

Autonomiczny Układ Nerwowy

Podstawy teoretyczne oraz instrukcje przeprowadzenia ćwiczeń praktycznych wykonywanych podczas zajęć

Lista ćwiczeń praktycznych

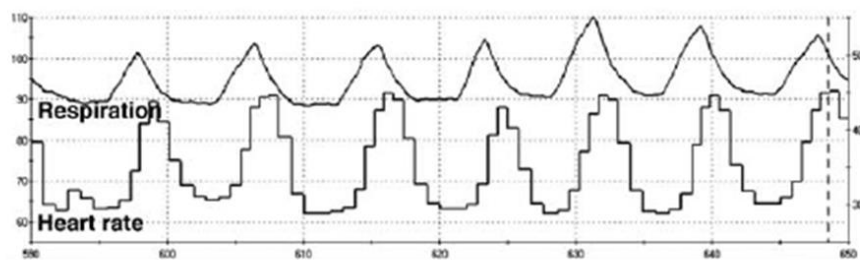
1. Próba głębokiego (kontrolowanego) oddychania
2. Test zimnopresyjny (test lodowatej wody)
3. Próba ortostatyczna Martineta
4. Próba izometrycznego napinania mięśni
5. Próba (manewr) Valsalvy

Uwaga: Na końcu instrukcji znajduje się tabela, której wypełnienie jest elementem zaliczenia ćwiczenia.

Próba głębokiego (kontrolowanego) oddychania

Cel badania: Ocena wpływu nerwu błędnego na czynność serca, w oparciu o wdechowo-wydechową różnicę częstości akcji serca (ang. *heart rate*, HR).

Wprowadzenie: Częstość akcji serca zwiększa się podczas wdechu a maleje podczas wydechu. Takie sprzężenie czynności układu krwionośnego i oddechowego jest określane jako niemiarowość oddechowa lub zatokowa (ang. *respiratory sinus arrhythmia*, RSA). Wykazano doświadczalnie, że RSA usprawnia wymianę gazową w płucach.



Jednoczesny zapis oddychania (przepływ powietrza, na górze) i HR (na dole).

3

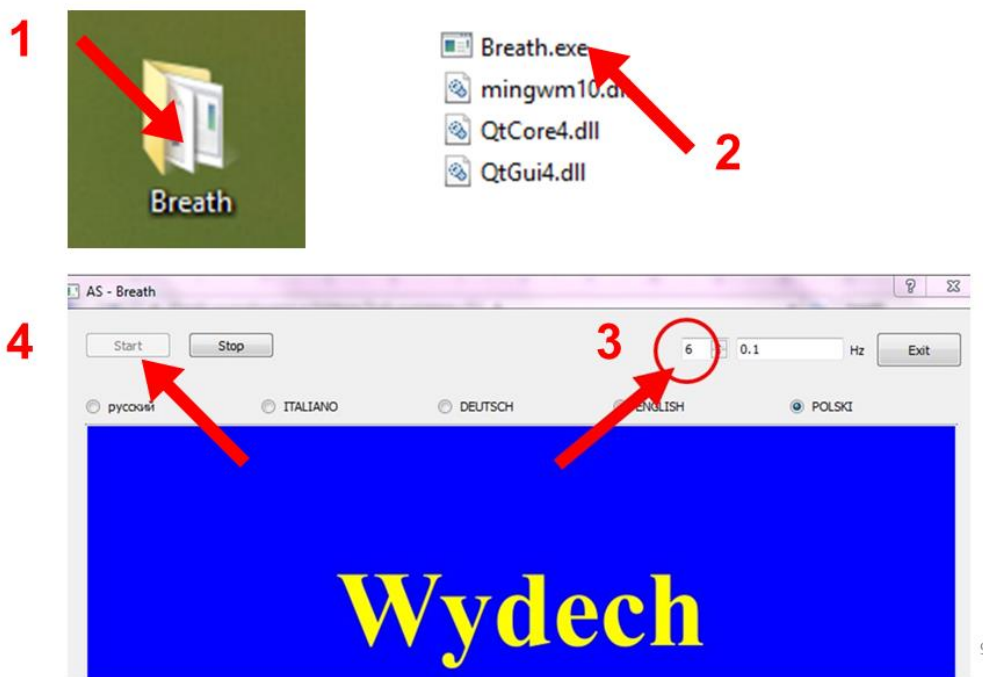
Kluczową rolę w powstawaniu RSA odgrywa aktywność we włóknach dosercowych nerwu błędnego. Podczas wdechu aktywność nerwu błędnego jest niska, podczas wydechu – zwiększa się. Na tej podstawie RSA jest przyjmowane jako wskaźnik aktywności części przywspółczulnej AUN kontrolującej pracę serca. RSA ulega obniżeniu z wiekiem. Niskie wartości RSA obserwuje się ponadto w przebiegu chorób, którym towarzyszy zaburzona równowaga układu autonomicznego, takich jak choroba wieńcowa czy cukrzyca.

