

Wpływ niewielkiego wysiłku fizycznego na czynność autonomicznego układu nerwowego zdrowych osób w młodym wieku

Grzegorz Raczak¹, Wojciech Ratkowski², Małgorzata Szwoch¹,
Monika Figura-Chmielewska¹, Ludmiła Daniłowicz¹, Mariola Kobuszewska-Chwirot¹,
Jacek Kubica³, Grażyna Świątecka¹ i Stefan Kornecki²

¹II Klinika Chorób Serca Instytutu Kardiologii Akademii Medycznej w Gdańsku

²Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku

³Klinika Kardiologii i Chorób Wewnętrznych Akademii Medycznej w Bydgoszczy

The influence of mild exercise on autonomic nervous system function in healthy young men

Background: *The aim of the study was to assess whether single mild endurance physical exercise causes noticeable changes in autonomic nervous system function in young men.*

Material and methods: *Fifteen young, healthy men, aged 20–24 years, first year students of the Academy of Physical Education and Sport, were included in the study. None of them were practicing any sport regularly during previous 3 months. In the first stage of the study, 10-minute continuous systolic arterial pressure recordings (Finapres, Ohmeda) and heart rate period recordings were performed. In the second stage, physical exercise test was performed (30 min long, 65% of the maximal heart rate). Next, the studied person rested for 60 minutes, then recordings similar to the first stage were performed. From these recordings, several heart rate variability indices (SDNN, RMSSD, pNN50, TP, LF, HF, nLF, LF/HF) and baroreflex sensitivity indices (TF-BRS and BRS-peak) were calculated using POLYAN software (Montescano, Italy).*

Results: *It was found that in the second stage recordings, mean SDNN, TP and TF-BRS values were significantly higher than in the first stage recordings: 74 ± 49 ms vs. 91 ± 53 ms ($p = 0.01$); 6866 ± 9793 ms² vs. 9841 ± 1196 ms² ($p = 0.05$) and 9.8 ± 5.7 ms vs. 13.7 ± 6.5 ms/mm Hg ($p = 0.049$), respectively. Moreover, lowering of the arterial pressure values was found (127 ± 14 vs. 121 ± 12 mm Hg, $p = 0.078$). The remaining indices were not significantly different in both stages of the study.*

Conclusions: *A mild physical exercise taken by young men not practicing any sport causes favorable changes in autonomic nervous system in most of the studied persons. (Folia Cardiol. 2003; 10: 195–201)*

autonomic nervous system, physical exercise

Wstęp

Adres do korespondencji: Dr hab. med. Grzegorz Raczak
II Klinika Chorób Serca IK AMG
ul. Prof. Z. Kieturakisa 1, 80–742 Gdańsk
Nadesłano: 10.02.2003 r. Przyjęto do druku: 17.02.2003 r.

Rola czynności autonomicznego układu nerwowego w patogenezie chorób układu krążenia jest powszechnie znana [1, 2]. Nadmiernie wzmożone na-

pięć części współczulnej tego układu pobudza serce (działanie chrono- i inotropowe dodatnie) oraz obkurcza łożysko naczyniowe, co wiąże się z rozwojem nadciśnienia tętniczego, a także z niewydolnością serca. Wiadomo również, że u chorych po zawale serca stymulacja adrenergiczna prowadzi do zwiększonego automatyzmu komórek mięśniowych oraz nasilenia wczesnych i późnych wyładowań następczych przy jednoczesnym skróceniu czasu ich refrakcji, co w przypadku nałożenia się na zaburzenia repolaryzacji błony komórkowej spowodowane niedokrwieniem, może doprowadzić do wystąpienia incydentu złośliwej arytmii komorowej oraz śmierci pacjenta [3].

Wzmożenie napięcia części przywspółczulnej układu wegetatywnego ma działanie przeciwne, zwiększając w szczególności polaryzację zakończeń nerwowych w węźle zatokowym (działanie chronotropowe ujemne) oraz, w mało poznanim mechanizmie, wydłużając refrakcję mięśnia komór i zapobiegając przez to inicjacji letalnego częstoskurczu komorowego albo migotania komór [4].

Zatem obie części układu wegetatywnego mają działanie przeciwstawne, istnieje przy tym zasada, zgodnie z którą wzrostowi napięcia jednej jego części towarzyszy zwykle zmniejszenie aktywności drugiej.

