

# Powiązanie wrażliwości baroreceptorów z wydolnością fizyczną na podstawie oceny żołnierzy o różnym poziomie wytrenowania

Association of baroreflex sensitivity and physical fitness based on assessment of soldiers with different level of physical fitness

**Agnieszka Wójcik, Grzegorz Gielera, Paweł Krześciński, Adam Stańczyk, Katarzyna Piotrowicz**

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM w Warszawie; kierownik: dr hab. n. med. Paweł Krześciński

**Streszczenie.** Wstęp. Regularny wysiłek fizyczny zwiększa aktywność części przywspółczulnej autonomicznego układu nerwowego (AUN), przez co zmienia równowagę współczulno-przywspółczulną na korzyść tej drugiej. Cel. Ocena wrażliwości baroreceptorów (BRS) w spoczynku oraz w trakcie testów prowokacyjnych w grupach żołnierzy o przeciętnej (PW) i ponadprzeciętnej wydolności fizycznej (PPW) w celu identyfikacji parametrów BRS różnicujących te grupy. Metody. Przebadano 70 żołnierzy z PW oraz 124 zdrowych żołnierzy z PPW w wieku 18–45 lat. Oceniono BRS w spoczynku i w trakcie testów prowokacyjnych: kontrolowanego oddechu (CBT), zacisku dłoni (HGT) oraz testu pochyleniowego (TT). Wyniki. Najwyraźniejsze różnice międzygrupowe dotyczyły oceny spoczynkowej BRS: w grupie PPW zarejestrowano większą wartość alfa LF oraz alfa HF. W wyniku CBT oraz HGT nie zarejestrowano istotnych statystycznie różnic międzygrupowych. W wyniku TT w porównaniu międzygrupowym w PPW stwierdzone różnice były subtelne. Wnioski. Ocena AUN metodą BRS pozwala różnicować osoby o różnym poziomie wytrenowania. Najwyraźniejsze różnice zaobserwowano w zakresie parametrów BRS rejestrowanych w spoczynku. Ocena BRS w trakcie testów prowokacyjnych nie wykazuje na tyle istotnych różnic międzygrupowych, aby można było uznać ich wykonywanie za uzasadnione.

**Słowa kluczowe:** BRS, wrażliwość baroreceptorów, wydolność fizyczna, autonomiczny układ nerwowy, test kontrolowanego oddechu, test zacisku dłoni, test pochyleniowy

**Abstract.** Introduction. Regular physical activity increases the activity of parasympathetic nervous system, changing the sympathetic–parasympathetic balance towards the latter. Aim. The assessment of baroreflex sensitivity (BRS) at baseline and during provocative tests in groups of soldiers with average (PW) and above average (PPW) physical fitness in order to identify the BRS parameters that differentiate the two groups. Methods. 70 soldiers with PW and 124 healthy soldiers with PPW aged 18–45 years underwent the test. An assessment of BRS at baseline and during provocative tests: controlled breathing test (CBT), handgrip test (HGT) and tilt test (TT) were performed. Results. The most distinguished inter-group differences concerned baseline BRS assessment. Alfa LF and alfa HF values were higher in the PPW group. During CBT and HGT, no statistically significant differences were noted between the groups. During TT, the differences in PPW group were subtle. Conclusions. The assessment of AUN with BRS enables to differentiate individuals with different level of physical fitness. The most distinguished differences in BRS parameters were registered at baseline. The assessment of BRS during provocative tests does not show significant inter-group differences enough to consider its performance justified.

**Key words:** autonomic nervous system, baroreflex sensitivity, BRS, controlled breathing test, handgrip test, physical fitness, tilt test

Nadesłano: 17.07.2019. Przyjęto do druku: 13.12.2019

Nie zgłoszono sprzeczności interesów.

