

**立位にて足関節底屈位を保持した際の荷重位置が下腿筋活動に及ぼす影響**  
**Influence of the position of weight-bearing on activities of calf muscles**  
**while holding the plantar flexion at the ankle joint in standing position**

石田弘<sup>1)</sup>, 安村拓人<sup>2)</sup>, 矢部慎太郎<sup>3)</sup>, 渡邊進<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 川崎医療福祉大学医療技術学部リハビリテーション学科

<sup>2)</sup> 徳山医師会病院リハビリテーション科

<sup>3)</sup> 株式会社創心會

キーワード: 足関節, 筋電図, 長腓骨筋, 腓腹筋内側頭, 腓腹筋外側頭

Key Words: Ankle joint, Electromyography, Peroneal longus, Gastrocnemius medialis,  
Gastrocnemius lateralis

**抄 録**

臨床現場では、下肢の筋力が低下した高齢者などに対し、下腿筋群の筋力強化を目的に足関節底屈位を保持させるトレーニングを行うことがある。その際、足部が回外して小指球に荷重してしまい、口頭で指示しても母指球への荷重が困難な症例を経験する。なぜこのような現象が生じるのかという疑問が生じて本研究を始めた。下腿三頭筋の筋力増強を目的に立位で足関節の底屈運動を行う際には、底屈作用を有する腓骨筋群や後脛骨筋が共同して活動することで足部の回内や回外をコントロールすることが知られている。しかし、立位にて足関節底屈位を保持した際の筋電図学的な研究は少なく、荷重位置と下腿筋活動との関係は明らかにされていない。そこで、本研究は、立位にて足関節底屈位を保持した際の荷重位置を随意的に変えることによる下腿筋活動への影響を定量化することを目的とした。対象は健康成人男性 11 名とした。課題は、立位にて両脚の足関節底屈位を保持した際に、母指球と小指球に荷重する 2 条件とし、前脛骨筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、後方回外筋群、長腓骨筋の筋電図(electromyography: EMG)を導出した。得られた EMG を最大随意収縮(Maximal voluntary contraction: MVC)で正規化し(%MVC)、2 条件を比較した。その結果、小指球荷重に比べ、母指球荷重の前脛骨筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、長腓骨筋の%MVC が有意に高かった。後方回外筋群の%MVC に条件間の有意差はなかった。以上の結果より、立位で足関節底屈する場合、母指球荷重に比べて小指球荷重では筋活動量が少なくても可能なので、筋力が低い場合はそのような運動肢位を自然に選択してしまい、随意的に母指球荷重しようとしても、それに見合うだけの筋力が不十分であるために母指球荷重が困難な症例が存在すると考えられる。

スポーツ科学研究, 8, 176-183, 2011 年, 受付日:2011 年 2 月 26 日, 受理日:2011 年 7 月 12 日  
連絡先: 石田弘 〒701-0193 岡山県倉敷市松島 288, Tel: 086-462-1111, Fax: 086-464-1109,  
E-mail:ishida@mw.kawasaki-m.ac.jp

## I. 緒言

臨床現場では、下肢の筋力が低下した高齢者などに対し、下腿筋群の筋力強化を目的に足関節底屈位を保持させるトレーニングを行うことがある。その際、足部が回外して小指球に荷重してしまい、口頭で指示しても母指球への荷重が困難な症例を経験する。なぜこのような現象が生じるのかという疑問が生じて本研究を始めた。下腿三頭筋の筋力増強を目的に立位で足関節の底屈運動を行う際には、底屈作用を有する腓骨筋群や後脛骨筋が共同して活動することで足部の回内や回外をコントロールすることが知られている (Neumann, 2010)。しかし、検索した範囲では立位にて足関節底屈位を保持した際の筋電図 (electromyography: EMG) に関する報告は少ない。先行研究では、足部の内転、外転という肢位の違いが足関節底屈運動を繰り返した際の下腿筋活動に及ぼす影響 (半田ら, 2007; 西上ら, 2009)、立位荷重時の後足部アライメントの違いが足関節底屈位を保持した際の下腿筋活動に及ぼす影響 (野村ら, 2008)、荷重位置を意識せずに足関節底屈位を保持した際の長腓骨筋と後脛骨筋の筋活動と荷重位置との相関関係 (徳王丸ら, 2007)、長腓骨筋と後脛骨筋のトレーニングが足関節底屈位を保持した際の荷重位置と下腿筋活動に及ぼす影響 (徳王丸ら, 2009)、支持面の傾斜が足関節底屈運動を繰り返した際の下腿筋活動に及ぼす影響 (西口ら, 2000)、足関節底屈運動を繰り返した際の筋疲労が足関節のトルクと下腿筋活動に及ぼす影響 (Österberg et al., 1998) が検討されている。しかし、多くは課題施行時の筋活動量を最大随意収縮 (Maximal voluntary contraction: MVC) で正規化していないため運動強度が定量化されていない。そして、同一種目でも肢位を部分的に変えることで運動強度は変わってくるが (半田ら, 2007)、立位にて足関節底屈位を保持した際の荷重位置を随意的に変えることによる筋活動量