Badania zmienności rytmu serca (HRV, *heart rate variability*) oraz wrażliwości baroreceptorów tętnicznych (BRS, *baroreflex sensitivity*) stanowią podstawowe metody oceny równowagi współczulno-przywspółczulnej, a ich przydatność w określaniu zagrożenia złośliwą arytmia komorową udokumentowano w licznych badaniach klinicznych [5–7].

Regularny wysiłek fizyczny, zwłaszcza o charakterze wytrzymałościowym, taki jak pływanie, bieganie lub jazda na rowerze, może korzystnie wpływać na równowagę współczulno-przywspółczulną [8–10], jednak warunkiem niezbędnym do uzyskania takiego efektu jest dobranie właściwego obciążenia. Zbyt mały wysiłek nie wywołuje zamierzonego efektu, natomiast zbyt duży może doprowadzić do nadmiernego, długotrwanie utrzymującego się pobudzenia czynności układu adrenergicznego [11, 12]. Właściwą ocenę wpływu treningu fizycznego na profil autonomiczny utrudnia fakt, że opublikowano stosunkowo niewiele prac na ten temat, szczególnie dotyczących wysiłku jednorazowego.

Według Narodowego Programu Ochrony Serca realizowanego w Polsce, uniwersalnym wzorcem aktywności fizycznej zalecanym wszystkim osobom dorosłym jest reguła $3 \times 30 \times 130$ [13]. Oznacza ona, że dla podtrzymania zdrowia oraz odpowiedniej kondycji fizycznej każdy człowiek powinien wyko-

nywać wysiłek co najmniej 3 razy w tygodniu, każdorazowo przez przynajmniej 30 minut z częstością akcji serca wynoszącą około 130 skurczów na minutę. Wysiłek tej wielkości stanowi w grupie osób młodych, w wieku 20–30 lat, zaledwie 65% częstości tętna maksymalnego; jest przez nie subiektywnie oceniany jako niewielki i z tego powodu jego znaczenie jest często lekceważone.

Celem pracy było zbadanie, czy tak małe obciążenie, zastosowane jednorazowo powoduje u młodych mężczyzn, którzy nie pracują fizycznie ani nie uprawiają regularnie żadnej dyscypliny sportowej, korzystne zmiany w czynności autonomicznego układu nerwowego zauważalne godzinę po zaprzestaniu wysiłku.

Material i metody

Badaniami objęto 15 młodych, zdrowych mężczyzn, w wieku 20–24 lat, studentów pierwszego roku Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku. Warunkiem włączenia do badań był negatywny wywiad chorobowy, szczególnie w zakresie nadciśnienia tętniczego oraz chorób układu krążenia, nieprzyjmowanie jakichkolwiek leków, prawidłowe wartości ciśnienia tętniczego i częstości akcji serca oraz obecność prawidłowego rytmu zatokowego stwierdzanego w zapisie elektrokardiograficznym. Żadna z osób zakwalifikowanych do badań nie uprawiała regularnie sportu w okresie 3 miesięcy. Każda z nich wyraziła zgodę na udział w badaniach.

Cykl badania każdej osoby składał się z 4 etapów. W pierwszym przeprowadzano podstawową rejestrację sygnałów skurczowego ciśnienia tętniczego (SAP, *systolic arterial pressure*) i długości cyklu serca (HP, *heart period*) według opisanego niżej protokołu, w drugim — próbę wysiłkową. Po odpoczynku (etap 3) u wszystkich osób wykonywano ponowną (identyczną jak w etapie 1) rejestrację sygnałów SAP i HP, co stanowiło etap 4 badań. Każdy etap trwał, według planu, 60 minut, zatem całe badanie przeprowadzane u 1 osoby trwało 4 godziny.

Rejestracja sygnałów SAP i HP

Zapisu HP oraz ciągłą (*beat to beat*) nienawyżną rejestrację SAP dokonywano, używając odpowiednio aparatu Mingograf 720 oraz Finapres firmy Ohmeda. Uzyskane zsynchronizowane dane przekazywano przez konwerter analogowo-cyfrowy do komputera, a następnie analizowano przy użyciu oprogramowania POLYAN [14].

