

10. 重量級柔道選手を対象とした間欠的高所 トレーニング法の開発

桐蔭横浜大学	増地	克之
山形大学	遠藤	洋志
筑波大学	岡田	弘隆
桐蔭横浜大学	吉鷹	幸春
日本大学	金野	潤
日本文理大学	本田	勝義
天理大学	篠原	信一
広島国際大学	瀬川	洋

10. Intermittent altitude training for the heavyweight Judo Player.

Katsuyuki Masuchi	(Tohin University of Yokohama)
Hiroshi Endoh	(Yamagata University)
Hiroataka Okada	(University of Tsukuba)
Yukiharu Yoshitaka	(Tohin University of Yokohama)
Jun Konno	(Nihon University)
Katsuyoshi Honda	(Nippon Bunri University)
Shinichi Shinohara	(Tenri University)
Hiroshi Segawa	(Hiroshima International University)

Abstract

The aim of present study was to examine the effects of intermittent altitude training in a hypobaric chamber on aerobic work capacity for the heavyweight judo player. Subjects were 7 over-90kg-male judo players aged 18-21 yrs. They were divided into two groups; the hypoxic training group (H group, n = 4) trained under hypobaric hypoxia (equivalent to 2,000m altitude, 596 Torr), while the control group (C group, n = 3) did under sea level condition (0m, 760 Torr). The both groups participated in the training program consisting of 30-min pedaling exercise at intensity of 50-60% maximal oxygen uptake (VO₂max) and 5 sets of 1-min Uchikomi with 3-min interval for 14 consecutive days. Aerobic work capacity and blood properties of subjects were evaluated at sea level condition before and after the training period. In the both groups, none significant increases

in $\dot{V}O_2\max$ (absolute and relative value) were observed after the training. Although hemoglobin concentration and mean corpuscular hemoglobin content increased significantly ($P<0.05$) and hematocrit value decreased significantly ($P<0.05$) in C group, none significant changes were seen in H group for those variables. The results of this study reveal that 2-week intermittent altitude training is insufficient stimulus for the heavyweight judo player to improve the aerobic work capacity and induce the adaptive response to hypoxia.

Keywords: Judo, hypoxia, intermittent altitude training, aerobic work capacity

I はじめに

柔道における活動時のエネルギー (ATP) 供給は、マラソンなどの持久系種目で重視される好氣的解糖およびミトコンドリアにおける酸化的リン酸化よりも、嫌氣的解糖ならびにATP-CP (PCr) 系が中心となると考えられる。したがって、柔道の体力トレーニングは、これら嫌氣的なATP再合成経路や最大筋力など、瞬発力や筋パワーを強化する運動が好ましく、伝統的にもその様な補強運動を行ってきた。しかし、柔道は一日で何試合もの試合を重ねることが多い競技であり、そのため常にベスト・パフォーマンスを発揮するには筋疲労からの回復力も重要な体力要素の一つとなる。筋疲労からの回復力は、有氣的なATPの再合成能に大きく依存するため、瞬発系種目の競技者であっても高い有氣的作業能を有することは競技力維持に有利である。

近年、高所トレーニングは有氣的作業能を改善する手段として注目されている¹⁾。これは主に持久系種目の競技者が行うトレーニング法として発展してきた経緯があるが、先述した様に柔道を含む瞬発系種目でも有氣的作業能を高める利点があり、この種の競技種目においても高所トレーニングが強化戦略の一つとなる可能性がある。過去に、岡田ら²⁾が柔道選手を対象とした高所トレーニングの有効性を検討している。この研究では、間欠的な短時間全力運動を数セット行うトレーニングを、週あたり2回の頻度で8週間実施した。その結果、高所トレーニング群 (3,000m相当高度、525Torr) の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) や無酸素性作業閾値 (AT) が有意に向上した。しかし、平地トレーニング群とのトレーニング効果の差は認められず、この有氣的作業能の改善が、純粋に高所トレーニングの効果であったとは言い難かった。結論として彼らは、高所トレーニングを柔道選手の競技力向上を目的とした有効なトレーニング方法として用いるには、トレーニングの内容や期間、高所暴露時間、高度設定など詳細な検討が必要であると述べている²⁾。

