

Teresa Makowiec-Dąbrowska

ZASADY OCENY OBCIĄŻENIA FIZYCZNEGO PODCZAS PRACY ZAWODOWEJ

z Instytutu Medycyny Pracy - dyrektor: prof. dr hab. J. Indulski

W pracy przedstawiono podstawowe bezpośrednie i szacunkowe metody określania wydatku energetycznego podczas pracy oraz zasady oceny intensywności wysiłku statycznego i monotypowości ruchów roboczych. Podano również klasyfikację ciężkości pracy i obciążenia wysiłkiem fizycznym.

Obciążenie fizyczne to część ogólnego obciążenia pracą kształtowana wykonywaniem wysiłku fizycznego. Zgodnie z definicją obciążenia, które jest relacją między intensywnością wysiłku a możliwościami osoby wykonującej ten wysiłek, pierwszym elementem w ocenie obciążenia fizycznego powinno być określenie intensywności wysiłku. W odniesieniu do wysiłku fizycznego nie jest to zagadnienie proste, gdyż wymaga uwzględnienia takich elementów, jak sposób zaangażowania układu mięśniowego (wysiłek dynamiczny, statyczny, wielkość rozwijanych sił, rodzaj zaangażowanych grup mięśniowych), a także stopień powtarzalności poszczególnych ruchów, ich zakres i tory. Stąd też dla oceny intensywności wysiłku fizycznego przyjęto określać oddzielnie każdy z tych elementów.

POMIAR WYDATKU ENERGETYCZNEGO

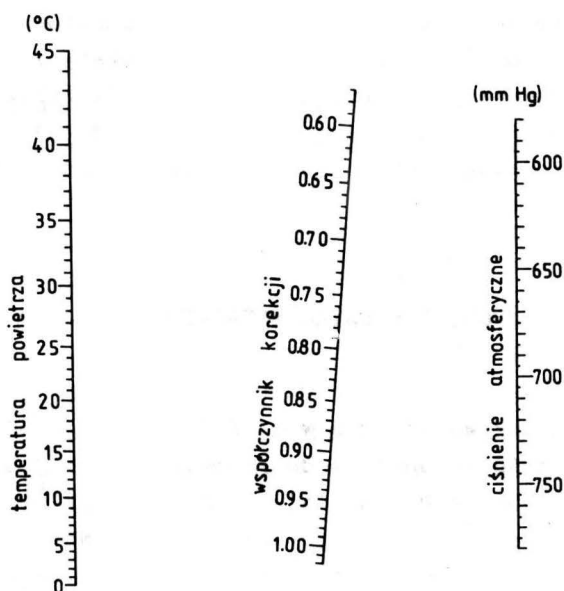
Mięsień kurcząc się zużywa energię w ilości proporcjonalnej do intensywności tego skurczu. Jedynym źródłem energii do skurczu mięśni jest hydroliza adenozynotrójfosforanu (ATP). Zapas ATP w mięśniu jest niewielki - wystarczający na kilka skurczów - stąd konieczne jest jego odtwarzanie. Na początku wysiłku odtwarzanie ATP odbywa się kosztem fosfokreatyny, lecz już po kilku sekundach od momentu rozpoczęcia pracy, energii do kolejnych skurczów dostarcza glikoliza, czyli rozkład glukozy, której głównym źródłem jest glikogen mięśniowy, do kwasu pirogronowego i mlekowego. Glikoliza, umożliwiającą pracę mięśni w warunkach anaerobowych, dostarcza ok. 10% ilości energii uwalnianej w procesie całkowitej degradacji glukozy do dwutlenku węgla i wody. Pozostałe 80% energii wyzwala jest przez fosforylację tlenową w cyklu kwasów trójkarboksylowych (cykl Krebsa). Przy dłuższej trwających wysiłkach - szczególnie o niezbyt dużej intensywności - w metabolizmie wysiłkowym znaczący udział mają wolne kwasy tłuszczowe, których 2-węglowe reszty odszczepiane w procesie beta-oksydacji wchodzi również

w cykl Krebsa. Bezpośredni pomiar energii zużywanej do skurczu mięśnia nie jest możliwy i oceny nasilenia przemian energetycznych dokonuje się pośrednio poprzez pomiar objętości pochłoniętego przez organizm tlenu wykorzystywanego w procesach utleniania glukozy i wolnych kwasów tłuszczowych mających na celu re-syntezę ATP. Mnożąc ilość pochłoniętego przez organizm tlenu przez równoważnik energetyczny 1 litra tlenu, otrzymujemy wielkość wydatku energetycznego.

Najczęściej stosowany tor pomiarowy dla określenia wydatku energetycznego podczas pracy przedstawia się następująco:

1. Pomiar wentylacji płuc.
2. Określenie zawartości O_2 i CO_2 w powietrzu wydychanym, obliczenie zużycia tlenu.
3. Obliczenie wydatku energetycznego.

ad 1. Pierwszym etapem jest zebranie powietrza wydychanego: badany oddycha przez wentyl wdechowo-wydechowy połączony z ustnikiem lub maską, a całe powietrze wydychane kierowane jest do specjalnego pojemnika noszonego na plecach. Pojemnikiem tym może być np. worek Douglasa, balon meteorologiczny, worek do tlenu itp. Następnie gazomierzem suchym lub wodnym mierzy się objętość powietrza, jednocześnie pobierając próbkę powietrza w celu określenia zawartości O_2 i CO_2 . Przy pomiarze objętości powietrza należy zanotować ciśnienie atmosferyczne i temperaturę, a następnie objętość gazu przeliczyć na warunki STPD (Standard Temperature, Pressure, Dry), aby uzyskać dane porównywalne z innymi badaniami. W tym celu odczytaną z gazomierza objętość powietrza wydychanego należy pomnożyć przez współczynnik, którego wartość zależy od ciśnienia i temperatury (rys. 1).



Rys. 1. Nomogram do określania współczynnika korelacji dla przeliczania objętości powietrza wydychanego zmierzonej w znanej temperaturze i ciśnieniu do warunków STPD (suchy gaz, 0°C, 760 mm Hg).

W celu odczytania wartości współczynnika należy połączyć linią prostą punkty na skali temperatury i ciśnienia odpowiadające warunkom, w jakich wykonywano pomiar objętości powietrza wydychanego

Zbieranie całej objętości powietrza wydychanego jest kłopotliwe, szczególnie przy ciężkiej pracy, gdy wentylacja minutowa sięga 50-65 litrów. Dlatego też w praktyce częściej stosuje się przepływomierze, np. respirometr Konfranyi-Michaelisa, który nie tylko mierzy całą objętość powietrza wydychanego, ale jednocześnie z każdego wydechu zatrzymuje w gumowym baloniku 0,6-0,9%. Ta część powietrza wydychanego stanowi próbkę, w której określa się zawartość O_2 i CO_2 . Ostatnio wprowadzane są respirometry wyposażone w analizatory gazów i układy elektroniczne dokonujące obliczeń w ten sposób, że zużycie tlenu odczytuje się od razu (np. Oxycon firmy Hellige lub Oxylog firmy Oldelft). Przydatność Oxylogu została określona w licznych już badaniach, które pozwoliły na stwierdzenie, że uzyskane wartości zużycia tlenu są nieco zaniżane (o ok. 4,1% podczas chodzenia i 6,4% podczas pracy związanej z przenoszeniem ciężarów) w porównaniu z klasycznymi metodami [56]. Różnice te można zmniejszyć, wydłużając czas pomiarów i stosując kilkakrotny pomiar przy danej czynności [34].

ad 2. Analiza powietrza wydechowego ma na celu określenie zawartości O_2 i CO_2 . Dokonuje się tego metodami chemicznymi (w aparatach typu Haldane'a lub Micro-Scholander). Obecnie te aparaty mają znaczenie historyczne, służąc raczej do kalibracji mniej lub bardziej zautomatyzowanych urządzeń określających zawartość O_2 i CO_2 (np. aparatu Spirolyt prod. NRD lub węgierskiego Spirographu). Do określania zawartości O_2 i CO_2 w powietrzu wykorzystuje się też chromatografię gazową.

Znając wielkość wentylacji płuc oraz różnicę zawartości O_2 i CO_2 w powietrzu wydychanym i atmosferycznym można obliczyć zużycie tlenu w jednostce czasu [18]:

$$VO_2 \text{ zużytego} = VO_2 \text{ wdych.} - VO_2 \text{ wydych.}$$

$$VO_2 \text{ wdych.} = V \text{ powietrza wdych.} \cdot \frac{\% O_2 \text{ w pow. wdych.}}{100}$$

Zakładając, że skład powietrza atmosferycznego jest stały (20,93% O_2 , 79,04% N_2 0,03% CO_2), otrzymamy wzór:

$$VO_2 \text{ wdych.} = V \text{ pow. wdych.} \cdot \frac{20,93}{100}$$

Dokonując pomiaru wentylacji płuc mierzymy objętość powietrza wydychanego, a dla obliczenia objętości wdychanego tlenu musimy znać objętość powietrza wdychanego. Te dwie objętości są sobie równe tylko w tym przypadku, gdy iloraz oddechowy (RQ) równy jest 1,00, czyli cała objętość zużytego tlenu zastąpiona jest w płucach wydaloną dwutlenkiem węgla. W pozostałych przypadkach objętość powietrza wdychanego można obliczyć ze wzoru:

$$V \text{ pow. wdych.} = V \text{ pow. wydych.} \cdot \frac{\% N_2 \text{ w pow. wydych.}}{79,04}, \text{ tak więc}$$

$$VO_2 \text{ zużytego} = V \text{ pow. wydych.} \cdot \frac{\% N_2 \text{ w pow. wydych.}}{79,04} \cdot \frac{20,93}{100} - V \text{ pow. wydych.} \cdot \frac{\% O_2 \text{ w pow. wydych.}}{100}$$

a po uproszczeniu

$$VO_2 \text{ zużytego} = \frac{V \text{ pow. wydych.}}{100} [(100 - \% O_2 \text{ w pow. wydych.} - \% CO_2 \text{ w pow.}]$$

wydech.) • 0,265 - % O₂ w pow. wydech.]

Wprowadzony w podobny sposób wzór na objętość wydychanego CO₂ ma postać:

$$\text{CO}_2 \text{ wydech.} = \frac{V \text{ pow. wydech.}}{100} (\% \text{CO}_2 \text{ w pow. wydech.} - 0,03)$$

0,03 jest normalną zawartością CO₂ w powietrzu atmosferycznym.

ad 3. Obliczając wielkość wydatku energetycznego należy uwzględnić wartość kaloryczną 1 litra tlenu. Wartość ta zmienia się w zależności od rodzaju substratów energetycznych aktualnie wykorzystywanych w ustroju. Wskaźnikiem jest iloraz oddechowy (RQ), czyli stosunek ilości wydalanego dwutlenku węgla do ilości zużytego tlenu. Iloraz oddechowy oblicza się wg wzoru:

$$\text{RQ} = [(100 - \% \text{O}_2 \text{ w pow. wydech.} - \% \text{CO}_2 \text{ w pow. wydech.}) \cdot 0,265 + - \% \text{O}_2 \text{ w pow. wydech.}] / \% \text{CO}_2 \text{ w pow. wydech.} - 0,03$$

Wartość RQ przy spalaniu glukozy równa jest 1,00, w przypadku spalania tłuszczów RQ wynosi 0,7, a przy spalaniu białek - 0,8. Wartość kaloryczna tlenu najwyższa jest przy utlenianiu samych węglowodanów, najniższa - przy utlenianiu samych tłuszczów (tab. 1).

T a b e l a 1

Równoważniki energetyczne 1 litra tlenu
w zależności od ilorazu oddechowego (RQ)

Iloraz oddechowy (RQ)	Równoważnik energetyczny		Udział substratów w uwalnianiu energii	
	1 l tlenu kcal	kJ	% węglowodanów	% tłuszczów
0,70	4,69	19,62	0	100,0
0,75	4,74	19,83	15,6	84,4
0,80	4,80	20,10	33,4	66,6
0,85	4,86	20,36	50,7	49,3
0,90	4,92	20,61	67,5	32,5
0,95	4,98	20,86	84,0	16,0
1,00	5,05	21,12	100,0	0

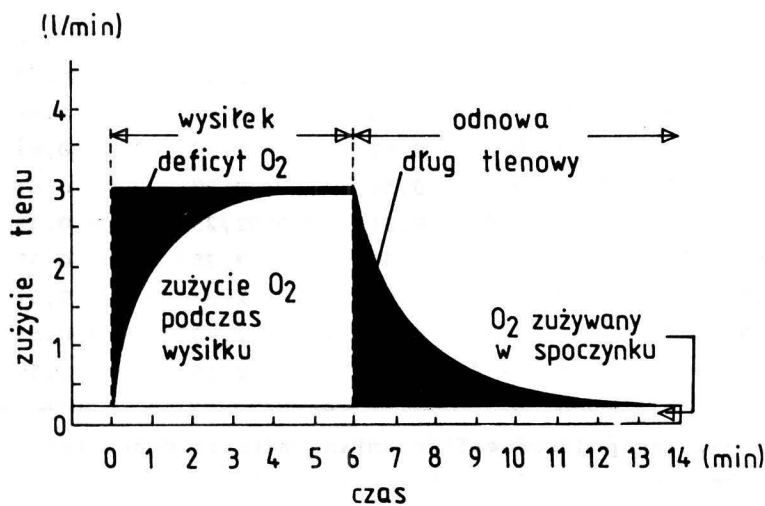
W warunkach spoczynkowych RQ wynosi ok. 0,82, co oznacza, że potrzeby energetyczne pokrywane są w 2/3 przez tłuszcze. Podczas wysiłku fizycznego RQ na ogół rośnie tym bardziej, im cięższy jest wysiłek, a przy wysiłkach bliskich maksymalnemu wartość RQ jest wyższa od 1,00, co nie ma już uzasadnienia metabolicznego, ale wskazuje, że CO₂ wypierany jest z dwuwęglanów przez kwaśne produkty przemiany materii (mleczan).

Dla prawidłowej oceny wydatku energetycznego podczas pracy istotny jest wybór momentu, w którym należy dokonać pomiaru wentylacji płuc. Aby wentylacja płuc, zużycie tlenu, jak i inne funkcje fizjologiczne decydujące o zaopatrzeniu



mięśni w tlen osiągnęły poziom charakterystyczny dla danej intensywności wysiłku, musi upłynąć pewien czas od jego rozpoczęcia, wynoszący na ogół 2-3 min. Dostarczanie tlenu do pracujących mięśni jest w tym początkowym okresie mniejsze od zapotrzebowania i w organizmie powstaje tzw. deficyt tlenu. Po zakończeniu wysiłku poziom funkcji fizjologicznych nie obniża się natychmiast. Śledząc zmiany zużycia tlenu po ciężkim wysiłku można zaobserwować trzy fazy likwidacji długu tlenowego: fazę szybką, wolną i bardzo wolną. Faza szybka - okres półtrwania ok. 30 sek. - związana jest z odbudową ATP, fosfokreatyny i uzupełnieniem zapasów tlenu w organizmie (mioglobina i hemoglobina). Po lekkim wysiłku fizycznym praktycznie występuje tylko ta faza odnowy, a objętość dodatkowo zużywanego tlenu odpowiada dość dokładnie powstającemu na początku pracy deficytowi. Faza wolna - okres półtrwania ok. 15 min - wynika z konieczności eliminacji kwasu mlekowego oraz stopniowego niwelowania innych zmian, jakie miały miejsce podczas dużego wysiłku (podwyższona temperatura ciała, krążące katecholaminy). Bardzo wolna faza trwać może nawet 24 godz.

