

# 中高年者に対する低圧低酸素環境下の 歩行運動が末梢循環に及ぼす影響

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 伊藤栄治 (体育学部スポーツ・レジャーマネジメント学科)

小澤秀樹 (医学部内科学系総合内科学) 桑平一郎 (医学部内科学系呼吸器内科学)

三田信孝 (体育学部生涯スポーツ学科) 山並義孝 (体育学部生涯スポーツ学科)

堀江 繁 (スポーツ医科学研究所)

The effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment  
on peripheral blood circulation in middle-aged and elderly men

Tamotsu TERAOK, Eiji ITO, Hideki OZAWA, Ichiro KUWAHIRA, Nobutaka MITA,  
Yoshitaka YAMANAMI and Shigeru HORIE



## Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment on peripheral blood circulation with accelerated plethysmogram (APG) in middle-aged and elderly men. According to APG findings, five waves (a-e) were discriminated in APG waveform. The region (a and e wave) above the baseline of APG was defined as positive area (+). The region (b, c, and d wave) below the baseline of APG was defined as negative area (-). Before (at rest) and after the training in a hypobaric hypoxic environment (HE) and a normobaric environment (NE), the following parameters were measured: APG Index, the ratios of b/a and d/a. APG Index was formulated as  $(-b + c + d)/a \times 100$ . In the experiment 1, sixteen male subjects volunteered for the present study. The subjects were asked to rest for 20 minutes in two environments: HE at a simulated altitude of 1500 m and NE at sea level. In the experiment 2, four male subjects were asked to exercise in HE (1500 m) for 60 min/day, 2-3 days/week for 4 weeks. The ratio of d/a at rest in HE was significantly higher than in NE ( $p < 0.001$ ). APG Index at rest in HE was significantly higher than in NE ( $p < 0.05$ ). APG was temporarily improved by acute HE. The ratio of b/a after the training for 4 weeks was significantly lower than that before the training ( $p < 0.05$ ). The ratio of d/a and APG Index after the training for 4 weeks were significantly higher than that before the training ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.05$ ). These results suggest that walking exercise in a hypobaric hypoxic environment may be a useful method for improvement of peripheral circulation and exercise treatment in middle and elderly men.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No.17, 16-22, 2005)

## I. 緒 言

近年、生活習慣病、とくに虚血性心疾患および脳血管疾患などの循環器疾患に対する身体運動の有効性が多く報告されている。肥満は、循環器疾患、糖尿病、高脂血症、高血圧症など多くの生活習慣病の危険因子の一つとしてあげられている。したがって、肥満の予防・改善は、生活習慣病を予防する一つ的手段であり、その予防・改善を目的として、身体運動が導入されている。循環器疾患に関する評価法としては、心電図および血圧の検査とともに血液循環動態の検査も重要な生理的意義を有するものと考えられる。血液循環動態の良否を判断するものとして、指尖容積脈波を二次微分した加速度脈波は、非観血的な末梢循環動態の一つの指標になること<sup>1-4)</sup>が報告されている。さらに、身体運動と加速度脈波からみた末梢の血液循環動態とに密接な関係があること<sup>5-8)</sup>も報告されている。

高地トレーニングは、一部のエリートスポーツ選手の競技力向上のみならず、幅広い年齢層のヒトに対する肥満の予防・改善および健康増進に貢献する可能性のあることが考えられる。事実、私たちは、人工的高地環境システム（低圧室）を用い、低圧低酸素環境下における血中乳酸濃度を指標とした持続的トレーニングと運動能力に関する研究<sup>9-10)</sup>を基に、肥満者およびウエイトコントロールを必要とするスポーツ選手を対象に、身体組成およびエネルギー代謝の面から歩行運動と減量・ウエイトコントロールに関する研究<sup>11, 12)</sup>について検討を行っている。これらの結果、スポーツ選手および肥満者の減量に対する標高1500 mに相当する低圧環境下で週3回の歩行運動は、身体的にも安全で安静時代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあることを認めている。また、中高年の肥満者を対象に、1回の低圧低酸素環境下（高地）と残り2回に常圧常酸素環境下（平地）の併用による歩行運動は、単に、常圧常酸素環境下の歩行運

動（週3回の頻度）に比較して、長期間にわたって継続することで安静時代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、効果的な減量ができる可能性のあること<sup>13, 14)</sup>も報告している。

