

# Wpływ długotrwałego, intensywnego treningu fizycznego na czynność autonomicznego układu nerwowego u wyczynowych sportowców

## The effect of long-term intensive physical training on autonomic nervous system function in competitive athletes

Mariola Kobuszewska-Chwirot<sup>1</sup>, Grzegorz Raczak<sup>1</sup>, Antoni Toruński<sup>1</sup>,  
Wojciech Ratkowski<sup>2</sup>, Ludmiła Daniłowicz-Szymanowicz<sup>1</sup>,  
Monika Figura-Chmielewska<sup>1</sup>, Małgorzata Szwoch<sup>1</sup>, Jacek Kubica<sup>3</sup>,  
Karolina Ambroch-Dorniak<sup>4</sup> i Grażyna Świątecka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>II Klinika Chorób Serca Instytutu Kardiologii Akademii Medycznej w Gdańsku

<sup>2</sup>Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku

<sup>3</sup>Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych w Bydgoszczy

<sup>4</sup>Oddział Kardiologii Szpitala Specjalistycznego Św. W. Adalberta w Gdańsku

### Abstract

**Background:** *The aim of the study was to assess the influence of long-term intensive physical training on autonomic nervous system activity in competitive athletes of regional class. Of particular interest was the question whether a reverse trend of increased sympathetic activity rather than the characteristic increase in vagal tone can be found in such group.*

**Material and methods:** *Ten athletes aged  $21 \pm 3$  years (3 females and 7 males) were studied. Eight of them were endurance athletes (long- and intermediate distance running, swimming and triathlon), while two others were strength athletes (shot-put, discus throw). Autonomic nervous system parameters were assessed twice: at the end of the preparation period and at the end of the pre-start period. Eight-minute continuous systolic arterial pressure (Finapres, Ohmeda) and heart period recordings were carried out during controlled respiration (tape-recorded voice-guided at 0.23 Hz) on the basis of which HRV (SDNN, rMSSD,  $pNN_{50}$ , TP, LF, HF, LFNU, LF/HF) and BRS (TF-BRS, BRS-RI) indices were calculated, using the POLYAN software (Montescano, Italy).*

**Results:** *It was found that in the second recording mean TP, rMSSD,  $pNN_{50}$  values and heart period were not significantly higher than in the first recording. A borderline increase of mean TF-BRS value was found ( $13.8 \pm 6.7$  ms/mm Hg vs.  $19.2 \pm 7.4$  ms/mm Hg,  $p = 0.09$ ).*

**Conclusions:** *In the studied athletes no sustained increase of the adrenergic tone was observed. On the other hand, certain characteristics such as increased baroreceptor sensitivity, increased TP, rMSSD,  $pNN_{50}$  and elongation of heart period seem to suggest postexercise augmentation of vagal tone in this group. (Folia Cardiol. 2004; 11: 765–770)*

**autonomic nervous system, physical exercise**

## Wstęp

Powszechnie wiadomo, iż umiarkowany wysiłek fizyczny o charakterze wytrzymałościowym (jednorazowy i podejmowany regularnie) korzystnie wpływa na równowagę współczulno-przywspółczulną autonomicznego układu nerwowego, zwiększając napięcie nerwu błędnego. Zjawisko to obserwowano zarówno u ludzi zdrowych, jak i u osób z różnymi chorobami układu krążenia. Ponieważ obie składowe układu wegetatywnego wykazują wobec siebie antagonizm funkcjonalny i są w stanie równowagi dynamicznej, zwiększonej aktywności przywspółczulnej towarzyszy zazwyczaj obniżenie aktywności współczulnej. Reakcja taka poprawia ekonomiczność pracy serca, wywiera ujemny wpływ chrono-, dromo- i batmotropowy [1–5].

