

Sejsmokardiografia — nieinwazyjna metoda diagnostyki niedokrwienia w chorobie niedokrwiennej serca

Iwona Korzeniowska-Kubacka

Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej Instytutu Kardiologii w Warszawie

Amerykanie Salerno i Zanetti opracowali w 1989 roku nową nieinwazyjną metodę wykrywania niedokrwienia w czasie wysiłku zwaną sejsmokardiografią wysiłkową (SCG, *seismocardiography*) [1, 2]. Sejsmokardiografia to przedsercowa rejestracja fal niskiej częstotliwości pojawiających się w czasie pracy mechanicznej serca i przenoszonych na powierzchnię klatki piersiowej.

Stanowi ona powiązanie technologii z dziedziny sejsmologii i analizy sygnału do oceny biomechanicznej funkcji serca. Urządzenie zwane sejsmokardiografem można wykorzystywać do wykrywania zmian funkcji serca spowodowanych wysiłkowym niedokrwieniem. Badanie wykonuje się w czasie elektrokardiograficznej próby wysiłkowej. Metoda ta nawiązuje do rzadko używanej dziś mechanokardiografii [3–10].

Według twórców powyższej metody sejsmokardiografia w diagnostyce choroby wieńcowej dorównuje czułością scyntygrafii wysiłkowej (81 vs 82%) i przewyższa ją specyficznością (69 vs 55%). Ma też przewagę nad próbą elektrokardiograficzną, której czułość i specyficzność według autorów wynosi odpowiednio 67% i 51% [11–16].

Z punktu widzenia fizyki na tętnienie okolicy przedsercowej składają się drgania o niskiej (do 20 Hz) częstotliwości i o amplitudzie rzędu 0,1 mm w warunkach prawidłowych, wyższej w patologicznych. Drgania te powstają w czasie mechanicznej pracy serca, będąc efektem:

- grubienia i twardnienia mięśnia sercowego w czasie skurczu;

- rytmicznego przemieszczania mas krwi wewnątrz jam serca i dużych naczyń, co prowadzi do zmian ich objętości, a ponadto wywołuje reakcję typu balistycznego, przejawiającą się „odrzutowym” ruchem serca na początku skurczu komór. Ten energiczny ruch całego serca jest następstwem nagłego popchnięcia krwi w komorach w kierunku zastawek w czasie skurczu izowolumetrycznego i polega na obniżeniu podstawy serca i szybkiej rotacji koniuszka w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara [17].

W latach 50. do rejestracji tętnień okolicy przedsercowej wykorzystywano liczne typy przetworników, oparte na różnych zasadach przetwarzania drgań w zapis graficzny. Sposób umocowania czujnika stanowił podstawę podziału rejestracji tętnień na apeksokardiografię, kinetokardiografię i balistokardiografię.

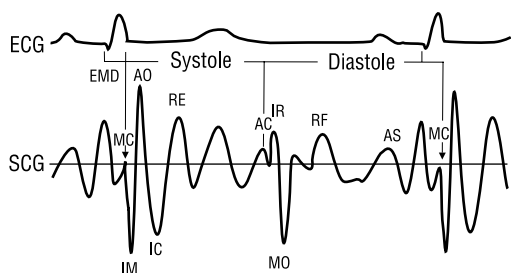
Przy wykonywaniu apeksokardiogramów czujnik przytrzymywano ręką lub przymocowywano paskiem do klatki piersiowej. Technika kinetokardiograficzna polegała na wykorzystaniu sztywnego statywu, na którym umocowany był czujnik, co umożliwiało rejestrację bezwzględного ruchu tętniącego pola [1, 18, 19]. Sejsmokardiografia nawiązuje do balistokardiografii, w której czujnikiem był akcelerometr umieszczony na platformie nad leżącym pacjentem [2]. Termin „sejsmokardiografia” wprowadził w 1959 roku rosyjski lekarz Bozhenka. Wspólnie z innymi rosyjskimi badaczami pracował on nad tą metodą, ale nigdy nie uzyskał powszechnej akceptacji. Pomysł nowego przyrządu do sejsmokardiografii stworzył sejsmolog Zanetti w 1980 roku w Stanach Zjednoczonych. Wspólnie z kardiologiem Salerno rozwinęli tę metodę, by ją zastosować w praktyce kardiologicznej. Pierwszy aparat sejsmograf 2000 wprowadzono do produkcji w marcu 1990 r. Za pomocą SCG dokonuje się pomiaru minutowych ru-

