

¹Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej i Elektrokardiologii Nieinwazyjnej Instytutu Kardiologii w Warszawie

²Klinika Nadciśnienia Tętniczego Instytutu Kardiologii w Warszawie

³Klinika Wad Wrodzonych Serca Instytutu Kardiologii w Warszawie

Wczesne wykrywanie zaburzeń czynności rozkurczowej lewej komory u osób z nadciśnieniem tętniczym pierwotnym na podstawie sejsmokardiografii

Early diagnosis of diastolic left ventricular dysfunction in patients with primary hypertension based on seismocardiography

Summary

Background In patients with hypertension diastolic dysfunction of left ventricle is early symptom and overtakes hypertrophy and systolic dysfunction. Seismocardiography (SCG) can be used for monitoring changes in cardiac function during exercise test (EXT) based on systolic and diastolic cardiac time intervals (CTI).

The aim of the study was to assess the usefulness of SCG for early diagnosis of left ventricular diastolic dysfunction in patients with primary hypertension.

Material and methods The study population consisted of 60 persons divided into two groups: A: 30 pts with essential hypertension, 37 ± 6 years with normal systolic and diastolic function; B: 30 healthy volunteers (HV), 34 ± 7 years. All of them had symptom-limited EXT on cycloergometer performed.

SCG was done simultaneously with EXT.

Workload in Watts, duration of EXT in minutes, HR and BP at rest and effort from EXT as well as CTI — PEP, IVCT, LVET, IVRT, PEP/LVET, MPI =

(IVCT+IVRT)/LVET), g value, from SCG were measured.

Results Worse global myocardial performance in the group of hypertension pts in range of higher MPI 0.36 ± 0.11 vs. 0.26 ± 0.1 ($p = 0.001$) as well as diastolic dysfunction in range of prolongation of IVRT during exercise (56 ± 12 — 60 ± 19 ms) were stated. Longer IVRT (60 ± 18 vs. 38 ± 16) ($p < 0.001$) and lower g value (87 ± 29 vs. 106 ± 19) ($p < 0.01$) during exercise in comparison to HV were stated.

Conclusions Worse global myocardial performance in hypertension patients during exercise SCG in comparison with HV were stated. In hypertensive patients diastolic dysfunction during exercise SCG was revealed. Seismocardiography may be useful method for early diagnosis of left ventricular diastolic dysfunction.

key words: seismocardiography, primary hypertension, diastolic dysfunction

Arterial Hypertension 2007, vol. 11, no 4, pages 304–309.

Adres do korespondencji: dr med. Iwona Korzeniowska-Kubacka
Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej i Elektrokardiologii
Nieinwazyjnej, Instytut Kardiologii
ul. Alpejska 42, 04–628 Warszawa
tel.: (022) 343–43–51, faks: (022) 343–45–19
e-mail: drkubacka@wp.pl

 Copyright © 2007 Via Medica, ISSN 1428–5851

Wstęp

Do najczęstszych przyczyn zaburzeń funkcji rozkurczowej mięśnia sercowego należą: nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca, podeszły

wiek, kardiomiopatia i cukrzyca [1, 2]. Zaburzenia funkcji rozkurczowej u chorych na nadciśnienie tętnicze są wczesnym objawem i niejednokrotnie wyprzedzają zaburzenia funkcji skurczowej oraz mogą poprzedzać rozwój przerostu lewej komory [2, 4]. Przyczynami zaburzeń rozkurczu są: przerost i przebudowa mięśnia sercowego ze zmianą geometrii lewej komory, zwiększone naprężenie skurczowe i rozkurczowe oraz niedokrwienie mięśnia sercowego, zwłaszcza w obszarze podśierdziowym, w następstwie podwyższonego ciśnienia rozkurczowego [1]. Pierwszą zauważalną nieprawidłowością dotyczącą napełniania rozkurczowego jest zwolniona lub upośledzona relaksacja miokardium [2]. Echokardiografia dopplerowska stanowi obecnie najbardziej dostępną i dobrze udokumentowaną metodę oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory [1, 2]. Sejsmokardiografia (SKG) jest nieinwazyjną metodą pozwalającą na ocenę czynności skurczowej i rozkurczowej mięśnia lewej komory w spoczynku i w czasie wysiłku na podstawie czasów podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory, co wykazano u chorych z chorobą niedokrwienną serca [5–9]. Czasy trwania podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory są miarą funkcji mięśnia sercowego. Wiadomym jest, że u osób z nieuszkodzoną lewą komorą, wraz ze wzrostem częstotliwości pracy serca skraca się podokres przedwyrzutowy (PEP, *preejection period*), czas skurczu izowolumetrycznego (IVCT, *isovolumetric contraction time*), rozkurczu izowolumetrycznego (IVRT, *isovolumetric relaxation time*) oraz wydłuża się czas wyrzutu (LVET, *left ventricular ejection time*) [10–11]. Zgodnie z wiedzą autorów dotychczas nie oceniano czasów podokresów skurczu i rozkurczu w spoczynku i w czasie wysiłku u osób z nadciśnieniem tętniczym. Celem pracy była ocena przydatności sejsmokardiografii do wczesnego wykrywania zaburzeń funkcji rozkurczowej lewej komory u chorych z nadciśnieniem tętniczym.

