

Małgorzata Fortuna



PODSTAWY KSZTAŁTOWANIA
I KONTROLI ZDOLNOŚCI WYŚLĄKOWEJ
TLENOWEJ I BEZTLENOWEJ



Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)

Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)



**PODSTAWY KSZTAŁTOWANIA
I KONTROLI ZDOLNOŚCI WYSIŁKOWEJ
TLENOWEJ I BEZTLENOWEJ**

Małgorzata Fortuna

Jelenia Góra 2008

RADA WYDAWNICZA KOLEGIUM KARKONOSKIEGO

Tomasz Winnicki (przewodniczący), Grażyna Baran,
Izabella Błachno, Aleksander Dziuda, Krzysztof Malczuk,
Kazimierz Stąpór, Józef Zaprucki

RECENZENT

Jan Chmura

FOTOGRAFIA NA OKŁADCE

Małgorzata Fortuna

PROJEKT OKŁADKI

Barbara Mączka

ŁAMANIE

Barbara Mączka

DRUK I OPRAWA

ALEX Drukarnia Wydawnictwo
ul. Chałubińskiego 20a, Jelenia Góra

WYDAWCA

Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze
(Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa)
ul. Lwówecka 18,
58-503 Jelenia Góra

ISBN 978-83-926801-4-7

Niniejsze wydawnictwo można nabyć w Bibliotece i Centrum Informacji Naukowej
Kolegium Karkonoskiego w Jeleniej Górze, ul. Lwówecka 18, tel. 075 645 33 52

Serdecznie dziękuje Panu prof. dr hab. Janowi Chmurze, Dziekanowi Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, za trud recenzowania tej pracy, życzliwe i twórcze uwagi, które pozwoliły udoskonalić ostateczną formę pracy.

Małgorzata Fortuna

SPIS TREŚCI:

WSTĘP	9
1 POJĘCIE ZDOLNOŚCI WYSIŁKOWEJ I JEJ DETERMINANTY	11
2 FIZJOLOGICZNE PODSTAWY WYSIŁKU FIZYCZNEGO, ENERGETYKA	14
3 OBCIĄŻENIE TRENINGOWE	19
3.1 SUPERKOMPENSACJA	23
4 WYDOLNOŚĆ TLENOWA	24
4.1 MAKSYMALNY POBÓR TLENU VO_{2max}	24
5 CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WIELKOŚĆ VO_{2max}	28
5.1 PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z FUNKCJONOWANIEM UKŁADU ODDECHOWEGO	28
5.1.1 WENTYLACJA MINUTOWA PŁUC	29
5.1.2 POJEMNOŚĆ DYFUZYJNA PŁUC	30
5.2. PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z UKŁADEM KRAŻENIA	31
5.2.1 POJEMNOŚĆ MINUTOWA SERCA	31
5.2.2 STĘŻENIE HEMOGLOBINY WE KRWI	33
5.2.3 CIŚNIENIE TĘTNICZE KRWI	34
5.2.4 POJEMNOŚĆ TLENOWA KRWI	35

5.3	PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z PRZEPLYWEM MIĘŚNIOWYM	36
5.3.1	GĘSTOŚĆ KAPILAR W MIĘŚNIU	37
5.3.2	DYFUZJA TLENU DO MITOCHONDRIÓW	38
5.4	PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z METABOLIZMEM MIĘŚNIOWYM	39
5.4.1	GĘSTOŚĆ MITOCHONDRIÓW W MIĘŚNIU	39
5.4.2	MASA MIĘŚNI I TYP WŁÓKIEN MIĘŚNIOWYCH	39
5.4.3	AKTYWNOŚĆ ENZYMÓW OKSYDACYJNYCH W KOMÓRKACH MIĘŚNIOWYCH	42
5.5	KSZTAŁTOWANIE VO_{2max}	42
5.5.1	METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ	45
6.	MAKSYMALNA MOC TLENOWA, DŁUG I DEFICYT TLENOWY	47
7	KONTROLA WYDOLNOŚCI AEROBOWEJ	48
7.1	METODY BEZPOŚREDNIE POMIARU VO_{2max}	51
7.1.1	POMIAR VO_{2max} PRZY UŻYCIU WORKÓW DOUGLASA	53
7.1.2	TESTY DLA DZIECI	55
7.1.3	TESTY DLA OSÓB STARSZYCH	55
7.2	POŚREDNIE METODY POMIARU VO_{2max}	56
7.2.1	TEST ASTRAND – RYHMING	57
7.2.2	METODA MARGARII	63
7.2.3	TEST PWC ₁₇₀	65
7.2.4	TEST BRUCE'A	66
7.2.5	SUBMAKSYMALNY TEST NA BIEŻNI	68
7.2.6	TEST SUBMAKSYMALNY NA ERGOMETRZE ROWEROWYM WEDŁUG FOXA	68
7.3	TESTY TERENOWE OCENY WYDOLNOŚCI TLENOWEJ	68

7.3.1	TEST BIEGOWY COOPERA	68
7.3.2	TEST JEDNOMIŁOWY	71
7.3.3	FIŃSKI TEST CHODU	71
7.3.4	TEST LEGERA	73
7.4	INNE METODY OCENY WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ	73
8	PRÓG TLENOWY I BEZTLENOWY	75
8.1	METODY WYZNACZANIA PROGU TLENOWEGO I BEZTLENOWEGO	77
8.1.1	PRÓBY NA ERGOMETRZE ROWEROWYM	79
8.1.2	PRÓG WENTYLACYJNY	80
8.1.3	ZMODYFIKOWANY TEST WYZNACZANIA PROGU PRZEMIAN BEZTLENOWYCH (wg. CHMURY)	81
8.1.4	ZMODYFIKOWANY TEST CONCONIEGO (wg. CHMURY)	82
8.1.5	PRÓBY BIEGOWE	84
8.1.6	WYKORZYSTANIE PRĘDKOŚCI BIEGOWEJ W KSZTAŁTOWANIU WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ	84
8.2	CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE PPB	85
9	PODSTAWY WYKORZYSTANIA TĘTNA W OCENIE WYDOLNOŚCI TLENOWEJ	87
10	PRÓG PSYCHOMOTORYCZNY ZMĘCZENIA, ZMĘCZENIE	88
10.1	ZMĘCZENIE	88
10.2	PRÓG PSYCHOMOTORYCZNY ZMĘCZENIA	89
11	WYDOLNOŚĆ BEZTLENOWA	92
11.1	METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA SZYBKOŚCI I WYTRZYMAŁOŚCI SZYBKOŚCIOWEJ	92

11.1.1	METODYKA KSZTAŁTOWANIA SZYBKOŚCI	93
11.2	METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA SIŁY I WYTRZYMAŁOŚCI SIŁOWEJ	94
12	KONTROLA WYDOLNOŚCI ANAEROBOWEJ	97
12.1	TESTY LABORATORYJNE	97
12.1.2	CHARAKTERYSTYKA TESTU WINGATE	98
13	SPIS PIŚMIENNICTWA	104

WSTĘP

W niniejszym opracowaniu zawarta jest podstawa wiadomości z zakresu fizjologii wysiłku nie tylko dla nauczycieli wychowania fizycznego ale również stanowi bazę wyjściową dla zainteresowanych dalszą edukacją w kierunku możliwości wykonywania zawodu trenera, czy też może być wykorzystana w specjalizacjach instruktorskich. Czytelnik znajdzie tu pomoc do prowadzenia zajęć dydaktycznych z kluczowych dwóch tematów: 1) wydolności tlenowej; 2) wydolności beztlenowej. Stanowi to bazę realizowanych na zajęciach zagadnień z zakresu fizjologii wysiłku. Informacje dotyczące kształtowania i kontroli wydolności tlenowej będą również przydatne dla studentów fizjoterapii. Opracowanie stanowi łączący w całość zbiór tematycznie dobranych artykułów, monografii, roczników naukowych, książek, rozpraw doktorskich oraz wykładów prezentowanych przez specjalistów z zakresu fizjologii wysiłku. Taki zbiór informacji daje możliwość studentom łatwej dostępności tematycznie zestawionej wiedzy w jednym opracowaniu.

Autor

1. POJĘCIE ZDOLNOŚCI WYSIŁKOWEJ I JEJ DETERMINANTY

Zdolność wysiłkowa jest to według Zagriadskiego i współautorów **zdolność do wykonywania ściśle określonego zadania w ustalonych granicach czasu i parametrach wydajności**. Zdolność wysiłkowa jest rozpatrywana w odniesieniu do charakteru wykonywanej pracy lub do określonej cechy motoryczności (np. siły, szybkości, wytrzymałości tlenowej lub beztlenowej).[34] Według Jethona stanowi ona fizjologiczne podłoże pracy fizycznej niezależnie od czasu trwania i intensywności pracy Kozłowski zastępuje pojęcie zdolności wysiłkowej określeniem wydolność fizycznej, którą definiuje jako zdolność do wykonywania długotrwałej pracy fizycznej bez głębokich zmian w środowisku wewnętrznym ustroju powodujących szybkie narastanie zmęczenia. Zdaniem autora pojęcie wydolności fizycznej obejmuje ponadto tolerancję zmian w środowisku wewnętrznym, jeśli dochodzi do nich podczas wysiłku o dużej intensywności, zaś po zakończeniu wysiłku zdolność do szybkiej likwidacji występujących zaburzeń homeostazy. [40]

Jaskólski określa wydolność fizyczną jako zdolność do ciężkiego lub długotrwałego wysiłku fizycznego, z udziałem dużych grup mięśniowych, bez większych zmian homeostazy, po którego zakończeniu następuje szybki powrót wskaźników fizjologicznych do wartości spoczynkowych. [30]

Według Kubicy wydolność fizyczna jest to zdolność organizmu do wykonywania określonego rodzaju pracy fizycznej, wyrażona poziomem maksymalnych możliwości wysiłkowych oraz sprawnym przebiegiem procesów odnowy. [63]

Malarecki uważa wydolność wysiłkową za zdolność do wykonywania dużych wysiłków fizycznych wywołujących najbardziej efektywne i ekonomiczne reakcje adaptacyjne podczas pracy i wypoczynku. Zdaniem autora jest to biologiczne pojęcie określające całokształt mechanizmów fizjologicznych zapewniających możliwość efektywnego wykonywania dużych wysiłków fizycznych zachodzących bez głębszych zaburzeń ustrojowych zarówno podczas i po pracy. [43]

Do determinant określających zdolność wysiłkową według Kozłowskiego zalicza się:

- energetykę wysiłku, w tym wykorzystanie tlenowego i bez-tlenowego źródła energii do pracy oraz rezerwy energetyczne
- termoregulację
- koordynację nerwowo-mięśniową
- czynniki psychologiczne [40]

Jethon za determinanty zdolności wysiłkowej uznaje:

- Metaboliczne zabezpieczenie pracy fizycznej,
- Zdolność transportowania tlenu i substancji energetycznych,
- Zdolność usuwania produktów przemiany materii,
- Termoregulacja wydolności organizmu,
- Sensoryczno-motoryczna funkcja koordynacyjna,
- Neuro-hormonalna funkcja integracyjna,
- Czynniki konstytucjonalne,
- Czynniki psychologiczne – motywacja. [34]

Zdaniem Jaskólskiego czynniki warunkujące wydolność fizyczną to:

- Przemiany energetyczne – procesy tlenowe, beztlenowe i rezerwy energetyczne,
- Poziom koordynacji nerwowo-mięśniowej,
- Termoregulacja i gospodarka wodno elektrolitowa,
- Właściwości budowy ciała,
- Czynniki psychologiczne. [30]

Analizując czynniki determinujące zdolność wysiłkową Kozłowski wskazuje, że decydujący z nich to maksymalny pobór tlenu (VO_{2max}). Powyższe utożsamianie możliwości wykorzystania tlenu z wydolnością fizyczną datuje się od czasu opublikowania wyników badań Astranda. Na podstawie licznych badań wykazano wysoką współzależność między objętością pracy submaksymalnej, a wysokością VO_{2max} . Współzależność

ta zmniejsza się w odniesieniu do pracy średnio – ciężkiej, długotrwałej i jest stosunkowo niewielka lub znika całkowicie w odniesieniu do krótkotrwałych, maksymalnych wysiłków. Określanie maksymalnej zdolności wysiłkowej opartej na pomiarze VO_{2max} może być czasami błędne. Wells i współautorzy wykazują, że znacznie lepszą ocenę w ciężkiej, wyczerpującej pracy uzyskuje się na podstawie zachowania się poziomu kwasu mlekowego we krwi.[34]

2. FIZJOLOGICZNE PODSTAWY WYSIŁKU FIZYCZNEGO, ENERGETYKA

Wysiłek fizyczny definiuje się jako czynność mięśni szkieletowych, której wynikiem jest wykonywanie pracy zewnętrznej wraz ze wszystkimi towarzyszącymi jej czynnościowymi zmianami w organizmie. Czas trwania wysiłku i jego intensywność oraz rodzaj skurczów mięśni i wielkość grup mięśniowych zaangażowanych w pracę warunkują zakres i rodzaj zmian czynnościowych w organizmie. [30]

Autorzy posługują się różnymi kryteriami w celu klasyfikacji wysiłków fizycznych. Ze względu na rodzaj skurczów mięśni wyróżnić można pracę dynamiczną oraz statyczną. W zależności od wielkości grup mięśniowych zaangażowanych w wysiłek, autorzy wyodrębniają wysiłki lokalne obejmujące do 30% całej masy mięśniowej oraz globalne powyżej 30% masy mięśniowej. Kozłowski podzielił także wysiłki przez pryzmat czasu trwania na wysiłki krótkotrwałe (do kilku minut), wysiłki o średniej długości 20-30 minut oraz wysiłki długotrwałe trwające powyżej 30 minut. Ze względu na wielkość zapotrzebowania organizmu na tlen (intensywność pracy w odniesieniu do obciążenia względnego) wyróżnia się:

- wysiłki maksymalne, w których zapotrzebowanie pracujących mięśni na tlen jest równe indywidualnej wartości VO_{2max} ,
- wysiłki supramaksymalne, gdzie zapotrzebowanie pracujących mięśni na tlen przekracza VO_{2max} ,
- wysiłki submaksymalne, gdzie zapotrzebowanie pracujących mięśni na tlen jest mniejsze niż VO_{2max}

Intensywność maksymalna wysiłku to takie obciążenie pracą fizyczną, przy którym osiągany jest maksymalny pobór tlenu. VO_{2max} jest to maksymalny pobór tlenu, jaki pracujące mięśnie są w stanie zużyć w ciągu 1 minuty na poziomie wysiłku maksymalnego.

Kolejnym kryterium jest podział w oparciu o przemiany energetyczne zachodzące w organizmie. Autorzy wyróżniają pracę:

- tlenową (aerobowa), gdzie intensywność jest nie duża, a czas trwania długi,
- mieszaną, tlenowo-beztlenową (aerobowo – anaerobową) trwającą do 70-80 min. o wyższej intensywności, niż w pracy tlenowej,
- beztlenową (anaerobową), glikolityczno-mleczanową o dużej intensywności i czasie trwania do 2-3 minut,
- beztlenową fosfagenową o dużej intensywności i pracy trwającej przez 10-15 sekund. [30,40,63]

Tab.1 Podział i charakterystyka wykonanej pracy w oparciu o przemiany energetyczne [15]

Procesy beztlenowe	System beztlenowy niemleczanowy	ATP + CP	Szybkość siła dynamiczna
	System beztlenowy mleczanowy	Glikogen – kwas mlekowy	Wytrzymałość beztlenowa
Procesy tlenowe	System tlenowo-beztlenowy	Glikogen – glukoza +O ₂	Wytrzymałość tlenowo - beztlenowa
	System tlenowy	Tłuszcze + O ₂	Wytrzymałość tlenowa

Bezpośrednim źródłem energetycznym do pracy mięśniowej jest adenozynotrójfosforan – ATP. Zasoby ATP w organizmie są niewielkie wynoszą około 100g, dlatego związek ten musi być stale odtwarzany. Głównym źródłem odtwarzania ATP są węglowodany i tłuszcze, lecz w momencie gdy dochodzi do wyczerpania tych zasobów, odnowienie tego związku odbywa się kosztem fosfokreatyny. Wraz z wydłużaniem się czasu trwania wysiłku uruchamiany jest mechanizm uzyskiwania energii z procesu glikolizy. W pierwszej fazie przebiega ona w warunkach beztlenowych, zaś jej produktem jest kwas mlekowy.

W wysiłkach krótkotrwałych dynamicznych resynteza ATP odbywa się za pomocą dwóch szlaków: √ Pierwszego beztlenowo – niemle-

czanowego, gdzie obecne są reakcje kinazy adenylanowej i reakcje rozpadu fosfokreatyny. √ Drugi szlak beztlenowo – mleczanowy (tzw. glikoliza beztlenowa) obejmuje odbudowę ATP za pośrednictwem kinazy 3-fosfoglicerynianowej i reakcję kinazy pirogronianowej [16]

Udział procesów beztlenowych w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego jest różny w zależności od czasu trwania wysiłku i jego intensywności. Największy udział towarzyszy początkowemu okresowi wysiłku, zanim nastąpi aktywacja przemian tlenowych w mitochondriach, zaś czynność układów krążenia i oddechowego osiągną poziom odpowiadający zapotrzebowaniu tlenowemu. Jest to okres deficytu tlenowego i trwa zwykle kilka minut (od 3 do 6 minut).

Na skutek przemian beztlenowych dochodzi do zmniejszenia zasobów wysokoenergetycznych związków fosforowych (głównie fosfokreatyny) oraz do nagromadzenia w komórkach mięśni i w płynach ustrojowych pirogronianiu i mleczanu. Resynteza fosfokreatyny i eliminacja produktów glikolizy następuje częściowo w czasie trwania wysiłku, częściowo zaś po jego zakończeniu. Po zakończeniu pracy utrzymuje się podwyższony poziom poboru tlenu, określane jako dług tlenowy.

Podczas pierwszych sekund wysiłku zawartość ATP i fosfokreatyny w komórka mięśniowych szybko się zmniejsza. Jeśli intensywny wysiłek trwa od 10 do 30 sekund glikoliza może osiągnąć wartość maksymalną. Pod koniec tego wysiłku głównym substratem energetycznym jest glikogen. Tak więc rozkład fosfokreatyny wystarcza jedynie na kilka pierwszych sekund pracy. Proces ten jest aktywowany natychmiast po rozpoczęciu pracy w wyniku zwiększenia stężenia ADP.

W wysiłkach trwających od 30 sekund do 10-15 minut głównym substratem energetycznym jest glikogen mięśniowy, który w procesie glikogenolizy dostarcza glukozy. Podczas pracy o maksymalnej intensywności po ok. 3-4 minut jej czasu trwania występuje największe stężenie mleczanu w komórkach mięśniowych. W wysiłkach długotrwałych mleczan wytwarza się, jeżeli obciążenie przekracza tzw. prób przemian beztlenowych.

Podczas wysiłków trwających ponad 15-60 minut udział procesów beztlenowych w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego nie przekracza 10%. Przy obciążeniach względnych mniejszych niż 30%

VO_{2max} wytwarzanie mleczanu w komórkach mięśniowych - jest niewielkie. Przy obciążeniach większych niż 50-60% VO_{2max} produkcja może być znaczna (wartość przyjęta dla osób wytrenowanych w przypadku osób o małej wydolności ta granica przekracza 30% VO_{2max}). Udział glikogenu zawartego w pracujących mięśniach w pokrywaniu ich zapotrzebowania energetycznego w pierwszych minutach sięga 90%, zaś w miarę kontynuowania wysiłku zmniejsza się. Po 30-40 minutach pracy z obciążeniem 30-50% VO_{2max} udział glikogenu zmniejsza się do 30%.

Utlnienie wolnych kwasów tłuszczowych ma miejsce w wysiłkach o dłuższym czasie trwania, a mianowicie od 15 do 60 minut i stopniowo zwiększa się w miarę kontynuowania pracy. Udział tego procesu w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego wynosi 30-40%. Procentowy udział wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) w pokrywaniu zapotrzebowania metabolicznego jest tym większy, im mniejsza intensywność wysiłku.

W czasie długotrwałej pracy powyżej 60 minut, zapotrzebowanie energetyczne prawie w całości pokrywane jest przez procesy tlenowe. [30,40,43,63]

Bioenergetyka wysiłku szybkościowego obejmuje głównie bez-tlenowe procesy metaboliczne, ale również tlenowe procesy, np.: w czasie aktywnego wypoczynku pomiędzy powtórzeniami odcinków biegowych. Kształtowanie szybkości w ramach przemian bez-tlenowo – mleczanowych ze źródeł fosfagenowych nie doprowadza do wytwarzania znacznej ilości mleczanu i szybkiego pojawienia się kwasicy metabolicznej. O starcie decydują zasoby ATP, a o rozwinięciu prędkości na kilkunastu metrowym dystansie zasoby fosfokreatyny. Maksymalna moc bez-tlenowa jest to największa możliwa do osiągnięcia moc w jak najkrótszym czasie, w trakcie wykonywania wysiłku dynamicznego. Podstawowym zadaniem ćwiczeń szybkościowych powinno być podwyższenie mocy bez-tlenowej oraz wzbogacenie potencjału bez-tlenowego źródeł energetycznych, głównie zawartości ATP i fosfo-kreatyny. Pozwala to rozwinąć większą moc maksymalną i równocześnie uzyskać większe przyspieszenie. Trening siłowy wpływa poprzez zwiększenie siły mięśniowej na zmiany maksymalnej mocy bez-tlenowej. Wysoka zawartość glikogenu mięśniowego umożliwia kontynuowanie wysiłku o wysokiej intensywności przez dłuższy czas. W czasie każdego

wysiłku fizycznego zwiększa się zapotrzebowanie komórek mięśniowych na tlen ponieważ jest on niezbędny do utleniania węglowodanów i tłuszczów dostarczających energię do pracy mięśni, czyli do resyntezy ATP, a zarazem daje to możliwość do wykonania wysiłku o charakterze ciągłym o stałej intensywności i długim czasie trwania.

Tab.2 Źródła materiałów energetycznych dla skurczu mięśnia
(wg. Hultmanna i Harrisa 1988) [16]

Źródło materiału energetycznego	Maksymalna szybkość tworzenia ATP (mmol \times sek ⁻¹)
ATP mięśni	-
Fosfokreatyna	73,3
Przemiana glikogenu mięśni do mlecza	39,1
Przemiana glikogenu mięśni do CO ₂	16,7
Przemiana glikogenu wątroby do CO ₂	6,2
Przemiana kwasów tłuszczowych tkanki tłuszczowej do CO ₂	6,7

3. OBCIĄŻENIE TRENINGOWE

Głównym celem każdego procesu szkoleniowego jest trening i związana z tym praca. Praca wyrażana jest poprzez zastosowanie właściwych obciążeń treningowych. Zgodnie z definicją Sozańskiego obciążenie treningowe (wysiłkowe) jest to wielkość pracy określonego rodzaju i intensywności, jaka została wykonana w danym ćwiczeniu, jednostce treningowej czy cyklu. [55,56]

Obciążenia treningowe wyrażone są poprzez:

- a) Objętość treningu – jest to ilościowy składnik treningu wyrażony:
 - czasem,
 - odległością,
 - ciężarem,
 - liczbą powtórzeń.
- a) Intensywność pracy fizycznej – jest jakościową składową procesu treningowego, wynikającą z:
 - liczby powtórzeń ćwiczenia w jednostce czasu,
 - szybkości jego wykonania,
 - kompleksowości ćwiczenia,
 - długości czasu poświęconego na odpoczynek między ćwiczeniami.[33, 35]

Odpowiednio dobrane obciążenie treningowe jest niezbędnym czynnikiem kształtującym zdolność wysiłkową człowieka. Poprzez różnicowanie objętości i intensywność wysiłku wywoływane są określone procesy adaptacyjne, niezbędne do podnoszenia stanu wytrenowania, a zarazem kształtowania zdolności wysiłkowej pod różnym kątem: kształtowania wytrzymałości tlenowej, beztlenowej, siły, czy szybkości. [50,57]

Klasyfikacja obciążeń w obszarze energetycznym wyróżnia pięć stref intensywności wysiłku, opierając się na podstawowych kryteriach:

- Fizjologicznych – poziom HR przed pracą i bezpośrednio po pracy,

- Biochemicznych – poziom stężenia mleczanu we krwi,
 - Czasowych – czas trwania wysiłku o danej intensywności. [6, 36]
- Strefa pierwsza stanowi intensywność ćwiczeń na poziomie bardzo małym i małym. Podczas pracy HR nie powinno przekroczyć 130-140 uderzeń na minutę. Przemiany zachodzące w organizmie są tlenowe, zaś oddziaływanie ma charakter podtrzymujący.
 - W strefie drugiej występuje intensywność ćwiczeń umiarkowana lub duża. Bezpośrednio po pracy HR powinno oscylować w granicach 160-180 uderzeń na minutę. Czas trwania serii pojedynczych wysiłków zwykle wynosi powyżej 300 sekund (do 3 godzin i więcej w ciągłej pracy). Ćwiczenia bazują głównie na przemianach o charakterze tlenowym.
 - Strefa trzecia ma charakter przemian energetycznych mieszanych tlenowo-beztlenowych. Intensywność ćwiczeń jest duża do submaksymalnej. HR bezpośrednio po wysiłku przekracza 180 uderzeń na minutę, czas trwania pojedynczych wysiłków trwa do 300 sekund.
 - Strefa czwarta charakteryzuje się wzrostem intensywności zbliżonej do maksymalnej. Przemiany mają charakter beztlenowy kwasomlekowy, zaś czas trwania ćwiczeń waha się od 21 do 120 sek. HR bezpośrednio po pracy jest większe niż 190 uderzeń na minutę.
 - Piąta strefa charakteryzuje się maksymalną, lub zbliżoną do maksymalnej intensywnością. Zachodzące przemiany są beztlenowe niekwasomlekowe, ćwiczenia trwają do 20 sekund – czas każdego powtórzenia w odniesieniu do maksymalnych możliwości powinny być głównym kryterium intensywności wysiłku w tej strefie. HR bezpośrednio po pracy wynosi od 130 do 180 uderzeń na minutę. Niektórzy autorzy wyodrębniają także dodatkową strefę szóstą, która obejmuje ćwiczenia nasilające przemiany anaboliczne. Przedstawiony podział w odniesieniu do reakcji HR dotyczy osób w przedziale 20-30 lat [6,55,56]

Charakterystykę poszczególnych zakresów intensywności przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Metodycznie fizjologiczna charakterystyka obciążeń wysiłkowych wg Sozańskiego

Zakres intensywności		Strefa przemian energetycznych en										Kierunek oddziaływania
		Charakterystyka obciążeń										
		Metoda	Intensywność	Czas		liczba		Czas przerwy między seriami (min)	Trwania pracy	Przerwy między powtórzeniami	Powtórzeń	
1. Podtrzymująca	Przed ok. 65% HRmax (120)			Bardzo mała	Bez ograniczeń	Dużo						
	Po ok. 70 % HRmax	mała	Bez ograniczeń									Restytucja
Tlenowa	Przed 70% HRmax (160)	Ciągła	Umiarkowana	>60'								Wytrzymałość długo i średnio-okresowa
		Zmienna	Duża	30 - 60'								
	Powtórzeniowa	Duża	5-20'	Ponad 5'	2 - 12'							
	Interwałowa	Duża	1-4'	30'' - 1,5'	Ponad 10'							
3. Mieszana tlenowo-beztlenowa	Przed 60-70% HRmax (120 - 130)	Zmienna	Duża	Do 60'								Wytrzymałość krótko i średnio-okresowa,
		Zmienna	Submaksymalna	Do 30'								
	Interwałowa	Duża	1-1,5'	30'' - 1,5'	3-10'	1-4'	10-15'					

3.1 SUPERKOMPENSACJA

Obciążenia treningowe są ściśle powiązane z zagadnieniem adaptacji organizmu sportowca do wymogów uprawianej dyscypliny. Adaptacja ta bazuje na systematycznym wykonywaniu określonej pracy, wywołującej specyficzne zmęczenie a następnie prowadzącej do superkompensacji. [30]

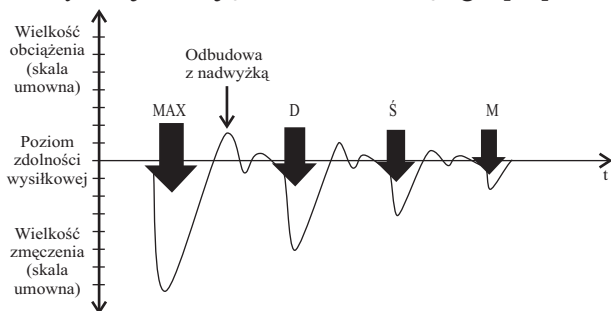
Superkompensacja jest to potreningowy efekt powtarzający się po wykonanej pracy o określonej intensywności i objętości. Po zakończonym treningu u zawodników, na skutek wyczerpania substratów energetycznych pojawia się zmniejszenie możliwości funkcjonalnych organizmu. Dochodzi do zmęczenia zawodnika, co *de facto* jest warunkiem do podniesienia stanu wytrenowania. Organizm w celach obronnych, w następnej fazie wypoczynku nie tylko odbudowuje biochemiczne źródła energetyczne – proces kompensacji, ale występuje proces superkompensacji, a więc nadwyżki zasobów. To właśnie ten stan jest podstawą do zwiększania możliwości funkcjonalnych organizmu. Efekt ten nie utrzymuje się długo, stąd występuje konieczność systematycznych treningów. [6, 30]

Wielkość i czas wystąpienia superkompensacji zależy od:

- siły bodźca; • charakteru bodźca; • reaktywności ćwiczącego.

