu, pozwalając mu przepłynąć wyżej. Gdy tylko płyn próbuje cofnąć się zgodnie z siłą ciężarstwa, płatki zamykają się szczelnie, blokując drogę powrotną.

Rozmieszczenie zastawek wzdłuż naczyń zbierających jest bardzo gęste i wykazuje dużą regularność. Występują one w odstępach zaledwie kilku lub kilkunastu milimetrów, dzieląc całą długość naczynia na dziesiątki krótkich komór. Taka architektura jest niezbędna, ponieważ układ limfatyczny operuje na bardzo niskich ciśnieniach. Zabezpieczenie płynu na każdym, najkrótszym nawet odcinku zapobiega jego niekontrolowanemu opadaniu do niższych partii ciała.

Gęsta obecność zastawek nadaje naczyniom limfatycznym bardzo specyficzny wygląd podczas obserwacji pod mikroskopem. Ściana naczyń jest najszersza w połowie odległości między zastawkami, natomiast w miejscu samego przyczepu zastawek ulega wyraźnemu przewężeniu. Ta naprzemiennność poszerzeń i naturalnych przewężeń sprawia, że naczynie wizualnie układają się w formę przypominającą sznur koralu. Taka budowa morfologiczna pozwala na łatwe odróżnienie naczyń chłonnych od drobnych żył w preparatach tkankowych.

Przepływ chłonki opiera się również na ścisłej współpracy z otaczającymi tkankami, które wywierają nacisk na ściany naczyń. Największe znaczenie mają tu mięśnie szkieletowe, w których przebiega gęsta sieć dróg limfatycznych. Kiedy brzusec mięśnia ulega skurczowi, jego objętość rośnie, co powoduje fizyczny ucisk na znajdujące się w jego wnętrzu naczynia. Zmiana geometrii tkanek systematycznie wypycha płyn do góry.

Innym ważnym źródłem wsparcia dla transportu limfy jest bliskie sąsiedztwo układu tętniczego oraz narządów wewnętrznych jamy brzusznej. Duże i średnie naczynia limfatyczne przebiegają tuż obok tętnic. Tętnienie naczyń krwionośnych, wynikające z cykli pracy serca, generuje falę mechaniczną, która rytmicznie uderza w ściany naczyń chłonnych, przekazując im impuls do ruchu. W jamie brzusznej podobną funkcję pełnią ruchy perystaltyczne jelit, które stale przemieszczają się i uciskają leżące w przestrzeni zaotrzewnowej pnie.

Klatka piersiowa dostarcza kolejnego mechanizmu ssąco-tłoczącego dzięki procesowi oddychania. Podczas wdechu przepona obniża się, co powoduje spadek ciśnienia w klatce piersiowej i jednoczesny wzrost ciśnienia w jamie brzusznej. Różnica tych ciśnień generuje efekt, który zasysa chłonkę z dolnych partii ciała do głównego przewodu piersiowego. Każdy cykl oddechowy stanowi istotny bodziec fizyczny dla przemieszczania się płynów w rejon kątów żylnych.

Prędkość poruszania się limfy różni się diametralnie od parametrów hydrodynamicznych układu krwionośnego. W aorcie krew przemieszcza się z ogromną prędkością, osiągając średnio od trzydziestu do

czterdziestu centymetrów na sekundę. W układzie żylnym prędkość ta jest mniejsza, ale wciąż wynosi od kilku do kilkunastu centymetrów na sekundę. Limfa z kolei charakteryzuje się przepływem o rzędy wielkości wolniejszym, mierzonym w milimetrach na sekundę.

W warunkach spoczynkowych chłonka w naczyniach obwodowych przesuwają się zaledwie o jeden do dwóch milimetrów w ciągu sekundy. W większych pniach i przewodzie piersiowym płyn ten przyspiesza, ale wartości te nadal zamykają się w kilku centymetrach na minutę. Ta niska prędkość wynika z fizjologicznej roli układu, który jest nastawiony na stałe, dokładne zbieranie płynu tkankowego i przeprowadzanie go przez struktury filtrujące.

Sytuacja hydrodynamiczna ulega całkowitej zmianie podczas wzmożonego zapotrzebowania organizmu. Kiedy układ napotyka na konieczność przetransportowania znacznie większej ilości płynu, uruchamia procesy adaptacyjne. Przepływ chłonki rośnie wówczas w sposób niezwykle dynamiczny. Notuje się, że objętość przemieszczającej się limfy powiększa się od piętnastu do nawet trzydziestu razy w stosunku do wartości mierzonych u tego samego człowieka w warunkach pełnego spoczynku.

