



Kalorymetryczny pomiar przepływu krwi

C7

Przyrządy:

Termos, termometr, zlewka z podziałką o obj. 800 cm³, stoper, kostki lodu, pisak.

Informacje:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie objętościowego strumienia krwi (I) przepływającego przez rękę, procentowego udziału strumienia (I) do strumienia całkowitego

$$I_0 = W \cdot n$$

Prawidłowa funkcja narządów i tkanek jest przede wszystkim uwarunkowana ich sprawną perfuzją, która zależy od strumienia objętościowego krwi. Jedną z metod pomiaru przepływu obwodowego krwi jest metoda termiczna.

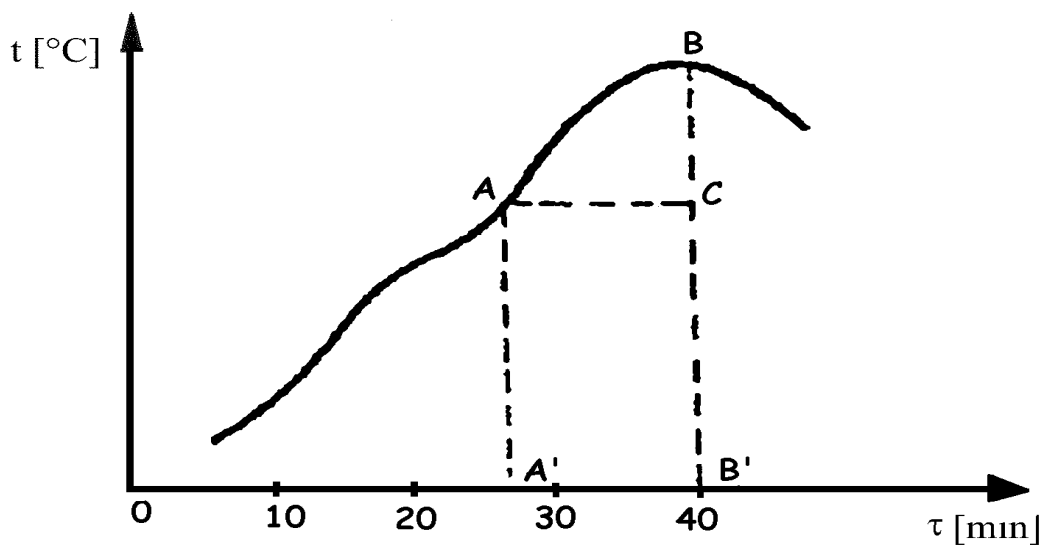
Zwykłe obserwacje i doświadczenia od dawna wskazywały, że niedokrwione miejsca ciała nawet przy badaniu palpacyjnym mają niższą temperaturę niż położone symetrycznie części dobrze ukrwione. Zjawisko to wykorzystano do jakościowej oceny ukrwienia. Jednakże, w celu badań ilościowych, należy uwzględnić wiele dodatkowych czynników wpływających – oprócz przepływu krwi – na temperaturę ciała. Należą do nich warunki środowiska otaczającego (temperatura, wilgotność, przewiew), wilgotność skóry, właściwości cieplne tkanek itp.

Przy zachowaniu jednak odpowiednich warunków pomiarowych w których bardzo ważną rolę odgrywa kontrola wymienionych czynników dodatkowych, metoda termiczna nadaje się również do oceny ilościowej ukrwienia. Dzięki niej można dokładnie określić zaburzenia w ukrwieniu skóry, tkanek i narządów wewnętrznych. Układ pomiarowy składa się z sondy, na wolnym końcu której znajduje się termoelement ogrzewany prądem stałym o znanym natężeniu. Drugi termoelement umieszcza się w pewnej odległości.

Rejestrowana różnica temperatur pomiędzy dwoma układami termoelementów jest tym mniejsza, im większy jest strumień przepływającej krwi.

Metoda będąca przedmiotem ćwiczenia polega na określeniu strumienia przepływu krwi przez rękę. Dokonuje się tego poprzez pomiar ciepła oddanego cieczy w kalorymetrze przez krew przepływającą przez rękę. Metodę tą można zrealizować prostymi środkami, co wpływa na przybliżoną wartość wyników.

Zasada pomiaru opiera się na wyznaczeniu zależności przyrostu temperatury cieczy umieszczonej w naczyniu Dewara (termos). Przyrost zachodzi pod wpływem ciepła oddanego przez zanurzoną w niej rękę, wychłodzoną uprzednio do temperatury pokojowej, w funkcji czasu zanurzenia ręki w cieczy. Przykładowy wykres tej zależności przedstawia rys.1.



