

# Jak w codziennej praktyce kardiologicznej interpretować wyniki badania spiroergometrycznego u pacjentów z niewydolnością serca

How to interpret cardiopulmonary exercise testing results in patients with heart failure in everyday cardiological practice

Gabriela Parol, Renata Głównyńska

I Klinika Kardiologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

## Streszczenie

Badanie spiroergometryczne, inaczej sercowo-płucny test wysiłkowy (CPX), ma szerokie zastosowanie w ocenie czynnościowej u pacjentów z niewydolnością serca (HF) – zarówno skurczową, jak i rozkurczową. Jest przydatne w stratyfikacji ryzyka i ocenie stopnia zaawansowania choroby oraz odpowiedzi na stosowane leczenie i interwencje w tej grupie pacjentów. Pozwala ocenić fizjologiczną odpowiedź na wysiłek fizyczny oraz zidentyfikować nieprawidłowości, które nie występują w spoczynku.

Główne parametry oceniane podczas CPX o znaczeniu prognostycznym w grupie pacjentów z HF to szczytowe pochłanianie tlenu ( $VO_{2peak}$ ), ekwiwalent wentylacyjny dla dwutlenku węgla ( $VE/VCO_{2slope}$ ), współczynnik wymiany oddechowej (RER), ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w powietrzu końcowowdechowym ( $P_{ET-CO_2}$ ) oraz obecność nieprawidłowej oscylacji wentylacji podczas wysiłku (EOV).

Sercowo-płucny test wysiłkowy jest najbardziej obiektywną metodą oceny wydolności wysiłkowej. Dostarczając tak wartościowych informacji, wydaje się kluczowym badaniem w ocenie stopnia zaawansowania niewydolności serca, ocenie postępu choroby oraz może ułatwić lekarzom podejmowanie decyzji terapeutycznych, takich jak na przykład kwalifikacja chorych do transplantacji serca. Ułatwia także zaplanowanie treningu fizycznego i rehabilitacji kardiologicznej w tej grupie chorych.

Słowa kluczowe: badanie spiroergometryczne, niewydolność serca, pochłanianie tlenu

(Folia Cardiologica 2014; 9, 3: 313–320)

## Wstęp

Badanie spiroergometryczne (CPET, CPX, *cardiopulmonary exercise testing*; sercowo-płucny test wysiłkowy), połączenie klasycznego testu wysiłkowego z jednoczesną nieinwazyjną oceną wymiany gazowej, ma szerokie zastosowanie w ocenie czynnościowej, stratyfikacji ryzyka i ocenie skuteczności zastosowanych interwencji u chorych niewydolnością serca (HF, *heart failure*), także poddawanych ocenie przed

kwalifikacją do transplantacji serca, oraz u pacjentów z niewyjaśnioną dusznością wysiłkową [1, 2]. Badanie jest przydatne zarówno u osób ze skurczową, jak i rozkurczową HF. Pozwala na ocenę zintegrowanej odpowiedzi układów oddechowego, krążenia, krwiotwórczego, mięśniowo-szkieletowego i neuropsychicznego na wysiłek. Obejmuje analizę wymiany gazowej: pochłaniania tlenu ( $VO_2$ ), wydalania dwutlenku węgla ( $VCO_2$ ), wentylacji minutowej ( $VE$ , *minute ventilation*), wysycenia krwi tętniczej tlenem ( $SatO_2$ ) oraz,

tak jak w klasycznym teście wysiłkowym: monitorowanie zapisu elektrokardiograficznego (EKG), ciśnienia tętniczego (BP, *blood pressure*), częstości rytmu serca (HR, *heart rate*) i ocenę subiektywnych objawów. Pozwala ocenić fizjologiczną odpowiedź na wysiłek fizyczny oraz zidentyfikować indukowane nim nieprawidłowości.

## Zastosowanie CPX u pacjentów z niewydolnością serca

Zdolność do wykonywania wysiłków fizycznych wynika bezpośrednio ze zdolności układu krążenia do zaopatrywania mięśni szkieletowych w tlen i zdolności układu oddechowego do usunięcia dwutlenku węgla z krwi przez płuca. W warunkach prawidłowych zwiększony pobór tlenu przez pracujące mięśnie jest możliwy dzięki zwiększeniu pojemności minutowej serca (CO, *cardiac output*; rzut serca), która może się zwiększyć podczas wysiłku nawet 6-krotnie, a u sportowców – nawet do wartości 20–35 l/min podczas maksymalnego wysiłku. Pojemność minutowa (CO) zależy od objętości wyrzutowej (SV, *stroke volume*) i częstości rytmu serca (HR), co można przedstawić wzorem:

$$CO = SV \times HR$$

Z kolei przepływ krwi przez płuca zwiększa się zarówno poprzez zwiększenie CO, jak i dzięki rozkurczowi naczyń płucnych.