Materiał i metody

Badaniami objęto 60 mężczyzn podzielonych na dwie grupy. Grupę A stanowiło 30 pacjentów z nadciśnieniem tętniczym pierwotnym łagodnym i umiarkowanym w wieku 37 ± 6 lat. Grupę B stanowiło 30 zdrowych ochotników w wieku 34 ± 7 lat. Obie grupy były porównywalne pod względem wieku. Pacjenci z grupy A mieli odstawione leki hipotensyjne na 12 dni przed badaniem. U wszystkich badanych wykonano sejsmokardiograficzną i elektrokardiograficzną próbę wysiłkową. Dodatkowo pa-

cjenci z grupy A z nadciśnieniem tętniczym mieli wykonane badanie echokardiograficzne (ECHO).

Sejsmokardiograficzna próba wysiłkowa

Próbę sejsmokardiograficzną wykonywano w czasie próby elektrokardiograficznej przy użyciu aparatu Seismocardiograph 2000. Polegała na 3 jednoczesnych rejestracjach w pozycji leżącej przed wysiłkiem, bezpośrednio po wysiłku oraz po 5 minutach odpoczynku (badanie pomocnicze) za pomocą czujnika (akcelerometru), który umieszczano na mostku, tuż powyżej wyrostka mieczykowatego [9].

Analizowano następujące parametry spoczynkowe i wysiłkowe uzyskane w czasie próby sejsmokardiograficznej: podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory w ms: PEP, IVCT, LVET, IVRT. Badano także wskaźniki wydolności mięśnia sercowego: współczynnik kurczliwości PEP/LVET, wskaźnik globalnej wydolności mięśnia sercowego (MPI, *myocardial performance index*) = $(IVCT + IVRT)/LVET$ oraz przyspieszenie ruchu lewej komory — wartość g w jednostkach przyspieszenia ziemskiego ($1 g = 9,81 m/s^2$).

Elektrokardiograficzna próba wysiłkowa

U wszystkich badanych wykonano próbę wysiłkową ograniczoną objawami ze wzrastającym obciążeniem 50 W co 3 minuty na cykloergometrze ERG 601 firmy Bosch przy użyciu aparatury CASE 16 firmy Marquette. Próbę przerywano w przypadku zmęczenia, wzrostu ciśnienia tętniczego powyżej 230/120 mm Hg, obniżenia odcinka ST o co najmniej 2 mm, bólu wieńcowego, spadku ciśnienia tętniczego powyżej 10 mm Hg w stosunku do wartości wyjściowej, osiągnięcia limitu tętna. Za kryterium dodatniej próby wysiłkowej przyjęto horyzontalne lub skośne do dołu obniżenie odcinka ST o co najmniej 1 mm mierzone 80 ms za punktem J.

Oceniano uzyskane obciążenie (w watach), czas trwania próby wysiłkowej (w minutach), częstotliwość rytmu serca HR (liczba uderzeń/min) i wartości ciśnienia tętniczego RR (w mm Hg) w spoczynku i w czasie wysiłku oraz zmiany odcinka ST w EKG (w mm).

