
原著論文

常圧低酸素トレーニングと継続的測定における ヘモグロビン濃度変動について

時任 真一郎¹⁾、前嶋 孝¹⁾、佐竹 弘靖¹⁾

Effects of training under normobaric hypoxia environments in continuous measurement of hemoglobin

Shin-ichirou TOKITOU¹⁾, Takashi MAESHIMA¹⁾, Hiroyasu SATAKE¹⁾

要約

本研究は、大学競泳選手において、常圧低酸素トレーニングが生理学的応答の1つであるヘモグロビン濃度変動に及ぼす影響について、非侵襲的方法にて継続的にヘモグロビン濃度測定を行い、個人個人について検討を行った。その結果、低酸素トレーニング群において、ヘモグロビン濃度が有意に上昇する対象者とほぼ変動が見られない対象者という結果となり、低酸素トレーニングそのものの有用性を支持するまでには至らなかった。全ての対象者において個別に分析を行った結果、ヘモグロビン濃度の変動において、個人差が見られた。継続的にヘモグロビン濃度を測定することは、高地トレーニング前の平地での低酸素環境暴露などの事前準備で必要な生理応答の観察方法として、また日々のトレーニング状況についての判断材料として、簡便に個人個人を検討する有効な1つの方法となり得ることが考えられた。

Abstract

In this study, about the effect that normobaric hypoxia training gives to the hemoglobin change that is one of the physiologic replies in a university competitive swimming, we examined hemoglobin by a noninvasive method continuously an each person. As a result, we found that the subjects whom hemoglobin significantly increases in normobaric hypoxia training group and the subjects who are not almost found a change turned out, and did not reach it before supported a utility of the normobaric hypoxia training itself. As a result of having analyzed it in all subjects individually, an individual difference was found in a change of the hemoglobin. As an observation method of the physiology reply that it is preinclination such as normobaric hypoxia environments exposures on the level ground before the altitude training to continuously measure hemoglobin, and necessary it was thought that it could be one effective method to measurement an each person as judgment materials about the daily training situation easily.

Key words : normobaric hypoxia training, hemoglobin, noninvasive, Pronto-7, individual difference

キーワード : 常圧低酸素トレーニング、ヘモグロビン、非侵襲的、Pronto-7、個人差

1) 専修大学スポーツ研究所

Senshu University Institute of Sport

I. 緒言

高地トレーニングにおける生理学的応答を基本にした見解は処暑述べられて久しい。メキシコオリンピックにおいて注目されて以来、高地トレーニングの生理学的応答に着目した報告 (Ingjer et al. 1992、Svedenhag et al. 1997、Levine et al. 1997) から、擬似環境における低酸素環境トレーニングにおける生理学的応答の変化の報告 (前嶋 2001a、2001b、萩田 2013) がなされている。しかし、そのトレーニング内容や変化については一定の見解としてまとめるには至っておらず、個人に依存するとの報告 (清水 2010、黄 2011) が見られる。

競泳競技において、競技パフォーマンスを向上させるために多種多様のトレーニングを行っており、それは水中における泳トレーニングだけでなく、水中トレーニングの前後に陸上にて行う補強運動 (ドライランド) やウェイトトレーニング、定期的なコンディショニングなどが行われている。その中で重要とされる大会にピークパフォーマンスを発揮するためのトレーニングとして、非日常的な環境である高地で行う高地トレーニングがその方法の1つとして行われている (Faulkner et al. 1967、Chung et al. 1995)。しかし、実際の高地トレーニングは環境設定、費用、日常生活への介入など簡便に行う事はできない上、リスクを伴う事もあり、ガイドラインが示されている (日本体育協会 2002)。そのリスクを回避する1つの方法として擬似的環境である常圧低酸素環境にて行われる常圧低酸素トレーニングがある。高地トレーニングや常圧低酸素トレーニングの目的は、常圧常酸素状態と比較して酸素状況を低酸素 (低酸素分圧) 状態にし、その状況に暴露されることで血中酸素飽和度を低下、酸素運搬機能に負荷をかけることによって、ヘモグロビン濃度を向上させることが1つのねらいとしてある。しかし、これまでの先行研究においては、高地トレーニングを始めとする低酸素暴露によってヘモグロビン濃度は上昇するという報告 (Klausen et al. 1991、Friedmann et al. 1999) も見られるが、上昇しない