Niewydolność czynnościowa (aerobowa) objawiająca się dusznością i zmęczeniem w czasie wysiłku jest podstawowym objawem HF, zarówno skurczowej, jak i rozkurczowej. Kluczowym mechanizmem powstawania duszności wysiłkowej w HF jest brak adekwatnego wzrostu CO w odpowiedzi na wysiłek, co z kolei prowadzi do zaburzenia stosunku wentylacji do perfuzji i jest kompensowane nieproporcjonalnym wzrostem wentylacji. Stopień nieprawidłowego zwiększenia wentylacji podczas wysiłku wiąże się bezpośrednio ze stopniem zaawansowania choroby i jest silnym czynnikiem prognostycznym.

Badanie spiroergometryczne ma szerokie zastosowanie w ocenie czynnościowej oraz w ocenie ryzyka u chorych ze skurczową HF, jak również w ocenie skuteczności leczenia, tj. ocenie odpowiedzi parametrów mierzonych podczas CPX na farmakoterapię, na przykład inhibitorami konwertazy angiotensyny, antagonistami receptora angiotensyny, leczenie zabiegowe (implantacja układu resynchronizującego [CRT, *cardiac resynchronization therapy*], urządzeń wspomagających funkcję lewej komory), czy na zmianę stylu życia, na przykład regularny trening. Ułatwia także zaplanowanie treningu fizycznego i rehabilitacji kardiologicznej w tej grupie chorych [1, 3, 4].

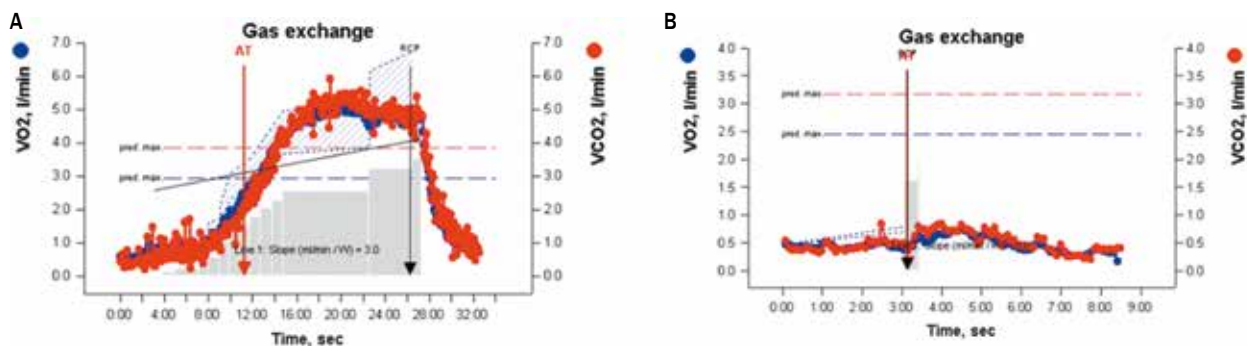
## Przebieg badania

Każde badanie jest poprzedzone wykonaniem spirometrii – badaniem czynnościowym układu oddechowego służącym

