

# Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda oceny czynności skurczowej i rozkurczowej mięśnia lewej komory w chorobie niedokrwiennej serca

Iwona Korzeniowska-Kubacka<sup>1</sup>, Beata Kuśmierczyk-Droszcz<sup>2</sup>, Maria Bilińska<sup>1</sup>, Barbara Dobraszkievicz-Wasilewska<sup>1</sup>, Krzysztof Mazurek<sup>1</sup> i Ryszard Piotrowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej i Elektrokardiologii Nieinwazyjnej  
Instytutu Kardiologii w Warszawie

<sup>2</sup>Klinika Wad Wrodzonych Serca Instytutu Kardiologii w Warszawie

## Streszczenie

**Wstęp:** Sejsmokardiografia (SCG) jest nową nieinwazyjną metodą oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory na podstawie długości trwania podokresów w czasie próby wysiłkowej. Dotychczas nie oceniano czasów podokresów skurczu i rozkurczu w trakcie niedokrwienia spowodowanego wysiłkiem u osób z chorobą niedokrwinną serca. Celem pracy było wykazanie przydatności badania sejsmokardiograficznego w ocenie funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory u pacjentów z chorobą niedokrwinną serca z cechami niedokrwienia w czasie wysiłku.

**Materiał i metody:** Sześćdziesięciu mężczyzn ze stabilną chorobą wieńcową po przebytym zawale serca podzielono na grupy A i B. Grupę A stanowiło 30 pacjentów w wieku  $61,7 \pm 6$  lat z dodatnią próbą wysiłkową (ExT) oraz prawidłową frakcją wyrzutową i cechami nieprawidłowej funkcji rozkurczowej w badaniu echokardiologicznym (ECHO). Do grupy B włączono 30 pacjentów w wieku  $60,1 \pm 6$  lat z dodatnią ExT oraz prawidłową frakcją wyrzutową i funkcją rozkurczową. U wszystkich badanych wykonano ECHO, ExT i SCG. Oceniano następujące parametry: na podstawie badania SCG — PEP, LVET, PEP/LVET, MPI, IVRT, MO-RF w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku, na podstawie ExT — czas trwania próby, częstość rytmu serca, ciśnienie tętnicze w spoczynku i w czasie wysiłku oraz wielkość obniżenia odcinka ST w mm.

**Wyniki:** Sejsmokardiograficzne parametry funkcji skurczowej lewej komory w spoczynku były prawidłowe w obu grupach, co potwierdziło prawidłową funkcję skurczową w badaniu ECHO. Natomiast w czasie niedokrwienia spowodowanego wysiłkiem w grupie A stwierdzono wydłużenie PEP z  $115 \pm 13$  do  $116 \pm 17$  ms, skrócenie LVET z  $298 \pm 22$  do  $290 \pm 26$  ms, wzrost PEP/LVET z  $0,39 \pm 0,05$  do  $0,40 \pm 0,08$ , wzrost MPI z  $0,39 \pm 0,1$  do  $0,42 \pm 0,1$ ,

---

Adres do korespondencji: Dr med. Iwona Korzeniowska-Kubacka  
Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej  
i Elektrokardiologii Nieinwazyjnej IK  
ul. Alpejska 42, 04-628 Warszawa  
tel. (0 22) 343 43 51, faks (0 22) 343 45 19  
e-mail: drkubacka@wp.pl

Nadesłano: 16.11.2005 r.      Przyjęto do druku: 16.05.2006 r.

Badania zrealizowano w latach 2003–2005 w ramach pracy  
statutowej nr 2.6/I/03 Instytutu Kardiologii.

skrócenie MO-RF z  $115 \pm 39$  do  $85 \pm 20$  ( $p < 0,001$ ), oraz wydłużenie IVRT z  $67 \pm 21$  do  $72 \pm 21$  ms, co sugerowało pogorszenie funkcji skurczowej i rozkurczowej. W grupie B w czasie niedokrwienia spowodowanego wysiłkiem stwierdzono wydłużenie PEP z  $116 \pm 18$  do  $118 \pm 15$  ms, skrócenie LVET z  $305 \pm 25$  do  $294 \pm 27$  ms, wzrost PEP/LVET z  $0,38 \pm 0,07$  do  $0,40 \pm 0,07$ , wzrost MPI z  $0,37 \pm 0,08$  do  $0,40 \pm 0,09$ , wydłużenie IVRT z  $59 \pm 14$  do  $66 \pm 17$  oraz skrócenie MO-RF z  $112 \pm 39$  do  $85 \pm 28$  ( $p = 0,001$ ), co sugeruje pogorszenie funkcji skurczowej i rozkurczowej pomimo prawidłowej funkcji lewej komory w spoczynku. Nie stwierdzono istotnych różnic w zakresie osiągniętego obciążenia, czasu trwania próby i podwójnego produktu. Jedynie średnie obniżenie odcinka ST na szczycie obciążenia w grupie B było istotnie większe niż w grupie A ( $1,7$  mm vs.  $1,4$  mm,  $p = 0,027$ )

