

カヌーカヤック競技者に対する常圧低酸素室を用いた 短時間かつ短期間の living low-training high の効果

本間洋樹, 山本正嘉

鹿屋体育大学

キーワード: カヌーカヤック, 低酸素トレーニング, living low-training high, 常圧低酸素

【論文概要】

全国大会で入賞経験のある, 大学男子カヌースプリントカヤック選手 6 名を対象として, 試合前に, 通常の水
上トレーニングと並行して, 短時間(約 5 分間)かつ短期間(2 週間)の living low-training high 方式の低酸素トレ
ーニングを行った. その内容は, カヤックエルゴメータを用いて, $130\% \dot{V}O_{2peak}$ 相当の運動強度で, 20 秒間の
運動を 10 秒間の休息をはさみ, 8 セット繰り返すという間欠的な運動トレーニングを, 週 3 回の頻度で 2 週間,
計 6 回実施するというものであった. トレーニング高度は, 1 回目のトレーニング時には全員が 2000m 相当とし
たが, 回数を重ねるにつれて徐々に高度を上げ, 6 回目のトレーニング時には 2500m~4000m 相当高度で行
った. その結果, トレーニング後には, カヤックエルゴメータを用いて測定した有酸素性作業能力(最高酸素摂
取量), および無酸素性作業能力(10 秒間全力漕ぎ時の機械的パワー)が, いずれも有意に増加した. 200m 全
力漕ぎパフォーマンスについては, 6 名中 5 名に 0.1 秒以上のタイムの短縮が見られた. カヤックの一流選手の
競技場面において, 0.1 秒以上のタイム短縮には意味があるので, この 5 名にとっては有効なトレーニングであ
ったといえる. 特に, 低酸素トレーニングを初めて行った選手では, タイムの改善が大きかった. 一方で, タイム
に改善が見られなかった 1 名は, 低酸素トレーニング経験が最も多い者であった. このような選手に対しては,
トレーニング高度だけではなく, 期間, 頻度, 運動強度などの負荷条件をさらに改善する必要があるといえ
る.

スポーツパフォーマンス研究, 4, 212-227, 2012 年, 受付日:2012 年 3 月 2 日, 受理日:2012 年 11 月 21 日

責任著者:山本正嘉 鹿屋体育大学〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 番地 yamamoto@nifs-k.ac.jp

Effects on performance of canoe kayak athletes of a short period of brief hypoxic training living low-training high using a normobaric hypoxic room

Hiroki Honma, Masayoshi Yamamoto

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key Words: canoe kayak, hypoxic training, living low-training high, normobaric hypoxia

[Abstract]

In the present study, a short period (2 weeks) of brief (about 5 minutes) exposure to hypoxic training, using a living low - training high style, in addition to the usual aquatic training, was given before a game to 6 university canoe kayak athletes who had won in national competitions. The training was performed at an exercise intensity equivalent to 130% Vo₂peak, measured using a kayak ergometer, by repeating 8 sets of intermittent training with 20-second exercise and 10-second rest periods per set. This was repeated 3 times a week for 2 weeks. The first time, the training altitude was the equivalent of 2000 meters for all participants. It was then gradually increased to the equivalent of 2500 – 4000 meters by the sixth session. After this training, the athletes' aerobic work capacity (peak oxygen intake) and anaerobic work capacity (mechanical power at full-power rowing for 10 seconds) significantly increased, as measured by the kayak ergometer. Also in 200-meter full-power rowing, 5 of the 6 athletes shortened their time by more than 0.1 second. Because such a decrease in time is meaningful in kayak competitions, it is judged that the present training was effective for those 5 athletes. In particular, the improvement in time was greater in those athletes who were being given this hypoxic training for the first time. On the other hand, the one participant who did not improve his time was the one most experienced with hypoxic training. For such athletes, there may be a need not only of training at simulated high altitude, but also of further loading conditions, such as the period, frequency, and intensity of exercise.

I. 緒言

カヌースプリントカヤック競技の主な種目は、1000m, 500m, 200m である。従来のオリンピック種目は 1000m と 500m であったが、2012 年のロンドンオリンピックからは、500m 種目に代わり 200m 種目が正式種目となった。このため、200m 種目に対するトレーニングの重要性が高まっている。200m 種目の競技時間は 40 秒弱であり、無酸素性と有酸素性のエネルギー供給系の割合が、それぞれ 7:3 となるとされている(中垣ほか, 2008)。したがって、この種目の競技力向上のためには、無酸素性と有酸素性の両方の作業能力を改善するトレーニングが必要である。

高所トレーニングは 1960 年代以降、有酸素性能力を改善するトレーニングとして行われてきた。しかし最近では、無酸素性能力の改善にも効果があると報告されている(荻田, 2004, 平山ら, 2011)。したがって、カヌーの 200m 種目の競技力向上のためのトレーニングとして有効である可能性がある。実際に平山ら(2011)は、カナディアン選手を対象として、カナディアンエルゴメータを用い、常圧低酸素室を利用した living low-training high (LL-TH) 方式の低酸素トレーニングを週に 2-3 回(1 回あたり 20 分または 5 分の 2 種類)、約 3 週間行った。その結果、無酸素性および有酸素作業の両能力が改善し、200m 漕の成績も向上したと報告している。カヌーカヤックの 200m 種目については、これまでに低酸素トレーニングの検討例はないが、基本的にはこの知見があてはまると考えられる。

ところで平山らの研究では、低酸素トレーニングの期間を約 3 週間としている。しかし試合前に行うトレーニングとして考えた場合、3 週間よりも 2 週間程度の期間で効果が得られた方が、水上練習により多くの時間を割くことができ、より効果的な練習ができる。また平山らは、水上トレーニングと低酸素トレーニングとを 1 日交代で行っている。しかし、水上練習は 1 週間の中で練習強度を徐々に高くしていくことから、水上練習が低～中強度で行われる週の前～中盤に低酸素トレーニングを組み込み、週の終盤では高強度の水上練習のみを行う方が、総合的に見てより質の高い練習が可能となる。そして、このような日程での低酸素トレーニングが効果をもたらすかについては、改めて検討する必要がある。