Jak widać z przebiegu zużycia tlenu podczas pracy i odnowy po zaprzestaniu wysiłku, okresem, w którym najlepiej dokonywać pomiaru zużycia tlenu, jest stan równowagi czynnościowej. Dotyczy to wysiłków od bardzo lekkich do ciężkich, a właściwie do osiągnięcia przez osobę badaną poziomu bliskiego jej maksymalnym możliwościom. Człowiek może wykonywać wysiłki supramaksymalne, lecz wówczas zużycie tlenu mniejsze jest od zapotrzebowania, a pogląd na rzeczywisty koszt energetyczny takiej pracy można uzyskać określając zużycie tlenu nie tylko podczas wysiłku, ale i po jego zakończeniu, uwzględniając wielkość długu tlenowego (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany zużycia tlenu podczas wysiłku fizycznego

Określenie wielkości zużycia tlenu podczas pracy daje pogląd o nasileniu przemian energetycznych związanych z wykonywaniem pracy oraz metabolizmem podstawowym. Dla uzyskania możliwie porównywalnych danych wydatek energetyczny przyjęto podawać w wartościach netto, tzn. bez części charakteryzującej poziom podstawowej przemiany materii. Poziom podstawowej przemiany materii można u każdej osoby zmierzyć, stosując taką samą metodykę jak przy określaniu wydatku energetycznego, ale w warunkach zupełnego spokoju, w pozycji leżącej po ok. 1/2-

godziennym odpoczynku. Jednakże poziom metabolizmu może być i w takich warunkach zmieniony faktem spożycia posiłku, uprzedniego wykonywania wysiłku fizycznego itp. Dlatego też dla oszacowania wielkości przemiany podstawowej częściej stosuje się wartości normatywne, ustalone w zależności od płci i wieku, a także wysokości i ciężaru ciała osobnika. Powierzchnia ciała może być obliczona ze wzoru Du Bois [25]:

$$SA = H^{0.725} \cdot W^{0.425} \cdot 0,007184$$

SA - powierzchnia ciała, m²

H - wysokość ciała, cm

W - masa ciała, kg

wartości normatywne podstawowej przemiany materii odczytać można w tabeli 2.

T a b e l a 2

Wartości normatywne podstawowej przemiany materii dla kobiet i mężczyzn
(na m²/min) w zależności od wieku [72]

Wiek (lata)	Wartości przemiany materii (m ² /min)			
	kobiety		mężczyźni	
	kcal	kJ	kcal	kJ
15	0,62	2,58	0,70	2,92
17	0,60	2,50	0,70	2,83
20	0,58	2,42	0,64	2,68
25	0,57	2,38	0,62	2,58
30	0,54	2,27	0,61	2,53
40	0,54	2,25	0,59	2,48
45	0,54	2,25	0,57	2,40
50	0,53	2,23	0,57	2,37
60	0,53	2,20	0,55	2,32
70	0,51	2,15	0,54	2,27

Wartości normatywne podstawowej przemiany materii można też obliczyć wg wzorów podanych przez Carpentera [17]:

dla mężczyzn

$$B = 66,473 + 13,752 W + 5,003 H - 6,755 A$$

dla kobiet

$$B = 655,096 + 9,563 W + 1,850 H - 4,676 A$$

we wzorach tych

B - wartość wydatku energetycznego w kcal/24 godz.

W - masa ciała, kg

H - wysokość ciała, cm

A - wiek, lata.

Przedstawiona metoda określania wydatku energetycznego jest pracochłonna i

wymaga odpowiedniej aparatury. Jej podstawową zaletą jest dokładność sięgająca jak w większości metod biologicznych 5%. Gdy taki poziom dokładności nie jest wymagany, stosowane są pewne uproszczenia. Pierwszym uproszczeniem jest rezygnacja z określania zawartości CO₂ w powietrzu wydychanym. Wówczas zużycie tlenu określa się wg wzoru Weira [91]:

$$E = \frac{4,92 V(\text{STPD})}{100} \quad 20,93 - \% O_2$$

E - wydatek energetyczny w kcal/min

% O₂ - zawartość tlenu w powietrzu wydechowym.

Dokładność tak obliczonego wydatku energetycznego jest rzędu $\pm 10\%$.

Ponieważ istnieje dobra korelacja pomiędzy wielkością wydatku energetycznego i wielkością wentylacji płuc, dla szacowania wielkości wydatku energetycznego może być stosowany sam pomiar wentylacji płuc. Wydatek energetyczny można obliczyć ze wzorów:

$$E = 0,173 \cdot V \text{ BTPS} - 0,52 \quad \text{wg [26]}$$

E - wydatek energetyczny w kcal/min

lub

$$E = 0,837 \cdot V \text{ BTPS} \quad \text{wg [74]}$$

E - wydatek energii w KJ/min

V BTPS - wentylacja płuc w warunkach BTPS (tab. 3)

$$E = 11,383 + 0,549 V \text{ BTPS} \quad \text{wg [89]}$$

$$E = 0,342 + 0,556 V \text{ BTPS} + 0,069 \text{ HR} \quad \text{wg [89]}$$

HR - częstość skurczów serca

$$E (\text{kcal/min}) = 0,210 V \text{ STPD} \quad \text{wg [23]}.$$

Należy jednak pamiętać, że podczas bardzo lekkiej pracy sam fakt pomiaru wentylacji może być bodźcem emocyjnym, a uzyskane wyniki zawyżone. Podobnie zawyżone wyniki możemy uzyskać przy bardzo ciężkiej pracy, ale w tym przypadku hiperwentylacja jest objawem gromadzenia się w organizmie kwaśnych produktów przemiany materii i zakłócenia równowagi kwasowo-zasadowej.

Kolejne przybliżenie - to szacowanie wielkości wydatku energetycznego na podstawie efektów pracy. Jeśli podnosi się określony ciężar, to efekt pracy można obliczyć mnożąc dany ciężar przez wysokość uniesienia tego ciężaru. Obliczenie energii włożonej (czyli wydatku energetycznego) możliwe jest, gdy uwzględnimy sprawność mechaniczną. Przy opuszczaniu ciężaru, czyli wykonywaniu tzw. pracy negatywnej, wydatek energetyczny równy jest 1/3 wartości stwierdzonej przy podnoszeniu. Sprawność mechaniczna człowieka przy takim wysiłku jest zależna od sposobu podniesienia ciężaru, rytmu pracy, kształtu ciężaru, warunków otoczenia itp. Tym niemniej zakładając pewne uproszczenia opracowano liczne wzory pozwalające na obliczenie wydatku energetycznego w niektórych sytuacjach:

Koszt energetyczny chodzenia wg [70]

$$E = 1,5 C + 2,0 (C + L) \cdot \left(\frac{L}{C}\right)^2 + (C + L) \cdot (1,5 \cdot V^2 + 0,35 V \cdot G) n$$

E - koszt energetyczny w watach

C - masa ciała, kg

L - ciężar zewnętrzny (niesiony na plecach), kg

V - prędkość chodu, m/s

G - nachylenie podłoża (równia pochyła) w %

% = tg kąta nachylenia · 100

n - współczynnik terenowy = 1,3 + 0,08 zagłębienie stóp cm (dla warunków laboratoryjnych = 1).

Przy przemieszczaniu ciężarów w różnych płaszczyznach ilość wykonanej pracy można obliczyć wg wzoru [14]:

$$A = (P \cdot h + \frac{P \cdot l}{9} + \frac{Ph_1}{2}) \cdot 6$$

A - praca w kgm

P - ciężar podnoszony (lub przemieszczany) w kg

h - droga w pionie podnoszenia ciężaru, m

h₁ - droga w pionie opuszczania ciężaru, m

l - droga w poziomie przemieszczania ciężaru, m.

Dla przeliczenia kilogramometrów na kilokalorie stosuje się wzór:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgm}$$

Dodatkowy koszt energetyczny jednorazowego podnoszenia ciężaru można obliczyć wg wzorów przedstawionych przez Graga [33] przy podnoszeniu przedmiotów z poziomu stołu:

$$\Delta E = 10^{-2} \cdot [0,062 BW (F_v - 0,81) + (3,1 L - 0,52 \cdot S \cdot L) (V_2 - V_1)]$$

dla $0,81 \leq V_1 < V_2$

przy podnoszeniu z poziomu niższego od poziomu stołu bez uginania kolan (stoop lifting)

$$\Delta E = 10^{-2} \cdot [0,325 BW (0,81 - V_1) + (1,41 L + 0,76 S \cdot L) \cdot (V_2 - V_1)]$$

dla $V_1 < V_2 < 0,81$

T a b e l a 3

Współczynniki zmiany objętości z warunków STPD na BTFS [17]

Ciśnienie atmosferyczne (mm Hg)	Współczynnik	Ciśnienie atmosferyczne (mm Hg)	Współczynnik
738	1,249	758	1,214
740	1,245	760	1,210
742	1,242	762	1,207
744	1,238	764	1,204
736	1,235	766	1,200
748	1,231	768	1,192
750	1,228	770	1,194
752	1,224	772	1,190
754	1,221	774	1,187
756	1,217	776	1,184

przy podnoszeniu z poziomu niższego od poziomu stołu z uginaniem kolan (squat lifting)

$$\Delta E = 10^2 \cdot [0,514 BW (0,81 - V_1) + (2,19 \cdot L + 0,62 \cdot S \cdot L)]$$

dla $V_1 < V_2 < 0,81$

we wzorach tych

ΔE - wydatek energetyczny na jedno podniesienie ciężaru w kcal/min

BW - ciężar ciała, kg

V_1 - wysokość od podłogi (m); poziom wyjściowy dla podnoszenia i poziom końcowy dla opuszczania

V_2 - wysokość od podłogi (m); poziom na jaki przedmiot jest podniesiony i poziom z jakiego rozpoczyna się opuszczanie

S - współczynnik równy 1 dla mężczyzn i 0 dla kobiet.

Wzór dla obliczania wydatku energetycznego przy przenoszeniu ciężarów podał Datta i współaut. [22]:

$$\Delta E = 0,0943 (C + L) - 2,1833$$

E - wydatek energetyczny w kcal/min ponad poziom przemiany podstawowej

C - masa ciała, kg

L - ciężar przenoszony, kg.

Ostatnią metodą z arsenału prostych metod szacowania wydatku energetycznego podczas pracy jest metoda Lehmana [52]. Polega ona na oszacowaniu odrębnie wydatku energetycznego związanego z utrzymywaniem pozycji ciała (tab. 4A) i odrębnie - wydatku związanego z wykonywaniem czynności (tab. 4B). Jest to metoda istotnie bardzo prosta, cytowana w wielu podręcznikach i poradnikach z zakresu fizjologii pracy, przy czym najczęściej pomijany jest komentarz autora metody, niezbędny do jej prawidłowego stosowania i interpretacji. Po pierwsze wg G. Lehmana metoda miała być wykorzystywana głównie do szacowania wydatku energetycznego w celu ustalenia racji pokarmowej należnej ze względu na ciężkość pracy. Stąd też pewne zawyżanie wydatku energetycznego, tak łatwe przy stosowaniu tej metody, nie jest "niebezpieczne", gdy uzyskane za jej pomocą wyniki wykorzystywane są tylko do tych "żywnościowych celów". Podane przez G. Lehmana wartości wydatku energetycznego są wartościami netto uzyskiwanymi przez mężczyzn. Chcąc uzyskać wartości odpowiadające wydatkowi energetycznemu kobiet, należy dane zamieszczone w tabelach pomnożyć przez 0,8, gdyż przy wykonywaniu nawet takiej samej pracy wydatek energetyczny kobiet - zazwyczaj niższych i lżejszych niż mężczyźni - jest o ok. 20% mniejszy. Przy stosowaniu tej szacunkowej metody trudności pojawiają się zarówno w fazie określania rodzaju grup mięśni (części ciała) zaangażowanych podczas pracy, jak i przy ocenie ciężkości pracy. Szczególnie duże pomyłki są wówczas, gdy większość prac zaliczy się do "pracy mięśni kończyn i tułowia". Jeżeli np. praca polega na przenoszeniu oburącz przedmiotu o ciężarze 6 kg, będzie to średnio ciężka praca obu ramion podczas chodzenia, a nie średnio ciężka praca mięśni kończyn i tułowia podczas chodzenia. O zaangażowaniu całego ciała podczas chodzenia możemy mówić np. przy pchaniu wózków, taczek, a w pozycji stojącej przy kopaniu, szuflowaniu, podnoszeniu przedmiotów z poziomu podłogi do poziomu stołu lub wyżej. Granice od... do... ułatwiają różnicowanie ciężkości pracy w zależności od tempa jej wykonywania. Do czynności lekkich należy zaliczyć prace, podczas których nie operuje się przedmiotami lub też się operuje przedmiotami o ciężarze znikomym, do czynności ciężkich - prace związane z operowaniem przedmiotami ponad 10 kg.

Weryfikacją dokonanego oszacowania wydatku energetycznego może być porównanie z wartościami uzyskanymi w innych badaniach podczas wykonywania podobnych lub analogicznych czynności. Dane dotyczące wydatku energetycznego podczas róż-

ných rodzajów pracy można znaleźć w licznych opracowaniach [27, 29, 37, 44, 53]. Należy jednak unikać bezpośredniego wykorzystywania danych o wydatku energetycznym na cały dzień roboczy dla oszacowania wydatku na interesującym nas stanowisku. Nawet na dwu podobnych z nazwy stanowiskach, ale różniących się np. rodzajem obsługiwanej maszyny, tempem pracy, wielkością przemieszczanych przedmiotów, wydatek energetyczny może różnić się znacznie [58, 85]. Należy podkreślić, że wydatek energetyczny jest bardzo dobrym miernikiem intensywności wysiłku fizycznego, ale tylko wysiłku o charakterze dynamicznym. Wysiłki statyczne, mimo że należą do uciążliwych, nie są związane ze znaczącym wzrostem wydatku energetycznego.

T a b e l a 4

Uproszczona metoda szacowania wielkości wydatku energetycznego
podczas pracy wg Lehmana [53]

A

Pozycja ciała	Wydatek energetyczny	
	kcal/min	kJ/min
Siedząca	0,3	1,26
Na kolanach	0,5	2,09
Kuczna	0,5	2,09
Stojąca	0,6	2,52
Stojąca pochylona	0,8	3,35
Chodzenie	1,7-3,5	7,12-14,65
Wchodzenie bez obciążenia po pochyłości 10°	0,75 na 1 m wzniesienia	3,14 na 1 m wzniesienia

B

Rodzaj pracy		Wydatek energetyczny	
		kcal/min	kJ/min
Praca palców, ręki i przedramienia	lekka	0,3-0,6	1,3-2,5
	średnia	0,6-0,9	2,5-3,8
	ciężka	0,9-1,2	3,8-5,0
	lekka	0,7-1,2	2,9-5,0
Praca jednego ramienia	średnia	1,2-1,7	5,0-7,1
	ciężka	1,7-2,2	7,1-9,2
	lekka	1,5-2,0	6,3-8,4
Praca obu ramion	średnia	2,0-2,5	8,4-10,5
	ciężka	2,5-3,0	10,5-12,6
Praca mięśni kończyn i tułowia	lekka	2,5-4,0	10,5-16,7
	średnia	4,0-6,0	16,7-25,1
	ciężka	6,0-8,5	25,1-35,6
	bardzo ciężka	8,5-11,5	35,6-48,1



OCENA INTENSYWNOŚCI WYSIŁKU STATYCZNEGO

Statyczna praca mięśni może być zdefiniowana jako stały izometryczny wysiłek (skurcz) mięśnia. Skurcze mięśni podczas wysiłku statycznego wykonywane są bez istotnych (zauważalnych) zmian ich długości. Stąd też w rozumieniu praw fizyki nie można w przypadku wysiłku statycznego mówić o pracy. Jednakże jest to praca w znaczeniu fizjologicznym, gdyż wymaga energii i wzrostu zużycia tlenu w pewnym, choć nie w takim jak praca dynamiczna zakresie. Na pracę dynamiczną wykonywaną w normalnym (spontanicznym) tempie zużywane jest siedmiokrotnie więcej energii niż podczas wysiłku statycznego przy takim samym obciążeniu; przy bardzo wolnym tempie wysiłku dynamicznego zużycie energii jest dwukrotnie większe od wielkości stwierdzanych przy wysiłku statycznym [67]. Stąd też dla określenia intensywności wysiłku statycznego nie stosuje się pomiaru zużycia tlenu i wydatku energetycznego lecz np. pomiar sił rozwijanych przy takim wysiłku i czasu ich trwania. Jednostką jest tu $\text{kg} \cdot \text{min}$ (lub $\text{kg} \cdot \text{sek}$), czyli iloczyn napięcia lub siły i czasu ich utrzymywania. Te jednostki znalazły zastosowanie w klasyfikacji wysiłku statycznego zaproponowanej przez autorów radzieckich [98] (tab. 5).

Jednakże ten sposób oceny intensywności wysiłku statycznego nie jest jednoznaczny, gdyż nie został określony minimalny czas trwania skurczu, by wysiłek mógł być zaliczony do statycznego. Ponadto przerywanie wysiłku statycznego umożliwia wykonanie ogólnie większej pracy niż przy wysiłku bez przerw. Zachowując odpowiedni reżim pracy i odpoczynku (50% praca - 50% przerwa), w czasie 10 min wykonywano pracę statyczną równą $150 \text{ kg} \cdot \text{min}$, podczas gdy przy nieprzerwanej pracy było możliwe wykonanie tylko $90 \text{ kg} \cdot \text{min}$, natomiast wysiłek dynamiczny pozwalał na uzyskanie w tym samym czasie $1050 \text{ kg} \cdot \text{min}$ [67].

