

# Ocena czynnościowa autonomicznego układu nerwowego z użyciem systemu Task Force Monitor®

Functional assessment of autonomic nervous system by using the Task Force Monitor® system

Paweł Zalewski<sup>1</sup>, Krzysztof Słomiński<sup>2</sup>, Jacek J. Klawe<sup>3</sup>, Małgorzata Tafil-Klawe<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Katedra i Zakład Laseroterapii i Fizjoterapii, Collegium Medicum, UMK w Bydgoszczy, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz, tel. +48 (0) 52 585 34 85, e-mail: p.zalewski@cm.umk.pl

<sup>2</sup> Oddział Neurologii i Leczenia Padaczki z Pododdziałem Udarowym Szpitala Wojewódzkiego im. dra J. Bizuela w Bydgoszczy, ul. Ujejskiego 75, 85-165 Bydgoszcz

<sup>3</sup> Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii CM UMK, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz

<sup>4</sup> Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka CM UMK, ul. Karłowicza 24, 85-092 Bydgoszcz

## Streszczenie

Autonomiczny układ nerwowy stanowi złożoną sieć neuronalną o podstawowym znaczeniu dla zachowania homeostazy oraz odruchowej regulacji czynności większości narządów. Funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego, pokarmowego, moczowo-płciowego, termoregulacja oraz kontrola aktywności dobowej podlegają ścisłej kontroli autonomicznego układu nerwowego. Szczególnie istotne z punktu widzenia oceny czynnościowej autonomicznego układu nerwowego są próby oceniające czynność układu sercowo-naczyniowego. System Task Force Monitor® służy do nieinwazyjnych badań układu krążenia oraz czynnościowej oceny układu autonomicznego. W skład systemu wchodzi: urządzenie do ciągłego pomiaru ciśnienia krwi, elektrokardiograf (EKG), kardiograf impedancyjny (IKG), urządzenie do oscylometrycznego pomiaru ciśnienia oraz pulsoksymetr. Wyniki uzyskane z użyciem systemu Task Force Monitor® wskazują na możliwość praktycznego zastosowania opisanego systemu do analizy i wyjaśnienia wielu zjawisk hemodynamicznych zachodzących w organizmie człowieka.

**Słowa kluczowe:** autonomiczny układ nerwowy, zmienność rytmu serca, baroreceptory tętnicze, Task Force Monitor

## Abstract

Autonomic nervous system is a complex neural structure, which controls homeostasis mechanisms of human organs and systems. Activity of cardio-vascular system, digestive tract, urinogenital system and thermoregulation are strictly controlled by autonomic nervous system. Cardio-vascular functional tests are essential for assessing autonomic nervous system. Task Force Monitor® is designed for non-invasive measurements of hemodynamic parameters by means of Impedance Cardiography (ICG), Electrocardiography (ECG), oscillometric (oscBP) and continuous (contBP) blood pressure measurement. In this study the usefulness of Task Force Monitor® system for practical examination and diagnosis of human hemodynamic mechanisms and processes, is demonstrated.

**Key words:** autonomic nervous system, heart rate variability, arterial baroreceptors, Task Force Monitor

## Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania oceną czynnościową autonomicznego układu nerwowego – AUN (ANS – *autonomic nervous system*). Badania, analizujące czynność autonomicznego układu nerwowego, są interesujące z fizjologicznego punktu widzenia, znajdują także za-

stosowanie w neurologii i kardiologii oraz rehabilitacji. Autonomiczny układ nerwowy stanowi złożoną sieć neuronalną, o podstawowym znaczeniu dla zachowania homeostazy oraz odruchowej regulacji czynności większości narządów [1]. Funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego, pokarmowego, moczowo-płciowego, termoregulacja oraz kontrola aktywności dobowej podlegają ścisłej kontroli autonomicznego układu nerwowego. Dawniej sądzono, iż funkcjonowanie układu autonomicznego jest całkowicie niezależne od układu somatycznego i pozostaje poza działaniem woli, jednak obecnie coraz więcej doniesień naukowych wskazuje na możliwość częściowego wpływu na funkcję autonomicznego układu nerwowego [2]. Warto zwrócić uwagę na niezwykle istotny wpływ układu autonomicznego na okołodobową czynność organizmu oraz równowagę somatyczno-emocjonalną. Przykładem może być obserwowana zależność pomiędzy tzw. równowagą autonomiczną a występowaniem zespołu jelita drażliwego u kobiet [3, 4]. Wykazano również bezpośredni związek pomiędzy automatycznymi reakcjami emocjonalnymi a równowagą czynnościową układu autonomicznego [5]. Jednakże zasadniczy nurt badań dotyczy funkcjonowania autonomicznego układu nerwowego w chorobach kardiologicznych i neurologicznych. Udział autonomicznego układu nerwowego w patogenezie chorób układu krążenia, a przede wszystkim nadciśnienia tętniczego, ma już swoją kilkudziesięcioletnią historię badań. Zmiany w czynności autonomicznego układu nerwowego towarzyszą chorobie Parkinsona, chorobom neurodegeneracyjnym, urazom centralnego układu nerwowego, chorobom naczyń mózgowych i stwardnieniu rozsianemu, występują również w wielu polineuropatiach, np. zespole Guillaina-Barrego, neuropatii amyloidowej, neuropatii cukrzycowej [1, 6]. Zaburzenia czynności układu autonomicznego wyrażają się wieloma objawami, wśród których wyróżnia się hipotonię ortostatyczną, nietolerancję gorąca, nieprawidłową potliwość, zaparcia, biegunkę, nietrzymanie moczu, zaburzenia seksualne, suchość oczu i jamy ustnej, zaburzenia akomodacji oraz zaburzenia przebiegów rytmów okołodobowych procesów fizjologicznych [1, 7, 8, 9].

