

「踵のない靴」での歩行が下肢及び体幹の筋電図に及ぼす影響

北村潔和・堀田朋基・鳥海清司

(2002年10月11日受理)

The Effect of Walking Wearing Heel-Less Shoes on Electromyography of the Lower Limb and Trunk Muscle

Kiyokazu KITAMURA, Tomoki HORITA and Kiyoshi TORIUMI

E-mail: kkitamur@edu.toyama-u.ac.jp

キーワード: 踵のない靴 歩行 筋電図

Key words : heel-less shoes, walking, electromyography

1. 目的

歩行は特別な施設や用具も、また特別な運動技術を獲得する必要のないことから、性・年齢を問わず誰でもが安全に手軽に行うことのできる運動と考えられている。しかし、歩行を健康や体力づくりの運動として実施し効果を上げるためには、適度な運動強度を獲得する必要がある。歩行で運動強度を獲得するには速足で歩くことが求められるが、体力の低下している中高年者にとっては必ずしも簡単なことでない。このようなことを考慮してか、最近では歩行の効果を高めるように工夫された、踵部分が鋭角にカットされた靴が市販されている。

この靴の効果は松浦と辻⁴⁾、山本ら⁷⁾によって検討されてきている。すなわち、松浦と辻は⁴⁾腰痛や膝関節痛の患者に、靴底の踵部分が鋭角にカットされた靴を履かせて日常生活を送らせると、腹直筋、大腿四頭筋などの筋の横断面積が大きくなり、筋力トレーニングの効果がみられたことを報告している。また、山本ら⁷⁾はヒールレスシューズ(踵のない靴)での歩行では、スポーツシューズでの歩行に比べて、高い下腿血流量の得られる歩

行スピードのあることを報告している。しかし、このような形状を持った靴での歩行が、下肢や体幹の筋を太くしたことや下腿に高い血流量をもたらしたことについての十分な検討が行われているとはいえない。

本研究は市販されている踵部分が鋭角にカットされている靴(以後は「踵のない靴」とする。)と、靴底が平らな靴(以後は「踵のある靴」とする。)での歩行中の筋の活動状態を筋電図から比較し、「踵のない靴」は「踵のある靴」よりも歩行の効果を有効に引き出すのか、また歩行に不都合はないのか否かについて検討するものである。

2. 実験方法

被験者はトレッドミルでの歩行に熟練した男子体育教官2人である。被験者KKは年齢47歳、身長175cm、体重75kg、被験者KTは年齢33歳、身長180cm、体重80kgである。

実験に用いた「踵のない靴」と「踵のある靴」の形状は図1に示した。歩行はトレッドミルの走行盤を水平位にし、時速4kmと6kmのスピードについて行わせた。また、規定のスピードでの歩行



図1 「踵のない靴」と「踵のある靴」を示す。

については、歩様が安定するまでの2～3分間行わせた。歩行はいずれの靴でも踵から着地して、つま先で離地するように指示した。

被験者には実験に先だて2種類の靴を履かせて、規定のスピードに設定されたトレッドミル上での歩行練習を行わせた。その後、被験者KKには「踵のある靴」、次に「踵のない靴」を、被験者KTには「踵のない靴」、次に「踵のある靴」を履かせて実験を実施した。

本実験では右脚のヒラメ筋、腓腹筋、前脛骨筋、内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋、大殿筋と体幹右側の脊柱起立筋の筋電図を記録した。すなわち、それぞれの筋の筋腹中央に直径5mmの銀塩化銀皿型電極をサージカルテープで貼付し、表面電極誘導法により双極導出した活動電位をテレメータ（日本光電工業株式会社、WEB-500）を用いてデータレコーダ（SONY, KS-616）まで無線搬送することにより収録した。電極間距離は1cmにし、増幅器の時定数は0.03秒、ハイカットをオフにした。また、電極間抵抗を10KΩ以下にするために体毛を剃刀で剃り、皮膚表面をアルコールで強く拭いた。

靴の踵が着地、つま先が離地した時点を確認するために、自作したON-OFFスイッチ（厚さ：0.5mm）を右足の母指球と踵の裏にサージカルテープで貼付し、筋電図と同期して有線でデータレコーダへ直接収録した。また、筋電図導出用のコードや母指球と踵に取り付けられたスイッチのコードは、歩行の妨げにならないよう束ねて腰部にサージカルテープで固定した。

筋電図の分析はデータレコーダから再生した活動電位をA/D変換機（マイクロサイエンス、DAS-1898XPC）により500Hzで変換し、コンピュータ（NEC-PC-9801VX21）に取り込んだ後に全波整流し、包絡線を作成して実施した。それぞれの筋の包絡線は歩様の安定した10歩の加算平均値として求め

た。

歩行中の筋放電パターンは包絡線に処理された筋電図をもとに、スタンス期（靴が接地しているあいだ。）とスイング期（靴が離地しているあいだ。）に分けて検討した。また、筋放電量はこの包絡線で囲まれた面積をプランメータで求めることで決定し、その検討はスタンス期とスイング期に分けてと、それらを合わせた1サイクルについて行った。

3. 結果

被験者KKが「踵のある靴」と「踵のない靴」を履いて、時速4kmと6kmのスピードで歩いたときの筋電図及び母指球と踵のON-OFFスイッチの記録例を図2に示した。図3にはこのような筋電図から求めた10歩（10サイクル）の平均包絡線を時速4kmと6kmについて示した。また、図4にはこれらと同様の処理を施した被験者KTの筋電図の平均包絡線を示した。

2人の被験者に共通することは、時速4kmのスピードでの歩行では「踵のない靴」は「踵のある靴」に比べて約50ms程度スタンス期が短く、スイング期で長いことであった。しかし、スイング期とスタンス期を合わせた1サイクルの長さは、2種類の靴ともほぼ同じであった。

一方、時速6kmのスピードでの歩行では、「踵のない靴」と「踵のある靴」のスタンス期の長さやスイング期の長さはほぼ同じであり、当然のことながら1サイクルの長さも同じであった。

時速4kmのスピードでの歩行における、踵の着地からつま先の離地までのスタンス期の筋放電パターンには、「踵のある靴」と「踵のない靴」の間に2人の被験者に共通した顕著な相違が認められた（図3と図4）。すなわち、「踵のない靴」の前脛骨筋では、つま先の離地直前と踵着地直前にバースト状の大きな放電が認められたが、「踵のある靴」では認められなかった。また、「踵のある靴」の腓腹筋とヒラメ筋では、踵の着地直後から徐々に高まる筋放電が認められたのに対し、「踵のない靴」では踵の着地直前からバースト状の放電が鋸の歯状に現れた。一方、時速6kmのス

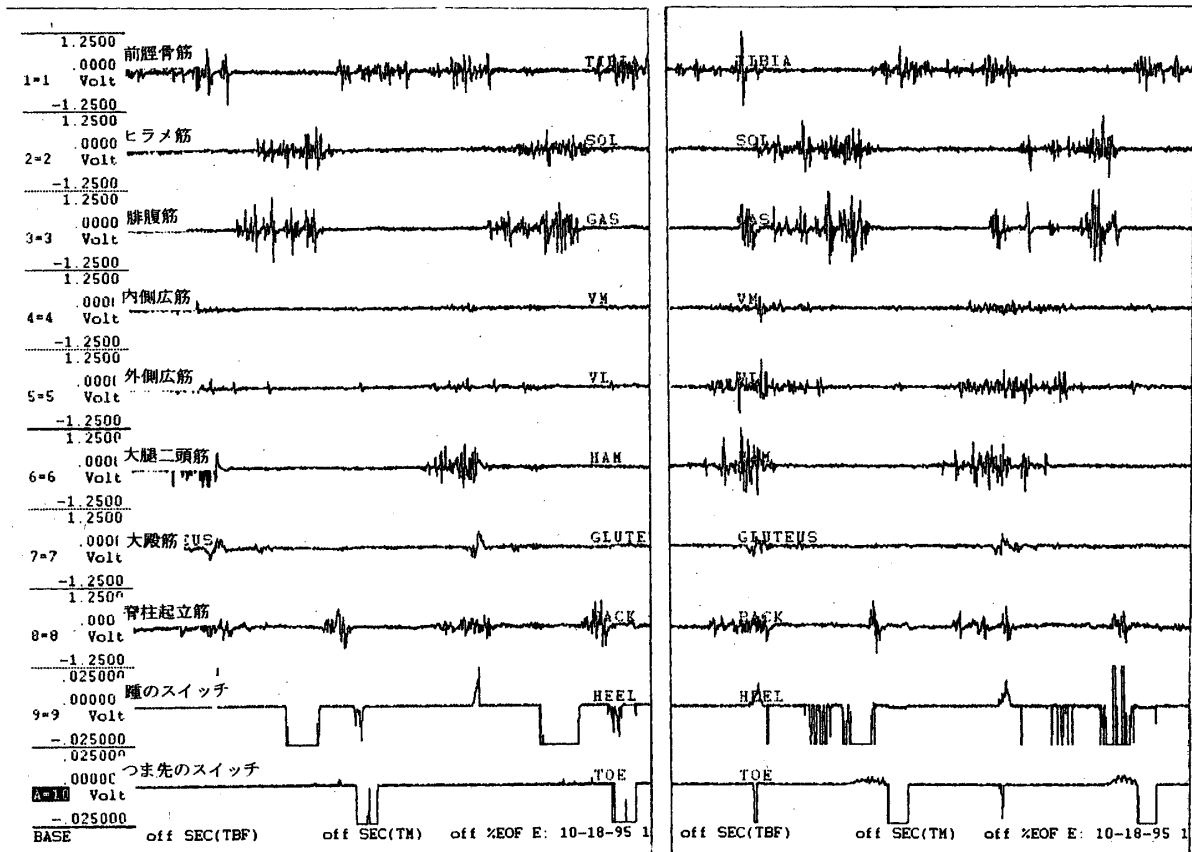


図2 被験者KKが時速4kmで「踵のある靴」(左の図)と「踵のない靴」(右の図)を履いて歩行中の筋電図と踵及びつま先のON-OFFスイッチの記録例。

ピードでは時速4kmでの歩行でみられていたような、2種類の靴間での筋放電パターンに顕著な相違は認められなかった。

興味のあることは身体を支えることのないスイング期においても、時速4kmのスピードでの歩行では、「踵のある靴」と「踵のない靴」の間に顕著な相違が認められたことである。特に、前脛骨筋は「踵のある靴」ではつま先の離地直後でも筋放電が持続するのに対し、「踵のない靴」ではつま先の離地直後に低い放電を示していたのが踵の着地直前にバースト状の高い筋放電が認められるようになった。また、内側広筋と外側広筋においても、「踵のない靴」では「踵のある靴」に比べて、つま先の離地直後から踵の着地まで徐々に高まる高い筋放電が認められた。しかし、時速6kmのスピードになると筋放電パターンは2種類の靴でほぼ同じ傾向を示した。

筋放電量はエネルギー消費量と密接に関わり^{1,2)}、そのエネルギー消費量が健康や体力つくりと密接に関わっていることは明らかである。し

たがって、同じスピードで歩いたときの筋放電量を「踵のない靴」と「踵のある靴」で比べることは有意義であろう。

表1にはそれぞれの筋放電量をスタンス期とスイング期に分けて、プランメータで求めた値とそれらを合計した1サイクルの値を示した。筋電図を記録するための増幅器の感度は全ての筋に同じにしたが、それぞれの筋の筋量(筋の大きさ)が違うことから、異なる筋と筋の間での筋放電量の直接的な比較はできない。しかし、同一筋については、筋放電量の高いことは活動状態が高くエネルギー消費量も高いといえる。

時速4kmのスピードで「踵のない靴」を履いて歩いたときのスタンス期の筋放電量は、被験者KKの5つの筋で、被験者KTの4つの筋で「踵のある靴」に比べて1.8~4.0倍の高い値が認められた。また、スイング期では被験者KKと被験者KTの6つの筋で、「踵のない靴」が「踵のある靴」に比べて高い値を示した。さらに、1サイクルで比べてみると、被験者KKの8つの筋で、被験者

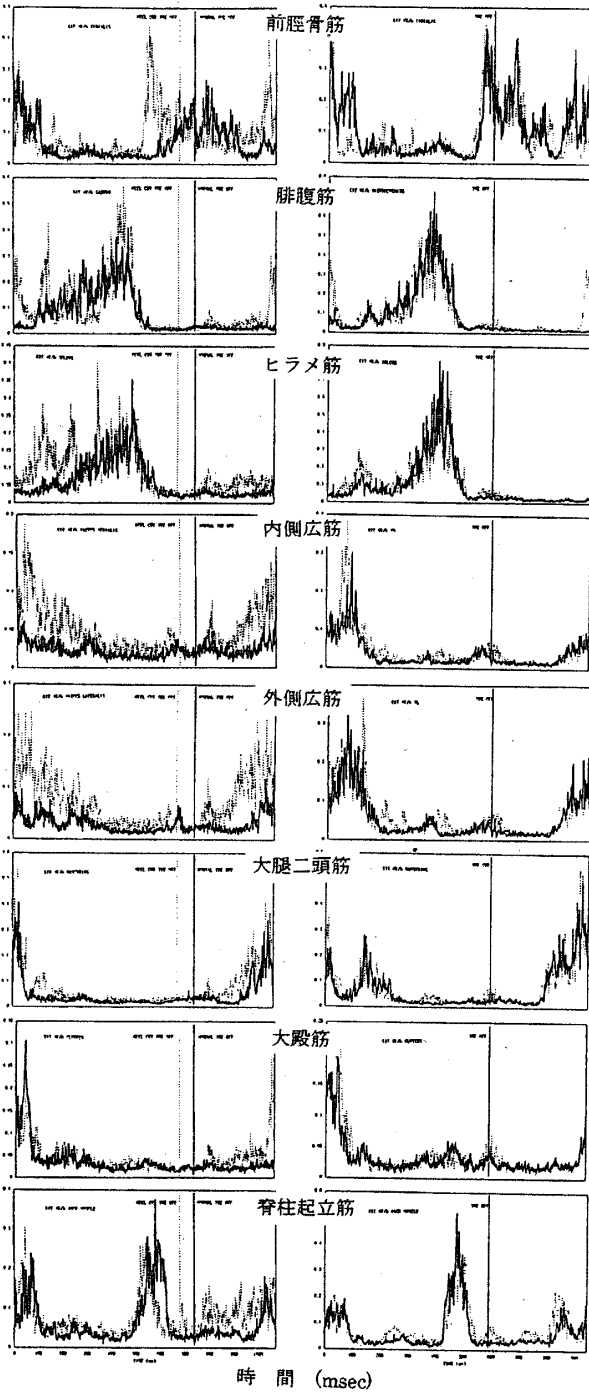


図3 被験者KKが「踵のある靴」と「踵のない靴」を履いて時速4km(左)と6km(右)のスピードで歩行中の筋電図の抱絡線。破線は「踵のない靴」、実線は「踵のある靴」を示す。

KTの6つの筋で「踵のない靴」が「踵のある靴」よりも高い値を示した。その筋放電量の大きさは、活動電位が高いこととその高い活動電位の持続によることが明らかになった。それ以外の筋の放電量は2種類の靴でほぼ同じ値を示した。