Wobec niedoskonałości wspomnianego wyżej sposobu oceny intensywności wysiłku statycznego powstała klasyfikacja ciężkości tych wysiłków oparta na kryterium względnym, określającym wielkość sił angażowanych przy pokonywaniu oporu w odsetkach siły, uzyskiwanej podczas maksymalnego skurczu dowolnego (MVC - maximal voluntary contraction) określonej grupy mięśni. Kryterium to było uzasadniane faktem, że reakcje fizjologiczne na ten rodzaj pracy nie zależą od masy zaangażowanych mięśni, lecz od odsetka MVC angażowanego w dany wysiłek [41, 46]. Według Kozłowskiego wysiłki statyczne wymagające użycia siły nie przekraczającej 15% MVC określane są jako lekkie, 15-30% MVC - średnio ciężkie, 30-50% MVC - ciężkie, powyżej 50% MVC - bardzo ciężkie [46].

Szybki rozwój zmęczenia podczas wysiłków statycznych jest związany z faktem utrudnienia przepływu krwi przez mięśnie na skutek stałego wzrostu ciśnienia śródmięśniowego. Wzrost przepływu krwi przez mięśnie obserwuje się do intensywności wysiłku 30% MVC, przy dalszym wzroście intensywności przepływ obniża się i praktycznie jest zahamowany przy wysiłku ok. 70% MVC [8]. Jednakże już przy wysiłkach przekraczających 15% MVC po przerwaniu skurczu obserwuje się dalszy gwałtowny wzrost przepływu krwi, co wskazuje na to, że podczas samego skurczu przepływ ten był nieadekwatny do zapotrzebowania [88]. Zależność pomiędzy intensywnością wysiłków statycznych wyrażoną w % MVC a maksymalnym czasem ich utrzymywania przedstawiono na rysunku 3.

Badania przeprowadzane podczas pracy angażującej mięśnie w stopniu większym niż 15% MVC wykazały, że zmęczenie pojawia się wówczas, gdy czas utrzymywania skurczu wynosi 12-18% czasu maksymalnego dla danej siły. Potrzeba zrobienia

przerwy pojawia się po upływie 29–37% czasu maksymalnego, a chęć przerywania wysiłku po 53–58% tego czasu [38]. Na podstawie tych badań przedstawiono następujący schemat rytmu pracy i wypoczynku podczas wysiłków statycznych:

– Minimalny czas przerw (mikropauz) między skurczami mięśni wynosić powinien co najmniej 2 sek. Przerwy trwające ok. 1 sek. nie zmieniają maksymalnego czasu utrzymywania określonej siły.

T a b e l a 5

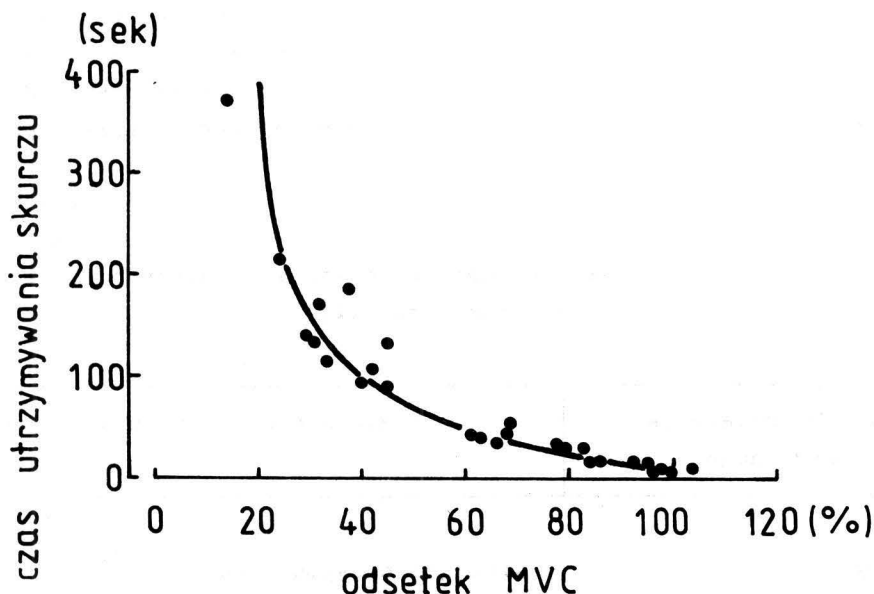
Ocena intensywności wysiłku statycznego wg Zoliny i Gorškova [98]

Wielkość wysiłku statycznego w ciągu zmiany roboczej przy utrzymywaniu ciężaru (wywieraniu nacisku) w kg · sek	Ciężkość pracy			
	lekka	średnio ciężka	ciężka	b. ciężka
jedną ręką	do 18 000	do 43 200	do 97 200	ponad 97 200
dwiema rękami	do 43 200	do 97 200	do 208 800	ponad 208 800
z udziałem mięśni tułowia i nóg	do 61 200	do 129 600	do 266 400	ponad 266 400
pozycja ciała podczas pracy	swobodna	pochylenie do 30° 10–25% czasu zmiany roboczej	pochylenie do 30° 25–50% czasu zmiany roboczej, przebywanie w pozycji wymuszonej do 50% czasu zmiany	pochylenie do 30° i więcej ponad 50% czasu zmiany, przebywanie w wymuszonej pozycji ponad 50% czasu zmiany
skłony tułowia	wymuszone pochylenia pod kątem 15–30°	wymuszone pochylenia pod kątem większym od 30°, 50–100 razy w czasie zmiany roboczej	wymuszone pochylenia pod kątem większym od 30°, 100–300 razy w czasie zmiany roboczej	wymuszone pochylenia pod kątem większym od 30°, ponad 300 razy w czasie zmiany roboczej



- Przerwa pomiędzy dwoma okresami, w których skurcz mięśnia trwa ok. 33% czasu maksymalnego, powinna wynosić co najmniej 2 min.

- Przerwa pomiędzy okresami, w których wysiłek statyczny jest kontynuowany aż do istotnego zmęczenia (ok. 55% maksymalnego czasu), powinna trwać co najmniej 5 min.



Rys. 3. Zależność między siłą skurczu mięśnia a wytrzymałością (czasem utrzymywania skurczu) podczas wysiłku statycznego wg Rohmerta [77]

- Przerwa po pracy, która doprowadziła do zupełnego wyczerpania mięśni, powinna trwać co najmniej 60 min.

Z zależności przedstawionej na rysunku 3 wynika, że wysiłki angażujące 15% MVC mogą być wykonywane długotrwale bez zmęczenia. Nowsze badania [12, 48] wykazały jednak, że niemęczącym wysiłkiem, tzn. takim, którego intensywność pozwala na utrzymanie stanu równowagi czynnościowej dla tętna i ciśnienia krwi, jest wysiłek nie przekraczający 7-8% MVC. Dyskusyjna stała się również sprawa jednakowego kosztu fizjologicznego wysiłków statycznych angażujących taki sam odsetek MVC niezależnie od masy mięśni. Jak wynika z nowszych publikacji, zarówno częstość skurczów serca, jak i ciśnienie krwi są wyższe wówczas, gdy większa jest masa angażowanych mięśni. Na przykład różnica w częstości skurczów serca przy wysiłku angażującym obie ręce z siłą równą 30% MVC wynosiła ok. 6 skurczów na minutę w porównaniu z wysiłkiem angażującym tylko jedną rękę [49]. W innym badaniu stwierdzono, że po 2 min skurczu z siłą równą 40% MVC mięśni prostowników kolana ciśnienie skurczowe krwi wynosiło 200 mm Hg, natomiast już po 1,5 min

skurczu tych mięśni z jednoczesnym skurczem mięśni przedramienia z siłą równą także 40% MVC ciśnienie skurczowe krwi wynosiło 220 mm Hg [66].

Najczęstszą przyczyną występowania obciążeń o charakterze wysiłku statycznego jest konieczność utrzymywania wymuszonej pozycji ciała. Każde odchylenie rzutu środka ciężkości wywołuje wzrost tych obciążeń. Stąd też opracowana została klasyfikacja oceniająca stopień obciążenia statycznego w zależności od pochyleń i stopnia wymuszenia pozycji ciała podczas pracy, czasu utrzymywania takiej pozycji oraz możliwości jej zmiany podczas wykonywania danej czynności (tab. 6). Jednakże dla pełnej oceny obciążeń statycznych podczas pracy stosowanie tylko tej klasyfikacji nie jest wystarczające. Wynika to z faktu częstego występowania podczas pracy obciążeń statycznych związanych z przenoszeniem ciężarów. Przenoszenie ciężarów jest wysiłkiem mieszanym statyczno-dynamicznym, bardzo znacznie zwiększającym koszt energetyczny chodzenia, zwiększającym także obciążenie statyczne wynikające z utrzymywania pozycji ciała oraz podtrzymywania ciężaru. Ocenę wielkości wysiłku statycznego wynikającego z faktu przenoszenia

T a b e l a 6

Klasyfikacja obciążenia statycznego na podstawie analizy pozycji ciała wg Kirschnera [42]

Stopień obciążenia statycznego	Pozycja ciała przy pracy
Mały	siedząca niewymuszona stojąca niewymuszona z możliwością okresowej zmiany pozycji na siedzącą siedząca lub stojąca na przemian z chodzeniem
Średni	siedząca wymuszona, nie pochylona bądź nieznacznie pochylona stojąca niewymuszona, bez możliwości okresowej zmiany pozycji na siedzącą stojąca wymuszona, nie pochylona, z możliwością zmiany pozycji na siedzącą
Duży	siedząca wymuszona, bardzo pochylona stojąca wymuszona, nie pochylona, bez możliwości zmiany pozycji na siedzącą stojąca, wymuszona, pochylona, niezależnie od możliwości zmieniania pozycji klęcząca, w przysiadzie i inne nie-naturalne pozycje

ciężarów przedstawia tabela 7. Granice dopuszczalnych obciążeń związanych z przenoszeniem ciężarów wyznaczają w naszym ustawodawstwie zarówno wydatek energetyczny (tab. 8), jak i jednostkowo przenoszony ciężar (50 kg dla mężczyzn i 20 kg dla kobiet) [78, 79]. W badaniach prowadzonych przez Zakład Fizjologii Pracy i Ergonomii IMP w przemyśle ceramicznym stwierdzono, że użytecznym, szczególnie dla służb bhp wskaźnikiem dopuszczalnego obciążenia przy pracy związanej z przenoszeniem ciężarów, jest łączna masa (tonaż) przedmiotów przemieszczanych w ciągu dnia pracy. Wartość ta wynosiła dla kobiet 7 t, dla

T a b e l a 7

Klasyfikacja obciążenia statycznego związanego z ręcznym podnoszeniem i przenoszeniem ciężarów wg Kocka [43]

Czas podnoszenia i przenoszenia ciężarów	Wielkość przenoszonego ciężaru (kg)					
	obciążenie małe		obciążenie średnie		obciążenie duże	
	mężczy- źni	kobiety	mężczy- źni	kobiety	mężczy- źni	kobiety
Sporadycznie (8% dniówki)	33	19	38	22	45	25
Stale (30% dniówki)	8	4	12	7	16	10

T a b e l a 8

Klasyfikacja ciężkości pracy na podstawie wartości efektywnego wydatku energetycznego w ciągu zmiany roboczej

Klasa ciężkości	Mężczyźni		Kobiety	
	kcal	kJ	kcal	kJ
Bardzo lekka	do 300	do 1256	do 200	do 837
Lekka	300-800	1256-3350	200-700	837-2930
Średnio ciężka	800-1500	3350-6280	700-1000	2930-4187
Ciężka	1500-2000	6280-8374	1000-1200	4187-5024
Bardzo ciężka	ponad 2000	ponad 8374	ponad 1200	ponad 5024
Dopuszczalna przy pracy dynamicznej	2200	9210	1400	5862
Dopuszczalna przy przenoszeniu ciężarów	2000	8374	1300	5443

mężczyzn 14 t, gdy przedmioty były przenoszone na odległość większą niż 4 m, i 24 t, gdy przedmiotami operowano w granicach 4 m [60]. Podobne dane w odniesieniu do kobiet uzyskała Daleckaja w badaniach prowadzonych w warunkach laboratoryjnych i wśród pracowników budownictwa w warunkach pracy zawodowej [21].

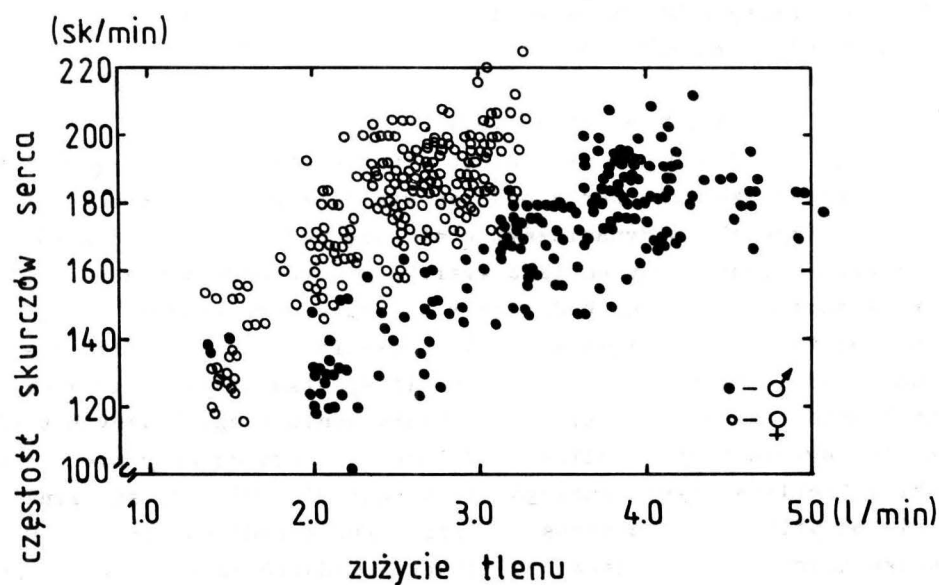
POŚREDNIA METODA OCENY CIĘŻKOŚCI PRACY NA PODSTAWIE POMIARÓW CZĘSTOŚCI SKURCZÓW SERCA

U każdego człowieka istnieje w pewnym zakresie liniowa zależność pomiędzy zużyciem tlenu a częstością skurczów serca, tzn. wraz ze wzrostem zużycia tlenu rośnie proporcjonalnie częstość skurczów serca. Stosunek tych dwóch wartości nazywany jest "tętnem tlenowym". Tętno tlenowe w warunkach spoczynkowych wynosi ok. 4 ml O_2 na 1 skurcz serca, podczas intensywnej pracy wzrasta do 16-18 ml na 1 skurcz, a przy wysiłkach maksymalnych wynosi od ok. 18 ml na 1 skurcz u osób nie wytrenowanych do 24 ml na 1 skurcz u osób wytrenowanych [82]. Wzrost wartości tętna tlenowego w miarę wzrostu intensywności wysiłku wskazuje na powiększanie się w tych warunkach pojemności wyrzutowej serca. Niekiedy tętno tlenowe obliczane jest po odjęciu wartości spoczynkowych. Tak obliczona wartość ($\Delta VO_2 / \Delta HR$) pozostaje w granicach od 25 do 30 ml na 1 skurcz [11]. Przedstawione wartości są danymi średnimi - indywidualne różnice są dość znaczne, wskazując na różny poziom możliwości wysiłkowych.