Prawidłowa identyfikacja oraz ocena ilościowa zaburzeń funkcji autonomicznego układu nerwowego mają bardzo duże znaczenie w prawidłowej diagnostyce wielu schorzeń kardiologicznych i neurologicznych.

## Metody oceny czynnościowej AUN

Diagnostyka układu autonomicznego opiera się na licznych badaniach pomocniczych, które dzielą się ze względu na układ lub narządy, których dotyczą. Szczególnie istotne z punktu widzenia diagnostyki są próby oceniające czynność układu sercowo-naczyniowego. Zasadniczą wartością jest nieinwazyjność badań. Próby te podlegają ocenie ilościowej, a ich przeprowadzenie nie stanowi większego problemu. Istotną cechą tych prób jest powtarzalność wyników podczas kilkakrotnego wy-

konywania badań w ciągu dnia, jak i w ciągu dłuższego czasu [1]. W celu wyeliminowania błędów podczas przeprowadzania czynnościowej oceny autonomicznego układu nerwowego zaleca się, aby za każdym razem ściśle zachowywać jednakowe warunki badania. Jest to bardzo ważne kryterium obok standaryzacji, służące zobiektywizowaniu otrzymanych wyników badań. Badanie powinno być wykonywane o jednakowej porze dnia, najlepiej w godzinach przedpołudniowych; temperatura powietrza w pomieszczeniu ok. 23 °C; pacjent w dniu badania nie powinien pić kawy ani palić papierosów; wszystkie leki, mogące mieć wpływ na autonomiczny układ nerwowy, powinny być odstawione na 24 h przed badaniem; pacjent nie może być głodny, ale badanie należy wykonać najpóźniej 2-3 h od ostatniego posiłku, w celu wyeliminowania spadków poziomu wolnej glukozy we krwi [1].

### Ocena układu przywspółczulnego

Metody oceny czynności układu przywspółczulnego obejmują między innymi:

- ocenę zmienności rytmu serca podczas próby Valsalvy: w próbie tej na podstawie zmian ciśnienia tętniczego krwi i rytmu serca podczas manewru Valsalvy oceniane jest zachowanie ciągłości łuku odruchowego z baroreceptorów [1, 10];
- ocenę zmienności rytmu serca podczas głębokiego oddychania: częstotliwość rytmu serca wykazuje zmienność w zależności od trybu oddychania, jest to optymalny test do oceny wpływu nerwu błędnego na czynność serca [1];
- ocenę zmienności rytmu serca podczas aktywnej pionizacji, test 30/15: wykonanie aktywnej lub biernej pionizacji służy do oceny cholinergicznego aktywności przywspółczulnej, badanie zmienności rytmu serca w pozycji leżącej i następnie stojącej należy do podstawowych testów oceniających czynność układu autonomicznego [1, 11];
- manewr ucisku gałek ocznych: uciska gałek ocznych stosuje się w celu zdiagnozowania stopnia nadaktywności nerwu błędnego [12];
- test ucisku tętnicy szyjnej: próba ucisku zatoki tętnicy szyjnej jest stosowana w diagnostyce omdleń o różnej etiologii wówczas, gdy wyniki wcześniejszych badań wskazują na nadwrażliwość zatoki szyjnej [1, 13];
- próbę zanurzenia twarzy: w przypadku testu zanurzenia twarzy ocenie podlega przede wszystkim ramię eferentne autonomicznego łuku odruchowego [14].

### Ocena układu współczulnego

W celu oceny współczulnego układu nerwowego wykorzystuje się:

- próbę jodowo-skrobiową Minora: test ten opiera się na zjawisku zabarwienia się skrobi po zmieszaniu z jodem w obecności wody (wilgoci) na kolor ciemnognatowy; obszary pozbawione wydzielania pozostają żółtobiałe, natomiast miejsca, w których pot jest wydzielany, przybierają barwę ciemnognatową – jest to metoda jakościowa, dość problematyczna i niedająca możliwości oceny ilościowej stopnia dysfunkcji autonomicznej, obecnie ma znaczenie historyczne [1, 15];
- test z ninhydriną: odczynnik ninhydrinowy barwi selektywnie aminokwasy wydzielane z potem [1];
- test Schellonga: test ocenia zarówno czynność układu współczulnego, jak i przywspółczulnego; pomiar ciśnienia tętniczego krwi pozwala na ocenę współczulnych mechanizmów regulacyjnych, natomiast parametr częstotliwości rytmu serca wskazuje na mechanizmy przywspółczulne; ograniczenie to nie jest jednak do końca prawidłowe [1];
- próbę Valsalvy: test opiera się na wykonaniu wydłużonego, wzmożonego wydechu przy jednoczesnym zablokowaniu ujęć wydychanego powietrza przez ok. 15 s, w celu wytworzenia podwyższonego ciśnienia w klatce piersiowej [1, 16];
- test izometrycznego napinania mięśni: służy do oceny współczulnej regulacji układu sercowo-naczyniowego;

utrzymanie izometrycznego skurczu mięśni powoduje zmianę ciśnienia tętniczego krwi, częstości akcji serca i wydolności serca jako pompy [1, 16];

- test lodowatej wody: odruchowy skurcz naczyń krwionośnych pod wpływem bodźca o niskiej temperaturze wywołuje pobudzenie układu współczulnego, co skutkuje wzrostem ciśnienia tętniczego krwi;
- próbę czynnej lub biernej pionizacji: podobnie jak w ocenie układu przywspółczulnego, wykonuje się pionizację pacjenta, której towarzyszy szereg mechanizmów swoistych dla czynności układu autonomicznego; protokoły i metodyka badania uzależnione są od celu wykonania próby pionizacyjnej [1, 17].