一方、時速6kmの歩行では、2人の被験者ともにスタンス期の前脛骨筋が「踵のない靴」に比べ

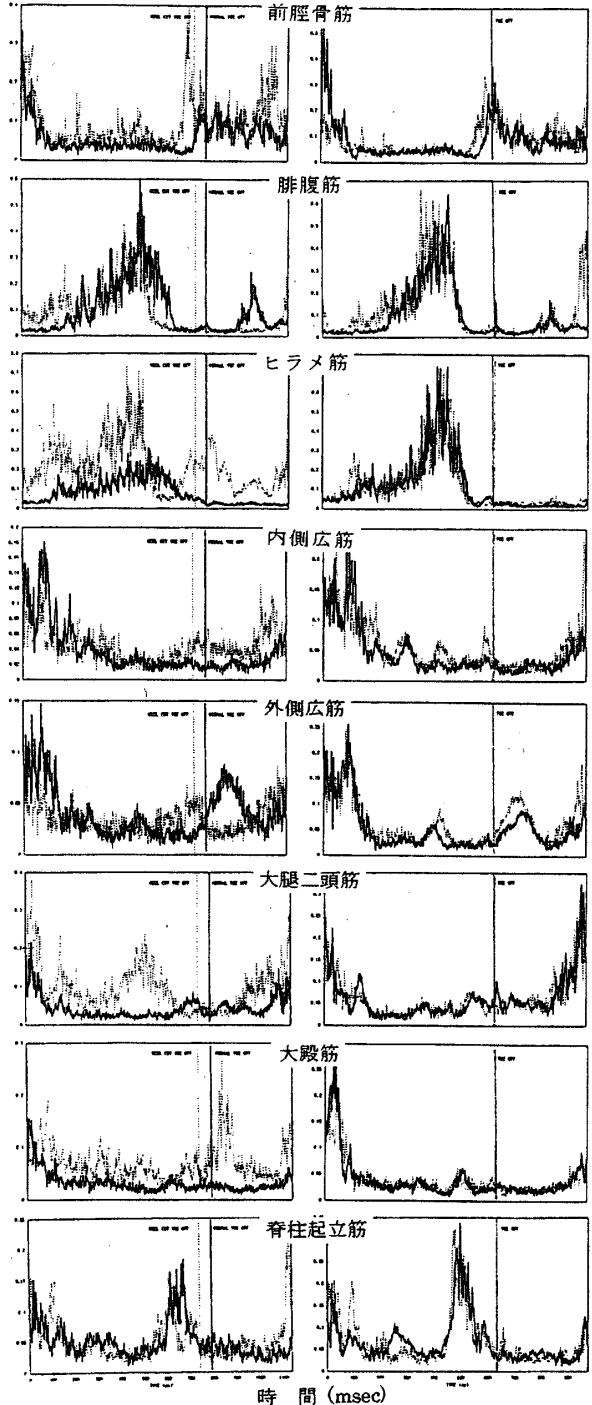


図4 被験者TKが「踵のない靴」と「踵のある靴」を履いて時速4km(左)と6km(右)のスピードで歩行中の筋電図の抱絡線。破線は「踵のない靴」、実線は「踵のある靴」を示す。

て「踵のある靴」で高い値を示したほかは、スタンス期、スイング期、1サイクルの筋放電量ともに2種類の靴でほぼ同じ値を示した。

4. 考察

本研究では、靴底の形状が異なることによって

表1 「踵のある靴」と「踵のない靴」での歩行中の筋電図の積分値。

被験者 KK		4km/h			6km/h		
		スタンス期	スイング期	合計	スタンス期	スイング期	合計
腓腹筋	ない靴	33.3	6.6	39.9	27.4	5.8	33.2
	ある靴	27.4	4.5	31.9	30.6	2	32.6
ヒラメ筋	ない靴	32	9.9	41.9	28	2.9	30
	ある靴	29.4	4.5	33.9	26.5	2.5	29
前脛骨筋	ない靴	29.2	17.5	46.7	27.7	40	67.7
	ある靴	18.9	11.4	30.3	41.5	45	86.5
内側広筋	ない靴	35.5	22.6	58.1	22.9	6.3	29.2
	ある靴	9	8.6	17.6	17.5	5.7	23.2
外側広筋	ない靴	35	23.8	58.8	28.5	10.9	39.4
	ある靴	16.9	8	24.9	23.3	9.6	32.9
大腿二頭筋	ない靴	25.6	15.5	41.1	11.4	16.8	28.2
	ある靴	16.4	8.2	24.6	13.4	16	29.4
脊柱起立筋	ない靴	27.6	20.9	48.5	23.4	11.1	34.5
	ある靴	30	9	39	20	8.9	28.9
大殿筋	ない靴	19	12	31	27.8	7.8	35.6
	ある靴	23.3	4.9	28.2	24	8.8	32.8
被験者 KT							
腓腹筋	ない靴	34.9	4.7	39.6	34.7	9.6	44.3
	ある靴	33.7	7.8	41.5	27.9	5.6	33.5
ヒラメ筋	ない靴	49.7	18.6	68.3	30.7	4.1	34.8
	ある靴	22	2.2	24.2	33.4	1	34.4
前脛骨筋	ない靴	35.3	25.5	60.8	19.3	15.5	34.8
	ある靴	21.7	14.9	36.6	25	15.8	40.8
内側広筋	ない靴	37.8	19	56.8	32	21	53
	ある靴	45.6	23.2	68.8	31.7	13.5	45.2
外側広筋	ない靴	35	19.6	54.6	44.8	8.8	53.6
	ある靴	35.6	9	44.6	37.1	6	43.1
大腿二頭筋	ない靴	42.5	17.4	59.9	24.8	20.7	45.5
	ある靴	15.5	9.5	25	20.5	20.8	41.3
脊柱起立筋	ない靴	36.6	15.7	52.3	41	9	50
	ある靴	37.8	9.5	47.3	36.5	9.7	46.2
大殿筋	ない靴	35	19.9	54.9	25.8	8.2	34
	ある靴	19.7	5.9	25.6	26.2	8.4	34.6