Mechanizmy fizjologiczne leżące u podstaw RSA nie zostały w pełni wyjaśnione. Pobudzenie ośrodkowych neuronów wdechowych wywiera wpływ hamujący (poprzez synapsę cholinergiczną) na neurony sercowe nerwu błędnego w jądrze dwuznacznym i grzbietowym (mechanizm ośrodkowy powstawania RSA). Dodatkowo, w powstawaniu RSA mogą również uczestniczyć mechanizmy obwodowe, w tym odruch z mechanoreceptorów płuc oraz odruch z baroreceptorów tętnicznych.

Przebieg badania: W ogólnym zarysie ocena RSA polega na wyznaczeniu średniej różnicy HR między wdechem a wydechem. Wzorec oddychania (np. częstość oddechów) może potencjalnie modulować wielkość RSA. Z tego powodu w trakcie badania osoba badana oddycha w narzuconym, standardowym rytmie – 6 oddechów/min [rytm oddychania jest wyświetlany na ekranie komputera].

Niezbędna aparatura i akcesoria: (1) aparat EKG, (2) zegarek lub stoper, (3) program *Breath* do wyznaczania rytmu oddychania, (4) flamaster.

1. Poproś osobę badaną o położenie się na leżance, na plecach.
2. Podłącz EKG.
3. Osoba badana powinna pozostawać w pozycji leżącej przez min. 5 minut (czas ten służy ustabilizowaniu parametrów hemodynamicznych).
4. Uruchom program *Breath*. Pamiętaj, aby wybrać częstość 6 oddechów na minutę (ryc. poniżej).



5. Poproś badanego o oddychanie w rytmie przedstawionym na ekranie. Czas oddychania w rytmie narzuconym: około 2 minut. W tym czasie należy uważnie obserwować ruchy klatki piersiowej badanego i na tej podstawie zaznaczać flamastrem na wydruku EKG początek każdego wdechu oraz każdego wydechu (np. pionową linią oraz literą I dla wdechu [ang. *inspiration*] oraz E dla wydechu [ang. *expiration*]).

Uwaga: Oddychanie w rytmie prezentowanym na ekranie nie jest zadaniem łatwym. Zanim rozpoczniesz właściwy, 2-minutowy zapis EKG upewnij się, że badany zrozumiał polecenie i oddycha prawidłowo, zgodnie z instrukcjami.

Analiza danych i interpretacja wyniku: W analizowanym fragmencie EKG, w wybranym odprowadzeniu (najczęściej II), zlokalizuj wszystkie załamki R. Następnie policz kratki pomiędzy

kolejnymi załawkami R i podstaw do poniższego wzoru (tym sposobem uzyskasz wartość HR dla każdego odstępu RR, patrz: ryc. poniżej):

