

## 異なる下肢アライメントのスクワットフォームが 足底荷重に及ぼす影響についての検討

### Effects of squatting postures with differing alignment of the lower extremities on weight bearing

渡 邊 学<sup>\*,\*\*</sup>, 渡 會 公 治<sup>\*\*\*</sup>, 岡 田 覚<sup>\*\*\*\*</sup>, 澤 田 譲 治<sup>\*</sup>  
遠 藤 太 陽<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 小 関 博 久<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 角 田 直 也<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Manabu WATANABE, RPT, PhD<sup>\*,\*\*</sup>, Koji WATARAI, MD<sup>\*\*\*</sup>  
Satoru OKADA, RPT, MS<sup>\*\*\*\*</sup>, Joji SAWADA, RPT, MS<sup>\*</sup>, Futoshi ENDO, MS<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Hirohisa KOSEKI, MD, PhD<sup>\*\*\*\*\*</sup> and Naoya TSUNODA, PhD<sup>\*\*\*\*\*</sup>

#### ABSTRACT

To classify lower extremity alignment exhibited in a wall squat (WS) as a wall squat normal (WSN) or an wall squat abnormal (WSA) and to examine the association between alignment and weight bearing. [Subjects and methods] Subjects were 54 volunteers with a mean age of 21 years. The subjects performed a WS, and their posture was classified as WSN or WSA. The association between the squatting posture routinely adopted and weight-bearing forces exerted in different WS postures was analyzed using a paired t-test. [Results] A significant shift in weight-bearing force was not noted in a WSN, force shifted significantly in a WSA. [Conclusion] These results revealed that weight-bearing force during a WS shifts in a WSA but remains constant in a WSN.

*Key words:* スクワット, 下肢アライメント, 足底荷重

#### I. は じ め に

スポーツ活動の場において、動的下肢アライメントを判定するのにスクワットテストが多用されている。下肢の正しい運動方向は、距骨中央と第

2趾の中足趾節関節中央を結ぶ線が足の長軸であり、この長軸上に膝関節と足関節の屈曲方向が向くことである。本研究では、下肢の正しい運動方向を「膝と足趾が一致」と定義した。近年、骨盤から足関節までの下肢アライメントの評価判定の

\* 東都リハビリテーション学院 理学療法学科 (Department of Physical Therapy, Touto Rehabilitation College)

\*\* 国士舘大学体育学部附属体育研究所

(Institute of Health, Physical Education and Sport Science, School of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\* 帝京科学大学 医学教育センター (Center for Medical Education, Teikyo University of Science)

\*\*\*\* 青葉さわい病院 リハビリテーション科 (Department of Rehabilitation, Aoba Sawai Hospital)

\*\*\*\*\* 国士舘大学 体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\*\*\* 東都リハビリテーション学院 (Touto Rehabilitation College)

\*\*\*\*\* 国士舘大学 大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

見解は統一されてきている<sup>1)</sup>。しかし、足底荷重位置における足部アライメントの評価判定は、検索した範囲内では認められない。

本研究のWall squat (WS) は、渡會<sup>2)</sup>が考案した障害予防としてのスクワット方法で、下肢アライメントと足底荷重位置を簡易的に評価し正確な下肢アライメントと足底荷重位置を理解させる方法である。渡邊ら<sup>3) 4)</sup>は、WSをWall squat normal (WSN) とWall squat abnormal (WSA) とに分類し、WSNは正確な下肢アライメントのスクワットフォームで、WSAは異常な下肢アライメントのスクワットフォームと報告している。また、WSAと判定された者は、股関節外転角度の異なる各種スクワットでも、異常な下肢アライメントのスクワットフォームとなり、スポーツ活動や日常生活において異常な下肢アライメントが習慣化されていることを報告している<sup>5)</sup>。このようにWSの下肢アライメントについては報告しているが、WSの足底荷重については検討していない。

本研究では、対象者が日常実施しているSquat (以下Free squat : FS) の足底荷重とWSの足底荷重を調査し、比較検討することによって、WSAの足底荷重が変位し、WSNの足底荷重が一定であることを、明らかにすることを目的とした。また、WSは殿部と両下肢が壁に接触したスクワットフォームのため、FSとWSの足底荷重の影響についても調査した。

