

BADANIE I ZNACZENIE WYTRZYMAŁOŚCI TLENOWEJ WE WSPINACZCE SPORTOWEJ

Artur Magiera¹

Wzrost pokonywanych trudności wspinaczkowych wymaga od zawodników poszukiwania czynników, które mają wpływ na ich formę sportową z zamiarem późniejszego, odpowiedniego ich rozwoju. Jednym z takich czynników jest wytrzymałość tlenowa, która ma większe znaczenie niż sądzono. Wspinacze mający większy poziom sportowy mają także lepszą wytrzymałość, mogą oni wspinąć się dłużej w równowadze czynnościowej, w której dominują tlenowe procesy metaboliczne. Zużycie tlenu podczas wspinania osiąga przeciętnie 20-30 ml/kg/min z wartościami najwyższymi ok. 30-40 ml/kg/min. Także analiza dyscypliny, gdzie czas wysiłku startowego wynosi powyżej dwóch minut, wskazuje na dużą rolę procesów tlenowych. Diagnoza wydolności i wytrzymałości tlenowej wspinaczy na ergometrach wspinaczkowych lub innych angażujących kończyny górne jest bardziej trafna niż standardowe testy.

Słowa kluczowe: *wydolność tlenowa, wytrzymałość tlenowa, wspinaczka sportowa*

Wstęp

W zgodnej opinii wszystkich ośrodków naukowych zajmujących się sportem i rekreacją ruchową najważniejszą cechą określającą sprawność fizyczną jest wydolność organizmu. Jest ona określana jako zdolność do intensywnych lub długotrwałych wysiłków fizycznych, bez szybko narastającego zmęczenia i warunkujących jego rozwój zmian w środowisku wewnętrznym organizmu. Określa tolerancję zaburzeń

¹ Katedra Analiz Systemowych w Sporcie. Promotor prof. dr hab. I. Ryguła.

homeostazy wewnętrznej wywołanej tym wysiłkiem oraz zdolność do szybkiej ich likwidacji po zakończeniu pracy [Kozłowski, Nazar 1999, Górski 2001]. Jest ona biologicznym podłożem dla wytrzymałości. Wydolność określa potencjał ustroju, wytrzymałość natomiast charakteryzuje stopień jego wykorzystania, dzięki umiejętnościom techniczno-taktycznym i cechom wolicjonalnym.

Wydolność fizyczną dzieli się, w zależności od dominujących przemian metabolicznych, na wydolność tlenową i beztlenową. Wydolność tlenowa dominuje w wysiłkach długotrwałych a jej parametrami są maksymalny pobór tlenu (VO_2max) -określający moc przemian tlenowych i próg beztlenowy (AT)- określający efektywność tych zdolności energetycznych.

Znaczenie procesów tlenowych wzrasta w wysiłkach fizycznych powyżej jednej minuty i ich dominacja uwidacznia się podczas 3 minutowej pracy, chociaż największa moc tych procesów stanowi jedynie 1/3 mocy procesów beztlenowych niekwasomlekowych. Obciążenie organizmu, w którym ćwiczący wykorzystuje pełną moc tlenowych procesów energetycznych, na poziomie VO_2max , może być kontynuowane nieprzerwanie zaledwie przez 5-8 min. Powyżej tego okresu czasu należy obniżyć intensywność pracy, a chcąc ćwiczyć przez wiele godzin intensywność ta powinna być poniżej progu anaerobowego.

Maksymalny pobór tlenu (VO_2max , pułap tlenowy) warunkują czynniki związane:

- z funkcją układu oddechowego
- z funkcją układu krwionośnego
- z przepływem mięśniowym (m.in. gęstością kapilar, dyfuzją tlenu do mitochondriów)
- z metabolizmem mięśniowym (m. in. masa i typ włókien mięśnia, aktywność enzymów oksydacyjnych, liczba mitochondriów w mięśniu).

