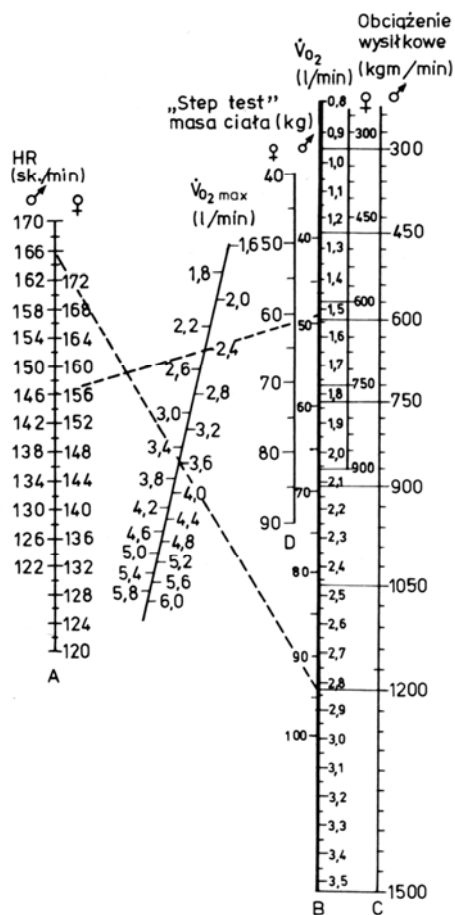


**Wydolność fizyczna** to zdolność do wykonywania aktywności fizycznej, którą jest każda aktywność ruchowa ciała z udziałem mięśni szkieletowych powodująca wydatek energetyczny wyższy niż w spoczynku. Wydolność fizyczna oznacza zdolność do wykonywania ciężkich lub długotrwałych wysiłków fizycznych bez szybko narastającego zmęczenia. Rzeczywistą miarą wydolności fizycznej jest czas wykonywania wysiłków o określonej stałej lub zwiększającej się intensywności jak jazda na cykloergometrze lub chód na bieżni, do całkowitego wyczerpania. Wydolność fizyczną określają różne czynniki, w tym: wydolność krążeniowo-oddechowa, siła i wytrzymałość mięśniowa, skład ciała i inne. Miarą wydolności fizycznej jest wielkość maksymalnego pochłaniania tlenu ( $VO_2 \max$ ), czyli pułap tlenowy. Innym wskaźnikiem jest PWC 170. PWC 170 jest to obciążenie, przy którym częstość skurczów serca stabilizuje się na poziomie 170/min. Wielkość tego obciążenia można zmierzyć np. podczas wysiłków wykonywanych na cykloergometrze lub wyznaczyć z liniowej zależności między częstością skurczów serca osiąganą w okresie równowagi a obciążeniem. Wielkość PWC 170 odpowiada 80% obciążenia maksymalnego. Wielkość PWC 170 i  $VO_2 \max$  są ze sobą wysoko skorelowane. Oznaczanie wielkości PWC 170 i pośredni pomiar  $VO_2 \max$  oparte są na tym samym założeniu, czyli liniowej zależności między częstością skurczów serca w czasie wysiłków a wielkością obciążenia (pochłaniania tlenu). Różnica polega na tym, że w przypadku PWC 170 wyznacza się wielkość obciążenia, przy którym częstość skurczów serca osiąga 170/min, a w drugim wartość maksymalną dla danego wieku. Pomiar maksymalnego pobierania tlenu wykorzystywany jest do ustalenia wielkości dopuszczalnych obciążeń w pracy zawodowej u ludzi zdrowych, dopuszczalnych obciążeń treningowych, w kontroli treningu sportowego i rehabilitacyjnego. Wielkość  $VO_2 \max$  można zmierzyć bezpośrednio podczas wysiłku maksymalnego lub wyliczyć na podstawie częstości skurczów serca podczas wysiłków submaksymalnych. Zasada bezpośredniego pomiaru maksymalnego pobierania tlenu polega na zmierzeniu ilości tlenu pobieranego przez organizm podczas wysiłku o obciążeniu maksymalnym. Pomiar przeprowadza się podczas wysiłku wykonywanego na cykloergometrze lub bieżni ruchomej, rzadziej podczas wysiłku polegającego na wchodzeniu na stopień (step-test). Dowodem osiągnięcia obciążenia maksymalnego jest stabilizacja pobierania tlenu mimo zwiększania obciążenia maksymalnego. Pośrednia ocena maksymalnego pobierania tlenu opiera się na, jak to już wyżej wspomniano, na liniowej zależności między pobieraniem tlenu a częstością skurczów serca osiąganą w warunkach równowagi czynnościowej podczas wysiłków submaksymalnych. Na podstawie tej zależności można przewidzieć, przy jakim pobieraniu tlenu badany osiągnie właściwą dla danego wieku (przeciętną) maksymalną częstość skurczów serca. Pobieranie tlenu przy HR max odpowiada w przybliżeniu  $VO_2 \max$  i wyznacza się przy zastosowaniu nomogramu Astranda-Ryhminga (rycina poniżej).



