

カーフレイズ動作と歩行中の蹴り出しにおける 長腓骨筋・後脛骨筋の筋活動の関連

徳王丸 香織¹⁾, 稲水 惇¹⁾, 関川 清一¹⁾
髻谷 満²⁾, 曾田 幸一朗²⁾, 川口 浩太郎¹⁾

キーワード (Key words) : 1. 長腓骨筋 (peroneus longus) 2. 後脛骨筋 (tibialis posterior)
3. カーフレイズ動作 (calf-raise)

本研究では歩行での蹴り出し動作とカーフレイズ動作について、長腓骨筋、後脛骨筋の筋活動に関連があるかを明らかにすることを目的としている。対象は健康成人 23 名 (男性 5 名, 女性 18 名, 年齢 22.1 ± 1.4 歳) とし, 表面筋電図を用いて歩行時, カーフレイズ動作時の長腓骨筋と後脛骨筋の筋活動を検討した。

その結果, 長腓骨筋の筋活動, そして長腓骨筋と後脛骨筋の筋活動比について, 歩行立脚期蹴り出し直前の足関節底屈動作時とカーフレイズ動作時との間にのみ有意な相関関係が認められた。歩行中の足関節底屈動作時に, 長腓骨筋の活動が大きい程, そして後脛骨筋に対する長腓骨筋の活動の割合が大きい対象程, カーフレイズ時においても長腓骨筋の活動が大きく, 長腓骨筋の活動の割合が大きい, すなわち優位であることがわかった。このように歩行中の足関節底屈動作とカーフレイズ動作での筋活動に有意な相関が認められたことから, 足部への最大荷重点についてもこの二つの動作で関連が予想されるため, 今後は足底圧分布についても検討する必要がある。

緒 言

一般に歩行における足底圧中心は, Midstance に外側中足部, Heel contact から足趾離地において第 1・2 中足骨頭下に移り, 母趾球で蹴り出すと言われている¹⁾。Heel contact からの足関節底屈動作は下腿三頭筋が主動筋であるが, この他に長腓骨筋 (peroneus longus, 以下 PL) や後脛骨筋 (tibialis posterior, 以下 TP) といった筋も同時に働く。PL はその走行から足関節を外反する作用を持ち, TP は足関節内反作用があり, これらの筋活動により, 足関節底屈動作時に足関節内・外反が起こる。宮原²⁾ は歩行での蹴り出しにおいて, 母趾球へ荷重するタイプ, 第 2 中足骨下に荷重するタイプ, 小趾側へ荷重するタイプと様々であると報告している。PL は母趾球荷重をするために最も重要な役割を果たすとの報告や³⁾, PL と TP が共同で働くことで踵骨の内外反を制動することも知られており⁴⁾, これら 2 つの筋活動により足関節底屈時の足部内・外反がコントロールされ, 歩行時の足関節荷重位置に影響を及ぼすものと推察できる。

また, カーフレイズ動作は踵骨を挙上する足関節底屈動作であり, 歩行における蹴り出し動作に類似している。歩行での蹴り出し時に最大荷重点が様々であるのと同様

に, カーフレイズ動作においても踵骨挙上時に母趾球へ最大荷重点を移すことが可能である例と困難である例が観察されることから, PL および TP の筋活動が歩行とカーフレイズ動作における最大荷重点の位置に大きく関与しているのではないかと考えられる。

以上からこの二つの動作における PL と TP の筋活動について関連があると予想され, カーフレイズ動作における PL の活動を評価することで, 歩行中の PL の筋活動を予想することができると考えられる。しかし, カーフレイズ動作と歩行中 PL の筋活動について筋電図学的に検討している先行研究は見当たらない。

そこで, 本研究の目的は, 表面筋電図 (surface electromyography, 以下 S-EMG) を用いてカーフレイズ動作と歩行中の蹴り出し動作における TP, PL の筋活動の関連性について検討することである。

対象および方法

1. 対象

大学生 23 名 (男性 5 名, 女性 18 名, 年齢 22.1 ± 1.4 歳) を対象とした。実験に先立ち本研究の趣旨および目的を対象へ説明し, 文章による同意を得てヘルシンキ宣言の精神に則って実施した。

