

# Elektrokardiograficzne testy wysiłkowe u dorosłych: wykonanie i interpretacja. Opinia ekspertów Sekcji Rehabilitacji Kardiologicznej i Fizjologii Wysiłku Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego

Krzysztof Smarż<sup>1</sup>, Tomasz Jaxa-Chamiec<sup>1</sup>, Tadeusz Bednarczyk<sup>2</sup>, Bronisław Bednarz<sup>1</sup>, Zbigniew Eysymontt<sup>3</sup>, Michał Gałaszek<sup>3</sup>, Anna Jegier<sup>4</sup>, Iwona Korzeniowska-Kubacka<sup>5</sup>, Artur Mamcarz<sup>6</sup>, Agnieszka Mawlichanów<sup>7</sup>, Ryszard Piotrowicz<sup>5</sup>, Jerzy Rybicki<sup>8</sup>, Ewa Straburzyńska-Migaj<sup>9</sup>, Dominika Szalewska<sup>10</sup>, Jadwiga Wolszakiewicz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Klinika Kardiologii, Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego, Szpital Grochowski, Warszawa

<sup>2</sup>Oddział Rehabilitacji Kardiologicznej, Kliniczny Szpital Wojewódzki nr 2, Rzeszów

<sup>3</sup>Śląskie Centrum Rehabilitacji i Prewencji, Ustroń

<sup>4</sup>Zakład Medycyny Sportowej, Uniwersytet Medyczny, Łódź

<sup>5</sup>Klinika Rehabilitacji Kardiologicznej i Elektrokardiologii Nieinwazyjnej, Instytut Kardiologii, Warszawa

<sup>6</sup>III Klinika Chorób Wewnętrznych i Kardiologii, II Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Międzyleski Szpital Specjalistyczny, Warszawa

<sup>7</sup>Oddział Rehabilitacji Kardiologicznej, Krakowski Szpital Specjalistyczny, Kraków

<sup>8</sup>SPZOZ „REPTY” Górnośląskie Centrum Rehabilitacji, Tarnowskie Góry

<sup>9</sup>I Klinika i Katedra Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, Szpital Kliniczny Przemienienia Pańskiego, Poznań

<sup>10</sup>Klinika Rehabilitacji, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk

## Streszczenie

Elektrokardiograficzny test wysiłkowy jest od kilkudziesięciu lat jednym z ważniejszych narzędzi diagnostycznych w kardiologii. Stały postęp technologiczny umożliwiający powszechne stosowanie technik obrazowych, a także pojawianie się nowych wytycznych postępowania wymagają rewizji i aktualizacji podejścia do techniki i interpretacji elektrokardiograficznego badania wysiłkowego. W niniejszym dokumencie zaprezentowano opinię ekspertów Sekcji Rehabilitacji Kardiologicznej i Fizjologii Wysiłku Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczącą techniki wykonywania i interpretacji wyników elektrokardiograficznych testów wysiłkowych u osób dorosłych. Przedstawiono warunki techniczne i wyposażenie pracowni testów wysiłkowych, a także zakres wymaganych kompetencji personelu medycznego niezbędny do nadzorowania i pełnej interpretacji elektrokardiograficznych testów wysiłkowych. Szerokie wskazania do wykonania elektrokardiograficznego testu wysiłkowego obejmują: diagnostykę choroby wieńcowej, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa choroby wieńcowej przed testem, ocenę czynnościowego zaawansowania i stratyfikację ryzyka pacjentów z już rozpoznaną chorobą wieńcową, a także ocenę skuteczności stosowanego leczenia, diagnostykę objawów związanych z wysiłkiem, ocenę wydolności wysiłkowej, kwalifikację do treningu/rehabilitacji kardiologicznej, a także ocenę ryzyka przed operacjami niekardiochirurgicznymi. Elektrokardiograficzny test wysiłkowy jest badaniem bezpiecznym pod warunkiem przestrzegania wskazań i przeciwwskazań do jego wykonania, stosowania właściwego monitorowania przebiegu badania, jak również precyzyjnego określenia wskazań do przerwania próby. Protokół obciążenia powinien być dobrany z uwzględnieniem przewidywanej wydolności pacjenta tak, aby czas trwania fazy wysiłkowej mieścił się w zakresie 8–12 minut. W trakcie testu jest oceniana odpowiedź kliniczna, hemodynamiczna i elektrokardiograficzna na wysiłek. Raport końcowy powinien zawierać informacje na temat: stosowanego protokołu obciążenia, powodu zakończenia badania, stopnia zmęczenia, obecności/stopnia nasilenia dolegliwości wieńcowych, szczytowej wydolności lub tolerowanego obciążenia, z odniesieniem do wartości należnych, odpowiedzi częstości rytmu serca, zmian/braku zmian ST-T. Wynik badania powinien kończyć się wnioskiem zawierającym ocenę kliniczną i elektrokardiograficzną.

**Słowa kluczowe:** elektrokardiografia, testy wysiłkowe

## Adres do korespondencji:

Dr hab. n. med. Krzysztof Smarż, Klinika Kardiologii Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego, Szpital Grochowski, ul. Grenadierów 51/59, 04–073 Warszawa, tel./faks: +48 22 810 17 38, e-mail: krzysztofsmarż@hotmail.com

Kardiologia Polska Copyright © Polskie Towarzystwo Kardiologiczne 2019

## WSTĘP

Elektrokardiograficzny test wysiłkowy jest od kilkadziesiąt lat jednym z podstawowych narzędzi diagnostycznych w kardiologii. Stały postęp technologiczny oraz pojawianie się nowych wytycznych postępowania wymagają rewizji i aktualizacji podejścia do techniki i interpretacji elektrokardiograficznego badania wysiłkowego. W niniejszym dokumencie przedstawiono opinię ekspertów Sekcji Rehabilitacji Kardiologicznej i Fizjologii Wysiłku Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego dotyczącą techniki wykonywania i interpretacji wyników elektrokardiograficznych testów wysiłkowych u osób dorosłych, która z założenia ma zwięzły i skrótowy charakter. Szczegółowe omówienie zagadnienia testów wysiłkowych przedstawiono w 2016 roku w publikacji „Testy wysiłkowe” [1]. Niniejsza opinia została przygotowana na podstawie powyższego opracowania, a także wytycznych Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC, *European Society of Cardiology*) [2] oraz wytycznych i rekomendacji amerykańskich towarzystw kardiologicznych (*American College of Cardiology* i *American Heart Association*) [3–6].