Im bodziec jest silniejszy tym większe zmęczenie, ale wyraźniejszy efekt superkompensacji. Zależność pomiędzy wielkością pracy, zmęczeniem a przebiegiem procesu restytucyjnego przedstawia wykres 1.

Racjonalne dawkowanie obciążeń powinno być oparte na ocenie wydolności fizycznej i umiejętnościach ćwiczącego. [50]



Wykres 1. Zależność między wielkością wykonanej pracy, zmęczeniem a przebiegiem procesu restytucyjnego. Max – praca o bardzo dużym obciążeniu; D – praca o dużym obciążeniu; Ś – praca o średnim obciążeniu; M – praca o małym obciążeniu [50]

4. WYDOLNOŚĆ TLENOWA

4.1 MAKSYMALNY POBÓR TLENU VO_{2max}

Pułap tlenowy (VO_{2max}) jest podstawowym wskaźnikiem funkcji zaopatrzenia tlenowego, jest to maksymalna ilość tlenu, która może być pobrana podczas wysiłku maksymalnego z powietrza atmosferycznego i przetransportowana z pęcherzyków płucnych do tkanek (mięśni)[16]. Wartość pułapu tlenowego określa wydolność tlenową, zwaną wydolnością aerobową. Maksymalnemu poborowi tlenu odpowiada maksymalny wysiłek fizyczny. Poziom pułapu tlenowego wyraża się w następujących jednostkach:

- litr O_2 na minutę (l/min) lub mililitr O_2 na minutę (ml/min),
- mililitr O_2 na kilogram masy ciała na minutę (ml/kg/min).

Poza wyżej wymienionymi jednostkami, podczas niektórych eksperymentów VO_{2max} wyrażany jest również w :

- mililitrach O_2 na kg beztłuszczowej masy ciała na minutę (ml/kg/LBM/min),
- mililitrach O_2 na kg aktywnej masy mięśniowej na minutę (ml/kg/m.m./min).

Ponadto, intensywność wysiłku czyli jego ciężkość określa się w procentach VO_{2max} .

W aspekcie czynnościowym VO_{2max} jest kompleksowym wskaźnikiem sprawności całego systemu transportującego tlen od momentu wdechu powietrza atmosferycznego, aż do jego wykorzystania w tkankach mięśniowych.

Wówczas, gdy VO_{2max} jest wyrażany w mililitrach O_2 na kg aktywnej masy mięśniowej na minutę, to eliminacji ulega zależność całkowitej ilości pobieranego tlenu od masy ciała

i pułap tlenowy zależy wyłącznie od mechanizmów warunkujących jego dowóz do tkanek oraz jego wykorzystanie w pracujących mięśniach.

Wielkość pułapu tlenowego jest uwarunkowana sprawnością narządów oraz mechanizmów zaangażowanych w dostarczanie tlenu do tkanek, skutecznością mechanizmów prowadzących do wykorzystania tlenu w procesach energetycznych oraz masą ciała. Maksymalny pobór tlenu jest wartością stałą dla danego osobnika, jednakże może on ulegać odchyleniom pod wpływem różnych czynników, np. treningu lub zmian patologicznych w obrębie, między innymi, układu oddechowego lub układu krążenia.

Maksymalny pobór tlenu ma różne wartości u poszczególnych osób. U osób dorosłych, u wytrenowanych sportowców sięga 85 ml/kg/min. Średnia wartość VO_{2max} u zdrowych, niewytrenowanych dorosłych to około 44-55 ml/kg/min. Wartość VO_{2max} jest niższa u kobiet i osób w podeszłym wieku, np. w 60 roku życia wynosi około połowę tego, co w wieku dwudziestu lat. Przyjmuje się, że najniższa wartość VO_{2max} umożliwiająca pełną niezależność lokomocyjną człowieka wynosi ona około 15 ml/kg/min.

Maksymalny pobór tlenu wzrasta wraz z dorastaniem osobnika, a wyjściowe wielkości tego parametru około szóstego roku życia u dziewcząt i chłopców są podobne i wynoszą około 48 ml/kg/min. U chłopców w kolejnych latach, aż do około dwunastego roku życia, VO_{2max} systematycznie wzrasta do wartości około 52 ml/kg/min, a następnie utrzymuje się na względnie stałym poziomie, aż do osiemnastego roku życia. U dziewcząt pomiędzy szóstym, a osiemnastym rokiem życia następuje ciągły spadek wielkości VO_{2max} w ml/kg/min. W wieku osiemnastu lat VO_{2max} u dziewcząt wynosi około 40 ml/kg/min. Głównym czynnikiem spadku i pomniejszania się tej wartości VO_{2max} u dziewcząt ma większy udział tkanki tłuszczowej w przyroście masy ciała.

U zdrowych studentów wielkość VO_{2max} zawiera się w przedziale 45 do 55 ml/kg/min. Wartość 60 ml/kg/min obserwuje się jedynie u osób aktywnych fizycznie. Wartości wyższe niż 70 ml/kg/min występują u zawodników osiągających sukcesy międzynarodowe w konkurencjach wytrzymałościowych.

Duża wartość VO_{2max} , czyli inaczej mówiąc duży pułap tlenowy, pozwala realizować odpowiednio długo wysiłek o znacznej (ale nie maksymalnej) intensywności bez zaciągania długu tlenowego, a więc bez zakwaszenia mięśni. Trzeba jednak zaznaczyć, iż wyższy wskaźnik wartości VO_{2max} u trenujących jest nie tylko wynikiem treningu, ale jest uwarunkowany genetycznie (w stopniu mniejszym niż 50 %) oraz uwarunkowany jest przez czynniki środowiskowe (w każdej populacji znajduje się tylko trzy procent osobników z wysokim VO_{2max}). Wytrenowalność wskaźnika VO_{2max} dochodzi jedynie do 20-30 %, a wskaźnik VO_{2max} w różnych dyscyplinach sportowych osiąga zróżnicowane wartości, co przedstawia poniższa tabela.

Poniższe wyniki wskazują, że maksymalny pobór tlenu w grupie sportowców u kobiet jest niższy niż u mężczyzn, a wyższe wartości VO_{2max} świadczą o lepszej wydolności w wysiłkach długotrwałych, przez co pomiar tego czynnika należy do głównych kryteriów oceny wytrenowania sportowca. Im wyższe VO_{2max} u człowieka, tym większą i dłużej trwającą pracę może on wykonać w warunkach równowagi czynnościowej i tym większą reprezentuje wydolność fizyczną. [16]

Tab. 4 Wartości maksymalnego zużycia tlenu w różnych dyscyplinach sportu [51]

Rodzaj sportu	Maksymalne zużycie tlenu (ml/kg/min)	
	Mężczyźni	Kobiety
Sporty wytrzymałościowe		
Biegi długie	75-80	65-70
Kolarstwo	70-75	60-65
Biegi średnie	70-75	65-68
Biegi na orientację	65-72	60-65
Pływanie	65-70	55-60
Wioślarstwo	65-69	60-64
Kajakarstwo	60-68	50-55
Chód	60-65	55-60
Gry zespołowe		
Piłka nożna	50-57	-
Siatkówka	55-60	48-52
Koszykówka	50-55	40-45
Tenis	48-52	40-45
Tenis stołowy	40-45	38-42
Sporty walki		
Boks	60-65	-
Zapasy	60-65	-
Judo	55-60	48-52
Szermierka	45-50	40-45
Sporty szybkościowe		
Sprinty (100m, 200 m)	48-52	43-47
Skok w dal	50-55	45-50
Dziesięciobój	60-65	50-55
Podnoszenie ciężarów	40-50	-
Rzut dyskiem	40-45	35-40
Rzut młotem	45-50	42-47
Skok o tyczce	45-50	-
Sporty techniczne		
Jazda figurowa na lodzie	50-55	45-50
Gimnastyka	45-50	40-45
Gimnastyka artystyczna	-	40-45
Strzelanie	40-45	35-40

5. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WIELKOŚĆ VO_{2max}

5.1 PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z FUNKCJONOWANIEM UKŁADU ODDECHOWEGO

Adaptacja układu oddechowego do wysiłku fizycznego polega głównie na dostarczaniu dodatkowego O_2 , usuwaniu nadmiaru CO_2 oraz zapobieganiu kwasicy metabolicznej. Podczas wysiłku fizycznego zapotrzebowanie organizmu na tlen wzrasta. W spoczynku zużycie tlenu wynosi około 250ml/min, natomiast podczas wysiłku fizycznego wzrasta nawet do około 3-4 l/min, a u osób wytrenowanych osiąga 5-6 l/min [13]. Tlen pobierany z atmosfery wykorzystywany jest przez pracujące mięśnie. W czasie spoczynku pobór ten wynosi około 10-15% tlenu zużywanego przez organizm, a wielkość ta znacznie wzrasta podczas wysiłku fizycznego, osiągając nawet 80-90%. W tym samym czasie wzrasta też wytwarzanie się CO_2 , który wpływa na zakwaszanie mięśni, gdy jego utylizacja jest niewystarczająca.

Zadaniem układu oddechowego jest pokrycie większego zapotrzebowania na tlen poprzez wzrost wentylacji minutowej płuc.

Układ oddechowy posiada ogromną rezerwę funkcjonalną. Podczas wysiłku fizycznego jedynie część jego struktur metabolicznych jest wykorzystywana na potrzeby wymiany gazowej. W sytuacji normy fizjologicznej parametry układu oddechowego nie stanowią czynnika ograniczającego osobnicze możliwości do wykonywania intensywnej pracy fizycznej. Reakcje układu oddechowego podczas intensywnej pracy fizycznej mogą zwiększać się nawet do dwudziestokrotnej wartości spoczynkowej, co sprawia, że istnieje duża rezerwa czynnościowa płuc w zaspokajaniu potrzeb wymiany gazowej ustroju.

Podstawowe czynniki związane z funkcjonowaniem układu oddechowego mające wpływ na wykonywanie intensywnej pracy fizycznej, a przez to warunkujące wartość VO_{2max} to: wentylacja minutowa i pojemność dyfuzyjna płuc.

5.1.1 WENTYLACJA MINUTOWA PŁUC

Jednym z wybranych czynników mających wpływ na VO_{2max} , związanym z funkcjonowaniem układu oddechowego, jest wentylacja minutowa płuc, oznaczana skrótem VM. Zjawisko wentylacji płuc definiowane jest przez Przybylskiego jako cykliczny proces wymiany i odświeżania gazów w pęcherzykach płucnych zachodzący dzięki naprzemiennym wdechom i wydechom. Proces ten wyrażany jest jako iloczyn objętości oddechowej, czyli objętości powietrza wprowadzonego do płuc w czasie spokojnego wdechu, oznaczanej jako TV oraz liczby wdechów w czasie jednej minuty BF [14]. Powyższe twierdzenie zostało przedstawione za pomocą wzoru:

$$VM = TV \cdot BF$$

Z powyższego wzoru wynika, że jeśli przyjmiemy $TV = 500$, a $BF = 12-15$ oddechów na minutę, to przykładowo VM u osoby zdrowej w spoczynku wynosić będzie około 6000-7500 ml. Docelowo do pęcherzyków płucnych dociera jedynie 70% objętości oddechowej, natomiast pozostałe 30% objętości oddechowej wentyluje tzw. przestrzeń martwą, tj. górne drogi oddechowe i oskrzela.

Z chwilą rozpoczęcia wysiłku fizycznego wentylacja minutowa płuc gwałtownie wzrasta i jest ona zależna od intensywności wysiłku, czasu trwania oraz od rodzaju wysiłku fizycznego. Podczas umiarkowanego wysiłku fizycznego VM wzrasta wprost proporcjonalnie do jego intensywności, a dzieje się tak głównie dzięki zwiększeniu się objętości oddechowej.

Jak wykazują badania, VM wynosi 20-25 l powietrza na 1 l pobranego tlenu, co oznacza, że przez płuca musi przepłynąć 20-25 l powietrza, aby organizm mógł pobrać 1 l tlenu. Liczbę tę nazywa się ekwiwalentem wentylacyjnym [22].

U osób wytrenowanych wentylacja płuc jest mniejsza, co świadczy o lepszej ekonomice organizmu, tzn. że do wykonania tej samej pracy osoby wytrenowane potrzebują mniej nakładów energetycznych, przejawiających się między innymi mniejszą wentylacją i mniejszym pobieraniem tlenu.

Maksymalna minutowa wentylacja płuc VMmax jest różna u ludzi o różnej wydolności fizycznej. U ludzi o dobrej wydolności fizycznej VMmax wynosi ok. 110-130 l/min, natomiast u ludzi o małej wydolności zaledwie 70-90 l/min. U sportowców VMmax dochodzi nawet do 150-160 l/min, a w niektórych przypadkach nawet do 200-210 l/min. Podczas wysiłku VMmax może się więc zwiększyć 25 razy w stosunku do wartości spoczynkowej [40].

Wartość VMmax jest zależna od płci (organizmy kobiet charakteryzują się mniejszymi wartościami VMmax, niż organizmy mężczyzn) oraz od procesów starzenia się organizmu, które powodują spadek wentylacji płuc. Poprzez trening wytrzymałościowy wartość maksymalnej wentylacji minutowej płuc może ulec zwiększeniu, ponieważ wzrost wydolności tlenowej wiąże się z większym zapotrzebowaniem na tlen i wzmożonym wydalaniem CO_2 .

5.1.2 POJEMNOŚĆ DYFUZYJNA PŁUC

Drugim z wybranych czynników związanych z funkcjonowaniem układu oddechowego mającym wpływ na $\text{VO}_{2\text{max}}$ jest pojemność dyfuzyjna płuc definiowana jako miara dyfuzyjnego przenikania gazu między pęcherzykami płucnymi, a krwią przepływającą przez naczynia włosowate płuc. Jest to objętość gazu dyfundująca przez błonę pęcherzykowo-włosniczkową w ciągu jednej minuty przy różnicy ciśnień parcjalnych wynoszących 1 mmHg [22].

W czasie trwania wysiłku fizycznego pojemność dyfuzyjna płuc wzrasta wraz z wzrastającym obciążeniem. Wartość pojemności dyfuzyjnej płuc dla tlenu podczas intensywnych wysiłków fizycznych wzrasta znacznie i osiągać może do 30-40 ml/min/Hg. Dzieje się tak w wyniku zwiększonego ciśnienia parcjalnego tlenu w pęcherzykach płucnych, ponadto zwiększa się powierzchnia dyfuzji.

Zależność pomiędzy pojemnością dyfuzyjną płuc, a $\text{VO}_{2\text{max}}$ nie zachodzi u osobników młodych (udowodniono, że ilość tlenu, jaka może przeniknąć z powietrza pęcherzykowego do krwi w naczyniach włosowatych płuc przekracza ilość, jaką krew może pochłonąć), u ludzi z zaburzeniami wymiany gazowej oraz w warunkach obniżonej prężności tlenu w powietrzu pęcherzykowym. Brak wzrostu oraz pomniejszenie się pojemności dyfuzyjnej płuc w wyżej wymienionych przypadkach powoduje zmniejszenie wydolności fizycznej.

5.2 PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z UKŁADEM KRAŻENIA

Czynnikami morfologicznymi i funkcjonalnymi, które charakteryzują stan wysokiego przystosowania układu krążenia do wykonywania ciężkich wysiłków fizycznych są budowa i praca mięśnia sercowego oraz naczyń obwodowych. Wpływ czynników związanych z układem krążenia na pułap tlenowy określa następująca zależność – niski stopień adaptacji układu krążenia do pracy fizycznej obniża wartość VO_{2max} i stanowi o niskiej wydolności fizycznej.

5.2.1 POJEMNOŚĆ MINUTOWA SERCA

Pojemność minutowa serca (Q) stanowi o ilości krwi przepływającej przez lewą komorę serca w ciągu jednej minuty. Pojemność minutowa serca jest iloczynem objętości wyrzutowej (SV) i częstości skurczów serca (HR) uzyskanych w ciągu minuty.[30] Zależność ta jest przedstawiana wzorem:

$$Q = SV \cdot HR$$

Wartość spoczynkowa objętości wyrzutowej wynosi około 70 ml, a częstość skurczów serca 70/min, co daje pojemność minutową serca około 4,9l/min.

O pojemności minutowej serca decyduje powrót żylny, czyli taka ilość krwi, która napłynie do serca i którą serce może przepompować. W większości tkanek przepływ krwi, a co za tym idzie – pojemność minutowa serca, wzrasta proporcjonalnie do metabolizmu zwiększającego się pod wpływem, np. wysiłku fizycznego. Pojemność minutowa serca zwiększa się także pod wpływem takich katecholamin jak: adrenalina, noradrenalina, dopomina [30].

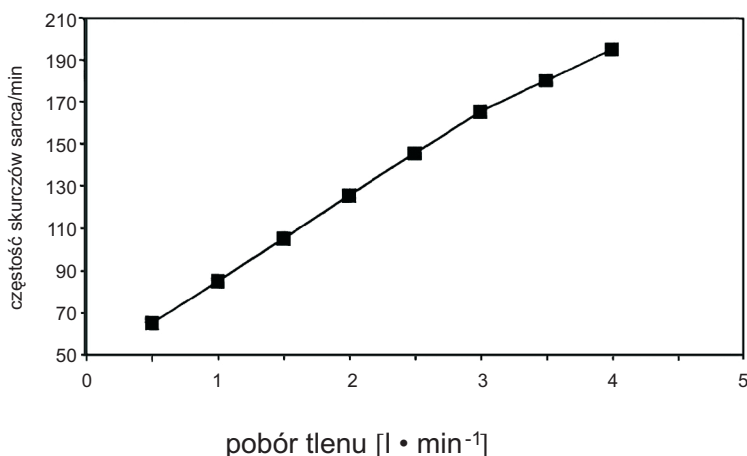
Pojemność minutowa serca jest uważana za najważniejszy czynnik warunkujący wydolność tlenową. Dzieje się tak, ponieważ podczas wysiłku fizycznego zwiększa się częstość skurczów serca i jego objętość wyrzutowa, a to wiąże się ze wzrostem pojemności minutowej serca. U człowieka HR spoczynkowe według Światowej Komisji Zdrowia

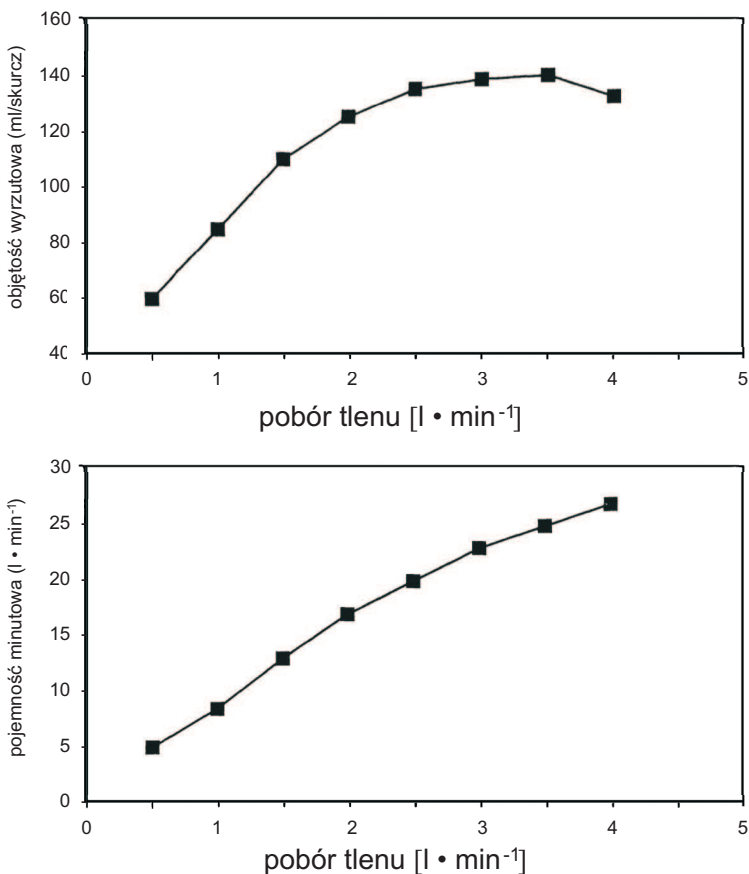
(WHO) w stanie spoczynku mieści się w przedziale 60-90 ud/min. W stanie wysiłków o bardzo dużym obciążeniu dochodzi do około 190-220 ud/min (uzyskana wartość zależy od m. in. stanu wytrenowania, wieku osoby badanej), a SV, która zależna jest od kurczliwości komór oraz objętości krwi w komorze na końcu rozkurczu, może dochodzić u sportowców konkurencji wytrzymałościowych nawet do 200 ml. Wynika z tego, że pojemność minutowa serca może wzrosnąć u nich do 40 l/min. Wskaźnik ten jest uzależniony od: płci, wieku, pozycji ciała, intensywności i czasu trwania wysiłku.

Zwiększenie pojemności minutowej serca w czasie wysiłku fizycznego zwiększa dopływ tlenu do pracujących mięśni. Z badań przeprowadzonych przez Beregarda wynika, że aby pochłanianie tlenu przez organizm podczas wysiłku fizycznego wzrosło o 1 l/min, to pojemność minutowa serca musi zwiększyć się o około 6 l/min [40].

Zwiększenie objętości krwi przyczynia się głównie do wzrostu objętości wyrzutowej serca. Jest to jeden z najważniejszych mechanizmów prowadzących do zwiększania VO_{2max} pod wpływem treningu.

Wyżej wymienione aspekty wskazujące na istniejącą zależność pomiędzy wzrostem częstości skurczów serca, objętości wyrzutowej serca oraz pojemności minutowej serca a poborem tlenu ilustruje poniższa rycina 1





Ryc. 1. Zmiany wskaźników fizjologicznych serca w zależności od ilości pobranego tlenu [30]

5.2.2 STĘŻENIE HEMOGLOBINY WE KRWI

Głównym zadaniem hemoglobiny jest transport tlenu z krwią do tkanek. Cząsteczka hemoglobiny, zawierająca atom żelaza wiąże się z jedną cząsteczką tlenu tworząc oksyhemoglobinę. Swoją funkcję, hemoglobina pełni dzięki esowatemu kształtowi krzywej dysocjacji (wiązania) tlenu, który to kształt sprzyja oddawaniu tlenu w tkankach i pobierania go w płucach.

Jaskólski podaje, że jeden gram hemoglobiny przyłącza 1,34 ml tlenu, co oznacza, że w jednym litrze krwi tętniczej, która zawiera 160 g hemoglobiny u mężczyzn i 140 g u kobiet, może transportować odpowiednio około 210 i 180 ml tlenu. Przy prężności tlenu we krwi tętniczej 95-100mmHg hemoglobina jest wysycona tlenem w 96-98%.

Stężenie hemoglobiny i czerwonych ciałek we krwi przez transport tlenu w znacznym stopniu poprawia wydolność osobniczą. Ilość hemoglobiny w organizmie i stan erytrocytów wpływają na utrzymywanie wysokiego poziomu przemian tlenowych i opóźniają zjawisko zmęczenia mięśnia w czasie wykonywania wysiłków fizycznych. Jednak zbyt silne stężenie hematokrytu krwi powyżej 55% powoduje nadmierne zagęszczenie krwi, które jest niekorzystne dla organizmu powodując obciążenie mięśnia sercowego.[30]

5.2.3 CIŚNIENIE TĘTNICZE KRWI

Tętnicze ciśnienie krwi jest siłą, z jaką krew działa na ścianki naczyń, powodując ruch krwi w układzie krążenia. W stanie spoczynku (według WHO) prawidłowe wartości mieszczą się w przedziale 90/60 do 140/90 mmHg.

Ciśnienie tętnicze krwi jest jednym z trzech mechanizmów determinujących wzrost przepływu krwi przez mięśnie w warunkach wysiłku dynamicznego.

Wartość ciśnienia tętniczego krwi zapisywana jest w postaci dwóch liczb np. 110/90 mmHg. Pierwsza liczba stanowi o wartości ciśnienia skurczowego, druga o wartości ciśnienia rozkurczowego. Ciśnienie krwi rozkurczowe (diastoliczne) jest najniższym ciśnieniem w układzie krwionośnym występującym podczas rozkurczu pracy serca. Ciśnienie krwi skurczowe (systoliczne) jest ciśnieniem krwi podczas skurczu komór serca.

Podczas wysiłków fizycznych wartość ciśnienia rozkurczowego może nieznacznie zwiększyć się bądź pozostać bez zmian, natomiast zawsze wzrasta wartość ciśnienia skurczowego serca. Wzrost ten wynika ze zwiększającej się pojemności minutowej serca, np. z wartości 120 mmHg osiąga wartość 200 mmHg, a niekiedy nawet 250 mmHg.

Ciśnienie tętnicze wzrasta odpowiednio w różnych dyscyplin sportowych. Podczas wysiłków dynamicznych wzrost ten zawiera się w przedziale 20-40 mmHg, znacznie wyższy jest podczas wysiłków statycznych. Wynika to z dużego wzrostu oporu naczyniowego spowodowanego zaciśnięciem się naczyń przez pozostające w skurczu izometrycznym mięśnie szkieletowe. Wartość 250 mmHg jest wartością graniczną i po jej przekroczeniu możliwe jest przerwanie wykonywanej pracy. Wzrost ciśnienia rozkurczowego powyżej 110 mmHg jest sygnałem do zaprzestania wykonywanej pracy i wykonania dokładnych badań.