ある靴：「踵のある靴」 ない靴：「踵のない靴」を示す。

1 サイクルの歩様がどのように変わるのかをスタンス期とスイング期に分けて検討した。その結果、時速4kmのスピードでは、「踵のない靴」は「踵のある靴」に比べてスタンス期が短くスイング期が長くなった。しかし、1 サイクルの長さは変わらなかった。また、時速6kmのスピードではスタンス期とスイング期ともに2種類の靴で同じであり、当然のことながら1 サイクルの長さも同じであった。

大道⁶⁾は歩から走へ平均速度が増大するにつれて、踵部の接地時間が短くなることを報告している。また、加賀谷⁵⁾によると時速6kmのスピードは酸素需要量や歩幅と歩数からみて、北村³⁾によ

ると歩数からみて歩行から走行に移行する臨界スピード付近に当たることが明らかにされている。すなわち、走行に近いスピードでの歩行になると、「踵のある靴」においても踵部の接地時間が短くなり、「踵のない靴」と同じようになったことが推測できる。このことが時速6kmのスピードで歩行中のスイング期とスタンス期の長さを2種類の靴で同じにした要因の一つと考えられる。したがって、踵の形状はゆっくりしたスピードでの歩行ではスタンス期やスイング期の長さに影響を及ぼすが、走に近いスピードになると影響が小さくなることを示していよう。

また、山本ら⁷⁾は60~120m/minまでのスピード

について、ヒールシューズとスポーツシューズの歩数と歩幅はスピードの上昇とともに直線的に増大し、2種類の靴を同一スピードで比べると差のないことを報告しており、2種類の靴での1サイクルの長さは、時速4 kmでも6 kmでもともに変わらなかったとする本研究結果を支持するものであろう。

2種類の靴の形状をみると、歩行スピードが変わってもスタンス期の中盤の体重を支える動作や後半のつま先で蹴る動作は、「踵のある靴」と「踵のない靴」で変わらないと考えられる。本研究では時速4 kmのスピードでの前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋の放電パターンに相違が認められた。この結果は、靴底の形状の違いが歩行中の腓腹筋、ヒラメ筋、前脛骨筋の活動に違いをもたらすだろうとしている山本ら⁷⁾の推測を裏付けたものと考えられる。

また、これらの筋は足関節の背屈、底屈、固定に関係する筋であり、踵から着地を行うように指示した歩行でも、踵部分がカットされていることにより足関節の動きに何らかの影響を及ぼしたことが、このような筋放電パターンを示したのであろう。この違いが時速6 kmになると認められなくなったことは、筋放電パターンに違が認められなくなる臨界スピードのあることを推測させ、そのスピードが時速4 kmと6 kmの間にあることを示すものであろう。これらの結果は、ゆっくりしたスピードでの歩行の筋放電パターンは靴底の形状に影響されるが、走行に近くなるスピードでの歩行ではその影響が認められなくなることを示したものと考えられる。

2種類の靴の間で、スイング期の筋放電パターンに違が認められた要因についてはさらに検討する必要はあるが、靴の接地面（靴底の形状）の不安定から身体のバランスをとるための、またバランスが崩れた場合に即座に対処できるようにとの準備的な筋活動と考えられる。すなわち、次の踵の着地までの不安が、膝関節や足関節の動き（対応）を速やかにするための予備的な筋緊張を生じさせたのであろう。

