

# ***Propedeutyka Nauk Medycznych***

## ***Laboratorium - Ćwiczenie 4***

### ***Ciśnienie krwi i pomiar jego wartości. Opór przepływu krwi. Przepływ i perfuzja.***

Wersja 2017/2018

#### **Cel ćwiczenia**

1. Zapoznanie z techniką pomiaru ciśnienia krwi metodami Riva-Rocciego, Korotkowa i oscylometryczną
2. Obserwacja wpływu wysiłku fizycznego na ciśnienie krwi
3. Ćwiczenie znajomości parametrów fizjologicznych związanych z przepływem krwi oraz zależności między oporem, przepływem i ciśnieniem.

#### **Wstęp teoretyczny**

##### Czym jest ciśnienie krwi?

Jak wiemy z fizyki, każdy płyn wywiera pewne ciśnienie na ścianki pojemnika, w którym się znajduje. Podobnie krew przepływając przez naczynia krwionośne oddziałuje na ich ściany, wywierając siłę. Przepływ krwi nie jest procesem statycznym, ma charakter dynamiczny.

Ciśnienie ulega więc zmianom krótkookresowym. W zależności od fazy w jakiej znajduje się serce ciśnienie przybiera różną wartość. Rozpatrzmy jeden cykl pracy serca. Kiedy serce kurczy się, wyrzuca z siebie pewna ilość krwi. Krew pompowana jest do tętnic. W czasie skurczu ciśnienie krwi wzrasta do swej maksymalnej wartości, zwanej ciśnieniem skurczowym (systolic pressure, SP). Faza ta trwa ok. 1/3 całkowitego czasu cyklu. Pozostałe 2/3 czasu zajmuje faza rozkurczu. W tej fazie serce rozkurcza się, krew zwalnia, redukując też swoje ciśnienie do wartości minimalnej, czyli ciśnienia rozkurczowego (diastolic pressure, DP). Odczyt lekarza informujący, że pacjent ma ciśnienie „120 na 80”, informuje nas o wartościach ciśnienia skurczowego i rozkurczowego. Mierzone ono jest zazwyczaj w milimetrach słupa rtęci (mmHg).

Ciśnienie 120/80 mmHg oznacza więc, że ciśnienie pacjenta w czasie cyklu serca oscyluje między tymi wartościami granicznymi. Ciśnienie krwi ulega także ustawicznym zmianom długookresowym (na które wpływ ma wiek i stan zdrowia) i średniookresowym (w zależności od pory doby, aktywności pacjenta, jego stanu psychicznego, czy spożytych używek).

Wyróżniamy kilka rodzajów ciśnienia krwi: tętnicze – skurczowe i rozkurczowe, ciśnienie tętna, średnie ciśnienie tętnicze, tętno żyłne, ciśnienie wrotne żyłne. Najpowszechniejszym badaniem ciśnienia jest pomiar ciśnienia tętniczego.