Adres do korespondencji: Dr med. Iwona Korzeniowska-Kubacka
 Instytut Kardiologii
 Klinika i Zakład Rehabilitacji Kardiologicznej
 ul. Alpejska 42, 04–628 Warszawa,
 Nadesłano: 27.04.2001 r. Przyjęto do druku: 30.05.2001 r.

chów klatki piersiowej, wibracji powstałych w czasie pracy serca. Przetwornik zwany akcelerometrem służy do rejestracji przyspieszenia (akceleracji) klatki piersiowej wytwarzanego przez te wibracje. Akcelerometr składa się z kryształu o własnościach piezoelektrycznych, otoczonego ciężką, nierdzewną stalową masą. Kiedy jakaś siła działa na akcelerometr, kryształ ulega ściśnięciu na masie stalowej, wytwarzając ładunek elektryczny proporcjonalny do działającej siły, który jest następnie przetwarzany w zapis graficzny. Akcelerometr o wysokiej czułości rejestruje fale o niskiej częstotliwości w zakresie 0,025–50 Hz, które następnie są przetwarzane i analizowane za pomocą komputera. Kiedy rejestracja jest zakończona, SCG uśrednia dane, produkuje pojedynczy, W-kształtny, zespół fal, zwany sejsmokardiogramem SCG, który reprezentuje jedno uderzenie serca (ryc. 1). Podczas wysiłku w niedokrwionych obszarach mięśnia sercowego dochodzi do zaburzeń kurczliwości, które przerywają prawidłową wibrację fal. Zmiany wibracji przenoszone są na ścianę klatki piersiowej, rejestrowane za pomocą akcelerometru i przetwarzane w charakterystyczny dla niedokrwienia zapis SCG.

Sejsmograficzny test wysiłkowy wykonuje się w połączeniu z elektrokardiograficznym testem wysiłkowym. Nie zakłóca on toku elektrokardiograficznej próby wysiłkowej. Badanie polega na trzech 1-minutowych rejestracjach w pozycji leżącej przed próbą, w czasie 2 i 5 min po próbie. Do rejestracji używa się czujnika (akcelerometru), który umieszcza się na mostku tuż powyżej wyrostka mieczykowatego, oraz trzech dodatkowych elektrod na klatce piersiowej. Kiedy badanie jest zakończone, aparat drukuje raport końcowy. Każdy raport końcowy zawiera spoczynkową i wysiłkową krzywą SCG (ryc. 2, 3).

Autorzy metody opracowali kryteria diagnostyczne w celu rozpoznania niedokrwienia, których używa się do wykrywania istotnych zmian morfologii zapisu SCG, podobnie jak oceniane są zmiany ST-T w EKG.



Ryc. 1. Schemat krzywej SCG.

Fig. 1. Seismocardiogram.

Identyfikacja punktów i załamek SCG:

- MC — fala zamknięcia zastawki mitralnej;
- IM — fala ruchu izowolumetrycznego;
- AO — fala otwarcia zastawki aortalnej;
- IC — fala skurczu izotonicznego;
- RE — fala szybkiego wyrzutu krwi z lewej komory;
- AC — fala zamknięcia zastawki aortalnej;
- MO — fala otwarcia zastawki mitralnej;
- RF — fala szybkiego napełniania lewej komory;
- AS — fala skurczu przedsionka.

Dodatkową wartością metody SCG jest to, że pośrednio można ocenić mechaniczną pracę serca, mierząc podokresy skurczu i rozkurczu lewej komory [ms], do których należą:

- całkowity czas skurczu: Q-AC;
- PEP — podokres przedwyrzutowy: Q-AO;
- LVET — czas wyrzutu krwi z lewej komory AO-AC;
- PEP/LVET — wskaźnik kurczliwości;
- całkowity czas rozkurczu: AC-Q;
- IR — czas izowolumetrycznego rozluźniania: AC-MO.

