

ヒールレスシューズ歩行が血流量と血中代謝物質に 及ぼす影響

名古屋大学 山本 貴子
(共同研究者) 名古屋工業大学 大桑 哲男
名古屋大学 佐藤 祐造

The Effect of Walking Wearing Heel-less Shoes on Blood Flow and Blood Metabolites

by

Takako Yamamoto

Nagoya University

Tetsuo Ohkuwa

Nagoya Institute of Technology

Yuzo Sato

Nagoya University

ABSTRACT

Six male students volunteered to take part in the present study. They walked wearing regular athletic shoes and heel-less shoes at the constant speed of 60 m/min, 80 m/min, 100 m/min and 120 m/min for 10 min on a treadmill at 0 % grade. Heel-less shoes means that the heel and toe of the shoes were cut at 15° and 10°, respectively. Step frequencies, stride were measured during each walking. Calf blood flow (CBF) and blood lactate, plasma adrenaline and noradrenaline concentrations were measured at rest and immediately after walking exercise. Heart rate was monitored during the experiments. There was no significant difference in step frequencies and stride between regular athletic shoes and heel-less shoes during each walking speed. During walking at speeds ranging from 60 m/min to 100 m/min in regular shoes, 60 m/min to 80 m/min in heel-less shoes, the CBF increased linearly in relation to walking speed.

The CBF showed its highest mean value at 80 m/min in heel-less shoes, at 100 m/min in regular athletic shoes walking. However, at higher walking speeds than these, it decreased in both shoes. The CBF immediately after 80 m/min of speed was higher in walking with heel-less shoes compared to regular athletic shoes. Blood lactate concentration after walking with heel-less shoes at the speed of 120 m/min was significantly higher than basal level, but it remained unchanged after walking with regular athletic shoes in comparison to the level before the walking exercise. Heart rate and plasma noradrenaline concentrations at the speed of 120 m/min in heel-less shoes walking was significantly higher than in regular athletic shoes.

In conclusion, the CBF wearing heel-less shoes at the speed of 80 m/min was higher than regular athletic shoes. At even higher speed (120 m/min) the increase in glycogen breakdown in heel-less shoes walking might be due to the increase of sympathetic nerve activity, causing lower CBF.

要 旨

本研究ではヒールレスシューズ歩行が血流量と血中代謝物質に及ぼす影響を検討した。男子大学生6名を対象に、60, 80, 100, 120 m/minのスピードにてランニングシューズとヒールレスシューズ歩行を10分間行わせ、心拍数、歩数、歩幅、下腿血流量、血中乳酸、血漿アドレナリンとノルアドレナリン濃度を測定した。80 m/minスピードでのヒールレスシューズ歩行の下腿血流量はランニングシューズ歩行に比べ有意に増加した。120 m/minでのヒールレスシューズ歩行での血中乳酸濃度は安静値に比べ有意に増加したが、ランニングシューズでは有意な増加は認められなかった。120 m/minでのヒールレスシューズ歩行においての心拍数とノルアドレナリン濃度はランニングシューズに比べ有意に高い値が認められた。

以上の結果から、普通の歩行スピード(80 m/min)でのヒールレスシューズ歩行はランニングシューズ歩行に比べ下腿血流量が増加し、速い歩行スピード(120 m/min)では交感神経活動の亢進、グリコーゲン分解の増大と下腿血流量の減少が認められた。

緒 言

歩行は生活の中で最も基本的で重要な動作である。歩行はランニングや他のスポーツに比べ、特別な器具や技術を必要とせず、ケガの頻度も少なく、最も手軽な身体活動であることから、運動不足解消や体重減少を目的とした歩行トレーニングが中高年者においてさかんになってきている。歩行スピードは酸素消費量、心拍数や血中乳酸濃度と密接に関係していることが報告され^{8, 18)}、また歩行トレーニングは最大酸素摂取量やインスリン感受性を高め^{11, 24, 29)}、高比重リポ蛋白(HDL)コレステロールの増加を導くことが報告されている⁵⁾。しかし歩行は運動強度が低く、アメリカスポーツ医学会が提唱している一日最低300 kcalを歩行で消費するには、多くの時間が必要である⁶⁾。そこで短期間の歩行トレーニングで身体機能の改善をはかるには運動強度を高める工夫が必要である。ヒールレスシューズは踵とつま先部分がカットされた独特のシューズである。踵のカットは、歩行時のつま先をあげる動作を増すので、通常のランニングシューズに比較し、前頸骨筋の活動量が増し、着地からキックの中間点では土踏まず部分