・ The relationship between the peroneus longus and tibialis posterior muscle activities involved in raising the heel during calf-raise and in gait
・ 1) 広島大学大学院保健学研究科 2) 兵庫医科大学病院リハビリテーション部
・ 広島大学保健学ジャーナル Vol. 6 (1) : 58~64, 2006

2. 方 法

2-a. S-EMG

測定機器の配置の関係から左下肢にて測定を行った。導出筋は左 PL, 左 TP とし, PL は腓骨頭下約 3 横指遠位, TP は内果の上方約 2 横指近位の脛上に電極を貼付した⁵⁾。アースは左腓骨頭に貼付した。このとき皮膚処理剤 (skin pure : 日本光電社) にて測定部位の皮膚抵抗を 5 k Ω 以下となるよう十分処理し, アルコール清拭を行った。Disposable 電 極 (blue sensor : MEDICOTEDST A/S) の接着部分の片側を切り取り, 電極中心間距離が 10 mm となるよう貼付し⁵⁾, 双極電極法にて測定した。マルチテレメータ (WEB-5000 : 日本光電社) を用いて, 歩行, カーフレイズ動作, 静止立位時における筋放電量をサンプリング周波数 1 kHz にて記録した。得られたアナログ信号を Power Lab /800 (AD Instrument) にて A/D 変換し, パーソナルコンピュータに取り込み, Chart 5 for Windows (AD Instrument) を用いて解析した。

2-b. 圧センサーの貼付

直径 10 mm の圧センサー (HU-Flexiforce4 : ニッタ) を左下肢の第 1, 2, 5 中足骨骨頭, 踵骨中央の足底面の 4 箇所貼り付けた (図 1)。踵部中央の貼付位置は対象間で一定とするため, 前額方面では踵骨の両外側端の中央に, 矢状方向は踵骨の後端に一致させた。第 1, 2, 5 中足骨頭足底面の圧センサーは, センサーに加わる圧を波形に反映するように設定した。一方踵骨中央足底面のセンサーは 10 N 以上の圧が加わると矩形波として取り込まれるよう設定した。

歩行時の Heel off, 蹴り出し時を 4 つの圧センサーを用いて特定し, カーフレイズ動作時は Heel off・Heel contact を特定するために踵骨に貼付したもののみを使用した。

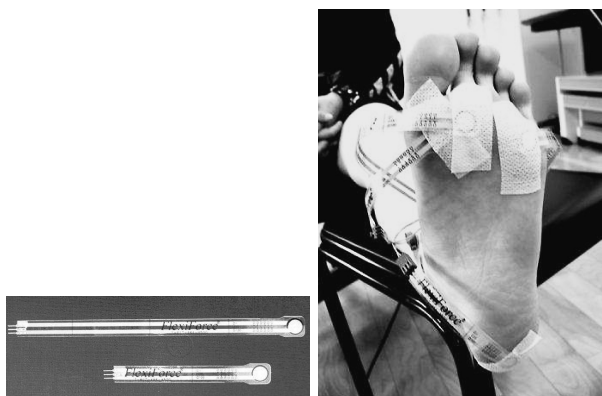


図 1. 圧センサーの貼付

左 : 圧センサー 右 : 貼付後

第 1, 2, 5 中足骨頭, 踵骨下端中央へ圧センサーを貼付

3. プロトコル

3-a. 歩行動作中の S-EMG

自由歩行をするよう指示し, 裸足歩行中の S-EMG を記録した。3 回 10 m 歩行を行い, 最初の 10 m を除いた 8 m をデータ解析の対象にした。

3-b. カーフレイズ動作での S-EMG

カーフレイズ動作は立位姿勢, 膝伸展位にて行った。第 5 中足骨の外側端を両肩峰間距離にあわせ, 足部の向きが平行となるように設定した (図 2)。そして踵骨を挙上して 3 秒間静止した後, 踵骨を降ろすよう指示し, 踵骨が接地して 10 秒後に繰り返した。これを合わせて 3 回行い S-EMG を記録した。