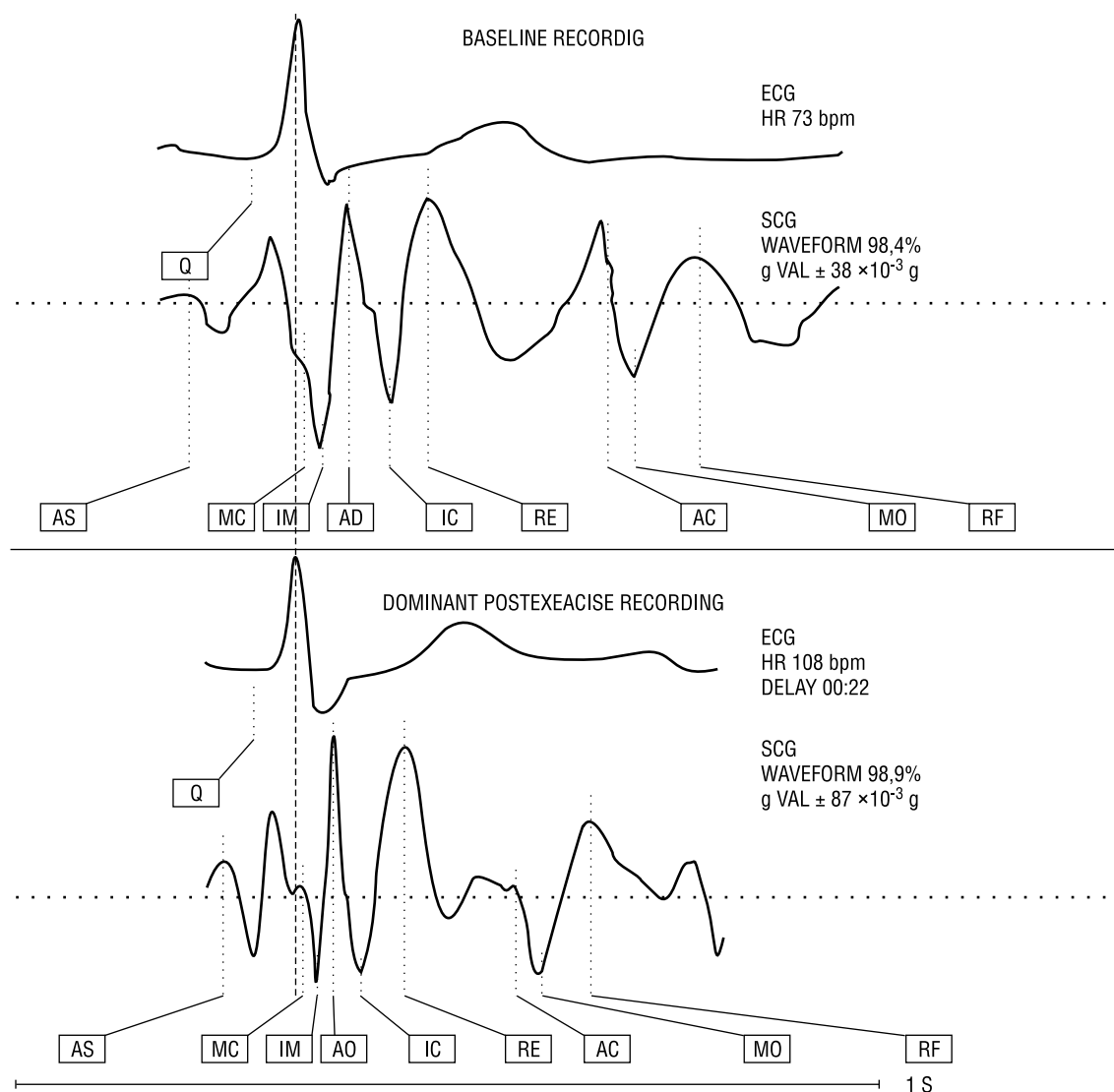
Zapis SCG jest zsynchronizowany z zapisem EKG. Szczyt załamka R wyznacza początek cyklu pracy serca w rejestracji 1-minutowej. Początek załamka Q służy do wyznaczania podstawowych punktów SCG oraz do pomiaru czasów podokresów. Podczas interpretacji wyniku najważniejsza jest identyfikacja załamek AO i RE w skurczu oraz RF w rozkurczu. Aparat sam automatycznie lokalizuje punkty, ale lekarz powinien weryfikować tę analizę.

Fale kompleksu skurczowego:

- AO — najwyższy dodatni załamek SCG tuż za QRS;
- IM — najgłębszy ujemny załamek poprzedzający AO;
- MC — początkowy punkt ujemnego załamka tuż za Q w EKG;
- IC — najgłębszy ujemny załamek następujący po AO;
- RE — największy zaokrąglony dodatni załamek blisko początku załamka T w EKG;
- AC — początek gwałtownej zmiany zespołu fal blisko końca załamka T.