**Tabela 13.9 B.** Wielkości  $\dot{V}O_2\max$  ( $l \cdot \min^{-1}$ ) wyliczone dla mężczyzn na podstawie nomogramu Astrand-Ryhming (Astrand I.: Acta Physiol. Scand., Suppl. 169, 45-60, 1960)

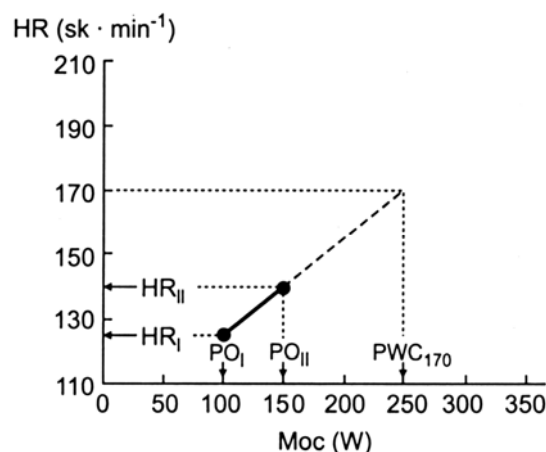
HR <sub>sub</sub>	$\dot{V}O_2\max$ ( $l \cdot \min^{-1}$ )					HR <sub>sub</sub>	$\dot{V}O_2\max$ ( $l \cdot \min^{-1}$ )				
	50 W	100 W	150 W	200 W	250 W		50 W	100 W	150 W	200 W	250 W
120	2,2	3,5	4,8			146		2,4	3,3		
121	2,2	3,4	4,7			147	2,4	3,3	4,4	5,6	
122	2,2	3,4	4,6			148	2,4	3,2	4,4	5,5	
123	2,1	3,4	4,6			149	2,3	3,2	4,3	5,4	
124	2,1	3,3	4,5	6,0		150	2,3	3,2	4,2	5,3	
125	2,0	3,2	4,4	5,9		151	2,3	3,1	4,2	5,2	
126	2,0	3,2	4,4	5,8		152	2,3	3,1	4,1	5,2	
127	2,0	3,1	4,3	5,7		153	2,2	3,0	4,1	5,1	
128	2,0	3,1	4,2	5,6		154	2,2	3,0	4,0	5,1	
129	1,9	3,0	4,2	5,6		155	2,2	3,0	4,0	5,0	
130	1,9	3,0	4,1	5,5		156	2,2	2,9	4,0	5,0	
131	1,9	2,9	4,0	5,4		157	2,1	2,9	3,9	4,9	
132	1,8	2,9	4,0	5,3		158	2,1	2,9	3,9	4,9	
133	1,8	2,8	3,9	5,3		159	2,1	2,8	3,8	4,8	
134	1,8	2,8	3,9	5,2		160	2,1	2,8	3,8	4,8	
135	1,7	2,8	3,8	5,1		161	2,0	2,8	3,7	4,7	
136	1,7	2,7	3,8	5,0		162	2,0	2,8	3,7	4,6	
137	1,7	2,7	3,7	5,0		163	2,0	2,8	3,7	4,6	
138	1,6	2,7	3,7	4,9		164	2,0	2,7	3,6	4,5	
139	1,6	2,6	3,6	4,8		165	2,0	2,7	3,6	4,5	
140	1,6	2,6	3,6	4,8	6,0	166	1,9	2,7	3,6	4,5	
141		2,6	3,5	4,7	5,9	167	1,9	2,6	3,5	4,4	
142		2,5	3,5	4,6	5,8	168	1,9	2,6	3,5	4,4	
143		2,5	3,4	4,6	5,7	169	1,9	2,6	3,5	4,3	
144		2,5	3,4	4,5	5,7	170	1,8	2,6	3,4	4,3	
145		2,4	3,4	4,5	5,6						