への影響は報告されていない。下腿筋群の足関節への作用は、距腿関節と距骨下関節の関節軸に対する筋の走行によって分類され、前脛骨筋、長母指伸筋は背屈・回外に、長指伸筋、第3腓骨筋は背屈・回内に、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、ヒラメ筋、後脛骨筋、長指屈筋、長母指屈筋は底屈・回外に、長・短腓骨筋は底屈・回内に作用することが示されている (Neumann, 2010)。そのため、立位にて足関節底屈する際に随意的に荷重位置を変えようとした場合、母指球荷重であれば足関節の回内に作用する筋活動が高まり、小指球荷重であれば回外に作用する筋活動が高まるという仮説を立てることができる。この仮説を証明することで、足関節底屈位を保持する際に母指球荷重が困難な症例のメカニズムを明らかにすることができると考え、本研究では、立位にて足関節底屈位を保持した際の荷重位置が下腿の筋活動に及ぼす影響を定量化することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 対象者

対象は健康な成人男性 11 名とした。年齢、身長、体重の平均値±標準偏差はそれぞれ、23.0±3.7 歳、169.5±4.1cm、65.2±7.4kg であった。被験者には本研究の目的と内容を十分に説明し、同意を得てから実験を行った。

### 2. EMG の測定

EMG の測定には表面筋電計 (MQ8, キッセイコムテック社製) を使用し、サンプリング周波数は 1kHz とした。被験筋には、足関節の背屈・回外に作用する筋群から前脛骨筋、底屈・回外に作用する筋群からは腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、後方回外筋群 (後脛骨筋、長指屈筋、長母指屈筋)、底屈・回内に作用する筋群からは長腓骨筋を選定した。足関節の背屈・回外に作用する前脛骨筋は底屈運動で主働的に働くとは考えられな

いが、小指球荷重するための回外という運動方向には関与すると考えて選定した。長母指伸筋は表面筋電図で導出困難なため選定しなかった。同様に、背屈・回内に作用する長指伸筋、第3腓骨筋は、表面筋電図で導出困難なため選定しなかった。底屈・回外に作用する下腿三頭筋からは、膝関節屈曲位よりも本研究の運動課題である膝関節伸展位での足関節底屈で活動が大きい腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭を選定した(Hislop et al.,1996)。腓腹筋よりも回外に対して強力に働く後脛骨筋、長指屈筋、長母指屈筋は内果の後方を近接して走行している(Neumann,2010)。そのため、後方回外筋群としてまとめて選定した(山口ら,2007)。短腓骨筋の付着部は第5中足骨の基部で足関節の回内に作用するが、長腓骨筋は第1

中足骨基部と内側楔状骨に付着するため足関節と前足部の回内に作用する(明石,1993)。足関節底屈位を保持する際には前足部に荷重するため、底屈・回内に作用する筋群からは短腓骨筋よりも影響が強いと予想される長腓骨筋を被験筋に選定した。双極導出するために皮膚前処理剤にて十分な皮膚処理をした後、銀塩化銀を材料に用いた直径10mmのディスプレイ電極(Blue Sensor P-00-S, Ambu社製)を中心間距離2.5cmで表1の部位に設置した(山口ら,2007; 下野, 2004)。アース電極は膝蓋骨上とした。クロストークに対する配慮として、電極設置後、足関節底屈運動よりも後方回外筋群では回外運動、長腓骨筋では回内運動をした方が得られるEMGが大きいことを確認した。