Na podstawie dostępnych badań przyjęto, iż zaburzenia czynności układu autonomicznego rozpoznaje się wówczas, gdy dwa lub więcej testów wykazuje wyniki nieprawidłowe [1].

Jak wynika z opisów powyżej przedstawionych testów czynnościowych układu autonomicznego, część z nich nie jest możliwa do stosowania w codziennej praktyce klinicznej. Dlatego też metody oceny są wciąż udoskonalane, a dzięki rozwojowi technik badawczych istnieje możliwość konstruowania urządzeń umożliwiających szerszy zakres oceny czynnościowej oraz analizę zebranych danych.

### System Task Force Monitor®

System Task Force Monitor® (fot. 1) służy do nieinwazyjnych badań układu krążenia oraz czynnościowej oceny układu autonomicznego. System składa się z następujących podjednostek: urządzenie do ciągłego pomiaru ciśnienia krwi, elektrokardiograf (EKG), kardiograf impedancyjny (IKG), urządzenie do oscylometrycznego pomiaru ciśnienia oraz pulsoksymetr.



Fot. 1 Urządzenie Task Force Monitor®; pacjent w fazie spoczynkowej przed wykonaniem pionizacji

Urządzenie do ciągłego pomiaru ciśnienia krwi (contBP) działa na zasadzie pomiaru ciśnienia środowiska okołonaczyniowego w kończynie. Odpowiada ono ciśnieniu krwi w naczyniu, przenoszonemu przez jego ścianę do otoczenia [18]. Stosuje się mankiety wypełnione powietrzem, z kontrolowanym ciśnieniem i pletyzmografem, zakładanym na środkowy palec palca wskazującego i środkowego. Zakres pomiaru mieści się w granicach 50-250 mm/Hg. Pomiar jest wykonywany z dokładnością do  $\pm 5$  mm/Hg.

Elektrokardiograf (EKG) rejestruje elektryczną czynność mięśnia sercowego z powierzchni klatki piersiowej w postaci różnic potencjałów pomiędzy dwiema elektrodami, co graficznie odczytywane jest w formie krzywej elektrokardiogra-

ficznej. System Task Force Monitor® dokonuje pomiaru przez zastosowanie dwukanałowego odprowadzenia bipolarnego EINTHOVEN I i EINTHOVEN II. Wskazywana częstość akcji serca leży w przedziale od 30 do 150 uderzeń/minutę. Wewnętrzny generator kalibracyjny automatycznie kalibruje EKG przed każdym pomiarem.

Kardiograf impedancyjny (IKG) pozwala ocenić parametry hemodynamiczne układu krążenia. Kardiografia impedancyjna to metoda, która wykorzystuje zmiany impedancji elektrycznej do pomiarów zmian objętości krwi wewnątrz naczynia. Zmiany impedancji odczytywane są przez 3 elektrody paskowe. Urządzenie mierzy i analizuje pochodną impedancji  $dZ/dt: \pm 10 \Omega/s$ . Wewnętrzne generatory kalibracyjne kalibrują IKG automatycznie przed każdym pojedynczym pomiarem.

Urządzenie do oscylometrycznego pomiaru ciśnienia krwi (oscBP) działa według zasady oscylacyjnej, rejestrując zmiany ciśnienia przenoszone przez tętno w obrębie uciśniętego przez mankieta ramienia. Zakres pomiaru mieści się w granicach 50-250 mm/Hg. Pomiar jest wykonywany z dokładnością do  $\pm 5$  mm/Hg. Odstęp czasowy pomiędzy pomiarami może być nastawiany indywidualnie poprzez oprogramowanie. Najkrótszym możliwym odstępem jest 1 min.

Pulsoksymetr to urządzenie elektroniczne, służące do nieinwazyjnego pomiaru saturacji hemoglobiny tlenem. Działa na zasadzie pomiaru pochłaniania przez czerwone krwinki w naczyniach włosowatych promieniowania o dwóch różnych długościach fali – czerwonego i podczerwonego. Na podstawie pomiaru oblicza się stopień nasycenia hemoglobiny tlenem (saturacji krwi-SpO<sub>2</sub>). Mierzone jest cząsteczkowe nasycenie tlenem w zakresie 70-100%, które jest obliczane po każdym uderzeniu serca z sygnału EKG. Dokładność pomiaru wynosi  $\pm 3\%$  SpO<sub>2</sub>.

## Zmienne badane za pomocą systemu Task Force Monitor®

- RR-Interval (Interwał RR) – RRI:  
Interwał RR [ms] oznacza odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi załamaniami R w EKG.
- Heart rate (częstość akcji serca) – HR:  
Częstość akcji serca jest liczbą uderzeń serca w czasie minuty.
- Blood Pressure (ciśnienie krwi skurczowe, rozkurczowe, średnie), ciśnienie pulsu (PP):  
Wartości te [mmHg] są obliczane z krzywej ciśnienia, rejestrowanej w sposób ciągły metodą nieinwazyjną (oscylometryczną). Jak zaznaczono wcześniej, wartości bezwzględne są korygowane poprzez pomiar metodą Korotkowa, w odstępach co cztery minuty.
- Z<sub>0</sub> [Ohm] – jest impedancją klatki piersiowej, wyliczoną z sygnału kardiogramu impedancyjnego IKG.
- Left Ventricular Ejection Time (LVET) (czas wyrzutu lewej komory):  
LVET [ms] jest czasem pomiędzy otwarciem (B) i zamknięciem (X) zastawki aorty (na podstawie IKG).
- PreEjection Period (PEP) (okres przedwyrzutowy):  
PEP [ms] jest czasem pomiędzy załamaniem R w EKG i otwarciem zastawki aorty (z IKG).
- Stroke Volume SV, Stroke Index (SI) (objętość wyrzutu serca):  
SV jest objętością krwi [ml], którą lewa komora wyrzuca do aorty przy każdym uderzeniu serca. Wskaźnik skurczowy – Stroke Index SI jest to objętość wyrzutowa indeksowana w stosunku do powierzchni ciała (*Body Surface Area* – BSA) pacjenta.
- Cardiac Output – CO, Cardiac Index – CI (pojemność minutowa serca, wskaźnik sercowy):  
CO jest iloczynem objętości wyrzutowej i częstości pracy serca [l/min]. CI jest to pojemność minutowa, indeksowana w stosunku do powierzchni (BSA) ciała pacjenta.
- Total Peripheral Resistance TPR i TPR Index (całkowity opór obwodowy i wskaźnik całkowitego oporu obwodowego):

