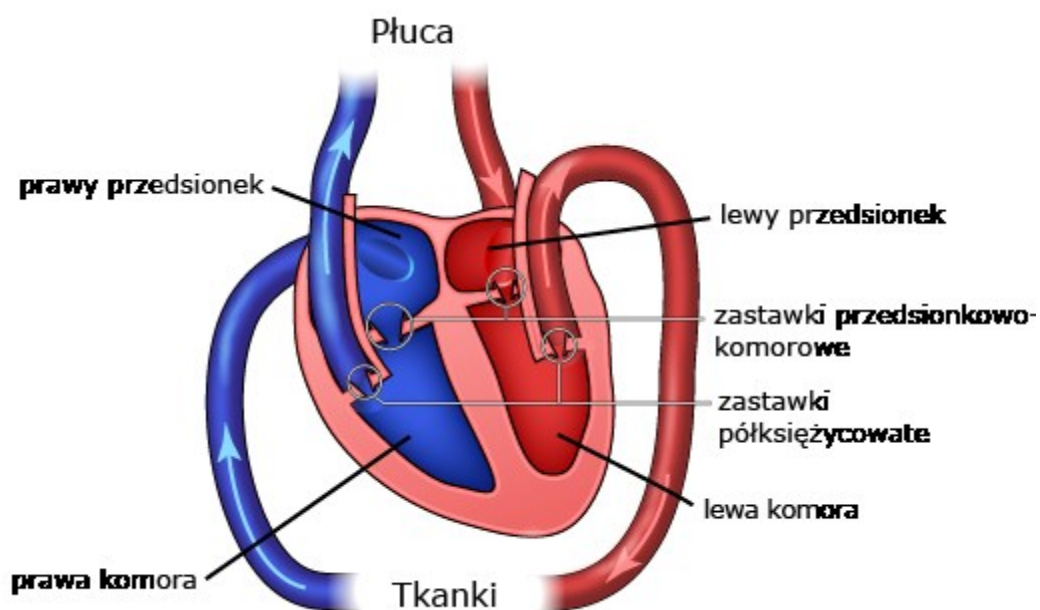


Fizjologia pracy serca

Niniejsze ćwiczenia wykonujemy przy użyciu programu LabTutor.

Elektrokardiografia i tony serca

Serce jest układem dwóch pomp, determinujących krążenie krwi przez ciało i płuca. Krew wpływa do przedsionków serca pod niskim ciśnieniem, a wypływa z komór serca pod wysokim. Wysokie ciśnienie tętnicze dostarcza energii do napędu krwi przez układ krążenia. *Rysunek 1* ilustruje schemat budowy ludzkiego serca i krążenia w nim krwi. Początkowo krew, powracająca z narządów, płynie do prawej strony serca i jest dalej pompowana do płuc (mały płucny obieg krwi), gdzie tlen jest pobierany, a dwutlenek węgla oddawany. Utlenowana krew wraca do lewej strony serca i jest pompowana z powrotem do organizmu (duży obieg krwi).



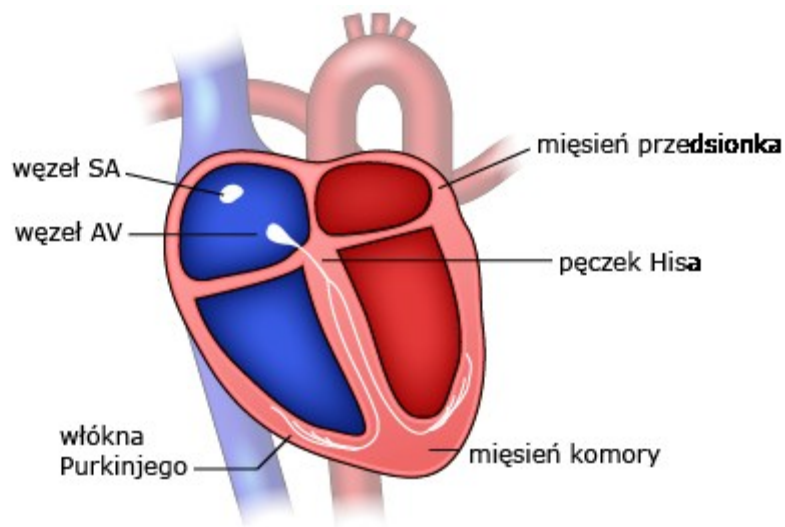
Rysunek 1. Schemat budowy ludzkiego serca i krążenia w nim krwi