Rysunek 1

Rys. 1 - krzywa zależności przyrostu temperatury cieczy w kalorymetrze od czasu zanurzenia ręki.

Na początkową część wykresu wpływa nie tylko strumień krwi, ale także przechłodzenie lub niedostateczne oziębienie ręki, toteż należy ją pominąć. Właściwa część wykresu, którą bierze się pod uwagę, mieści się w zakresie AB, odpowiada bowiem wzrostowi temperatury cieczy w kalorymetrze, oddawanej tylko przez krew w czasie od t_A do t_B .

Przyrostowi temperatury (Δt) w czasie ($\Delta \tau$) odpowiada odcinek BC. Aby wyznaczyć strumień objętościowy krwi, stosuje się rachunek bilansu cieplnego.

Układ termicznie oddziałujących ciał stanowi ręka, woda i kalorymetr (termos), a krew przepływająca przez rękę jest odpowiednikiem grzałki. W czasie $\Delta \tau = \tau_B - \tau_A$ krew przekazuje do układu ilość ciepła Q_1 określoną wzorem:

$$Q_1 = \int_{\tau_A}^{\tau_B} I \rho_{kr} c_{kr} [37^\circ - t(\tau)] d\tau = I(\tau_B - \tau_A) \rho_{kr} c_{kr} \left[37^\circ - \frac{1}{\tau_B - \tau_A} \int_{\tau_A}^{\tau_B} t(\tau) d\tau \right]$$
$$V_{kr} = I(\tau_B - \tau_A)$$

objętość krwi przepływającej w czasie $\Delta \tau$,

$$t_{\acute{s}r} = \frac{1}{\tau_B - \tau_A} \int_{\tau_A}^{\tau_B} t(\tau) d\tau$$

średnia temperatura w kalorymetrze w czasie (τ_A , τ_B),

gdzie:

I – strumień objętościowy krwi,

ρ_{kr} – gęstość krwi,

c_{kr} – ciepło właściwe krwi,

37° – średnia temperatura ciała ludzkiego,

$t(\tau)$ – temperatura układu ciał w kalorymetrze w chwili τ .

Wzór na ciepło oddane przez krew przyjmuje postać:

$$Q_1 = V_{kr} \rho_{kr} c_{kr} (37^\circ - t_{\acute{s}r}) \quad (2)$$

Praktycznie $t_{\acute{s}r}$ wyznaczamy obliczając „pole powierzchni” pod krzywą $t(\tau)$ dla przedziału czasu (τ_A , τ_B) – (jest to wartość całki). Pole to jest mierzone w jednostkach [$^\circ\text{C} \cdot \text{min}$].

Dzieląc tę wartość przez przedział czasowy $\tau_B - \tau_A = \Delta \tau$ otrzymujemy wartość $t_{\acute{s}r}$.

Ilość ciepła Q_2 pobranego przez zanurzoną rękę o objętości V_r , cieple właściwym ciała ludzkiego c_r , gęstości ciała ludzkiego ρ ; wodę o masie m_w i cieple właściwym c_w i kalorymetr o masie m_k i cieple właściwym c_k w przedziale czasu $\Delta\tau = \tau_B - \tau_A$ określa wzór:

$$Q_2 = (V_r \rho c_r + m_w c_w + m_k c_k)(t_B - t_A) \quad (3)$$

gdzie t_A, t_B - odpowiednio temperatury w czasach τ_A i τ_B .

Porównując Q_1 i Q_2 , oblicza się objętość krwi V_{kr} , która przepływa w czasie $\Delta\tau$ przez rękę, a następnie, dzieląc obustronnie przez $\Delta\tau$, otrzymujemy wzór na strumień objętościowy krwi (I):

$$I = \frac{V_{kr}}{\Delta\tau} = \frac{(V_r \rho c_r + m_w c_w + m_k c_k) \cdot (t_B - t_A)}{\rho_{kr} c_{kr} (37^\circ - t_{sr}) \cdot (\tau_B - \tau_A)} \quad (4)$$

Przyjmując do obliczeń:

ciepło właściwe ciała ludzkiego	$c_r = 3,4 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ deg}^{-1}$
ciepło właściwe krwi	$c_{kr} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ deg}^{-1}$
ciepło właściwe kalorymetru	$c_k = 2,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ deg}^{-1}$
ciepło właściwe wody	$c_w = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ deg}^{-1}$
gęstość ciała ludzkiego	$\rho = 1,066 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
gęstość krwi dla mężczyzn	$\rho = 1,06 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
gęstość krwi dla kobiet	$\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

W celu obliczenia procentowego udziału strumienia objętościowego krwi przepływającej przez rękę, w stosunku do całkowitego strumienia, można przyjąć, że jej objętość minutowa w warunkach spoczynku wynosi $I_0 = (5 \div 6) \text{ l/min.}$, co odpowiada

stuprocentowemu strumieniowi krwi. Wyznaczony strumień objętościowy jest zatem częścią tej wartości, którą można obliczyć z odpowiedniej proporcji.

