

準高所競泳トレーニングにおける呼吸循環応答の変化

今 村 貴 幸 加 藤 健 志
森 谷 暢

要 約

競泳競技歴が長く、日頃から十分なトレーニングを実施している非常に競技力の高い大学生競泳選手9名を対象に、海拔1,280mという環境において1週間（6泊7日間）の準高所トレーニングを行った。このような準高所トレーニングが呼吸循環系機能に及ぼす影響について検討を加えるため、準高所トレーニング実施前、実施中および実施後に自転車エルゴメータを用いた負荷漸増テストを実施し、最大酸素摂取量、換気量、最大酸素摂取量測定開始から疲労困憊に至るまでの運動時間および最高心拍数を測定した。その結果、準高所トレーニング期間中では実施前、実施後と比較して最大酸素摂取量は低くなる傾向にあり、換気量や最高心拍数は増加する傾向にあった。実施後において、最大酸素摂取量は実施前と比較し改善傾向にあり、換気量は有意に改善された。また、最大酸素摂取量測定開始から疲労困憊に至るまでの運動時間には実施前と実施後を比較したところ延長傾向がみられ、かつ、最高心拍数はより高いレベルまで達していることが明らかとなった。これらの結果は、競技歴が長く、日頃から十分なトレーニングを実施している非常に競技力の高い競泳選手では、準高所トレーニングによって呼吸循環系機能が向上し、結果、平地での身体作業能力に肯定的な影響が及ぶことを示唆するものである。以上のことから、海拔1,280 mという比較的生体にかかる負担が軽いと思われる低酸素環境を活用することで、トレーニング期間が1週間程度であり、競技力の高い競泳選手であっても、平地での作業成績や競技パフォーマンスを改善させる可能性が考えられる。

1. 緒 言

1968年の高所メキシコでのオリンピック開催をきっかけとして、世界的に高所トレーニングの実施および研究が盛んに行われるようになってきた¹⁾。我が国においても1960年代から高

所トレーニングの研究が行われるようになり、今日では陸上競技、トライアスロン、クロスカントリースキーや競泳など様々な競技種目で高所トレーニングが行われている。特に、競泳種目においては1980年代からアメリカ・アリゾナ州のフラッグスタッフを中心に高所トレーニングが行われている²⁾。高所トレーニングを行うことにより最大酸素摂取量、換気量、血液性状などの様々な生理的適応が生じ、結果、平地での作業成績が改善されるとの報告が多くみられる³⁻⁷⁾。そのため、北京オリンピックで世界記録を樹立し、金メダルを獲得した北島康介選手などの非常に競技力の高い選手においても積極的に高所トレーニングを行っている。

他方、高所トレーニングが平地における作業成績に及ぼす影響については、一致した見解が得られていないのが現状である²⁾。その原因として、高所トレーニング実施期間の体調の維持が容易ではないことや高所における生理的応答に個人差がみられることのほか、高所環境ではトレーニングの質や量を平地と同等のレベルに維持し難い⁸⁾ ことなどが挙げられる。

現在、高所トレーニングが行える環境は世界中に点在し、国際的な高所トレーニング地としてはアリゾナ州のフラッグスタッフ、中国の昆明、スペインのシェラネバダ、ボリビアのラパスなど35ヶ所20ヶ国に及ぶ⁹⁾。高所トレーニングを実施する際、その効果を得るための至適標高は1,800～2,000mであるとされている。競泳種目では海外において標高2,200mを中心に2～4週間の実施が主流となっている。しかしながら、海外で行う高所トレーニングには膨大な時間や予算が必要となり、必ずしも実施しやすい方法とは言えない。

国内においては、競泳種目における標高2,000m以上でのトレーニング施設はなく、標高が最も高い長野県菅平や、群馬県草津温泉などで標高1,300m前後である。そのため、近年では準高所環境における競泳選手のトレーニングに関して研究が盛んに行われている。

最大酸素摂取量に対する標高の影響は、競技能力の高いものほど比較的低い標高から影響を受けやすいとされている¹⁰⁾。そのため、たとえ標高が低くても、平地での競技パフォーマンスや作業成績を改善するために準高所環境でトレーニングを実施することの有用性は決して低くはない。