Topografia układu zmusza znaczną część limfy do pokonywania oporu siły ciężenia, co stawia przed nim wysokie wymagania fizyczne. Najbardziej obciążonym obszarem ciała są kończyny dolne. Płyn tkankowy z rejonu stóp musi przebyć drogę rzędu jednego metra w osi pionowej, sprzeciwiając się stałemu przyciąganiu ziemskiemu. Masa słupa płynu naciska na ściany delikatnych naczyń oraz stale napiera na szczelność zastawek umiejscowionych od kostek po miednicę.

Podczas wielogodzinnego przebywania w pozycji stojącej grawitacja oddziałuje w sposób ciągły na oś długą ciała. Mechanizmy przesuwające limfę w górę muszą pokonywać maksymalny opór słupa hydrostatycznego. Z kolei długotrwałe siedzenie wprowadza dodatkowy problem strukturalny. Zgięcie w stawach kolanowych i biodrowych tworzy fizyczne załamania na drodze głównych pni, zwężając ich światło i ograniczając swobodny odpływ z obszaru podudzi i ud.

Parametry hydrodynamiczne ulegają całkowitej poprawie podczas snu, gdy ciało przyjmuje ułożenie horyzontalne. Pozycja leżąca neutralizuje wpływ grawitacji na przepływ chłonki w układzie obwodowym. Naczynia kończyn dolnych znajdują się na tej samej wysokości co klatka piersiowa, dzięki czemu znika zjawisko naporu słupa płynu z góry. W tych sprzyjających warunkach organizm bez przeszkód transportuje chłonkę zgromadzoną podczas całego dnia z powrotem do łożyska naczyniowego.

1.5. Strażnik odporności - węzły chłonne jako stacje filtracyjne

Kiedy chłonka dociera do węzła, jej droga ulega zmianie. Do wypukłej powierzchni pojedynczego węzła wnika jednocześnie kilka naczyń doprowadzających, wtłaczających zebrany płyn do wnętrza. W środku limfa przepływa przez złożony system wewnętrznych zatok. Zmiana układu przestrzennego z wąskich naczyń na szersze przestrzenie zatok powoduje bardzo wyraźne spowolnienie prędkości przepływu płynu. To zwolnienie tempa pozwala na prawidłowe przeprowadzenie procesu oczyszczania.

Dzięki powolnemu przepływowi przez zatoki środowisko węzła zyskuje czas na przefiltrowanie napływającego materiału. Główną rolę w tym procesie odgrywają makrofagi, czyli wyspecjalizowane komórki żerne rozmieszczone wzdłuż ścian zatok. Ich zadaniem jest wychwytywanie i neutralizowanie obcych cząstek stałych niesionych przez limfę. Makrofagi pochłaniają bakterie, fragmenty zniszczonych tkanek oraz komórki nowotworowe, nie dopuszczając do ich dalszej wędrówki w kierunku układu krwionośnego.

Oprócz materiału biologicznego filtracja obejmuje zanieczyszczenia nieorganiczne, przedostające się do ciała ze środowiska zewnętrznego. Pyły zawieszone w powietrzu, zanieczyszczenia przemysłowe oraz substancje wdychane wraz z dymem tytoniowym przenikają przez układ oddechowy i trafiają do okolicznych węzłów chłonnych. Makrofagi pochłaniają te cząsteczki, jednak często nie potrafią ich rozłożyć

enzymatycznie. W rezultacie drobiny kumulują się trwale wewnątrz tkanek. U nałogowych palaczy oraz osób pracujących w kopalniach węzły chłonne klatki piersiowej przybierają z tego powodu czarną barwę, uwidaczniając proces gromadzenia zanieczyszczeń.

Oprócz funkcji mechanicznego oczyszczania płynu, węzły stanowią centralne miejsce działań układu obronnego. To w tych strukturach dochodzi do strategicznych spotkań pomiędzy komórkami poszukującymi zagrożenia a jednostkami wykonawczymi układu immunologicznego. Z obwodowych rejonów ciała do węzłów wędrują komórki dendrytyczne, które wcześniej wchłonęły fragmenty patogenów w miejscu infekcji. Ich zadaniem jest przeniesienie specyficznych białek obcych mikroorganizmów bezpośrednio do wnętrza węzła, w celu zaprezentowania ich komórkom obronnym.

We wnętrzu narządu komórki dendrytyczne spotykają się z populacjami limfocytów T oraz B, patrolujących organizm i krążących między krwią a układem limfatycznym. Prezentacja antygeny polega na fizycznym kontakcie komórki dendrytycznej z odpowiednim limfocytem, posiadającym receptor precyzyjnie pasujący do danego białka patogenu. Odnalezienie właściwego limfocyta w środowisku węzła inicjuje rozległą kaskadę reakcji immunologicznych.

Rozpoznanie zagrożenia wywołuje aktywację limfocytów. Zaczynają one zmieniać swoją strukturę, tworząc wewnątrz węzła ośrodki rozmnażania. W tych wyodrębnionych strefach komórki dzielą się w bardzo szybkim tempie. Limfocyty B przekształcają się w plazmocyty, które rozpoczynają masową produkcję przeciwciał celowanych w konkretny patogen. Przeciwciała te wraz z opuszczającą węzeł limfą trafiają do krwiobiegu, docierając ostatecznie do miejsc w organizmie objętych stanem zapalnym.

Aktywacja immunologiczna wewnątrz węzła wiąże się ze zmianami w jego strukturze fizycznej. Szybkie namnażanie się limfocytów w ośrodkach rozmnażania wymaga dodatkowej przestrzeni. W ciągu zaledwie kilkudziesięciu godzin od rozpoczęcia infekcji objętość wewnętrzna narządu znacząco się zwiększa. Zjawisko to prowadzi do

naporu powiększającej się masy komórkowej na torebkę łącznotkankową, otaczającą węzeł z zewnątrz.

Torebka narządu charakteryzuje się określoną elastycznością, jednak jej silne rozciąganie drażni zlokalizowane w niej zakończenia nerwowe. Fizyczne napięcie tej struktury odpowiada za uczucie tkliwości i bolesności powiększonych węzłów, odczuwanych na przykład na szyi w trakcie infekcji gardła. Ból ten ma charakter mechaniczny i stanowi bezpośredni dowód na intensywny proces obronny toczący się we wnętrzu stacji filtrującej.

Po wyeliminowaniu zagrożenia namnażanie komórek ustaje, ale powrót węzła do pierwotnych wymiarów wymaga dłuższego czasu. Zgromadzona masa komórkowa musi zostać uprzątnięta, a struktura wewnętrzna ulec przebudowie. Z tego względu węzły chłonne pozostają wyczuwalnie powiększone przez kilka tygodni po całkowitym ustąpieniu objawów infekcji. Powolny powrót torebki do początkowego napięcia tłumaczy stopniowe i powolne zanikanie wyczuwalnych zgrubień.

Naczynia chłonne, stanowiące naturalną drogę odpływu płynów z tkanek, mogą uczestniczyć w rozprzestrzenianiu się niepożądanych komórek ulegających niekontrolowanemu podziałom. Kiedy komórki nowotworowe odrywają się od pierwotnego guza, często trafiają do naczyń włosowatych układu limfatycznego. Z prądem limfy przemieszczają się do najbliższej stacji filtrującej. W medycynie stacja ta określana jest mianem węzła wartowniczego, ponieważ stanowi pierwszą barierę na drodze spływu chłonki z rejonu zajętego chorobą.

Koncepcja węzła wartowniczego odgrywa bardzo ważną rolę w diagnostyce. Zamiast usuwania wszystkich węzłów z danego obszaru, specjaliści lokalizują i pobierają do badania mikroskopowego tylko pierwszy węzeł na drodze drenażu. Brak niepożądanych komórek w węzle wartowniczym daje wysokie prawdopodobieństwo, że stacje filtrujące położone dalej również są wolne od zmian. Celowana biopsja stała się standardem pozwalającym na ocenę sytuacji przy jednoczesnym ograniczeniu interwencji chirurgicznej.

W sytuacjach wymagających usunięcia całej grupy węzłów chłonnych dochodzi do trwałej zmiany w architekturze przepływu płynów w operowanej części ciała. Wycięcie stacji węzłowych, na przykład z dołu pachowego lub pachwiny, oznacza fizyczne przerwanie głównych dróg drenażu dla kończyny. Płyn tkankowy z rejonu ręki lub nogi traci swoje naturalne szlaki odpływu w kierunku pni głównych. Organizm musi szukać dróg obocznych, co na stałe zmienia warunki transportu limfy w obszarze poddanym zabiegowi.

1.6. Limfa a jelita: układ GALT i tajemnica naczyń mlecznych

Przewód pokarmowy to nie tylko miejsce trawienia pokarmu, ale również ogromna przestrzeń działania układu immunologicznego. Wzdłuż całego nabłonka jelit ułożona jest wyspecjalizowana struktura znana w terminologii medycznej jako tkanka limfatyczna związana z błonami śluzowymi (w skrócie MALT). Jej największy i najważniejszy segment, zlokalizowany bezpośrednio w narządach układu pokarmowego, nosi nazwę układu GALT. Obejmuje on zróżnicowane zgrupowania komórek obronnych, które nieustannie monitorują rozległą powierzchnię jelit.

Szczególną formą organizacji układu GALT są kępki Peyera, umiejscowione głównie w ścianie jelita krętego. Są to płaskie, widoczne gołym okiem grudki chłonne, zlokalizowane pod nabłonkiem, w których gęsto grupują się elementy układu odpornościowego. Stanowią one strategiczne punkty kontrolne na końcowym odcinku jelita cienkiego. Podobną funkcję pełni wyrostek robaczkowy, stanowiący ślepe uwypuklenie kątnicy. Choć przez dziesięciolecia uważano go za narząd szczątkowy pozbawiony funkcji, w rzeczywistości jego ściany są niezwykle bogate w tkankę limfatyczną.

Skala zaangażowania układu limfatycznego w rejonie jamy brzusznej jest bezprecedensowa w porównaniu z resztą ciała. Szacuje się, że od siedemdziesięciu do osiemdziesięciu procent wszystkich komórek odpornościowych dorosłego człowieka stacjonuje właśnie w obrębie

jelit. Wynika to z faktu, że powierzchnia błony śluzowej jelita to największa płaszczyzna kontaktu organizmu z czynnikami zewnętrznymi. Taka koncentracja sił obronnych w jednym miejscu jest konieczna, by zapewnić bezpieczeństwo podczas ciągłego przetwarzania dostarczanego materiału z zewnątrz.

Powierzchnia wchłaniająca jelita cienkiego jest uformowana z milionów drobnych wypustek błony śluzowej, określanych mianem kosmków jelitowych. W centralnej części każdego takiego kosmka przebiega pojedyncze, ślepo zakończone naczynie limfatyczne, które nazywane jest naczyniem mlecznym. Naczynia te posiadają specyficzną budowę ścian z szerokimi porami międzykomórkowymi, co nadaje im bardzo wysoką przepuszczalność dla substancji o dużej wielkości cząsteczkowej.

Głównym zadaniem naczyń mlecznych jest przejmowanie tłuszczów pokarmowych. Kwasy tłuszczowe, po przetworzeniu w komórkach nabłonka, łączą się z białkami, tworząc duże kompleksy. Rozmiar tych struktur uniemożliwia ich bezpośrednie przeniknięcie do gęstej sieci drobnych naczyń krwionośnych w kosmkach i przejście do krążenia wrotnego. Analogiczna sytuacja dotyczy witamin rozpuszczalnych w tłuszczach, do których należą witaminy A, D, E oraz K. Zamiast do żyły wrotnej, wszystkie te cenne substancje trafiają bezpośrednio do światła naczyń mlecznych.

Trasa, jaką tłuszcze pokarmowe i witaminy muszą pokonać do krwioobiegu, jest wieloetapowa. Z naczyń mlecznych w kosmkach płyn spływa do coraz większych naczyń limfatycznych krezki, zlokalizowanych między fałdami jelit. Następnie chłonka kieruje się w stronę tylnej ściany jamy brzusznej, gdzie przepływa przez zbiornik położony u podstawy kręgosłupa. Stamtąd odbywa podróż w górę przez główny przewód piersiowy, kierując się aż w okolice obojczyka. Dopiero tam odżywcze molekuly zasilają krwiobieg.

Styk tkanki limfatycznej GALT ze światłem jelita charakteryzuje się obecnością unikalnych komórek, które pokrywają powierzchnię kępek Peyera. W nabłonku w tym rejonie zlokalizowane są specjalistyczne komórki M. Pełnią one funkcję biologicznych transporterów,

przenoszących wybrany materiał przez warstwę nabłonka, bez konieczności jego wcześniejszego trawienia czy chemicznej modyfikacji wewnątrz samej komórki.

Zadaniem komórek M jest nieustanne, aktywne pobieranie mikroskopijnych próbek treści pokarmowej przepływającej przez jelito. Chwytają one drobiny obecne w świetle przewodu pokarmowego, zamykają w pęcherzykach i transportują na drugą stronę warstwy nabłonkowej. Tam materiał ten zostaje wypuszczony i natychmiast przechwycony przez obecne pod spodem komórki układu odpornościowego. W ten sposób tkanka limfatyczna GALT ma ciągły, bezpośredni wgląd w to, co znajduje się aktualnie w środowisku jelitowym.

Ten mechanizm ciągłego próbkowania ma fundamentalne znaczenie dla prawidłowego reagowania organizmu na spożywany pokarm. Dzięki stałej ekspozycji na białka pokarmowe, układ immunologiczny uczy się je tolerować. Zjawisko to, noszące nazwę tolerancji pokarmowej, polega na rozpoznawaniu pożywienia jako substancji bezpiecznej, powstrzymując tkanki przed uruchamianiem reakcji zapalnej. Tolerancja ta jest warunkiem bezproblemowego trawienia setek różnych związków obecnych w naszej codziennej diecie.

Błona śluzowa jelit stanowi fizyczną barierę oddzielającą wnętrze narządu od wewnętrznych przestrzeni organizmu. Komórki nabłonka jelitowego przylegają do siebie dzięki strukturom białkowym, określanym jako ścisłe połączenia. Współczesna medycyna intensywnie bada zjawisko zwiększonej przepuszczalności tej bariery. Dochodzi w niej do rozluźnienia przestrzeni międzykomórkowych, co pozwala na przenikanie większych struktur biologicznych do warstw podśluzówkowych.

Zwiększona przepuszczalność jelitowa została naukowo udokumentowana jako istotny element występujący w ściśle określonych jednostkach klinicznych. Zjawisko to jest dobrze opisane u pacjentów z celiakią, nieswoistymi zapaleniami jelit, takimi jak choroba Leśniowskiego-Crohna, oraz w cukrzycy typu 1. W tych konkretnych

schorzeniach fizyczne naruszenie bariery prowadzi do wzmożonego wnikania antygenów, co bezpośrednio napędza procesy zapalne i wpływa na ogólny stan zdrowia chorego.

Mimo solidnych dowodów naukowych w obrębie wymienionych chorób, w powszechnym przekazie temat ten uległ znacznemu uproszczeniu. W obiegu informacyjnym często używa się sformułowania o ciekącym jelicie, przypisując mu odpowiedzialność za szerokie spektrum niespecyficznych problemów zdrowotnych, od problemów skórnych po wahania nastroju. Granica między udokumentowaną wiedzą medyczną a przypuszczeniami jest w tym obszarze wyraźnie zarysowana. Prace badawcze wciąż trwają, aby jednoznacznie ustalić, w jakich dokładnie sytuacjach klinicznych naruszenie szczelności nabłonka jest pierwotną przyczyną chorób systemowych.

1.7. Glimfatyczny mózg - odkrycie, które zmieniło wszystko

Przez całe dekady anatomowie i fizjolodzy byli głęboko przekonani, że w obrębie ośrodkowego układu nerwowego brakuje klasycznych naczyń limfatycznych. W podręcznikach medycznych i w toku edukacji akademickiej utrzymywano, że mózg radzi sobie z odprowadzaniem płynów w sposób całkowicie odmienny niż reszta ciała. Sytuacja uległa radykalnej zmianie w 2015 roku, kiedy zespół badawczy kierowany przez Jonathana Kipnisa z University of Virginia opublikował wyniki swoich obserwacji anatomicznych. Badacze wykazali ponad wszelką wątpliwość obecność w pełni funkcjonalnych naczyń limfatycznych w oponach mózgowych, czyli błonach otaczających fizycznie tkankę nerwową.

Odnalezione naczynia chłonne biegną w oponie twardej, w bardzo bliskim sąsiedztwie głównych naczyń krwionośnych oponowych oraz zatok żylnych czaszki. Ich ułożenie pokrywa się ściśle z przebiegiem dużych naczyń odbierających krew z przestrzeni wewnątrzczaszkowej. Zamiast wnikać w samą tkankę mózgową, tworzą one sieć na jej powierzchni zewnętrznej, w strukturach osłaniających. Naczynia te

zbierają nadmiar płynu wraz z zawartymi w nim komórkami odpornościowymi i drobnocząsteczkowymi metabolitami z przestrzeni oponowych.

Odływ z tej nowo zidentyfikowanej sieci oponowej kieruje się bezpośrednio w stronę podstawy czaszki, opuszczając jej wnętrze wraz z dużymi naczyniami żylnymi i nerwami czaszkowymi. Limfa zebrana z rejonu osłon mózgowia trafia ostatecznie do głębokich węzłów chłonnych szyjnych. Ustalenie faktu, że ośrodkowy układ nerwowy posiada fizyczne połączenie z obwodowym układem limfatycznym za pośrednictwem naczyń w oponach, otworzyło nowe możliwości analizy fizjologii układu nerwowego.

Równolegle do badań anatomicznych prowadzonych na oponach, zespół badawczy Maiken Nedergaard opisał szczegóły wewnętrznego mechanizmu oczyszczania samej tkanki nerwowej. Mechanizm ten opiera się na specyficznym ruchu płynu mózgowo-rdzeniowego. Płyn ten wnika w głąb tkanki mózgowej wzdłuż przestrzeni okołotętniczych, będących niewielkimi szczelinami otaczającymi tętnice przeszywające mózg. Wymuszony pulsacją naczyń krwionośnych płyn przemieszcza się przez te przestrzenie, a następnie przenika bezpośrednio do przestrzeni międzykomórkowej tkanki nerwowej.

Kluczową rolę w ułatwianiu tego transportu odgrywają komórki glejowe, a dokładniej astrocyty. Posiadają one charakterystyczne wypustki, które szczelnie otaczają naczynia krwionośne. W błonach tych wypustek rozmieszczone są liczne kanały wodne, uformowane z białka o nazwie akwaporyna 4. Kanały te warunkują szybki i ukierunkowany przepływ płynu z przestrzeni okołonaczyniowych wprost między komórki nerwowe. Płyn mózgowo-rdzeniowy przemywa przestrzeń międzykomórkową, zbierając produkowane na bieżąco zbędne produkty przemiany materii.

Przepłukany w ten sposób płyn, niosący obciążenie metaboliczne, opuszcza tkankę mózgową wzdłuż przestrzeni okołozylnych, wracając do układu krążenia płynu mózgowo-rdzeniowego. Ze względu na wiodący udział komórek glejowych w tym procesie oraz jego

funkcjonalne podobieństwo do działania układu limfatycznego w tkankach obwodowych, badacze musieli stworzyć nową terminologię. Z połączenia słowa określającego głąz oraz funkcji limfatycznej powstał termin układ glimfatyczny, który opisuje ten specyficzny dla mózgu mechanizm transportu płynów.

Aktywność układu glimfatycznego wykazuje ściśle uzależnienie od stanu świadomości organizmu, co stanowi jedną z jego najbardziej unikalnych cech. W okresie czuwania proces przemywania tkanki nerwowej przebiega w sposób ograniczony. Przestrzeń międzykomórkowa w pracującym, przebudzonym mózgu zajmuje bardzo małą objętość, co stwarza znaczny opór dla przepływu płynów. Płyn mózgowo-rdzeniowy przemieszcza się wtedy z trudem, a proces usuwania metabolitów zachodzi na zredukowanym poziomie.

Sytuacja hemodynamiczna w tkance nerwowej ulega wyraźnej zmianie w momencie zapadnięcia w sen. Zjawiskiem odpowiedzialnym za tę zmianę jest zdolność komórek głązowych do modyfikacji swojej objętości. Kiedy organizm śpi, komórki te kurczą się, co prowadzi do drastycznego powiększenia przestrzeni międzykomórkowej. Objętość tej przestrzeni wzrasta nawet o sześćdziesiąt procent, co przekłada się na drastyczny spadek oporu dla przemieszczającego się płynu mózgowo-rdzeniowego. Płyn ten napływa w głąb mózgu w znacznie większych ilościach.

Poszerzenie przestrzeni ułatwia przepływ i powoduje, że tempo usuwania zbędnych produktów przemiany materii wzrasta podczas snu wielokrotnie w porównaniu do parametrów mierzonych w stanie czuwania. Efekt ten ulega nasileniu w konkretnych momentach cyklu dobowego. Pomiary wskazują, że najwyższą sprawność mechanizmu glimfatycznego rejestruje się podczas fazy snu wolnofalowego, znanego powszechnie jako sen głąboki. W tym stadium synchronizacja procesów fizjologicznych zapewnia najwydajniejsze odprowadzanie płynów.

Odkrycie mechanizmu glimfatycznego i naczyń oponowych zainicjowało poszukiwania powiązań między drenażem mózgu a chorobami neurodegeneracyjnymi. W badaniach szczególną uwagę poświęca się

beta-amyloidowi oraz białku tau. Są to produkty aktywności neuronów, które w zdrowej tkance są usuwane na zewnątrz z płynem śródmiąższowym. Osłabienie przepływu w przestrzeniach międzykomórkowych prowadzi do mniejszej skuteczności w pozbywaniu się tych białek z sąsiedztwa komórek nerwowych.

Zjawisko to jest obecnie intensywnie badane jako potencjalny czynnik rozwoju choroby Alzheimera. Opublikowano wiele prac wskazujących na korelacje między nieprawidłowym funkcjonowaniem przepływu zależnego od astrocytów a procesem formowania się złogów. Należy mieć na uwadze, że w środowisku medycznym zjawisko to traktowane jest obecnie jako rozwijana hipoteza badawcza. Upośledzenie funkcji układu limfatycznego rozpatruje się w kategoriach jednego z wielu możliwych mechanizmów patologicznych, a nie jako uniwersalną i dowiedzioną przyczynę chorób otępiennych.

Prace badawcze w tym obszarze napotykają na pewne bariery technologiczne. Zdecydowana większość dostępnych twardych dowodów naukowych potwierdzających dynamikę przepływu limfatycznego pochodzi z eksperymentów prowadzonych in vivo na gryzoniach. Transferowanie tych wyników na ludzką fizjologię wymaga ostrożności. Obiektywny pomiar i obrazowanie tak wolnych przepływów płynu śródmiąższowego wewnątrz żywego ludzkiego mózgu stanowi duże wyzwanie techniczne, wymagające rozwoju bardziej precyzyjnych narzędzi neuroobrazowania.

1.8. Dlaczego medycyna odkryła ten układ tak późno

Początki poznawania układu limfatycznego sięgają pierwszej połowy siedemnastego wieku, kiedy to anatomicznie zaczęli zwracać uwagę na nieznane wcześniej struktury. Przełomowym momentem był rok 1622. Włoski anatom Gaspare Aselli podczas sekcji psa dokonał nieoczekiwanego spostrzeżenia. Zauważył w krezce zwierzęcia liczne, białe naczynia wypełnione mętnym płynem. Obserwacja ta była możliwa wyłącznie dlatego, że zwierzę zostało nakarmione krótko przed

badaniem, co spowodowało wypełnienie naczyń chłonnych jelit gęstym, przypominającym mleko chylusem. Aselli trafnie rozpoznał, że ma do czynienia z odrębnym typem naczyń, nadając im nazwę naczyń mlecznych.

Kilkadziesiąt lat później badania nad nową strukturą anatomiczną nabrały szerszego wymiaru. W latach pięćdziesiątych siedemnastego wieku szwedzki badacz Olaus Rudbeck przeprowadził serię skrupulatnych analiz, które doprowadziły go do wniosku, że naczynia limfatyczne nie ograniczają się jedynie do układu pokarmowego. Rudbeck zaobserwował obecność tych przewodów w całym ciele, identyfikując je jako zintegrowany, rozległy system transportujący płyny z różnych tkanek w kierunku klatki piersiowej.

W tym samym czasie duński naukowiec Thomas Bartholin prowadził niezależne prace w Kopenhadze. Bartholin również zidentyfikował i opisał powszechność występowania naczyń limfatycznych, publikując swoje wyniki i wprowadzając do języka łacińskiego termin nawiązujący do jasnego płynu, czyli limfy. Publikacje obu uczonych ukazały się w zbliżonym czasie, co doprowadziło do ostrego, historycznego sporu o pierwszeństwo odkrycia całego układu limfatycznego. Ta naukowa rywalizacja na stałe wpisała oba nazwiska w historię wczesnych badań anatomicznych.

Główną przeszkodą w dokładnym poznaniu układu limfatycznego były jego specyficzne właściwości fizyczne. Płyn krążący w naczyniach krwionośnych zawdzięcza swoją intensywną barwę obecności hemoglobiny. Ta wyraźna czerwień ułatwiała historycznym anatomom precyzyjne śledzenie przebiegu tętnic i żył. Limfa obwodowa jest natomiast substancją niemal całkowicie przezroczystą i bezbarwną. Brak naturalnego barwnika sprawiał, że transportujący ją układ pozostawał wizualnie stopiony z otaczającymi tkankami, nie przyciągając uwagi badaczy.

Kolejnym utrudnieniem była sama budowa morfologiczna przewodów chłonnych. Naczynia limfatyczne, nawet te o większym przekroju, charakteryzują się niezwykle cienkimi i delikatnymi ścianami. Zawierają

one znacznie mniej tkanki mięśniowej i łącznej niż odpowiadające im żyły, nie wspominając o tętnicach. Ta delikatność strukturalna powoduje, że bez wewnętrznego naporu płynu naczynia te tracą swój kształt. Są wrażliwe na najmniejszy ucisk mechaniczny, co utrudnia ich wyizolowanie podczas manualnych preparacji tkanek.