Badanie echokardiograficzne

Badania echokardiograficzne wykonano zgodnie ze standardami Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego przy użyciu aparatu Vingmed V przez jednego echokardiografistę [12]. Obrazy rejestrowano na taśmie wideo. Rejestracji w prezentacji *M-mode* w projekcji przymostkowej w osi długiej użyto do oceny wymiarów lewej komory i lewego przedsionka. W pojedynczych przypadkach, gdy ułożenie serca

w klatce piersiowej nie pozwalało na dokonanie wiarygodnych pomiarów w prezentacji *M-mode* (projekcje skośne zawiązujące pomiary), pomiary wykonywano z obrazu 2D w projekcji przymostkowej. Frakcję wyrzutową lewej komory oceniano za pomocą wzoru Teicholza. Funkcję rozkurczową lewej komory oceniano, mierząc parametry napływu mitralnego przy użyciu doplera pulsacyjnego i ciągłego. Z trzech cykli uśredniano prędkość fali szybkiego napełniania (E), prędkość fali napełniania przedsińkowego (A), stosunek E/A, jak również czas akceleracji (AcT, *acceleration time*), czas deceleracji fali E (DT, *deceleration time*). Czas pomiędzy zakończeniem fazy wyrzutowej i otwarciem zastawki mitralnej, oceniany na podstawie przepływu w drodze odpływu lewej komory metodą fali ciągłej, wyznaczał okres izowolumetrycznego rozkurczu lewej komory (ms).

Zaburzenia funkcji rozkurczowej rozpoznawano, gdy stwierdzono: $E/A < 1$, $DT > 200$ ms oraz $IVRT \geq 100$ ms.

Analiza statystyczna

Dla wszystkich parametrów liczbowych obliczono średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe. Ocenę istotności różnic pomiędzy średnimi dokonywano przy pomocy testu *t*-Studenta dla par niepowiązanych. Za istotne statystycznie przyjęto wartości $p \leq 0,05$.

Wyniki

Na podstawie badania sejsmokardiograficznego u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym w czasie wysiłku wykazano gorszą globalną funkcję mięśnia sercowego w postaci istotnie wyższego MPI i istotnie niższej wartości *g* (przyspieszenie ruchu lewej komory) w porównaniu z osobami zdrowymi. Ponadto u chorych z nadciśnieniem tętniczym w odpowiedzi na wysiłek stwierdzono pogorszenie funkcji rozkurczowej w postaci wydłużenia czasu *IVRT* w badaniu SKG, niezależnie od przyspieszenia częstotliwości rytmu serca. U osób zdrowych w czasie wysiłku nastąpiło skrócenie czasu *IVRT* (tab. I). Sejsmokardiograficzne parametry spoczynkowe funkcji skurczowej i rozkurczowej (*PEP*, *LVET*, *PEP/LVET*, *MPI*, *IVRT*) nie różniły się istotnie między grupami, potwierdzając prawidłową funkcję lewej komory ocenianą w badaniu echokardiograficznym jedynie u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym (tab. II). Średni czas *IVRT* wyniósł 59 ± 15 ms i nie różnił się istotnie w porównaniu z uzyskanym z SKG 56 ± 12 ms. Ponadto w badaniu echokardiograficznym średnie wartości frakcji wyrzutowej wyniosły $69 \pm 6\%$, stosunek fali E/A $1,17 \pm 0,24$, czas deceleracji $168 \pm$

Tabela I. Podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory w czasie wysiłku w grupie A i B na podstawie badania sejsmokardiograficznego

Table I. Systolic and diastolic cardiac time intervals during exercise in group A and B based on seismocardiography

	Grupa A	Grupa B	Wartość p
PEP [m/s]	111 ± 14	111 ± 13	ns
LVET [m/s]	293 ± 37	308 ± 32	ns
PEP/LVET	0,38 ± 0,08	0,36 ± 0,07	ns
IVCT [m/s]	44 ± 12	39 ± 12	ns
IVRT [m/s]	60 ± 19	38 ± 16	$p < 0,001$
MPI	0,36 ± 0,12	0,26 ± 0,1	0,001
Wartość <i>g</i>	87 ± 29	106 ± 19	0,004

PEP (*prejection period*) — podokres przedwyrzutowy; LVET (*left ventricular ejection time*) — czas wyrzutu krwi z lewej komory; PEP/LVET — współczynnik kurczliwości; IVCT (*isovolumetric contraction time*) — czas skurczu izowolumetrycznego; IVRT (*isovolumetric relaxation time*) — czas rozkurczu izowolumetrycznego; MPI (*myocardial performance index*) — indeks globalnej wydolności mięśnia sercowego; ns — niezmiennie statystycznie; p — istotność różnic; 1 *g* = 9,81 m/s²

Tabela II. Podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory w spoczynku w grupie A i B na podstawie badania sejsmokardiograficznego

Table II. Systolic and diastolic cardiac time intervals at rest in group A and B based on seismocardiography

	Grupa A	Grupa B	Wartość p
PEP [m/s]	111 ± 16	111 ± 9	ns
LVET [m/s]	304 ± 18	302 ± 44	ns
PEP/LVET	0,36 ± 0,07	0,37 ± 0,06	ns
IVCT [m/s]	46 ± 18	48 ± 10	ns
IVRT [m/s]	56 ± 12	57 ± 14	ns
MPI	0,33 ± 0,5	0,35 ± 0,08	ns
Wartość <i>g</i>	47 ± 17	52 ± 15	ns

Wyjaśnienia skrótów pod tabelą I

28 ms. W zakresie wydolności fizycznej, ocenianej na podstawie elektrokardiograficznej próby wysiłkowej, nie stwierdzono istotnych różnic między grupami. Jedynie wartości ciśnienia tętniczego w spoczynku i w czasie wysiłku w grupie A były istotnie wyższe w porównaniu z osobami z grupy B. Nie stwierdzono znamiennego obniżenia odcinka ST w czasie próby wysiłkowej w obu badanych grupach (tab. III).

Dyskusja

Najbardziej dostępną i klinicznie użyteczną metodą oceny funkcji rozkurczowej jest echokardiografia dopplerowska. Jest to jednak metoda wymagająca

Tabela III. Wydolność fizyczna na podstawie elektrokardiograficznej próby wysiłkowej w grupie A i B**Table III.** Physical capacity based on exercise test in group A and B

	Grupa A	Grupa B	Wartość p
Obciążenie [W]	155 ± 30	168 ± 28	ns
Czas trwania [minuty]	9,0 ± 2	9,0 ± 2	ns
HR spoczynkowa	89 ± 14	88 ± 12	ns
HR wysiłkowa	146 ± 18	162 ± 10	p < 0,001
Ciśnienie tętnicze skurczowe spoczynkowe	136 ± 12	117 ± 13	p < 0,001
Ciśnienie tętnicze rozkurczowe spoczynkowe	89 ± 7	75 ± 8	p < 0,001
Ciśnienie tętnicze skurczowe wysiłkowe	207 ± 20	185 ± 22	p < 0,001
Ciśnienie tętnicze rozkurczowe wysiłkowe	105 ± 17	83 ± 17	p < 0,001

HR (heart rate) — częstotliwość rytmu serca

drogiego sprzętu diagnostycznego oraz wysokich umiejętności osoby wykonującej badanie. Dopplerowska ocena funkcji rozkurczowej opiera się przede wszystkim na pomiarze parametrów napływu mitralnego. Na podstawie wartości stosunku maksymalnej prędkości wczesnego napływu do maksymalnej prędkości napływu przedsionkowego (E/A), a także czasu izowolumetrycznego rozkurczu oraz czasu deceleracji fali wczesnego napływu, wyróżnia się cztery profile napływu mitralnego odpowiadające: normie, zaburzeniom relaksacji, napełnianiu pseudonormalnemu i napełnianiu restrykcyjnemu [13, 14]. Miarą zaburzonej relaksacji jest wydłużenie IVRT, mała szybkość fali E i przedłużony czas deceleracji fali E. Spośród nich najwrażliwszym wskaźnikiem jest IVRT, który najwcześniej jest nieprawidłowy [1, 2]. Na podstawie wysiłkowego badania SKG u osób z nadciśnieniem tętniczym wykazano pogorszenie funkcji rozkurczowej, typu zaburzeń relaksacji, w postaci wydłużenia czasu rozkurczu izowolumetrycznego IVRT, niezależnie od wysiłkowego przyspieszenia częstotliwości rytmu serca. U osób zdrowych w czasie wysiłku nastąpiło skrócenie czasu rozkurczu izowolumetrycznego. U pacjentów z nadciśnieniem tętniczym stwierdzono pogorszenie globalnej funkcji mięśnia sercowego w odpowiedzi na wysiłek w postaci istotnie wyższego MPI i istotnie niższej wartości g w porównaniu ze zdrowymi ochotnikami. Sejsmokardiografia pozwala na ocenę skurczu i rozkurczu mięśnia sercowego na podstawie czasów podokresu w spoczynku i podczas próby wysiłkowej [4–9]. Ocena podokresów skurczu i rozkurczu lewej