Lek. Wojsk., 2020; 98 (1): 26–32

Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

#### Adres do korespondencji

dr n. med. Agnieszka Wójcik

Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych CSK MON WIM

ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa

tel. +48 601 590 681

e-mail: aga.narkun@gmail.com

## Wstęp

Utrzymywanie homeostazy organizmu poprzez regulację interakcji pomiędzy układem oddechowym a układem krążenia jest jednym z kluczowych zadań autonomicznego układu nerwowego (AUN). Odbyna się za pomocą łuków odruchowych, które mają swój początek w obszarze przednim brzuszno-bocznej części rdzenia przedłużonego dla części współczulnej oraz w obszarze tylnym brzuszno-przyśrodkowej części rdzenia przedłużonego dla części przywspółczulnej. Regularny wysiłek fizyczny zwiększa aktywność części przywspółczulnej AUN, przez co zmienia równowagę współczulno-przywspółczulną na korzyść tej drugiej w spoczynku oraz w trakcie obciążenia [1-2]. W zatokach szyjnych oraz w łuku aorty znajdują się baroreceptory odpowiedzialne za dostosowywanie funkcji układu krążenia do zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych. Ocena wrażliwości baroreceptorów (*baroreflex sensitivity* – BRS) w spoczynku oraz w trakcie testów prowokacyjnych jest uznaną metodą pośrednio oceniającą funkcję AUN. Poprawa BRS związana jest z korzystnym rokowaniem u osób z chorobami układu krążenia [3-4], a jedną z uznanych metod jej osiągnięcia jest regularna aktywność fizyczna [5-6]. Brak jasno zdefiniowanych warunków oceny BRS o udowodnionej wartości diagnostycznej ogranicza jednak zastosowanie tej metody w codziennej praktyce.

## Cel pracy

Celem badania była ocena BRS w spoczynku oraz w trakcie autonomicznych testów prowokacyjnych u zdrowych ochotników (żołnierzy) o ponadprzeciętnej i przeciętnej wydolności fizycznej oraz wskazanie parametrów BRS różnicujących obydwie grupy. Wyszukiwano hipotezę, że osoby o ponadprzeciętnej wydolności fizycznej mają większą BRS niż ci o mniejszej wydolności, a także że możliwa jest identyfikacja parametrów i warunków wykonania oceny BRS użytecznych w codziennej praktyce.

