

中学生の長距離走選手を対象とした低酸素トレーニングの試み —低強度，短時間，低頻度で行う補助トレーニングとしての有効性—

宮崎喜美乃¹⁾，窪田 幸雄²⁾，山本 正嘉³⁾

¹⁾鹿屋体育大学大学院

²⁾元・始良市立帖佐中学校，現・始良市立重富中学校

³⁾鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

I. 研究目的

自然の高地や人工的な低酸素環境を利用したトレーニングは，通常環境でのトレーニングと上手に組み合わせて行うことによって，持久能力をより大きく改善できる可能性がある（Wilber, 2004; 山本, 2009）．中でも，1990年代に開発された常圧低酸素室を用いた低酸素トレーニングは，自然の高地に長期間出かけて行うトレーニングに比べて，時間的・経済的な面で負担が少なく，簡便性や安全性にも優れるというメリットがあり，普及しつつある．

低酸素室を用いた高所トレーニングにも，大別してliving high - training low方式（山地, 1999）およびliving low - training high方式（山本, 2004）の2種類がある．その中でも後者は，低酸素環境への曝露時間が少なく，取り組みやすい方法である．また実際に，トレーニングの成功例も多く報告されている（荒木ら, 2011；安藤ら, 2004；長谷川ら, 2011；平山ら, 2011；一箭ら, 2011；狩野ら, 2001；前川ら, 2004）．この低酸素トレーニングでは従来，「高強度」および「高頻度」で行われるケースが多かった（安藤ら, 2004；平山ら, 2011；一箭ら, 2011；狩野ら, 2001；前川ら, 2004）．しかし最近では，試合前の補助トレーニングとして「低強度」（長谷川ら, 2011），さらに通常練習と並行して「低頻度」で行っても，持久能力が向上するという報告もいくつかある（荒木ら, 2011；長谷川ら, 2011）．

高所トレーニングは，持久能力，特に全身持久能力（呼吸循環系の能力）の改善を狙いとして行われるが，この能力の発達は，心臓や肺の重量が急速に発達する中学生期ごろに著しく起こる（猪飼ら, 1964）．したがって，この時期に低酸素トレーニング

を行うことで，全身持久能力の大きな改善も期待できる．しかし，そのような研究例はほとんどない．

中学生期では，部活動の活動時間は限られている．また，トレーニングの量や質が高すぎることによる障害や，オーバートレーニングも起こりやすい．このようなことを考えると，中学生期に通常のトレーニングと並行して，低強度で低頻度の低酸素トレーニングを補助的に行うことで，上記の問題を回避しながら，持久能力を効率よく改善できる可能性も考えられる．

そこで本研究は，中学生の陸上競技部長距離走選手を対象として，1週間に1回の頻度で，1か月間で計3回の低酸素トレーニングを行い，その際の生理応答の変化，およびトレーニング前後でのパフォーマンスの変化について検討することを目的とした．

II. 方 法

A. 被検者

対象者はC中学校の陸上競技部長距離走選手13名（男子8名，女子5名）であった．身体特性は，年齢 13.4 ± 0.5 歳（男子 13.5 ± 0.5 歳，女子 13.2 ± 0.4 歳），身長 156.6 ± 9.8 cm（男子 157.6 ± 12.6 cm，女子 155.0 ± 1.9 cm），体重 43.8 ± 9.5 kg（男子 46.0 ± 11.6 kg，女子 40.4 ± 3.4 kg）であった．すべての被検者およびその父兄には，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．また本研究は，鹿屋体育大学倫理審査委員会の承諾を得て行われた．

B. トレーニング方法

1) トレーニングの概要

常圧低酸素室（トレーニング環境シミュレータ, エスベック社製, Japan）を用い, 高度3000m相当に設定してトレーニングを行った. 1回当たりの入室時間は3時間とした. 頻度は1週間に1回とし, 1ヶ月間で計4回行う予定であったが, 事情により1回減り, 実施日は1月8日, 23日, 29日の3日間となった.

被検者15名を5名ずつ3グループに分けた. そして, ①15分の主運動(トレーニング), ②15分の軽い運動, ③15分の休憩という順序で, グループ毎にローテーションしつつ3セット行った. それぞれの内容は以下の通りであった.