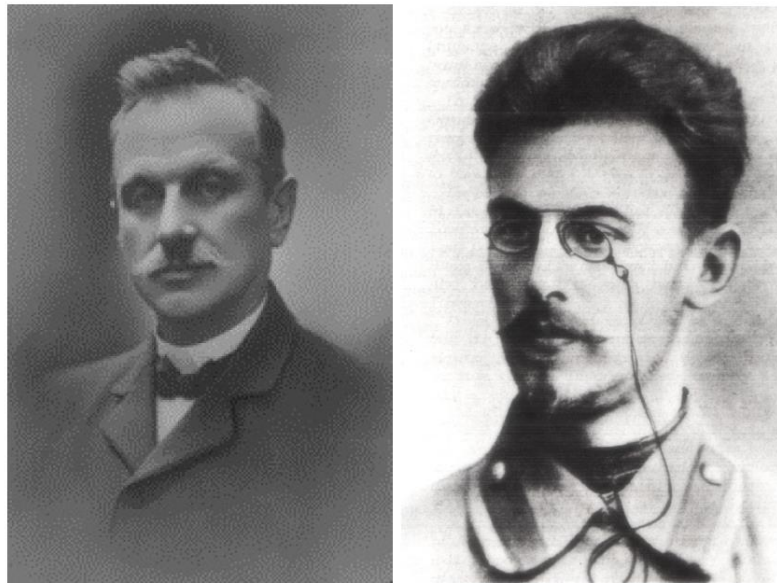
##### Pomiar ciśnienia tętniczego

Systematyczne pomiary ciśnienia krwi są jedną z podstawowych metod kontrolowania stanu zaawansowania choroby osób cierpiących na nadciśnienie tętnicze, jak również inne choroby układu krążenia. Pomiarów zazwyczaj dokonuje się metoda Korotkowa, przy użyciu sfigmomanometru i słuchawek lekarskich. Pomiaru można dokonać także metodami półautomatycznymi, np. miernikami nadgarstkowymi, wygodniejszymi w użytku domowym. Ciśnienie krwi mierzy się na tętnicy ramiennej, która jest największą tętnicą kończyny górnej, zaopatrującą ją w krew tętniczą. Ciśnienie zmierzone w różnych punktach układu krwionośnego ma zazwyczaj inną wartość. Prawidłowe ciśnienie w tętnicy

ramiennej wynosi ok. 80 (60-80) mmHg w przypadku ciśnienia rozkurczowego i 120 (110-135) mmHg w przypadku ciśnienia skurczowego.

Początki pomiarów ciśnienia wiążą się z dwiema pomysłowymi metodami: metoda Riva- Rocciego oraz wspomniana już jej modyfikacja wprowadzona przez dr Korotkowa, zwana od jego nazwiska metoda Korotkowa.

### Metoda Riva-Rocciego



(a)

(b)

**Rysunek 1. (a) Scipione Riva-Rocci, pediatra, wynalazca sfigmomanometru; (b) Mikołaj Korotkow (1874-1920), dodał do metody Riva-Rocciego osłuchiwanie tetna.**

Riva-Rocci wynalazł sfigmomanometr - aparat do pośredniego pomiaru ciśnienia tętniczego krwi. Urządzenie to składa się z manometru (np. rtęciowego, sprężynowego lub elektronicznego), pompki tłoczącej powietrze, mankietu z komora powietrzna i zaworka do kontrolowanego wypuszczania powietrza z mankietu.



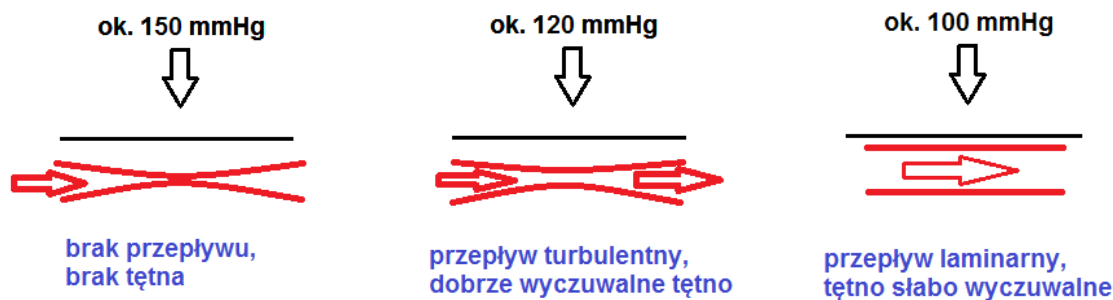
(a)

(b)

**Rysunek 2. Różne sfigmomanometry: (a) Rtęciowy; (b) Elektroniczny, nadgarstkowy**

W 1896 r. wprowadził metodę w praktykę. Pomiar metoda Riva-Rocciego wygląda następująco. Na ramię zakłada się sfigmomanometr. Jedną ręką napełnia się mankiet powietrzem, podczas gdy druga monitoruje się tętno na tętnicy promieniowej. Mankiet napełnia się do około 20 mmHg powyżej ciśnienia przy którym zanikło tętno, a następnie powoli się go opróżnia. Wytworzona przez mankieta siła będąca wynikiem ciśnienia transmuralnego zamyka tętnicę. Za

wartość ciśnienia skurczowego uznaje się wartość ciśnienia przy którym ponownie wyczuto tętno - początek przepływu burzliwego (turbulentnego) krwi (Rysunek 3).



