

中学生の中長距離走選手を対象とした短期間集中型の低酸素トレーニングの試み

森 寿仁¹⁾, 米徳 直人²⁾, 山本 正嘉³⁾

¹⁾鹿屋体育大学大学院

²⁾始良市立帖佐中学校

³⁾鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

I. 緒言

低酸素環境におけるトレーニングは、適切に行えば、通常環境に比べて持久力をより大きく改善できることが知られている^{23,25,27,28)}。また近年、山本ら²⁸⁾は出入りが簡単な常圧低酸素室を用いて、低地での通常トレーニングに対する補助トレーニングとして行う低酸素トレーニングが、低地でのトレーニング効果を増大させるとし、living low-training low + training high方式を提案している。

このトレーニングの実例を見てみると、シニア持久系競技選手に対して「高強度」および「高頻度」(週に3回以上)で行われているもの^{2,5,7,9,14,15)}、「中強度」および「低頻度」(週に1-2回)で行われているもの^{1,4)}、「短期間」および「高強度」で行われているもの⁶⁾などが挙げられる。また近年では、発育期の中学生中長距離走選手を対象とした、「中強度」および「低頻度」の低酸素トレーニングが、走パフォーマンスの向上に有効であるという報告もみられるようになった^{16,18)}。

一方、自然の高地を使った短期間、合宿形式のトレーニングも¹⁾シニア長距離走選手を中心に頻繁に行われている。それらの期間は2-3週間が主流であるが¹³⁾、それよりも短期間(3泊4日)でも低地における走パフォーマンスの向上が見込めるとする報告もみられる^{12,21)}。

一般的に低酸素トレーニングは、全身持久力の改善を狙いとして行われており、この能力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発達する⁸⁾。また全身持久力に対するトレーニング効果も、身長発達速度が最大となる時期を境に大きくな

るとされている^{10,11)}。つまり、中学生期における低酸素トレーニングはシニア選手よりも、より短い時間の低酸素刺激でもトレーニング効果が見込める可能性がある。

著者らはこれまでに、中学生の中長距離走選手を対象として1)最適な負荷強度の検討、2)低頻度、中強度の低酸素トレーニングの効果、といった視点で研究を行ってきた^{16,18)}。本研究では、これまでの研究と同年代の中学生の中長距離走選手を対象として、2泊3日の夏期合宿中に1日1回(合計3回)の低酸素トレーニングを行うことによる、トレーニング前後の低酸素環境および低地でのパフォーマンスの変化について明らかにすることを目的とした。また、本研究の結果も含め、これまでの成果をまとめ、中学生持久系競技選手の低酸素トレーニング指針を提案することも目的とした。

II. 方法

1. 被検者

被検者は、K体育大学の研究協力校であるC中学校の陸上競技部中長距離走選手21名(男子12名、女子9名)であった。なお、トレーニング前後の測定を含めた、すべてのトレーニングに参加できた者(12名)を分析対象とした。表1は、被検者の身体特性を示したものである。

本実験計画は、所属機関の倫理審査委員会の承認を受けた上で実施した。実験計画承認後、すべての被検者とその保護者には、本実験の目的、方法、及びそれに伴う危険性などについて文書、及び口頭で説明を行い、実験への参加に同意を得た上で行った。

表1 被検者の身体特性

	被検者数	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
参加者全員	21名(男子:12名, 女子:9名)	14.0±0.9	158.4±9.4	46.2±10.2
Int-Tr群	9名(男子:6名 女子:3名)	14.2±0.6	159.9±9.1	47.6±9.2
Conti-Tr群	3名(男子:1名 女子:2名)	13.0±0.4	150.4±5.6	38.7±4.5

表2 2011年夏期合宿の練習メニュー

	1日目	2日目	3日目
早朝	移動	Jog 男子:8km 女子:4km	Jog 男子:8km 女子:4km
午前	漸増負荷試験	坂ダッシュ 男子:150m×10本+6本 200m×5本 女子:150m×8本+6本 200m×4本	低酸素トレーニング③
午後	低酸素トレーニング①	低酸素トレーニング②	移動

2. トレーニング方法

(1) トレーニングの概要

低酸素トレーニングは、C中学校の2011年夏期合宿の一環で行われた。表2は、その合宿の概要と練習メニューを示したものである。合宿は2泊3日の行程であり、合宿期間中に1日1回、合計3回の低酸素トレーニングを行った。なお、それ以外の練習は、低酸素トレーニングの疲労を考慮しながら低地でいった。

低酸素トレーニングは、海拔3,000m相当の酸素濃度(14.5%)に調整された常圧低酸素室内(トレーニング環境シミュレータ, エスペック社製, Japan)に入室して行った。なお、1回のトレーニングセッションの概要を図1に示した。

トレーニングを行うに当たって、過去の低酸素トレーニング経験により、トレーニング内容を変えた。すなわち、低酸素トレーニング経験を有する者は高強度インターバルトレーニング(A班およびB班)を、経験の無い者は森ら¹⁸⁾の研究と同様に中強

度の持続的運動(C班)を行った。

(2) コントロールテスト(CT)

1セット目はウォーミングアップを兼ねたコントロールテスト(CT)と位置づけ、3日とも主運動の前に低酸素環境において、自転車エルゴメーター(Aerobike75XLⅢ, Combi社製, Japan)を用いた同一強度でのペダリング運動を行った。運動強度の設定は、森ら¹⁸⁾の報告と同様とした。すなわち、15分間の運動の最初の5分間はウォーミングアップとして徐々に強度を漸増させ、5-15分の10分間を男子は1.7W/kg、女子は1.6W/kgの負荷で運動を行うこととした。