**Tabela 13.10.** Wartości współczynników korekcyjnych dla prób pośrednich w zależności od wieku badanej osoby (wg Astrand I.: Acta Physiol. Scand., 49, Suppl. 169, 1–92, 1960)

Wiek w latach	Współczynnik korekcyjny
15	1,10
25	1,00
35	0,87
40	0,83
45	0,78
50	0,75
55	0,71
60	0,68
65	0,65

Wykorzystanie nomogramu umożliwi wyznaczenie  $VO_2$  max na podstawie częstości skurczów serca osiąganey w okresie równowagi czynnościowej podczas wysiłku wykonywanego na cykloergometrze ( jedno obciążenie ) lub podczas wykonywania step-testu. Podczas step-testu wysokość stopnia wynosi 33 cm dla kobiet i 40 cm dla mężczyzn, a częstość wchodzenia na stopień 22,5 wejść na minutę. Przy zastosowaniu cykloergometru obciążenie musi być tak dobrane, aby częstość skurczów serca podczas wykonywania wysiłku nie była mniejsza niż 120 lub większa niż 170 /min. Czas wykonywania wysiłku wynosi średnio 5-7 minut ( do osiągnięcia stabilizacji częstości skurczów serca ). Aby odczytać z nomogramu poszukiwana wartość  $VO_2$  max należy połączyć punkt na osi A , odpowiadający częstości skurczów serca podczas wysiłku, z punktem na osi B, odpowiadający pobieraniu tlenu/  $VO_2$ . Wartość  $VO_2$  może być wyznaczona na podstawie tego samego nomogramu. W tym celu należy przeprowadzić linię poziomą ( prostopadłą do osi ) przez punkt odpowiadający obciążeniu na cykloergometrze (  $kgm/min$  ) na osi C lub odpowiadający masie ciała badanej osoby ( oś D ) w przypadku zastosowania step-testu. Pobieranie tlenu wyznacza punkt przecięcia tej linii poziomej z osią B.

Oznaczanie PWC 170 – zasada pomiaru -opiera się na liniowej zależności między częstością skurczów serca, osiąganą w okresie równowagi czynnościowej podczas wysiłków submaksymalnych wykonywanych na cykloergometrze, a wielkością obciążenia wysiłkowego. Wielkość PWC 170 wyznacza się graficznie przez ekstrapolację do wartości częstości skurczów serca 170/min linii prostej, wykreślonej na podstawie pomiarów częstości skurczów serca przy co najmniej 3 obciążeniach ( rycina poniżej ).



**Tolerancja wysiłku** jest to zdolność do wykonywania wysiłków na określonym poziomie obciążenia bez głębszych zaburzeń homeostazy lub zaburzeń czynności narządów wewnętrznych. Miarą tolerancji wysiłku jest wartość najwyższego, tolerowanego obciążenia. Jest wyrażona za pomocą MET- wielokrotności wydatku energetycznego w trakcie maksymalnego obciążenia w porównaniu do podstawowej wartości spoczynkowej. Można wyrazić ją również w postaci wielkości mocy (wyrażonej w watach) ale wymaga odniesienia do masy ciała badanego. W badaniach spiroergometrycznych do oceny tolerancji wysiłku używa się wskaźnika VO peak- wartości zmierzonego bezpośrednio zużycia tlenu podczas szczytowego obciążenia.

**Testy wysiłkowe** są nieinwazyjnymi badaniami oceniającymi zdolność organizmu do dynamicznego wysiłku. Stosowane są do oceny:

a/ zdolności do wykonywania określonych wysiłków fizycznych

b/ wydolności fizycznej i tolerancji wysiłkowej

c/ jako jeden z rodzajów prób czynnościowych w diagnostyce klinicznej chorób głównie układu krążenia oraz oddechowego

Testy wysiłkowe znajdują zastosowanie przy kwalifikacji do uprawiania różnych dyscyplin sportowych z jednoczesną oceną postępu treningu sportowego, wykonywania niektórych zawodów, w diagnostyce niektórych chorób zwłaszcza układu krążenia (np. choroby niedokrwiennej serca) i oddechowego, gdyż dostarczają informacje diagnostyczne i prognostyczne.

W testach wysiłkowych stosuje się różne formy wysiłków o dozowanej intensywności i określonym czasie trwania. Takimi wysiłkami spełniającymi te kryteria są wysiłki dynamiczne, do których należy test na cykloergometrze rowerowym, chód lub bieg na bieżni elektrycznej o regulowanej prędkości ruchu i kącie nachylenia, wchodzenie na stopień o określonej wysokości (step test) lub na schody. Wśród wysiłków statycznych najczęściej wykonuje się test polegający na zaciśnięciu ręki na uchwycie dynamometru ręcznego.