そこで、本研究では、準高所（海拔1,280m）環境における1週間の競泳トレーニングが呼吸循環機能に及ぼす影響について検討を加えることを目的とし、競技力の高い大学生競泳選手9名に対して準高所トレーニング実施前、中、実施後に漸増負荷テストを実施させ、そのときの最大酸素摂取量、換気量、最高心拍数および疲労困憊に至るまでの運動時間を測定した。

2. 方 法

(1) 対 象 者

対象は、大学生競泳選手9名(男子6名, 女子3名)であった。Table 1に、対象者の身体的特徴、競技歴を示す。対象者は、いずれも全日本選手権および全日本学生選手権において優勝もしくは入賞を有する者およびオリンピック出場経験者を含む、非常に高い競技レベルにあった。

対象者には、研究の意義、内容、危険性を十分に説明し、対象者はそれらを理解した上で、研究の参加に同意した。

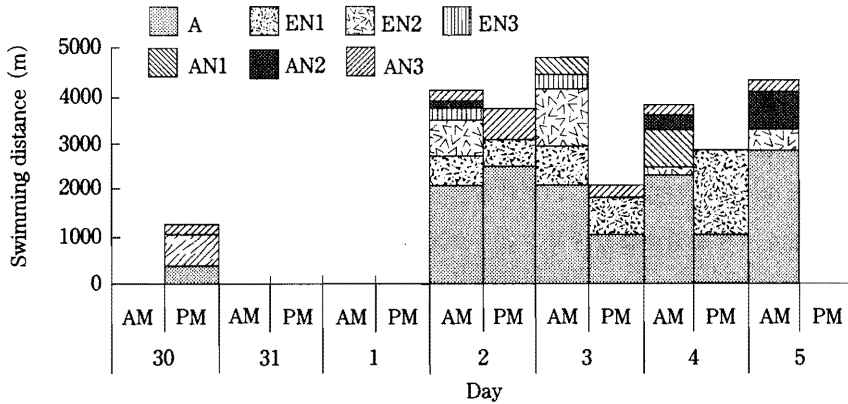
Table 1 被験者の特徴

Subject	Gender	Style	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	Training career (yrs)
A	Male	Breast	25	172	68	23.0	11
B	Male	Breast	26	180	77.5	23.9	15
C	Male	Breast	23	179	79	24.7	11
D	Male	Free	22	181	79	24.1	11
E	Male	Free	22	174	66	21.8	15
F	Male	Breast	19	175	71	23.2	13
G	Female	Breast	20	156	52	21.4	14
H	Female	IM	20	166	63	22.9	14
I	Female	Breast	19	174.5	67	22.0	12
mean			22.1	172.9	69.4	23.1	13.0
±SD			2.5	8.4	9.3	1.1	1.8

(2) 準高所トレーニングの内容

準高所トレーニングは、海拔1,280mに設置されている短水路(25m)競泳プールで行われた。トレーニング実施時間以外については、プールに隣接されている準高所宿泊施設に1週間(6泊7日)の日程で滞在した。準高所トレーニング期間中には、競泳トレーニングを8回実施し、トータルで27,175m泳がせた。準高所トレーニング中のトレーニング量およびトレーニング強度の変化を、Fig.1に示す。なお、Fig.1に示されているトレーニングカテゴリーについては、先行研究¹¹⁾にしたがって決定されたものである。つまり、A1は泳ぐための基礎となるエンデュランス・トレーニングであり、EN1は持久性を養うためのスレッシュホールド・トレーニング、EN2、EN3も同様に持久性を養うためのオーバーロード・トレーニング、AN1以降は競技時に最も必要なスピードやパワーをつくるためのラクトレート・トレーニング・トレ

