

国士舘大学審査学位論文

「Wall squat と下肢アライメント」

渡邊 学

博 士 学 位 論 文

Wall squat と下肢アライメント

Lower extremity alignment and the wall squat

国士舘大学大学院  
スポーツ・システム研究科

渡 邊 学

Manabu WATANABE

Graduate School of Sport System, Kokushikan University

## 目次

第 1 章	諸言	1
1-1.	本論文の背景	2
1-2.	障害予防プログラムについての研究の現状	4
1-3.	障害予防におけるスクワットの現状	6
1-4.	本論文の Wall squat について	11
1-5.	本論文の目的	19
1-6.	本論文の構成	20
第 2 章	Wall squat を用いた下肢アライメントの評価	22
2-1.	はじめに	23
2-2.	目的	24
2-3.	方法	25
2-4.	結果	29
2-5.	考察	31
2-6.	要約	33
第 3 章	Wall squat と片脚ジャンプにおける下肢アライメントの 関係性について	34
3-1.	はじめに	35
3-2.	目的	37
3-3.	方法	38
3-4.	結果	41
3-5.	考察	57
3-6.	要約	59

第 4 章	Wall squat における下肢アライメントの違いが荷重に及ぼす 影響についての検討	60
4-1.	はじめに	61
4-2.	目的	62
4-3.	方法	63
4-4.	結果	68
4-5.	考察	70
4-6.	要約	72
第 5 章	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	73
5-1.	はじめに	74
5-2.	目的	75
5-3.	方法	76
5-4.	結果	80
5-5.	考察	83
5-6.	要約	85
第 6 章	Wall squat normal と Wall squat abnormal の 性差と既往歴における差異の検討	86
6-1.	はじめに	87
6-2.	目的	88
6-3.	方法	89
6-4.	結果	91
6-5.	考察	96
6-6.	要約	98

第 7 章	本論文のまとめ	・・・・・・・・・・	99
第 8 章	結論	・・・・・・・・・・	104
第 9 章	参考及び引用文献	・・・・・・・・・・	107
	業績リスト	・・・・・・・・・・	117
	謝辞		

# 第 1 章

## 緒言

## 1-1. 本論文の背景

近年、予防医学における運動器の障害予防についての研究や実践では、トップアスリートのみならず、高齢者のロコモティブシンドローム（ロコモ）から一般のレクリエーションレベルの運動まで多岐にわたり報告されている<sup>1-10)</sup>。

手術を中心とした治療医学は、スポーツ整形外科医やリハビリテーション医の努力によりめざましい進歩を遂げ、スポーツ外傷の前十字靭帯（**anterior cruciate ligament : ACL**）損傷では、トップレベルのアスリートでも適切な手術とリハビリテーションを行えば、1年以内に受傷前と同様のレベルでの競技復帰が可能と報告している<sup>1)</sup>。予防医学においては、2000年からの「運動器の10年」による世界運動にて、予防医学への関心が高まり、障害予防プログラムの検討や普及が報告されている<sup>2)</sup>。諸外国では、障害予防プログラムを積極的に取り入れ、スポーツ医学のサッカーの分野では、**F-MARC**（**FIFA Medical Assessment and Research Centre**）の**FIFA 11+**が**FIFA**加盟国全域で実施され、下肢障害の減少などが報告されている<sup>3,4)</sup>。本邦でも、日本バスケットボール協会がジュニア向け外傷予防プログラムを作成し、障害発生の軽減に対する有効性を報告している<sup>5)</sup>。医療機関においても浦辺らや大見らなどが、障害予防プログラムを各方面で実施し有効性を報告している<sup>6,7)</sup>。

本邦では、2007年に超高齢社会を迎え、2050年には国民の5人に2人が高齢者となる社会が推計されるなか、健康寿命は大きなポイントとしてロコモを筆頭に、多くのトレーニングプログラムが報告されている<sup>8-10)</sup>。平成25年国民生活基礎調査によると、自覚症状のある有訴者率は、整形外科疾患の症状を訴える人が多く、生活習慣病と運動器疾患の罹患者数は同等で、運動器疾患の対策が健康寿命の延伸ポイントと報告している<sup>8)</sup>。このように、超高齢社会が加速度的に進行するなか、運動器の障害により自立した生活をおくることができず、医療機関への依存度が高くなっていることが現状の課題で、健康寿命を延伸することは本邦において急務であると考えられる。

スポーツ界における障害予防プログラムや健康寿命を延伸するためのトレーニングプログラムにおいて、正確な下肢アライメントにおける正しいフォームが、重要であることは多くの指導者ならびに対象者に認知されている<sup>3-10)</sup>。し

かし、大下ら<sup>11)</sup>によると、トレーニングを実施している半数以上がスポーツ活動の場において、正しいフォームで行えていないことを報告している。

本論文では、運動器における障害予防の正しいスクワットフォームを通して、誰もが簡便に実施しながら下肢アライメントの評価ができる、有益な情報を得ることを目的とし、渡會が考案した Wall squat を科学的に検証し立証した。



## 1-2. 障害予防プログラムについての研究の現状

スポーツ界における外傷予防プログラムは、1980年代後半からACL損傷のプログラムが提唱され始め、2000年からは、ACL損傷のバイオメカニクスに関する研究成果が集約され、障害予防プログラムの考案に至っている<sup>2)</sup>。その関心は世界的な流れとなり、2005年には第1回スポーツ外傷予防会議(1st World Congress on Sports Injury Prevention)が開催され、それを契機に多くの障害予防プログラムが報告に至っている。(表1)

先行研究では、Hewettら<sup>12)</sup>のDynamic Neuromuscular Analysis ProgramやOlsenら<sup>13)</sup>のプログラムなどが報告され、本邦でも浦辺ら<sup>6)</sup>や大見ら<sup>7)</sup>など、多くの報告が認められる。これらプログラムは、神経筋トレーニングを主体に身体コントロールを改善するうえで必要な、筋力・俊敏性・バランス・下肢アライメントのトレーニングに伴い、障害の発生率が低下したと報告している<sup>14~19)</sup>。

障害予防における科学的基礎が検討<sup>20,21)</sup>されているなかでも、近年、ACL損傷を予防する目的のプログラムは、下肢全般の障害予防プログラムにも繋がると考えられている<sup>22,23,24)</sup>。今日まで障害予防は、さまざまな観点から検討され、Hewettら<sup>12)</sup>やMandelbaumら<sup>25)</sup>は、柔らかく着地し膝の左右の動きを少なくすることが、有効であると報告している。大見ら<sup>7)</sup>やMyklebustら<sup>26)</sup>は、股関節や膝関節を深く曲げて着地することが、有効であると報告している。Olsenら<sup>13)</sup>やPetersenら<sup>27)</sup>は、着地において膝が足部の上になるような下肢の動作を報告している。

これらの報告から、下肢疾患の障害予防として以下の3点が挙げられる。

- ①. 着地動作は、下肢の各関節が十分に屈曲し、柔らかく着地する。
- ②. 下肢の運動方向は、距骨中央と第2趾のMP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・足関節の屈曲方向が向くときが正しい運動方向となる。本論文では、下肢の正しい運動方向の位置関係を、「膝と足趾が一致」と定義した。
- ③. 身体重心においては、後方重心に注意しながら、足底荷重の中心が足の長軸上の中央になるように足底全体で荷重する。