そこで、本研究では先に岡田ら²⁾が行った研究方法に変更を加え、あらためて柔道選手を対象とした高所トレーニングの効果を検証する。本研究では、トレーニング内容を有氣的作業能の改善に推奨されている中等度負荷³⁾を用いた自転車運動と持久力強化を兼ねた技術練習 (打ち込み) とし、有氣的作業能と血液性状の変化からトレーニング効果を判定した。なお、本研究の被検者は柔道選手の中でも持久力が低いとされる重量級選手⁴⁾とし、本研究ではこの様な特徴を有する柔道選手の有氣的作業能を改善するあらたな強化戦略を考えてみたい。

II 方法

被検者：被検者は男子大学生 (18~21歳) の8人で、いずれも体重90kg以上の重量級柔道選手とした。各被検者には実験前にインフォームドコンセントを実施し、実験参加への承諾を得た。被検者は、実験期間中約2~3時間の柔道稽古 (週6回)、約30分のランニングトレーニング (週3回) および約1時間のウエイトトレーニング (週2回) を行っていた。被検者は、低圧低酸素環境

表1. 被験者の身体的特徴
Table 1. Characteristics of subjects.

	H group (n = 4)	C group (n = 3)
Age, years	19.8 ± 0.7	19.7 ± 0.4
Height, cm	179.2 ± 1.8	180.4 ± 1.5
Body mass, kg	102.5 ± 6.4	99.6 ± 5.3

Data are Mean ± SE. H; hypoxic training group, C; control group.

(値;各群での平均値) 実験群; 低圧低酸素環境下グループ, 対照群; 常圧下グループ

下においてトレーニングを行う低酸素トレーニング群4人(H群)と、常圧下でトレーニングを行う対照群4人(C群)に分けた。群分けに際しては、トレーニング前の形態および $\dot{V}O_2\max$ が同等になるようにした。なお、C群の1名が実験期間半ばにおいて、実験以外の技術練習時に怪我を負ったため、C群の被検者は最終的に3人となった。表1に実験に参加した被検者の身体的な特徴を示す。

高所トレーニング：筑波大学体育科学系環境制御装置(61m²容量、島津製作所社製、環境温20℃、相対湿度60%)を用い、2,000m相当高度(593Torr)において、14日間毎日連続してトレーニングを行った。2,000m相当高度における滞留時間は平均1時間であり、減圧および復圧速度は10~20Torr/minであった。トレーニング内容は、3分の休息をはさむ1分間の連続打ち込みを5セットと、30分間の自転車運動とした。通常、柔道の打ち込み時の運動強度は55~60% $\dot{V}O_2\max$ といわれている⁵⁾。自転車運動における負荷は常圧下におけるAT水準(50~60% $\dot{V}O_2\max$)の強度に調節した。なお、C群は同様のトレーニングを常圧下(sea level, 760 Torr)において行った。

有氣的作業能：トレーニング前後に、両群の $\dot{V}O_2\max$ をsea levelにおいて測定した。すなわち、自転車エルゴメーター(モナーク社製)を用い、負荷なしで2分間のウォーミングアップを行った後、3.0kp(180watts)までは1分毎に負荷を0.5kpずつ負荷を漸増させ、その後は1分毎に負荷を0.25kpずつ漸増し、最終的に運動リズムについていけなくなるまでペダリングを行わせた。回転数は60rpmに固定した。呼気ガスの分析には、レスピロモニター(ミナト社製、RM-300i)および質量分析計(Perkin-Elmer社製、MGA-1100)を用いた。

