

後方重心位でのスクワット動作は前脛骨筋の筋活動を増大させる

千葉 論^[1]

[1] 植草学園大学保健医療学部

要旨：本研究の目的は、スクワット動作における前後重心位置の違いによる前脛骨筋の筋活動の変化を検討することであった。健常大学生 17 名を対象とし、スクワット動作における前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋の筋活動を計測した。スクワット動作は、重心動揺計上で重心位置を確認しながら、前方重心、中間重心、後方重心の 3 条件で実施した。前脛骨筋の筋活動は、前方重心と中間重心の間には差がみられなかったものの、前方重心および中間重心と比較し、後方重心で有意に増大した ($p<0.01$)。ヒラメ筋および大腿直筋の筋活動は、重心位置の違いによる差はみられなかった。これらの結果から、スクワット動作において重心が後方へ移動することで、前脛骨筋が強く活動することが明らかとなった。ゆえに、前脛骨筋の筋活動は、特別な機器がなくとも、素早く簡便にスクワット動作時の後方重心を判断する指標となりうることが示唆された。

キーワード：スクワット、後方重心、前脛骨筋、筋活動

1. はじめに

スクワットは closed kinetic chain (CKC) のひとつとして、下肢の股関節・膝関節・足関節を同時に屈曲および伸展する多関節運動であり、下肢筋群・体幹筋群の筋力を強化できるエクササイズとしてスポーツ場面や理学療法において広く用いられている¹⁾。また、足部を接地して行うスクワット動作は open kinetic chain (OKC) と比較すると、大腿四頭筋とハムストリングスの同時収縮を促通する運動であり、固有感覚に刺激を与え、下肢全体の協調性の向上も期待できる運動として重要視されている²⁾。

スクワット動作において頭部前方位、胸椎後弯、腰椎前弯減少などのいわゆる円背姿勢は好ましくないとされ、正しい姿勢でスクワットを行うには骨盤を確実に前傾させる必要がある。そして、骨盤より上位である頭部、両上肢、体幹の重心位置は第 10 胸椎の前方に位置することから、体幹より鉛直線を引き、その線から股関節および膝関節までの距離が概ね等しいこと、膝関節の前面と足尖が前後位置において概ね揃っていることが望ましいとされている³⁾。

しかし、正しい姿勢でスクワット動作を行ったとしても、重心が後方にあると膝蓋大腿関節における機械的ストレスや、脛骨大腿関節における前方への剪断力が生じると考えられるため、重心位置には注意が必要である。しかし、重心位置は不可視的な物であるのに加え、所属施設に重心動揺計がないことも多く、スクワット動作時の重心位置を正確に指導することは難しい。

起立姿勢の保持では、複数の関節が多くの筋の持続的収縮によって固定されている。安静立位姿勢の重心線は乳様突起のやや前方－肩峰－大転子－膝関節中心のやや前方－足関節のやや前方を通るとされており⁴⁾、姿勢保持時の筋活動は体位および重心線と関節との位置関係によって決まる。安静立位時に脊柱を後方から支えている筋群は脊柱起立筋であり、胸腔と腹腔の内圧によって前方から加わる脊柱への支持も重要な役割を果たしている。大腿部では大腿二頭筋および大腿四頭筋に非持続的な筋活動が生じており、下腿部では腓腹筋やヒラメ筋の持続的活動が生じる。前足部荷重での姿勢保持では、下腿三頭筋やハムストリングス、脊柱起立筋などの身体

後面の筋群の活動が増大する。その一方で、後足部荷重での姿勢保持では、前脛骨筋や大腿四頭筋、腹筋群などの身体前面の筋群の活動が増大する⁵⁾。

スクワット動作で重心位置を変位させて筋活動を測定した文献は散見されるが、条件として体幹を床面に対して直立させているものが多く、臨床上多く用いられている体幹を前傾させたスクワット動作にて検討した文献はみられない。また、筋活動そのものを測定した研究が多く⁶⁻⁸⁾、特定の筋における筋活動が動作の正誤を判断する指標であるかを検討したものは見られない。前脛骨筋はその走行から、筋収縮が生じると足関節前面の伸筋支帯を持ち上げるように腱が浮き上がるため、触知が容易でかつ視覚的にも明らかである。そこで、筋収縮を簡便に触知できる前脛骨筋に着目し、前脛骨筋の筋活動がスクワット動作における後方重心を鑑別する指標となるか検討するため、スクワット動作における重心変位が前脛骨筋の筋活動におよぼす影響について調べることを本研究の目的とした。