Ciśnienie tętnicze skurczowe odpowiada, wraz z częstością skurczów serca, za zaopatrzenie mięśnia sercowego w tlen, przez co jest czynnikiem kształtującym wartość pułapu tlenowego. [30, 40]

5.2.4 POJEMNOŚĆ TLENOWA KRWI

Pojemność tlenowa krwi jest kolejnym niezbędnym czynnikiem odpowiadającym za transport tlenu do tkanek i jest tą składową, która również wpływa na wielkość VO_{2max} .

Ilość tlenu przenoszona przez krew jest zależna od ilości i jakości erytrocytów. Natomiast wartości pojemności tlenowej krwi uzależnione są od ilości hemoglobiny we krwi. Jak podaje Jaskólski jeden litr krwi jest w stanie przenieść 180-210 ml tlenu. Kobiety, ze względu na mniejszą zawartość hemoglobiny (140 g/l) i mniejszą ilość krwi w organizmie, wykazują się mniejszą o 20% pojemnością tlenową krwi. Zwiększenie pojemności tlenowej krwi może nastąpić w warunkach hipoksji wysokościowej. Obniżenie prężności tlenu występujące na wysokości skompensowane zostaje zwiększeniem pojemności tlenowej krwi wywołanym zwiększeniem ilości hemoglobiny. Pojemność tlenowa krwi może wzrosnąć do 250-300 ml/l krwi (w warunkach nizinnych 200 ml/l), a ilość hemoglobiny do 200-230 g/l. [30]

Zwiększenie pojemności tlenowej krwi w warunkach hipoksji wysokościowej (zjawisko wywołane obniżeniem ciśnienia parcjalnego tlenu we wdychanym powietrzu), poprzez poprawę mechanizmów umożliwiających przenoszenie tlenu wykorzystuje się w przygotowaniach sportowców konkurencji wytrzymałościowych [27].

Z chwilą wystąpienia zaburzeń niedokrwistości w organizmie ograniczona zostaje również pojemność tlenowa krwi, a w następstwie wydolność fizyczna.

5.3 PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z PRZEPŁYWEM MIĘŚNIOWYM

Kolejnym czynnikiem fizjologicznym mającym wpływ na wielkość pułapu tlenowego jest przepływ krwi przez mięśnie. Podobnie jak wyżej wymienione czynniki, odpowiada on za transport tlenu do mitochondriów.

Przepływ krwi przez mięśnie szkieletowe jest duży, wartość przepływu w spoczynku stanowi 20% pojemności minutowej serca. Parametr ten jest jednak zróżnicowany i zależy od gęstości sieci mikrokrążenia, napięcia zwieraczy przedwłośniczkowych oraz aktywności skurczowej mięśni [27].

W mięśniach typu ST (*slow twitch* – włókna wolnokurczliwe) sieć mikrokrążenia i przepływu krwi jest większa w porównaniu z mięśniami typu FT (*fast twitch* – włókna szybko kurczliwe). Przepływ krwi jest zwiększany przez aktywność skurczową mięśnia. W czasie maksymalnej aktywności skurczowej, mięśnie otrzymują 80 ml krwi (100 g tkanki/min), co stanowi dwudziestokrotne zwiększenie przepływu w stosunku do stanu spoczynkowego mięśnia [27].

Przepływ mięśniowy jest sterowany regulacją nerwową. Naczynia krwionośne znajdujące się w mięśniu szkieletowym są unerwione w sposób sympatyczny noradrenergiczny (zwążający naczynia krwionośne) oraz sympatyczny cholinergiczny i histaminergiczny (rozszerzający naczynia krwionośne) [18]. Regulacja nerwowa polega na wpływie na promień naczyń krwionośnych i na oporze dla przepływu krwi.

Przepływ mięśniowy regulowany jest również za pośrednictwem metabolitów powstających w mięśniach szkieletowych (np. dwutlenek węgla, kwas mlekowy, jony wodorowe i potasowe). Wymienione produkty przemiany materii powodują rozszerzanie naczyń mięśni szkieletowych oraz zwiększają przepływ krwi i wywołują przekrwienie czynnościowe.

Do zakłócenia przepływu mięśniowego dochodzi podczas wykonywania wysiłku statycznego, gdzie mięsień wykonuje skurcze izometryczne. Wzrost napięcia mięśni powyżej 25% wartości maksymalnej siły izometrycznej powoduje stopniowe zmniejszanie przepływu krwi przez nie, a zwłaszcza odpływu. Skutkiem tego zostaje zaburzone dostarczanie tlenu i substratów energetycznych do pracujących mięśni oraz usuwanie z nich produktów przemiany materii i odprowadzanie ciepła. Niedotlenienie upośledza pułap tlenowy, obniża zdolność generowania siły, prędkość skracania mięśni, co powoduje zmniejszenie zdolności do pracy i rozwój zmęczenia.

5.3.1 GĘSTOŚĆ KAPILAR W MIĘŚNIU

Kapilary (naczynia włosowate) są to najmniejsze naczynia krwionośne między układem tętniczym a żylnym, w których odbywa się wymiana gazowa i odżywcza. Przekrój poprzeczny kapilar wynosi od 6 do 9 μm . Liczba kapilar w przeliczeniu na 1mm^2 przekroju poprzecznego wynosi dla tkanki mięśniowej około 400 w ST i 20 we włóknach typu FT, natomiast w tkankach nerek, serca i wątroby 2500-3000. U osób z $\text{VO}_{2\text{max}}$ ponad 76 ml/kg/min, średnia liczba kapilar otaczających jedno włókno mięśniowe wynosi 5,9, a u osoby z $\text{VO}_{2\text{max}}$ 50 ml/kg/min zaledwie 4,4 [29]. Liczba kapilar we włóknach wolnych ST przypadających na jedno włókno mięśniowe jest większa, niż we włóknach szybkich FT, co jest jednym z elementów różnicujących te włókna.

Kapilary wraz z tętniczkami tworzą mikrokrażenie, które odpowiada za kontrolę zapotrzebowania tkanek na tlen i inne składniki odżywcze oraz za monitorowanie ilości tworzonych CO_2 i produktów przemian metabolicznych. Mikrokrażenie, w skład którego wchodzi kapilary odpowiada za wymianę między układem krążenia a przestrzenią zewnątrzkomórkową na powierzchni od 500 do 700 m^2 przez około 10 mld naczyń włosowatych. Dyfuzja, filtracja i transport aktywny stanowią mechanizmy tej wymiany.

Gęstość kapilar w mięśniach ułatwia wymianę gazową pomiędzy krwią a mięśniem, jak również przyspiesza proces usuwania kwasu

mlekowego. Większa ilość naczyń włosowatych poprawia wymianę gazów i znacząco wpływa na pułap tlenowy. Im większa powierzchnia naczyń włosowatych, tym wymiana gazowa zachodzi sprawniej.

Trening sportowy oraz rekreacyjny jest czynnikiem zwiększającym liczbę kapilar przypadających na jedno włókno mięśniowe, natomiast rozbudowa naczyń kapilarnych następuje podczas treningu siły. Zwiększa się wtedy przepływ krwi przez mięsień i wychwytywanie tlenu z przepływającej krwi w wyniku zmniejszenia dystansu jego dyfuzji. W praktyce decyduje to bezpośrednio o zdolności do wykonywania wysiłków o bardzo dużej intensywności.

5.3.2 DYFUZJA TLENU DO MITOCHONDRIÓW

Mitochondrium jest strukturą komórkową występującą w komórkach tlenowych, w których zachodzą procesy utleniania z udziałem tlenu i synteza ATP (adenozynotrójfosforanu) [8]. Jest ono popularnie nazywane siłownią komórki.

Dyfuzja tlenu do mitochondriów to końcowa faza drogi tlenu z powietrza atmosferycznego do wzięcia udziału w procesie utleniania tkankowego i wytworzenia cząsteczek ATP. Dyfuzja tlenu do wnętrza mitochondriów ma duże znaczenie w tlenowym systemie tworzenia ATP i dla prawidłowego przebiegu cyklu Krebsa, który odbywa się wewnątrz mitochondriów. Tlen, a właściwie zaopatrzenie komórek w tlen jest koniecznym warunkiem do wytworzenia energii w cyklu Krebsa. Przy każdym obrocie cyklu powstaje 12 cząsteczek ATP.

Praca tlenowa mięśni zależy od maksymalnej prędkości cyklu Krebsa we właściwych mięśniach. Gdy w pracującym mięśniu nastąpi niedobór tlenu, cykl Krebsa działa powoli pomimo obniżonego stężenia ATP w czasie wysiłku statycznego.

Tlen dyfundujący do wnętrza mitochondriów jest niezbędnym składnikiem działania łańcucha oddechowego. Duża dostępność tlenu do łańcucha oddechowego sprawia, że cykl Krebsa przebiega szybciej i sprawniej. Dostęp tlenu do mitochondriów wpływa również na szybkość utleniania kwasów tłuszczowych. Wolne kwasy tłuszczowe służą do energetycznego zasilania wysiłku fizycznego (w odróżnieniu od

glikogenu, tłuszcze mogą być metabolizowane tylko w przemianach tlenowych). Tempo produkcji energii z tych przemian jest dwa razy wolniejsze niż w przypadku tlenowych przemian glikogenu. Tłuszcze są wykorzystywane z powodzeniem w wysiłkach wytrzymałościowych.

5.4 PODSTAWOWE CZYNNIKI ZWIĄZANE Z METABOLIZMEM MIĘŚNIOWYM

5.4.1 GĘSTOŚĆ MITOCHONDRIÓW W MIĘŚNIU

Przy większej gęstości mitochondriów wzrasta potencjał tlenowy mięśni, w związku z udziałem mitochondriów w cyklu Krebsa. Im większa ilość mitochondriów, tym tworzenie ATP jest sprawniejsze i bardziej wydajne. Dostateczna ilość ATP w komórkach usprawnia szybkość przemian tlenowych podczas wysiłku fizycznego. Ponadto zwiększenie liczby i objętości mitochondriów wpływa na zmniejszenie deficytu tlenowego na początku wysiłku [12,27]. Dzieje się tak w wyniku dystansu pomiędzy włókiem kurczliwym a mitochondriami oraz zwiększeniu się powierzchni wymiany ADP-ATP przez błonę mitochondrialną. Zwiększenie objętości mitochondriów sprawia, że zwiększa się powierzchnia wnikania m.in. tlenu i innych substratów utleniania do mitochondriów. Wpływa to pozytywnie na lepszą ekstrakcję (tlenu przy takim samym lub mniejszym) całkowitym przepływie krwi przez mięśnie, ograniczenie wytwarzania kwasu mlekowego i zwiększenie zużycia wolnych kwasów tłuszczowych [22].

5.4.2 MASA MIĘŚNI I TYP WŁÓKIEN MIĘŚNIOWYCH

Typ włókien mięśniowych różnicuje mięśnie pod kątem właściwości mechanicznych i metabolicznych. Ogólny podział włókien mięśniowych to:

- wolnokurczliwe ST (slow twitch) – typ I
- szybko kurczliwe FT (fast twitch) – typ II

W 1895 roku Roux sformułował jako jeden z pierwszych, ogólne podstawy współzależności między budową, a czynnością organizmu żywego i każdej jego części. Budowa wyznacza rodzaj i zakres czynności, która wpływa zwrótnie modelująco na budowę. Struktura i zdolność wysiłkowa są zdeterminowane genetycznie oraz jakością i objętością obciążenia. Mięśnie szkieletowe u płodu człowieka zawierają głównie wolne włókna. Dopiero po urodzeniu większość włókien przechodzi przekształcenie (konwersję) na włókna szybko-kurczliwe. U osoby dorosłej udział włókien wolnych wynosi już około 40%. To różnicujące działanie na strukturę mięśni, rodzaju obciążenia szczególnie widoczne jest w sporcie, gdzie odsetkowy udział poszczególnych włókien w mięśniach wyraźnie związany jest z rodzajem uprawianej dyscypliny. [34]

Włókna mięśniowe nie dzielą się w fizjologicznych warunkach, człowiek bezpowrotnie traci je z wiekiem Z upływem lat dochodzi do licznych zmian w mięśniach szkieletowych, przede wszystkim do spadku ich masy, która zaczyna się już w wieku 25 lat. Spowodowane jest to zanikiem włókien mięśniowych. Włókna szybkie z wiekiem szybciej ulegają atrofii, niż wolne. Naturalnym procesem jest wraz z wiekiem trawienie w pierwszej kolejności szybkości i siły, natomiast wytrzymałość tlenowa pozostaje na stosunkowo dobrym poziomie. [69]

Typ włókien predysponuje człowieka do wykonywania wysiłku o charakterze wytrzymałościowym lub szybkościowym. W mięśniach człowieka oba typy włókien różnią się procentową zawartością, są mięśnie o przewadze włókien typu ST włókien typu FT. Różnice między włóknami dotyczą budowy morfologicznej oraz cech funkcjonalnych, tj. zróżnicowania anatomicznego i enzymatycznego.

Włókna ST są bogate w mioglobinę, białko odpowiadające za wiązanie tlenu i tranzyt do mitochondriów. Włókna te posiadają czerwone zabarwienie, przez co nazywane są również włóknami czerwonymi. Posiadają one dużą zawartość mitochondriów.

Włókna FT mają mało mioglobiny, ich barwa jest biała, przez co nazywane są włóknami białymi. Posiadają one nieliczne mitochondria, przez co wielkość pułapu tlenowego jest niewielka.

Włókna wolnokurczliwe posiadają metabolizm tlenowy, tzn. spalanie substratów następuje w obecności tlenu, i dlatego u osobnika z włóknami ST wartości VO_{2max} są wiele wyższe niż u osobnika

z włóknami FT. Włókna wolnokurczliwe są bardzo ekonomicznymi włóknami w procesie wytwarzania ATP, ponieważ wydajność reakcji energetycznych utleniania węglowodanów i tłuszczów jest bardzo wysoka. Typ włókien ST charakteryzuje wysiłki o stałej intensywności przez długi okres ich trwania (np. bieg maratoński).

Włókna szybkie charakteryzują się mniejszą wytrzymałością i wydolnością tlenową, niż włókna wolne. Charakteryzuje je przede wszystkim bardzo dobra wydolność anaerobowa. Są one angażowane w wysiłkach dynamicznych o krótkim czasie trwania i dużej mocy oraz maksymalnej intensywności (np. bieg na 100m).

Trening wytrzymałościowy nie ma wpływu na zwiększanie się masy mięśniowej, a u wybitnych biegaczy długodystansowych obserwowano zmniejszenie masy mięśniowej, związane ze zmniejszeniem średnicy włókien mięśniowych typu ST. Fizjologowie tłumaczą zjawisko zmiany średnicy włókna mięśniowego na korzyść łatwiejszej dyfuzji tlenu z kapilar do mitochondriów. W treningach siły występuje znaczny przyrost masy mięśniowej.[47]

Poniższa tabela przedstawia kilka cech włókien mięśniowych różniących je między sobą i wpływających na VO_{2max} .

Tab.5 Charakterystyka morfologiczno-funkcjonalna mięśni szkieletowych człowieka [51]

Rodzaj włókien	Cechy morfologiczne	Cechy funkcjonalne
ST	<ul style="list-style-type: none"> • gęstsza sieć kapilarna, • więcej mitochondriów • mniej ATP -azy miozynowej i jej wolniejszej frakcji, • jednostka motoryczna (10-180 włókien) 	<ul style="list-style-type: none"> • czas maksymalnego skurczu 110ms, • większy potencjał oksydacyjny, • duża odporność na zmęczenie, • generowanie mniejszej mocy, • zabezpieczenie wysiłków wytrzymałościowych
FTa	<ul style="list-style-type: none"> • słabiej unaczynione, • mniej mitochondriów, • więcej enzymów glikolitycznych, • jednostka motoryczna (300-800 włókien) 	<ul style="list-style-type: none"> • czas maksymalnego skurczu 50ms, • szybciej dostarczana energia do skurczu, • duży potencjał oksydacyjno - glikolityczny, • średnia męczliwość
FTb, FTc	<ul style="list-style-type: none"> • duże motoneurony, • forma przejściowa pomiędzy FTc i ST 	<ul style="list-style-type: none"> • szybsza męczliwość, • duża moc pracy, • wysiłki szybkościowe, • duży potencjał glikolityczny, • bardziej rozwinięte reticulum sarcoplazmatyczne

5.4.3 AKTYWNOŚĆ ENZYMÓW OKSYDACYJNYCH W KOMÓRKACH MIĘŚNIOWYCH

Działanie enzymów oksydacyjnych wpływa na szybkość zachodzenia procesów tlenowych. Są one katalizatorami reakcji chemicznych ponieważ mają zdolność do przyspieszania reakcji. Znajdują się one w wewnętrznej błonie mitochondrium i mają wpływ na działanie łańcucha oddechowego i syntezę ATP, jak również na szybkość przemian w cyklu Krebsa.

Mimo, że aktywność enzymów jest uwarunkowana genetycznie, to zależy ona również od podtrzymywanej aktywności fizycznej oraz diety.

5.5 KSZTAŁTOWANIE VO_{2max}

VO_{2max} jest parametrem określającym głównie wydolność tlenową. Poziom tego parametru zwiększa się do około 20 roku życia. Jego wielkość zależy od genetycznych uwarunkowań oraz od aktywności fizycznej prowadzonej do tego etapu życia. Następnie uwidacznia się: względna stabilizacja tej wartości lub nawet nieznaczny jej spadek. Wielkość jej utraty zależy od poziomu VO_{2max} uzyskanego około 20 roku życia. Bez występujących czynników takich jak: systematyczna aktywność fizyczna głównie o charakterze wysiłku tlenowego, palenie papierosów, nadużywanie alkoholu, otyłość i inne jednostki chorobowe, redukcja VO_{2max} równa jest około 0,65 ml/min/kg masy ciała na rok u mężczyzn, 0,54 ml/min/kg masy ciała na rok u kobiet. Określa się, że trening aerobowy na poziomie rekreacyjnym może podnieść wartość VO_{2max} niezależnie od wieku do około 20% więcej, niż wartość uwarunkowana normami genetycznymi w danym okresie życia. Różnica w wartościach tego parametru w grupie osób dwudziestoletnich trenujących piłkę nożną, a prowadzących siedzący tryb życia wynosi około 30%. Natomiast przykładowe średnie wartości VO_{2max} u 16-letnich piłkarzy to 63 ml/min./kg/masy ciała, u 17-letnich piłkarzy to 68 ml/min./kg/masy ciała, natomiast u 20-letnich studentów AWF, nie uprawiających treningu sportowego 55 ml/min./kg/masy ciała.

Jeden z prostych sposobów układania treningu w celu kształtowania wydolności tlenowej to metoda Karvonena, gdzie na podstawie określania wartości tętna dobierana jest intensywność pracy podczas jednostki treningowej trwającej 40 – 60 minut. Wielkość obciążenia pracą zostaje oszacowana na poziomie równowagi dynamicznej – steady state (kolejne wartości tętna mierzone w ciągu jednej minuty kształtują się na podobnym poziomie ± 4 uderzenia według założenia Astranda). Obciążenie jest utrzymywane na podstawie wartości tętna obliczonego ze wzoru:

$HR = (220 - \text{wiek w latach}) - HR \text{ spoczynkowe} \times 0,7 + HR \text{ spoczynkowe}$
np. u osoby 20 – letniej, gdzie HR spoczynkowe wynosi 60 ud/min.

$HR = (220 - 20) - 60 \times 0,7 + 60$ to $HR = 158$ ud/min.

Poprawa VO_{2max} przy zastosowaniu powyższego obciążenia z częstością trzy razy w tygodniu przez okres trwania trzech miesięcy w grupie osób poddanych treningowi, a uprzednio prowadzących siedzący tryb życia występuje średnio o około 21 %. Najbardziej widoczne zmiany są widoczne u osób podejmujących aktywność fizyczną poprzedzoną siedzącym trybem życia. Zmiany te zaznaczają się najbardziej w pierwszych kilku miesiącach treningu. W późniejszym etapie następuje podtrzymywanie uzyskanych wartości pułapu tlenowego, lub nieznaczna jego poprawa, natomiast zmiany te nie są już tak znaczące. [65] Trening fizyczny zwiększający wydolność tlenową można podejmować w celu poprawy zdolności wysiłkowej niezależnie od wieku i aktywności fizycznej. [62]

Wytrzymałość aerobowa jest zdolnością do kontynuowania długotrwałej pracy o wymaganej intensywności (z reguły od 60 do 80-90% mocy maksymalnej), bez obniżania efektywności działań i przy zachowaniu podwyższonej odporności na zmęczenie. Wysiłki wytrzymałościowe wykonywane są dzięki energii dostarczonej z procesów tlenowych (aerobowych), czyli z cyklu Krebsa oraz łańcucha oddechowego. Podstawą skuteczności wysiłków wytrzymałościowych jest funkcjonalna doskonałość układu krążenia i oddechowego. Tak więc zdolność tą należy rozpatrywać w oparciu o uwarunkowania biologiczne, wynikające z wydolności ustroju. [37, 50]

Wytrzymałość – jest to zdolność organizmu do długotrwałego wysiłku fizycznego i zachowanie podwyższonej odporności organizmu na zmęczenie w różnych warunkach środowiska zewnętrznego. Wytrzymałość tlenowa stanowi fundament pod wysoką i stabilną formę sportową w okresie startowym. Górną granicę intensywności w kształtowaniu wytrzymałości tlenowej można wyznaczać według wzoru:

$$HR \max = 220 - \text{wiek (lata ukończone)}$$

np.: u osoby 25 – letniej

$$HR \text{ należne} = (220 - 25) \cdot 0,85 = 166 \text{ ud./min}$$

HR – uderzenia serca na minutę

Wyliczona intensywność nie jest wartością precyzyjną, lecz zbliżoną do wartości poszukiwanej. Progowa częstość skurczów serca zależna jest m. in. od:

- poziomu wydolności fizycznej
- poziomu wytrenowania [15]

Tab. 6 Parametry różnych rodzajów wytrzymałości szacowane w grupie osób między 20, a 30 rokiem życia [6]

Rodzaje wytrzymałości		Źródła Energetyczne	Czas pracy	Intensywność	Tętno (ud/min)	Stosunek przemian tlenowych do beztlenowych [%]	Zużycie O ₂ (l/min)	Dług tlenowy
Ogólna	Tlenowa	Tlenowe	Powyżej 10 min	Mała Umiarkowana	140-150	95-5	2-2	0-3
	Średnio-okresowa	Mieszane	Od 3 do 10 min	Średnia	150-180	70-30 50-50	4-5	15-5

5.5.1 METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ

Podstawowa zasada treningu kondycyjnego mówi, że wytrzymałość ogólna stanowi fundament, na którym dokonuje się efektywnego kształtowania innych zdolności motorycznych. [50]

Metodyka kształtowania wytrzymałości polega na wielokrotnym doprowadzaniu organizmu do optymalnego poziomu zmęczenia, co poprzez cykl mechanizmów adaptacyjnych (praca – zmęczenie – kompensacja – superkompensacja) łączenie z efektem adaptacji psychicznej prowadzi do podwyższenia poziomu tej cechy [30]

Do głównych form i środków stosowanych do doskonalenia przygotowania wytrzymałościowego zaliczyć można:

- Gry i zabawy ruchowe o wydłużonym czasie trwania, zawierające elementy biegu o różnej intensywności.
- Marszobieg – polega on na kilkunastominutowym marszu przeplatanym kilkoma odcinkami spokojnego biegu. Trenerzy dążą do stopniowego wydłużania biegu, aż do momentu pokonania całej trasy biegiem.
- Trucht – jest to forma biegu kształtująca głównie ekonomikę ruchu. Kluczowe jest odpowiednie dobranie tempa tak, aby istniała harmonia rytmu funkcji układu oddechowego i krążenia. Trucht opanowany jest w momencie gdy ćwiczący odczuwa mniejsze zmęczenie niż podczas marszu.
- Zabawy biegowe – są kompleksową formą polegającą na planowanych zmianach szybkości i form ćwiczeń w czasie dłuższego wysiłku opartego o bieg. Odbývają się one w urozmaiconym terenie z wykorzystaniem wstawek ćwiczeń siłowych, szybkościowych, gibkościowych czy skocznościowych.
- Zaprawa terenowa – jest to zespół środków kształtujących wytrzymałość w powiązaniu z innymi cechami, głównie siłą, skocznością i gibkością.
- Bieg ciągły – stanowi podstawowy środek kształtujący wytrzymałość tlenową.
- Bieg zmienny – charakteryzuje się planowaną zmiennością intensywności wysiłku w ramach pracy ciągłej.

- Bieg przełajowy (cross) – jest to zmienna forma biegu, w której zmiana intensywności wywołana jest poprzez konfigurację terenu.
- Bieg interwałowy – charakteryzują się planowanym następowaniem po sobie faz obciążenia i niepełnego wypoczynku. Każdy następny wysiłek występuje na podłożu przejawów zmęczenia.
- Bieg orientacyjny – polega on na pokonaniu dystansu w terenie z zadaniem osiągnięcia określonych punktów. [36]

W procesie kształtowania wytrzymałości stosuje się 3 grupy metod: nieprzerywane (metoda ciągła i zmienna), przerywane (metoda powtórzeniowa i interwałowa) oraz startowe i kontrolne. Podstawową metodą kształtowania wytrzymałości długookresowej jest metoda ciągła. Kształtowanie wytrzymałości średniookresowej to wykonywanie wysiłków cyklicznych na granicy przemian beztlenowych. Ich istotą jest utrzymanie dynamicznej równowagi między przyrostem mleczanów we krwi, a ich częściową likwidacją w cyklu przemian tlenowych. Intensywność tego rodzaju wysiłków u dobrze wytrenowanych osób może osiągać poziom 90% VO_{2max} . Trening wytrzymałościowy można wprowadzać już od najmłodszych lat. Ogranicza się go do kształtowania wytrzymałości ogólnej [5, 6, 55]

Wyższy poziom wytrzymałości tlenowej nie dopuszcza do zbyt szybkiego obniżania umiejętności technicznych w wyniku narastającego zmęczenia [17]

Najczęstsze błędy stosowane w treningu wytrzymałościowym (wg. Chmury):

- za mała wiedza trenerów
- zbyt duża monotonia i objętość w treningu wytrzymałościowym
- niewłaściwa proporcja między niską, a wysoką intensywnością w kształtowaniu wytrzymałości
- brak indywidualizacji obciążeń wytrzymałościowych
- nie uwzględnienie kontroli stosowanych obciążeń treningowych (przeciążenia, niedociążenia)
- brak zmienności obciążeń w zakresie:
 - intensywności
 - czasu trwania obciążenia
 - przerw aktywnego wypoczynku
- za krótkie przerwy wypoczynkowe między poszczególnymi obciążeniami [15]

6. MAKSYMALNA MOC TLENOWA, DŁUG I DEFICYT TLENOWY

Maksymalna moc tlenowa – determinowana jest ilością tlenu, która może być dostarczona tkankom w ściśle określonym czasie i przez nie zużyta. Procesy beztlenowe zawsze dominują w początkowym okresie wysiłku. Transport tlenu w tym czasie do mięśni jest jeszcze niewystarczający ponieważ stopniowo przystosowują się czynności mechanizmów zaopatrzenia tlenowego. Gdy pracujące mięśnie potrzebują więcej tlenu, niż otrzymują to powstaje tzw. deficyt tlenowy. Jest to różnica między zapotrzebowaniem tlenowym, a jego dostarczeniem do organizmu. Zadłużenie to musi być spłacone w czasie trwania pracy jeśli nie jest zbyt intensywna lub bezpośrednio po jej zakończeniu. Zjawisko deficytu tlenowego wyraźniej występuje w wysiłkach o wysokiej intensywności pracy. Po upływie kilku minut wysiłku (od 2 do 4 minut) następuje zwiększenie transportu tlenu i zaspokojenie aktualnych potrzeb pracujących mięśni. Czas uzyskania tej proporcji zależy od: intensywności pracy, zdolności adaptacyjnych człowieka. Jest to tzw. równowaga czynnościowa. W takich warunkach jest możliwe wykonywanie dłuższej trwającej pracy fizycznej. Dlatego podstawowym czynnikiem decydującym o zdolności do długotrwałego wysiłku (np. treningu o charakterze wytrzymałościowym) jest bieżące pokrywanie zapotrzebowania organizmu w tlen. Po osiągnięciu pewnej wielkości obciążenia wysiłkowego następuje maksymalne nasilenie funkcji zaopatrzenia tlenowego. W tych warunkach organizm osiąga maksymalne pobieranie tlenu. Dalsza praca jest możliwa przez włączenie beztlenowych procesów metabolicznych i sukcesywnie zwiększanie deficytu tlenowego oraz wzrostu stężenia kwasu mlekowego co prowadzi do rozwoju zmęczenia i w końcu do niemożliwości kontynuowania pracy. Nadwyżkę zużytego tlenu w okresie powysiłkowym w stosunku do wartości przed wysiłkowej określa się mianem długu tlenowego. [16]

7. KONTROLA WYDOLNOŚCI AEROBOWEJ

Kontrola wydolności aerobowej należy do zadań fizjologii wysiłku. Za pomocą kontroli oceniany jest poziom wydolności fizycznej, przy pomocy której można określić zmiany czynnościowe występujące w organizmie, bądź to na skutek treningu, aktywności ruchowej lub jej braku [27].