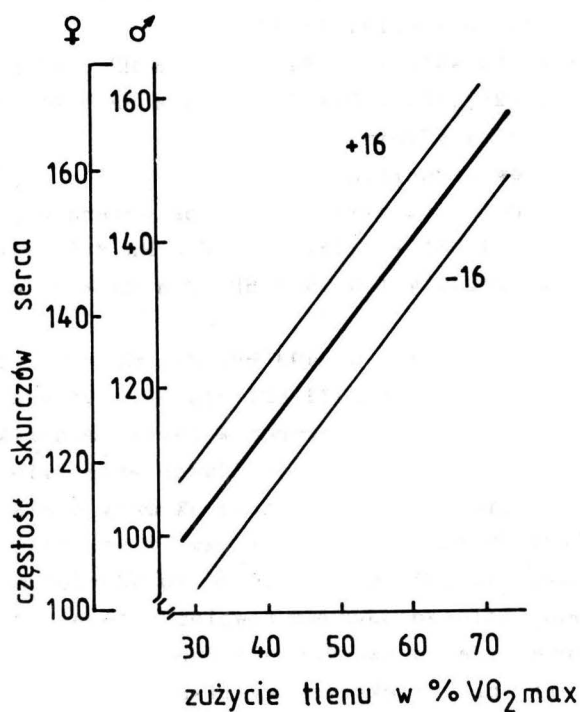
Gdy w warunkach doświadczalnych określona zostanie indywidualna zależność między zużyciem tlenu a częstością skurczów serca, częstość skurczów serca podczas pracy może służyć jako miernik zużycia tlenu pod warunkiem, że równie duże grupy mięśni będą angażowane podczas wysiłku testowego, jak i podczas tej pracy warunki mikroklimatyczne będą jednakowe, również podobny będzie stres emocjonalny. Niespełnienie tych zasad, cytowanych za Astrandem [5], czyni praktycznie niemożliwym szacowanie zużycia tlenu na podstawie częstości skurczów serca.

Kąt, pod jakim nachylona jest linia obrazująca zależność między zużyciem tlenu a częstością skurczów serca, jest cechą charakterystyczną każdego człowieka i zależy od poziomu wydolności fizycznej. Stąd też przy takim samym zużyciu tlenu indywidualne wartości częstości skurczów serca są bardzo zróżnicowane. Indywidualne wartości zaczynają się układać na jednej linii wówczas, gdy zużycie tlenu zostanie wyrażone w odsetkach maksymalnego poboru tlenu ($VO_2 \max$) (rys. 4 i 5). Ponieważ stosunek aktualnej intensywności wysiłku do maksymalnych możliwości jest wskaźnikiem obciążenia, częstość skurczów serca jest raczej wskaźnikiem obciążenia, a nie ciężkości pracy.

Zależność częstości skurczów serca od intensywności wysiłku modyfikowana jest przez wiele czynników. Należą do nich: masa zaangażowanych mięśni, rodzaj wysiłku (statyczny czy też dynamiczny), warunki mikroklimatu, czynniki emocjonalne. Podczas wysiłków angażujących małe grupy mięśni częstość skurczów serca przy takim samym zużyciu tlenu jest wyższa niż wówczas, gdy praca wykonywana jest z udziałem dużych grup mięśniowych [1, 24, 90]. Stąd też równania pozwalające obliczyć zużycie tlenu na podstawie częstości skurczów serca powinny



Rys. 4. Częstość skurczów serca podczas wysiłków submaksymalnych i maksymalnych o różnej wartości zużycia tlenu u kobiet i mężczyzn wg Astranda i Rodahla [5]



Rys. 5. Zależność pomiędzy częstością skurczów serca a zużyciem tlenu wyrażonym w odsetkach $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ($\pm 1\sigma$ odchylenie standardowe) wg Astranda i Ryhming [6]

mieć inną postać w zależności od masy zaangażowanych mięśni [9]. Na przykład dla grupy mężczyzn, których VO_2max wynosiło 3,35 l/min (46,3 ml/kg min), zależność między VO_2 i HR miała postać:

$$\text{VO}_2 = -1,55 + 0,024 \text{ HR} \quad \text{dla pracy nóg}$$

$$\text{VO}_2 = -1,61 + 0,032 \text{ HR} - 0,066 \cdot 10^{-3} \cdot \text{HR}^2 \quad \text{dla pracy rąk}$$

Wyższa częstość skurczów serca podczas wysiłków o charakterze statycznym w porównaniu z wysiłkiem dynamicznym stała się podstawą opracowanej przez Borsky'ego i Hubaca metody oceny udziału wysiłku statycznego w pracy [15]. Polega ona na wyliczaniu wskaźnika będącego w zasadzie odwrotnością tętna tlenowego. Jednakże metoda ta, interesująca w swych założeniach, nie znalazła zastosowania, ponieważ umożliwiała tylko ocenę występowania wysiłku statycznego w czynnościach wykonywanych przez tą samą osobę. Porównywanie wyników uzyskiwanych u różnych osób wymagałoby uwzględniania poziomu wydolności, czego autorzy nie przewidzieli.

Warunki mikroklimatyczne, szczególnie gorący mikroklimat, są czynnikami bardzo znacznie modyfikującymi częstość skurczów serca podczas pracy. U hutników szkła produkujących wyroby prasowane, których wydatek energetyczny pozostawał w granicach 1,7–5,5 kcal/min, częstość skurczów serca podczas pracy wynosiła zimą średnio 91,7/min, a latem 101,5/min. Różnica temperatury efektywnej poprawionej pomiędzy latem i zimą na stanowiskach pracy wynosiła ok. 5° [63]. Stosowanie pomiarów częstości skurczów serca do oszacowania wartości wydatku energetycznego wymaga więc uwzględniania warunków mikroklimatu. Według Sengupta i współaut. zależność między wydatkiem energetycznym a częstością skurczów serca w warunkach termoneutralnych można opisać wzorem [83]:

$$E = -13,4910 + 0,2924 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} < 95 \text{ min}$$

$$E = -24,1481 + 0,4373 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} > 95 \text{ min}$$

E – wydatek energetyczny kJ/min

HR – częstość skurczów serca/min

gdy zmieniono warunki termiczne, zależność ta przybierała postać: w 30°C

$$E = -15,261 + 0,2831 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} < 95 \text{ min}$$

$$E = -17,9534 + 0,3420 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} > 95 \text{ min}$$

w 37°C

$$E = -12,9313 + 0,2493 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} < 95 \text{ min}$$

$$E = -18,3744 + 0,3332 \text{ HR}, \text{ dla } \text{HR} > 95 \text{ min}.$$

W gorącym mikroklimacie częstość skurczów serca modyfikowana jest również stanem odwodnienia organizmu. W sytuacji odwodnienia zmienia się objętość krwi krążącej, np. przy deficycie wody stanowiącym 4% masy ciała objętość osocza krwi obniża się o 16–18% [20]. W takiej sytuacji wzrost częstości skurczów serca podczas submaksymalnego wysiłku może dochodzić do 10 uderzeń/min.

Czynnik stresu emocjonalnego odgrywa również istotną rolę w kształtowaniu częstości skurczów serca. Ma on szczególnie duże znaczenie wówczas, gdy wysiłek fizyczny jest niewielki; przy większych wysiłkach powodujących wzrost częstości skurczów serca ponad 120/min jego znaczenie się zmniejsza. Stąd też przy wszelkich próbach wysiłkowych mających na celu określenie zdolności do pracy (wydolności fizycznej) powinno się stosować intensywności wysiłku, które powodują przyspieszenie częstości skurczów serca ponad tę granicę [50].

Taka duża czułość układu krążenia objawiająca się zmianami częstości skurczów serca na różne czynniki, poza wysiłkiem fizycznym, nie zmniejsza, ale raczej zwiększa jego znaczenie w ocenie obciążenia pracą. Dowodem na to jest wy-

stępowanie bardzo dobrej korelacji pomiędzy częstością skurczów serca a poczuciem ciężkości wykonywanej pracy. Na tej korelacji opiera się skala Borga [14] do oceny ciężkości pracy, wykorzystywana z powodzeniem mimo istniejących na jej temat kontrowersji [32], w licznych badaniach dotyczących pomiaru obciążenia pracą [7, 57, 86].

Dopuszczalne wielkości obciążenia fizycznego podczas pracy zawodowej

Aby praca zawodowa mogła być wykonywana bez szkody dla zdrowia przez długi czas, muszą być spełnione odpowiednie warunki. Odnosi się to zarówno do najogólniej rozumianych warunków pracy, czasu trwania pracy i jej tempa, jak i intensywności.

Problemem dyskutowanym od dawna jest zagadnienie, jaka intensywność pracy może być tolerowana bez szkody dla zdrowia oraz jaka zmiana lub reakcja organizmu człowieka na pracę może być uznana za kryterium pozwalające wyznaczyć dopuszczalną jej intensywność.

Jedną z najdokładniejszych miar intensywności pracy jest wydatek energetyczny. Liczni autorzy próbowali ustalić maksymalnie dopuszczalne wartości wydatku energetycznego, co stałoby się podstawą do określenia dopuszczalnego obciążenia pracą zawodową. Lehmann [53] postulował, aby za górną granicę efektywnego wydatku energetycznego pracy zawodowej dla przeciętnego człowieka w wieku, jaki odpowiada największej wydolności, przyjąć wartość 2200 kcal/8 godz., jeżeli praca o takim koszcie energetycznym ma być wykonywana przez cały rok. Dla krótszych od roku okresów pracy maksymalne wartości wydatku energetycznego są wg Lehmana wyższe, niż wynikałoby to z prostego przeliczenia, i wynoszą odpowiednio dla 1 miesiąca - 2420 kcal/8 godz., dla 1 tygodnia - 2640 kcal/8 godz., a dla 1 dnia - 3080 kcal, czyli 385 kcal/godz.

Jednakże obserwuje się również tendencję do ustalania niższych granicznych wartości wydatku energetycznego. Bena [10] jako dopuszczalną wartość wydatku energetycznego podawał 1500 kcal/zmianę roboczą lub 3,1 kcal/min. Jeszcze niższe wartości wydatku energetycznego zaproponowali Zeleny i Kozak [97] dla codziennej pracy zawodowej. Mianowicie zalecali oni tak zorganizować pracę robotników leśnych, by efektywny wydatek energetyczny nie przekraczał 1200 kcal na zmianę roboczą. Jest to wg tych autorów wartość optymalna, a nie dopuszczalna.

Dopuszczalne wartości wydatku energetycznego określone są również indywidualnie w zależności od maksymalnych możliwości pracownika. Bink, Bonjer i Van der Sluys [cyt. wg 13] wielkość wydatku na 8 godzin pracy określali na podstawie prostoliniowej zależności pomiędzy wielkością wydatku energetycznego a logarytmem czasu pracy, którą opisali wzorem:

$$A_t = \frac{\log 5700 - \log t}{3,1} A_4$$

We wzorze tym A_4 jest wydatkiem energetycznym odpowiadającym maksymalnemu poborowi tlenu, A_t - wydatkiem energetycznym w założonym czasie t . Z obliczenia wydatku energetycznego na 8 godzin pracy (480 min) wynika, że wartość $\log 5700 - \log 480$ jest prawie równa jedności, a więc wydatek energetyczny na 8 godzin pracy nie powinien przekraczać 1/3 maksymalnego wydatku energetycznego danego

człowieka. Podobnie Passmore i Durnin [71] sugerowali, że podczas długiego czasu wydatek energetyczny nie powinien przekraczać 30% maksymalnego wydatku energetycznego, co wg nich stanowi 5 kcal/min.

Obowiązującą w naszym kraju klasyfikację ciężkości pracy przedstawia tabela 8. Inne wartości wydatku energetycznego określające ciężkość pracy dla mężczyzn i kobiet wynikają z ogólnie znanych mniejszych możliwości wysiłkowych kobiet.

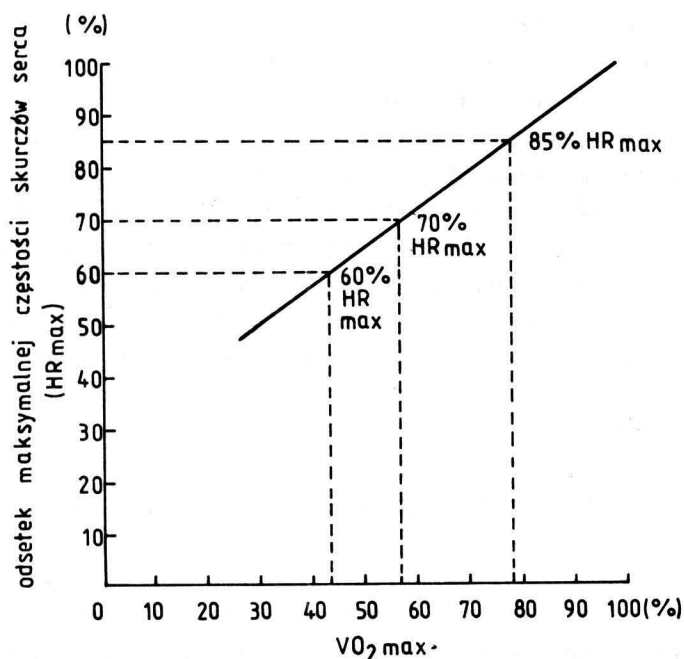
Wyznaczanie zakresu dopuszczalnych obciążeń w codziennej pracy zawodowej jedynie na podstawie wielkości kosztu energetycznego pracy nie gwarantuje, że obciążenie to będzie jednakowo tolerowane przez wszystkich zatrudnionych. Postulat ten może być spełniony, gdy wielkość dopuszczalnego obciążenia będzie uzależniona od kosztu fizjologicznego pracy.

Najczęściej stosowanym wskaźnikiem kosztu fizjologicznego pracy jest częstość tętna [4, 35, 36, 76]. Jako dopuszczalną przyjmuje się na ogół taką intensywność pracy zawodowej, która umożliwia utrzymanie niezmiennej częstości tętna w całym okresie trwania pracy [77]. Michael, Hutton i Horvat [65] stwierdzili, że 8-godzinna praca mogła być wykonywana wówczas, gdy średnia częstość tętna nie przekraczała 120/min. Według Müllera i Rohmerta [68, 69] częstość tętna podczas pracy może przebiegać na poziomie przekraczającym wartości spoczynkowe o 33-40/min, czyli ok. 110/min. Wysiłek o takiej intensywności umożliwia utrzymanie względnie stałej częstości tętna podczas pracy (częstość tętna przyrasta nie o więcej niż 1 uderzenie/min w ciągu 1 godz. pracy).

Niższą wartość dopuszczalnej częstości tętna podczas pracy zawodowej sugerował Zacek [96]. Wartość ta nie powinna wg niego przekraczać 102/min, gdy praca ma być kontynuowana 8 godz. Jeżeli podczas pracy obserwuje się wyższe średnie częstości tętna, należy wprowadzać przerwy wypoczynkowe o tak dobranym czasie trwania, by suma skurczów serca we wszystkich okresach pracy i przerw wynosiła 48 960, czyli tyle, ile podczas 480-minutowej pracy z częstością tętna 102/min. Podawanie częstości skurczów serca podczas pracy w wartościach bezwzględnych jest jednak mylące. Odnosi się to szczególnie do sytuacji, gdy badane osoby są w różnym wieku. Taka sama bowiem częstość skurczów serca, np. 110/min, stanowi 55% maksymalnej częstości skurczów serca dla osoby 20-letniej, a już 65% dla osoby 50-letniej. Jednocześnie u osoby 20-letniej częstość skurczów serca w tym przypadku może przyspieszyć się o 90 skurczów/min, a dla 50-letniej tylko o 60/min. Maksymalną częstość skurczów serca można łatwo obliczyć wg wzoru $HR_{max} = 220 - \text{wiek (lata)}$. Przedstawiona na rys. 5 zależność częstości skurczów serca od % VO_2 max odnosi się do osób młodych. Dla osób w różnym wieku bardziej prawidłowa jest zależność przedstawiona na rysunku 6 [73]. Jak wynika z tych danych, 50% HR_{max} osiągnąć jest przy zaangażowaniu 30% VO_2 max, co stwierdzono również w badaniach obciążenia pracą w przemyśle włókienniczym [59]. Postulowane przez innych autorów obliczanie częstości skurczów serca podczas pracy jako odsetka rezerwy częstości skurczów serca [2], jest mniej przydatne ze względu na trudności w ocenie spoczynkowej częstości skurczów serca przed pracą [59].