## WARUNKI TECHNICZNE WYKONYWANIA TESTÓW WYSIŁKOWYCH

### Personel

Personel pracowni powinny stanowić osoby z wykształceniem medycznym mające doświadczenie w wykonywaniu prób wysiłkowych. Minimum kadrowe to jeden lekarz i jedna osoba pomocnicza (pielęgniarka, technik lub fizjoterapeuta). Badania powinien nadzorować lekarz mający doświadczenie w wykonywaniu badań wysiłkowych. Aby uzyskać niezbędne doświadczenie wymagane jest wykonanie i interpretacja pod nadzorem co najmniej 50 badań. W celu utrzymania kompetencji wymagane jest wykonywanie co najmniej 25 badań rocznie [6].

### Umiejętności niezbędne do wykonywania i interpretacji elektrokardiograficznych testów wysiłkowych [6]

#### Umiejętności konieczne do nadzorowania testów wysiłkowych:

- Znajomość wskazań do testów wysiłkowych
- Znajomość przeciwwskazań i ryzyka związanego z badaniem
- Znajomość różnych protokołów wysiłkowych i wskazań do ich stosowania
- Wiedza na temat przygotowania do testów wysiłkowych (przygotowanie skóry, rozmieszczenie elektrod)
- Znajomość punktów końcowych i wskazań do przerwania badania
- Znajomość podstaw fizjologii wysiłku z uwzględnieniem hemodynamicznej odpowiedzi na wysiłek
- Wiedza na temat arytmii i umiejętność rozpoznania i leczenia poważnych zaburzeń rytmu serca

- Wiedza na temat elektrokardiograficznych cech niedokrwienia mięśnia sercowego
- Znajomość leków kardiologicznych i ich wpływu na wysiłek, hemodynamikę i elektrokardiogram
- Wiedza na temat wpływu wieku i chorób na hemodynamiczną i elektrokardiograficzną odpowiedź na wysiłek
- Umiejętność rozpoznania i leczenia powikłań testów wysiłkowych
- Umiejętność wykonywania resuscytacji krążeniowo-oddechowej

#### Dodatkowe umiejętności konieczne do pełnej interpretacji testów wysiłkowych:

- Umiejętność interpretacji elektrokardiogramu
- Znajomość czułości, swoistości i trafności diagnostycznej testów wysiłkowych w różnych populacjach pacjentów
- Znajomość wartości prognostycznej testów wysiłkowych
- Znajomość i umiejętność zastosowania teorii Bayesa do interpretacji wyniku testu
- Znajomość sytuacji i warunków, które mogą powodować fałszywie dodatnie, fałszywie ujemne wyniki testów
- Znajomość koncepcji ekwiwalentu metabolicznego (MET) i szacowanie zalecanej intensywności wysiłku na podstawie wyniku testu wysiłkowego
- Znajomość alternatywnych i uzupełniających procedur diagnostycznych

### Wyposażenie pracowni badań wysiłkowych

#### Pomieszczenie

Pracownia do wykonywania badań wysiłkowych powinna być na tyle duża, aby umożliwiać swobodny dostęp do pacjenta oraz, w razie potrzeby, sprawne przeprowadzenie reanimacji i transportu badanego poza pomieszczenie. Pracownia powinna być dobrze oświetlona i posiadająca sprawnie działającą wentylację, najlepiej z możliwością kontrolowania temperatury i wilgotności powietrza. Zalecana temperatura to od 20 do 22°C, a wilgotność — 50%.

W widocznym dla pacjenta i personelu miejscu powinny być umieszczone skale oceniające stopień zmęczenia (10-, lub 20-punktowa skala Borga) (tab. 1) i 4-punktowe skale nasilenia bólu wieńcowego oraz duszności (tab. 2) [4, 7, 8]. Pracownia powinna posiadać leżankę ustawioną tak, aby łatwo można było, w przypadku nagłej konieczności, położyć na niej pacjenta po badaniu.

Pracownia testów wysiłkowych powinna być wyposażona w: system wysiłkowy, aparat do pomiaru ciśnienia, leżankę, pulsoksymetr (opcjonalnie) i zestaw reanimacyjny.

#### System wysiłkowy

System wysiłkowy — bieżnia/cykloergometr powinien być połączony i sterowany za pomocą aparatu/modułu do wykonywania prób wysiłkowych. Najlepszym rozwiązaniem jest posiadanie zarówno bieżni, jak i cykloergometru. Nie jest wymagane wyposażenie standardowej pracowni w ręczny cykloergometr.

**Tabela 1.** Ocena stopnia zmęczenia — skala Borga i zmodyfikowana skala Borga

Skala Borga	Zmodyfikowana skala Borga
6	0 Nieodczuwalne
7 Bardzo, bardzo lekkie	0,5 Bardzo, bardzo lekkie
8	1 Bardzo lekkie
9 Bardzo lekkie	2 Lekkie
10	3 Umiarkowane
11 Lekkie	4 Dość silne
12	5 Silne
13 Umiarkowane	6
14	7 Bardzo silne
15 Ciężkie	8
16	9 Bardzo, bardzo silne (prawie maksymalne)
17 Bardzo ciężkie	10 Maksymalne
18	
19 Bardzo, bardzo ciężkie	
20 Maksymalne	

**Tabela 2.** Skale nasilenia bólu wieńcowego i duszności

Skala nasilenia bólu wieńcowego	
1 +	Początek dyskomfortu
2 +	Umiarkowany, dokuczliwy
3 +	Umiarkowany silny
4 +	Bardzo silny
Skala nasilenia duszności	
1 +	Łagodna, odczuwalna tylko przez pacjenta
2 +	Łagodna, widoczna
3 +	Umiarkowana, wysiłek może być kontynuowany
4 +	Bardzo silna, zmuszająca do przerywania wysiłku

Zalecane jest stosowanie komputerowego oprogramowania do prób wysiłkowych pozwalającego na ciągłe monitorowanie 12-odprowadzeniowego elektrokardiogramu w celu oceny zmian ST-T, przy czym dopuszczalny jest wybór kilku odprowadzeń do monitorowania rytmu serca. System musi mieć możliwość archiwizacji danych.

#### Ciśnieniomierz

Aparat do pomiaru ciśnienia tętniczego powinien umożliwiać dobór rozmiaru mankietu. Ze względu na zakłócenia związane z pracą systemów wysiłkowych, preferowane są aparaty do

ręcznego pomiaru ciśnienia. Zaleca się dobór odpowiedniego rozmiaru mankietu w zależności od obwodu ramienia. Mankiet wymaga dezynfekcji po każdorazowym użyciu.