**Wniosek:** Sejsmokardiografia może być użyteczną metodą oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej u chorych po zawale serca z cechami niedokrwienia mięśnia sercowego w czasie wysiłku. (Folia Cardiologica Excerpta 2006; 1: 55–62)

### sejsmokardiografia, podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory

#### Wstęp

W latach 70. XX wieku kardiometryczne metody oceny funkcji lewej komory ze względu na uciążliwość ich wykonywania ustąpiły miejsca echokardiografii (ECHO). Komputeryzacja umożliwiła modernizację metod kardiometrycznych, czego rezultatem jest sejsmokardiografia (SCG, *seismocardiography*). Sejsmokardiografia jest to przedsercowa rejestracja fal niskiej częstotliwości, wibracji, które powstają podczas pracy serca i są przenoszone na powierzchnię klatki piersiowej. Badanie wykonuje się przed elektrokardiograficzną próbą wysiłkową i bezpośrednio po niej. Za pomocą SCG można dokonywać pomiarów czasów kolejnych faz w cyklu pracy serca (tzw. podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku) oraz przyspieszenia, które zostaje nadane masie krwi przez pracujące serce. Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona, siła jest wprost proporcjonalna do przyspieszenia. Równocześnie wiadomo, że ciśnienie definiuje się jako działanie siły na jednostkę powierzchni. Jeśli przyjmiemy, że wewnętrzna powierzchnia komory serca jest w przybliżeniu stała, to ciśnienie w komorze jest wprost proporcjonalne do siły. Zatem ciśnienie w myśl II zasady dynamiki Newtona jest wprost proporcjonalne do przyspieszenia. Ponieważ zmiany ciśnienia w komorze są miarą kurczliwości, to zmiany przyspieszenia są również wykładnikiem zmian kurczliwości [1, 2]. Zatem SCG stwarza możliwość oceny funkcji mięśnia sercowego.

Dotychczasowe publikacje dotyczyły wykorzystania tej metody w wykrywaniu niedokrwienia

w diagnostyce choroby wieńcowej. Udowodniono, że SCG jest czulszą metodą wykrywania niedokrwienia serca niż próba wysiłkowa EKG i równie czułą jak próba izotopowa [3–9]. Niewiele jest prac oryginalnych, które badały przydatność SCG w ocenie funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory.

Jedynie Crow i wsp. wykazali zgodność metody SCG i ECHO w długości czasów trwania podokresów skurczu i rozkurczu w spoczynku u osób zdrowych i z kardiomiopatią rozstrzeniową [10]. Czasy trwania podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory są miarą funkcji mięśnia sercowego. Wiadomo, że u osób z nieuszkodzoną lewą komorą wraz ze wzrostem częstotliwości pracy serca skracają się podokres przedwyrzutowy (PEP, *pre-ejection period*), czas skurczu izowolumetrycznego (IVCT, *isovolumetric contraction time*), rozkurczu izowolumetrycznego (IVRT, *isovolumetric relaxation time*) oraz wydłuża się czas wyrzutu (LVET, *left ventricular ejection time*) [11, 12]. Dotychczas nie oceniano czasów podokresów skurczu i rozkurczu w trakcie niedokrwienia spowodowanego wysiłkiem u osób z chorobą niedokrwienną serca.

Celem pracy było wykazanie przydatności badania sejsmokardiograficznego w ocenie funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory u pacjentów z chorobą niedokrwienną serca z cechami niedokrwienia w czasie wysiłku.

#### Material i metody

Badaniami objęto 60 mężczyzn w wieku  $60 \pm 6$  lat ze stabilną chorobą wieńcową po przebytym

zawale serca, z dodatnią próbą wysiłkową. U wszystkich chorych wykonano badanie echokardiograficzne oraz elektrokardiograficzną i sejsmokardiograficzną próbę wysiłkową. Chorych podzielono na 2 grupy: grupę A stanowiło 30 pacjentów w wieku  $61,7 \pm 6$  lat z zaburzeniami funkcji rozkurczowej i zachowaną funkcją skurczową w badaniu ECHO; grupę B — 30 pacjentów w wieku  $60,1 \pm 6$  lat z zachowaną funkcją skurczową i rozkurczową w badaniu ECHO.