komory w badaniu SKG bezpośrednio po wysiłku może stanowić użyteczny wskaźnik diagnostyczny funkcji mięśnia sercowego. W miarę pogarszania się wydolności lewej komory wydłuża się PEP, IVRT, skraca się LVET, wzrasta PEP/LVET oraz MPI [15].

Niewiele jest prac oryginalnych badających przydatność sejsmokardiografii do oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory. Crow i wsp. wykazali zgodność metody sejsmokardiograficznej i echokardiograficznej w wartościach czasu podokresu w spoczynku u osób zdrowych i z kardiomiopatią rozstrzeniową [16]. W badanej przez autorów niniejszej pracy grupie osób z nadciśnieniem tętniczym, czas rozkurczu izowolumetrycznego z badania sejsmokardiograficznego w spoczynku był również porównywalny z uzyskanym z badania echokardiograficznego.

Zaburzenia funkcji rozkurczowej u osób z nadciśnieniem tętniczym pojawiają się we wczesnym okresie choroby. Slama i wsp. stwierdzili zaburzenia funkcji rozkurczowej u młodych osób z prawidłowym ciśnieniem, których rodzice chorowali na nadciśnienie tętnicze [17]. Manolas i wsp. oceniali funkcję rozkurczową w badaniu echokardiograficznym u osób z nadciśnieniem tętniczym w czasie wysiłku, który polegał na zaciskaniu ręki na uchwycie dynamometru ręcznego metodą *hand-grip-apexcardiography test*. W spoczynku cechy dysfunkcji rozkurczowej wystąpiły u 40% osób, a w czasie wysiłku u 70% [18].

Libonati i wsp. oceniali czasy podokresów metodą sejsmokardiograficzną u 51 zdrowych osób i stwierdzili, że dłuższy wysiłek na bieżni, który był wyrazem lepszej wydolności fizycznej, korelował ze skróceniem czasu rozkurczu izowolumetrycznego, wydłużeniem czasu wyrzutu i obniżeniem indeksu globalnej wydolności mięśnia sercowego [19]. W przeprowadzonych badaniach również stwierdzono skrócenie czasu IVRT i obniżenie wartości MPI w czasie wysiłku w grupie kontrolnej zdrowych ochotników. Ponadto zdrowi ochotnicy osiągnęli wyższe obciążenie i dłuższy czas trwania testu, w porównaniu z pacjentami z nadciśnieniem tętniczym, aczkolwiek bez istotnej statystycznie różnicy. Lim i wsp. oceniali wydolność fizyczną u osób z nadciśnieniem tętniczym na podstawie metaanalizy 170 prac badających to zagadnienie. Wykazali, że osoby z nadciśnieniem tętniczym prezentują gorszą wydolność fizyczną na podstawie próby wysiłkowej oraz że reakcja ciśnienia tętniczego w czasie wysiłku ma użyteczną wartość prognostyczną dotyczącą przebiegu nadciśnienia, powikłań narządowych i zgonów [20]. Natomiast Nair i wsp. oraz Stewart i wsp. wykazali, że przyczyną pogorszenia tolerancji wysiłku u chorych z nadciśnieniem tętniczym jest dysfunkcja rozkurczowa lewej komory [21, 22].