## Ⅱ. 方 法

### 1. 対 象

健康な専門学校生54名 (男性31名・女性23名) を対象とした。年齢 $21 \pm 1.0$ 歳 (平均 $\pm$ 標準偏差)、身長 $165 \pm 7.9$ cm、体重 $59.3 \pm 9.7$ kg、BMI  $21.5 \pm 2.8$ kg/m<sup>2</sup>であった。条件として、測定時に股関節・膝関節・足関節の関節可動域制限や、徒手筋力検査法により筋力低下ならびに左右差がなく、神経系に異常を認めない者とした。

研究参加者に対しては研究の趣旨を十分に説明し、同意を得て評価を実施した。なお本研究は国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科研究倫理委員会において審査を受けた。

### 2. Wall squatの方法ならびに判定基準

#### (1) Wall Squat Normal : WSN

本研究のWSは、直交する壁に左右の下肢外側を接触させる。スタートポジションは、大腿骨頭・膝蓋骨中央・足部中央を結んだ線が一直線となるように、殿部・左右の大腿外側・下腿外側・第5中足骨頭外側を壁に接触させる (図1 (a))。足部の位置は、正確な下肢アライメントに注意し左右均等な位置とする。その際に足部長軸は、壁と平行になるよう注意する。また足部長軸は、下腿軸と同一面上の位置とした。(図1 (b) のように、第5中足骨頭外側が壁に接触し、踵は壁に接触しない。) 壁に接触した殿部・下肢外側・第5中足骨頭外側が、壁から離れることなく股関節と膝関節を屈曲し、下肢アライメントを保持した状態とする。体幹上部 (肩) は、骨盤の前傾と連動して壁から離れる。体幹は、下腿と平行になるまで前傾させる。足底荷重中心部は、足の長軸上の中央を維持するように意識する。このスクワットが実施できたものをWSNと判定した。

#### (2) Wall Squat Abnormal : WSA

壁に接触しているべき殿部・下肢外側・第5中足骨頭外側が、一連のスクワット動作にて少しでも壁から離れた場合をWSAと判定した (図1 (c))。また、荷重している足部の移動や足部の変化が認められた場合もWSAと判定した。

### 3. 測定方法

WSの判定基準に則り、対象者をWSNとWSAとに判定し、WSN群とWSA群とに群わけした。

足底荷重の測定は、靴型下肢加重計ゲートコーダ (アニマ社) を用いてサンプリング周波数100Hzで測定 (測定誤差範囲 $\pm 5\%$ ) した。(図2 (a)) 対象者の中足骨部 (前足部) と踵部 (後足

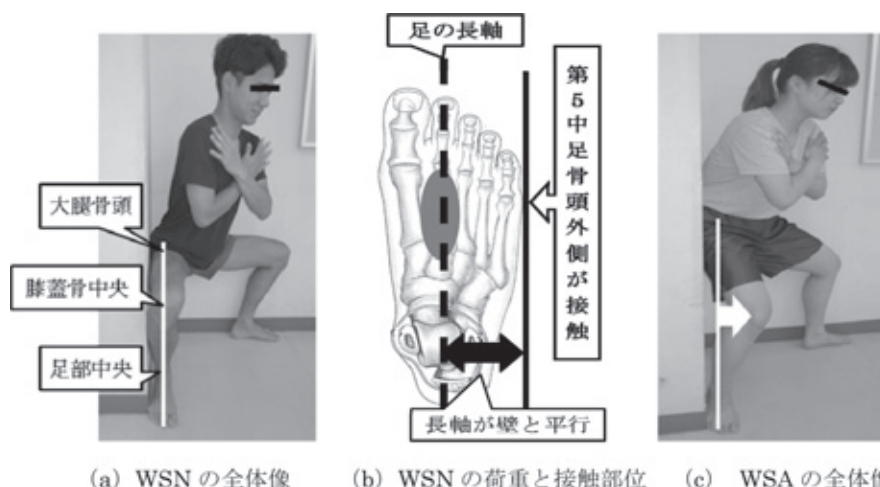


図1 Wall squat (WS) の方法ならびにWall squat normal (WSN) とWall squat abnormal (WSA) の判定方法 (文献13を改編)