Fig.1 準高所における各カテゴリーの泳距離



ーニング、AN2はラクトート・ピーク・トレーニングおよび、AN3はパワー・トレーニングとして分類されている。

なお、滞在2日目は競技大会形式による記録会を行い、1人2～4種目行っている。

(3) 漸増負荷テスト

対象者は、準高所トレーニングを実施する2～3日前と、準高所トレーニング滞在期間中3日目～6日目までと、準高所トレーニング終了3～6日後の間に、自転車エルゴメータ (Elgomedic 818e, Monaque社製) を用いた漸増負荷テストを実施した。そのプロトコルについては以下のとおりである。測定は、室温が20～26℃に保たれた環境において、対象者を30分間の座位安静に保持させた後に実施された。本研究で採用した漸増負荷テストは、男子選手は50 watt、女子選手は30 wattで3分間のウォーミングアップに引き続き、ペダリングの回転数を毎分60回転に保持させ、毎分男子選手は30 watt、女子選手は25 wattの漸増率で疲労困憊に至らしめるものであった。測定の終了基準については、最大酸素摂取量のプラトー現象がみられ、かつその低下開始が認められた時点で、ペダリング回転率が毎分50回転以下になったとき、あるいは対象者が運動継続困難であるとの意思を示したときとした。

測定項目は、酸素摂取量、換気量、心拍数、運動開始から測定終了までの運動時間 (以下 Endurance Time とする) とした。酸素摂取量、換気量、心拍数の測定については、breath by breathによる測定・分析が可能なテレメトリ式呼吸代謝計測システム (K4B2-JAPAN, COSMED社製) を用いて導出した。なお、breath by breathによって採取された呼気ガスデータは、15秒毎の平均値として扱った。

(4) 統計処理

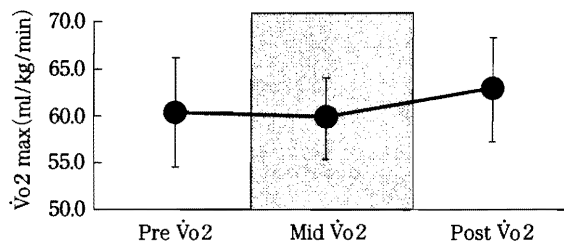
統計量は、平均値±標準偏差で示した。準高所合宿前、中および後の比較については、一元配置分散分析を用い、交互作用が認められた場合にはBonferroniの多重比較法を用いて解析した。なお、有意水準は5%未満とした。

3. 結 果

(1) 最大酸素摂取量

Fig.2に、準高所トレーニング実施前、実施中、実施後における最大酸素摂取量の変化を示す。準高所トレーニング実施後の最大酸素摂取量 (62.8 ± 5.6 ml/kg/min) は、その実施前 (60.4 ± 5.9 ml/kg/min) と比較して、 $4.4 \pm 7.9\%$ の増加が示されていた。また、準高所トレーニング実施中の最大酸素摂取量 (60.0 ± 4.5 ml/kg/min) であり、実施前と比べ $0.1 \pm 9.0\%$ 低下した。しかしながら3条件においては統計的に有意な変化を認めることはできなかった。なお、データを個別にみると、9名中6名の対象者において、準高所トレーニング実施後に高い最大酸素摂取量が示されていた。

Fig.2 準高所トレーニング実施前、実施中および実施後における最大酸素摂取量の変化



(2) 換気量

Fig.3に最高分時換気量の変化を示す。準高所トレーニング実施前における最高分時換気量は、 160.4 ± 32.5 l/kg/minであったが、準高所トレーニング実施中には 183.8 ± 33.4 l/kg/minへ増加していた。また、実施後では 172.3 ± 34.4 l/kg/minであった。分散分析の結果、条件による有意な主効果が認められ ($p < 0.01$)、多重比較検定を行ったところ、準高所トレーニング実施前と比較し、実施中および実施後で有意に高い値であった (実施前 vs. 実施中 $p < 0.05$, 実

施前 vs. 実施後 $p < 0.05$).

Fig.4 は, 準高所トレーニング実地前, 中, 後における換気量の変化を示したものである. 1 回換気量は, 準高所トレーニング実施前では $2.6 \pm 0.5 \text{ l}$, 実施中では $2.8 \pm 0.5 \text{ l}$, 実施後においては $2.6 \pm 0.5 \text{ l}$ と変化した. 分散分析の結果, 条件による有意な主効果が認められ ($p < 0.05$), 多重比較検定の結果, 準高所トレーニング実施前と実施中において有意な差が認められた ($p < 0.05$).