Okres właściwej rejestracji sygnałów poprzedzono 15-minutowym wypoczynkiem pacjenta

w pozycji leżącej, po którym dokonywano u każdej badanej osoby 10-minutowego zapisu spontanicznej zmienności SAP i HP.

Spektralne wskaźniki BRS

Do analizy wybranych wskaźników BRS wybrano fragment stacjonarnego zapisu SAP i HP o czasie trwania nie krótszym niż 240 s. Wartości wskaźników BRS oceniano w sposób automatyczny, co ograniczało subiektywizm badania. Wartość wskaźnika TF-BRS obliczano, wykorzystując okna Parzena o szerokości 0,03 Hz jako średnią wartość modułu funkcji przejścia (TF, *transfer function*) w zakresie częstotliwości 0,04–0,15 Hz, z wykorzystaniem własnej modyfikacji [15] algorytmu Robbeo i wsp. [16] powstałej we współpracy z G.D. Pinna (Centro Medico di Montescano, Włochy).

Do obliczenia wartości TF-BRS używano wszystkich punktów krzywych SAP i HP bez względu na wielkość oraz znamienność koherencji. Wartość wskaźnika BRS-*peak* stanowiła maksymalna wielkość BRS uzyskana w tym zakresie.

W badaniu HRV uwzględniano poniższe parametry.

Analiza czasowa:

- pNN50 (*percentage of differences greater than 50 ms between adjacent normal RR intervals*) — odsetek różnic między sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego przekraczających 50 ms;
- rMSSD (*root mean square of successive differences*) — pierwiastek kwadratowy z średniej z kwadratów różnic między sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego;
- SDNN (*standard deviation of all normal RR intervals*) — odchylenie standardowe wszystkich cykli rytmu zatokowego.

Analiza częstotliwościowa:

- TP (*total power*) — całkowita moc widma;
- HF (*high frequency power*) — moc widma w zakresie wysokich częstotliwości;
- LF (*low frequency*) — moc widma w zakresie niskich częstotliwości;
- nLF (*normalized LF power*) — względna moc widma w zakresie niskich częstotliwości, wyrażona w jednostkach znormalizowanych (NU, *normalized units*);
- LF/HF — iloraz LF do HF.

Próba wysiłkowa

Po podłączeniu standardowych odprowadzeń EKG, rozpoczynano próbę z prędkością ruchu bieżni 5,5 km/h, zwiększając w sposób skokowy jej prędkość aż do uzyskania 65% maksymalnej dla danego wieku częstości akcji serca. Stan taki utrzymywano

przez 30 min, następnie kończono próbę. Przez cały czas ruchu bieżni oraz przez 5 min po jej zatrzymaniu monitorowano w sposób ciągły częstość akcji serca oraz okresowo ciśnienie tętnicze.

Wyniki

U wszystkich osób włączonych do badań uzyskano zamierzone przyspieszenie częstości akcji serca, jak również utrzymano ją przez 30 min. Stwierdzono, że średnia wielkość HP mierzona godzinę po zaprzestaniu wysiłku nie różniła się istotnie od wartości wyjściowej, wielkość SAP (tab. 1) była natomiast nieco obniżona (różnica na granicy znamienności statystycznej).

W analizie czasowej krótkotrwałych zapisów sygnału HP dokonanych przed wysiłkiem i godzinę po jego zakończeniu odnotowano znamienny wzrost wartości wskaźnika SDNN oraz wielkości odpowiadającego mu wskaźnika TP uzyskiwanego z analizy częstotliwościowej (tab. 1). Pozostałe wskaźniki HRV, szczególnie te, które reprezentują adrenergiczną część układu wegetatywnego (LF, nLF, LF/HF), nie zmieniły się w sposób istotny.

Wrażliwość baroreceptorów tętniczych (TF-BRS) u znacznej większości badanych (10 osób) wzrosła, u 3 się obniżyła, w tym u 2 nieznacznie, natomiast u 1 osoby wyraźnie — aż o 7 ms/mm Hg (ryc. 1). Przypadek największego wzrostu TF-BRS, następującego pod wpływem zastosowanego treningu (z 6,3 ms/mm Hg do 25,5 ms/mm Hg) przedstawiono na rycinie 2. Obserwowanemu wzrostowi BRS towarzyszył podobny wzrost TP (z 2733 ms do 3784 ms), SDNN (z 57 ms do 84 ms) i RMSSD (z 58 ms do 79 ms) bez zmian wartości wskaźników LF i nLF. U osoby, u której stwierdzono znaczące obniżenie TF-BRS oraz BRS-*peak*, wartości HRV nie zmieniły się w sposób wyraźny, a w wywiadzie, podobnie jak u pozostałych badanych, nie odnotowano nadciśnienia tętniczego ani innych obciążeń.