現状において、これら3点が障害予防の動作として統一されてきている。

表 1. 膝関節前十字靭帯損傷予防対策の変遷（文献 2 を引用）

---

1989年 世界で最初の予防プログラムの実施（Griffis ND et al）  
1990年代 proprioceptive training, plyometric training の広まり  
2000年代 ACL損傷受傷時のバイオメカニクスに関する報告  
（Hewett TE, Noyer FR, Olsen OE, 他）  
2004年～ neuromuscular exercise の広まり（Hewett TE, 他）

2005年頃より主流となっている予防プログラム

目的 : neuromuscular training によって動的な負荷を変化させる  
内容 : awareness of high risk position, plyometric training,  
proprioceptive training, stretching, strengthening,  
agilities, aerobics conditioning

---

### 1-3. 障害予防におけるスクワットの現状

各分野において障害予防プログラムの有効性が報告され、そのプログラムにはいずれもスクワットが組み込まれている<sup>3~7)</sup>。また、運動器の障害によって引き起こされるロコモのトレーニングプログラムとして、日本整形外科学会ではスクワットを推奨している<sup>28)</sup>。

スクワットは closed kinetic chain (CKC) の1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る。スクワットにおける CKC でのトレーニングは、Palmitier ら<sup>29)</sup>が競技パフォーマンスを向上させるうえで重要なトレーニングと報告している。田上<sup>30)</sup>は、スクワットの有効性として、筋力・協働運動のみならず動作時のバランスを最適化するように、関節運動を協調させると報告している。スクワットは、下半身トレーニングの強化として取り入れられているなか、ワイドスタンススクワットやスクワットジャンプそして片脚スクワットなど多くのスクワット方法が存在し、身体症状や強化の目的に応じて選択している<sup>31)</sup>。

運動器の障害予防としてのスクワットフォームは統一され、そのフォームは、膝と足趾の方向が一致し屈曲した膝前面が足趾より前に出ないことや、肩と股関節が一直線となるように体幹筋を働かせながら股関節を屈曲し体幹を前傾する<sup>12.31.32.33)</sup>。また、荷重は後方重心に注意しながら足底全体で全体重を支える<sup>31.34.35)</sup>。これらを基準として、障害予防プログラムにおけるスクワットフォームの指導法が作成され、実施されている。

本論文では、日常実施しているスクワットを **Free squat (FS)**、そしてスクワット時の荷重に関しては、足底の荷重部位を荷重コントロールと定義した。また、上記の障害予防のスクワットフォームを正しく実施できた **FS** を正しい **FS** (図 1)、上記の障害予防のスクワットフォームから逸脱した動作の **FS** を誤った **FS** (図 2) と定義した。(表 2)

トレーニングでの下肢アライメントを、客観的に数値化して評価するには、動作を撮影するカメラなどの動作分析装置が必要となる<sup>36)</sup>。しかし、スポーツフィールドや体育館において、動作分析装置が設置されている施設が少ないのが現状である。**FS** の正確な下肢アライメントの評価は、指導者の目測と選手の主観的な思い込みで実施していると推察される。そのため、正確な下肢アラ

イメントで荷重コントロールしたスクワットが実施できているか不明である。下肢アライメントと荷重コントロールを簡便で客観的に評価し、理解できる方法が求められるが、現状では確立されていない。

日常生活活動やスポーツ活動において、異常な下肢アライメントでの活動が、疼痛を誘発する可能性が高い。スポーツ選手のみならず高齢者にも、WS で下肢アライメントを評価し、正確な下肢アライメントの正しいスクワットを理解する意義は大きい。

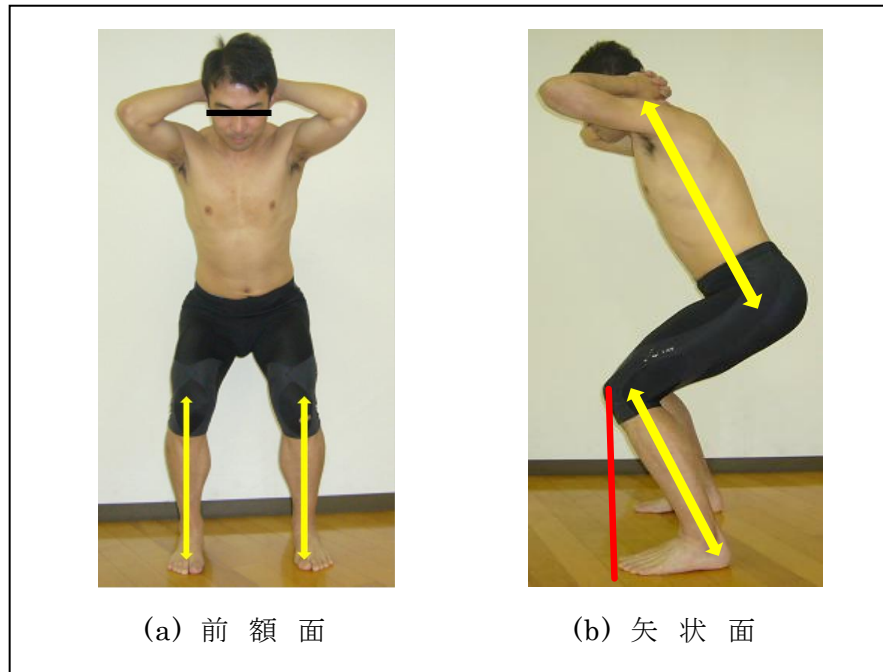


図 1. 正しい Free squat (正しい FS)

(a) 前額面：膝と足趾が一致した一直線となる。

(b) 矢状面：膝が足趾よりも前に出ない。(足趾の上に膝が位置している)

体幹筋を意識して肩から股関節を一直線となるように股関節を屈曲し、骨盤と一緒に体幹を前傾する。

荷重コントロールは、後方荷重にならないように足底全体で荷重。

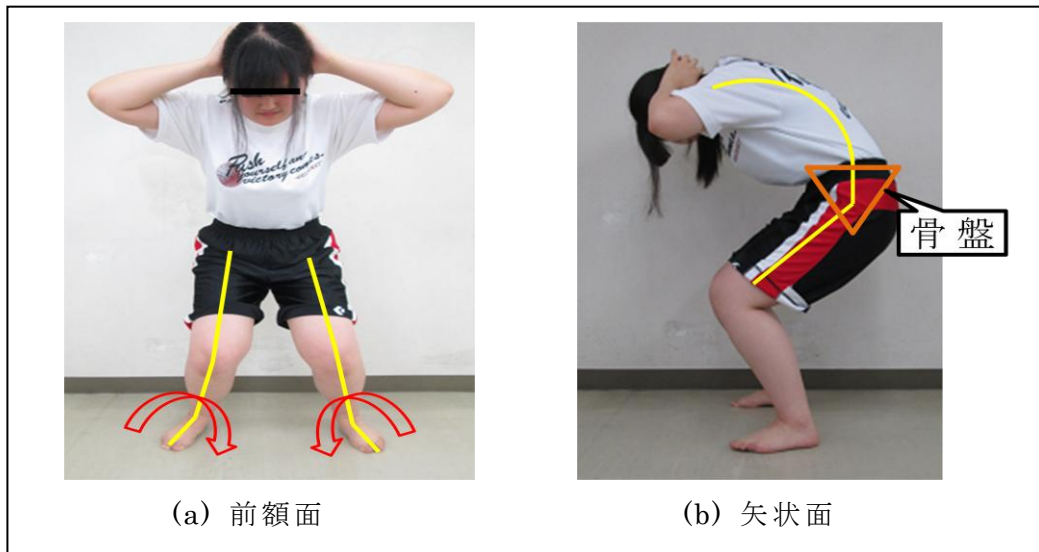


図 2. 誤った Free squat (誤った FS) の一例

- (a) 前額面：股関節と足関節を結んだ線が一直線ではなく、膝の外反が認められる。(knee in)  
足部が回内して縦アーチが低下した扁平足でのスクワットが認められる。
- (b) 矢状面：骨盤前傾が認められず、中間位の状態を保持している。  
後方重心を防ぐために、体幹のみ前傾しているが、体幹筋の意識が不足しているため体幹が後弯している。
- \* 図 1 の正しい Free squat から逸脱したスクワットフォームを誤った FS とした。
- \* 図 2 は代表的な誤った FS の為、その他のフォームは表 2 を参考とする。