**Rysunek 3. Zjawiska zachodzące podczas pomiaru ciśnienia metodami tradycyjnymi**

#### Metoda Korotkowa

W 1905 r. rosyjski chirurg Mikołaj Korotkow wprowadził modyfikacje do metody Riva-Rocciego. Metodę Korotkowa można opisać następująco:

- pompowanie sfigmomanometru do momentu, aż tętno przestanie być wyczuwalne
- podniesienie ciśnienia w sfigmomanometrze o 20 mm Hg
- powolne upuszczanie powietrza z mankietu sfigmomanometru - 2 mm Hg na 1 s
- słuchanie za pomocą słuchawek lekarskich pojawiających się odgłosów
- zanotowanie (zapamiętanie) wartości, przy jakiej pojawia się stukot (słyszalność akcji serca; tzw. I faza Korotkowa) - wartość ciśnienia skurczowego
- zanotowanie (zapamiętanie) wartości, przy jakiej znika stukot (tzw. V faza Korotkowa) - wartość ciśnienia rozkurczowego
- wypuszczenie powietrza z sfigmomanometru
- zanotowanie wyniku pomiaru

Dokonanie pomiaru metoda Korotkowa wymaga poznania 5 tzw. faz lub tonów Korotkowa. Są one specyficzne dla momentów, w których ciśnienie wywierane przez rękaw sfigmomanometru ma określoną wartość. Faza I rozpoczyna się, gdy w słuchawkach stetoskopu słyszalny jest pierwszy ton. Wartość odczytanego wówczas ciśnienia w rękawie jest ciśnieniem skurczowym. W fazie II słyszalne są tony ciche, w fazie III tony głośne. W fazie IV tony znowu stają się ciche. Z początkiem fazy V jakiegokolwiek dźwięki zanikają, a odczytana wówczas wartość to ciśnienie rozkurczowe

#### Przepływ krwi

Przepływ jest podstawowym pojęciem w dziedzinie kinematyki płynów. Określa się go jako objętość przepływającego płynu w jednostce czasu:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Podstawowe rodzaje przepływu to:

- przepływ stacjonarny
- przepływ laminarny
- przepływ turbulentny

Przepływ stacjonarny charakteryzuje się jednakową prędkością przepływu w każdym punkcie obszaru zajętego przez płyn. Przepływ laminarny to taki, w którym płyn przepływa w równoległych do siebie warstwach, a każda z warstw może mieć inną prędkość przepływu. Wreszcie przepływ turbulentny to taki, w którym występują zmienne w czasie zakłócenia

przepływu, czyli turbulencje. O przepływie laminarnym i turbulentnym słyszeliśmy przy okazji opisu metody Riva-Rocciego.

Krew jest również płynem, posiada lepkość ok.  $3.5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  (w temperaturze 37 st. C). Lepkość jest własnością płynu, która określa jego wewnętrzne tarcie, które pojawia się podczas przepływu. W układzie krwionośnym dominuje przepływ laminarny, natomiast turbulentny pojawia się tam, gdzie krew napotyka na swej drodze na przeszkodę.

### Perfuzja.

Odmiernym zjawiskiem jest perfuzja. Definiowana jest jako przepływ płynu ustrojowego przez tkankę. Perfuzję krwi często określa się jako procent pojemności minutowej serca (objętości krwi, jaka serce tłoczy w ciągu 1 minuty). Wielkość perfuzji krwi zależy m.in. od ciśnienia, kondycji naczyń krwionośnych i zapotrzebowania tkanki na składniki odżywcze oraz tlen. Perfuzja określona może być jako iloraz przepływu i masy, czyli:

$$Perf = \frac{Q}{m}$$

### Opór przepływu krwi.

Wyobraźmy sobie, że wkładamy do ust rurkę i próbujemy przez nią oddychać. Jeżeli rurka jest szeroka, wdychamy powietrze bez większych problemów. Kiedy jednak bierzemy coraz węższe rurki (tej samej długości), czujemy coraz większy opór przy wciąganiu powietrza. Dlaczego tak jest? Na to pytanie próbował odpowiedzieć Jean L'eonard Marie Poiseuille, francuski fizyk, a także lekarz.