前報<sup>15)</sup>では、中高年者の肥満者を対象に、加速度脈波からみた末梢循環の動態から、標高1500 mに相当する低圧低酸素環境下における歩行運動は、運動終了後にも、末梢循環が一時的に改善されることを報告している。

本研究では、その研究の一環として、これまでの成績を踏まえ、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における安静時の末梢循環の動態、さらには、低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

## II. 実験方法

### 1. 実験 1

まず、実験1では、中高年者を対象に、一過性の低圧低酸素暴露（安静時）が末梢循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

#### 1) 対象者

実験対象は、東海大学スポーツ講座 第1回「中高年者を対象とした高地環境下の運動・スポーツプログラムに関する講座」に参加した30名の中から男子16名（平均年齢 $61.7 \pm 4.3$ 歳、平均身長 $165.4 \pm 5.6$  cm、平均体重 $64.4 \pm 6.1$  kg）のデータを分析に用いた。

#### 2) 環境条件

低圧低酸素環境（HE）下の実験は、東海大学スポーツ医科学研究所に設置されている低圧（高地トレーニング）室を使用した。被験者は、常圧常酸素環境（NE）下と低圧低酸素環境下に分け、それぞれに安静状態を保持させ、末梢循環の測定を行わせた。

本研究では、NE（気圧、760 mmHg）およびHE（標高1500 mに相当する気圧、634 mmHg）にそれぞれ調整して行った（室温を20℃、相対湿

度55%)。

### 3) 加速度脈波の測定

安静時(通常20分以上の安静をとらせた後に測定)の加速度脈波は、被験者を座位姿勢にて、測定部位の右手第2指の指尖部を心臓レベルに保持して測定を行った。加速度脈波は、波形を構成する波をa~eに分類し、基線から上の部分をプラス(+)、下の部分をマイナス(-)と定め、これよりb/a値、d/a値および加速度脈波の総合的指標としてAPG Index =  $(-b+c+d)/a \times 100$ により求めた<sup>5,6)</sup>。このIndexは、5拍の脈波の平均値をその代表値とした。

### 4) 測定方法

末梢血液循環機能の測定は、加速度脈波計 ダイナパルス(SDP-100、フクダ電子株式会社)を用いて測定した。

### 5) 統計解析

結果は、平均値±標準偏差で表し、統計学的解析にはHEとNE(安静時)の有意差の検定にpaired t-testを用いた。統計的有意水準は、すべての検定において5%未満とした。

## 2. 実験2

実験2では、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における歩行運動を中心とした4週間のトレーニングが末梢循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

### 1) 対象者

実験対象は、中高年の男子4名(平均年齢52.8±6.6歳、平均身長169.3±7.0 cm、平均体重69.5±13.9 kg)を被験者とした。なお、被験者には、研究の目的、内容を十分に説明し、実験参加への同意を得た。

### 2) 環境条件

低圧低酸素環境(HE)下の実験は、東海大学スポーツ医科学研究所に設置されている低圧(高地トレーニング)室を使用した。

本研究では、HE(標高1500 mに相当する気圧、634 mmHg)にそれぞれ調整して行った(室温を20℃、相対湿度55%)。

### 3) 運動負荷テストおよびLTの判定

運動負荷テストの測定には、トレッドミル(速度を6 km/hに固定)を用い、4~5種類の異なった傾斜角を選んで、低角度からそれぞれ10分間の歩行運動を行わせた。各運動の間には、10分間の休息時間を入れた。

血中乳酸濃度は、各10分間の運動終了直後に指先から微量の採血を行って測定した。LTの判定は、運動強度と血中乳酸濃度との関係から、LTに相当するトレッドミル傾斜角を求めた。

### 4) 持久的トレーニング

低圧低酸素環境下における持久的トレーニングは、4週間にわたり、週2~3回の頻度で、1日60分間の歩行運動とした。運動後、被験者は、低圧低酸素環境下で60分間の安静状態を保持した。トレーニングを行わない日は、日常生活の中で1日最低7000歩を実施するという条件で、被験者の腰部にライフコーダ(スズケン)を装着して1日の総歩行数(消費カロリー)を計測させた。

### 5) 加速度脈波の測定

トレーニング前後の加速度脈波の測定は、常圧環境下(気圧760 mmHg、室温20℃、相対湿度55%)で、前日の夕食後12時間以上の絶食状態で午前8時から9時に測定を行った。なお、トレーニング後の加速度脈波の測定は、歩行運動終了の2日後に行った。被験者は、座位姿勢にて、測定部位の右手第2指の指尖部を心臓レベルに保持して測定を行った。加速度脈波の測定は、実験1と同様な方法によって行った。