2. 方法

2.1 対象

対象は、千葉県内のU大学に所属する健常成人大学生 17 名（男性 10 名、女性 7 名）とした。いずれも下肢疾患の既往がないことを確認した。対象者の平均年齢は 20.9 ± 0.3 歳、平均体重は 62.8 ± 8.0 kg、平均身長は 167.8 ± 9.5 cm、平均足長は 23.8 ± 3.7 cmであった。

2.2 倫理的配慮

本研究は、植草学園大学研究倫理委員会の承認（第 18-04 号）を得て実施した。対象者全員に対し、事前に本研究の目的および研究方法を口頭にて説明し、文書にて、本人の意思により本研究に参加する旨の同意を得た。

2.3 課題動作

課題動作は両脚でのスクワット動作とした。右手を頸椎後方、左手を腰椎後方に置き、1m 程度のプラスチック製の棒を把持させた。両手で把持した棒が後頭部、胸椎棘突起、仙骨後面に接触したままス

クワットをさせることで、頭頸部および胸腰椎が骨盤に対して中間位を保つこととなり、体幹前傾から頭頸部および胸腰椎屈曲の要素を排除し、骨盤前傾に伴う体幹前傾を意識させた。両足部は肩幅に開き、股関節内外旋中間位にて膝関節を 90 度屈曲させた。その際、矢状面にて膝関節前面が足尖と同位置となるよう指示した。体幹の前傾角度は下腿の前傾角度とおおよそ同等となるよう指示した。計測前にスクワット動作の確認を行い、対象者の理解を確認した上で、計測中は検者が矢状面より姿勢を確認した。

重心の位置を規定するため、重心動揺計 (STABILOMETER C-1425; 共和電業社製) 上でスクワット動作を行わせた。内側縦アーチにおいて、舟状骨が前後方向への荷重の分散を担う⁹⁾ことから、重心動揺計上の前後方向の基準線上には舟状骨粗面が位置するよう設定した。その後、静止立位にて基準線上に重心位置があることを確認した。

次に、重心動揺計上にて、前方重心、中間重心、後方重心それぞれにてスクワット動作を行わせた。中間重心 (center-located center of gravity; C-COG) は、足圧中心位置 (center of pressure; 以下、COP) が前後方向の基準線上にある位置と設定した。前後の重心移動量を定めるため、対象者の足長を計測した。対象者は両脚での静止立位をとり、踵骨最後端から母趾または足趾の先端までの距離を計測した。今岡ら¹⁰⁾の報告では、20 歳代の健常者が 60 秒間の静止立位を取った際、COP の前後方向には 1.0 cm 程度の変位が生じるとされる。1.0 cm は足長の 5% 未満であることより、前方重心 (anterior-located center of gravity; A-COG) は COP が前後方向の基準線に対し足長の 5% 前方となる位置と定義し、後方重心 (posterior-located center of gravity; P-COG) は COP が前後方向の基準線に対し足長の 5% 後方となる位置と定義した。対象者は、前方に設置したコンピューターのモニター画面で COP を視認しながらスクワット動作を行い、また検者も指定した COP を正確に保持しているかどうかをモニター画面で確認しながら測定を行った (図 1)。

対象者は、スクワット肢位を 5 秒間保持した。各条件間のインターバルは 3 分間とし、対象者の疲労には十分に配慮した。

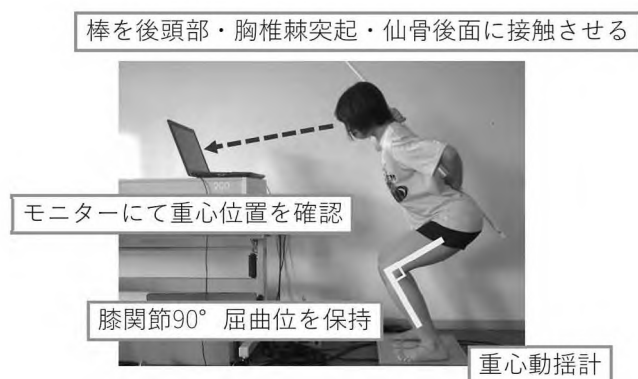


図1 スクワット姿勢

2.4 スクワット肢位の筋電図測定

筋電図の測定筋は右側の前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋とした。表面筋電図を双極誘導するために、ディスプレイザブルタイプの銀塩化電極（ディスプレイ電極G ビトロード；日本光電社製）を各筋の走行と平行に、電極間距離 20mm で貼付した。

電極の貼付位置は下野ら¹¹⁾の方法に準じ、前脛骨筋は膝関節と足関節を結ぶ線の近位 1/3 で脛骨外側にある筋腹の線維走行に沿って設置した。ヒラメ筋は下腿の遠位 1/2 でアキレス腱外側にある筋線維の方向に沿って設置した。大腿直筋は上前腸骨棘と膝関節を結ぶ線の中央に設置した。なお、皮膚の電極間抵抗が低くなるようにサンドペーパー（Red Dot Trace Prep；3M 社製）で十分に処理を施した。アース電極は右内果に設置した。筋電図のデータ処理は、表面筋電図解析ソフト（Lab Chart7；AD Instruments 社製）を用いて行った。計測した

