

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500614
 研究課題名（和文） 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
 研究課題名（英文） The Effects of Prescription at High Altitude Training on Health and
 Disease in Middle-aged and Elderly Men in Aging Society
 研究代表者
 寺尾 保（TERAO TAMOTSU）
 東海大学・スポーツ医科学研究所・教授
 研究者番号：50183489

研究成果の概要：

中高年者に対する標高1500mにおける歩行運動は、標高2000m時に比べて、運動中の動脈血酸素飽和度の応答および自覚的運動強度の変化等からみると、適度な低酸素の負荷がかかり、十分な効果が得られること、運動終了後、速やかに副交感神経活動の亢進がみられ、末梢循環および動脈スティフネスを一時的に改善すること、さらに、定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環を改善することや動脈硬化の予防や改善等に期待できることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2008年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、応用健康科学

キーワード：高齢化社会、高地トレーニング、歩行、疾病予防、健康増進、自律神経系、動脈スティフネス、末梢循環

1. 研究開始当初の背景

近年、日本人の平均寿命が急速に伸び、男女とも世界一の長寿国となっている。これに伴い、中高年者の健康維持・増進に対する要求は強く、また、ライフスタイルなども徐々に変化してきており、余暇時間をいかに有効に過ごすかが重要な課題となってきている。この選択肢の一つとして、運動・スポーツによる生き甲斐、楽しみなどを求めるとともに、健康維持・増進や疾病予防を得ようとする中高年者が増えてきている。一方では、とくに女性や中高年者が日常生活のレクリエーシ

ョンにおいて登山やハイキング、トレッキングで高地環境に触れ合う機会も増加してきている。

スポーツトレーニングの分野では、高地でのトレーニングが平地におけるパフォーマンス向上の手段として、数多くのアスリートに用いられている。近年では、高地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、幅広い年齢層のヒトに対しても、健康増進および体力向上、肥満の改善、疾病の予防等に貢献する可能性のあることが指摘されている。

事実、これまでの筆者の研究では、人工的高地環境システム（低圧室）を用い、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下の歩行運動は、身体的に安全で、平地だけの歩行運動に比較して、運動能力を向上させ、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ことを示唆している。

21世紀の健康づくりは、健康を増進し、発病を予防する一次予防に重点が置かれている。日本人の死亡原因の6割を占めているのが生活習慣病である。その中でも循環器疾患（心臓病、脳卒中）は、高血圧や血液の流れが悪化して引き起こされる病気である。この疾患の予防は、末梢まで酸素や栄養素を運ぶ血液循環の動態が重要な要因であり、この良否を知り、生活習慣を改善することにある。

人工的高地環境システムを利用した高地トレーニングとの関連では、上記の研究経過および成果から様々な実践的な応用研究に発展することができると考えている。したがって、本研究で得られる結果は、国内外問わず中高年者の疾病予防、健康維持・増進、肥満者およびスポーツ選手の減量など健康・スポーツ科学における応用健康科学の総合領域分野で重要な位置づけをすると考えている。

2. 研究の目的

従来、生活習慣病と環境条件との関連から、標高1000~3000mの高地住民には、冠心疾患や高血圧症などの発生率が低く、また、長寿者の多いことや、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系疾患に対する身体運動の有効性も多く報告されている。本研究は、主に中高年者を対象に、高地（低圧低酸素環境下）における一過性の歩行運動を行った場合、標高の違いが運動中の自覚的運動強度（RPE）や動脈血酸素飽和度（SpO₂）の応答、運動終了後の自律神経系（交感神経および副交感神経）の変化、動脈ステイフネス（脈波伝播速度；baPWV）および末梢循環の動態（加速度脈波）にどのような影響を及ぼすかを検討した（研究1）。さらに、12週間のトレーニングが末梢循環動態及び動脈硬化度にどのような効用を及ぼすかを検討した（研究2）。