TPR jest opornością [ $\text{dyna} \cdot \text{sec}/\text{cm}^5$  lub  $\text{Mpa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ] małych i dużych naczyń, do których lewa komora pompuje krew. Domyślne nastawienie ciśnienia w żyłę centralnej (CVP) wynosi 3 mm Hg. TPRI [ $\text{dyna} \cdot \text{sec} \cdot \text{m}^2/\text{cm}^5$  lub  $\text{Mpa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ ] indeksowany jest względem BSA pacjenta.

- Thoracic Fluid Content – TFC (ilość płynu w klatce piersiowej):  
TFC [l/ohm] jest całkowitą objętością płynu w klatce piersiowej.
- Index of Contractility – IC (wskaźnik kurczliwości).
- Acceleration Index – ACI (wskaźnik przyspieszenia):  
ACI [ $100/s^2$ ] jest maksymalnym przyspieszeniem sygnału impedancji (2. pochodna) pomiędzy otwarciem zastawki aorty i  $dZ/dt_{\text{max}}$  (wyznaczone z IKG).
- Systolic Time Ratio – STR (współczynnik podokresów skurczowych):  
STR [%] jest to stosunek PEP do LVET.
- Ejection Rate – ER (współczynnik wyrzutowy):  
ER [%] jest stosunkiem LVET do interwału RR.
- Left Ventricular Work Index – LVWI (wskaźnik pracy lewej komory):  
LVWI [ $\text{mmHg} \cdot \text{l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ ] reprezentuje pracę lewej komory dla każdego uderzenia serca i odniesiony jest do BSA. PAOP jest to ciśnienie okluzji tętnicy płucnej.
- Mean Systolic Ejection Rate – MSER (średnia prędkość wyrzutu):  
MSER [ml/s] jest stosunkiem SV do LVET.
- Rapid Ejection Period – REP (podokres szybkiego wyrzutu):  
REP [s] jest czasem pomiędzy załamaniem R w EKG i  $dZ_{\text{max}}$  i reprezentuje parametr kurczliwości.
- Heather Index – HI (wskaźnik Heather'a):  
HI [ $1/s^2$ ] reprezentuje dodatnią inotropię serca.
- Analiza widmowa częstości akcji serca i zmienności ciśnienia krwi (HRV i BPV):  
Aktywność nerwu błędnego reprezentowana jest przez pasmo wysokich częstotliwości (pasmo HF 0,15-04 Hz) zmienności częstości pracy serca – HRV, zaś napięcie układu współczulnego przez pasmo niskich częstotliwości (pasmo LF 0,04-0,15 Hz). Analiza widma mocy jest analizą częstości interwału RR (RRI) i sygnału ciśnienia skurczowego i/lub rozkurczowego (sBP i dBp) z uderzenia serca na uderzenie (tachogram). Sygnały te są zatem transformowane z domeny czasu do domeny częstotliwości. W piśmiennictwie opisano kilka metod. Program systemu Task Force Monitor® używa algorytmu adaptacyjnego autoregresyjnego parametru (AAR).
- Czułość odruchu z baroreceptorów tętnicznych (BRRS):  
Baroreceptory wykrywają zmianę ciśnienia tętniczego krwi i przesyłają informację o wielkości zmiany do centralnego układu nerwowego. Reaktywność odruchu z baroreceptorów, w postaci stosunku odruchowej zmiany długości interwału RR do wywołującej ją zmiany ciśnienia tętniczego określana jest za pomocą metody sekwencyjnej. Oddzielnie analizowane są sekwencje narastające (wzrastające ciśnienie skurczowe krwi, przedłużony interwał RR) i opadające sekwencje (malejące ciśnienie skurczowe i skracany interwał RR). Progi zdefiniowane są z dokładnością 6 ms (interwał RR) i 1 mm/Hg (ciśnienie krwi).

## Przykładowe praktyczne zastosowanie systemu Task Force Monitor®

Przykładowym zastosowaniem systemu Task Force Monitor®, które przedstawiono w niniejszym opracowaniu, jest analiza czynnościowa układu sercowo-naczyniowego oraz układu autonomicznego u osoby, u której wystąpiło omdlenie o charakterze neurokardiogenym. Osobą badaną był młody mężczyzna w wieku 19 lat (wzrost: 176 cm, waga: 65 kg, BMI: 21), u którego wcześniej nie stwierdzano żadnej choroby o etiologii kardio- lub neurogennej. Zasadniczą częścią badania jest wykonanie pionizacji pacjenta z uży-

ciem stołu pionizacyjnego – *tilt table*, po kilkuminutowym okresie przygotowawczym. Pacjent został w pełni poinformowany o przebiegu badania, przed jego wykonaniem pozostawał w pozycji spoczynkowej przez co najmniej 40 min. Badanie składało się z pięciu faz: I – faza spoczynkowa przed pionizacją, czas trwania ok. 5 min; II – faza pionizacji do kąta 80°, czas trwania ok. 20 s; III – faza przebywania w pozycji pionowej, czas trwania w tym przypadku wyniósł ok. 10 min, po tym czasie nastąpiło omdlenie pacjenta z całkowitą utratą świadomości; IV – faza powrotu do pozycji poziomej, czas trwania ok. 20 s.; V – faza ponownego przebywania w pozycji poziomej, spoczynkowej czas trwania 15-20 min.