### 6) 測定方法

末梢血液循環機能の測定は、BCチェッカー(株式会社フューチャー・ウェイブ、日本)、血中乳酸濃度がグルコース・ラクテートアナライザー2300STAT(米国、YSI社)をそれぞれ用いて測定した。

### 7) 統計解析

結果は、平均値±標準偏差で表し、統計学的解析にはトレーニング前後における有意差の検定にpaired t-testを用いた。統計的有意水準は、すべての検定において5%未満とした。

### Ⅲ. 実験結果

#### 1. 実験 1

1) 低圧低酸素環境下における安静時の加速度脈波波形比 (b/a, d/a) の変化

図 1 および 2 に NE および HE の安静時における

る加速度脈波波形比 (b/a, d/a) の変化を示した。安静時の b/a 値は、HE が NE に比較して、有意な低下が認められなかったが、d/a 値は HE が NE に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.001$ )。

2) 低圧低酸素環境下における安静時の APG Index の変化

NE および HE の安静時における APG Index の

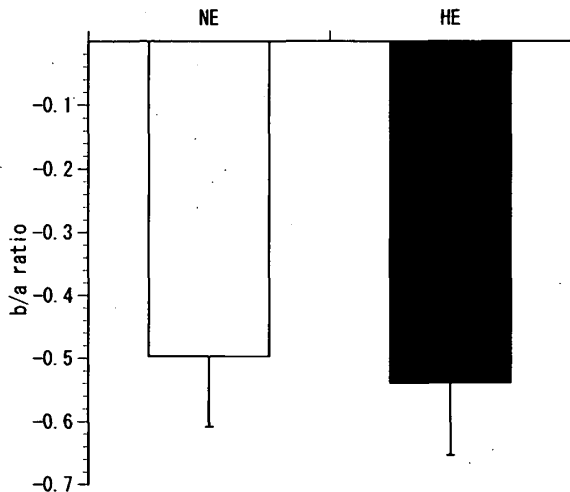


図 1 低圧低酸素環境下における安静時の加速度脈波波形比 (b/a) の変化 (\* $p < 0.05$ )

Fig. 1 Changes in parameter (ratio of b/a) of APG at rest in NE and HE.

Values are expressed as means  $\pm$  SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment (\* $p < 0.05$ )

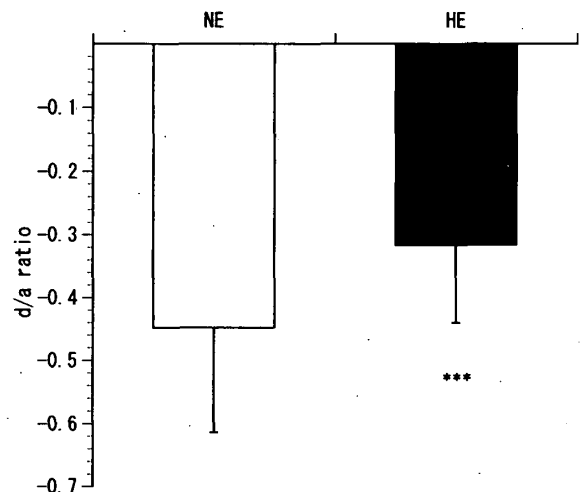


図 2 低圧低酸素環境下における安静時の加速度脈波波形比 (d/a) の変化 (\*\*\*) $p < 0.001$ )

Fig. 2 Changes in parameter (ratio of d/a) of APG at rest in NE and HE.

Values are expressed as means  $\pm$  SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment (\*\*\*) $p < 0.001$ )

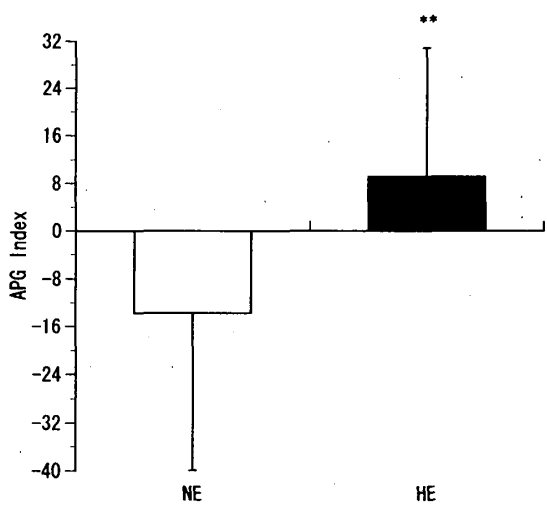


図 3 低圧低酸素環境下における安静時の加速度脈波指数の変化 (\*\* $p < 0.01$ )