3. 研究の方法

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。

対象者は、成人男子7名（平均年齢47歳）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、自主的な参加の同意を書面にて得た。

歩行運動は、低圧室を使用した。研究1では、平地（NE）、標高1500m（HE1）

および標高2000m（HE2）でそれぞれ歩行運動を行わせた（運動時間；45~60分間）。予備実験では、HE1を基準として、トレッドミルを用い、目標心拍数（(220-年齢)×0.75）、動脈血酸素飽和度（90~94%）および自覚的運動強度RPE（11~13）の三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とトレッドミル傾斜角を求めた。なお、NEおよびHE2の運動強度は、HE1の歩行速度と傾斜角を用いた。

SpO₂は、パルスオキシメーター（PULSOX-3i、ミノルタ）、加速度脈波は加速度脈波計ダイナパルス（SDP-100、フクダ電子株式会社）、baPWVが血圧脈波検査装置（form PWV/ABI、日本コーリンメディカル社）を用いて測定した。自律神経系（初期瞳孔径；虹彩の瞳孔反応で交感神経と副交感神経の働きやバランスを推測）の測定は、ストレスメーターDM-2010（アイリテック）を使用した。

研究2は、研究1の結果（末梢循環、動脈血酸素飽和度、心拍数、自覚的運動強度）を基に、個人に適した標高を求め、12週間にわたり週2回の頻度で1回が低圧低酸素環境下での歩行運動、残り1回が平地での歩行運動とした。1回の運動時間は、60分間とした。なお、予備実験では、週3回頻度の運動が生体負担度も大きく、疲労蓄積の傾向がみられた。低圧低酸素環境下の歩行運動を行わない日は、日常生活の中で1日だけは最低10,000歩（他の日は7,000歩程度）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日の総歩行数を計測した。トレーニング期間中は、摂取エネルギーの制限など強制的な栄養指導は行わず、本人の自主性に任せた。

4. 研究成果

（1）一過性の歩行運動中におけるSpO₂は、NE、HE1、HE2の順で有意に低値を示した（いずれもp<0.01）。SpO₂の低下の程度は、NEでは安静時とほぼ同じ値を示したが、HE1では平均92.4%（91~95%）、さらに、HE2では平均86.3%（83~89%）と大きく低値を示した。

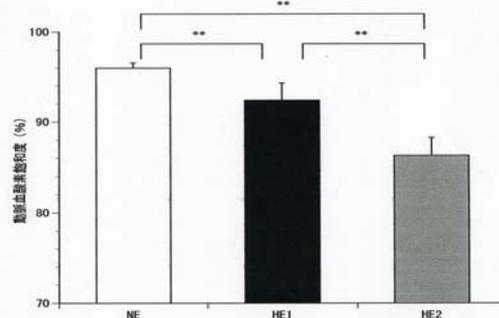


図1 歩行運動中における動脈血酸素飽和度の変化（NE：平地、HE1：標高1500m、HE2：標高2000m）

(2) 一過性の歩行運動中におけるRPEは、NE、HE1、HE2の順に有意な高値を示した(いずれも $p < 0.05$)。RPEは、HE2がHE1に比べて、前述の SpO_2 の応答から考えると、過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きくなることが示唆された。さらに、標高の違いは、次の運動終了後の自律神経系および動脈機能に影響を及ぼしていた。

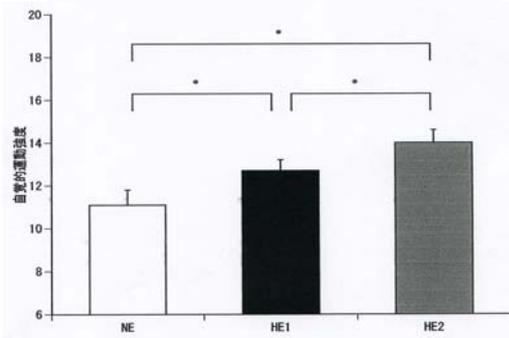


図2 歩行運動中における自覚的運動強度の変化 (NE: 平地、HE1: 標高 1500m、HE2: 標高 2000m)