Aktywność elektryczna serca

Skurcz serca nie zależy od jego unerwienia. Jednakże unerwienia przywspółczulne (poprzez nerw błędny – *vagus*) i współczulne modyfikują podstawowy rytm pracy serca. Tą drogą centralny układ nerwowy może oddziaływać na ten rytm, dostosowując go do potrzeb organizmu. Najlepiej poznanym przykładem takiej regulacji jest arytmia zatokowa, w której czynność oddechowa oddziałuje na tempo pracy serca.

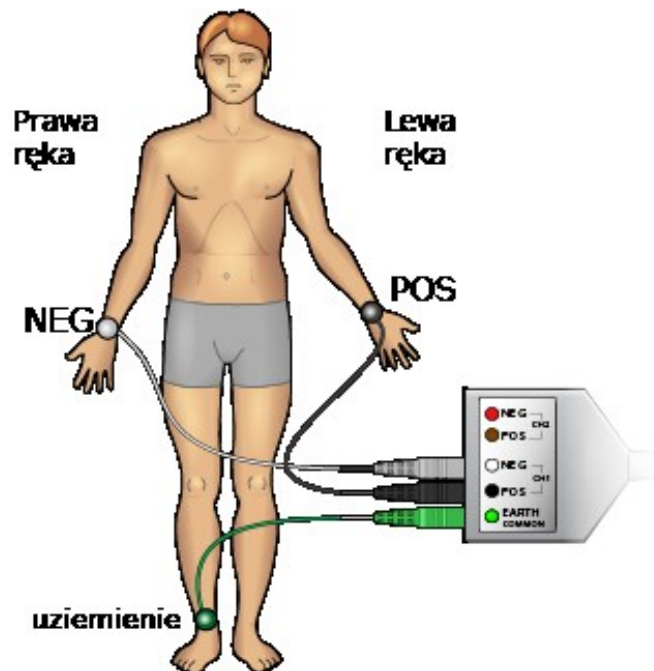
Grupa wyspecjalizowanych komórek mięśniowych **węzła zatokowo-przedsionkowego**, *nodus sinuatrialis* (SA), stanowi **rozzusznik** serca (*Rysunek 2*). Komórki te rytmicznie generują potencjały czynnościowe, rozprzestrzeniające się na włókna mięśniowe przedsionków. W wyniku skurczu tych mięśni krew jest przepychana do komór. Jedyne elektryczne połączenie między przedsionkami i komorami stanowi **węzeł przedsionkowo-komorowy**, *nodus atrioventricularis* (AV). Potencjał czynnościowy wolno rozprzestrzenia się przez węzeł przedsionkowo-komorowy AV, w ten sposób

umożliwiają scurcz przedsionków, przyczyniający się do wypełnienia krwią komór, by następnie szybko przejść przez pęczek Hisa i włókna Purkiniego, powodując pobudzenie obu komór. Cykl pracy serca jest uwarunkowany sekwencyjnym skurczem przedsionków i komór.