表 2. 障害予防のスクワットフォームにおける正しい Free squat と  
誤った Free squat の相違

		正しいFree squat	誤ったFree squat
アライメント	下肢	膝と足趾の位置が一致 (正確な下肢アライメント)	膝と足趾の位置が不一致 (異常な下肢アライメント)
	体幹	肩から股関節まで一直線 (体幹筋の収縮良好)	肩から股関節までが後弯 (体幹筋の収縮不良)
下肢関節	骨盤	矢状面 前傾	中間位～後傾
		水平面 中間位	前方回旋 後方回旋
	股関節	前額面 中間位～外転位	内転位
	膝関節	矢状面 足趾の上に膝が位置する	足趾より前方に膝が突出
		前額面 中間位 (膝と足趾の位置が一致)	knee in (内反傾向) knee out (外反傾向) (膝と足趾の位置が不一致)
	足関節	前額面 中間位	扁平足 (回内傾向) ハイアーチ (回外傾向)
		水平面 中間位 (膝と足趾の位置が一致)	toe in (内転傾向) toe out (外転傾向) (膝と足趾の位置が不一致)
		荷重	足底全体での均一な荷重可能
	コントロール	足底中央に身体重心が 位置する(足底全体)	後方重心 (踵荷重) 前方重心 (足趾荷重)
	動作	下肢	各関節が連動して屈曲
体幹		下肢屈曲と骨盤前傾および 体幹前傾が同時に連動	下肢屈曲に対して骨盤前傾 および体幹前傾が難しい

- ・表は、先行文献<sup>12.31~35)</sup>を参考にして、障害予防のスクワットフォームの相違を表している。
- ・目的とする動作および筋収縮を求める場合は、スクワットフォームの肢位(体幹肢位や荷重部位)が異なる場合がある。
- ・各種、異なったスクワット方法でも下肢アライメントの膝と足趾の位置関係においては、一致している。

#### 1-4. 本論文の Wall squat について

本論文の Wall squat (WS) は、渡會によって考案された障害予防としてのスクワットである<sup>37)</sup>。

WS は、直交した壁を使用することによって、正確な下肢アライメントと荷重コントロールを評価し理解することができるスクワット方法である。

##### 1) WS の方法並びに Wall squat normal と Wall squat abnormal の定義

###### ① Wall Squat Normal : WSN (図 3)

WS は、床と左右 2 面の壁が固く平らで 3 面が直交する壁を使用する。

スタートポジションは、殿部と左右の大腿外側と下腿外側そして第 5 中足骨頭を壁に接触する。足部の位置は、正確な下肢アライメントになるように注意し左右均等な位置とする。その際の足部は足の長軸が壁と平行になるよう注意する。(図 3(c)のように、第 5 中足骨頭が壁に接触し、踵は壁に接触しない。)

荷重に関しては、足底荷重中心が足の長軸上の中央になるよう意識する。

壁に接触した殿部と左右の下肢外側そして第 5 中足骨頭が、壁から離れることなく各関節を屈曲するよう指示する。体幹は、骨盤の前傾と連動して、肩が壁から離れ、肩関節と股関節を結ぶ線が下腿と平行になるように前傾する。足底荷重中心部は内外側に移動することなく、足の長軸上の中央を維持する。

このスクワットが実施できた者を WSN と判定した。

###### ② Wall Squat Abnormal : WSA (図 4)

壁に接触しているべき殿部と左右の大腿外側と下腿外側そして第 5 中足骨頭が、一連のスクワットフォームから、少しでも壁から離れた場合を WSA と判定した。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。判定において、以下の 2 点が認められた。

- i) 足部が回内し、足底アーチの低下と下腿が壁から離れた、膝の外反 (knee in) が認められる。
- ii) 指示された膝の外反を抑制 (下肢接触部位が壁から離れていない状態) しようとして、足部の縦アーチがハイアーチに向かい、踵部の離床または内側方向への移動が認められる。



## 2) WSの有効性（表3）

WSは、壁を使用することで再現性と安全性が確保できる。FSでは困難であった正確な下肢アライメントのフォームを、WSでは評価し理解することができる。

トレーニング室や自宅などには、直交する壁がどこにでも存在するため、いつでもWSを実施することが可能である。左右の壁が下肢の誘導路となり、膝と足趾を一直線とした正確な下肢アライメントでの関節運動を理解することができる。また、この動作ができない者に対して、足底荷重中心部位の意識や壁との接触感覚を用いることにより異常肢位を抑制することが可能である。異常肢位でのスクワットフォームを矯正することは、各関節に生じるメカニカルストレスを抑制し、疼痛のある者に対しては、疼痛を軽減することが可能である<sup>38)</sup>。

## 3) 運動学的特徴

### ① 下肢アライメント

WSは、殿部と左右の下肢外側を壁に接触することによって、膝と足趾を一直線とする正確な下肢アライメントのスクワットフォームとなる。正確な下肢アライメント（図5(a)）は、大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が、膝関節中央を通る一直線となった下肢の位置関係を示す。このポジションで実施しているWSをWSNとしている。正確な下肢アライメントでの動作は、関節面のノーマルコンタクトエリアでの生理的接触面で行われ、関節構成体に対するメカニカルストレスを抑制すると報告されている<sup>39)</sup>。メカニカルストレスの抑制は、関節構成体の軟部組織に異常なストレスを誘発させないため、疼痛の発生も軽減することができる<sup>40)</sup>。

異常な下肢アライメント（図5(b).(c)）は、大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が、膝関節中央を通らない下肢の位置関係を示す。このポジションで実施しているWSをWSAとしている。異常な下肢アライメントでは、関節構成体に必要以上の刺激が誘発され、疼痛を発生する要因が高くなると報告されている<sup>38.40)</sup>。

足関節においては骨形態上、背屈時、外転と回内運動がわずかに起こる。通常の動作時であれば、足部のわずかな外転・回内運動や脛骨回旋（スクリュー

ホームムーブメント) を意識的に制御することは困難である。足部の外転・回内の可動性や脛骨回旋を含んだ動作を行うとき、大腿骨頭と膝そして足趾を一直線上に結んだ、正確な下肢アライメントを意識したスクワットフォームが重要である。それを促すのに直交した壁を使用するのが、有効と考える。

### ② 股関節外転位におけるスクワットの筋活動の影響

WS は直交する壁を使用するため、股関節外転位のスクワットフォームとなる。これは、ワイドスタンススクワットや相撲の腰割りに類したスクワットフォームである。遠藤らは<sup>41)</sup>、ワイドスタンススクワットは、**Shoulder width stance squat** よりも大内転筋の筋硬度が高まることを報告し、**Baffa** らは<sup>42)</sup>、股関節外転筋を意識した **squat** で中殿筋の活動が高くなることを報告している。スクワットフォームにて、股関節外転角度が異なれば、殿部周囲筋の活動は異なる。しかし、股関節外転角度が異なった運動方向であっても、関節包内運動における大腿骨頭の回転軸が大きく移動することはない<sup>43,44)</sup>。そのため、殿部周囲筋群の活動の違いが下肢アライメントに及ぼす影響は少ないと考える。