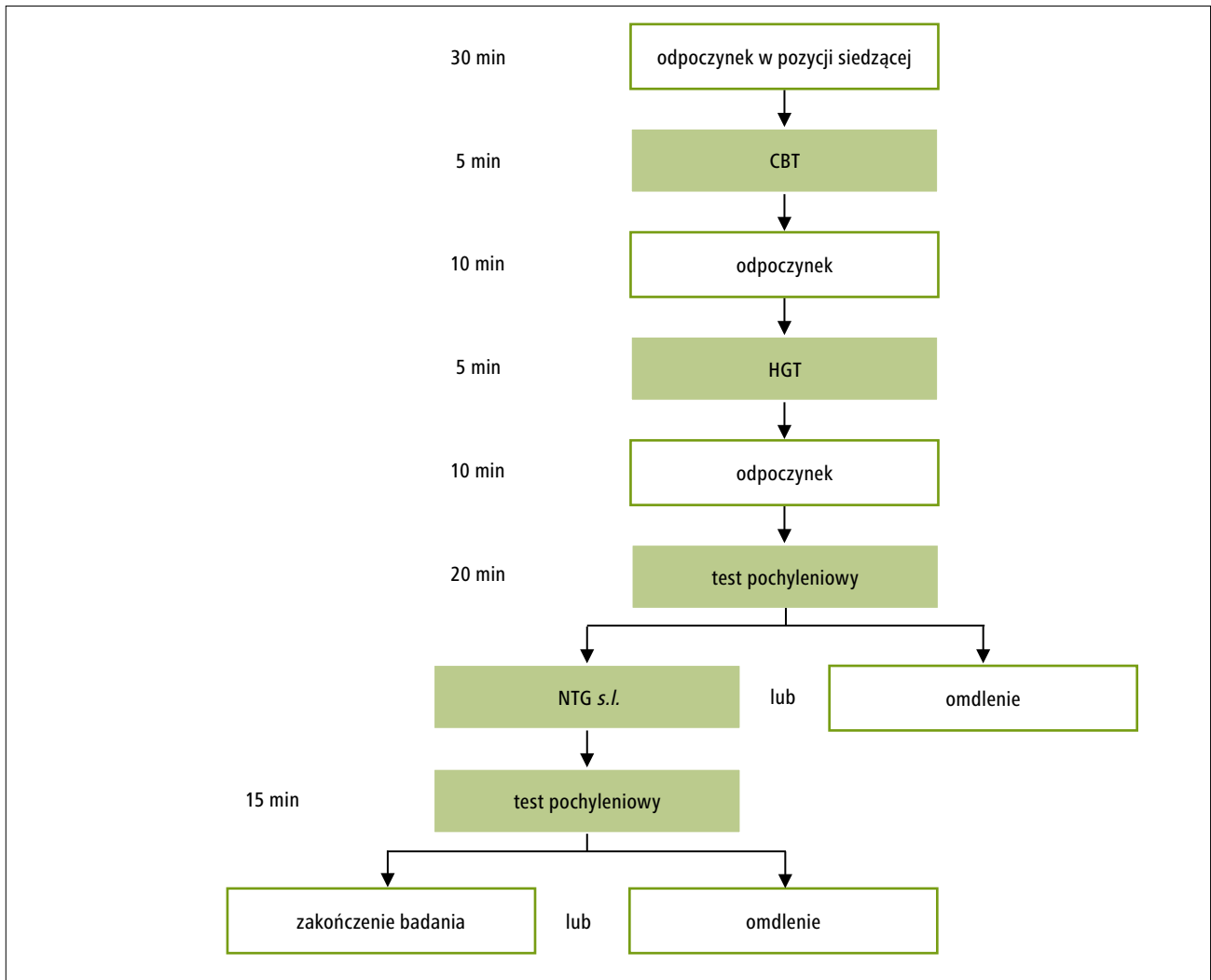
## Materiał i metody

Grupę badaną stanowiło 124 żołnierzy o ponadprzeciętnej wydolności fizycznej (PPW), służących w jednostkach specjalnych narażonych na służbę w warunkach o szczególnym obciążeniu psychofizycznym, uczestniczących w misjach wojskowych poza terenem kraju. Grupę o przeciętnej wydolności fizycznej (PW) stanowiło 70 żołnierzy z regularnych jednostek. Wszyscy badani mieli 25–45 lat, byli mężczyznami i deklarowali się jako osoby zdrowe. Kryteriami wyłączenia z badania były istniejące choroby układu krążenia, oddechowego i nerwowego oraz układu ruchu uniemożliwiające wykonanie

badan zgodnie z protokołem. Wszyscy uczestnicy badania byli poinformowani o celu badania i sposobie jego realizacji oraz podpisali świadomą zgodę na udział w badaniu. Badanie zatwierdziła Komisja Bioetyki Wojskowego Instytutu Medycznego.

Szczegółowy opis badanej grupy przedstawiono w rozprawie doktorskiej pierwszej autorki pracy [7]. Protokół badania obejmował badanie przedmiotowe i podmiotowe ukierunkowane na identyfikację czynników ryzyka chorób układu sercowo-naczyniowego (wywiad przedwczesnego występowania chorób układu krążenia w rodzinie, otyłość, otyłość brzuszna, nikotynizm, wskaźnik masy ciała wyliczany na podstawie pomiarów masy ciała i wzrostu). Ciśnienie skurczowe i rozkurczowe zmierzono zgodnie z wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego [8] w cichym pomieszczeniu, w pozycji siedzącej, po 5 minutach odpoczynku. U każdego badanego wykonano ergospirometrię (ZAN 680 Messgerate GmbH; Niemcy), poprzedzoną oceną wymiany gazów oddechowych w celu wykluczenia obturacji dróg oddechowych. Następnie każdy uczestnik badania wykonał próbę wysiłkową na cykloergometrze według protokołu ramp, połączoną z symultaniczną oceną gazów oddechowych, zmian elektrokardiograficznych oraz pomiarami ciśnienia tętniczego. Po przeanalizowaniu wielu parametrów i wykresów dokonano oceny poziomu wydolności fizycznej badanych w odniesieniu do wartości referencyjnych. W niniejszej pracy ocenie poddano następujące parametry: maksymalne zużycie tlenu w odniesieniu do wartości należnych (% pred  $VO_2$  peak) oraz uzyskane obciążenie pracą w odniesieniu do wartości należnych (% pred LOAD).

Następnie oceniono BRS w funkcji czasu oraz częstotliwości w spoczynku i w trakcie testów prowokacyjnych: kontrolowanego oddechu z częstotliwością 15 oddechów/min, wykazującego wpływ narzuconego tempa oddychania na oscylację odstępów R-R i ciśnienie tętnicze (*controlled breathing test* – CBT), zacisku dłoni, oceniający wpływ stałego ucisku dynamometru ręcznego przez 5 minut na oscylację odstępów R-R i ciśnienia tętniczego (*handgrip test* – HGT), oraz pierwszej (5-minutowej) fazy testu pochyleniowego (*tilt test* – TT). Zgodnie z wytycznymi ESC test pochyleniowy przeprowadzano w godzinach porannych w celu uniknięcia wpływu dobowej zmienności napięcia części współczulnej AUN, w cichym pomieszczeniu, z neutralnym oświetleniem i temperaturą otoczenia. Wyznaczano sekwencyjny BRS (seq\_BRS), jego wartość największą (Up\_BRS) oraz najmniejszą (Down-BRS) poprzez analizę 3 lub więcej kolejnych uderzeń serca, w trakcie których dochodziło do jednoczesnego wzrostu lub obniżenia ciśnienia skurczowego o 1 mm Hg oraz wydłużenia lub skrócenia odstępu R-R o 40 ms, a także współczynniki alfa\_HF i alfa\_LF BRS, wyliczane jako pierwiastek kwadratowy ze stosunku odstępów R-R oraz zmian ciśnienia skurczowego



**Rycina.** Schemat wykonania testów prowokacyjnych. CBT – test kontrolowanego oddechu, HGT – test izometrycznego zacisku dłoni, NTG s.l. – nitrogliceryna podawana podjęzykowo