Kontroli dokonuje się za pomocą testów czynnościowych, pozwalających określić wydolność wyjściową badanego, a następnie śledzić jej zmiany w czasie treningu. Testy można podzielić według następujących kryteriów:

- testy zależne od wielkości zastosowanego obciążenia – maksymalne i submaksymalne,
- testy zależne od sposobu pomiaru wielkości pułapu tlenowego (VO_{2max}) – bezpośrednie i pośrednie,
- testy zależne od miejsca ich przeprowadzania – terenowe i laboratoryjne.

W trakcie prowadzenia testów, osoba przeprowadzająca badania powinna respektować zasady etyki w stosunku do osób badanych. Badanych należy zapoznać z celami prowadzonych badań oraz z ryzykiem związanym z ich przebiegiem. Ponadto należy uzyskać pisemną zgodę od badanego na wykonanie badania.

Stosowanie testów pośrednich i terenowych w ocenie wydolności ma zastosowanie wówczas, gdy stosowanie obciążeń maksymalnych nie jest uzasadnione lub niemożliwe ze względu np. na wiek, stan zdrowia, brak odpowiednio przeszkolonej kadry, czy brak odpowiedniej aparatury ze względów ekonomicznych.

Kontrola wydolności odbywająca się za pomocą testów wysiłkowych stosowana jest w medycynie, sporcie wyczynowym, rekreacji. Ponadto testy mogą być wykorzystywane w diagnostyce chorobowej, ocenie zabiegów medycznych i chirurgicznych, ocenie czynności funkcjonalnych lub pułapu tlenowego, dostosowywaniu treningu do możliwości wysiłkowych badanego, czy ocenie postępów poprawy wydolności.

Wyniki testu i informacje na temat zdrowia mogą być wykorzystane jako podstawa w planowaniu treningu. Postępy w poprawianiu zdolności wysiłkowej wykorzystywane są w sporcie wyczynowym, ponieważ dokonywana jest tam diagnoza aktualnego poziomu wydolności oraz kontrola efektywności zastosowanych obciążeń treningowych.

Za podstawę w diagnostyce wydolności fizycznej uważana jest reakcja organizmu na wykonywany wysiłek. W celu dokładnego oceny reakcji organizmu, ważna jest dokładna rejestracja wybranych parametrów funkcjonalnych organizmu. Na reakcję organizmu mają wpływ następujące czynniki: ilość zaangażowanych grup mięśniowych i wydatek energetyczny. Oba czynniki wywierają wpływ na zmianę funkcji układów dostarczających tlen do tkanek.

Aby testy wysiłkowe mogły być wykorzystywane, muszą one spełniać kilka podstawowych warunków. Testy powinny być trafne, tak aby mogły mierzyć to, co ma zostać scharakteryzowane. Ponadto test powinna charakteryzować powtarzalność, aby dany test przeprowadzany przez różne osoby wskazywał takie same wyniki oraz ważna jest standaryzacja będąca ujednoczeniem procedur przeprowadzania testu pod kątem wykorzystywanego sprzętu, warunków zewnętrznych, przygotowania osób poddawanych testowi i opracowania wyników.

W trakcie przeprowadzania testów prawie zawsze dochodzi do popełniania błędów wynikających z niedokładności pomiaru urządzenia, błędu osoby testującej i różnic między testującymi. Aby ustrzec się przed błędami pomiarowymi należy przygotować osobę do dokonania badania poprzez przeprowadzenie testu próbnego. Testy powinny być przeprowadzane przez osoby wcześniej przeszkolone i posiadające doświadczenie. Prawidłowo test powinien być przeprowadzany dwukrotnie w odstępie 48 godzin, a wynik poddany analizie i stanowiąc powinien średnią uzyskaną z dwóch pomiarów.

Wśród aparatury stosowanej w testach wykorzystuje się między innymi ergometry rowerowe (mechaniczne i elektryczne). Za pomocą ergometru rowerowego możliwe jest wykonywanie pracy o charakterze dynamicznym, o prostej strukturze ruchu i odpowiedniej intensywności. Urządzenie to w sposób ciągły rejestruje wartość oporu (F) oraz przebytą drogę (s). Dzięki tym parametrom możliwe jest wyliczenie wartości wykonanej pracy:

$$(W = F \cdot s)$$

a wówczas gdy mierzony jest również czas (t), to możliwe jest także wyznaczenie aktualnej mocy:

$$(P = \frac{w}{t})$$

Wśród różnych czynników charakteryzujących pracę wyróżnia się intensywność. W pracy na ergometrze miarą intensywności jest moc, która wyrażana jest np. w jednostce Wat. O ogólnym wydatku energetycznym świadczy praca wykonana podczas testu. Zmiana intensywności pracy regulowana jest poprzez zmianę oporu lub przez zmianę częstości obrotów pedałowymi.

Do urządzeń masowo stosowanych w badaniach laboratoryjnych zalicza się także bieżnia mechaniczna. Posiada ona możliwość regulacji prędkości przesuwu taśmy oraz kąta nachylenia. Zmiana tych parametrów wpływa na zmianę intensywności wykonywanego wysiłku.

Podczas dokonywania wyboru testu należy uwzględnić jakie przemiany energetyczne będą dominować w czasie jego trwania (tlenowe lub beztlenowe), w celu określenia rodzaju wysiłku, typu ergometru, czasu trwania wysiłku i sposobu dostosowania obciążeń w próbie wysiłkowej.

Osoba badana w trakcie przeprowadzanego testu powinna być w pełni gotowa do przeprowadzenia próby, tzn. bez przeciwwskazań lekarskich do badań wysiłkowych. Wśród przeciwwskazań lekarskich wyróżnia się przeciwwskazania względne (m.in. spoczynkowe rozkurczowe ciśnienie krwi większe niż 110 mmHg i skurczowe od 200 mmHg, zaawansowane wady zastawkowe i przeciekowe, zaburzenia przewodnictwa, choroby reumatyczne, zaawansowana ciąża, sztuczny rozrusznik serca) oraz bezwzględne (m.in. kardiomiopatia, zapalenia wsierdzia mięśnia sercowego, częstoskurcz komory). W trakcie przeprowadzania próby, badany nie powinien spożywać posiłków, palić tytoniu, pić kawy i alkoholu przynajmniej na trzy godziny przed testem, unikać intensywnego wysiłku w dniu poprzedzającym test. Osoba badana powinna być wyspana, tzn. przed testem powinna spać 6-8 godzin oraz powinna posiadać odpowiedni strój. Wykonanie testu powinno przypadać na poranne godziny, a temperatura otoczenia i wilgotność powietrza osiągać odpowiednio 18-22° i 50-60% H₂O.

W przypadku pojawienia się jednego z poniższych symptomów, przeprowadzanie testu należy bezzwłocznie przerwać. Wśród tych symptomów są:

- ciśnienie skurczowe tętnicze osiągające wartość powyżej 250 mmHg,
- ciśnienie rozkurczowe powyżej 115 mmHg,
- brak wzrostu częstości skurczów serca mimo wzrostu obciążenia,
- ból wieńcowy, sinica, błądź skóry,
- zmiany EKG,
- nawracający ból w klatce piersiowej,
- trudności w utrzymaniu kontaktu z badanym.

Ponadto test należy przerwać wówczas gdy badany odmawia dalszego kontynuowania testu oraz gdy wystąpią zaburzenia działania aparatury.

7.1 METODY BEZPOŚREDNIE POMIARU VO_{2max} .

Metody bezpośrednie pomiaru VO_{2max} polegają na zmierzeniu ile tlenu pobiera organizm człowieka w czasie wykonywania wysiłku o obciążeniu maksymalnym i wyższym. Do tego celu stosowane są ergometry rowerowe lub bieżnie elektryczne. W czasie wykonywania wysiłku następuje powolny, miarowy wzrost obciążenia.

Metody bezpośrednie wykorzystują pomiar z otwartym lub zamkniętym obiegiem gazów. W metodzie tej przy wykorzystaniu zamkniętego obiegu gazów osoba badana oddycha czystym tlenem ze specjalnego zbiornika. Po wydechu powietrze kierowane jest do tego samego zbiornika przez pochłaniacz dwutlenku węgla. Do obliczenia ilości zużytego tlenu wylicza się o ile zmniejszyła się objętość tlenu w zbiorniku.



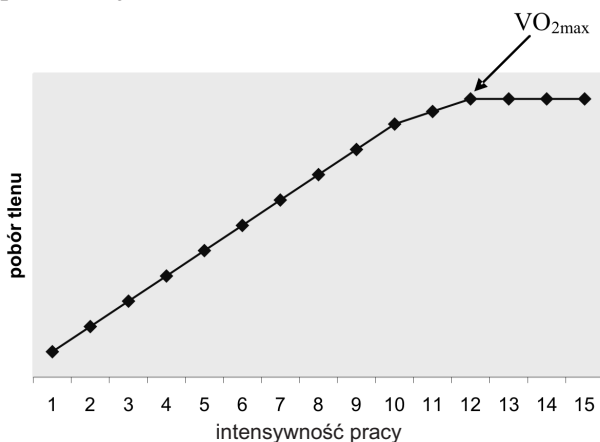
Fot. 1 Próbra progresywna na ergometrze rowerowym. Ocena VO_{2max} sposobem bezpośrednim

Metoda z otwartym obiegiem gazów polega na tym, że osoba badana oddycha powietrzem atmosferycznym o znanym składzie, a powietrze wydechane zbierane jest do pojemnika, tzw. worka Douglasa.

Przy obliczaniu pułapu tlenowego metodą z otwartym obiegiem, objętości gazów używane do jego obliczenia należy sprowadzić do wartości objętości gazów w warunkach standardowych. Za wartości standardowe uważa się: ciśnienie atmosferyczne równe 760 mmHg lub 1013 hPa, temperatura równe 273°K lub 0°C oraz gaz bez zawartości pary wodnej (suchy). Obliczone wartości oznaczamy symbolem STPD (z j. ang. *standard, temperature, pressure, dry*).

W obu metodach badanego poddaje się wysiłkowi supramaksymalnemu, jako kryterium tego wysiłku uznaje się stabilizację poboru tlenu mimo zwiększania się obciążenia. Powietrze potrzebne do pomiarów zbierane powinno być w czasie ostatniej minuty trwania próby wysiłkowej. W celu odczytania wartości pułapu tlenowego wysiłek stosowany w próbie musi być wysiłkiem maksymalnym. Wysiłek maksymalny należy poprzedzić rozgrzewką, która powinna być wykonana przez około pięć minut w spokojnym tempie wartość tętna około 120-140 ud/min.

Gdy w badaniu wykorzystywany jest ergometr rowerowy, to osoba badana wykonuje pracę fizyczną o stopniowo wzrastającej intensywności. Obciążenie zwiększane powinno być co 1-2 minuty, aż do chwili indywidualnego wyczerpania badanego. W chwili osiągnięcia maksymalnego wysiłku, badany powinien kontynuować pracę przynajmniej przez kolejną minutę.



Wykres 2.
Wyznaczenie VO_{2max}
w próbie
progresywnej

W przypadku zastosowania bieżni mechanicznej, badany wykonuje bieg, a obciążenie zwiększane jest przez zwiększenie przesuwu taśmy bieżni oraz podniesienie jej kąta nachylenia o $1-2^\circ$ co 1-2 minuty do momentu osiągnięcia wysiłku maksymalnego.

Wadliwość metody bezpośredniej pomiaru VO_{2max} dotyczy badań z udziałem osób dobrze wytrenowanych, które osiągają dobre wyniki sportowe, gdyż w miarę kontynuowania treningu przyrost wydolności ogólnej jest niewielki. Występuje również różnica o około 10% w uzyskaniu VO_{2max} u tej samej osoby w teście progresywnym przeprowadzonym na cykloergometrze i bieżni ruchomej. Niższa wartość tego parametru uzyskiwana jest na cykloergometrze ze względu na mniejszą ilość mięśni zaangażowanych w pracy.

7.1.1 POMIAR VO_{2max} PRZYUŻYCIU WORKÓW DOUGLASA

W metodzie tej osoba poddana badaniu wykonuje intensywny wysiłek o stałej intensywności przez 1 minutę, oddychając przez maskę wyposażoną w zastawkę jednokierunkową. Wydychane powietrze zostaje zebrane w worku, zwanym workiem Douglasa. Zebrane powietrze zostaje poddane analizie pod kątem zawartości tlenu O_2 i dwutlenku węgla CO_2 , ostatnim etapem jest zmierzenie objętości powietrza.

W metodzie tej wykorzystuje się badanie za pomocą klasycznej metody absorbcyjnej, jednak badanie tą metodą wymaga unikalnej aparatury i jest czasochłonne, przez co metoda klasycznego pomiaru gazów wydechowych jest rzadko stosowana.

Większe zastosowanie obecnie ma pomiar gazów wydychanych przy pomocy nowoczesnych, szybkich analizatorów. Do oznaczania stężenia O_2 wykorzystuje się analizator magnetometryczny, a do oznaczenia stężenia CO_2 , analizator fotometryczny. Aby pomiar mógł być obarczony jak najmniejszym procentem błędów należy wiedzieć jaka jest procentowa zawartość tlenu, dwutlenku węgla i azotu w powietrzu wdychanym i wydychanym. W praktyce przed wykonaniem właściwej próby, pomieszczenie zostaje przewietrzone, aby w pomieszczeniu skład powietrza był jak najbliższy powietrzu atmosferycznemu,

$$\text{tj. } CO_2 = 0,03\%, O_2 = 20,93\%, n = 79,04\%$$

Przy badaniach prowadzonych tą metodą przestrzega się, aby w pomieszczeniu oprócz badanego, przebywał tylko niezbędny personel, gdyż większa ilość osób może wpływać na skład powietrza w pomieszczeniu.

Zawartość gazów w powietrzu wydychanym odczytujemy z analizatora. Podczas wysiłku procentowy udział azotu w powietrzu wydychanym może być wyższy, niż w powietrzu wdychanym.

Po zapoznaniu się z objętością i składem powietrza, które zostało zebrane do worków Douglasa, można wyliczyć wentylację minutową płuc (VM), minutowy pobór tlenu ($\text{VO}_2/\text{min.}$), jak również minutową produkcję dwutlenku węgla ($\text{CO}_2/\text{min.}$). Objętość gazów zmienia się w zależności od ciśnienia atmosferycznego, temperatury i ciśnienia pary wodnej.

W metodzie tej należy uwzględnić fakt, że pomiar może zakończyć się przed upływem jednej minuty. W takim przypadku ilość powietrza zebraną do worka Douglasa w czasie niepełnej minuty należy przeliczyć na pełną minutę.

Używanie skomplikowanego sprzętu sprawia, że metoda bezpośrednia jest dokładniejsza, obarczana mniejszym ryzykiem popełnienia błędów.

Metoda bezpośrednia pomiaru VO_2 nie sprawdza się również w praktyce trenerskiej, gdyż zbyt częste stosowanie u zawodnika obciążenia maksymalnego może negatywnie wpłynąć na rozregulowanie programu treningowego. Jest ona także uciążliwa dla zawodnika i trudna do przeprowadzenia ze względu na jej poprawność i rzetelność wykonania.

Tab.7 Przeciętne wartości $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/min./kg.m.c.) u osób w różnym wieku wg. American Heart Association (1990) [32]

Wiek [lata]	Mężczyźni	Kobiety
20-29	43	36
30-39	42	34
40-49	40	32
50-59	36	29
60-69	33	27
70-79	29	27

Tab.8 Maksymalny pobór tlenu (ml/mi./kg.m.c.) mierzony u osób zdrowych i chorych [63]

Mężczyźni	Kobiety	
82	66	Narciarstwo biegowe
79	62	Biegacze długodystansowi
35	30	Dorośli w średnim wieku
22	18	Pacjenci po zawale serca
13	13	Pacjenci z poważnymi chorobami płuc

7.1.2 TESTY DLA DZIECI

Przeprowadzając testy u dzieci stosuje się mniejsze obciążenia oraz dostosowuje się wielkość sprzętu na którym będzie przeprowadzona próba do rozmiarów dziecka. Według Leger dla 6-letnich dzieci długość ramienia pedału cykloergometru powinna wynosić 13 cm., a dla 8-10-letnich – 15 cm. Czas trwania testu powinien wynosić 6 do 12 minut, a obciążenie należy zwiększać co 2 minuty. Dzieci lepiej tolerują testy na bieżni ruchomej, niż ergometrze rowerowym. W takich testach dobrym testem jest protokół Balkego, gdzie prędkość jest stała (5km/godz.), zmieniany jest tylko kąt nachylenia bieżni na początku pracy o 2%, następnie co minutę o 1% aż do wartości 25%. Dla obliczenia VO_{2max} można wykorzystać równanie:

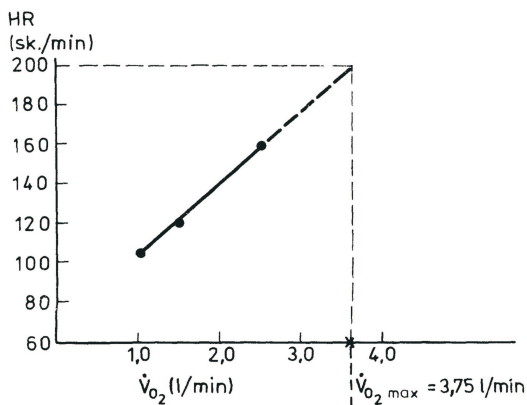
$$VO_{2max} = 3,5 + \text{prędkość (m/min.)} \times 0,1 + \text{kąt nachylenia (procent/100)} \times \text{prędkość (m/min.)} \times 1,8 \text{ (Bar-Or 1993; Rowland 1996; Docherty 1996)}$$

7.1.3 TESTY DLA OSÓB STARSZYCH

Określając VO_{2max} u osób starszych na ergometrze rowerowym lub bieżni należy przedłużyć rozgrzewkę do 3minut, ustawić początkowe obciążenie tak, aby pobór tlenu wynosił 7-10 ml/min/kg.m.c., przedłużyć każdy próg obciążenia do co najmniej 3 minut, a całkowity czas wysiłku powinien wynosić 8-12 minut. U osób w podeszłym wieku, otyłych, z zaburzeniami równowagi powinien być do testu wykorzystany ergometr rowerowy.[30]

7.2 POŚREDNIE METODY POMIARU VO_{2max} .

Metody pośrednie pomiaru VO_{2max} wykorzystują fizjologiczną zależność opierającą się na liniowej zależności pomiędzy poborem tlenu a częstością rytmu serca. Występowanie takiej zależności ma miejsce przy wysiłkach dynamicznych, gdzie pochłanianie tlenu zawiera się w przedziale od 20 do niemal 100% pułapu tlenowego. Na podstawie tej zależności przewidywane jest kiedy i przy jakim poborze tlenu badany osiągnie właściwą dla jego wieku (przeciętną) maksymalną częstość skurczów serca. Zależność tą można przedstawić za pomocą niżej zamieszczonego wykresu wartości VO_{2max} , wykreślonego na podstawie pomiarów częstości skurczów serca przy co najmniej trzech obciążeniach wysiłkowych. Jednakże wyznaczanie VO_{2max} tą metodą może być błędne u ludzi chorych np. ludzi z cukrzycą, gdzie wartości HR_{max} są mniejsze. Również osoby po przebytych zawale serca będą wykazywać się mniejszą HR_{max} .



Ryc.2 Zasada wyznaczania wielkości VO_{2max} na podstawie częstości skurczów serca podczas wysiłków submaksymalnych [25].

Pomiar VO_{2max} tą metodą nie jest mierzony jak w metodzie bezpośredniej, lecz jest on szacowany przy zastosowaniu wysiłków podprogowych. Wartości tętna mierzy się w okresie równowagi czynnościowej, czyli w czasie ustabilizowania się tętna.

Metoda pośrednia pomiaru VO_{2max} stwarza mniej problemów, niż metoda bezpośrednia w czasie jej przeprowadzenia, gdyż nie ma potrzeby pobierania tlenu w czasie wysiłku, co sprawia, że metoda ta jest wygodniejsza. Jest ona jednak obciążona błędem sięgającym 10-15%. Przy sprawdzaniu postępów treningu czy rehabilitacji, błąd ten jest powtarzalny dla danej osoby. (McArdle i wsp. 1996)

Metody pośrednie nie zapewniają wysokiej precyzji wymaganej przy ocenie wydolności fizycznej postępów sportowych wytrenowanych zawodników [38]

Przewaga metody pośredniej nad bezpośrednią wynika także z faktu, że w metodzie pośredniej stosuje się mniejsze obciążenia wysiłkowe wobec badanego, co zwiększa bezpieczeństwo jej stosowania.

7.2.1 TEST ASTRAND-RYHMING

Najczęściej stosowaną metodą pośrednią wyznaczania VO_{2max} jest test Astranda-Ryhming. Tą metodą wielkość VO_{2max} wyznaczana jest na podstawie częstości skurczów serca podczas pracy submaksymalnej. Podczas testu badany wykonuje wysiłek ciągły około 5-8 minutowy o stałej mocy. Wysiłek ten może być wykonywany na cykloergometrze lub z zastosowaniem step testu (czas trwania wysiłku -5 minut). Wartości tętna jakie powinien osiągać badany podczas próby na ergometrze rowerowym powinny zawierać się w przedziale 120-170 ud./min. (optymalnie na poziomie 130-150 ud./min.) W wypadku, gdy praca jest mało intensywna (tętno poniżej 100-120 ud./min.) niektóre czynniki psychiczne, jak np. pobudzenie nerwowe mają wpływ na reakcję tętna. Wielkość mocy jest sprawą indywidualną i dobierana jest w zależności od wydolności badanego. Proponowana częstość obrotów na minutę to 50. Przy tętnie niższym od 130 ud./min., po 6 minutach pracy należy zwiększyć obciążenie. Częstość skurczów serca odczytywana jest pod koniec każdej minuty trwania testu, po czym wyliczana jest średnia wartości tętna z trzech minut (dotyczy testu na ergometrze rowerowym).

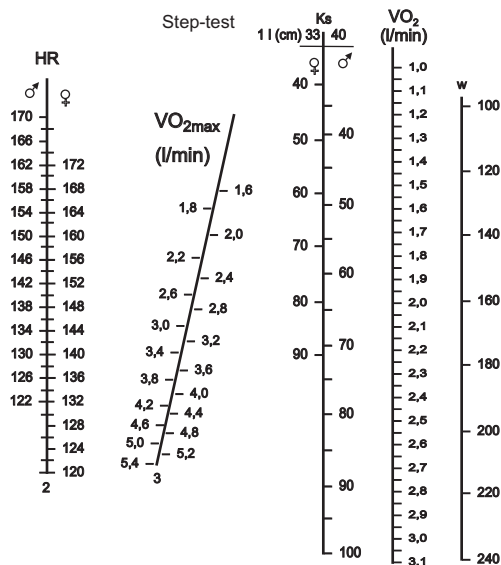
Podczas próby z zastosowaniem step testu, badana osoba wchodzi na stopień w rytmie 22,5 razy na minutę w ciągu 5 minut. Wysokości stopni wynoszą odpowiednio dla mężczyzn 40 cm i dla kobiet 33 cm. W celu

ułatwienia zachowania rytmu, używany jest metronom lub sygnał akustyczny z odtwarzacza. Należy pamiętać, że na jeden cykl wejścia i zejścia ze stopnia przypadają cztery sygnały akustyczne (metronom nastawiony na 90/min)

Dokładnie od 15 do 30 sekund od zakończenia testu zlicza się częstość skurczów serca, przelicza ją na 1 minutę i znając masę ciała osoby badanej można wyznaczyć VO_{2max} z nomogramu lub wyliczyć ze wzoru (według American College of Sports Medicine ACSM 1995):

$$VO_{2max} = (\text{liczba wejść } 0,35) + (\text{wysokość stopnia liczba wejść} \times 1,33 \times 1,8)$$

Twórcami tej metody byli szwedzcy uczeni, którzy w roku 1954 wykorzystując zależność między obciążeniem, poborem tlenu i częstości skurczów serca opracowali nomogram, za pomocą którego możliwe stało się przewidywanie VO_{2max} . Opracowany nomogram jest wyrazem dużych zależności funkcyjnych (związków korelacyjnych) między wskaźnikami przedstawionymi na poszczególnych skalach.



Ryc. 3. Nomogram Astranda-Ryhming do obliczania VO_{2max} na podstawie częstości skurczów serca podczas wysiłków submaksymalnych [40]

Nomogram uwzględnia następująco: skalę częstości skurczów serca dla kobiet i mężczyzn, szacowaną wartość VO_{2max} , skalę zużycia tlenu (VO_2), oś obciążenia (W) oraz skalę masy ciała dla obu płci. Nomogram umożliwia określenie pułapu tlenowego na podstawie pomiarów HR i wielkości wykonywanej pracy.

Wówczas gdy osoba badana podczas wykonywanej próby na ergometrze rowerowym osiągnęła stan równowagi czynnościowej test uważa się za zakończony.