表 1 各筋の筋電図導出部位

前脛骨筋	膝関節と足関節を結ぶ線の近位 1/3 の筋腹
腓腹筋内側頭	膝関節の下方で下腿正中線の内側 2cm の筋腹
腓腹筋外側頭	膝関節の下方で下腿正中線の外側 2cm の筋腹
後方回外筋群	内果後方の近位 4 横指
長腓骨筋	腓骨頭と外果を結ぶ線の近位 1/4

### 3. 測定手順

バランスを保つために示指を乗せるベッド (SESAM, Parir社製)の高さを各被験者の身体を基準とした相対的な高さに調節し、課題施行時の姿勢を被験者間で同様になるように配慮した。ベッドの高さは、被験者をベッドの横に立たせて、膝関節伸展位で足関節を最大底屈した際の大転子の高さとなるように調節した。そして、高さ調節をしたベッドの上に左右の示指を乗せ、足踏みを数回して自然な足部の位置をとらせた。課題は、母指球荷重では第1・2中足骨頭間、小指球荷重では第4・5中足骨頭間を荷重位置とするように指示し、左右対称に膝関節伸展位で足関節最大底屈位保持を行う2条件とした(図1)。母指球荷重と小指

球荷重の可否判断は、被験者の自覚的な感覚と著者による観察で行い、被験者が運動課題を理解し、安定して行えているか練習で数回確認してから記録を行った。EMGの記録は各条件で5秒間を3回行った。順番はコイントスで決め、条件間に5分間の休憩を挟んだ。2条件の記録後、正規化の基準とするため、前脛骨筋、後方回外筋群、長腓骨筋のMVCを徒手筋力検査の方法に従い(Hislop et al.,1996)、徒手的に抵抗を加え5秒間のEMGを1回記録した。腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭のMVCは徒手筋力検査の方法(立位にて自重のみの片脚踵持ち上げ動作)では負荷として不十分と考え、踵を持ち上げることが困難となるように立位にて他者(82.1kg)を背負い、片脚での足

関節底屈運動をMVCで5秒間行いEMGを1回記録した。その際、荷重位置は指示せず、バランス

を保つために両手をベッドに乗せて行った。

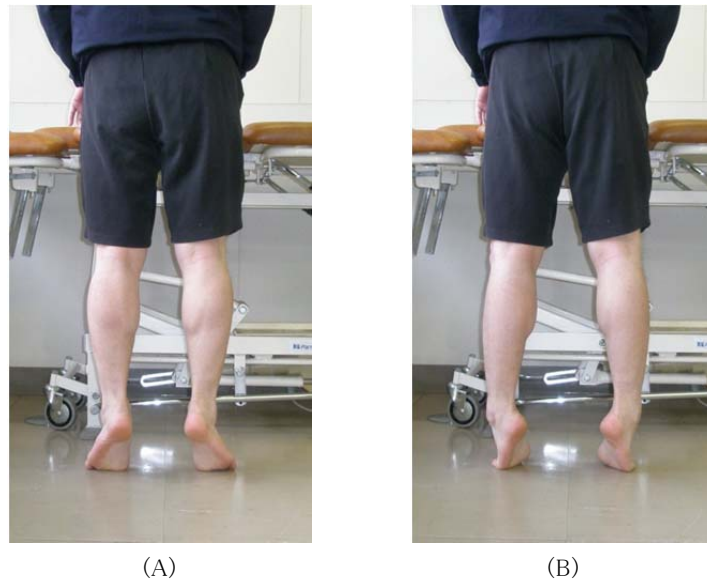


図1 運動課題 (A)母指球荷重, (B)小指球荷重

#### 4. EMG の処理

得られたEMGは解析ソフト(BIMUTAS, キッセイコムテック社製)を用いてバンドパスフィルター(10-500Hz)をかけた後、全波整流し、観察によって波形の安定した中間3秒間を採用した。そして、採用した3秒間の積分値から1秒間あたりの筋活動量である平均整流筋電位を求め、MVCで正規化し(%MVC)、各3回の平均値を代表値として算出した。