3-c. 静止立位時の S-EMG

足部の位置はカーフレイズ動作時と同様に設定した。静止立位 5 秒間の S-EMG を記録した。

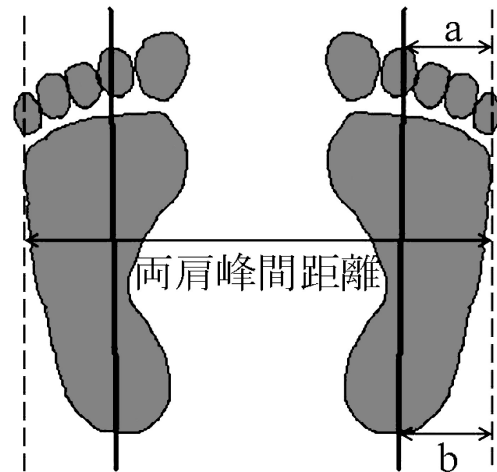


図 2. 足部の位置

a : 第 5 中足骨外側端, 第 2 趾先を通る正中線間の距離

b : 第 5 中足骨外側端, 踵骨中央を通る正中線間の距離

解析方法

取り込んだ S-EMG の波形は低周波域 (0 ~ 20 Hz) を取り除き⁷⁾, 整流した後に下に記すような歩行各相, カーフレイズ動作時, 静止立位時における各筋の波形からそれぞれの root mean square (以下 RMS) 値を求めた。

1. 歩行中の S-EMG

3 回の歩行により得られた S-EMG の波形から, アーチファクトの少ない立脚期 5 歩分の波形を選出した。対象間で正規化するため Heel off から maximum sensor output (MSO) までの時間を 100% としこれを選出した立脚期 5 歩分の波形それぞれで求めた (図 2)。この

ときの MSO は中足骨頭につけた3つのセンサーのうち、Heel offからの時間が最も長いものを採用した。そして中足骨頭での蹴り出し期として、MSOを中心として前後に、正規化したHeel offからMSOまでの時間の10%ずつ、計20%の時間を第2相とした。正規化した時間の20%分を第2相の開始前、終了後で選出した。この選出した第2相の開始前20%を第1相、第2相の後20%の時間を第3相と設定した(図3)。5歩の波形それぞれで各相を設定し、PLとTPのRMS値を求め、静止立位時のRMS値で除した。1対象につき各相において5歩分の平均をPL、TPの代表値とした。

2. カーフレイズ動作での各筋のS-EMG

5周期の中でHeel contactからMSOまでの時間が異なるため、設定した相の平均時間(図4、*1)を求め、歩行とカーフレイズ動作で波形の選択時間が同一になるようにした。圧センサーの波形よりHeel offからHeel contactの中央を求め、その点を中心に得られた平均時間分の波形を選び、PLとTPのRMS値を求めた。こうして得られた値を静止立位のRMS値で除し、その値の平均値を1つの対象のデータとして採用した。

3. 静止立位時のS-EMG

各筋の基準として、静止立位時のRMS値を求めた⁷⁾。静止立位にて得られた波形から、カーフレイズ動作で解析に用いた時間と同じ時間内におけるPL・TP各筋のRMS値を求め、基準値とした。

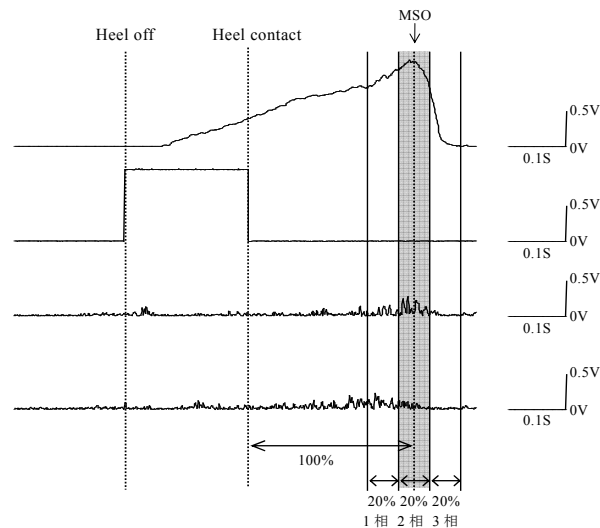


図3. 歩行における各相の決定

上段：中足骨頭に貼付した3つの圧センサーのうちの1つ
 中段上：踵骨に貼付した圧センサー出力の波形
 中段下：TPの筋活動を表す波形
 下段：PLの活動を表す波形