とする報告 (Faulkner et al. 1967) も見られる。

これまでヘモグロビン濃度を測定している研究において、ヘモグロビン濃度を継続的に測定しているもの、あるいは対象者個人について継続的かつ詳細に検討しているものは少ない。これらの先行研究ではヘモグロビン濃度が上昇しない理由として、すでに十分にトレーニングされている者がほとんどであるため統計的に有意な上昇は見込まれない、あるいは遺伝的な要因が大きく関与するためすでに絶対量として改善が難しいなどの報告 (Chapman et al. 1998、Gore et al. 1998) がある。本来高地トレーニング、低酸素トレーニングの前提として酸素飽和度の改善への順応過程を経て、ヘモグロビン濃度の改善を見込んでおり、環境順応に対する何らかの変化を見落としている可能性も考えられる。対象者1人1人について検討することで、個人個人の高地トレーニング、低酸素トレーニングの有用性を示すことができ、さらにはその方法が簡便であれば簡便であるほどより有用性が高まると考えられる。今日では非侵襲的にヘモグロビン濃度を測定できる医療機器も認証され、より継続的な測定が簡便にもなっており、これまで難しかった継続的測定を可能としている。非侵襲的測定方法について、その妥当性を検証し1~2.5%の誤差範囲で十分に妥当であるという報告 (Hiscock et al. 2014、Hiscock et al. 2015) もあり、実際のトレーニングの場面に測定に活用することは十分に有用であると考えられる。

本研究は非侵襲的方法にて継続的にヘモグロビン濃度測定を行うことで、常圧低酸素トレーニングが生理学的応答の1つであるヘモグロビン濃度変動に及ぼす影響について個人個人の変動を検討する事で非侵襲的継続測定の有用性を見出すことを目的とする。

II. 研究方法

1. 対象者

本研究の対象者は、18歳~22歳の大学競泳選

手 16 名（男子 8 名、女子 8 名）とした。日常的に競泳トレーニングを行っており、競泳競技歴 10 年以上の者であった。

2. トレーニング

本研究の対象となる期間は、2013 年 3 月～7 月であった。対象期間は、全期間（2013 年 3 月 27 日～7 月 1 日）、コントロール期（3 月 27 日～5 月 6 日）、低酸素トレーニング期（5 月 7 日～5 月 27 日）、回復・適応期（5 月 28 日～7 月 1 日）とした。

全ての対象者は基本的に表 1 に示すトレーニングを行なった。対象者を基本トレーニングのみを行う対照群（N 群：Normal 群 = 9 名、Normal Men:NM = 6 名、Normal Women:NW = 3 名）、基本トレーニングに低酸素トレーニングを付加する、低酸素トレーニング群（L 群：Living Low - Training High 群 = 7 名、Living Low - Training High Men : LM = 2 名、Living Low - Training High Women : LW = 5 名）とした。

低酸素トレーニングについては、常圧、室温 22℃、湿度 50%、酸素濃度 16%（± 0.4%、標高 2,000～2,400m 相当）に保たれた環境制御室にて行なった。低酸素トレーニングの詳細については表 2 に

示した。自転車エルゴメータ運動はコナミ社製 Power Max V III、ローイング運動は Concept2s 社製ローイングエルゴメーター モデル D、スキーイング運動は Concept2 社製スキーエルゴにてそれぞれ行った。低酸素トレーニングへの参加については、自由意志とし、希望する者に対して低酸素暴露状態について、スタープロダクト社製パルスオキシメータ リストックス 2 Model 3150（医療機器認証番号：222AIBZX00004000）を用いて安静時酸素飽和度（SpO₂）について測定をし、安静状態 90% 以上で安定することを確認し、低酸素トレーニングを実施した。低酸素トレーニング中において、常に SpO₂ をモニタリングし、SpO₂ が 80% を下回った場合は、低酸素トレーニングを中止するか、もしくは 85% 以上に回復後、トレーニングの再開をするように指示した。

