

Regulacja krążenia krwi

Niniejsze ćwiczenia wykonujemy przy użyciu programu LabTutor.

Ciśnienie tętnicze krwi

Ciśnienie w tętnicach zmienia się w czasie cyklu pracy serca. Komory kurczą się, aby wyrzucić krew do systemu tętniczego, a następnie relaksują, by napełnić się krwią przed kolejnym skurczem. To pulsacyjne przepompowywanie krwi do tętnic jest wyrównywane przez stały upływ krwi z tętnic przez naczynia włosowate. W czasie wyrzutu krwi do tętnic przez serce dochodzi w nich do nagłego wzrostu ciśnienia, które, wskutek sprężystości ścian tętnic, wolno spada zanim dojdzie do następnego skurczu serca. Ciśnienie krwi jest najwyższe zaraz po skurczu komór (**ciśnienie skurczowe** w systolu) i najniższe w momencie poprzedzającym wpompowanie krwi do tętnic (ciśnienie rozkurczowe w diastolu).

Krążenie peryferyjne. Pomiar ciśnienia tętniczego

Układ tętniczy funkcjonuje jak rezerwuuar ciśnienia. Krew wypływa z tętnic i przepływa przez kapilary (naczynia włosowate) w sposób ciągły, pomimo że z serca wpływa pulsacyjnie. Komory kurczą się w czasie systola, zastawki półksiężycowate otwierają i krew przepływa do systemu tętniczego. W tym momencie tętnice są rozciągnięte i ciśnienie krwi rośnie.

Ciśnienie **skurczowe** (ciśnienie w systolu) jest definiowane jako szczyt ciśnienia osiągnięty w czasie cyklu pracy serca. Okres w czasie relaksacji komór jest nazywany diastolem (rozkurczem). Podczas diastola, kiedy komory, przygotowując następny skurcz, napełniają się krwią powracającą układem żylnym, krew kontynuuje przepływ z tętnic do naczyń włosowatych. Przepływ ten jest uwarunkowany sprężystością głównych tętnic. W konsekwencji ciśnienie tętnicze spada, ale nigdy do zera. Najniższą wartość tętniczego ciśnienia krwi – bezpośrednio przed skurczem komór wyrzucających krew ponownie do tętnic – nazywamy ciśnieniem **rozkurczowym** (ciśnienie w diastolu). Szczyt skurczu fali ciśnienia ujawnia się w tętnicach peryferyjnych po kompleksie QRS (zjawisko bioelektryczne rejestrowane za pomocą EKG, bezpośrednio poprzedzające skurcz komór serca). Jest to czas, w którym fala ciśnienia skurczowego dociera do kończyn i jest mierzona przez nasz czujnik. Fala dykrotyczna (małe plateau lub obniżenie fali ciśnienia) jest spowodowane zamknięciem zastawki aortalnej.

Ciśnienie skurczowe i rozkurczowe może być mierzone przez wprowadzenie małego cewnika do tętnicy i podłączenia go do wskaźnika ciśnienia (manometru). Ten sposób bezpośredniego pomiaru może być dokładny, jednak jest inwazyjny i często niewygodny, a także niepraktyczny. Metoda ta była w istocie sposobem pierwszego pomiaru ciśnienia krwi, dokonanego przez wielebego Stephena Hales'a w 1714 w tętnicy konia (*Rysunek 1*). Prosty pomiar ciśnienia krwi może być przeprowadzony z akceptowalną dokładnością przy użyciu nieinwazyjnych metod pośrednich.

Ciśnienie tętnicze krwi w organizmie jest tradycyjnie badane przy użyciu stetoskopu i mankietu ciśnieniowego, podłączonego do kolumny wypełnionej rtęcią lub innego sfigmomanometru (*Rysunek 2*). Najbardziej optymalne jest umiejscowienie mankietu w górnej części ramienia. Jest on nadmuchiwany do zatrzymania przepływu krwi w tętnicy ramiennej, ponieważ

wysokie ciśnienie w mankiecie powoduje zamknięcie światła tętnicy. Ciśnienie w mankiecie jest następnie wolno obniżane. W momencie, gdy ciśnienie skurczowe w tętnicy przewyższy ciśnienie w mankiecie, krew powoli przepływa do ramienia przez częściowo zamkniętą tętnicę. Ze względu na fakt, że przepływ nie odbywa się przez pełne światło tętnicy, zamiast **laminarnego**, jest on **turbulentny** (zaburzony). Uderzenia słupa krwi o ściany tętnic i jej nierównomierny przepływ mogą być słyszalne przez stetoskop. Ten wyraźnie słyszalny dźwięk jest nazywany **tonem Korotkowa**. Kiedy pierwsze tony Korotkowa stają się słyszalne, ciśnienie w mankiecie odpowiada ciśnieniu skurczowemu.