Fig. 3 Changes in APG Index at rest in NE and HE. Values are expressed as means  $\pm$  SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment (\*\* $p < 0.01$ )

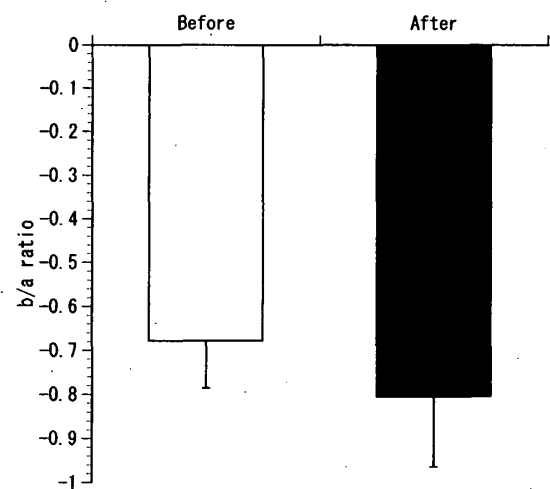


図 4 4 週間のトレーニング前後における加速度脈波波形比 (b/a) の変化 (\* $p < 0.05$ )

Fig. 4 Changes in parameter (ratio of b/a) of APG before and after the training for 4 weeks. Values are expressed as means  $\pm$  SD. (\* $p < 0.05$ )

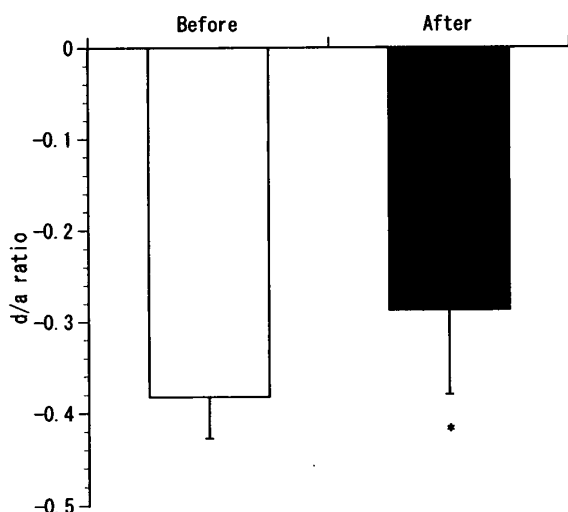


図5 4週間のトレーニング前後における加速度脈波波形比 (d/a) の変化 (\* $p < 0.05$ )

Fig. 5 Changes in parameter (ratio of d/a) of APG before and after the training for 4 weeks.

Values are expressed as means  $\pm$  SD. (\* $p < 0.05$ )

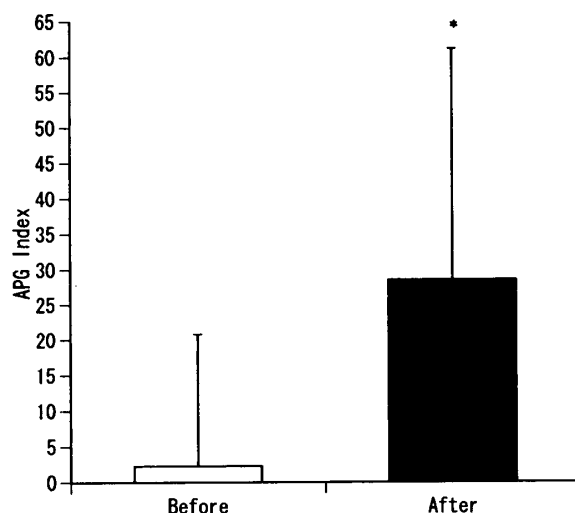


図6 4週間のトレーニング前後における加速度脈波指数の変化 (\* $p < 0.05$ )

Fig. 6 Changes in APG Index before and after the training for 4 weeks.