血液性状：トレーニング前後にsea levelにおいて採血し、各被検者の安静時における赤血球量(RBC)、血色素濃度(Hb)、平均赤血球容積(MCV)、平均赤血球血色素量(MCH)、平均赤血球血色素濃度(MCHC)、ヘマトクリット(Ht)を測定した。なお、血液分析は江東微生物研究所(つくば市)に依頼した。

統計処理：値はすべて平均値と標準誤差(mean ± SE)で示した。有意差検定は、両群間の比較については対応のないt検定(student's t-test)を、トレーニング前後の変化については対応のあるt検定(student's t-test)を用いた。なお、有意水準は5%とした。

III 結果

有氣的作業能：両群のトレーニング前後の $\dot{V}O_2\max$ を表2に示す。H群とC群の $\dot{V}O_2\max$ (絶対値)はともにトレーニング前に比べ、それぞれ12.9%と13.9%の大幅な増加を示した。同様に、H群とC群の体重あたり $\dot{V}O_2\max$ もともにトレーニング前に比べ、それぞれ9.3%と14.0%の増加を示した。しかし、すべての値に両群間およびトレーニング前後で統計的有意差は生じなかった。

表2 トレーニング前後の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) および体重あたりの最大酸素摂取量
Table 2. Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2\max$) before and after training.

	Before training		After training	
	H group (n = 4)	C group (n = 3)	H group (n = 4)	C group (n = 3)
$\dot{V}O_2\max$, ml/min	3.79 ± 0.3	3.63 ± 0.5	4.28 ± 0.2	4.13 ± 0.2
$\dot{V}O_2\max$, ml/kg/min	38.8 ± 5.3	36.5 ± 5.0	42.4 ± 0.4	41.6 ± 2.3

Data are Mean ± SE. H; hypoxic training group, C; control group.

(値;各群での平均値) 実験群; 低圧低酸素環境下グループ, 対照群; 常圧下グループ

表3 トレーニング前後の血液性状
Table 3. Blood properties before and after training.

	Before training		After training	
	H group (n = 4)	C group (n = 3)	H group (n = 4)	C group (n = 3)
RBC, × 10 ⁴ /mm ³	508 ± 15	497 ± 4	507 ± 14	497 ± 3
Hb, g/dl	14.9 ± 0.2	14.8 ± 0.2	15.0 ± 0.2	14.9 ± 0.2*
Ht, %	46.1 ± 0.8	44.5 ± 0.3	44.7 ± 0.7	43.8 ± 0.3*
MCV, μ ³	90.7 ± 1.1	90.0 ± 1.2	88.3 ± 1.6	88.3 ± 1.3
MCH, pg	29.4 ± 0.7	29.7 ± 0.6	29.7 ± 0.6	30.1 ± 0.7
MCHC, %	32.4 ± 0.3	33.2 ± 0.6	33.7 ± 0.1	34.1 ± 0.5*

Data are Mean ± SE. H; hypoxic training group, C; control group. * Significantly different from before training ($p < 0.05$). RBC; red blood cell count, Hb; hemoglobin concentration, Ht; hematocrit value, MCV; mean corpuscular volume, MCH; Mean corpuscular hemoglobin, MCHC; Mean corpuscular hemoglobin content.

(値;各群での平均値) 実験群; 低圧低酸素環境下グループ, 対照群; 常圧下グループ. * トレーニング前後で有意差が認められた場合 ($p < 0.05$). RBC; 赤血球, Hb; ヘモグロビン, Ht; ヘマトクリット, MCV; 平均赤血球容積, MCH; 平均赤血球血色素量, MCHC; 平均赤血球血色素濃度

血液性状: 両群のトレーニング前後の血液性状を表3に示す。RBCは、両群ともトレーニング前後で変化しなかった。一方、HbではH群のトレーニング前後の値が同等であったのに対し、C群では極めて僅かではあるがトレーニング後に有意な増加を示した ($p < 0.05$)。Htは、H群のトレーニング前後の値が同等であったのに対し、C群ではトレーニング後に有意な低下を示した ($p < 0.05$)。MCVおよびMCHは両群ともトレーニング前後に変化は認められなかったが、MCHCはH群がトレーニング後に僅かに増加し (NS)、C群では有意に増加した ($p < 0.05$)。

IV 考察

古くから様々なスポーツ種目において高所トレーニングが行われている。最近では、一流国際大会における陸上競技中・長距離レースの上位入賞者のほとんどすべてが、高所住民あるいは高地トレーニングを経験した選手に限られると指摘されており⁹⁾、もはや高所トレーニングは持久系種目の分野では欠くことができないトレーニング法になっているといえよう。本邦でも、陸

上⁷⁾、水泳⁸⁾、ノルディックスキー⁹⁾などの種目を対象に高所トレーニングに関する科学的な検討が進められており、実際に選手の強化策としてこのトレーニング法が導入され多くの実績を上げている。最近では、米国コロラドの高所でトレーニングを積んだ高橋尚子選手が、シドニー五輪マラソン競技で金メダルを獲得したことが記憶に新しい。この様に、高所トレーニングは持久系競技者を中心に、特に有氣的作業能の改善を目的に広く活用されてきたが、他方、短時間激運動を行う、いわゆる瞬発系種目での実践例は極めて少ない。先に述べた様に、瞬発系競技者であっても有氣的作業能を強化することは疲労回復力を高める面で極めて意義深い。そこで我々は、重量級柔道選手の有氣的作業能を改善する手段として高所トレーニングが有効ではないかと考え、今回その効果を検証した。

有氣的作業能

本研究では、高所トレーニングを14日間連続で実施したが、この連日の低酸素負荷は生体の低酸素適応を促進させる意図があった。これまでに、Roskammら¹⁰⁾が本研究とほぼ同様の高所トレーニング(1回30分×週6回、2,250m相当高度)を実施し、平地トレーニングよりも $\dot{V}O_2\max$ が大きく改善されることを報告している。この時の運動負荷は、本研究で用いたAT水準の負荷と本質的に違いはない。したがって、本研究で用いた高所トレーニングでも、Roskammら¹⁰⁾が得たものと同等のトレーニング効果が獲得できるものと期待した。しかしながら、本研究では高所トレーニング後に $\dot{V}O_2\max$ が1割前後増加したが、これは対照としたC群の値と同等であった。この様な結果は、岡田らの先行研究²⁾とも類似しており、本研究でも高所トレーニングの優位性を明確にはできなかった。これには、高所トレーニング期間が大きく影響した可能性がある。すなわち、本研究では高所トレーニングを2週間としたが、Roskammら¹⁰⁾は本研究の2倍の4週間実施している。つまり、本研究の高所トレーニングでは、生体の低酸素適応を惹起するための時間が不十分だったのかも知れない。

また、我々はトレーニング高度を2,000m相当高度に設定した。これは、1) 世界レベルの競技会で活躍する高所民族が2,000~3,000mの高所出身者に限られていること¹¹⁾、2) 実際の高所トレーニングは2,000 m前後の高所で実施されることが多いこと¹²⁾、3) 2,000~3,000mの高度がトレーニング高度として好ましいとの文献研究に基づく見解¹³⁾が存在すること、からの判断である。しかし、この高度設定が不適切であった可能性が否めない。最近、4,000m以上の高度への一日3~5時間の暴露と、その間の軽い自転車運動の複合負荷が、短期間に有氣的作業能を改善することが報告された^{14) 15)}。これらの報告^{14) 15)}では $\dot{V}O_2\max$ (絶対値、相対値とも)の改善こそ示されていないが、1~2週間の短期の高所トレーニングでも運動負荷に対する換気および乳酸動態に、有氣的作業能の改善を示す結果が得られている。ただし、従来過度の低酸素負荷は身体諸機能を衰退させ競技力にも悪影響をもたらすことも指摘されている¹⁶⁾。したがって、本研究の様に、特に現役の選手を被検者として用いるケースでは安全面を重視した高度設定を行う必要があり、4,000m高度が最適なトレーニング高度であるとも言い難い。

