

ロッカーによる足底圧力分散について

有菌裕樹* 星野元訓* 中村 隆** 内藤 尚*** 高嶋孝倫*

The Effects of the Rocker Sole to the Plantar Pressures Distribution

Yuhki ARIZONO*, Motonori HOSHINO*, Takashi NAKAMURA**,
Hisashi NAITO***, Takamichi TAKASHIMA*

Abstract

A rocker sole (rocker) is one of the parts for the modification of the orthopedic shoes. The effect of the rocker is reported to be mainly the plantar pressure distribution to the metatarsal head. The purpose of this study is to reveal that how the rocker effects the plantar pressure distribution. In addition, it is also focused on the relationship of the joint motion and the height of shoes. In experiments four designs of shoes were compared: oxford shoes w/wo rocker, half boots w/wo rocker. Plantar pressure distribution was measured by the film type pressure sensor (F-SCAN) inserted in shoes, and divided into the originally designed region, and the peak pressure and the region load index of each region was determined. The joint angle is also measured with motion capture system (VICON512). The shoes were experimented on nine subjects without foot deformity, and it is noteworthy that in each subject the special callosity like marker was placed on each second metatarsal head in which the problem of the callosity may be caused easily. The results showed the peak pressure at the region of the callosity like marker decreased by using the rocker, and the decreasing pressure is shifted to the metatarsal arch support region. This was supported by analysis of the load distribution at the point of the peak pressure. It also revealed that reduction in the MP joint angle and the height of shoes effects to the ankle joint with the rocker, however, its correlation with the pressure distribution is not proved yet. It might be noted that the half boots with rocker showed the lowest peak pressure at the callosity like marker region between the four designated shoes.

キーワード：靴型装具、除圧、胼胝、関節運動

2008年9月19日 受付

2009年3月19日 採択

* 国立障害者リハビリテーションセンター学院 義肢装具学科

** 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 補装具製作部

***大阪大学大学院 基礎工学研究科

* Department of Prosthetics and Orthotics, College, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

** Department of Prosthetics and Orthotics, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

*** Graduate School of Engineering Science, OSAKA University

1. はじめに

下肢の機能障害には足底に胼胝、潰瘍などの問題を抱えるケースが多く見られ、靴型装具の処方はその治療や予防のための有効な手法の一つである。臨床では、その程度に応じて足底圧力の分散を目的とした足底板や関節可動域を制限させる靴型装具の補正部品が使い分けられている^[1]。

靴型装具の補正部品には様々なものがあり、それぞれの力学的または運動学的な機能や効果については多くの専門書などに記載されている^{[2][3][4]}。しかしながら、そこで示される機能や効果は、明確な客観的評価に基づくものとは限らず、臨床上の経験則からその有効性を見出している部品も多い。本報告は靴型装具の補正部品の1つであるロッカーソール（以下、ロッカー）に着目し、効果の検証を行った。

ロッカーの目的は第一に中足趾節関節（以下、MP関節）や足関節の可動域制限・疼痛などによる異常歩行の改善であり、いわゆる関節運動の代償である。第二に中足骨頭部に圧力集中が見られる場合の圧力分散効果である^[2]。ロッカーの設定方法についてはMarquardt^[3]、Baumgartner^[4]らなどによって提案されているが、それらに統一性はなく、理論的根拠も示されていない。

ロッカーの位置や形状等の諸条件と圧力分散との関係について比較研究がいくつか報告されている。Xuら^[5]はロッカーの頂点の前後位置によって歩行時の荷重分布が変化することを報告した。Cavanaghら^{[6][7]}はロッカーの頂点の高さや前後位置の違いにより、中足骨頭部に対する圧力分散が変化することを示した。Brownら^[8]はロッカーの位置だけでなく、靴底全体の形状により中足骨頭部に対する圧力分散が変化することを報告した。しかし、これらの報告はロッカーのデザインの違いに着目し、圧力分散効果を検証した研究にすぎず、ロッカーの機能の一つである関節運動の制限と圧力分散効果との関連についての記載はほとんどない。