Values are expressed as means  $\pm$  SD. (\* $p < 0.05$ )

変化を図3に示した。安静時のAPG Indexは、HEがNEに比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.01$ )。

## 2. 実験2

### 1) 4週間のトレーニング前後における加速度脈波波形比 (b/a, d/a) の変化

図4および5にトレーニング前後における加速度脈波波形比 (b/a, d/a) の変化を示した。トレーニング後のb/a値は、トレーニング前に比較して、有意な低下を示した ( $p < 0.05$ )。

トレーニング後のd/a値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.05$ )。

### 2) 4週間のトレーニング前後におけるAPG Indexの変化

トレーニング前後におけるAPG Indexの変化を図6に示した。トレーニング後のAPG Index値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.05$ )。

## IV. 考 察

本研究では、非観血的に末梢循環動態を評価する検査法の一つとして指尖容積脈波を二次微分した加速度脈波があり、この検査法を用い、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における安静時の末梢循環の動態(実験1)、さらには、低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢循環の動態(実験2)にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

その結果、実験1における加速度脈波の波高比であるd/a値、さらには、総合的指標のAPG IndexはHEがNEに比較して、有意な上昇を示した。加速度脈波の波高比であるb/a値は、血管の伸展性(血管の柔らかさ)を示すもので、d/a値は機能的血管壁の緊張や動脈硬化による器質的硬化を反映すると考えられている<sup>1-3)</sup>。一般的に、加齢とともにb/a値は上昇(b波が浅くなる)し、d/a値は低下(d波が深くなる)すること<sup>4)</sup>が報告されている。加速度脈波の総合的評価であるAPG Indexは、加齢に伴い低下する。また、虚血性心疾患の患者を対象に末梢血管拡張剤であるニトログリセリン投与による降圧時には

b/a 値が減少し、d/a 値は上昇するのに対して、末梢血管収縮剤であるアンジオテンシン投与による昇圧時には b/a 値が増大し、d/a 値は減少すること<sup>4)</sup>が認められている。したがって、血管拡張に伴う加速度脈波の変化として、とくに、顕著に現れるのは d/a の変化である。そこで、本研究の結果、標高1500 m 程度の高地環境では、平地よりも、この d/a 値の上昇とともに APG Index の上昇も認められ、末梢循環の評価も一時的に高い機能を維持できることが示唆された。

実験2では、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における歩行運動を中心とした4週間のトレーニングが末梢循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。その結果、トレーニング後における加速度脈波の波高比は、トレーニング前に比較して、b/a 値が有意な低下を示し、d/a 値および APG Index が有意な上昇を示した。従来、平地で長期間（3カ月、週3回程度）、持久的トレーニングを継続することによって安静時における加速度脈波の波形も改善され、b/a 値が小さくなり、d/a 値および AGP Index が大きくなり、波形タイプも若年者のタイプへの移行がみられること<sup>7)</sup>が報告されている。これらの結果から、安静時およびトレーニング後の生理応答が標高の違いによっても効果の出現時期が異なっていたことが推察される。したがって、平地および本研究の結果を基に考えると、標高1500 m に相当する低圧低酸素環境下で歩行運動を継続的に実施した場合、従来のエネルギー代謝の成績<sup>14)</sup>と同様に、平地での運動よりも低圧低酸素環境である高地での歩行運動の方が末梢循環動態の面でも比較的早期にこれらの効果をもたらすことが考えられる。本研究における加速度脈波の変化は、低圧低酸素環境下における持久的トレーニングが中高年者の末梢循環動態に機能的な改善をもたらしたことを示唆している。すなわち、標高1500 m に相当する低圧低酸素環境下で歩行運動を継続的に実施すると、低圧低酸素刺激と運動刺激の相乗作用が末梢血管の伸展性の増加、血管の拡張などから、末梢循環を改善することが示唆される。

これらの効果は、現在までに報告してきている一連の研究<sup>11, 12, 16)</sup>で、週3回程度の標高1500 m に相当する低圧環境下の歩行運動が身体的に安全で、比較的短期間で乳酸処理能力を向上させ、基礎代謝（安静時代謝）および脂質代謝の改善が行われるとともに、末梢循環動態の改善にも大きく関与することが示唆される。

以上、本研究の成績から、中高年者に対する標高1500 m に相当する低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環を比較的早期に改善することが示唆された。