Porównując wartości średnie TF-BRS uzyskane w całej badanej grupie, stwierdzono istotny wzrost wartości wskaźnika pod wpływem wykonywanego ćwiczenia (z $9,8 \pm 5,7$ ms/mm Hg do $13,7 \pm 6,5$ ms/mm Hg; $p = 0,049$). Wartość średnia BRS-*peak* również wzrastała pod wpływem wysiłku, jednak stopień zmian osiągnął graniczną znamienność statystyczną ($p = 0,08$).

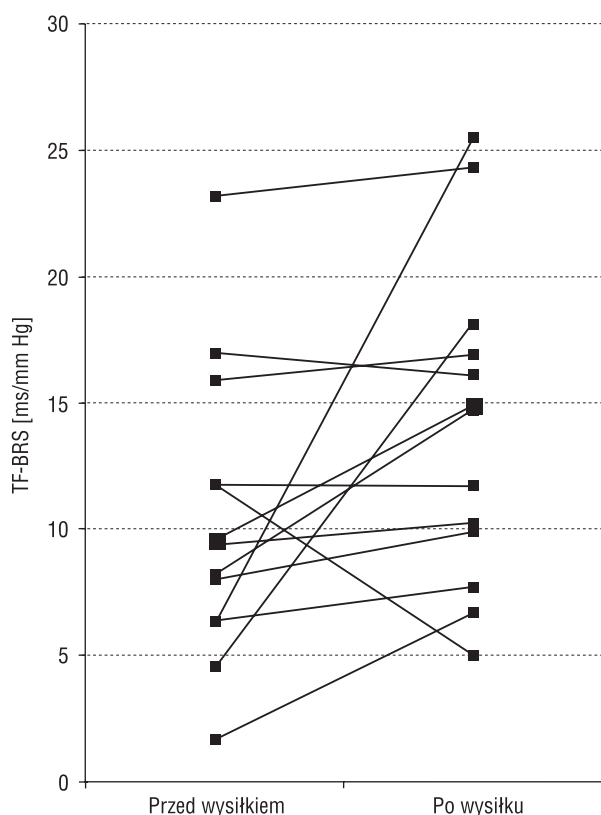
Dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że wykonanie nawet niewielkiego, jednorazowego wysiłku o charakterze wytrzymałościowym powoduje u znacznej większo-

Tabela 1. Porównanie wartości średnich wskaźników czynności autonomicznego układu nerwowego uzyskanych w badanej grupie przed wysiłkiem oraz po nim**Table 1.** Comparison of autonomic nervous system function indices in the studied population before and after physical exercise

n = 15	Przed wysiłkiem	Po wysiłku	p
Średni HP [ms]	986 ± 169	987 ± 144	> 0,1
Średnie SAP [mm Hg]	127 ± 14	121 ± 12	0,078
SDNN [ms]	74 ± 49	91 ± 53	0,011
RMSSD [ms]	82 ± 72	98 ± 81	> 0,1
pNN50	39% ± 28%	44% ± 26%	> 0,1
TP [ms ²]	6866 ± 9793	9841 ± 1196	0,050
LF [ms ²]	1993 ± 2867	2901 ± 4246	> 0,1
HF [ms ²]	3210 ± 5320	4076 ± 7176	> 0,1
nLF [NU]	52 ± 18	54 ± 24	> 0,1
LF/HF	1,3 ± 0,9	1,7 ± 1,2	> 0,1
TF-BRS [ms/mm Hg]	9,8 ± 5,7	13,7 ± 6,5	0,049
BRS-peak [ms/mm Hg]	17 ± 14	23 ± 12	0,08