(3) 一過性の歩行運動終了 30 分後における初期瞳孔径は、HE1 が NE および HE2 に比較して、有意な低値を示した(それぞれ $p < 0.05$)。すなわち、初期瞳孔径は、標高 1500mにおける歩行運動終了後が他の環境よりも有意に縮小した。前述の SpO_2 およびRPEで示したように、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り、運動終了後には速やかに副交感神経活動の亢進(交感交換神経活動の抑制)がみられ、リラックス効果も得られたと考えられる。この副交感神経活動の亢進は、末梢血管の拡張、内臓活動の亢進、さらには運動で消耗した状態の回復に適している状態にあると考えられる。

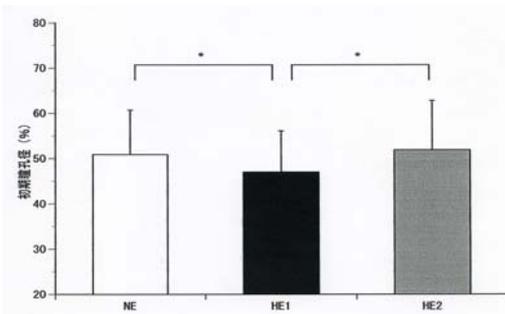


図3 歩行運動終了後における初期瞳孔径の変化 (NE: 平地、HE1: 標高 1500m、HE2: 標高 2000m)

(4) 一過性の歩行運動終了 30 分後におけるbaPWVは、HE1がNEに比較して、有意な低値を示した($p < 0.05$)。HE2については、個人差もあるが高値傾向を示した。baPWVの低下

には、動脈壁の機能的変化と器質的变化が関与していることが考えられる。そこで、本研究のような運動環境、運動負荷条件および運動時間で得られた一過性の影響については、動脈壁の機能的変化によるものであり、おそらく血管平滑筋の緊張度を介するものが主体であると考えられる。すなわち、血管平滑筋の緊張度は、血管内皮細胞由来の血管作動物質や自律神経系に影響される。本研究の結果では、標高 1500m 程度の歩行運動終了 30 分後により生じる交感神経活動の低下および副交感神経活動の亢進が血管平滑筋の緊張度を低下させ、その効果がbaPWVの一時的な低下に寄与した一つであると考えられる。

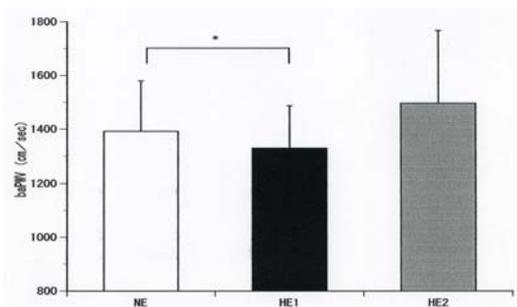


図5 歩行運動終了後における動脈スティフネスの変化 (NE: 平地、HE1: 標高 1500m、HE2: 標高 2000m)

(5) 運動終了 60 分後の加速度脈波波高比のb/a値(加齢に伴って上昇)は、HE1およびHE2がNEに比べて有意な低下を示し、d/a値(加齢に伴って低下)はHE1およびHE2がNEに比べて有意な増加を示した(いずれも $p < 0.05$)。HE1とHE2の間には、有意な差がみられなかった。加齢に伴って上昇する加速度脈波加齢指数((b-c-d-e)/a)は、HE1およびHE2がNEに比べて有意な低下を示した(いずれも $p < 0.05$)。したがって、低圧低酸素環境である高地での運動の方が平地の運動よりも、末梢循環動態により長い時間にわたり効果をもたらすことが示唆される。