Fale kompleksu rozkurczowego:

- MO — drugi ujemny załamek za AC;
- RF — największy zaokrąglony dodatni załamek następujący za MO;
- AS — szczyt największego dodatniego załamka tuż przed MC.



Ryc. 2. Prawidłowa krzywa SCG. Pacjent J.P. I.43; koronarografia nie wykazała zmian w tętnicach wieńcowych. *Baseline recording* — zapis wyjściowy; ECG — EKG; HR — częstotliwość serca; SCG waveform — sejsmokardiogram; gVAL — wartość przyspieszenia względem przyspieszenia ziemskiego; *dominant postexercise recording* — zapis powysiłkowy

Fig. 2. Normal SCG. Patient J.P. age 43 with normal coronarography.

Analiza wartości g

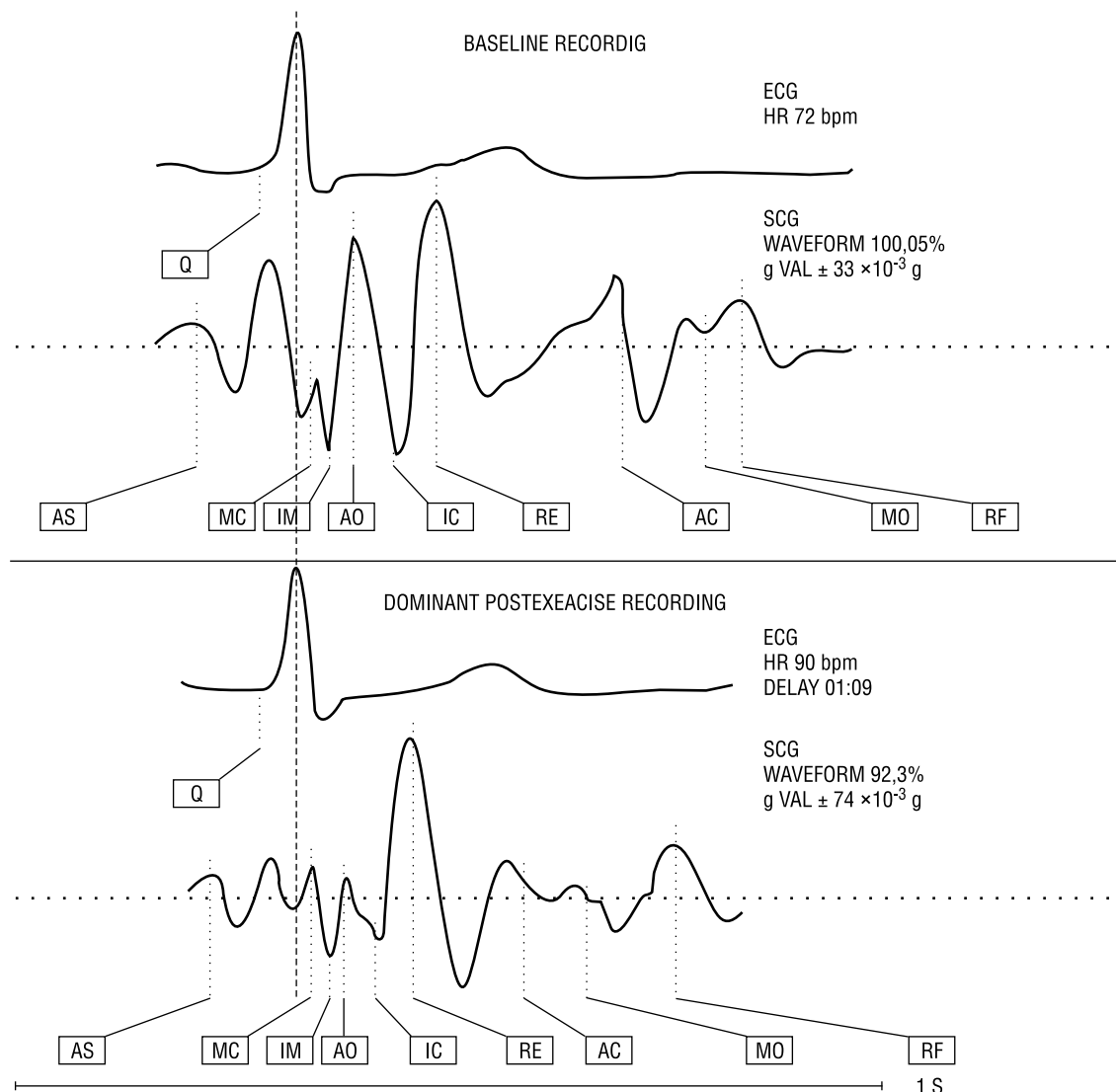
Wielokrotność g opisuje przyspieszenie lewej komory, które zwykle znacznie zmienia się pomiędzy spoczynkiem a wysiłkiem, wykazując, jak mocno serce kurczy się po wysiłku. Różnica wielokrotności g przed i po wysiłku wskazuje na zmianę maksymalnej siły działającej podczas skurczu serca. Wartość g oznacza przyspieszenie ziemskie ($1\text{ g} = 9,8\text{ m/s}^2$).