## V. まとめ

本研究は、中高年者を対象に、低圧低酸素環境下における安静時の末梢循環の動態（実験1）、さらには、低圧低酸素環境下における定期的な歩行運動が末梢循環の動態（実験2）にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) 実験1における安静時の b/a 値は、両環境間に有意な差がみられなかったが、d/a 値は、HE が NE に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.001$ )。
- 2) 実験1における安静時の APG Index 値は、HE が NE に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.01$ )。
- 3) 実験2におけるトレーニング後の b/a 値は、トレーニング前に比較して、有意な低下を示した ( $p < 0.05$ )。トレーニング後の d/a 値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.05$ )。
- 4) 実験2におけるトレーニング後の APG Index 値は、トレーニング前に比較して、有意な増加を示した ( $p < 0.05$ )。

以上、本研究の成績から、中高年者に対する標高1500 m に相当する低圧環境下における定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環を比較的早期に改善することが示唆された。

## 参考文献

- 1) 高沢謙二, 伊吹山千春: 加速度脈波, 現代医療, 20: 948-955, 1988.
- 2) 高沢謙二, 伊吹山千春: 加速度脈波の有効性, 臨床検査, 33: 858-862, 1989.
- 3) 鈴木明裕, 山川和樹, 藤沼秀光, 須藤秀明, 小川研一: 弾性動脈の伸展度 (Distensibility) と, 加速度脈波との関係についての検討, 日本臨床生理学雑誌, 20: 113-123, 1990.
- 4) 高沢謙二: 加速度脈波について, フクダ福田電子株式会社, 1998.
- 5) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博: 加速度脈波による血液循環の評価とその応用, 労働科学, 61(3): 129-143, 1985.
- 6) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博: 加速度脈波による血液循環の評価とその応用 (第2報) 一波形の定量化の試み一, 体力研究, 68: 17-25, 1988.
- 7) 佐野裕司, 片岡幸雄, 小山内博: 身体トレーニングが加速度脈波に及ぼす影響 (その2) 一長期トレーニングの影響一, 千葉体育学研究, 16: 47-53, 1993.
- 8) 西村千尋, 今村裕行, 森脇千夏, 二神友美, 城田知子, 今村英夫, 嶋田良子, 内田和宏: 運動療法が中高年女性の加速度脈波に及ぼす効果について, 日本運動生理学雑誌, 5(2): 145-152, 1998.
- 9) 寺尾 保, 中村 豊, 松前光紀, 山下泰裕, 張楠, 三田信孝, 新居利広, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 齋藤 勝: 低圧環境下における血中乳酸濃度 4 mM レベルを指標とした持久的トレーニング負荷強度についての検討, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 8: 65-72, 1996.
- 10) 寺尾 保, 恩田哲也, 中村 豊, 有賀誠司, 松前光紀, 田辺晃久, 山下泰裕, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 齋藤 勝: 低圧環境下における持久的運動負荷時に気圧変動をさせた場合の血中乳酸濃度および心拍応答に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 9: 28-33, 1997.
- 11) 寺尾 保, 木村季由, 湯浅康弘, 袋館龍太郎, 恩田哲也, 有賀誠司, 中澤一成, 山並義孝, 中村 豊, 齋藤 勝: スポーツ選手の減量に対する低圧環境下の歩行運動が身体組成およびエネルギー代謝に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 11: 22-29, 1999.
- 12) 寺尾 保, 木村季由, 恩田哲也, 有賀誠司, 中村 豊, サンドゥー・アダルシュ, 山並義孝, 齋藤 勝: 肥満者およびスポーツ選手の減量に対する低圧環境下における歩行運動の有効性, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 13: 15-23, 2001.
- 13) 寺尾 保, 桑平一郎, 宮川千秋, 恩田哲也, 中村豊, 三田信孝, 山並義孝, 齋藤 勝: 肥満者の減量に対する低圧環境下および常圧環境下における歩行運動の有効性, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 15: 32-38, 2003.
- 14) Terao, T., Miyakawa, C., Yamanami, Y., Saito, M.: The effects of walking exercise in hypobaric and normobaric environments on resting metabolic rate and body composition in obese adults. *Osterreichisches Journal fur Sportmedizin*, 33(2): 26-31, 2003.
- 15) 寺尾 保, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 恩田哲也, 中村 豊, 山並義孝, 堀江 繁: 肥満者に対する低圧低酸素環境下の歩行運動が運動終了後の末梢血液循環に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 16: 61-68, 2004.
- 16) Terao, T., Onda, T., Aruga, S., Yamanami, Y.: Effects of walking exercise in a hypobaric environment on the body composition and energy metabolism of obese subjects. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 4(4): 161, 1999.