#### 5. 統計処理

統計処理は SPSS 16.0J for Windows を使用し、3 回計測した%MVC の検者内信頼性を明らかにするため級内相関係数(Intraclass correlation

coefficients: ICC)(1,1)を算出した。また、%MVC の 2 条件の差を対応のある t 検定で比較した。有意水準は 5%未満とした。

#### III. 結果

ICC(1,1)は腓腹筋内側頭の母指球荷重が最も低くて $\rho = 0.612$ であった(表 2)。

図 2 に生波形の例を示す。表 3 に%MVC の平均値±標準偏差を示す。前脛骨筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、長腓骨筋の%MVC は小指球荷重と比較し、母指球荷重で有意に高かった。後方回外筋群の%MVC に条件間の有意差はなかった。

表 2 %MVC の ICC(95%CI)

	母指球荷重	小指球荷重
前脛骨筋	0.665(0.326-0.891)	0.847(0.634-0.955)
腓腹筋内側頭	0.612(0.254-0.870)	0.895(0.737-0.970)
腓腹筋外側頭	0.854(0.649-0.957)	0.819(0.579-0.946)
後方回外筋群	0.842(0.625-0.953)	0.949(0.863-0.986)
長腓骨筋	0.935(0.830-0.982)	0.728(0.421-0.915)

ICC: Intraclass correlation coefficient, CI: Confidence interval

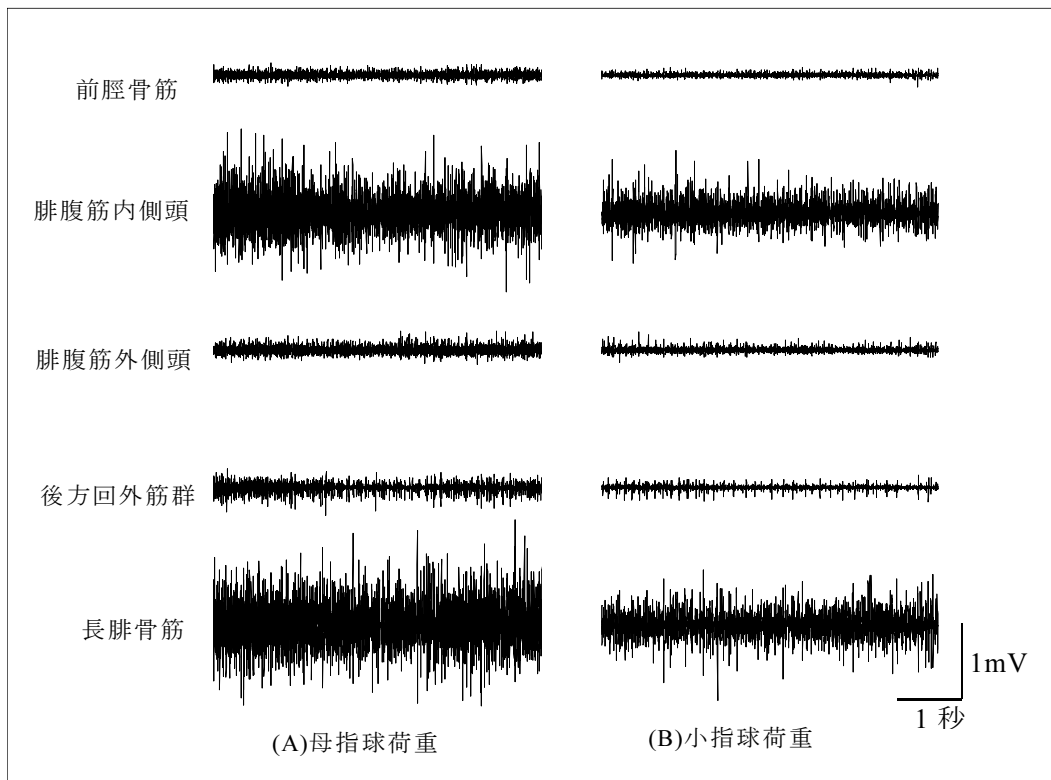


図 2 生波形の例 (A)母指球荷重と(B)小指球荷重で記録した各 5 秒間の下腿筋活動の例

表 3 %MVC の平均値±標準偏差(%)