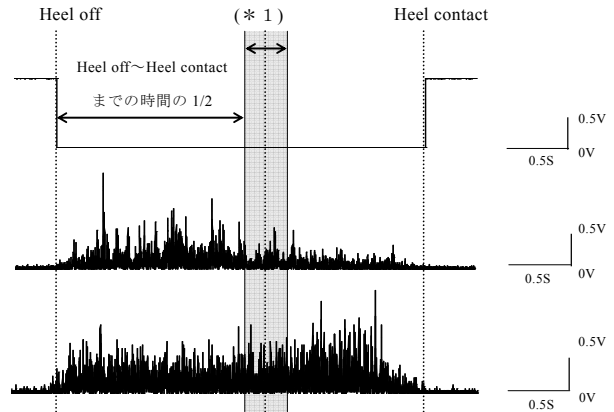


図4. カーフレイズにおける波形の選出

上段：踵骨に貼付した圧センサー出力の波形
 中段：TPの筋活動を表す波形
 下段：PLの活動を表す波形
 (*1) 歩行のEMG解析時に設定した各相の平均時間

4. PLとTPの活動比

PLとTPの活動比として、歩行各相とカーフレイズ動作においてPLの代表値をTPの代表値で除した(以下PL/TP)。これは、TPの活動に対するPLの活動比を表しており、この値が大きくなる場合、PLの活動がTPに比べ優位になることを表し、小さくなればTPの活動がPLに比べ優位になることを表す。

統計学的解析

歩行各相とカーフレイズ動作におけるPL活動、TP活動、PL/TPについてSpearmanまたはPearsonの相関係数を用いて解析を行った。解析には統計ソフトウェア(SPSS 12.0J for windows: エス・ピー・エス・エス社)を用い、危険率を5%とし、5%以下を統計学的に有意とする。

結果

1. カーフレイズ動作と歩行におけるPLの活動

カーフレイズ動作と歩行第1相でのPLの活動には有意な正の相関が認められた(図5a, $r=0.446$, $p<0.05$)。また、カーフレイズ動作と、歩行第2、3相でのPLの筋活動について、どちらも有意な相関は認められなかった(図5b, c)。

2. カーフレイズ動作と歩行におけるTPの活動

カーフレイズ動作におけるTPの活動と、歩行各相におけるTPの活動量に有意な相関は認められなかった(図6)。

3. カーフレイズ動作と歩行における PL/TP

カーフレイズ動作と歩行第1相において PL/TP の値に有意な正の相関が認められた (図 7a, $r=0.572$,

$p<0.01$). また, 歩行第2, 3相と, カーフレイズ動作における PL/TP の値に有意な相関は認められなかった (図 7b, c).