筋電図信号は、最大随意収縮（Maximum Voluntary Contraction；以下、MVC）時の電気信号を 100% として正規化し、% MVC として表した。

MVC は、Daniels らの徒手筋力検査法に準じて行った¹²⁾。前脛骨筋はベッド上背臥位で下肢を伸展位とし、足関節を背屈・内返しさせ、検者は足背部に徒手抵抗をかけた。ヒラメ筋はベッド上腹臥位で足をベッドの端から出した肢位にて下肢を伸展位とし、足関節を底屈させ、検者は足底部に徒手抵抗をかけた。大腿直筋は端坐位にて膝関節を完全伸展位より軽度屈曲した肢位にて保持させ、検者は下腿遠位部に徒手抵抗をかけた。MVC の計測は 5 秒間実施した。

5 秒間のスクワット動作および MVC のうち、安定した 3 秒間の筋活動のデータを抽出し、2 乗平均平方根（root mean square；以下、RMS）を算出した。これを MVC と比較したときの割合である % MVC で表した。

2.5 統計解析

統計処理には SPSS Statistics 27（IBM 社製）を使用した。A-COG、C-COG、P-COG での前脛骨筋、ヒラメ筋、大腿直筋の % MVC について、分散分析に先立ち、Shapiro-Wilk 検定にて各変数の正規性を確認したところ、有意な正規分布が確認された。そのため、統計解析には反復測定一元配置分散分析および Tukey の多重比較検定を用いて比較検討した。なお、有意水準は危険率 5% 未満とした。

表1 重心位置の違いによる % MVC 平均値の比較

| | 前脛骨筋 | ヒラメ筋 | 大腿直筋 |
|-------|-----------------|------------|-------------|
| A-COG | 15.5 ± 13.3 | 14.5 ± 9.7 | 42.6 ± 12.7 |
| C-COG | 19.6 ± 10.9 | 12.7 ± 8.4 | 43.8 ± 16.9 |
| P-COG | 57.7 ± 18.2 *** | 11.9 ± 6.8 | 50.9 ± 18.8 |
| p 値 | p < 0.01 | N.S | N.S |

N.S：主効果なし

Tukey の多重比較による比較：C-COG との有意差：**：p<0.01.

：A-COG との有意差：###：p<0.01.

3. 結果

反復測定一元配置分散分析および多重比較の結果を表1に示す。前脛骨筋の筋活動において重心位置の違いによる主効果が認められ、A-COGおよびC-COGと比較してP-COGにおいて有意に高い値を示した。A-COGとC-COGの間には有意な差はみられなかった。また、ヒラメ筋および大腿直筋においては、重心位置の違いによる主効果は認められなかった。

4. 考察

重心位置を変化させた際の前脛骨筋の筋活動量は、A-COGおよびC-COGと比較し、P-COGにて有意に増大した。これは池添ら²⁾が実施した体幹直立位でのスクワット動作における筋活動を観察した先行研究と同様の傾向であり、支持する結果となった。

一方、ヒラメ筋および大腿直筋の筋活動量は、重心位置の違いによる主効果が認められなかった。ヒラメ筋が活動すると、その作用より足関節に底屈モーメントを生じる。動作中に足関節底屈モーメントが増大した場合、姿勢を保持するためには足関節背屈モーメントを生じさせる必要がある。本研究において、ヒラメ筋の筋活動に有意差が認められなかったことより、前脛骨筋の筋活動量の増大は、ヒラメ筋による足関節底屈モーメントに対抗したものではなかったと言える。

また、大腿直筋の筋活動はP-COGにおいてやや大きくなる傾向がみられたが、有意な増大ではなかった。後方重心位での姿勢保持にて大腿直筋の筋活動は増大する⁵⁾が、スクワット肢位の保持により、そもそも大腿直筋には等尺性収縮が生じているため、重心位置の変化に伴う筋活動量の変化は生じにくかったものと考えられる。ゆえに大腿直筋の活動から後方重心を判断するのは困難と言える。

これらのことより、重心が後方に移動したことで足関節底屈モーメントが生じ、前脛骨筋の筋活動が増大したと判断できる。この結果で重要であるのは、重心位置を足長の5%程度後方へ変位させただけでこの現象が生じたという点である。対象者の平均足

長が 23.8 ± 3.7 cmであったことから、足長の5%は1.2cm程度であった。後方への重心の移動量がわずかであっても、前脛骨筋の筋活動が著明に増大したことから、前脛骨筋の筋収縮を確認することで、確実に後方重心を見分けることができることが示唆された。