**Figure.** Provocative test scheme, CBT – controlled breathing test, HGT – handgrip test, NTG s.l. – nitroglycerin sublingual

w zakresie niskich i wysokich fal. Schemat przeprowadzenia testów prowokacyjnych przedstawiono na rycinie 1. Wyliczano również zmiany parametrów BRS jako różnice bezwzględne (db\_zmienna) oraz różnice względne (dw\_zmienna), odejmując od wartości w czasie testu wartości spoczynkowe przed testem.

jako wartości bezwzględne oraz względne (procenty). Do analizy różnic pomiędzy wartościami bezwzględnymi wykorzystano t-test dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz Manna-Whineya U-test dla danych o rozkładzie innym niż normalny. Wartość  $p < 0,05$  uznano za istotną statystycznie.

## Analiza statystyczna

Do przeprowadzenia analizy statystycznej wykorzystano oprogramowanie Microsoft Office Excel 2010 oraz Statistica 12.0 (StatSoft Inc.). Wzrokowo oraz z użyciem testu Kolmogorova-Smirnova oceniono rozkład i normalność danych. Zmienne ciągłe przedstawiono jako średnie  $\pm$  odchylenie standardowe, a zmienne katégoryczne

## Wyniki

### Charakterystyka grupy badanej

Charakterystykę wyjściową grupy o ponadprzeciętnej i przeciętnej wydolności fizycznej przedstawiono w tabeli 1. Badani z grupy PPW byli istotnie starsi i mieli

**Tabela 1. Charakterystyka i porównanie grupy o ponadprzeciętnej i przeciętnej wydolności fizycznej**  
**Table 1. Characteristics and comparison of groups with above average and average physical fitness**

parametr	cała grupa (n=194)	PPW (n=124)	PW (n=70)	p
wiek (lata)	33,42 (±6,54)	37 (±4)	26 (±4)	<0,0005
wzrost (m)	1,79 (±0,06)	1,79 (±0,06)	1,78 (±0,06)	0,422
masa ciała (kg)	81,46 (±8,87)	83 (±8kg)	78 (±10)	<0,0005
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25,54 (±2,22)	26,07 (±1,87)	24,60 (±2,45)	<0,0005
HR (uderzeń/min)	64 (±13)	60 (±9)	72 (±15)	<0,0005
SBP (mm Hg)	124 (±12)	120 (±10)	131 (±12)	<0,0005
DBP (mm Hg)	76 (±7)	75 (±7)	77 (±8)	0,057
SBP >140 mm Hg	22 (11,5%)	6 (5%)	16 (23%)	<0,0005
DBP >80 mm Hg	9 (4,7%)	4 (3%)	5 (7%)	0,213

Dane przedstawiono jako średnia (±odchylenie standardowe) i liczności (odsetki).

BMI – wskaźnik masy ciała, DBP – ciśnienie rozkurczowe, HR – częstotliwość rytmu serca, PPW – grupa o ponadprzeciętnej wydolności fizycznej, PW – grupa o przeciętnej wydolności fizycznej, SBP – ciśnienie skurczowe

**Tabela 2. Parametry BRS w spoczynku w grupie o ponadprzeciętnej i przeciętnej wydolności fizycznej**  
**Table 2. Baseline BRS parameters in groups of above average and average physical fitness**

parametr	PPW	PW	p
alfa_LF	38,55 (±61,67)	28,47 (±18,50)	0,035
alfa_HF	42,88 (±26,74)	35,19 (±25,98)	0,009
Up_BRS (ms/mm Hg)	34,34 (±20,30)	30,60 (±15,47)	0,383
Down_BRS (ms/mm Hg)	32,95 (±16,10)	32,70 (±22,53)	0,210
Sequence_BRS (ms/mmHg)	33,82 (±16,05)	32,44 (±19,00)	0,224

Dane przedstawiono jako średnia (±odchylenie standardowe).

alfa\_LF – współczynnik alfa dla pasma niskiej częstotliwości, alfa\_HF – współczynnik alfa dla pasma wysokiej częstotliwości, Up\_BRS – największa wartość wrażliwości baroreceptorów, Down\_BRS – najmniejsza wartość wrażliwości baroreceptorów, Sequence\_BRS – średnia wartość wrażliwości baroreceptorów

większą masę ciała oraz współczynnik BMI. Charakteryzowali się mniejszą spoczynkową częstotliwością rytmu serca oraz niższym ciśnieniem skurczowym. Nie zaobserwowano różnic w zakresie ciśnienia rozkurczowego.

### Wyniki ergospirometrii

W ergospirometrii grupa PPW, zgodnie z przyjętym założeniem, uzyskała większą wartość: %pred LOAD (vs PW: 115% vs 89%, p <0,0005), % pred VO<sub>2</sub> peak (116% vs 106%, p = 0,019), a także RER (1,18 vs 1,12, p <0,0005).