### Badanie echokardiograficzne

Badania echokardiograficzne (ECHO) wykonał zgodnie ze standardami Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego przy użyciu aparatu Vingmed V jeden echokardiografista [13]. Obrazy rejestrowano na taśmie wideo.

Rejestracji w prezentacji *M-mode* w projekcji długiej przymostkowej użyto do oceny wymiarów lewej komory i lewego przedsionka. W pojedynczych przypadkach, gdy ułożenie serca w klatce piersiowej nie pozwalało na wiarygodne pomiary w prezentacji *M-mode* (projekcje skośne zawiązujące pomiary), pomiary wykonywano z obrazu 2D w projekcji przymostkowej. Frakcję wyrzutową (EF, *ejection fraction*) lewej komory określano za pomocą wzoru Simpsona [13]. Oceniając funkcję rozkurczową lewej komory (a dokładniej, rozróżniając podwyższone i prawidłowe ciśnienie rozkurczowe w lewej komorze), opierano się na klasycznych parametrach napływu mitralnego [14]. Rejestracji dokonano metodą Dopplera z wykorzystaniem fali pulsacyjnej z bramką 5 mm na szczycie otwartych płatków zastawki mitralnej. Kierunek wiązki dopplerowskiej był zgodny z kierunkiem napływu mitralnego. Rejestracji dokonywano przy prędkości przesuwu obrazu 100 mm/s.

Oceniano:

- wartość EF (%);
- E/A — stosunek maksymalnej prędkości wczesnego napływu do lewej komory do maksymalnej prędkości napływu przedsionkowego;
- DT (*deceleration time*) — czas deceleracji fazy wczesnego napływu do lewej komory [ms];
- czas rozkurczu izowolumetrycznego lewej komory [ms].
- zaburzenia funkcji rozkurczowej rozpoznawano gdy:  $E/A < 1$ ,  $DT > 200$  ms oraz  $IVRT \geq 100$  ms.

Rejestracji dokonywano przy użyciu fali ciągłej, jednocześnie rejestrując napływ mitralny i wypływ z lewej komory, mierząc czas pomiędzy zakończeniem fazy wyrzutowej a otwarciem zastawki mitralnej [15]. Wszystkie parametry uśredniano na podstawie trzech cykli.

### Elektrokardiograficzna próba wysiłkowa

U wszystkich badanych wykonano próbę wysiłkową ograniczoną objawami z obciążeniem wzrastającym o 50 W co 3 min. na cykloergometrze Ergometrics 800 firmy Margot Medical Ergo-Line, przy użyciu aparatury CASE 12 firmy Marquette. Próbę przerywano, gdy osiągnięto limit tętna lub 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. 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), częstość rytmu serca (HR, *heart rate* — liczba uderzeń/min) i wartości ciśnienia tętniczego (w mm Hg) w spoczynku i w czasie wysiłku oraz zmiany odcinka ST w EKG (w mm).

### Sejsmokardiograficzna próba wysiłkowa

Próbie sejsmokardiograficzną wykonywano w czasie próby elektrokardiograficznej przy użyciu aparatu Seismocardiograph 2000. Polegała ona na trzech 1-minutowych rejestracjach w pozycji leżącej przed wysiłkiem, bezpośrednio po wysiłku oraz po 5-minutowym odpoczynku (zapis pomocniczy) za pomocą czujnika (akcelerometru), który umieszczano na mostku, tuż powyżej wyrostka mieczykowatego.

Analizowano następujące parametry spoczynkowe i bezpośrednio po wysiłku uzyskane w czasie próby sejsmokardiograficznej:

1. Parametry funkcji skurczowej [ms]:
  - PEP — podokres przedwyrzutowy [mierzony od Q w EKG do otwarcia zastawki aortalnej (AO, *aortic valve opening*)];
  - LVET — czas wyrzutu krwi z lewej komory [mierzony od otwarcia zastawki aortalnej (AO) do zamknięcia zastawki mitralnej (MC, *mitral valve closure*)];
  - PEP/LVET — współczynnik kurczliwości;
  - IVCT — czas skurczu izowolumetrycznego [mierzony od zamknięcia zastawki mitralnej (MC) do otwarcia zastawki aortalnej (AO)].
2. Parametry funkcji rozkurczowej [ms]:
  - MO-MC — podokres napełniania lewej komory (od otwarcia do zamknięcia zastawki mitralnej);
  - IVRT — czas rozkurczu izowolumetrycznego [mierzony od zamknięcia zastawki aortalnej (AC) do otwarcia zastawki mitralnej (MO)];

- MO-RF — czas szybkiego napełniania lewej komory (od otwarcia zastawki mitralnej do szczytu fali szybkiego napełniania lewej komory).
- 3. Parametry globalnej czynności lewej komory
- MPI (*myocardial performance index*) — współczynnik globalnej wydolności mięśnia sercowego (IVCT + IVRT)/LVET;
- wartość g — przyspieszenie ruchu lewej komory mierzone w jednostkach przyspieszenia ziemskiego ( $1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Wszyscy chorzy wyrazili zgodę na udział w badaniach. Pracę przeprowadzono za zgodą Komisji Bioetycznej Instytutu Kardiologii.

### Analiza statystyczna

Dla wszystkich parametrów liczbowych obliczono średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe. Oceny istotności różnic między średnimi dokonywano za pomocą testu *t*-Studenta dla par powiązanych i niepowiązanych. Związek pomiędzy parametrami ECHO i SKG określającymi funkcję lewej komory zbadano, używając analizy korelacji. Za istotne statystycznie przyjęto wartości  $p \leq 0,05$ .

### Wyniki

Charakterystykę badanych osób przedstawiono w tabeli 1. Obie badane grupy były porównywal-

ne pod względem wieku, liczby i lokalizacji zawałów oraz leczenia farmakologicznego. U wszystkich badanych stwierdzono prawidłową frakcję wyrzutową lewej komory ocenioną w badaniu ECHO. Pacjenci z grupy A prezentowali cechy typowe dla zaburzeń relaksacji:  $E/A < 1$ ,  $IVRT \geq 100 \text{ ms}$  natomiast u pacjentów z grupy B stwierdzono prawidłową funkcję rozkurczową lewej komory (tab. 2).

Wyniki elektrokardiograficznej próby wysiłkowej przedstawiono w tabeli 3. Nie stwierdzono istotnych różnic w zakresie osiągniętego obciążenia, czasu trwania próby i podwójnego produktu. Jedynie średnie obniżenie odcinka ST na szczycie obciążenia w grupie B było istotnie większe w porównaniu z grupą A (1,7 mm *vs.* 1,4 mm,  $p = 0,027$ ). Podobnie jak w badaniu ECHO, sejsmokardiograficzne parametry funkcji skurczowej lewej komory w spoczynku były prawidłowe w obu badanych grupach, czyli zgodne z normami podanymi przez autorów metody (tab. 4). Natomiast bezpośrednio po próbie wysiłkowej przerwanej z powodu obniżenia odcinka ST w obu grupach nastąpiło pogorszenie funkcji skurczowej lewej komory w postaci: wydłużenia PEP i IVCT, skrócenia LVET, wzrostu współczynnika PEP/LVET z przekroczeniem zakresów wartości prawidłowych (tab. 5). Podokresy rozkurczu lewej komory w badaniu SKG w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku przedstawiono w tabeli 6.

**Tabela 1.** Charakterystyka badanych osób

	Grupa A (n = 30)	Grupa B (n = 30)	p
Wiek (lata)	61,7 ± 6	60,1 ± 6	NS
Przebyty zawał ściany przedniej	11 (36,6%)	10 (33,3%)	NS
Przebyty zawał ściany dolnej	19 (63,3%)	20 (66,6%)	NS
Czas od zawału (lata)	3,6 ± 3	4,6 ± 4	NS
Klasa II wg NYHA	19 (63%)	17 (57%)	NS
Klasa I wg NYHA	11 (37%)	13 (43%)	NS
Nadciśnienie tętnicze	17 (57%)	16 (53%)	NS
Beta-adrenolityki	93 (%)	29 (97%)	NS
Inhibitory ACE	23 (77%)	25 (83%)	NS
Statyny	23 (77%)	25 (83%)	NS
Fibraty	3 (10%)	1 (3%)	NS

**Tabela 2.** Wyniki badania echokardiograficznego w grupie A i B

	Grupa A	Grupa B	p
Fracja wyrzutowa (%)	57 ± 13	61 ± 10	NS
Czas deceleracji fali E [ms]	197 ± 100	177 ± 57	NS
E/A	0,7 ± 0,2	1,2 ± 0,2	< 0,001
Czas rozkurczu izowolumerycznego [ms]	102 ± 15	95 ± 15	0,03

**Tabela 3.** Wyniki próby wysiłkowej w grupie A i B

	Grupa A	Grupa B	p
Obciążenie [W]	131 ± 32	123 ± 31	NS
Czas trwania [min]	9 ± 3	10 ± 4	NS
HR/min w spoczynku	73 ± 9	73 ± 11	NS
HR/min podczas wysiłku	124 ± 15	123 ± 16	NS
SBP w spoczynku	117 ± 24	128 ± 14	0,015
DBP w spoczynku	80 ± 9	78 ± 8	NS
SBP podczas wysiłku	183 ± 19	183 ± 31	NS
DBP podczas wysiłku	92 ± 11	89 ± 12	NS
DP w spoczynku	92 ± 16	94 ± 15	NS
DP podczas wysiłku	228 ± 43	229 ± 47	NS
Przyczyna przerwania — zmęczenie	16 (54%)	14 (46%)	NS
Przyczyna przerwania — cechy niedokrwienia w EKG	14 (46%)	16 (54%)	NS
Obniżenie odcinka ST [mm]	1,4 ± 0,4	1,7 ± 0,6	0,027

HR (*heart rate*) — częstość rytmu serca; SBP (*systolic blood pressure*) — skurczowe ciśnienie tętnicze; DBP (*diastolic blood pressure*) — rozkurczowe ciśnienie tętnicze; DP (*double product*) — produkt podwójny

**Tabela 4.** Parametry sejsmokardiograficzne skurczu i rozkurczu lewej komory — zakresy norm (wartości skorygowane do częstości rytmu serca 60 uderzeń/min)

	Spoczynek	Wysiłek
Czas skurczu izowolumetrycznego [ms]	32–58	30–49
Podokres przedwyrzutowy (PEP) [ms]	96–120	86–114
Czas wyrzutu krwi z lewej komory (LVET) [ms]	304–330	310–338
Współczynnik kurczliwości (PEP/LVET)	0,25–0,43	0,22–0,40
Czas rozkurczu izowolumetrycznego [ms]	49–90	38–80
Czas napływu do lewej komory [ms]	582–587	597–600
Czas szybkiego napełniania lewej komory [ms]	78–102	80–88
Współczynnik globalnej funkcji mięśnia sercowego	0,26–0,45	0,22–0,38

**Tabela 5.** Podokresy skurczu lewej komory w badaniu sejsmokardiograficznym przed elektrokardiograficzną próbą wysiłkową i bezpośrednio po niej w grupie A i B

	Grupa A	Grupa B	P
Podokres przedwyrzutowy (PEP) spoczynkowy [ms]	115 ± 13	116 ± 18	NS
Podokres przedwyrzutowy (PEP) podczas wysiłku [ms]	116 ± 17	118 ± 15	NS
Czas skurczu izowolumerycznego (IVCT) spoczynkowy [ms]	50 ± 14	54 ± 12	NS
Czas skurczu izowolumerycznego (IVCT) podczas wysiłku [ms]	49 ± 15	51 ± 10	NS
Czas wyrzutu krwi z lewej komory (LVET) spoczynkowy [ms]	298 ± 22	305 ± 25	NS
Czas wyrzutu krwi z lewej komory (LVET) podczas wysiłku [ms]	290 ± 26	294 ± 27	NS
PEP/LVET spoczynkowy	0,39 ± 0,05	0,38 ± 0,07	NS
PEP/LVET podczas wysiłku	0,40 ± 0,08	0,40 ± 0,07	NS

Pod wpływem wysiłkowego niedokrwienia w obu grupach stwierdzono zaburzenia funkcji napełniania lewej komory w postaci: wydłużenia IVRT oraz istotnego skrócenia podokresu szybkiego napełnia-

nia lewej komory (MO-RF). Równocześnie u pacjentów z grupy A z zaburzeniami relaksacji w badaniu ECHO na podstawie badania SCG stwierdzono istotnie dłuższy IVRT w spoczynku w porównaniu

**Tabela 6.** Podokresy rozkurczu lewej komory w badaniu sejsmokardiograficznym przed elektrograficzną próbą wysiłkową i bezpośrednio po niej w grupie A i B; \*p < 0,001; \*\*p = 0,001

	Grupa A	Grupa B	p
Czas rozkurczu izowolumerycznego spoczynkowy [ms]	67 ± 21	59 ± 14	0,038
Czas rozkurczu izowolumerycznego podczas wysiłku [ms]	72 ± 21	66 ± 17	NS
Czas szybkiego napełniania lewej komory spoczynkowy [ms]	115 ± 39	112 ± 39	NS
Czas szybkiego napełniania lewej komory podczas wysiłku [ms]	85 ± 20*	85 ± 28**	NS
Czas napływu do lewej komory spoczynkowy [ms]	585 ± 25	580 ± 24	NS
Czas napływu do lewej komory podczas wysiłku [ms]	580 ± 30	582 ± 23	NS

**Tabela 7.** Wskaźniki globalnej wydolności mięśnia sercowego (MPI) w badaniu sejsmokardiograficznym w grupie A i B

	Grupa A	Grupa B	p
Wartość g spoczynkowa	39 ± 14	38 ± 11	NS
Wartość g podczas wysiłku	72 ± 28	74 ± 24	NS
MPI spoczynkowy	0,39 ± 0,1	0,37 ± 0,08	NS
MPI podczas wysiłku	0,42 ± 0,1	0,40 ± 0,09	NS

MPI = (IVCT + IVRT)/LVET

z pacjentami z grupy B (p < 0,05). Globalna funkcja lewej komory w czasie wysiłku pogorszyła się w obu badanych grupach w postaci wzrostu MPI powyżej obowiązujących norm oraz niedostatecznego (mniej niż 2-krotny wzrost wartości g) przyspieszenia ruchu lewej komory (tab. 7).

Badano również wzajemną korelację parametrów oceniających funkcję skurczową i rozkurczową w badaniach SKG i ECHO. Stwierdzono jedynie wprost proporcjonalną zależność wartości g mierzonej w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku z frakcją wyrzutową lewej komory w obu grupach (r = 0,391; p = 0,03 i r = 0,348; p = 0,06). Czas IVRT oceniony w badaniu ECHO był istotnie dłuższy w porównaniu z uzyskanym w badaniu SCG (102 vs. 67 ms; p < 0,001).

## Dyskusja

Ocena podokresów skurczu i rozkurczu lewej komory w badaniu SCG bezpośrednio po wysiłku może stanowić użyteczny wskaźnik diagnostyczny funkcji mięśnia sercowego. W miarę pogarszania się wydolności lewej komory wydłuża się PEP, skraca się LVET, wzrasta PEP/LVET [16–19]. Natomiast u osób z nieuszkodzoną lewą komorą w czasie wysiłku dochodzi do skrócenia PEP, wydłużenia LVET i obniżenia PEP/LVET [11, 12]. Libonati i wsp. oceniali czasy podokresów za pomocą SKG u 51 zdrowych osób, stwierdzając, że dłuższy wysiłek na bieżni świadczą o lepszej wydolności fizycznej i lep-

szej funkcji mięśnia sercowego był związany ze skróceniem PEP, wydłużeniem LVET, skróceniem IVRT i obniżeniem MPI [20]. Wyniki uzyskane przez autorów potwierdziły przydatność metody SCG w ocenie czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory w spoczynku i bezpośrednio po wysiłku u pacjentów z chorobą wieńcową. Spoczynkowe parametry SKG oceniające czynność skurczową lewej komory, czyli PEP, LVET i PEP/LVET, w obu grupach były prawidłowe, co potwierdziło zachowaną funkcję skurczową lewej komory w badaniu ECHO. W czasie niedokrwienia mięśnia sercowego spowodowanego wysiłkiem nastąpiło pogorszenie funkcji skurczowej lewej komory w postaci wydłużenia PEP, skrócenia LVET oraz wzrostu współczynnika PEP/LVET powyżej obowiązujących norm w obu grupach; co więcej, wartości te były niezależne od wysiłkowego przyspieszenia częstotliwości rytmu serca.

W badaniach własnych porównywano długości podokresów skurczu lewej komory u osób z chorobą niedokrwinną serca i średnią EF wynoszącą około 37% oraz u osób zdrowych. Bezpośrednio po wysiłku stwierdzono istotne wydłużenie PEP oraz wzrost PEP/LVET u chorych z dysfunkcją lewej komory, a także skrócenie PEP i obniżenie PEP/LVET u osób zdrowych [21, 22]. Niedokrwienie mięśnia sercowego powoduje, że proces relaksacji przebiega z różną szybkością, w różnym czasie oraz w niejednakowym stopniu obejmuje poszczególne

odcinki serca, desynchronizując pracę serca, opóźniając otwarcie zastawki mitralnej i skracając fazę szybkiego napływu, a tym samym zmniejszając napełnianie lewej komory [23]. Funkcja rozkurczowa lewej komory bezpośrednio po próbie wysiłkowej przerwanej z powodu niedokrwienia pogorszyła się w obu grupach badanych przez autorów. Nastąpiło wydłużenie IVRT oraz istotne skrócenie czasu szybkiego napełniania lewej komory.

Ostatnio opublikowano prace dotyczące wartości MPI ocenianej w badaniu ECHO [24, 25]. Wykazano, że MPI jest czulszym wskaźnikiem prognostycznym po zawale serca niż EF. Wartości MPI powyżej 0,63 przewidywały roczne przeżycie u 37% pacjentów i u 89% osób ze wskaźnikiem poniżej 0,63. Bruch i wsp. [26] wykazali, że MPI jest czułym wskaźnikiem dysfunkcji mięśnia sercowego. Czułość tego wskaźnika w rozpoznawaniu niewydolności serca wynosiła 86%, a specyficzność 82%. Współczynnik globalnej wydolności mięśnia sercowego nie zależał od częstotliwości rytmu serca, ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, lecz istotnie korelował z wartością ciśnienia końcoworozkurczowego ( $r = 0,46$ ,  $p < 0,01$ ). Ten wskaźnik można również oceniać za pomocą SCG [25]. W obu badanych grupach bezpośrednio po wysiłku nastąpiło pogorszenie globalnej funkcji mięśnia sercowego w postaci wzrostu MPI powyżej obowiązujących norm. Ponadto stwierdzono niedostateczne przyspieszenie ruchu lewej komory bezpośrednio po wysiłku (mniejszy niż 2-krotny wzrost wartości  $g$  po wysiłku), co również sugeruje pogorszenie globalnej funkcji mięśnia sercowego. Wartość  $g$  korelowała pozytywnie z wielkością frakcji wyrzutowej. Również Koch i wsp. uzyskali wysoką, dodatnią korelację wartości  $g$  w SCG i EF w badaniu ECHO ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,0001$ ) [27]. Czas rozkurczu izowolumerycznego mierzony w SCG był istotnie krótszy w porównaniu z uzyskanym w ECHO. Podobnie Crow i wsp. wykazali, iż średnie wartości podokresów rozkurczu lewej komory w SCG są krótsze w porównaniu z ECHO [3, 10].

Uważa się, że ocena czasów trwania podokresów skurczu i rozkurczu przy częstotliwości rytmu serca 50–110/min nie wymaga poprawek. Poza tym zakresem konieczna jest korekta [16]. W badaniach autorów czasy trwania podokresów były skorygowane do wartości 60/min. Mimo to, bezpośrednio po próbie przerwanej z powodu wysiłkowego niedokrwienia, nawet przy wzroście częstotliwości rytmu serca nastąpiło wydłużenie PEP, skrócenie LVET, wydłużenie IVRT, wzrost PEP/LVET i wzrost MPI, co sugerowało pogorszenie zarówno funkcji skurczowej, jak i rozkurczowej mięśnia lewej komory.

Możliwość nieinwazyjnego śledzenia czynności skurczowej i rozkurczowej lewej komory, jaką stwarza sejsmokardiografia, wydaje się mieć duże znaczenie praktyczne [28, 29]. Badanie to wykonuje się przed próbą wysiłkową (która jest podstawowym testem diagnostycznym u pacjentów z chorobami układu krążenia) i bezpośrednio po niej. Pozostaje kwestią otwartą, czy jest metodą wystarczająco dokładną. Wymaga to jednak przeprowadzenia dalszych badań.

## Wniosek

Sejsmokardiografia jest użyteczną metodą oceny funkcji skurczowej i rozkurczowej lewej komory u chorych po zawale serca z cechami niedokrwienia mięśnia sercowego w czasie wysiłku.

## Piśmiennictwo

1. Seismed Instruments Incorporated. Interpreting the exercise SCG test. A physician's guide 1992.
2. Korzeniowska-Kubacka I. Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda diagnostyki niedokrwienia w chorobie niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol.* 2001; 4: 341–246.
3. Wilson R.A. Diagnostic accuracy of seismocardiography compared with electrocardiography for the anatomic and physiologic diagnosis of coronary artery disease during exercise testing. *Am. J. Cardiol.* 1993; 71: 536–545.
4. Korzeniowska-Kubacka I., Bilińska M., Piotrowicz R. Usefulness of seismocardiography for the diagnosis of ischemia in patients with coronary artery disease. *Ann. Noninv. Electrocardiol.* 2005; 10: 281–287.
5. Salerno D., Zanetti J. Seismocardiography: a new technique for recording cardiac vibration. Concept, method and initial observation. *J. Cardiovasc. Technol.* 1990; 9: 111–117.
6. Salerno D., Zanetti J. Seismocardiography for monitoring changes in left ventricular function during ischemia. *Chest* 1991; 100: 991–993.
7. Salerno D., Zanetti J., Green L., Mooney M. Seismocardiographic changes associated with obstruction of coronary blood flow during balloon angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 1991; 68: 201–207.
8. Korzeniowska-Kubacka I. Sejsmokardiografia wysiłkowa — nowa metoda diagnostyki niedokrwienia w chorobie niedokrwiennej serca. *Post. Rehab.* 1997; 10: 77–83.
9. Korzeniowska-Kubacka I., Rausińska-Nocny L., Mazurek K., Dobraszkievicz-Wasilewska B., Rydzewska E., Bątkowska K. Przydatność sejsmokardiografii wysiłkowej w rozpoznawaniu choroby niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol.* 2001; 4: 381–388.

10. 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.
11. Och J.K., Tajik J. The return of cardiac time intervals. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2003; 8: 1471–1474.
12. Gillebert T.C., Van de Veire N., De Bayzere M.L., De Sufter J. Time intervals and global function. Use and limitations *Eur. Heart J.* 2002; 5: 2185–2186.
13. Braksator W. Ocena czynności skurczowej lewej komory. W: Hoffman P., Kasprzak J.D. red. *Echokardiografia. Via Medica, Gdańsk* 2004; 38–40.
14. 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.
15. 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.
16. Kozłowski S., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. *Fizjologia wysiłków fizycznych.* W: Kozłowski S., Nazar K. red. *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej.* PZWL, Warszawa 1995; 179–180.
17. Czaplicki S., Dąbrowska B., Dąbrowski A. *Graficzne badanie układu krążenia.* PZWL, Warszawa 1982; 192.
18. Gerrard C.L., Weissler A.M., Dodge H.T. The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fraction in patients with cardiac disease. *Circulation* 1970; 42: 455–462.
19. Hoffman M. Ocena wydolności lewej komory serca w chorobie niedokrwiennej na podstawie polikardiografii. PZWL, Warszawa 1971.
20. Libonati J.R., Colby A.M., Caldwell T.M., Kasparian R., Glassberg H.L. Systolic and diastolic function time intervals and exercise capacity in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999; 31: 258–263.
21. Korzeniowska-Kubacka I., Piotrowicz R. Seismocardiography — a noninvasive technique for estimating of left ventricular function. Preliminary results. *Acta Cardiol.* 2002; 57: 51–52.
22. Korzeniowska-Kubacka I., Piotrowicz R. Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda oceny funkcji lewej komory. *Wyniki wstępne. Przeg. Lek.* 2002; 59: 1–3.
23. Witkowska M. Patomechanizm zaburzeń funkcji rozkurczowej w chorobie niedokrwiennej serca. W: Witkowska M. red. *Zaburzenia czynności rozkurczowej serca.* PZWL, Warszawa 2002; 144.
24. Moeller E.J., Sondergeerd E., Poulsen S.H., Egstrup K. The Doppler echocardiographic myocardial performance index predicts left ventricular dilation and cardiac death after myocardial infarction. *Cardiology* 2001; 95: 105–111.
25. Libonati J.R., Ciccolo J., Glassber G.H. The Tei index and exercise capacity. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2001; 41: 108–113.
26. Bruch C., Schmermund A., Marin D. i wsp. Tei index in patients with mild-to-moderate congestive heart failure. *Eur. Heart J.* 2000; 21: 1888–1895.
27. Koch A., McCormach P., Schwanecke A., Schnoor P., Buslaps C., Tetzcaft K., Reichert H. Noninvasive myocardial contractility monitoring with seismocardiography during simulated dives. *Undersea Hyperb. Med.* 2003; 30: 19–27.
28. Korzeniowska-Kubacka I. Sejsmokardiografia — nowa nieinwazyjna metoda oceny czynności lewej komory w chorobie niedokrwiennej serca. *Folia Cardiol.* 2003; 3: 265–268.
29. Korzeniowska-Kubacka I., Rudnicki S., Mazurek K., Rausińska-Nocny L. Przydatność sejsmokardiograficznej próby wysiłkowej w ocenie funkcji lewej komory u chorych z chorobą niedokrwinną serca poddanych treningowi fizycznemu. *Post. Rehab.* 2001; 14: 69–74.