Odczyt wartości może być uzyskany w badaniach przeprowadzonych z zastosowaniem step-testu lub pracy na cykloergometrze rowerowym. Przy zastosowaniu step-testu do odczytu wartości VO_{2max} korzysta się ze skali masy ciała badanego, która jest podstawą do ustalenia tej wielkości (dla cykloergometru wykorzystywana jest skala mocy). W celu wyznaczenia wartości należy połączyć linią poziomą odpowiednią wartość ciężaru ciała lub obciążenia ze skalą zużycia tlenu (VO_2). Wyznaczone w ten sposób zużycie tlenu na tej skali łączone jest linią prostą z punktem na skali tętna, które stwierdzamy u badanego podczas testu. Przeprowadzona prosta spowoduje przecięcie skali maksymalnego zużycia tlenu w punkcie odpowiadającym przewidywanej wartości VO_{2max} .

Odczytaną wartość ze skali testu Astranda należy pomnożyć przez współczynnik odpowiedni dla wieku badanej osoby, gdyż wartość VO_{2max} zmniejsza się w sposób istotny z wiekiem. Wartość maksymalnego zużycia tlenu badanej osoby wyrażoną w $l/O_2/min$ możemy przedstawić odnosząc się do 1kg masy ciała, tzn. w $ml/kg/min$.

Tab. 9 Wielkość współczynników, przez które należy pomnożyć wynik uzyskany z nomogramu Astranda-Ryhming [32]

Wiek [lata]	Współczynnik
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

Skorygowana wartość VO_{2max} charakteryzuje wydolność fizyczną badanej osoby. Uzyskane wartości VO_{2max} u sportowców w wieku 20-30 lat nie wymagają korekty. Wynik testu stosowany u osób powyżej 30 roku życia musi być pomniejszany wraz z wiekiem od 15 do 30%. Błąd pomiaru, dla potrzeb sportu wyczynowego dochodzić może nawet do 20%, co należy brać pod uwagę w procedurze kontroli stanu wytrenowania.

Ponadto wartość pułapu tlenowego wyznaczyć można również przy użyciu tabel. Dla wyznaczenia tej wartości należy wyznaczyć średnią wartość częstości skurczów serca uzyskaną w okresie równowagi funkcjonalnej (tj. w ostatnich 3 minutach wysiłku), której umowny symbol to HR submaksymalne Tabela zawiera wielkość VO_{2max} odpowiednio dla kobiet i mężczyzn. Znając wielkość mocy generowaną podczas wysiłku i średnią wartość częstości skurczów serca z odpowiedniej kolumny odczytać można wielkość VO_{2max} . W przypadku, gdy wiek badanych jest niższy niż 25 lat, odczytaną z tabel wielkość VO_{2max} mnożymy przez współczynnik korekcyjny odpowiadający danej grupie wiekowej. [2]

Tab. 10a VO_{2max} (w l/min) wyliczone na podstawie nomogramu Astranda dla kobiet [2] HR – wartość tętna uśrednionego z trzech kolejnych wartości w teście

HR	VO_{2max} w l/min					HR	VO_{2max} w l/min				
	300 kpm/ min	450 kpm/ min	600 kpm/ min	750 kpm/ min	900 kpm/ min		300 kpm/ min	450 kpm/ min	600 kpm/ min	750 kpm/ min	900 kpm/ min
120	2,6	3,4	4,1	4,8		148	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6
121	2,5	3,3	4,0	4,8		149		2,1	2,6	3,0	3,5
122	2,5	3,2	3,9	4,7		150		2,0	2,5	3,0	3,5
123	2,4	3,1	3,9	4,6		151		2,0	2,5	3,0	3,4
124	2,4	3,1	3,8	4,5		152		2,0	2,5	2,9	3,4
125	2,3	3,0	3,7	4,4		153		2,0	2,4	2,9	3,3
126	2,3	3,0	3,6	4,3		154		2,0	2,4	2,8	3,3
127	2,2	2,9	3,5	4,2		155		1,9	2,4	2,8	3,2
128	2,2	2,8	3,5	4,2	4,8	156		1,9	2,4	2,8	3,2
129	2,2	2,8	3,4	4,1	4,8	157		1,9	2,3	2,7	3,2
130	2,1	2,7	3,4	4,0	4,7	158		1,8	2,3	2,7	3,1
131	2,1	2,7	3,4	4,0	4,6	159		1,8	2,3	2,7	3,1
132	2,0	2,7	3,3	3,9	4,5	160		1,8	2,2	2,6	3,0
133	2,0	2,6	3,2	3,8	4,4	161		1,8	2,2	2,6	3,0
134	2,0	2,6	3,2	3,8	4,4	162		1,8	2,2	2,6	3,0
135	2,0	2,6	3,1	3,7	4,3	163		1,7	2,2	2,6	2,9
136	1,9	2,5	3,1	3,6	4,2	164		1,7	2,1	2,5	2,9
137	1,9	2,5	3,0	3,6	4,2	165		1,7	2,1	2,5	2,9
138	1,8	2,4	3,0	3,5	4,1	166		1,7	2,1	2,5	2,8
139	1,8	2,4	2,9	3,5	4,0	167		1,6	2,1	2,4	2,8
140	1,8	2,4	2,8	3,4	4,0	168		1,6	2,0	2,4	2,8
141	1,8	2,3	2,8	3,4	3,9	169		1,6	2,0	2,4	2,8
142	1,7	2,3	2,8	3,3	3,9	170		1,6	2,0	2,4	2,7
143	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8						
144	1,7	2,2	2,7	3,2	3,8						
145	1,6	2,2	2,7	3,2	3,7						
146	1,6	2,6	2,6	3,2	3,7						
147	1,6	2,6	2,6	3,1	3,6						

Tab. 10b VO_{2max} (w l/min) wyliczone na podstawie nomogramu Astranda dla mężczyzn [2] HR – wartość tętna uśrednionego z trzech kolejnych wartości w teście

HR	VO_{2max} w l/min					HR	VO_{2max} w l/min				
	300 kpm/ min	450 kpm/ min	600 kpm/ min	750 kpm/ min	900 kpm/ min		300 kpm/ min	450 kpm/ min	600 kpm/ min	750 kpm/ min	900 kpm/ min
120	2,2	3,5	4,8		5,0	148		2,4	3,2	4,3	5,4
121	2,2	3,4	4,7			149		2,3	3,2	4,3	5,4
122	2,2	3,4	4,6			150		2,3	3,2	4,2	5,3
123	2,1	3,4	4,6			151		2,3	3,1	4,2	5,2
124	2,1	3,3	4,5	6,0		152		2,3	2,5	4,1	5,2
125	2,0	3,2	4,4	5,9		153		2,2	2,4	4,1	5,1
126	2,0	3,2	4,4	5,8		154		2,2	2,4	4,0	5,1
127	2,0	3,1	4,3	5,7		155		2,2	2,4	4,0	5,0
128	2,0	3,1	4,2	5,6		156		2,2	2,4	4,0	5,0
129	1,9	3,0	4,2	5,6		157		2,1	2,3	3,9	4,9
130	1,9	3,0	4,1	5,5		158		2,1	2,3	3,9	4,9
131	1,9	2,9	4,0	5,4		159		2,1	2,3	3,8	4,8
132	1,8	2,9	4,0	5,3		160		2,1	2,2	3,8	4,8
133	1,8	2,8	3,9	5,3		161		2,0	2,2	3,7	4,7
134	1,8	2,8	3,9	5,2		162		2,0	2,2	3,7	4,6
135	1,7	2,8	3,8	5,1		163		2,0	2,2	3,7	4,6
136	1,7	2,7	3,8	5,0		164		2,0	2,1	3,6	4,5
137	1,7	2,7	3,7	5,0		165		2,0	2,1	3,6	4,5
138	1,6	2,7	3,7	4,9		166		1,9	2,1	3,6	4,5
139	1,6	2,6	3,6	4,8		167		1,9	2,1	3,5	4,4
140	1,6	2,6	3,6	4,8	6,0	168		1,9	2,0	3,5	4,4
141		2,6	2,6	3,5	5,9	169		1,9	2,6	3,5	4,3
142		2,5	2,8	3,5	5,8	170		1,8	2,6	3,4	4,3
143		2,5	2,7	3,4	5,7						
144		2,5	2,7	3,4	5,7						
145		2,4	2,7	3,4	5,6						
146		2,4	2,6	3,3	5,6						
147		2,4	2,6	3,3	5,5						

Tab. 11 Klasyfikacja zdolności wysiłkowej na podstawie pomiarów maksymalnego zużycia tlenu. Górne wartości odpowiadają zużyciu w l/min, dolne w ml/min.

Wiek	bardzo mała	mała	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Normy dla kobiet					
20-29	1,69 28	1,70-1,99 29-34	2,00-2,49 35-43	2,50-2,79 44-48	≥ 2,80 ≥ 49
30-39	1,59 27	1,60-1,89 28-33	1,90-2,39 34-41	2,40-2,69 42-47	≥ 2,70 ≥ 48
40-49	1,49 25	1,50-1,79 26-31	1,80-2,29 32-40	2,30-2,59 41-45	≥ 2,60 ≥ 46
50-65	1,29 21	1,30-1,59 22-28	1,60-2,09 29-36	2,10-2,39 37-41	≥ 2,40 ≥ 42
Normy dla mężczyzn					
20-29	2,79 38	2,80-3,09 39-43	3,10-3,69 44-51	3,70-3,99 52-56	≥ 4,00 ≥ 57
30-39	2,49 34	2,50-2,79 35-39	2,80-3,39 40-47	3,40-3,69 48-51	≥ 3,70 ≥ 52
40-49	2,19 30	2,20-2,49 31-35	2,50-3,09 36-43	3,10-3,39 44-47	≥ 3,49 ≥ 48
50-59	1,89 25	1,90-2,19 26-31	2,20-2,79 32-39	2,80-3,09 40-43	≥ 3,10 ≥ 44
60-69	1,59 21	1,60-1,89 22-26	1,90-2,49 27-35	2,50-2,79 36-39	≥ 2,80 ≥ 40

7.2.2 METODA MARGARII

Pośrednią metodą przewidywania VO_{2max} jest test opracowany w roku 1965 przez Margarię i współników, który przeprowadza się w warunkach wysiłku submaksymalnego. Wielkość VO_{2max} podobnie jak w teście Astranda jest wielkością przewidywalną.

W metodzie Margarii badany wykonuje dwa sześciominutowe wysiłki w stałym rytmie, w formie step testu. Pomiędzy poszczególnymi wysiłkami wykonuje się dwudziestominutową przerwę. Do podawania rytmu przy wchodzeniu na stopień używa się metronomu lub sygnału akustycznego z taśmy magnetofonowej. Wysokość stopnia wynosi odpowiednio dla dorosłych czterdzieści cm, a dla dzieci trzydzieści cm. Poszczególne wysiłki wykonywane są pierwszy w rytmie piętnaście wejść na minutę, natomiast drugi, po przerwie, w rytmie dwadzieścia pięć wejść na minutę. Zatem intensywność wysiłku określa się częstością

wchodzenia na stopień. Częstość tętna rejestrowana jest podczas obu wysiłków. Wielkości średnie z ostatnich trzech minut wysiłku, uzyskane w obu próbach służą do wyliczenia VO_{2max} .

Wielkość pułapu tlenowego w tej metodzie wyliczana jest ze wzoru:

$$VO_{2max} = \frac{HR_{max}(VO_{2II} - VO_{2I}) + HR_{II} \cdot VO_{2I} - HR_{I} \cdot VO_{2II}}{HR_{II} - HR_{I}}$$

Gdzie:

HR_{max} – maksymalna częstość skurczów serca [uderzenia/min.]

HR_{I} – zmierzona częstość skurczów serca w I wysiłku [ud./min.]

HR_{II} – zmierzona częstość skurczów serca w II wysiłku [ud./min.]

VO_{2I} – szacowany pobór tlenu w pierwszym wysiłku [ml/O₂/kg/min],
który wymaga zużycia ok. 22,0 [ml/O₂/kg/min]

VO_{2II} – szacowany pobór tlenu w drugim wysiłku [ml/O₂/kg/min],
który wymaga zużycia ok. 23,4 [ml/O₂/kg/min]

Wielkości VO_{2I} i VO_{2II} są wielkościami stałymi zarówno dla dorosłych (wartości jak wyżej) jak i dla dzieci 17,8 i 28,0 [ml/O₂/kg/min] [27].

W próbie Margarii istnieje możliwość wyznaczenia pułapu tlenowego metodą graficzną. Odczytujemy tą wartość z papieru milimetrowego, gdzie na osi X umieszczamy VO_2 , a na osi Y częstość skurczów serca zarejestrowane podczas pierwszego i drugiego wysiłku, jak i HR_{max} badanej osoby (ustalony empirycznie lub wyliczony z formuły 220 – wiek w latach). Punkty naniesione na wykres łączymy linią prostą, którą prowadzimy do przecięcia się z linią wyznaczającą HR_{max} . Otrzymany z tego przecięcia punkt rzutujemy na oś X i właśnie on wyznacza wartość VO_{2max} w jednostce [ml/kg/min].

Oprócz w/w metod wyznaczania VO_{2max} istnieje jeszcze jedna metoda przy zastosowaniu nomogramu. W metodzie tej odczytanie częstości tej następuje w ostatnich 10 sekundach każdej minuty. Wartości te stanowią podstawę do odczytania z nomogramu wartości VO_{2max} badanego osobnika. Wybór odpowiedniej prostej (oznaczającej maksymalne zużycie tlenu w ml/kg/min) na nomogramie dokonujemy

na podstawie określenia maksymalnego tętna, które jest charakterystyczne dla każdego badanego i zależy od wieku. Znając ciężar ciała badanego jesteśmy w stanie obliczyć wartość pułapu tlenowego w wartościach bezwzględnych, tj w $[l/O_2/min]$. (Margaria, Aghemo i Rovelli, 1965)

7.2.3 TEST PWC₁₇₀

PWC₁₇₀ (*Physical Work Capacity*) – próba ta polega na wyliczeniu w watach [W] obciążenie wykonywanego na ergometrze rowerowym, przy którym częstość skurczów serca ustala się na poziomie 170 uderzeń/minutę.

Wartość pracy fizycznej, którą badany może wykonać przy HR= 170 ud./min. stanowi o mierze wydolności tlenowej badanego. Większe wartości pracy wykonywane są przy intensywności tętna 170 ud./min. świadczą o lepszej wydolności badanego, gdyż posiada on większą rezerwę funkcjonalną.

Opracowanie tej próby oparło się w głównej mierze na liniowej zależności między obciążeniem a częstością skurczów serca, w warunkach równowagi czynnościowej [51].

Podczas tego testu badany wykonuje dwa wysiłki na ergometrze rowerowym, czas trwania pojedynczego wysiłku wynosi pięć minut. Wysiłki te wykonywane są podczas pracy submaksymalnej o różnej mocy np. o mocy 100 i 150 W. W czasie wykonywania wysiłku rejestrowana jest częstość skurczów serca. Wysiłki powinny być tak dobrane, aby częstość skurczów serca (średnie HR z trzech ostatnich minut wysiłku) podczas pierwszego wysiłku nie przekroczyła 130 ud./min., a w czasie trwania drugiego 150 ud./min. Między dwoma wysiłkami dozwolone jest zrobienie przerwy na odpoczynek, trwający około dwudziestu minut.

W celu odczytania wartości VO_{2max} w teście, posłużono się metodą graficzną. W metodzie tej w układzie współrzędnych prostokątnych zaznaczamy dwa punkty (f_1 i f_2), które oznaczają wartość tętna podczas pracy z dwoma rodzajami z wyżej wymienionym obciążeniem. Przez punkty te prowadzimy prostą, aż do przecięcia z linią odpowiadającą częstości skurczów serca 170 ud/min. Po zrzutowaniu punktu, który

powstał z przecięcia prostych na osi x, odczytujemy wartość mocy odpowiadającej częstości skurczów serca 170 ud/min.

Wartości wskaźnika PWC_{170} wyznaczyć możemy również posługując się metodą analityczną i niżej podanym wzorem:

$$PWC_{170} = N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}$$

Gdzie:

N_1 – obciążenie pierwsze

N_2 – obciążenie drugie

f_1 – wartość tętna z ostatniej minuty w wysiłku pierwszym

f_2 – wartość tętna z ostatniej minuty w wysiłku drugim

Gdy oszacowana zostaje wartość PWC_{170} (bądź za pomocą metody graficznej lub analitycznej), możemy wyliczyć wielkość pułapu tlenowego korzystając ze wzoru:

$$VO_{2\max} = 1,7 \cdot PWC_{170} + 1240$$

Gdzie:

$VO_{2\max}$ – maksymalne pochłanianie tlenu [ml/min]

1,7, 1240 – wielkości stałe

PWC_{170} – wartość bezwzględna [32].

Test PWC_{170} znalazł również zastosowanie u osób słabo wytrenowanych, starszych oraz w rehabilitacji leczniczej pod postacią testów PWC_{150} i PWC_{130} . Testy te stanowią modyfikację testu PWC_{170} , gdyż zastosowane są w nich znacznie mniejsze obciążenia.

7.2.4 TEST BRUCE'A

Test ten często wykorzystywany jest u osób starszych. (Bruce i McDonough 1969). U osób z chorobami układu krążenia i oddychania stosowana jest modyfikacja tego testu, która polega na stosowaniu mniejszego obciążenia początkowego (Lermen i wsp. 1976) Poniżej przedstawiono wielkość obciążenia, nachylenie bieżni i czas trwania obciążenia na kolejnych progach.

Tab.12 Protokół z testu Bruce'a dla osób zdrowych oraz z wysokim ryzykiem choroby

Faza	Osoby zdrowe			Osoby z wysokim ryzykiem choroby		
	Prędkość [km/godz.]	Kąt nachylenia [%]	Czas [min]	Prędkość [km/godz.]	Kąt nachylenia [%]	Czas [min]
1	2,7	10	3	2,7	0	3
2	4,0	12	3	2,7	5	3
3	5,5	14	3	2,7	10	3
4	6,7	16	3	4,0	12	3
5	8,0	18	3	5,5	14	3
6	8,8	20	3			

Zwiększenie obciążenia w tym teście wynosi 3-4 MET (1MET=3,5 ml tlenu /kg. m. c./min) na jeden poziom, nie trwa ono zbyt długo. Badany kontynuuje test do 70-80% przewidywanej maksymalnej częstości skurczów serca (HR_{max}) lub do chwili wystąpienia objawów, które nakazują przerwanie testu. Po przeprowadzeniu próby można wyliczyć VO_{2max} ze wzoru odpowiednio wybranego:

- dla aktywnych mężczyzn: $VO_{2max} = 3,778 \times \text{czas wysiłku} + 0,19$
- dla nieaktywnych mężczyzn: $VO_{2max} = 3,298 \times \text{czas wysiłku} + 4,07$
- dla pacjentów z chorobami układu krążenia: $VO_{2max} = 2,327 \times \text{czas wysiłku} + 9,48$
- dla zdrowych osób dorosłych: $VO_{2max} = 6,70 - 2,82 \times \text{płeć} + 0,056 \times \text{czas wysiłku}$

W równaniach tych VO_{2max} podawany jest w ml/min/kg.m.c., czas w minutach, a dla równania dla osób dorosłych w sekundach, płeć: mężczyźni = 1, kobiety = 0

Dla testu zmodyfikowanego stosuje się natomiast następujące równanie:

$$VO_{2max} = 3,5 + \text{prędkość(m/min)} \times 0,1 + \text{kąt nachylenia(procent/100)} \times \text{prędkość (m/min)} \times 1,8$$

7.2.5 SUBMAKSYMALNY TEST NA BIEŻNI

Test przeprowadzany jest na bieżni ruchomej (Ebbeling i wsp. 1991). Jest to marsz 4 minutowy z prędkością 2-4,5 mili/godz., przy kącie nachylenia 5%. Test poprzedza 2-4 minutowa rozgrzewka przeprowadzona na równej nie nachylonej powierzchni, gdzie prędkość przesuwu taśmy bieżni wynosi tyle samo co w trakcie próby właściwej. Pod koniec testu zliczane jest HR. Po zakończeniu testu badany powinien kontynuować marsz przez 3-5 minut. VO_{2max} wyliczane jest ze wzoru:

$$VO_{2max} = 15,1 + 21,8 \times \text{prędkość (mile/godz.)} - 0,327 \times \text{HR} - 0,263 \times \text{prędkość (mile/godz.)} \times \text{wiek (lata)} + 0,00504 \times \text{HR} \times \text{wiek (lata)} + 5,98 \times \text{płeć (kobiety} = 0, \text{ mężczyźni} = 1)$$

7.2.6 TEST SUBMAKSYMALNY NA ERGOMETRZE ROWEROWYM WEDŁUG FOXA

Test ten polega na pracy na ergometrze rowerowym przez 5 minut przy obciążeniu 150 W. Następnie zlicza się HR w 5 minucie i uzyskaną wartość podstawia do wzoru:

$$VO_{2max} = 6300 - 19,26 (HR_5)$$

Gdzie HR_5 oznacza częstość skurczów serca z 5 minuty testu. [32]

7.3 TESTY TERENOWE OCENY WYDOLNOŚCI TLENOWEJ

7.3.1 TEST BIEGOWY COOPERA

Test biegowy Coopera należy do najczęściej stosowanych sprawdzianów oceny zdolności wysiłkowej przeprowadzonych w terenie. Testy terenowe cieszą się dużym powodzeniem, ze względu na to, że nie wymagają stosowania skomplikowanego oprzyrządowania i przeprowadza się je poza laboratorium.

Test biegowy Coopera wykonywany jest najczęściej na bieżni lekkoatletycznej, może w nim uczestniczyć jedna lub wiele osób, co stanowi dodatkowy czynnik motywacyjny.

Przy konstruowaniu tych testów oparto się na zależności między długością przebytego dystansu, a VO_{2max} . Testy terenowe polegają na pokonywaniu pewnego dystansu w określonym czasie lub pomiarze czasu pokonywania określonego odcinka, np. 1 mili (1609m).

Ocenę wydolności dokonuje się na podstawie pomiarów częstości skurczów serca, bądź długości pokonanego dystansu. Testy terenowe są mniej precyzyjne od testów laboratoryjnych i stosuje się je często w badaniach populacyjnych.

Test Coopera polega na pośredniej ocenie maksymalnego poboru tlenu przy zastosowaniu dwunastominutowego biegu. W teście osoba badana ma za zadanie pokonać jak najdłuższy dystans w ciągu 12 minut biegu. Cooper w celu wyliczenia wartości VO_{2max} posłużył się następującymi równaniami:

$$VO_{2max} = 35,79 \cdot (dyst. w \text{ milach}) - 11,29$$

Gdzie:

-35,79 i 11,29 – wartości stałe [33].

Badania przeprowadzone przez Coopera wykazały, że wysiłek biegu z maksymalną szybkością koreluje bardzo wysoko ($r = 90$) z bezpośrednim pomiarem VO_{2max} wykonywanym na bieżni mechanicznej. Zależność tą przedstawia poniższa tabela.

Tab. 13 Porównanie wyników testu 12 min biegu i u mężczyzn w wieku do 30 lat [51]

Ocena wydolności	Wynik testu 12 min biegu w milach	VO_{2max} w ml/kg/min	Test biegu 1,5 mili/min
Bardzo słaba	poniżej 1	poniżej 25	powyżej 16.30
Słaba	1.0-1.24	25.0-33.7	16.30-14.31
Średnia	1.25-1.49	33.8-42.5	14.30-12.01
Dobra	1.50-1.75	42.6-51.5	12.00-10.16
Bardzo dobra	powyżej 1.75	powyżej 51.6	poniżej 10.15

Tab. 14 Kryteria oceny poziomu wytrzymałości w teście Coopera. Dystans biegu podany w metrach. [58]

Wytrzymałość	Wiek					
	12	13	14	15	16	Dorośli
Doskonała	2850	2900	2950	3000	3050	>3200
Bardzo dobra	2600	2700	2750	2800	2850	3050
Dobra	2200	2300	2350	2400	2450	3000
Średnia	1800	1900	1950	2000	2050	2800
Słaba	1200	1300	1350	1400	1450	<2800
Bardzo słaba	<1200	<1300	<1350	<1400	<1450	

Tab. 15 VO_{2max} w 9 i 12 minutowym biegu (według Hunsickera, Reifa, Coopera i Hanara). Dystans biegu podany w metrach. [58]

Bieg 12 minutowy	Bieg 9 minutowy	VO_{2max} [ml/min]
2300	1600	40
2400	1700	42
2500	1800	44
2600	1900	46,5
2700	2000	49
2800	2100	51
2900	2200	53
3000	2300	55
3100	2400	57
3200	2500	59,5
3300	2600	62

Wytrzymałościowy test CRE – Cardio-Respiratory Endurance w postaci biegu ciągłego. Na sygnał zawodnik pokonuje 20 metrowe odcinki. Na początku szybkość biegu jest mała, ale z każdą minutą stopniowo się zwiększa. Czas potrzebny na pokonanie dystansu określany jest przez sygnał z taśmy. Próba kończy się, gdy badany dwukrotnie po sobie nie dotknie linii w wyznaczonym limicie czasowym, lub gdy minie łączny czas 9 minut. Ocenie poddaje się liczbę przebiegniętych 20 metrowych odcinków. Alternatywą może być test wydłużony do 12 minut. Wartość maksymalnego zużycia tlenu odczytujemy z tabeli. [58]

7.3.2 TEST JEDNOMIŁOWY

Maud i Foster (1995) opracowali jednomiłowy test określający maksymalny pobór tlenu. Polega on na przebiegnięciu mili (1609 metrów) w jak najkrótszym czasie. W celu wyliczenia VO_{2max} z danych uzyskanych podczas testu wykorzystujemy następujące równanie:

$$VO_{2max} = 0,21 (\text{wiek} \times \text{płeć}) - 0,84 (\text{BMI}) - 8,41 (\text{MT}) + 0,34 (\text{MT}^2) + 108,94$$

Gdzie: BMI – wskaźnik oceny prawidłowej masy ciała (masa podzielona przez wysokość ciała podniesiona do drugiej potęgi)

MT – czas przebiegnięcia jednej mili w minutach [30]

Wiek – podawany jest w latach

Płeć określana jest jako 0 dla kobiet i 1 dla mężczyzn

Zwykle błąd przewidywanej wartości VO_{2max} wynosi w powyższym teście 3-5 ml. Jednocześnie oznacza to, że wyliczony wynik może być różny od wyniku faktycznego.

Innym testem jest test Klina i wsp.(1987) polegający na przejściu mili w jak najszybszym tempie, bez wykorzystania biegu. Ma on opracowanie równania dla wieku 14-18 i 30-70 lat i jest bardziej przydatny dla osób w starszym wieku lub o małej aktywności ruchowej. Nie wymaga on bardzo dużej intensywności pracy od osoby badanej. Test ten polega na przejściu mili i zliczeniu częstości skurczów serca podczas ostatnich 400 metrów lub w ciągu 15 sekund po zakończeniu testu. Do określenia VO_{2max} stosuje się równanie:

$$VO_{2max} = 132,85 - 0,077 \times \text{masa ciała (funty)} - 0,3 \times \text{wiek (lata)} + 6,31 \times (\text{płeć}) - 3,265 \times \text{WT} - 0,157 \times \text{HR}$$

Gdzie: płeć żeńska = 0, a męska = 1

WT- czas pokonania wyznaczonego dystansu w min.

HR – częstość skurczów serca podawana w ud./ min.