- (a) WSNの全体像：大腿骨頭・膝蓋骨中央・足部中央を結んだ線が一直線となるように、殿部・左右の大腿外側・下腿外側・第5中足骨頭外側を壁に接触した。下肢アライメントを保持した状態で、壁に接触した殿部・下肢外側・第5中足骨頭外側が、壁から離れることなく膝関節を90°まで屈曲した。体幹上部(肩)は、骨盤の前傾と連動して壁から離れた。
- (b) WSNの荷重と接触部位：足部の位置は、左右均等な位置とした。足部長軸は、距骨中央と第2趾の中足趾距関節中央を結ぶ線とし、壁と平行にした。足底荷重中心部は、足の長軸上の中央を維持するように意識させた。
- (c) WSAの全体像：膝関節90°屈曲に達する前に、下肢の離壁が認められる(膝の外反)。

部)に合わせて、5.0×5.0cmの荷重センサーを左右の靴の前足部と後足部に固定し、WSN群とWSA群とのFSとWSの前足部と後足部の足底荷重量(kg)を測定した。FSとWSにおいては、説明と指導を十分に実施した後、測定した。(図2(b))FSの足底荷重に関しては、WSと同様に足底荷重中心部が、足の長軸上の中央を維持するように統一した。測定手順は、眞瀬垣らの報告<sup>6)</sup>を参考にした。スクワットのリズムは、メトロノームで毎分60拍のテンポを流し、そのテンポに合わせて2秒に1回の速さでスクワットを繰り返した。スクワットが安定してから、連続2回分の足底荷重量を記録した。また、両上肢の位置は、胸の前で組むように統一した。

FSとWSとも、膝関節の角度は90°まで屈曲するように指導した。測定中、体幹前傾や膝関節の屈曲角度が不十分な場合と膝前面が足趾より前に

でた場合を失敗とし、再指導した。また、各スクワットへの移行には、3分間の休息をとり、疲労がないことを確認した後に測定した。検査者は、対象者の正面に位置し判定した。

FSとWSの採用データ(図3)は、連続2回実施した中の成功例を採用した。データの分析は、スクワット開始時の前足部と後足部のフレーム(開始値)と、開始から終了までの1サイクルにおける足底荷重量の変位を検証するため、前足部と後足部の足底荷重量が、最も移動したフレーム(最大値)を抽出した。また本研究は、スクワットにおける足底荷重量の変位を検証するため、開始値と最大値の差を変位値として算出した。データの比較は、体重による足底荷重差を考慮して、足底荷重量(kg)を体重に対する変化率(kg/%)で表した。

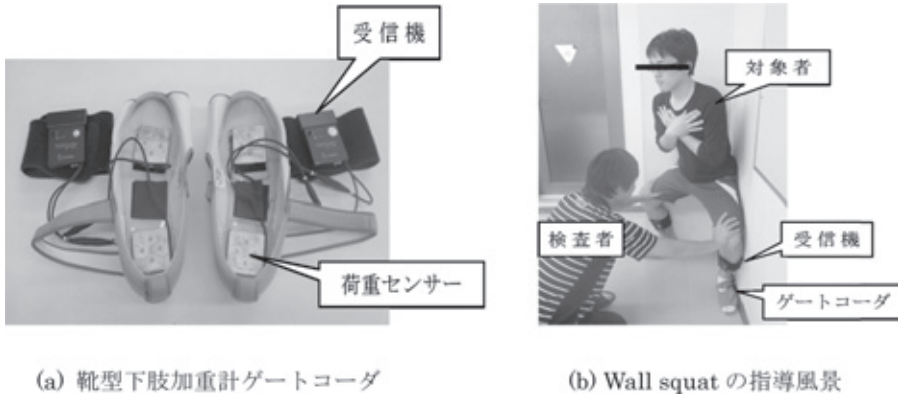


図2 測定器具ならびにWall squatの指導風景

- (a) 靴型下肢加重計ゲートコーダ：対象者の前足部と後足部に合わせて、荷重センサーを設置する。
- (b) Wall squatの指導風景：検査者が、対象者にWall squatの方法を指導している。  
検査者の下腿内側部に受信機を装着し、Wall squatに影響が無いようにした。