さらに、トレーニングによる有氣的作業能の改善を判定するには $\dot{V}O_2\max$ だけではなく、本来換気閾値や乳酸閾値などの代謝様式の変化や、あるいは運動継続時間などの指標から多面的に評価する必要がある。これら指標の一部については本研究でも分析可能なデータが採取されているため、本報告では示し得ないが今後の検討項目としたい。

血液性状

生体が低酸素に暴露されると、すみやかに腎でのエリスロポエチン(Epo)産生が高まり造血が促進される¹⁷⁾。元来、高所トレーニングはこの様な低酸素適応反応を標的に行われることが多

い。Koistinenら¹⁸⁾によれば、高所への連続的暴露と間欠的暴露の造血に対する影響は同等であるといひ、造血を引き出すには必ずしも24時間の高所滞在は必要ではないといわれている。本研究では間欠的低酸素暴露を用いたが、高所トレーニング後に造血の兆候は認められなかった。Koistinenら¹⁸⁾と本研究の結果の不一致は、彼らの用いた低酸素負荷(2,500m相当高度)が我々(2,000m相当高度)と同等であるため、主に一日あたりの低酸素暴露時間(12h vs 1h)の差違によるものと推察される。ちなみにKoistinenら¹⁸⁾の暴露期間は1週間であり、極めて短期間で造血を引き起こしている。

本研究の対照群において、トレーニング後に僅かではあるが有意なHbの増加が認められた。これはHtがトレーニング後に低下していることから、いわゆる“脱水”が原因とは考えにくい。むしろ、対照群においてMCHCがトレーニング後に有意に増加していることから、平地トレーニングにより血球の“高色素性適応”が引き出されたものと解釈される。このような傾向は高所トレーニング群でも認められたが、これには恐らく低酸素負荷の影響も含まれていたものと考えられる。

本研究の問題点

本研究における方法論上の最大の問題点は被検者数(n)が少ないことであった。高所トレーニングの効果を判定した研究では、平地でトレーニングを行う対照群を設定せずに、高所トレーニング前後の成績からその効果を評価することをしばしば行う。しかし、本研究では低酸素負荷の影響を明確にすることを重視し対照群を設定した。ところが、先述した様に対照群の1名が怪我のため実験から外れ被検者数(n)が最終的に3名となった。我々は、当初の条件でも被検者数(n)が少ないと懸念していたが(実験開始時の各群の被検者数は4名ずつ)、今回は実験途中において比較対照の実験結果の信頼性が低下してしまった。

また、本研究では現役選手を被検者としたため、彼らは実験以外に日常的な集団練習(部活動)において身体活動を行っていた。当然、我々がこの間の活動量等を制限することは事実上不可能である。したがって、今回の実験結果には通常のトレーニング実験よりも多くのエラーが含まれていると予想される。

本研究課題に関する将来展望 「柔道選手における高所トレーニングの意義」

本研究では高所トレーニングの有効性を明確に示すことができなかったが、我々は以下の観点から重量級柔道選手に高所トレーニングが有効であろうと考えている。

まず、重量級柔道選手の有気的作業能が低い原因の一つには、体脂肪量が多く除脂肪組織が少ないことが挙げられる。高所での運動は、平地に比べ脂質分解を促進する¹⁹⁾ため減量や体組成の改善を容易にすると期待される。

次に、有気的作業能の改善や体脂肪の燃焼を目的とした運動は中等度負荷での長時間運動が推奨されるが、この様な運動を重量級選手が行った場合、自体重負荷によるスポーツ障害が、例えば足首、膝、腰などに誘発されることが危惧される。高所での運動は、低酸素刺激により呼吸循環系に負荷が加わるため、機械的な負荷を軽減しても相対運動強度を平地と同等に維持可能である。つまり、高所では平地よりも足腰に負担を掛けずに平地と同じトレーニング効果を獲得することが可能であり、リハビリテーションの側面での活用も期待される。