Fig.3 準高所トレーニング実施前, 実施中および実施後における最高分時換気量の変化

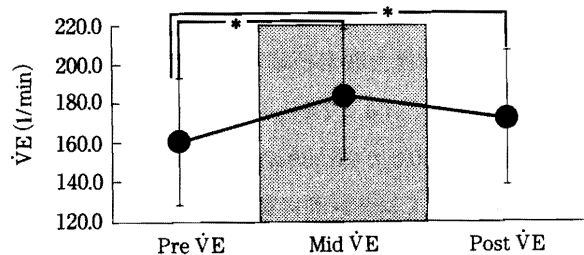
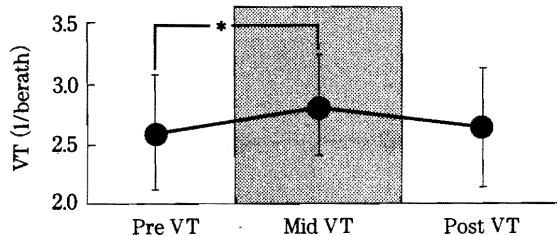


Fig.4 準高所トレーニング実施前, 実施中および実施後における換気量の変化

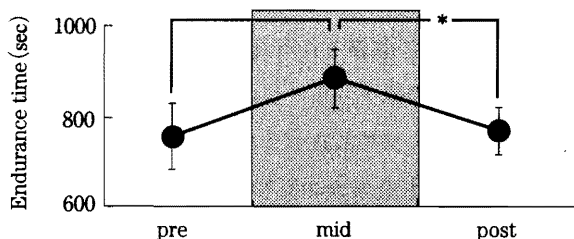


(3) Endurance Time

Fig.5 に, 準高所トレーニング前後における最大酸素摂取量測定開始から終了までに要した運動時間 (Endurance Time) の変化を示した. 準高所トレーニング実施前の Endurance Time は 12分40秒 \pm 1分15秒であったのに対し, 準高所トレーニング実施中では 14分47秒 \pm 54秒1であり, 準高所トレーニング後のそれは 12分50秒 \pm 1分17秒であった. 準高所トレーニング実施中 Endurance Time は, 準高所実施前および実施後に対して有意に高い値を示した ($p < 0.05$). また, 対象者9名に対し実施前と実施後を比較すると, 5名に延長傾向がみられた

($7.0 \pm 7.1\%$).

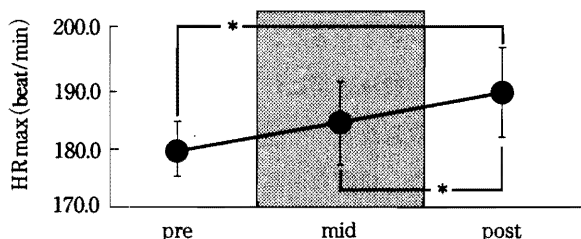
Fig.5 準高所トレーニング実施前, 実施中および実施後における測定時運動時間



(4) 最高心拍数

Fig.6 に準高所トレーニング前後における最高心拍数の変化を示した。準高所トレーニング前における最高心拍数は、 179.8 ± 4.8 beats/min, 実施中では、 184.4 ± 7.3 beats/min, 実施後では 189.8 ± 8.0 beats/min であった。分散分析の結果, 条件による有意な主効果が認められ ($p < 0.01$), 多重比較検定の結果, 準高所トレーニング実施後の最高心拍数は, 準高所トレーニング実施前, 実施中に比べ有意に高値を示した ($p < 0.05$)。準高所トレーニング前後の変化量は $5.5 \pm 3.6\%$ であった。