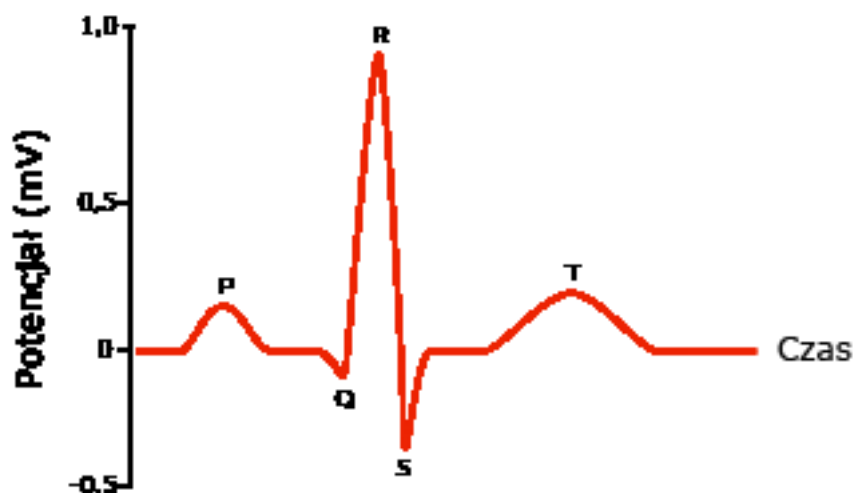
Rysunek 2. Układ bodźco-przewodzący serca. Części serca ludzkiego zaangażowane w czynność skurczową

Wspólna czynność elektryczna różnych komórek mięśnia sercowego *myocardium* generuje prądy elektryczne, które rozprzestrzeniają się przez płyny w organizmie. Prądy te są wystarczająco duże, by zostać zarejestrowane przez elektrody umieszczone na skórze (Rysunek 3).



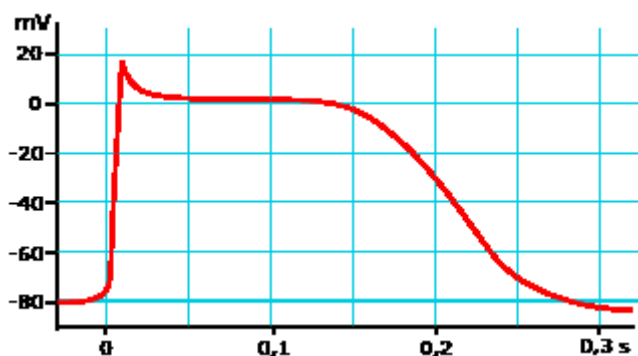
Rysunek 3. Standardowe połączenie elektrod kończynowych w EKG

Prawidłowy wykres załameków jednego cyklu pracy serca zastał pokazany na Rysunku 4.



Rysunek 4. Pojedynczy cykl pracy serca, ilustrujący załamek P i T oraz kompleks QRS

Potencjały czynnościowe, rejestrowane z włókien przedsionkowych i komorowych, różnią się od potencjałów rejestrowanych we włóknach nerwowych i w mięśniu szkieletowym. Składają się na nie trzy fazy: szybkiej depolaryzacji, plateau - płaskiej depolaryzacji (która jest bardzo dobrze widoczna we włóknach komorowych) i repolaryzacji, przywracającej błonowy potencjał spoczynkowy (Rysunek 5).



Rysunek 5. Typowy przebieg potencjału czynnościowego w miocycie komory serca

Elementy zapisu ECG można skorelować z czynnością elektryczną kardiomiocytów przedsionków i komór:

- załamek P – powstaje przez depolaryzację przedsionków
- kompleks QRS jest wytworzony przez depolaryzację komór; repolaryzacja przedsionków następuje również w tym czasie, ale jej udział jest nieistotny
- załamek T jest odzwierciedleniem repolaryzacji komór.

Zastawki w sercu i tony serca

Obie strony serca są zaopatrzone w dwie zastawki, które przetwarzają rytmiczne skurcze w jednokierunkowe pompowanie krwi. Zastawki te zamykają się automatycznie zawsze, gdy po obu ich stronach dochodzi do różnicy ciśnienia, które spowodowałoby cofanie się krwi. Zamykanie się zastawek powoduje powstawanie słyszalnych wibracji (tonów serca). **Zastawki przedsionkowo-komorowe (AV)** po obu stronach serca zapobiegają cofaniu się krwi z komór do przedsionków. Zastawka, która oddziela