	母指球荷重	小指球荷重
前脛骨筋	7.8 ± 6.7	5.2 ± 4.6*
腓腹筋内側頭	48.2 ± 11.5	36.5 ± 11.8*
腓腹筋外側頭	22.4 ± 9.7	18.7 ± 8.0*
後方回外筋群	25.8 ± 20.8	20.8 ± 14.7
長腓骨筋	60.1 ± 20.5	39.4 ± 18.6**

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

#### IV. 考察

下肢筋力が低下した高齢者に対し、足関節底屈位を保持させるトレーニングを行うと、足部が回外して小指球に荷重し、口頭で指示しても母指球への荷重が困難な場合がある。同一種目でも肢位を部分的に変えることで運動強度は変わってくるため(半田ら,2007)、足関節底屈位を保持する際に母指球荷重と小指球荷重では下腿筋活動の強度が変わってくるという仮説を立てた。この仮説を証明することで、足関節底屈位を保持する際に母指球荷重が困難な症例のメカニズムを明らかにすることができると考えた。そこで、本研究は、立位にて足関節底屈位を保持した際の荷重位置が下腿の筋活動にどのような影響があるのか明らかにすることを目的とした。その結果、小指球荷重に比べ母指球荷重で後方回外筋群(後脛骨筋、長指屈筋、長母指屈筋)以外の、前脛骨筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、長腓骨筋の%MVC が有意に高いことが分かった。母指球荷重と小指球荷重の可否判断は、被験者の自覚的な感覚と著者の観察で行ったが、すべての筋のICC(1,1)が0.61より高く、再現性は十分と考える(Landis et al.,1977)。

Ferris et al.(1995)はin vitroのモデルで踵を上げた状態では腓骨筋群の張力によって荷重位置が内側へ集中することを報告している。足関節底屈位を保持した際に母指球荷重するためには足関節の回内が必要であり、本研究で、小指球荷重に比べ母指球荷重することで足関節の底屈・回内の主働筋である長腓骨筋の筋活動量が増加したことは妥当な結果と考える(Neumann,2010)。

母指球荷重に比べ小指球荷重するためには足関節の回外が必要である。足関節の背屈・回外に作用する前脛骨筋は(Neumann,2010)、活動量が低いながらも母指球荷重に比べ小指球荷重の方が回外運動に関与して高値を示すと予測していたが、本研究では逆に有意に低値であった。

これは、横足根関節の運動連鎖に要因があると考えられる。小指球荷重した場合、距骨下関節は回外し、距舟関節と踵立方関節の関節軸はより交差した位置関係となり、横足根関節の可動性が減少することで中足部が強固なテコとして機能する(入谷,1999)。そのため、小指球荷重では外在筋である前脛骨筋の筋活動が低くても課題を遂行できたと思われる(Neumann,2010)。

足関節の底屈・回外に作用する腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭は (Neumann,2010)、母指球荷重に比べ小指球荷重した場合に筋活動量が高値を示すと予測していたが、本研究では逆に有意に低値であった。これは、前脛骨筋の活動量が母指球荷重に比べ小指球荷重で有意に低値であった理由と同様の理由なのではないかと考える。小指球荷重した場合、距骨下関節は回外し、横足根関節の可動性が減少することで中足部が強固なテコとして機能し(入谷,1999)、小指球荷重では外在筋である腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭の筋活動量が低くても課題を遂行できたと思われる(Neumann,2010)。