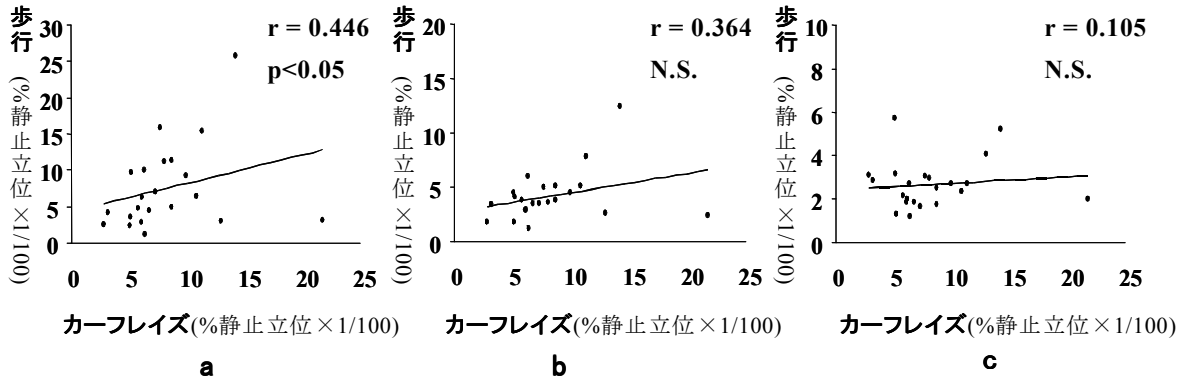


図5 歩行とカーフレイズにおける PL の筋活動

N. S. No significant

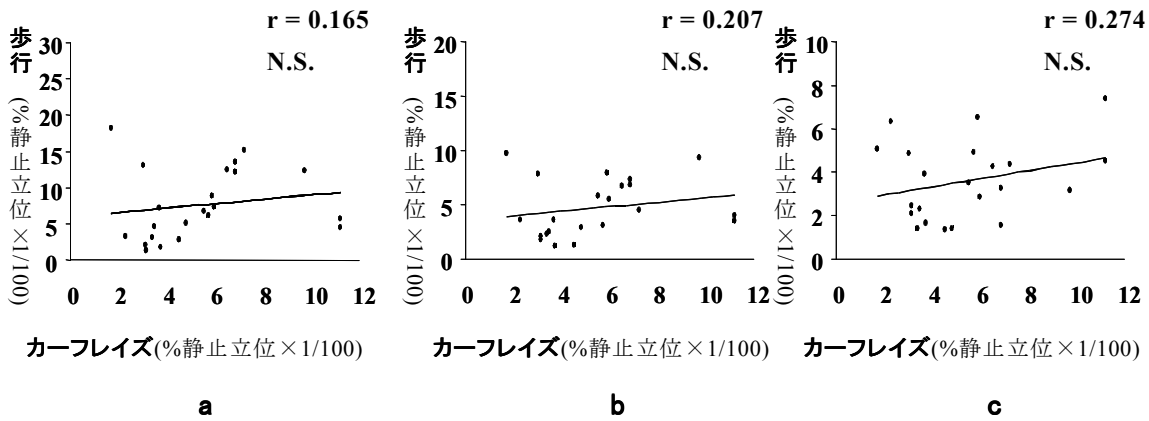


図6 歩行とカーフレイズにおける TP の筋活動

N. S. No significant

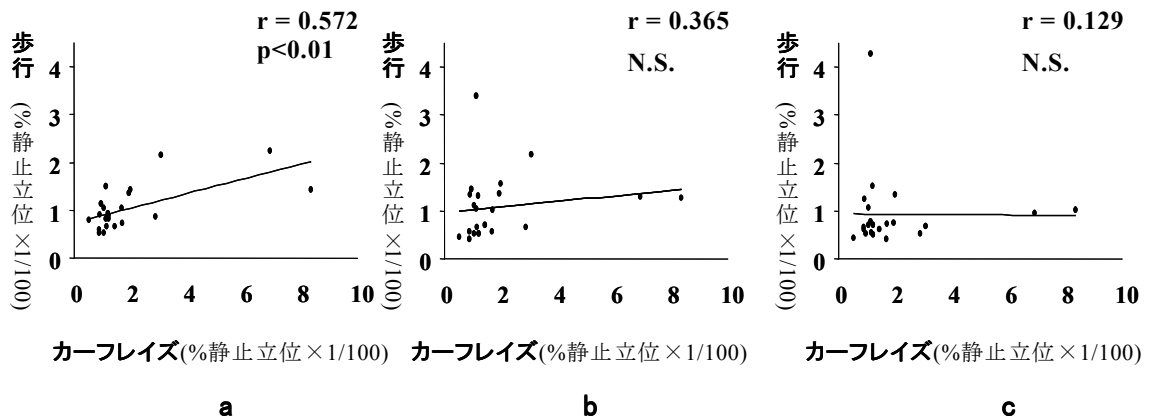


図7 歩行とカーフレイズにおける PL/TP

N. S. No significant

a : 歩行第1相-カーフレイズ b : 歩行第2相-カーフレイズ c : 歩行第3相-カーフレイズ

考 察

本研究では測定機器の配置の関係により、左下肢についてのみ測定が可能であったため、左下肢について考察する。

一般に歩行の立脚相には、Heel contact, Midstance, Heel off があり、Heel off 後に中足骨骨頭で床面を蹴り出すと言われているが^{1, 8)}、本研究ではこの中足骨頭での蹴り出し期、その前後の期間として、中足骨頭へのMSO時を中心に第1, 2, 3相を設定した。PLは足関節底屈動作である蹴り出し期に、下腿三頭筋とともに収縮し、TPについてはMidstanceから中足骨頭での蹴り出しにかけて収縮すると言われている⁹⁾。また、蹴り出し期では主にPL, TPが踵骨の内・外反を制動し、最大荷重点に影響を及ぼすと推察される。一方、カーフレイズ動作も歩行と同様に踵骨を拳上する足関節底屈動作であるため、PL, TPの筋活動が、最大荷重点に大きな影響を与えると予想される。以上から歩行での蹴り出し時とカーフレイズ動作時にPL, TPの活動は重要な役割を果たしており、この二筋の活動に類似性があるものと思われる。本研究ではPLとTPの筋活動について歩行時とカーフレイズ動作時との間に関連があるかを検討した。