Badanie wydolności i wytrzymałości tlenowej we wspinaczce sportowej

W dotychczasowych badaniach wspinaczy dominowała forma testów mierzących wydolność tlenową za pomocą biegu lub pracy nóg na cykloergometrze. Wyniki te wskazują na poziom $VO_2\max$ w granicach 55 mml/kg/min, które są porównywalne dla zawodników gier zespołowych, gimnastyki lub aktywnych ruchowo studentów. Wartość ta wskazuje, że pułap tlenowy wyznaczany za pomocą standardowych testów, raczej nie powinien być czynnikiem ograniczającym poziom sportowy.

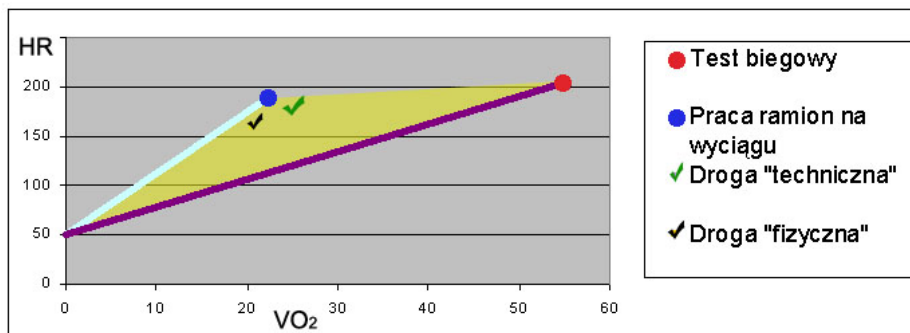
Jak powyżej wspomniane, moc tlenową w danej dyscyplinie determinują także czynniki związane z zaangażowanymi w wysiłek mięśniami, a we wspinaczce najbardziej obciążona jest muskulatura górnej części ciała, a nie nogi. Dlatego bardziej specyficzne są badania dotyczące pracy tych właśnie mięśni i wykorzystania przez nich tlenu.

Tabela 1

$VO_2\max$ wspinaczy osiągnięte przy zaangażowaniu pracy ramion

Autor	N	Płeć	Poziom		$VO_2\max$ RR		Uwagi	VO_2 uzyskane podczas wspinania [% $VO_2\max$ RR]
			skala	Skala dziesiętna	Średnia	S		
Doran, Moncrieff	8	m	7c+- 8b+	9,0-10	39	bd	cykloergometr praca RR	98,3- droga płytowa 78 ⁰ 105,5 - droga przewieszona 102 ⁰
Billat i wsp. 1995	4	m	7b	8,2	22,3	2,6	„pulling test” - praca RR na wyciągu	113 – droga „techniczna” 95,6 - droga „fizyczna”

Bd – brak danych



Rys. 1. Średnie VO_{2max} i HR_{max} podczas biegu, pracy ramion na wyciągu, prowadzenia drogi o charakterze „technicznym” i „fizycznym” [Na podst. danych Billat i wsp. (1995)]

Wyniki analiz pokazują, że występują różnice fizjologiczne pomiędzy wysiłkiem mięśni kończyn górnych i dolnych, ale trening małej grupy mięśni kończyn górnych może wywołać zmiany adaptacyjne, gdy jego objętość i intensywność jest tak duża jak w sporcie wyczynowym. W kajakarstwie czy pływaniu - zawodnicy wysokiej klasy, osiągają w czasie pracy ramionami wartości VO_{2max} bliskie wartościom uzyskanym podczas wysiłku nogami [Lutosławska 1999]. W tabeli 2 pokazane zostały wartości VO_{2max} uzyskane przy pomocy pracy ramion u wspinaczy. Poniżej są dane największego zużycia tlenu podczas prowadzenia trudnych dróg wspinaczkowych w procentach VO_{2max} uzyskanego podczas pracy ramion. Wyniki i ryc. 1 wskazują, iż wartości zużycia tlenu podczas wspinania są bliższe wartości uzyskanym pracą ramion niż nóg.