Chodzenie stanowi naturalną formę aktywności ruchowej człowieka stąd test wysiłkowy na bieżni ruchomej jest najczęściej wykonywanym badaniem, jakkolwiek samo urządzenie- bieżnia ruchoma jest kilkukrotnie droższym urządzeniem niż cykloergometr rowerowy, jednocześnie wytwarza większy hałas podczas badania. Trudniejsze jest też wykonywanie badań w czasie wysiłku (np. pomiar RR, ocena EKG) ze względu na ruchy całego ciała. Przy dużej intensywności wysiłku natychmiastowe przerwanie badania może grozić urazem. Możliwość oceny wydatku energetycznego przy pomocy bieżni ruchomej jest niezależna od masy ciała badanego. Z drugiej strony testy wysiłkowe wykonywane na cykloergometrze są trudniejsze ze względu na samą formę ruchu zwłaszcza dla osób starszych lub takich, które nie jeżdżą na rowerze. Podczas wysiłku na cykloergometrze zaangażowana jest mniejsza masa mięśniowa, stąd zmęczenie mięśni pojawia się szybciej niż podczas chodzenia. Dlatego wydolność fizyczna mierzona takim testem zwykle jest mniejsza niż podczas badania na bieżni ruchomej. Istnieją trudności z utrzymaniem wymaganego obciążenia. Przy ocenie wydolności fizycznej oraz wydatku energetycznego jest konieczna korekcja wielkości maksymalnego tolerowanego obciążenia w stosunku do masy ciała badanego. Zaletą testów na ergometrze rowerowym jest niższy koszt urządzenia, mniejsze wymiary sprzętu, niższy poziom hałasu, lepsze techniczne możliwości uzyskania zapisu EKG- gdyż bardziej stabilna

jest klatka piersiowa.

W testach wysiłkowych stosuje się różne sposoby obciążeń:

- a. testy ze stałym obciążeniem
- b. testy ze wzrastającym obciążeniem

Ze względu na intensywność prób wysiłkowych wykonuje się :

- a. testy maksymalne- stosowane głównie u osób zdrowych- polegają na systematycznym zwiększaniu obciążenia do całkowitego maksymalnego zmęczenia badanego i uzyskania maksymalnego zużycia tlenu
- b. testy submaksymalne – polegające na stopniowym zwiększaniu obciążenia do określonego z góry przed badaniem momentu lub do momentu wystąpienia zaburzeń będących wskazaniem do przerwania próby. Najczęściej przyjmuje się kryterium docelowej częstotliwości skurczów serca 85-90% częstości maksymalnej.

Maksymalną dla danego wieku częstotliwość skurczów serca oblicza się według wzoru  $220 - \text{wiek}$  ( w latach ).

W testach wysiłkowych wykorzystuje się następujące ergometry :

- a. bieżnia ruchoma
- b. cykloergometr do pracy kończyn dolnych ( ergometr rowerowy )
- c. cykloergometr do pracy kończyn górnych – stosowany dla osób , które nie mogą ze względu na ograniczenia ruchowe wykonywać standardowych testów wysiłkowych

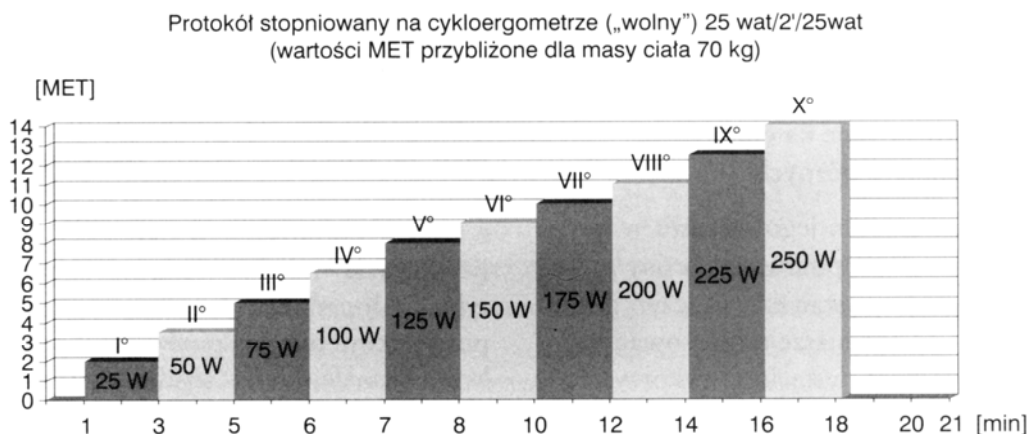
Do podstawowych metod oceny funkcji układu krążeniowo- oddechowego należy analiza EKG oraz analiza gazów oddechowych i parametrów wentylacji płuc.

