



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

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 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)
積山和明 (体育学部競技スポーツ学科) 三田信孝 (体育学部生涯スポーツ学科)
灰田宗孝 (健康推進センター) 内田裕久 (工学部エネルギー工学科)

The Effects of Walking Exercise in a Hypobaric Hypoxic Environment on Peripheral Blood Circulation and Arterial Stiffness of Post-exercise in Young Athletes

Tamotsu TERAOKA, Daisaku KURITA, Hideki OZAWA, Shunya TAKIZAWA, Kazuaki TSUMIYAMA,
Nobutaka MITA, Munetaka HAIDA and Hirohisa UCHIDA



Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of walking exercise in a hypobaric hypoxic environment on peripheral blood circulation and arterial stiffness in young athletes. Five male adults aged 21 to 22 years volunteered for this study. The subjects walked for 30 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 30 minutes post exercise in NE and HE : heart rate, RPE, arterial oxygen saturation (SpO_2), SDPTG aging index (SDPTGAI) with accelerated plethysmogram, and arterial stiffness index (baPWV). We obtained the following results. (1) Heart rate did not differ between NE and HE. (2) The RPE during exercise in HE was significantly lower than that in NE ($p < 0.05$). (3) The SpO_2 during exercise in HE was significantly lower than that in NE ($p < 0.01$). (4) The SDPTGAI and baPWV did not differ between NE and HE. These results suggest that walking exercise for 30 minutes in hypobaric hypoxic environment at 1500 m altitude in young athletes may not produce a significant difference in the improvement of peripheral circulation and arterial stiffness compared to walking exercise in normobaric normoxic environment.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 22, 65-72, 2010)

I. 緒 言

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¹⁾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。

循環器系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²⁻⁴⁾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⁵⁻⁷⁾も報告されている。

私たちの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^{8,9)}、さらに、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¹⁰⁾等が認められている。

この循環器系疾患の原因の一つには、動脈スティフネスの増加による動脈硬化¹¹⁾があげられる。高地環境と運動に関する先行研究では、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前述の加速度脈波と同様に運動終了後、動脈スティ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も安静時の動脈スティフネスを低下させること^{12,13)}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（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、主に若年のアスリートを対象に、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、運動中の動脈血酸素飽和度の応答、運動終了後の動脈ステ

ィフネスおよび末梢血液循環の動態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（アスリート）の男子5名（年齢 21.8 ± 0.4 歳、身長 174.8 ± 9.6 cm、体重 74.6 ± 5.3 kg、BMI 24.5 ± 1.5 %）を被験者とした。本研究の被験者は、過去に高地トレーニングの経験を積んでいるアスリートを選んだ。アスリートは、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。

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18℃、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拍/分前後、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である範囲内になるよう歩行速度を求めた（時速6kmの速度）。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30分間

とした。実験では、NE および HE の運動中の動脈血酸素飽和度 (SpO_2)、運動終了30分後の末梢血液循環 (加速度脈波加齢指数 SDPTG Aging Index ; SDPTGAI) および動脈スティフネス (脈波伝播速度 ; baPWV) の動態を測定した。運動中の 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. 加速度脈波の測定

加速度脈波の測定は、常圧常酸素環境下 (気圧 760mmHg、室温22℃、相対湿度55%) で測定を行った。被験者は、座位姿勢で、測定部位の左手第2指の指尖部を心臓レベルに保持して測定を行った。加速度脈波加齢指数は、 $\text{SDPTGAI} = (\text{b-c-d-e}) / \text{a}$ により求めた。この指数は、5 拍の脈波の平均値をその代表値とした。

6. 動脈スティフネスの指標である脈波伝播速度 (baPWV) の測定

baPWV の測定は、運動終了30分後に常圧環境下において、加速度脈波の測定後、被験者を仰臥位にて安静状態に保持させた後、両足首および両腕に血圧脈波検査装置のカフを装着し、上腕収縮期血圧、拡張期血圧、脈圧および上腕動脈から足首動脈間の baPWV の測定を行った。

7. 測定方法

末梢血液循環機能は、加速度脈波加齢指数を加速度脈波計ダイナパルス (SDP-100、フクダ電子株式会社) および 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) 等をそれぞれ用いて測定した。

動脈血酸素飽和度は、パルスオキシメータ (PULSOX-3i、ミソルタ)、心拍数がハートレートモニター (RS800、ポラール) をそれぞれ用いて測定した。

8. 統計解析

結果は、平均値 $\pm$ 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. 一過性の歩行運動中における心拍数の変化

一過性の歩行運動中における心拍数の変化を図1に示した。心拍数は、HE と NE の間で、有意の差がみられなかった。

2. 一過性の歩行運動中における RPE の変化

図2に一過性の歩行運動終了直後における RPE の変化を示した。RPE は、HE が NE に比較して、有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

3. 一過性の歩行運動中における SpO_2 の変化

常圧常酸素環境下における安静時の SpO_2 は、平均97%であった。一過性の歩行運動中における SpO_2 の変化を図1に示した。 SpO_2 は、HE が NE に比較して、有意に低値を示した ($p < 0.01$)。

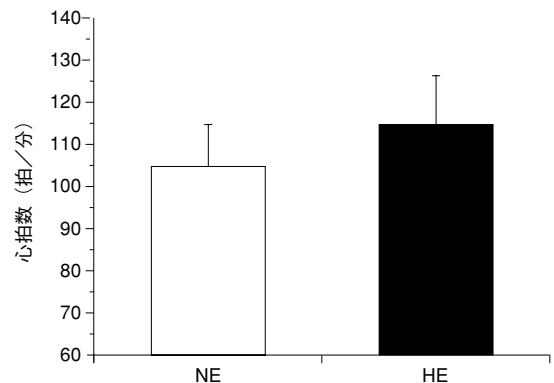


図1 一過性の歩行運動中における心拍数の変化
Fig. 1 Changes in heart rate during exercise in two environments.
Values are expressed as means $\pm$ SD. NE (sea level) ; normobaric normoxic environment, HE ; hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude.

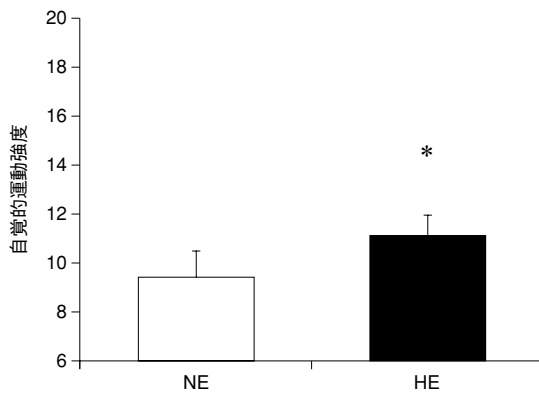


図2 一過性の歩行運動中における自覚的運動強度 (RPE) の変化

Fig. 2 Changes in RPE during exercise in two environments. Values are expressed as means $\pm$ SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude. * $p < 0.05$

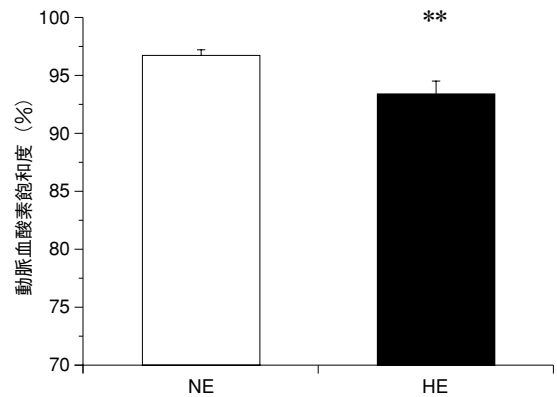


図3 一過性の歩行運動中における動脈血酸素飽和度の変化

Fig. 3 Changes in arterial oxygen saturation (SpO₂) during exercise in two environments. Values are expressed as means $\pm$ SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude. ** $p < 0.01$

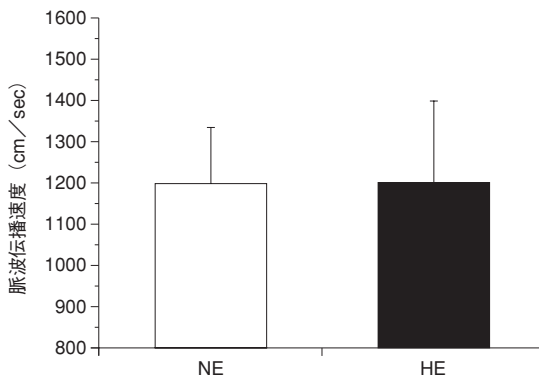


図4 一過性の歩行運動後における動脈スティフネスの変化

Fig. 4 Changes in baPWV after 30 minutes post-exercise in two environments. Values are expressed as means $\pm$ SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude.

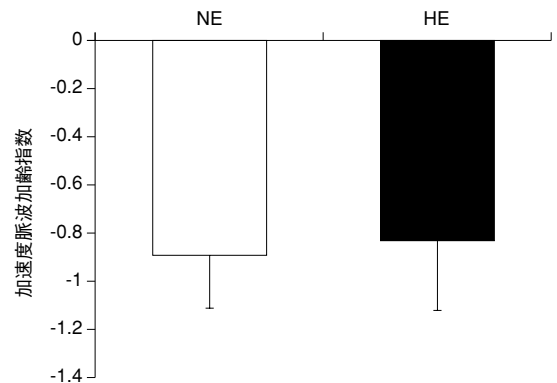


図5 一過性の歩行運動後における加速度脈波加齢指数の変化

Fig. 5 Changes in SDPTG Aging Index after 30 minutes post-exercise in two environments. Values are expressed as means $\pm$ SD. NE (sea level); normobaric normoxic environment, HE; hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude.

4. 一過性の歩行運動後における動脈スティフネスの変化

図4に一過性の歩行運動後におけるbaPWVの変化を示した。baPWVは、HEとNEの間で、有意の差がみられなかった。

5. 一過性の歩行運動後における加速度脈波加齢指数の変化

加齢に伴って上昇する加速度脈波加齢指数を図5に示した。この指数は、HEとNEの間で、有

意の差がみられなかった。

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、若年のアスリートを対象に、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、運動中の動脈血酸素飽和度の応答、動脈機

能（動脈スティフネス）および末梢血液循環の動態にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その結果、運動中の心拍数は、NEが平均105拍/分で、HEでは平均114拍/分と多少の増加があったものの有意差は認められなかった。RPEでは、HEがNEに比較して、有意に高値を示した。これまでの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¹⁴⁾でも標高1500mに相当するHEがNEに比較して、有意に高値を示したことを報告している。標高とRPEは、標高に応じて平地、1500m、2000mの順で有意に高値を示したことも認められている。しかし、中高年者と若年アスリートでは、RPEの値が異なっていた。すなわち、先行研究の中高年者では、NEが11、HEで13に対して、今回の若年アスリートでは、NEが9、HEで11と、いずれの環境でもアスリートはRPEが低く、生体負担度も少なく感じていたことが示唆された。この標高の違いによる歩行運動時のRPEの変化は、次の運動中のSpO₂の応答に関連していた。

前報^{14,15)}における中高年者を対象にした歩行運動中のSpO₂は、標高に応じて平地、1500m、2000mの順で有意に低値を示した。したがって、中高年者を対象とした高地環境下での運動は、安全性を考慮するなら、標高2000mが1500mに比べて、過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きくなり、RPEも高くなったことを報告している。そこで、本研究における若年アスリートのSpO₂は、標高1500mのHEがNEに比較して、有意に低値を示した。中高年者を対象とした先行研究でも今回と同様な結果が得られている。しかし、SpO₂低下の程度をみると、NEでは中高年者および若年アスリートともほぼ同値を示したが、標高1500mのHEでは中高年者で平均92.4%に対して、アスリートでは93.8%と高い値を示した。すなわち、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、若年アスリートが中高年者に比較して、SpO₂の低下の度合いが少なく、RPEも低くなったことが示唆される。

baPWVおよびSDPTGAIに関しては、まず、

中高年者を対象とした先行研究^{14,15)}から推察すると、標高1500mに相当する低圧低酸素環境下で一定強度の運動を一定時間負荷すると、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、末梢血管の拡張、血流量の増加等から、動脈硬化度（動脈スティフネス）および末梢循環を一時的に改善したことを報告している。しかし、標高2000m程度の歩行運動では、中高年者にとって個人差も大きく、とくに、初期の運動環境としては過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度も大きく、運動終了後も交感神経が緩和され、副交感神経の働きが優位な状態になるまでである程度の時間を要したことも報告している。すなわち、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たことを報告している。しかし、本研究の若年アスリートでは、運動終了30分後のbaPWVおよびSDPTGAI値は、NEとHEの両環境間で有意な差が得られなかった。そこで、環境の違いによる運動の効果は、被験者個々の生理的負担度に関連しており、標高、運動強度、運動時間および運動を行う者の特性（年齢、低圧低酸素曝露の経験度および鍛錬度等）によって異なってくる。今回のように、有意な変化が認められなかった理由として、今回の若年アスリートは、過去に高地トレーニングの十分な経験があったこと（今後、SpO₂の変化から標高、運動強度および時間の再検討）や、baPWVおよびSDPTGAI値（いずれも加齢に伴って上昇）をみると、SDPTGAIが安静時で平均-0.9程度もあり、中高年者の-0.3よりも明らかに低く、baPWV値も安静時で平均1166cm/secで中高年者の1400cm/secよりも明らかに低く、血管の弾力性や末梢循環はアスリートの方が中高年者に比べて、はるかに良好であったことなどが環境の違いによる運動の効果を明確にした可能性が考えられる。

以上、本研究の成績から、若年のアスリートに対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下および常圧常酸素環境下における30分間の歩行運

動は、両環境間で運動終了後の動脈スティフネスおよび末梢血液循環の動態に違いはみられなかったことが示唆された。

V. まとめ

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、若年のアスリートを対象に、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、運動中の動脈血酸素飽和度の応答、動脈機能（動脈スティフネス）および末梢血液循環の動態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) 一過性の歩行運動中における心拍数は、HEとNEの間で、有意の差がみられなかった。
- 2) 一過性の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) 一過性の歩行運動中における SpO_2 は、HEがNEに比較して、有意に低値を示した（ $p < 0.01$ ）。
- 4) 一過性の歩行運動後におけるbaPWVおよびSDPTGAIは、HEとNEの間で、有意の差がみられなかった。

以上、本研究の成績から、若年のアスリートに対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下および常圧常酸素環境下における30分間の歩行運動は、両環境間で運動終了後の動脈スティフネスおよび末梢血液循環の動態に違いはみられなかったことが示唆された。

引用・参考文献

- 1) 浅野勝己：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(5):505-516，1999.
- 2) 高沢謙二，伊吹山千春，加速度脈波，現代医療，20：948-955，1988.
- 3) 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.

- 4) 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.
- 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）—波形の定量化の試み—，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）—長期トレーニングの影響—，千葉体育学研究，16：47-53，1993.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 松田光生：4．脈波速度の臨床治療への応用 非薬物治療：運動，食事，食塩制限，禁煙など，脈波速度，小澤利男，増田善昭編集，メジカルビュー社，128-135，2002.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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有効性, 科学研究費補助金研究成果報告書, 1-4, 2009.
- 15) 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.