後方回外筋群は腓腹筋よりも内側に位置し、距骨下関節の回外運動に強く寄与する筋群である(Neumann,2010)。Ferris et al.(1995)は in vitro のモデルで踵を上げた状態では後脛骨筋の張力によって荷重位置が外側へ集中することを報告している。徳王丸ら(2007)も小指側への荷重と後脛骨筋の筋活動量に相関関係があったことを報告している。そのため、後方回外筋群は母指球荷重に比べ小指球荷重した場合に筋活動量が高値を示すと予測していた。しかし、本研究では後方回外筋群の筋活動量に条件間の有意差は認められなかった。Matsusaka(1986)は歩行時の立脚中期で、足部の回内が大きくなると回外作用を持つ長指屈筋や後脛骨筋が活動することを報告している。母指球荷重した場合、距骨下関節には回内が生じる(Neumann,2010)。本研究

でも母指球荷重による距骨下関節の回内を制動するために後方回外筋群の筋活動が必要であった可能性がある。また、距骨下関節の回内による横足根関節の可動性増加に対し内側縦アーチを高めて中足部の安定を高める作用のある後方回外筋群の筋活動が必要であった可能性もある(明石,1993)。そして、母指球に荷重することで長母指屈筋は母指の屈曲運動で支持するために筋活動を高める必要があったとも考えられる(西口ら,2000)。つまり、2条件ともに後方回外筋群の筋活動が必要であったために有意差がなかったと思われる。さらに、ヒラメ筋のクロストークの可能性は否定できない。後方回外筋群だけではなくヒラメ筋の EMG 信号が混入することで、母指球荷重と小指球荷重との差が出なかったかもしれない。もし、被験筋としてヒラメ筋を選定し、腓腹筋内側頭や外側頭と同様の結果で、小指球荷重よりも母指球荷重で筋活動量が高いということであれば、仮に後方回外筋群が母指球荷重で小指球荷重に比べ筋活動量が少なくなっているとしてもヒラメ筋の影響で差が出なかったと言える。しかし、本研究ではヒラメ筋を被験筋としていないため、その結果を踏まえてクロストークについて考えることが出来ない。これは本研究の問題である。

被験筋としてヒラメ筋を選定しなかったことをクロストークの考察が不十分になるために本研究の問題であると上述したが、ヒラメ筋は足関節底屈筋群の中で生理学的断面積のもっとも大きい筋であり(Fukunaga et al.,1992)、立位にて足関節底屈位を保持する際に重要な役割を果たしていると考えられる。この観点からも、被験筋としてヒラメ筋を選定しなかったことは問題である。そのため、今後、ヒラメ筋も被験筋に加え更なる知見を得る必要がある。次に、足関節の底屈角度を計測していないことが問題点として挙げられる。底屈角度が同一角度であれば、足関節の関節軸と重心線が通ると仮定した荷重位置との水平距離は、小指球荷重

に比べ母指球荷重が長くなるために底屈運動に関わる筋活動量は高くなると考えられる。また、小指球荷重に比べ母指球荷重の底屈角度が小さいのであれば、足関節の関節軸と荷重位置との水平距離が長くなり底屈運動に関わる筋活動量は高くなると考えられる。さらに、母指球荷重と小指球荷重の可否判断基準として他覚的な計測を行っていないことが本研究の問題である。徳王丸ら(2007)は足関節底屈位を保持した際の後脛骨筋の筋活動と小指側への荷重位置の変位との間に正の相関関係があったことを報告している。本研究では、母指球荷重で母指側への荷重位置の変位が少なかったため、あるいは、小指球荷重で小指側への荷重位置の変位が少なかったために母指球荷重と小指球荷重で後方回外筋群の筋活動量に有意差がなかったと考えることもできる。この懸念をなくすためにも、母指球あるいは小指球への荷重位置は計測時にどこであったのか、他覚的に定量化することが必要であった。底屈角度や荷重位置の計測については、今後の課題としたい。

