



中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が運動中および運動終了後の自律神経系に及ぼす影響

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 両角 速 (体育学部競技スポーツ学科)
栗田太作 (情報教育センター) 小澤秀樹 (医学部内科学系総合内科学)
瀧澤俊也 (医学部内科学系神経内科学) 灰田宗孝 (健康推進センター)
内田晴久 (教養学部人間環境学科) 内田裕久 (工学部原子力工学科)

The Effects of Walking Exercise in a Hypobaric Hypoxic Environment
on the Autonomic Nervous System during and post Exercise in Middle-aged
and Elderly Persons

Tamotsu TERAO, Hayashi MOROZUMI, Daisaku KURITA, Hideki OZAWA,
Shunya TAKIZAWA, Munetaka HAIDA, Haruhisa UCHIDA and Hirohisa UCHIDA



Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment on the autonomic nervous system middle-aged and elderly persons. Six male adults (49.0 ± 10.2 years) volunteered for this study. The subjects walked for 45-60 minutes on a treadmill in two environments ; normobaric normoxic environment (NE) at sea level ; and hypobaric hypoxic environment at 1500m (HE) simulated altitude. The following parameters were measured during exercise and next morning post exercise in NE and HE for 2 days ; heart rate, RPE, arterial oxygen saturation (SpO_2), the autonomic nervous system (HF normalized unit; HFnu, LF/HF). Our results showed (1) the SpO_2 during exercise in HE was significantly lower than that in NE ($p < 0.01$); (2) the RPE during exercise in HE was significantly higher than that in NE ($p < 0.05$); (3) the heart rate during exercise in HE was significantly higher than that in NE ($p < 0.05$); (4) the HFnu during exercise in HE was significantly lower than that in NE ($p < 0.05$); (5) the HFnu post exercise in HE showed a tendency higher than that in NE; (6) the LF/HF post exercise in HE showed a tendency lower than that in NE. These results suggest that walking exercise in hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude for 2 days may be a useful method for stimulating the activity of the autonomic nervous system in middle and elderly persons. (Tokai J. Sports Med. Sci. No. 25, 69-77, 2013)

I. 緒 言

従来、私たちは、高地（低圧低酸素環境）トレーニングが一部のエリートスポーツ選手の競技力向上のみならず、スポーツ選手の減量や幅広い年齢層の人々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^{1,2)}を報告している。さらに、私たちの先行研究では、人工的高地環境システムの低圧室を用い、標高1500mに相当する低圧環境下での歩行運動は、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³⁾、また、低圧低酸素環境下と常圧常酸素環境下（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、より効果的な減量ができる可能性のあること^{4,5)}等も報告している。

中高年者を対象とした低圧低酸素環境と運動に関する先行研究では、加速度脈波および皮膚温度からみた末梢循環の動態から、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における一過性の歩行運動は、運動終了後、末梢循環が一時的に改善されること^{6,7)}、定期的な歩行運動が安静時の末梢循環を比較的早期に改善すること⁸⁾等が認められている。さらに、この一過性の歩行運動は、運動終了後、動脈ステイフネスが一時的に改善されることや、比較的短期間の歩行運動で安静時の動脈ステイフネスを低下させること⁹⁻¹²⁾を報告している。若年アスリートでは、末梢血液循環および動脈ステイフネスの著明な変化がみられなかったこと¹³⁾も報告している。

近年、心拍変動パワースペクトル解析は、心拍変動から自律神経系を測定する方法の一つで、運動時の生理応答を評価する指標として用いられている。前報では、中高年者に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における2日間の歩行運動が運動終了後の翌朝においても、自律神経活動のバランスとして副交感神経活動が優位な状

態がみられ、末梢血液循環を一時的に改善することを報告した¹⁴⁾。

本研究では、その研究の一環として、これまでの成績（中高年者を対象とした標高1500mにおける歩行運動の有用性）を踏まえ、短期集中型高地トレーニングの基礎資料を得るため、中高年者を対象に、高地（低圧低酸素環境下）における2日間の歩行運動を行った場合、運動中および運動終了後（翌朝）の自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。