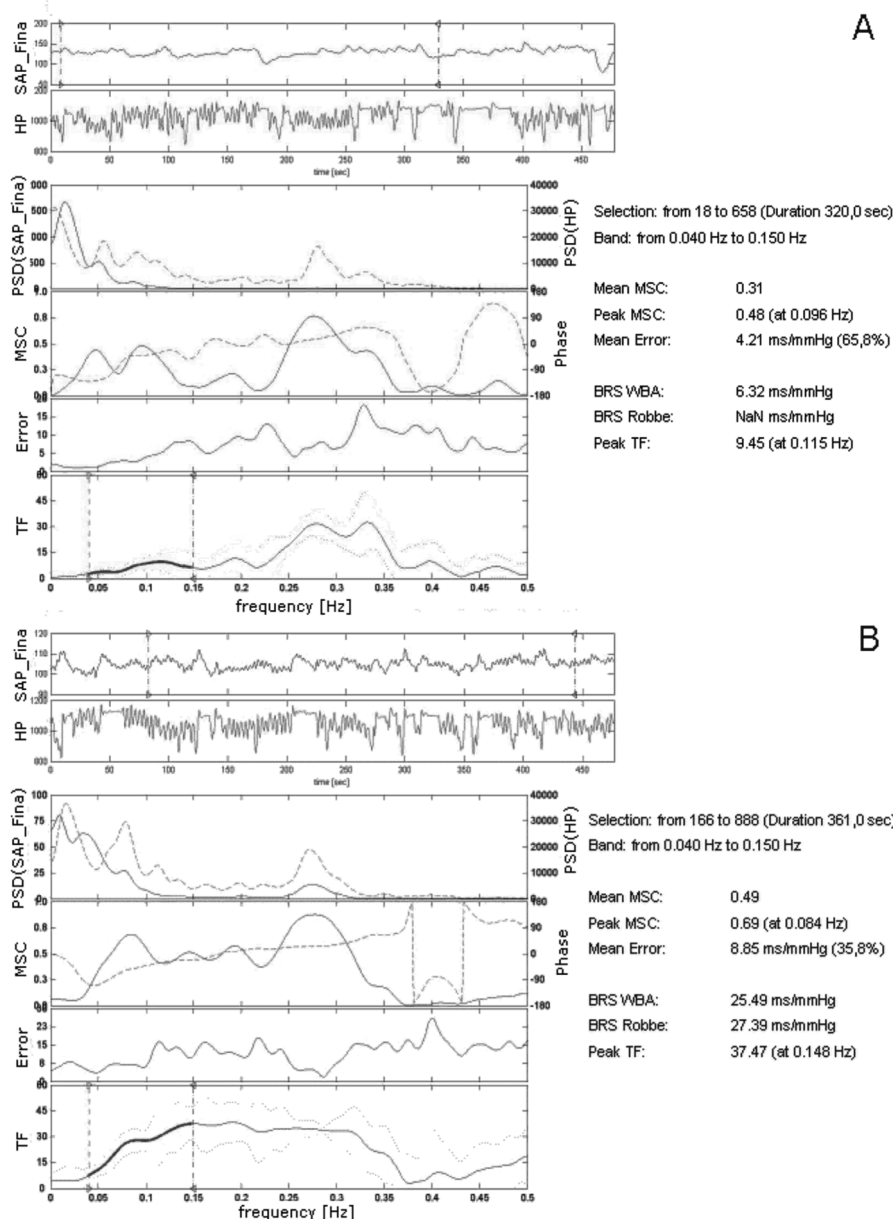
HP (heart period) — długość cyklu serca; SAP (systolic arterial pressure) — skurczowe ciśnienie tętnicze; SDNN (standard deviation of normal RR intervals) — odchylenie standardowe cykli rytmu zatokowego; pNN₅₀ (percentage of differences greater than 50 ms between adjacent normal RR intervals) — odsetek różnic pomiędzy sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego przekraczających 50 ms; rMSSD (root mean square of successive differences) — pierwiastek kwadratowy z średniej z kwadratów różnic między sąsiednimi cyklami rytmu zatokowego; TP (total power) — całkowita moc widma zmienności rytmu serca; LF (low frequency power) — moc widma zmienności rytmu zatokowego w zakresie niskich częstotliwości; HF (high frequency power) — moc widma zmienności rytmu zatokowego w zakresie wysokich częstotliwości; nLF (normalized LF power) — względna moc LF, [NU — normalized units]; TF-BRS (baroreflex sensitivity calculated using transfer function) — czułość odruchu z baroreceptorów wyznaczona metodą spektralną; BRS-peak (peak value of BRS) — maksymalna wartość BRS