Podczas badania przeprowadzono:

- nieinwazyjny ciągły pomiar ciśnienia krwi *beat to beat*, z automatyczną korekcją względem pomiaru ciśnienia krwi metodą Korotkowa, w celu określenia wartości bezwzględnych;
- nieinwazyjną ocenę objętości wyrzutowej serca i pojemności minutowej serca dla każdego uderzenia serca;
- ocenę całkowitego oporu obwodowego;
- ocenę regulacji inotropowej serca;
- analizę w czasie rzeczywistym napięcia układu współczulnego i nerwu błędnego, kalkulowaną z częstości akcji serca i zmienności ciśnienia krwi;
- analizę reaktywności odruchu z baroreceptorów tętnicznych.

Tabela 1 Statystyka podstawowa parametrów zmienności rytmu serca, systolicznego, diastolicznego oraz skorygowanego ciśnienia średniego krwi, mierzone metodą ciągłą; okres pomiaru obejmuje czas pomiędzy dwoma interwencjami

	RRI [ms]	HR [bpm]	sBP [mmHg]	dBP [mmHg]	mBP [mmHg]
<b>faza I – spoczynkowa: czas trwania 5 min</b>					
N	426	426	426	426	426
Min	599,333	63,601	117,234	69,751	87,449
Max	943,375	100,111	132,098	86,086	101,278
Mean	707,118	85,032	125,067	76,654	93,15
<b>faza II – pionizacja: czas trwania 21 s</b>					
N	33	33	33	33	33
Min	576,333	82,868	121,596	75,756	92,217
Max	724,042	104,106	139,244	108,222	117,976
Mean	629,808	95,661	127,407	87,401	100,671
<b>faza III – pion: czas trwania 10 min</b>					
N	1159	1159	1159	1159	1159
Min	415,083	57,177	71,107	44,118	55,295
Max	1049,375	144,549	155,78	115,868	129,454
Mean	518,749	117,171	129,93	90,758	104,302
<b>faza IV – powrót do poziomu: czas trwania 19 s</b>					
N	26	26	25	25	25
Min	555,708	68,647	70,692	43,492	54,234
Max	874,042	107,97	83,655	47,878	60,62
Mean	738,644	82,643	76,185	45,08	56,463
<b>faza V – spoczynkowa: czas trwania 10 min</b>					
N	827	827	827	827	827
Min	553	64,865	87,584	49,964	62,533
Max	925	108,499	133,049	76,956	96,849
Mean	729,987	82,664	114,688	67,246	85,094

Tabela 2 Statystyka podstawowych parametrów sercowych oraz całkowitego oporu naczyniowego

	SV [ml]	SI [ml/m <sup>2</sup> ]	CO [l/min]	CI [l/(min*m <sup>2</sup> )]	TPR [dyne*s/cm <sup>5</sup> ]
<b>faza I – spoczynkowa: czas trwania 5 min</b>					
N	425	425	425	425	425
Min	65,342	39,363	4,645	2,798	955,525
Max	76,459	46,06	7,155	4,31	1528
Mean	72,261	43,531	6,145	3,702	1176,79
<b>faza II – pionizacja: czas trwania 21 s</b>					
N	33	33	33	33	33
Min	60,908	36,692	5,479	3,301	1046,15
Max	73,453	44,249	6,987	4,209	1496,315
Mean	67,296	40,54	6,424	3,87	1220,506
<b>faza III – pion: czas trwania 10 min</b>					
N	1158	1158	1158	1158	1158
Min	43,772	26,369	3,819	2,301	831,151
Max	73,245	44,124	7,921	4,772	1732,068
Mean	57,908	34,885	6,754	4,069	1202,896
<b>faza IV – powrót do poziomu: czas trwania 19 s</b>					
N	24	24	24	24	23
Min	60,491	36,441	4,588	2,764	649,488
Max	70,935	42,732	6,887	4,149	1004,671
Mean	66,132	39,839	5,499	3,313	782,487
<b>faza V – spoczynkowa: czas trwania 10 min</b>					
N	819	819	819	819	819
Min	59,457	35,818	4,433	2,67	684,502
Max	90,558	54,554	7,391	4,452	1614,7
Mean	71,049	42,801	5,875	3,539	1130,138

HR – częstość akcji serca (60-90 bpm)

RRI – interwał RR, odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi załamkami R w EKG (660-1000 ms)

sBP – skorygowane ciśnienie skurczowe mierzone metodą ciągłą (90-129 mmHg)

dBP – skorygowane ciśnienie rozkurczowe mierzone metodą ciągłą (50-84 mmHg)

mBP – skorygowane ciśnienie średnie mierzone metodą ciągłą (<100 mmHg)

SV – objętość wyrzutowa serca (60-120 ml)

SI – wskaźnik wyrzutowy serca (30-80 ml/m<sup>2</sup>)

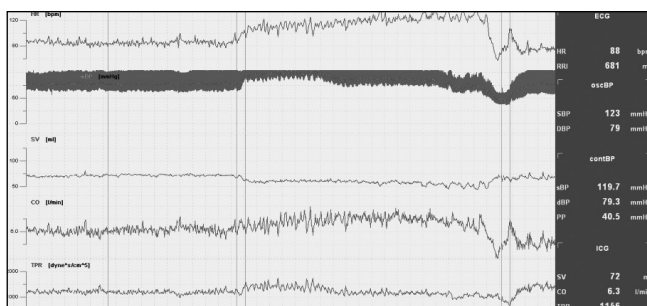
CO – objętość minutowa serca (4-8 L/min)