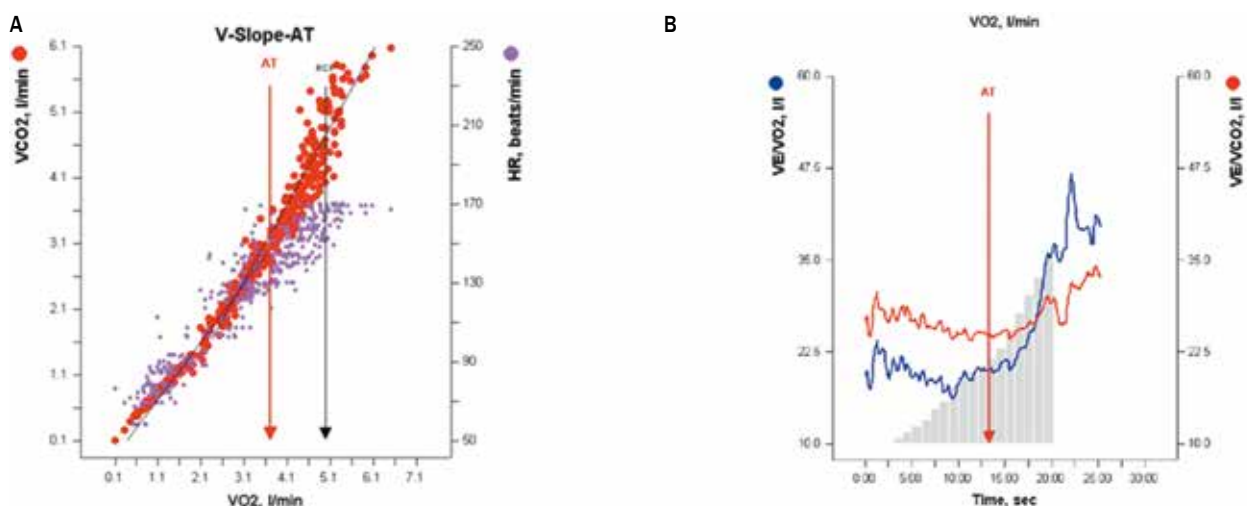
ocenie krzywej wentylacji u danego pacjenta i wykluczeniu na wstępie potencjalnych płucnych przyczyn ograniczonej wydolności wysiłkowej. Pacjent wykonuje badanie w masce twarzowej lub ustnej. U pacjentów z HF preferuje się wysiłek na bieżni, ponieważ badanie na cykloergometrycznym rowerowym wiąże się z ryzykiem przedwczesnego zakończenia testu z powodu zmęczenia mięśni czworogłowych ud przed osiągnięciem  $VO_{2peak}$ . Najpowszechniej stosowanym protokołem w klasycznych testach wysiłkowych na bieżni ruchomej jest protokół Bruce'a, ale nie jest to odpowiedni protokół w testach spiroergometrycznych dla pacjentów z HF, ponieważ różnice obciążenia w kolejnych etapach są znaczne. Zaleca się protokoły z mniejszymi, łagodniejszymi przyrostami obciążenia (Cornella, Naughtona) lub protokoły typu ramp, w których obciążenie przyrasta stale, w sposób ciągły. Niezależnie od protokołu czas trwania testu ograniczonego objawami powinien wynosić 8–12 min. Wysiłek jest poprzedzony 2–5-minutowym okresem spoczynkowym z oceną wartości spoczynkowych parametrów spiroergometrycznych. Podczas spoczynkowego etapu badania pomiary powinny być stabilne. Na ogół obserwuje się następujące wyniki:  $VO_2$  w zakresie 2,5–4,5 ml/kg mc./min, częstość HR poniżej 75/min, częstość oddechów 15–25/min, współczynnik wymiany oddechowej (RER, *respiratory exchange ratio*) w zakresie 0,6–0,9. W czasie wysiłku należy prowadzić ciągle monitorowanie wielu odprowadzeń EKG, parametrów hemodynamicznych, w tym pomiar BP co 2–3 min oraz ciągłą analizę parametrów wentylacyjnych i ocenę subiektywnych objawów. Po zakończeniu wysiłku zaleca się trwający przynajmniej 6 min odpoczynek z pełną oceną wszystkich dotychczasowych parametrów. U pacjentów z wszczepialnym kardiowerterem-defibrylatorem (ICD, *implantable cardioverter-defibrillator*) test wysiłkowy należy prowadzić do osiągnięcia wartości HR mniejszej o co najmniej 10 cykli niż zaprogramowany próg detekcji arytmii [2–5].

## Podstawowe zmienne oceniane w CPX u chorych z niewydolnością serca

Obok parametrów ocenianych w klasycznym teście wysiłkowym (hemodynamiczne: HR, BP) zmiany w zapisie EKG, normalizacja częstości rytmu serca (HRR, *heart rate recovery*) po minucie od zakończenia wysiłku, podstawowym parametrem ocenianym w CPX jest maksymalne zużycie tlenu ( $VO_{2max}$ ). Ocenę tego parametru uważa się za „złoty standard” w ocenie ograniczeń pacjenta i w wielu badaniach wykazano jego przydatność prognostyczną. Jest wyrazem maksymalnej wydolności aerobowej (zamiennie stosowane określenia: wydolność wysiłkowa, wydolność czynnościowa, tolerancja wysiłku) i definiuje ograniczenia układu sercowo-płucnego. Na wartość  $VO_{2max}$  mogą wpływać takie czynniki, jak: masa mięśniowa, płeć, otyłość, niewytrenowanie. U pacjentów z HF bardziej adekwatne jest określenie szczytowego pochłaniania tlenu ( $VO_{2peak}$ ), czyli



Rycina 1. Szczytowe pochłanianie tlenu ( $VO_{2peak}$ ): A. Wyrenowany zdrowy mężczyzna; B. Pacjent z niewydolnością serca w IV klasie wg NYHA



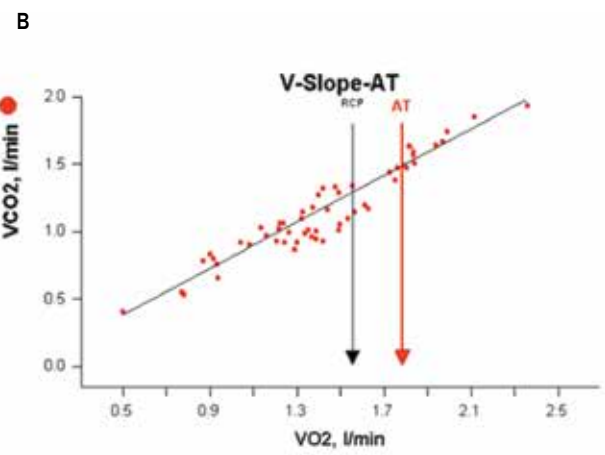
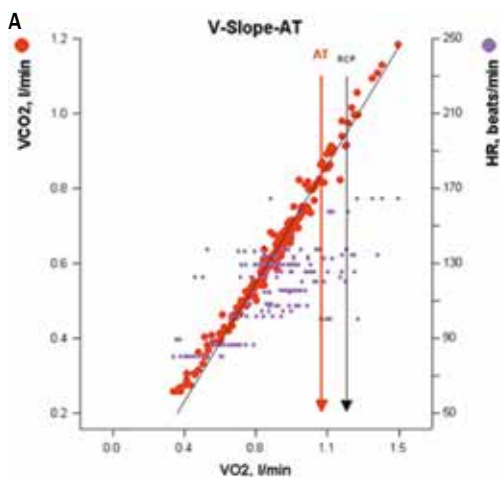
Rycina 2. Identyfikacja wentylacyjnego progu beztlenowego (VT, ventilation threshold): A. Wyznaczanie VT metodą V-slope; B. Wyznaczanie VT metodą ekwiwalentów wentylacyjnych