II. 実験方法

本研究は、すべての検査項目が簡便で、被験者の生体に負担の少ない非侵襲的な検査であった。

1. 対象者

実験対象は、成人の男子6名（年齢； 49.0 ± 10.2 歳、身長； 172.2 ± 6.2 cm、体重； 74.7 ± 12.3 kg、体脂肪率； $24.8 \pm 7.1\%$ 、BMI； $25.2 \pm 3.7\%$ ）を被験者として、常圧常酸素環境と低圧低酸素環境（標高；1500m）に分け、それぞれに歩行運動を行わせた。なお、被験者には、研究の目的、内容を十分に説明し、自主的な参加の同意を書面にて得た。本研究は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 環境条件

常圧常酸素（NE）および低圧低酸素環境（標高1500m；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、NE（気圧、760mmHg）、HE（標高1500mに相当する気圧、634mmHg）にそれぞれ調整して行った（室温を22℃、相対湿度50%）。

3. 運動強度の判定

予備実験では、HEを基準として、トレッドミ

ルを用い、目標心拍数を120~130拍/分、動脈血酸素飽和度を90~94%および自覚的運動強度RPEを11~13の3つの指標からそれぞれの示してある範囲内になるよう歩行速度を求めた。なお、NEの運動強度は、HEの歩行速度を用いた。

4. 歩行運動実験

各環境条件下での歩行運動は、それぞれ45~60分間とした。実験では、NEおよびHEにおける運動中の動脈血酸素飽和度、心拍数および心拍変動（自律神経活動；交感神経および副交感神経）を測定するとともに、2日間の運動終了後の翌朝（AM9:30）に、常圧常酸素環境下（室温22℃に調整）で自律神経活動（交感神経と副交感神経の働きやバランス、反応力など）の動態について体位変換テストを用いて評価した。運動中の自覚的運動強度（RPE）を測定するため、Borgのスケールを用い、各環境下での歩行運動終了直後に、被験者に対して口答で求めた。

5. 自律神経機能の測定方法

自律神経活動の評価は、心拍変動（R-R間隔）データを解析した。周波数解析によって求められる心拍変動の低周波帯域（LF：0.04~0.15Hz）は、交感神経活動と副交感神経活動の双方を反映し、高周波帯域（HF：0.15~0.40Hz）については副交感神経活動を反映すること^{15,16)}が定義されている。そこで、HF normalized unit（以下HFnu、 $HFnu=HF/(LF+HF) \times 100$ ）は、LFに対するHFの大きさを計算することで自律神経活動における副交感神経活動の指標¹⁷⁾に、LF/HFを交感神経活動の指標とした。2つの指標から活動のバランスを推定した。なお、心拍変動には呼吸の影響が大きいこと¹⁸⁾から、運動中はウォーキングリズムに合わせて呼吸を行うように、安静時にはメトロノームを使用し呼吸のリズムを一定の4秒周期（1分間に15回の呼吸数）に保持するよう指示した。体位変換テストは、自律神経活動の大きさ、バランス（LF/HF）、反応、切替、回復の観点から五角形の表示により総合的に評価し

た。

運動中の心拍変動の解析は、ハートレートモニターRS800CXN（Polar社）を用いて心拍RR間隔を記録し、データをPolar ProTrainer 5.3を用いて高速フーリエ解析を行った。動脈血酸素飽和度は、パルスオキシメータ（PULSOX-300i、コニカミノルタ）を用いて測定した。安静時における体位変換時の心拍変動は、リアルタイム自律神経機能検査装置・きりつ名人（株式会社クロスウェル）を用いて解析した。

6. 統計解析

結果は、平均値±標準偏差で表した。2つの環境条件間（NEおよびHE）における有意差の検定には、paired t-testを用いた。RPEについては、Wilcoxonの符号付き順位検定を行った。統計処理には、統計解析（Dr.SPSS II for Windows）を用いて、有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 実験結果

1. 歩行運動中におけるSpO₂およびRPEの変化

図1、2に歩行運動中におけるSpO₂およびRPEの変化を示した。SpO₂は、HEがNEに比較して、有意に低値を示した（ $p<0.01$ ）。RPEは、HEがNEに比較して、有意に高値を示した（ $p<0.05$ ）。

2. 歩行運動中における心拍数およびHFnuの変化

歩行運動中における心拍数およびHFnuの変化を図3、4に示した。心拍数は、HEがNEに比較して、有意に高値を示した（ $p<0.01$ ）。HFnuは、HEがNEに比較して、有意に低値を示した（ $p<0.05$ ）。

