

ekstrakcji tlenu w pracującym mięśniu (zwiększenie różnicy tętniczo-żylniej wysycenia krwi tlenem).

Przerwanie treningu powoduje stopniowe obniżanie się $\dot{V}O_{2max}$.

1.2.3.3. Wydolność fizyczna

Wydolność fizyczna obejmuje trzy aspekty, a mianowicie:

- zdolność do wysiłku fizycznego;
- zdolność do tolerowania zmian homeostazy w czasie wysiłku;
- zdolność do szybkiego przywracania spoczynkowej homeostazy w okresie powysiłkowej odnowy.

1.3. Ocena obciążeń wysiłkiem

Do obiektywnej oceny obciążeń używa się wielu wskaźników, np. takich jak częstość skurczów serca, zużycie tlenu, temperatura ciała i wydatek energetyczny. W tabeli 1.5 przedstawiono przykładowe wartości niektórych z tych wskaźników oraz ich odniesienia do subiektywnej oceny wielkości obciążenia (skali Borga).

Tabela 1.5.

Klasyfikacja wielkości obciążenia (wg Kozłowski i Nazar, 1999 oraz Tipton i Franklin, 2004)

Obciążenie	Pobór tlenu	$\% \dot{V}O_{2max}$	Częstość skurczów serca (ud./min)	Temperatura ciała w odbytncy (°C)	Odczuwalne obciążenie w skali 20-punktowej Borga
Bardzo małe	0,5	< 25	75	37,0	< 10
Małe	0,5–1,0	25–44	75–100	37,0–37,5	10–11
Średnie	1,0–1,5	45–59	100–125	37,5–38,0	12–13
Duże	1,5–2,0	60–84	125–150	38,0–38,5	14–16
Bardzo duże	2,0–2,5	> 85	150–175	38,5–39,0	17–19
Maksymalne	> 2,5	100	> 175	> 39,0	20

1.3.1. Skala Borga

Za pomocą skali Borga ocenia się subiektywne odczucie intensywności wysiłku. Używane są dwie wersje tej skali: **oryginalna** i **zmodyfikowana**. W skali oryginalnej Borga punkty charakteryzujące odczucie stopnia uciążliwości wysiłku mieszczą się w przedziale od 6 do 20 (co odpowiada 60–200 skurczom serca na minutę). Na przykład cyfra 9 odpowiada wysiłkowi, który oceniany jest przez badanego jako bardzo lekki, liczba 15 – jako ciężki, a liczba 20 – jako maksymalny (tab. 1.6).

Tabela 1.6. Skala subiektywnej oceny wielkości wysiłku wg Borga (20-punktowa)

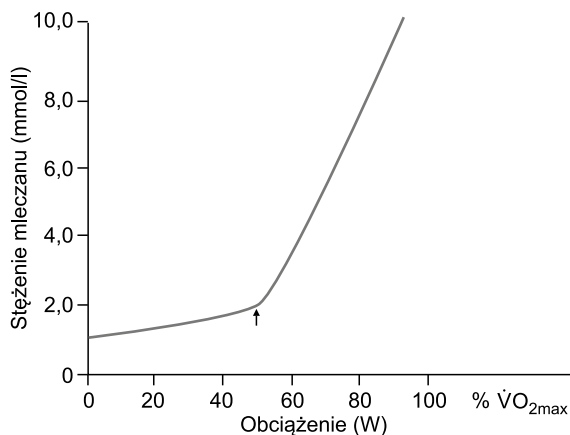
Liczba punktów	Ocena wielkości wysiłku
6 7	Minimalny
8 9	Bardzo lekki
10 11	Lekki
12 13	Dość ciężki
14 15	Ciężki
16 17	Bardzo ciężki
18 19	Niezwykle ciężki
20	Maksymalny

W skali zmodyfikowanej punktacja obejmuje przedział od 0 do 10. Cyfra 1 odpowiada wysiłkowi ocenianemu jako bardzo lekki, cyfra 5 – jako ciężki, a liczba 10 – jako niezwykle ciężki. Według zaleceń American College of Sports Medicine należy zwracać uwagę na to, by badany relacjonował całkowitą odczuwaną wielkość obciążenia i zmęczenia, nie zaś poszczególne objawy towarzyszące wysiłkowi (ból mięśni, trudności z oddychaniem itd.). Prawidłowe posługiwanie się tą skalą umożliwi również oszacowanie wielkości $\dot{V}O_{2max}$.

1.3.2. Próg mleczanowy

Stężenie mleczanu we krwi w spoczynku wynosi ok. 1 mmol/l (10 mg/dl). Jego głównym źródłem są krwinki czerwone (erytrocyty). W czasie wykonywania wysiłku o niewielkim obciążeniu stężenie mleczanu we krwi nie ulega zmianie lub podwyższa się jedynie w niewielkim stopniu. Podczas wykonywania wysiłków o wzrastającym obciążeniu początkowo ma miejsce niewielki, lecz stopniowy wzrost stężenia mleczanu we krwi. Przy pewnej wielkości obciążenia rozpoczyna się faza gwałtownego wzrostu stężenia tego związku we krwi, nieproporcjonalna do przyrostów obciążenia (ryc. 1.9).