Zastosowanie specjalnych ergometrów wspinaczkowych pozwala obecnie najlepiej badać wydolność tlenową wspinaczy w warunkach laboratoryjnych. Jednak ważny jest sposób zwiększania obciążenia. Booth i wsp. i Watts zastosowali wzrost prędkości wspinaczki (tabela 3). Może być to mało specyficzna metoda, ponieważ podczas wysiłków startowych (na trudność) prędkość wspinania jest regulowana przez zawodnika i nie przyjmuje wartości 16m/min jakie stosowano w tym

teście. Średnia prędkość wspinania jest dalece mniejsza i wynosi od 3 do 7 m/min.

Inną metodą zwiększania obciążenia na ergometrze wspinaczkowym jest zmiana kąta nachylenia. Tę metodę zastosował Watts i wsp. [2000] ale wraz ze zmianą kąta spadała prędkość wspinaczki i wyliczenie obciążenia było trudne. Podobny sposób testowania zastosował w swoich badaniach Köstermeyer [2000], jednakże prędkość wspinania na ergometrze wspinaczkowym była stała i występował tylko jeden czynnik zmieniający obciążenie- zmiana kąta nachylenia ściany.

Tabela 2

VO_{2max}, HR_{max} i La_{max} przy zastosowaniu ergometrów wspinaczkowych

Autor	Wspinaczkowe VO _{2max}		Uwagi	HR _{max}		La _{max}	
	Średnia	S		Średnia	S	Średnia	S
Booth wsp. 1999	43,8	2,2	zwiększanie prędkości wspinaczki do odmowy	190	4	10,2	0,6
Watts, Drobish 1998	31,7	4,6	test ze zmianą kąta, ale ze zmniejszeniem prędkości wspinaczki- stałe VO ₂ , ale HR i La wzrastało	173	15	5,9	1,2
Watts wsp. 1995	43,3	3,5	zwiększanie prędkości wspinaczki do 12m /min, bez odmowy - potwierdzenie badań Booth i wsp.	bd	bd	bd	bd

Znaczenie wytrzymałości tlenowej we wspinaczce sportowej

Z badań W. Schädle-Schardt średni czas wspinaczki na zawodach w stylu OS wynosi ok. 5- 7 minut (50-60 przechwyty). Wysilek ten jest zmienny i angażuje naprzemianstronnie głównie mięśnie ramion w specyficznym rytmie. Średni czas obciążenia jednej kończyny wynosi ok. 10 sekund (1 – 50 sek.) a odpoczynku 2-3 sekund (1-20 sek.) [Schädle-Schardt 1998]. Czas spędzony w statycznych pozycjach zajmuje

przeciętnie 38% całego okresu wspinaczki [Billat i wsp. 1995]. Dłuższe czasy wspinaczki występują podczas prowadzeń dróg we wspinaczce skalnej, szczególnie w stylu OS. Powyższe dane mogą wskazywać na duże znaczenie przemian aerobowych w skalnej wspinaczce sportowej.

Köstermeyer [2000] badając lokalną wytrzymałość siłową mięśni zginaczy palców we wspinaczce sportowej wykazał na 24 zaawansowanych wspinaczach duże korelacje między osiąganymi wynikami a pokonanym dystansem (wskaźnik wytrzymałości KM) przy teście stopniowanym na ergometrze wspinaczkowym (tabela 3).

Tabela 3

Korelacje pomiędzy wytrzymałością siłową (KM) a wynikiem sportowym [Köstermeyer 2000]

	Współczynniki korelacji rangowych (rs)			
	Najtrudniejszy boulder	Najlepsze RP	Najlepszy OS	Miejsce na zawodach
KM	0,614**	0,827**	0,634**	0,848**

** p<0,01

Największe związki wytrzymałości siłowej (KM) występują z wynikiem we wspinaczce „ze znajomością” i miejscem w zawodach (p<0,01). Na długość przebytego dystansu, czyli parametru wytrzymałości siłowej miała dodatni wpływ odległość, jaką wspinacz przebył w równowadze czynnościowej (SYSS). Lepsi zawodnicy pokonywali większy dystans w Systemie Steady-State. Parametr maksymalnego zakwaszenia krwi podczas testu miał niski, nieznaczący związek z przebyтым całkowitym dystansem (KM), co może świadczyć o drugorzędym znaczeniu przemian beztlenowych.