### ③ 荷重コントロール

WS にて足部外側を壁に接触させる部位は、第 5 中足骨頭のみである。足底の支持面は足部アーチの構造上、踵骨と第 1 中足骨頭そして第 5 中足骨頭の 3 点でつくられる。この面の中に荷重することは、力学的に合理的な荷重支持に役立っている<sup>45)</sup>。この 3 点を結ぶと足底の支持面は三角形となるため、WS での壁への接触は第 5 中足骨頭のみとなる。(図 3(c)) 第 5 中足骨頭のみならず、踵骨面も壁に接触すると **toe in** の状態となり、異常な下肢アライメントでの WSA となる。WS の足部は、生理的な関節の位置関係を保つために、第 5 中足骨頭だけが接触する位置とする。また WS での荷重は、身体重心に注意しながら足底全体で、足の長軸上の中央になるよう意識させる。

WSN の荷重では、長軸上の中央を意識することにより、足部筋群の活動が均等に働き、足部アーチの形成によって体重が分散され、足底支持面の 3 点に均等な荷重が可能になる<sup>45)</sup>。

WSA では、荷重を長軸上の中央に意識すると大腿と下腿への意識が疎かとな

り、膝の外反が引き起こされる。また、壁だけの意識では荷重コントロールが困難となり、足部アーチの崩れや踵部の移動が引き起こされる。

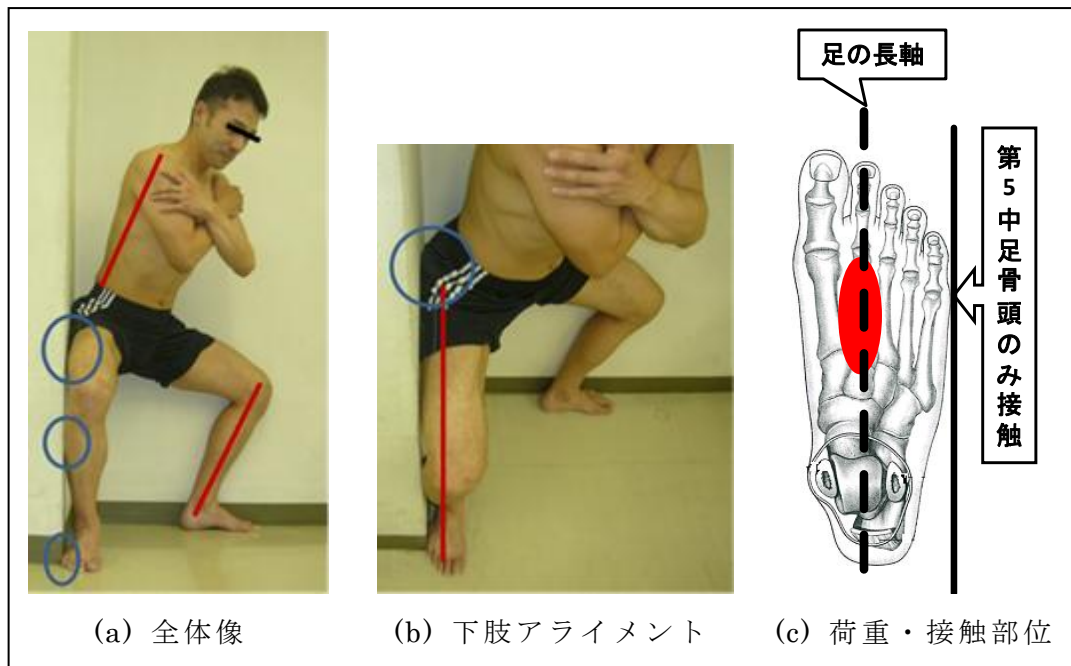


図 3. Wall Squat Normal : WSN (文献 46 を改編)

- (a) 全体像：下肢外側は壁に接触し、体幹は下腿と平行とする。
- (b) 下肢アライメント：殿部は壁に接触し、膝と足趾が一直線上の正確な下肢アライメントを保持する。
- (c) 足底荷重：後方重心に注意しながら、足底全体で足の長軸上の中央を意識する。
- (c) 接触部位：第 5 中足骨頭のみが壁に接触し、足の長軸は壁と平行にする。

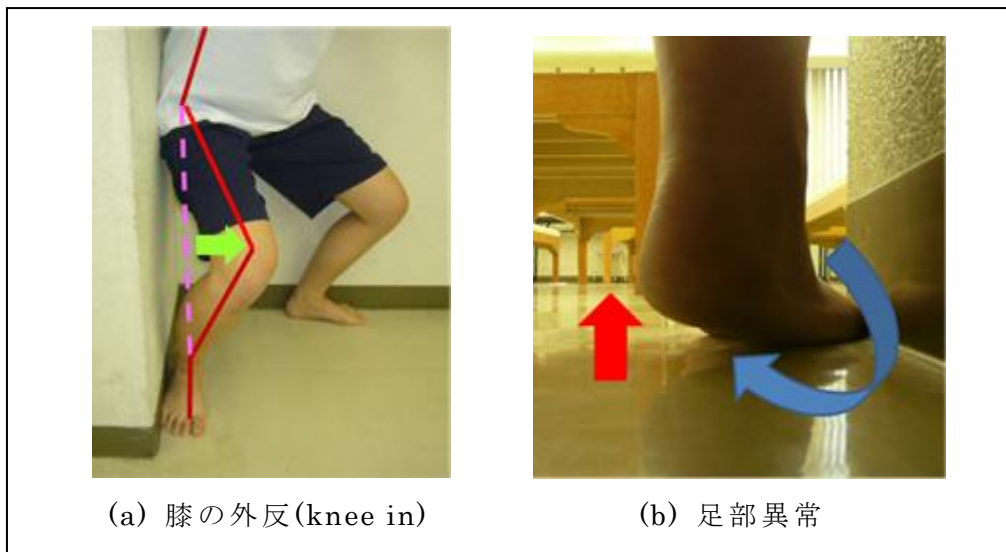


図 4. Wall Squat Abnormal : WSA

(a) 膝の外反：下肢が壁から離壁（knee in）するのが認められる。

(b) 足部異常：足部の縦アーチがハイアーチに向かい、踵部の離床または内側方向への移動が認められる。

\* 図 3 の Wall squat normal から逸脱したスクワットフォームを、WSA とした。

表 3. Wall squat の有効性における Free squat との相違

	Wall squat	Free squat
正確な下肢アライメント	理解できる	確認が難しい
実施中の疼痛軽減	軽減傾向	軽減困難
指導後の再現性	容易	できない人が多い
実施中の安全性	支えがある	支えがない
実施場所	壁が必要	どこでも可能