7.3.3 FIŃSKI TEST CHODU

Fiński test chodu przeznaczony jest dla osób w przedziale wieku 20-65 lat (Oja i wsp. 1991) Może być stosowany u osób otyłych, z nadwagą, jednak nie jest zalecany dla osób dobrze wytrenowanych (VO_{2max} większe, niż 60 ml/min./kg.m.c. u mężczyzn i większe, niż

50 ml/min./kg/m.c. u kobiet). Przed przystąpieniem do testu badany powinien odpowiedzieć na pytania:

- Czy ma problemy związane z chorobami serca
- Czy ma zdrowe stawy
- Czy odczuwa pieczenie albo ucisk w klatce piersiowej, gdy wykonuje szybki marsz
- Czy czuje się zamroczony lub omdlewa, gdy szybko maszeruje
- Czy czuje się zmęczony
- Czy ma gorączkę
- Czy bierze w obecnej chwili lekarstwa- jeśli tak to jakie

Jeśli na wszystkie pytania padła odpowiedź „nie”, badany może rozpocząć wykonywanie testu. Jeśli nawet na jedno pytanie padła odpowiedź „tak” musi się poradzić lekarza lub osoby uprawnionej do przeprowadzania takich testów.

Test polega na przejściu w jak najszybszym tempie (lecz nie biegiem) dystansu 2 km oraz zliczeniu częstości skurczów serca pod koniec marszu. Przed testem należy wykonać 5- 10 minutową rozgrzewkę. Czas uzyskany w teście zapisuje się z dokładnością do 1 sekundy. HR zlicza się po zakończeniu marszu w ciągu 15 sekund i przelicza na 1 minutę. Do uzyskania końcowej oceny tzw. Fitness Index bierze się pod uwagę:

- płeć,
- wiek w latach,
- masę ciała w kg.,
- czas marszu,
- HR z pierwszej minuty wypoczynku po teście.

Procedura określania poziomu wytrzymałości tlenowej – (Fitness Index):

a) Pomnożyć i dodać uzyskane wartości:

mężczyźni	kobiety	
$t \times 11,6$	$t \times 8,5$	Czas marszu (min.)
$t \times 0,2$	$t \times 0,14$	Czas marszu (s)
$ud./min \times 0,56$	$ud./min \times 0,32$	HR tuż po marszu
$kg/m^2 \times 2,6$	$kg/m^2 \times 1,1$	Wskaźnik Queteleta
=		suma

b) odjąć od uzyskanej sumy wiek i pomnożyć:

suma – (wiek \times 0,2) mężczyźni; suma – (wiek \times 0,4) kobiety

c) odjąć uzyskaną liczbę od 420 dla mężczyzn, od 304 dla kobiet

Uzyskany wynik klasyfikuje się według tabeli: Tab.16 [32]

Tab.16 Oznaczanie poziomu zdolności wysiłkowej (Oja i wsp. 1991)

Punktacja	Ocena	Wartość VO _{2max}
Mniej niż 70	Znacznie poniżej przeciętnej	Poniżej 23
70-89	Nieznacznie poniżej przeciętnej	23-30
90-110	Przeciętna	21-37
111-130	Nieznacznie powyżej przeciętnej	38-44
130	Znacznie powyżej przeciętnej	Powyżej 44

7.3.4 TEST LEGERA

Test progresywny prowadzony na odcinku 20 metrów. Celem testu jest określenie pułapu tlenowego. Osoba badana biegnie do odmowy z prędkością jaką wyznacza sygnał dzwonka. Prędkość zwiększana jest progresywnie o 0,5 km/godz. Przez kolejne minuty. Poziom pierwszy odpowiada prędkości biegu 8,5 km/godz. Ostatnia prędkość służy do określenia VO_{2max} według wzoru:

$$VO_{2max} [ml/kg/min] = 32,025 + (3,238 \times \text{prędkość [km/godz]}) - (3,248 \times \text{wiek}) + [(0,1536 \times \text{prędkość [km/godz]}) \times \text{wiek [w latach]}]$$

Równanie jest przeznaczone dla osób w wieku 6-18 lat [25]

7.4 INNE METODY OCENY WYTRZYMAŁOŚCI TLENEWEJ

Inną metodę pomiarową stanowi step-test harwardzki. Pierwszy tego typu test wprowadził Brouha w 1943 w Harvard Fatigue Laboratory. Czas trwania próby wynosi 5 minut. W ciągu minuty badany wchodzi 30 razy na stopień o wysokości 51 cm dla mężczyzn i 45 cm dla kobiet., w cyklu wejścia na stopień jedną nogą, później dostawieniu drugiej kończyny. Zejście od pozycji wyjściowej wykonywane jest w odwrotnej kolejności. Po zakończonej próbie osoba badana siada na krześle, tętno należy mierzyć przez 30 sekund w czasie:

1 – 1,30 min,

2 – 2,30 min,

3 – 3,30 min.

Obliczane wartości podstawić należy do wzoru:

$$\text{Wskaźnik wydolności} = \text{czas pracy (s)} \times 100 / 2 \times (\text{suma trzech pomiarów mierzonego tętna po próbie})$$

Osoby lepiej przystosowane do wykonywania wysiłku osiągają wyższe wartości wyliczonego wskaźnika podczas wykonywania próby (Tabela 17). [50,58]

Tab. 17 Ocena wyników wydolności [58]

Wartość wskaźnika	Ocena
Ponad 140	Wybitna
Więcej niż 90	Bardzo dobra
80 - 89	Dobra
65 - 79	Średnia
55 - 64	Poniżej średniej
Mniej niż 55	Niedostateczna (wymaga poprawy)

Test ten nie jest tak dokładny jak test na bieżni, czy ergometrze rowerowym. Może on być przydatny do porównań dla tej samej osoby przy pomiarze zmian, jakie zachodzą w trakcie stosowanego treningu.

8. PRÓG TLENOWY I BEZTLENOWY

Wyznaczanie progu tlenowego i beztlenowego stanowi obecnie jedną z podstawowych metod diagnostycznych do oceny wydolności aerobowej, do oceny zdolności wykonywania wysiłków długotrwałych. [32]

Na skutek zwiększanej sukcesywnie intensywności pracy obserwuje się dwa tzw. progi dotyczące zmiany stężenia mleczanu we krwi oraz niektórych parametrów oddechowych. Pierwszy występuje, gdy poziom mleczanu we krwi uzyska wartość $1,7 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$, drugi na poziomie $4 \text{ mmol} \times \text{l}^{-1}$

Dla określania pierwszego progu stosuje się nazwy:

- aerobic threshold, próg aerobowy, próg tlenowy
- punkt optymalnej wydolności wentylacyjnej
- pierwszy próg wentylacyjny
- pierwszy próg mleczanowy

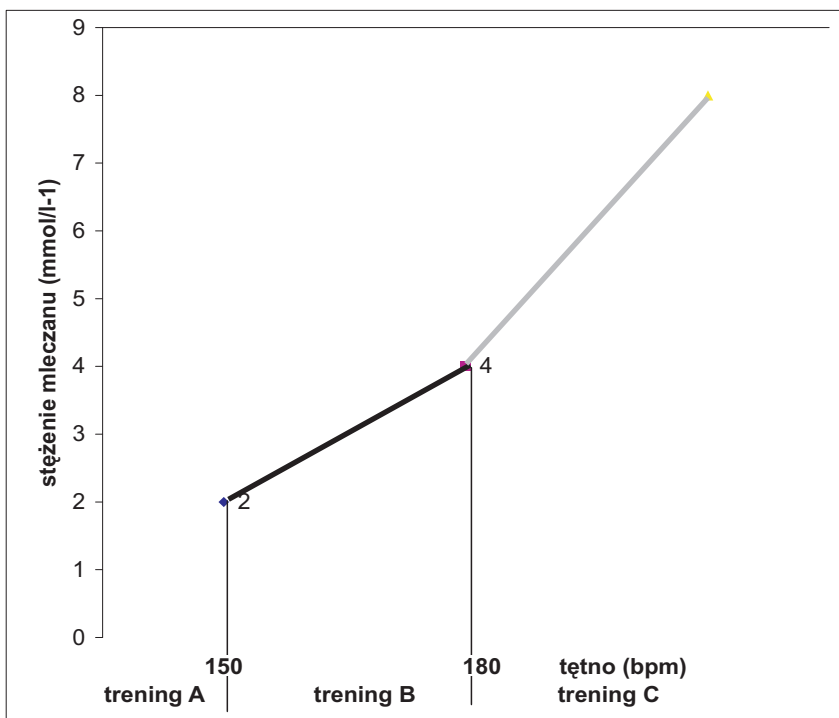
Dla określenia drugiego progu stosuje się nazwy:

- anaerobic threshold, próg przemian anaerobowych (PPA),
- próg przemian beztlenowych (PPB)
- indywidualny próg anaerobowy
- początkowy wzrost poziomu kwasu mlekowego (onset of blood lactate accumulation – OBLA)
- drugi próg wentylacyjny
- drugi próg mleczanowy
- próg skompensowanej kwasicy metabolicznej
- próg kompensacji tlenowo-beztlenowej

Pierwszy próg występuje przy wartości obciążenia około 40% $\text{VO}_{2\text{max}}$, a źródłem energetycznym są głównie tlenowe procesy metaboliczne. Po przekroczeniu tego progu obserwuje się powolny przyrost kwasu mlekowego we krwi. Świadczy to o włączeniu się przemian beztlenowych w pracujących mięśniach. Jedną z hipotez odnosi się przy określaniu progów do aktywności różnych grup włókien

mięśniowych. Przy małej intensywności pracy aktywność przejawiają włókna wolnokurczliwe, charakteryzujące się dużą aktywnością enzymów utleniających. Większa intensywność pracy angażuje w większym wymiarze włókna szybkokurczliwe, które posiadają dużą aktywność enzymów glikolitycznych i powoduje to większe nagromadzenie się kwasu mlekowego. Przy intensywności wysiłku około 70-80% VO_{2max} , następuje przewaga tempa powstawania kwasu mlekowego nad jego eliminacją. Termin próg przemian beztlenowych wprowadził Wassermann i wsp (1973). Od momentu wystąpienia (PPB) dochodzi do gwałtownego wzrostu stężenia mleczanu we krwi. W doborze obciążeń treningowych stosuje się wskaźnik stanu maksymalnej równowagi mleczanowej (Maximal Lactate Steady State – MLSS) wyznaczający górną wartość stężenia kwasu mlekowego we krwi podczas pracy fizycznej o stałej intensywności, gdy zachowana jest równowaga między jego produkcją a neutralizacją. [1,6,32,58,]

Obecnie są rozbieżne hipotezy dotyczące wyjaśnienia powstawania kwasu mlekowego w mięśniach szkieletowych podczas wykonywanej pracy. Część autorów podkreśla niedostateczne zaopatrzenie mięśni w tlen, inni twierdzą, iż hipoksja może wpływać na zwiększenie produkcji kwasu mlekowego, ale wiodącą przyczyną jego akumulacji to stymulacja β -adrenergiczna mięśni szkieletowych jako czynnik przyspieszający glikogenolizę. Ważną rolę w tym procesie pełni zwiększone wydzielanie adrenaliny powodujące przyspieszenie powstawania kwasu pirogronowego, który nie utlenia się w mitochondriach a podlega przemianie w kwas mlekowy. Zwiększenie ilości kwasu mlekowego powoduje zwiększenie stężenia jonów wodorowych w cytoplazmie komórek mięśniowych, zmniejszając ich możliwości skurczów. Jest to jedna z przyczyn rozwoju zmęczenia mięśni. Stężenie kwasu mlekowego we krwi zależy od nasilenia jego produkcji i tempa eliminacji w której biorą udział przede wszystkim: mięśnie poprzecznie prążkowane, wątroba i nerki. Wpływ treningu ma znaczenie w obniżeniu stężenia mleczanu na skutek zmniejszonej jego produkcji, zwiększonego tempa jego utylizacji lub jako wypadkowa obydwu procesów. [28,39,68]



Ryc.4 Krzywa przebiegu zmian stężenia mleczanu podczas wysiłku o narastającej intensywności odniesienie do częstości skurczów serca. Próg beztlenowy wystąpił przy częstości pracy serca mierzonego w uderzeniach na minutę (bpm) – 180. trening A – trening regeneracyjny tlenowy; trening B – trening wytrzymałości tlenowej; trening C – trening interwałowy beztlenowy. (wg. Janssena 1989) [16]

8.1 METODY WYZNACZANIA PRUGU TLENOWEGO I BEZTLENOWEGO

Stężenie kwasu mlekowego w organizmie jest ściśle powiązane z funkcjami układu krążenia i układu oddechowego. Czynniki kształtujące próg mleczanowy ze strony zmian reakcji układu oddechowego to:

- wentylacja płuc VM,
- zużycie tlenu Vo_2 ,
- wydalanie Co_2 .

Zwiększanej prężności dwutlenku węgla ($p\text{CO}_2$) towarzyszy pobudzenie czynności oddechowej, co obserwujemy w postaci hiperwentylacji, której to zadaniem jest usunięcie z organizmu nadmiaru CO_2 i nasilenie się kwasicy oddechowej.

Kolejnym czynnikiem kształtującym próg mleczanowy jest reakcja układu krążenia, a dokładniej wzrost częstości skurczów serca (HR). Przy narastaniu w organizmie kwasicy metabolicznej termodynamika krążenia nie jest w stanie zabezpieczyć potrzeb metabolicznych wysiłku, w związku z czym w organizmie pojawia się zmęczenia ustrojowe.

Metody wyznaczania progu można podzielić na inwazyjne i nieinwazyjne.

Zasadnicza metoda inwazyjna to pomiar stężenia kwasu mlekowego we krwi (LA) lub niedoboru zasad buforujących we krwi (BE).

Wyznaczanie progu beztlenowego metodą nieinwazyjną opiera się głównie na poniższych kryteriach:

- nieliniowy przyrost: wentylacji minutowej (VM);
produkcji dwutlenku węgla (VCO_2);
równoważnika oddechowego (RQ);
procentowej zawartości tlenu w powietrzu wydychanym
- nieproporcjonalne zahamowanie przyśpieszenia częstości pracy serca (HR) podczas stopniowego zwiększania intensywności pracy [10,47]

Oznaczenia progu mleczanowego najczęściej przeprowadza się poprzez badanie stężenia mleczanu we krwi w trakcie próby wysiłkowej o stopniowo wzrastającej intensywności. Ponieważ krew pobierana jest najczęściej z palca lub z płatka ucha, metoda ta jest metodą inwazyjną.

Badanie poziomu mleczanów przeprowadzane jest przy każdej intensywności wysiłku, a następnie w sposób graficzny wyznaczona zostaje krzywa zależność pomiędzy obciążeniem wyrażonym w watach [W], a stężeniem mleczanów we krwi.

Moment, w którym w badanej próbce obserwuje się gwałtowny wzrost stężenia mleczanów we krwi, uważa się za punkt wyznaczenia progu mleczanowego. Wartość progu mleczanowego może być wyrażana w % pułapu tlenowego, częstości rytmu serca oraz w ilości pobieranego tlenu [27].

Pomiar progu mleczanowego można wyznaczyć również w sposób nieinwazyjny poprzez pomiar wentylacji minutowej i ilości wydychanego dwutlenku węgla. W chwili pojawienia się progowego stężenia mleczanów we krwi w czasie trwania wysiłku dochodzi do załamania liniowej zależności między wentylacją minutową, a intensywnością wysiłku fizycznego. W tym momencie dochodzi do gwałtownego zwiększenia wentylacji minutowej, zwiększa się także wydalenie dwutlenku węgla z płuc. Pojawienie się takich oznak określane jest mianem progu wentylacyjnego [27].

Wśród metod wyznaczania progu mleczanowego znajdują się próby na ergometrze rowerowym, wyznaczanie progu wentylacyjnego, próby na bieżni mechanicznej oraz próby biegowe w terenie.[11]

8.1.1. PRÓBY NA ERGOMETRZE ROWEROWYM

Przy pracy na ergometrze rowerowym wykonywane są wysiłki o stopniowo wzrastającej intensywności. Podczas tej próby progresywnej badanej osobie przed przystąpieniem do pedałowania na ergometrze rowerowym pobiera się spoczynkową próbkę krwi. Następnie osoba badana przystępuje do pedałowania w stałym rytmie (zalecany rytm wynosi 70 obrotów/min., dla kolarzy uprawiających zawodowo swoją dyscyplinę preferowane są wyższe prędkości obrotów – 80-89 obr./min). W odstępach trzyminutowych zwiększana jest wielkość siły hamującej cykloergometru, w taki sposób by wielkość generowanej mocy wzrastała o 39W co trzy minuty. Gdy w próbie udział biorą osobnicy o mniejszej wydolności fizycznej, zalecany jest przyrost mocy o 20W co trzy minuty. Dla osób o wyjątkowo niskiej wydolności (VO_{2max} poniżej 25 ml/kg/min) przyrost mocy nie powinien być większy niż 10W co trzy minuty.

Próba jest wykonywana do odmowy badanego. Krew do analizy w czasie trwania tej próby powinna być pobierana z opuszki palca, płątka ucha lub z jednej z żył przedramienia. Pobieranie próbki następuje w spoczynku oraz w końcowych sekundach każdego ze stopni wysiłkowych. W chwili przyrostu koncentracji mleczanu po kolejnych wzrostach intensywności 0,5 mmol/l możemy mówić o przekroczeniu progu mleczanowego.

Poniższa tabela przedstawia typowe wielkości osiągniętej mocy na PPB w czasie próby wysiłkowej na cykloergometrze.

Tab. 18 Typowe wielkości mocy osiągnięte na LT w czasie próby wysiłkowej na cykloergometrze [27]

Badana grupa	Wielkość mocy uzyskanej na PPB (W)
Młodzi zdrowi ludzie	60-150
Fizycznie aktywni zdrowi ludzie	90-210
Kolarze grup amatorskich	150-270
Kolarze grup zawodowych	240-330

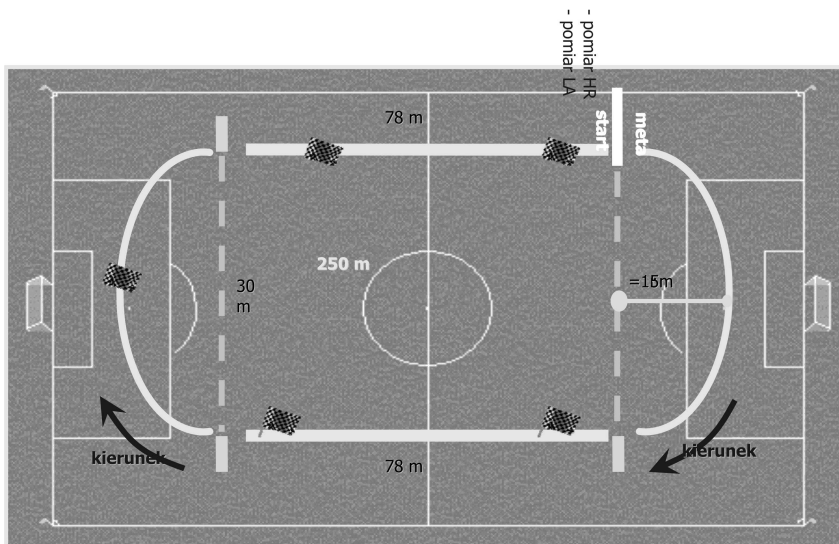
8.1.2. PRÓG WENTYLACYJNY

Próg wentylacyjny jest kolejną metodą wyznaczania progu mleczanowego PPB. Wykonuje się go na podstawie przebiegu parametrów oddechowych. Sposób wyznaczania progu wentylacyjnego oparto na obciążeniach progowych i na podstawie przebiegu VM i VCO_2 w wysiłku o stopniowo wzrastającej intensywności. W latach sześćdziesiątych metoda ta cieszyła się ogromną popularnością w badaniach wydolności fizycznej, a szczególnie u pacjentów z problemami kardiologicznymi.

Metoda stosowana aktualnie umożliwia wyznaczenie PPB podczas wysiłków o ciągłym przyroście wielkości mocy. Taki przyrost ma swoje ujemne strony, gdyż w tych wysiłkach nie dochodzi do osiągnięcia równowagi czynnościowej (ang. *steady state*), co sprawia, że pobieranie tlenu przez organizm w czasie wysiłku o określonej mocy, wskazuje na niższe wartości.

Dobłą metodą stosowaną przy takich próbach wysiłkowych jest metoda „change point in VCO_2 ”. W metodzie tej wylicza się wielkość mocy, przy której VCO_2 zaczyna przyrastać w sposób nieliniowy względem przyrostu mocy, za pomocą specjalnych logarytmów matematycznych. [4,11,12,30,49]

8.1.3. ZMODYFIKOWANY TEST WYZNACZANIA PRUGU PRZEMIAN BEZTLENOWYCH (wg. CHMURY)



Ryc.5 Schemat postępowania w zmodyfikowanym teście wyznaczania PPB (wg. Chmury)[15]

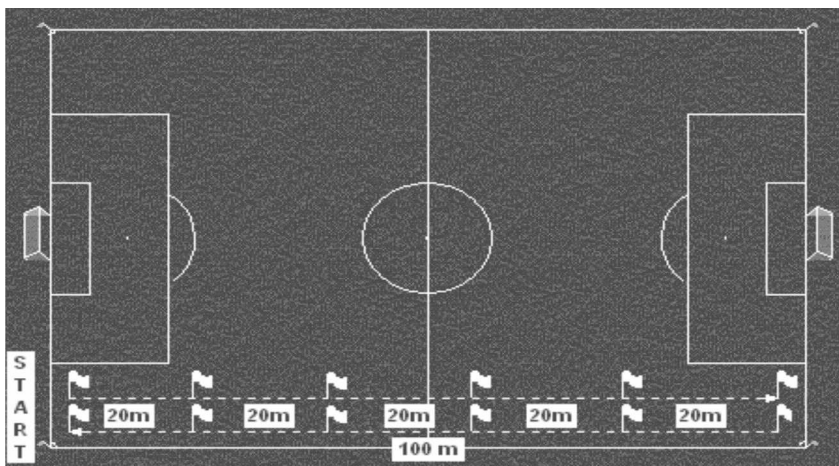
Powyżej przedstawiony schemat postępowania w zmodyfikowanym teście do wyznaczania pręgu przemian beztlenowych pokazuje tor i kierunek biegu osoby badanej, gdzie do wykonania pełnego okrążenia (250m) wykorzystano boisko do gry w piłkę nożną. Test polega na wykonaniu siedmiu kolejno narastających obciążeń w postaci pokonanych okrążeń z odpowiednią prędkością biegu (Tab.19). Po wykonaniu kolejnych obciążeń, na wysokości mety dokonywane są pomiary zawartości kwasu mlekowego (LA) we krwi oraz wartości tętna wysiłkowego (HR). Na poziomie zawartości LA $4 \text{ mmol} \times 1^{-1}$ we krwi odczytywany jest próg przemian beztlenowych.

Poniżej przedstawiono kolejno następujące po sobie obciążenia w teście wysiłkowym o narastającej prędkości biegu

Tab. 19 Charakterystyka obciążeń fizycznych zastosowanych w teście wysiłkowym [15]

Kolejny obciążenie	Odcinek	Intensywność [m/s]	Czas przebiegnięcia odcinka 250m (w min. ; s.)	Ogólny czas biegu (min ; s.)	Pokonywany dystans [m]
1 obciążenie	250 • 3	2,8	1 min, 29s.	4 min.27 s.	750
2 obciążenie	250 • 3	3,2	1 min, 18s.	3 min.54 s.	750
3 obciążenie	250 • 4	3,6	1min, 09s.	4 min.16 s.	1000
4 obciążenie	250 • 4	4,0	1 min., 03s.	4 min.12 s.	1000
5 obciążenie	250 • 4	4,4	0min., 57s.	3 min.48 s.	1000
6 obciążenie	250 • 5	4,8	0 min.,52s	4 min.20s.	1250
7 obciążenie	250 • 5	5,2	0min.,48 s.	4 min.00s.	1250
				Suma:	7000

8.1.4. ZMODYFIKOWANY TEST CONCONIEGO (wg. CHMURY)



Ryc.6 Schemat postępowania w zmodyfikowanym teście Conconiego (wg. Chmury) [15]

W teście tym dokonywany jest pomiar wartości tętna w wysiłku o rosnącej intensywności w warunkach naturalnych dla piłkarzy. Punkt załamania przyrostu tętna jest szacowanym progiem przemian beztlenowych (PPB) co przedstawia poniższa tab. 18. Do testu potrzebny jest 200 metrowy odcinek (ryc.5), do bezpośredniego pomiaru tętna wykorzystuje się sport – tester. Podczas próby wykonuje się bieg ciągły z narastającą prędkością, aż do momentu gdy osoba badana nie jest

w stanie dalej kontynuować pracy. Zwiększenie prędkości biegu i pomiar tętna odbywa się po każdym 200 m. odcinku. Przykładowy próg przemian beztlenowych został wyznaczony na poziomie 169 ud./min, co odpowiada prędkości biegu 4,00 m/s.[15]

Tab. 20 Obciążenia w zmodyfikowanym teście Conconiego (wg. Chmury)

Odcinek biegowy	Sumarycznie pokonany dystans (m)	Czas przebiegnięcia 200-metrowego odcinka biegowego (sek.)	Prędkość biegowa (m/s)	Przykładowe wartości tętna (ud./min)
1	200	70	2,85	133
2	400	68	2,94	142
3	600	66	3,03	145
4	800	64	3,13	149
5	1000	62	3,23	153
6	1200	60	3,33	158
7	1400	58	3,45	162
8	1600	56	3,57	166
9	1800	54	3,70	168
10	2000	52	3,84	170
11	2200	50	4,00	169 PPB
12	2400	48	4,17	176
13	2600	46	4,35	180
14	2800	44	4,55	188
15	3000	42	4,76	195
16	3200	40	5,00	
17	3400	38	5,26	
18	3600	36	5,56	
19	3800	34	5,88	
20	4000	32	6,25	

8.1.5 PRÓBY BIEGOWE

Wyznaczanie progu mleczanowego za pomocą prób biegowych może odbywać się zarówno w laboratorium, jak i na stadionie. W laboratorium w tym celu wykorzystuje się bieżnię mechaniczną. Podczas prób biegowych, wyznaczenie progu mleczanowego jest identyczne jak w przypadku wyznaczenia progu wentylacyjnego. Przy zastosowaniu bieżni mechanicznej prędkość biegu zwiększana jest stopniowo (przeważnie 1 km/h co 4 lub 6 minut). Próby te utrudniają pobór próbek krwi i wykonuje się je najczęściej w czasie jednodominutowej przerwy w trakcie biegu.