**Rysunek 4. Jean L'eonard Marie Poiseuille (1797-1869), francuski fizyk i lekarz, sformułował prawo przepływu cieczy newtonowskiej w rurce o przekroju kołowym.**

W 1840 r. sformułował on prawo stacjonarnego, laminarnego przepływu dla płynów nieściśliwych i lepkich (płynów newtonowskich), w rurce o przekroju kołowym. Ze względu na swoje założenia, prawo to opisować może przepływ krwi w naczyniach krwionośnych. Kiedy znamy długość i promień naczynia (rurki) oraz lepkość płynu, możemy obliczyć opór:

$$R = \frac{4 \cdot L \cdot \eta}{\pi \cdot r^4}$$

gdzie  $L$  to długość rurki,  $r$  to promień jej przekroju,  $\eta$  to lepkość płynu. Zauważmy, że przy stałej długości naczynia i parametrach płynu, opór  $R$  zależy jedynie od promienia naczynia, a dokładniej jest odwrotnie proporcjonalny do jego 4. potęgi:

$$R \propto \frac{1}{r^4}$$

Zwężając rurkę przez którą dmuchamy 2-krotnie, opór zwiększymy więc 16 krotnie.

## **Procedura**

1. Zmierzyć ciśnienie metodami Riva-Rocciego, Korotkowa oraz z użyciem urządzenia LabQuest (metoda oscylometryczna). Zanotować zmierzone wartości i ewentualne spostrzeżenia w Tabeli 1. Pomiary należy wykonać siedząc prosto na krześle, nogi nie mogą być skrzyżowane. W pojedynczym pomiarze udział biorą dwie osoby: osoba badająca oraz osoba badana. Należy zorganizować pracę tak, by każda osoba w grupie była co najmniej raz osobą badaną i raz osobą badającą.
2. Wykonać serię ćwiczeń fizycznych (np. przysiady przez 2 minuty). Zmierzyć ciśnienie (Korotkow lub LabQuest) przed wysiłkiem oraz 5 razy po wysiłku w odstępach 1 min. Zanotować wartości i obliczone ciśnienie średnie w Tabeli 2.
3. Wypełnić sprawozdanie z użyciem zmierzonych wartości oraz obliczyć pozostałe zgodnie z poleceniami.

# FORMULARZ SPRAWOZDANIA

Data: .....

Członkowie grupy: .....

**Tabela 1. Dane badanej grupy**

Pacjent	Wiek	Wzrost	Waga	Płeć
1				
2				
3				
4				
5				

## 1. Zanotuj wartości ciśnienia spoczynkowego

**Tabela 2. Pomiar ciśnienia trzema metodami**

Pacjent	Metoda Riva-Rocciego SP/DP	Metoda Korotkowa SP/DP	LabQuest SP/DP
1			
2			
3			
4			
5			

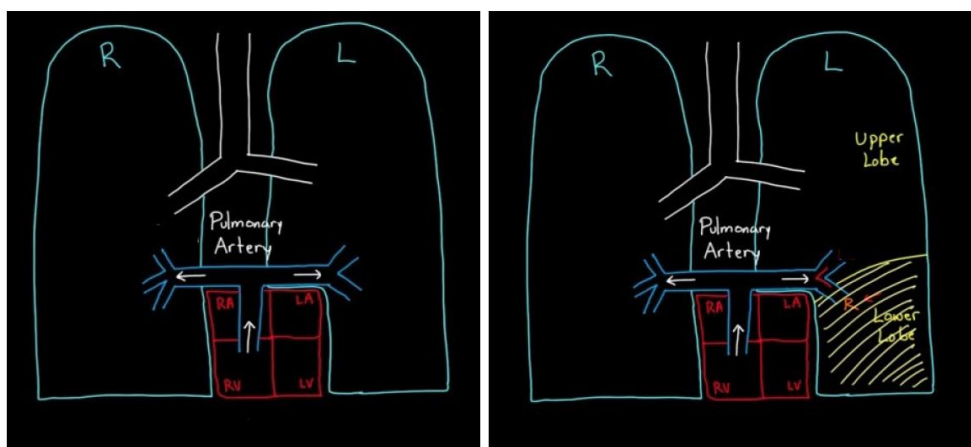
## 2. Zanotuj wartości ciśnienia po wysiłku