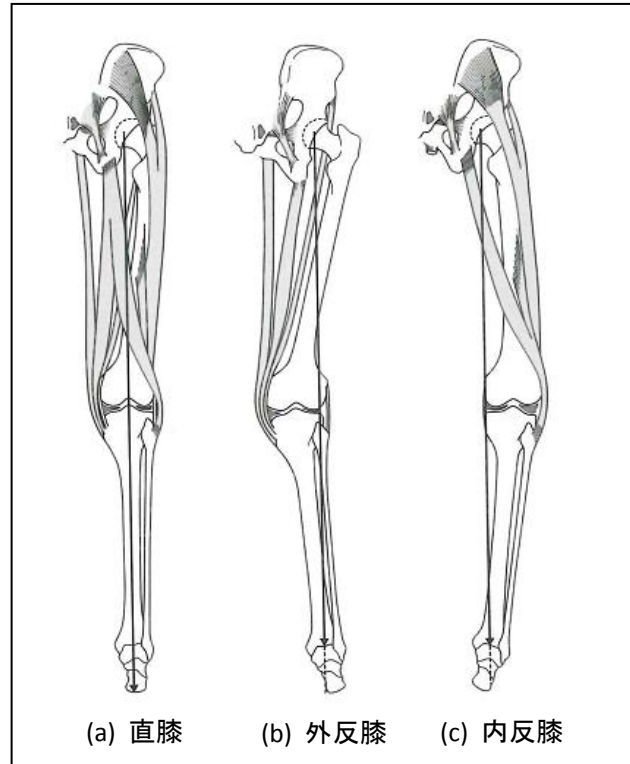


図 5. 下肢アライメントの分類（文献 47 を改編）

- (a) 直膝：大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が、膝の中央を通る  
正確な下肢アライメント
- (b) 外反膝：大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が、膝の外側を通る  
異常な下肢アライメント
- (c) 内反膝：大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が、膝の内側を通る  
異常な下肢アライメント

## 1-5. 本論文の目的

負荷量や強度の異なったスクワット方法があるなか、身体症状や強化の目的に応じて選択されている。しかし、正しいフォームを指導されることなくスクワットを実施しているのが現状である。正しいスクワットフォームを、理解し習得できているか判断するのが難しい状況<sup>11)</sup>では、主観的な感覚に頼らざる得ないことが推察される。異常な下肢アライメントでスクワットを継続した場合、下肢障害の誘発に繋がる可能性も高い。坂田は、WSに類した腰割りを3ヶ月間、十分に指導した選手においても注意点が認められ、正しいフォームを習得するには、多くの時間を要すると報告している<sup>48)</sup>。また、障害のリスクが高いと思われる選手は、トレーナーの指導を徹底することも報告している<sup>48)</sup>。

現在までの下肢アライメントを評価する方法として、**drop vertical jump・Squatting test・Tuck jump assessment**などが報告されているが、コンセンサスは得られていない<sup>20.49.50)</sup>。また、トレーニングにおいても正確な下肢アライメントを理解し獲得する方法は確立されていない。

本論文では、WSが正確な下肢アライメントと荷重コントロールを簡便に評価し理解できるスクワットフォームであることを立証する。トレーニングを、正しいフォームで1人でも適切に実施してこそ、障害予防に結びついた研究であると考え。本論文におけるWSの結果は、スポーツ選手やスポーツ愛好家の障害予防だけでなく、小児から高齢までの運動器障害の下肢症状に適切なスクワットフォームを提供できると考える。



## 1-6. 本論文の構成

本論文の緒言として、第1章では障害予防プログラムにおける研究の現状とスクワットの現状、本論文のWSの方法ならびに有効性と運動学的知見を述べた。そして本論文の目的を述べた。

WSが簡便で客観的に下肢アライメントを評価し理解できるスクワットフォームであることを、科学的に検証し確立する方法として、WSの有効性である以下の4項目を検証する。

- ①. 下肢アライメントの検証
- ②. 荷重コントロールの検証
- ③. 直交した壁を使用した有効性の検証
- ④. 運動器障害の下肢症状についての検証

これら4項目を調査検証して、WSの有効性を確立するため、本論文は2~8章で構成され、以下の内容となっている。

本論文の研究参加者に対しては研究の趣旨を十分に説明し、書面にて同意を得て評価を実施した。なお本研究はすべて国士舘大学研究倫理委員会において審査を受けた。

## 第2章

FSでの下肢アライメントの評価とWSでの下肢アライメントの評価を比較し、スクリーニング検査における下肢アライメントの評価判定について検討した。

## 第3章

第2章を基にWSNとWSAとに群わけした対象に対し、三次元動作解析装置にて片脚ジャンプの着地動作を測定した。WSNとWSAの着地動作における下肢関節角度を比較し、それぞれの着地動作における下肢アライメントを検討した。

#### 第 4 章

WSN と WSA とに群わけし、それぞれ FS と WS における荷重を下肢加重計にて測定した。それぞれの FS と WS における荷重を比較し、スクワット中の荷重範囲を検討した。

#### 第 5 章

交わった壁の角度を  $90^{\circ}$ ・ $70^{\circ}$ ・ $50^{\circ}$  に設定し、WS のフォームを判定した。 $90^{\circ}$  WS と股関節外転角度が狭くなった  $70^{\circ}$  WS と  $50^{\circ}$  WS を比較し、股関節外転角度の影響について検討した。

#### 第 6 章

WSN と WSA とに判定された対象者の性差および既往歴を調査した。WSN と WSA の性差および障害発生の件数と受傷部位を比較検討した。

#### 第 7 章

本論文の結論として、下肢アライメントのスクリーニング検査で、WS が有効であることや、障害発生の予防に効果があることを述べた。また今後の展望や臨床応用そして本論文の課題についても述べた。

#### 第 8 章

本論文によって得られた結論を簡潔にまとめた。

## 第 2 章

Wall squat を用いた下肢アライメントの評価

## 2-1. はじめに

スクワットは、下肢と体幹の筋力そして各関節の連動した動作を獲得するための手掛かりとして、スポーツ選手も頻繁に実施している。また、ロコモの運動療法としても取り入れられている。スクワットは、負荷量や運動量をコントロールできること、そして時間や場所に捉われないため、レクリエーションレベルから高齢者のトレーニングまで、多くの人々が日常のトレーニングとして実施している。スクワットの効果は多く報告<sup>41.51.52)</sup>され、スクワットフォームの注意事項や判断基準は確立されてきている<sup>12.31~35)</sup>。

スポーツフィールドや施設などで実施されるスクワットは、理学療法士やトレーナーを通じて下肢アライメントの評価と修正が、観察と補正によって行われている。下肢アライメントの評価は、スタティックアライメントとダイナミックアライメントの2つに分類され、スタティックアライメントでは、**leg heel angle** や **Q angle** などを評価し、ダイナミックアライメントでは、膝が内側に向く外反 (**knee in**) や膝が外側に向く内反 (**knee out**) などの異常な下肢アライメントを **Squatting test** や **drop vertical jump** または **tuck jump** などによって評価されている<sup>53.54.55)</sup>。しかし、下肢アライメントの評価は、指導者の目測による指導と選手の主観的な思い込みで実施されている場合、正しいフォームで実施できているか不明である。スポーツフィールドや施設などでは、簡便で客観的なダイナミック下肢アライメントの評価方法が求められるが、確立されていないのが現状である。

障害予防を目的としたトレーニングにおいて、体幹・下肢の正確なアライメントでの動作獲得が必要であると近年多く報告されている<sup>6.12.13.32.56.57)</sup>。正確な下肢アライメントでの動作は、関節構成体に対するメカニカルストレスを抑制し、軟部組織に異常なストレスを誘発させないため、疼痛も軽減する。このように正確な下肢アライメントでの動作を客観的に評価し獲得することが、障害予防への第1歩であると考えられる。

## 2-2. 目的

Free squat (FS) と Wall squat (WS) を独自に作成したアライメント評価用紙を用いて判定し、それぞれ指示通りできるか否かを調べた。FS と WS の判定結果を分析し比較することで、WS が下肢アライメントの簡便な評価方法となりうるか否かを明らかにすることを目的とした。