wartości  $VO_2$  na szczycie wysiłku), ponieważ ograniczenia związane z chorobą mogą prowadzić do przedwczesnego zakończenia wysiłku, który nie prowadzi do osiągnięcia  $VO_{2max}$ . Ocena szczytowego pochłaniania tlenu ( $VO_{2peak}$ ) podczas maksymalnego, ograniczonego objawami, testu wysiłkowego jest najbardziej obiektywną metodą oceny wydolności wysiłkowej u pacjentów z HF (ryc. 1).

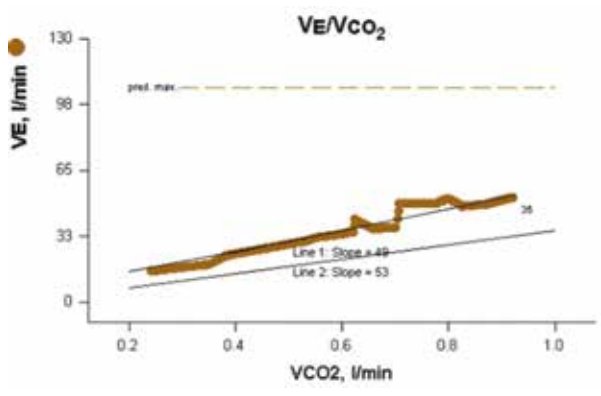
Innym ważnym parametrem jest próg wentylacyjny (VT, ventilatory threshold), zwany także progiem anaerobowym (AT, anaerobic threshold) lub progiem mleczanowym. Próg wentylacyjny jest osiągany przy takich wartościach  $VO_2$ , przy których gwałtownie wzrasta wentylacja minutowa (VE) w celu usunięcia nadmiaru  $CO_2$ , inaczej jest to moment, w którym przemiany aerobowe są w znacznej mierze zastępowane glikolizą beztlenową. Próg wentylacyjny pojawia się zwykle przy osiągnięciu 45–65%  $VO_{2max}$  u zdrowych, niewytrenowanych osób (ryc. 2). Określając VT, można ocenić, jak dany pacjent jest blisko osiągnięcia maksymalnego wysiłku,

aczkolwiek u pacjentów z HF często trudno zidentyfikować wentylacyjny próg anaerobowy (ryc. 3).

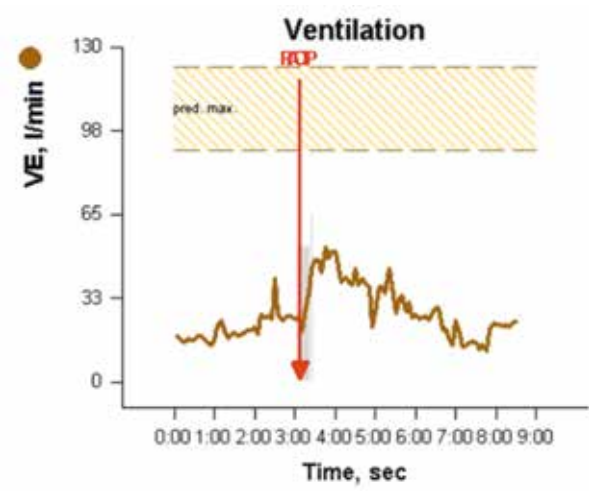
W ostatnim czasie coraz bardziej zwraca się uwagę na przydatność innych sercowo-płucnych markerów ryzyka u chorych z HF (tzw. wskaźniki niewydolności wentylacyjnej). Wykazano, że zależność między wentylacją minutową a zawartością dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu ( $VE/VCO_{2slope}$ ) może być niezależnym, silniejszym niż  $VO_{2peak}$ , predyktorem ryzyka śmiertelności, hospitalizacji i innych niekorzystnych zdarzeń [6]. Za prawidłową uznaje się wartość  $VE/VCO_2$  poniżej 30. U osób z HF parametr ten, zależnie od stopnia zaawansowania choroby, może nawet przekraczać wartość 60 (ryc. 4). Uważa się, że za wzrost wartości  $VE/VCO_2$  odpowiada kilka czynników: zaburzenie stosunku wentylacji do perfuzji, wzmożona wrażliwość chemo- i ergoreceptorów i związana z tym wzmożona wentylacja w odpowiedzi na wysiłek, zmniejszenie  $CO$ , wzmożone ciśnienie w kapilarach płucnych i obniżona zmienność HR.