本研究ではこれらに関する検討は行っていないが、以上の理由から重量級選手の競技力向上には高所トレーニングを導入する利点が多いと考えられる。これらについては今後の検討課題としたい。

さらに、高所トレーニングは平地トレーニングよりも有意に無気的パワーを改善することが報告されている²⁰⁾。これは、高所トレーニングが柔道などの短時間激運動時における無気的なエネ

ルギー代謝を改善し、競技力そのものを向上させる可能性を示唆する。岡田ら²⁾も、高所トレーニングにより30秒間のスピード打ち込み(30秒の休息をはさみ3セット)の実施回数が平地トレーニング群よりも有意に増加したことを認めている。この背景には、運動時の無氣的パワーと関連する解糖系酵素の遺伝子の多くが、Epoに代表される低酸素関連遺伝子と同様に低酸素刺激により誘導される^{21) 22)} ことが関与しているものと考えられる。一方、Mizunoら²³⁾ によれば2週間の高所トレーニング(2,700m)は $\dot{V}O_2\max$ を改善しなかったが、筋の緩衝能を有意に充進させたという。つまり、高所トレーニングは、骨格筋や心筋での解糖系酵素を増量する有効な刺激となり、さらに嫌氣的解糖により発生する乳酸由来の H^+ を緩衝する組織の能力を高めることで、無氣的パワーの改善に効果を発揮するものと期待される。実に、先のアテネ五輪において大活躍した競泳(短距離)の北島康介選手(100および200m平泳ぎゴールドメダリスト)もスペインや米国で高所トレーニングを実施しているという。

今後、高所トレーニングは瞬発系種目においても欠くことができない強化戦略の一つとして地位を確立するものと予想される。先に、JOCゴールドプランの一環として東京都北区に国立スポーツ科学センターが設置されたが、この施設には低酸素トレーニング室と低酸素宿泊施設が備わっており24時間滞在型の高所トレーニングが実施可能である。このような先進的設備を利用して、柔道においても早期に最適な高所トレーニング法を確立する必要がある。

以上、本研究では重量級柔道選手における高所トレーニングの有効性を検証した。本研究では、2,000m相当高度における間欠的高所トレーニング(1回約60分)を2週間実施したが有氣的作業能の改善と血液レベルの低酸素適応の獲得を示す結果は得られなかった。今後、トレーニングの期間や高度などの設定を改善し、柔道の競技力向上に向けた最適な高所トレーニング法を検討する必要がある。

謝辞

被検者として筑波大学柔道部重量級選手の皆様にご協力いただいた。実験では、筑波大学体育科学系の浅野勝己教授(現名誉教授)、竹内善徳教授(現名誉教授)、および水野康助手(現国立精神保健研究所)にご指導いただいた。ここに記し深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 浅野勝己: 高地トレーニングの基礎—その生理学的効果について—, 臨床スポーツ医学8(6): 585-592, 1991.
- 2) 岡田弘隆、春日井淳夫、小山勝弘、射手矢岬、佐藤伸一郎、竹内善徳: 威圧・低酸素環境下での間欠の全力運動トレーニングが柔道選手の有酸素的および無酸素的パフォーマンスに及ぼす影響, 武道学研究32(1): 70-81, 1999.
- 3) Pollock ML, Glenn A. Gaesser., Janus D. Butcher., Jean-Pierre Despres., Rod K. Dishman., Barry A. Frankl., and Carol Ewing Garber.: ACSM Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. Med Sci Sports Exerc 30(6): 975-991, 1998.
- 4) 中村良三、川村禎三、醍醐敏郎、松下三郎、猪熊功、竹内善徳、手塚政孝、高橋邦郎、佐藤宣践、堀安高綾、佐藤行那、尾形敬史、柳沢久、松永義雄: 小俣幸嗣. 競技種目別体力トレーニング処方