### Wyniki oceny BRS

Podczas oceny BRS w spoczynku w grupie PPW zarejestrowano większą wartość alfa LF (vs PW: 38,55 vs 28,47, p = 0,035) oraz alfa HF (42,88 vs 35,19, p = 0,009). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tabeli 2.

W wyniku CBT w grupie PPW obserwowano zmniejszenie alfa HF (przed testem vs po teście: 42,88 vs 35,52, p = 0,009), Down\_BRS (32,95 ms/mm Hg vs 29,85 ms/mm Hg, p = 0,049) oraz Sequence\_BRS (33,82 ms/mm Hg vs 30,19 ms/mm Hg, p = 0,001), a w grupie PW zmniejszenie Down\_BRS (przed testem vs po teście: 32,70 ms/mm Hg vs 27,37 ms/mm Hg, p = 0,006) oraz Sequence\_BRS (32,44 ms/mm Hg vs 29,24 ms/mm Hg, p = 0,036). Biorąc pod uwagę zmiany względne i bezwzględne powyższych parametrów, nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami PPW i PW w trakcie CBT (tab. 3.).

W wyniku HGT w grupie PPW doszło do istotnego zmniejszenia wartości wszystkich parametrów BRS, a w grupie PW alfa HF (przed vs po teście: 37,17 vs 26,77, p = 0,006), Up\_BRS (35,88 ms/mm Hg vs 26,84 ms/mm Hg, p = 0,0006), Down\_BRS (31,71 ms/mm Hg vs 23,75 ms/mm Hg,

**Tabela 3. Porównanie zmian względnych i bezwzględnych parametrów BRS w wyniku CBT w grupie o przeciętnej i ponadprzeciętnej wydolności fizycznej**

**Table 3. Comparison of relative and absolute changes of BRS parameters following CBT in groups of above average and average physical fitness**

parametr	delta bezwzględna PPW	delta bezwzględna PW	p	delta względna PPW (%)	delta względna PW (%)	p
alfa_LF	8,61 (±63,62)	1,94 (±15,36)	0,807	1,15 (±47,93)	19,50 (±129,1)	0,797
alfa_HF	7,36 (±22,43)	2,30 (±17,06)	0,124	6,59 (±57,26)	28,15 (±132,3)	0,065
Up_BRS (ms/mmHg)	2,69 (±17,48)	1,34 (±12,91)	0,113	0,96 (±44,05)	13,30 (±55,73)	0,117
Down_BRS (ms/mm Hg)	3,10 (±11,83)	5,33 (±17,10)	0,343	5,26 (±39,96)	5,27 (±58,28)	0,332
Sequence_BRS (ms/mm Hg)	3,64 (±10,63)	3,19 (±13,25)	0,677	7,79 (±28,60)	5,18 (±31,92)	0,855

Dane przedstawiono jako średnia (±odchylenie standardowe).

alfa\_LF – współczynnik alfa dla pasma niskiej częstotliwości, alfa\_HF – współczynnik alfa dla pasma wysokiej częstotliwości, Up\_BRS – największa wartość wrażliwości baroreceptorów, Down\_BRS – najmniejsza wartość wrażliwości baroreceptorów, Sequence\_BRS – średnia wartość wrażliwości baroreceptorów

**Tabela 4. Porównanie zmian względnych i bezwzględnych parametrów BRS w wyniku HGT w grupie o przeciętnej i ponadprzeciętnej wydolności fizycznej**

**Table 4. Comparison of relative and absolute changes of BRS parameters following HGT in groups of above average and average physical fitness**

parametr	delta bezwzględna PPW	delta bezwzględna PW	p	delta względna PPW (%)	delta względna PW (%)	p
alfa_LF	6,64 (±18,03)	5,75 (±19,97)	0,901	4,24 (±71,16)	2,34 (±95,82)	0,369
alfa_HF	8,41 (±28,43)	10,41 (±27,81)	0,498	2,65 (±61,04)	18,15 (±167,5)	0,142
Up_BRS (ms/mm Hg)	4,77 (±34,89)	9,04 (±23,26)	0,266	7,99 (±47,12)	12,04 (±63,50)	0,123
Down_BRS (ms/mm Hg)	5,95 (±15,10)	7,96 (±16,48)	0,800	7,82 (±50,45)	17,34 (±37,76)	0,255
Sequence_BRS (ms/mm Hg)	6,71 (±13,76)	8,41 (±16,96)	0,256	10,87 (±37,65)	17,70 (±42,05)	0,101

Dane przedstawiono jako średnia (±odchylenie standardowe).