#### Zestaw reanimacyjny

Zestaw reanimacyjny powinien być umieszczony w widocznym i łatwo dostępnym miejscu. Personel powinien być przeszkolony w zasadach prowadzenia reanimacji. Zalecany jest system okresowych regularnych szkoleń. Zasady postępowania w sytuacji reanimacji powinny być jasno i jednoznacznie ustalone i przyjęte zgodnie z wytycznymi Europejskiej Sekcji Resuscytacji Krążeniowo-Oddechowej (ERC, *European Resuscitation Council*) [9, 10]. W pracowni/lub w jej sąsiedztwie powinien się znajdować telefon z numerem do zespołu reanimacyjnego (jeśli taki jest w danej jednostce organizacyjnej). Na wyposażeniu pracowni powinien być przenośny automatyczny defibrylator, którego sprawność jest regularnie kontrolowana przez odpowiedzialny za to personel. Minimalny zestaw lekowy powinien zawierać: strzykawkę, zestaw do wlewów dożylnych, płyn infuzyjny (0,9% NaCl, 5% glukoza), nitroglicerynę podjęzykową, atropinę, lignokainę, adenozybę, adrenalinę, amiodaron, dopaminę, dożylny metoprolol, kwas acetylosalicylowy (tabletki rozpuszczalne po 300 mg).

#### WSKAZANIA I PRZECIWWSKAZANIA DO ELEKTROKARDIOGRAFICZNYCH TESTÓW WYSIŁKOWYCH

Wszystkie badania powinny być wykonane z uwzględnieniem wskazań i przeciwwskazań.

#### Wskazania do wykonania elektrokardiograficznego testu wysiłkowego

Wskazania do wykonania elektrokardiograficznego testu wysiłkowego [1, 2, 3]:

- Jako początkowe badanie w celu rozpoznawania stabilnej choroby wieńcowej u pacjentów z dławicą i pośrednim prawdopodobieństwem choroby wieńcowej przed testem (15–65%) (tab. 3)
- Ocena czynnościowego zaawansowania choroby wieńcowej (ocena rezerwy wieńcowej)
- Stratyfikacja ryzyka u pacjentów z rozpoznaną chorobą wieńcową
- Ocena wydolności wysiłkowej i tolerancji wysiłku
- Kwalifikacja do ćwiczeń fizycznych/treningu
- Ocena ryzyka przed operacjami niekardiologicznymi (wg wytycznych ESC/ESA dotyczących operacji niekardiologicznych) [11]
- Ocena odpowiedzi na stosowane leczenie (trening fizyczny, farmakoterapia, stymulacja elektryczna)
- Ocena objawów wyzwalanych wysiłkiem (nadciśnienie tętnicze, odpowiedź chronotropowa, zaburzenia rytmu serca, objawy związane z wadami serca lub kardiomiopatiami)

**Tabela 3.** Ocena prawdopodobieństwa choroby wieńcowej przed testem u stabilnych pacjentów z dolegliwościami bólowymi w klatce piersiowej według Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego

Wiek [lata]	Typowy ból wieńcowy		Nietypowy ból wieńcowy		Ból niewieńcowy	
	Mężczyźni	Kobiety	Mężczyźni	Kobiety	Mężczyźni	Kobiety
30–39	59	28	29	10	18	5
40–49	69	37	38	14	25	8
50–59	77	47	49	20	34	12
60–69	84	58	59	28	44	17
70–79	89	68	69	37	54	24
> 80	93	76	78	47	65	32

W tabeli przedstawiono szacunkowe prawdopodobieństwo (wyrażone w %) obecności istotnych zwężeń w tętnicach wieńcowych.

### **Przeciwwskazania do wykonania elektrokardiograficznego testu wysiłkowego**

#### **Przeciwwskazania bezwzględne (wg AHA) [3]:**

- Zawał serca (pierwsze 2 doby)
- Niestabilna choroba wieńcowa
- Nieopanowana arytmia serca, powodująca istotne objawy lub zaburzenia hemodynamiczne
- Czynne infekcyjne zapalenie wsierdzia
- Objawowa ciężka stenoz aortalna
- Niewyrównana niewydolność serca
- Ostra zatorowość płucna, zawał płuca lub zakrzepica żył głębokich
- Ostre zapalenie mięśnia sercowego lub osierdzia
- Ostre rozwarstwienie aorty
- Fizyczna niesprawność, która uniemożliwia bezpieczne wykonanie badania

#### **Przeciwwskazania względne (badanie można wykonać z zachowaniem szczególnej ostrożności, gdy spodziewane korzyści przeważają nad ryzykiem związanym z badaniem) (wg AHA) [3]:**

- Zwężenie pnia lewej tętnicy wieńcowej
- Umiarkowana lub ciężka stenoz aortalna z niejasnym obrazem klinicznym
- Tachyarytmie z niekontrolowanym rytmem komór
- Nabyty zaawansowany lub całkowity blok przedsionkowo-komorowy
- Kardiomiopatia przerostowa z istotnym spoczynkowym zawężaniem drogi odpływu
- Świeżo przebyty udar lub przemijające niedokrwienie mózgu
- Upośledzenie umysłowe z ograniczoną zdolnością do współpracy
- Nadciśnienie tętnicze z ciśnieniem spoczynkowym > 200/110 mm Hg
- Niewyrównane stany kliniczne, takie jak ciężka niedokrwistość, istotne zaburzenia elektrolitowe, niewyrównana nadczynność tarczycy

Zmiany elektrokardiograficzne będące przeciwwskazaniem do diagnostyki choroby wieńcowej za pomocą elektrokardiograficznego testu wysiłkowego [2, 5]:

- Utrwalony blok lewej odnogi pęczka Hisa
- Zespoły preekscytacji
- Stymulacja komorowa
- Wyjściowe obniżenia odcinka ST  $\geq 0,1$  mV
- Zmiany odcinka ST wywołane stosowaniem naparstnicy

### **PRZYGOTOWANIE DO BADANIA**

#### **Cel badania**

Cel badania powinien być określony w skierowaniu lub ustalony przed rozpoczęciem badania i odnotowany w dokumentacji testu.

#### **Wywiad**

Przed badaniem powinien być zebrany krótki wywiad dotyczący podstawowych dolegliwości i sprawności fizycznej, ze szczególnym uwzględnieniem dolegliwości występujących w ciągu ostatniego tygodnia poprzedzającego badanie. Należy zebrać informacje dotyczące codziennej aktywności fizycznej pacjenta. W dokumentacji związanej z badaniem należy odnotować nazwy i dawkowanie przyjmowanych leków kardiologicznych oraz godzinę przyjęcia ostatniej dawki leku w dniu badania. Należy odnotować obecność stanów chorobowych mogących mieć znaczenie dla przebiegu i wyniku badania (np. choroby ortopedyczne, neurologiczne, dolegliwości wieńcowe, cechy niewydolności serca, choroby psychiczne, takie jak depresja czy lęk).