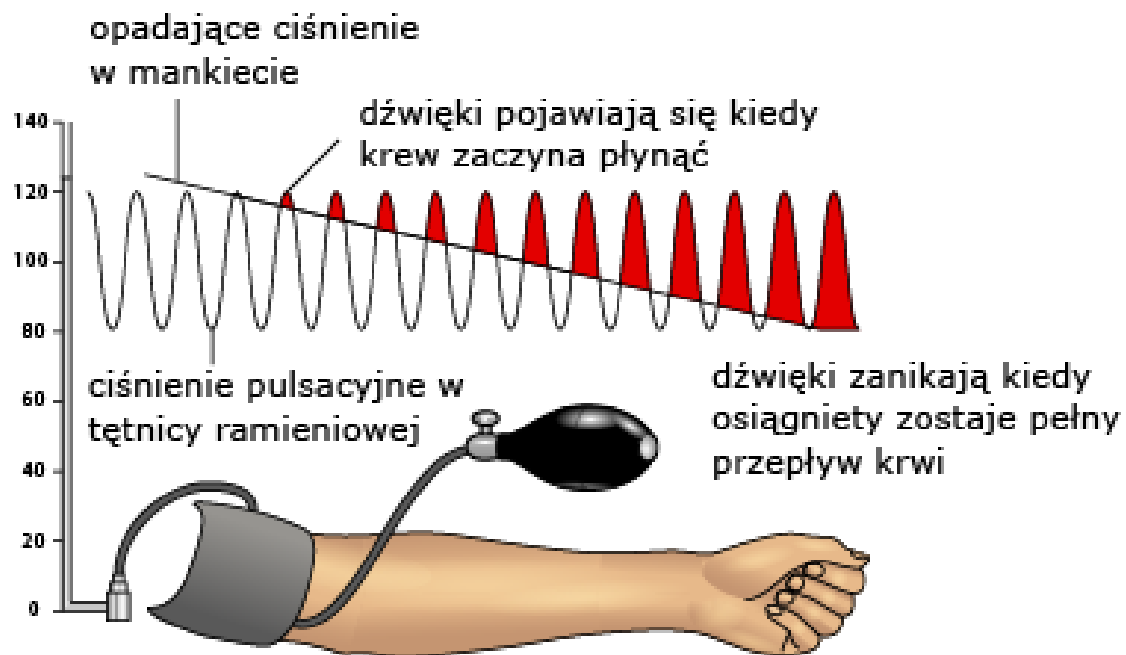


Rysunek 1. Pierwszy bezpośredni pomiar ciśnienia tętniczego krwi.

Kiedy ciśnienie w mankiecie jest redukowane, wzrasta intensywność słyszanych przez stetoskop tonów, które przy stopniowym otwieraniu się tętnicy nagle znowu stają się przytłumione. Ciśnienie w mankiecie w chwili przytłumienia dźwięków jest zbliżone do ciśnienia rozkurczowego. Ostatecznie, gdy ciśnienie w mankiecie jest jeszcze bardziej zredukowane, tony zanikają całkowicie i następuje całkowite przywrócenie normalnego przepływu krwi przez tętnicę. Ponieważ zanik tonów jest łatwiejszy do zaobserwowania niż ich przytłumienie a oba te zjawiska następują w przedziale niewielu milimetrów ciśnienia słupa rtęci, zanik tonów jest zwykle wykorzystywany do oznaczenia ciśnienia rozkurczowego.

Należy zwrócić uwagę, że u wielu zdrowych ludzi ton może być zadowalająco słyszalny, przy ciśnieniu wyraźnie niższym niż rzeczywiste ciśnienie rozkurczowe. U tych ludzi nie można dokładnie określić ciśnienia rozkurczowego.