alfa\_LF – współczynnik alfa dla pasma niskiej częstotliwości, alfa\_HF – współczynnik alfa dla pasma wysokiej częstotliwości, Up\_BRS – największa wartość wrażliwości baroreceptorów, Down\_BRS – najmniejsza wartość wrażliwości baroreceptorów, Sequence\_BRS – średnia wartość wrażliwości baroreceptorów

$p = 0,008$ ) i Sequence\_BRS (33,27 ms/ mm Hg vs 24,86 ms/mm Hg,  $p < 0,0005$ ). Biorąc jednak pod uwagę zmiany względne i bezwzględne powyższych parametrów, nie uzyskano istotnych statystycznie różnic BRS pomiędzy grupami PPW i PW w trakcie HGT (tab. 4.).

W wyniku TT w obu grupach doszło do zmniejszenia wartości wszystkich parametrów BRS. W porównaniu międzygrupowym w grupie PPW stwierdzono mniejszy bezwzględny spadek db\_alfa HF (-28,72 vs -22,77,  $p = 0,036$ ) oraz mniejszy względny spadek dw\_Down\_BRS (-43,94% vs 49,73%,  $p = 0,045$ ) (tab. 5.).

## Dyskusja

Zaobserwowane większe spoczynkowe wartości BRS w grupie PPW wskazują na związek ponadprzeciętnej

wydolności fizycznej z funkcją AUN ocenianą zastosowanymi metodami badawczymi. Są to obserwacje zgodne z wcześniejszymi doniesieniami. Bowman i wsp. [9] wykazali, że trening fizyczny wiąże się z większą BRS u osób starszych. Korzystny wpływ treningu na BRS potwierdzono zarówno w badaniach interwencyjnych, jak i na modelach zwierzęcych [10]. Fredericks i wsp. [11] zauważyli ponadto, że zaprzestanie regularnych ćwiczeń fizycznych wiązało się ze spadkiem BRS powiązaniem ze zmniejszeniem wydolności fizycznej (ocenianej na podstawie  $VO_2$  peak). Istnieją jednak badania, w których nie stwierdzono, by osoby o ponadprzeciętnej wydolności fizycznej różniły się od osób uprawiających sport rekreacyjnie w zakresie BRS [12,13].

Powyższe rozbieżności podkreślają wartość ponadprzeciętnej wydolności fizycznej w badaniach prowadzonych w jednorodnych grupach

**Tabela 5. Porównanie zmian względnych i bezwzględnych parametrów BRS w wyniku TT w grupie o przeciętnej i ponadprzeciętnej wydolności fizycznej**

**Table 5. Comparison of relative and absolute changes of BRS parameters following TT in groups of above average and average physical fitness**

parametr	delta bezwzględna PPW	delta bezwzględna PW	p	delta względna PPW (%)	delta względna PW (%)	p
alfa_LF	15,62 (±16,47)	11,24 (±13,68)	0,075	39,74 (±31,54)	49,60 (±695,3)	0,537
alfa_HF	28,72 (±24,28)	22,77 (±26,43)	0,036	58,15 (±32,15)	55,22 (±891,8)	0,907
Up_BRS (ms/mm Hg)	18,36 (±19,98)	17,57 (±15,09)	0,692	45,81 (±24,97)	47,18 (±31,91)	0,135
Down_BRS (ms/mm Hg)	16,46 (±15,19)	15,93 (±15,46)	0,972	43,94 (±33,23)	49,73 (±35,05)	0,045
Sequence_BRS (ms/mm Hg)	16,77 (±13,45)	16,65 (±15,20)	0,941	46,56 (±21,48)	49,22 (±30,81)	0,106

Dane przedstawiono jako średnia (±odchylenie standardowe).

alfa\_LF – współczynnik alfa dla pasma niskiej częstotliwości, alfa\_HF – współczynnik alfa dla pasma wysokiej częstotliwości, Up\_BRS – największa wartość wrażliwości baroreceptorów, Down\_BRS – najmniejsza wartość wrażliwości baroreceptorów, Sequence\_BRS – średnia wartość wrażliwości baroreceptorów