przy przesuwie EKG = 50 mm/s

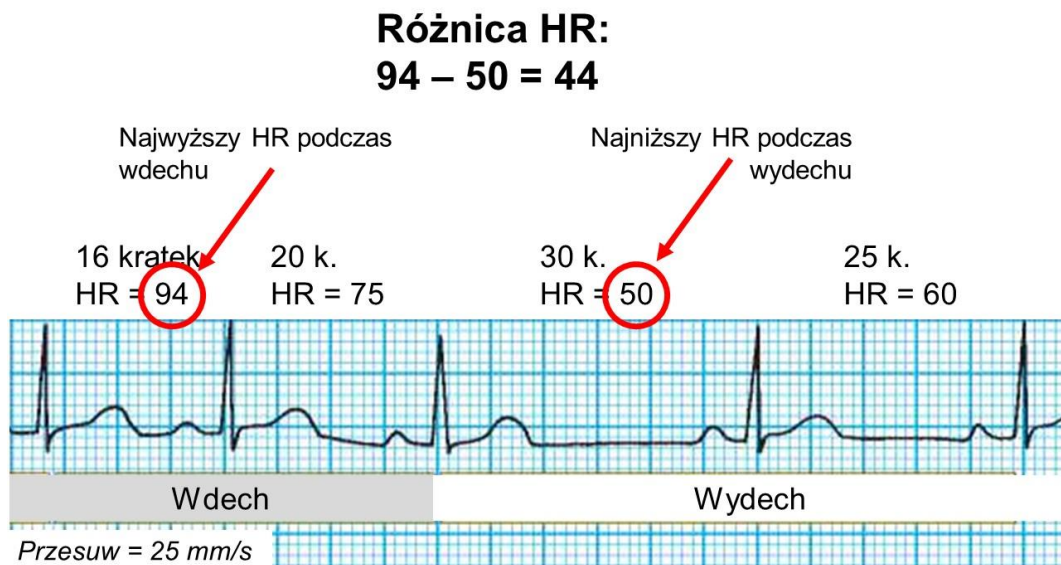
$HR = (60 \times 50) / \text{liczba kratek}$

przy przesuwie EKG = 25 mm/s

$HR = (60 \times 25) / \text{liczba kratek}$

Następnie, dla każdej pary – wdech i wydech – oblicz różnicę pomiędzy najwyższym HR podczas wdechu a najniższym HR podczas wydechu (schemat kalkulacji podsumowano na ryc. poniżej).

Oblicz średnią arytmetyczną wszystkich wdechowo-wydechowych różnic HR. Prawdłowo wynosi ona ≥ 15 skurczów/min., zakres graniczny: 11-14 skurczów/min.; natomiast wartości ≤ 10 skurczów/min. uznaje się za nieprawidłowe.



Test zimnopresyjny (test lodowatej wody)

Wprowadzenie i cel badania: Zanurzenie dłoni lub stopy w zimnej wodzie (tzw. test zimnopresyjny, ang. *cold pressor test*, CPT) pobudza część współczulną AUN, co z kolei wyzwała szereg reakcji sercowo-naczyniowych. Na tej podstawie CPT był wykorzystywany w ocenie wpływu części współczulnej AUN na funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego (w tym: w diagnozowaniu uszkodzeń odśrodkowych dróg współczulnych). Rozważano użyteczność kliniczną CPT m. in. jako czynnika ryzyka rozwoju nadciśnienia tętniczego. Wybitnie silne reakcje presyjne odnotowuje się w nadczynności tarczycy i nadciśnieniu tętniczym, z kolei reakcja presyjna bywa zredukowana w hipotensji ortostatycznej.

Zanurzenie ręki lub stopy w wodzie o temperaturze około 4°C pobudza termoreceptory i nocyceptory (zakończenia bólowe) w skórze, co powoduje zwiększenie aktywności współczulnej, a w efekcie zwężenie naczyń krwionośnych oraz przyspieszenie rytmu i zwiększenie kurczliwości serca. Wymienione zmiany przyczyniają się do wzrostu ciśnienia tętniczego krwi.

Przebieg badania

Niezbędna aparatura i akcesoria: (1) ciśnieniomierz ręczny oraz stetoskop lub ciśnieniomierz automatyczny, (2) miska z wodą o temperaturze około 4°C, (3) zegarek lub stoper.

