

<原著論文>

大学男子駅伝選手の常圧下低酸素環境を利用したトレーニング における魚油製剤摂取の効果

櫛部 静二¹⁾、小林 悟²⁾、竹之内 康広³⁾、金 賢珠³⁾、新井
尚之⁴⁾、野部 浩司⁵⁾、大竹 一男³⁾、白幡 晶³⁾、加園 恵三³⁾*

¹⁾ 城西大学経営学部、²⁾ 医療法人社団晴山会 平山病院、³⁾ 城西大学薬学部、

⁴⁾ 医療法人社団満寿会 鶴ヶ島在宅医療診療所、⁵⁾ 昭和大学薬学部

* 〒350-0295 埼玉県坂戸市けやき台 1-1、電話&FAX : 049-271-7025、

E-mail : kasono@josai.ac.jp

キーワード：魚油、エイコサペンタエン酸（EPA）、低酸素環境、持久力、
血中乳酸蓄積開始点（OBLA）

Effects of Fish Oil Supplement on Normobaric Hypoxic Training of the University Male Ekiden Runners

Seiji Kushibe¹⁾, Satoru Kobayashi²⁾, Yasuhiro Takenouchi³⁾,
Hyonjyu Kim³⁾, Naoyuki Arai⁴⁾, Koji Nobe⁵⁾, Kazuo Ohtake³⁾,
Akira Shirahata³⁾, Keizo Kasono³⁾*

¹⁾Josai University, Faculty of Business Administration, ²⁾Hirayama
Hospital, ³⁾Josai University, Faculty of Pharmaceutical Sciences,
⁴⁾Tsurugashima Zaitakuiryou Shinryoujyo, ⁵⁾ Showa University, School
of Pharmacy

* 1-1 Keyakidai Sakado Saitama, 350-0295, Japan.

Summary

We investigated that the effects of the ‘live high – train low’ methods using normobaric hypoxia with or without fish oil supplement on the endurance performances. Twelve male ekiden-runners in the university were divided into two groups; one group (non-fish oil group, n=6) spent in normobaric hypoxic room 8 h per day (equal to ~2500 m) for 3 weeks, the other group spent in the same condition for the same period with supplementation of fish oil for 7 weeks (fish oil group, n=6). Administration of the fish oil supplement was started 4 weeks prior to using hypoxic environment. The blood examinations were performed before and after the total experimental protocol, and the running tests using treadmill machine were conducted before and after using hypoxic environment. The concentrations of eicosapentaenoic acid (EPA) in the blood in the fish oil group significantly increased from 77.2 ± 16.8 to 126.5 ± 11.2 $\mu\text{g/mL}$. Hemoglobin concentrations (Hb) and hematocrit levels (Ht) were significantly increased after hypoxic training in the non-fish oil group. However, in the fish oil group, both Hb and Ht were not significantly changed after using hypoxic environment. The lactic acid levels in the running test at 18.8~19.4 km/h in the non-fish oil group and at 20.6 km/h in the fish oil group were significantly decreased. We also estimated the speed of onset of blood lactate accumulation (SP-OBLA). Although SP-OBLAs in both groups were slightly increased after using hypoxic environment, there was no significant difference between the two groups. It was concluded that the 3 weeks of ‘live high – train low’ methods using normobaric hypoxia with fish oil supplement may improve the endurance performances without increase of Hb and Ht. It is speculated that fish oil supplementation reduces the cardiovascular loading via increase of Ht during hypoxic training without blunting the improvement of endurance performance.

Key words: Fish oil, Eicosapentaenoic acid (EPA), Hypoxic environment, Endurance performance, Onset of blood lactate accumulation (OBLA).

Received 2015.9.15; Revised received 2015.10.21; Accepted 2015.10.26

はじめに

長距離種目においては、1990年代よりケニアやエチオピアなど東アフリカ諸国の高地に滞在する選手が好成績を修めるようになり、その後ますますこの傾向が顕著にな

っていることが明らかとなった^{1,2)}。そこで、多くの選手が1990年代ころから高地環境を求めて自国や海外に出向いて高地トレーニングを実施し、それによって長距離種目での成績も向上するようになった³⁾。そして近年では、常圧低酸素環境を利用したスポーツ生理学的研究が進められ、夜間睡眠時に常圧低酸素室を利用したり、常圧低酸素下でトレーニングを実施するなど様々な方法がスポーツパフォーマンス向上のために取り入れられている。気圧は平地と同じ、およそ1気圧のままで酸素濃度を下げることによって生理的な適応を促すのが狙いであるが、人工的に低酸素環境が作れ、しかも手軽に利用可能な時代となった^{4,5)}。