ただし、これらの結果は以下のいくつかの観点を踏まえて解釈されるべきと考える。第一に、対象者は全て健常大学生であるため、下肢に外傷や障害を抱えた症例においても同一の結果が得られるかどうかは、引き続き検討が必要である。第二に、モニターを見ながらであっても重心を一定の位置に保つことは困難であり、多少のばらつきが生じている点である。しかし、いくつかの検討事項はあるものの、前脛骨筋の筋活動を指標とすることで、特別な機器が無くとも素早く簡便に、かつ正確に後方重心を鑑別できる可能性が示唆された。Osgood-Schlatter病やジャンパー膝の運動療法、前十字靱帯再建術後のリハビリテーションなど、後方重心位を取ることに對して注意が必要な症例においても活用できる可能性が十分にあることから、リハビリテーション分野においてある一定の意義があるものと考ええる。

謝辞

本研究の対象者として協力していただいた植草学園大学保健医療学部学生の皆様に心から御礼申し上げます。

文献

- 1) 真鍋芳明, 横澤俊治, 島田一志, 他: スクワットにおける運動速度変化および反動運動の有無が股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. 体力科学. 2004; 53: 425-442
- 2) 池添冬芽, 市橋則明, 森永敏博, 他: スクワット肢位における足圧中心位置の違いが下肢筋の筋活動に及ぼす影響. 理学療法学. 2003; 3(1): 8-13
- 3) 井野拓実, 石田知也, 他.: 運動連鎖から見た前十字靱帯損傷と理学療法. 理学療法. 2014; 31(8): 829-839
- 4) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩: 基礎運動学. 医歯薬出

- 版株式会社：東京，2014
- 5) 三谷保弘，嶋田綾，松本明好，他：立位での前方および後方不安定性に対する身体動揺の制御について：前足部荷重時と後足部荷重時における足圧中心変位からの検討．理学療法学 Supplement, 2013; (0):940
- 6) Gantchev GN, Draganova N, et al. : Muscular synergies during different conditions of postural activity. *Acta Physiologica Pharmacologica Bulgarica*, 1986; 12: 58-65
- 7) Nishiwaki GA, Urabe Y, Tanaka K. : EMG Analysis of Lower Extremity Muscles in Three Different Squat Exercises. *J Jpn Phys Ther Assoc*. 2006; 9(1): 21-26
- 8) Dong-Kyu Lee, Jun-Seok Kim, Tae-Hoon Kim, et al. : Comparison of the electromyographic activity of the tibialis anterior and gastrocnemius in stroke patients and healthy subjects during squat exercise. *J Jpn Phys Ther Sci*. 2015; 27(1): 247-249
- 9) Kapandji, A. I.(2009). *Anatomie fonctionnelle. カパンジー機能解剖学 II 下肢* 原著第6版．(2010)．塩田悦仁訳，東京，医歯薬出版株式会社．
- 10) 今岡薫，村瀬仁，福原美穂：重心動揺検査における健常者データの集計．*Equilibrium Res Suppl*, 1997 ; 12 : 1-84
- 11) 下野俊哉．表面筋電図マニュアル 基礎編．酒井医療株式会社：東京，2004．
- 12) Helen J.Hislop, Dale Avers, Marybeth Brown. : *Daniels and Worthingham's MUSCLE TESTING: Techniques of Manual Examination and Performance Testing*. ninth edition. : Saunders Ellsevier, Missouri, 2020.

Abstract

Posterior Located Center of Gravity Increases Tibialis Anterior Muscle Activity during Squat

Satoshi Chiba ^[1]

[1] Faculty of Health Sciences, Uekusa Gakuen University

The purpose of this study was to investigate whether displacement of center of gravity causes tibialis anterior muscle activity change during a squat. The subjects were 17 healthy university students. Surface electromyographic measures of the tibialis anterior, the soleus, and the rectus femoris during squat were taken. Squats were performed under three conditions: anterior located center of gravity (A-COG), center located center of gravity (C-COG), and posterior located center of gravity (P-COG) in the sagittal plane with stabilometers. Muscle activity of the tibialis anterior muscle increased significantly at the P-COG compared to the A-COG or C-COG ($p<0.01$) although difference was not observed between A-COG and C-COG. Neither the soleus nor the rectus femoris muscles showed difference in the activity depending on the location of the COG. According to the results, it was clarified that only the tibialis anterior is strongly activated when the COG is posterior during squats. It was, therefore, concluded that muscle activity of the tibialis anterior can be a rapid and convenient index to evaluate the P-COG during a squat without special equipment such as a stabilometer.

Keywords: squat, posterior-located center of gravity, tibialis anterior, muscle activity