が刺激を受け、キック時にはヒフク筋とヒラメ筋の活動量が多くなることが推察される。したがってヒーレスシューズ歩行はランニングシューズに比べ一歩に動員される筋肉量は増加することが考えられる。このことはランニングシューズと同じ歩行スピードでも運動強度が増し、短い歩行時間でも筋力や消費エネルギーの増加が期待できる。しかしヒーレスシューズに関する報告は見あたらない。本研究では4種類のスピードでのヒーレスシューズ歩行が歩数、歩幅、下腿血流量、心拍数と血中乳酸、血漿アドレナリンとノルアドレナリン濃度に及ぼす影響について明らかにした。

1. 研究方法

1. 1 被検者

被検者は6名の男子大学生であり、すべての被検者は日頃バレーボール、ソフトボール、サッカーなどのレクリエーションスポーツを実践し、とくに夏は水泳を行っている。被検者の年齢、身長、体重とシューズのサイズの平均値と標準偏差は、それぞれ19.5 ± 1.0才、166.0 ± 4.0 cm、59.8 ± 7.3 kg、25.9 ± 0.5 cmであった。

1. 2 実験方法

各被検者は5日間にわたり1日のうち同一時間に実験を行った。各被検者には本研究の趣旨および起こりうる危険性を十分説明し同意を得た。1日目はトレッドミルとヒーレスシューズ歩行に慣れるための練習を行い、2日目から実験を行った。実験日は少なくとも3日間の間隔をおき行った。被検者は実験前30分前に実験室に到着し、静かに安静を保った後に、4種類の異なったスピードをヒーレスシューズと通常のランニングシューズでの歩行テスト（合計8回）をトレッドミルを使用して行った。歩行スピードはゆっくりしたスピード（60 m/min）、普通のスピード（80 m/min）、やや速いスピード（100 m/min）と速いスピード（120 m/min）の4種類とした。それぞれのスピー

ドをヒーレスシューズと通常のランニングシューズにて10分間の歩行を行った。被検者は同じシューズで1日に2種類のスピード（60 m/minと120 m/minあるいは80 m/minと100 m/min）を組み合わせて行った。ヒーレスシューズ（Dr. Heeles, 京阪通商, 大阪）は図1に示したように、つま先部分と踵部分がそれぞれ10°と15°カットされている。なお、ヒーレスシューズとランニングシューズの重さの平均値と標準偏差はそれぞれ810 ± 10.0g, 820 ± 16.0 gであり、ほぼ同じ重さとした。

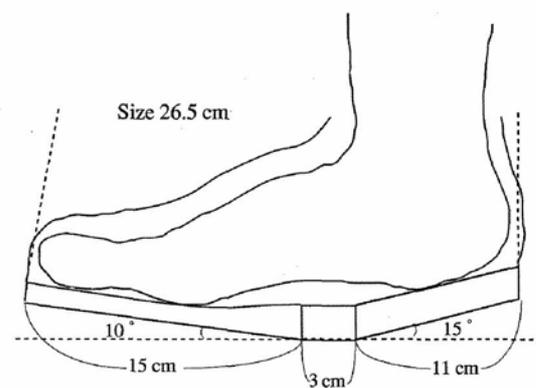


図1 ヒーレスシューズの概略図

1. 3 測定項目

1. 3. 1 下腿血流量の測定

下腿血流量は静脈閉塞プレティスモグラフィ法を使用して測定した²⁷⁾。水銀封入のラバーストレンゲージは下腿の最も筋の占める割合の高い位置に装着し、装着時の張力は約20 gとした。静脈阻止用のcuffは右足の膝の少し上部にセットし、BarcroftとDornhorst³⁾の方法に従い90 mmHgの圧を加えた。ラバーストレンゲージは装着したまま歩行し、歩行終了後すばやく簡易ベッドに横たわり、下腿部は心臓よりやや高いレベルにおき安定させた。下腿血流量は安静時および運動終了10秒後からいずれも5秒以内に測定を終了した。足首部での動脈阻止は本研究では行わなかった²⁸⁾。

1. 3. 2 乳酸、カテコラミン濃度の測定

被検者は歩行終了後にすばやく、簡易ベッドに横たわり採血を行った。採血は安静時および運動

終了直後と2分に肘正中皮静脈から行った。血中の乳酸濃度はそれぞれ、乳酸ラクテート・プロ (LT-1710, 京都第一科学) を使用して測定した。血漿アドレナリンとノルアドレナリン濃度は HPLC-THI 法にて測定した⁷⁾。

1. 3. 3 心拍数, 歩数および歩幅の測定

心拍数はアキュレックスプラス (ポラール, フィンランド) を使用し, 安静時, 歩行時および回復期5分まで連続的に測定した。歩行中の歩数は歩行者の側方からビデオテープレコーダー (CCD-TR2NTSC, ソニー, 東京) に記録して1分あたりの歩数を数えた。歩幅は距離を歩数で除して求めた。

1. 4 統計処理

被検者のプロフィール, および各測定値は平均値±標準偏差で示した。両シューズ間の安静時および運動中の各変数間の差は, 反復測定による二元配置分散分析 (two-way analysis of variance for repeated measurements; シューズ, スピードの2要因) を用いて検定し, 有意性が確認された項目について, Fischer's PLSD 法による多重比較検定を行った。なお有意水準は $p < 0.05$ とした。

2. 研究結果

図2に, 各スピードにおける歩数 (上) と歩幅 (下) をランニングシューズとヒールレスシューズについて示す。両シューズでの, 歩数, 歩幅ともに, スピードにより有意に増加し ($p < 0.001$), いずれのスピード間で有意差が認められた。しかし, 同一スピードにおけるシューズ間での差はなかった。

図3に, シューズの違いによる心拍数の時間変動を, 各スピード間で示す。両シューズにおいて 60, 80, 100 m/min は, 運動開始後1~2分で平衡状態になり運動を終了したが, 120 m/min では運動終了まで上昇傾向にあった。運動終了までの最後の1分間の心拍数は, スピードの要因に依存し有意差が認められた ($p < 0.001$)。この心拍数を各ス

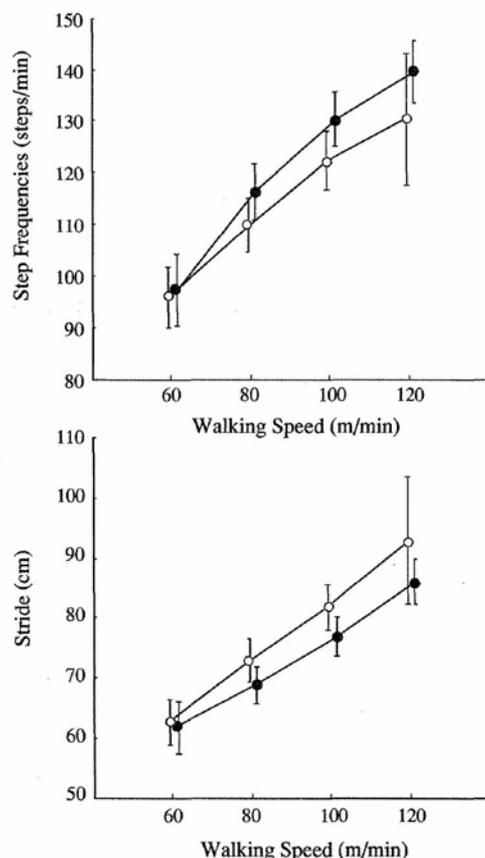


図2 ランニングシューズとヒールレスシューズにおけるスピードにともなう歩数(上)と歩幅(下)の変化(平均値±標準偏差, ○;ランニングシューズ, ●;ヒールレスシューズ)

ピード間で比較すると, 両シューズとも, 120 m/min は 60, 80, 100 m/min ($p < 0.01$) に比し, また, ヒールレスシューズの 100 m/min は 60 m/min に比して有意に高値であった ($p < 0.001$)。さらに, 心拍数はスピードとシューズの両要因に依存することが認められた ($p < 0.05$)。同一スピードにおける心拍数をシューズ間で比較すると, 120 m/min でヒールレスシューズはランニングシューズより有意に高かった ($p < 0.05$) が, それより遅いスピードでは差はなかった。

図4に, 各スピードにおける運動終了直後の下腿血流量を, ランニングシューズとヒールレスシューズについて示す。すべての被検者において, 各シューズの下腿血流量のピーク値は, ランニングシューズは 100 m/min, ヒールレスシューズは 80 m/min でみられた。ピーク値がみられたスピードより速いスピードでは, 下腿血流量は減少傾向を

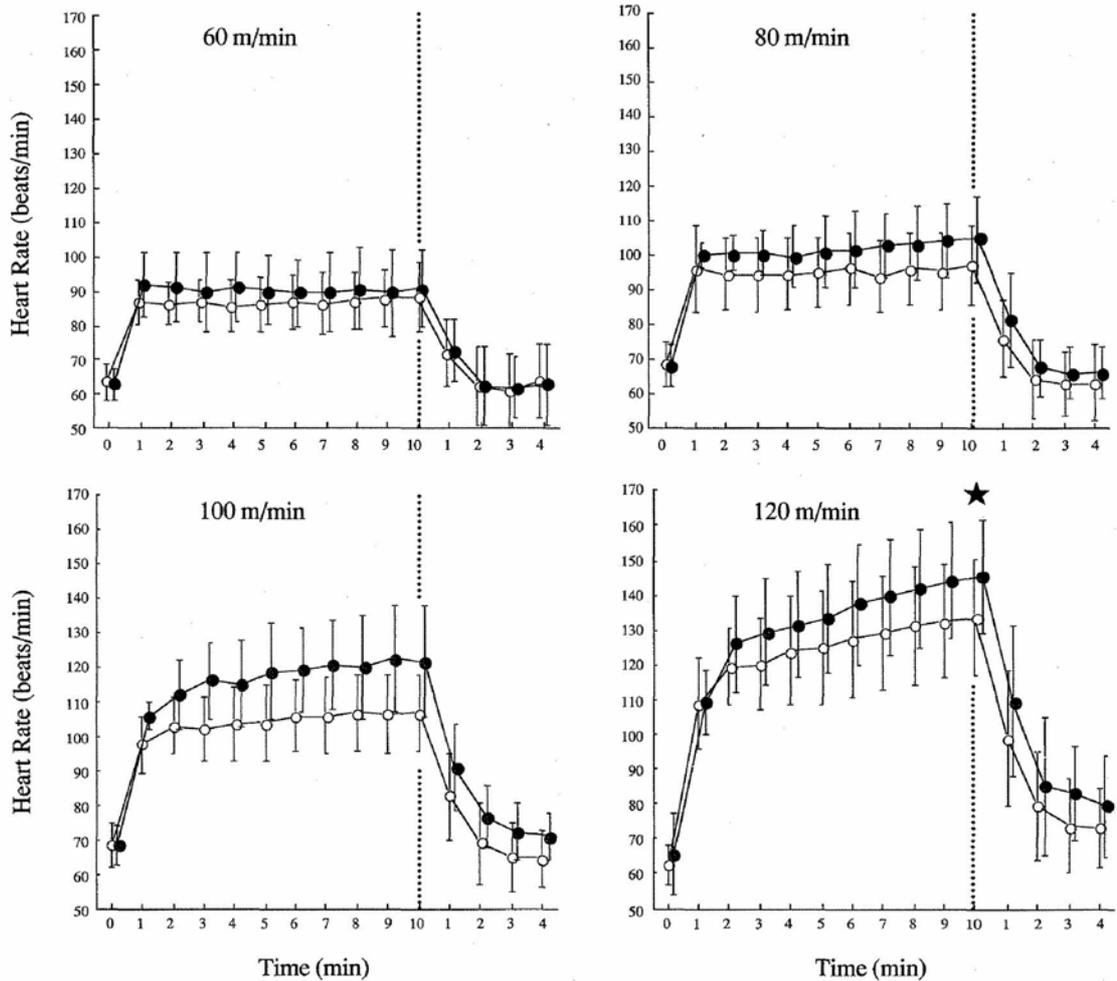


図3 ランニングシューズとヒールレスシューズにおける心拍数の経時的変化
 平均値±標準偏差, ○;ランニングシューズ, ●;ヒールレスシューズ,
 ★ $p < 0.05$; 同一スピードにおけるランニングシューズとヒールレスシューズ間の有意差

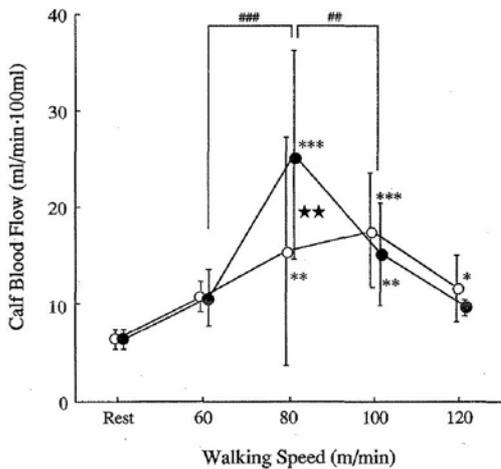


図4 ランニングシューズとヒールレスシューズにおける下腿血流量の変化
 平均値±標準偏差, ○;ランニングシューズ, ●;ヒールレスシューズ, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$,
 *** $p < 0.001$; 安静時との有意差, ## $p < 0.01$, ### $p < 0.001$; ヒールレスシューズにおける各スピード間の有意差, ★★ $p < 0.01$; 同一スピードにおけるランニングシューズとヒールレスシューズ間の有意差