CI – wskaźnik sercowy (2,5-4,5 L/min/m<sup>2</sup>)

TPR – całkowita oporność obwodowa (900-1200 dyn\*s/cm<sup>5</sup>)

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach i na rysunkach. Część wyników dotyczy uśrednionych danych w obrębie całej interwencji (fazy) badania, natomiast w dalszej części przedstawiono również wartości parametrów hemodynamicznych, stanu inotropowego serca oraz napięcia układu autonomicznego w czasie wystąpienia omdlenia. Takie przedstawienie uzyskanych wyników jest możliwe dzięki wyjątkowej właściwości systemu Task Force Monitor®, jaką jest rejestracja i analiza danych nie tylko w przebiegu całej interwencji, ale i na poziomie każdego cyklu serca – *beat to beat*.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono analizę parametrów zmienności rytmu serca, zmian skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi, parametrów czynnościowych mięśnia sercowego oraz całkowitego oporu naczyniowego. Dane zostały wyszczególnione poniżej, w nawiasach przedstawiono wartości prawi-



Rys. 1 Graficzne przedstawienie ważnych dla życia parametrów, widok danych beat to beat; linie czerwone oznaczają poszczególne interwencje

dlowe (spoczynkowe) zawarte w cytowanym piśmiennictwie [16, 19, 20, 21].

Rys. 1 przedstawia graficzny przebieg zmian głównych parametrów życiowych, moment omdlenia widoczny tuż przed przejściem w fazę IV. Wyraźny spadek ciśnienia krwi poprzedzony jest spadkiem częstości skurczów, zmniejszeniem objętości minutowej serca oraz nieznacznym wzrostem objętości wyrzutowej serca.

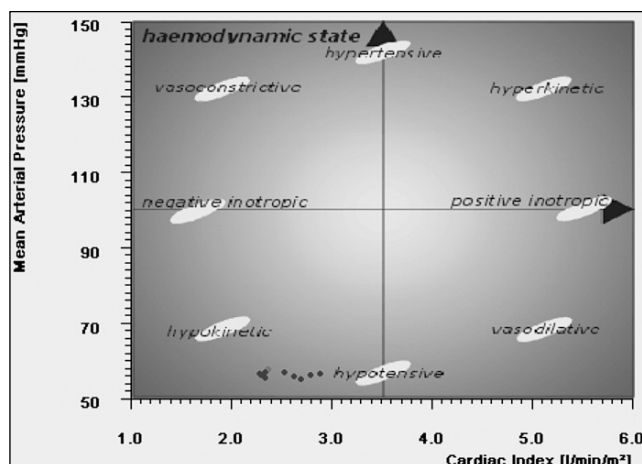
W tabelach 3 i 4 przedstawiono wartości ważnych parametrów życiowych w zakresie 10 cykli pracy serca poprzedzających wystąpienie omdlenia z całkowitą utratą świadomości.

Tabela 3 Wartości ważnych parametrów życiowych obserwowanych na przebiegu 10 cykli pracy serca poprzedzających wystąpienie omdlenia

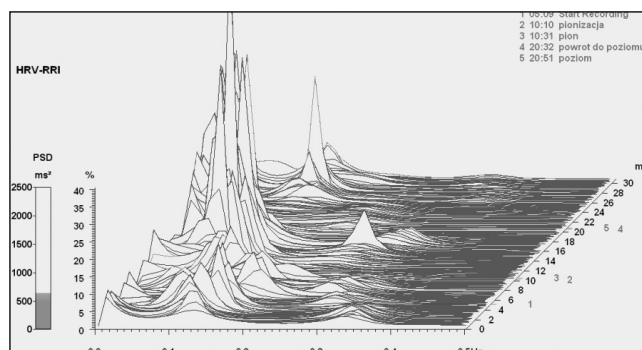
Beat	RRI [ms]	HR [bpm]	sBP [mmHg]	dBP [mmHg]	mBP [mmHg]
2025	1046,667	57,325	73,248	46,453	56,58
2026	1049,375	57,177	72,492	45,689	56,54
2027	1037	57,859	71,661	45,7	55,756
2028	977	61,412	71,196	46,141	55,403
2029	956,667	62,718	73,258	45,77	56,186
2030	865,375	69,334	73,972	46,097	56,695
2031	885	67,797	72,306	45,057	56,24
2032	918,333	65,336	75,189	44,118	56,594
2033	909,083	66,001	71,107	46,227	55,295
2034	891,417	67,309	72,292	45,568	55,413
2035	855,042	70,172	72,548	45,166	55,695

Tabela 4 Wartości podstawowych parametrów sercowych oraz całkowitego oporu naczyniowego obserwowane na przebiegu 10 cykli pracy serca poprzedzających wystąpienie omdlenia

Beat	SV [ml]	SI [ml/m <sup>2</sup> ]	CO [l/min]	CI [l/(min*m <sup>2</sup> )]	TPR [dyne*s/cm <sup>5</sup> ]
2025	69,411	41,814	4,218	2,541	1026,641
2026	65,578	39,505	3,907	2,354	1108,674
2027	66,627	40,137	3,819	2,301	1122,281
2028	66,823	40,255	3,821	2,302	1121,048
2029	67,371	40,586	3,898	2,348	1082,722
2030	73,245	44,124	4,498	2,71	931,997
2031	69,862	42,086	4,382	2,64	971,081
2032	69,235	41,708	4,8	2,892	894,858
2033	68,622	41,339	4,652	2,803	915,498
2034	67,166	40,462	4,388	2,644	977,023
2035	69,52	41,88	4,588	2,764	911,796