先にも述べたように、健康や体力づくりに大切なことは、筋の活動を高めることである。本研究

では時速4 kmのスピードでの歩行では、多くの筋で「踵のない靴」は「踵のある靴」に比べて高い筋放電量を示し、時速6 kmでの歩行ではその差が認められなくなった。この結果は、松浦と辻⁴⁾が「踵のない靴」を履かせて日常生活を送らせると筋の横断面積が大きくなったとする報告を裏付けるものであろう。

一方、山本ら⁷⁾はヒールシューズとスポーツシューズで60~120m/minまでのスピードで歩かせたさいの下腿血流量は、80m/minのスピードでヒールシューズがスポーツシューズに比べて高い値を示し、これよりも遅いスピードでも速いスピードでも両者に差のないことを報告している。本研究の筋放電量は時速4 kmのときに違いが見られ、山本ら⁷⁾の報告と一致しない。

「踵のない靴」を履いて歩行した後の内省を聞くと、「長時間は履いていられない」、「足首周辺が疲れる」とのことである。このような主観的な内省は、スタンス期やスイング期の高い筋放電を裏付けており、日常生活のようなゆっくりした動作で活動した場合にでも筋力トレーニングの効果が認められたとする松浦と辻⁴⁾の報告を支持するものであろう。

以上のことから、筋放電量の高い運動が健康や体力づくりに有効であると考え、「踵のない靴」は「踵のある靴」に比べて、ゆっくりした歩行では効果が期待できるであろう。しかし、スタンス期とスイング期において複雑な関節の動きや、心理的な不安からくると考えられる筋放電が認められたことは、体力の低下した中高年者が健康や体力づくりのために「踵のない靴」を使用する場合には、十分な歩行練習などを行うことが必要であろう。さらに、足関節の底屈、背屈、固定に関わる筋に疲労感を強く感じる内省が得られており、中高年者にとって長時間の使用には注意を要する。

5. 要約

「踵のない靴」と「踵のある靴」を履いて時速4 kmと6 kmのスピードで歩行させたさいの筋電図及び踵の着地とつま先の離地時点を記録した。時速4 kmのスピードでは、「踵のない靴」は「踵の

ある靴」に比べて踵着地からつま先の離地までのスタンス期の長さは短く、つま先の離地から踵着地までのスイング期の長さは長くなった。しかし、1サイクルの長さは変わらなかった。時速6kmのスピードでの歩行では、スタンス期、スイング期、1サイクルの長さは2種類の靴でほぼ同じであった。

スイング期とスタンス期の筋放電パターンは、時速4kmの歩行では2種類の靴の間で顕著な相違が認められたが、それが、時速6kmになると認められなくなった。

時速4kmの筋放電量は、「踵のない靴」の方が「踵のある靴」よりも多くの筋で高い値を示したが、その差は時速6kmになると認められなくなった。

文 献

- 1) Henriksson, J. and Bonde-Petersen, F: Integrated electromyography of quadriceps femoris muscle at different exercise intensities. *J. Appl. Physiol.* 36:218-220, 1974.
- 2) 北村潔和：最大下および最大自転車エルゴメーター作業時の下肢血流量、酸素摂取量、筋電図積分値。富山大学教養部紀要、15：9-17, 1982.
- 3) 北村潔和：ランニングとウォーキングの主観的運動強度と心拍数。臨床スポーツ医学、13：459-463, 1996.
- 4) 松浦義和、辻博明：踵なし靴の腰痛および膝関節痛に対する効果。靴の医学、8:56-60, 1994.
- 5) 中野昭一、竹宮隆編、運動とエネルギーの科学。19章 歩行・走行におけるエネルギーの出入、255-268, 1996. 加賀谷潔彦
- 6) 大道等：歩と走の膝関節運動。体育の科学、43:592-602, 1993.
- 7) 山本貴子、大桑哲夫、佐藤祐造：ヒー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。デサントスポーツ科学、20:168-176, 1999.