示し、ヒールレスシューズの 120 m/min では、ほぼ安静時と同じ値にまで低下した。下腿血流量はスピードの要因に依存し有意差が認められた ($p < 0.001$)。ランニングシューズにおいて、100 m/min での下腿血流量は 60 m/min に比して ($p < 0.05$)、また、ヒールレスシューズにおいて、80 m/min は 60, 100, 120 m/min に比して ($p < 0.01$) 有意に高値であった。さらに、下腿血流量は、スピードとシューズの両要因に依存し有意差が認められた ($p < 0.05$)。80 m/min おいて、ヒールレスシューズの下腿血流量はランニングシューズに比し有意に高かった ($p < 0.01$)。

図5に、各スピードにおける運動終了後の血中乳酸濃度のピーク値を、ランニングシューズとヒールレスシューズについて示す。ヒールレスシューズ

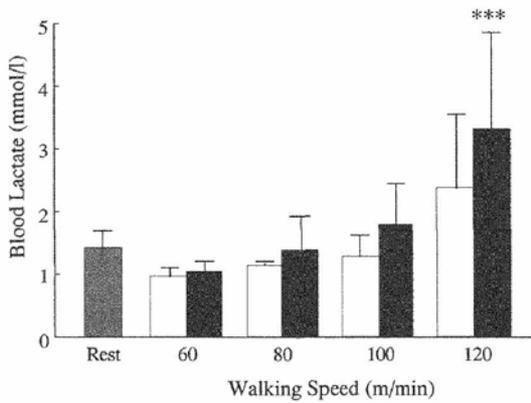


図5 ランニングシューズとヒールシューズにおける血中乳酸濃度の変化
 平均値±標準偏差, □;ランニングシューズ, ■;ヒールシューズ, *** p<0.001;安静時との有意差

の120 m/minでの血中乳酸濃度は、安静時に比し、有意に高かった (p<0.001)。血中乳酸濃度は、スピードに依存し有意に増加した (p<0.001)。各スピード間で比較すると、120 m/minのスピードは、ランニングシューズの60 m/min (p<0.01), 80 m/min (p<0.05) に比し、また、ヒールシューズの60, 80 m/min (p<0.001), 100 m/min (p<0.01) に比して有意に高値であった。同一スピードでのシューズの違いによる差は認められなかった。

図6に、各スピードにおける運動終了後のアドレナリンと、ノルアドレナリン濃度のピーク値を、ランニングシューズとヒールシューズについて示す。アドレナリン濃度は、安静時と各スピード間の差はなかったが、スピードに依存し有意差が認められた (p<0.05)。各スピード間で比較すると、両シューズとも120 m/minのスピードは60 m/minに比して有意に高値であった (ランニングシューズ p<0.05, ヒールシューズ p<0.01)。しかし、同一スピードでのシューズの違いによる差は認められなかった。

安静時のノルアドレナリン濃度は両シューズとも、120 m/min (両シューズ p<0.001), 100 m/min (ランニングシューズ p<0.05, ヒールシューズ p<0.001) で有意に高値であった。ノルアドレナ