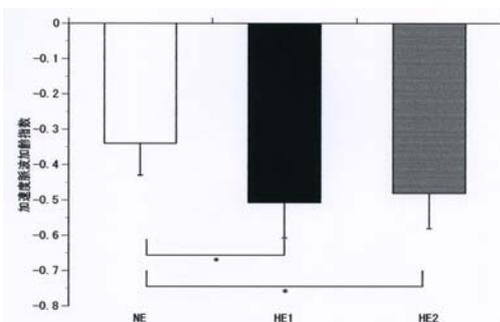


図4 歩行運動終了後における加速度脈波加齢指数の変化 (NE: 平地、HE1: 標高 1500m、HE2: 標高 2000m)

(6) 研究2では、標高を生体負担度の少ない1500mでトレーニングを行わせた。トレーニング後のb/a値は、トレーニング前に比べて有意な低下がみられ、d/a値は有意な増加を示した(いずれも $p<0.05$)。トレーニング後の加速度脈波加齢指数は、トレーニング前に比べて有意な低下を示した($p<0.01$)。12週間にわたり低圧低酸素環境(高地)および平地の併用による歩行運動は、安静時の末梢循環を改善することが示唆された。

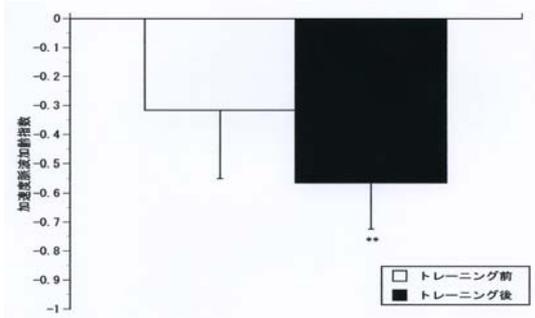


図7 12週間のトレーニング前後における加速度脈波加齢指数の変化

(7) トレーニング後のbaPWVは、トレーニング前に比べて有意な低下を示した。定期的な持続的トレーニングで得られた変化には、低圧低酸素刺激と運動刺激の相乗作用による自律神経系や血管作動物質(血管弛緩物質である一酸化窒素)の効果が関与して、動脈の機能的因子に変化を生じた可能性が考えられる。

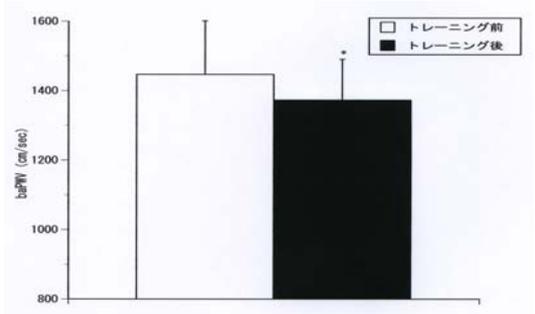


図8 12週間のトレーニング前後における動脈スティフネスの変化

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歩行運動は、運動終了後、速やかに副交感神経活動の亢進がみられ、動脈スティフネスおよび末梢循環を一時的に改善することが示唆された。中高年者では、低圧低酸素環境条件が比較的低い標高1500mでも適度な低酸素の負荷がかかり、十分に効果が得られること、さらに、定期的な歩行運動は、安静時の末梢循環や動脈硬化の予防や改善に期

待できることが考えられた。

本研究で得られた結果は、国内外問わず中高年者の疾病予防、健康維持・増進、肥満者の運動療法やスポーツ選手の減量など、健康・スポーツ科学における応用健康科学の総合領域分野で重要な位置づけができると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ① 寺尾保、小澤秀樹、(以下3名、1番目)、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、査読有、第21号、43-50、2009年
- ② 寺尾保、小澤秀樹(以下5名、1番目)、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、第20号、69-78、2008年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺尾 保 (TERAO TAMOTSU)
東海大学・スポーツ医科学研究所・教授
研究者番号：50183489

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし