

1. Anatomia zdrowego serca

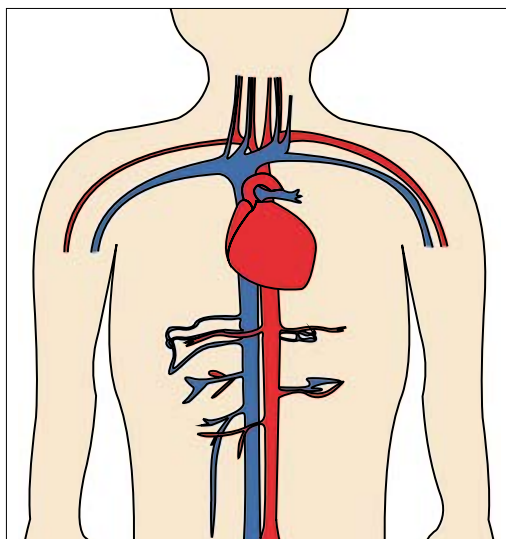
Katarzyna Januszewska, Małgorzata Procelewska

Budowa zdrowego serca i układu krwionośnego

Serce ludzkie położone jest w środkowej części klatki piersiowej, tzw. śródpiersiu. Swoją długą osią skierowane jest od prawego ramienia do okolicy podżebrowej po stronie lewej. Około 2/3 serca leży po lewej stronie od linii środkowej ciała, a pozostała część po stronie prawej (ryc. 1.).

Od dołu serce bezpośrednio graniczy z przeponą, od tyłu z przełykiem i w górnej części z tchawicą, od boków sąsiaduje z płucami, a od przodu bezpośrednio

Ryc. 1. Położenie serca

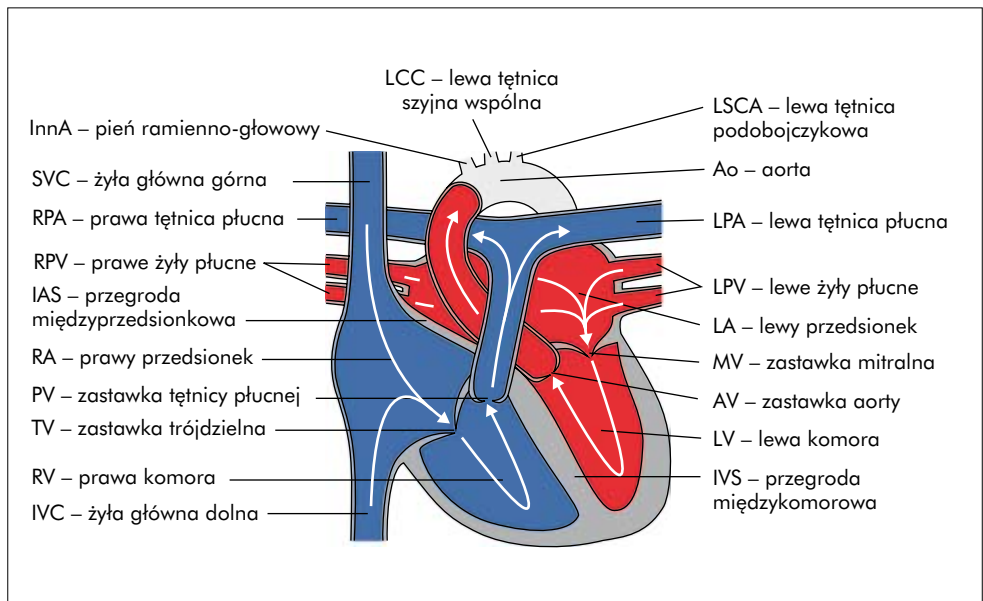


dochodzi do przedniej ściany klatki piersiowej (w tym do mostka). Otacza je osierdzie (worek osierdziowy) – włóknista błona wypełniona niewielką ilością płynu. Worek osierdziowy wraz z wypełniającym go płynem pełni funkcję mocowania serca w śródpiersiu, a także ogranicza tarcie pomiędzy stale poruszającym się sercem a otaczającymi go narządami.

Serce składa się z czterech jam – dwóch przedsionków (prawego i lewego) i dwóch komór (prawej i lewej). Przedsionki są od siebie oddzielone przegrodą międzyprzedsionkową, natomiast komory – przegrodą międzykomorową (ryc. 2.).

Prawy przedsionek jest częścią serca wysuniętą najbardziej w prawo; leży bezpośrednio za mostkiem. Do prawego przedsionka sphywa z całego organizmu krew żylna (odtlenowana, pozbawiona tlenu) dwiema dużymi żyłami głównymi (próżnymi) – żyłą główną górną z górnej części ciała (głowy, kończyn górnych i górnej części klatki piersiowej) oraz żyłą główną dolną z dolnej części ciała (jamy brzusznej, dolnej części klatki piersiowej i kończyn dolnych). Do prawego przedsionka sphywa również krew żylna z krążenia wieńcowego (naczynia zaopatrujące serce) przez zatokę wieńcową, położoną na tylnej powierzchni serca w rowku pomiędzy przedsionkami a komorami, która uchodzi w dolnej części prawego przedsionka.

Prawy przedsionek od prawej komory oddziela prawostronna zastawka przedsionkowo-komorowa, składająca się z trzech płatków i dlatego nazywana trójdzielną. Płatki zastawek przedsionkowo-komorowych stanowią fałd wewnętrznej warstwy tkanki wyścielejającej serce (wsierdzia) i przytwierdzone są do

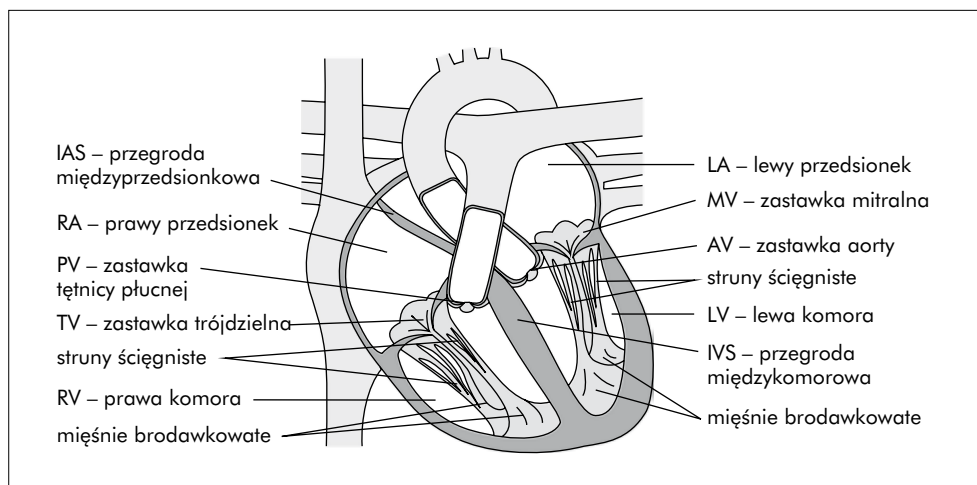


Ryc. 2. Przekrój podłużny przez serce

pierścienia zastawki (włóknisto-mięśniowa struktura zbliżona kształtem do okręgu). Oprócz pierścienia i płatków w skład aparatu zastawkowego (elementy tworzące funkcjonalną całość zastawki) wchodzi również struny ścięgnowe i mięśnie brodawkowate (ryc. 3.). Mięśnie brodawkowate są to części mięśnia sercowego komory wystające do jej światła w postaci wydłużonych stożków, od szczytów których biegają włókniste, nitkowate cienkie pasma przyczepiające się do dolnej powierzchni płatków zastawki (struny ścięgnowe).

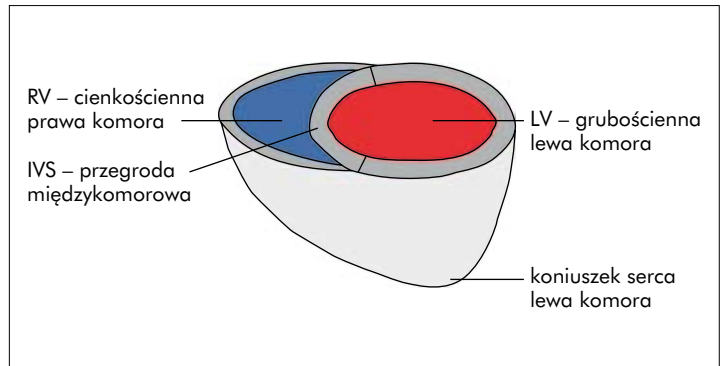
Gdy krew żylna spłynie z prawego przedsionka przez otwartą zastawkę do prawej komory i komora zaczyna się kurczyć, powstające w niej wysokie ciśnienie powoduje, że płatki zastawki się unoszą, a struny ścięgnowe i mięśnie brodawkowate napinając się, zapobiegają wycisowaniu (wypadnięciu) płatków zastawki do prawego przedsionka. Prawidłowo zamknięta zastawka powinna w czasie skurczu komory zapobiegać cofaniu się krwi do przedsionka (tj. powinna się domykać). Niedomykalność zastawki to stan, w którym z różnych przyczyn związanych z nieprawidłowościami wszystkich lub tylko niektórych elementów aparatu zastawkowego krew cofa się do przedsionka przez zamkniętą zastawkę (np. pęknięcie struny ścięgnowej, poszerzenie pierścienia uniemożliwiające przyleganie płatków czy też ubytek [dziura] w płatku).

Komora prawa jest stosunkowo cienkościenną jamą; składa się z 3 części: części napływowej (zawierającej aparat zastawkowy zastawki trójdziałnej), części beleczkowej (dno komory z licznymi beleczkami mięśniowymi) i części wypływowej (stożek), która łączy się z zastawką płucną. W przekroju poprzecznym serca prawa komora ma kształt półksiężyca otaczającego grubościenną komorę lewą (ryc. 4.).



Ryc. 3. Przekrój podłużny przez zastawki serca

Ryc. 4. Przekrój
poprzeczny przez serce

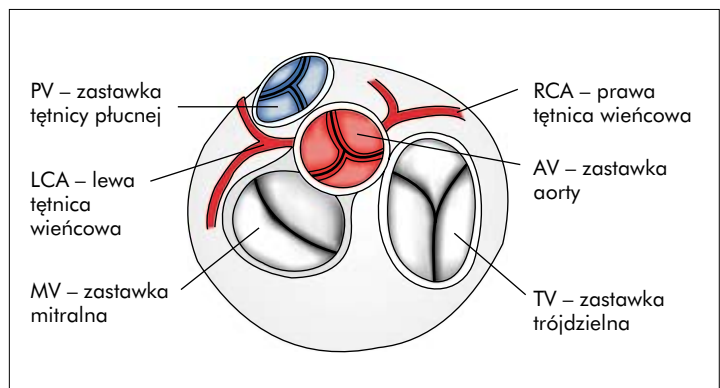


Krew żylna z prawej komory jest pompowana przez zastawkę płucną do pnia płucnego (zwanego potocznie tętnicą płucną), który rozgałęzia się na dwie tętnice płucne – prawą, prowadzącą krew do prawego płuca, i lewą, biegnącą do płuca lewego. Zastawka płucna, tzw. zastawka półksiężycowata, składa się z trzech cienkich płatków w kształcie miseczek, zwróconych wypukłą częścią w kierunku komory (ryc. 5.).

W czasie skurczu serca wysokie ciśnienie wytwarzane przez komorę przyciska płatki zastawki do ściany pnia płucnego (otwarcie zastawki) i krew zostaje wypchnięta z komory do krążenia płucnego. Kiedy kończy się skurcz i zaczyna się faza rozkurczu serca, ciśnienie w komorze gwałtownie maleje i słup krwi w pniu płucnym wypełnia miseczkowate płatki zastawki, odchyłając je od ściany pnia płucnego i powodując zamknięcie zastawki.

Do lewego przedsionka sphywa krew utlenowana (tętnicza) z płuc przez cztery żyły płucne (dwie prawe z płuca prawego i dwie lewe z płuca lewego). Przedsionek lewy łączy się przez lewostronną zastawkę przedsionkowo-

Ryc. 5. Zastawki serca
w widoku z góry po
usunięciu przedsionków



-komorową z lewą komorą. Zastawka ta składa się z dwóch płatków i dlatego nazwano ją zastawką dwudzielną – mitralną. Aparat zastawkowy zastawki mitralnej i jej funkcjonowanie bardzo przypomina zastawkę trójdzielną. Liczba mięśni brodawkowatych jest zawsze równa liczbie płatków zastawki przedsionkowo-komorowej – w prawej komorze są trzy, a w lewej – dwa.

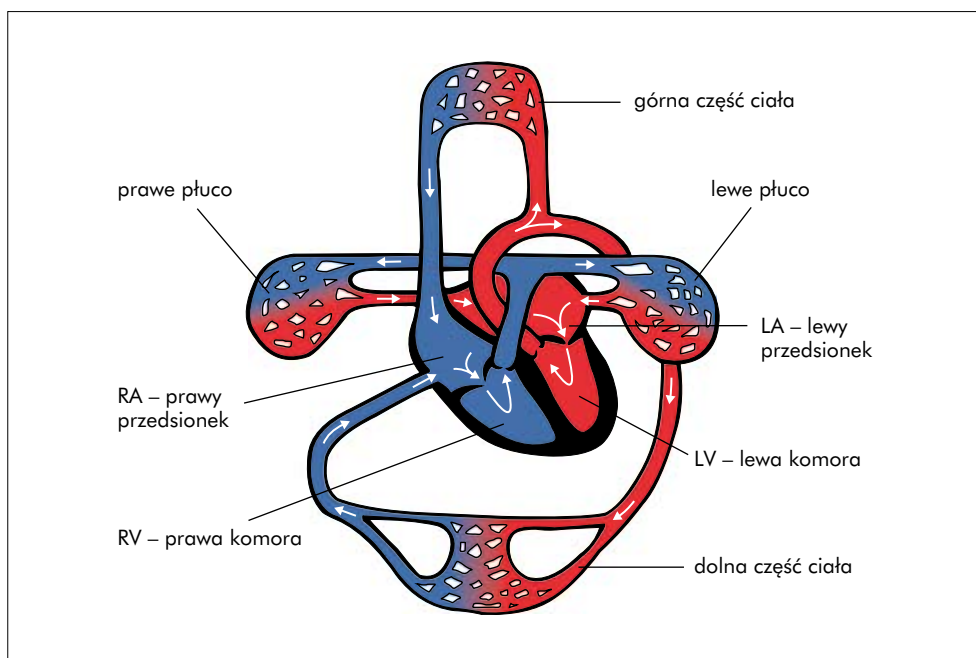
Komorą lewą – o kształcie stożka – to grubościenna jama otoczona od przodu i strony prawej przez komorę prawą. Składa się, podobnie jak komora prawa, z trzech części: części napływowej (zawierającej aparat zastawkowy zastawki mitralnej), części beleczkowej (dno komory z licznymi beleczkami mięśniowymi) i części wypływowej, która łączy się z zastawką aortalną. Komora lewa pompuje krew tętniczą przez zastawkę aortalną do aorty i dalej całego organizmu (z wyjątkiem krążenia płucnego).

Zastawka aortalna, podobnie jak płucna, jest zastawką tzw. półksiężycową, zbudowaną z trzech płatków. Ponieważ mechanizm działania zastawki aortalnej jest identyczny jak zastawki płucnej, w niektórych operacjach zastawkę płucną można wykorzystać w pozycji aortalnej (tj. przeszczepić w miejsce aortalnej, np. operacja Rossa). Przestrzeń pomiędzy górną powierzchnią każdego płatka a ścianą aorty nazwano zatoką Valsalvy. Odchodzą od niej tętnice wieńcowe – naczynia doprowadzające krew do ścian serca. Krążenie wieńcowe (unaczynienie serca) składa się z dwóch tętnic wieńcowych (prawej i lewej), które rozgałęziają się na mniejsze naczynia tętnicze aż do sieci drobnych naczyń, które następnie łączą się w coraz większe naczynia żyłne i uchodzą do serca przez zatokę wieńcową.

Na **układ krążenia człowieka** oprócz serca składają się naczynia krwionośne (ryc. 6.). Podstawową funkcją układu krążenia jest dostarczenie tlenu i składników odżywczych do wszystkich komórek organizmu oraz odprowadzenie szkodliwych produktów przemiany materii. Przekazywanie i odbieranie tych substancji odbywa się w malutkich, niewidocznych gołym okiem naczyniach włosowatych, których ściana składa się tylko z jednej warstwy komórek. Wszystkie naczynia włosowate tworzą tzw. mikrokrążenie.

Wszystkie naczynia w organizmie, począwszy od największego (aorta), na najmniejszych kończąc (tętniczki, arteriole), które doprowadzają krew do mikrokrążenia, nazywane są tętnicami; wszystkie naczynia, które odprowadzają krew z mikrokrążenia, to żyły. W naczyniach mikrokrążenia odbywa się wymiana gazowa – w płucach wiązanie tlenu przez hemoglobinę i wydalanie dwutlenku węgla, natomiast w tkankach oddawanie tlenu i odbieranie dwutlenku węgla.

Naczynia krwionośne należą do jednego z dwóch układów w układzie krążenia człowieka: krążenia płucnego lub krążenia systemowego. Prawa komora tłoczy krew odtlenowaną do krążenia płucnego (tzw. małego) – tętnicami płucnymi płynie więc krew żylna do mikrokrążenia płucnego, gdzie odbywa się wymiana gazowa. Żyłami płucnymi wraca krew utlenowana do lewego przedsionka. W naczyniach krążenia płucnego panuje niskie ciśnienie i prawa komora nie musi wy-



Ryc. 6. Schemat układu krążenia

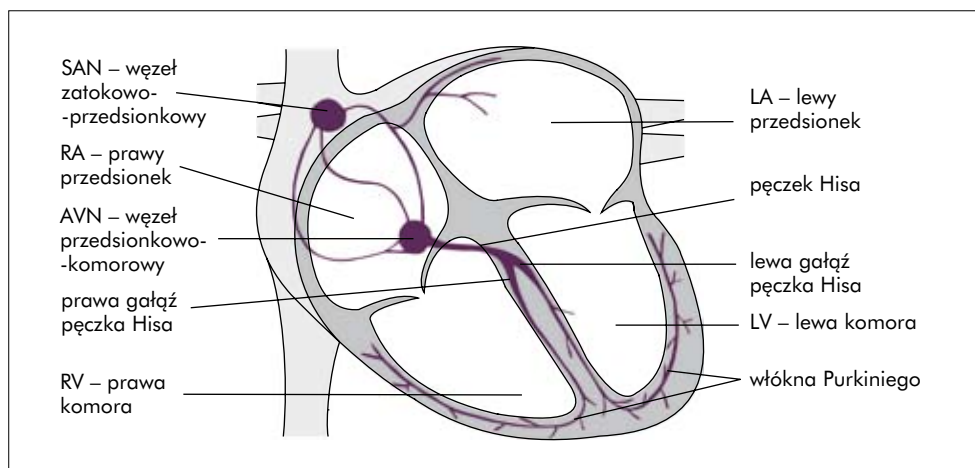
tworząc wysokie ciśnienie, aby spowodować przepływ krwi (ściana prawej komory jest więc cienka). W szczególnych przypadkach przepływ krwi w krążeniu płucnym może się odbywać nawet bez udziału tłoczącej komory (np. po operacji hemi-Fontana czy operacji Fontana).

Lewa komora tłoczy krew do krążenia systemowego (dużego, obwodowego). Tętnicami krążenia systemowego dopływa krew utlenowana do mikrokrążenia całego organizmu (z wyjątkiem płuc). Żyły odbierające krew z mikrokrążenia łączą się w coraz większe, aż w końcu dwiema dużymi żyłami głównymi krew żylna sypływa do prawego przedsionka. W krążeniu systemowym panuje wysoki opór naczyniowy, komora lewa musi więc wytworzyć wysokie ciśnienie, żeby spowodować przepływ krwi (ściana lewej komory jest zatem bardzo gruba). Przepływ krwi w krążeniu systemowym nie jest możliwy bez udziału tłoczącej komory, w szczególnych przypadkach tę funkcję może pełnić prawa komora, która przystosowuje się do wytwarzania wysokiego ciśnienia i przerasta, jak na przykład w zespole niedorozwoju lewego serca.

Układ przewodzący serca

Główne zadanie serca polega na pompowaniu krwi do krążenia systemowego i płucnego. Jest to możliwe dzięki rytmicznym skurczom i rozkurczom przedsionków, a następnie komór serca. Włókna mięśnia sercowego składają się z komórek, które mają zdolność kurczenia się pod wpływem bodźca/impulsu elektrycznego. Impulsy elektryczne pobudzające komórki mięśnia sercowego powstają spontanicznie w specjalnych strukturach nazywanych **układem bodźcoprzewodzącym serca** (ryc. 7.). Układ bodźcoprzewodzący jest odpowiedzialny za wytwarzanie pobudzeń i ich prawidłowe „rozchodzenie” się po mięśniu sercowym. Układ ten składa się z węzła zatokowo-przedsionkowego, węzła przedsionkowo-komorowego, pęczka Hisa oraz włókien Purkiniego.

Węzeł zatokowo-przedsionkowy znajduje się w ścianie prawego przedsionka w okolicy ujścia do niego żyły głównej górnej. Ma właściwości spontanicznego wytwarzania pobudzeń elektrycznych (impulsów elektrycznych), czyli ma własny **automatyzm**. Prawidłowo węzeł zatokowo-przedsionkowy (nazywany też węzłem zatokowym, a niekiedy „rozrusznikiem serca”) wytwarza pobudzenia elektryczne o najszybszym rytmie i u zdrowych osób jest nadrzędnym ośrodkiem automatyzmu, odpowiadając za częstość rytmu serca. Impulsy z węzła zatokowego rozchodzą się szlakami wewnątrz- i międzyprzedsionkowymi, powodując skurcz obu przedsionków, a następnie docierają do **węzła przedsionkowo-komorowego**. Węzeł przedsionkowo-komorowy zwalnia przewodzenie impulsu, aby nie doszło do skurczu komór w tym samym czasie, co przedsionków. Dalej z węzła przedsionkowo-komorowego impulsy przechodzą do komorowych części układu bodźcoprzewodzącego: **pęczka Hisa**, który dzieli się na dwie odnogi,



Ryc. 7. Układ przewodzący serca

prawą i lewą, biegnące po obu stronach przegrody międzykomorowej. Końcowy element układu stanowią włókna Purkiniego w mięśniówce lewej i prawej komory serca. W momencie, w którym impuls dociera do włókien komór, dochodzi do ich skurczu oraz wyrzutu krwi do aorty i tętnicy płucnej.

Prawidłowo funkcjonujący układ bodźcoprzewodzący serca warunkuje odpowiedni do potrzeb dziecka rytm serca i kolejno po sobie następujący skurcz przedsionków i komór.

Proste i łatwo dostępne badanie – wiele mówiące lekarzowi o sprawności układu bodźcoprzewodzącego – to badanie elektrokardiograficzne (EKG), które jest zapisem elektrycznej czynności serca (badanie omówiono w rozdziale 5; patrz s. 58.).

Krążenie krwi w trakcie życia płodowego i zmiany następujące po urodzeniu

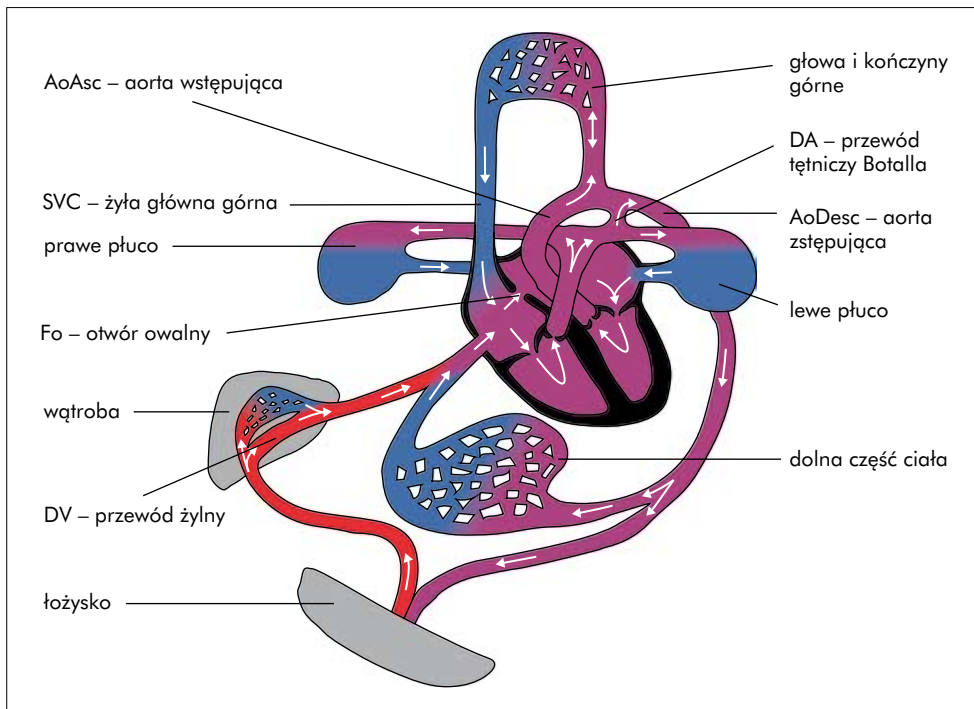
Podstawową funkcją układu krążenia w czasie życia płodowego (ryc. 8.), podobnie jak po urodzeniu, jest dostarczanie tlenu i składników odżywczych do wszystkich komórek organizmu oraz odprowadzenie szkodliwych produktów przemiany materii.

Tlen i substancje odżywcze dostają się do organizmu dziecka z krwi matki przez łożysko – duży narząd w kształcie dysku, zlokalizowany w macicy, pełniący dla dziecka rolę łącznika ze światem zewnętrznym. Przez łożysko mogą się przedostawać prawie wszystkie substancje występujące we krwi matki: hormony, immunoglobuliny (zapewniające dziecku w pierwszych miesiącach życia po urodzeniu odporność), a także niektóre leki przyjmowane przez matkę. W łożysku następuje również przekazywanie do krwi matki dwutlenku węgla i produktów przemiany materii dziecka, które następnie są wydalane przez płuca i nerki matki.

Płuca dziecka w życiu płodowym nie funkcjonują i prawie cała krew omija krążenie płucne na poziomie przedsionków (przepływ prawo-lewy przez otwór owalny) oraz na poziomie przewodu tętniczego Botalla. Tylko niewielka część krwi płynie tętnicami płucnymi do płuc, dostarczając substancje odżywcze i tlen tkance płucnej.

Utlenowana krew z łożyska płynie pępowiną (żyłą pępkową) do wątroby dziecka. Większość krwi omija komórki wątrobowe, płynąc przez przewód żylny (*DV – ductus venosus*) – naczynie obecne tylko w krążeniu płodowym, które łączy się bezpośrednio z żyłą główną dolną.

Utlenowana krew z żyły głównej dolnej miesza się w prawym przedsionku z krwią żylną z żyły głównej górnej. Z prawego przedsionka krew może przepływać dwiema drogami – drogą normalną, tj. przez zastawkę trójdzielną do prawej komory, oraz drogą charakterystyczną dla krążenia płodowego – przez tzw. otwór owalny (*Fo – foramen ovale*) do lewego przedsionka.



Ryc. 8. Schemat układu krążenia u płodu

Krew wpływająca przez otwór owalny do lewego przedsionka miesza się z niewielką ilością krwi żyłnej, spływającą z płuc przez żyły płucne. Następnie przepływa dalej przez zastawkę mitralną do lewej komory i przez zastawkę aortalną jest wyrzucana do aorty wstępującej oraz łuku aorty. Krew z lewej komory zaopatruje głównie górną część ciała.

Pozostała część krwi z prawego przedsionka płynie przez zastawkę trójdzielną do prawej komory i dalej przez przewód tętniczy Botalla do aorty zstępującej i dolnej części ciała dziecka (w tym do łożyska).

Przewód tętniczy Botalla występuje prawidłowo tylko w krążeniu płodowym, łącząc pień płucny z aortą w miejscu, w którym cieśń aorty przechodzi w aortę zstępującą.

Mieszanie dwóch strumieni krwi w prawym przedsionku – utlenowanej z żyły głównej dolnej i odtlenowanej z żyły głównej górnej – nie jest całkowite. Krew utlenowana (z żyły głównej dolnej) preferencyjnie kierowana jest przez otwór owalny do lewego przedsionka i lewej komory, a stąd do górnej części ciała (w tym mózgu). Krew o nieco mniejszym stopniu utlenowania (preferencyjny przepływ z żyły głównej górnej na zastawkę trójdzielną) przepływa do prawej komory i dalej przez przewód tętniczy do dolnej części ciała. Krążenie płodowe dostarcza więc

do głowy dziecka lepiej utlenowaną krew niż do większości pozostałych tkanek organizmu, co ma bardzo duże znaczenie dla prawidłowego rozwoju mózgu.

Przepływ w krążeniu systemowym płodu zależy od pracy zarówno lewej komory (górną część ciała), jak i prawej komory (dolną część ciała). Około 2/3 łożyska naczyniowego zaopatruje komora prawa i dlatego w życiu płodowym nazywana jest komorą systemową.

Największy stopień utlenowania krwi w krążeniu płodowym wynosi około 85% i można go stwierdzić tylko w żyłce pępkowej. W naczyniach tętnicznych krążenia systemowego płodu utlenowanie krwi wynosi około 65% w górnej części ciała i 60% w dolnej. Prawidłowy rozwój płodu odbywa się więc w warunkach względnego niedotlenienia. Stan ten jest częściowo kompensowany u płodu specjalnym rodzajem hemoglobiny (białko występujące w erytrocytach wiążące i transportujące tlen) – hemoglobina płodowa (HbF). Cechuje ją zdolność łatwiejszego i silniejszego wiązania tlenu niż stwierdzana w przypadku hemoglobiny dorosłych (HbA). Ta różnica powinowactwa do tlenu hemoglobiny płodowej i hemoglobiny dorosłych umożliwia wiązanie w łożysku tlenu przez HbF dziecka, oddawanego przez HbA matki. W 8.–12. tygodniu po urodzeniu następuje stopniowy rozpad hemoglobiny płodowej i produkcja hemoglobiny dorosłych. Jest to okres, w którym może dojść do tzw. fizjologicznej niedokrwistości, czyli stanu, w którym we krwi znajduje się zbyt mała ilość hemoglobiny (płodowa się już rozpadła, a dorosłych jeszcze nie została wyprodukowana).