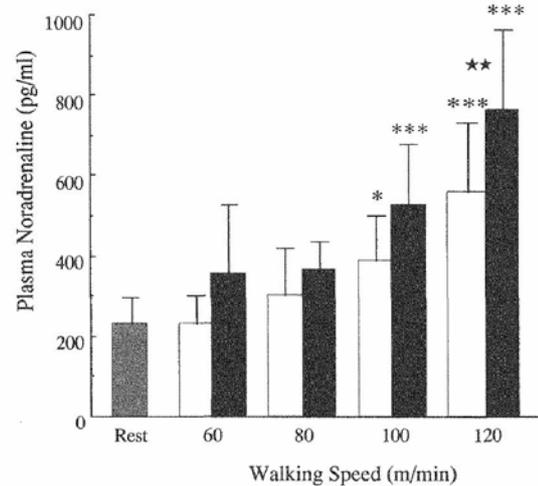
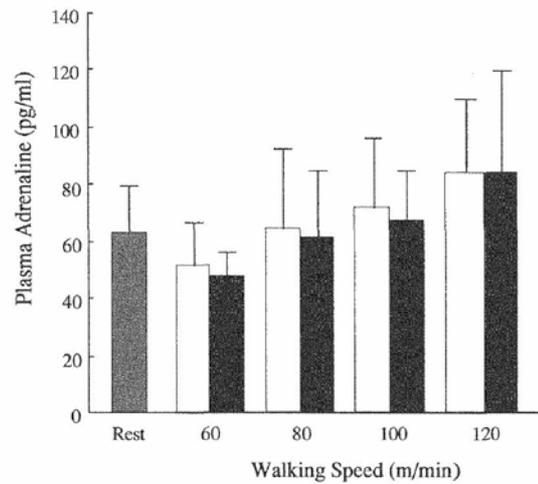


図6 ランニングシューズとヒールシューズにおける血漿中アドレナリン濃度 (上) と血漿中ノルアドレナリン濃度 (下) の変化
 平均値±標準偏差, □;ランニングシューズ, ■;ヒールシューズ, * p<0.05, *** p<0.001;安静時との有意差, ★★ p<0.01;同一スピードにおけるランニングシューズとヒールシューズ間の有意差

リン濃度は、スピードに依存し有意差が認められた (p<0.001)。各スピード間で比較すると、ランニングシューズの120 m/minは、60 m/min (p<0.01), 80 m/min (p<0.05) に比して、100 m/minは、60 m/min (p<0.05) に比して有意に高かった。ヒールシューズの120 m/minは、60, 80 m/min (p<0.001), 100 m/min (p<0.01) に比して有意に高値であった。同一スピードにおけるノルアドレナリン濃度をシューズ間で比較すると、120 m/minにおいてヒールシューズはランニングシューズに比して有意に高かった。

3. 考 察

本研究において、ヒーレスシューズ 80 m/min スピードでの下腿血流量はランニングシューズに比べ有意に高い値であった。これまでにヒラメ筋やヒク筋の赤色部分などの遅筋線維は筋血流量が多く、前頸骨筋やヒク筋の白色部分などの速筋線維では少ないことが報告されている^{1, 16, 17)}。このことから、80 m/min スピードでのヒーレスシューズ歩行における下腿血流量の増加は動員される筋線維タイプが関係しているものと考えられる。すなわち本研究で用いたヒーレスシューズは、つま先部分がカットされているために、キック動作に動員されるヒラメ筋など遅筋線維の活動が増大したことが考えられる。

図3に示すように、ランニングシューズでの下腿血流量は60, 80, 100 m/minのスピードにおいて直線的に増加したが、120 m/minのスピードでは減少した。ランニングシューズのこの結果はKagaya¹²⁾の結果と一致している。一方ヒーレスシューズにおいては、80 m/minのスピードでピーク値に達し、それ以上のスピードでは安静時の値にまで減少した。骨格筋内を流れる血液量は筋内圧と血圧によって決定され、軽い運動で筋内圧が低い時、血流量は運動強度とともに増加し、運動強度が高まり筋内圧が最低血圧を越えると、血流量は徐々に減少し、筋内圧が最大血圧を越えると血流は遮断される^{4, 21, 23)}。本実験において、ランニングシューズ歩行では120 m/minのスピード、ヒーレスシューズ歩行では100 m/min以上のスピードで有意に減少した。この結果はランニングシューズとヒーレスシューズにおいて、それぞれの速度において筋の発揮する張力が増大したことにより、筋内圧が高まり、血流量の低下が生じたものと考えられる。

筋血流量は筋弛緩期には増加し、筋収縮期に減少し¹⁴⁾テンポが遅いと下腿血流量はテンポに比例

して増加するが、テンポが早いと逆に減少する¹³⁾。本研究において、両シューズにおいて、スピードの増加に伴い歩数(テンポ)が増加し、速いスピードにおいて下腿血流量の減少が認められた。しかし100 m/minと120 m/minでのスピードにおいてシューズによる歩数の差は認められなかった。この結果は両シューズにおける下腿血流量のピーク値が出現するスピードの差は歩数とは別の要因が考えられる。

速いスピードでのヒーレスシューズ歩行では、踵の部分がカットされているために、着地時に膝を伸ばす外側広筋が働き、また、足関節ではつま先があがるために、前頸骨筋の活動量の増大が考えられる。前頸骨筋と外側広筋は速筋線維である¹⁶⁾ことから、下腿血流量が減少したものと推測される。このことはとくに120 m/minでのヒーレスシューズ歩行において、血中乳酸濃度が安静時に比較し有意に増加したことからも明らかである。運動により上昇する血中乳酸濃度は、筋で生成された乳酸濃度を反映し、グリコーゲン分解の指標である²⁰⁾。また筋中の乳酸は速筋線維で生成され、遅筋線維で消去される^{2, 9, 15, 26)}。本研究において、ヒーレスシューズ歩行における速いスピード(120 m/min)での血中乳酸濃度の増加は速筋線維の動員が増強したことを示唆している。またヒーレスシューズ歩行での下腿血流量の著しい減少は活動筋における乳酸生成の増大に伴うアシドーシスが下腿の血管収縮を増強せしめた²⁵⁾ことにも起因しているものと考えられる。

運動により増大する血中カテコールアミン濃度は副腎髄質-交感神経活動の指標である¹⁰⁾。アドレナリンとノルアドレナリンはグリコーゲン分解を促進する^{19, 22)}ことから、運動による血中乳酸濃度の増加はアドレナリンとノルアドレナリン濃度の増加に起因していると考えられる。

本研究において120 m/minでのヒーレスシューズ歩行における血中乳酸の増加はノルアドレナリ

ンの増加に依存し、さらにヒールシューズにおける速足歩き (120 m/min) での血中ノルアドレナリン濃度の増加は、交感神経性の血管収縮作用を強め、このことが下腿血流量の著しい減少と関係しているものと考えられる。

4. まとめ

60 m/min, 80 m/min, 100 m/min と 120 m/min での歩行スピードでのヒールシューズ歩行が、下腿血流量、血中乳酸濃度およびカテコールアミン濃度に及ぼす影響を検討した。

- 1) 80 m/min のスピードで、10 分間のヒールシューズ歩行における下腿血流量は、ランニングシューズ歩行に比べ有意に増加した。
- 2) さらに速いスピードでのヒールシューズ歩行では血中乳酸濃度の増加、ノルアドレナリン濃度の増加が認められた。

これらの結果からヒールシューズ歩行において、普通の歩行スピード (80 m/min) では下腿血流量が増加し、速い歩行スピード (120 m/min) では交感神経活動の亢進、グリコーゲン分解の増大と下腿血流量の減少が認められた。

謝 辞

研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学財団に厚く御礼申しあげます。また本研究実施にあたり多大の御協力をいただきました名古屋工業大学山崎良比古教授と伊藤宏講師の両先生に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Armstrong, R. B., Laughlin, M. H. ; Exercise blood flow patterns within and among rat muscles after training, *Am. J. Physiol.*, 246, H59-H68 (1984)
- 2) Baldwin, K. M., Campbell, P. J., Cooke, D. A. ; Glycogen, lactate, and alanine changes in muscle fiber types during graded exercise, *J. Appl. Physiol.*, 43,

288-291 (1977)

- 3) Barcroft, H., Dornhorst, A. C. ; The blood flow through the human calf during rhythmic exercise, *J. Physiol.*, 109, 402-411 (1949)
- 4) Bonde-Petersen, F., Mørk, A. L., Nielsen, E. ; Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 34, 43-50 (1975)
- 5) Cook, T. C., Laporte, R.E., Washburn, R. A., Traven, N. D., Slemenda, C.W., Metz, K. F. ; Chronic low level physical activity as a determinant of high density lipoprotein cholesterol and subfractions, *Med. Sci. Sports Exer.*, 18, 653-657 (1986)
- 6) Ebbeling, C., Ward, A. Rippe, J. ; Evaluation of the ACSM energy cost equation for walking, *J. Cardiopulm. Rehabil.*, 8, 400 (1988)
- 7) Euler, U. S., Floding, I. A. ; A fluorometric micromethods for differential estimation of adrenaline and noradrenaline, *Acta Physiol. Scand.*, 118 (Suppl 33), 45-56 (1955)
- 8) Falls, H. B., Humphrey, L. D. ; Energy cost of running walking in young women, *Med. Sci. Sports Exer.*, 8, 9-13 (1976)
- 9) Favier, R. J., Constable, S. H., Chen, M., Holloszy, J. O. ; Endurance exercise training reduces lactate production, *J. Appl. Physiol.*, 61, 885-889 (1986)
- 10) Frey, G. C., McCubbin, J. A., Dunn, J. M., Mazzeo, R. S. ; Plasma catecholamine and lactate relationship during graded exercise in men with spinal cord injury, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29, 451-456 (1997)
- 11) Jetté, M., Sidney, K., Campbell, J. ; Effects of a twelve-week walking programme on maximal and submaximal work output indices in sedentary middle-aged men and women, *J. Sports Med.*, 28, 59-66 (1988)
- 12) Kagaya, A. ; Levelling-off of calf blood flow during walking and running, and its relationship to anaerobic threshold, *Ann. Physiol. Anthropol.*, 9, 219-224 (1990)
- 13) Kagaya, A. ; Reduced exercise hyperaemia in calf muscles working at high contraction frequencies, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 298-303 (1992)
- 14) Kagaya, A., Kuno, M., Homma, S. ; Brachial arterial blood flow modification during dynamic handgrip exercise at a frequency of one contraction per second, *J. Exerc. Sci.*, 4, 11-18 (1994)
- 15) Komi, P. V., Rusko, H., Vos, J., Vihko, V. ; Anaerobic performance capacity in athletes, *Acta Physiol. Scand.*,