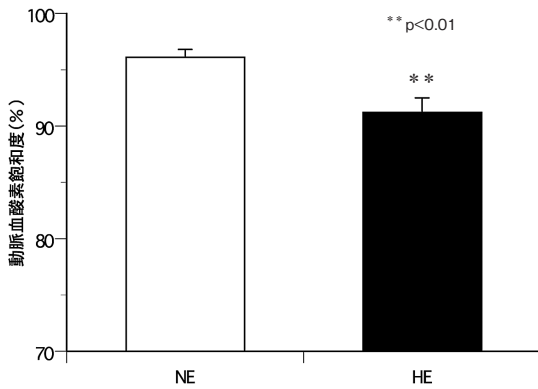


図1 歩行運動中における動脈血酸素飽和度の変化
Fig. 1 Changes in arterial oxygen saturation (SpO₂) during exercise in two environments. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

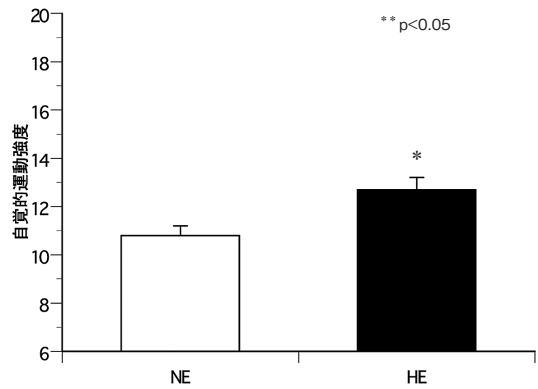


図2 歩行運動中における自覚的運動強度 (RPE) の変化
Fig. 2 Changes in RPE during exercise in two environments. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

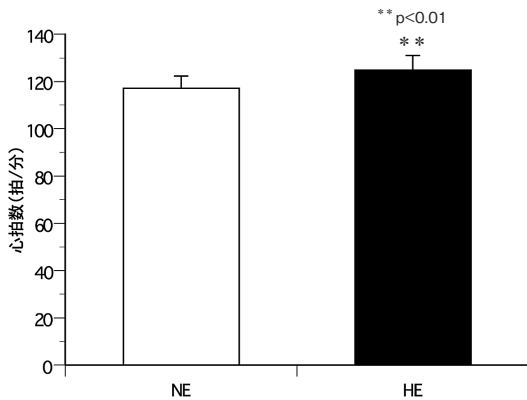


図3 歩行運動中における心拍数の変化
Fig. 3 Changes in heart rate during exercise in two environments. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

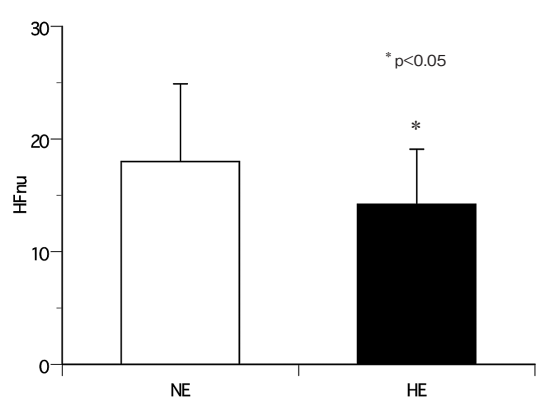


図4 歩行運動中における HFnu の変化
Fig. 4 Changes in HFnu during exercise in two environments. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

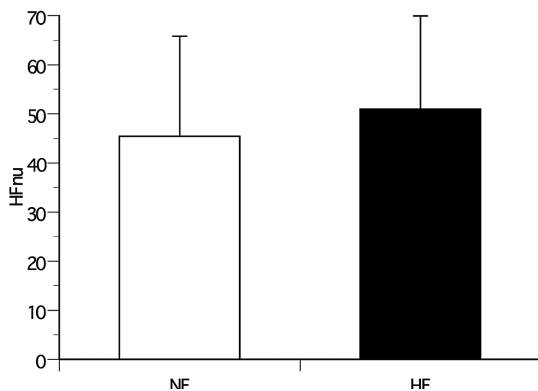


図5 2日間の歩行運動後(翌朝)における HFnu の変化
Fig. 5 Changes in HFnu at next morning after exercise in two environments for 2 days. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