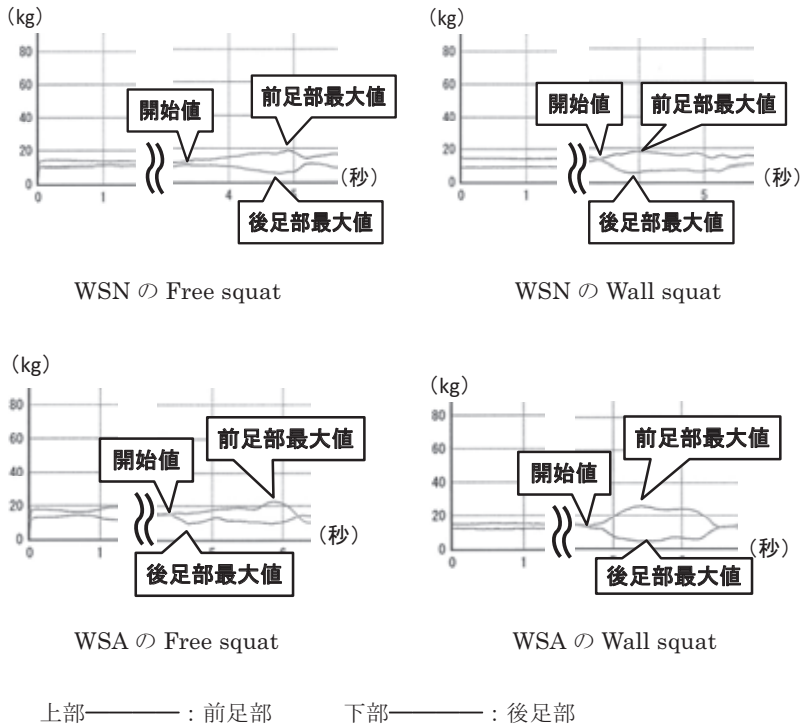


図3 Free squatとWall squatの採用データの抽出

開始値：スクワット開始時の荷重値を開始値とした。

最大値：スクワット中の荷重値が最大に移行した荷重値を最大値として、前足部の最大値と後足部の最大値を抽出した。

変位値：開始値と最大値の差を変位値として、前足部の変位値と後足部の変位値を算出した。

\* 体重による足底荷重差を考慮して、足底荷重量 (kg) を体重に対する変化率 (kg/%) で表した。

#### 4. 統計処理

FSとWSにおける足底荷重量の検討は、対象者54名のFSとWSの最大値を比較し検討した。

各WS群のFSとWSの変位値の比較については、各群の前足部と後足部それぞれのFSとWSの変位値を比較し検討した。

統計学的解析として、対応のあるt検定を用いた。

統計処理には、IBM SPSS statistics 19を用い、有意水準は5%とした。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. Free squatとWall squatにおける足底荷重量の検討 (図4)

FSの最大値は $99.78 \pm 12.97$ kg/% (平均値±標準偏差) (66.38~123.70 kg/%) で、WSの最大値は $98.65 \pm 7.90$ kg/% (78.58~115.48 kg/%) であった。FSとWSを比較した結果、有意な差を認めなかった。

#### 2. Free squatとWall squatにおける変位値の検討 (図5)

##### (1) Wall squat normal群の比較

##### A. 前足部

FSの変位値は $10.10 \pm 8.65$ kg/% (0.35~42.37

kg/%) で、WSの変位値は $11.91 \pm 6.03$ kg/% (0.39~29.18 kg/%) であった。FSとWSを比較した結果、有意な差を認めなかった。

##### B. 後足部

FSの変位値は $10.28 \pm 6.33$  kg/% (0.37~26.88 kg/%) で、WSの変位値は $9.80 \pm 4.13$  kg/% (1.32~18.14 kg/%) であった。FSとWSを比較した結果、有意な差を認めなかった。