Określenie, ile % całej krwi przepływa przez dłoń można również obliczyć na podstawie wzoru:

$$p = \frac{I \cdot 100\%}{W \cdot n} \quad (5)$$

gdzie: $W \cdot n = I_0$, W – objętość wyrzutowa serca – ok. 70cm^3 , n – tętno wyrażone w $[\text{min.}^{-1}]$.

Kolejność wykonywania czynności:

UWAGA! DO WYKONANIA TEGO ĆWICZENIA NIEZBĘDNE SĄ KOSTKI LODU. NALEŻY ZGŁOSIĆ POTRZEBĘ URUCHOMIENIA KOSTKARKI PRACOWNIKOWI TECHNICZNEMU. INSTRUKCJA OBSŁUGI KOSTKARKI ZNAJDUJE SIĘ W PRACOWNI I NA STRONIE INTERNETOWEJ Z INSTRUKCJAMI DO ĆWICZEŃ.

1. Masa pustego kalorymetru (plastikowy wkład do termosu - naczynie wewnętrzne) wynosi 76,705 g.
2. W celu zmierzenia objętości ręki, nalać do zlewki wodę do poziomu jednej z kresek oznaczających ilość wody. Włożyć dłoń do zlewki na taką głębokość, aby osiągnąć poziom którejs z wyższych kresek na zlewce (to ułatwi jednoznaczny odczyt ilości wody). Zaznaczyć na nadgarstku ręki kreskę poziomu wody.
3. Do kalorymetru nalać taką ilość wody jaką używaliśmy do mierzenia objętości ręki – **UWAGA** – woda musi być bardzo zimna 14°C – 17°C – po otwarciu kranu odczekać kilka minut, aż ciepła woda stanie się zimna, jeśli nie uzyskamy takiej temperatury, wkładamy do wody kostki lodu. Czekamy aż lód się roztopi, dokładnie mieszając wodę. Następnie nadmiar wody usuwamy (jej ilość musi być taka sama jak przy pomiarze objętości ręki).
4. Ochłodzić rękę strumieniem zimnej wody z kranu przez ok. 2 min. w celu odprowadzenia ciepła zapasowego ręki – **UWAGA** – **strumień wody musi być jak najzimniejszy.**
5. Masę wody obliczamy znając objętość użytej w ćwiczeniu wody i jej gęstość.
6. Umieścić rękę w cieczy znajdującej się w kalorymetrze na okres 40min. W wodzie umieszczamy też termometr. Obserwując temperaturę notować ją co dwie minuty, (nie dotykać ręką czujnika termometru).

7. W czasie trwania pomiaru należy delikatnie mieszać ciecz w kalorymetrze, aby wyrównać temperaturę w całej jej objętości, nie opierać ręki o dno termosu i nie zmieniać głębokości jej zanurzenia (zanurzenie do uprzednio narysowanej na ręce kreski).
8. Po wyjęciu ręki z kalorymetru trzeba dokonać pomiaru temperatury cieczy w kalorymetrze w ciągu 5 min., w celu zaobserwowania spadku temperatury cieczy w kalorymetrze, odpowiadającego dalszemu przebiegowi krzywej podgrzewania (rys.1). Tej części wyników nie uwzględnia się w obliczeniach, ale wykorzystuje się je do sporządzenia wykresu.
9. Zmierzyć tętno.
10. Dane pomiarowe zestawić w odpowiednio zaprojektowanej tabeli.
11. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzić wykres zależności temperatury cieczy w kalorymetrze od czasu zanurzenia ręki.
12. Do obliczeń należy wykorzystać część AB wykresu (obliczyć t_{sr} w przedziale czasu τ_A, τ_B).
13. Obliczyć strumień krwi według wzoru (4), przyjmując powyższe wartości.
14. Obliczyć procentowy udział strumienia objętościowego krwi przepływający przez rękę w stosunku do całkowitego $I_o = 5,5$ l/min., lub na podstawie wzoru (5).
15. Oszacować niepewność pomiarową i wyciągnąć wnioski.

Wymagania:

- strumień objętościowy – definicja, jednostka [1]
- ciecze newtonowskie i nienewtonowskie [5]
- przepływ laminarny i turbulentny [1]