chorych z wykorzystaniem najnowocześniejszych metod diagnostycznych, co było celem projektu realizowanego w naszym ośrodku. W badaniu uznano, że konieczna jest weryfikacja przydatności w ocenie BRS testów prowokacyjnych, mających uznane zastosowanie w ocenie funkcji AUN. Zaobserwowano, że w trakcie CBT w tempie 6 oddechów/minutę dochodzi do wzrostu BRS [14-18]. W naszym badaniu w CBT z inną częstotliwością oddychania, w przeciwieństwie do prezentowanych badań, w obu grupach doszło do zmniejszenia wartości Down\_BRS oraz seq\_BRS, ale nie obserwowano istotnych statystycznie różnic międzygrupowych w zakresie wartości zmian względnych. Interpretacja BRS w odpowiedzi na CBT budzi jednak wątpliwości, gdyż niektórzy autorzy dowodzą, że wzrost BRS nie wskazuje na modulację funkcji BRS poprzez zmianę tempa oddychania, a bardziej reprezentuje zależność BRS od zmiany częstotliwości oscylacji ciśnienia tętniczego w odpowiedzi na zmianę tempa oddychania [19]. W większości dostępnych badań [20-24] obserwowano spadek BRS w trakcie HGT, natomiast w fazie odpoczynku dochodziło do powrotu BRS do wartości wyjściowych. W prezentowanym badaniu, zgodnie z wynikami badań innych autorów, w wyniku HGT doszło do spadku BRS w obu grupach i nie zarejestrowano istotnych statystycznie różnic międzygrupowych. Uwagę zwraca jednak to, że podobnie jak przed prowokacją, również po HGT w grupie PPW utrzymywały się większe wartości BRS niż w grupie PW. Zarówno w prezentowanym badaniu, jak i w dostępnych w literaturze badaniach po pionizacji obserwowano spadek BRS [25-28]. Podobnie jak przed CBT i HGT, grupa PPW wyjściowo wykazywała większą BRS (wyższy alfa\_HF i alfa\_LF) w stosunku do grupy PW. Mimo że nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian względnych i bezwzględnych dla większości parametrów BRS, warto zauważyć, że również po pionizacji

grupa PPW prezentowała wyższą BRS. Mocną stroną przeprowadzonego badania jest to, że BRS oceniano zarówno metodą spektralną, jak i sekwencyjną. Wyniki analiz oboma tymi metodami okazały się spójne. Wykonanie testów prowokacyjnych pozwoliło zweryfikować ich przydatność w ocenie BRS. Zaobserwowane zmiany mają istotną wartość poznawczą, ale w aspekcie celów niniejszej pracy nie stwierdzono, by testy te miały wartość dodaną w różnicowaniu osób o różnym poziomie wytrenowania. Badania spoczynkowe, najprostsze do wykonania, okazały się wystarczające do wykrycia istotnych różnic między tymi grupami.

## Ograniczenia

Przy istotnej zmienności międzyosobniczej parametrów BRS należy uznać, że ograniczeniem metodycznym prezentowanego badania była liczebność grup, co mogło mieć wpływ na moc statystyczną wyników. Równocześnie jednak liczebność grup była istotnie większa niż w innych dostępnych w literaturze badaniach u sportowców. Badanie zostało przeprowadzone jedynie wśród mężczyzn młodych i w średnim wieku, dlatego jego wyniki należy z ostrożnością odnosić do innych populacji.

Kolejne ograniczenie może stanowić brak wystandaryzowanego reżimu treningowego w grupie PPW przed włączeniem do badania, dlatego poziom wydolności fizycznej został zweryfikowany za pomocą ergospirometrii, która potwierdziła wysoki poziom wydolności fizycznej wśród żołnierzy jednostek sił specjalnych. Należy również zauważyć, że w badaniu dokonywano pośredniej oceny funkcji AUN poprzez zastosowanie nieinwazyjnych testów, których wyniki należy stosować z ostrożnością i analizować w szerszym kontekście klinicznym.

## Podsumowanie

Ocena AUN metodą BRS pozwala różnicować osoby o różnym poziomie wytrenowania. Najwyraźniejsze różnice zaobserwowano w zakresie parametrów BRS rejestrowanych w spoczynku. Ocena BRS w trakcie testów prowokacyjnych nie wykazuje na tyle istotnych różnic międzygrupowych, aby można było uznać ich wykonywanie za uzasadnione w celu różnicowania osób przeciętnie i ponadprzeciętnie wydolnych.

## Finansowanie

Badanie było finansowane ze środków Ministerstwa Obrony Narodowej (decyzja nr 10/WNil/2007).

## Podziękowania

Autorzy chcieliby podziękować całemu personelowi Kliniki Kardiologii CSK MON WIM w Warszawie za pomoc w opiece nad pacjentami oraz w przeprowadzaniu badań diagnostycznych.