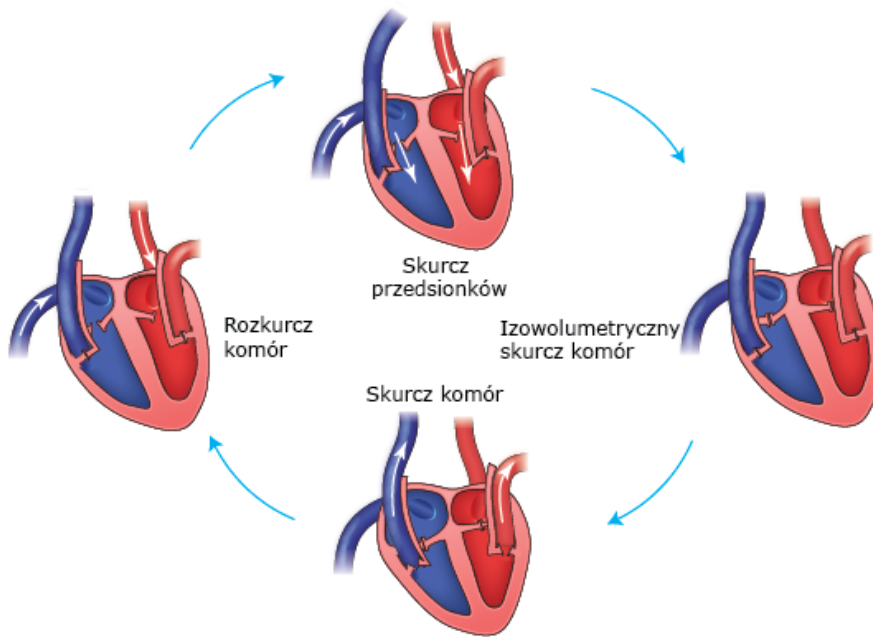
prawy przedsionek od prawej komory, ma trzy płatki i jest nazywana zastawką **trójdzielną**. Zastawka pomiędzy lewym przedsionkiem a lewą komorą ma tylko dwa płatki i jest nazywana zastawką **dwudzielną**. Zastawka dwudzielna nosi również miano zastawki **mitralnej**. Zastawki półksiężycowate – aortalna i płucna – są zlokalizowane po obu stronach serca między komorą a tętnicą i zapobiegają cofaniu się krwi z aorty i tętnicy płucnej do odpowiednich komór.

Zamykanie zastawek jest odpowiedzialne za charakterystyczny dźwięk wywołany przez serce, nazywany zwyczajowo „bum tup”. Niższy ton S1– „bum” następuje podczas wczesnej fazy skurczu komorowego. Jest on generowany przez zamykanie się zastawek przedsionkowo-komorowych (mitralnej i trójdzielnej). Zastawki te zapobiegają cofaniu się krwi z powrotem do przedsionków. W czasie rozkurczu komór ciśnienie krwi spada poniżej ciśnienia w tętnicy i zastawki półksiężycowate (aortalna i płucna) zamykają się, generując wyższy ton S2 - „tup”. Zmiany patologiczne zastawek często powodują słyszalne szmery, które można zarejestrować stetoskopem.