#### **Dane pacjenta**

Przed rozpoczęciem badania należy przyporządkować odpowiedni kolejny numer badania i zarejestrować w systemie dane pacjenta: imię, nazwisko, płeć, datę urodzenia, wzrost, masę ciała, dane kontaktowe (adres, telefon), nazwisko lekarza kierującego.

### Protokół obciążenia

Protokół testu wysiłkowego powinien być dobrany w zależności od indywidualnych predyspozycji pacjenta. Dla osób młodych i wysportowanych powinno się dobrać protokoły z bardziej intensywnym przyrostem obciążenia, a dla osób starszych, z mniejszą aktywnością fizyczną i chorobami współistniejącymi — protokoły bardziej łagodne. Protokół obciążenia powinien być tak dobrany, aby maksymalne/docelowe zmęczenie nastąpiło między 8. a 12. minutą fazy wysiłku.

### Maksymalna częstość rytmu serca i odpowiedź chronotropowa

Zalecana formuła do ustalenia maksymalnej częstości rytmu serca to:  $220 - \text{wiek}$  (w latach) [12]. Jej wartość służy do obliczenia częstości rytmu serca diagnostycznej dla rozpoznawania choroby niedokrwiennej serca wynoszącej 85% maksymalnej częstości.

Odpowiedź chronotropową ocenia się na podstawie odsetka maksymalnej częstości rytmu serca osiągniętego na szczycie wysiłku, rezerwy częstości i wskaźnika chronotropowego.

#### Rezerwę częstości i wskaźnik chronotropowy wylicza się według poniższych wzorów:

- Rezerwa częstości = maksymalna częstość rytmu serca – spoczynkowa częstość rytmu serca
- Wskaźnik chronotropowy =  $[(\text{częstość rytmu serca na szczycie wysiłku} - \text{spoczynkowa częstość rytmu serca}) / \text{rezerwa częstości}] \times 100\%$

### Wydolność należna, względna i wydolność przewidywana

Wydolność należna jest określana na podstawie przebadanych populacji osób zdrowych za pomocą równań regresji uwzględniających wiek i płeć.

#### Wzory zalecane do obliczania należnej wydolności wysiłkowej (w MET):

- Dla mężczyzn [13]:  $\text{MET} = 18 - (0,15 \times \text{wiek})$
- Dla kobiet [14]:  $\text{MET} = 14,7 - (0,13 \times \text{wiek})$

Wyliczone wartości wydolności należnej (w MET) przedstawiono w tabeli 4.

Zaleca się określenie wydolności względnej, czyli odniesienie uzyskanego wyniku szczytowej wartości MET do wydolności należnej.

#### Wydolność względna jest wyrażona w procentach według wzoru:

Wydolność względna (%) =  $100 \times \text{wartość MET na szczycie wysiłku} / \text{wydolność należna}$

#### Należne obciążenie (PWR) dla cykloergometru (w watach [W]) można obliczyć według wzorów [15]:

- Dla mężczyzn:  $W = (20,4 \times H - 8,74 \times A - 1909) \times 0,1634$
- Dla kobiet:  $W = (20,4 \times H - 8,74 \times A - 288 - 1909) \times 0,1634$
- H — wzrost [cm]
- A — wiek [lata]

#### Względne szczytowe tolerowane obciążenie jest wyrażone w procentach według wzoru:

% PWR =  $100 \times \text{szczytowe tolerowane obciążenie w W} / \text{PWR}$

Wydolność przewidywana jest to szacowana przed testem tolerancja wysiłku zależna od wieku, płci, stanu klinicznego i aktywności fizycznej. Dla osób o średniej tolerancji wysiłku wydolność przewidywana jest równa należnej.

W związku z zaleceniem indywidualizacji protokołu testu w celu osiągnięcia szczytowego zmęczenia w 8.–12. minucie obciążania zaleca się oszacować przewidywaną wydolność badanego, a następnie dobrać protokół zadający to obciążenie w pożądanym przedziale czasu. Dostępne są algorytmy szacujące maksymalną przewidywaną wydolność, z uwzględnieniem codziennej aktywności, ale ich omówienie przekracza ramy i założenie niniejszego dokumentu [16, 17].

### Kryteria nieprawidłowej odpowiedzi klinicznej, hemodynamicznej i elektrokardiograficznej

#### Kryteria nieprawidłowej odpowiedzi klinicznej i hemodynamicznej [1, 2, 3, 8, 18]:

- Obniżona tolerancja wysiłku (< 85% wartości należnej dla wieku i płci) [18]
- Wystąpienie bólu w klatce piersiowej prowokowanego wysiłkiem
- Nieprawidłowa odpowiedź skurczowego ciśnienia tętniczego:
  - nadmierny wzrost (bezwzględna wartość dla mężczyzn > 210 mm Hg, dla kobiet > 190 mm Hg) [3]
  - zbyt mały przyrost (wartość przyrostu  $\leq 44$  mm Hg w populacji ogólnej, niemożność osiągnięcia 140 mm Hg lub przyrost < 30 mm Hg dla pacjentów po zawale serca, < 20 mm Hg dla pacjentów z kardiomiopatią przerostową lub stenozą aortalną) [1]
  - hipotonia wywołana wysiłkiem (spadek w trakcie wysiłku, po początkowym wzroście,  $\geq 10$  mm Hg) [3]
- Nieprawidłowa odpowiedź ciśnienia rozkurczowego (wzrost > 10 mm Hg w stosunku do wartości wyjściowych lub bezwzględna wartość > 90 mm Hg) [3]
- Nieprawidłowa odpowiedź chronotropowa (częstość rytmu serca na szczycie wysiłku < 85% maksymalnej, wskaźnik chronotropowy < 80%,  $\leq 62\%$  dla osób leczonych beta-adrenolitykami)
- Nieprawidłowe zwalnianie częstości rytmu serca w okresie odpoczynku ( $\leq 12/\text{min}$  — w ciągu pierwszej minuty)

Tabela 4. Wydolność należna dla mężczyzn oraz kobiet w zależności od wieku (w MET)

Wiek	Mężczyzna*	Kobieta**	Wiek	Mężczyzna*	Kobieta**
20	15,0	12,1	51	10,4	8,1
21	14,9	12,0	52	10,2	7,9
22	14,7	11,8	53	10,1	7,8
23	14,6	11,7	54	9,9	7,7
24	14,4	11,6	55	9,8	7,6
25	14,3	11,5	56	9,6	7,4
26	14,1	11,3	57	9,5	7,3
27	14,0	11,2	58	9,3	7,2
28	13,8	11,1	59	9,2	7,0
29	13,7	10,9	60	9,0	6,9
30	13,5	10,8	61	8,9	6,8
31	13,4	10,7	62	8,7	6,6
32	13,2	10,5	63	8,6	6,5
33	13,1	10,4	64	8,4	6,4
34	12,9	10,3	65	8,3	6,3
35	12,8	10,2	66	8,1	6,1
36	12,6	10,0	67	8,0	6,0
37	12,5	9,9	68	7,8	5,9
38	12,3	9,8	69	7,7	5,7
39	12,2	9,6	70	7,5	5,6
40	12,0	9,5	71	7,4	5,5
41	11,9	9,4	72	7,2	5,3
42	11,7	9,2	73	7,1	5,2
43	11,6	9,1	74	6,9	5,1
44	11,4	9,0	75	6,8	5,0
45	11,3	8,9	76	6,6	4,8
46	11,1	8,7	77	6,5	4,7
47	11,0	8,6	78	6,3	4,6
48	10,8	8,5	79	6,2	4,4
49	10,7	8,3	80	6,0	4,3
50	10,5	8,2			

\*Wartości dla mężczyzn wyliczane według wzoru:  $MET = 18 - (0,15 \times \text{wiek})$ , \*\*Dla kobiet:  $MET = 14,7 - (0,13 \times \text{wiek})$

**Kryteria nieprawidłowej odpowiedzi elektrokardiograficznej [1, 3, 8]:**

- Obniżenie punktu J  $\geq 0,1$  mV i horyzontalne/zstępujące obniżenie odcinka ST (80 ms od punktu J, 60 ms przy częstości rytmu serca  $> 130/\text{min}$ )
- Uniesienie punktu J  $\geq 0,1$  mV i uniesienie odcinka ST  $\geq 0,1$  mV (60 ms od punktu J) w odprowadzeniach bez patologicznego załamka Q
- Obniżenie punktu J  $\geq 0,1$  mV i wstępujące obniżenie odcinka ST (kryterium graniczne)

Obniżenie odcinka ST należy oceniać względem linii izoelektrycznej (odcinek P-Q) lub jeśli występowało (niewielkie  $< 0,1$  mV) obniżenie punktu J w stosunku do odcinka P-Q w spoczynku, względem obniżenia spoczynkowego, uniesienie odcinka ST od położenia wyjściowego.

***Odrębności testu wysiłkowego u pacjenta ze wszczepionym stymulatorem/kardiowerterem-defibrylatorem/stymulatorem resynchronizującym***

Elektrokardiograficzny test wysiłkowy u pacjenta ze wszczepionym stymulatorem/kardiowerterem-defibrylatorem/stymulatorem resynchronizującym może być bezpiecznie wykonany z uwzględnieniem poniższych ograniczeń [1, 3]:

- przed rozpoczęciem badania istotna jest znajomość rodzaju stymulatora i trybu stymulacji oraz funkcji przyspieszenia stymulacji w trakcie wysiłku;
- odpowiedź częstości rytmu serca zależy od wydolności chronotropowej i rodzaju stymulacji;
- w przypadku „sztywnej stymulacji” należy kierować się zmęczeniem pacjenta i odsetkiem należnego obciążenia;
- wysiłek u pacjenta z kardiowerterem-defibrylatorem powinien być ograniczony do przyspieszenia częstości rytmu serca do wartości 10–15/min poniżej progu detekcji arytmii (opcjonalnie można przesunąć próg detekcji powyżej maksymalnej częstości rytmu serca lub wyłączyć funkcję terapii antyarytmicznej na czas testu);
- stymulacja komorowa uniemożliwia ocenę niedokrwienia;
- utrata stymulacji resynchronizującej w trakcie testu jest wskazaniem do przerywania wysiłku.

## PRZYGOTOWANIE PACJENTA DO BADANIA

### Informacja o badaniu i pisemna zgoda

Przed rozpoczęciem badania należy poinformować pacjenta o celu i przebiegu badania. Informacja o badaniu może być przekazana w formie pisemnej lub ustnej. Wymagane jest uzyskanie pisemnej zgody na badanie [1]. Przykładowy formularz zgody na próbę wysiłkową zawarto w tabeli 5.

### Przygotowanie pacjenta

Pacjent na badanie powinien zgłosić się około 3 godziny po lekkim posiłku, w wygodnym, luźnym ubraniu oraz obuwiu sportowym umożliwiającym chód po bieżni lub jazdę na rowerze. Pacjent do 6 godzin przed badaniem powinien unikać dużych wysiłków fizycznych, nie powinien pić mocnej kawy, herbaty czy innych napojów energetyzujących, ani palić tytoniu.

W przypadku testów diagnostycznych może być rozważone odstawienie leków maskujących objawy (np. beta-adrenolityków, azotanów) przed wykonaniem testu. W przypadku testów wykonywanych w celu oceny skuteczności leczenia i oceny wydolności fizycznej odstawianie leków nie jest zalecane.

### Przygotowanie skóry i rozmieszczenie elektrod

Staranne przygotowanie skóry przed badaniem ma kluczowe znaczenie dla jakości uzyskanego sygnału elektrokardiograficznego. Odtłuszczenie i usunięcie zewnętrznej warstwy naskórka należy wykonać za pomocą specjalnych past. W pierwszej kolejności w miejscach przyczepu elektrod należy usunąć nadmierne owłosienie (ogolenie skóry). Przygotowanie skóry powinno zmniejszyć oporność do co najmniej 5000 omów. Elektrody na klatce piersiowej powinny być rozmieszczone zgodnie z układem Masona-Likara [19].

## PRZEBIEG BADANIA

### Etapy testu

Przebieg badania powinien zawierać: rozgrzewkę (2–3 minuty), fazę obciążeniową ze stopniowo (co 2–3 minuty)

lub płynnie narastającym obciążeniem (łącznie, optymalnie około 8–12 minut), fazę regeneracji (5 minut lub do ustąpienia zmian elektrokardiograficznych i/lub objawów klinicznych).

### Protokoły obciążeń

W testach o wzrastającym obciążeniu stosuje się protokoły stopniowane oraz typu ramp. Ze względu na płynny przyrost obciążenia korelujący liniowo z odpowiedzią hemodynamiczną i elektrokardiograficzną oraz dokładniejszy pomiar wydolności polecane jest stosowanie protokołów typu ramp. Dodatkowo pozwalają one na indywidualizację obciążenia u badanych o różnej wydolności tak, by osiągnęli szczytowe zmęczenie w optymalnym czasie trwania testu. Poniżej przedstawiono proponowane protokoły obciążeń.