Obciążenie, przy którym rozpoczyna się szybki przyrost stężenia mleczanu we krwi, nazywa się **progiem mleczanowym** lub **progiem przemian beztlenowych (anaerobowych) (PPA)**. Próg mleczanowy występuje zwykle podczas obciążeń rzędu 50–60% $\dot{V}O_{2max}$. U dobrze wytrenowanych osób może on wy-



Rycina 1.9.

Próg mleczanowy (próg przemian beztlenowych). W czasie wysiłku o wzrastającym obciążeniu, po osiągnięciu pewnego obciążenia, rozpoczyna się gwałtowny wzrost stężenia mleczanu we krwi. U osób niewytrenowanych następuje to przy obciążeniach wynoszących ok. 50% $\dot{V}O_{2max}$. Strzałką oznaczono początek proggu.

stąpić dopiero przy obciążeniu rzędu 80% $\dot{V}O_{2max}$, a nawet większym. W przeszłości używano pojęcia „**4-milimolowy próg mleczanowy**” (**OBLA** – onset of blood lactate accumulation). Termin ten odnosi się do obciążenia, przy którym stężenie mleczanu we krwi osiąga wartość 4 mmol/l. Okazało się jednak, że u większości badanych wzrost stężenia mleczanu we krwi rozpoczyna się przy stężeniach niższych niż 4 mmol/l, a czasem występuje przy stężeniach wyższych. Dlatego określanie dynamiki wzrostu stężenia mleczanu we krwi w czasie wysiłku o wzrastającym obciążeniu u każdego badanego pozwala na dokładniejsze określenie wielkości proggu mleczanowego niż stosowany uprzednio próg 4-milimolowy.

Obecnie przyjmuje się, że próg mleczanowy występuje, ponieważ:

- Dostawa tlenu do pracujących mięśni nie zaspokaja rosnących potrzeb.
- Tempo glikolizy osiąga taki poziom, że cała pula tworzonych kwasu pirogronowego nie może być wykorzystana w cyklu Krebsa i część zostaje przekształcona w kwas mlekowy.
- Izoenzym dehydrogenazy mleczanowej obecny we włóknach typu IIA i IIX ma większe powinowactwo do pirogronianu niż do mleczanu, co zwiększa wytwarzanie kwasu mlekowego. Natomiast izoenzym obecny we włóknach typu I ma większe powinowactwo do mleczanu, co zwiększa jego przemianę w pirogronian. W pierwszym okresie wysiłku, o wzrastającej intensywności, są zaangażowane głównie włókna typu I, a więc produkcja kwasu mlekowego jest znikoma. W miarę wzrostu obciążenia pracuje więcej włókien typu IIA i IIX, co przy dużej aktywności znajdującej się w nich izoformy dehydrogenazy mleczanowej przyczynia się do wzrostu stężenia mleczanu we krwi.

- Zmniejsza się szybkość eliminacji mleczanu z krwi. Główną tego przyczyną jest zmniejszenie przepływu krwi przez wątrobę i niepracujące mięśnie.

1.3.2.1. Zastosowanie wyników pomiaru progu mleczanowego

Pomiar progu mleczanowego jest używany w fizjologii wysiłku do:

1. Oceny zdolności do wysiłków tlenowych. Im wyższy próg, tym zdolność do wysiłków tego typu jest większa.
2. Oceny postępu treningu wytrzymałościowego. Przyrost wielkości progu w procesie treningu wytrzymałościowego jest dobrym wskaźnikiem prawidłowości i skuteczności tego treningu.

1.3.3. MET

Koszt energetyczny wysiłku wyraża się w jednostkach o nazwie MET (metabolic equivalent – równoważnik metaboliczny). 1 MET oznacza objętość tlenu w spoczynku zużytą w ciągu jednej minuty. Wynosi ona w przybliżeniu 3,5 ml O₂/kg masy ciała/min. Aby więc wyrazić koszt energetyczny wysiłku w jednostkach MET, należy ilość zużytego tlenu podzielić przez 3,5 oraz przez masę ciała. Natomiast gdy mówimy, że koszt energetyczny wysiłku wynosi np. 5 MET, oznacza to, że dana osoba zużywa 17,5 (5 × 3,5) ml tlenu na kilogram masy ciała na minutę.

1.4. Źródła energii dla mięśni

1.4.1. ATP i fosfokreatyna



Rycina 1.10.

Schemat cząsteczki adenosynotryfosforanu (ATP). ~ oznacza wiązanie bogatoenergetyczne. Strzałką zaznaczono miejsce działania adenosynotryfosfatazy (ATPazy).

Bezpośrednim źródłem energii jest adenosynotryfosforan (ATP, ryc. 1.10). Przy braku ATP nie może wystąpić kolejny skurcz mięśnia. Mięśnie zawierają ok. 25 mmol ATP/kg suchej masy. Jest to ilość, która wystarczałaby zaledwie na pierwsze sekundy pracy. Ponadto nawet w czasie supramaksymalnych wysiłków