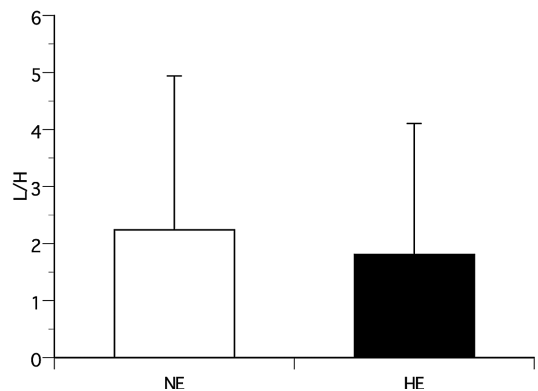


図6 2日間の歩行運動後(翌朝)における L/H の変化
Fig. 6 Changes in L/H at next morning after exercise in two environments for 2 days. Values are expressed as means ± SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude.

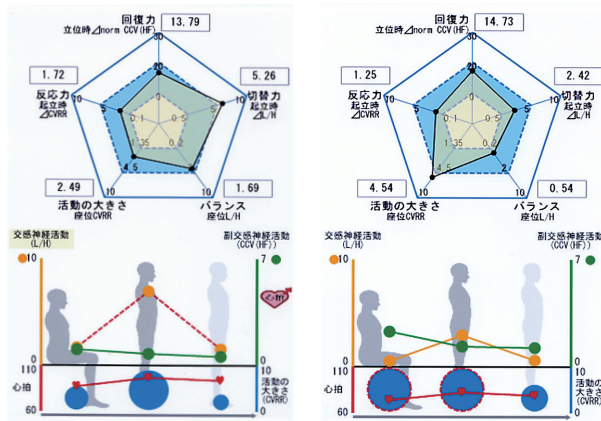


図7 2日間の歩行運動後（翌朝）における体位変換テスト時の自律神経活動の変化（被験者；K.Y.）
左：常圧常酸素環境、右：低圧低酸素環境

Fig. 7 Changes of autonomic nervous activity in autonomic reflex orthostatic tolerance test at next morning after exercise in two environments for 2 days (subject:K.Y.).

Left:NE (normobaric normoxic environment), Right:HE (hypobaric hypoxic environment)

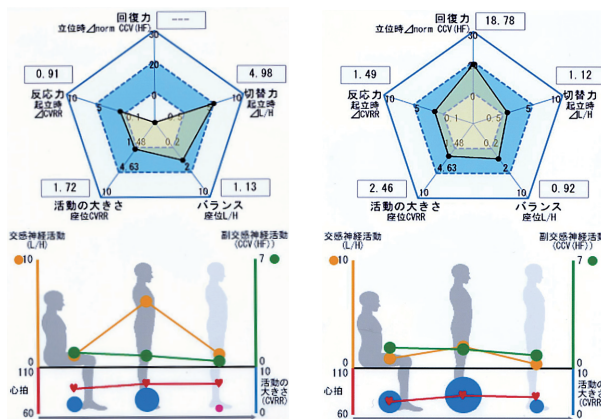


図8 2日間の歩行運動後（翌朝）における体位変換テスト時の自律神経活動の変化（被験者；H.U.）
左：常圧常酸素環境、右：低圧低酸素環境

Fig. 8 Changes of autonomic nervous activity in autonomic reflex orthostatic tolerance test at next morning after exercise in two environments for 2 days (subject:H.U.).

Left:NE (normobaric normoxic environment), Right:HE (hypobaric hypoxic environment)

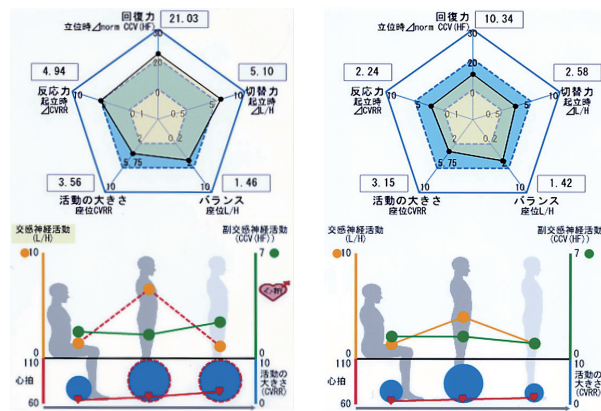


図9 2日間の歩行運動後（翌朝）における体位変換テスト時の自律神経活動の変化（被験者；R.I.）
左：常圧常酸素環境、右：低圧低酸素環境

Fig. 9 Changes of autonomic nervous activity in autonomic reflex orthostatic tolerance test at next morning after exercise in two environments for 2 days (subject:R.I.).