Możliwość nieinwazyjnego śledzenia czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory, jaką stwarza sejsmokardiografia, wydaje się mieć duże znaczenie praktyczne. Badanie wykonuje się przed i bezpośrednio po próbie wysiłkowej, która jest podstawowym testem diagnostycznym w chorobach układu krążenia. Metoda sejsmokardiografii może być wykorzystywana do wczesnego wykrywania dysfunkcji lewej komory nieobecnej w spoczynku, która może się ujawniać dopiero w czasie wysiłku. Pozostaje kwestią otwartą, czy jest metodą wystarczająco dokładną. Wymaga to jednak dalszych badań na większym materiale chorych.

Wnioski

1. U pacjentów z nadciśnieniem tętniczym stwierdzono w czasie wysiłku istotnie gorszą globalną funkcję mięśnia sercowego ocenianą parametrem MPI w porównaniu z osobami zdrowymi.

2. U pacjentów z nadciśnieniem tętniczym w czasie wysiłku stwierdzono pogorszenie funkcji rozkurczowej lewej komory ocenianej w badaniu sejsmokardiograficznym.

3. Sejsmokardiografia może być użyteczną metodą wczesnego wykrywania zaburzeń funkcji rozkurczowej u chorych z nadciśnieniem tętniczym.

Streszczenie

Wstęp Zaburzenia funkcji rozkurczowej u chorych na nadciśnienie tętnicze (NT) są wczesnym objawem i wyprzedzają zaburzenia funkcji skurczowej oraz rozwój przerostu lewej komory serca. Celem pracy była ocena przydatności sejsmokardiografii (SKG) do wczesnego wykrywania zaburzeń funkcji rozkurczowej u chorych z NT.

Materiał i metody Badaniami objęto 60 mężczyzn: 30 z NT pierwotnym łagodnym i umiarkowanym w wieku 37 ± 6 lat (grupa A) i 30 zdrowych ochotników w wieku 34 ± 7 lat (grupa B). U wszystkich badanych wykonano elektrokardiograficzną (EXT) i SKG próbę wysiłkową. Pacjenci z NT mieli wykonane badanie echokardiograficzne.

Analizie poddano: z próby SKG — podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku w ms: PEP, LVET, IVCT, IVRT, PEP/LVET, MPI i wartość g; z próby EXT — czas trwania (min), obciążenie (W), HR i RR w spoczynku i wysiłku; z badania ECHO: EF, E/A, DT, IVRT.

Wyniki Na podstawie SKG pacjenci z NT prezentowali gorszą globalną funkcję mięśnia sercowego

w postaci wyższego MPI: $0,36 \pm 0,11$ vs. $0,26 \pm 0,1$, $p = 0,001$ oraz niższej wartości g: 87 ± 29 vs. 106 ± 19 , $p < 0,01$. Ponadto u chorych z NT stwierdzono pogorszenie funkcji RLK w czasie wysiłku (wydłużenie IVRT) w porównaniu z osobami zdrowymi (60 ± 18 ms vs. 38 ± 16 ms, $p < 0,001$).

Wnioski U pacjentów z NT stwierdzono w czasie wysiłku istotnie gorszą globalną funkcję mięśnia sercowego ocenianą parametrem MPI w porównaniu z osobami zdrowymi. U pacjentów z NT w czasie wysiłku stwierdzono pogorszenie funkcji RLK ocenianej sejsmokardiograficznie. SKG może być użyteczną metodą wczesnego wykrywania zaburzeń funkcji RLK u chorych z NT.

słowa kluczowe: sejsmokardiografia, naciśnienie tętnicze pierwotne, dysfunkcja rozkurczowa lewej komory

Naciśnienie Tętnicze 2007, tom 11, nr 4, strony 304–309.