Dla wydajności wytrzymałości siłowej decydujące znaczenie ma praca w zakresie intensywności odpowiadającej równowadze czynnościowej. Podstawą metaboliczną tego zakresu jest pojemność aerobowa z komponentami tlenowej glikolizy i oksydacyjnej eliminacji kwasu mlekowego.

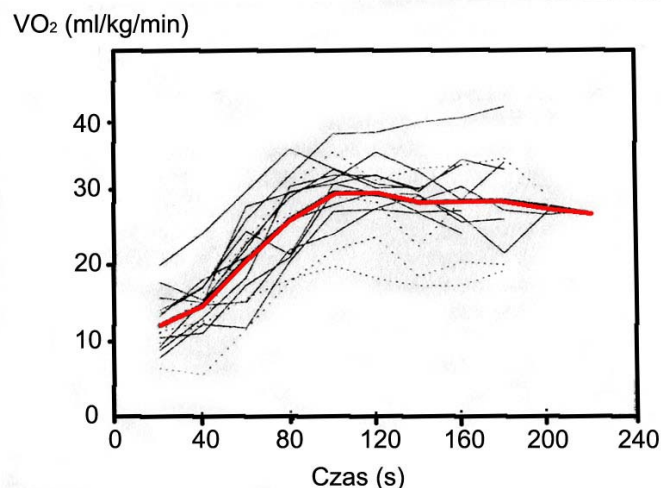
Z obserwacji dokonywanych podczas prowadzeń dróg wspinaczkowych (wysiłek startowy) przy zastosowaniu lekkich, przenośnych urządzeń do pomiaru zużycia tlenu, można wywnioskować, że średnie zużycie tlenu wynosi pomiędzy 20 a 30 ml/kg/min, z maksymalnymi wartościami 30 - 40 ml/kg/min (tabela 5). W badaniach Booth oraz Watts zaobserwowano plateau w poborze tlenu po ok. 100 s. (Ryc. 2), podczas prowadzenia drogi na naturalnej skale i na sztucznej ścianie. Niestety, nie zostało stwierdzone, czy to plateau reprezentowało metaboliczną równowagę czynnościową, czy specyficzne wspinaczkowe VO_{2max} .

Tabela 4

Średnie i maksymalne VO_{2max} podczas wysiłku startowego (prowadzeń)
[Watts 2004]

Autor	Trudność	Czas/metry	VO ₂ na drodze				Uwagi
			Średnie VO ₂		Największe VO ₂		
			X	S	X	S	
Booth i wsp. 1999	UK 5c	7,36/24,4m	bd	bd	32,8	2	
Doran, Moncrieff	Fr 7b+/c	15m	30,5	4,2	38,4	8,2	plyta 78 ⁰
	Fr 7b+/c	15m	29,2	5,1	41,3	4,2	przewieszenie 102 ⁰
Billat i wsp. 1995	Fr 7b	3,46/15m	bd	bd	24,9	1,2	techniczna
	Fr 7b	3,44/15m	bd	bd	20,6	0,9	fizyczna
Sheel i wsp. 2003	US 5.10c	1,30-3,30min	20,1	3,3	bd	bd	łatwa
	US 5.11c	1,30-3,30min	22,7	3,7	bd	bd	trudna
Wilkins i wsp. 1996	US 5.12a	2,15 min	20,9	0,8	27,4	1	27.ruchowy bulder
Watts i wsp. 2000	US 5.12b	2,57 min	24,7	4,3	31,9	5,3	
Mermier 1997	bd	bd	20,7	8,1	bd	bd	łatwa
	Bd	Bd	21,9	5,3	Bd	bd	średnio trudna
	bd	bd	4,9	4,9	bd	bd	trudna

bd – brak danych



Rys. 2. Indywidualne wykresy VO₂ badanych podczas prowadzenia drogi. Czerwona linia przedstawi uśrednioną wartość [Watts i wsp. 2000]

Podsumowanie

Specyficzna natura wspinaczki sportowej jest trudna do uogólnień. Dyscyplina ta wymaga sprawnego współgrania wielu czynników, zarówno fizycznych, jak i psychicznych, koordynacyjnych i innych. Każda droga jest inna i wymaga innych cech od wspinacza.