Fig.6 準高所トレーニング実施前, 実施中および実施後における最高心拍数の変化



4. 考 察

(1) 準高所トレーニングが最大酸素摂取能力に及ぼす影響

本研究では, 競技レベルの高い大学生競泳選手を対象に, 海拔1,280mにおける1週間(6

泊7日間)の準高所トレーニングが呼吸循環系機能に及ぼす影響を検討した。

準高所トレーニング実施前に対し、準高所環境での測定では9名中6名が低値を示し、準高所環境における最大酸素摂取量への影響が窺えた。また、準高所トレーニング実施後の測定においては6名が高値を示した。対象者の最大酸素摂取量の変化は有意ではないものの($p=0.17$)、準高所トレーニングによって改善される可能性を示唆するデータが得られた(Fig.2)。高所環境における最大酸素摂取量の低下現象については、標高が1,500mを超える場合、1,000mの高度上昇につき、指数関数的に10%程度減少するとされている³⁾。また、競技能力の高い者ほど、比較的低い標高においても低酸素の影響を受けやすい¹⁰⁾。SquiresとBuskirkによると、ランナーに対しての急性低圧低酸素暴露では、標高1,219mにおいて平地と比較すると最大酸素摂取量は4%の低下が認められたと報告している¹¹⁾。今回の研究においては、海拔1,280mで平地と比較し $0.1 \pm 9.0\%$ の低下と非常に小さいものであったが、測定を行ったのが準高所滞在から3日~6日目であり、標高1,000~1,300mであったとしても、高所(1,800~2,000mもしくはそれ以上)と同様の生理的初期効果が得られ、適応後は平地とほぼ同様な能力を発揮できるようになるとする意見¹⁾もみられることから、測定時には準高所環境に対する適応が起こっていたのではないかと推察される。

準高所トレーニング実施後における最大酸素摂取量の変化は $4.4 \pm 7.9\%$ の増加が示され、有意ではなかったが改善の傾向は認められた。先行研究において、4名の競泳選手を対象にした、短期間(4泊5日)の準高所トレーニング前後における最大酸素摂取量の変化として、対象者4名全てに改善($14.2 \pm 11.4\%$)が認められたとの報告があったが¹²⁾、本研究では9名中6名が改善するにとどまった。本研究における最大酸素摂取量の測定は、強化練習期間の中で行われており、対象者の身体的コンディショニングは必ずしも良い状態ではなかった可能性が考えられた。しかし、競技力の高い競泳選手に対し、1週間という期間であっても準高所トレーニング実施によって最大酸素摂取量改善の可能性が示唆された。これらの知見に関し、本研究での対象者は競技歴が長く、かつ、競技力が高い日頃から十分なトレーニングを実施しており、非鍛錬者に比して極めて高い最大酸素摂取能力を持っていたことに鑑みれば、海拔1,280mという準高所においても、準高所環境の影響を受けやすかったことが推察される。しかしながら、これらの結果に対して、短期間の準高所トレーニングを実施しても、最大酸素摂取量には大きな変化は認められないとする襦屋ら¹³⁾の報告があるが、襦屋らが高校の女子選手を対象としていたのに対して、我々は競技力の高い大学生の選手が対象であったことや、準高所滞在中におけるトレーニング強度や量の違いによるものかも知れない。高所トレーニングが平地における作業成績に及ぼす影響について一致した見解が得られていないとのことからも、今後

準高所トレーニング後における平地での競技パフォーマンスや作業成績の検討において、測定項目もより詳細な結果を得られるよう工夫していく必要があるであろう。

(2) 準高所トレーニングが換気能力に及ぼす影響

準高所トレーニングの実前、実施中および実施後において、1回換気量および最高分時換気量に変化が認められた (Fig.3, 4)。高度の上昇に伴い吸気酸素分圧の低下が起こり、それにより肺胞および動脈血中の酸素分圧も低下するが、高度が3,000 m以上になると、血中酸素分圧の低下に敏感な末梢化学受容器 (頸動脈小体, 大動脈体) が刺激され、換気量が増大し始める¹⁴⁾。このような現象は、準高所 (海拔1,000 m) においても、僅かながらみられることが報告されている¹⁵⁾。準高所 (海拔1,280m) 環境における、安静時動脈血中酸素飽和度 (SpO₂) を調べた研究では、起床時において準高所トレーニング実施前と比較し、滞在初日は有意に低値を示し、その後滞在期間中の起床時および就寝時SpO₂は準高所トレーニング前と比較し低値を示していたと報告されている¹⁶⁾。本研究において、準高所における1回換気量および最高分時換気量は共に準高所トレーニング実施前と比較し有意に高値を示した。このことは、準高所トレーニング実施中においては、呼吸系機能に高い負荷が関わっていた可能性を示唆するものである。すなわち、本研究で実施した準高所トレーニングは、準高所環境による低酸素の影響によるSpO₂の低下と、水中での止息を伴う中等度から高強度のトレーニングによる影響を複合的に受けるため、トレーニング中に低下すると考えられる酸素摂取量を補償するため、より一層の努力呼吸を強いられることになる。そのような強い刺激が呼吸循環系に及んだ結果、平地における漸増負荷テスト時の酸素摂取量および換気量が改善したのかも知れない。

最大酸素摂取量の改善においては、トレーニング強度が重要な一要因となる。しかし、通常の高所環境では最大酸素摂取量の低下から平地と比較して十分なトレーニング強度が確保できない可能性が高い。これに対し、今回我々が滞在したような準高所環境下では、トレーニング強度を保つ、あるいは増強させたトレーニングを実施できる可能性が考えられる¹⁶⁾。

この点については先行研究によって確認されている。つまり、準高所トレーニングを実施する1週間前と、準高所滞在後4日目に、OBLA相当の間歇泳と最大努力で行う間歇泳で構成される同一の間歇的トレーニングセットを実施した。

OBLA相当の間歇泳についてみると、通常トレーニング時と準高所トレーニング時で泳タイムが同じであったにも拘わらず、準高所時の血中乳酸濃度は顕著に高くなることが明らかとなった。一方、最大努力を強いる間歇的トレーニングにおいては、平地と準高所環境ではほぼ同様の泳タイムと血中乳酸濃度が示されていた。このことは、海拔1,280mであれば、平地と同様

の泳感覚での最大努力泳を、運動強度を損なうことなく実施することが可能になることを示唆するものである¹²⁾。したがって、準高所トレーニング期間に、高強度の持久的トレーニングを実施できたことが、準高所トレーニング終了後における平地での最大酸素摂取量の改善に大きく影響した可能性がある。

(3) 準高所トレーニングがEndurance Timeに及ぼす影響

次に、漸増負荷テスト時の総運動時間、すなわちEndurance timeの変化から、準高所トレーニングが身体作業能力に及ぼす影響について検討を加えた。

Endurance timeは、準高所トレーニング実施中が最も長く、実施前および実施後に対して有意に高い値を示した。準高所トレーニング実施前と実施後では僅かに増加する傾向にあったが、その変化は有意なものではなかった (Fig.5)。まず、準高所環境下において最もEndurance timeが長かった点については、高地における吸気酸素分圧および動脈血中酸素分圧の減少が、動脈血中酸素飽和度を低下させ、最大酸素摂取量の低下を誘発、その結果有酸素性パフォーマンスおよびトレーニング許容量の低下が起こる⁹⁾。準高所環境における最大酸素摂取量測定時において、Endurance timeの短縮が予測されていたが、異なる結果となった。先行研究によれば、良くトレーニングされた長距離ランナーを対象にした標高2,400mの擬似高地環境において、最大酸素摂取量レベルでの走速度 (vVO₂max) とvVO₂maxでの疲労困憊に至るまでの時間との間に反比例の関係があったと報告している。このことについて、疲労困憊に至るまでの走時間がより長くなったのは、高地で影響を受けない無酸素エネルギーの貢献によって引き起こされたと結論づけている¹⁷⁾。本研究において、同様に無酸素性のエネルギーが貢献していたか否かは不明であり、今後検討する必要がある。次に、準高所トレーニング実施前後におけるEndurance timeの変化については、間歇的な低酸素トレーニングにはトレーニング後のEndurance timeを延長させる効果があるものの、その効果が平地で得られたトレーニング効果に比較して有意に違わなかったとする片山らの報告¹⁸⁾に近似している。この点、本研究で対象とした競技者のトレーニング歴やトレーニング実施状況に鑑みれば、対象者の持久的諸能力はほぼ上限に達しており、Endurance timeを延長させることは極めて困難な競技者であったと考えても差し支えはない。このような対象者9名のうち、5名においてEndurance timeの改善がみられたことは特筆に値する。