そこで本研究では、カヌースプリントカヤック競技 200m 種目に焦点をあて、競技会前のトレーニングとして、短時間(5 分間)かつ短期間(2 週間)での LL-TH 方式の低酸素トレーニングを、水上練習と並行して行った。そしてこのトレーニングが、カヤックエルゴメータを用いて測定した無酸素性作業能力、有酸素性作業能力、および 200m 全力漕の能力に及ぼす効果について検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

被検者は、全日本選手権や全日本学生選手権など、全国大会での上位入賞経験者を含む、大学生の男子カヌースプリントカヤック競技者 6 名とした。表 1 は、各被検者の身体特性と低酸素トレーニング経験を示したものである。なお各被検者には、本研究の目的、方法、およびそれに伴う危険性を説明し、本研究に参加する同意を得た上で実験を行った。また本研究は、所属機関の倫理審査委員会の承認を得て行われた。

表 1. 被検者の身体特性, 競技成績, および低酸素トレーニング経験

被検者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	主な成績	低酸素トレーニングの経験	
					トレーニング経験(回)	高度(m)
A	21	170.9	69.5	平成23年度日本カヌースプリント選手権大会 1000m ペア 優勝	6	2000
B	21	166.7	77.7	平成23年度日本カヌースプリント選手権大会 200m シングル 準決勝進出	5	2000
C	19	181.5	71.7	第47回全日本学生カヌー選手権大会 1000m ペア 優勝	2	2000
D	20	177.5	77.5	第47回全日本学生カヌー選手権大会 1000m シングル 優勝	2	2000
E	19	173.3	71.7	平成22年度全国高等学校総合体育大会 200m ペア 準優勝	0	—
F	19	171.0	78.3	平成22年度全国高等学校総合体育大会 200m シングル 準優勝	0	—
平均値	20	173.5	74.4			
標準偏差	1	5.3	3.9			

B. 測定手順

本研究での測定やトレーニングには、いずれもカヤックエルゴメータ(Dansprint 社製, Denmark;以下, エルゴメータ)を用いた。エルゴメータは空気抵抗式であり、フライホイールに流入する気体の性質(気温, 湿度)によって牽引の重さが変化する。本研究では、中垣ら(2008)の先行研究に準拠し、エルゴメータの drag resistance coefficient を 32(本エルゴメータにおいて成年男子が使用する際の標準的な値)に設定し、毎回のトレーニングで同じ抵抗がかかるようにした。

測定は、多段階負荷試験(有酸素性作業能力の指標)、10 秒間の全力漕(無酸素性作業能力の指標)、200mの全力漕(パフォーマンスの指標)、の3種目を行うこととし、いずれも前記のエルゴメータを用いて実施した。ストロークレートは被検者の任意とし、ストレッチャーの長さは被検者が漕ぎやすいと感じる位置に固定した。

C. 測定項目および測定方法

1. 多段階負荷試験による有酸素性作業能力の測定

有酸素性作業能力の指標として、多段階負荷試験により最高酸素摂取量($\dot{V}O_2$ Peak)と乳酸(La)カーブの測定を行った。1ステージは4分(運動3分+休息1分)とし、疲労困憊に至るまで負荷を漸増した。運動前には十分なウォーミングアップを行わせ、エルゴメータに座った状態で1分間の安静を保持した。最初の負荷は60Wとし、それ以降はステージ毎に20Wずつ漸増させた。ストロークレートは被検者の任意とした。

運動中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)は、自動呼気ガス分析装置(Vmax29c, Sensor Medics 社製, United States)を用いて、breath-by-breath法により連続的に測定し、各ステージの2~3分における1分間の平均値で示した。そして、設定した負荷値で3分間維持できたステージで得られた酸素摂取量の中の最高値を、最高酸素摂取量($\dot{V}O_2$ Peak)とした。

また、各ステージの運動終了直後に、簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, Arkray 社製, Japan)を用いて血中乳酸濃度(La)を測定し、その増加の状況を記録した。

2. 10秒間全力漕による無酸素性作業能力の測定

藤中と山本(2005)は、自転車エルゴメータを用いた無酸素性作業能力の測定で用いられている考え方(山

本, 1985; Vandewalle et al., 1987)に従い, カナディアンカヌーエルゴメータを用いて10秒間全力漕を行った際の機械的なパワーを, 無酸素性作業能力の指標としている. 本研究でも, 上記の考え方にに基づき, カヤックエルゴメータを用いて10秒間の全力漕時に発揮された機械的なパワーを, 無酸素性作業能力の指標とした.

被検者にはあらかじめ十分なウォーミングアップを行わせ, エルゴメータを用いた10秒間の全力漕を行った. そして, 左右のいずれか片側で得られた1パドル分の仕事率のピーク値を, 無酸素性作業能力の指標とした.

3. エルゴメータによる200m全力漕

被検者にはあらかじめ十分なウォーミングアップを行わせ, エルゴメータを用いて200mの全力漕を実施し, 漕タイムと平均パワーを記録した.

4. トレーニング方法

本実験におけるトレーニングは, 常圧低酸素室(トレーニング環境シミュレータ, エスペック社製, 日本)を使用した. トレーニングの期間は, 表2に示すように2週間とし, 各週の前半~中盤に相当する火, 水, 木曜日という連続した3日間を, 低酸素トレーニングにあてた. なお, 低酸素トレーニングの終了後には, 低~中強度の水上練習もあわせて行った.