その一方で高地トレーニングや低酸素環境利用については、メリットだけでなくデメリットにも注意を向ける必要がある。高地トレーニング（低酸素環境利用）のメリットとしては、酸素不足によってもたらされるエリスロポエチンの上昇とそれに伴う赤血球数やヘモグロビン(Hb)濃度の上昇、赤血球内2,3-DPG(2,3-diphosphoglycerate)の上昇とそれに伴う酸素解離曲線の右方移動、毛細血管網の発達およびミトコンドリアの増加などにより、総合的に筋肉における酸素摂取能力を向上させるといった点があげられる。しかし、高地では体調管理が難しく、コンディションを維持することが困難だけでなく、赤血球数の増加などにより、血液粘度が上昇し、心肺系への負担が増すといったデメリットがあることも忘れてはならない^{6~9)}。

そこで、大学生の長距離選手において、学生としての勉学や競技活動を妨げずに行える現実的な低酸素曝露のトレーニング方法として、夜間から翌朝まで主として睡眠時間帯を常圧低酸素テントで過ごし(Live High)、従来通り、平地でのトレーニングを実施する(Train Low)ことで、安全かつパフォーマンスの向上に繋がるかを検討した。また、我々はこれまでに、高地トレーニングと魚油製剤服用の併用効果について報告したが¹⁰⁾、今回は、低酸素環境利用によるデメリットである赤血球数やヘモグロビン値上昇に伴う心血管系への負担を軽減する目的で、魚油製剤服用の併用効果についても検討した。

研究実施方法

1) 研究対象

城西大学男子駅伝部の選手16名を対象に説明・同意後に実施した。研究対象となる

選手は東京箱根間往復大学駅伝競走（箱根駅伝）出場にエントリーされるレベルよりやや下のレベルを中心に選定した。本研究は、城西大学生命科学研究倫理審査委員会の承認を得て行った。

2) 低酸素環境の利用および魚油製剤の服用方法

低酸素室（Hypoxico 製低酸素テントシステム）を男子駅伝部の寮に設置し、研究対象選手には主として夜間睡眠時間帯（約 8 時間/日）に低酸素室に居住し、これを 3 週間継続した。低酸素環境は、大気圧と同じ常圧低酸素とし、酸素濃度は海拔 2,000 ~ 2,500 m に相当する 16.4 ~ 15.3% とした。期間中のトレーニングは通常環境（常圧かつ酸素濃度 20.9%）で実施した（Live High - Train Low 方式）。

本研究の被験者になった 16 名を年齢および 10,000 m 走の記録をもとに、ほぼ同等に、各 8 名ずつ 2 群に分けた。8 名は低酸素環境のみを利用する群とし、「非魚油群（non-fish oil group）」とした。他の 8 名は魚油製剤を服用しながら低酸素環境も利用する「魚油群（fish oil group）」とした。魚油群の被験者は、採血検査の翌日から魚油製剤（日本水産株式会社製「海の元気 EPA」）を 20 粒/日、朝食後 10 粒、夕食後 10 粒、EPA とドコサヘキサエン酸（DHA）合計で 2.37 g/日）を服用した。服用開始 4 週間後から低酸素室での居住を開始し、研究終了時（目的とした競技または競技会終了）まで服用を継続した。最終的に、すべての研究プロトコールを予定通り終了した選手は、非魚油群 6 名、魚油群 6 名の計 12 名であった。この 12 名の選手の 5,000 m 走の自己記録を表 1 に示す。

非魚油群と魚油群ではほぼ同等の走行能力であることがわかる。

3) 血液検査

非魚油群および魚油群ともに、研究開始時（魚油製剤服用開始前 = 低酸素環境利用開始 4 週間前）と

non-fish oil group		fish oil group	
Subject number	The best time of 5,000 m (minutes)	Subject number	The best time of 5,000 m (minutes)
1	14.40	7	14.30
2	14.33	8	14.29
3	14.48	9	15.00
4	14.49	10	14.37
5	14.28	11	14.20
6	14.39	12	14.54
mean ± S.E.	14.40 ± 3.35	mean ± S.E.	14.38 ± 6.35

Table 1. The best time of 5,000 m of each subject.