Obecnie najczęstszym sposobem wyznaczania granic dopuszczalnych obciążeń podczas pracy zawodowej jest określenie odsetka VO_2 max, jaki stanowi wydatek energetyczny podczas pracy. W badaniach laboratoryjnych stwierdzono, że przy intensywności wysiłku odpowiadającej 50% indywidualnego maksymalnego pochłaniania tlenu było możliwe w ciągu 1 godz. utrzymanie częstości tętna w granicach 100-110/min [2]. Gdy praca z taką intensywnością była wykonywana w czasie 8 godz. (efektywny czas pracy 7 godz.), obserwowano wzrost częstości tętna, a badane

osoby były po zakończonej pracy zmęczone. Tym niemniej 50% maksymalnego pochłaniania tlenu jest do chwili obecnej uznawane jako graniczna wartość obciążenia dla długotrwałej pracy, co prawda z zastrzeżeniem, by stosować ją tylko dla osób o bardzo dobrej wydolności fizycznej [45]. Jedynie Wyndham i współaut. [95] podają, że dobrze umotywowani pracownicy byli w stanie pracować w takim tempie,



Rys. 6. Zależność pomiędzy odsetkiem maksymalnej częstości skurczów serca (% $HR \max$) a odsetkiem maksymalnego pochłaniania tlenu (% $VO_2 \max$) wg Pollocka i współaut. [73]

że zużycie tlenu podczas tej pracy wynosiło ok. 70% $VO_2 \max$. Są to jednak obciążenia bardzo wysokie i nieczęsto spotykane w codziennej pracy zawodowej. Nowsze badania I. Astrand prowadzone u pracowników budownictwa stały się podstawą do wyciągnięcia wniosku, że dopuszczalną wartością obciążenia podczas pracy zawodowej, zapobiegającą kumulowaniu się zmęczenia, jest 40% $VO_2 \max$ [3]. W aktualnym piśmiennictwie dotyczącym dopuszczalnych wielkości obciążenia istnieje zgodność co do tego, że przy nieprzerwanej pracy (bez specjalnych przerw wypoczynkowych) 30% $VO_2 \max$ jest górną granicą dopuszczalnego wydatku energetycznego. Natomiast podczas pracy, w której występują przerwy wypoczynkowe, dopuszczalne obciążenie sięgać może 50% $VO_2 \max$ [80].

Odmienne przedstawia się zagadnienie dopuszczalnego obciążenia podczas pracy związanej z przenoszeniem ciężarów. Jak wynika z badań Linda i współaut. $VO_2 \max$ określane podczas przenoszenia (przekładania) ciężarów jest mniejsze niż podczas typowej pracy dynamicznej [54, 55]. Różnica ta wynosi ok. 15%. Jeżeli dla tego rodzaju pracy przyjąć również 30% $VO_2 \max$ jako granicę dopuszczalnego obciążenia, będzie to stanowiło 25% $VO_2 \max$ oznaczonego podczas pracy dynamicznej. Takie wartości dopuszczalnego obciążenia przy pracy związanej z przenoszeniem ciężarów podają Karwowski i Yates oraz Legg i Myles [39, 52]. Dane te zostały uwzględnione w pewnym stopniu w przyjętej u nas klasyfikacji ciężkości pra-

cy - dopuszczalne wartości wydatku energetycznego podczas pracy, w której istotnym elementem jest przenoszenie ciężarów, są niższe niż dla pracy, w której dominuje wysiłek dynamiczny (tab. 8).

Przedstawianie klasyfikacji obciążenia podczas pracy fizycznej w odsetkach $\text{VO}_2 \text{ max}$ jest o tyle racjonalne, że nie ma potrzeby tworzenia odmiennych norm dla kobiet i mężczyzn, osób młodych i starszych itp. Nie stwierdzono bowiem, aby istniały zależne od płci różnice w reakcjach fizjologicznych na pracę wówczas, gdy jej intensywność stanowi taki sam odsetek $\text{VO}_2 \text{ max}$. Istniejące tendencje do zmniejszania ciężkości zawodowej pracy fizycznej kobiet nawet poniżej granicy pracy średnio ciężkiej wynikają z uwzględniania dodatkowych obciążeń pozazawodowych w bilansie całkowitego obciążenia wysiłkiem fizycznym w ciągu dnia [30]. Jak wynika z badań prowadzonych w Zakładzie Fizjologii Pracy i Ergonomii IMP, koszt energetyczny codziennych czynności domowych wynosił u pracowników włókienniczego 405 kcal [87], a zmęczenie pracą w domu odpowiadało swym poziomem zmęczeniu po średnio ciężkiej pracy zawodowej [61]. Połączenie więc codziennej pracy zawodowej z obowiązkami domowymi stwarza dla kobiet obciążenie na tyle znaczące, że regres poziomu $\text{VO}_2 \text{ max}$ u kobiet w Polsce jest szybszy niż w populacji np. kobiet w Szwecji [94].

OKRESLENIE POZIOMU MAKSYMALNEGO POCHŁANIANIA TLENU

Maksymalne pochłanianie tlenu ($\text{VO}_2 \text{ max}$) będąc powszechnie uznanym wskaźnikiem wydolności fizycznej jest równocześnie wyznacznikiem możliwości wykonywania wysiłku fizycznego, przede wszystkim wysiłku dynamicznego o charakterze wytrzymałościowym. W licznych badaniach udowodniono ścisłą zależność pomiędzy tolerancją obciążeń wysiłkowych a wielkością $\text{VO}_2 \text{ max}$ [5, 45, 46]. Stąd też określanie $\text{VO}_2 \text{ max}$ powinno stać się obligatoryjnie kolejnym etapem badań mających służyć ocenie obciążenia fizycznego, gdyż wartość $\text{VO}_2 \text{ max}$ jest punktem odniesienia w stosunku do wydatku energetycznego podczas pracy.

Idealny test wysiłkowy, podczas którego można określić $\text{VO}_2 \text{ max}$, powinien odpowiadać następującym wymaganiom: 1) wysiłek musi obejmować duże grupy mięśni, 2) intensywność wysiłku musi być mierzalna i powtarzalna, 3) warunki, w jakich przeprowadza się test, muszą być takie, aby wyniki były porównywalne i powtarzalne, 4) wysiłek testowy musi być tolerowany przez wszystkich zdrowych osobników, 5) sprawność wymagana do wykonania testu powinna być ujednolicona dla całej badanej populacji. Wymaganiom tym odpowiada w największym stopniu wysiłek na ergometrze rowerowym, w mniejszym wysiłek na bieżni elektrycznej.

Zazwyczaj test rozpoczyna się od submaksymalnego wysiłku mającego charakter rozgrzewki. Po niewielkiej przerwie rozpoczyna się wysiłek zasadniczy. Może to być od razu wysiłek odpowiadający swą intensywnością maksymalnemu i powinien trwać od 3 do 6 min. Może to być również kilka etapów odpowiadających swą intensywnością wysiłkowi submaksymalnemu, maksymalnemu i supermaksymalnemu - osoba badana wykonuje każdy wysiłek przez 3-6 min, z przerwami pomiędzy etapami lub bez przerw. Ostatnim typem testu jest ciągły wzrost obciążenia co 1 lub 2 min aż do wyczerpania osoby badanej. Astrand [5] poleca szczególnie drugi typ testu, podkreślając wartość przeprowadzania pomiarów zużycia tlenu w warunkach równowagi czynnościowej, co jest możliwe do uzyskania, gdy wysiłek trwa minimum 5

min. Trzeci typ testu jest z kolei bardzo szybką metodą określania $\dot{V}O_2$ max, choć wartości uzyskane tą metodą różnią się od uzyskanych w metodzie drugiej [28].

Podczas testu powinno być określane zużycie tlenu i częstość skurczów serca – parametry te służą jako kryterium maksymalności wysiłku. Mianowicie, aby wysiłek został uznany za maksymalny, konieczne jest stwierdzenie braku wzrostu zużycia tlenu mimo wzrostu intensywności wysiłku lub stwierdzenie wzrostu mniejszego niż 2 ml/kg/min oraz osiągnięcie częstości skurczów serca w granicach maksymalnej częstości dla danej grupy wiekowej. Dodatkowym kryterium jest poziom mleczanów we krwi pobranej z opuszki palca w 2 i 4 min po przerwaniu wysiłku, przy czym bierze się pod uwagę wyższą wartość mleczanów, która powinna przekraczać 8–10 mmol/l krwi. Kryterium maksymalności wysiłku jest również wartość ilorazu oddechowego (RQ), który powinien być wyższy od 1,10–1,15.

Określanie maksymalnego pochłaniania tlenu metodą bezpośrednią jest bardzo ciężką próbą wysiłkową, która może okazać się niebezpieczna dla osób badanych i dlatego można ją przeprowadzać tylko w bardzo dobrze wyposażonych laboratoriach. Istnieje jednak możliwość oszacowania poziomu wydolności fizycznej na podstawie reakcji na submaksymalny wysiłek fizyczny. Ta możliwość wynika z obserwacji dotyczących występowania dobrej korelacji pomiędzy pojemnością minutową serca podczas wysiłku i zużyciem tlenu (w l/min). Ponieważ pojemność minutowa jest iloczynem częstości skurczów serca i objętości wyrzutowej, niższa częstość skurczów serca przy danym zużyciu tlenu wskazuje na większą objętość wyrzutową. Wydolność mięśnia sercowego jest większa wówczas, gdy taka sama pojemność minutowa osiągnięta jest mniejszą częstością skurczów serca, tak więc osoby mające niższą częstość skurczów serca przy danej intensywności wysiłku mają większą wydolność fizyczną, gdyż zasadniczym czynnikiem decydującym o poziomie maksymalnego pochłaniania tlenu jest sprawność układu krążenia. Stąd też częstość skurczów serca podczas wysiłku o standardowej intensywności albo intensywność wysiłku, którego wykonywanie wywołuje określoną częstość skurczów serca, może być podstawą klasyfikacji wydolności fizycznej. Pierwszy sposób oceny wydolności znalazł zastosowanie w harwardzkiej próbie wchodzenia (Harvard step test) oraz w licznych jej modyfikacjach, w których wykorzystano jeszcze dodatkowe uproszczenie polegające na pomiarze częstości skurczów serca po zaprzestaniu wysiłku, opierając się na występowaniu bardzo dobrej korelacji pomiędzy częstością skurczów serca podczas wysiłku i tuż po jego przerwaniu [16, 81, 84]. Harwardzka próba wchodzenia jest również bardzo ciężkim testem wysiłkowym, w którym nie uwzględnia się jednak ilości wykonanej pracy; stwierdzono natomiast, że obliczany w tym teście wskaźnik wydolności jest ujemnie skorelowany z ciężarem ciała badanych osób [75]. Wartość tego wskaźnika jest wprawdzie dobrze skorelowana z $\dot{V}O_2$ max [6], ale obecnie tego typu próby wysiłkowe, jako mało wymierne, są stosowane w ograniczonym zakresie.

Obecnie stosowane testy wysiłkowe są oparte na obserwacji, że występuje liniowy wzrost częstości skurczów serca wraz ze wzrostem zużycia tlenu (lub intensywności wysiłku). Częstość skurczów serca przyrastać może w ograniczonym stopniu, zależnym przede wszystkim od wieku osoby badanej. Wyznaczenie więc indywidualnej zależności pomiędzy częstością skurczów serca a zużyciem tlenu umożliwia poprzez ekstrapolację do maksymalnej częstości skurczów serca przewidywanie maksymalnej dla danej osoby wartości zużycia tlenu. Jednakże odchylenie standardowe maksymalnej częstości skurczów serca wynosi ok. ± 10 uderzeń/min, stąd u 50% osób badanych oszacowana w opisany wyżej sposób wielkość $\dot{V}O_2$ max może być

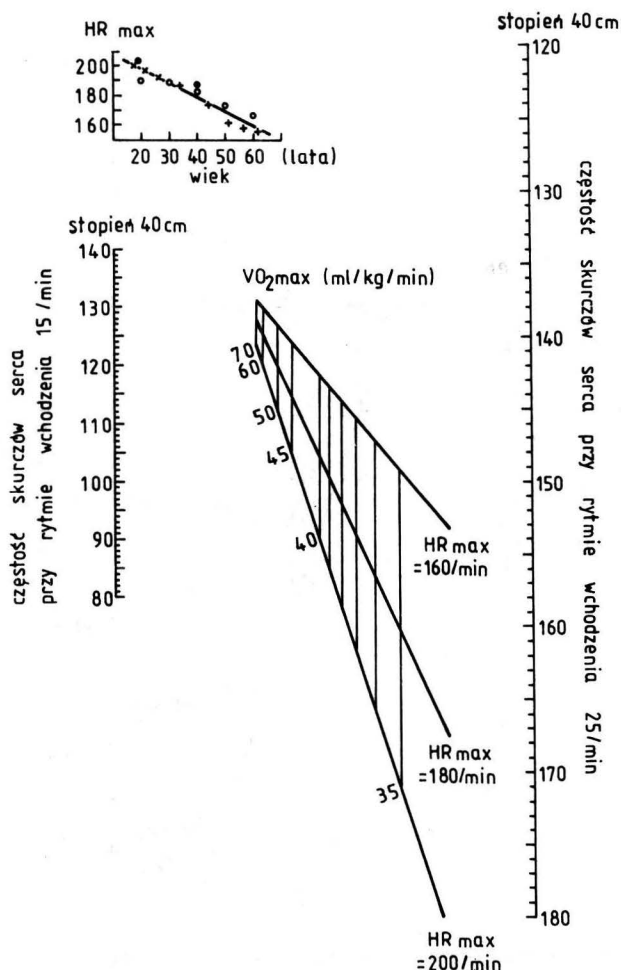
zawyżona lub zaniżona. Błąd stąd wynikający nie jest jednak duży i taki sposób szacowania $\dot{V}O_2$ max jest powszechnie przyjęty.

Aby wyznaczyć linię opisującą zależność pomiędzy częstością skurczów serca a zużyciem tlenu, należy uzyskać co najmniej dwa punkty, czyli określić częstość skurczów serca podczas dwóch wysiłków różniących się intensywnością. Zgodnie z tą zasadą Margaria [64] opracował test, w którym zadaniem osoby badanej jest wchodzenie na stopień o wysokości 40 cm dwukrotnie – pierwszy raz z częstością 15 wejść na min, a drugi raz z częstością 25 wejść na min. Podczas wolniejszego tempa wchodzenia zużycie tlenu wynosi 22 ml/kg min, przy szybszym tempie 32,4 ml/kg min. Zużycie tlenu przy szybszym tempie wchodzenia jest już wartością dość wysoką, często przekraczającą maksymalne możliwości osób o niskiej wydolności i starszych o przeciętnej wydolności. Dlatego też dla tych osób, jak również dla dzieci Margaria poleca stosowanie stopnia o wysokości 30 cm, a częstość wchodzenia 15 i 27 wejść na minutę. W tak przeprowadzonym teście zużycie tlenu wynosi 17,5 ml/kg min przy wolniejszym i 28 ml/kg min przy szybszym tempie wchodzenia. Czas wchodzenia na stopień powinien każdorazowo wynosić 5 min, pomiędzy wysiłkami należy stosować również 5-minutową przerwę. W ostatniej minucie wchodzenia mierzy się częstość skurczów serca, a wartość $\dot{V}O_2$ max odczytuje z nomogramu (rys. 7 i 8).

Inny sposób wyznaczania dwu punktów na linii obrazującej zależność między częstością skurczów serca a zużyciem tlenu przyjęli Astrand i Ryhming [6]. Na podstawie badań przeprowadzonych w grupie 86 młodych kobiet i mężczyzn stwierdzili, że wówczas gdy podczas wysiłku zużycie tlenu stanowiło 50% $\dot{V}O_2$ max, częstość skurczów serca wynosiła średnio 128 uderzeń/min dla mężczyzn i 138/min dla kobiet. Przy większej intensywności wysiłku – odpowiadającej 70% $\dot{V}O_2$ max – częstość skurczów serca wynosiła odpowiednio 154/min i 164/min. Odchylenie standardowe tych wartości wynosiło każdorazowo ok. ± 9 uderzeń/min. Na podstawie tych danych został skonstruowany nomogram, przedstawiony na rysunku 9. Badanie osób o różnym wieku wymaga stosowania odpowiednich poprawek, zamieszczonych w tabeli 9. W celu uzyskania porównywalnych wyników należy przestrzegać zasad podanych przez autorów nomogramu. Naczelną zasadą jest dokonanie pomiaru częstości skurczów serca w warunkach stanu równowagi czynnościowej. Stan ten ustala się na ogół po 5 min wysiłku i dlatego pierwszy pomiar częstości skurczów serca należy wykonać w 5. min, a w 6. sprawdzić, czy wartość stwierdzona wówczas nie różni się o więcej niż 5 uderzeń/min od wartości z 5. min. Jeżeli różnica jest większa, należy test przedłużyć o jeszcze jedną minutę. Drugą zasadą, której przestrzeganie umożliwia prawidłowe przewidywanie $\dot{V}O_2$ max, jest takie dobieranie intensywności wysiłku, aby stwierdzona podczas jego wykonywania częstość skurczów serca mieściła się w nomogramie, najlepiej w granicach 140–150 uderzeń/min. Taką częstość skurczów serca uzyskują badane osoby wówczas, gdy obciążą się je wysiłkiem o intensywności 1,5–2 W/kg masy ciała. Dawkowanie obciążenia w zależności od masy ciała uzasadnione jest faktem skorelowania masy ciała, a zwłaszcza beztłuszczowej masy ciała, z wieloma parametrami warunkującymi $\dot{V}O_2$ max. Ułatwia to więc zastosowanie u badanych o różnych rozmiarach ciała wysiłków o podobnym obciążeniu względnym. Możliwość stosowania testu Astranda i Ryhminga w polskiej populacji została sprawdzona przez Kozłowskiego i współaut. [47]. W badaniach tych stwierdzono, że różnice pomiędzy wynikami bezpośrednich pomiarów $\dot{V}O_2$ max a uzyskanymi na podstawie nomogramu nie przekraczały 10%.