表2. トレーニングのスケジュール

土	日	月	火	水	木	金	土
トレーニング前の測定	オフ	水上トレーニング	低酸素トレーニング	低酸素トレーニング	低酸素トレーニング	ウエイト	水上トレーニング
		10000m(70%HRmax)	水上トレーニング	水上トレーニング	水上トレーニング		2分(全力)-1分(休憩) × 6 1分(全力)-1分(休憩) × 6 2セット
日	月	火	水	木	金	土	日
オフ	水上トレーニング	低酸素トレーニング	低酸素トレーニング	低酸素トレーニング	ウエイト	水上トレーニング	トレーニング後の測定
	8000m テクニック漕	水上トレーニング	水上トレーニング	水上トレーニング		5分(全力)-5分(休憩) × 6 2分(全力)-1分(休憩) × 6	
		2000m × 3(80%HRmax)	10000m(70%HRmax)	1000m × 6 500m × 4 200m × 4			

低酸素トレーニングの内容は, 図1に示すように, エルゴメータを用いて20秒の運動を10秒間の休息をはさみ, 8セット繰り返す間欠的運動とした. トレーニング強度は, 多段階運動負荷試験時において, 指定の負荷値を3分間遂行できた最高の強度を100% $\dot{V}O_{2peak}$ 強度と規定し, 130% $\dot{V}O_{2peak}$ 相当の運動強度(217 ± 13W)で行った. 被検者は, エルゴメータのモニタ画面に表示される運動強度の値を見て, 指定の運動強度となるように努めさせた.



図1. 常圧低酸素室内でのカヤックエルゴメータによるトレーニング

設定高度は、1回目のトレーニング時には全員が2000m相当高度(以下、高度と略称する)としたが、以下に示す条件を満たした場合には、運動強度は変えず、高度を500m刻みで上げることとした。これは、自転車競技選手(清水ら, 2010), を対象として行われた低酸素トレーニングにおいて、トレーニング期間中、高度を一律に固定して行うよりも、その高度に馴れてきた者については適宜高度を上げた方が、より大きなトレーニング効果が得られる、とされていることに基づいたものである。高度を上げる条件は、①被検者の総合的な感覚、②運動直後の SpO_2 が85%以上、③指定された負荷強度を5セット以上維持できた場合、④検者の観察結果とし、これら4つを総合してトレーニング時の高度を決定した。

トレーニング中は毎回、心拍モニター(Polar社製, Finland)を用いて心拍数(HR)を測定した。また運動直後には、動脈血酸素飽和度(SpO_2)をパルスオキシメータ(Pulsox-3Si, Minolta社製, Japan)を用いて測定した。またLaを簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, Arkray社製, Japan)を用いて測定した。

D. 分析方法

結果は平均値±標準偏差で示し、トレーニング前後の変化は、対応のあるt検定を用いて検定した。有意水準は危険率5%未満($p<0.05$)とした。

III. 結果

A. トレーニング期間中の変化

図2は、トレーニング回数の増加に伴う、設定高度の推移を示したものである。高度は全ての被検者で、1回目の2000mから500m～2000m上昇させることができた。そして6回目には、2500～4000mでトレーニングを行った。

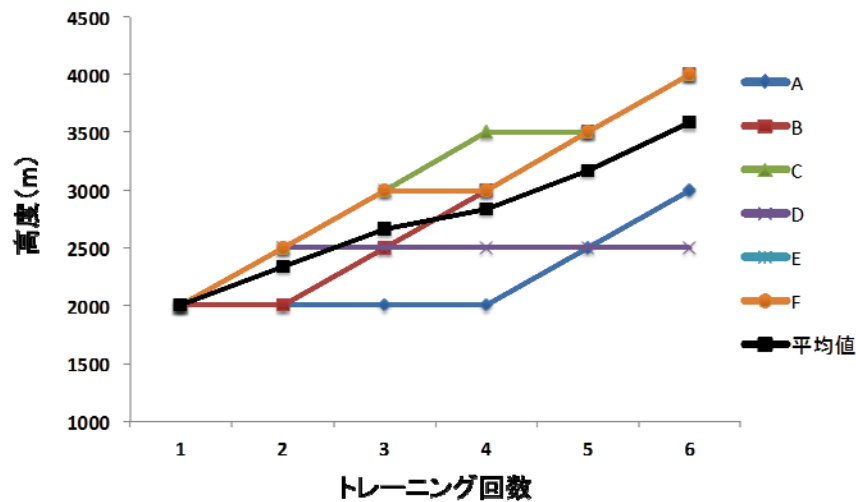


図2.トレーニング経過に伴う設定高度の推移

図3は、トレーニング期間中の実施運動強度を示したものである。トレーニング高度が最も高くなった6回目では強度はやや低下しているが、1~5回目まではほぼ規定した強度である130% $\dot{V}O_{2peak}$ 相当の強度で運動を行っていた。

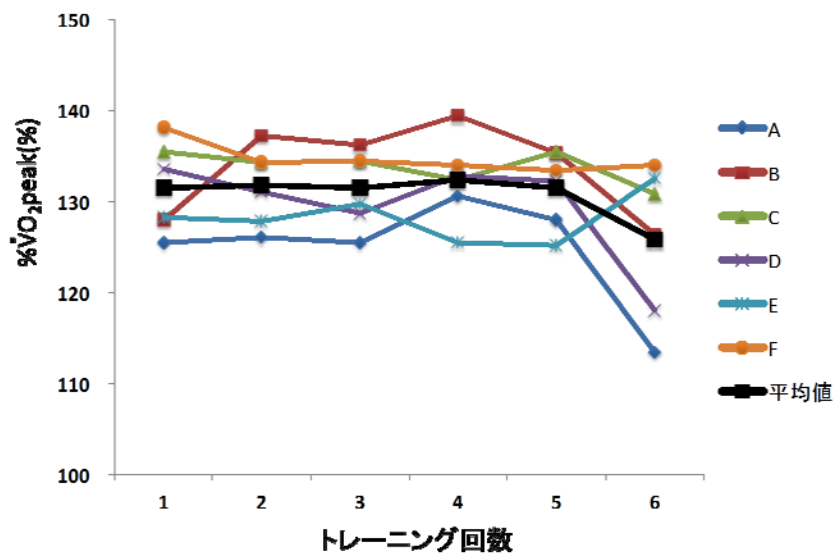


図3.トレーニング経過に伴う運動強度の推移

図4は、トレーニング期間中の SpO_2 (トレーニング終了直後の値)の推移を示したものである。 SpO_2 は、トレーニング1回目では全被検者の平均値で86%まで低下し、トレーニング回数の増加に伴って高度を上げると、さらに低下した。そしてトレーニング期間の後半では、70%台~80%台前半で運動が行われていた。