①主運動（トレーニング）：自転車エルゴメータ（Aerobike 75XLⅢ, Combi社製, Japan）を用いて, ペダリング運動を行った（図1）. その際, 主観的運動強度（RPE）を用いて, 脚の疲労（脚）または息苦しさ（心肺）のいずれかの最高値が13（ややきつい）程度となるよう, 検者が被検者に尋ねながら適宜運動強度を調節した.



図1. 低酸素室でのトレーニング風景

②軽い運動：本被検者が通常練習中に行っている補強運動（5分間のスクワット, 腹筋a：上げ速く・下ろし遅くを各20回, 腹筋b：V字腹筋を20回）を行った.

③休憩：ストレッチングなどをしながら, 各自が楽な姿勢で休息した.

2) 主運動（トレーニング）の負荷設定

①のペダリングトレーニング時において, 運動強度の設定は以下のように行った. 1回目のトレ

ニングでは, 推定最高心拍数（ $220 - \text{年齢}$ ）の75% HRmaxとなるように自転車エルゴメータのプログラムを設定した. しかし, このエルゴメータの負荷プログラムの特性上, 体重の軽い中学生にとっては, 負荷が重くなりすぎたり, 逆に軽くなりすぎたりしてしまうことが多く, 安定した負荷をかけられなかった. そこで2,3回目のトレーニングでは, 脚および心肺のRPEが13（ややきつい）程度になるように, 各被検者の体重を基準とし, その相対値で設定することとした.

表1の上段は, 1回目のトレーニング結果を参考に設定した男女別の標準負荷設定である. 15分間のトレーニングにおいて, 最初の5分間はウォーミングアップと位置づけ, 負荷を漸増させた後, 5-15分の10分間は主運動として同じ負荷で行った. 主運動の負荷は, 男女の体力差を考慮し, 男子では体重の170%, 女子では体重の150%とした. この設定を用いることで, 目標とする負荷を安定してかけられるようになった.

表1. 運動負荷の設定. 上段は標準とした負荷, 下段は低強度用の負荷を示す.

運動時間		0～1分	1～3分	3～5分	5～15分
標準強度 (体重当たり: %)	男子	100%	120%	150%	170%
	女子	100%	115%	135%	150%

運動時間		0～1分	1～3分	3～5分	5～15分
低強度 (体重当たり: %)	男子	100%	115%	135%	150%
	女子	100%	110%	120%	130%

なお男女とも, 表1の下段に示したように, 上記の標準強度に対して低強度の負荷設定もあわせて用意し, 体力の弱い者に対しては, この負荷設定で運動を行わせた. また, その日の体調や, 前回の強度も考慮して, この負荷を用いる場合もあった.

トレーニング時の負荷調整は, 運動時の本人の感覚（脚または心肺のRPEが15以上）, あるいは検者の判断で負荷が強すぎると感じた場合は, 低強度の設定で行わせた.

C. 測定項目

1) トレーニング中の生理応答の測定

心拍数：自転車エルゴメーターに付属している脈拍計を耳朶に装着して、トレーニング中の心拍数を測定した。測定値は、各セットの5-15分における10分間の平均値を採用した。

動脈血酸素飽和度 (SpO₂)：パルスオキシメータ (Pulsox-3Si, Minolta社製, Japan) を用いてトレーニング中のSpO₂を測定した。測定値は、各セット5-15分における10分間の平均値を採用した。

主観的運動強度 (RPE)：Borgの主観的運動強度 (Borg, 1973; 小野寺と宮下, 1976) を用いてトレーニング中のRPEを測定した。その際に、Borg et al. (2010) の報告に基づき、脚の疲労 (脚) と息苦しさ (心肺) の2種類に分類して尋ねた。測定値は5-15分の10分間の平均値を採用した。

2) トレーニング前後での測定

低酸素トレーニングの効果を見るためのパフォーマンステストとして、トレーニング前後に20m単位でのビルドアップ走テストを行った。このテストは、20mシャトルランを改変し、ターンをせず、一方向のみに走れるようにしたものである。20m間隔に印をつけた周回コースを用い、1分ごとに速度を上昇させた。評価方法は20m走ると1回と数え、決められたペースに追従できなくなるまで行わせた。

D. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。女子(5名)は人数が少ないため検定は行わず、男子(8名)でのみ検定を行った。トレーニング回数による変化については二元配置分散分析を行い、交互作用または主効果が認められた場合、下位検定を行った。また、トレーニング前後の20mビルドアップ走テストにおいては、対応のあるt検定を用いて検討した。有意水準はいずれも5%未満とした。

III. 結 果

A. トレーニング中の状況

本トレーニングの最中、あるいはトレーニング後に頭痛を感じた選手が、1回目のトレーニングでは2名、2回目では3名、3回目では2名いた。トレーニング中に症状が現れた選手については、ただちに低酸素室から退出させ、通常環境で休息させた。その後は本人の意思を尊重し、トレーニングが可能な場合には、再び低酸素室に入室しトレーニングを行った。またそれができない場合には、そのまま休息するか、通常環境においてペダリングトレーニングを行わせた。

図2は、3回のトレーニング時の運動負荷の状況である。II-2) でも述べたように、1回目のトレーニングでは、安定した負荷がかけられなかったが、2回目以降は安定した負荷をかけることができた。

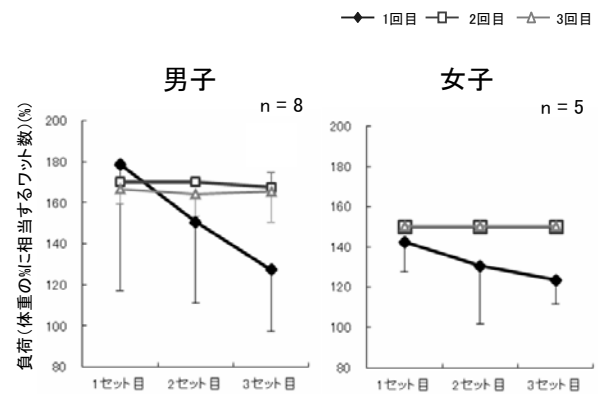


図2. 3回のトレーニングにおける主運動の負荷強度

図3は、トレーニング中のSpO₂を示したものである。男子は全トレーニングにおいて、運動中は80%前半の値を維持できた。一方女子では、全てのトレーニングにおいて、1セット目では80%前半であった

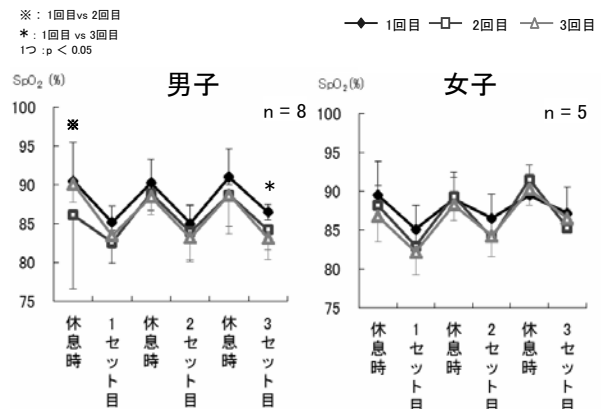


図3. 3回のトレーニング中の動脈血酸素飽和度

が、3セット目では80%後半まで上昇していた。

図4は、トレーニング中の心拍数を示したものである。トレーニング1回目、2回目、3回目の順で、男子では推定最高心拍数の66%、66%、68%で運動を行っていたが、女子では推定最高心拍数の59%、62%、60%と、男子に比べてやや低い値であった。

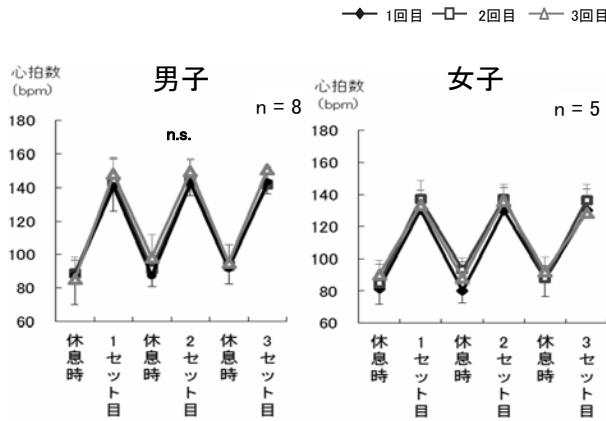


図4. 3回のトレーニング中の心拍数

図5は、トレーニング中のRPEを示したものである。脚、心肺ともに、男子は全トレーニングにおいてほぼ13（ややきつい）と答えていたが、女子では11（楽である）-13（ややきつい）の間であり、男子に比べてやや低い値であった。