低酸素環境利用 1 週間後の計 2 回血液検査を実施した。検査項目は以下のとおりである。血算項目；赤血球数 (RBC)、Hb 値、ヘマトクリット (Ht) 値、白血球数、血小板数、血液生化学検査；AST 値、ALT 値、BUN 値、クレアチニン値、血清鉄値、血清フェリチン値、エリスロポエチン値、血漿脂肪酸 4 分画 (ジホモ- γ -リノレン酸、アラキドン酸、EPA、DHA)。さらに、魚油製剤服用の安全性を酸化ストレス度からも判定する目的で、d-ROMs テスト (Diacron-Reactive Oxygen Metabolites test; Free Radical Analytical System, Diacron, Grosseto, Italy) により、血中活性酸素代謝物を測定した。

4) ランニングテスト

低酸素環境利用前および利用終了 5 日後の計 2 回、ランニングテストを実施した。具体的な実施方法として、ランニングマシンによる走行開始前に血中乳酸値を測定し、その後 3 分間走行を 1 分間の休息を入れて数回実施し毎回走行直後に血中乳酸値を測定した。ランニング速度は、開始時は 18.8 km/h とし、3 分間走行後の 1 分間の休息時に血中乳酸値を測定し、0.3 km/h ずつスピードを上げて、20.3 km/h ないし、20.6 km/h になるまで繰り返した。ランニングテストを終了する目安として乳酸値の上昇 (10 mmol/L 前後) と、選手の主観的運動強度 (RPE) により判断した。また、血中乳酸値測定には、簡易血中乳酸測定器 (Arcray 社製、Lactate Pro2) を利用し、第 2 または第 3 指先端を穿刺しごく少量の全血で測定した。血中乳酸値と持久力の関連では、血中乳酸値が急上昇し始める乳酸性作業閾値 (LT) を利用することが多いが、乳酸値の急上昇の仕方に個人差があり、LT を正確に判定することが困難な場合もある。そこで本研究においては、血中乳酸値が 4 mmol/L に到達する地点を血中乳酸蓄積開始点 (Onset of Blood Lactate Accumulation; OBLA) とし、OBLA に到達する走行速度を推算し、これを SP-OBLA として、ランニングテストにおける持久力の客観的指標として用いた。

5) 統計処理

同一群の低酸素環境利用前後の比較には、paired t-test、2 群間の比較は、Student t-test を用い、平均値±標準誤差 (S.E.)、で表記した。また、 $p < 0.05$ を統計的に有意であるとした。

結果

(1) 血液検査

a) 血中 EPA 濃度：非魚油群では、研究開始前後でそれぞれ、血中 EPA 濃度は、 58.8 ± 17.3 、および

43.7 ± 7.9 $\mu\text{g/mL}$ で有意差を認めなかった。魚油群(低酸素環境利用+魚油製剤服用)では、研究開始前後でそれぞれ、 77.2 ± 16.8 、 126.5 ± 11.2 $\mu\text{g/mL}$ で、魚油製剤服用前に比べて、魚油製剤服用中において血中 EPA 濃度が有意に上昇した。

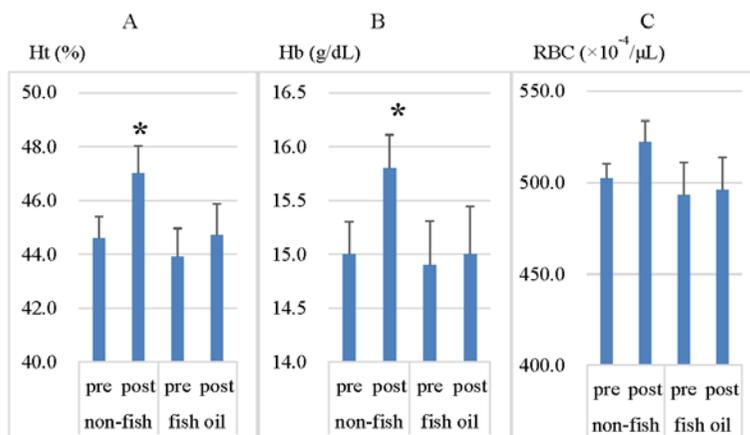


Fig.1. Hematocrit (Ht), Hemoglobin (Hb) and Red blood cell number (RBC). pre: pre-hypoxic training and fish oil supplementation, post: post-hypoxic training, non-fish: non-fish oil group, fish oil: fish oil group (mean \pm S.E., * $p < 0.05$)

b) Ht 値、Hb 値、赤血球数：低酸素環境利用前後の Ht 値、Hb 値および赤血球数を図 1 に示した。Ht 値は、非魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 44.6 ± 0.79 、 $47.0 \pm 1.01\%$ で、低酸素環境利用後に有意