Duży (większy niż 2-krotny) wzrost przyspieszenia po wysiłku jest prawidłowy. Niewielki wzrost wielokrotności g po wysiłku świadczy o zaburzeniach kurczliwości lewej komory. Nigdy nie inter-

pretuje się SCG na podstawie samego przyspieszenia. Jest to wartość pomocnicza używana do końcowej interpretacji testu.

Analiza fal skurczowych

- Jeżeli amplituda fali AO mierzona w stosunku do linii zerowej SCG pozostaje taka sama po wysiłku jak w spoczynku lub wzrasta — SCG jest prawidłowa;
- Jeżeli amplituda fali AO obniża się o $< 50\%$ w stosunku do AO w spoczynku — SCG znajduje się na pograniczu normy;



Ryc. 3. Nieprawidłowa krzywa SCG. Pacjent J.M. 1.53; koronarografia GMP (gałąź międzykomorowa przednia) — zwężenie 95%. *Baseline recording* — zapis wyjściowy; ECG — EKG; HR — częstotliwość serca; SCG waveform — sejsmokardiogram; gVAL — wartość przyspieszenia względem przyspieszenia ziemskiego; *dominant postexercise recording* — zapis powysiłkowy

Fig. 3. Abnormal SCG. Patient J.M. age 53 with 95% stenosis of left anterior descending artery.

- Jeżeli amplituda Fali AO po wysiłku obniży się o $\geq 50\%$ w stosunku do AO w spoczynku — SCG jest nieprawidłowa;
- Jeżeli fala AO wysiłkowego jest dokładnie pod AO spoczynkowym i czynność serca wzrasta $> 10/\text{min}$ — SCG znajduje się na granicy nieprawidłowej;
- Jeżeli fala AO wysiłkowego jest opóźniona, przesunięta w prawo w stosunku do AO spoczynkowego — SCG jest nieprawidłowa;
- Jeżeli morfologia SCG przed wysiłkiem jest nieprawidłowa a po wysiłku SCG uzyskuje prawidłową morfologię — wynik jest prawidłowy;

- Jeżeli morfologia SCG przed wysiłkiem jest nieprawidłowa, a po wysiłku zmienia się według kryteriów podanych wyżej — wynik jest nieprawidłowy.

Analiza fal rozkurczowych

Wzrost amplitudy lub pola fali RF $> 20\%$ wskazuje na nieprawidłowy rozkurcz.

Wynik końcowy

Jeżeli parametry skurczowe i rozkurczowe są prawidłowe, wynik testu jest prawidłowy, natomiast

jeżeli parametry skurczowe i rozkurczowe są nieprawidłowe, wynik badania jest nieprawidłowy.

Jeżeli parametry skurczowe są nieprawidłowe, a rozkurczowe prawidłowe, wynik jest nieprawidłowy lub na granicy nieprawidłowego.

Ograniczenie metody stanowią patologie upośledzające funkcję lewej komory, szczególnie kardiomiopatia rozstrzeniowa, a także znaczny przerost lewej komory w kardiomiopatii przerostowej czy wadzie aortalnej, ze względu na znaczne zniekształcenie morfologii krzywej sejsmokardiograficznej [1, 10].

Również w rozległych pozawałowych zaburzeniach kurczliwości interpretacja spoczynkowego sejsmokardiogramu bywa utrudniona z powodu zmiany kształtu krzywej spoczynkowej. Jednak charakterystyczne zaburzenia w zapisie powysiłkowym pozwalają na rozpoznanie niedokrwienia. Mniej rozległe zawały nie upośledzają kształtu krzywej SCG i pozwalają na interpretację zapisu.

U chorych z blokiem lewej odnogi pęczka Hisa, z zespołem Wolffa-Parkinsona-White'a zmiana kształtu krzywej spoczynkowej również uniemożliwia identyfikację fal.