W teście Astranda i Ryhming wartość zużycia tlenu może być zmierzona lub też odczytana z tego samego nomogramu. Wysiłek może być wykonywany na ergometrze rowerowym lub na stopniu o wysokości 33 cm dla kobiet i 40 dla mężczyzn z częstością wchodzenia 22,5 wejść/min.

Stosowanie tylko jednego lub dwóch obciążeń podczas testu wysiłkowego nie daje możliwości prześledzenia reakcji organizmu na wzrastające obciążenie. Stąd

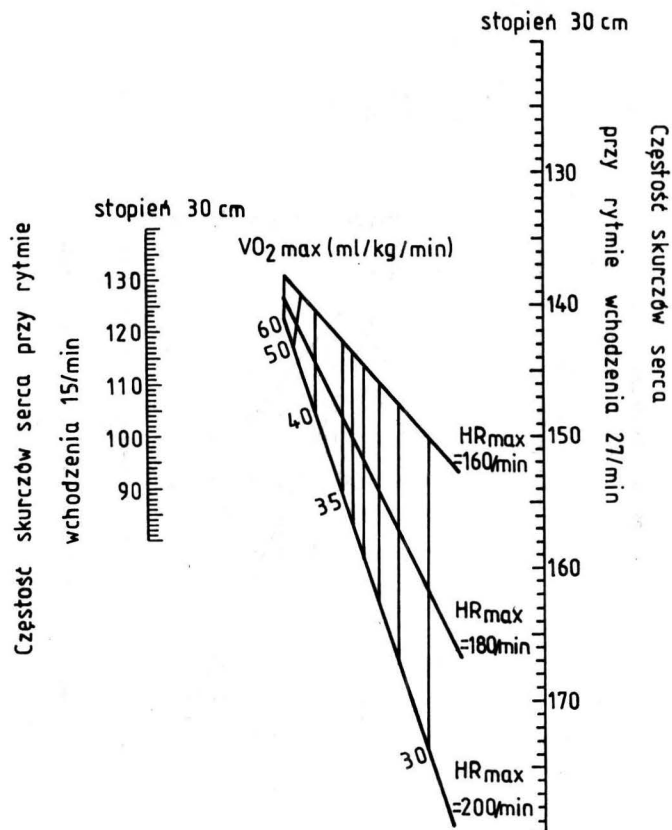


Rys. 7. Nomogram wg Margaria [64] pozwalający określić VO_2 max na podstawie częstości skurczów serca podczas wchodzenia na stopień o wysokości 40 cm, dwukrotnie, przez 5 min, w tempie 15 i 25 wejść na min. Górny nomogram pozwala na oszacowanie maksymalnej częstości skurczów serca w zależności od wieku osoby badanej

też Międzynarodowy Komitet Standaryzacji Testów Wydolności Fizycznej powołany w 1964 roku w Tokio poleca procedurę możliwą do stosowania w bardzo dobrze wyposażonych i "polowych" laboratoriach, przy czym w zależności od wyposażenia i tolerancji wysiłkowej osób badanych VO_2 max może być określane w sposób bezpośredni lub pośredni [51]. Jako urządzeń do dawkowania wysiłku można używać ergometru rowerowego, stopnia o zmiennej wysokości lub bieżni elektrycznej. Ze

względu na małą w naszych warunkach popularność bieżni opisany zostanie sposób przeprowadzenia testu z zastosowaniem obu pozostałych urządzeń.

Zasadą jest przeprowadzanie testu wg następującego schematu: okres przystosowawczy 3 min, przerwa 2 min, test zasadniczy składający się z 2-minutowych okresów wysiłku o intensywności wzrastającej od 1 W/kg w pierwszym okresie o 1/3 W/kg w kolejnych okresach wysiłku. W okresie przystosowawczym intensywność wysiłku wynosić ma 1 W/kg. Dawkowanie obciążenia na ergometrze rowerowym jest



Rys. 8. Nomogram wg Margaria [64] pozwalający określić VO_2 max na podstawie częstości skurczów serca podczas wchodzenia na stopień o wysokości 30 cm, dwukrotnie, przez 5 min, w tempie 15 i 27 wejść na min

sprawą prostą. Stopień, który może być wykorzystywany również jako urządzenie do dawkowania wysiłku, powinien być tak skonstruowany, aby istniała możliwość zmiany jego wysokości o 4,5 cm. W okresie przystosowawczym i pierwszych 2 min testu zasadniczego wysokość stopnia ma wynosić 4,5 cm, a kolejne przyrosty wysokości wynoszą również 4,5 cm co 2 min. Tempo wchodzenia powinno być stałe i wynosić 33 wejścia/min. Podczas testu można określać zużycie tlenu w każdym okresie wysiłku, można też obliczać je wg wzorów:

dla wysiłku na ergometrze rowerowym

$$VO_2 (\text{ml/kg} \cdot \text{min}) = 10,85 W + 5,3 mc$$

mc – masa ciała w kg

W – liczba watów



dla wysiłku na stopniu

$$\dot{V}O_2 \text{ (ml/kg} \cdot \text{min)} = (f \cdot h \cdot 1,33 \cdot 1,78) + 10,5$$

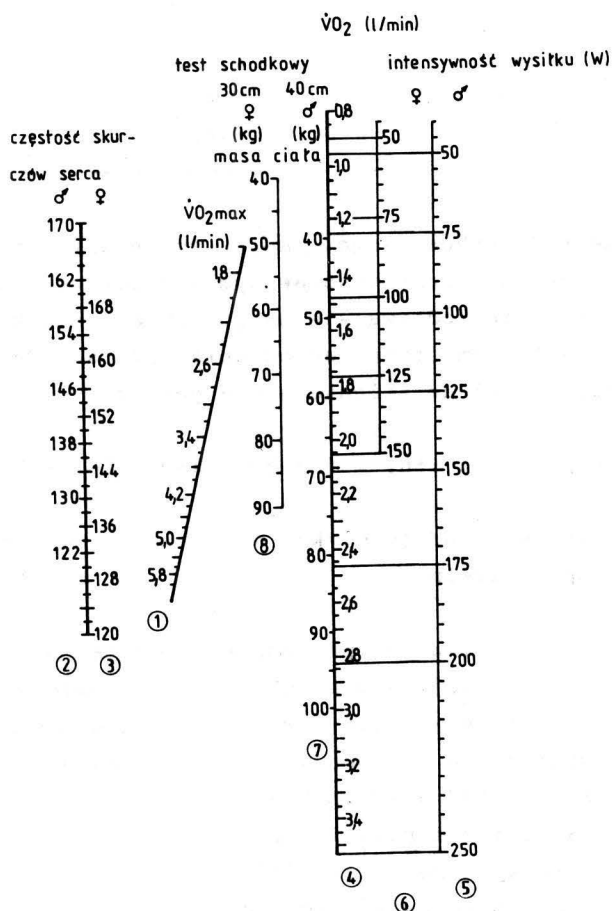
f - szybkość wchodzenia (liczba wejść na stopień/min)

h - wysokość stopnia w metrach

1,33 - praca wykonywana przy wchodzeniu plus jedna trzecia tej wartości odpowiadająca pracy przy schodzeniu

10,5 - dodatkowe zużycie tlenu (w ml/kg · min) związane z poruszaniem ciała do przodu i do tyłu podczas wchodzenia i schodzenia w tempie 33/min

1,78 - zużycie tlenu na wykonanie 1 kgm pracy.



Rys. 9. Nomogram Astranda i Ryhming [6] pozwalający określić $\dot{V}O_2 \text{ max}$ (skala ①) na podstawie częstości skurczów serca (skala ② i ③) i zużycia tlenu (skala ④) podczas jednorazowego wysiłku trwającego 5–7 min. Wysiłkiem tym może być wchodzenie na stopień o wysokości 33 cm dla kobiet i 40 dla mężczyzn i częstości wchodzenia 22,5/min lub pedałowanie na ergometrze rowerowym. Zużycie tlenu przy tych wysiłkach odczytuje się na skali ④ poprzez przeprowadzenie linii prostopadłych od punktów odpowiadających intensywności wysiłku na ergometrze (ze skali ⑤ i ⑥) i masie ciała w przypadku wchodzenia na stopień (ze skal ⑦ i ⑧)

Współczynniki umożliwiające korygowanie wartości VO_2 max odczytanych z nomogramu Astranda i Ryhming dla osób w wieku poniżej i powyżej 25 lat

Wiek	Współczynniki
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

Używając "ergometru" schodkowego, można zmniejszyć intensywność wysiłku w następujący sposób: w okresie przystosowawczym i w pierwszych dwóch minutach testu zasadniczego "wchodzenie" odbywa się na poziomie zero, kolejne przyrosty wysokości stopnia wynoszą 1,5 cm, tempo wchodzenia 22/min. Przy takiej procedurze wzór na obliczanie zużycia tlenu zmienia nieco postać:

$$\text{VO}_2 (\text{ml/kg} \cdot \text{min}) = (f \cdot h \cdot 1,33 \cdot 1,78) + 7$$

7 - dodatkowe zużycie tlenu (w $\text{ml/kg} \cdot \text{min}$) związane z poruszaniem ciała do przodu i do tyłu w tempie 22/min

Z naszych doświadczeń wynika, że procedura przedstawiona dla ergometru rowowego okazuje się zbyt obciążająca dla kobiet [62]. Zalecamy więc zmniejszenie obciążenia w okresie przystosowawczym i w pierwszych dwóch minutach testu zasadniczego. Tak więc obciążenie powinno wynosić wówczas 0,5 W/kg, a w kolejnych okresach wysiłku 1 W/kg, 1 1/3 W/kg, 1 2/3 W/kg itd.

Wysiłek w teście zasadniczym powinien być kontynuowany aż do osiągnięcia przez osobę badaną submaksymalnej częstości skurczów serca, czyli 85% wartości maksymalnej. Test musi być przerwany wcześniej, gdy wystąpią następujące objawy:

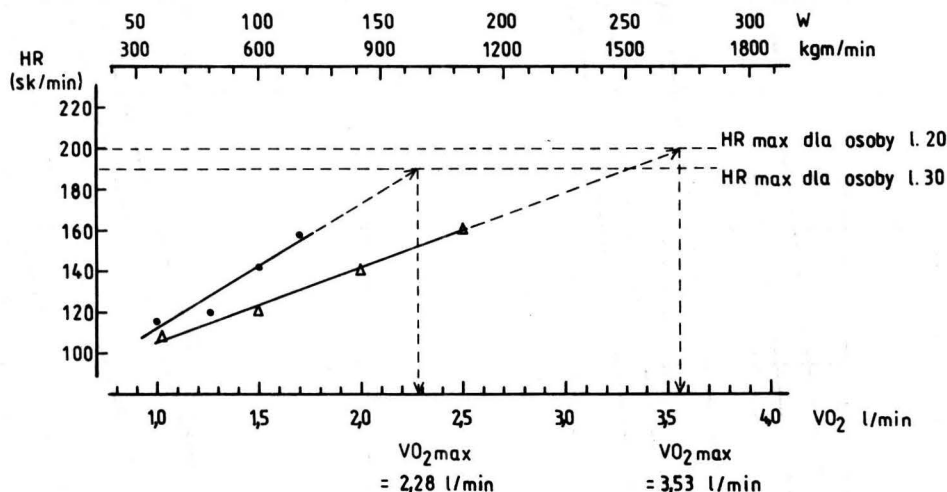
- 1) spadek ciśnienia tętniczego mimo wzrostu intensywności wysiłku lub wzrost ciśnienia skurczowego powyżej 240 mm Hg, a rozkurczowego powyżej 125 mm Hg;
- 2) zaburzenia kliniczne, takie jak ból w klatce piersiowej, duszność, bladość, sinica;
- 3) zaburzenia rytmu serca i zmiany w ekg wskazujące na niedotlenienie mięśnia sercowego;
- 4) chromanie przestankowe;
- 5) odmowa osoby badanej kontynuowania wysiłku.

Należy tak dobierać obciążenie, aby uzyskać przynajmniej trzy dwuminutowe okresy pracy w teście zasadniczym. W celu kontroli reakcji fizjologicznych w drugiej połowie drugiej minuty każdego okresu pracy mierzy się częstość skurczów



serca i ciśnienie krwi. Sposób pomiaru częstości skurczów serca zależy od wyposażenia laboratorium, ale dla bezpieczeństwa osób badanych należy stosować zapis elektrokardiograficzny z odprowadzeń przedsercowych.

Wartość $VO_2 \max$ można wyznaczyć graficznie przez ekstrapolację prostej poprowadzonej przez punkty wyznaczające częstość skurczów serca przy danym zużyciu tlenu (wielkość obciążenia) do poziomu odpowiadającego maksymalnej częstości skurczów serca (rys. 10).



Rys. 10. Pośrednia ocena $VO_2 \max$ poprzez ekstrapolację linii obrazujących zależność pomiędzy zużyciem tlenu a częstością skurczów serca do maksymalnej częstości skurczów serca

Można ją również obliczyć z równania:

$$W \max = \frac{HR \max - a}{b}$$

$W \max$ - obciążenie maksymalne odpowiadające maksymalnej częstości skurczów serca; znając wartość tego obciążenia, $VO_2 \max$ wylicza się ze wzoru $VO_2 \max = 10,85 W \max + 5,3 \text{ mc}$

b - współczynnik skośności równania regresji obliczany wg wzoru:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

n - liczba obserwacji

x - wartość obciążenia

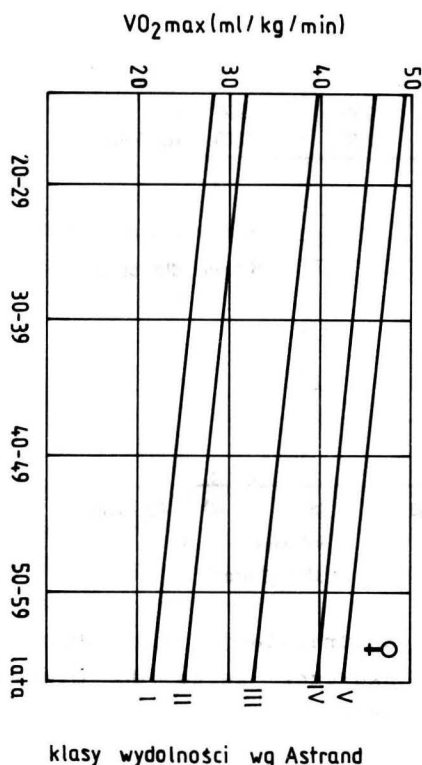
y - częstość skurczów serca

a - wyraz wolny równania regresji obliczany ze wzoru:

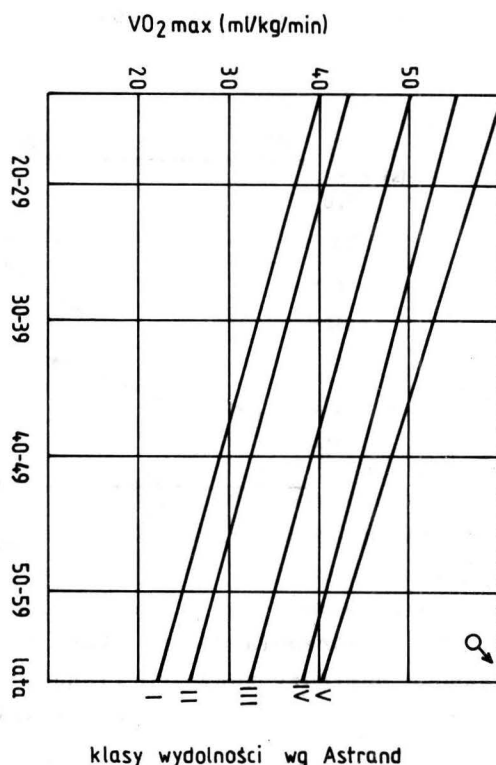
$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$$

Ocena wielkości maksymalnego pochłaniania tlenu odbywa się poprzez zestawienie uzyskanych danych z wartościami normatywnymi. Dla populacji polskiej nie opracowano jeszcze wartości normatywnych, toteż posługujemy się na ogół klasyfikacją podaną przez I. Astrand [2] lub Coopera [19]. Według klasyfikacji I. Astrand średnie wartości $VO_2 \max$ w ml/kg/min odpowiednich klas wydolności są wyraźnie większe dla osób młodszych w porównaniu z danymi Coopera. Dla kolejnych

dekad życia kryteria klasyfikacyjne stają się zbieżne, z tym że średnia klasa wydolności wg I. Astrand (czyli III) odpowiada fizjologicznie klasie dobrej u Coopera (czyli IV) (rys. 11-14).