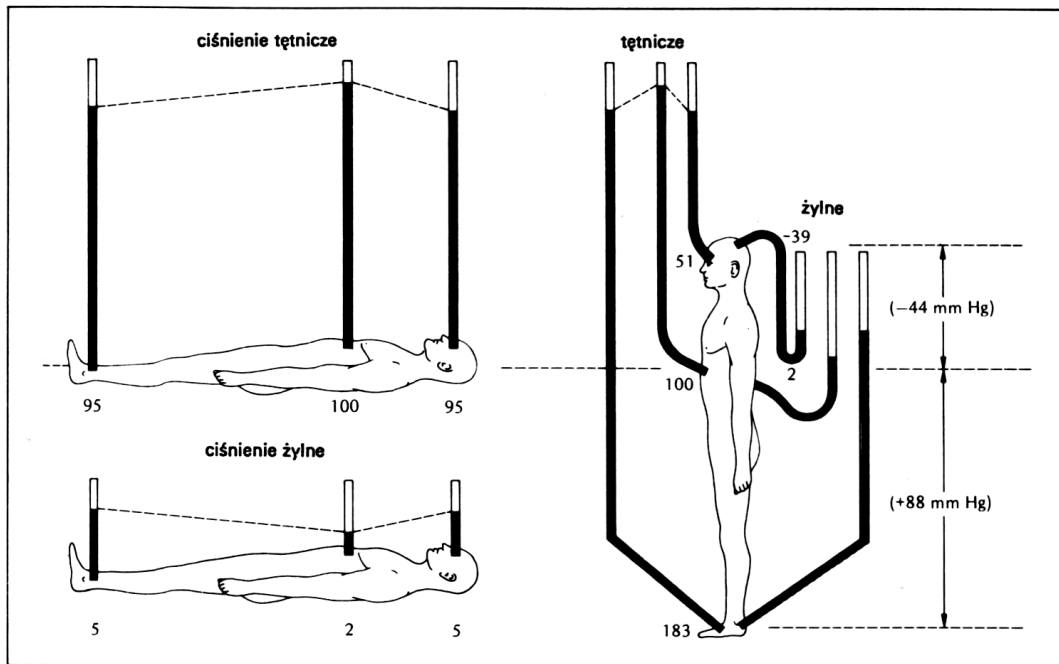
W alternatywnej metodzie pomiaru ciśnienia tętniczego używa się prostego przetwornika pulsu, podłączonego do komputera. Mankiet jest napompowany do wartości ciśnienia zaniku pulsu w palcu. Kiedy ciśnienie w mankiecie jest obniżane, puls w palcu powraca i ciśnienie, przy którym się powtórzy, jest mierzone jako tętnicze ciśnienie skurczowe.



Rysunek 2. Pośredni pomiar ciśnienia tętniczego krwi.

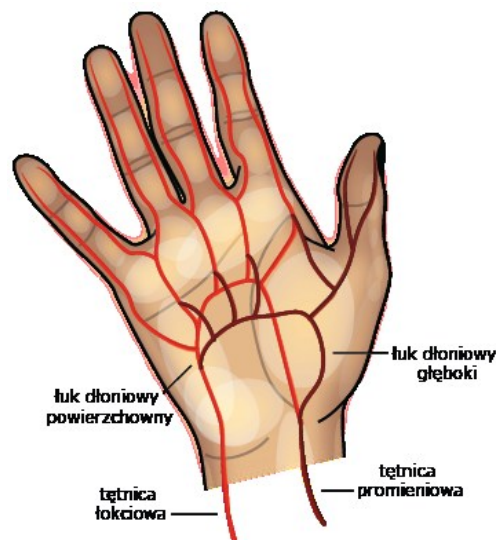
Efekt mierzenia ciśnienia tętniczego krwi przy różnej lokalizacji pomiaru

Zwykle we wszystkich metodach pomiarowych zaleca się lokalizację pomiaru na wysokości serca. Jednym ze zjawisk, które będą badane w czasie tych ćwiczeń, jest wpływ pozycji umieszczenia mankietu na wielkość wartości ciśnienia. W pozycji leżącej siła ciężkości działa tak samo na całą krążącą krew, przez co nie ma wpływu na wartość ciśnienia panującego w naczyniach krwionośnych. Zmiana pozycji z leżącej na stojącą wprowadza natychmiast działanie czynnika hydrostatycznego w postaci ciężaru słupa krwi. Wówczas ciśnienie panujące w naczyniach znajdujących się w płaszczyźnie przebiegającej około 5-10 cm poniżej przepony (płaszczyzna hydrostatycznie obojętna) nie wykazuje wpływu zmian pozycji ciała z leżącej na stojącą. Powyżej tej płaszczyzny ciśnienie krwi w pozycji stojącej jest niższe od ciśnienia w pozycji leżącej, zaś poniżej – wyższe (Rysunek 3).



Rysunek 3. Wpływ siły ciężenia na ciśnienie krwi. Zmiany ciśnienia tętniczego w poszczególnych częściach ciała człowieka (wg. Schmidt-Nielsen 1997).

Przetwornik pulsu palca



Rysunek 4. Dystrybucja przepływu krwi w dłoni

Podczas ćwiczeń zastosujemy przetwornik pulsu na opuszcze palca. Mierzony puls jest indykatorem absolutnego przepływu krwi do opuszki palca, która, jak widać na rysunku 3, może do niej docierać dwiema drogami: tętnicą łokciową lub promieniową. Podczas rejestracji pulsu, oprogramowanie komputerowe umożliwia obliczanie całek przebiegów czasowych pulsu i wyświetlenie ich w panelu LabTutor. To z kolei jest wskaźnikiem zmian objętości w czasie pomiaru pulsu w palcu. W eksperymentach tych możemy zilustrować przebieg przepływu krwi w małych tętnicach podczas cyklu pracy serca oraz wpływ zatrzymania przepływu krwi w poszczególnych tętnicach (Rysunek 4).