Ciężki i długotrwały trening fizyczny, któremu poddawani są wyczynowi sportowcy przygotowujący się do zawodów, znacznie różni się od opisanego wyżej treningu określanego w piśmiennictwie jako zdrowotny lub rekreacyjny. Celem każdego sportowca jest osiągnięcie takiego poziomu adaptacji organizmu do specyficznego dla uprawianej dyscypliny wysiłku, który umożliwi uzyskanie optymalnych wyników. Droga prowadząca do tego celu jest odpowiednio zaplanowany i zrealizowany trening, którego efektywność zależy od objętości, intensywności i periodyzacji bodźców treningowych [6].

Wiadomo, że obciążenia treningowe w sporcie wyczynowym ze względu na czas trwania i intensywność są ogromne i mogą prowadzić do istotnych zaburzeń w funkcjonowaniu tkanek i narządów, zwłaszcza układu krążenia, układu nerwowego w tym również autonomicznego układu nerwowego, endokrynnego, narządu ruchu itd. [7, 8]. Mogą też one, przeciwnie niż w sporcie rekreacyjnym, prowadzić do trwałej stymulacji adrenergicznej, połączonej ze zmniejszeniem napięcia nerwu błędnego [9, 10]. Iellamo i wsp. [9] opisali takie zjawisko w elitarniej grupie włoskiej narodowej reprezentacji wioślarzy w okresie maksymalnego treningu. Brak natomiast danych, czy podobna reakcja zachodzi również w dużej grupie zawodników mniej wytrenowanych, zaliczanych do niższej klasy sportowej, poddawanych nieco mniejszym obciążeniom. Stwierdzenie przedłużonej stymulacji adrenergicznej w takiej grupie osób mogłoby stanowić argument przemawiający za poddaniem ich bardziej ścisłej obserwacji, co obecnie nie jest praktykowane.

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu ciężkiego, długotrwałego treningu fizycznego podejmowanego przez sportowców wyczynowych klasy regionalnej na profil autonomicznego układu nerwo-

wego. Przedmiotem szczególnego zainteresowania było ewentualne występowanie w badanej grupie osób zjawiska odwrócenia trendu, z charakterystycznej wagotonii na sympatykotonię. Ponieważ badania zmienności rytmu serca (HRV, *heart rate variability*) oraz wrażliwości baroreceptorów tętniczych (BRS, *baroreflex sensitivity*) stanowią sprawdzone metody kliniczne nieinwazyjnej oceny równowagi współczulno-przywspółczulnej, posłużono się nimi również w niniejszej pracy.

## Materiał i metody

Badaniami objęto 10 sportowców w średnim wieku  $21 \pm 3$  lat (3 kobiety i 7 mężczyzn). Spośród badanych 8 sportowców (6 mężczyzn i 2 kobiety) uprawiało dyscypliny wytrzymałościowe (biegi długo- i średniodystansowe, pływanie, triathlon), 2 sportowców (1 mężczyzna i 1 kobieta) uprawiało dyscypliny siłowe (rzut dyskiem i pchnięcie kulą).

Warunkiem włączenia do badań był negatywny wywiad chorobowy, nieprzyjmowanie jakichkolwiek leków i niestosowanie używek (tytoń, alkohol). U wszystkich badanych stwierdzono prawidłowe ciśnienie tętnicze i częstość akcji serca oraz obecność prawidłowego rytmu zatokowego w zapisie elektrokardiograficznym. Uczestnicy badania wyrazili zgodę na udział w nim. Uzyskano pozytywną opinię Niezależnej Komisji Bioetycznej do Spraw Badań Naukowych przy Akademii Medycznej w Gdańsku (NKBN/355/2003/2004).