1. Poproś osobę badaną o położenie się na leżance, na plecach.
2. Umieść mankiety ciśnieniomierza na rękę, która nie będzie zanurzana w wodzie.
3. Osoba badana powinna pozostawać w pozycji leżącej przez min. 10 minut (zapis spoczynkowy). W trakcie tego czasu wykonaj 2-3 pomiary ciśnienia krwi oraz częstości akcji serca (np. po upływie 3, 6 i 9 minut od początku testu). Wyniki odnotuj w karcie badania.
4. Poproś badanego o zanurzenie dłoni (do wysokości nadgarstka) w wodzie. Zmierz ciśnienie krwi oraz częstość akcji serca po upływie 30 s, 1 min, 1:30 min oraz 2 min od zanurzenia dłoni. Wyniki odnotuj w karcie badania. **Uwaga:** *Istnieją rozbieżności w danych literaturowych w odniesieniu do czasu trwania fazy zanurzenia dłoni w wodzie. W części prac, faza zanurzenia trwa jedną minutę. Gdy test stanie się zbyt bolesny, osoba badana powinna poinformować badacza i wyjąć dłoń z wody natychmiast, przed upływem 2 minut.*
5. Poproś badanego o wyjęcie dłoni z wody. Zmierz ciśnienie krwi oraz częstość akcji serca po upływie 30 s od wyjęcia dłoni, a następnie w odstępach 30-sekundowych do momentu powrotu ciśnienia krwi oraz częstości akcji serca do wartości wyjściowych (spoczynkowych), ale nie krócej niż do 3 minut po wyjęciu dłoni z wody. Wyniki odnotuj w karcie badania.

Interpretacja wyników: Prawidłową reakcją jest wzrost ciśnienia skurczowego o 15-20 mmHg oraz wzrost ciśnienia rozkurczowego o 10-15 mmHg, utrzymujące się do 3 minut po wyjęciu dłoni. Za reakcję nieprawidłową uznaje się wzrost ciśnienia skurczowego o 25 mmHg i więcej lub wzrost ciśnienia rozkurczowego o 20 mmHg i więcej.

Próba ortostatyczna Martineta

Wprowadzenie i cel badania: Próba ortostatyczna służy ocenie reakcji układu krążenia (kontrolowanej przez AUN) na gwałtowną zmianę pozycji ciała z leżącej na stojącą. Reakcja prawidłowa obejmuje nieznaczny spadek ciśnienia krwi (spadek ciśnienia: skurczowego nie większy niż 10 mmHg, rozkurczowego nie większy niż 5 mmHg) i przyspieszenie rytmu serca o 5-20 skurczów/min. Zmiany ciśnienia krwi trwają około 19 s. Reakcja nieprawidłowa w postaci znacznego i utrzymującego się obniżenia ciśnienia krwi (hipotonia ortostatyczna) jest związana z niedostateczną aktywnością współczulnych neuronów wazokonstrykcyjnych (będącą np. następstwem uszkodzenia AUN lub stosowania leków hipotensyjnych).

Zmiana pozycji powoduje przesunięcie znacznej objętości krwi do dolnych partii ciała, spadek ciśnienia i w rezultacie odbarczenie baroreceptorów tętniczych. Odpowiedź ze strony AUN obejmuje zahamowanie aktywności przywspółczulnej do serca, a także zwiększenie aktywności współczulnej do serca i naczyń krwionośnych. W efekcie następuje przyspieszenie rytmu serca oraz obkurczenie naczyń krwionośnych, co przekłada się na wzrost ciśnienia tętniczego krwi (chwilowo nawet powyżej wartości wyjściowych, to z kolei pobudza wtórnie odruch z baroreceptorów, prowadząc w dalszej kolejności do spowolnienia rytmu serca). Test dostarcza informacji o: (1) przywspółczulnej regulacji pracy serca oraz wrażliwości baroreceptorów (porównywana jest długość odstępów RR podczas odbarczenia i pobudzenia baroreceptorów) oraz (2) aktywności części współczulnej (analiza zmian ciśnienia krwi).



Przebieg badania

Niezbędna aparatura i akcesoria: (1) aparat EKG, (2) ciśnieniomierz ręczny oraz stetoskop lub ciśnieniomierz automatyczny, (3) zegarek lub stoper, (4) flamaster.

1. Poproś osobę badaną o położenie się na leżance, na plecach.
2. Podłącz EKG.
3. Osoba badana powinna pozostawać w pozycji leżącej przez min. 15-20 minut (zapis spoczynkowy). W trakcie tego czasu wykonaj 2-3 pomiary ciśnienia krwi oraz częstości akcji serca (np. po upływie 5, 10 i 15 minut od początku testu). Wyniki odnotuj w karcie badania.
4. Zmierz ciśnienie i tętno bezpośrednio przed pionizacją. Następnie poproś badanego o możliwie szybkie wstanie z leżanki i stanie we względnie nieruchomej pozycji (dodatkowe ruchy powodują powstawanie artefaktów w zapisie EKG). Zaznacz na wydruku EKG moment wstania. Zmierz ciśnienie i tętno bezpośrednio po pionizacji. Wyniki odnotuj w karcie badania.
5. Zmierz ciśnienie i tętno po upływie 1, 2, 3 minut po wstaniu. Kontynuuj pomiary w odstępach 1-minutowych, aż do powrotu parametrów do wartości wyjściowych. Wyniki odnotuj w karcie badania.