## 2-3. 方法

### A. 対象者

健康な専門学校生 121 名（男性 88 名・女性 33 名）を対象とした。年齢は  $20 \pm 1.4$  歳（平均±標準偏差）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並びに左右差がなく、神経系に異常を認めない者とした。

### B. 測定方法

独自に作成したアライメント評価用紙（表 4）を用いて、FS（表 4(a)）と WS（表 4(b)）の双方を評価した。なお、本研究はアライメント評価用紙を用いて FS と WS の下肢アライメントを調査した、比較研究である。

検査者は、理学療法士ならびに、日本体育協会公認アスレティックトレーナーの免許を保有する者とした。

### C. 実験手順

対象者に対し日常実施している FS（指導前 FS）を実施させ、正常に実施できているか否かを、判定した。FS の判定は、第 1 章の FS 動作をアライメント評価用紙に当てはめ、正確な下肢アライメントでの FS を正しい FS（図 1）、異常な下肢アライメントでの FS を誤った FS（図 2）と判定した。指導前 FS が誤った FS と判断された対象者は、口頭指示にて十分な指導を受けたのち、再度、FS（指導後 FS）を実施した。この段階で、指導後 FS ができた者を正しい FS 群、できなかった者を誤った FS 群と群わけをした。次に、WS の説明と指導を十分に実施した後、WS を実施した。また、対象者には、「壁に接触している殿部ならびに左右の脚が壁から離れないこと」、「体幹は膝下と平行になるように前傾し、背中が壁から離れること」、「荷重は、足底中心を意識すること」の 3 点を説明した。WS の判定はアライメント評価用紙に当てはめ、WSN（図 3）と WSA（図 4）に判定した。

FS と WS とも、膝関節の角度は、なるべく  $90^\circ$  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。測定回数は、各スクワットとも 3 回続

けて実施し判定した。また各スクワットへの移行には、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。

#### D. 統計処理

指導前 FS を正しい FS と誤った FS とに判定し、誤った FS と判定された者を、指導後 FS にて正しい FS 群と誤った FS 群とに群わけした。各群についての WS における WSN と WSA の人数を、 $\chi$  二乗検定にて指導後 FS との関連について検討した。

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

表 4(a). アライメント評価用紙 (Free squat 評価)

### 壁スクワット施行前評価表

実施日: 年 月 日

年齢: \_\_\_\_\_ 性別: 男 ・ 女 \_\_\_\_\_

既往歴: 股関節 \_\_\_\_\_ 膝関節 \_\_\_\_\_ 足関節 \_\_\_\_\_  
 足部 \_\_\_\_\_ その他(体幹・頸部等) \_\_\_\_\_

実施前疼痛部位: \_\_\_\_\_  
 頸部(VAS \_\_\_\_\_) 腰部(VAS \_\_\_\_\_) 股関節部(VAS \_\_\_\_\_) 膝関節部(VAS \_\_\_\_\_)  
 足関節部(VAS \_\_\_\_\_) その他( \_\_\_\_\_ VAS \_\_\_\_\_) 無し \_\_\_\_\_

ROM:

股関節	正常	制限(右・左)
膝関節	正常	制限(右・左)
足関節	正常	制限(右・左)

leg heel angle: 右 \_\_\_\_\_ 左 \_\_\_\_\_

MMT:

股関節	正常	低下(右・左)
膝関節	正常	低下(右・左)
足関節	正常	低下(右・左)

感覚: 下肢 正常 鈍麻(右・左) \_\_\_\_\_

スクワット時状態:

骨盤	前傾	後傾	Normal
Knee	In(右・左)	Out(右・左)	Normal
Toe	In(右・左)	Out(右・左)	Normal
アーチ右	扁平	凹アーチ	Normal
アーチ左	扁平	凹アーチ	Normal

実施中疼痛部位: \_\_\_\_\_  
 頸部(VAS \_\_\_\_\_) 腰部(VAS \_\_\_\_\_) 股関節部(VAS \_\_\_\_\_) 膝関節部(VAS \_\_\_\_\_)  
 足関節部(VAS \_\_\_\_\_) その他( \_\_\_\_\_ VAS \_\_\_\_\_) 無し \_\_\_\_\_

足底圧部位:

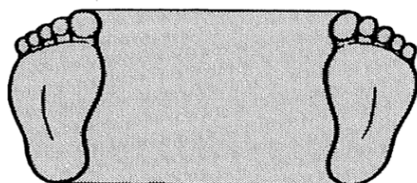




表 4(b). アライメント評価用紙 (Wall squat 評価)

### 壁スクワット施行後評価表

実施日: 年 月 日

壁スクワット施行時:

疼痛: 有・無

疼痛部位: 股関節 (VAS ) 膝関節 (VAS ) 足関節 (VAS )

足部 (VAS ) その他 ( VAS )

伸張部位:

大腿部 下腿部 足部

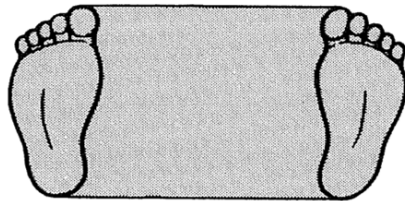
その他 無し

Knee:	右	In	大腿・下腿壁接地	Normal
	左	In	大腿・下腿壁接地	Normal

アーチ:	右	扁平	凹アーチ 高 中 低	Normal
	左	扁平	凹アーチ 高 中 低	Normal

足部:	右	踵移動(内側・外側)	足尖移動(内側・外側)	Normal
	左	踵移動(内側・外側)	足尖移動(内側・外側)	Normal

足底圧部位:



#### 2-4. 結果

121名中、指導前FSでは25名が正しいFSで、96名が誤ったFSと判定された。

指導前FSで誤ったFSの96名が、指導後FSにおいて84名が正しいFS(正しいFS群)で、12名が誤ったFS(誤ったFS群)と判定された。(表5)

指導後FSの正しいFS群では、WSで7名(8.3%)がWSNで、77名(91.7%)がWSAと判定され、指導後FSの正しいFS群と比較した結果、有意な差が認められた( $p < 0.05$ )。

指導後FSの誤ったFS群では、WSで12名(100%)がWSAと判定され、指導後FSの誤ったFS群と比較した結果、有意な差は認められなかった。

指導前FSで、正しいFSの25名はWSにおいてもWSNであった。

表 5. 指導後 Free squat の正しい Free squat 群（正しい FS 群）と  
誤った Free squat 群（誤った FS 群）における各群と  
Wall squat（WS）の比較

	正しいFS群 *	誤ったFS群
<b>指導後FS(人)</b>		
Normal	84	0
Abnormal	0	12
<b>WS(人. %)</b>		
Normal	7 (8.3)	0 (0)
Abnormal	77 (91.7)	12 (100)

n=96. (指導前 FS にて誤った FS と判定された人数) \* : p < 0.05

## 2-5. 考察

異常な下肢アライメントのスクワットフォームの原因として、石井ら<sup>58)</sup>は、骨盤の前方移動や後傾を指摘し、このため股関節の十分な屈曲を得ることができないと報告している。丸山ら<sup>59)</sup>は、身体重心が下方移動する際に骨盤回旋が生じると報告している。越野ら<sup>60)</sup>は、接地後早期から十分な足関節背屈角度を得ることができなければ、足関節の安定性が損なわれると報告している。これらが生じるスクワットフォームでは、**knee in** や **knee out** または扁平足による異常な下肢アライメントとなり偏位が生じる。荷重コントロールが乱れ、**knee in** などの異常な下肢アライメントは、関節構成体へ非生理的なメカニカルストレスを生じさせ疼痛が誘発される<sup>61,62)</sup>。高齢者においても、筋のアンバランスが関節の不安定性を招き関節へのメカニカルストレスを増加させ、変形性関節症が進行すると報告している<sup>63)</sup>。**WS** は、正確な下肢アライメントを保ちつつ行うスクワットである。これはスクワットフォームを正しく行えるかを判別する評価方法でもある。