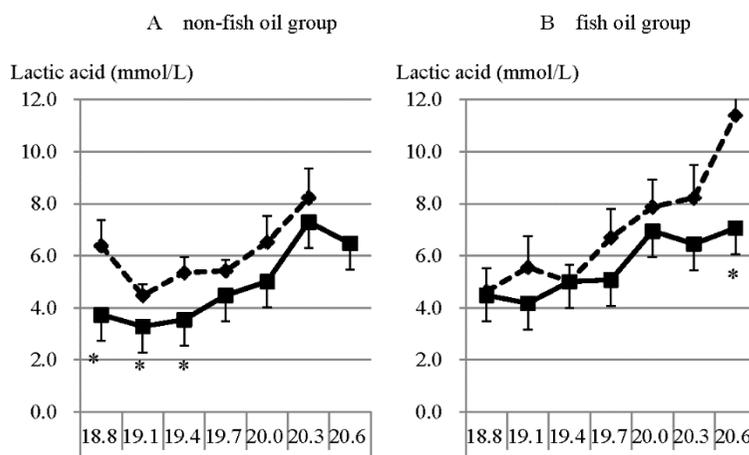


Fig. 2. Blood lactic acid levels. Broken line: pre-hypoxic training and fish oil supplementation, Solid line: post-hypoxic training. (mean \pm S.E., * $p < 0.05$)

に上昇した。一方、魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 43.9 ± 1.07 、 $44.7 \pm 1.16\%$ で、低酸素環境利用後で有意な差を認めなかった（図 1 A）。Hb 値は、非魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 15.0 ± 0.30 、 15.8 ± 0.31 g/dL で、低酸素環境利用後に有意に上昇した。一方、魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 14.9 ± 0.41 、 15.0 ± 0.44 g/dL で、低酸素環境利用後で有意な差を認めなかった（図 1 B）。RBC についても、非魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 502 ± 8.23 、 522 ± 11.91 ($\times 10^4/\mu\text{L}$) で、有意差はないものの低酸素利用後に増加する傾向を示し、魚油群では低酸素環境利用前後でそれぞれ、 493 ± 17.93 、 496 ± 17.90 ($\times 10^4/\mu\text{L}$) で、低酸素環境利用後で有意な差を認めなかった（図 1 C）。

（２）ランニングテスト

a) 総合的な乳酸値の結果：ランニングテストの総合的な結果を図 2 に示した。

非魚油群および魚油群共に低酸素環境利用後でランニングテストにおける血中乳酸値が低下する傾向を認めた。非魚油群では、走行速度 18.8、19.1 および 19.4 km/h において低酸素トレーニング後の血中乳酸値がそれぞれ、低下幅 2.65、1.19 および 1.81 mmol/L で有意に低下したが、それ以上の走行速度では有意差を認めなかった（図 2 A）。魚油群では、非魚油群と比較してより速い走行速度で低酸素環境利用後に血中乳酸値が下がる傾向を示し、走行速度 20.6 km/h では低酸素利用後に有意に低下した（図 2 B）。

b) 血中乳酸蓄積開始点（Onset of Blood Lactate Accumulation ; OBLA）

OBLA は血中乳酸値が 4 mmol/L のレベルに達する運動強度とされる。本研究におけるランニングテストは、運動負荷の強度が走行速度（km/h）で表示されるため、血中乳酸値が 4 mmol/L のレベルに達する走行速度を推算して、その速度を「SP-OBLA」とした。例えば、選手番号 1、非魚油群の選手の場合、低酸素環境利用前のランニングテストにおいて、18.5 および 18.8 km/h の走行速度で血中乳酸値は、それぞれ 3.7 および 4.1 mmol/L であった。この場合の SP-OBLA は、血中乳酸値が 4.0 mmol/L に達する走行速度をこの区間の比例計算で推算し、小数点以下 3 桁を四捨五入し、小数点以下 2 桁で表記し、18.73 km/h と推定した。12 名の選手の SP-OBLA を表 2 に示す。