- 100, 107-114 (1977)
- 16) Laughlin, M. H., Armstrong, R. B. ; Rat muscle blood flows as a function of time during prolonged slow treadmill exercise, *Am. J. Physiol.*, **244**, H814-H824 (1983)
 - 17) Laughlin, M. H., Korthuis, R. J., Sexton, W. L., Armstrong, R. B. ; Regional muscle blood flow capacity and exercise hyperemia in high - intensity trained rats, *J. Appl. Physiol.*, **64**, 2420-2427 (1988)
 - 18) Ljunggren, G., Hassmén, P. ; Perceived exertion and physiological economy of competition walking, ordinary walking and running, *J. Sports Sci.*, **9**, 273-283 (1991)
 - 19) Mazzeo, R. S., Marshall, P. ; Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise, *J. Appl. Physiol.*, **67**, 1319-1322 (1989)
 - 20) Medbo, J. I. ; Glycogen breakdown and lactate accumulation during high-intensity cycling, *Acta Physiol. Scand.*, **149**, 85-89 (1993)
 - 21) Nilsson, B., Ingvar, D. H. ; Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, (Suppl), **93**, 31-38 (1967)
 - 22) Richter, E. A., Galbo, H., Sonne, B., Holst, J. J., Christensen, N. J. ; Adrenal medullary control of muscular and hepatic glycogenolysis and of pancreatic hormonal secretion in exercising rats, *Acta Physiol. Scand.*, **108**, 235-242 (1980)
 - 23) Sadamoto, T., Bonde-Petersen, F., Suzuki, Y. ; Skeletal muscle tension, flow, pressure, and EMG during sustained isometric contractions in humans, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **51**, 395-408 (1983)
 - 24) Seals, D. R., Hagberg, J. M., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., Holloszy, J. O. ; Endurance training in older men and women I. Cardiovascular responses to exercise, *J. Appl. Physiol.*, **57**, 1024-1029 (1984)
 - 25) Sinoway, L., Prophet, S., Gorman, I., Mosher, T., Shenberger, J., Dolecki, M., Briggs, R., Zelis, R. ; Muscle acidosis during static exercise is associated with calf vasoconstriction, *J. Appl. Physiol.*, **66**, 429-436 (1989)
 - 26) Tesch, P., Sjödin, B., Karlsson, J. ; Relationship between lactate accumulation, LDH activity, LDH isozyme and fibre type distribution in human skeletal muscle, *Acta Physiol. Scand.*, **103**, 413-420 (1978)
 - 27) Whitney, R. J. ; The measurement of volume changes in human limbs, *J. Physiol.*, **121**, 1-27 (1953)
 - 28) Williams, C. A., Lind, A. R. ; Measurement of forearm blood flow by venous occlusion plethysmography : influence of hand blood flow during sustained and intermittent isometric exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **42**, 141-149 (1979)
 - 29) Yamanouchi, K., Shinozaki, T., Chikada, K., Nishikawa, T., Ito, K., Shimizu, S., Ozawa, N., Suzuki, Y., Maeno, H., Kato, K., Oshida, Y., Sato, Y. ; Daily walking combined with diet therapy is a useful means for obese NIDDM patients not only to reduce body weight but also to improve insulin sensitivity, *Diabetes Care*, **18**, 775-778 (1995)