本研究の実施に際して、日々のトレーニングと直結し能動的要素および不確定要素も混在しており倫理審査を受けてはいないが、次の挙げる点について個人の人権等について十分に配慮を行い、低酸素トレーニングの実情、先例等を十分に説明した上で実施した。トレーニングの実施群の選定については、トレーニング群の選択は対象者の自由意志とし験者から選定は行わない、トレーニン

表 1 対象者の 1 週間基本スケジュール

	月	火	水	木	金	土	日
午前水中練習	6:30-8:30	6:30-8:30	6:30-8:30	6:30-8:30	6:30-8:30	7:00-9:00	OFF
授業 (低酸素トレーニング)	9:00-16:25	9:00-16:25	9:00-16:25	9:00-16:25	9:00-16:25		
午後陸上練習		14:50-18:00		14:50-18:00			
午後水中練習	16:30-19:00		16:30-19:00		16:30-19:00		

表 2 低酸素トレーニング内容

実施期間:5/7~27(土日を除く) 3週間(5回/週)		
入室安静暴露	安静	300秒
W-up	自転車 エルゴメータ	180秒
レスト		120秒
8セット	自転車 エルゴメータ	180秒
	レスト	60秒
レスト		300秒
8セット	スキーイング(ローイング)	120秒
	レスト	120秒

※自転車エルゴメータとスキーイング(ローイング)の実施順番は順不同

グに対しての途中離脱および復帰、測定継続の自由意志による途中離脱および復帰、得られた情報のフィードバックおよび個人を特定しない情報公開の可能性、について十分に説明をし、実施・参加の同意を得た。

3. 測定項目

トータルヘモグロビン濃度 (SpHb: g/dl、以下ヘモグロビン濃度) の測定は、マシモ社製非侵襲的ヘモグロビン測定装置 Pront-7 (医療機器承認番号: 22300BZX00360000) にて行った。測定については、できる限り毎日継続的に測定をするよう指示した。対象者には、測定に先立ち、機器の使用法、測定上の留意事項を説明の上、対象者本人に機器の操作、測定を行わせた。測定については、問題がないかを立ち会いの上確認を行なった。本測定装置は、測定状況が思わしくない場合は、エラー値を返し、再測定を行うようになっており、医療機器としての測定値の信頼度を確保する機構となっている。

4. 分析および統計

全ての対象者について、トレーニング期間とヘモグロビン濃度について平均値と標準偏差および相関関係を求めた。相関関係は①対象期間全体、②コントロール期 (低酸素トレーニング前)、③低酸素トレーニング期、④回復・適応期の4期間についてそれぞれ求めた。それぞれの相関関係について5%未満を有意水準とした。

Ⅲ. 結果

全ての対象者においてトレーニング期間とヘモグロビン濃度の平均値について、測定対象期間と全対象者の結果を表3に示した。本研究には個人の状況を検討することを目的としたため、個人間、群間の比較検討は行わなかった。

全ての対象者においてトレーニング期間とヘモグロビン濃度の相関関係について、測定対象期間ごとの相関係数と有意水準について表4に示した。低酸素トレーニング群 (L群)、対照群 (N群)

表3 対象者の各トレーニング期間とトータルヘモグロビン濃度 (SpHb,g/dl) の平均値について

グループ・対象者 期間	低酸素トレーニング群							対照群								
	LM-1	LM-2	LW-1	LW-2	LW-3	LW-4	LW-5	NM-1	NM-2	NM-3	NM-4	NM-5	NM-6	NW-1	NW-2	NW-3
①全期間	14.0±0.53	13.7±0.38	13.5±0.86	13.4±0.84	12.9±0.61	13.8±0.64	13.7±0.84	12.4±1.05	15.4±0.78	13.0±3.52	14.9±0.79	13.7±1.15	14.5±1.24	11.6±0.87	14.7±1.19	13.1±1.05
②コントロール期	14.0±2.22	13.7±3.80	13.0±0.00	13.0±0.84	12.9±0.60	14.1±0.60	13.9±0.85	12.4±2.99	15.4±3.30	13.5±5.08	14.3±0.64	14.4±0.00	14.4±2.73	12.8±0.65	14.9±0.43	13.1±0.94
③低酸素トレーニング期	13.9±0.42	13.6±0.42	13.8±0.73	13.6±0.99	13.0±0.52	13.7±0.61	13.2±0.58	13.0±1.13	15.2±0.72	12.8±3.91	15.3±0.55	13.0±0.73	14.7±1.60	11.8±0.84	14.9±0.99	13.3±0.90
④回復期	14.1±0.60	13.9±0.20	13.2±1.00	13.6±0.51	12.9±0.66	13.7±0.60	13.8±0.82	12.2±0.90	15.7±0.74	13.0±1.03	15.0±0.80	13.9±1.25	14.4±0.90	11.3±0.73	14.5±1.44	13.0±1.14

平均値±標準偏差

表4 対象者の各トレーニング期間とトータルヘモグロビン濃度 (SpHb) の相関係数 (r) について

グループ・対象者 期間	低酸素トレーニング群							対照群								
	LM-1	LM-2	LW-1	LW-2	LW-3	LW-4	LW-5	NM-1	NM-2	NM-3	NM-4	NM-5	NM-6	NW-1	NW-2	NW-3
①全期間	0.001	0.475	0.182*	0.231*	-0.036	-0.219	-0.328	-0.320	0.291**	-0.277	0.547	0.022	-0.317	-0.537	-0.017	-0.173
②コントロール期	-0.190	0.145	-0.163	-0.163	-0.510	0.238*	-0.484	-0.172	0.291	0.100	0.022	0.022	-0.369	-1.000	0.605**	-0.162
③低酸素トレーニング期	0.146	0.155	0.501*	0.469*	0.176	-0.396	-0.047	-0.976	-0.012	0.126	-0.052	-0.737	-0.266	-0.410	0.395**	-0.251
④回復期	-0.437	0.535*	0.953	-0.689	0.129	0.328*	-0.434	0.234*	0.053	-0.393	1.000	0.080	-0.662	-0.271	0.194	-0.274

*p<0.05, **p<0.0001

の両対象者において、一定の期間において相関係数に有意差が見られた。

低酸素トレーニング群において、弱い相関関係ではあるがトレーニングが進むにつれヘモグロビン濃度の有意な正の相関つまりヘモグロビン濃度の増加傾向が見られた。しかし、低酸素トレーニング群において、トレーニングに応じたヘモグロビン濃度の変化については個人差があり、統一した結果は得られなかった。

また対照群において、一定の期間において中程度の正の相関が見られる対象者もいた。対照群においてもトレーニングに応じたヘモグロビン濃度の変化については個人差があり、統一した結果は得られなかった。

それぞれの対象者のそれぞれの期間において、負の相関を示すものもあったが、統計的に有意な差は示さなかった。

IV. 考察

高地トレーニングおよび低酸素トレーニングにおける生理応答、特にヘモグロビン濃度の変化を含む血液性状の変化については、エリスロポエチンの増加を誘引として赤血球量やヘモグロビン濃度の増加をもたらす可能性があることが1つの利点として考えられている。その結果としてヘモグロビンと結びつく酸素量が増えることから、運動時の酸素運搬能力の改善に寄与し、持久力を必要とするパフォーマンスに影響を及ぼすことが期待されている。最近では持久力に影響する有酸素性エネルギー供給能力よりも無酸素性供給能力を向上させるのに高地トレーニング、低酸素トレーニングが適しているという報告(荻田 2013)もあり、高地トレーニングの利用が持久力を要する長距離選手だけでなく、最大酸素借や最大パワーの向上が重要とされるスプリント競技への活用も見出され始め少しずつ状況が変化しつつあるが、統一した見解に達していない。これらの先行研究においては、血液性状をエリスロポエチン、赤血球量、ヘモグロビン濃度などを侵襲的方法で検討

している(Klausen et al.1991,やFriedmann et al.1999, Chung et al.1995, Levine et al.1997)。しかし、これらの研究において共通していることは、変化のあるなしに関わらず、高地滞在開始から変化が見られる期間や、平地に戻ってからの変化が見られる期間までが一定ではなく、個人差つまり生理応答にはばらつきがありそれを読み取ることの難しさがあることと解釈することができる。また、侵襲的方法は機材や測定に関するストレスが大きいことから毎日の測定のような継続測定には不向きな面もあり、これまでの先行研究をもとに、簡便な測定方法で対象者に生理応答状況をフィードバックできる方法を模索することは、有益であると考えた。そこで本研究は、非侵襲的方法にて継続的に測定することで個人内の生理応答をより詳細に検討することに着目して行った。

これまでに高地トレーニングにおける生理応答特にヘモグロビン濃度の変化については、高地トレーニングによってヘモグロビン濃度は増加しないと言う見解も見受けられる。特にヘモグロビン濃度の変化に影響を及ぼすと考えられるエリスロポエチンの変化について、高地トレーニング中の変化はKlausen et al. (1991) やFriedmann et al. (1999) が高地滞在后7日間程度の短期間での変化を報告しているが、平地でのパフォーマンス向上は見られなかったと報告している。一方、変化が見られないとするChung et al. (1995), Levine et al. (1997) の報告をまとめると、変化しなかった要因として個人差があると述べており、低酸素刺激の受容性や変化に要する時間・期間などの個人差を含んでいることを挙げている。本研究の結果は、これらの先行研究に挙げられている報告の反応のしやすさの個人差や変化に要する時間・期間、それまでのトレーニング状況などの個人差を支持するものにすぎないかもしれない。しかし、非侵襲的方法により継続的に測定し、変化をモニタリングするより簡便である確認方法の1つとして有効であると思われる。

また、個人差の要因としては本来個人が持っている血液性状にも影響することが報告されている。黄(2011)は、低酸素暴露前にヘモグロビン

濃度の低いものは低酸素環境に対するストレスが大きく免疫機能に影響を与え、ヘモグロビン濃度が高い選手は低酸素環境に対するストレスが少なく有益な影響を及ぼすことから、コンディショニング管理の必要性まで言及しており、個人差の考慮を示唆している。しかし、ヘモグロビン濃度の濃淡についての線引きは非常に難しいため、継続的に測定し続けることで、より個人内の変化からヘモグロビン濃度の変化の期待値について推察できることも考えられる。さらに山本(2012)は、低酸素トレーニングの実体について触れ、Living High- Training Low (LH-TL)ではトレーニングの原則の1つである超回復を阻んでいることも考えられることから、超回復を促すコンディショニングの重要性を示唆しており、より個人の生理的反応を観察することが重要であると考えられる。これらの報告より、高地トレーニングおよび低酸素トレーニングは体に関わるストレスが大きく、ストレスを確認しないまま継続することは、効果を産むどころか逆効果となることを示唆している。本研究は、トレーニングにおける生体への負荷・ストレスの影響について報告してきた筆者の経験から、トレーニング効果をより効果的に得るためには、個々の生理応答からトレーニングにおけるストレスの度合いなどを継続的、簡便、かつ安全なモニタリングの重要性を考え、本研究の測定方法に至った。本研究の結果は、トレーニングの原則における個別性の原則を改めて確認する結果となったが、低酸素トレーニングそのものの有効性を支持するまでには至らなかった。

全対象者において、ある一定の範囲でヘモグロビン濃度が常に一定の値でない、変動幅があることが確認された。このことは、ヘモグロビン濃度の変動について検討している先行研究においても同様であり、このことは侵襲的、非侵襲的どちらの測定方法でも同じであることが明らかとなった。しかし、先行研究においては全体的な平均値の推移やそれぞれの期間で1度の測定値を用いているなどトレーニング期間全体を追った継続的な測定報告ではないことなど本研究の継続測定との違いはあるが、本研究における全ての対象者に対

する継続的な測定により、これまでの先行研究の結果をより強く支持するものとなった。このことは、高地トレーニングや低酸素トレーニングにおける低酸素状態への暴露による生理応答は個人差があり、非侵襲継続測定でも十分に観察できる可能性が示唆された。

V. まとめ

本研究は、常圧低酸素トレーニングが生理学的応答の1つであるヘモグロビン濃度変動に及ぼす影響について、非侵襲的方法にて継続的にヘモグロビン濃度測定を行った。個人個人について変動の検討を行った結果、次のことが示唆された。