**Rycina 1.** Wpływ wysiłku fizycznego na wielkość TF-BRS obserwowany u poszczególnych badanych**Figure 1.** Influence of physical exercise on TF-BRS value observed in the studied persons

ści badanych, wzrost TF-BRS oraz wskaźników SDNN i TP, przy braku zmian LF, co sugeruje korzystne dla organizmu wzmocnienie napięcia części przywspółczulnej układu wegetatywnego. Brak takiej reakcji u niektórych osób może stanowić argument do zwiększenia intensywności treningu.

Wpływ wysiłku na czynność układu wegetatywnego

Pierwszą reakcją organizmu na obciążenie wysiłkiem, następującą w ciągu pierwszych kilkunastu sekund jest gwałtowne zmniejszenie napięcia nerwu błędnego, powodujące wzrost częstości akcji serca [1, 17]. Jeżeli wysiłek się przedłuża albo wzrasta jego intensywność, dodatkowo zwiększa się napięcie adrenergiczne, co prowadzi do nasilenia się tachykardii [17] oraz obkurczenia obwodowego łóżyska naczyniowego. Jak dowiodły badania przeprowadzone przez Sanders i wsp. [18], zwiększenie napięcia nerwów współczulnych zaopatrujących mięśnie następuje już 30–60 s po rozpoczęciu wysiłku. Istotną rolę regulacyjną w zachodzących reakcjach ma czynność baroreceptorów tętniczych oraz polecenia pochodzące z centralnego układu nerwowego [1]. Współczulnemu obkurczeniu łóżyska naczyniowego przeciwdziała rozszerzenie naczyń zaopatrujących pracujące aktualnie mięśnie. Bódcem do tej reakcji nie jest jednak zmiana napięcia układu wegetatywnego, ale czynniki metabo-



Rycina 2. Przykład znacznych wzrostów TF-BRS i BRS-peak pod wpływem wykonanego wysiłku u 1 osoby. W częściach **A** i **B** ryciny przedstawiono odpowiednio zapisy uzyskane przed wykonaniem ćwiczeń i po ich wykonaniu

Figure 2. Example of significant increase in TF-BRS and BRS-peak values as a result of physical exercise taken by one of the studied persons. Figures **A** and **B** show recordings performed before and after the exercise, respectively

liczne [1]. Zaprzymanie wysiłku powoduje stopniowe zmniejszanie napięcia współczulnego, na korzyść układu przywspółczulnego, czemu odpowiada zwolnienie częstości akcji serca oraz obniżenie ciśnienia tętniczego [1, 19].

Testy HRV i BRS w ustalaniu minimalnego, skutecznego obciążenia wysiłkiem

Wpływ jednorazowego treningu na czynność baroreceptorów tętniczych badali nieliczni autorzy. Na przykład Somers i wsp. [20] wykazali, że wysiłek wykonany przez osoby z granicznymi warto-

ściami nadciśnienia tętniczego powoduje początkową redukcję BRS (średnio z 16 do 11 ms/mm Hg), stwierdzaną w 10 minucie po zaprzestaniu wysiłku, normalizację w 20 minucie oraz wzrost powyżej wartości wyjściowych (średnio do 23 ms/mm Hg) w 40 i 60 minucie obserwacji. Niektórzy autorzy, stosując inną metodę badania BRS, uzyskali podobne wyniki [21, 22]. Dane z niniejszej pracy są zgodne z powyższymi, chociaż zastosowana przez jej autorów wielkość wysiłku była zdecydowanie niższa. Podczas gdy Somers i wsp. [20] oraz Conventino i wsp. [22] obciążali pacjentów aktywnością

powodującą uzyskanie 100% maksymalnej częstości akcji serca, Halliwill i wsp. [21] uzyskali 80%, a w badaniach przeprowadzonych przez autorów niniejszego artykułu osiągnęli zaledwie 65% tej częstości. Dodatkowym potwierdzeniem zmian zachodzących w czynności układu autonomicznego, obserwowanym w badaniu pod wpływem zastosowanego obciążenia, był wzrost wartości SDNN i TP.