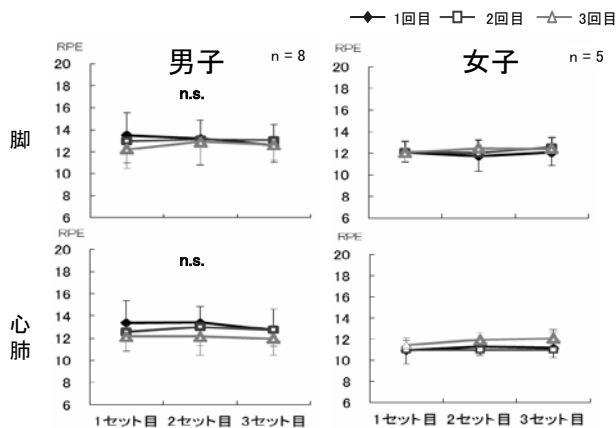


図5. 3回のトレーニング中の主観的運動強度

B. トレーニング前後での走能力の変化

図6は、トレーニング期間の前後に行った20mビルドアップテストの結果である。13名のうち1名(女子)は、故障のためにテストを行えなかった。テストが行えた者については、トレーニング後に改善が見られた者が多く、男子では8名中7名が、女子では

4名中2名が改善した。

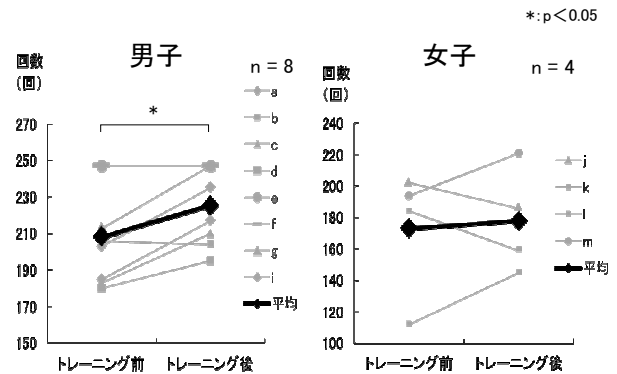


図6. トレーニング前後での20mビルドアップ走テスト成績

女子については被験者数が少ないために検定を行えなかったが、男子では有意差検定を行った結果、有意差もみられた ($p < 0.05$)。なお、男女別に改善率をみると、男子は8.3%、女子は2.7%であり、男子に比べて女子の方が改善率は低かった。

C. 選手および指導者の所見

表2は、選手の自省報告である。「呼吸が楽になり肺が強くなった」、「練習でいつもなら苦しくなる場面で、あまりきつくななくなった」、「今までついでいけなかった練習にも、少しはついていけるようになった」など、体力の改善を窺わせる意見が多かった。また、低酸素トレーニングをした後、日々の練習や試合の時に何かプラスの変化はありましたか、という質問に対しては、15名中14名が「はい」、1名が「わからない」と回答した。

表2. 選手の自省報告

○ 低酸素トレーニングをした後、日々の練習や試合の時に何かプラスの変化はありましたか？ はい:14名、 いいえ:0名、 わからない:1名

<主なコメント>

- タイムがよくなった。
- 呼吸が楽になった、肺が強くなった。
- レースなどで、速い人についていける粘りが出た。
- 練習で、いつもなら苦しくなる場面で、あまりきつなくなりました。
- 長い距離や大会で、今までほど苦しいと思わなくなった。
- 長い距離を走った後も、すぐに楽になった。
- いままでついていけなかった練習にも、少しはついていけるようになった。
- 走っている時、足はきついけれど、肺は楽になったと感じた。
- 低酸素トレーニングをしたという自信で、練習や試合で気持ちに余裕が持てた。
- 気持ちがすごく強くなった感じがする。
- まだ呼吸は大丈夫だ、と思うことができて、走る時の粘りにつながった。
- 低酸素トレーニングをして強くなったんだぞ、という気持ちになれ、きつい時でもあきらめなくなった。
- 以前は大会の時にすごく緊張したが、このトレーニングをしてからしなくなった。

表3は、指導者の自省報告である。「練習でのタイムが走るごとによくなった」、「大会での結果は、出

場した全員が自己記録を更新した」との回答を得た。

表3. 指導者の内省報告. ○は肯定的な評価. ●は改善する必要のあるもの.