8.1.6 WYKORZYSTANIE PRĘDKOŚCI BIEGOWEJ W KSZTAŁTOWANIU WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ

Kolejnym wskaźnikiem, za pomocą którego możemy kontrolować intensywność obciążeń fizycznych na poziomie progu przemian anaerobowych jest prędkość biegu [16]

Obciążenie progowe – jest to górna granica intensywności wysiłku przy której można jeszcze kształtować wytrzymałość tlenową. Brak informacji o progowym obciążeniu doprowadza do stanu przeciążenia lub niedociążenia organizmu a w konsekwencji do obniżenia efektywności treningu tlenowego. Kryteria podstawowe oceny obciążeń progowych to: LA – 4 mmol/l; HR 150 – 180 (ud./min.); prędkość biegu 3,2 – 4,5 m/s. [15]

Do oceny wytrzymałości tlenowej Mader i wsp. (1976) opracowali skalę, przyjmując za podstawę wskaźnik prędkości biegu podczas którego stężenie mleczanu we krwi osiąga wartość 4 mmol/l. Według tej skali progowa prędkość biegu kształtuje się następująco:

- od 3,0 – 3,5 m/s u osób nie wytrenowanych
- od 3,5 – 4,0 m/s u osób mało wytrenowanych
- od 4,0 – 4,7 m/s u osób średnio wytrenowanych
- od 4,8 – 5,2 u osób wysoko wytrenowanych
- od 5,3 – 5,6 u osób doskonale wytrenowanych

Osoby, które osiągają na poziomie PPB wyższą prędkość biegu, charakteryzują się równocześnie większą wytrzymałością tlenową [16]

8.2 CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE PPB

Przyjmuje się, że PPB nie zależy od masy mięśniowej, ale od rodzaju włókien zaangażowanych w pracy oraz tlenowego i beztlenowego potencjału mięśni. Istnieje tendencja do pojawiania się PPB przy niższych obciążeniach przy mniejszej masie mięśni zaangażowanych w pracy. U osób ze zwiększoną zawartością włókien szybko kurczliwych szybciej występuje PPB i również występuje odwrotna zależność. U osób o większej masie ciała występuje on później i odwrotnie.

Niektórzy autorzy twierdzą, że obniżona zawartość glikogenu mięśniowego przesuną PPB w kierunku niższych obciążeń. Wiąże to ze specyfiką prowadzonego treningu.

Istotne znaczenie w regulacji metabolizmu mięśniowego mają aminy katecholowe. Adrenalina łącząc się z β - receptorem mięśnia szkieletowego aktywuje fosforylaze „a” doprowadzając do rozkładu glikogenu i produkcji mleczanu. Większe stężenie adrenaliny we krwi prowadzi do aktywniejszej glikogenolizy i zwiększenia produkcji mleczanu.

Zauważono w trakcie badań powiązanie poziomu stężenia mleczanu we krwi w warunkach stresu zimna z intensywnością wykonywanej pracy. Podczas wysiłku fizycznego prowadzonego w niesprzyjających warunkach obniżonej temperatury środowiska dochodzi do drżenia mięśniowego, co może wpływać na szybkość rozwoju kwasicy metabolicznej. Może pojawiać się zwiększona aktywacja części adrenergicznej układu nerwowego, co z kolei ma istotny wpływ na rodzaj wykorzystywanych substratów i zarazem na produkcję kwasu mlekowego. W badaniach obserwuje się opóźnione pojawienie się początku akumulacji mleczanu we krwi w warunkach ekspozycji na zimno, co jest równoznaczne z obniżonym tempem produkcji mleczanu przez pracujące mięśnie w wyniku spowolnionego tempa beztlenowej glikogenolizy. Zwężenie naczyń skórnych na skutek obniżonej temperatury środowiska może powodować wzrost przepływu krwi przez pracujące mięśnie.

Wykazano również, że kumulacja mleczanu następuje w mięśniach szybciej, jeśli wysiłek nie został poprzedzony rozgrzewką. Efekt ten

tłumaczono częściowo przez zwiększenie temperatury lub zwiększone mikrokrążenie mięśni, które to efekty zapewnia wysiłek stanowiący obciążenie wstępne (rozgrzewka).

Obserwuje się zależność między kształtowaniem się progu przemian beztlenowych, a rodzajem treningu. Wykazano, że szybkość biegu przy określonym PPB jest dobrym wskaźnikiem wydolności biegowej. Niektórzy autorzy twierdzą, iż pobór tlenu wyznaczony na poziomie progu przemian beztlenowych jest lepszym wskaźnikiem określania wydolności, niż parametr VO_{2max} . PPB zmienia się bardziej pod wpływem treningu wytrzymałościowego, niż VO_{2max} . W pracach badawczych Sjodina i wsp. zaobserwowano, iż podczas treningu wytrzymałościowego VO_{2max} zwiększyło się o 3 %, podczas, gdy PPB o 7% w tym samym czasie w stosunku do wartości przedtreningowych.[53]

Wraz z wiekiem istnieje tendencja do przesuwania się progu przemian beztlenowych w kierunku niższych obciążeń. Przemawia za tym:

- Zwiększanie się proporcji włókien wolno do szybko kurczliwych
- Obniżanie się tempa dyfuzji mleczanu
- Obniżanie się wrażliwości ośrodków oddechowych na działanie CO_2

Szereg badań wskazuje, że obniżanie się parametrów wydolności beztlenowej w stosunku do wydolności tlenowej wraz z wiekiem jest szybsze. Jednakże regularny trening wytrzymałościowy nawet już o charakterze rekreacyjnym pozwala na utrzymanie parametrów wydolności tlenowej na zbliżonym poziomie w grupie osób, gdzie różnica wieku sięgała 19 lat (porównywano wyniki w grupie mężczyzn 46-65 lat) [66]. Natomiast nie zaobserwowano podobnych zmian we wskaźnikach charakteryzujących wydolność anaerobową.

W odniesieniu do płci, u kobiet w grupie porównywalnej wiekowo w stosunku do grupy mężczyzn PPB występuje przy niższych obciążeniach.

U osób z obniżoną adaptacją do wysiłków fizycznych na skutek chorób układu krążenia i oddychania próg przemian beztlenowych występuje wcześniej, przy niższych obciążeniach. Fakt ten tłumaczony jest wcześniejszym pojawianiem się metabolizmu beztlenowego co związane jest z niewystarczającym zaopatrzeniem beztlenowo pracujących mięśni w krew. Jest to z kolei rezultatem obniżonych rezerw krążeniowych. [26,42,45,48,52,66]

9. PODSTAWY WYKORZYSTANIA TĘTNA W OCENIE WYDOLNOŚCI TLENOWEJ

W wysiłkach o charakterze pracy tlenowej znacząca reakcja organizmu na trening przedstawia się w obrazie zmian w obrębie układu krążenia.

Efekt bezpośredni reakcji na wysiłek może być rejestrowany podczas i po treningu sport-testerem. Stanowi to dobry sposób na zapisywanie danych o zachowaniu się tętna wysiłkowego, częstotliwości zmian skurcz serca oraz rytmu skurczu. Przykładem takiego urządzenia jest sport tester Polar, który umożliwia dość precyzyjnie określić poziom tętna podczas pracy.[30,50]

Podczas kontroli wydłużonych efektów treningowych wykorzystywana jest ocena współczynnika skuteczności restytucji (WSR). Według Naglaka za bardzo obiektywne kryterium adaptacji wysiłkowej uważa się relację, jaka zachodzi między potencjalnymi możliwościami wysiłkowymi i restytucjami organizmu człowieka. Współczynnik skuteczności restytucji, według Klonowicza wyraża się wzorem:

$$WSR = C2 - C3 / C2 - C1 \times 100\%$$

Gdzie: C1 – jest to częstość tętna przed wysiłkiem;

C2 – częstość tętna mierzona w pierwszej minucie po wysiłku;

C3 – częstość tętna 5 minut po wysiłku [19]

Zatoń twierdzi, że współczynnik skuteczności restytucji kształtuje się proporcjonalnie do poziomu wydolności ogólnej i jest tym wyższy im głębszy i rozleglejszy jest proces adaptacji wysiłkowej. Istnieje możliwość wykorzystania współczynnika skuteczności restytucji nie tylko do oceny poziomu zdolności wysiłkowej, ale również do określenia wielkości obciążenia pracą oraz określenia poziomu zmęczenia. [9, 24, 38, 41, 44, 67]

10. PRÓG PSYCHOMOTORYCZNY ZMĘCZENIA, ZMĘCZENIE

10.1 ZMĘCZENIE

Zmęczenie jest to zmniejszenie zdolności do pracy, które wystąpiło podczas pracy w wyniku jej wykonywania [16]

Przyczyny rozwoju zmęczenia są inne podczas wysiłku szybkościowego, siłowego i wytrzymałościowego. Do tej pory poznano niektóre zmiany biochemiczne i fizjologiczne współdziałające w rozwoju zmęczenia podczas wysiłku fizycznego. Do głównych czynników rozwoju zmęczenia należą m. in.:

- obniżenie glikogenu mięśniowego w mięśniach szkieletowych
- zmniejszenie zawartości fosfokreatyny
- zwiększenie stężenia kwasu mlekowego i jonów wodorowych w mięśniach
- zwiększenie temperatury ciała
- odwodnienie organizmu

Zmiany funkcjonalne zachodzące w trakcie wysiłku stanowią istotę zmęczenia, rozwijają się w układzie ruchowym i nerwowym, stąd podział zmęczenia na obwodowe i ośrodkowe. Zmęczenie obwodowe obejmuje przede wszystkim zmiany w mięśniach, zmęczenie ośrodkowe jest zlokalizowane w układzie nerwowym, a przede wszystkim w ośrodkowym układzie nerwowym. W naturalnych warunkach obydwa rodzaje zmęczenia nie występują jako izolowane zmęczenia ośrodkowe lub obwodowe [19]

Najczęściej wymieniane fizjologiczne przyczyny rozwoju zmęczenia obwodowego:

- zmniejszenie zdolności do skurczów włókien mięśniowych związane z upośledzeniem mechanizmów pobudzenia komórek, sprzężenia elektromechanicznego, upośledzenie funkcji samego aparatu kurczliwego i wyczerpanie substratów energetycznych
- gromadzenie się mleczanu w komórkach mięśniowych i wzrost stężenia jonów wodorowych
- obniżanie się pH śródkomórkowego w mięśniach

- spadek tempa glikolizy i upośledzenie resyntezy ATP
- spowolnienie rozprzestrzeniania się pobudzenia wzdłuż włókien mięśniowych
- niedotlenienie pracujących mięśni lub utrudnienie odpływu z nich krwi żyłnej
- wzrost temperatury mięśni
- wyczerpywanie glikogenu z komórek mięśniowych
- przesunięcie wody w strukturach zewnątrz i wewnątrz komórkowych
- zmniejszenie się objętości sarkoplazmy oraz obrzmienie mitochondriów
- obniżenie zawartości potasu w organizmie
- obniżenie zawartości magnezu w mięśniach szkieletowych i zwiększenie się stężenia sodu

Wielkość zmian zmęczenia w mięśniach zależy nie tylko od intensywności i czasu trwania wysiłku, ale również od stanu wytrenowania i wieku. [40]

Najczęściej wymieniane przyczyny rozwoju zmęczenia ośrodkowego:

- w wyniku integracji impulsów docierających podczas pracy do ośrodkowego układu nerwowego powstaje odczucie ciężkości pracy. Jeśli przekroczy ono pewien poziom staje się czynnikiem zmniejszającym motywację do kontynuowania wysiłku i zwiększania jego intensywności
- zmiany humoralne występujące w trakcie wysiłku
- ból mięśni szkieletowych
- duszność (w warunkach hiperwentylacji)

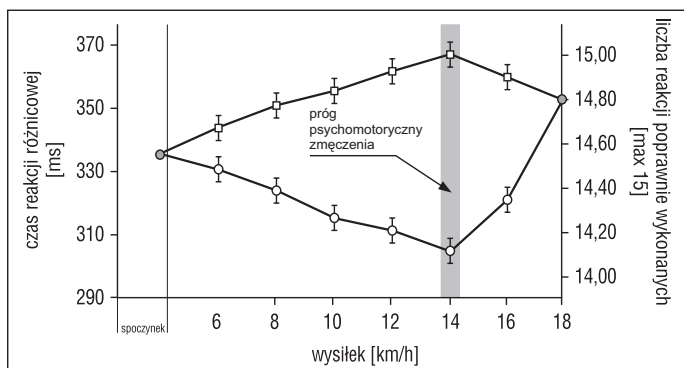
Stwierdza się zależność pomiędzy poziomem aktywacji ośrodkowego układu nerwowego, a sprawnością wielu funkcji układu nerwowego m. in. kontrolą ruchu, koncentracją uwagi, kojarzeniem, zapamiętywaniem itp. [40]

10.2 PRÓG PSYCHOMOTORYCZNY ZMĘCZENIA

W wyniku badań interdyscyplinarnych z pogranicza fizjologii wysiłku fizycznego, psychofizjologii i neurofizjologii doszło do odkrycia w procesie zmęczenia wynikającego z oddziaływania fizycznych bodźców ruchowych – progu psychomotorycznego

zmęczenia. W wysiłkach o narastającym obciążeniu w I fazie szybkość i trafność reagowania i podejmowania decyzji zwiększa się stopniowo, aż do osiągnięcia optymalnych wartości. W II fazie kiedy nastąpi przekroczenie najszybszego poziomu reagowania, najwyższej mobilizacji i koncentracji uwagi oraz sprawności i szybkości działania, dalsze zwiększanie obciążenia wysiłkowego i pobudzenia powoduje bardzo gwałtowne pogorszenie tych funkcji, aż do końca wysiłku. Związane jest to z narastającym rozwojem zmęczenia obwodowego i ośrodkowego. [21] Pierwsze doświadczenia z zakresu zależności pomiędzy czasem psychomotorycznego reagowania, a maksymalnym pobieraniem tlenu przeprowadził Buła i Chmura w 1984 r. Wykazują, że VO_{2max} jako podstawowy wskaźnik wydolności fizycznej determinuje wielkość zmian sprawności psychomotorycznej nie tylko podczas wysiłku maksymalnego, ale również po jego zakończeniu. [18]

Próg psychomotoryczny zmęczenia to przejście pomiędzy fazą zwiększania i obniżania sprawności ośrodkowego układu nerwowego. Jest to górna granica obciążenia wysiłkowego i tolerancji zmęczenia, przy której występuje najszybsze reagowanie, podejmowanie optymalnych decyzji, najwyższa zdolność mobilizacji i koncentracji uwagi. Można przypuszczać, że odpowiada ona optymalnemu pobudzeniu nieswoistych struktur ośrodkowego układu nerwowego, stanowiąc warunki do działania z najwyższą skutecznością. Próg psychomotoryczny zmęczenia występuje przy indywidualnie wyższej intensywności wysiłku niż próg beztlenowy (w granicach do około 20%)



Ryc.7 Progowy przebieg zmian czasu reakcji różnicowej i liczby reakcji poprawnie wykonanych w czasie wysiłku o narastającej intensywności [19]

Wchodzenie w strefę komfortu psychomotorycznego oznacza tolerancję narastającego zmęczenia przez ośrodkowy układ nerwowy powyżej intensywności wyznaczonej przez PPB. Brak korelacji między stężeniem kwasu mlekowego a powysiłkową szybkością i poprawnością różnicowego reagowania wykazuje, że przyczyny obniżania się sprawności psychomotorycznej powinno doszukiwać się w obrębie ośrodkowego układu nerwowego.[20]

Próg psychomotorycznego zmęczenia może być wykorzystywany w kontroli procesu treningu, powinien on być „zindywidualizowany”[16;20] U niektórych sportowców o bardzo wysokiej wydolności fizycznej sprawność psychomotoryczna nie pogarsza się nawet przy obciążeniach maksymalnych co świadczy o wysokiej tolerancji zmian zmęczeniowych[18]

Podczas wysiłków długotrwałych o stałej intensywności, zarówno o obciążeniach powyżej jak i poniżej progu mleczanowego, sprawność psychomotoryczna ulega poprawie wraz z czasem wysiłku. Trening wytrzymałościowy o charakterze tlenowym przesuwają próg beztlenowy w kierunku wyższych obciążeń może to wskazywać, że przy wyższym poziomie pierwszego progu drugi wystąpi przy wyższym obciążeniu. W aspekcie treningu, rozgrzewka powinna sięgać poziomu progu psychomotorycznego pobudzenia ośrodkowego układu nerwowego co pozwala na skuteczną realizację zadań techniczno – taktycznych. Przy niskim pobudzeniu zawodnik postrzega zarówno bodźce istotne, jak i nieistotne – co powoduje spadek szybkości jego działania. Mała skuteczność działań mimo rozgrzewki może wynikać ze zbyt długiej przerwy między rozgrzewką a właściwym wysiłkiem. W czasie zadań ruchowych takich jak np.: mecze pobudzenie ośrodkowego układu nerwowego zawodnika powinno być optymalne, wówczas jego działania podjęte w strefie komfortu psychomotorycznego będą skuteczne i efektywne. Im wyższa jest intensywność wysiłku, przy którym występuje próg psychomotoryczny zmęczenia, tym większa tolerancja zmęczenia. [18]

11. WYDOLNOŚĆ BEZTLENOWA

11.1 METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA SZYBKOŚCI I WYTRZYMAŁOŚCI SZYBKOŚCIOWEJ

Wytrzymałość jest to zdolność do wykonywania długotrwałego wysiłku fizycznego oraz przeciwstawiania się zmęczeniu, które on wywołuje. Przyjmując za kryterium podziału czas trwania wysiłku możemy wyróżnić wytrzymałość:

- Wytrzymałość długookresowa – trwająca powyżej 10 minut
- Wytrzymałość średniookresowa – od 2-3 do 8-10 min.
- Wytrzymałość krótkookresowa (beztlenowa) – do 2 min.
- Wytrzymałość szybkościowa (beztlenowa) – do 20 sek.

Rodzaje wytrzymałości beztlenowej oraz ich parametry przedstawia tabela 15. [6,36]

Tab. 21 Parametry różnych rodzajów wytrzymałości beztlenowej [6]

Rodzaje wytrzymałości		Źródła Energetyczne	Czas pracy	Intensywność	Tętno (ud/min)	Stosunek przemian tlenowych do beztlenowych [%]	Zużycie O ₂ (l/min)	Dług tlenowy
Specjalna	Beztlenowa	Kwasomlekowe	Od 20 sek do 2-3 min	Submaksymalna	180 - 220	23-77 10-90	3,5-6	18-8
	Szybkościowa							

Przez zdolność szybkościową jako przejaw motoryczności człowieka rozumie się poziom możliwości przemieszczania w przestrzeni całego ciała lub określonych jego części w możliwie najkrótszym odcinku czasu. Wykonywane zadanie nie może wywołać zmęczenia obniżającego prędkość ruchu. Szopa do najważniejszych predyspozycji

składających się na zdolność szybkościową zalicza: proporcje włókien mięśniowych, sprawność układów enzymatycznych rozpadu fosfokreatyny i glikolizy beztlenowej, czas reakcji i częstotliwość ruchów oraz proporcje dźwigni kostnych. [46]

Odpowiednie przygotowanie szybkościowe jest kluczowym elementem treningu kondycyjnego. Korzystne warunki kształtowania szybkości pojawiają już w wieku 7-11 lat to okres najkorzystniejszego kształcenia czasu reakcji, zdolność lokomocyjną można dynamicznie kształtować nawet w wieku 17 lat. [36,50]

Na poziom szybkości wpływa szereg czynników takich jak: uwarunkowania genetyczne, proporcje budowy ciała, poziom siły i wytrzymałości, technika ruchu, poziom koordynacji, stan psychiczny oraz szereg warunków zewnętrznych np. rodzaj nawierzchni biegu. W głównej mierze poziom elementarnych parametrów szybkości uwarunkowany jest genetycznie – w około 70-80%. [5,46,55]

11.1.1 METODYKA KSZTAŁTOWANIA SZYBKOŚCI

Proces treningowy powinien być realizowany wszechstronnymi metodami, formami i środkami treningowymi. W młodszym wieku ćwiczenia szybkościowe powinny być realizowane poprzez różne formy sztafet biegowych, wybrane gry i zabawy ruchowe, sportowe gry zespołowe o uproszczonych przepisach, przyspieszenia w trakcie truchtu.

Od 12-13 roku życia trening powinien zostać rozszerzony o właściwe i wspomagające ćwiczenia szybkościowe. Poszczególne jednostki treningowe stają się coraz bardziej jednorodne, zaś formy organizacyjne treningu są bardziej ściśle. [36]

Wyznacznikiem właściwej metodyki jest przestrzeganie następujących zasad treningu:

- Ćwiczenia kształtujące szybkość muszą być wykonywane z intensywnością maksymalną (100% możliwości) lub submaksymalną (80-95%),
- Czas trwania pojedynczych powtórzeń nie powinien przekraczać 8-10 sek.,
- Czas przerw odpoczynkowych powinien zapewnić pełną regenerację,

- Poprawne kształtowanie szybkości jest możliwe po wcześniejszym opanowaniu techniki, w tym także techniki biegu,
- Każde zajęcia szybkościowe powinna rozpoczynać odpowiednia rozgrzewka,
- Wyraźne oznaki zmęczenia są sygnałem do zakończenia treningu szybkościowego,
- Liczba powtórzeń i serii powinna być taka, by ćwiczący osiągał zakładaną intensywność pracy. [36]

Najczęściej stosowaną metodą kształtowania szybkości jest metoda powtórzeniowa. Wyróżnia się jej dwa warianty: metodę powtórzeniową maksymalnych prędkości i powtórzeniową submaksymalnych prędkości. Podstawowym warunkiem treningu metodą powtórzeniową jest opanowanie podstaw techniki biegu. [6,50,55]

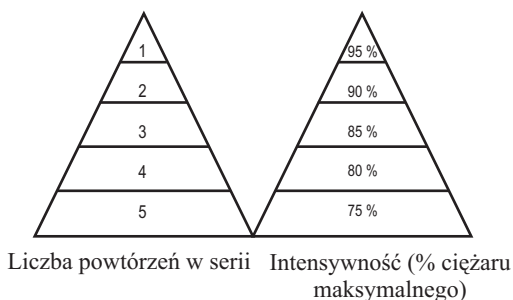
Jednostronne stosowanie metody powtórzeniowej maksymalnych prędkości może prowadzić do stabilizacji szybkości na pewnym określonym poziomie i wywoływać efekt tzw. bariery szybkości. Aby temu zapobiec wykorzystuje się metodę prędkości submaksymalnych. Podczas tej metody obciążenie wynosi 85-95% maksymalnych możliwości. Pozwala to na techniczne kontrolowanie poprawności ruchów, zwiększanie czasu pracy, liczby powtórzeń oraz skrócenie przerw wypoczynkowych. Aby ograniczyć występowanie bariery szybkościowej stosuje się także ćwiczenia uzupełniające i wspomagające. Są to ćwiczenia kształtujące siłę mięśniową, gibkość i koordynację ruchów, doskonalące różne formy reakcji, z zastosowaniem przyrządów i trenerów. [6,50,55]

11.2 METODY I FORMY KSZTAŁTOWANIA SIŁY I WYTRZYMAŁOŚCI SIŁOWEJ

Odpowiednia siła mięśniowa umożliwia pełne i efektywne uczestnictwo w sterowanej aktywności fizycznej i jest ważnym czynnikiem umożliwiającym zdrowy styl życia oraz rozwój umiejętności ruchowych. Zaciorski określa siłę człowieka jako zdolność do pokonywania oporu zewnętrznego lub przeciwdziałania mu kosztem wysiłku mięśniowego. [46]

Właściwa metodyka treningu siły uwzględnia racjonalny dobór metod, form i środków pracy, przy uwzględnieniu perspektywicznego celu szkolenia oraz aktualnych możliwości psychofizycznych ćwiczących. [50]

W celu uzyskania przyrostu siły bez znacznego przyrostu masy mięśniowej korzysta się z metody maksymalnych krótkotrwałych obciążeń, inaczej określana metodą ciężko atletyczną. Polega ona na pokonywaniu oporów stanowiących najczęściej od 75% do 100% wartości obciążeń, jakie jest w stanie pokonać osoba ćwicząca. Liczba powtórzeń zależy od obciążenia i waha się w granicy od 1 do 3-5. Po obciążeniach następuje bierna forma wypoczynkowa trwająca ok. 2 min. Między seriami wykonuje się ćwiczenia rozluźniające, relaksacyjne i oddechowe trwające w czasie do 5 min. Najczęściej stosowany jest wariant o progresywnie narastającej intensywności. Niezbędna jest odpowiednia rozgrzewka przygotowująca do maksymalnych wysiłków oraz długie, dochodzące do 5 minut odpoczynki po kolejnych ciężarach. [36,50]



Ryc. 8 Schemat ilustrujący progresywnie narastanie obciążeń w treningu ciężko atletycznym. [36]

Najczęściej stosowana jest metoda do wyczerpania. Polega ona na pokonywaniu obciążeń 50%-70% wartości maksymalnych, aż do wyczerpania, czyli do momentu w którym ostatni ruch wykonujemy przy pomocy współpartnera. Liczba powtórzeń w jednej serii waha się od 8 do 20. Najczęściej ćwiczący stosują 3 serie ćwiczeń z długimi biernymi przerwami wypoczynkowymi. [6,36,55]

Metoda szybkościowa służy do rozwoju siły dynamicznej. Pokonywane obciążenia podczas treningu wynoszą od 30% do 50% wartości maksymalnych. Wykonywane ćwiczenia powtarza się 6-12 razy z maksymalną prędkością, w czasie nie dłuższym niż 15 sekund. Czas

przerwy między ćwiczeniami jest dopełnieniem do minuty. Liczba serii wynosi od 4 do 5, zaś aktywne przerwy trwają do 5 minut. Trening szybkościowo-siłowy może być prowadzony w formie stacyjnej. Ćwiczenia na poszczególnych stacjach powinny być odpowiednio dobrane i kształtować naprzemiennie różne partie mięśni. Podczas jednostki treningowej taki cykl powtarzany jest 2-3 razy. [6,50,55]

Podczas ćwiczeń siły eksplozywnej wykorzystuje się ćwiczenia charakteryzujące się zrywową pracą mięśni, pobudzeniem maksymalnej liczby jednostek motorycznych mięśni w najkrótszym czasie. Ćwiczenia powinny być przerywane długimi aktywnymi przerwami wypoczynkowymi trwającymi do 5 minut i więcej. [5,50,55]

Podczas rozwijania wytrzymałości siłowej stosuje się niewielkie obciążenia do 30% wartości maksymalnych, lub dużą liczbę ćwiczenia pokonywanego płynnie i szybko. W zależności od stanu wytrenowania czas ćwiczenia mieści się w granicach 30-60 sekund. Przerwa trwa dwukrotnie dłużej. Klasyczną metodą kształtowania wytrzymałości siłowej jest metoda obwodowa, w której dobiera się 8-12 odpowiednich ćwiczeń na odpowiednich stacjach (obwodach ćwiczebnych). Czas przerwy wypoczynkowej po przejściu obwodu trwa ok. 2-3 minuty. W momencie gdy celem jest doskonalenie dynamicznego aspektu dyspozycji wytrzymałościowo-siłowych, stosuje się trening w formie strumienia. Strumień to celowo dobrane ćwiczenie, które należy jak najszybciej wykonać przestrzegając wyznaczonych założeń (np. 10 przeskoków obunóż przez płotek). [5,6,55]

Rzadziej spotykaną metodą rozwijania siły mięśniowej jest metoda izokinetyczna. Poprzez specjalne trenażery możliwe jest wykonanie ćwiczenia o stałej prędkości i ze stałym obciążeniem ruchu w całym jego zakresie. [36]

W celu kształtowania siły statycznej wykorzystuje się wiele środków treningowych, z których najpopularniejsze są ćwiczenia wykorzystujące masę ciała zawodników, pokonujące siłę grawitacji lub opór współpartnera. [50]

W ostatnim czasie niezwykle popularny stał się stretching. Stanowi on doskonały sposób na podtrzymanie lub rozwijanie siły. W stretchingu stosujemy napinanie określonych partii mięśniowych w warunkach izometrii. Autorzy zaznaczają, że trening izometryczny powinien być jedynie dodatkowym środkiem wyrabiania siły, ponieważ wykazano, że przyrost siły uzyskany w trakcie ćwiczeń izometrycznych przejawia się jedynie przy takich ugięciach kątowych przy jakich prowadzony był trening. Zaleca się ćwiczenia rozciągające po treningu siłowym, zwłaszcza statycznym [5, 35, 55]