Program treningowy mający na celu przygotowanie do zawodów obejmował następujące po sobie fazy treningu różniące się objętością, intensywnością i czasem trwania. Trening w okresie przygotowawczym trwał 4 miesiące i charakteryzował się dużą objętością, mającą na celu kształtowanie wytrzymałości tlenowej (trening 5–6 razy w tygodniu, przewaga wysiłków tlenowych — do 90% całości obciążeń). Trening w okresie startowym trwał 4 tygodnie. Charakteryzował się mniejszą objętością obciążeń treningowych, wykonywanych z dużą większą intensywnością. Był to wysiłek mieszany (tlenowo-beztlenowy) i beztlenowy. Liczba jednostek treningowych w tygodniu była taka sama jak w treningu przygotowawczym, natomiast czas trwania jednostki treningowej w okresie startowym, ze względu na większą intensywność, był krótszy.

Oceny parametrów HRV i BRS dokonywano 2-krotnie u każdego badanego — w końcowej fazie treningu przygotowawczego i w końcowej fazie treningu startowego. Badania zaproponowane w protokole prowadzono w standaryzowanych warunkach laboratoryjnych, w godzinach przedpołudniowych,

po minimum 24 godzinach od ostatniego treningu. Ostatni posiłek osoba badana spożywała co najmniej 2 godziny przed badaniem. U wszystkich dokonywano 8-minutowej rejestracji skurczowego ciśnienia tętniczego (SBP, *systolic blood pressure*) oraz długości cyklu serca (HP, *heart period*) w czasie regularnego oddechu (0,23 Hz) sterowanego głosem z taśmy magnetofonowej. Poprzedzana ona była 15-minutowym okresem spoczynku badanej osoby w pozycji leżącej, przeznaczonym na stabilizację układu krążenia.

Rejestracji elektrokardiogramu dokonywano za pomocą Mingografu 720C, a nieinwazyjnego, ciągłego zapisu skurczowego ciśnienia tętniczego (SAP, *systolic arterial pressure*) przy użyciu aparatu FINAPRES (*FINger arterial PRESure*) firmy Ohmeda. Do pomiaru ciśnienia tętniczego zastosowano metodę Penaza [11] z wykorzystaniem mankieta zakładanego na środkowy palec trzeciego palca prawej ręki. Otrzymane analogowe sygnały EKG i ciśnienia tętniczego były przetwarzane za pomocą konwertera analogowo-cyfrowego z częstotliwością próbkowania 250 Hz, a następnie przekazywane do komputera posiadającego oprogramowanie POLYAN [12], umożliwiające obliczenie poszczególnych wskaźników BRS i HRV.

Do analizy wybranych wskaźników BRS wykorzystywano fragment stacjonarnego zapisu SAP i HP nie krótszy niż 240 s. Wartości TF-BRS oceniano w sposób automatyczny z wykorzystaniem algorytmu opisanego przez Robbego i wsp. [13], w modyfikacji dokonanej przez Pinne i wsp. [14].

W badaniu HRV uwzględniano standardowe parametry:

a) analizy czasowej:

- $pNN_{50}$  (*percentage of differences greather then 50 ms between adjacent normal RR intervals*) — odsetek różnic między sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego przekraczającymi 50 ms,
- rMSSD (*root mean square of succesive differences*) — pierwiastek kwadratowy z średniej z kwadratów różnic między sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego [ms],
- SDNN (*standard deviation of all normal RR intervals*) — odchylenie standardowe wszystkich cykli rytmu zatokowego [ms];

b) analizy częstotliwościowej:

- TP (*total power*) — całkowita moc widma [ $ms^2$ ],
- HF (*high frequency power*) — moc widma w zakresie wysokich częstotliwości (0,15–0,4 Hz) [ $ms^2$ ],
- HFNU (*normalized HF power*) — względna moc widma w zakresie wysokich częstotliwości, wyrażona w jednostkach znormalizowanych (NU, *normalized units*):  $HF [NU] = (HF/TP - VLF) \times 100$ ,

- LF (*low frequency*) — moc widma w zakresie niskich częstotliwości (0,04–0,15 Hz) [ $ms^2$ ],
- LFNU (*normalized LF power*) — względna moc widma w zakresie niskich częstotliwości, wyrażona w jednostkach znormalizowanych (NU, *normalized units*):  $LF [NU] = (LF/TP - VLF) \times 100$ ,
- LF/HF — iloraz LF do HF.