本研究を始めたきっかけは、下肢筋力が低下した高齢者が足関節底屈位を保持するトレーニングを行った際に小指球荷重してしまい、口頭で指示しても母指球荷重が困難なメカニズムを明らかにしたいと考えたことであった。本研究の結果からは、立位で足関節底屈する場合、母指球荷重に比べて小指球荷重では筋活動量が少なくても可能なので、筋力が低い場合はそのような運動肢位を自然に選択してしまい、随意的に母指球荷重しようとしても、それに見合うだけの筋力が不十分であるために母指球荷重が困難な症例が存在すると考えられる。そのような症例では、完全に母指球荷重ができなくても、小指球荷重から徐々に母指球側への荷重を意識することで、何も考えずに小指球荷重だけでトレーニングするよりも下腿筋群の筋力強化につながると考える。この問題に対する、

より明確な回答を得るためには実際に筋力の低下した高齢者を被験者にする必要があり, 今後の課題としたい。

### 文 献

- ・ 明石謙(1993)下肢, 運動学, 第1版, 医歯薬出版, 東京, pp.169-243
- ・ Ferris L, Sharkey NA, Smith TS, Matthews DK(1995)Influence of extrinsic plantar flexors on forefoot loading during heel rise. *Foot Ankle Int.* 16(8):464-473
- ・ Fukunaga T, Roy RR, Shellock FG, Hodgson JA, Day MK, Lee PL, Kwong-Fu H, Edgerton VR(1992)Physiological cross-sectional area of human leg muscles based on magnetic resonance imaging. *J Orthop Res.* 10(6):928-934.
- ・ 半田徹, 加藤浩, 長谷川伸, 岡田純一, 加藤清忠(2007)カーフレイズ系種目の筋力トレーニングにおける腓腹筋, ヒラメ筋の筋電図学的分析. *スポーツ科学研究.* 4:63-74
- ・ Hislop HJ, Montgomery J(1996)下肢の筋力テスト, 新・徒手筋力検査法, 第6版, 津山直一(訳), 協同医書出版社, 東京, pp.167-234
- ・ 入谷誠(1999)足部・足関節, 整形外科理学療法の理論と技術, 山崎勉(編), メジカルビュー社, 東京, pp.36-61
- ・ Landis JR, Koch GG(1977)The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 33(1):159-174
- ・ Matsusaka N(1986)Control of the medial-lateral balance in walking. *Acta Orthop Scand.* 57:555-559
- ・ Neumann DA(2010)Ankle and Foot. Chap14. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation, 2<sup>nd</sup> ed.* Mosby Elsevier, St Louis, pp.573-626
- ・ 西口政男, 金ヶ江光生, 有川康弘, 寺田誠, 釜崎敏彦, 田崎洋光, 吉松由佳, 宮崎潤, 千葉憲(2000)踵上げ動作における下腿筋の筋活動についての一考察. *理療.* 29(4):45-47
- ・ 西上智彦, 榎勇人, 中尾聡, 芥川知彰, 野村卓生, 石田健司, 谷俊一(2009)片足踵あげ動作時における下腿筋筋活動動態—速度及び足部肢位の違いによる検討—. *高知県理学療法.* 16:19-22
- ・ 野村有里, 藤原正史, 山内仁, 大工谷新一(2008)後足部アラインメントとカーフレイズ時における底屈筋の筋活動の関係. *関西理学.* 8:63-67
- ・ Österberg U, Svantesson U, Takahashi H, Grimby G(1998)Torque, work and EMG development in a heel-rise test. *Clin Biomech.* 13:344-350
- ・ 下野俊哉(2004)表面筋電図マニュアル基礎編. 酒井医療, 東京, pp.111-113
- ・ 徳王丸香織, 高橋真, 関川清一, 稲水惇, 川口浩太郎(2007)踵上げ動作での後脛骨筋, 長腓骨筋の活動と足底中心変位の関係. *体力科学.* 56:819
- ・ 徳王丸香織, 高橋真, 関川清一, 川口浩太郎, 稲水惇(2009)長腓骨筋と後脛骨筋のエクササイズが踵上げ動作に及ぼす影響について. *体力科学.* 58: 387-394
- ・ 山口剛司, 大工谷新一, 渡邊裕文, 大沼俊博(2007)ステップ肢位における支持側足部内反筋群の筋電図積分値相対値および足底圧分布—内側へのステップ距離の変化による検討—. *関西理学.* 7:75-80