Rys. 2 Wykres czynności serca zarejestrowany w chwili wystąpienia omdlenia u badanego



Rys. 3 Widok 3-wymiarowego widma zmienności częstości akcji zapisanego w czasie rzeczywistym dla całego badania; poszczególne fazy badania oznaczone od 1 do 5

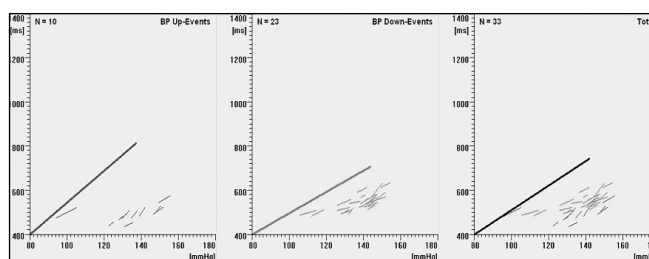
Analiza beat to beat daje możliwość obserwacji nawet niewielkich zmian wartości ocenianych parametrów.

Wykres czynności serca (wykres X-Y) wskazuje średnie ciśnienie tętnicze w funkcji wskaźnika sercowego. Linie stałego obciążenia następczego prowadzą od lewego, dolnego rogu, do prawego, górnego rogu wykresu, kiedy zmienia się obciążenie wstępne, np. objętość końcowo-rozkurczowa i/lub stan inotropowy serca.

Stan napięcia układu autonomicznego na każdej fazie badania przedstawiono w postaci analizy znormalizowanych składowych niskiej i wysokiej częstotliwości HRV.

Dalsze wyniki dotyczyły analizy statystycznej sekwencji odruchu z baroreceptorów, wykrytych metodą sekwencyjną. Podobnie jak w poprzednich analizach, każdy blok statystyczny odpowiada fazie pomiaru, zdefiniowanej przez 2 interwencje. Narastająca sekwencja odruchu z baroreceptorów („sekwencja baroreceptora”) występuje wtedy, jeżeli w ciągu co najmniej trzech następujących po sobie uderzeń serca wartość ciśnienia skurczowego wzrasta i interwał RR jednocześnie zwiększa się.

System Task Force Monitor® umożliwia określenie czułości baroreceptorów – spontanicznej aktywności baroreceptorów określanej z użyciem metody sekwencyjnej, na każdym etapie badania. Narastające sekwencje (wzrastające skurczowe ciśnienie krwi, przedłużony interwał RR) i opadające sekwencje (opadające skurczowe ciśnienie krwi, skrócony interwał RR) przedstawione są indywidualnie. Na osi x wykresu wskazywane jest ciśnienie skurczowe krwi w [mmHg], na osi y wskazywany jest interwał RR w [ms]. Gruba, czarna linia na wykresie przedstawia średnią gradientu wszystkich wykrytych „sekwencji baroreceptora”. Liczba wyświetlanych sekwencji zależy od pozycji sygnałów trendu i wzrasta wraz z kontynuowanym pomiarem.



Rys. 4 Wykryte sekwencje baroreceptorów pod koniec III fazy badania, tuż przed wystąpieniem omdlenia u badanego

**BP Up-Events** – narastające sekwencje baroreceptorów  
**BP Down-Events** – malejące sekwencje baroreceptorów  
**Total** – wszystkie wykryte zdarzenia akcji baroreceptorów całej fazy (pomiędzy dwoma interwencjami) badania

## Podsumowanie

Przedstawione wyniki wskazują na możliwość praktycznego zastosowania opisanej metody do wyjaśnienia zjawisk hemodynamicznych zachodzących w organizmie człowieka. Na szczególne podkreślenie zasługują następujące cechy systemu Task Force Monitor®:

Tabela 5 Wartości statystyczne zmienności znormalizowanych składowych niskiej i wysokiej częstotliwości HRV dla poszczególnych faz badania

	LFnu-RRI [%]	HFnu-RRI [%]
<b>faza I – spoczynkowa: czas trwania 5 min</b>		
N	413	413
Min	26,533	23,287
Max	76,713	73,467
Mean	47,871	52,129
<b>faza II – pionizacja: czas trwania 21 s</b>		
N	33	33
Min	66,47	26,574
Max	73,426	33,53
Mean	70,771	29,229
<b>faza III – pion: czas trwania 10 min</b>		
N	1159	1159
Min	54,531	0,644
Max	99,356	45,469
Mean	79,149	20,851
<b>faza IV – powrót do poziomu: czas trwania 19 s</b>		
N	26	26
Min	68,831	15,815
Max	84,185	31,169
Mean	74,886	25,114
<b>faza V – spoczynkowa: czas trwania 10 min</b>		
N	827	827
Min	48,089	8,19
Max	91,81	51,911
Mean	63,311	36,689

**LFnu-RRI** – znormalizowana składowa niskiej częstotliwości HRV (54 +/- 4 %)

**HFnu-RRI** – znormalizowana składowa wysokiej częstotliwości HRV (29 +/- 3 %)

- nieinwazyjność badań,
- możliwość analizy zmian zachodzących dynamicznie – odpowiadających kolejnym cyklom pracy serca,
- dokładność pomiaru poszczególnych parametrów i możliwość dalszej, wielokierunkowej analizy zarejestrowanych sygnałów biologicznych. ■

Tabela 6 Podstawowa analiza statystyczna wykrytych sekwencji odruchu z baroreceptorów dla wszystkich faz badania