### Analiza statystyczna

Zastosowano testy nieparametryczne dla grup o małej liczebności. Różnice między badaniami zależnymi analizowano za pomocą testu kolejności par Wilcozona. Do analizy zastosowano program statystyczny Statistica. Wyniki przedstawiono jako średnie  $\pm$  SD (*standard deviation*). Za poziom istotności przyjęto 0,05.

### Wyniki

U wszystkich badanych osób uzyskano diagnostyczne wyniki ocenianych parametrów.

Porównując wartości średnie TF-BRS uzyskane w całej badanej grupie, stwierdzono graniczny statystycznie wzrost wartości wskaźnika w fazie treningu maksymalnego w porównaniu z treningiem podstawowym z  $13,8 \pm 6,7$  ms/mm Hg do  $19,2 \pm 7,4$  ms/mm Hg ( $p = 0,09$ ). Zwraca uwagę dość duże zróżnicowanie wyników uzyskanych u poszczególnych osób. Wrażliwość baroreceptorów tętniczych wzrosła u większości (7) badanych osób. U 4 sportowców (2 pływaków, 1 biegacza i 1 miotacza) stwierdzono znaczne zwiększenie wartości TF-BRS. Maksymalnie wynosił on u jednego z zawodników 15,5 ms/mm Hg (wzrost z 2,7 ms/mm Hg w fazie treningu podstawowego do 18,13 ms/mm Hg w fazie treningu startowego). Zbliżony wzrost uzyskano u innego sportowca, następujący jednak od wyższej wartości wyjściowej, wynoszącej 10,5 ms/mm Hg. Zwraca uwagę fakt, iż obydwaj badani sportowcy uprawiali tę samą dyscyplinę — pływanie. Brak reakcji albo obniżenie TF-BRS obserwowano u 5 sportowców, przy czym tylko w jednym z przypadków spadek wartości był nieco większy niż 3 ms/mm Hg.

Zwiększeniu średniej wartości TF-BRS w całej badanej grupie towarzyszył wzrost średniej długości cyklu serca, TP, rMSSD i  $pNN_{50}$  (tab. 1), jednak obserwowane wzrosty nie były znamienne statystycznie. Inne badane parametry zmieniły się w minimalnym stopniu.

### Dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie ciężkich, długotrwałych obciążeń treningowych w grupie sportowców klasy regionalnej, przygoto-

**Tabela 1.** Porównanie wartości średnich wskaźników czynności autonomicznego układu nerwowego uzyskanych w badanej grupie (n = 10) podczas treningu w okresie przygotowawczym i startowym**Table 1.** Comparison of autonomic nervous system function indices in the studies population (n = 10) in the preparation period and the pre-start period

	Trening podstawowy	Trening maksymalny	p
Średnia	1047 ± 156	1131 ± 259	0,2
rMSSD [ms]	77,17 ± 20,84	82,52 ± 18,86	0,507
pNN <sub>50</sub>	52 ± 8	60 ± 2	0,507
TP [ms <sup>2</sup> ]	4508,25 ± 1670,18	5675,20 ± 2225,06	0,139
LFNU [ms <sup>2</sup> ]	26,9 ± 17,9	33,8 ± 14,9	0,202
LF/HF	0,47 ± 0,48	0,61 ± 0,51	0,33
TF-BRS [ms/mm Hg]	13,8 ± 6,7	19,2 ± 7,5	0,09

Objaśnienia skrótów w tekście

wujących się do zawodów sportowych nie wiązało się z potencjalnie niebezpieczną, trwałą sympatykotonią. Zaobserwowano natomiast cechy łagodnego pobudzenia nerwu błędnego, wyrażające się nieznacznym nasileniem spoczynkowej bradykardii oraz granicznym statystycznie wzrostem wrażliwości baroreceptorów tętnicznych.