**FS** で誤りと判定された対象に、指導した後、再評価し正しいと判定された84名に**WS**をさせた場合、77名が異常な下肢アライメントである**WSA**と判定された。この要因として、指導前**FS**で生じていた異常な下肢アライメントを、指導した後では、一見できたかのように自測では判断したが、真に理解させることはできなかったと考える。**WS**では、左右の壁に殿部と下肢外側を接触させる。膝関節と足関節の向ける方向に加え、股関節の位置も正確なアライメントであることが要求される。そのため、指導後**FS**で代償していたスクワットフォームが制御できなくなり、**WSA**の判定が多くなったと考える。また、指導後**FS**で誤りと判定された対象も、**WS**では全員**WSA**と判定されたことから、異常な下肢アライメントの**FS**は、**WSA**と判定される傾向であると考えられる。

このことから、従前通りの指導者の目測と、選手の主観的な感覚で判定する**Squatting test**や**drop vertical jump**などの方法では、異常な下肢アライメントや荷重コントロールを判定することが困難で、検査者による目測での判定では限界があると考えられる。

**WS**は、殿部から左右の足部までが壁に接触し、代償を抑制した状態での各関節の運動方向が皮膚感覚（触覚・圧覚）により感知でき、正確な下肢アライ

メントの肢位を体感し理解することが可能である。日常生活やスポーツ活動において、異常な下肢アライメントで活動している選手を簡易的に抽出する評価方法として WS が有効であると考ええる。

第 2 章では、異常な下肢アライメントの対象が WS において WSA と判定され、従来の評価方法よりも抽出される傾向であった。しかし、WSA と判定された下肢アライメントが、障害を誘発しやすい異常な下肢アライメントであることを立証するには、本研究において限界がある。第 3 章以降において、WSA と判定された対象の下肢アライメントが、障害を誘発しやすい異常な下肢アライメントであることを検討していく。

## 2-6. 要約

- ・指導前 FS で正しいと判定された対象は、WS においても WSN と判定される傾向であった。
- ・指導後 FS で正しい FS と判定された対象でも、WS においては WSA と判定される傾向であった。
- ・現在実施している Squatting test と比べ、WS の方が異常な下肢アライメントを抽出する傾向であった。

## 第 3 章

Wall squat と片脚ジャンプにおける

下肢アライメントの関係性について

- 三次元動作分析装置を用いた片脚着地動作の検証 -

### 3-1. はじめに

障害予防において重要なことは、体幹や頭頸部を制御しつつ身体のアライメントを正常に保ち、下肢の運動が左右同等であるとしている<sup>56)</sup>。また Heidtら<sup>64)</sup>は、トレーニング動作全体を通じて、正しいフォームと正しい運動方法の獲得が障害予防において重要なことを強調している。現在報告<sup>3~7)</sup>されている障害予防プログラムにスクワットは、トレーニングメニューとして必ず取り入れられている。スクワットは、各競技における競技特性やスポーツ活動に類似した動作が多く、トップアスリートからレクリエーションレベルまでのスポーツ選手に実施されている<sup>65)</sup>。また、日常生活でも類似した動作が多く<sup>66)</sup>、医療機関でも術後のリハビリテーションや高齢者のトレーニングとして実施されている。

スクワットフォームに関する報告<sup>12,29~35)</sup>が多く認められるなか、代償を抑制した正確な下肢アライメントを理解するスクワットに対する報告は、検索した範囲内ではみられない。効果的なトレーニングは、膝と足趾が一致した正確な下肢アライメントを保持しながら実施することである。しかし、正確な下肢アライメントで実施できているかを判定するには、動作解析装置などの測定器具を正しく使用しない限り困難である<sup>36,67)</sup>。第2章の研究結果より、下肢アライメントの判定基準は、選手や指導者の目測や感覚的などところに大きく依存して正しいスクワットをしていない選手が多いという傾向が認められた。日常生活から正確な下肢アライメントで生活をしている選手は問題がない。しかし、異常な下肢アライメントで日常生活をおくる選手は、より無意識下での身体動作を要求されるスポーツにおいて、異常な下肢アライメントが出現することは容易に想像がつく。

異常な下肢アライメントで活動している選手は、誤った **Free squat** (誤った **FS**) でトレーニングをしている可能性が高い。誤った **FS** の代償動作として、膝の外反 (**knee in**) や扁平足などの足部アーチの崩れによる異常な下肢アライメントが挙げられる<sup>58~60)</sup>。異常な下肢アライメントは、スポーツ活動における下肢障害を誘発する要因となり、また日常生活での下肢痛を引き起こす要因となる<sup>61,62)</sup>。異常な下肢アライメントの選手自身が、現状の下肢アライメントを理解していない状態で、トレーニングを実施している可能性が高い。そのため



トレーニングにおいて、動作解析装置などの器具を用いない、客観的な下肢アライメントの評価と簡便に理解できる方法を必要としている。

### 3-2. 目的

本研究は、第 2 章において対象者を、Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) に分類した。WSN と WSA それぞれの片脚ジャンプの着地動作を、三次元動作解析によって分析・比較することで、WSA が下肢の障害を発症しやすい異常な下肢アライメントであることを明らかにすることを目的とした。

### 3-3. 方法

#### A. 対象者

第 2 章にて健康な専門学校学生 121 名を対象に、Wall squat (WS) を判定し WSN と WSA とに分類した。その中からランダムに抽出した、WSN 8 名 16 脚(男性 3 名・女性 5 名)年齢  $22 \pm 1.7$  歳(平均±標準偏差)、BMI  $22 \pm 1.9 \text{kg/m}^2$  と、WSA 8 名 16 脚(男性 3 名・女性 5 名)年齢  $21 \pm 0$  歳、BMI  $20 \pm 1.8 \text{kg/m}^2$  を対象とした。条件として、測定時に、股関節・膝関節・足関節の可動域制限や、徒手筋力検査法により筋力低下並びに左右差がなく、神経系に異常を認めない者とした。

#### B. 測定方法

測定は、三次元動作分析装置 VICONMX (VICON 社製) 床反力計 (AMTI 社製) 1 枚、サンプリング周波数 100Hz の赤外線カメラ 8 台を用いて、片脚ジャンプの着地動作における下肢の関節角度を測定した。反射マーカは、Plug In Gait 下肢モデルに従い、対象者の両側の上前腸骨棘・上後腸骨棘・大腿外側中央部(股関節中心と膝関節軸で幾何学構成される面上の大腿外側中点)・膝関節外側裂隙・下腿外側中央部(膝関節中心と足関節軸の幾何学構成される面上の下腿外側中点)・足関節外果・第 2 中足骨頭・踵部中央(第 2 中足骨頭のマーカの高さと同様)の計 16 点に貼付した。(図 6) マーカの貼付場所を統一するため、同一者が対象者全員に貼付した。

なお、本研究は三次元動作分析装置 VICONMX を用いて、WSN と WSA の片脚ジャンプの着地動作における下肢の関節角度を調査した、比較研究である。

検査者は、理学療法士ならびに、日本体育協会公認アスレティックトレーナーの免許を保有する者とした。

#### C. 実験手順

対象者は、床面より高さ 20cm の台から片脚着地動作を実施した。(図 7) 20cm 台からのジャンプは、落下するのではなく、上方に片脚ジャンプするように指示し、着地はジャンプした同側の脚で、前方の床反力計 (50cm の正方形の区画) 上に片脚着地するように指示した。ジャンプ動作や片脚着地動作について