	Up-Events	Down-Events	Total
<b>faza I – spoczynkowa: czas trwania 5 min</b>			
Ramp Count	13	11	24
Event Count	5	5	10
Slope Mean	14,263	12,553	13,408
Slope SD	8,049	5,711	6,641
Slope Min	3,987	5,526	3,987
Slope Max	24,987	18,639	24,987
<b>faza II – pionizacja: czas trwania 21 s</b>			
Ramp Count	3	1	4
Event Count	1	0	1
Slope Mean	8,219		8,219
Slope SD			
Slope Min	8,219		8,219
Slope Max	8,219		8,219
<b>faza III – pion: czas trwania 10 min</b>			
Ramp Count	75	83	158
Event Count	10	23	33
Slope Mean	7,252	4,847	5,576
Slope SD	2,699	2,398	2,695
Slope Min	4,124	1,789	1,789
Slope Max	12,106	11,536	12,106
<b>faza IV – powrót do poziomu: czas trwania 19 s</b>			
Ramp Count	2	0	2
Event Count	2	0	2
Slope Mean	3,948		3,948
Slope SD	0,428		0,428
Slope Min	3,645		3,645
Slope Max	4,251		4,251
<b>faza V – spoczynkowa: czas trwania 10 min</b>			
Ramp Count	38	32	70
Event Count	14	11	25
Slope Mean	16,937	7,538	12,802
Slope SD	11,685	2,155	9,928
Slope Min	2,345	4,343	2,345
Slope Max	48,256	11,078	48,256

**Ramp Count** – liczba odcinków narastających w systolicznym ciśnieniu krwi

**Event Count** – liczba „sekwencji baroreceptora” (równoczesne zmiany w sBP i RRI)

**Slope Min** – najniższe nachylenie BRS wykryte [ms/mmHg]

**Slope Max** – najwyższe nachylenie BRS wykryte [ms/mmHg]

**Slope Mean** – średnie nachylenie BRS wszystkich wykrytych „sekwencji baroreceptora” [ms/mmHg]

**Slope SD** – odchylenie standardowe wszystkich wykrytych „sekwencji baroreceptora” [ms/mmHg]



## Literatura

1. R. Podemski i in.: *Diagnostyka autonomicznego układu nerwowego i zaburzeń snu*, Urban&Partner, Wrocław 2006.
2. S. Konturek: *Fizjologia człowieka*, tom IV; Neurofizjologia, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1998.
3. M. Heitkemper, M. Jarrett, K. Cain i wsp.: *Autonomic Nervous System Function in Women with Irritable Bowel Syndrome*, Digestive Diseases and Sciences, vol. 46, 2001, s. 1276-1284.
4. H. Pawlak, J. Błaszczuk: *Tonizujący wpływ masażu medycznego na układ autonomiczny nerwowy w przypadkach jelita drażliwego*, Family Medicine & Primary Care Review, vol. 9, 2007, s. 127-130.
5. I.B. Mauss, S.A. Bunge, J.J. Gross: *Automatic Emotion Regulation*, Social and Personality Compass, vol. 1, 2007 s. 146-167.
6. P. J. Schwarz: *The autonomic nervous system and sudden death*. European Heart Journal, vol. 19, 1998, s. 72-80.
7. W.Z. Traczyk, A. Trzebski: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
8. S. Konturek i in.: *Fizjologia człowieka. Podręcznik dla studentów medycyny*, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2007.
9. N. Ishii, M. Dakeishi, M. Sasaki i in.: *Cardiac autonomic imbalance in female nurses with shift work*, *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, vol. 122, 2005, s. 94-99.
10. R. Bannister, C.F. Mathias: *Introduction and classification of autonomic disorders. A textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system*, Oxford University Press, New York 1999, s. 169-195.
11. J.M. Ravits: *Autonomic nervous system testing*, Muscle Nerve, vol. 20, 1997, s. 919-937.
12. P. Flachsencker, W. Mullges, P. Wermuth i wsp.: *Eye-ball pressure testing in the evaluation of serious bradyarrhythmias in Guillain-Barr syndrome*, Neurology, vol. 47, 1996, s. 102-108.
13. M. Brignole, C. Menozzi: *Methods other than tilt testing for diagnosing neurocardiogenic (neurally mediated) syncope*, Pacing, vol. 20, 1997, s. 795-800.
14. C. Collet, R. Roure, G. Delhomme: *Autonomic nervous system responses as performance indicators among volleyball players*, European Journal of Applied Physiology, vol. 80, 1999, s. 41-51.
15. R. Bannister, C. F. Mathias: *Introduction and classification of autonomic disorders. A textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system*, Oxford University Press, New York 1999, s. 196-210.
16. T. Schwalm: *Modern Tilt Table Testing and Non-Invasive Monitoring. Traditional and Innovative Applications in Theory and Practice*, ABW Wissenschaftsverlag GmbH, Berlin 2006.
17. J.G. McLeod, R.R. Tuck: *Disorders of the autonomic nervous system: Part 1. Pathophysiology and clinical features*, Annals of Neurology, vol. 21, 1987, s. 419-430.
18. J. Penaz, W. Voig, W. Teihmann: *Beitrag zur fortlaufenden indirekten Blutdruckmessung*, Zeitschrift der gesamten inneren Medizin, vol. 31, 1976, s. 1030-1033.
19. S.L. Dawson, T.G. Robinson, J.H. Youhde i wsp.: *The reproducibility of cardiac baroreceptor activity assessed non-invasively by spectral and sequence techniques*, Clinical Autonomic Research, vol. 7, 1997, s. 279-284.
20. A. Kardos, G. Watterich, R. de Menezes i wsp.: *Determinants of spontaneous baroreflex sensitivity in a healthy working population*, Hypertension, vol. 37, 2001, s. 911-916.
21. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, *Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use*, European Heart Journal, vol. 17, 1996, s. 354-381.

otrzymano / received: 16.07.2008 r.  
zaakceptowano / accepted: 08.09.2008 r.