##### (2) Wall squat abnormal群の比較

##### A. 前足部

FSの変位値は $9.91 \pm 7.06$  kg/% (0.31~31.48 kg/%) で、WSの変位値は $13.33 \pm 6.27$  kg/% (0.66~28.72 kg/%) であった。FSとWSを比較した結果、有意な差を認めた ( $p=0.01 < 0.05$ )。

##### B. 後足部

FSの変位値は $9.49 \pm 6.42$  kg/% (0.78~24.58 kg/%) で、WSの変位値は $13.20 \pm 6.48$  kg/% (0.41~25.85 kg/%) であった。FSとWSを比較した結果、有意な差を認めた ( $p=0.006 < 0.05$ )。

### 6. 考 察

WSは、殿部から左右の下肢外側に壁に接触したスクワットフォームのため、壁に接触することにより足底荷重量が、FSよりも減少する可能性がある。しかし、本研究の結果、FSと同様の足

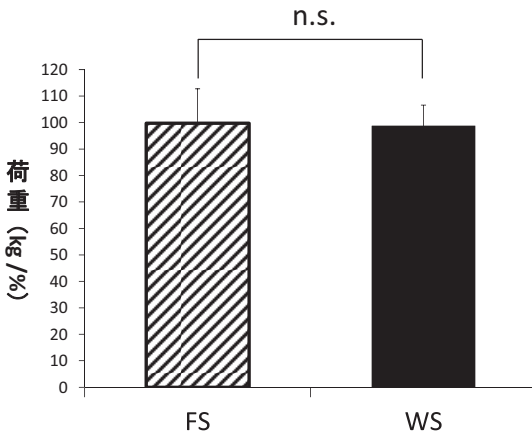


図4 Free squat (FS) とWall squat (WS) における荷重の比較

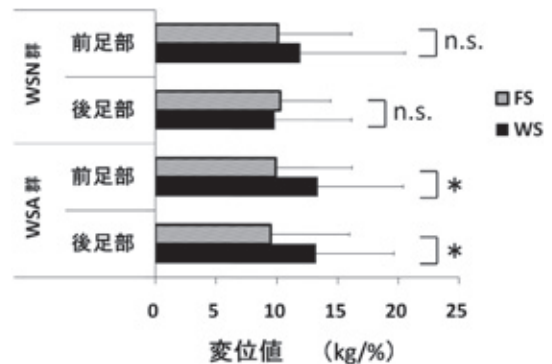


図5 Free squat (FS) とWall squat (WS) における変位値の比較 (\* :  $p < 0.05$ )

底荷重量のため、WSでの足底荷重量は壁に接触した影響が少ないことが判明した。接触した壁の影響が少ない要因として、WS中の身体重心の位置が前方に移動したためと考える。佐々木<sup>7)</sup>は、スクワット動作時に骨盤から上半身を膝の上にシフトするほど、荷重面積が大きくなることを報告している。WSのフォームも骨盤を前傾し背部が壁から離れるため、身体重心の位置が前方に移動し、壁に接触しているべき殿部・下肢外側が壁に寄りかかることなく足底全体で体重を支えていると考える。

FSとWSにおける変位値の検討では、WSA群で足底荷重量が変位する傾向を示した。先行研究にてWSAのFSでは、下肢の各関節や足底荷重位置において、異常な下肢アライメントを代償していると報告している。WSAも直交する壁に5ヶ所を接触するという条件をこなすため、正確な下肢アライメントのスクワットフォームが制御できず、関節運動が不安定となった結果、足底荷重位置に影響したと考える。その要因として、股関節内転角度の影響<sup>8)</sup>や足部回内運動<sup>9)</sup>、後足部機能不全<sup>10)</sup>などが影響し、膝外反や足部移動が引き起こされ、足底荷重の位置が変位したと考える。従って、WSAでは一定した足底接地場所での荷重位置が困難となり、FSよりも大きな変位が生じたと考える。