表 2 に示したように、低酸素環境利用後に SP-OBLA (km/h) は非魚油群および魚油群の両群で、低酸素利用後に上昇した。この上昇は有意傾向(p 値はそれぞれ、0.08 および 0.06)であったが有意差を認めなかった。また、非魚油群と魚油群では SP-OBLA の改善度 (低酸素環境利用前後の差) において有意差を認めなかった。

non-fish oil group				fish oil group			
subject number	SP-OBLA (km/h)		difference (Δ SP-OBLA)	subject number	SP-OBLA (km/h)		difference (Δ SP-OBLA)
	pre	post			pre	post	
1	18.73	19.74	1.01	7	20.00	20.60	0.60
2	18.50	20.30	1.80	8	19.44	20.60	1.16
3	18.80	18.80	0.00	9	18.86	19.70	0.84
4	18.50	19.39	0.89	10	18.80	19.31	0.51
5	20.18	19.64	-0.54	11	18.80	18.80	0.00
6	19.75	19.88	0.13	12	18.80	19.40	0.60
mean or mean \pm S.E.	19.08	19.63	0.55 \pm 0.34	mean or mean \pm S.E.	19.12	19.74	0.62 \pm 0.16

Table 2. SP-OBLA of all subjects in two groups. pre: pre-hypoxic training and fish oil supplementation, post: post-hypoxic training, Δ SP-OBLA = SP-OBLA (post) - SP-OBLA (pre)

(3) SP-OBLA と Hb 値との関連

非魚油群 6 名、魚油群 6 名の計 12 名の選手について、低酸素環境利用前後の Hb 値変化量 (Δ Hb g/dL = Δ Hb) と SP-OBLA 改善度 (Δ SP-OBLA km/h = Δ SP-OBLA) をプロットした (図 3)。非魚油群では、低酸素環境利用後に Hb 値が有意に増加したので、1 名を除いて Δ Hb はすべてプラスとなっている (図 3 A)。一方、非魚油群の Δ SP-OBLA に注目すると、6 名中 4 名は、 Δ SP-OBLA の上昇、つまり持久力の改善が見られるが、2 名は改善が見られないかむしろ低下している。Hb 値が 1.0 g/dL ないしそれ以上増加しているにもかかわらず、 Δ SP-OBLA の上昇が見られない選手が 2 名おり、Hb 値の上昇が必ずしも持久力の増強につながらないことが示された。一方、魚油群に目を向けると、低酸素環境利用前後で、Hb 値は有意差を認めなかった (図 1 B)、6 名の選手のプロット位置は Δ Hb の ± 0 付近に集中している (図 3 B)。それにもかかわらず、魚油群の 6 選手のうち 5 名で Δ SP-OBLA が上昇していることがわかる。表 2 でも示したように、有意差はないものの Δ SP-OBLA の平均値では魚油群が非魚油群を上回っていた。