12. KONTROLA WYDOLNOŚCI ANAEROBOWEJ

Ocena zdolności wysiłkowych beztlenowo-fosfagenowych ma dużą wartość diagnostyczną poziomu przygotowania. Większość testów bazowało na określeniu wydolności anaerobowej poprzez pomiar długu tlenowego. W warunkach laboratoryjnych istnieje możliwość pomiaru stężenia kwasu mlekowego we krwi, jednak wielu autorów podkreśla, że metoda ta nie stanowi doskonałej miary wydolności beztlenowej. Współcześnie wydolność beztlenowa określana jest poprzez moc rozwijaną podczas krótkotrwałych wysiłków o supramaksymalnej intensywności lub sumy pracy wykonanej podczas takiego testu. Jednym z zaproponowanych testów do oceny wydolności anaerobowej jest pomiar maksymalnego deficytu tlenowego. [23, 27]

W celu określenia wydolności beztlenowej wykorzystuje się wysiłki o największej intensywności (supramaksymalnej). Wyznacznikiem w tych próbach jest rozwijana moc. Wartość szczytowa występuje po kilku sekundach (pierwszych 6), kiedy dominują procesy resyntezy ATP z zapasów mięśniowych fosfagenów. [23]

12.1 TESTY LABORATORYJNE

Dla skutecznej oceny wytrzymałości beztlenowej autorzy polecają test Wingate, opracowany przez Bar-Ora. Pozwala on poprzez maksymalną 30 sekundową pracę na ergometrze rowerowym określić między innymi moc maksymalną zawodnika, czas uzyskania mocy maksymalnej oraz czas jej utrzymania. Znane są również modyfikacje: testy 10 i 45 sekundowe. Chociaż w głównej mierze jest to test oceniający zdolność do wykonywania wysiłku w warunkach beztlenowych, Jaskólski zaznacza, że nawet do 25 % energii w czasie 30 sekund wysiłku może być dostarczane z przemian tlenowych. Oceny wydolności dokonuje się na podstawie rozwijanej mocy zewnętrznej. [23,31]

Dla określenia wydolności beztlenowej fosfagenowej autorzy zalecają wykorzystać test Margarii-Kalamena lub test Bosco. Podczas wysiłków krótkotrwałych o dużej intensywności energia uzyskiwana jest z rozpadu ATP i fosfokreatyny (CP). Test Margarii-Kalamena

polega na wbiegnięciu z największą prędkością na górę po schodach o odpowiednich wymiarach i kącie nachylenia. Do przeprowadzenia testu niezbędny jest precyzyjny, elektroniczny system pomiaru czasu podczas wbiegania po schodach, po krótkim intensywnym rozbiegu. Na podstawie pomiaru czasu pokonania odcinka testowego oraz masy ciała badanego, wyznacza się maksymalną rozwijaną moc fosfagenową. [23]

$$P_{\max} = m \times h / t$$

Gdzie: P_{\max} – maksymalna moc fosfagenowa

m - masa ciała badanego

h - różnica wysokości między 3 a 9 stopniem w pionie

t - czas pokonania wysokości h

W teście Bosco największą rozwijaną moc wyznacza się podczas serii wysoków na platformie dynamograficznej. [42]

Test ergometryczny według Vanderwalle'a pozwala zmierzyć moc beztlenową i jej składowe. Autorzy wykazali, że istnieje zależność między częstotliwością obrotów a zastosowanym oporem koła ergometru (w zakresie obrotów 100-200/min.) ma przebieg prostoliniowy, ale zgodnie z zależnością siła – prędkość, odwrotnie proporcjonalny. Jednocześnie zależność między mocą (P_{\max}), a siłą oporu (F) jest paraboliczna. [23]

Ocena progu przemian za pomocą danych wentylacyjnych opiera się na założeniu, że po przekroczeniu intensywności ok. 40% $VO_{2\max}$ na skutek powstającego kwasu mlekowego, następuje nieliniowy przyrost wentylacji, wydalania CO_2 , rośnie ekwiwalent oddechowy (MV/VO_2) oraz iloraz oddechowy. Przy intensywności 65 % dochodzi do gwałtownego przyrostu kwasu mlekowego i dalszego zwiększania wentylacji. [23,40]

12.1.2 CHARAKTERYSTYKA TESTU WINGATE

Test Wingate jest jednym z najbardziej wiarygodnych testów wykorzystywanych do oceny wydolności beztlenowej

Sposób wykonania testu:

Test wykonywany jest na ergometrze rowerowym, w którym można mechanicznie regulować opór wywierany na pedały, uzyskując w ten

sposób zmianę mocy, zależną od rytmu pedałowania. Test pozwala na uchwycenie dynamiki zmiany mocy, jej spadku w miarę upływu czasu trwania testu. Wielkość obciążenia dobierana jest indywidualnie w zależności od masy ciała badanego.

Obciążenie w kpm = $0,075 \times$ masa ciała [kg]

Test poprzedzony jest pięciominutową rozgrzewką o mocy około 50 wat, po niej następuje pięciominutowa przerwa.

Czas trwania testu to trzydzieści sekund. Badany przez czas trwania testu powinien mieć wsparcie w postaci mobilizacji osób towarzyszących (np. trener). Badania wykazują, że czynnik motywacyjny ma istotny wpływ na uzyskane wyniki. Karaba-Jakovliević wskazuje na wyższe wartości parametrów wydolności beztlenowej przy werbalnej formie stymulacji motywacji u badanego. Test powinien zostać rozpoczęty na sygnał badającego, podczas, gdy badany ma za zadanie uzyskać w jak najkrótszym czasie od chwili startu, jak najwyższą częstość pedałowania oraz starać się utrzymać ją przez cały czas trwania próby. Aby zapewnić optymalne warunki zapoczątkowania pracy, test powinien być rozpoczęty przy ustalonej pozycji pedałów. Do rejestracji czasu wykorzystywany jest układ pomiarowy składający się z fotokomórki i elektronicznego miernika czasu. Ustawienie fotokomórki jest takie, iż po zapoczątkowaniu ruchu pedałami następuje włączenie się układu elektrycznego. Uzyskuje się w ten sposób zapis czasu trwania poszczególnych obrotów.

Wielkość pracy zewnętrznej, jaką wykonuje badany w ciągu trzydziestu sekund testu jest wprost proporcjonalna do ilości wykonanych obrotów pedałami oraz dobranej obciążenia.

$$P_{\max} = n \times P_1$$

n - ilość obrotów

P_1 - praca wykonana przy jednym obrocie pedałem

Zmiana mocy zależna jest od zmiany częstości pedałowania, a więc czasu trwania poszczególnych obrotów. Moc chwilową można wyliczyć na podstawie wzoru:

$$M_{\text{ch}} = P_1 / t_0$$

M_{ch} – moc chwilowa, w czasie jednego obrotu pedałami

t_0 – czas trwania danego obrotu w sekundach

P_1 – praca wykonana, przy jednym obrocie pedałami

Ustalone wartości mocy chwilowej po uśrednieniu dla trzech sekund pozwalają na wyznaczenie indywidualnej krzywej spadku mocy.

Maksymalna moc osiągana w teście, to moc w momencie największej częstości pedałowania, gdy badany uzyskuje najkrótszy czas obrotów

$$M_{\max} = P_1 / t_s$$

M_{\max} – moc maksymalna

t_s – czas trwania najkrótszego obrotu

P_1 – praca wykonana, przy jednym obrocie pedałami

Możliwe jest więc wyliczenie:

- czasu w ciągu którego badany uzyskuje moc maksymalną
- czasu utrzymania maksymalnej częstości pedałowania

Moc całkowitą można wyliczyć ze wzoru:

$$M_c = n \times P_1$$

M_c – moc całkowita

n – suma wszystkich obrotów w teście

P_1 – praca wykonana, przy jednym obrocie pedałami

Oceniane parametry i ich charakterystyka:

Test Wingate jest wykorzystywane do oceny:

- mocy fosfagenowej
- pojemności fosfagenowej
- mocy glikolitycznej
- pojemności glikolitycznej

Do oceny tych parametrów wykorzystywane są:

- czas uzyskania maksymalnej mocy, czyli czas w ciągu którego badany osiągnął maksymalną częstość pedałowania
- czas utrzymania maksymalnej mocy, czyli czas utrzymania maksymalnego rytmu pedałowania
- wskaźnik spadku mocy, czyli różnica między największą wartością mocy, a najniższą
- poziom kwasu mlekowego we krwi po 2 minucie po wykonanym teście

Maksymalna moc (P_{\max}) oznacza największą moc osiąganą podczas wysiłku dynamicznego, inaczej moc fosfagenowa, ponieważ energii do jej osiągnięcia dostarcza rozkład wysokoenergetycznych fosforanów (ATP, fosfokreatyna). W praktyce miarą mocy fosfagenowej jest moc uzyskana podczas wysiłków o najwyższej intensywności, trwających do kilkunastu sekund. Wysoki poziom mocy maksymalnej świadczy wprost o poziomie zdolności szybkościowych. Zdolność tą można wytrenować dwoma niezależnymi drogami:

- wzbudzanie ekstremalnej częstości ruchu
- trening maksymalnej siły

Trening obu wersji powinien być realizowany niezależnie od okresu treningowego w różnych proporcjach:

- więcej ćwiczeń częstotliwości ruchów im bliżej okresu startowego
- więcej ćwiczeń siłowych im dalej do okresu startowego

Przy dobrych wynikach czas osiągnięcia maksymalnej mocy nie powinien przekraczać 3,5 sekundy.

Pojemność fosfagenowa, czyli czas utrzymania maksymalnego rytmu pedałowania zależy od zasobów związków wysokoenergetycznych we włóknach mięśniowych. Rozwijanie tej cechy związane jest z odpowiednim treningiem wspomagany dietą (trening oparty na wyczerpywaniu fosfokreaty, dieta bogata w fosfor nieorganiczny).

Pierwsza część testu, gdzie oceniamy moc i pojemność fosfagenową związana jest z pracą beztlenowo-bezmleczanowa. Źródłem energii są tu głównie ATP i fosfokreatyna. Zewnętrznym przejawem tej pracy jest kształtowanie się częstości pedałowania, która osiąga swoje maksimum między 2,4 – 5, 14 sekundą czasu trwania testu. Wskaźnikiem zdolności beztlenowo-bezmleczanowych (fosfagenowych) jest również czas utrzymania najwyższej prędkości pedałowania. W przeciwieństwie do czasu uzyskania mocy maksymalnej, czas utrzymania wykazuje duże zróżnicowanie indywidualne. Ponieważ zasób fosfagenów mięśniowych jest ograniczony, to dalsze kontynuowanie wysiłku jest możliwe dzięki ich odbudowie w procesie glikolizy beztlenowej. Efektem udziału beztlenowej glikolizy w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego jest zwiększenie stężenia LA we krwi, które może przekraczać wartość 15 mmol/l. W miarę trwania wysiłku następuje zmiana charakteru

zachodzących procesów energetycznych z bezmleczanowych w mleczanowe. Jest to proces narastający stopniowo i niemożna jednoznacznie określić momentu rozpoczęcia się drugiej fazy wysiłku (beztlenowo – mleczanowej) Można przyjąć, że przejawem włączania się procesów mleczanowych jest stopniowe obniżanie się częstości pedałowania i związany z tym spadek mocy wysiłku. Nachylenie spadku mocy wykazuje znaczne zróżnicowanie indywidualne i zależy od:

- stopnia wyczerpania zasobów fosfagenowych w początkowej fazie wysiłku
- mechanizmów ograniczających związanych z procesem glikolizy.

Możliwości beztlenowo-fosfagenowe określają:

- maksymalną moc
- czas jej uzyskania
- czas jej utrzymania

Wielkość pracy wykonywanej w ciągu trzydziestu sekund pozwala określić również zdolność do wysiłków beztlenowych obejmujących potencjał beztlenowo-mleczanowy.

Określa się w tym wypadku: moc glikolityczną mierzoną na podstawie stężenia LA po wykonanej pracy oraz pojemność glikolityczną. Jest ona determinowana głównie przez zasoby glikogenu mięśniowego i częściowo przez dostępność glukozy z krwi. Decyduje ona o utrzymaniu bardzo dużej intensywności pracy w czasie przekraczającym nawet trzydzieści sekund. Zdolność tą można rozwijać metodą interwałową. Wolny spadek mocy i tym samym bardziej płaski przebieg krzywej oraz wysokie stężenie LA we krwi po wysiłku wskazuje na wysokie możliwości beztlenowo-mleczanowe badanego.

Test Wingate to praca wykonywana w 90 % w oparciu o beztlenowe procesy energetyczne. Rezerwy fosfagenów w pracujących mięśniach są niewielkie. Wystarczają na około 6-10 sekund pracy o rozwiniętej największej mocy. Po tym czasie szybkość beztlenowej przemiany niekwasomlekowej szybko obniża się, przewagę zyskują wówczas procesy glikolityczne.

Wyniki uzyskane w teście Wingate są zależne również od pory dnia, kiedy próba zostanie wykonana. Najlepsze wartości wzrostu mocy odnotowano w godzinach przedpołudniowych. Wartości mocy, czy pojemności glikolitycznej są na podobnym poziomie niezależnie od godziny wykonania testu w ciągu dnia.

Podsumowując, wszystkie wartości uzyskane w teście Wingate mają bezpośredni związek z wynikiem sportowym. Im większa moc maksymalna, dłuższy czas jej utrzymania oraz krótszy czas jej uzyskania tym większa zdolność organizmu do wysiłków szybkościowych (zwłaszcza szybkości eksplozywnej i wytrzymałości szybkościowej). Im większa moc minimalna, większa wykonana praca zewnętrzna, większy wzrost stężenia kwasu mlekowego we krwi w drugiej minucie po wykonanym teście i zarazem duży spadek pH, tym większa moc i pojemność glikolityczna zdolność do utrzymania szybkości na względnie wysokim poziomie (wytrzymałość beztlenowa krótko-okresowa) [3, 29, 30, 37, 52, 54, 62, 64, 68]

13. SPIS PIŚMIENICTWA

1. Ahmaidi S., Hardy J.M., Varray A., Collomp K., Mercier J., Prefaut C. „Respiratory gas exchange indices used to detect incremental exercise test in young athletes” *Eur. J. Appl. Physiol*, 1993, 66, 31-36
2. Astrand P.O. „Ergometry – test”, „Physical Fitness”, Varberg 1964, 14-25
3. Astrand P.O., Rodahl K., Dahl H. A., Stromme S.B. „Test book of work physiology. Physiological Bases of Exercise”, *Human Kinetics*, 2003
4. Bangsbo J. „Sprawność fizyczna – naukowe podstawy treningu” 1999, C.O.S. Warszawa
5. Bednarski L. „Celowe kształtowanie zdolności motorycznych”, Wybrane zagadnienia treningu sportowego piłkarzy nożnych, praca zbiorowa pod red. Stuły. 2005, ZWKF Gorzów Wielkopolski, str. 73-108
6. Bednarski L., Koźmin A. „Piłka nożna: podręcznik dla studentów i nauczycieli”, 2004, AWF Kraków
7. Bhambhani Y., Singh M. „Ventilator thresholds during a graded exercise test”, *Respiration*, 1985, 47, 120-128
8. Borkowski J. „Bioenergetyka i biochemia tlenowego wysiłku fizycznego.”, 2003, AWF Wrocław
9. Borkowski L., Klusiewicz A., Starczewska-Czapowska J., Trzaskoma Z. „Ocena specyficznej zdolności wysiłkowej wysokiej klasy narciarzy – biegaczy oraz biathlonistów”, *W. F. i S.*, 2004, 3, 207-214
10. Bouchard C., Bonlay M. R., Dionne F.T., Simoneau J. A. „Genetics of aerobic and anaerobic performances”, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1992, 20, 27-58
11. Bunc V., Heller J., Zdanowicz R., „Sposoby wyznaczania progów przemian beztlenowych”, *Sport Wyczynowy*, 1983, 7-8, 14
12. Cabak A., Janczak Z., Magiera A., Niemierzycka A., Zdrodowska A., „Ocena progów przemian beztlenowych w warunkach laboratoryjnych – porównanie metod”, *Medycyna Sportowa*, 5, 262-266, 2006
13. Conconi F., Ferrari M., Zigilio P.G., Drogetti P., Codeca L., „Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners”, *J. Appl. Physiol.*, 1982, 52
15. Chmura J. „Środki treningowe w kształtowaniu wytrzymałości tlenowej”, Zakład Motoryczności Gracza, AWF Wrocław, wykład, 2007
16. Chmura J. „Szybkość w piłce nożnej”, AWF Katowice, 2001

17. Chmura J. „Zdolności wytrzymałościowe i szybkościowe graczy w meczu eliminacyjnym do ligi mistrzów w piłce nożnej, obserwacja i ocena działań zawodników w zespołowych grach sportowych” Monografia (red. Bergier J.), Międzynarodowe Towarzystwo Gier Sportowych, Wrocław, 5/2004
18. Chmura J. „Dynamika zmian reakcji fizjologicznych i sprawności psychomotorycznej pod wpływem wysiłków fizycznych”, AWF Katowice, 1994
19. Chmura J., Nazar K., Kaciuba – Uściłko H. „Próg psychomotoryczny zmęczenia”, Sport Wyczynowy, 4-6, 2007, s. 27-36
20. Chmura J., Sobiech K., Sławińska M., Sroka E. „Wpływ wysiłku wytrzymałościowo-szybkościowego na przebieg zmian sprawności psychomotorycznej u koszykarzy” Wychowanie Fizyczne i Sport, nr.1, 1991, s.109–117
21. Chmura J., Wiśnik P. „Próg psychomotoryczny zmęczenia – implikacje praktyczne” Sport Wyczynowy, 1-3, 2008, s. 55-63
22. Czarkowska – Pączek B., Przybylski J. „Zarys fizjologii wysiłku fizycznego”, 2006, Wyd. Med. Urban & Partner, Wrocław
23. Drygas W., Jegier A., Kostka T., Zaniewicz D. „Wpływ wieku na zdolność do wykonywania wysiłków krótkotrwałych i długotrwałych”. Medycyna Sportowa, 2005, 4, 247-253
24. Dziąsko J., Kosendiak J., Łasiński G., Naglak Z., Zatoń M., „Kierowanie przygotowaniem zawodnika do udziału w walce sportowej” Sport Wyczynowy, 1982, 20, 1-3
25. Farinatti P. „Mise au point d'une technique d'evaluation de l'autonomie d'action des seniors, de la theorie a la pratique” Doctorat, Universite Libre de Bruxelles, 1998
26. Gaesser G. A., Poole D.C. „Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptation to training”, J. Appl. Physiol., 1986, 61, 999-1004
27. Górski J., „Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego”, 2002, PZWL Warszawa
28. Helgerud J., „ VO_{2max} , próg beztlenowy i ekonomika biegu u maratończyków – mężczyźni i kobiety” Sport Wyczynowy, 11-12, 73-81
29. Hill D., Smith J., „Gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution”, British Journal of Sports Medicine, 1, 45-48, 1993
30. Jaskólski A., „Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka”, 2006, AWF Wrocław

31. Jaskólski A., „Związek pomiędzy wydolnością tlenową i beztlenową u mężczyzn o zróżnicowanej aktywności fizycznej”, 1991, *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 4, 15-23
32. Jaskólski A., Jaskólska A., „Sposoby oceny zdolności wysiłkowej”, *Studia i Monografie AWF we Wrocławiu*, 75 (2005), 199-228
33. Jaskólski A., Pilis W., Krawczak J., „Próg przemian beztlenowych w ocenie przystosowania do długotrwałych wysiłków sportowych”, *Monografia nr.13, AWF Poznań 1978*, 103, 43-51
34. Jethon Z., „Wydolność fizyczna”, *Roczniki Naukowe AWF w Warszawie*, 1979, t. XXIV, 91-102
35. Jethon Z., Zatoń M., „Fizjologiczne podstawy rozgrzewki w sporcie”, *Aktywność ruchowa w świetle badań fizjologicznych i promocji zdrowia*, AWF Wrocław 1998, 41-52
36. Kapera R., Śledziwski D. „Piłka nożna – unifikacja procesu szkolenia dzieci i młodzieży” 1997, PZPN, Warszawa
37. Karaba-Jakovljević D., Popadić- Gacesa J., Grujić N., Barak O., Drapsin M., „Motivation and motoric test in sports” *Med. Pregl.*, 2007, 60 (5-6), 231-6
38. Klusiewicz A., Starczewska-Czapowska J., Leszczyńska J.,: „Przydatność Polar Fitness Testu w ocenie wydolności fizycznej wytrenowanych zawodników”, *Sport Wyczynowy*, 7-8, 57-69, 2006
39. Klusiewicz A., Zdanowicz R., „Próg beztlenowy a stan maksymalnej równowagi mleczanowej – uwagi praktyczne”, *Sport Wyczynowy*, 2002, nr.1-2, str. 58-71
40. Kozłowski S., Nazar K., „Wprowadzenie do fizjologii klinicznej”, Warszawa, 1999, PZWL
41. Lisowski J., „Próba optymalizacji treningu wytrzymałości szybkościowej w oparciu o współczynnik skuteczności restytucji w biegu na dystansie 400 i 200 metrów” *Praca dyplomowa na I klasę trenerską*, Wrocław – Warszawa 2001
42. Lortie G, Galbo H., „Hormonal response to exercise in humans: influence of hypoxia and physical training” *Am. J. Physiol.*, 254 (Regulatory Integrative Comp. Physiol 23), 1988, 197-203
43. Malarecki I. „Zarys fizjologii wysiłku i treningu sportowego”, 1981, SiP, Warszawa
44. Naglak Z., „Metodyka trenowania sportowca”, 1999, AWF, Wrocław

45. Naoya M., Hirotaka N., Shunichi K., Fuminori H., Masaru M., Hisakazu Y., „Determination of anaerobic threshold for assessment of functional state in patients with chronic heart failure”, *Circulation*, 1983, 68, 2, 360–367
46. Osiński W., „Antropomotoryka”, 2003, AWF, Poznań
47. Paavo V. Komi, „Strength and power in sport”, Vol. III of the encyclopedia of sports medicine an IOC Medical Commission Publication, Blackwell Science, 2005, p. 50-68
48. Podolin D.A., Munger P.A., Mazzeo R.S., „Plasma catecholamine and lactate response during graded exercise with varied glycogen conditions” *J. Appl. Physiol.*, 1991, 71(4), 1427-1433
49. Powers S., Dodd S., Garner R., „Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold”, *Eur. J. Appl. Physiol.* 1984, 52, 173-177
50. Przybylski W., Szwarc A. „Piłka Nożna – trening część II”, 1998, AWF, Gdańsk
51. Ronikier A., „Fizjologia sportu”, 2001, B.T. Warszawa
52. Sands W.A., McNeal J. R., Ochi M. T., Urbanek T.L., Jemni M., Stone M. H., „Comparison of the Wingate and Bosco anaerobic tests”, *J. Strength Cond Res.*, 2004 18(4); 810-6
53. Sjödin B., Jacobs I., Svendhag J., „Changes in onset of blood lactate Accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA”, 1982, *Eur. J. Appl. Physiol.* 49, 45-57
54. Souissi N., Bessot N., Chamari K., Gauthier A., Sesboue B., Davenne D., „Effect of time of day on aerobic contribution to the 30 – s Wingate test performance”, *Chronobiol Int.*, 2007, 24(4), 739-48
55. Stuła A., „Wybrane zagadnienia treningu sportowego piłkarzy nożnych”, 2005, ZWKF, Gorzów Wielkopolski
56. Szutowicz M, Jastrzębski Z., „Obciążenia treningowe a poziom zdolności fizycznej piłkarzy nożnych na etapie ukierunkowanego szkolenia”, *Wybrane zagadnienia treningu sportowego piłkarzy nożnych, praca zbiorowa pod red. Stuły*, 2005, ZWKF, Gorzów Wielkopolski, 59-70
57. Szwarc A., „Zmiany struktury obciążeń treningowych w 3-letnim cyklu szkoleniowym młodych piłkarzy nożnych”, *Sport Wyczynowy*, 2002, nr 1-2/445-446, str. 16-29
58. Talaga J., „Piłka nożna : sprawność fizyczna specjalna : testy”. 2006, Wyd. Zysk i S-ka, Poznań

59. Talaga J., „Trening piłki nożnej”, 1989, Sit, Warszawa
60. Wasserman K., Whipp B. J., Koyal S. N., Beaver W.L., „Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise” J. Appl. Physiol., 1973, 35, 236-242
61. Wilmore J., Costill D. „Physiology of Sport and Exercise” Human Kinetics, 1994
62. Wilmore J.H., Stanforth P. R., Ganong J., „The Heritage Family Study”, Medicine and Science in Sports and Exercise”, vo.33, n.1, p 99-106, 2001
63. Wnorowski J. „Kontrola efektywności szkolenia na poziomie fizjologicznym.”, Podstawy racjonalnego szkolenia w grze w piłkę nożną, praca zbiorowa pod red. Żak S. i Duda H., 2006, AWF Kraków, str. 225-246
64. Wnorowski J., „Kompleksowa diagnostyka wydolności fizycznej”, Medicina Sportiva, 6, 113-122, 2002
65. Vanfraechem J.H.P., „Capacite aerobic”, Congress Joa Pessoa, 2001
66. Zaniewicz D., Jegier A., Drygas W., Kostka T., „Wpływ wieku na zdolność do wykonywania wysiłków krótkotrwałych i długotrwałych”, Medycyna Sportowa, nr. 157, 2005
67. Zatoń M., „Wokół dyskusji o obciążeniach treningowych”, Sport Wyczynowy, 36, 1-2, s. 17-24, 1998
68. Zatoń M., Bugajski A., „Koncentracja mleczanu po wysiłkach testowych jako wskaźnik efektywności treningu”, Medycyna Sportowa, nr 98, s.54, 1999
69. Zorpette G. „Scientific American Presents”, Men – The Scientific Truth, t.10, nr. 2, 1999



dr Małgorzata Fortuna – wykładowca Kolegium Karkonoskiego na Wydziale Przyrodniczym. Posiada doświadczenie w prowadzeniu zajęć z anatomii prawidłowej człowieka, fizjologii człowieka oraz fizjologii wysiłku fizycznego na kierunkach: Wychowania Fizycznego, Fizjoterapii, Pielęgniarstwa, Ratownictwa Medycznego i Kosmetologii. Instruktor ćwiczeń siłowych i kulturystyki. Układała i prowadziła treningi dla osób z nadwagą i otyłych w wrocławskich ośrodkach m. in. klubie Salus i filii Klubu Kwadransowych Grubasów. Wiedze i doświadczenie z zakresu fizjologii wysiłku zdobyła w Zakładzie Fizjologii Wysiłku na Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, później w Unitè de Recherch en Physiologie Cardio – Respiratoire na Uniwersytecie w Brukseli. Jest autorem i współautorem przeszło dwudziestu publikacji naukowych polsko i anglojęzycznych. Jej zainteresowania to zmienność rozkładu napięcia układu autonomicznego w zmianach adaptacyjnych, zwłaszcza w wysiłkach fizycznych. Obecnie, zmiany adaptacyjne w pracy fizycznej u seniorów.