一方、臨床では、前足部への圧力集中を回避するために、靴の高さを変更して足関節の可動域を制限することも試みられる。これは経験則から得られた方法ではあるが、短靴の靴型装具で対応が不十分な場合には、半長靴へデザインを変更することがある。しかし、このような靴のデザインと圧力分散の関係について、その客観的評価は報告されていない。

そこで本研究では、ロッカーによって生じるMP関節運動の変化と圧力分散の効果について客観的に評価し、その関連性を明らかにすることを第一の目的とし、

胼胝様マーカをつけた健常者の歩行におけるロッカーの有無と圧力分散との関係について検証を行った。次いで、足関節運動にも影響を及ぼすと考えられる靴の上縁の高さについて、短靴と半長靴を比較することにより、足関節運動制限と圧力分散との関連性についても検証を行った。

2. 実験方法

被験者は足部変形のない健常者9名（男性4名・女性5名）を対象とした。表1に被験者の情報を示す。

表1 被験者 (n=9)

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	足長(cm)
女性(n=5)	26.8±8.2	159.1±5.1	52.0±10.7	23.9±0.9
男性(n=4)	26.0±8.2	171.5±3.0	62.8±9.3	26.4±0.3

また、本研究では臨床上多く見られる第2中足骨頭部の底面に胼胝が生じたケースを想定し、胼胝様マーカを貼付し歩行実験を行った。このマーカは熱可塑性プラスチックで製作した円形・半球状のもので、足底接触部は直径25mm、センサシート側接触部は直径約7mmである（図1）。厚さは2mmでマーカ以外の足底皮膚部分はセンサシートに接触するので、マーカ部分のみの荷重負荷を1点に集中させる。これによる足底への悪影響はない。

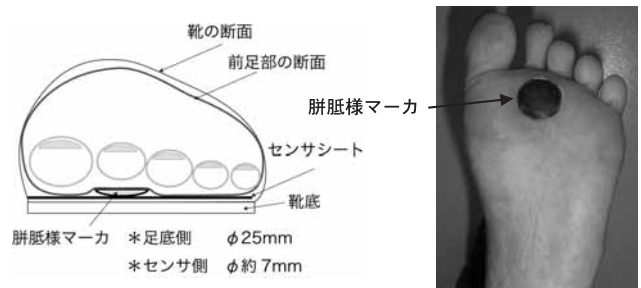


図1 胼胝様マーカ

実際の患部状態は千差万別であり、条件を一定にすることが困難であるが、ここでは胼胝様マーカを設定することによって歩容と足形状以外の胼胝形状という要素を一定にした。

実験を行うにあたっては、全ての被験者に対して、実験の趣旨および内容等について説明し、実験協力への同意を得た。なお、本実験については平成20年度国立身体障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会において審査、承認を得た研究の一環として行った（平成20年5月29日付）。

2. 1. 計測システム

本研究では足底圧力と関節運動を同期して計測する

必要があるが、現在この両者を同一の機器で測定するシステムは存在しない。そこで足底圧力および関節運動を計測する機器を組み合わせることで評価を行った。

2. 1. 1. 足底圧力の計測

足底圧力を計測する方法としては、靴の内部という狭い空間での計測を強いられることから、フィルムセンサを用いた報告が多い。本研究においてもフィルムセンサを用いた足底圧力分布測定システムF-SCAN (Tekscan社製) を用いて計測を行った。図2にF-SCANのシステム構成を示す。

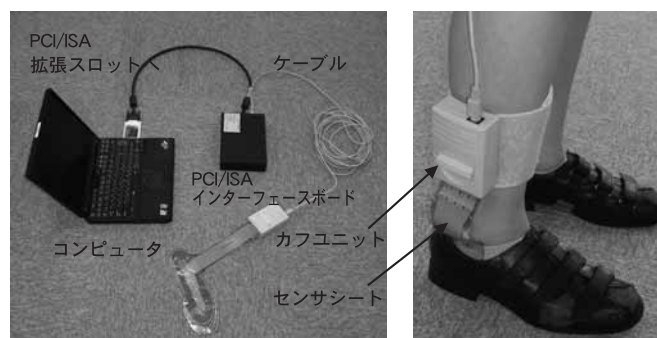


図2 F-SCANのシステム構成

センサシート内の検出セルの電気抵抗値は荷重により変化し、カフユニットにより256段階のデジタル信号に変換され、インターフェースボードを通じてコンピュータに記録される。得られた256段階のデジタル信号は対象者ごとにキャリブレーションを行うことにより、センサシート上にかかっている荷重を具体的な重量単位、圧力単位に変換することが可能である。