測定項目は、生理応答(動脈血酸素飽和度(SpO₂), 心拍数)および心理応答(主観的運動強度(RPE))とした。SpO₂は小型のパルスオキシメーター(Pulsox-3Si, Minolta社製, Japan)を指尖に装着した。心拍数は心拍計(t6d, Suunto社製, Finland)を用いて測定した。RPEはBorg et al.³⁾の

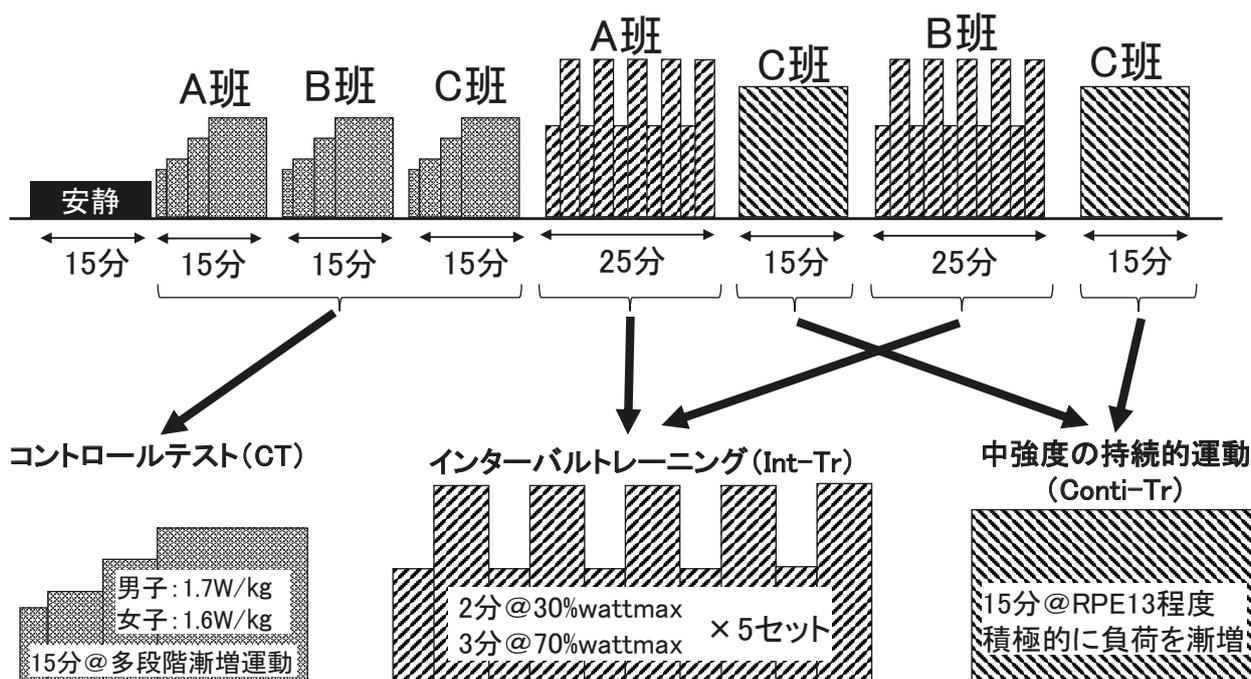


図1 低酸素室内でのトレーニングの概要

報告に基づいて、主観的な運動強度を脚の疲労感（脚）と息苦しさ（心肺）の2種類に分けて尋ねた。いずれも、測定値は5-15分間の同一強度運動中の最後の1分間の平均値を採用した。

(3) 主運動

① インターバルトレーニング (Int-Tr)

過去に低酸素トレーニング経験のある2年生および3年生（9名、Int-Tr群）は、1回のトレーニングセッションでInt-Trを1回実施した。そのプロトコルは、合宿1日目の午前中に行った漸増負荷試験（詳細は下記に示した）における最大負荷の30%での2分間のペダリングと70%での3分間のペダリングを5セット繰り返す（合計25分間）ものであった。なお、設定強度が強すぎた場合や弱すぎた場合には、各セットで検者が被検者の様子を見ながら、検者が被検者の同意のもと、2-5Wの範囲で強度を調整した。

測定項目は、CTと同様に生理応答（SpO₂、心拍数）および心理応答（RPE）であった。測定値は各強度の終了前10秒間の平均値を採用した。

② 中強度の持続的運動 (Conti-Tr)

過去に低酸素トレーニングの経験の無い1年生はConti-Trを行った（3名、Conti-Tr群）。そのプロトコルは、森ら¹⁸⁾と同様に、脚か心肺のいずれかの主観的な運動強度（RPE）のうち、高い方の値が13-14（ややきつい）となるように強度を調整し運動を行うものであった。運動強度の調整は、3分ごとに検者が、被検者の脚と心肺のRPEを確認し、検者が被検者の同意のもと、設定強度範囲内（RPEが13-14）となるように2-5Wの範囲で調整した。

測定項目は、CTと同様に生理応答（SpO₂、心拍数）および心理応答（RPE）であった。測定値はいずれも、3分間に1回、各セッションの最後の1分間の平均値を記録した。なお、各セッションで記録した値を平均し、1セット分の値として採用した。さらに、2セットの平均値をその日の値とした。

(4) パフォーマンステスト

① 漸増負荷テスト

合宿1日目の午前中に被検者全員を対象に漸増負荷テストを実施した。30Wでの3分間の自転車ペダリング運動を行った後、ランプ負荷において1分

で20Wずつ漸増させた。回転数は60rpmとし、回転数が55rpmを下回った時点で終了とし、終了した際の負荷を最大負荷とした。また、心拍数が170bpmになった地点における負荷をPhysical Working Capacity (PWC) 170とした。

② 1500m走

トレーニング期間の前後にC中学校周辺の1500mコースにおいて、タイムトライアルを実施した。なお、測定は比較的風がなく、グラウンドコンディションの良い日に行われた。

4. 統計処理

測定値は、すべて平均値±標準偏差で表した。各日のCT時、および主運動時の生理応答の値に対して、繰り返しのある一元配置分散分析を用いて検定を行い、有意な差が認められた場合には、Post-hoc testsとしてTukey法を用いて多重比較検定を行った。また、トレーニング前後のパフォーマンステストの変化には対応のあるt検定を用いた。危険率は、すべて5%未満を有意とした。なおConti-Tr群は、被検者が少なかつたため、統計解析は行わなかった。

Ⅲ. 結果

1. 低酸素トレーニング中の体調

本研究の被検者21名の内、9名は低酸素トレーニングまたは前後測定のいずれかに参加することができなかった。なお、その9名は本研究の分析からは除外した。その9名の内訳として、7名は合宿期間中または前後測定のいずれかを自身の事情(学校見学, 習い事)のため欠席し、2名は低酸素トレーニング期間中に気分が悪くなり、予定していたメニューをすべてこなすことができなかった者であった。その2名は、1名が過去に宮崎ら¹⁶⁾、森ら¹⁸⁾の研究の際に低酸素トレーニングを経験している者(A選手, 14歳男子)で、1名が初めて低酸素トレーニングを行う者(B選手, 13歳女子)であった。

A選手は、トレーニング2日目のCT後に頭痛の症状を訴え、低酸素室から退出して休息を取った。

その後、回復する傾向が見られたため、トレーニングメニューを変更し、Conti-Trを行った。その後は体調不良を催すことなく、3日目にはInt-Trを行うことができた。

B選手は、2日目のCT時に頭痛の症状を訴え、その日のトレーニングには参加しなかった。なお、1日目の低酸素室トレーニング時には頭痛などの症状を訴えることはなく、3日目には予定通り、Conti-Trを行うことができた。

2. CT時の生理および心理応答

図2は、心拍数、SpO₂および脚と心肺のRPEが、トレーニング経過に伴い、どのように変化したかを表したものである。Int-Tr群において、心拍数は1日目に対して、2日目、3日目に有意な低下がみられ、SpO₂は2日目から3日目にかけて有意な上昇がみられた。一方、脚と心肺のRPEはトレーニング期間を通じて有意な変化は見られなかった。

Conti-Tr群においては、心拍数とSpO₂はInt-Tr群と同様な変化を示し、脚と心肺のRPEは同一強度にもかかわらず、2日目から低下する傾向がみられた。

3. 主運動時の生理および心理応答

図3は、Int-Tr群の主運動中の運動強度、心拍数、SpO₂、脚と心肺のRPEが、トレーニング経過に伴いどのように変化したかを表したものである。トレーニング中の運動強度の平均値は、2日目から3日目にかけて有意な増加がみられた。一方、心拍数は、1日目から3日目にかけて有意な減少が認められた。また、SpO₂についても有意ではないものの、3日目には休息中に高い値を示すことが多く、平均値でも高い値を示していた。

図4は、Conti-Tr群の主運動中の運動強度、心拍数、SpO₂、脚と心肺のRPEが、トレーニング経過に伴いどのように変化したかを表したものである。トレーニングを経るごとに、運動強度、心拍数、SpO₂、脚と心肺のRPEが上昇する傾向にあった。中でも、SpO₂の上昇は非常に大きく、1日目から3日目にかけて3.4ポイントの上昇がみられた。

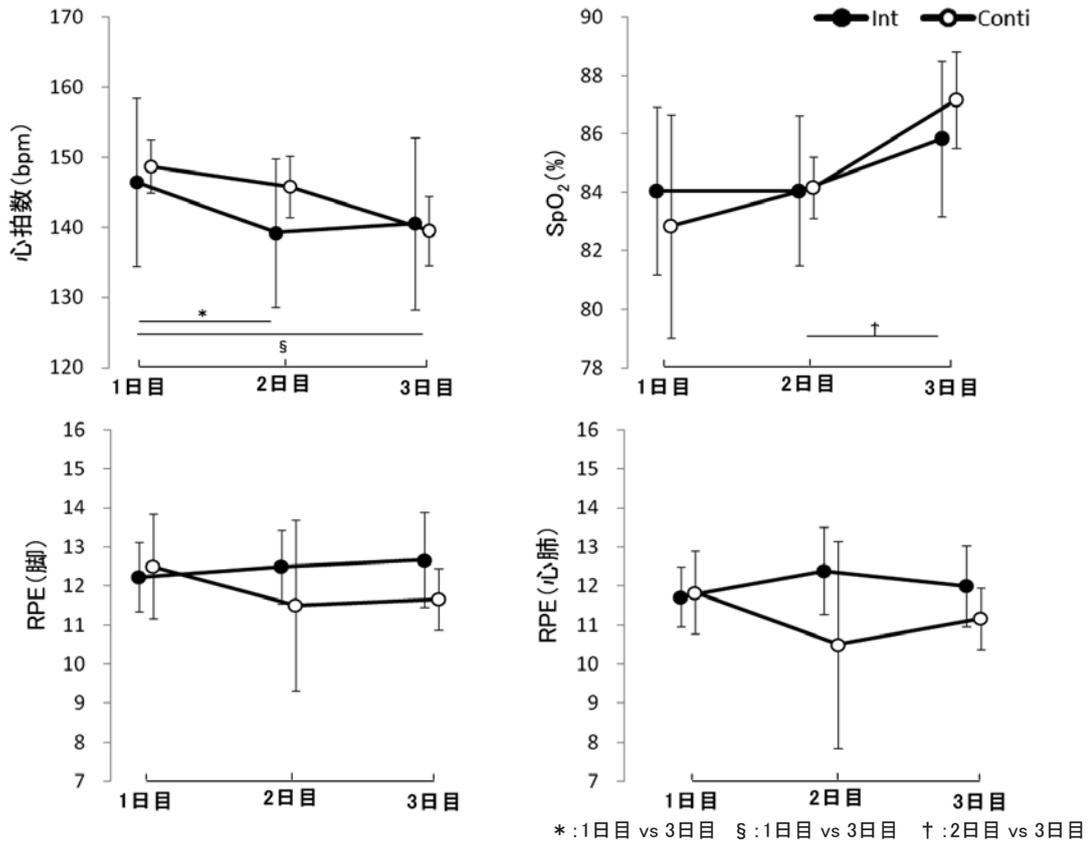


図2 CT時の生理応答および心理応答の変化

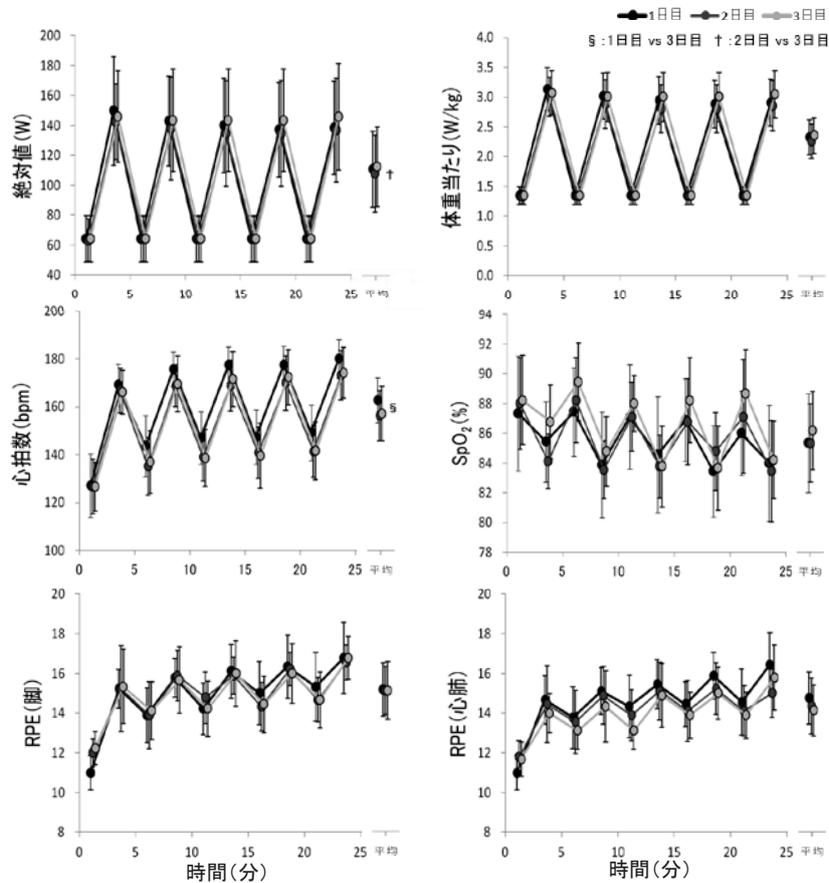


図3 Int時の運動強度、生理応答および心理応答の変化

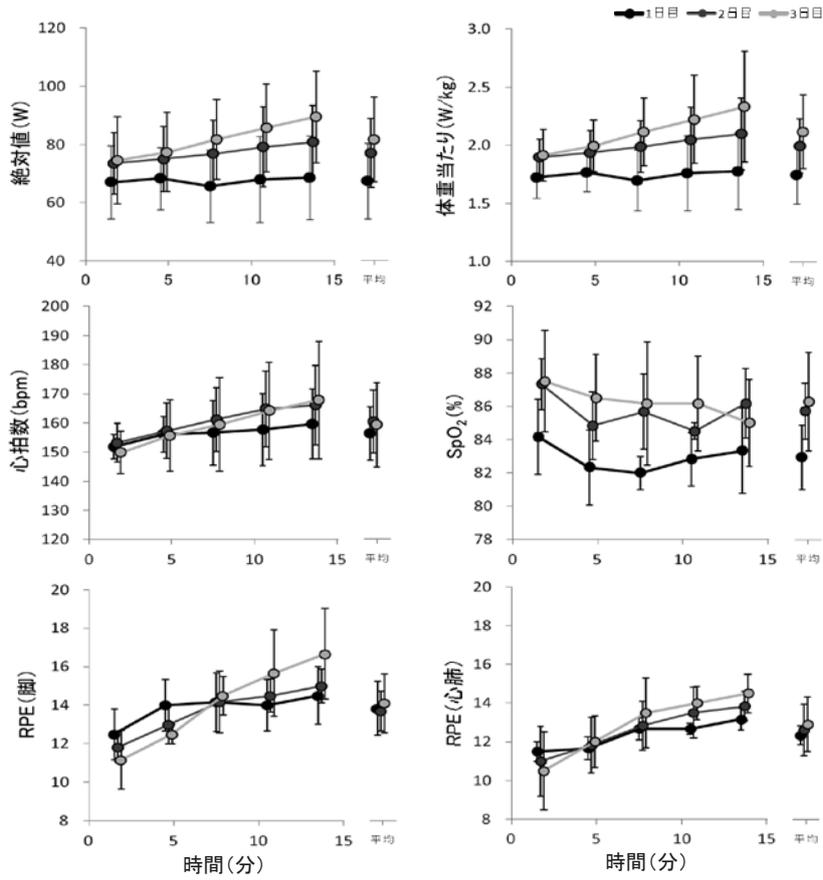


図4 Conti時の運動強度, 生理応答および心理応答の変化

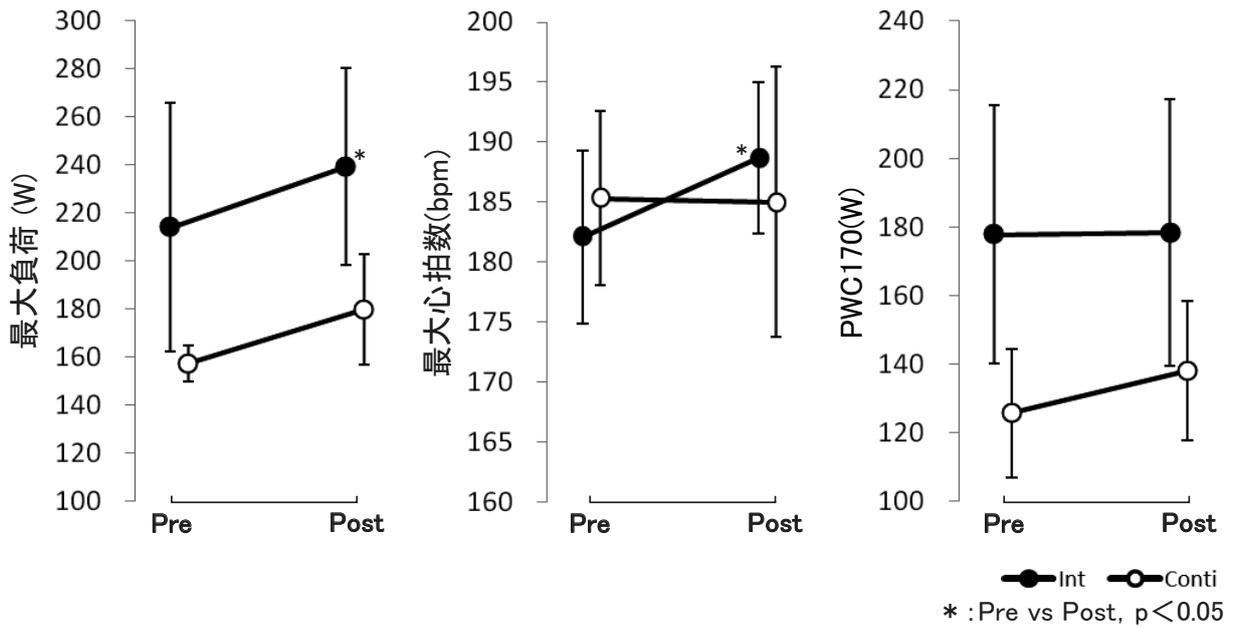


図5 トレーニング前後における漸増負荷試験時の最大負荷, 最大心拍数, PWC170の変化

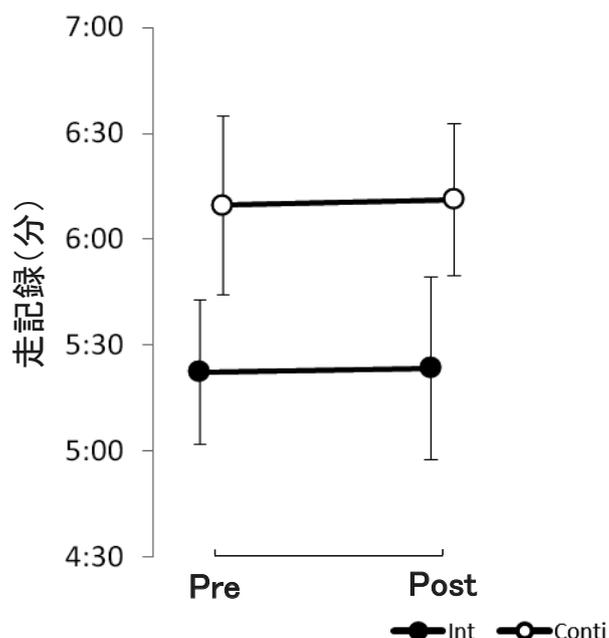


図6 トレーニング前後における1500m走記録の変化

4. 常酸素環境におけるパフォーマンス評価

図5はトレーニング前後の漸増負荷テスト時の最大負荷、最大心拍数、PWC170の変化を示したものである。Int-Tr群において最大負荷、最大心拍数が有意に増加したが、PWC170には有意な変化は見られなかった。一方、Conti-Tr群は最大負荷において157Wから180Wへと増加し（3名中3名が増加）、心拍数はPre、Postともに185bpmで変化は見られなかった（3名中2名は増加）。そして、PWC170は126Wから138Wへと増加がみられた（3名中3名が増加）。

図6はトレーニング前後の1500m走の記録の変化を示したものである。Int-Tr群は有意な変化は見られず、Conti-Tr群では3名中1名に記録の短縮がみられた。

IV. 考察

1. 低酸素トレーニング中の体調

本研究の被検者のうち2名（A選手、B選手）は、体調不良が原因で、予定していたトレーニングのすべてに参加することができなかった。A選手は、過去に低酸素トレーニングの経験があったものの、トレーニング2日目のCT後に頭痛の症状を訴え、低酸素室から退出して休息を取った。その

後、回復する傾向が見られたため、トレーニングメニューを変更し、Conti-Trを行った。B選手は、2日目のCT時に頭痛の症状を訴え、その日のトレーニングには参加しなかった。なお、1日目の低酸素室トレーニング時には頭痛などの症状を訴えることはなかった。

低酸素環境において頭痛を主症状とする体調不良は急性高山病の症状であると考えられている。そして、その急性高山病の発症のやすさについては個人差があることが言われている¹⁷⁾。しかしながら、宮崎ら¹⁶⁾や森ら¹⁸⁾が中学生を対象に行った低酸素トレーニングにおいては、トレーニングを中断するような急性高山病の発症はみられなかった。これには、急性高山病のかかりやすさに対する個人差に加え、夏期合宿による疲労の蓄積が関係していると考えられる。

すなわち、A選手は過去に低酸素トレーニングの経験があり、その際には体調不良を訴えていなかったことから、前日の漸増負荷試験や低酸素トレーニングの疲労が蓄積した上に、2日目の早朝と午前中の走練習の疲労が蓄積したことによって頭痛が誘発された可能性がある。また、B選手は今回が初めての低酸素トレーニングであったため、中強度の持続的トレーニングとしたが、中学1年生の女子である

ことなどを考えると、合宿形式では、トレーニング量が多く、強度も高かったことが考えられ、オーバーワークとなっていた可能性がある。また、高所では同じ高度でも、心肺系への負担が大きいほどAMSが出やすいと言われている²²⁾。つまり、低酸素トレーニングを初めて行う中学1年生の女子にとっては、標高3000m相当は非常に厳しい低酸素環境であった可能性があり、安全性を考慮すると、トレーニング初期の運動強度および高度はもう少し低く設定した方が良い可能性がある。

2. 低酸素環境下における生理応答の変化

宮崎ら¹⁶⁾や森ら¹⁸⁾は、本研究とほぼ同一の対象者に対して、低頻度かつ比較的低い強度での低酸素トレーニングを試みた結果、トレーニング後に心理応答の改善が認められ、内省報告としても、「呼吸が楽になる」、「苦しくなっても脚が動く」等の変化が認められたと報告している。一方、本研究では先行研究のような心理応答の変化はみられなかったが、CTおよび主運動時に心拍数の低下とSpO₂の上昇といった生理応答の変化が認められ、より高い強度で運動が行えるようになった(図2, 3, 4)。つまり、低酸素環境下におけるパフォーマンスの改善効果が認められたと言える。

奥島ら¹⁹⁾は、標高2500m相当の低酸素環境において、大学生を対象にLT強度における30分間の自転車ペダリングを1週間に6回の頻度で行わせた結果、低酸素環境下におけるSpO₂の増加とLT相当の運動強度の増加がみられたと報告している。一般的に、低酸素環境におけるSpO₂の増加は低酸素順化の指標とされており²⁴⁾、運動中のSpO₂の増加は、肺拡散レベルでの酸素取り込みの増加が起こり、有酸素エネルギー供給が増加していたと考えることができる。つまり、本研究の被検者において、3回目のトレーニング時には低酸素環境への順化が起こり、低酸素環境下でのパフォーマンスの向上が起こっていたと考えられる。

3. 低酸素トレーニングによる通常酸素環境での長距離走パフォーマンスへの効果

宮崎ら¹⁶⁾や森ら¹⁸⁾は、本研究とほぼ同一の対象者に対して、低頻度かつ比較的低い強度での低酸素トレーニングを試みた結果、走パフォーマンスの向上が認められている。本研究では、持久力のパフォーマンスの変化をみるために、自転車エルゴメーターを用いたPWC170と、野外のコースにおいて1500m走を実施した。その結果、Int-Tr群は両指標とも有意な変化は見られなかった。一方、Conti-Tr群では、1500m走には3名中1名にしか記録の向上みられなかったものの、PWC170では3名中3名に改善がみられた(図5, 6)。

本研究の低酸素トレーニングは、夏期合宿の一環として行ったものであった。先行研究では、本研究のような短期間の合宿形式の低酸素トレーニングにより、運動パフォーマンスの向上がみられた事例はいくつか報告されている。例えば、山本ら²⁶⁾は、2泊3日の富士登山後に、低地における有酸素性能力の向上が認められたことを報告している。小林¹²⁾、杉田²¹⁾も、陸上長距離走選手を対象に標高2,300m程度の高度で3泊4日の低酸素トレーニングを行い、走パフォーマンスの向上が認められたと報告している。しかし、これらの先行研究は本研究と違い、実際の高地でのトレーニングであり、本研究よりも低酸素環境への曝露時間が長い。

また、本研究のInt-Tr群とConti-Tr群のトレーニング内容をみると、1日のトレーニングにおける総運動時間はConti-Tr群の方が5分長い。また、主運動中の運動強度および生理応答の平均値をみると、両運動とも体重当たりの平均仕事率、心拍数、SpO₂は同様な値であった。つまり、低酸素刺激はConti-Tr群の方が長く、より長時間の低酸素刺激を受けてトレーニングを行っていたと言える。ただし、Int-Tr群とConti-Tr群の差が、少しの運動時間の差によるものだけとは考えにくい。

そこで、他の要因についても推察すると、本間ら⁶⁾は、過去に低酸素経験が無いカヌー競技選手において、低酸素トレーニングによるパフォーマンスの改善が大きかったことを報告している。つまり、本研究が初めての低酸素トレーニングであったConti-Tr群で低酸素の効果が現れ易かった可能性がある。

また、運動内容をみても、Int-Tr群の主運動の強度が高く、トレーニング後の測定時まで、疲労が蓄積していた被検者がいた可能性がある。実際に、Int-Tr後に脚の疲労がひどく、自転車エルゴメーターから降りる際に膝から崩れてしまう被検者もいた。オーバーワークによる一時的なパフォーマンスの低下が起こることは知られている²⁰⁾。つまり、本研究でもオーバーワークと同様な現象が起こっており、トレーニング後の測定時にInt-Tr群のパフォーマンスに変化が見られなかった可能性がある。一方Conti-Tr群では、森ら¹⁸⁾と同様な中強度のトレーニング方法であったため、その影響は少なくPWC170の増加が認められたのかもしれない。

本研究では、Conti-Tr群の参加者が少なく、統計的な変化は不明である。しかし、上記のような要因が個別にもしくは、複合的に関連し、通常酸素環境下でのパフォーマンスに関連していた可能性がある。今後さらに検討が必要である。

4. 本トレーニングの意義と中学生中長距離走選手に対する低酸素トレーニング指針の提案

過去に我々が中学生の陸上中長距離走選手を対象とした低酸素トレーニングは、「低頻度」「中強度」という形式をとっていた^{16,18)}。一方、本研究で実施した低酸素トレーニングは、夏期休業中に行う合宿の一部を低酸素トレーニングに置き換える形式で行われた。つまり、授業期間中の平日などに行えない低酸素トレーニングを、強化練習と位置付けて行う、短期集中型のトレーニングであった。

低酸素トレーニングの目的として、低地での運動パフォーマンスの向上と低酸素環境下での運動パフォーマンス低下の抑制という2種類が考えられる。本研究では、低酸素環境下における運動パフォーマンスの向上はみられたものの、低地におけるパフォーマンスの向上まではみられなかった。つまり、中学生中長距離走選手に対する「短期間」「短時間」の低酸素トレーニングは、低酸素環境下

表3 中学生の中長距離走選手に対する低酸素トレーニング指針

基本的な考え方	普段、低地で行っているトレーニングと並行させつつ、その補助トレーニングとして行う(ウエイトトレーニングのような存在と考える)。低地でのトレーニングによっては、決してかけられない負荷をかけるための手段として考える。このため、動脈血酸素飽和度が90%を下回るような高度や運動負荷を設定する(80%程度が標準的)。
体調への配慮	「睡眠不足」、「練習の疲労感がある」といった時には、頭痛などの急性高山病の症状が起こりやすいので、トレーニングを行うときには注意が必要。また、低酸素環境下では、高強度のトレーニング後に体調不良が起こりやすい。低酸素トレーニング中に頭痛が起こり始めた時には、速やかに低酸素室から退出し、通常酸素環境で安静をとるようにする。体調の回復がみられたときには、トレーニングを続行してもよいが、運動強度を下げるなど、負担度を減らすようにする。
高度	標高3,000m相当の低酸素環境でトレーニングを行うことを標準とするが、初めて低酸素トレーニングを行う人、高所に弱い人、体力レベルが低い人の場合には、高度2,000mを基準にトレーニングを始めること。トレーニング高度を決める際には、動脈血酸素飽和度、心拍数、主観的運動強度等を参考にする。(例：中強度で持続的な運動を行う際には、動脈血酸素飽和度80%程度、心拍数150-170bpm程度、主観的運動強度13-14程度)
運動の様式	長距離走選手に対しては、トレッドミル上でのランニングを行わなくても、自転車エルゴメーターを用いたペダリング運動で、走パフォーマンスの改善効果がみられる。
強度、時間、頻度	「短時間で高強度のインターバル運動」よりも「中強度で持続的な運動」の方が、安全かつパフォーマンスの改善が見込める。1回(1日)の低酸素トレーニングの時間は2-3時間程度とし、そのうち運動は30分-1時間程度とする。トレーニング頻度は、週1回でもパフォーマンスを改善させる効果があり、課外活動に時間を充てられる休日を利用したトレーニングが可能である。

におけるパフォーマンス低下の抑制には効果的であることが言える。

一方、低地におけるパフォーマンスの向上には課題が残った。これには前述のように、低酸素への曝露時間、運動内容、低酸素トレーニングの経験など、さまざまな要因が関連していると考えられる。特に、運動内容については、Int-Tr群では非常に強度が高く、一部の選手においてオーバーワークとなっていた可能性がある。

近年、陸上競技中長距離走選手に対して、自転車エルゴメーターを用いた戦略的なクロストレーニングにより、走パフォーマンスの向上がみられたとする報告がいくつかみられる^{18,29)}。自転車エルゴメーターには、物理的な衝撃を小さくしながらも、脚への負担をかけられるという利点がある。しかし、本研究のような低酸素環境下における「高強度運動」では、関節への負荷は少ないものの、脚筋への負荷が大きくなりすぎ、オーバーワークを起こしてしまっていた可能性がある。つまり、クロストレーニングを戦略的なトレーニング方法として用いる際には、脚筋の疲労も考慮しながら、トレーニング内容を考える必要があると言える。

これらの知見と、我々がこれまで行ってきた「中学生中長距離走選手を対象とした低酸素トレーニング^{16,18)}」の成果を踏まえて、山本²⁸⁾が示しているシニア競技者を対象とした低酸素トレーニング指針を、中学生中長距離走選手用に改編したものを暫定的に提案する(表3)。

V. まとめ

中学生の中長距離走選手21名(男子12名, 女子9名)を対象に、2泊3日の合宿中に、海拔3,000m相当に設定した常圧低酸素室内で1日1回、合計3回の低酸素トレーニングを行った。毎回のトレーニングにおいて、主運動の前にはコントロールテストとして、低酸素環境における同一強度での15分間の自転車ペダリング運動を行った。主運動は過去の低酸素トレーニング経験の有無をもとに2種類に分けて実施した。

低酸素トレーニングの経験を有するグループは2

分間の低強度、3分間の高強度の自転車ペダリング運動を5回繰り返す(合計25分間)間欠的運動を1セット行い、経験を有しないグループは主観的運動強度(RPE)が、13-14程度となるように調整された強度で、15分間の自転車ペダリング運動を2セット行った。トレーニング前後には、パフォーマンステストとして、低地で自転車ペダリングでの漸増負荷試験(最大負荷、PWC170)および1500m走を行った。

毎回のトレーニング時の主運動前に行った低酸素環境下でのコントロールテストにおいて、心拍数の低下および動脈血酸素飽和度の上昇がみられたものの、心肺と脚のRPEには有意な変化はみられなかった。一方、低地で行ったパフォーマンステストは漸増負荷試験時のPWC170、1500m走のいずれにおいても、有意な変化は見られなかった。

以上のことから、中学生期の中長距離走選手を対象とした補助トレーニングとしての短期間低酸素トレーニングは、低地でのパフォーマンス向上には直結しなかったものの、低酸素環境下におけるパフォーマンス低下の抑制には効果的であることが示唆された。

VI. 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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, 2004, pp.46-47.
- 3) Borg, E., Borg, G., Larsson, K., Letzter, M., Sundblad, B. M.: An index for breathlessness and leg fatigue. Scand. J. Med. Sci. Sports, 20: 644-650, 2010.
- 4) 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

- 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.
- 5) 平山祐, 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.
- 6) 本間洋樹, 山本正嘉：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. スポーツパフォーマンス研究, 4 : 212-227, 2012.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Kobayashi K., Kitamura K., Miura M., Sodeyama H., Murase Y., Miyashita M., Matsui H.: Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.*, 44(5): 666-672, 1978.
- 11) 小林寛道, 北村潔和, 大田順子, 早水サヨ子, 松井秀治：縦断的測定からみた女子生徒のAerobic Powerの発達と、トレーニングの影響. 体育学研究, 24 : 149-158, 1979.
- 12) 小林寛道：立山方式高所トレーニングをめざして；短期的高所トレーニングの効果. 第3回高所トレーニング国際シンポジウム'99立山（総集編）, 2000, pp.13-19.
- 13) 小林寛道, 日本体育協会：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－, 陸上競技, 日本体育協会, 東京, 2002, pp26-35.
- 14) 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.
- 15) 前嶋孝：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 : 227-280, 2001
- 16) 宮崎喜美乃, 窪田幸雄, 山本正嘉：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－. スポーツトレーニング科学, 13 : 1-7, 2012
- 17) 森寿仁, 宮崎喜美乃, 山本正嘉：3,000m台の高度で重度の急性高山病を発症しやすい登山者の生理的な特性. 登山医学, 32 : 127-135, 2012.
- 18) 森寿仁, 宮崎喜美乃, 山本正嘉：中学生の中長距離走選手を対象とした低頻度の低酸素トレーニングの効果. スポーツパフォーマンス研究, 5 : 41-54, 2013.
- 19) 奥島大, 山本正嘉：1週間の低酸素環境下での事前順化トレーニングが低酸素環境における運動能力および生理応答に及ぼす影響. 体力科学, 63 : 213-222, 2014.
- 20) Ratamess NA: Adaptation to Anaerobic Training Programs (Essentials of Strength and Conditioning). *Human Kinetics*. 2008, pp.126-129
- 21) 杉田正明：立山方式・短期的高所トレーニングの効果について；陸上競技中長距離選手を対象として. 3回高所トレーニング国際シンポジウム（総集編）, 2000, pp. 23-31.
- 22) Ward MP, et al.: Acute mountain sickness (High Altitude Medicine and Physiology: 3rd Ed). Oxford University Press, 2000, pp.215-231.
- 23) 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)

- ス, 川原貴・鈴木康弘監訳, 講談社サイエンティフィック, 東京, 2008), pp.88-96.
- 24) 山本正嘉: 登山の運動生理学百科. 東京新聞出版局, 東京, 2000, pp.231-233.
- 25) 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.
- 26) 山本正嘉, 岸本麻美, 烏賀陽信央, 鮮于攝, 浅野勝己, 前川剛輝, 平野裕一: 富士山を利用した短期間の高所トレーニングに関する研究-登山中の生理応答と登山後における身体能力の変化-. 登山医学, 28: 145-152, 2008.
- 27) 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.
- 28) 山本正嘉: 低酸素室を利用したトレーニング-競技力向上-. 体育の科学, 62(9): 711-717, 2012.
- 29) 吉岡利貢, 篠田知之, 鍋倉賢治: ランニングパフォーマンスに及ぼすクロストレーニングの効果-中・高強度自転車運動の導入-. トレーニング科学, 17(1): 57-68, 2005.