WSN群においては、足底荷重量の変位を認めなかった。WSNでは、壁に接触した下肢が離壁することなく、正確な下肢アライメントでの安定した関節運動でWSを実施することができる。従って、WSNとFSでは、一定した足底接地場所での荷重位置となり、荷重の変位に差が生じなかったと考える。

スクワットなどの足底を接地して行うClosed kinetic chain運動では、下肢アライメントと足底荷重部位の2つを理解し、正確な評価を行うことが障害予防において重要と考える。足底荷重の重要性は、眞瀬垣ら<sup>6)</sup>によるとウェイトリフティングの選手は、前後均等に荷重していると報告して

いる。柏木ら<sup>11)</sup>は、跳躍高が高い者は動作開始から足底全体で荷重を行い、最大に沈んだ位置でも足底全体で荷重していることを報告している。Diane<sup>12)</sup>は、スクワットの足底荷重を足部中心にすることによって、最適な足部の三角形構造が維持されると報告している。このように足底荷重の重要性は先行研究からも明白である。

WSは、直交する壁がどこにでも存在するため、いつでも下肢アライメントと足底荷重位置を簡便に評価し理解させることができる。そのため、WSは臨床での障害予防において有効な方法の一つになり得る。

本研究は、前足部と後足部の荷重のみの検証であった。精巧な床反力計も足底各部は計測できない。現状の装置では、詳細な検証をするには限界がある。今後も、WSNとWSAにおける荷重を詳細に検討し、WSにおける下肢アライメントと足底荷重の関係性を明らかにしたい。

## 引用・参考文献

- 1) Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR : The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am. J. Sports Med* 27 : 699-706, 1999.
- 2) 渡會公治 : 美しく立つ スポーツ医学が教える3つのA. 47-62, 文光堂, 東京, 2007.
- 3) 渡邊学, 青山利春, 松本高明, 渡會公治 : 壁スクワットを用いた下肢アライメントの評価. *日本臨床スポーツ医学会誌* 23 (2) : 224-232, 2015.
- 4) Watanabe M, Matsumoto T, Ono S, Koseki H, Watarai K : Relationship of lower extremity alignment during the wall squat and single-leg jump : assessment of single-leg landing using three-dimensional motion analysis. *J Phys Ther Sci* 28 : 1676-1680, 2016.
- 5) 渡邊学, 松本高明, 小野晋, 小関博久, 渡會公治 : 股関節外転角度がスクワットフォームに与える影響について : Wall Squatを用いた検証. *理学療法科学* 32 : 423-427, 2017.
- 6) 眞瀬垣啓, 伊藤博一, 渡會公治 : ウェイトリフティング競技者の静的・動的立位における足底圧分布の検討. *日本臨床スポーツ医学会誌* 16 (1) : 42-47, 2008.

- 7) 佐々木誠：健常者におけるスクワット動作時の足圧の作用中心点 (COP) の測定再現性と特性. 理学療法学 29 (5) : 160-163, 2002.
- 8) 鈴木秀知, 大森豪, 上松大輔：性別による股関節周囲筋筋力・体幹筋力と非予測カッティング動作時の膝関節運動の関係. 日本臨床スポーツ医学会誌 23 (1) : 58-65, 2015.
- 9) Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD : Understanding and preventing acl injuries : current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. N Am J Sports Phys Ther 5 (4) : 234-251, 2010.
- 10) Yoshinori Kagaya, Yasunari Fujii, Hidetsugu Nishizono : Association between hip abductor function, rear-foot dynamic alignment, and dynamic knee valgus during single-leg squats and drop landings. Journal of Sport and Health Science 4 (2) : 182-187, 2015.
- 11) 柏木悠, 船渡和男：垂直跳び踏み切り動作中の足底荷重分布定量化の試み. 体力科学 61 (3) : 351-363, 2012.
- 12) Diane Lee (監訳者：石井美和子)：骨盤帯, 394-398, 医歯薬出版, 東京, 2013.
- 13) 塩田浩平, 瀬口春道, 大谷浩：グレイ解剖学 原著第2版, 600-601, エンゼビアジャパン, 東京, 2011.