2. 1. 2. 関節角度と床反力の計測

3次元動作解析装置VICON512 (Oxford Metrics社製) を用いて関節角度の計測を行った。被験者体表および靴型装具表面に直径25mmの反射マーカを左右の膝関節・外果・第5中足骨頭・つま先部の位置にそれぞれ貼り付けた。12台の赤外線カメラによってマーカ位置を撮影し、歩行中の足関節およびMP関節の角度変化を計測した。なお、サンプリング周波数は60HzとしF-SCANと同期させて計測を行った。

関節角度の算出にはマーカ位置から一般的な矢状面投影角を算出し、足関節の底屈-背屈角度およびMP関節の屈曲-伸展角度について解析を行った。

2. 2. 圧力の評価値と算出方法

本報告で用いた評価尺度は、足底圧力については足底を7つのエリアに分割し、各エリアにおける圧力ピーク値と荷重値を算出した。足底の分割方法としては、Tsong BYら^[9]に従い先端から足長の1/6が足趾部、残りを3分割してそれぞれ前足部・中足部・後足部と

し、前足部を内側・中央・外側に3分割した。本研究ではこれに加え、最も注目すべき前足部中央を前方1/2の胛胝様マーカ部、後方1/2の中足骨アーチサポート部の二つに分割し、それぞれのエリアの圧力分布を比較した (図3)。

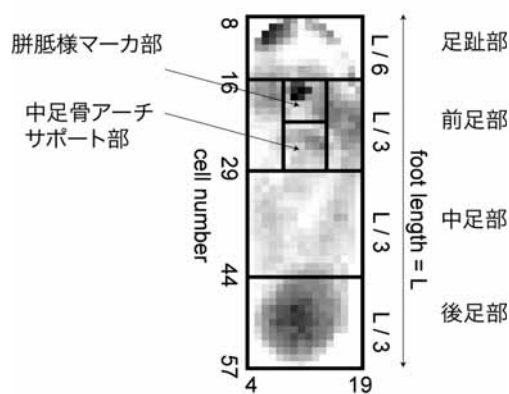


図3 足底の分割方法

圧力ピーク値は各エリア内で隣接する4つの検出セルの平均値を求め、1立脚相における最大値を圧力ピーク値とした^{[8][10]}。次に荷重値は各検出セルの圧力値にセルの面積 (0.504×0.504cm²) を乗じて算出し、全エリアの合計により算出した。また、被験者の体重による正規化のため、各エリアの荷重値を足底全体の荷重値で除した荷重支持率 (インデックス値)^[11] を算出して比較を行った。

前田ら^[12]はフィルム型の圧力センサ (F-SCAN) を用いた計測においては、測定値と絶対値の間に誤差が認められ、この誤差を補うためF-SCANによって出力された荷重値に対して床反力による計測値を用いた補正を行うことを提案している。本実験においても同様の誤差を確認したため、同様の補正を行った。すなわち、立脚相のサンプリング時間ごとの補正率 (=床反力値/F-SCANによる足底荷重値) を算出し、F-SCANの各検出セルの圧力値に乘じることによって補正を行った (図4)。

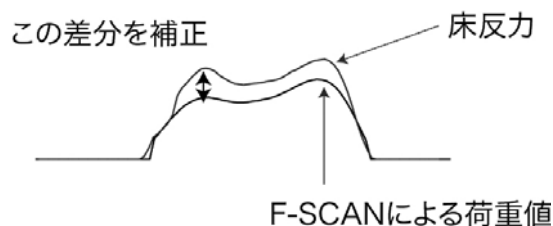


図4 荷重値の補正

加えて、筆者らは前足部の圧力集中が最も高くなるのは立脚相後半の踏み切り期であり、この時点での圧

力、及び荷重分散に着目すべきであると考えた。そこで、胼胝様マーカ部が圧力ピーク値を示す時期の荷重支持率を算出し、靴の条件によって足底での荷重分散がどのように変化するか定量的に評価を行った（図5）。

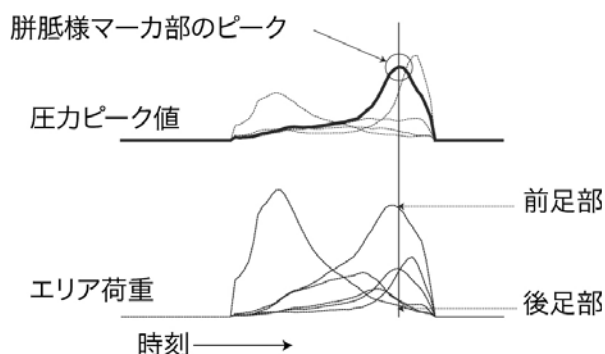


図5 胼胝様マーカ部の圧力ピーク時における荷重支持率

2. 3. 計測条件

計測にあたっては、ロッカーの有無と靴の上縁の高さとの関係を区別するために、次の4条件で計測を行った（図6）。



図5 胼胝様マーカ部の圧力ピーク時における荷重支持率

- ① 短靴
- ② 短靴をロッカーで補正（以下、短靴ロッカー）
- ③ 半長靴
- ④ 半長靴をロッカーで補正（以下、半長靴ロッカー）

なお、この報告の主旨はロッカーの有無にあることから、ロッカーの設置にあたっては短靴、半長靴それぞれ同一の靴に取り外し可能なロッカーを追加することによって実験を行った。ロッカーの取り付け位置については頂点位置を中足骨頭とし、高さは10mmの設定とした。また、全ての条件において各被験者の靴には一般に足底圧力分散に用いられる中足骨アーチサポートおよび内側アーチサポートのついた足底板を挿入して計測を行った。さらに、実験に使用する靴については靴の上縁の高さ以外の条件、すなわちトウスプリングや靴底の硬さなどの諸条件は全て統一した。

歩行計測は、各条件において十分に慣れるまで試歩行をした後に計測を行い、歩行速度は自由歩行とした。圧力分散と関節可動域の評価は、胼胝様マーカを装着した患側10歩（右足）について解析を行い、ロッカーの有無については対応のあるt検定により検証を行った。

3. 結果

3. 1. 圧力ピーク値

被験者9名の中で胼胝様マーカ部の圧力ピーク値（10歩の平均値）に最も違いが見られた例を図7に示す。短靴ではロッカーを追加することにより胼胝様マーカ部の圧力ピーク値は有意に減少することが示された。同様に半長靴でもロッカーを追加した条件において胼胝様マーカ部の圧力ピーク値が減少した。

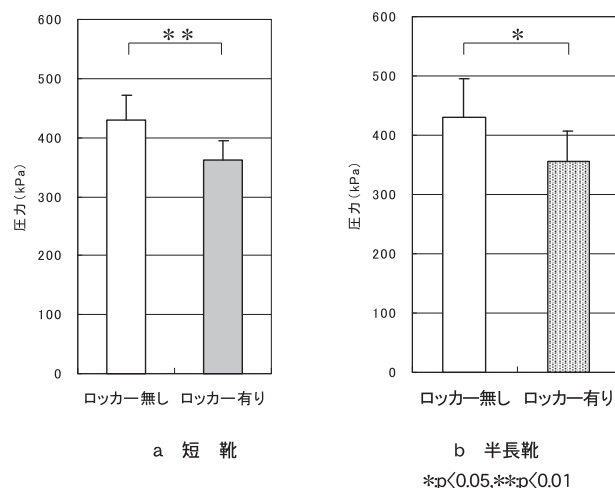


図5 胼胝様マーカ部の圧力ピーク時における荷重支持率

被験者9名の圧力ピーク値（10歩の平均）を図8に示す。各被験者すべてにロッカーを追加した条件で胼胝様マーカ部の圧力ピーク値が減少した。その中でも短靴では4名に、半長靴では6名に有意差が認められた。

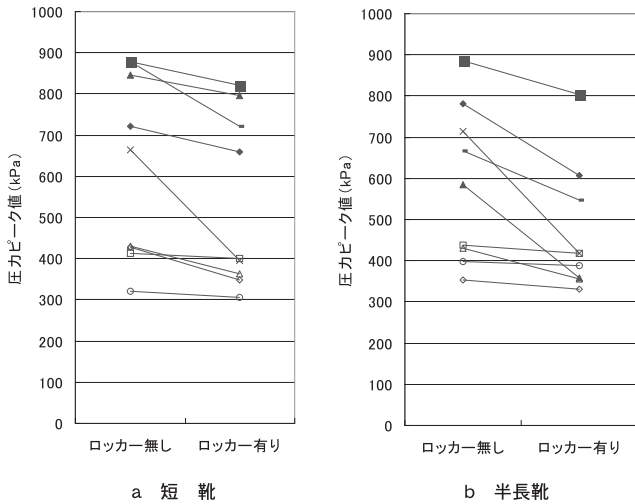


図8 脛脛様マーカ部の圧力ピーク値 (n=9)

3. 2. 荷重支持率

ロッカーによって脛脛様マーカ部の圧力ピーク値が減少した要因としては他の部位へ圧力が分散したと考えられる。そこで、1立脚相中にかかる各エリア内(足趾部・前足部・中足部・後足部)の荷重支持率について解析を行った。

短靴における荷重支持率について被験者9名の平均値を図9に示す。

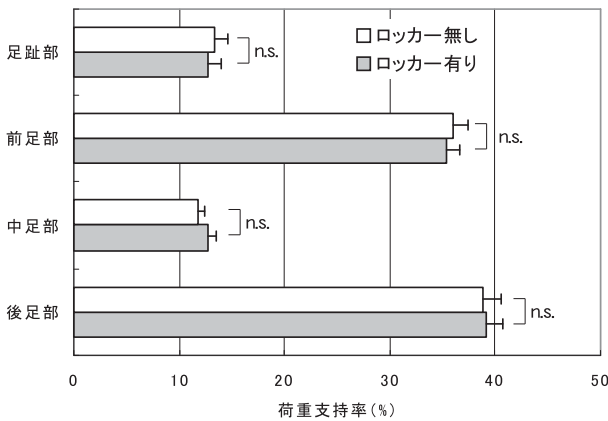


図9 1立脚相中の荷重支持率 (短靴)

若干ではあるがロッカーを追加することによって中足部および後足部に荷重が分散し、足趾部及び前足部への荷重は減少した。しかしながら、各部位においてロッカーの有無で有意差が認められる程の効果ではなかった。また、半長靴でも同様の傾向であった。すなわち、この結果からロッカーによる脛脛様マーカ部の圧力ピーク値の減少は前足部外への圧力分散によるものではなく、前足部内に含まれている中足骨アーチサ

ポート部への圧力分散が生じていることが示唆された。そこで、前足部中央を分割した脛脛様マーカ部と中足骨アーチサポート部について、1立脚相における圧力ピーク時の荷重支持率について解析を行った。

短靴および半長靴の圧力ピーク時における荷重支持率について被験者9名の平均値を図10、図11に示す。

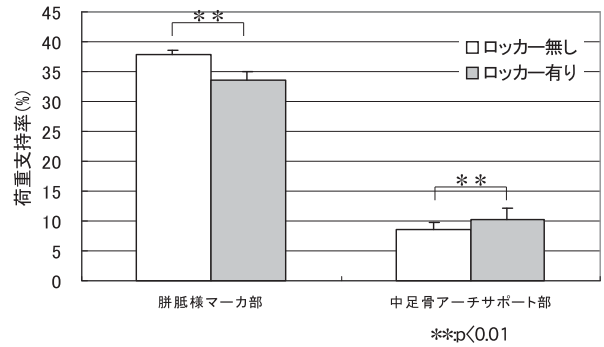


図10 圧力ピーク時の荷重支持率 (短靴)

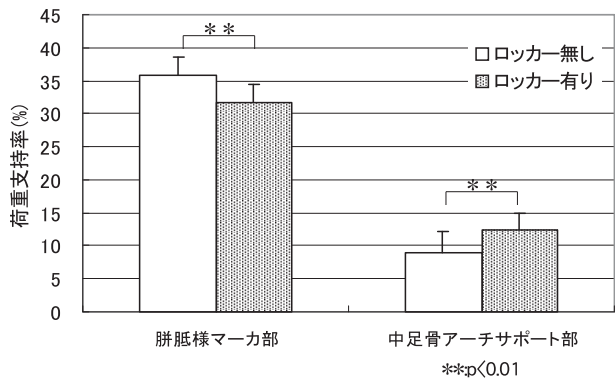


図11 圧力ピーク時の荷重支持率 (半長靴)

短靴および半長靴ともにロッカーを追加することによって、有意に脛脛様マーカ部の荷重は減少し、中足骨アーチサポート部の荷重は増加した。

この結果はロッカーを追加することによって脛脛様マーカ部の荷重が足底板の中足骨アーチサポート部に分散されていることを示唆している。図9の結果では前足部という広いエリアで解析を行ったため、ロッカーの有無による荷重分散効果については明確な差異が認められなかった。しかし、前足部中央の脛脛様マーカ部と中足骨アーチサポート部といった新たなエリアを比較することによって、ロッカーの有無による荷重分散効果が有意に示された。足底圧力分散を評価するにあたり、このような新たなエリア設定は有効な解析手法の1つであると考えている。