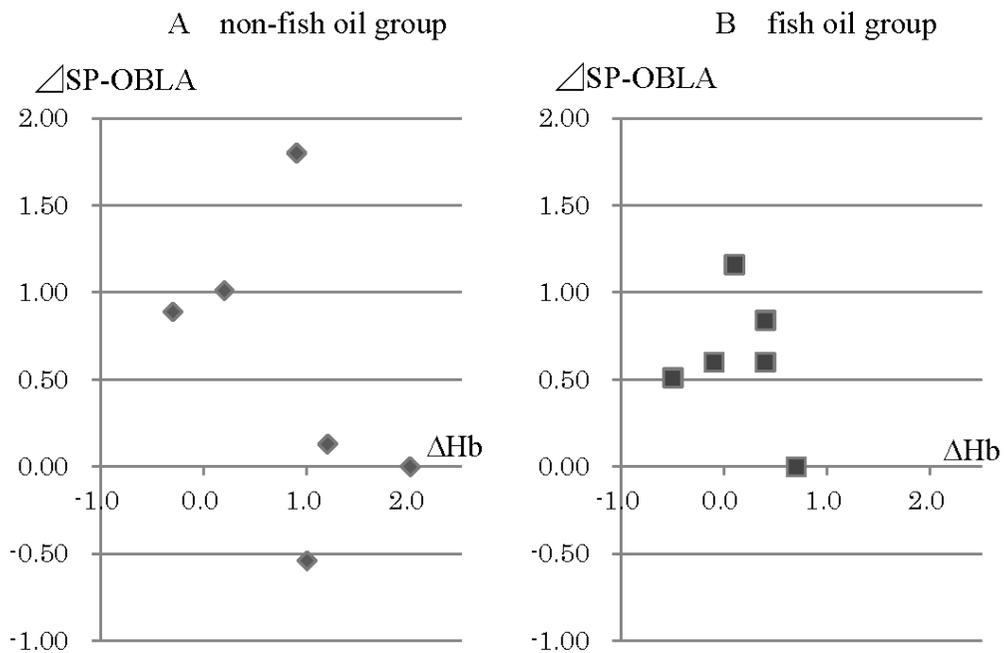


Fig. 3. Relationship between Δ SP-OBLA and Δ Hb

(4) 酸化ストレス度

dROMs テストにより、血中ヒドロペルオキシド濃度を測定した。その結果、非魚油群では、低酸素環境利用前後でそれぞれ、 70.4 ± 4.3 、 75.9 ± 6.2 で有意差がなく、魚油群においても低酸素環境利用前後でそれぞれ、 63.3 ± 0.78 、 65.9 ± 1.64 で有意差がなかった。(注;dROMs テストの数値の単位は U.CARR で、1 U.CARR は過酸化水素 (H_2O_2) 0.8 mg/L の濃度に相当する。)

(5) その他の検査値

低酸素環境利用前後で、肝機能 (AST 値、ALT 値)、腎機能 (BUN 値、Cr 値) および血清鉄値、血清フェリチン値のいずれも有意差を認めなかった。

考察

高地トレーニングと同様に、海拔の低い場所で実施する常圧下低酸素トレーニングが長距離走者の持久力向上に及ぼす有効性については、海外だけでなく日本からも報

告がある^{5, 11)}。常圧下低酸素トレーニングの一般的な方法は、低酸素室に設置されたランニングマシンやエルゴメーターによる低酸素環境下でのトレーニングを主体とする場合が多い。このようなトレーニング方式を **Live Low - Train High** と呼ぶ。その一方で、低酸素テントシステムを用いて主として夜間睡眠時間帯を低酸素環境下で過ごし、日中のトレーニングは平地で通常通り行う **Live High - Train Low** の方式も提唱されている^{4, 12)}。後者の利点は、低酸素環境下でのトレーニングを含まないために、身体的にも負荷が少なく、体調不良やオーバートレーニングに陥る危険性が少ないといった利点がある。その一方で、**Live High - Train Low** の低酸素環境利用だけでは、持久力の向上において有意な効果を示さないといった報告もある¹³⁾。

今回、我々は大学駅伝部に低酸素トレーニングを導入するにあたり、大学における学業を修めることとも両立できるよう、身体的負荷の少ないとされる **Live High - Train Low** の方式で低酸素環境を利用し、その身体的影響や持久力向上に及ぼす影響を検討した。さらに、低酸素環境曝露による **Ht** 値や **Hb** 値の上昇に伴う心肺系への負担を軽減する目的で、低酸素環境利用と同時に魚油製剤の摂取を行うことの意義についても検討した。

本研究で使用した低酸素テントシステムは **Hypoxico** 社製で、高度 2800 m に相当する酸素濃度（常圧下で 14.5%）までの低酸素環境を用意することが可能である。しかし、我々は大学生でもある駅伝部選手に初めて低酸素環境を利用するにあたり、酸素濃度の実測値により 2000~2500 m にあたる酸素濃度、16.4~15.3%、の範囲での設定で開始した。このレベルの低酸素環境利用においても非魚油群の選手の **Hb** 値および **Ht** 値は、低酸素環境利用後に有意に上昇した（図 1）。この理由として、一般的に報告されているように低酸素曝露により、循環血液量が低下して見かけ上 **Ht** 値が上昇したり、腎臓からのエリスロポエチン分泌が上昇して、造血を刺激したりすることが原因として考えられる^{14~16)}。本研究では低酸素環境利用後の採血は、低酸素環境利用終了 1 週間後であったため、血中エリスロポエチン値を測定した少数の選手では上昇傾向は見られなかった。

持久力の判定はランニングテストにおける乳酸値および走行速度と血中乳酸値より求められた **SP-OBLA** を指標とした。その結果、非魚油群（低酸素環境のみ利用）においては、走行速度 18.8~19.4 km/h において血中乳酸値は低酸素環境利用後に有意に