(4) 準高所トレーニングがPeak HRに及ぼす影響

漸増負荷テスト時における最高心拍数 (Peak HR) の変化から、準高所トレーニングが運動

時の最高心拍数に及ぼす影響について検討を加えた (Fig.6). 準高所トレーニング実施後において, 実施前および実施中の最高心拍数に対して有意に高い値を示した. 高所滞在初期から数日における安静時と最大下運動時心拍数の応答は, 平地と比較して上昇するが, 最大運動時では同程度かそれよりは低くなる. 本研究では準高所トレーニング実施中で, 実施前と比較し僅かに高い値を示したが, 有意な差は認められずこれまでの報告と一致している. また, 本研究で実施した負荷漸増テスト時に記録された最高心拍数は, 準高所トレーニング実施後に有意に高まっていた. このことに関し, Mizuno¹⁷⁾らは高所トレーニングの前後で腓腹筋外側頭における筋緩衝能の増加率と, トレッドミル走における疲労困憊までのランニング走行時間の亢進率との間に正の相関があると報告している. 本研究の結果から, 筋緩衝能の変化の有無について言及することはできないが, 準高所トレーニングにおいて高強度のトレーニングが可能となった結果, このような筋緩衝能力の改善が生じ, 高強度運動における疲労困憊までの遅延現象¹⁸⁾が起き, 結果として高い心拍数での運動が可能になったのではないかと推察する¹⁹⁾.

本研究では, 準高所トレーニング実施前, 実施中および実施後において, 競泳パフォーマンステストを行っていないが, 先行研究において, 準高所における超高強度の間歇的トレーニング時の作業能力(平均タイム)と, トレーニング実施後の身体負担度(血中乳酸濃度)を定量化し, 通常環境で得られたデータとの比較から, 少なくとも海拔1,280m程度の準高所であれば, 運動強度を損なうことはないと言える結果であった. また, 準高所環境におけるこの点に関し, 平地では得られないような高い運動強度でのトレーニングを実施することが可能となり, 結果, 高い乳酸耐性能力や筋緩衝能力を獲得できるかもしれない.

現在, 準高所環境におけるトレーニングが及ぼす生理的応答^{15), 20)}, トレーニング効果^{12), 21-22)}およびコンディショニング²²⁾に関する研究が進み, その可能性が検討されている. 今後, より詳細な検討が進めば, 国内でも有効なトレーニング方法のひとつとして位置づけられる可能性がある.

5. ま と め

本研究では, 競技歴が長く, 日頃から十分な持久的トレーニングを実施している非常に競技力の高い大学競泳選手を対象として, 海拔1,280mという準高所環境において1週間(6泊7日), 集中的に競泳トレーニングを実施することにより, 呼吸循環系機能にどのような影響を及ぼすかについて検討を加えた. そのため, 準高所トレーニングの実施前, 実施中および実施後に, 疲労困憊まで追い込む漸増負荷テストを実施し, そのときの最大酸素摂取量, 換気量,