Fizyczne zachowanie układu po śmierci organizmu tłumaczy, dlaczego klasyczna sekcja zwłok przez wieki nie pozwalała na jego dokładne zbadanie. Z chwilą ustania pracy serca i zaniku ciśnienia hydrostatycznego, a także w wyniku braku skurczów mięśni szkieletowych, przepływ płynów ustaje. Cienkościenne naczynia limfatyczne, pozbawione wewnętrznego ciśnienia, natychmiast ulegają całkowitemu zapadnięciu. Puste i przezroczyste przewody stają się w warunkach pośmiertnych fizycznie nieodróżnialne od powięzi, tłuszczu i innych elementów otaczającej je tkanki łącznej.

Przełamanie tych barier obserwacyjnych wymagało zastosowania innowacyjnych technologii obrazowania medycznego. Pierwszym istotnym krokiem było wprowadzenie limfografii kontrastowej. Metoda ta polegała na bezpośrednim podaniu do naczynia chłonnego specjalnego środka cieniującego, co pozwalało na uwidocznienie dróg limfatycznych na zdjęciach rentgenowskich. Następnie do praktyki badawczej wprowadzono limfoscyntyografię, bazującą na wstrzykiwaniu w tkanki znaczników radioaktywnych. Przemieszczanie się tych substancji rejestrowano za pomocą specjalistycznych kamer, co umożliwiło śledzenie dynamiki przepływu chłonki w czasie rzeczywistym.

Kolejnym ważnym narzędziem, które poszerzyło wiedzę o układzie, stało się obrazowanie z wykorzystaniem zieleni indocyjaninowej. Po podaniu tego fluorescencyjnego barwnika pod skórę i oświetleniu tkanek światłem w paśmie bliskiej podczerwieni, badacze zyskali możliwość bezpośredniej, wizualnej obserwacji pracy powierzchownych naczyń limfatycznych. Technologia ta pozwala na dokumentowanie skurczów poszczególnych limfangionów bez konieczności naświetlania

promieniami rentgenowskimi, dostarczając niezwykle dokładnych danych na temat motoryki układu.

Prawdziwa rewolucja nastąpiła jednak w latach dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku na poziomie biologii molekularnej. Przez długi czas naukowcy mieli trudności z odróżnieniem najdrobniejszych naczyń limfatycznych od krwionośnych w preparatach mikroskopowych. Odkrycie specyficznych markerów molekularnych ulegających ekspresji wyłącznie na powierzchni komórek śródbłónka limfatycznego zmieniło tę sytuację. Identyfikacja białek takich jak VEGFR-3 czy podoplanina umożliwiła wybiórcze barwienie struktur limfatycznych. Pozwoliło to na jednoznaczne i precyzyjne mapowanie sieci kapilar wewnątrz poszczególnych narządów.

Mimo ogromnego postępu w zrozumieniu anatomii i fizjologii, układ limfatyczny wciąż boryka się z problemem systemowym w medycynie klinicznej. W zdecydowanej większości państw brakuje formalnie wyodrębnionej specjalizacji lekarskiej w dziedzinie limfologii. Podczas gdy układ krwionośny ma swoich dedykowanych specjalistów, układ limfatyczny nie posiada jednego, centralnego ośrodka odpowiedzialnego za koordynację diagnozowania i leczenia jego dysfunkcji w ramach podstawowej ścieżki medycznej.

W rezultacie pacjenci z problemami dotyczącymi drenażu tkankowego zostają rozproszeni po wielu różnych gałęziach medycyny. Trafiają oni do chirurgów naczyniowych, którzy na co dzień skupiają się na żyłach i tętnicach. Osoby z powikłaniami po zabiegach szukają pomocy na oddziałach onkologicznych. Ze względu na powikłania skórne towarzyszące zastojom pacjenci bywają kierowani do dermatologów. Ważnym ogniwem są również specjaliści fizjoterapii, do których chorzy trafiają często z opóźnieniem w celu fizycznego łagodzenia objawów.

To rozproszenie kompetencji przekłada się na konkretne konsekwencje dla samych chorych. Ścieżka pacjenta borykającego się z postępującym niewydolnością transportu płynów bywa bardzo długa i niejednokrotnie opiera się na metodzie prób i błędów. Skala opóźnienia w diagnozowaniu problemów takich jak obrzęk limfatyczny jest często

liczona w latach od momentu pojawienia się pierwszych, subtelnych objawów zgłaszanych w gabinetach lekarskich. Czas ten niejednokrotnie pozwala na rozwinięcie się zaawansowanych zmian w tkankach.

2. Sygnały, że limfa potrzebuje pomocy