3. 3. 関節角度

1 歩行周期中のMP関節最大伸展角度および足関節最大底屈角度について被験者9名の平均値を図12、図13に示す。

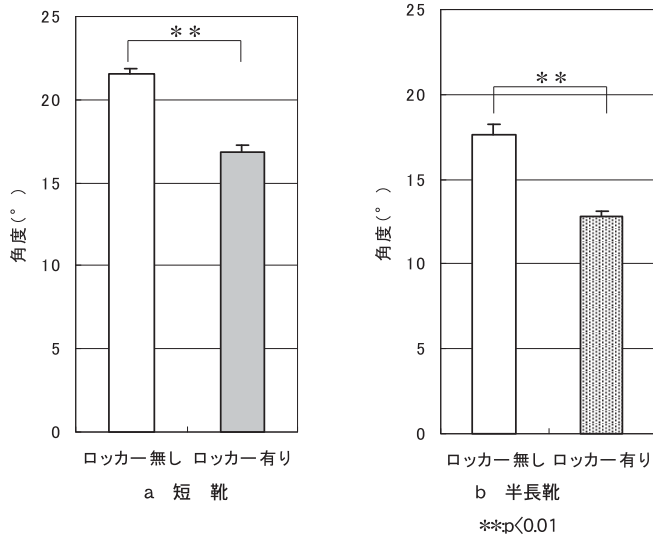


図12 MP関節最大伸展角度

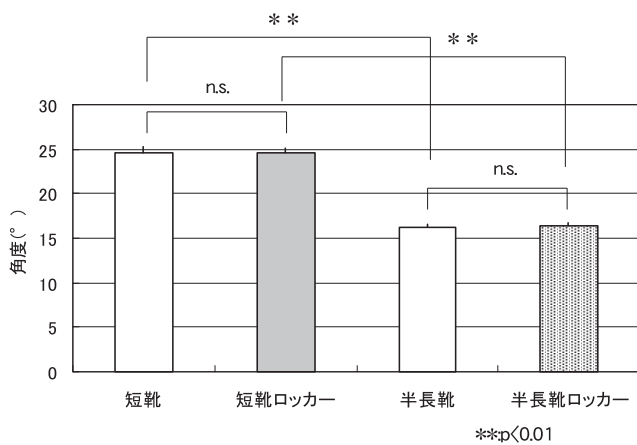


図13 足関節最大底屈角度

MP関節の最大伸展角度は短靴および半長靴ともにロッカーを追加することにより有意に減少した。

また、ロッカーが足関節の運動に及ぼす影響としては、短靴および半長靴ともにロッカーを追加しても最大底屈角度には変化がなく、影響しないことが示された。

一方、足関節の運動を靴の高さの違いによって比較すると、短靴群に比べ半長靴群の条件では最大底屈角度は減少し、靴の高さによって足関節の運動が制限されていることが確認された。

4. 考察

4. 1. MP関節角度とロッカーの効果について

ロッカーの有無による関節角度と腓胝様マーカ部の荷重支持率の関係について、被験者9名の平均値を図14に示す。

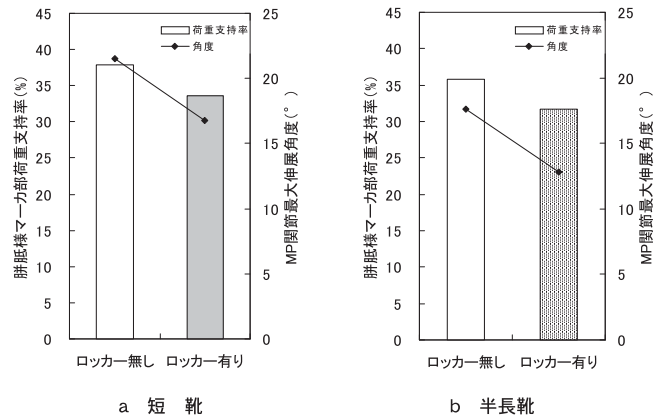


図14 関節角度と荷重支持率

短靴および半長靴ともにロッカーを設定することによりMP関節の伸展運動は減少し、腓胝様マーカ部の荷重支持率も減少した。

以上の結果は、ロッカーがない場合には立脚相後半の踏み切り期にMP関節が伸展し、腓胝様マーカ部に圧力が集中することを示している。これに対してロッカーを設定すると、踏み切り期におけるMP関節の伸展運動をロッカーが代償しているため、腓胝様マーカ部後方に設定された中足骨アーチサポート部に荷重が分散され、その結果として腓胝様マーカ部の圧力が減少したと解釈できる。そもそも中足骨アーチサポート自体に腓胝部の除圧効果があることは報告されているが¹³⁾、この結果からロッカーにより相乗作用がもたらされると考えられる。

4. 2. 靴の高さと圧力分散効果について

短靴ロッカーおよび半長靴ロッカーの関節角度と腓胝様マーカ部荷重支持率の関係について、被験者9名の平均値を図15に示す。

半長靴にすることによりMP関節の伸展運動は減少し、腓胝様マーカ部の荷重支持率も減少した。すなわち、靴の高さもMP関節の運動に影響し、さらにその結果、前足部の圧力分散にも影響し得ることが明らかとなった。

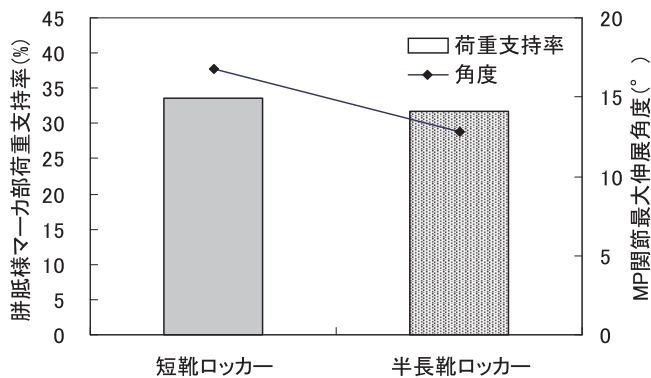


図15 靴の高さの違いによる関節角度と荷重支持率

これまで実際の臨床の場面において、前足部に胼胝、潰瘍などの問題を抱えるケースに対しては、足底板による患部の除圧、ロッカー補正による踏み返しの円滑化、さらに半長靴へのデザインの変更といった方針が有効であると考えられていた。これらの適用は経験則に過ぎないものであったが、本研究結果はその方針の妥当性を裏付けるものであった。