Rys. 11. Klasyfikacja wydolności fizycznej ($VO_2 \text{ max}$) dla kobiet wg I. Astrand [2]

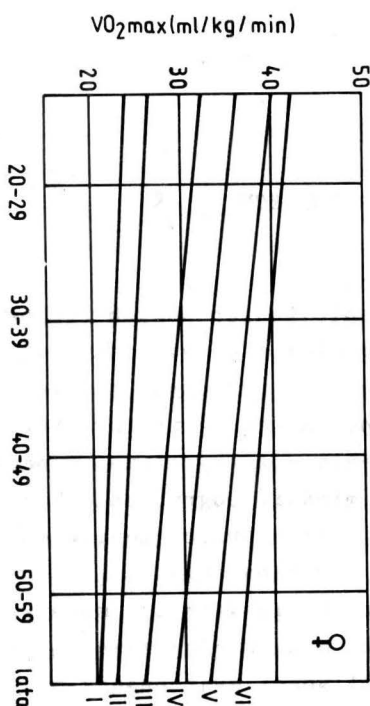


Rys. 12. Klasyfikacja wydolności fizycznej ($VO_2 \text{ max}$) dla mężczyzn wg I. Astrand [2]

POMIAR SIŁY MIĘŚNI

O ile dla wysiłku dynamicznego punktem odniesienia, w stosunku do którego oblicza się wielkość obciążenia, jest maksymalne pochłanianie tlenu, to w stosunku do wysiłków statycznych takim punktem odniesienia jest maksymalna siła mięśni. Ponieważ większość obciążeń statycznych podczas pracy wynika z konieczności utrzymywania wymuszonej, przede wszystkim pochylonej, pozycji ciała i/lub przenoszenia ciężarów, grupą mięśni, która ma najistotniejsze znaczenie dla tolerowania tego rodzaju obciążeń, są mięśnie grzbietu. Pomiar siły mięśni grzbietu (prostownika tułowia) można wykonać, używając dynamometru Colinsa zaopatrzonego w skalę wykalibrowaną na rozciąganie. Dynamometr jest w tym pomiarze ogniwnem łańcucha, którego dolny koniec przymocowany jest do podłogi (lub badany staje na nim), a do górnego końca, który powinien znajdować się na wysokości rzepki, przyczepia się uchwyt. Badany nie uginając kolan ma ciągnąć uchwyt z całej siły ku górze [93]. To proste badanie kryje w sobie jednak pewne niebezpie-





klasy wydolności wg Coopera



klasy wydolności fizycznej wg Coopera

Rys. 13. Klasyfikacja wydolności fizycznej (VO₂ max) dla kobiet wg Coopera [19]

Rys. 14. Klasyfikacja wydolności fizycznej (VO₂ max) dla mężczyzn wg Coopera [19]

czeństwo: badana osoba może doznać urazu kręgosłupa – stąd też polecamy zwiększać siłę powoli i zaprzestać wysiłku przy jakimkolwiek odczuciu dyskomfortu. Drugim niebezpieczeństwem związanym z pomiarami siły jest gwałtowny wzrost ciśnienia krwi typowy dla wysiłków statycznych. Siła prostownika grzbietu bywa również mierzona w pozycji wyprostowanej, przy unieruchomionych biodrach i odchyleniu tułowia do tyłu [92].

Do pomiarów sił różnych grup mięśni konstruowane są specjalne stanowiska [40], które zapewniają odpowiednią dokładność i powtarzalność wyników. Znajomość sił różnych grup mięśni może być następnie wykorzystywana do obliczania masy przedmiotów, których przenoszenie jest dopuszczalne dla danej osoby. Stwierdzono bowiem, że przy podnoszeniu przedmiotów odgrywa również rolę siła mięśni prostowników i zginaczy ramienia, a nie tylko mięśni prostowników tułowia [92].

Odpowiednia siła prostownika tułowia jest niezbędna każdemu człowiekowi do utrzymania ciała w pozycji pochylonej ku przodowi, którą to pozycję najczęściej przyjmuje się przy wykonywaniu różnego rodzaju prac. Potrzebną do utrzymania takiej pozycji siłę można wyliczyć w następujący sposób [45]: na środek ciężkości górnej części ciała 9czyli części powyżej stawu krzyżowo-biodrowego) przy pochyleniu ku przodowi będzie działała siła

$$F = 0,5 W \cdot 2/3 \cdot \sin \alpha$$

W – ciężar ciała w kg

α – kąt pochylenia ku przodowi

Ponieważ mięsień może być długotrwale obciążony wysiłkiem statycznym mniejszym od 15% MV C, aby bez zmęczenia przebywać w pozycji pochylonej pod kątem α siła mięśni prostownika tułowia musi być co najmniej 7 razy większa od wyliczonej siły F.

OCENA MONOTYPOWOŚCI RUCHÓW ROBOCZYCH

Wielokrotne w ciągu zmiany roboczej powtarzanie takich samych ruchów angażujących w sposób jednostronny określone grupy mięśni stanowi dodatkowe obciążenie dla narządu ruchu. Sytuacja taka może stać się przyczyną nasilenia zmęczenia miejscowego i w rezultacie powiększać ogólne zmęczenie pracownika. Stałe obciążanie pewnej tylko grupy mięśni oprócz zmęczenia może wywoływać w narządzie ruchu zmiany będące efektem treningowym (przerost mięśni, pogrubienie kości), a w dalszej konsekwencji może prowadzić do rozwoju zmian przeciążeniowych, objawiających się najczęściej jako stany zwyrodnienia lub zapalenia.

Istniejącą i powszechnie stosowaną w naszym kraju klasyfikację monotypowości ruchów roboczych przedstawia tabela 10. Jednakże dane w niej zawarte nie mają eksperymentalnego uzasadnienia. Mały stopień uciążliwości występujący przy przenoszeniu ciężaru mniejszego od 10 kg (np. przeniesienie 800 razy przedmiotu o ciężarze 9 kg) nie zapobiega przekroczeniu granicy dopuszczalnej ciężkości pracy dla kobiet. Widać stąd, że problem oceny monotypowości ruchów roboczych wymaga bardziej precyzyjnego opracowania, opartego na wynikach badań typu "dawka - efekt". Istotny krok w tym kierunku poczynili autorzy radzieccy, wydzielając pojęcie monotonii motorycznej. Dla kobiet granicą obciążenia, które wywołuje jeszcze zmiany w organizmie typowe dla monotonii, jest ciężar jednorazowo przenoszonego przedmiotu 1,5 kg, a łącznie w ciągu zmiany - 2,6 t; dla mężczyzn odpowiednie wartości wynoszą 2,0-2,5 kg i 4 t [31]. Przekroczenie tych wartości zmienia obraz reakcji fizjologicznych na typowe dla ciężkiej pracy fizycznej.

T a b e l a 10

Ocena monotypowości ruchów roboczych wg Kirschnera [42]

Stopień uciążliwości	Liczba powtórzeń stereotypowej operacji roboczej	
	siła < 10 kG	siła > 10 kG
Mały	800	300
Średni	800-1600	300-800
Duży	1600	800

PODSUMOWANIE

Zgodnie z podaną na wstępie definicją obciążenia mówiącą, że jest ono relacją intensywności wysiłku do maksymalnych możliwości jego wykonywania, ocena wielkości obciążenia możliwa jest wówczas, gdy te dwie wielkości są znane. Jak wynika z przedstawionego przeglądu, ocena ciężkości pracy jest sprawą względnie prostą i możliwą do zrealizowania w każdych warunkach nawet bez specjalnego wyposażenia. Informacja o wielkości wydatku energetycznego podczas pracy służyć powinna obliczeniu minimalnego poziomu wydolności fizycznej ($\text{VO}_2 \text{ max}$), jaki powinien charakteryzować pracowników przyjmowanych do tej pracy. Jeżeli znane jest średnie zużycie tlenu podczas pracy, to wówczas gdy jest to praca nieprzerywana (bez specjalnych przerw wypoczynkowych), osoba ją wykonująca powinna mieć maksymalne możliwości wysiłkowe ($\text{VO}_2 \text{ max}$) co najmniej trzykrotnie wyższe. Wynika to z przytaczanych już obserwacji wskazujących, że długotrwały wysiłek może być bez szkody dla zdrowia tolerowany wówczas, gdy jego intensywność nie przekracza 30% $\text{VO}_2 \text{ max}$. Wówczas gdy wielkość wydatku energetycznego podczas pracy zostanie określona metodami szacunkowymi, w celu obliczenia minimalnego poziomu $\text{VO}_2 \text{ max}$ należy najpierw oszacować wielkość zużycia tlenu podczas pracy. Na przykład jeżeli wydatek energetyczny netto u mężczyzny 30-letniego o ciężarze ciała 70 kg i wzroście 170 cm wynosił 4,2 kcal/min, obliczenie to przedstawia się następująco:

powierzchnia ciała = 1,81 m²

przemiana podstawowa = 0,61 kcal/m²/min · 1,81 m² = 1,14 kcal/min

wydatek energetyczny brutto = 4,2 + 1,14 = 5,24 kcal/min

równoważnik energetyczny 1 l O_2 = 4,9 kcal

zużycie tlenu = 1,07 l/min.

$\text{VO}_2 \text{ max}$ u tego mężczyzny powinno wynosić 3,21 l/min lub 45,9 ml/kg/min, czyli do wykonywania pracy, podczas której wydatek energetyczny wynosi 4,2 kcal/min, można kwalifikować mężczyzn o co najmniej przeciętnej wydolności fizycznej.

W sytuacji gdy praca nie jest związana z ciągłym wysiłkiem, tzn. okresy pracy przedzielone są przerwami wypoczynkowymi, dopuszczalne jest, jak to już wspomniano, obciążenie sięgające 50% $\text{VO}_2 \text{ max}$. Na przykład podczas ładowania wagonów efektywny wydatek energetyczny wynosił 7,95 kcal/min (przy efektywnym czasie pracy ok. 260 min). Obliczone w sposób taki, jak w poprzednim przykładzie zużycie tlenu wynosiło 1,86 l/min, tak więc mężczyzna wykonujący tę pracę powinien mieć $\text{VO}_2 \text{ max}$ co najmniej 3,71 l/min lub 53,0 ml/kg/min, czyli charakteryzować się wysoką wydolnością fizyczną.

Praktycznie więc przy kwalifikowaniu osób na stanowiska związane z wykonywaniem bardzo ciężkiej pracy fizycznej zawsze należy przeprowadzić pomiar $\text{VO}_2 \text{ max}$, gdyż mogą bez szkody dla zdrowia wykonywać taką pracę tylko osoby o co najmniej wysokiej wydolności fizycznej. Zalecenie to winno być również rozszerzone przy kwalifikowaniu do ciężkiej pracy fizycznej, gdyż wykonywanie takiej pracy jest przeciwwskazane dla osób o niskiej wydolności. Określenie poziomu $\text{VO}_2 \text{ max}$ nie wymaga kosztownej aparatury – ergometr rowerowy można z powodzeniem zastąpić "ergometrem" schodowym, do którego konstrukcji wystarczy kilka desek o grubości

4,5 lub 1,5 cm. Wprowadzenie do praktyki lekarza przemysłowego określenia maksymalnego pochłaniania tlenu poszerzy jego działalność profilaktyczną, umożliwiając mu zapobieganie przeciążeniom wynikającym z wysiłku fizycznego poprzez kwalifikowanie osób na stanowiska pracy tylko w tym przypadku, gdy ich wydolność fizyczna jest adekwatna do obciążeń spodziewanych podczas pracy.

Ustalenie proporcji między intensywnością wysiłku podczas pracy (ciężkością pracy) a wielkością maksymalnego pochłaniania tlenu pozwala na określenie indywidualnego poziomu obciążenia pracą i jego ocenę poprzez zestawienie z przedstawioną niżej klasyfikacją, zaproponowaną przez Kozłowskiego [47]. Wówczas gdy zużycie tlenu podczas pracy sięga 10% VO_2 max, pracę tę określamy jako lekką lub obciążenie jako małe. Przy angażowaniu 10–30% VO_2 max mówimy, że praca jest średnio ciężka lub że obciążenie jest średnie. W sytuacji, gdy zużycie tlenu podczas pracy sięga 30–50% VO_2 max, praca jest ciężka, a obciążenie można określić jako duże. Powyżej 50% VO_2 max pracę oceniamy jako bardzo ciężką a obciążenie jako bardzo duże.

Ocena wielkości obciążenia możliwa jest również na podstawie częstości skurczów serca podczas pracy. Zgodnie z tym, co już powiedziano przy omawianiu pośrednich metod oceny ciężkości pracy na podstawie pomiarów częstości skurczów serca, najbardziej racjonalnym sposobem przedstawienia częstości skurczów serca jako miernika wielkości obciążenia jest obliczenie odsetka maksymalnej częstości skurczów serca (% HR max), jaki stanowi średnia częstość skurczów serca podczas pracy. Uwzględniając takie wartości, można zaproponować następującą klasyfikację obciążenia pracą:

obciążenie małe	- do 40% HR max
średnie	- do 50% HR max
duże	- do 65 HR max
bardzo duże	- ponad 65% HR max

Określenie indywidualnej wartości VO_2 max ma istotne znaczenie nie tylko wówczas, gdy pracownik przyjmowany jest do pracy, ale również wówczas, gdy zaistniały przyczyny mogące zmniejszyć poziom jego wydolności fizycznej. Powszechnie znaną przyczyną obniżenia się poziomu wydolności fizycznej jest wiek [5]. Nawet bez istotnych odchyień w stanie zdrowia VO_2 max obniża się w takim tempie, że w wieku 40 lat stanowi ok. 90% poziomu osiągniętego w wieku 20–30 lat, a w wieku 60 lat już tylko 60–65% tej wartości. Oczywista staje się więc konieczność okresowej kontroli poziomu VO_2 max u osób po 40 roku życia, szczególnie u pracowników wykonujących ciężką pracę fizyczną. Kontrola ma na celu uchwycenie momentu, w którym codzienny wysiłek fizyczny związany z pracą zawodową stanie się obciążeniem nadmiernym.