Left:NE (normobaric normoxic environment), Right:HE (hypobaric hypoxic environment)

3. 歩行運動終了後における体位変換テスト時の自律神経活動の評価

図5、6に2日間の歩行運動終了後（翌朝）における安静時のHFnuおよびL/Hの変化を示した。いずれの値も有意差は認められなかったが、HEがNEに比較して、6名中4名がHFnuで高値、L/Hで低値の傾向を示した。

2日間の運動終了後（翌朝）におけるHE及びNEの体位変換テスト時の自律神経活動の評価を図7、図8、図9に示した（典型的の3例）。Y.Kについては、HEおよびNEのいずれも安静（座位）から起立・立位まで自律神経活動が適切に反応していた（HE；健常型、NE；健常型）。H.Uは、HEにおいて安静（座位）から起立・立位まで自律神経活動が適切に反応していたが、NEでは立位時に自律神経活動の反応が遅れていた（HE；健常型、NE；安静時健常・立位時自律神経活動低下型）。R.IもHEで適切に反応していたが、NEでは起立・立位で過剰に反応を示した（HE；健常型、NE；安静時健常・切替力過剰型）。

4. 自律神経機能の総合評価

2日間の歩行運動終了後における自律神経機能の総合評価（10点法）は、合計点（6名）がNE；48.0点、HE；51.5点、平均点ではNE；8.0点、HE；8.6点となった。

IV. 考 察

本研究では、これまでの成績（中高年者に対する標高1500mにおける歩行運動の有用性）を踏まえ、中高年者を対象に、高地（低圧低酸素環境下）における2日間の歩行運動を行った場合、運動中および運動終了後（翌朝）の自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その結果、歩行運動中のSpO₂は、NEでは96.1%を示したが、HEでは平均91.2%（90～93%）と大きく低値を示した。逆に、RPEでは、HE（平均12.7）がNE（平均10.8）に比較して、高値

を示した。先行研究¹⁴⁾でも同様な結果が得られている。さらに、環境（標高）の違いに関して、歩行運動中のSpO₂は、標高に応じて平地、標高1500m、標高2000mの順で低値を示し、逆に、RPEは、標高に応じて平地、標高1500m、標高2000mの順で高値を示したこと¹¹⁾を報告している。高地における運動の生理的応答は、標高、運動強度および被験者の特性（年齢、鍛錬度、高地経験度等）によって異なる。とくに中高年者を対象とした高地での運動は、安全性を考慮するならば、過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きく、RPEも高くなることを避けるべきである。したがって、先行研究と同様に、本研究のSpO₂の応答およびRPEの変化から推察すると、標高1500mにおける歩行運動時には、生体に適度な低酸素負荷がかかっていたと考えられる。

歩行運動中の心拍数は、HEがNEに比較して、高値を示した。HFnuは、HEがNEに比較して、低値を示した。運動時は、安静状態に比較して、呼吸・循環器系などの生理機能がより活発に働くことが要求される。通常、運動強度に対応した適切な酸素供給を維持するために、交感神経と副交感神経のバランスを変化させ、呼吸循環の応答を制御している¹⁹⁾。これらの身体諸機能の変化を起こすために、自律神経系では交感神経の活動が優位になり、逆に副交感神経の活動が抑制されると考えられる。たとえ、その運動が定常状態に入りえたとしても、交感神経優位の平衡を保った状態が持続される²⁰⁾と考えなければならない。運動強度と自律神経活動に関して、AT（嫌気性代謝閾値）程度までの運動では、副交感神経活動の抑制によって心拍数の増加がみられ、AT強度以上になると副交感神経活動は著しく減弱し、交感神経活動は相対的に増加すること^{19,21)}が報告されている。本研究では、歩行速度および運動時間は、HEとNEとも同じであったが心拍数、HFnuや前述のSpO₂およびRPEにおいて有意な差がみられた。運動中の心拍数及び自律神経活動の変動は、環境（標高）の違いによって影響を受けたことが考えられる。本研究の結果から推察す