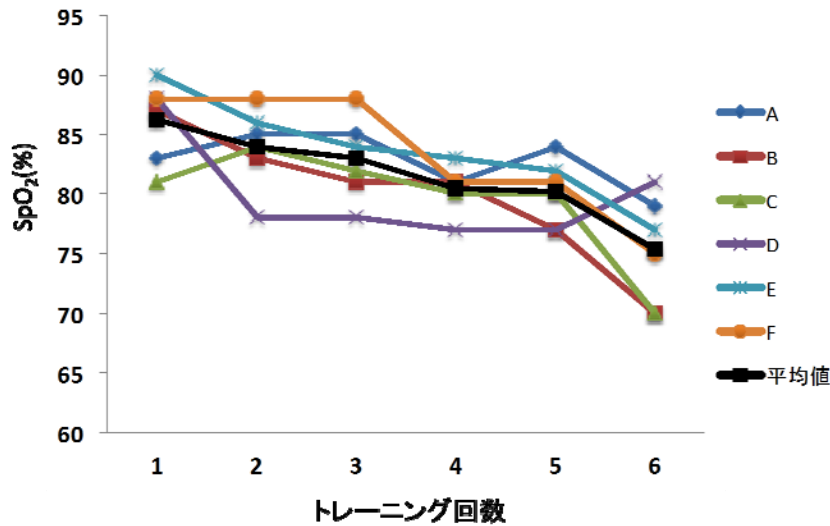


図4. トレーニング経過に伴う動脈血酸素飽和度の推移

図5は、トレーニング期間中のLa(トレーニング終了直後の値)の推移を示したものである。平均値で見ると14mmol/lの前後で、トレーニング期間中はほぼ同じ値に保たれていた。

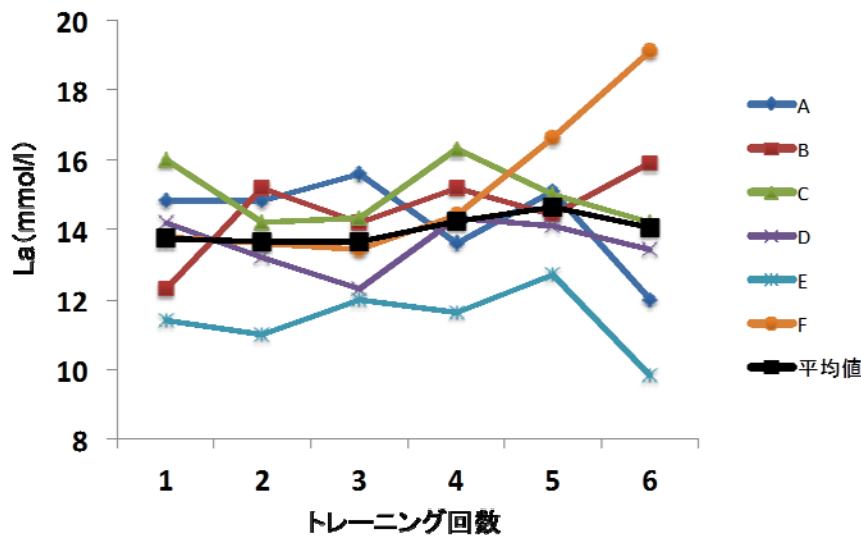


図5. トレーニング経過に伴う血中乳酸値の推移

図6は、8セットの間欠的トレーニングにおける、セット毎のHRを示したもので、この値がトレーニング回数を重ねるにつれてどのように推移したかを示したものである。毎回のトレーニングに関して見ると、間欠的運動のセット数が増加するにつれて心拍数は上昇し、トレーニングの終盤には170~180bpm 台の値を示した。また、トレーニング回数を重ねるにつれて設定高度が高くなると、終盤におけるHRの最高値は低下する傾向を示した。

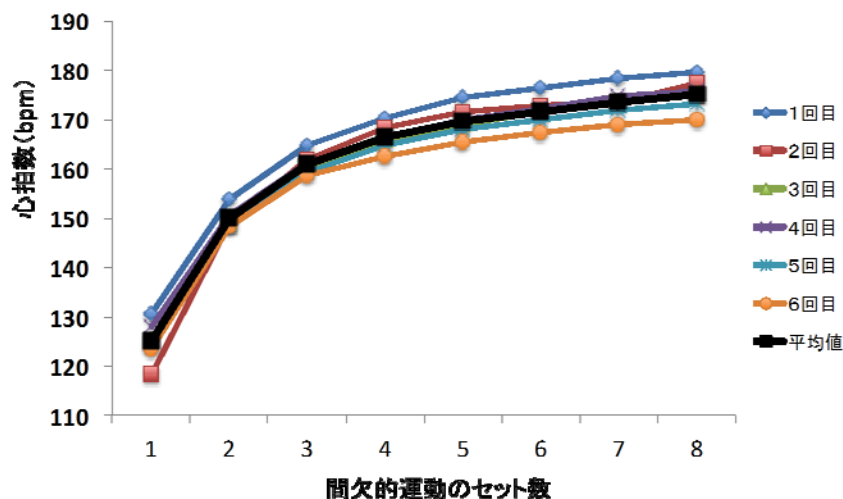


図 6. 間欠的運動のセット数～心拍数関係のトレーニング経過に伴う推移

B. トレーニング前後における変化

1. 有酸素性作業能力の変化

図 7 は, トレーニング前後で, 多段階運動負荷試験時に得られた $\dot{V}O_2$ Peak を示したものである. 全ての被検者で, $\dot{V}O_2$ Peak の絶対値および体重当りの値はトレーニング後に増加し(平均値でそれぞれ 4.0%, 3.6%), その変化はいずれも有意であった.

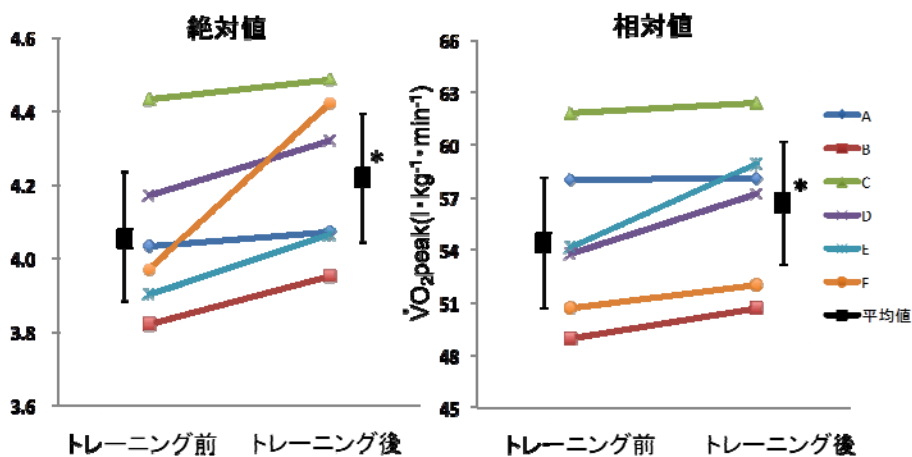


図 7. トレーニング前後での最高酸素摂取量の変化 (*P<0.05)

図 8 は, 同じく, トレーニング前後での多段階負荷試験中の各ステージ毎の L_a を, 全員の平均値で示したものである. L_a カーブにはトレーニング前後で変化が見られなかった.

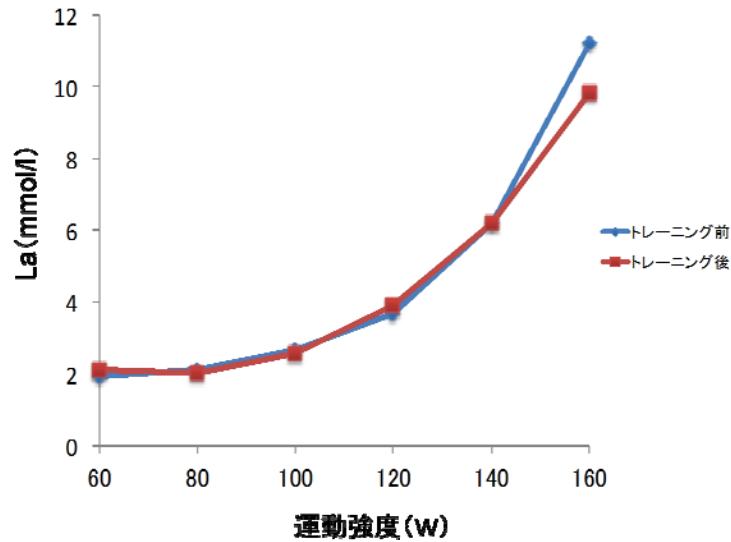


図8. トレーニング前後での乳酸カーブの変化

2. 無酸素性作業能力の変化

図9は、10秒間全力漕時のピークパワーの絶対値および体重あたりの値について、トレーニング前後の値を示したものである。これらの値は、トレーニング後に全ての被検者で増加した(平均値でそれぞれ 9.6%, 11.0%)。その変化はいずれも有意であった。

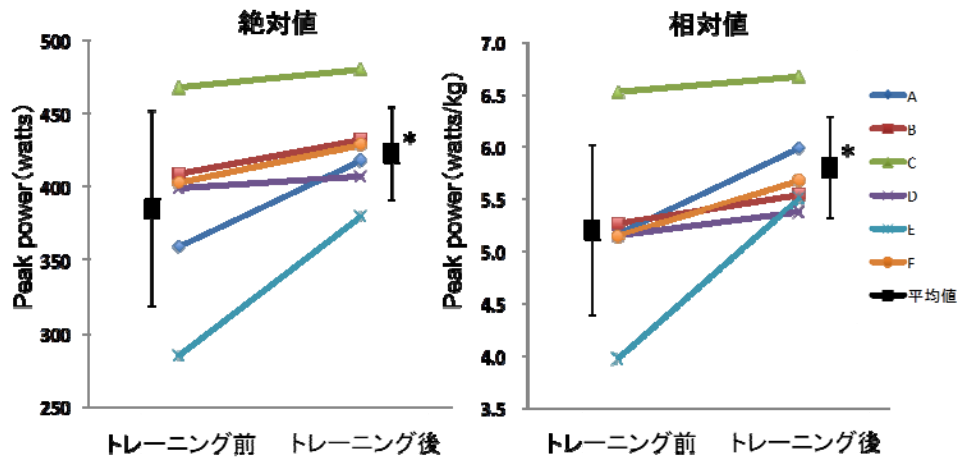


図9. トレーニング前後での10秒全力漕時のピークパワーの変化(*P<0.05)

3. 200m 全力漕タイムの変化

図10は、トレーニング前後での200m 全力漕タイムの変化を示したものである。タイムは6名中5名で0.1秒以上短縮し、全員の平均値では1.4%短縮した。しかし、平均値でみた場合には有意な変化ではなかった。

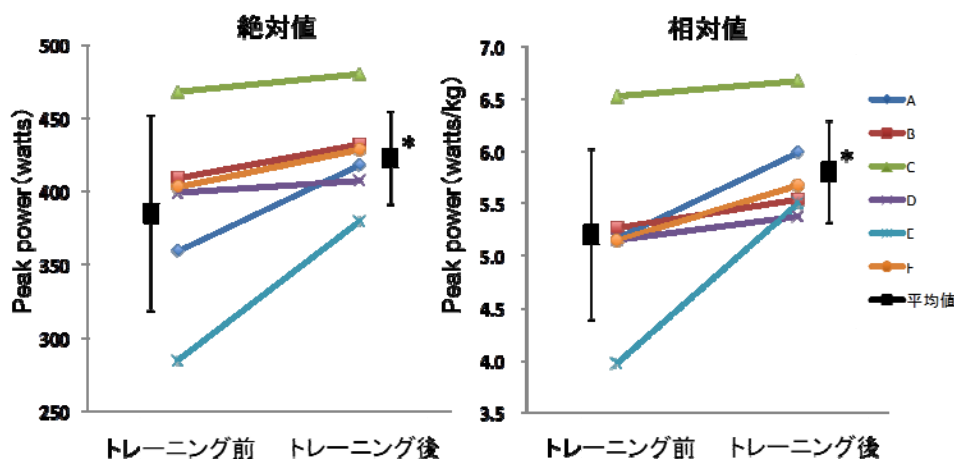


図 10. トレーニング前後での 200m 全力漕タイムの変化

4. トレーニング後の水上練習時における内省報告

トレーニング後の水上トレーニングにおいて、スタートを不得意とする 2 名の選手(D, E)からは、「スタートの出だしがスムーズになった」という内省報告が得られた。また、残りの 4 名(A,B,C,F)からも「スタートから出られるようになった」「トップスピードに乗るまでの時間が短縮された」「トップスピードが上がった」という内省報告を得た。またこの 4 名からは、「きつくなった局面でも漕げるようになった」という報告も得た。

IV. 考察

本研究では、カヤック選手を対象とした LL-TH 方式の低酸素トレーニングを、過去にはほとんど実施例のない短時間(1 回につき 5 分間)、および短期間(2 週間で計 6 回)で行い、その効果を検討した。その結果、カヤックエルゴメータにより測定した無酸素性および有酸素性作業能力が有意に改善した(図 7, 図 9)。200m 漕については有意な改善は見られなかったが、トレーニングを行った 6 名の選手のうち 5 名に改善が見られた(図 10)。以下、トレーニング中の生理応答と、トレーニング後の効果とに分けて、考察を加える。

1. トレーニング中の生理応答

低酸素環境下では、肺から血液への酸素供給に制限が生じることで SpO_2 の値が低下し、体内には低酸素負荷がかかる。通常環境では最大運動を行った場合でも、 SpO_2 は 90% 以下になりにくいとされるが(Williams et al, 1986)、本トレーニング中の SpO_2 を全被検者の平均値で見ると、常に 90% 以下となっていた(図 4)。また SpO_2 は、トレーニング回数を重ね、設定高度が上がるとさらに低下し、最終回では 75% まで低下していた。

本トレーニングの強度は、 $130\% \dot{V}O_2Peak$ の超最大運動であった。そして終了直後の La は、平均値で 14mmol/l 程度(図 5)、HR も 175bpm 程度であった(図 6)。主観的運動強度(RPE)の測定は行わなかったが、トレーニングの終了時には、全員が 19(非常にきつい)と感じるような運動であった。したがって、体内が通常よりも著しく低酸素の状態、5 分間程度で疲労困憊に達するような高強度の運動を行っていたことがわかる。

本研究では、清水ら(2010)が指摘している、低酸素トレーニング時における「過負荷の原則」と「個別性の原則」を考慮し、ある高度で一定以上の作業が行えるようになった場合には、運動強度を変化させずに高度を積

極的に上昇させることで、生理的な負荷を高めることに配慮した。その結果、初期値の2000mから、被検者によって異なるが500~2000m 高度を上げてトレーニングを実施できた。図4を見ると、トレーニング終了直後のSpO₂は、トレーニングの回数を重ねる毎に低下しており、トレーニング期間の後半となるほど、より大きな低酸素負荷をかけられたことがわかる。

なお、被検者A,B,C,D,Fでは高度を1000m以上上昇させ、3000m~4000mの環境で運動ができたが、被検者Eは他の被検者に比べ500mしか上昇できず、2500mが最終的なトレーニング高度となった(図2)。低酸素トレーニングを行うスポーツ選手や(小林, 2004, 杉田, 2004)、高所で活動する登山者の間では(Hultgren, 1997)、初めて高所を体験する時には大きなストレスを感じるが、何度も高所を経験するに従い、高所への適応もより速やかになることが指摘されている。被検者Eは、低酸素トレーニングの未経験者であり(表1)、このことが高度をあまり上げられなかった理由の一つかもしれない。

ただし、被検者Fのように、低酸素トレーニングの未経験者であるにもかかわらず、平均値を上回る速さで4000mまで高度を上げることができた者もいた(図2)。Wilber(2008)は、高所トレーニングに対する適性には非常に大きな個人差があると指摘しているが、Fは高所トレーニングに対する適性に優れた者であったといえるかもしれない。

このように、高所トレーニングに対する適性に大きな個人差があることは、本研究の結果からも窺える。その生理的な背景については、本研究の測定結果からでは不明であり、今後の課題といえるが、一流選手に対して低酸素トレーニングを処方する場合、高度の設定には、その適性に応じた綿密な配慮が必要であるといえる。

本トレーニングの内容は、5分程度の運動時間でオールアウトに達するような超最大運動であった。図3を見ると、最終回を除いてほぼ同程度のパワーを発揮していたにもかかわらず、心拍数はトレーニング回数を重ねるごとに低下する傾向を示した(図6)。最大運動負荷時の心拍数は、標高が高くなるほど低下すると報告されている(Reevesら, 1987)。したがって、本トレーニングでも、トレーニングの経過に伴い高度を上昇させたことが、このような低下を招いた理由と考えられる。この現象からはまた、高度が上昇するほど、有酸素性のエネルギー供給が低下し、無酸素性のエネルギー供給が増大している可能性が考えられる。

2. トレーニング後の有酸素性能力と無酸素性能力の改善

本トレーニングの結果、有酸素性作業能力の指標とした最高酸素摂取量、および無酸素性作業能力の指標とした10秒間全力漕時のPeak Powerは、いずれも有意に改善した(図7, 図9)。Tabataら(1997)は、170% VO₂maxの運動強度で20秒の運動を10秒間の休息をはさんで8セット以上行う運動により、有酸素性および無酸素性の両エネルギー供給系に、最大の刺激を与えられると報告している。本トレーニングでは、Tabataらと同様に高強度(130% VO₂peak)の間欠的な運動を行った。しかも、それを低酸素環境で実施した。このため、両エネルギー系にきわめて大きな刺激が加わり、いずれの能力ともに短期間で改善したと考えられる。

ただし、本研究では対照条件を設けていないため、本トレーニングの効果の中で、低酸素による負荷がどの程度貢献しているかを区別することは難しい。そこで以下に、通常酸素環境下や低酸素環境下で、高強度の間欠的運動トレーニングを行い、その効果について検討した先行研究と比較しながら、この問題について考察

してみることにする。

Tabata ら(1996)は、体育大学生を対象として通常酸素環境で週 5 回、6 週間(計 30 回)のトレーニングを行い、 $\dot{V}O_2\max$ が体重当たりで 7.0ml 増加したと報告している。また平山ら(2011)は、カナディアンカヌー選手を対象として、通常酸素環境と低酸素環境とで、2 日に 1 回の頻度で 20 日間(計 10 回)のトレーニングを行い、 $\dot{V}O_2\max$ が絶対値で 0.13l および 0.16l(体重あたりで 1.8ml および 2.2ml)増加したと報告している。これらの研究結果を、トレーニング1回あたりの増加量に換算すると、Tabata らの場合は 0.23ml、平山らの場合は 0.18ml および 0.22ml となる。

これに対して、本トレーニング前後での $\dot{V}O_2\text{Peak}$ の増加量は、体重当たりで2.0mlであり、トレーニング1回あたりの増加量に換算すると0.33mlとなる。この値は、Tabataら、および平山らの通常酸素環境でのトレーニング効果に比べて大きいだけでなく、平山らの低酸素環境でのトレーニング効果に比べても大きい。したがって本トレーニングが $\dot{V}O_2\text{Peak}$ の改善にもたらした効果は、低地でのトレーニング効果に加えて、低酸素トレーニングの効果も加わったものである可能性が高いと考えられる。

また平山ら(2011)は、通常酸素環境と低酸素環境での、無酸素性作業能力(10 秒間全力漕時の機械的パワー)の改善についても検討している。それによると、通常環境でのトレーニングの場合、体重あたりで0.2Wの増加、低酸素環境でのトレーニングでは0.4Wの増加と報告している。これらの結果をトレーニング1回あたりの増加量に直すと、それぞれ 0.02W, 0.04W となる。

一方、本トレーニングでの仕事率の増加は 0.5W であり、これをトレーニング 1 回あたりの増加量に換算すると 0.08W となり、平山らの通常環境および低酸素環境いずれのトレーニング効果よりも大きいことがわかる。したがって、本トレーニングが無酸素性作業能力の改善にもたらした効果は、低地でのトレーニング効果に加えて、低酸素トレーニングの効果も加わったものである可能性が高いと考えられる。

ところで、最大運動時の有酸素性作業能力を表す $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ は改善したが、その一方で、最大下運動時の有酸素性作業能力を表す La カーブには変化が見られなかった(図 8)。先行研究を見ると、LL-TH 方式の低酸素トレーニングの場合、La カーブに改善が見られるとした研究が多い(狩野ら, 2001, 清水ら, 2010, 長谷川ら, 2011)。この食い違いについては、以下のような理由が考えられる。すなわち、乳酸カーブに改善を認めた先行研究では、30~50 分程度の運動が用いられている。一方、本トレーニングの場合、運動時間は 5 分と短く、運動強度はより高かった。したがって、このような短時間の高強度トレーニングでは、最大酸素摂取量のような最大作業能力は改善するが、La カーブのような最大下での作業能力には改善が起これないと考えられる。

3. トレーニング後の 200m 全力漕のタイム変化

200m 全力漕タイムの変化を個人で見た場合、6 名中 5 名の被検者(B,C,D,E,F)については、トレーニング後に短縮(0.1~2.8 秒)が見られたが、1 名(A)には変化が見られなかった。その結果、平均値として見た場合の変化は有意ではなかった(図 10)。

本研究の被検者は、全日本選手権や全日本学生選手権など、全国大会での上位入賞経験者を含む、競技能力の高い選手であった。このような選手が競技を行う際には、0.1 秒以上のタイムの短縮には意味がある。したがって、上記の 5 名においては、本トレーニングは有効なものであったと考えられる。

特に、低酸素トレーニングの未経験者であった E では、最も大きなタイムの改善が見られた(図 10)。清水ら(2010)は、低酸素トレーニング未経験者においては、低酸素トレーニングの効果が大きく現れる可能性を指摘しており、本トレーニングでも同様の傾向が得られたと考えられる。

一方で、タイムの改善が見られなかった被検者 A については、無酸素性作業能力の指標とした 10 秒間全力漕の成績では、トレーニング後に大きな改善(16.4%)を示したものの、有酸素性作業能力の指標とした最高酸素摂取量の変化は小さかった(0.2%)。その結果、両能力が積算されて発揮される 200m 漕のタイムが短縮されなかった可能性がある。この被検者は、過去 3 年間で、数週間にわたる低酸素トレーニングを 6 回経験し、本被検者の中では最も多くの経験がある(表 1)。したがって、低酸素トレーニングの経験を積んだ選手の場合、本トレーニングプログラムでは負荷が不十分である可能性もある。

清水らの先行研究(2010)でも、低酸素トレーニングの回数を重ねるごとにトレーニング効果が生じにくくなるため、設定高度を上げて生理的な負荷を高める必要があると指摘している。本トレーニングではこの点も考慮し、被検者 A についても高度を 3000m まで上げるよう配慮したが、それにもかかわらず効果は得られなかった。従って、低酸素トレーニング経験が豊富な選手に対しては、高度だけではなく、トレーニングの内容、頻度、期間などの条件も改善することが必要と考えられる。

4. トレーニング後の水上練習時の感覚の変化

本トレーニング後の水上練習では、全ての被検者から、スタート時からトップスピードに至る場面での能力が改善したという内省報告を得た。これは無酸素性作業能力の改善を窺わせる結果といえるが、カヌーエルゴメータによって測定した無酸素性作業能力が、本トレーニング後に全ての被検者で改善していたこと(図9)と一致している。また6名中4名(A, B, C, F)は、きつい場面でも漕げるようになったと報告している。これについては、エルゴメータ漕の時間が 40~50 秒程度であることを考えると、無酸素性および有酸素性作業能力の改善がいずれも関係している可能性がある。

低酸素トレーニングは、従来は有酸素性作業能力を改善する手段であると考えられてきたが、近年、無酸素性作業能力の改善にも効果があるとする報告も増えてきている(伊藤ら, 2005, 荻田, 2004, 平山ら, 2011)。この理由について、荻田(2004)、平山ら(2011)は、高強度の間欠的運動を低酸素環境下で行うと、酸素需要量に対して酸素摂取量の立ち上がりが通常環境に比べてより遅くなるため、酸素借への依存がより強くなり、それが無酸素性作業能力を改善するための刺激となる可能性を指摘している。

このような可能性は、本トレーニングの結果からも窺える。すなわち、トレーニング回数を重ね、高度が上がり(図2)、SpO₂が低下していくときに(図4)、発揮パワーは6回目を除いてほぼ同等の値を維持しているが(図5)、心拍数は低下傾向を示していた(図6)。このことは、同じ強度の運動が、無酸素性のエネルギーがより多く動員されて遂行されていることを示唆する現象と考えられる。そしてこのことが、無酸素性作業能力の改善をもたらす刺激となった可能性が考えられる。

V. まとめ

カヌースプリントカヤック競技選手6名に対して、通常的水上トレーニングと平行して、カヤックエルゴメータを

用いた短時間(5分間)かつ短期間(2週間)の低酸素トレーニングを行わせた。その結果、トレーニング後には、有酸素性および無酸素性作業能力の指標がいずれも有意に増加した。200m 漕のタイムには有意な変化は見られなかったが、被検者別に見ると、6名中5名では競技場において有益と考えられる0.1秒以上の短縮が見られた。一方、タイムが短縮しなかった1名については、低酸素トレーニング経験が最も多い者であった。このような選手に対しては、トレーニングの期間、頻度、運動強度、高度などの負荷条件を、さらに見直す必要があるといえる。

<参考文献>

- ・ 長谷川 淳, 松村 勲, 山本正嘉:長距離選手を対象とした低強度かつ低頻度での低酸素トレーニングの効果;レース前の調整期に行った4週間のトレーニング事例. スポーツパフォーマンス研究, 3: 31-48, 2011.
- ・ 平山 祐, 山本正嘉:カナディアンカヌー競技者を対象とした通常環境下および低酸素環境下でのエルゴメーター漕トレーニングの効果. トレーニング科学, 22: 63-75, 2011.
- ・ 藤中智子, 山本正嘉:カナディアンカヌー競技選手の有酸素性・無酸素性作業能力の測定・評価法の検討;新しく開発されたカナディアンカヌー・エルゴメータを用いて. スポーツトレーニング科学, 6: 14-23, 2005.
- ・ Hultgren, H. N.: High Altitude Medicine. Stanford, California, pp. 212-255, 1997.
- ・ 伊藤 穰, 川原 貴:低酸素トレーニングの新たな可能性;無酸素性パワーの向上に関する取り組み. トレーニング科学, 4: 39-46, 2003.
- ・ 狩野和也, 前川剛輝, 大村靖夫, 山本正嘉:常圧低酸素室を用いた“Living low, training high”方式の高所トレーニングが自転車競技選手に身体作業能力の及ぼす効果. スポーツトレーニング科学, 13: 81-92, 2001.
- ・ 小林寛道:陸上長距離選手について;中国昆明より飛驒御嶽へ. 浅野勝己, 小林寛道編集, 高所トレーニングの科学, 杏林書院, 東京, pp. 44-59, 2004.
- ・ 中垣浩平, 吉岡利貢, 鍋倉賢治:カヤックパドリング中の無酸素性および有酸素性エネルギー代謝の貢献比. 体力科学, 57:261-270, 2008.
- ・ 荻田太:低圧シミュレーターによる水泳選手のトレーニング. 浅野勝己, 小林寛道編集, 高所トレーニングの科学, 杏林書院, 東京, pp. 130-140, 2004.
- ・ Reeves, J. T., B. M. Groves, J. R. Sutton, P. D. Wagner, A. Cymerman, M. K. Malconian, P. B. Rock, P. M. Young, C. S. Houston: Operation Everest II; preservation of cardiac function at extreme altitude. J. Appl. Physiol., 63: 531-539, 1987.
- ・ 清水都貴, 安藤隼人, 黒川 剛, 山本正嘉:高度に対する個人内および個人間での適応状況の違いを考慮した低酸素トレーニングの処方成功事例:自転車ロード選手を対象として. スポーツパフォーマンス研究, 2: 259-270, 2010.
- ・ 杉田正明, 川原 貴:高所トレーニングにおけるコンディショニング. 浅野勝己, 小林寛道編集, 高所トレーニングの科学, 杏林書院, 東京, pp. 200-206, 2004.
- ・ Tabata, I., K. Nishimura, M. Kouzaki, Y. Hirai, F. Ogita, M. Miyachi, K. Yamamoto.: Effect of

- moderate-endurance and high intensity-intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_2\text{max}$. Med. Sci. Sports Exerc., 28: 1327-1330, 1996.
- Tabata, I., K. Irisawa, M. Kouzaki, K. Nishimura, F. Ogita, M. Miyachi: Metabolic profile of high intensity intermittent exercise. Med. Sci. Sports Exerc., 29: 390-395, 1997.
 - Vandewalle, H., G. Peres, and H. Monod: Standard anaerobic exercise tests. Sports Med., 4: 268-289, 1987.
 - Wilber, R.L. 著, 川原 貴, 鈴木康弘 監訳: 高地トレーニングと競技パフォーマンス, 講談社サイエンティフィック, 東京, pp.88-96, 2008.
 - Williams. J. H., S. K. Powers, and M. K. Stuart: Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. Med. Sci. Sports Exerc., 18: 168-173, 1986.
 - 山本正嘉: 全力ペダリング持続時の発揮パワー特性による非乳酸性, 乳酸性, および有酸素性能力の同時評価テストの開発; テストの妥当性についての検討. 国際武道大学研究紀要, 1: 87-96, 1985.
 - 山本正嘉: 日本人8000m峰登頂者へのアンケート調査: 体力, 高所順化, 高所技術に関して. 日本山岳会高所登山研究委員会編, 8000m 峰登頂者は語る, 日本山岳会, 東京, pp. 1-135. 2002.