**Rycina 3.** Identyfikacja wentylacyjnego progu beztlenowego (VT, *ventilation threshold*) u osób z niewydolnością serca: **A.** Możliwy do wyznaczenia VT u pacjenta z niewydolnością serca w III klasie wg NYHA; **B.** Niemożliwy do wyznaczenia VT u pacjentki z niewydolnością serca w III klasie wg NYHA



**Rycina 4.** Zależność między wentylacją minutową a zawartością dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu ( $VE/VCO_{2slope}$ )



**Rycina 5.** Wysiłkowa oscylacja wentylacji

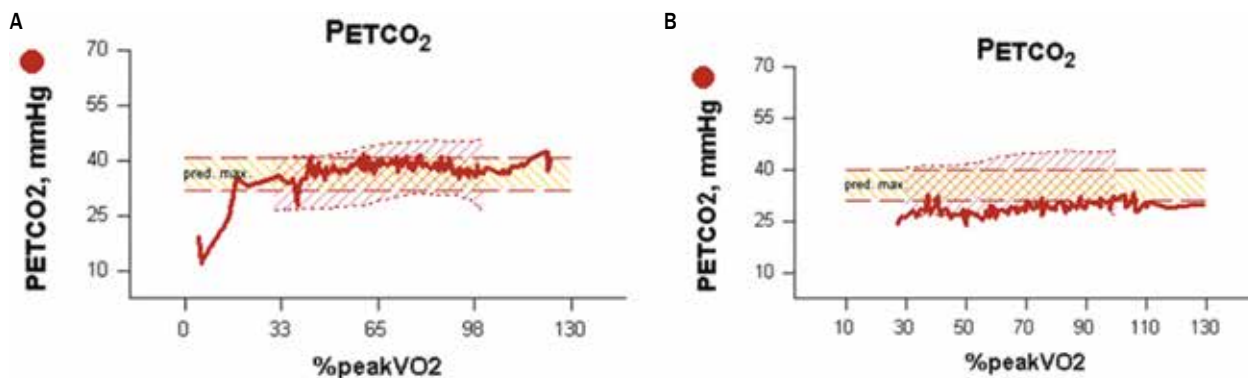
W przeciwieństwie do  $VO_{2peak}$  do oceny  $VE/VCO_2$  nie jest wymagane wykonanie maksymalnego wysiłku.

Wentylacja minutowa wzrasta w trakcie wysiłku w celu usunięcia nadmiaru  $CO_2$ , powstającego wskutek buforowania, kwasu mlekowego, który jest produkowany w procesie przemian beztlenowych. U niektórych pacjentów z HF w trakcie wysiłku może się pojawić nieprawidłowa wysiłkowa oscylacja wentylacji (EOV, *exercise oscillatory ventilation*). Jest to zjawisko patologiczne polegające na cyklicznym zwiększaniu i zmniejszaniu wentylacji podczas wysiłku, wtórnym do wahań ciśnienia parcjalnego  $O_2$  i  $CO_2$  we krwi tętniczej. Utrzymywanie się nieprawidłowego wzoru wentylacji przez ponad 60% czasu trwania wysiłku z amplitudą co najmniej 15% średnich spoczynkowych wartości wskazuje na nieprawidłową oscylacyjną kinetykę wymiany gazowej (ryc. 5).

Kolejną istotną zmienną o znaczeniu rokowniczym u pacjentów z HF, ocenianą podczas CPX, jest spoczyn-

kowe/wysiłkowe końcowowdechowe ciśnienie parcjalne  $CO_2$  ( $P_{ET}CO_2$ , *end tidal pressure of carbon dioxide*). To łatwo mierzalny parametr, zarówno w spoczynku, jak i w trakcie wysiłku na VT. Wartości prawidłowe mieszczą się w zakresie 36–44 mm Hg. Prawidłowo  $P_{ET}CO_2$  wzrasta o 3–8 mm Hg od spoczynku do momentu osiągnięcia VT, a następnie obniża się. Wykazano związek tego parametru z wielkością CO u pacjentów z HF. Im bardziej nieprawidłowe wartości  $P_{ET}CO_2$ , tym większe pogorszenie przebiegu choroby związane ze zwiększonym ryzykiem poważnych zdarzeń niepożądanych – zgonu czy dekompensacji układu krążenia (ryc. 6). Parametry, takie jak  $VE/VCO_{2slope}$  czy EOV, również mogą mieć porównywalną wartość prognostyczną u pacjentów z HF z zachowaną funkcją skurczową.