W dotychczasowym piśmiennictwie stan wago-tonii obserwowany po zakończeniu wysiłku fizycznego opisywało wielu autorów. Hedelin i wsp. [15] stwierdzili istotny statystycznie wzrost HRV w odpowiedzi na intensywny 7-miesięczny trening wytrzymałościowy u wyczynowych sportowców uprawiających łyżwiarstwo. Pichot i wsp. [16] zaobserwowali podobną reakcję ze strony układu wegetatywnego u młodych osób prowadzących siedzący tryb życia. Zbliżone wyniki podają również inni autorzy [17].

Niezależnie od tego istnieją w piśmiennictwie doniesienia sugerujące, że nadmierne obciążenie wysiłkiem fizycznym może prowadzić do odwrócenia stanu równowagi współczulno-przywspółczulnej na korzyść układu sympatycznego [9, 10, 16]. Bardzo interesujące dane przedstawili Iellamo i wsp. [9], które uzyskali w grupie wioślarzy przygotowujących się do Mistrzostw Świata. Początkowo przy obciążeniu wynoszącym 75% obciążenia maksymalnego u badanych osób stwierdzono obniżenie wartości wskaźników LFNU i LF/HF oraz wzrost wartości HFNU i BRS, co uznaje się za wykładnik wzmożonego napięcia przywspółczulnego. Jednak przy zwiększeniu obciążenia do 100% zaobserwowano stałe przestawienie czynności układu autonomicznego z dominacji przywspółczulnej na współczulną, wyrażającą się wzrostem wartości LFNU i LF/HF oraz obniżeniem wartości HFNU i BRS. Podobne wyniki podali Pichot i wsp. [16], ale w odniesieniu do osób prowadzących siedzący tryb życia.

Należałoby spodziewać się podobnych zmian w czynności autonomicznego układu nerwowego w niniejszym badaniu. Jednak brak w przedstawianych wynikach konwersji aktywności autonomicznego układu nerwowego w stronę układu współczulnego może wskazywać, że badaną grupę poddawano jednak mniejszym obciążeniom. W pracy Iellamo i wsp. [9] 100-procentowe obciążenie wiązało się z bardzo intensywnym treningiem 2 razy dziennie przez 7 dni w tygodniu, o łącznym czasie trwania ćwiczeń 26–30 godzin tygodniowo. W pracy własnej natomiast w okresie startowym zawodnicy ćwiczyli od 10 (dyscypliny siłowe) do 25 (pływanie) godzin tygodniowo. Innym potwierdzeniem faktu, że tylko ekstremalne obciążenie wysiłkiem może prowadzić do zmiany wago-tonii na sympatykotonię, są wyniki uzyskane przez Bernardiego i wsp. [10] oraz własne dotyczące wpływu biegu maratońskiego na równowagę współczulno-przywspółczulną. W badaniach tych obserwowano charakterystyczne cechy długotrwałego pobudzenia adrenergicznego, które w badaniach własnych utrzymywało się nawet ponad 24 godziny po zakończeniu zawodów [18].

Należy podkreślić, że zjawisko przestawienia czynności układu autonomicznego z dominacji przywspółczulnej na współczulną jest bardzo interesującym zagadnieniem, zwłaszcza w kontekście stale aktualnego i wciąż zbyt mało poznanego problemu zespołu przetrenowania. Zespół ten jest konsekwencją zachwianej równowagi między przebiegiem procesów restytucji a stosownymi obciążeniami treningowymi. Charakteryzuje się zaburzeniami metabolicznymi, między innymi zmniejszeniem zapasów glikogenu mięśniowego, nasileniem procesów rozpadu i zahamowaniem procesów syntezy (tzw. deficyt anaboliczny), zaburzeniami nastroju i wzmożoną aktywnością współczulną. Zespół prze-