Na podstawie dotychczasowych badań na wspinaczach oraz tej specyficznej aktywności można próbować wyciągnąć ogólne wnioski na temat niektórych fizjologicznych aspektów wspinaczki sportowej, szczególnie poboru tlenu. Przemiany tlenowe odgrywają we wspinaniu większą rolę niż dotąd uważano, zarówno ze względu na czas wysiłku ($t > 2$ min) jak i wykorzystanie tlenu przez mięśnie ramion. Praca mięśni podczas wspinania jest specyficznie rytmiczna (obciążenie-odciążenie), zatem decydującą sprawą dla zawodnika jest rozwinięcie odpowiedniej siły skurczu podczas fazy obciążenia i dostateczny odpoczynek w fazie odciążenia, pozwalający na usunięcie produktów przemiany materii. Zależy to od czynników lokalnych wydolności tlenowej.

Pomimo wielu analiz naukowych tematyka wydolności u wspinaczy wymaga, dalszych badań. Badania wydolności przy zastosowaniu ergometrów wspinaczkowych, wykorzystujące odpowiednią metodę lub ergometry angażujące muskulaturę ramion, pozwalają na dokładniejszą wydolności wspinaczy sportowych.

Piśmiennictwo

1. Billat V., Palleja P., Charlaix T., Rizzardo P., Janel N. 1995. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* nr 35, 20-24.
2. Booth J., Marino F., Hill Ch., Gwinn T. 1999. Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *Br. J. Sports Medicine* nr 33, 14-18.
3. Ferguson R.A., Brown M.D. 1997. Arterial blood pressure and forearm vascular conductance responses to sustained and rhythmic isometric exercise and arterial occlusion in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. *Eur. J. Appl. Physiol.* 76. 174-180.
4. Köstermeyer G. 2000. Bestimmung, Bedeutung und Training der lokalen Kraftausdauer der Fingerbeuger im Sportklettern. *Ars Una. Neuried.*
5. Kozłowski S., Nazar K. (red.) 1999. Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa.
6. Lutosławska G. 1999. Wpływ wielkości mięśni aktywnych na zmiany fizjologiczne i biochemiczne po wysiłku i treningu. *Medicina Sportiva* 3, 21- 30.
7. Schädle-Schardt W. 2002. Klettern. Lehren, Lernen, Erleben. Meyer & Meyer Verlag. Aachen
8. Sheel W.A., Seddon N., Knight A., Mckenzie D.C., Warburton D.E. 2003. Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Med. Scien. Sports Exerc.* 35, 1225-1231.
9. Watts P., Drobish K. 1998. Physiological responses to simulated rock climbing at different angles. *Medicine & Science in Sports & Exercise* nr 36, 1118- 1122
10. Watts P.B. 2004. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 91. 361- 372.

11. Watts P.B., Daggett M., Gallagher P., Wilkins B. 2000. Metabolic response during sport rock climbing and the effect of active versus passive recovery. *International J Sports Medicines* 21. 185-190.

Summary

Serious climbers may employ a multi- factor strategy in order to achieve and maintain performance at the highest levels. One of that factors – aerobic endurance has a higher significance than thought before. Better climbers have a higher aerobic capacity and can climb longer in the Steady State System, where aerobic processes dominate. Oxygen uptake during difficult climbing averages 20-30 ml/kg/min with peaks of 30-40 ml/kg/min.

The evaluation of maximal oxygen uptake (VO_{2max}) and endurance of climbers should take place under more specific conditions on treadmills or climbing walls that engage upper body musculatur.