○試走のタイムが走るごとに良くなった. 特に1年生の伸びが顕著であった.

○県新人駅伝大会での結果は, 出場した選手全員が自己記録を更新した(男子3位, 女子6位入賞).

●トレーニング中に頭痛を訴える選手が数名いた.

●遠距離のため, 移動が大変だった.

●低酸素トレーニングという未知のトレーニングを行うに際して, 保護者への説明と理解を取り付けるのに多少の苦労があった.

IV. 考 察

A. 運動強度

本研究で用いた低酸素トレーニング中の生理応答をみると, 心拍数は推定最高心拍数の60–70%, RPEは脚, 心肺ともに13(ややきつい)以下と, 長距離走選手がトレーニングを行う強度としては,それほど高くないレベルであった. その一方で, SpO_2 は安静時で90%前後, 運動時には80%前半にまで低下していた.

通常環境下で低–中強度の運動を行う場合, SpO_2 が90%以下になることはほとんどない. また, 最大努力で運動を行った場合でも, 鍛練者において80%台になる場合はあるが, 非鍛練者では90%を下回ることは少ない(Williams et al, 1986). したがってこの低酸素トレーニングは, 心拍数やRPEから見れば低強度の運動といえるが, SpO_2 から見ると, 通常環境では経験できないような低酸素刺激を, 持続的に受けながら運動していたことになる.

本トレーニングにおけるトレーニング強度の設定に際しては, 長谷川ら(2011)の先行研究を参考にして行った. 彼らの報告によると, パフォーマンスが向上した選手は向上しなかった選手に比べて, トレーニング中のRPEは低く, SpO_2 も低かったとしている. これらの結果から, 本研究では運動強度を上げるための手段として, 運動負荷を上げるのではなく, 高度を高く(高度3000m相当)設定し, SpO_2 が低い状態で運動することによって相対的な負荷を上げる方針とした.

その結果, 運動強度は低いにもかかわらず, トレー

ニング中やトレーニング後に頭痛を訴えるものが, 毎回のトレーニングで2–3名いた. これらの選手に尋ねてみると, 前日(あるいは数日前から)の通常練習による疲労が高かった者や, 体調不良であった者がほとんどであった.

したがって今後, 中学生に対してこのような低酸素トレーニングを行う場合には, トレーニング前の体調に十分配慮すべきであり, 体調が良好な状態で行えば, 頭痛を訴える者を減らせると考えられる.

また体調が不十分ではあるが, トレーニングは可能であると判断した場合には, 本トレーニングで用いたものよりも高度を下げたり, 負荷を低強度に設定したり, トレーニングは通常酸素環境下で行い軽運動や安静は低酸素室で行う, といった配慮も必要と考えられる.

B. 本トレーニングの効果について

本トレーニングの前後に, 20mシャトルランを改変した20mビルドアップ走テストを, パフォーマンス測定として実施した. 13名のうち1名(女子)は, 故障のためにテストを行えなかったが, 行えた者については, トレーニング後に改善が見られた者が多く, 男子では8名中7名が, 女子では4名中2名が改善した.

ただし男女別に改善率をみると, 男子が8.3%, 女子が2.7%と, 男子に比べて女子の方が改善率は低かった. この理由の一つとして, トレーニング時の負荷が, 女子では男子に比べてやや低かったことが考えられる. すなわち, トレーニング時の生理応答を見てみると, 男子に比べて女子の方が心拍数, RPE(脚, 心肺)ともにやや低い値を示し(図4, 5), SpO_2 はやや高い値を示していた(図3).

女子は男子に比べて, 生理的な指標から見ても, 低酸素トレーニング強度は相対的に低かったといえる. 今後, 同様のトレーニングを行う際には, 女子は標準運動強度をさらに高値に設定する(たとえば, 今回は体重当たり150%の負荷としていたものを160%程度に上げる)必要があるだろう.

選手による内省報告では, 呼吸系の能力が改善したことを窺わせるようなコメントが多かった(表2).