Uwaga: Pamiętaj o asekurowaniu badanego podczas i po pionizacji. Zadbaj o to, aby podczas pionizacji nie doszło do wypięcia przewodów / przewrócenia aparatu EKG.

Analiza danych i interpretacja wyników

W próbie ortostatycznej Martineta ocenia się:

1. Stosunek najdłuższego odstępu RR około 30 skurczu serca do najkrótszego odstępu RR około 15 skurczu serca po aktywnej pionizacji (tzw. **współczynnik 30:15**), zgodnie ze wzorem:

$$\frac{\text{Najdłuższy odstęp RR około 30. uderzenia serca po wstaniu}}{\text{Najkrótszy odstęp RR około 15. uderzenia serca po wstaniu}}$$

Prawidłowa wartość współczynnika 30:15 wynosi: >1,18 dla osób w wieku 15-19 lat, >1,17 dla osób w wieku 20-24 lata, 1,15 dla osób w wieku 25-29 lat. Współczynnik 30:15 odzwierciedla różnicę między odbarzeniem baroreceptorów a silnym pobudzeniem baroreceptorów i jest uznawany za **miarę przywspółczulnej regulacji rytmu serca**.

2. Spadek ciśnienia skurczowego po aktywnej pionizacji prawidłowo nie powinien być większy niż 10 mmHg. Zakres graniczny wynosi 11-29 mmHg, natomiast za nieprawidłowy uznaje się spadek ciśnienia skurczowego ≥ 30 mmHg. Ocena zmian ciśnienia tętniczego po pionizacji jest uznawana za **miarę aktywności współczulnej**.

Klasyfikacja dysregulacji ortostatycznych:

1. **Hipotonia ortostatyczna:** spadek ciśnienia skurczowego o ≥ 20 mmHg lub rozkurczowego o ≥ 10 mmHg w ciągu 3 min. po pionizacji.
2. **Zespół tachykardii posturalnej:** przyspieszenie rytmu serca o ≥ 30 skurczów/min. w stosunku do wartości spoczynkowej lub > 120 skurczów/min., bez spadku ciśnienia.
3. **Omdlenie neurokardiogenne:** nagły spadek ciśnienia skurczowego o ≥ 50 mmHg po dłuższym czasie w pozycji stojącej, często również bradykardia lub asystolia).

Próba izometrycznego napinania mięśni

Wprowadzenie i cel badania: Izometryczny skurcz mięśni powoduje zwiększenie ciśnienia tętniczego, głównie na skutek wzrostu aktywności współczulnej.



Przebieg badania

Niezbędna aparatura i akcesoria: (1) ciśnieniomierz ręczny oraz stetoskop lub ciśnieniomierz automatyczny, (2) dynamometr, (3) zegarek lub stoper.

1. Badany pozostaje w pozycji siedzącej. Zmierz i zanotuj wartość ciśnienia tętniczego w spoczynku.
2. W celu wyznaczenia maksymalnej siły uścisku, poproś badanego o trzykrotnie ściśnięcie dynamometru. Uśrednij wyniki, a następnie oblicz 30% ze średniej.
3. Poproś badanego o ściśnięcie dynamometru do wartości 30% siły maksymalnej i utrzymanie uścisku przez możliwie najdłuższy czas (do 5 minut). Mierz ciśnienie w odstępach 1-minutowych. Zanotuj wyniki.

Interpretacja wyników: Za prawidłową reakcję uznaje się wzrost ciśnienia rozkurczowego o co najmniej 16 mmHg.