Piśmiennictwo

1. Poloński L., Niklewski T. Rozkurczowa niewydolność serca. W: Dubiel J.S., Korewicki J., Grodzicki T. (red.). Niewydolność serca. Via Medica, Gdańsk 2004.
2. Witkowska M. Zaburzenia czynności rozkurczowej serca. PZWL, Warszawa 2002; 111–123.
3. Zabalgoitia M., Ur Rahman S.N., Haley W.E. i wsp. Role of left ventricular hypertrophy in diastolic dysfunction in aged hypertensive patients. *J. Hypertens.* 1997; 15: 1175–1179.
4. Marco E.J., Dopico A.M., Otero F., Ramirez A.J., Sanchez R.A. Early abnormalities of left ventricular function in essential hypertension induced by exercise. *Medicine (B. Ariel)* 1992; 52: 311–319.
5. Salerno D., Zanetti J. Seismocardiography for monitoring changes in left ventricular function during ischemia. *Chest* 1991; 100: 991–993.
6. Korzeniowska-Kubacka I., Piotrowicz R. Seismocardiography — a noninvasive technique for estimating of left ventricular function. Preliminary results. *Acta Cardiol.* 2002; 57: 51–52.
7. Korzeniowska-Kubacka I., Rudnicki S., Mazurek K., Rausińska-Nocny L., Dobraszkiewicz-Wasilewska B., Bątkowska K. Przydatność sejsmokardiograficznej próby wysiłkowej w ocenie funkcji lewej komory u chorych z chorobą niedokrwinną serca poddanych treningowi fizycznemu. *Post. Rehab.* 2001; 15: 69–74.
8. Korzeniowska-Kubacka I., Piotrowicz R. Wpływ treningu fizycznego na funkcję skurczową i rozkurczową lewej komory u pacjentów z dysfunkcją mięśnia sercowego w przebiegu choroby niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol.* 2003; 2: 153–160.
9. Korzeniowska-Kubacka I. Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda diagnostyki niedokrwienia w chorobie niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol.* 2001; 8: 341–366.
10. Och J.K., Tajik J. The return of cardiac time intervals. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 8: 1471–1474.
11. Gillebert T.C., Van de Veire N., De Bayzere M.L., De Sufter J. Time intervals and global function. Use and limitation. *Eur. H. J.* 2002; 5: 2185–2186.
12. Kasprzak J.D., Wierzbowska-Drabik K., Drużdż J. Ocena czynności lewej komory — funkcja skurczowa i rozkurczowa. W: *Echokardiografia Praktyczna 2004, Tom I:* 135–146.

13. Maurer M.S., Spevack D., Burkhoff D., Krantz I. Diastolic dysfunction. Can it be diagnosed by Doppler echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2004; 44: 1543–1549.
14. Recommendation for qualification of Doppler echocardiography: a report from the Doppler qualification task force of the nomenclature and standards committee of the American Society of Echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2001; 15: 167–184.
15. Korzeniowska-Kubacka I., Kuśmierczyk-Droszcz B., Bilińska M., Dobraszkiewicz-Wasilewska B., Mazurek K., Piotrowicz R. Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda oceny czynności skurczowej i rozkurczowej mięśnia lewej komory w chorobie niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol. Exc.* 2006; 1: 55–62.
16. Crow R.S., Hannan P., Jacobs D. Relationship between seismocardiogram and echocardiogram for events in the cardiac cycle. *Am. J. Noninvas. Cardiol.* 1994; 8: 39–46.
17. Slama M., Susic D., Varagic J., Frohlich E.D. Diastolic dysfunction in hypertension. *Cur. Opin. Cardiol.* 2002; 17: 368–373.
18. Manolas J. Patterns of diastolic abnormalities during isometric stress in patients with systemic hypertension. *Cardiology* 1997; 1: 36–47.
19. Libonati J.R., Ciccolo J., Glassber G.M. The Tei index and exercise capacity. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2001; 108–113.
20. Lim P.O., Mac Fadyen R.J., Clarkson P.B., Mac Donald T.M. Impaired exercise tolerance in hypertensive patients. *Ann. Int. Med.* 1996; 124: 41–55.
21. Nair V.M., Tekin U.N., Khan I.A. i wsp. Worsening of left ventricular diastolic dysfunction during exercise causes decreased exercise tolerance in hypertension. *Clin. Cardiol.* 2000; 23: 660–664.
22. Stewart K.J., Ouyang P., Backer A.C., Lima S., Shapiro E.P. Exercise effects on cardiac size and left ventricular diastolic function: relationships to changes in fitness, fatness, blood pressure and insulin resistance. *Heart* 2006; 92: 893–898.