PIŚMIENNICTWO

1. Asmussen E., Hemmingsen J.: Determination of maximum working capacity at different ages in work with legs or with the arms. Scand^oJ Clin Lab Invest 1958, 10, 67–71
2. Astrand I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to



- age. *Acta Physiol Scand* 1960, 49, suppl. 169
3. Astrand I.: Degree of strain during building work as related to individual aerobic work capacity. *Ergonomics*, 1967, 10, 293-303
 4. Astrand I., Kilbom A.: Physical demands on cabin personnel in civil aviation. *Aerospace Med*, 1969, 40, 885-890
 5. Astrand P.O., Rodahl K.: Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. Mc Graw-Hill Company, Singapore 1986
 6. Astrand P.O., Ryhming I.: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol*, 1954, 7, 218-221
 7. Aunola S., Nykyri R., Rusko H.: Strain of employees in the machine industry in Finland. *Ergonomics*, 1978, 21, 509-519
 8. Barends W.S.: The relationship between maximum isometric strength and intramuscular circulatory occlusion. *Ergonomics*, 1980, 23, 351-357
 9. Bell D.G., Wright G.R.: Energy expenditure and work stress divers performing a variety of underwater work tasks. *Ergonomics*, 1979, 22, 345-356
 10. Bena E., Hyska P., Kryže B., Zeleny A.: Pracovní doba a organizace práce ze zdravotnického hlediska. Statní Zdravotnické Nakladatelství, Praha 1963
 11. Berggren G., Christensen H.: Heart rate and body temperature as indices of metabolic rate during work. *Arbeitsphysiol* 1950, 14, 255-260
 12. Bjorksten M., Jonsson B.: Endurance limit of force in long term intermittent static contractions. *Scand J Work Environ Health*, 1977, 3, 23-27
 13. Bonjer F.H.: Relationship between working time, physical working capacity and allowable caloric expenditure. [W:] *Muskelarbeit und Muskeltraining* (Schriftenr Arbeitsmed Sozialmed Arbeitshyg) Gentner Verl Stuttgart 1968, 22, 86-98
 14. Borg G.: Perceived exertion: A note on "history" and methods. *Med Sci Sport Exerc*, 1973, 5, 90-93
 15. Borsky I., Hubač M.: Vplyv statickeho a dynamickeho zatiženia na niektoré fysiologické funkcie organizmu. III č. *Prac Lék* 1967, 19, 201-205
 16. Brouha L., Graybiel A., Heath C.W.: The step test a simple method of measuring physical fitness for hard muscular work in adult man. *Rev Canad Biol*, 1943, 2, 86-91
 17. Carpenter T.M.: Tables, factors and formulas for computing respiratory exchange and biological transformations of energy. Carnegie Institution of Washington Publication 303C. Washington 1964
 18. Consolazio C.F., Johnson R.E., Pecora L.J.: Physiological measurements of metabolic functions in man. Mc Graw-Hill Book Company, New York 1963
 19. Cooper K.H.: The aerobic way. Corbi Book, London 1978
 20. Costil D.L., Fink W.J.: Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J Appl Physiol*, 1974, 37, 521-525
 21. Daleckaja G.V., Poljakova G.A.: Obosnovanie novych predelov perenoski tjažestej dlja žensčin pri postojannoju rabote s gruzom. *Gig Tr Proff Zabol*, 1977, 7, 21-26
 22. Datta S.R., Chatterjee B.B., Roy B.N.: The relationship between energy expenditure and pulse rates with body weight and load during load carrying on the level. *Ergonomics*, 1973, 16, 507-513
 23. Datta R.S., Ramanathan M.L.: Energy expenditure in work predicted from heart rate and pulmonary ventilation. *J Appl Physiol*, 1969, 36, 297-302

24. Davies C.T.M., Sargeant A.J.: Physiological responses to standardized arm work. *Ergonomics*, 1974, 17, 41-49
25. Du Bois D., Du Bois E.F.: A formula to estimate the approximate surface area in height and weight be known. *Arch Intern Med*, 1916, 17, 863-871
26. Durnin J.V.G.A., Edwards R.G.: Pulmonary ventilation as an index of energy expenditure. *Q J Exp Physiol*, 1955, 40, 370-377
27. Durnin J.V.G., Passmore R.: *Energetyka pracy i wypoczynku*. PWN, Warszawa 1969
28. Fernandez E.A., Mohler J.G., Butler P.: Comparison of oxygen consumption measured at steady state and progressive rates of work. *J Appl Physiol*, 1974, 37, 982-987
29. Fibiger W., Rogoziński A.: *Koszt energetyczny pracy*. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1977
30. Gadzińska E., Makowiec-Dąbrowska T., Różalska E.: Wydolność fizyczna kobiet wykonujących pracę lekką i umiarkowaną. *Med Pr*, 1987, 38, 224-228
31. Gambašidze G.M., Tchorevskij V.I., Jampolskaja E.G.: Funkcjonal'noe sostojaniye čeloveka pri monotonnoj dejatel'nosti s različnoj fizičeskoj nagruzkoj. *Gig Tr Prof Zabol*, 1985, 6, 5-9
32. Gamberale F.: The perception of exertion. *Ergonomics*, 1985, 28, 299-308
33. Garg A., Chaffin D.B., Herrin G.D.: Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *Am Ind Hyg Assoc J*, 1978, 39, 661-674
34. Harrison M.H., Brown G.A., Belyavin A.J.: The "Oxylog": an evaluation. *Ergonomics*, 1982, 25, 809-820
35. Hennigan J.K., Wortham A.W.: Analysis of workday stresses on industrial managers using heart rate as a criterion. *Ergonomics*, 1975, 18, 675-681
36. Holter N.J.: New method for heart studies. *Science*, 1961, 134, 1214-1220
37. Jethon Z., Krasucki P., Rogoziński A.: *Normy fizjologiczno-higieniczne w medycynie przemysłowej*. PZWL, Warszawa 1982
38. Jonsson N.: Muscular fatigue and endurance basic research and ergonomic applications. [W:] *Neural and Mechanical Control of Movement*, Kyoto 1984, 64-76
39. Karwowski W., Yates J.W.: Reliability of the psychophysical approach to manual lifting of liquids by females. *Ergonomics*, 1986, 29, 237-248
40. Kędzior K., Kotwicki E., Niwiński W.: Obciążnik do badania statycznych i dynamicznych charakterystyk grup mięśniowych człowieka. *Materiały X Ogólnopolskiej Konferencji Teorii Maszyn i Mechanizmów, ITLiMS PW*, Warszawa 1984, 98-104
41. Kilbom A.: Circulatory adaptation during static muscular contraction. *Scand J Work Environ Health*, 1976, 2, 1-13
42. Kirschner H.: Obciążenie fizyczne podczas pracy zawodowej i jego ocena. [W:] *Ergonomiczna analiza uciążliwości pracy*. Wyd. Zw. CRZZ, Warszawa 1970
43. Köck P.: Ergebnisse von Forschungsarbeiten über das Heben und Tragen von Lasten und deren Verwendung in der Arbeitsgestaltung. *Sichere Arbeit*, 1970, 4, 12-18
44. Koradecka D., Łotach H.: Ocena wielkości obciążenia pracą fizyczną na stanowiskach roboczych. *Materiały do studiów i badań nr 58*. CIOP, Warszawa 1981
45. Kozłowski S.: *Fizjologia wysiłków fizycznych. Wstęp do fizjologii klinicznej*. PZWL, Warszawa 1976

46. Kozłowski S., Nazar K.: Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. PZWL, Warszawa 1984
47. Kozłowski S., Nowakowska A., Kirschner H., Obuchowicz-Łożyńska Z.: Ocena wyliczania wysokości pulsu tlenowego człowieka (nomogram Astrand-Ryhming) jako pomiaru zdolności do pracy w warunkach aerobowych. Wych Fiz Sport, 1968, 12, 4
48. Kramer H., Mojkin J.V., Mucke R., Tchorevskij V.I.: Zavisimost' častoty serdecnych sokraščenij, arterial'nogo davlenija, električeskoj aktivnosti myšc i ich vynostivosti ot siły statičeskich sokraščenij. Gig Tr Prof Zabol, 1979, 22, 11, 21-24
49. Kramer H., Rehfeldt H., Mucke R., Tchorevsky V.I., Kalashnikova Z.S., Petrov V.A.: Physiological responses to sustained isometric contractions during one-and two-armed work. Role of muscle mass on cardiovascular responses to isometric work. Int Arch Occup Environ Health, 1983, 52, 271-279
50. Lange Andersen K., Shephard R.J., Denalin H., Varnauskas E., Masironi R.: Fundamentals of exercise testing. WHO, Geneva 1971
51. Larson L.: Physiological measurements and indices. [W:] Fitness, health and work capacity. New York 1974
52. Legg S.J., Myles W.S.: Maximum acceptable lifting workloads for an 8 hour-day using psychophysical and subjective ratings methods. Ergonomics, 1981, 24, 907-916
53. Lehmann G.: Praktyczna fizjologia pracy. PZWL, Warszawa 1966
54. Lind A.R., Petrofsky J.S., Betz W.: A comparative study of metabolic, respiratory and cardiovascular characteristics of fatigue during lifting tasks and bicycle ergometry. Final Report, DHEW (NIOSH) Contract CDC 00-74-83 1977
55. Lind A.R., Williams C.A., Petrofsky J.S.: Physiological responses of women to repetitive lifting and an examination of factors responsible for fatigue. Final Report, DHEW (NIOSH) Contract 210-77-0044, 1979
56. Louhevaara V., Ilmarinen J.: Comparison of three field methods for measuring oxygen consumption. Ergonomics, 1985, 28, 463-470
57. Makowiec-Dąbrowska T.: Zależność wielkości subiektywnych odczuć ciężkości pracy od rodzaju pracy. IV Krajowy Zjazd PTMP, Wrocław 1981, s. 181-182
58. Makowiec-Dąbrowska T., Fidelski R.: Koszt energetyczny pracy na podstawowych stanowiskach w przemyśle włókienniczym i jego niektóre uwarunkowania. Med Pr, 1987, 38, 277-284
59. Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W.: Analiza przydatności różnych metod oceny częstości skurczów serca podczas pracy w badaniach rozmiaru obciążenia pracą. Med Pr, 1980, 31, 99-107
60. Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W.: Zastosowanie pomiarów wydatku energetycznego dla określenia dopuszczalnych wielkości przenoszenia ciężarów przez kobiety i mężczyzn. VI Międzynarodowa konferencja ergonomii uczonych i specjalistów krajów członków RWPG "Ergonomia stanowiska pracy". Kraków 1987. Wyd. AGH, 1987, s. 681-685
61. Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Gadzicka E.: Charakterystyka obciążenia fizycznego w podstawowych zawodach w przemyśle włókienniczym na podstawie oceny biologicznych skutków pracy. Sprawozdanie z tematu MZ.IX.6.19, IMP Łódź 1985

62. Makowiec-Dąbrowska T., Radwan-Włodarczyk Z., Koszada-Włodarczyk W., Gadzicka E.: Metoda oceny obciążenia fizycznego podczas pracy w oparciu o pomiar zdolności wysiłkowej. *Med Pr*, 1988, 39, 23-29
63. Makowiec-Dąbrowska T., Wojtczak-Jaroszowa J., Pawłowska-Skyba K., Więcek E.: Analiza uciążliwości pracy hutników szkła. *Med Pr*, 1969, 20, 103-112
64. Margaria R., Aghemo P., Rovelli E.: Indirect determination of maximal O₂ consumption in man. *J Appl Physiol*, 1965, 20, 1070-1073
65. Michael E.D., Hutton K.E., Horvath S.M.: Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *J Appl Physiol*, 1961, 16, 997-1000
66. Mitchell J.H., Schibye B., Payne F.C.III, Saltin B.: Response of arterial blood pressure to static exercise in relation to muscle mass force development, and electromyographic activity. *Circ Res*, 1981, 48, supp. I, 70-75
67. Monod H.: Contractility of muscle during prolonged static and repetitive dynamic activity. *Ergonomics*, 1985, 28, 81-89
68. Müller E.A.: Wirkungsgrad und Leistungsfähigkeit bei Arbeit mit Wandenmuskeln. *Int Z Angew Physiol*, 1955, 16, 25-34
69. Müller E.A.: Occupational work capacity. *Ergonomics*, 1962, 5, 445-452
70. Pandolf K.B., Givoni B., Goldman J.: Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. *J Appl. Physiol*, 1977, 43, 577-581
71. Passmore R., Passmore J.V., Durnin G.A.: Human energy expenditure. *Physiol Rev*, 1955, 35, 801-840
72. Pawelski S., Maj S.: Normy i kliniczna interpretacja badań diagnostycznych w medycynie wewnętrznej. PZWL, Warszawa 1987
73. Pollock M.L., Wilmore J.H., Fox III S.M.: Health and fitness through physical activity. American College of Sports Medicine Series. John Miley and Sons, New York 1978
74. Raport of European Nutr. Un. and United Nations University.: Energy expenditure under field condition. Prague, 1981
75. Reedy J.D., Saiger G.L.: Evaluation of the Harvard step test with respect to factors of height and weight. Army Medical Research Laboratory Report No 140, Fort Knox 1954
76. Rodahl K., Vokac Z., Fugelli P., Vaage O., Machlum S.: Circulatory strain, estimated energy output and catecholamine exertion in Norwegian coastal fisherman. *Ergonomics*, 1974, 17, 585-602
77. Rohmert W.: Untersuchung über Muskelermüdung und Arbeitsgestaltung. Beuth-Vertrieb, Berlin 1962
78. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19.01.1971 w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. DzU, nr 4, poz. 18, zmiana DzU z 1984 r., nr 44, poz. 235
79. Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 1.VI.1953 w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych przy ręcznym dźwiganiu i przenoszeniu ciężarów. DzU, nr 22, poz 89
80. Rutenfranz J.: Energy expenditure constrained by sex and age. *Ergonomics*, 1985, 28, 115-118
81. Ryhming I.: A modified Harvard step test for the evaluation of physical fitness. *Arbeitsphysiologie*, 1953, 15, 235-250
82. Scherrer J.: Physiologie du travail (ergonomie). Masson et Cie, Paris 1967



83. Sengupta A.K., Sarkar D.M., Mukhopadhyay S., Goswami D.C.: Relationship between pulse rate and energy expenditure during graded work at different temperatures. *Ergonomics*, 1979, 22, 1207-1215
84. Sloan A.W.: A modified Harvard step test for women. *J Appl Physiol*, 1959, 14, 985-986
85. Sowa K., Gwóźdź B., Zyłko M., Poborska K.: Wydatek energetyczny pracowników Huty Miedzi. *Med Pr*, 1981, 22 (6), 433-437
86. Stamford B.A.: Validity and reliability of subjective ratings of perceived exertion during work. *Ergonomics*, 1976, 19, 53-60
87. Swat K.: Obciążenie pozazawodowe pracowników przemysłu włókienniczego. *Polit Społ*, 1987, 14, 4, 17-18
88. Tchorevskij V.I.: Rabočaja giperjemija v myscach predpleč'ja i golenii pri statičeskich sokraščenijach rozličnoj siły, dljaščichsja do otkaza. *Fizjol Čeloveka*, 1978, 4 (6), 1085-1092
89. Verma S.S., Malhotra M.S., Sen Gupta J.: Indirect assessment of energy expenditure at different work rates. *Ergonomics*, 1979, 22, 1039-1044
90. Vokac Z., Bell E., Bautz-Holter E., Rohdal K.: Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol*, 1975, 39, 54-59
91. Weir J.N.de V.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 1949, 109, 1-9
92. Yates J.W., Kamon E., Rodgers S.H., Champney P.C.: Static lifting strenght and maximal isometric voluntary contractions of back, arm and shoulder muscles. *Ergonomics*, 1980, 23, 1, 37-47
93. Wolański N.: Metody kontroli i normy rozwoju dzieci i młodzieży. PZWL, Warszawa 1975
94. Woskowska Z.: Badania porównawcze wydolności fizycznej kobiet w wieku 18 do 55 lat zatrudnionych w różnych gałęziach przemysłu. *Pamiętnik III Krajowego Zjazdu PTMP*, Łódź 1978, t. II, s. 468
95. Wyndham C.H., Morrison J.F., Williams C.C., Hynes A., Margo E., Brown A.N., Astroup J.: The relationship between energy expenditure and performance index in task of shoveling sand. *Ergonomics*, 1966, 9, 371-378
96. Zacek J.: Maximalwerte der Pulsfrequenz bei Industriearbeiten. Die Bestimmung des Arbeitregimes und der Ruhepausen auf Grund der höchstzulässigen Stoss - und Gesamtschichtwerte der Pulsfrequenz. *Arbeit und Leistung*, 1969, 22, 125-129
97. Zeleny A., Kozak J.: Kalorimetricka studie nekterych praci lesnich delniku. *Prac Lek*, 1957, 8, 342-347
98. Zolina Z.M., Gorškov S.I.: O klassifikacii i kriteriach ocenki truda po stepeni tjažesti i napriazennosti. [W:] *Rukovodstvo po fiziologii truda*. Medicina, Moskwa 1983



PRINCIPLES OF EVALUATION OF OCCUPATIONAL PHYSICAL WORK-LOAD

Summary

The paper presents principal direct and estimating methods of determination of energy expenditure during work as well as principles of evaluation of static effort intensity and movements monotopy. A classification of work according to the effort involved in its performance and physical work-load has also been presented.

Т. Маковец-Домбровска

Принципы оценки физической нагрузки в течение трудовой деятельности

Содержание

В работе представлено основные непосредственные и оценочные методы определения энергозатрат в течение выполняемой работы, а также принципы оценки интенсивности статического усилия и монотипности рабочих движений. Приведено также классификацию тяжести труда и физической нагрузки.