最高心拍数, 疲労困憊に至るまでの運動時間 (Endurance time) を導出した。本研究の結果, 平地と比較し準高所トレーニングの実施中では, 最大酸素摂取量は低下傾向にあり, 換気量およびEndurance timeは増加する傾向がみられた。最高心拍数に関しては僅かながら高値を示した。また, 実施後において, 最大酸素摂取量は増加傾向にあり, 換気量は有意に, Endurance timeは改善する傾向がみられた。以上のことから, 本研究で対象としたような非常に競技力の高い大学生競泳選手では, 国内においても比較的手軽に実施することが可能な準高所でのトレーニングにより, 呼吸循環系機能が高まり, 結果, 平地での作業成績に肯定的な影響が及ぶ可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 小林寛道 (2001), 高地トレーニングと低酸素トレーニングの発展, 体育の科学51: 260-265.
- 2) 青木純一郎, 小倉裕司 (2004), 低酸素トレーニングの歴史, 臨床スポーツ医学21: 1-6.
- 3) 浅野克己 (1999), 高所トレーニングの生理的意義と最近の動向, 臨床スポーツ医学16: 505-516.
- 4) 浅野克己 (1989), 高地トレーニング, スポーツ医学 103-110.
- 5) Adams, W.C., E.M. Bernauer, D.V.Dill, J. Bomar, Jr. (1975) Effect of equivalent sea-level and altitude training on Vo_{2max} and running performance. *J. Appl. Physiol.*39: 262-266.
- 6) Robert F. Chapman, James Stray-Gundersen, and Benjamin D. Levine (1998) Individual variation in response to altitude training. *J. Appl. Physiol.*85: 1448-1456.
- 7) Mizuno M., Juel C., Bro-Rasmussen T., Mygind E., Schibey B., Rasmussen B., Saltin B., (1990) Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J. Appl. Physiol.*68: 496-502.
- 8) (財) 日本体育協会・高地トレーニング医・科学サポート研究班 平成13年度 日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 No.IV JOC高地トレーニング医・科学サポート 第11報.
- 9) Randall L. Wilber著 川原貴, 鈴木康弘 監訳 (2008), 高地トレーニングと競技パフォーマンス 講談社サイエンティフィック 236.
- 10) Terrados, N., Mizuno, A., Anderson, H. (1985) Reduction in maximal oxygen up take at low altitudes; role of training status and lung function. *Clin. Physiol.*5 (suppl 3): 65-72.
- 11) 高橋雄介, 吉村豊 (1995), 男子大学競泳選手のトレーニングプログラム—最近3年間の比較検討—, 中央大学保健体育研究所紀要13: 55-88.
- 12) 今村貴幸, 加藤健志, 森谷暢 (2006), 短期間準高所トレーニングが呼吸循環応答に及ぼす影響, 中央大学保健体育研究所紀要24: 21-33.
- 13) 欄屋光男, 杉田正明, 川本竜史, 渡會公治, 川原貴 (1999), 標高1,300 mにおける水泳トレーニングが生理機能に及ぼす影響, 体力科学48: 393-402.
- 14) 宮村実晴 (2001), 低酸素環境における換気応答, 体育の科学. 51: 281-285.
- 15) 川上泰雄, 福永哲夫, 野崎大地 (1992), 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—, 東京大学教養学部紀要26: 89-94.
- 16) 加藤健志, 横山貴, 今村貴幸, 春日井亮太, 塚田将吾, 酒井健介, 杉浦克己, 寺尾保 (2008), 準高地における短期間の競泳トレーニングが血液性状等の生理的応答に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌20: 23-32.

- 17) Billat, V.L., P.M. Lepretre, R.P.Heubert, J.P. Koralsztein, and F.P. Gazeau. (2003) Influence of acute hypoxia on time to exhaustion at $v\dot{V}O_2\text{max}$ in unacclimatized runners. *International Journal of Sports Medicine* 24: 9-14.
- 18) 片山敬章, 佐藤靖文, 諸留克史, 島典広, 森滋夫, 石田浩司, 宮村実晴 (1999), 間欠的低酸素トレーニングが身体パフォーマンスに及ぼす影響, *デサントスポーツ科学* 10: 78-86.
- 19) 伊藤穂, 鈴木康弘, 山崎一彦, 高松薫 (2001), 低酸素トレーニングによる緩衝能の改善が高強度パフォーマンスに及ぼす影響, *デサントスポーツ科学* 22: 117-126.
- 20) 後藤真二, 野村孝路 (2001), 準高地トレーニングが水泳中の生理的応答に及ぼす影響, *水泳水中運動科学* 4: 25-29.
- 21) 森谷 暢, 藤原寛康, 加藤健志, 今村貴幸, 高橋雄介 (2005), 競泳選手における準高所トレーニングの可能性, *中央大学保健体育研究所紀要* 23: 77-94.
- 22) 藤原寛康, 森谷暢, 加藤健志, 今村貴幸, 高橋雄介 (2004), 低圧低酸素刺激に対する動脈血中酸素飽和度の反応における個人差と準高所トレーニング効果との関連性, *中央大学保健体育研究所紀要* 22: 47-59.