Próba (manewr) Valsalvy

Wprowadzenie i cel badania: Nasilony wydech przy zamkniętej głośni, trwający około 15 s nosi nazwę próby (manewru) Valsalvy i jest wykorzystywany powszechnie do oceny sprawności regulacji autonomicznej w układzie sercowo-naczyniowym. Manewr Valsalvy prowadzi do krótkotrwałego obniżenia ciśnienia tętniczego krwi, a reakcje kompensacyjne, przywracające prawidłowe ciśnienie krwi są pośredniczone głównie przez odruch z baroreceptorów tętniczych. Na tej podstawie manewr Valsalvy jest uznawany za jedną z metod oceny wrażliwości (czułości) baroreceptorów tętniczych.

Reakcje hemodynamiczne podczas próby Valsalvy przebiegają według schematu (ryc. poniżej):

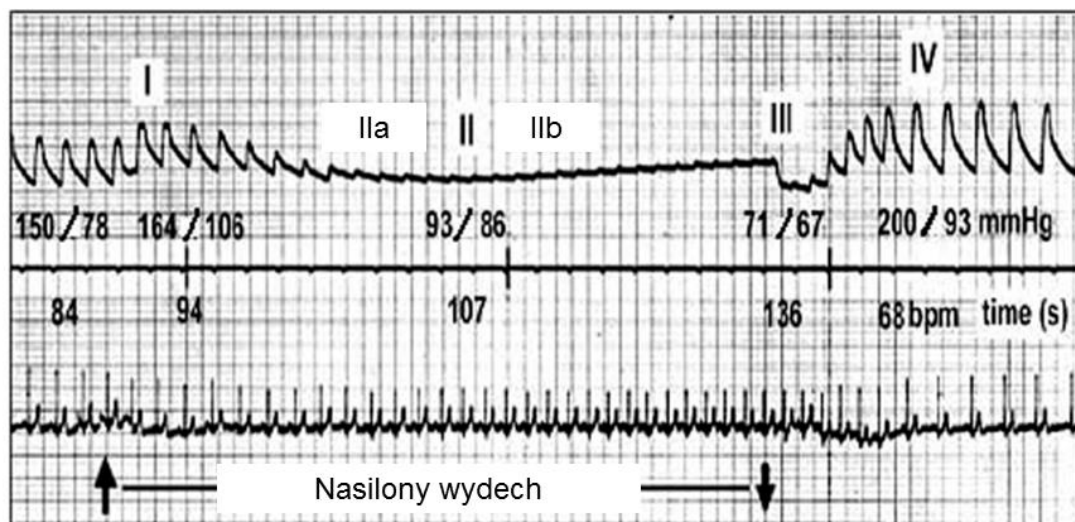
Faza 1: Nasilony wydech powoduje wzrost ciśnienia w klatce piersiowej i krótkotrwały wzrost ciśnienia krwi.

Faza 2a: Wysokie ciśnienie w klatce piersiowej utrudnia powrót żylny. Objętość wyrzutowa i ciśnienie krwi ulegają obniżeniu.

Faza 2b: Odbarczenie baroreceptorów i pobudzenie współczulne prowadzą do przyspieszenia rytmu serca, zwężenia naczyń i powolnego wzrostu ciśnienia krwi.

Faza 3: Zakończenie wydechu powoduje chwilowy spadek ciśnienia krwi wskutek nagłego spadku ciśnienia w klatce piersiowej.

Faza 4: Zwiększony powrót żylny przy nadal zwężonych naczyniach prowadzi do znacznego wzrostu ciśnienia krwi (powyżej wartości wyjściowej).



Zmiany ciśnienia tętniczego krwi (na górze) oraz częstości akcji serca (zapis EKG wraz z wartościami HR, na dole) podczas próby Valsalvy.

Źródło: Junqueira (2008): Teaching cardiac autonomic function dynamics employing the Valsalva (Valsalva-Weber) maneuver. *Advances in physiology education* 32: 100-106.

Przebieg badania: Osoba badana pozostaje w pozycji siedzącej. Nos zostaje zaciśnięty za pomocą klipsa. Zadanie osoby badanej polega na wykonaniu przedłużonego, trwającego 15 s wydechu pod stałym ciśnieniem (≥ 40 mmHg). Test składa się z trzech prób przedzielonych co najmniej 3-minutowymi przerwami. W trakcie każdej z trzech prób należy odnotować: (1) najwyższy HR podczas próby oraz, (2) najniższy HR po próbie (w obrębie maksymalnie 60 s po jej zakończeniu).