trenowania może się wiązać zarówno z nadmierną sympatykonią, jak i wagotonią. Jednak kryteria pozwalające rozpoznać ten zespół oraz jego typy są jeszcze bardzo nieprecyzyjnie określone [7, 8, 19–21]. Być może w pracy Iellamo i wsp. [9] nagła zmiana w aktywności poszczególnych składowych autonomicznego układu nerwowego na korzyść układu współczulnego jest bardzo wczesnym symptomem tego zespołu.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że stan utrzymującego się wzmożonego napięcia układu adrenergicznego na skutek bardzo intensywnego treningu przygotowującego sportowców do zawodów zapewne przyczynia się do uzyskania bardzo dobrych wyników podczas startów, tak jak to obserwowano w grupie badanej przez Iellamo i wsp. [9]. Jednakże przetrwała sympatykonia może okazać się zjaw-

skiem niekorzystnym, chociażby ze względu na jej potencjalnie proarytmiczny charakter. Należy to brać pod uwagę w prowadzeniu treningu przygotowującego wyczynowych sportowców do zawodów. Zagadnienie to wydaje się bardzo interesujące i zachęca do dalszych badań w tym kierunku.

## Wnioski

W badanej grupie nie zaobserwowano trwałego wzrostu napięcia układu adrenergicznego w trakcie cyklu treningowego. Pewne cechy (graniczny statystycznie wzrost wrażliwości baroreceptorów tętnicznych, a także nieznaczne wydłużenie cyklu serca i wartości średnich rMSSD i pNN<sub>50</sub>) wydają się sugerować powysiłkowe wzmożenie napięcia nerwu błędnego w badanej grupie sportowców.

## Streszczenie

**Wstęp:** *Celem pracy była ocena wpływu ciężkiego, długotrwałego treningu fizycznego podejmowanego przez sportowców wyczynowych klasy regionalnej na profil autonomicznego układu nerwowego. Przedmiotem szczególnego zainteresowania była ocena ewentualnego występowania w badanej grupie zjawiska odwrócenia trendu — z charakterystycznej wagotonii na sympatykonię.*

**Materiał i metody:** *Badaniami objęto 10 sportowców w wieku  $21 \pm 3$  lat (3 kobiety i 7 mężczyzn). Spośród badanych 8 osób uprawiało dyscypliny wytrzymałościowe (biegacze średnio- i długodystansowi, pływacy, triathloniści), 2 osoby uprawiały dyscypliny siłowe (pchnięcie kulą i rzut dyskiem). Oceny parametrów autonomicznego układu nerwowego dokonywano dwukrotnie — w końcowej fazie treningu przygotowawczego i w końcowej fazie treningu startowego. U każdej osoby przeprowadzano 8-minutową, ciągłą rejestrację sygnałów skurczowego ciśnienia tętniczego (Finapress, Ohmeda) i długości cyklu serca w czasie regularnego oddechu (0,23 Hz) sterowanego głosem z taśmy magnetofonowej. Z uzyskanych zapisów obliczono w sposób automatyczny parametry zmienności rytmu serca (SDNN, rMSSD, pNN<sub>50</sub>, TP, LF, HF, LFNU, LF/HF) oraz wartości wskaźników BRS (TF-BRS i BRS-RI), wykorzystując program POLYAN (Montescano, Włochy).*

**Wyniki:** *Stwierdzono nieznamienny statystycznie wzrost średnich wartości TP, rMSSD, pNN<sub>50</sub> i długości cyklu serca w fazie treningu startowego w porównaniu z wynikami uzyskanymi w fazie treningu przygotowawczego. Obserwowano również wzrost średniej wartości wskaźnika TF-BRS w fazie treningu startowego w porównaniu z treningiem podstawowym z  $13,8 \pm \pm 6,7$  ms/mm Hg do  $19,2 \pm 7,4$  ms/mm Hg na granicy znamienności statystycznej ( $p = 0,09$ ).*