Kolejnym istotnym parametrem jest współczynnik wymiany oddechowej (RER, *respiratory exchange ratio*). Jest on wyrażany jako stosunek wydalania dwutlenku węgla do



Rycina 6. Końcowowdechowe ciśnienie parcjale CO<sub>2</sub> (P<sub>ET</sub>-CO<sub>2</sub>): A. Prawidłowy wysiłkowy wzrost P<sub>ET</sub>-CO<sub>2</sub>; B. Brak wzrostu P<sub>ET</sub>-CO<sub>2</sub> u pacjenta z niewydolnością serca w III klasie wg NYHA

pochłaniania tlenu ( $VCO_2/VO_2$ ). Osiągnięcie maksymalnej wartości RER wynoszącej co najmniej 1,1 jest wyznacznikiem odpowiedniego poziomu wykonanego wysiłku, przez co niweluje konieczność oceny częstości HR jako czynnika determinującego wielkość wykonanego wysiłku, tym bardziej że powszechnie stosowane w HF beta-adrenolityki często uniemożliwiają maksymalną odpowiedź chronotropową na wysiłek. Osiągnięcie RER równego co najmniej 1,1 nie jest czynnikiem determinującym zakończenia testu. Przerwanie testu przy RER poniżej 1,0 na prośbę pacjenta, bez towarzyszących zmian hemodynamicznych i elektrokardiograficznych, wskazuje na osiągnięcie submaksymalnego wysiłku, ale jest także obserwowane u osób z ograniczeniami ze strony układu oddechowego. Większość pacjentów osiąga VT przy RER co najmniej 1,0. Inne kryteria dobrze wykonanego badania to osiągnięcie *plateau* szczytowej częstości HR oraz  $VO_2$ , a także uczucie istotnego zmęczenia (tab. 1) [1, 3, 4, 7].

### Stratyfikacja ryzyka u chorych z niewydolnością serca na podstawie parametrów spiroergometrycznych

W ocenie pacjentów z HF na podstawie parametrów spiroergometrycznych stosuje się klasyfikację Webera. Podstawą tej klasyfikacji i oceny prognostycznej w tej grupie chorych są wartości  $VO_2$  i VT (tab. 2) [8].

Dodatkowo wartości takich parametrów, jak  $VE/VCO_2$ , obecność nieprawidłowej oscylacji wentylacji, spoczynkowe i wysiłkowe wartości P<sub>ET</sub>-CO<sub>2</sub> mają znaczenie prognostyczne w grupie pacjentów z HF.

Osoby z HF i  $VO_2$  poniżej 10 ml/kg mc./min oraz  $VE/VCO_{2slope}$  ponad 40 mają złe rokowanie i powinny być zaliczone do grupy najwyższego ryzyka niekorzystnych zdarzeń. U pacjentów z zachowaną wydolnością wysiłkową  $VE/VCO_{2slope}$  ponad 40 także jest wskaźnikiem złego rokowania. Ponadto CPX ma zastosowanie w ocenie prognostycznej u chorych z zachowaną funkcją skurczową. Zarówno u pacjentów

ze skurczową, jak i rozkurczową HF wydolność wysiłkowa jest obniżona w takim samym stopniu. Wydolność wentylacyjna ( $VE/VCO_{2slope}$ ) wydaje się jeszcze mniejsza u pacjentów z rozkurczową HF. Wartości  $VE/VCO_{2slope}$ , EOV, a także w mniejszym stopniu  $VO_{2peak}$ , mogą być silnymi predyktorami niekorzystnych zdarzeń u chorych ze skurczową, jak i rozkurczową HF (tab. 3) [9, 10].

### Kryteria kwalifikacji do przeszczepienia serca

W identyfikacji odpowiednich kandydatów do przeszczepienia serca (HTX, *heart transplantation*) CPX jest badaniem rutynowym w grupie pacjentów z HF. Wartości  $VO_{2peak}$  i  $VE/VCO_{2slope}$  w „zakresie czerwonym” (patrz tab. 3) powinny być uznane za podstawowe kryteria kwalifikujące chorego do HTX.

Rutynowe stosowanie beta-adrenolityków, układów ICD, dwukomorowych układów stymulujących przyczyniło się do poprawy przeżywalności pacjentów z HF, jednak te interwencje, poza dwukomorowym układem stymulującym, nie prowadzą do poprawy ich wydolności wysiłkowej.

W celu oceny pacjenta przed ewentualną kwalifikacją do HTX u osób poddawanych optymalnemu leczeniu farmakologicznemu zaleca się wykonanie maksymalnego CPX z RER ponad 1,05 i osiągnięciem AT. U pacjentów nietolerujących beta-adrenolityków wartością odcięcia dla osiągnięcia kryterium do HTX jest wartość  $VO_{2peak}$  równa lub mniejsza niż 14 ml/kg mc./min, a u chorych leczonych beta-adrenolitykiem –  $VO_{2peak}$  mniejsze lub równe 12 ml/kg/min. W przypadku osiągnięcia wysiłku submaksymalnego podczas CPX można rozważyć zastosowanie wskaźnika wydolności wentylacyjnej ( $VE/VCO_2$ ) ponad 35 jako parametru determinującego wskazania do HTX. U pacjentów otyłych można rozważyć skorygowanie  $VO_{2peak}$  do beztłuszczowej masy ciała. Wówczas  $VO_{2peak}$  wynoszące poniżej 19 ml/kg mc./min może być optymalną wartością odcięcia w kwalifikacji do HTX pacjentów ze wskaźnikiem masy ciała (BMI, *body mass index*) ponad 30 kg/m<sup>2</sup> (tab. 4) [11, 12].