1. 低酸素トレーニング群(L群)において、ヘモグロビン濃度が有意に上昇する対象者とはほぼ変動が見られない対象者という結果となり、個人個人の個別の生理応答についてモニタリングできた。非侵襲的・継続的ヘモグロビン測定は、高地トレーニング前の平地での低酸素環境暴露などの事前準備で必要な生理応答の観察方法として簡便であり、個人個人を検討するためには有効な1つの方法として考えられる。
2. 全ての対象者において個別に分析を行った結果、ヘモグロビン濃度の変動において、個人差が見られた。継続的にヘモグロビン濃度を測定することは、低酸素トレーニングの効果を見るだけでなく、日々のトレーニング状況についての判断材料の1つとなり得ることも考えられた。しかし、採血を行う方法は継続的な自己測定には不向きなこともあり、本研究で用いた非侵襲的継続測定が有効な測定手段であることが考えられる。

VI. 参考文献

Ingjer F, Myhre K. J.: Physiological effects of altitude training on elite male cross-country skiers.

- Sports Sci. 10 : 137-147, 1992
- Svedenhag J, Piehl-Aulin K, Skog C, Saltin B. : Increased left ventricular muscle mass after long-term altitude training in athletes. Acta. Physiol. Scand. 761 : 63-70, 1997.
- Leivine, B.D., and J. Stray-Gundersen. "Living high-training low" : Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J. Appl. Physiol. 83 : 102-112, 1997.
- 前島孝：低酸素環境を利用したトレーニングの実際. 体育の科学 51 : 277-280, 2001a.
- 前嶋孝：低酸素トレーニングへの取り組みとその周辺. 専修大学社会体育研究所報 49 : 1-9, 2001b.
- 萩田太：水泳の低酸素トレーニング. 体育の科学 63 : 393-398, 2013.
- 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処方成功事例 - 自転車ロード競技選手を対象として - . スポーツパフォーマンス研究 2 : 259-270, 2010.
- 黄聡：低酸素トレーニングの個人差. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科文献集 1 : 43-50, 2011.
- Faulkner JA, Daniels JT, Balke B. Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. J Appl. Physiol. 23 : 85-89, 1967.
- Chung, D.S., J.G. Lee, E.H. Kim, C.H. Lee, and S.K. Lee. The effects of altitude training on blood cells, maximal oxygen uptake and swimming performance. Korean Journal of Science 7 : 35-46, 1995.
- (財)日本体育協会スポーツ医・科学会、高地トレーニング医・科学サポート研究：高地トレーニングガイドラインとそのスポーツ医科学的背景 - 1-36, 2002.
- Klausen T., Mohr T., Ghisler U., Nielsen O.J. Maximal oxygen uptake and erythropoietic responses after training at moderate altitude. Eur. J Appl. Physiol. Occup. Physiol. 62 : 376-9, 1991.
- Friedmann B., Jost J, Rating T., Weller E., Werle E., Eckardt K.U., Bärtsch P., Mairböurl H. Effects of iron supplementation on total body haemoglobin during endurance training at moderate altitude. Int. J Sports Med. 20 : 78-85, 1999.
- Chapman R.F., J. Stray-Gundersen, and B.D. Levine Individual variation in response to altitude training. J Appl. Physiol. 85 : 1448-1456, 1998.
- Gore C.J., Hahn A., Rice A., Bourdon P., Lawrence S., Walsh C., Stanef T., Barnes P., Parisotto R., Martin D., Pyne D. Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclists. J Sci. Med. Sport. 1 : 156-170, 1998.
- Hiscock R, Simmons S.W., Carstensen B., Gurrin L. C. Comparison of Massimo Pronto-7 and HemoCue Hb 201+ with laboratory haemoglobin estimation: a clinical study. Anaesth Intensive Care :608-613, 2014.
- Hiscock R.,Kumar D., Simmons S.W. Systematic review and meta-analysis of method comparison studies of Masimo pulse co-oximeters (Radical-7TM or Pronto-7TM) and HemoCue® absorption spectrometers (B-Hemoglobin or 201+) with laboratory haemoglobin estimation. Anaesth Intensive Care :341-350, 2015.