歩行第1相とカーフレイズ動作時を比較すると、PLの筋活動とPL/TPの値のみ有意な相関関係が認められた。歩行立脚期のHeel off以降、足関節底屈動作が起こるが、このとき足関節の過剰な内反を防ぐためにPLが活動し、足の安定性を保ちながら地面への接触を適切に行っている¹⁰⁾。また、カーフレイズ動作もHeel offした状態での足関節底屈動作であり、今回の結果から、歩行とカーフレイズ動作時において足関節底屈時に過剰な内反を防ぐためPLが活動したのと考えられ、カーフレイズ動作時にPLの筋活動が大きければ歩行立脚期の足関節底屈動作時のPLの筋活動も大きいということがわかった。このことからカーフレイズ動作時のPLの筋活動から歩行立脚期のPLの筋活動を推測できるものと考えられる。

カーフレイズ動作と歩行第2相では、PLの筋活動、TPの筋活動、PL/TPのいずれにも有意な相関は認められなかった。本研究で得られた波形から、視覚的評価ではあるが、対象間の波形を観察すると中足骨骨頭へのMSO時にPL, TPの活動が減少する例やPL, TPが活動している例など、様々な筋活動パターンが観察された。このため歩行第2相において各筋活動、PLとTPの活動比について有意な相関が認められなかったと考えられる。

カーフレイズ動作と歩行第3相において、PLの筋活動、TPの筋活動、PL/TPのそれぞれについて相関は認

められなかった。第3相は荷重が中足骨骨頭から足趾側へ移行する時期であり、カーフレイズ動作では起こらない運動であるため、筋活動に関連が認められなかったと考えられる。

TPの活動において歩行第1, 2, 3相を通してカーフレイズ動作における筋活動と有意な相関関係は認められなかった。カーフレイズ動作や歩行での足関節底屈動作では、TP以外に下腿三頭筋も活動する⁴⁾。さらには足関節底屈動作と同時に足趾の屈曲が観察されることもあり、この場合は、長趾屈筋や長母趾屈筋なども活動する。したがってカーフレイズ動作や歩行中の足関節底屈動作ではそれぞれで足関節内反作用を持つ筋の影響を受けたために、カーフレイズ動作でのTPの活動と歩行でのTPの活動に関連が認められなかったと考えられる。

また、足関節底屈筋群は下腿三頭筋、長母趾屈筋、長趾屈筋、PL, TPが挙げられるが、この中でもPLは足関節外反に作用し、TPは足関節内反に作用する¹¹⁾。川野⁴⁾は、PL, TPが足関節底屈時に両筋が作用することで踵骨の回内、外の動きを制動して安定性が高まると述べている。そのため、両筋の活動に不均衡が生じると足関節底屈時に内反または外反が起こり足部の安定性が損なわれることが推察される。そして、PLは母趾球で荷重するために最も重要な働きをするとも報告されており³⁾、カーフレイズ動作においてPLが優位である場合は母趾球へ荷重しやすく、TPが優位である場合は母趾球への荷重が困難になると推察できる。本研究ではPL/TPをPLとTPの筋活動比の指標として用いた。その結果、カーフレイズ動作におけるPL/TPと歩行第1相におけるPL/TPの値には有意な相関関係が認められた。カーフレイズ動作においてPL/TP比が大きい場合、すなわち、TPの活動に比しPLの活動が大きい場合、歩行においてもPL/TP比が大きく、母趾球へ荷重しやすい状態となると推察できる。また、カーフレイズ動作においてPL/TP比が小さい場合、言い換えれば、PLの活動に比しTPの活動が大きい場合は、歩行での蹴り出しにおいて、母趾球への荷重が困難となる可能性がある。しかし今回は筋活動に限って検討したため、今後、足底圧分布などの情報から足部の荷重についても検討を加える必要がある。