**Celem ćwiczeń jest :**

1. Ocena wydolności fizycznej osoby badanej za pomocą cykloergometru rowerowego
2. Porównanie testów wysiłkowych dynamicznych (przy pomocy cykloergometru rowerowego i step- testu ) oraz statycznych ( za pomocą dynamometru )
3. Ocena zmęczenia mięśnia szkieletowego za pomocą dynamometru

**Ad.1 Ocena wydolności fizycznej przy pomocy cykloergometru rowerowego.**

W przypadku próby na ergometrze rowerowym wzrost obciążenia co 25 Wat następuje co 2 minuty a badanie rozpoczyna się od obciążenia 25 Wat ( rysunek poniżej )



Protokół stopniowany na cykloergometrze zaadoptowany dla kończyn górnych  
(wartości MET przybliżone dla masy ciała 70 kg)

W czasie próby istotne jest utrzymanie stałego rytmu pedałowania w zakresie 50-70 obrotów na minutę.

Warunkiem niezbędnym, umożliwiającym wykonywanie badania jest zgoda badanego oraz nie występowanie przeciwwskazań do próby. Dlatego badany musi zostać zbadany przez lekarza przed rozpoczęciem testu. W czasie próby przeprowadza się obserwację badanego i wykonuje się monitorowanie EKG przez okres badania i kontynuuje się przez 5 minut po jego zakończeniu. Pomiarów ciśnienia tętniczego dokonuje się w odstępach 2-minutowych.

Wynik próby wysiłkowej zawiera następujące elementy :

- a. protokół badania i sposób obciążenia ( bieżnia, cykloergometr )
- b. czas trwania próby
- c. wielkość obciążenia przy którym przerwano próbę
- d. częstość rytmu serca i wartość ciśnienia tętniczego przed badaniem i na szczycie wysiłku
- e. ocena wydolności fizycznej przy zastosowaniu nomogramu Astranda- Ryhminga.

## **Ad. 2 Porównanie testów wysiłkowych dynamicznych ( przy pomocy cykloergometru rowerowego i step-testu ) oraz statycznych ( za pomocą dynamometru )**

Podczas ćwiczenia oceni się sposób wykonania testów dynamicznych w kontekście podziału skurczów m. szkieletowego na skurcze izotoniczne, izometryczne, mieszane izometryczno- izotoniczne. Jednocześnie poddana zostanie analiza parametrów funkcjonalnych układu krążenia- przyrostu tętna oraz ciśnienia tętniczego podczas badania oraz w okresie powysiłkowym. W tym celu wykonany zostanie zapis EKG na początku badania, na szczycie wysiłku oraz 5 minut po jego zakończeniu łącznie z pomiarem ciśnienia tętniczego.

Wykonany będzie wysiłek statyczny przy pomocy dynamometru, podczas którego osoba badana wykona maksymalny ucisk dynamometru obu dłońmi utrzymywany do czasu maksymalnego zmęczenia lub przez co najmniej 5 minut. Wykonany będzie zapis ekg wyjściowo, na zakończenie wysiłku oraz 5 minut po jego zakończeniu. W tym samym czasie zmierzone będzie ciśnienie tętnicze.

## **Ad. 3 Ocena zmęczenia mięśnia szkieletowego za pomocą dynamometru.**

Badany wykonuje jedną ręką ( uznaną jako silniejszą ) skurcz izometryczny maksymalny przy pomocy dynamometru, a następnie powtarza skurcz o porównywalnej sile co poprzedni bez odpoczynku do granicy zmęczenia. Każdorazowo zapisuje się wartość siły wskazanej przez dynamometr . Badanie takie powtarza się dla drugiej ręki również do granicy zmęczenia.

Literatura:

Kozłowski St., Nazar K. : „ Wprowadzenie do fizjologii klinicznej „ 1995, PZWL  
Bromboszcz J., Dylewicz P. „ Rehabilitacja kardiologiczna „2005, Elipsa-Jaim s.c.  
Górski J. „ Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego „ 2006, PZWL