また、低酸素トレーニングをした後、日々の練習や試合の時に何かプラスの変化はありましたか、という質問に対しても、15名中14名が肯定していた。したがって、ほとんどの者が本トレーニングの効果を感じていたといえる。指導者による内省報告でも、タイムという客観的な指標がほぼ全員で改善したという回答を得た(表3)。このことから本トレーニングの効果が窺える。

V. まとめ

中学生の陸上競技部長距離走選手を対象として、1週間に1回の頻度で、1ヶ月間に計3回の低酸素トレーニング(高度3000m相当)を行った。そして、トレーニングの経過に伴う生理応答の変化、およびトレーニング前後での持久走能力の変化について検討した。

トレーニング中の心拍数は推定最高心拍数の60-70%, RPEは脚、心肺ともに13(ややきつい)以下と、長距離走選手がトレーニングを行う強度としてはそれほど高くないレベルであった。その一方で SpO_2 は、安静時で90%前後、運動時には80%前半にまで低下し、強い低酸素負荷がかかっていた。

本トレーニングの効果を見るために、トレーニング前後でビルドアップ走テストを実施した結果、ほとんどの選手で改善が見られた。なお、男女別に見ると、男子に比べて女子の方では改善率が低い傾向も見られたが、これは低酸素トレーニング時の負荷が、女子でやや低かったためと考えられた。

参考文献

- ・荒木就平, 山本正嘉: 高校生自転車競技選手を対象とした3年間のトレーニング効果; 5名の未経験者全員がインターハイに出場した事例. スポーツパフォーマンス研究, 3: 81-99, 2011.
- ・安藤隼人, 山本正嘉: Living low - training high方式の高所トレーニングにおける血液性状の変化; トレーニング期間中の適応過程に注目して. 第7回高所トレーニング国際シンポジウム総集編, pp.46-47, 2004.
- ・Borg, E., Borg, G., Larsson, K., Letzter, M., and

Sundblad, B. -M.: An index for breathlessness and leg fatigue. Scand. J. Med. Sci. Sports, 20: 644-640, 2010.

- ・Borg, G.: Perceived exertion; a note on "history" and method. Med. Sci. Sports, 5: 90-93, 1973.
- ・長谷川淳, 松村勲, 山本正嘉: 長距離走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.
- ・平川祐, 山本正嘉: カナディアンカヌー競技選手を対象とした通常酸素環境下および低酸素環境下でのカヌーエルゴメータ漕トレーニングの効果. トレーニング科学, 22: 63-75, 2011.
- ・一箭フェルナンドヒロシ, 中村夏実, 山本正嘉: 低酸素および高酸素環境下におけるカヤックパドルリング時のパフォーマンスと生理応答. トレーニング科学, 23: 167-176, 2011.
- ・猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷熙彦: トレッドミルによる青少年の運動処方に関する研究. 第1報体育学研究, 7: 99-107, 1964.
- ・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の身体作業能力に及ぼす効果. トレーニング科学, 13: 81-92, 2001.
- ・前川剛輝, 安藤隼人, 清水都貴, 山本正嘉: 自転車ロード競技選手に対するピーキングを目的とした低酸素トレーニングの実践事例; 2000・2001年度全日本学生個人ロードタイムトライアル優勝者の場合. トレーニング科学, 15: 187-196, 2004.
- ・小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性; Rating of perceived exertionの観点から. 体育学研究, 21: 4: 191-203, 1976.
- ・Williams, J. H., Powers, S. K., and Stuart, M. K.: Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. Med. Sci. Sports Exerc., 18: 168-173, 1986.

- ・ Wilber, R. L.: Altitude Training and Athletic Performance. Human Kinetics, Champaign, 2004.
(高地トレーニングと競技パフォーマンス, 川原貴・鈴木康弘監訳, 講談社サイエンティフィク, 東京, 2008)
- ・ 山地啓司: 新高所トレーニングの理論と実際. 日本運動生理学雑誌, 6: 73-81, 1999.
- ・ 山本正嘉: 常圧低酸素室を利用したLiving low - training high方式の高所トレーニング; その有効性とトレーニングの実際. 臨床スポーツ医学, 21: 31-37, 2004.
- ・ 山本正嘉: 高所トレーニングのこれまでとこれから; 増血パラダイムからの転換を考える. トレーニング科学, 21: 339-356, 2009.