Z uwagi na duże zapotrzebowanie na badania koronarograficzne i ograniczone możliwości techniczne ośrodków, które te badania wykonują, ważną jest kwalifikacja do koronarografii. Podstawą diagnostyki choroby wieńcowej nadal pozostanie powszechnie dostępna, dobrze poznana i coraz lepiej interpretowana elektrokardiograficzna próba wysiłkowa.

Sejsmokardiografia może być pomocniczą metodą dla elektrokardiograficznej próby wysiłkowej w kwalifikowaniu do badania koronarograficznego.

Dodatni wynik sejsmokardiograficznej i elektrokardiograficznej próby wysiłkowej może wskazywać na potrzebę koronarografii z pominięciem innych kosztownych metod diagnostycznych, takich jak scyntygraficzna czy echokardiograficzna próba wysiłkowa.

Stwierdzenie prawidłowego wyniku próby sejsmokardiograficznej i elektrokardiograficznej powinno wskazywać, że nie należy wykonywać inwazyjnej i kosztownej koronarografii wobec przypuszczalnie prawidłowego jej wyniku.

Na podstawie piśmiennictwa i przeprowadzonych badań własnych autorzy sądzą, że sejsmokardiografia prawdopodobnie jest użyteczną metodą podnoszącą wartość diagnostyczną elektrokardiograficznej próby wysiłkowej w chorobie niedokrwiennej serca [4, 12–15].

Piśmiennictwo

1. Salerno D., Zanetti J. Seismocardiography: a new technique for recording cardiac vibration. *Concept*

- method and initial observation. *J. Cardiovasc. Technol.* 1990; 9: 111–117.
2. Zoneraich S. Seismocardiography is not a new term. *Am. J. Cardiol.* 1992; 69: 573–574.
3. Clifford L.G., 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.
4. Kubacka I. Sejsmokardiografia wysiłkowa — nowa metoda diagnostyki niedokrwienia w chorobie niedokrwiennej serca. *Postępy Rehabilitacji*, PWN 1997; X (4): 77–83.
5. Salerno D., Zanetti J., Mooney M. i wsp. Seismocardiography for detection of coronary artery occlusion during coronary angioplasty: a preliminary report. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1989; 13: 43A.
6. Salerno D., Zanetti J., Green L., Mooney M. i wsp. Seismocardiographic changes associated with obstruction of coronary blood flow during balloon angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 1991; 68: 201–207.
7. Salerno D., Zanetti J. Seismocardiography for monitoring changes in left ventricular function during ischemia. *Chest* 1991; 100: 991–993.
8. Salerno D. Seismocardiographic changes induced by percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Eur. Heart J.* 1991; 12 (supl.): 331.
9. Salerno D., Wang K., Goldenberg I. i wsp. The impact of selection bias on measurement of noninvasive test accuracy. *Am. J. Cardiol.* 1993; 72: 223–225.
10. Seismed Instruments Incorporated Interpreting the exercise SCG test. *A Physician's Guide*, 1992.
11. Crow R. Seismocardiography for measurement of left ventricular performance at rest and immediately post exercise. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1991; 17: 352A.
12. Salerno D., Zanetti J., Goldenberg I. i wsp. Exercise seismocardiography for detection of coronary artery disease: a preliminary report. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1989; 13 (supl. A): 127A.
13. Salerno D., Zanetti J., Green L. i wsp. Qualitative exercise seismocardiography for detection of moderate and severe multivessel coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 44A.
14. Salerno D., Zanetti J., Poliac L. i wsp. Exercise seismocardiography for detection of coronary artery disease. *Am. J. Noninvas. Cardiol.* 1992; 6: 321–330.
15. Wilson R., Bamrah V., Lindsay J. i wsp. Improved accuracy of seismocardiography versus electrocardiography for diagnosis of coronary artery disease during exercise testing. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1992; 19: 67A.
16. 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.

17. Czaplicki S., Dąbrowska B., Dąbrowski A. Graficzne badanie układu krążenia. PZWL, Warszawa 1982; 192.
18. Diamond G.A., Chag M., Vas R., Forrester J.S. Cardiokymography: quantitative analysis of regional ischemic left ventricular dysfunction. Am. J. Cardiol. 1978; 41: 1249–1257.
19. Hoffman M. Ocena wydolności lewej komory serca w chorobie niedokrwiennej na podstawie polikardiografii. PZWL, Warszawa 1971.