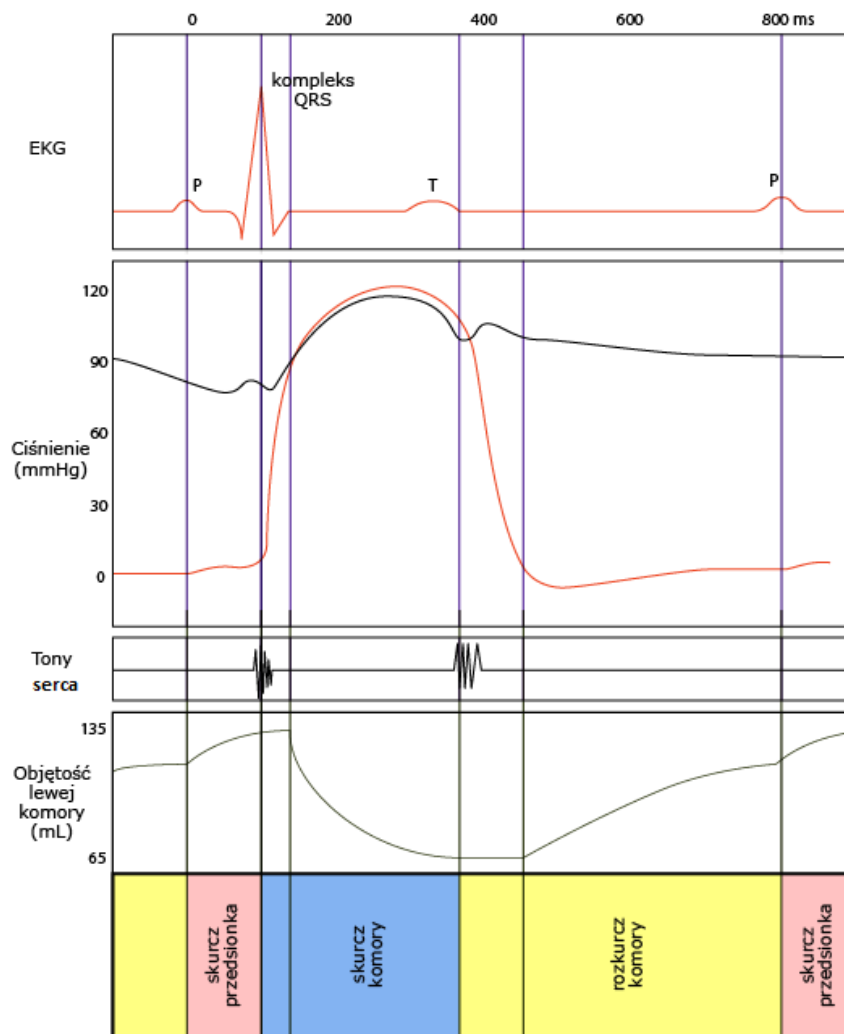
Cykl pracy serca

Kolejność zjawisk w sercu w czasie jednego cyklu pracy tego narządu została podsumowana na *Rysunku 6*. Krew powraca do serca w czasie rozkurczu komór. Odtleniona krew wpływa z peryferii do prawego przedsionka i płynie do prawej komory przez otwartą zastawkę trójdzielną. Utlenowana krew z płuc wpływa do lewego przedsionka i płynie do lewej komory przez otwartą zastawkę dwudzielną (mitralną). Wypełnienie komór jest zakończone po skurczu przedsionków (systole przedsionkowe). W stanie spoczynku skurcz przedsionkowy zawiera około 20% objętości wypełnienia przedsionka. Po skurczu przedsionków następuje skurcz komór (systole komorowe). Początkowo, kiedy komory zaczynają się kurczyć, ciśnienie w nich podnosi się i przewyższa ciśnienie w przedsionkach. Zamyka to zastawki przedsionkowo-komorowe. Ale dopóki ciśnienie w lewej komorze przewyższa ciśnienie w aorcie (i w prawej komorze przewyższa ciśnienie w tętnicy płucnej), objętość komór nie może ulec zmianie. Jest to tak zwana faza skurczu izowolumetrycznego komór. W końcu, kiedy ciśnienie w lewej komorze przewyższy ciśnienie w aorcie (i ciśnienie w prawej komorze przewyższy ciśnienie w tętnicy płucnej), zastawki aortalna i płucna otwierają się i krew jest wyrzucana do aorty i tętnicy płucnej. Kiedy mięsień komorowy rozkurcza się, ciśnienie w komorze spada poniżej ciśnienia w aorcie oraz tętnicy płucnej i zastawki aortalna oraz płucna zamykają się. Ciśnienie komorowe nadal spada i w momencie, kiedy spadnie poniżej ciśnienia w przedsionku, zastawki przedsionkowo-komorowe otwierają się i krew napełnia ponownie komory.

Zmiany różnych parametrów podczas jednego cyklu pracy serca zostały podsumowane na wykresie opracowanym przez Wiggers'a. Zmodyfikowana forma diagramu Wiggers'a została przedstawiona na *Rysunku 7*. Znaczenie tego wykresu polega na umożliwieniu ci obserwacji czasowych współzależności między różnymi parametrami.



Rysunek 6. Cykl pracy serca



Rysunek 7. Diagram Wiggers'a.