ると、標高1500mにおける歩行運動中は、平地の歩行運動よりも自律神経活動のバランスとして、副交感神経活動が低下し交感神経活動が優位な状態にシフトし、心拍数を増加したことが示唆された。

歩行運動終了後は、自律神経系も標高の違いや行った運動の強度等に比例して交感神経優位を維持した後、安静状態になるとともに副交感神経優位となろう。そこで、歩行運動終了後（翌朝）における安静時のHFnuおよびL/Hの変化は、いずれの値も有意差は認められなかったが、HEがNEに比較して、6名中4名がHFnuで高値、L/Hで低値の傾向を示した。先行研究では、一過性の運動終了後の自律神経系の生体情報を知るために、瞳孔の対光反応を数値化することで初期瞳孔径を測定した（交感神経と副交感神経の優位のバランス）。一般的に、安静時には副交感神経が亢進し、瞳孔が縮小することが報告²²⁾されている。その結果、回復時の運動終了30分後には、副交感神経活動が優位な状態にあること¹²⁾を示していた。したがって、先行研究¹⁴⁾および本研究の結果から、HEでは、NEに比べて、2日間の運動終了後の翌朝まで副交感神経優位の状態にシフトし、交感神経が抑制されていたことが示唆された。

そこで、2日間の運動終了後（翌朝）におけるHEおよびNEの体位変換テスト時の自律神経活動の評価では、6名中2名について、HE及びNEのいずれも安静（座位）から起立・立位まで自律神経活動が適切に反応していた（HE；健常型、NE；健常型）。その他の4名については、HEにおいて安静（座位）から起立・立位まで自律神経活動が適切に反応していたが、NEでは立位時に自律神経活動の反応が遅れていた例（HE；健常型、NE；安静時健常・立位時自律神経活動低下型）や、起立・立位で過剰に反応を示した例（HE；健常型、NE；安静時健常・切替力過剰型）がみられた。その結果、自律神経機能の総合評価では、HE（平均8.6点）がNE（平均8.0点）よりも高い得点になった。

前述のHFnuおよびL/Hの結果を含めて推察すると、中高年者に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における2日間の歩行運動は、適度な低圧低酸素刺激と運動刺激の相乗作用が運動終了後に、速やかに副交感神経活動が亢進し、体位変換時において自律神経のバランスや反応力を好ましい方向に変えることができると考えられた。これらの効果は、2日間の運動終了後の翌朝まで継続することが示唆された。

以上、本研究の成績から、中高年者に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における2日間の歩行運動は、運動終了後の翌朝においても、副交感神経活動が優位な状態がみられ、さらに自律神経活動のバランスおよび反応力を一時的に好ましい方向に変えることができると示唆された。

V. まとめ

本研究では、中高年者を対象に、高地（低圧低酸素環境下）で2日間の歩行運動を行った場合、運動中および運動終了後の翌朝における自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) 歩行運動中におけるSpO₂は、HEがNEに比較して、有意に低値を示した（ $p < 0.01$ ）。
- 2) 歩行運動中におけるRPEは、HEがNEに比較して、有意な高値を示した（ $p < 0.05$ ）。
- 3) 歩行運動中における心拍数は、HEがNEに比較して、有意に高値を示した（ $p < 0.01$ ）。
- 4) 歩行中運動におけるHFnuは、HEがNEに比較して、有意に低値を示した（ $p < 0.05$ ）。
- 5) 歩行運動終了後（翌朝）における安静時のHFnuおよびL/Hは、HEとNEで有意差が認められなかった。しかし、6名中4名においてHEがNEに比較して、HFnuで高値、L/Hで低値の傾向を示した。
- 6) 歩行運動終了後（翌朝）におけるHEおよ