Zmiany następujące po urodzeniu

W czasie narodzin dziecka, w momencie pierwszego oddechu następuje szybkie rozprężenie płuc napływającym powietrzem. Wypełniające się powietrzem pęcherzyki płucne powodują rozszerzenie naczyń płucnych, co stanowi przyczynę znacznego spadku oporu w krążeniu płucnym. Krew z prawej komory zaczyna płynąć do tętnic płucnych, ponieważ panuje tam niższe ciśnienie niż w przewodzie tętnicznym. Duża ilość krwi, jaka dostaje się wówczas do płuc, po utlenowaniu wraca do lewego przedsionka. Z powodu zwiększonego napływu do lewego przedsionka ciśnienie w nim panujące przekracza ciśnienie w przedsionku prawym, co powoduje zamknięcie zastawki. Po kilku tygodniach od urodzenia otwór owalny zarasta, uniemożliwiając przepływ krwi.

Do czasu zarośnięcia otworu owalnego – w warunkach wyższego ciśnienia w prawym niż w lewym przedsionku – krew żylna może przepływać do lewego przedsionka. W czasie płaczu/krzyku dziecka objawia się to w postaci sinicy. U 25% dorosłych osób otwór owalny nigdy nie zarasta, umożliwiając przeciek prawo-lewy zawsze wtedy, gdy ciśnienie w prawym przedsionku przekroczy ciśnienie w przedsionku lewym. Drożny otwór owalny nie wymaga operacji i bardzo rzadko staje się przyczyną powikłań (zatory „skrzyżowane” – tj. materiałem zatorowym z prawego przedsionka przez otwór owalny do krążenia systemowego).

Duża ilość krwi, jaka powraca z krążenia płucnego, wypełnia lewy przedsionek i jest tłoczona przez lewą komorę do aorty. Po podjęciu pracy przez płuca następuje znaczny spadek ciśnienia w krążeniu płucnym i zmiana kierunku przepływu krwi przez przewód tętniczy Botalla. Przez przewód tętniczy z aorty do pnia płucnego zaczyna więc płynąć krew, której utlenowanie wynosi 100%. Tlen jest głównym czynnikiem powodującym skurcz mięśniówki przewodu tętniczego, wpływającym na jego zamknięcie. Drugi, ważny czynnik biorący udział w zamykaniu przewodu tętniczego Botalla, to spadek stężenia prostaglandyn. Są to substancje, które w organizmie płodu produkowane są głównie w łożysku, a rozkładane w krążeniu płucnym. Ograniczenie ich produkcji (odcięcie łożyska) i jednocześnie zwiększenie ich rozpadu (wzrost przepływu w krążeniu płucnym) wpływa na dalsze obkurczanie przewodu tętniczego Botalla. Prawdłowo zamknięcie przewodu przez obkurczenie powinno nastąpić w ciągu pierwszych 24 godzin, natomiast jego zarośnięcie (trwałe zamknięcie) w pierwszych tygodniach życia dziecka. Pozostałością po zarośniętym przewodzie tętniczym jest włókniste pasmo, tzw. więzadło tętnicze.

Gdy tkanki przewodu tętniczego Botalla są niedojrzałe (wczesniactwo), nie reagują prawidłowo na bodźce obkurczające i przewód pozostaje drożny nawet kilka tygodni po urodzeniu. W sinicznych wadach serca, w których utlenowanie krwi tętniczej w aorcie jest niższe niż prawidłowe, również obserwuje się tendencję do opóźnionego zamykania przewodu tętniczego (tlen jest czynnikiem powodującym skurcz przewodu). Utrzymanie drożności przewodu tętniczego ma istotne znaczenie w przypadku zwężenia drogi wypływu do krążenia płucnego lub krążenia systemowego. W takich warunkach przewód stanowi ominięcie miejsca zwężenia i zapewnia przepływ odpowiednio w krążeniu płucnym (przewodozależny przepływ płucny) lub w systemowym (przewodozależny przepływ systemowy).

Przewód żylny – ostatni z elementów specyficznych dla krążenia krwi u płodu – zamyka się samoistnie na skutek ustania przez niego przepływu krwi, czyli po odcięciu łożyska w chwili narodzin.