Duża reaktywność układu wegetatywnego rejestrowana za pomocą zastosowanych parametrów, przy braku zmian długości cyklu serca oraz granicznych zmianach ciśnienia tętniczego pozwala przypuszczać, że ocena wskaźników BRS i HRV może okazać się użyteczna w indywidualnym zwiększaniu obciążenia wysiłkiem fizycznym, zwłaszcza proponowanego osobom prowadzącym siedzący tryb życia, nienawykłych do większych obciążeń. Na 15 badanych tylko 12 osób zareagowało w sposób uznany za pozytywny (nastąpił wzrost napięcia nerwu błędnego), natomiast u pozostałych 3 pacjentów nie zaobserwowano takich zmian, co sugeruje zasadność takiego postępowania.

Testy HRV i BRS w wykrywaniu nadmiernego obciążenia

Prawdopodobne testy czynności autonomicznego układu nerwowego mogą być przydatne nie tylko w ustalaniu minimalnej, skutecznej dawki wysiłku, ale również wielkości maksymalnej. Badania

przeprowadzone przez Bernardiego i wsp. [23] wykazały, że jednorazowy ciężki wysiłek, jaki muszą wykonać maratończycy, znajduje odzwierciedlenie w przedłużającym się, wzmożonym napięciu adrenergicznym, o czym świadczą wysokie wartości wskaźników LF/HF i niskie BRS. Iellamo i wsp. [24] stwierdzili natomiast, że wyczerpujący cykl treningowy zastosowany u juniorów wioślarskiej reprezentacji Włoch przed Mistrzostwami Świata powodował stałe przestawienie czynności układu autonomicznego z dominacji przywspółczulnej (typowo kojarzonej ze sportowcami) na współczulną, co trudno uznać za zmianę korzystną. Na podstawie uzyskanych wyników autorzy niniejszego artykułu stwierdzili u 1 osoby wyraźne obniżenie TF-BRS po wysiłku, co może wskazywać na stymulację adrenergiczną. Ponieważ inne wskaźniki nie potwierdziły tej tendencji, zmiana dotyczyła tylko 1 osoby, a obciążenie wysiłkiem było naprawdę niewielkie, nie wydaje się, że można na tej podstawie wyciągać jakiegokolwiek wnioski, chociaż badania w tym kierunku mogą się okazać interesujące.

Wnioski

Zastosowany niewielki wysiłek fizyczny wykonywany przez osoby młode, nieuprawiające sportu powoduje korzystne zmiany w czynności autonomicznego układu nerwowego u większości badanych.

Streszczenie

Wpływ wysiłku na BRS

Wstęp: *Celem pracy było zbadanie, czy jednorazowy łagodny wysiłek o charakterze wytrzymałościowym powoduje u młodych mężczyzn zauważalne zmiany w czynności autonomicznego układu nerwowego.*

Material i metody: *Badaniami objęto 15 młodych, zdrowych mężczyzn, w wieku 20–24 lat, studentów pierwszego roku Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku; żaden z nich nie uprawiał regularnie sportu w ciągu ostatnich 3 miesięcy. W pierwszym etapie badań przeprowadzono 10-minutową, ciągłą rejestrację sygnałów skurczowego ciśnienia krwi (Finapres, Ohmeda) i długości cyklu serca. W drugim etapie wykonywano próbę wysiłkową na bieżni (30 min, 65% maksymalnej częstości akcji serca). Następnie pacjent wypoczywał przez 60 min, po czym ponownie przeprowadzano badanie jak w etapie pierwszym. Z uzyskanych zapisów obliczano parametry zmienności rytmu serca (SDNN, RMSSD, pNN50, TP, LF, HF, nLF, LF/HF) oraz wrażliwości baroreceptorów tętniczych (TF-BRS i BRS-peak), wykorzystując program POLYAN (Montescano, Włochy).*

Wyniki: *Stwierdzono, że w drugiej rejestracji średnie wielkości SDNN, TP i TF-BRS były istotnie wyższe niż w pierwszej, wynosząc odpowiednio 74 ± 49 ms i 91 ± 53 ms ($p = 0,01$); 6866 ± 9793 ms² i 9841 ± 1196 ms² ($p = 0,05$); oraz $9,8 \pm 5,7$ ms i $13,7 \pm 6,5$ ms/mm Hg*

($p = 0,049$). Stwierdzono też obniżenie ciśnienia skurczowego (z 127 ± 14 do 121 ± 12 mm Hg, $p = 0,078$). Pozostałe wskaźniki nie różniły się w obu badaniach w sposób istotny.