びNEの体位変換テスト時の自律神経活動は、6名中2名について、HEおよびNEのいずれも安静（座位）から起立・立位まで適切に反応していた（HE；健常型、NE；健常型）。その他の4名については、HEにおいて安静（座位）から起立・立位まで適切に反応していたが、NEでは立位時に自律神経活動の反応が遅れていた例（HE；健常型、NE；安静時健常・立位時自律神経活動低下型）や、起立・立位で過剰に反応を示した例（HE；健常型、NE；安静時健常・切替力過剰型）がみられた。

7) 歩行運動終了後（翌朝）における自律神経機能の総合評価は、自律神経機能の合計点（6名）がNEにおいて48.0点、HEで51.5点、平均点ではNEが8.0点、HEが8.6点となった。

以上、本研究の成績から、中高年者に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における2日間の歩行運動は、運動終了後の翌朝においても、副交感神経活動が優位な状態がみられ、さらに自律神経活動のバランスおよび反応力を一時的に好ましい方向に変えることができると示唆された。

本研究の一部は、JSPS 科研費23500860の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 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
- 2) 寺尾保, 木村季由, 恩田哲也, 有賀誠司, 中村豊, サンドウ・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
- 3) 寺尾保, 桑平一郎, 恩田哲也, 有賀誠司, 中村豊, サンドウ・アダルシュ, 宮川千秋, 山並義孝, 齋藤勝: 肥満者に対する低圧環境下の歩行運動が運動終了後のエネルギー消費量に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 14: 14-22, 2002
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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: 肥満者の減量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
- 7) 寺尾保, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 山並義孝, 伊藤栄治: 肥満者に対する低圧低酸素環境下における安静時および歩行運動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, 18: 54-61, 2006
- 8) 寺尾保, 伊藤栄治, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 山並義孝, 堀江繁: 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, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 17: 16-22, 2005
- 9) 寺尾保, 小澤秀樹, 桑平一郎, 三田信孝, 伊藤栄治, 山並義孝: 高齢化社会における中高年者の健康と疾病に対する高地トレーニング処方の有効性, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 19: 39-46, 2007
- 10) 寺尾保, 小澤秀樹, 三田信孝, 内田裕久, 坂根浩弥, 山崎由紀, 竹内照定: 中高年者の減量に対する石鎚山系を利用した高地環境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, 20: 69-78, 2008
- 11) 寺尾保: 高齢化社会における中高年者の疾病予防と健康増進に対する高地トレーニングの有効性, 科学研究費補助金研究成果報告書, 1-4, 2009
- 12) 寺尾保, 小澤秀樹, 三田信孝, 桑平一郎, 内田裕久: 中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が運動終了後の自律神経系および動脈機能に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 21: 43-50, 2009

- 13) 寺尾保, 栗田太作, 小澤秀樹, 瀧澤俊也, 積山和明, 三田信孝, 灰田宗孝, 内田裕久: 若年アスリートに対する低圧低酸素環境下における歩行運動が末梢血液循環および動脈機能に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 22: 65-72, 2010
- 14) 寺尾保, 栗田太作, 小澤秀樹, 瀧澤俊也, 灰田宗孝, 内田晴久, 内田裕久: 中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が自律神経系, 末梢血液循環および動脈機能に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 24: 57-64, 2012
- 15) 早野順一郎: 臨床医のための循環器自律神経機能検査法, 51-61, メディカルレビュー社, 1997
- 16) 日本自律神経学会: 自律神経機能検査, 第4版, 文光堂, 2007
- 17) 飯塚太郎: 心拍数・心拍変動, II. コンディショニングの評価とその活用—具体的な評価手法とその応用—, 臨床スポーツ医学, 28: 166-171, 2011
- 18) 中尾陸宏, 熊野宏昭, 久保富房, 末松弘行, 安士光男, 高島香代子: 呼吸回数が心拍変動に与える影響について, 心身医学, 35 (6): 455-462, 1995
- 19) 麻野井英次: 循環器疾患と自律神経機能, 第2版, 自律神経系による循環調節, 19-43, 医学書院, 2001
- 20) 中野昭一, 堀居昭, 寺尾保: 解剖と生理, 261-264, じほう, 2000
- 21) 安達仁: 心肺運動負荷テストと運動療法, 初版, 運動療法と運動処方, 南江堂, 240-276, 2004
- 22) 後藤由夫, 本郷道夫: 自律神経の基礎と臨床, 改訂版, 医学ジャーナル社, 122-127, 2006