Analiza danych i interpretacja wyniku: W próbie Valsalvy ocenia się stosunek najwyższego HR podczas próby do najniższego HR po jej zakończeniu (tzw. współczynnik Valsalvy), odpowiadający różnicy między stanem odbarczenia baroreceptorów (Faza 2b) a stanem silnego pobudzenia baroreceptorów (Faza 4). Prawidłowa wartość współczynnika Valsalvy wynosi $\geq 1,21$, zakres graniczny: od 1,11 do 1,20, natomiast wartości $\leq 1,10$ uznaje się za nieprawidłowe.

Dodatkowo, ocena próby Valsalvy obejmuje porównanie zmian ciśnienia tętniczego w trakcie próby ze schematem przedstawionym na rysunku. Prawidłowo, w zapisie ciśnienia tętniczego można wyróżnić wszystkie 4 fazy. W zaburzeniach czynności części współczulnej fazy 2a i/lub 4 nie występują.

Piśmiennictwo:

- Eckberg (2009): Point: counterpoint: respiratory sinus arrhythmia is due to a central mechanism vs. respiratory sinus arrhythmia is due to the baroreflex mechanism. *Journal of applied physiology* 106: 1740-42.
- Giardino et al. (2003): Respiratory sinus arrhythmia is associated with efficiency of pulmonary gas exchange in healthy humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 284: H1585-91.
- Hayano et al. (1996): Respiratory sinus arrhythmia: a phenomenon improving pulmonary gas exchange and circulatory efficiency. *Circulation* 94:842-47.
- Hines & Brown (1936): The cold pressor test for measuring the reactivity of the blood pressure. Data concerning 571 normal and hypertensive subjects. *Am Heart J* 11: 1-9.
- Junqueira (2008): Teaching cardiac autonomic function dynamics employing the Valsalva (Valsalva-Weber) maneuver. *Advances in physiology education* 32: 100-106.
- Karemaker (2009): Counterpoint: respiratory sinus arrhythmia is due to the baroreflex mechanism. *Journal of applied physiology* 106: 1742-43.
- Podemski (2006) : Diagnostyka Autonomicznego Układu Nerwowego i Zaburzeń Snu, Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner, Wrocław, wydanie I polskie, stron 282.
- Silverthorn & Michael (2013): Cold stress and the cold pressor test. *Advances in physiology education* 37. 93-6.
- Velasco et al. (1997): The cold pressor test: pharmacological and therapeutic aspects. *American journal of therapeutics* 4: 34-8.

Próba głębokiego (kontrolowanego) oddychania)

Kolejne cykle oddechowe	HR podczas wdechu	HR podczas wydechu	(HR podczas wdechu) minus (HR podczas wydechu)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Średnia arytmetyczna wdechowo-wydechowej różnicy HR =			

Test zimnopresyjny

	Ciśnienie skurczowe	Ciśnienie rozkurczowe	HR
Zapis spoczynkowy			
Pomiar 1			
Pomiar 2			
Średnia			
Po zanurzeniu dłoni			
30 s			
1:00 min			
2:00 min			
Po wyjęciu dłoni			
30 s			
1:00 min			
2:00 min			
3:00 min			

Próba ortostatyczna Martineta

	Ciśnienie skurczowe	Ciśnienie rozkurczowe	HR
Zapis spoczynkowy			
Pomiar 1			
Pomiar 2			
Średnia			
Przed pionizacją			
Po pionizacji			
1:00 min			
2:00 min			
3:00 min			
4:00 min			
5:00 min			

	Ciśnienie skurczowe	Ciśnienie rozkurczowe	HR
Czas powrotu do wartości wyjściowych min. min. min.

Współczynnik 30:15 =	$\frac{\text{Najdłuższy RR około 30. uderzenia serca po wstaniu}}{\text{Najkrótszy RR około 15. uderzenia serca po wstaniu}}$	=
----------------------	---	---

Próba izometrycznego napinania mięśni

	Ciśnienie skurczowe	Ciśnienie rozkurczowe	HR
Zapis spoczynkowy			
Pomiar 1			
Pomiar 2			
Średnia			
Czas wysiłku			
1:00 min			
2:00 min			
3:00 min			
4:00 min			
5:00 min			