## Piśmiennictwo

- Konturek SJ. Fizjologia człowieka. Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2007; 1022–1039
- Lamberts RP, Swart J, Noakes TD, et al. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 2009; 105: 705–713
- Singh J, Kandala J, Camm A. Non pharmacological modulation of the autonomic tone to treat heart failure. *Eur Heart J*, 2014; 35: 77–85
- Modesti P, Ferrari A, Bazzini C, et al. Time sequence of autonomic changes induced by daily slow-breathing sessions. *Clin Auton Res*, 2015; 25: 95–104
- Neto OB, de Sordi CC, da Mota GR, et al. Exercise training improves hypertension-induced autonomic dysfunction without influencing properties of peripheral cardiac vagus nerve. *Auton Neurosci*, 2017; 208: 66–72
- Costes F, Roche F, Pichot V, et al. Influence of exercise training on cardiac baroreflex sensitivity in patients with COPD. *Eur Respir J*, 2004; 23 (3): 396–401
- Wójcik A. Zastosowanie metod oceny neurokardiologicznej w identyfikacji żołnierzy o ponadprzeciętnej wydolności fizycznej. Rozprawa doktorska. Wojskowy Instytut Medyczny, 2019
- Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym. Wytyczne PTNT 2015
- Bowman AJ, Clayton RH, Murray A, et al. Baroreflex function in sedentary and endurance-trained elderly people. *Age Ageing*, 1997; 26 (4): 289–294
- Machi JF, Bernardes N, Mostarda C, et al. Walking promotes metabolic and baroreflex sensitivity improvement in fructose-fed male rats. *Eur J Appl Physiol*, 2013; 113 (1): 41–49
- Frederiks J, Swenne CA, Bruschke AV, et al. Correlated neurocardiologic and fitness changes in athletes interrupting training. *Med Sci Sports Exerc*, 2000; 32 (3): 571–575
- Shin K, Minamitani H, Onishi S, et al. Autonomic differences between athletes and non-athletes: spectral analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*, 1997; 29 (11): 1482–1490
- Foulds HJ, Cote AT, Phillips AA, et al. Characterisation of baroreflex sensitivity of recreational ultra-endurance athletes. *Eur J Sport Sci*, 2014; 14 (7): 686–694
- Taggart P, Critchley H, Lambiase PD. Heart-brain interactions in cardiac arrhythmia. *Heart*, 2011; 97 (9): 698–708
- Tzeng YC, Sin PY, Lucas SJ, et al. Respiratory modulation of cardiovagal baroreflex sensitivity. *J Appl Physiol*, 2009; 107 (3): 718–724
- Modesti PA, Ferrari A, Bazzini C, et al. Time sequence of autonomic changes induced by daily slow-breathing sessions. *Clin Auton Res*, 2015; 25 (2): 95–104
- Bothová P, Honzíkóvá N, Fiser B, et al. Comparison of baroreflex sensitivity determined by cross-spectral analysis at respiratory and 0.1 Hz frequencies in man. *Physiol Res*, 2010; 59 (Suppl 1): S103–111
- Shin K, Minamitani H, Onishi S, et al. Assessment of training-induced autonomic adaptations in athletes with spectral analysis of cardiovascular variability signals. *Jpn J Physiol*, 1995; 45 (6): 1053–1069
- Horsman HM, Peebles KC, Tzeng YC. Interactions between breathing rate and low-frequency fluctuations in blood pressure and cardiac intervals. *J Appl Physiol*, 2015; 119 (7): 793–798
- Iellamo F, Pizzinelli P, Massaro M, et al. Muscle metaboreflex contribution to sinus node regulation during static exercise: insights from spectral analysis of heart rate variability. *Circulation*, 1999; 100 (1): 27–32
- Florian JP, Simmons EE, Chon KH, et al. Cardiovascular and autonomic responses to physiological stressors before and after six hours of water immersion. *J Appl Physiol*, 2013; 115 (9): 1275–1289
- Stewart JM, Montgomery LD, Glover JL, et al. Changes in regional blood volume and blood flow during static handgrip. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2007; 292 (1): H215–223
- Cunningham DJ, Petersen ES, Peto R, et al. Comparison of the effect of different types of exercise on the baroreflex regulation of heart rate. *Acta Physiol Scand*, 1972; 86: 444–455
- Mancia G, Iannos J, Jamieson GG, et al. Effect of isometric hand-grip exercise on the carotid sinus baroreceptor reflex in man. *Clin Sci Mol Med*, 1978; 54: 33–37
- Sugawara J, Komine H, Miyazawa T, et al. Influence of regular exercise training on post-exercise hemodynamic regulation to orthostatic challenge. *Front Physiol*, 2014; 5: 229
- Laitinen T, Niskanen L, Geelen G, et al. Age dependency of cardiovascular autonomic responses to head-up tilt in healthy subjects. *J Appl Physiol*, 2004; 96 (6): 2333–1340
- Chun KJ, Yim HR, Park J, et al. Role of baroreflex sensitivity in predicting tilt training response in patients with neurally mediated syncope. *Yonsei Med J*, 2016; 57 (2): 313–320
- Ramírez-Marrero FA, Charkoudian N, Zhong L, et al. Balance between sympathetic response to head-up tilt and cardiac vagal factors in healthy humans. *Clin Auton Res*, 2007; 17 (4): 227–230