- に関する研究 (第2報)、Ⅲ柔道、日本体育協会スポーツ医・科学研究報告69-92、1978.
- 5) 金子公宥、岩田勝、富岡理: 柔道練習中の酸素摂取量と心拍数. 講道館柔道科学研究会紀要 (第V輯) 21-30、1978.
 - 6) 大野秀樹、木崎節子、大河原知水、芳賀脩光: 高所トレーニングと赤血球. 臨床スポーツ医学 15 (12) : 1349-1355、1998.
 - 7) 川原 貴: 高地トレーニング・日本陸連での取り組み. 臨床スポーツ医学8 (6) : 598-606、1991.
 - 8) 武藤芳照、宮下充正、渡辺厚一: 高地トレーニング・水連での取り組み. 臨床スポーツ医学8 (6) : 610-615、1991.
 - 9) 川初清典、中川功哉、晴山紫恵子、北村辰夫: 高地トレーニング・全日本スキー連盟での取り組み. 臨床スポーツ医学8 (6) : 616-620、1991.
 - 10) Roskamm H., F. Landry., L. Samek., M. Schlager., H. Weidemann., and H. Reindell.: Effects of a standardized ergometer training program at three different altitudes. *J Appl Physiol* 27 (6) : 840-847, 1969.
 - 11) 福永哲夫: 準高所における運動に対する生理的応答—平地との比較から—。アスリートヴィレッジ構想大綱 58-61、上市市 (山形県)、1992.
 - 12) Baumann I., Bonov, P., Daniels, J., and Lange, G.,: NSA round table: high altitude training. *New Studies in Athletics* 9: 23-35, 1994.
 - 13) Burtcher M., W. Nachbauer., P. Baumgartl., and M. Philadelphia.: Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 74 (6) : 558-563, 1996.
 - 14) Casas M., Casas, H., Pages, T., Rama, R., Ricart, A., Ventura, J. L., Ibanez, J., Rodriguez, F. A. and Viscor, G.: Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold. *Aviat Space Environ Med* 71 (2) : 125-130, 2000.
 - 15) Rodriguez FA., Casas, H., Casas, M., Pages, T., Rama, R., Ricart, A., Ventura, J. L., Ibanez, J. and Viscor, G.: Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 31 (2) : 264-268, 1999.
 - 16) Martin DE. The challenge of using altitude to improve performance. *New Studies in Athletics* 9: 51-57, 1994.
 - 17) Jelkmann W.: Erythropoietin: structure, control of production, and function. *Physiol Rev* 72: 449-489, 1992.
 - 18) Koistinen PO., Rusko, H., Irjala, K., Rajamaki, A., Penttinen, K., Sarparanta, V-P., Karpakka, J. and Leppaluoto, J.: EPO, red cells, and serum transferrin receptor in continuous and intermittent hypoxia. *Med Sci Sports Exerc* 32 (4) : 800-804, 2000.
 - 19) McClelland GB., Peter W. Hochachka., Shannon P. Reidy and Jean-Michel Weber.: High-altitude acclimation increases the triacylglycerol/fatty acid cycle at rest and during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 281: E537-E544, 2001.
 - 20) Meeuwssen T., Ingrid J.M. Hendriksen, and Michael Holewijn.: Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 84 (4) : 283-290, 2001.
 - 21) 遠藤洋志、浅野勝己、高橋英嗣: 低圧・低酸素とストレス. 運動とストレス科学 (日本運動生理学会運動生理学シリーズ4、竹宮 隆、下光輝一編), p187-195, 杏林書院, 2003.

-
- 22) Hoppeler H., Vogt M., Weibel ER and Fluck M.: Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. *Exp Physiol* 88 (1), 109-119, 2003.
 - 23) Mizuno M., C. Juel, T. Bro-Rasmussen., E. Mygind., B. Schibye., B. Rasmussen and B. Saltin.: Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J Appl Physiol* 68 (2) : 496-502, 1990.