すなわち、本研究は上記のこともふまえて、靴型装具におけるロッカーによる靴底の補正、あるいは靴の上縁の高さの選択といった経験則に対して、その科学的根拠を明示し得る定量的な結果の一つであると考えている。

5. 結論

靴型装具で用いられる補正部品の1つであるロッカーについて、圧力分散の効果を定量的に評価した。また、靴の上縁の高さの違いによる足関節運動の変化と圧力分散との関連性についても検証を行った。

その結果、ロッカーはMP関節の伸展運動を減じ、胼胝様マーカ部の圧力集中を軽減することが明らかとなった。また、靴の高さは足関節の底屈運動を減じ、半長靴はロッカーを併用することによって胼胝様マーカ部の圧力集中を最も軽減するデザインであることが示唆された。

6. 参考文献

- 1) 有菌裕樹, 星野元訓, 高嶋孝倫, 大熊雄祐. 足底の除圧を目的とした装具の検討. 第20回日本義肢装具学会学術大会講演集. 20 (s), 2004, p.298-299.
- 2) 加倉井周一. 装具学. 整形外科靴 (靴型装具). 第3版. 医歯薬出版株式会社. 2003. p.17-50.
- 3) W. Marquardt. 大量生産靴に対する補正. 靴型装具のすべて-理論と実際-. 第1版. パシフィックサプライ株式会社. 1983. p.76-77.

- 4) R. Baumgartner. 靴、整形外科と整形外科靴技術. 足と靴-その整形外科的処置法-. 第1版. フスウントシューインスティテュート. 1999. p.181-182.
- 5) Xu H, Akai M, Kakurai S, Yokota K, Kaneko H. Effect of shoe modifications on center of pressure and in-shoe plantar pressures. *Am J Phys Med Rehabil.* 78 (6), 1999, p.516-524.
- 6) van Schie C, Ulbrecht JS, Becker MB, Cavanagh PR. Design criteria for rigid rocker shoes. *Foot Ankle Int.* 21 (10), 2000, p.833-844.
- 7) Cavanagh PR, Ulbrecht JS, Zanine W, Welling RL, Leschinsky D, van Schie C. A method for the investigation of the effects of outsole modifications in therapeutic footwear. *Foot Ankle Int.* 17 (11), 1996, p.706-708.
- 8) Brown D, Wertsch JJ, Harris GF, Klein J, Janisse D. Effect of rocker soles on plantar pressures. *Arch Phys Med Rehabil.* 85 (1), 2004, p.81-86.
- 9) Tsung BY, Zhang M, Mak AF, Wong MW. Effectiveness of insoles on plantar pressure re distribution. *J Rehabil Res Dev.* 41 (6A), 2004, p.767-774.
- 10) Mueller MJ, Zou D, Lott DJ. "Pressure Gradient" as an Indicator of Plantar Skin Injury. *Diabetes Care.* 28, 2005, p.2908-2912.
- 11) Wearing SC, Smeathers JE, Urry SR. A comparison of two analytical techniques for detecting differences in regional vertical impulses due to plantar fasciitis. *Foot Ankle Int.* 23 (2), 2002, p.148-154.
- 12) 前田貴司, 今石喜成, 中島義博, 岩佐聖彦, 志波直人, 後藤武史, 井上明生, 松尾重明, 田川喜彦. 足底圧分圧測定システム (F-SCAN) と床反力計との比較. *日本臨床バイオメカニクス学会誌.* 19, 1998, p.197-200.
- 13) 高嶋孝倫. 足底装具構成要素が足底の荷重分布に及ぼす影響について. 第15回日本義肢装具学会学術大会講演集. 15(s), 1999, pp.96-97.