低下した。一方、魚油群（魚油製剤摂取＋低酸素環境利用）では、走行速度の高い 20.6 km/h で血中乳酸値が有意に低下した（図 2）。明確な判断は避けたいが、本研究の結果から低酸素環境利用時に EPA を豊富に含む魚油製剤を服用した方が、箱根駅伝など 1 区間が 20 km 程度の走行速度にはほぼ一致する走行速度（およそ 20～20.5 km/h）での持久力が増す可能性が示された。魚油やその主成分である EPA や DHA が、エクササイズエコノミーを改善するとの報告は、動物実験だけでなく¹⁷⁾、ヒトを対象とした研究でも報告されており¹⁸⁾、魚油成分の摂取により運動中の乳酸値の上昇が抑制される可能性がある。しかし、本研究では低酸素環境を利用しない群を設けていないので、魚油による持久力改善の効果をより確実に証明するには今後の検討が必要である。

OBLA（血中乳酸蓄積開始点）から推算された SP-OBLA は両群で、低酸素環境利用後に改善傾向を認めたが、両群間での有意差を認めなかった。そこで、低酸素環境利用前後の SP-OBLA の改善度（ Δ SP-OBLA）と Hb 値の変化を、両群 12 名のすべての選手についてプロットしたのが図 3 である。一見してわかるように、非魚油群は、低酸素環境利用後に Hb 値が有意に上昇しているのので、魚油群と比較して右側寄りに位置し（図 3 A）、魚油群は、低酸素環境利用前後で Hb 値に有意差を認めなかったのので、全体的に中央寄りに位置している（図 3 B）。そこで SP-OBLA の改善度見ると、非魚油群では改善度にばらつきが大きく、平均値では、有意差はないものの魚油群でやや改善度が高く、6 名中 5 名がほぼ同程度改善しており、n 数を増やすことで魚油群の有意性が明確になる可能性がある。

これまでの報告では、高地トレーニングにより約半数の選手に効果が現れ、血中 EPO および Hb 値の上昇度の高い選手が、そうでない選手より長距離走（5000 m 走）の記録改善も良かったとされている¹⁹⁾。我々の研究でも非魚油群では低酸素環境利用で 6 名中 4 名に乳酸値改善を見たが、Hb 値が約 1.0 以上増加した選手は 6 名中 4 名おり、そのうち、乳酸値が改善している者は 2 名だけであり、1 名は改善がなく、1 名は乳酸値で判断した持久力が悪化するという結果になった。これは、Chapman らの報告とは異なり、Hb 値の上昇が必ずしも持久力改善には直結しない結果となった。その理由として、高地トレーニングや低酸素トレーニングのデメリットとして言われている Ht 値や血液粘度上昇に伴う心肺系への負担増が生じたことも否定できない⁷⁾。

我々はこれまでに、高地トレーニングを実施する際に魚油製剤を摂取することで、

血液粘度や Ht 値の上昇といった高地トレーニングに伴うデメリットを抑制できる可能性が高いことを報告した¹⁰⁾。小林らによれば、魚油製剤を服用することで、高地トレーニングにおける Ht 値の上昇を抑制すること、魚油成分、特に EPA が赤血球膜に取り込まれて、赤血球変形能を向上させ、毛細血管を流れやすくする作用のあることを明らかにした^{10,20)}。今回の検討において、平地で実施する常圧下低酸素トレーニングにおいても、魚油製剤の服用を併用することで、高地トレーニングと同様にそのデメリットを軽減できる可能性が示された。

魚油製剤を投与すると低酸素環境利用後でも Hb 値や Ht 値が上昇しにくい理由については完全に解明されているわけではない。EPA や DHA などの n-3 系多価不飽和脂肪酸を投与すると、赤血球変形能や血管内皮機能が改善し、運動時における骨格筋の血流が増加することが報告されている²¹⁾。筋肉組織と同様に腎臓の酸素センサー部における血流に関しても、魚油製剤の服用で血流および酸素供給が相対的に増加するために、今回我々が導入した程度の低酸素環境では酸素欠乏が十分に察知されず、エリスロポエチンの増加とそれによって引き起こされる Hb 値や Ht 値の上昇が起こらなかった可能性がある。

なお、魚油に含まれる多価不飽和脂肪酸は大量に摂取すると脂肪酸が酸化されやすいために、全身の酸化ストレス度が高まる危険性がある。そこで魚油製剤摂取の前後で血液の酸化ストレス度を dROMs テストで評価したが、それぞれの群において低酸素環境利用前後でも有意差を認めなかった。このことから魚油製剤服用に伴う酸化ストレスの増悪は生じないと判断された。最近では、魚油摂取によって体内の酸化ストレス度が下がるとの報告が見られるようになったが²²⁾、これは魚油製剤に含まれる EPA や DHA などの n-3 系多価不飽和脂肪酸には抗炎症作用があること、また脂肪酸の酸化防止目的で抗酸化ビタミン（主としてビタミン E）が多量に含まれていることなどによると考えられる。実際我々のデータでも魚油製剤摂取後において、有意差は認めないものの低酸素群より魚油群の方が酸化ストレス度が低い傾向が見られた。

以上の結果より、大学駅伝部選手のパフォーマンス向上を目的として、常圧下 Live High-Train Low の低酸素環境は安全に利用できることが示された。また、低酸素環境利用時に魚油製剤を服用することにより、低酸素環境利用によるデメリットを軽減しながら持久力の向上に寄与できる可能性が示された。

謝辞

本研究を進めるに当たり、「海の元気 EPA」を供与いただいた日本水産株式会社に深謝申し上げます。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費 26350904 の助成を受けたものです。

参考文献

1. Larsen HB. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 136:161-170, 2003.
2. Wilber RL and Pitsiladis YP. *Int J Sports Physiol Perform.* 7:92-102, 2012.
3. Dick FW. *Int J Sports Med.* 13, suppl.1:S203-206, 1992.
4. Levine BD and Stray-Gundersen J. *Int J Sports med.* 13 Suppl 1:S209-212, 1992.
5. Dufour SP, Ponsot E, Zoll J, Doutreleau S, Lonsdorfer-Wolf E, Geny B, Lampert E, Flück M, Hoppeler H, Billat V, Mettauer B, Richard R and Lonsdorfer J. *J Appl Physiol.* 100:1238-1248, 2006.
6. Berglund B. *Sport Med.* 14:289-303, 1992.
7. Bailey DM and Davies B. *Br J Sports Med.* 31:183-190, 1997.
8. 井本 岳秋. *ランニング学研究*, 13:22-27, 2002.
9. (財) 日本体育協会 (2002) 高地トレーニングガイドラインとそのスポーツ医学的背景—
10. 小林悟, 高岡 郁夫. 沢木 啓祐, 寺野隆, 平井愛山, 藤代成一, 斎藤康, 中島秀司. *脂質栄養学*, 12:75-84, 2003.
11. 長谷川淳, 松村勲, 山本正嘉. *スポーツパフォーマンス研究*, 3:31-48, 2011.
12. Stray-Gundersen J and Levine BD. *Br J Sports Med.* 33:150-151, 1999.
13. Siebenmann C, Robach P, Jacobs RA, Rasmussen P, Nordborg N, Diaz V, Christ A, Olsen NV, Maggiorini M and Lundby C. *J Appl Physiol.* 112:106-117, 2012.
14. Robach P, Schmitt L, Brugniaux JV, Nicolet G, Duvallet A, Fouillot JP, Moutereau S, Lasne F, Pialoux V, Olsen NV and Richalet JP. *Eur J Appl Physiol.* 97:695-705, 2006.
15. Wehrlin JP, Zuest P, Hallén J and Marti B. *J Appl Physiol.* 100:1938-1945, 2006.
16. Mackenzie RW, Watt PW and Maxwell NS. *High Alt Med Biol.* 9:28-37, 2008.

17. Peoples GE and McLennan PL. *Br J Nutr.* 111:996-1003, 2014.
18. Kawabata F, Neya M, Hamazaki K, Watanabe Y, Kobayashi S and Tsuji T. *Biosci Biotechnol Biochem.* 78:2081-2088, 2014.
19. Chapman RF, Stray-Gundersen J and Levine BD. *J Appl Physiol.* 85:1448-1456, 1988.
20. Kobayashi S, Hirai A, Terano T, Hamazaki T, Tamura Y. and Kumagai A. *Lancet.* 2(8239):197, 1981.
21. Stebbins CL, Hammel LE, Marshal BJ, Spangenberg EE, and Musch TI. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 20:475-486, 2010.
22. Filaire E, Massart A, Rouveix M, Portier H, Rosado F, and Durand D. *Eur J Appl Physiol.* 111:1829-1839, 2011.