結 語

TPについて、カーフレイズ動作と歩行での蹴り出し動作に有意な相関は認められなかったが、PLの筋活動、PL/TPについては歩行での蹴り出しにおける足関節底屈動作時と、カーフレイズ動作とで有意な相関が認められた。

謝 辞

本研究を行うにあたって快く測定にご協力いただきました対象の皆様, ならびにご指導賜りました, 岸和田 盈進会病院 大工谷新一先生, 広島大学保健学研究科 飛松好子先生, 広島大学 心身機能生活制御科学講座の方々に深謝いたします.

文 献

1. Donald, A. N., 島田智明 (監訳): 筋骨格系のキネシオロジー. p.573-579, 医歯薬出版, 東京, 2005
2. 宮原健次: 圧分布測定器で測定した正常成人における歩行時の足底圧分布. 日本整形外科学会雑誌, 67 : 449-462, 1993
3. Olson, S.L., Ledoux, W.R. and Ching, R.P.: Muscular imbalances resulting in a clawed hallux. *Foot & Ankle International*, 24 : 447-485, 2003
4. 川野哲英: ファンクショナル・エクササイズ. p.117, ブックハウス・HD, 東京, 2004
5. 山口 剛, 高橋恭輔, 大工谷新一: 荷重変化に伴う足部周囲筋の筋積分値相対値変化. *関西理学療法*, 5 : 103-108, 2005
6. 大工谷新一, 西 守隆, 鈴木俊明: 機器を用いた運動解析と動作分析. *理学療法ジャーナル*, 34 : 425-429, 2000
7. 高見正利: 歩行分析と表面筋電図. *総合リハビリテーション*, 24 : 415-421, 1996
8. 中村隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩: 基礎運動学第5版. p.342-345, 医歯薬出版, 東京, 2002
9. 鈴木良平: 足のバイオメカニクスと歩行解析. *日本整形外科学会雑誌*, 61 : 75-86, 1987
10. 玉井 績: 歩行時における筋電図学的研究. *日大医学雑誌*, 38 : 881-894, 1979
11. 森 於菟, 小川鼎三, 大内 弘 他: 分担解剖学第1巻. p.412, 金原出版, 東京, 2000

The relationship between peroneus longus and tibialis posterior muscle activities involved in raising the heel during calf-raise and in gait

Kaori Tokuomaru¹⁾, Tsutomu Inamizu¹⁾, Kiyokazu Sekikawa¹⁾
Mitsuru Tabusadani²⁾, Koichiro Sota²⁾ and Kotaro Kawaguchi¹⁾

1) Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

2) Department of Rehabilitation, The Hospital of Hyogo College of Medicine

Key words : 1. peroneus longus 2. tibialis posterior 3. calf-raise

Ankle plantar flexion movements are involved in raising the heel from the ground during gait and calf-raise. In both movements, the trajectory of the maximum point of planter pressure is especially affected by a balance of the activities of the peroneus longus and tibialis posterior muscles, which control inversion and eversion of the calcaneal bone. This study aimed to clarify the relationship between the activities of the peroneus longus and tibialis posterior muscles in raising the heel from the ground during gait and calf-raise.

Subjects (5 male, 18 female, aged 22.1 ± 1.4 years) were examined using surface electromyography during gait and calf-raise, which showed the peroneus longus and tibialis posterior muscle activities and their ratio (the peroneus longus muscle activity/the tibialis posterior muscle activity). We calculated the root mean square during the time that the heel was raised from the ground during gait and calf-raise, and root mean square during gait and calf-raise to standing.

The results showed that the peroneus longus muscle activity and the ratio between this and tibialis posterior muscle activity that take place from the time the calcaneal bone leaves the ground to when there is maximum planter pressure at the head of metatarsal bones during gait, correlate with muscle activity and ratio during calf-raise. In other words, the greater the peroneus longus muscle activity, the greater the ratio between it and the tibialis posterior in plantar flexion during gait, and the greater these activities and the ratio in plantar flexion during calf-raising. As a result, it can be considered that the location of the maximum point of planter pressure during gait is related to that during calf-raising. Further research is needed to clarify the relationship between the distribution of planter pressure during the gait, and that during calf-raising.