Protokoły ze stopniowo narastającym obciążeniem (stopniowane) (w nawiasach podano obciążenie w czasie 8–12 minut wysiłku):

- Test na bieżni [8, 20]:
  - Bruce (10,2–13,5 MET)
  - Cornell (5,8–8,7 MET)
  - Naughton zmodyfikowany (5,4–6,9 MET)
  - Bruce zmodyfikowany (4,6–7,1 MET)
- Test na cykloergometrze [8, 20]:
  - 50 W co 3 minuty (150–200 W)
  - 25 W co 2 minuty (100–150 W)
  - 25 W co 3 minuty (75–100 W)

Protokoły z płynnie narastającym obciążeniem (ramp):

- Test na bieżni (w nawiasach podano obciążenie w czasie 8–12 minut wysiłku):
  - Protokół BSU/Bruce ramp według Kaminsky (9,4–13,9 MET) [21]
  - Protokół według *American College of Sports Medicine (ACSM)* (7,4–10,7 MET) [22]
  - Protokół ramp według *American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation (AACVPR)* (6,5–10,1 MET) [23]
- Test na cykloergometrze — proponowane protokoły testów typu ramp na cykloergometrze według *American Thoracic Society/American College of Chest Physicians (ATS/ACCP)* (obciążenie w 10. minucie wysiłku) [24]:
  - Ramp 30/min (300 W)
  - Ramp 25/min (250 W)
  - Ramp 20/min (200 W)
  - Ramp 15/min (150 W)
  - Ramp 10/min (100 W)
  - Ramp 5/min (50 W)

Tabela 5. Formularz zgody na elektrokardiograficzną próbę wysiłkową

<b>NAZWA PRACOWNI</b>	
<b>FORMULARZ ŚWIADOMEJ ZGODY NA ELEKTROKARDIOGRAFICZNY TEST WYSIŁKOWY</b>	
IMIĘ I NAZWISKO PACJENTA: .....	
<b>NUMER PESEL</b>	
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Czemu służy badanie?</b>	
Elektrokardiograficzny test wysiłkowy jest przeprowadzany w celu oceny wydolności wysiłkowej, diagnostyki choroby wieńcowej, oceny rezerwy wieńcowej lub oceny skuteczności leczenia.	
<b>Opis badania</b>	
Badanie będzie wykonane na bieżni lub ergometrze rowerowym pod nadzorem lekarza. Na klatce piersiowej zostaną naklejone elektrody jednorazowego użycia, które będą połączone przewodami z komputerem analizującym elektrokardiogram. Zostanie Pan/Pani poproszony/a o marsz lub pedałowanie na rowerze w określonym tempie i z dobranym odpowiednio do Pana/Pani możliwości obciążeniem. Obciążenie wysiłkiem będzie stopniowo zwiększane przez przyspieszenie przesuwu chodnika i wzrost jego nachylenia (lub wzrost oporu w pedałach ergometru rowerowego). Po osiągnięciu żądanych parametrów lekarz zdecyduje o zakończeniu badania. Badanie może zostać przerwane w każdej chwili na życzenie pacjenta lub w momencie wystąpienia niepokojących objawów. W trakcie badania zapis elektrokardiograficzny będzie monitorowany w sposób ciągły, a okresowo, co 2–3 minuty będzie mierzone ciśnienie krwi. Po zakończeniu wysiłku nastąpi okres kilkuminutowego odpoczynku, w trakcie którego będzie monitorowany elektrokardiogram i mierzone ciśnienie krwi.	
<b>Informacje, które należy zgłosić osobie wykonującej badanie</b>	
Przed testem należy zgłosić wszelkie nowe objawy, które pojawiły się w okresie ostatnich kilku dni (przeziębienie, gorączka, dolegliwości bólowe w klatce piersiowej itd.). Aby uzyskać miarodajny wynik konieczna jest ścisła współpraca badanego z personelem medycznym. W czasie testu badany powinien natychmiast informować o pojawieniu się jakichkolwiek dolegliwości (ból, duszność, zawroty głowy, szum w uszach itd.). Należy jednak pamiętać, że niewielkie zmęczenie jest zjawiskiem normalnym w przypadku badań obciążeniowych i nie stanowi powodu przerwania próby. Przedwczesne jej zakończenie uniemożliwi uzyskanie informacji, których oczekiwał lekarz kierujący.	
<b>Możliwe powikłania/zagrożenia</b>	
Próba wysiłkowa jest badaniem bezpiecznym, niemniej opisywane są bardzo rzadkie przypadki wystąpienia zawału serca i zgonu. Do najczęściej występujących powikłań zalicza się: przedłużony ból w klatce piersiowej, arytmie, zawroty głowy, spadek ciśnienia tętniczego, ból kończyn dolnych. U niektórych osób mogą wystąpić skórne objawy alergii kontaktowej w miejscu przyklejenia elektrod. Do kilku godzin po badaniu może utrzymywać się uczucie zmęczenia.	
<b>OŚWIADCZENIE PACJENTA</b>	
— Zapoznałem/am się z opisem proponowanego badania, jego celowością oraz potencjalnymi zagrożeniami mogącymi wystąpić w jego wyniku.	
— Stwierdzam, że uzyskałem/am wyczerpujące odpowiedzi na wszystkie zadane pytania i w pełni zrozumiałem/am przedstawione mi informacje.	
<b>WYRAŻAM ŚWIADOMĄ I DOBROWOLNĄ ZGODĘ NA PROPONOWANE BADANIE</b>	
.....	
Data	Czytelny podpis pacjenta/opiekuna prawnego
<b>NIE WYRAŻAM ZGODY NA PROPONOWANE BADANIE</b>	
Zostałem/am poinformowany/a o możliwości negatywnych konsekwencji takiej decyzji dla mojego zdrowia i życia	
.....	
Data	Czytelny podpis pacjenta/opiekuna prawnego
<b>Lekarz przyjmujący oświadczenie</b>	
.....	
Data	Pieczętka i podpis



## WSKAZANIA DO PRZERWANIA BADANIA

### Bezwzględne wskazania do przerwania testu wysiłkowego [3]:

- Uniesienie odcinka ST ( $\geq 0,1$  mV) w odprowadzeniach bez patologicznego załamka Q (poza aVR, aVL, V<sub>1</sub>)
- Spadek skurczowego ciśnienia tętniczego  $> 10$  mm Hg pomimo narastającego obciążenia, z towarzyszącymi innymi objawami niedokrwienia (klinicznymi lub elektrokardiograficznymi)
- Znacznie nasilony typowy ból wieńcowy
- Objawy neurologiczne (ataksja, zawroty głowy, stan przedomdleniowy)
- Objawy pogorszonej perfuzji (zblednięcie lub sinica)
- Częstoskurcz komorowy, wystąpienie bloku przedsionkowo-komorowego (II lub III stopnia), utrata stymulacji resynchronizującej
- Techniczne trudności w monitorowaniu elektrokardiograficznym lub monitorowaniu ciśnienia tętniczego
- Życzenie przerwania badania przez chorego

### Względne wskazania do przerwania testu wysiłkowego [3]:

- Szybko nasilające się obniżenie odcinka ST (poziome lub zstępujące) ( $> 2$  mm) lub nagła zmiana osi serca
- Spadek skurczowego ciśnienia tętniczego  $> 10$  mm Hg pomimo narastającego obciążenia bez innych objawów niedokrwienia
- Narastający ból w klatce piersiowej
- Znaczne zmęczenie, świszczący oddech, kurcze mięśni nóg, objawy chromania przestankowego
- Arytmia inna niż częstoskurcz komorowy, tzn. pojedyncze pobudzenia komorowe wieloosrodkowe, pary, bigeminia komorowa, częstoskurcz nadkomorowy, bradyarytmie
- Nadmierny wzrost ciśnienia tętniczego (skurczowe  $> 250$  mm Hg, rozkurczowe  $> 115$  mm Hg)
- Wystąpienie bloku odnogi pęczka Hisa lub zaburzeń przewodzenia śródkomorowego, których nie można odróżnić od częstoskurczu komorowego

## PARAMETRY OCENIANE W TEŚCIE WYSIŁKOWYM

W trakcie testu wysiłkowego powinny być ocenione parametry kliniczne, hemodynamiczne i elektrokardiograficzne [1, 3, 4].

### Parametry kliniczne:

- Ból wieńcowy (stopień nasilenia, narastanie, czas wystąpienia)
- Stopień zmęczenia (wg skali Borga)
- Szczytowa wydolność (MET) — dla testów na bieżni lub szczytowe tolerowane obciążenie (W) dla testów na cykloergometrze
- Wydolność względna (%)
- Czas trwania wysiłku (minuty, sekundy)
- Obecność objawów zmuszających do przerwania badania (zawroty głowy, osłabienie, duszność, bóle kończyn dolnych)

### Parametry hemodynamiczne:

- Ciśnienie skurczowe i rozkurczowe na każdym etapie obciążenia
- Częstość rytmu serca w spoczynku, na szczycie wysiłku, po 1 minucie od zakończenia wysiłku
- Osiągnięty odsetek maksymalnej częstości rytmu serca (%)
- Zwalnianie częstości rytmu serca w ciągu 1 minuty w okresie odpoczynku
- Maksymalna częstość rytmu serca dla danego badanego
- Odpowiedź chronotropowa (osiągnięty odsetek maksymalnej częstości rytmu serca, rezerwa częstości, wskaźnik chronotropowy)
- Produkt podwójny (iloczyn maksymalnego ciśnienia skurczowego i maksymalnej częstości rytmu serca)
- Dynamika zmian ciśnienia skurczowego i rozkurczowego

### Parametry elektrokardiograficzne:

- 12-odprowadzeniowy elektrokardiogram z odprowadzeń na tułowi powinien być wykonany przed wysiłkiem, na szczycie obciążenia i w okresie odpoczynku
- Ocena zmian odcinka ST przynajmniej w 3 kolejnych cyklach, z uwzględnieniem komputerowych uśrednień i surowych danych (w celu wykluczenia artefaktów) przed, w trakcie każdego etapu wysiłku i minimum do 5 minut po wysiłku lub do ustąpienia zmian odcinka ST i powrotu częstości rytmu serca oraz ciśnienia tętniczego do stanu wyjściowego
- Uwzględnienie spoczynkowych obniżen odcinka ST
- Pomiar zmian odcinka ST 60–80 ms za punktem J
- Ocena charakteru obniżen odcinka ST — horyzontalny, zstępujący, wstępujący
- Liczba odprowadzeń ze zmianami odcinka ST, czas ustępowania i charakter zmian w okresie odpoczynku
- Ocena obecności arytmii i zaburzeń przewodzenia

## RAPORT KOŃCOWY I WNIOSKI

### Raport końcowy powinien zawierać [1, 3, 4, 18]:

- Protokół obciążenia
- Powód przerwania próby (zmęczenie, ból, zmiany elektrokardiograficzne, arytmia, limit częstości rytmu serca, inne)
- Stopień zmęczenia (skala Borga)
- Stopień nasilenia bólu
- Szczytową wydolność (MET) lub szczytowe tolerowane obciążenie (W) (dla testu na cykloergometrze)
- Wydolność względną (%)
- Częstość rytmu serca na szczycie wysiłku i odsetek osiągniętej maksymalnej częstości rytmu serca
- Maksymalne ciśnienie tętnicze
- Opis wysiłkowych zmian/braku zmian odcinka ST (charakter, nasilenie, liczba odprowadzeń, czas ustępowania zmian)
- Wskaźnik ST/częstość rytmu serca (ST/HR *index*) (mV/bpm) (zalecane opcjonalnie, w przypadku możliwości technicznych)

- Zwolnienie częstości rytmu serca w ciągu 1 minuty od zakończenia wysiłku
- Odpowiedź chronotropową z uwzględnieniem przyjmowanych leków
- Opis ewentualnych zaburzeń rytmu i przewodzenia (zwłaszcza arytmii komorowych w fazie odpoczynku)
- Wskaźnik według Duke University (*Duke treadmill score*) — kalkulator dostępny na stronie: <http://www.cardiology.org/tools/medcalc/duke/>
- Określenia test „dodatni” czy „ujemny” (klinicznie lub elektrokardiograficznie) zaleca się stosować do testów wykonywanych w celu diagnostyki choroby wieńcowej, w innych przypadkach należy raczej stosować określenia test „prawidłowy” lub „nieprawidłowy”, z wyszczególnieniem stwierdzanych nieprawidłowości
- Określenie „test niediagnostyczny”, w testach wykonywanych w celu diagnostyki choroby wieńcowej, należy stosować w przypadku nieosiągnięcia 85% maksymalnej należnej częstości rytmu serca
- Wniosek końcowy w ocenie klinicznej i elektrokardiograficznej z ewentualną sugestią dalszej diagnostyki

### ARCHIWIZACJA WYNIKÓW

Wyniki badania wydawane są pacjentowi w formie papierowej, autoryzowanej przez lekarza nadzorującego i interpretującego badanie, zawierającej co najmniej stronę tytułową z danymi pacjenta i interpretacją wyniku, podsumowanie parametrów wysiłku oraz strony uśrednionych odprowadzeń z każdego etapu testu z zaznaczeniem zmian ST. Zaleca się archiwizację wyników w formie elektronicznej w co najmniej dwóch kopiach (na wypadek utraty danych) — w pamięci komputera wykorzystywanego do badań wysiłkowych oraz na kopii zapisowej (pamięć zewnętrzna, serwer).

### CZAS TRWANIA BADANIA, FINANSOWANIE, REFUNDACJA

Elektrokardiograficzny test wysiłkowy stanowi oddzielną procedurę. Powinien być oddzielnie finansowany z uwzględnieniem pracy pielęgniarki/technika oraz lekarza nadzorującego i interpretującego wynik.

Czas potrzebny na przygotowanie pacjenta i wykonanie badania wynosi minimum 30 minut. Czas ten może być wydłużony do 60 minut w przypadku powikłań wymagających przedłużonej obserwacji pacjenta lub wdrożenia odpowiedniego postępowania (np. konieczność pilnej hospitalizacji).

### PODSUMOWANIE

Elektrokardiograficzne testy wysiłkowe pozostają ważnym narzędziem badawczym we współczesnej kardiologii. W dobie szybkiego rozwoju obrazowych metod oceny anatomicznej, jak i czynnościowej ich znaczenie diagnostyczne jest co prawda nieco mniejsze, ale rośnie ich rola prognostyczna nie tylko w chorobie wieńcowej, ale również w innych stanach kardiologicznych.

**Konflikt interesów:** nie zgłoszono

### Piśmiennictwo

1. Straburzyńska-Migaj E, Bednarz B, Piotrowicz R, et al. Testy wysiłkowe. Stanowisko Ekspertów Sekcji Rehabilitacji Kardiologicznej i Fizjologii Wysiłku, Sekcji Elektrokardiologii Nieinwazyjnej i Telemedycyny, Sekcji Kardiologii Sportowej Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego. Via Medica, Gdańsk. 2016.
2. Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2013; 34(38): 2949–3003, doi: [10.1093/eurheartj/eh296](https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh296), indexed in Pubmed: [23996286](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23996286/).
3. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013; 128(8): 873–934, doi: [10.1161/CIR.0b013e31829b5b44](https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44), indexed in Pubmed: [23877260](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23877260/).
4. Myers J, Arena R, Franklin B, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2009; 119(24): 3144–3161, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192520](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192520), indexed in Pubmed: [19487589](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19487589/).
5. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol*. 2002; 40(8): 1531–1540.
6. Rodgers GP, Ayanian JZ, Balady G, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Clinical Competence statement on stress testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians — American Society of Internal Medicine Task Force on Clinical Competence. *J Am Coll Cardiol*. 2000; 36(4): 1441–1453, indexed in Pubmed: [11028516](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11028516/).
7. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982; 14(5): 377–381, indexed in Pubmed: [7154893](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/).
8. Froelicher VF: „Metody”. In: Froelicher VF. Podręcznik testów wysiłkowych. Bel Corp Warszawa. 1999.
9. Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2010; 81(10): 1277–1292, doi: [10.1016/j.resuscitation.2010.08.009](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.009), indexed in Pubmed: [20956051](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20956051/).
10. Deakin CD, Nolan JP, Soar J, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2010; 81(10): 1305–1352, doi: [10.1016/j.resuscitation.2010.08.017](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.017), indexed in Pubmed: [20956049](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20956049/).
11. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, et al. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur Heart J*. 2014; 35(35): 2383–2431, doi: [10.1093/eurheartj/ehu282](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu282), indexed in Pubmed: [25086026](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25086026/).
12. Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1960; 49(169): 1–92, indexed in Pubmed: [13794892](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13794892/).
13. Morris CK, Myers J, Froelicher VF, et al. Nomogram based on metabolic equivalents and age for assessing aerobic exercise capacity in men. *J Am Coll Cardiol*. 1993; 22(1): 175–182, indexed in Pubmed: [8509539](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8509539/).
14. Gulati M, Black HR, Shaw LJ, et al. The prognostic value of a nomogram for exercise capacity in women. *N Engl J Med*. 2005; 353(5): 468–475, doi: [10.1056/NEJMoa044154](https://doi.org/10.1056/NEJMoa044154), indexed in Pubmed: [16079370](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16079370/).

15. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, et al. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis.* 1985; 131(5): 700–708, doi: [10.1164/arrd.1985.131.5.700](https://doi.org/10.1164/arrd.1985.131.5.700), indexed in Pubmed: [3923878](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3923878/).
16. Myers J, Bader D, Madhavan R, et al. Validation of a specific activity questionnaire to estimate exercise tolerance in patients referred for exercise testing. *Am Heart J.* 2001; 142(6): 1041–1046, doi: [10.1067/mhj.2001.118740](https://doi.org/10.1067/mhj.2001.118740), indexed in Pubmed: [11717610](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11717610/).
17. Jurca R, Jackson AS, LaMonte MJ, et al. Assessing cardiorespiratory fitness without performing exercise testing. *Am J Prev Med.* 2005; 29(3): 185–193, doi: [10.1016/j.amepre.2005.06.004](https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.06.004), indexed in Pubmed: [16168867](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16168867/).
18. Kligfield P, Lauer MS. Exercise electrocardiogram testing: beyond the ST segment. *Circulation.* 2006; 114(19): 2070–2082, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.105.561944](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.561944), indexed in Pubmed: [17088475](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17088475/).
19. Mason RE, Likar I. A new system of multiple-lead exercise electrocardiography. *Am Heart J.* 1966; 71(2): 196–205, indexed in Pubmed: [5902099](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5902099/).
20. Rybicki J. Zasady doboru protokołu testu wysiłkowego u chorych i zdrowych nietreningujących wyczynowo. In: Dłużniewski M, Kalarus Z, Pikto-Pietkiewicz W, et al. *Sport wyczynowy i rekreacyjny – problemy kardiologa i internisty*. Wydanie II rozszerzone i uaktualnione. Czelej, Warszawa. 2017.
21. Kaminsky LA, Whaley MH. Evaluation of a new standardized ramp protocol: the BSU/Bruce Ramp protocol. *J Cardiopulm Rehabil.* 1998; 18(6): 438–444, indexed in Pubmed: [9857276](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9857276/).
22. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription*. 9th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore. 2014.
23. American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. *Guidelines for Cardiac Rehabilitation and Secondary Prevention Programs*. 4th Edition. Human Kinetics, Champaign. 2004.
24. American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. *ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing*. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003; 167(2): 211–277, doi: [10.1164/rccm.167.2.211](https://doi.org/10.1164/rccm.167.2.211), indexed in Pubmed: [12524257](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12524257/).