Tabela 3. Ciśnienie krwi po wysiłku

Pacjent	Ciśnienie krwi					
	Pomiar 0 SP/DP; MAP	Pomiar 1 SP/DP; MAP	Pomiar 2 SP/DP; MAP	Pomiar 3 SP/DP; MAP	Pomiar 4 SP/DP; MAP	Pomiar 5 SP/DP; MAP
1						
2						
3						
4						
5						

3. Na Rysunku 5a przedstawiono uproszczony model serca i płuc. Serce składa się z 2 par przedsionków i komór, z płucami łączy je tętnica płucna wychodząca z prawego przedsionka. W naszym modelu do prawego płata płuc odchodzą trzy odgałęzienia tętnicy płucnej, do lewego dwa. Dokonaj obliczeń perfuzji i przepływu krwi w funkcji oporu przy podanych danych.

- Masa lewego płuca = Masa prawego płuca = 1 kg; CO=5000 ml;
- Oba płuca „otrzymują” taką samą ilość krwi
- Opór w każdym odgałęzieniu tętnicy płucnej = R



Rysunek 5. (a) Przed operacją, (b) Po operacji

4. Wyobraźmy sobie, że osoba z Zadania 1 przeszła operację resekcji dolnego płata lewego płuca wraz z jednym z odgałęzień tętnicy płucnej (Rysunek 5b), redukując jego masę do 0.5 kg. Oblicz, jak zmieniły się wartości oporu w zoperowanym płucu. Jak zmiana oporu wpłynie na przepływ krwi przez każde z płuc? Oszacowanych wartości przepływu użyj do wyliczenia perfuzji w stanie po operacji. Porównaj przepływ i perfuzję przed i po operacji.
5. Oblicz całkowity opór obwodowy przepływu krwi (TPR) dla wszystkich osób w grupie wykorzystując pomiary ciśnienia w spoczynku. Czy TPR mieści się w normie? Dane:

- ciśnienie w aorcie= MAP w tętnicy ramiennej - 5 mmHg;
- CVP=5 mmHg;
- SV ~ co do liczby równa masie ciała w kilogramach, jednostka SV - [ml/kg];
- $\Delta P = Q \cdot R$ ;
- W przypadku braku danych wykonaj stosowne pomiary

Pacjent	Ciśnienie skurczowe (SP)	Ciśnienie rozkurczowe (DP)	Średnie ciśnienie tętnicze (MAP)	Całkowity opór obwodowy (TPR)
1				
2				
3				
4				
5				

6. Wypełnij tabelę przedstawiającą parametry związane z przepływem krwi dla trzech pacjentów o różnym wieku. Co może być przyczyną wzrostu TPR z wiekiem ?

Wiek	BP [mmHg]	MAP [mmHg]	CVP [mmHg]	$\Delta P$ [mmHg]	Q [l/min]	TPR
25	120/80		5		5	
70	150/90		5		5	
100	180/105		5		5	

## 7. Pytania

### A. Czy ciśnienie krwi jest stałe w czasie?

.....

.....

.....

### B. Jaki, w ogólności, będzie wynik pomiaru ciśnienia w różnych punktach układu krwionośnego?

.....

.....

.....

### C. Na czym polega różnica między metodą Riva-Rocciego i Korotkowa?

.....

.....

.....



**D. Z jakim zjawiskiem wiąże się wyczuwalność tętna w metodzie Riva-Rocciego, w momencie gdy ciśnienie w rękawie równoważy ciśnienie skurczowe?**

.....

.....

.....

**E. Przedyskutuj różnice wartości zmierzonego ciśnienia krwi dla różnych metod pomiaru**

.....

.....

.....

**F. Omów różnice w wartościach zmierzonego ciśnienia krwi dla Tabeli 3.**

.....

.....

.....

**G. Jaka jest różnica między przepływem a perfuzją?**

.....

.....

.....

**H. Na czym polega najczęstszy typ przepływu krwi?**

.....

.....

.....

**I. W jaki sposób opór przepływu zależy od długości naczynia?**

.....

.....

.....