**Wnioski:** *W badanej grupie sportowców nie zaobserwowano trwałego wzrostu napięcia układu adrenergicznego. Pewne cechy, takie jak wzrost wrażliwości baroreceptorów tętnicznych, TP, rMSSD, pNN<sub>50</sub> i wydłużenie długości cyklu serca, wydają się sugerować powysiłkowe wzmożenie napięcia nerwu błędnego. (Folia Cardiol. 2004; 11: 765–770)*

**autonomiczny układ nerwowy, trening fizyczny**

## Piśmiennictwo

1. Melanson E.L., Freedson P.S. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2001; 85: 442–449.
2. Shin K., Minamitani H., Onishi S., Yamazaki H., Lee M. Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997; 29: 1482–1490.
3. Raczak G., Ratkowski W., Szwoch M. i wsp. Wpływ niewielkiego wysiłku fizycznego na czynność autonomicznego układu nerwowego zdrowych osób w młodym wieku. *Folia Cardiol.* 2003; 10: 195–201.
4. Smith M.L., Hudson D.L., Graitzer H.M. i wsp. Exercise training bradycardia; the role of autonomic balance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989; 21: 40–44.
5. Goldsmith R.L., Bigger J.T. Jr., Bloomfield D.M. i wsp. Physical fitness as a determinant of vagal modulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997; 29: 812–817.
6. Bompa T.O. *Periodization training for sports.* Human Kinetics, Champaign III; 1999.
7. Lutosławska G., Hubner-Woźniak E. Zespół przetrenowania — objawy, mechanizmy i metody wykrywania. *Med. Sport* 2000; 103: 9–14.
8. Lehman M, Foster C., Dickhuth H.H., Gastmann U. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998; 30: 1140–1145.
9. Iellamo F., Legramante J. M., Pigozzi F. i wsp. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation* 2002; 105: 2719–2724.
10. Bernardi L., Passino C., Robergs R., Appenzeller O. Acute and persistent effects of a 46-kilometer wilderness trail run at altitude: cardiovascular autonomic modulation and baroreflexes. *Cardiovas. Res.* 1997; 34: 273–280.
11. Penatz J. Photoelectric measurement of blood pressure, volume and flow in the finger. *Digest of the International Conference on Medicine and Biological Engineering.* Dresden 1973; 104.
12. Maestri R., Pinna G.D. POLYAN: a computer program for polyparametric analysis of cardio-respiratory variability signals. *Comp. Methods Program Biomed.* 1998; 56: 37–48.
13. Robbe H.W.J., Mulder L.J.M., Ruddel H., Langewitz W.A., Veldman J.B.P., Mulder G. Assessment of baroreflex sensitivity by means of spectral analysis. *Hypertension* 1997; 10: 538–543.
14. Pinna G.D., Maestri R., Raczak G., La Rovere M.T. Measuring baroreflex sensitivity from the gain function between arterial pressure and heart period. *Clin. Sci.* 2002; 103: 81–88.
15. Hedelin R., Wiklund U., Berle P., Henriksson-Arsen K. Pre-and post season heart rate variability on adolescent cross-country skier. *Skand. J. Med. Sci. Sports* 2000; 10: 298–303.
16. Pichot V., Busso T., Roche F. i wsp. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002; 34: 1660–1666.
17. Seals D.R., Chase P.B. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *J. Appl. Physiol.* 1989; 66: 1886–1895.
18. Daniłowicz-Szymanowicz L., Raczak G., Ratkowski W. i wsp. Wpływ jednorazowego wysiłku fizycznego o charakterze wytrzymałościowym na czynność autonomicznego układu nerwowego. *Polski Merkuriusz Lekarski* (w druku).
19. Hedelin R., Kentta G., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsen. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32: 1480–1484.
20. Uusitalo A.L., Uusitalo A.J., Rusko H.K. Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. *Clin. Physiol.* 1998; 18: 510–520.
21. Kuipers H., Keizer H.A. Overtraining in elite athletes: review and directions for the future. *Sport Med.* 1988; 6: 79–92.