Wnioski: *Niewielki wysiłek fizyczny wykonywany przez osoby młode, nieuprawiające sportu powodował korzystne zmiany w czynności autonomicznego układu nerwowego u większości badanych.* (Folia Cardiol. 2003; 10: 195–201)

autonomiczny układ nerwowy, wysiłek fizyczny

Piśmiennictwo

- Eckberg D.L., Sleight P. Human baroreflexes in health and disease. W: Eckberg D.L., Sleight P. (red.). Clarendon Press, Oxford 1992.
- Schwartz P.J. The autonomic nervous system and sudden death. Eur. Heart J. 1998; 19: F72–F80.
- Podrid P.J., Fuchs T., Candinas R. Role of the sympathetic nervous system in the genesis of ventricular arrhythmia. Circulation 1990; 82 (supl. I): 103–113.
- Zipes D.P., Wellens H.J.J. Sudden cardiac death. Circulation 1998; 98: 2334–2351.
- Kleiger R.E., Miller J.P., Bigger J.T. Jr, Moss A.J. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. Am. J. Cardiol. 1987; 59: 256–262.
- La Rovere M.T., Bigger J.T. Jr, Marcus F.L., Mortara A., Schwartz P.J. Baroreflex sensitivity and heart-rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction. Lancet 1998; 351: 478–484.
- Seidl K., Rameken M., Gohl K. i wsp. Baroreflex sensitivity and heart rate variability are independent risk indicators for 1-year mortality in patients after acute transmural myocardial infarction and individually optimized therapy. Results of the post-infarct risk stratification study (PIRS). J. Am. Coll. Cardiol. 2000; 35 (supl. A): 145.
- 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.
- Howorka K., Pumplrla J., Haber P., Koller-Strametz J., Mondrzyk J., Schabmann A. Effects of physical training on heart rate variability in diabetic patients with various degrees of cardiovascular autonomic neuropathy. Cardiovasc. Res. 1997; 34: 206–214.
- 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.
- 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.
- Iellamo F., Legramante J.M., Pigozzi F., Spataro A., Norbiato G., Lucini D., Pagani M. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. Circulation 2002; 105: 2719–2724.
- Cendrowski Z. Serce sportowe, czyli przed zawalem uciekaj na własnych nogach. Narodowy Program Ochrony Serca. Instytut Kardiologii, Warszawa 2000.
- Maestri R., Pinna G.D. POLYAN: a computer program for polyparametric analysis of cardio-respiratory variability signals. Comput. Methods Programs Biomed. 1998; 56: 37–48.
- 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.
- Robbe H.W.J., Mulder L.J.M., Ruddel H., Langewitz W.A., Veldman J.B.P., Mulder G. Assessment of baroreceptor reflex sensitivity by means of spectral analysis. Hypertension 1987; 10: 538–543.
- Freyschuss U. Cardiovascular adjustment to somatomotor activation. Acta Physiol. Scand. 1970; 342 (supl.): 1–63.
- Sanders J.S., Mark A.L., Ferguson D.W. Evidence for cholinergically mediated vasodilatation at the beginning of isometric exercise in humans. Circulation 1989; 79: 815–824.
- Arai Y., Saul J.P., Albrecht P., Hartley L.H., Lilly L.S., Cohen R.J., Colucci W.S. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. Am. J. Physiol. 1989; 56: H132–H141.
- Somers V.K., Conway J., Le Winter M., Sleight P. The role of baroreflex sensitivity in post exercise hypotension. J. Hypertens. 1985; (supl. 3): S129–S130.
- Hallwill J.R., Taylor J.A., Hartwig T.D., Eckberg D.L. Augmented baroreflex heart rate gain after moderate-intensity, dynamic exercise. Am. J. Physiol. 1996; 270: R420–R426.
- Convertino V.A., Adams W.C. Enhanced vagal baroreflex response during 24 h after acute exercise. Am. J. Physiol. 1991; 260: R570–R575.
- 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. Cardiovasc. Res. 1997; 34: 273–280.
- Iellamo F., Legramante J., Pigozzi F. i wsp. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. Circulation 2002; 105: 2719–2724.