**Tabela 1.** Podstawowe parametry wentylacyjne oceniane w badaniu spiroergometrycznym u chorych z niewydolnością serca (na podstawie [1, 3, 4, 7])

Parametr	Znaczenie	Interpretacja
<b>VO<sub>2peak</sub></b> (szczytowe pochłanianie tlenu)	Wielkość VO <sub>2</sub> uzyskana w momencie wystąpienia objawów nietolerancji wysiłku nakazująca jego przerwanie lub osiągnięcie założonego obciążenia przy braku osiągnięcia <i>plateau</i> VO <sub>2</sub> Wyznacznik wydolności wysiłkowej Odzwierciedla stopień zaawansowania choroby Uniwersalny niezależny czynnik prognostyczny	Wartości prawidłowe: > 22 ml O <sub>2</sub> /kg mc./min Wartość < 10 ml O <sub>2</sub> /kg mc./min świadczy o złej prognozie
<b>VE/VC<sub>O<sub>2</sub>slope</sub></b> (nachylenie krzywej ekwiwalentu wentylacyjnego dla wydychanego CO <sub>2</sub> )	Odzwierciedla zależność między wentylacją i perfuzją w układzie oddechowym Niezależny czynnik prognostyczny Odzwierciedla stopień zaawansowania choroby	Wartości prawidłowe: < 30 Wartość ≥ 45 świadczy o złej prognozie
<b>Peak RER</b> (współczynnik wymiany oddechowej)	Stosunek VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub> w powietrzu wydychanym Nieinwazyjny wskaźnik natężenia wysiłku	≥ 1,1–1,15 świadczy o bardzo dobrej wydolności wysiłkowej (osiągnięcie miarodajnego wysiłku)
<b>EOV</b> (wysiłkowa oscylacja wentylacji)	Jej obecność świadczy o stopniu zaawansowania choroby i niekorzystnej prognozie	Prawidłowo nieobecna
<b>P<sub>E</sub>CO<sub>2</sub></b> w spoczynku i podczas wysiłku (ciśnienie parcjalne CO <sub>2</sub> w powietrzu końcowo-wydechowym)	Odzwierciedla zależność między wentylacją i perfuzją w układzie oddechowym oraz nasilenie choroby Odzwierciedla stopień zaawansowania choroby	Wartości prawidłowe: • w spoczynku: 36–42 mm Hg • prawidłowo wzrasta o 3–8 mm Hg przy osiągnięciu progu wentylacyjnego (VT)
<b>VT (VAT)</b> (próg wentylacyjny, próg hiperwentylacji, wentylacyjny próg anaerobowy)	Nieproporcjonalne zwiększenie wentylacji względem VO <sub>2</sub> , wtórne do zwiększonego wydalania CO <sub>2</sub> (hiperwentylacja spowodowana nadmiarem CO <sub>2</sub> ), pokrywa się z progiem mleczanowym – określa próg anaerobowy, tj. intensywność wysiłku, powyżej którego przemiany aerobowe w mięśniach są uzupełniane glikolizą – kompensacja kwasicy	Wartości prawidłowe – pojawia się przy 45–65% VO <sub>2max</sub>

**Tabela 2.** Czynnościowa klasyfikacja niewydolności serca (wg Webera [8])

Klasa Webera	VO <sub>2peak</sub> [ml/kg mc./min]	AT [ml/kg/min]	Pogorszenie wydolności wysiłkowej
<b>A</b>	> 20	> 14	Łagodne lub nieobecne
<b>B</b>	16–20	11–14	Łagodne do umiarkowanego
<b>C</b>	10–15,9	8–11	Umiarkowane do ciężkiego
<b>D</b>	< 10	< 8	Ciężkie

VO<sub>2peak</sub> – szczytowe pochłanianie tlenu; AT (*anaerobic threshold*) – próg anaerobowy

## Podsumowanie

Sercowo-płucny test wysiłkowy dostarcza ważnych danych prognostycznych w populacji pacjentów z HF. Pozwala na ocenę stopnia zaawansowania choroby oraz odpowiedzi na stosowane leczenie i interwencje. To najbardziej obiektyw-

na metoda oceny wydolności wysiłkowej. Dostarczając tak wartościowych informacji, wydaje się kluczowym badaniem w ocenie stopnia zaawansowania HF i ocenie postępu choroby, a ponadto może ułatwić lekarzom podejmowanie decyzji terapeutycznych, takich jak na przykład kwalifikacja chorych do HTX.

**Tabela 3.** Stratyfikacja ryzyka u pacjentów z niewydolnością serca na podstawie parametrów wentylacyjnych (źródła [9, 10])

$VE/VCO_{2slope}$	$VO_{2peak}$	EOV	$P_{ET}CO_2$
Klasa wentylacyjna I $VE/VCO_{2slope} < 30$	Klasa wg Webera A $VO_{2peak} > 20$ ml/kg/min	Nieobecna	Spoczynkowe $P_{ET}CO_2$ $\geq 33$ mm Hg Przyrost o 3–8 mm Hg
Klasa wentylacyjna II $VE/VCO_{2slope} < 30-35,9$	Klasa wg Webera B $VO_{2peak} = 16-20$ ml/kg mc./min		
Klasa wentylacyjna III $VE/VCO_{2slope} < 36-44,9$	Klasa wg Webera C $VO_{2peak} = 10-15,9$ ml/kg mc./min		
Klasa wentylacyjna IV $VE/VCO_{2slope} \geq 45$	Klasa wg Webera D $VO_{2peak} < 10$ ml/kg mc./min		
		Obecna	Spoczynkowe $P_{ET}CO_2$ $< 33$ mm Hg Przyrost o $< 3$ mm Hg

Ryzyko niskie
 

 Ryzyko wysokie

**Tabela 4.** Wskazania do transplantacji serca (HTX, *heart transplantation*) na podstawie wskaźników wentylacyjnych ocenianych w sercowo-płucnym teście wysiłkowym (CPX, *cardiopulmonary exercise testing*) (źródło [11])

Wskaźniki wentylacyjne w CPX	Zalecenie dotyczące HTX
<b>Przy maksymalnym CPX (RER &gt; 1,05)</b>	
$VO_{2peak}$ (ml/kg mc./min) $\leq 14$ (pacjenci nieleczeni beta-adrenolitykiem)	Zalecana
$VO_{2peak}$ (ml/kg mc./min) $\leq 12$ (pacjenci leczeni beta-adrenolitykiem)	Zalecana
<b>Przy submaksymalnym CPX (RER &lt; 1,05)</b>	
$VE/VCO_{2slope} > 35$	Można rozważyć

## Abstract

Spiroergometry, cardiopulmonary exercise testing (CPX), is widely used in functional assessment of patients with both systolic and diastolic heart failure (HF). It is useful in risk stratification, gauging disease severity and also patient's response to treatment and applied interventions in that group of patients. It enables the assessment of physiological response to exertion and identification of abnormalities that normally are not present at rest. Main parameters measured on CPX that have prognostic value in patients with HF are: peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ), minute ventilation to carbon dioxide release ratio ( $VE/VCO_{2slope}$ ), respiratory exchange ratio (RER), end-tidal partial pressure of carbon dioxide ( $P_{ET}CO_2$ ), and presence of oscillatory pattern of ventilation during exercise (EOV).

Cardiopulmonary exercise testing is the most objective method of functional capacity assessment. Giving so much valuable information, it seems to be the key examination in evaluation of heart failure degree and progression, and may help physicians in making up therapeutic decisions like qualification to heart transplantation (HTX). It also facilitates planning of physical exertion and rehabilitation in that group of patients.

Key words: cardiopulmonary exercise testing, heart failure, oxygen uptake

(Folia Cardiologica 2014; 9, 3: 313–320)

## Piśmiennictwo

- Guazii M., Adams V., Conraads V. i wsp. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient population. EACPR/AHA Joint Scientific Statement. Eur. Heart J. 2012; 33:2917–2927.
- McMurray J., Adamopoulos S., Anker S. i wsp. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012. Eur. Heart J. 2012; 33: 1787–1847.

3. Balady G., Arena R., Sietsema K. i wsp. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010; 122: 191–225.
4. Arena R., Myers J., Williams M. i wsp. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation* 2007; 116: 329–343.
5. Gibbons R.J., Balady G.J., Bricker J.T. i wsp. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. 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: 1531–1540.
6. Myers J., Arena R., Oliveira R. The lowest VE/VCO<sub>2</sub> ratio during exercise as a predictor of outcomes in patients with heart failure. *J. Cardiac Fail.* 2009; 15: 756–762.
7. Arena R., Myers J., Guazzi M. i wsp. Cardiopulmonary exercise testing is a core assessment of patients with heart failure. *Congest. Heart Fail.* 2011; 17: 115–119.
8. Tavazzi L., Giannuzzi P., Dubach P. i wsp. Recommendations for exercise testing in chronic heart failure patients. Working Group on Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and Working Group on Heart Failure of the European Society of Cardiology. *Eur. Heart J.* 2001; 22: 37–45.
9. Guazzi M., Myers J., Arena R. Cardiopulmonary exercise testing in the clinical prognostic assessment of diastolic heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2005; 46: 1883–1890.
10. Guazzi M., Myers J., Peberdy M. i wsp. Exercise oscillatory breathing in diastolic heart failure: prevalence and prognostic insights. *Eur. Heart J.* 2008; 29: 2751–2759.
11. Mehra M., Kobashigawa J., Starling R. i wsp. Listing criteria for heart transplantation: International Society for Heart and Lung Transplantation guidelines for the care of cardiac transplant candidates – 2006. *J. Heart Lung Transpl.* 2006; 25: 1024–1042.
12. Ferreira A., Tabet J., Frankenstein L. i wsp. Ventilatory efficiency and the selection of patients for heart transplantation. *Circ. Heart Fail.* 2010; 3: 378–386.