は、自由とした。着地後に対側の脚が着いた動作や体幹が大きく前屈および側屈した動作を失敗とした。測定は、十分に練習した 10 分後に疲労がないことを確認して、片脚ジャンプを 3 回続けて実施した。左右の片脚ジャンプを切り替える際には、1 分間の休憩をとり疲労がないことを確認して実施した。

計測した反射マーカの座標位置は、2 次の Butter worth filter 10Hz を用いてノイズを除去した。その後、VICON Plug In Gait Model を用いて、骨盤傾斜角度・股関節・膝関節・足関節の関節角度を計算した。片脚ジャンプの 3 回のうち、測定方法に合致した片脚着地動作を採用した。データの採用区間は、先行研究<sup>68,69)</sup>より障害が発生しやすい、足部接地後から 0.1 秒までとし、足部が床反力計に接地してから 0.01 秒間隔の 10 コマとした。また解析方向は、矢状面の X 軸方向（屈曲・伸展）と前額面の Y 軸方向（外転・内転）、そして水平面の Z 軸方向（外旋・内旋）の 3 方向を解析した。各対象者の骨盤傾斜角度・股関節・膝関節・足関節の関節角度を変化率で表し、接地から 0.1 秒までの軌跡を算出した。

#### D. 統計処理

統計学的解析として、繰り返しのある一元配置分散分析を用い、さらに多重比較検定として、Fisher's PLSD 法を用いた。

統計処理には、Stat View 5.0 を用い、有意水準は 5%とした。

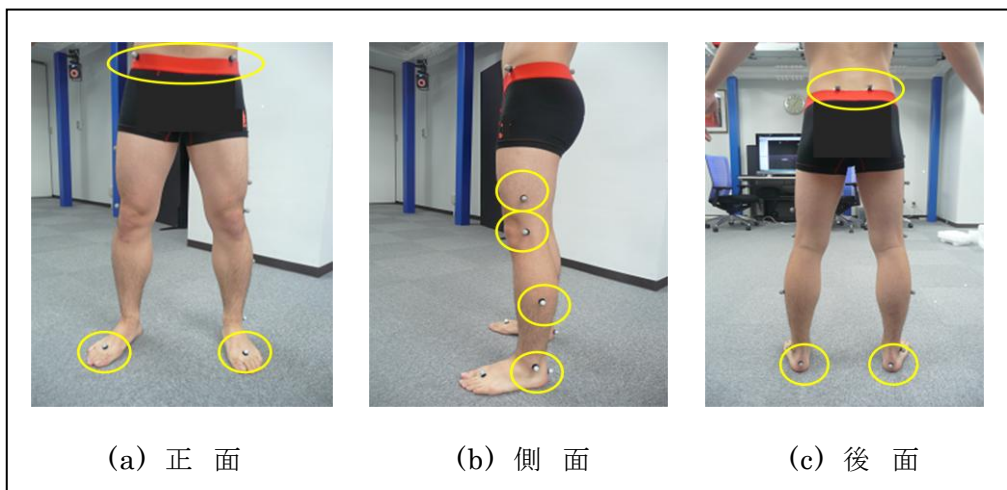


図 6. 反射マーカ位置 (Plug In Gait 下肢モデル)

(a) 正面：両側の上前腸骨棘・第 2 中足骨頭に貼付

(b) 側面：大腿外側中央部・膝関節外側裂隙・下腿外側中央部・足関節外果に貼付

(c) 後面：両側の上後腸骨棘・踵部中央に貼付

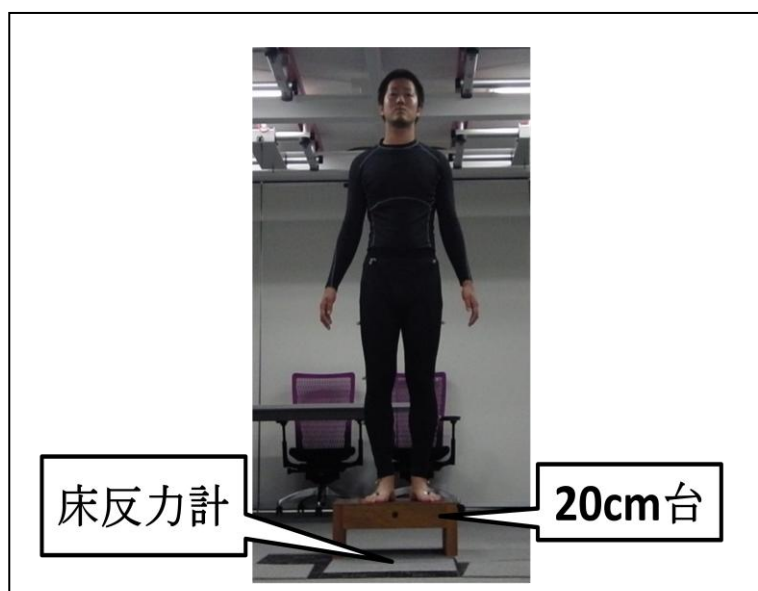


図 7. 片脚ジャンプの測定風景

- ・ 図は 20cm 台から説明を受けている状況。
- ・ 20cm 台の下に床反力計が設置されている。

### 3-4. 結果

#### A. 骨盤 (表 6)

- a. 矢状面：骨盤の前後傾角度において、一元配置分散分析で有意な差は認められなかった。(図 8(a))
- b. 前額面：骨盤の挙上・下制角度において、0.07~0.1 秒の間で WSN が、0.06~0.1 秒の間で WSA が有意に挙上角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 8(b))
- c. 水平面：骨盤の前方・後方回旋角度において、0.08~0.1 秒の間で WSN が有意に後方回旋角度の増加を示し、0.03~0.06 秒の間で WSA が有意に前方回旋角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 8(c))

#### B. 股関節 (表 7)

- a. 矢状面：股関節の屈曲・伸展角度において、0.02~0.1 秒の間で WSN が、0.04~0.1 秒の間で WSA が有意に屈曲角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 9(a))
- b. 前額面：股関節の内転・外転角度において、WSN では有意な差が認められなかったが、0.07~0.1 秒の間で WSA が有意に内転角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 9(b))
- c. 水平面：股関節の内旋・外旋角度において、一元配置分散分析で有意な差は認められなかった。(図 9(c))

#### C. 膝関節 (表 8)

- a. 矢状面：膝関節の屈曲・伸展角度において、0.02~0.1 秒の間で WSN が、0.04~0.1 秒の間で WSA が有意に屈曲角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 10(a))
- b. 前額面：膝関節の内反・外反角度において、一元配置分散分析で有意な差は認められなかった。(図 10(b))
- c. 水平面：膝関節の内旋・外旋角度において、0.04~0.1 秒の間で WSN が、0.06~0.1 秒の間で WSA が有意に内旋角度の増加を示した ( $p < 0.05$ )。 (図 10(c))

D. 足関節（表 9）

- a. 矢状面：足関節の背屈・底屈角度において、0.01～0.1 秒の間で WSN が、0.02～0.1 秒の間で WSA が有意に背屈角度の増加を示した（ $p < 0.05$ ）。（図 11(a)）
- b. 前額面：足関節の回内・回外角度において、一元配置分散分析で有意な差は認められなかった。（図 11(b)）
- c. 水平面：足関節の内転・外転角度において、一元配置分散分析で有意な差は認められなかった。（図 11(c)）

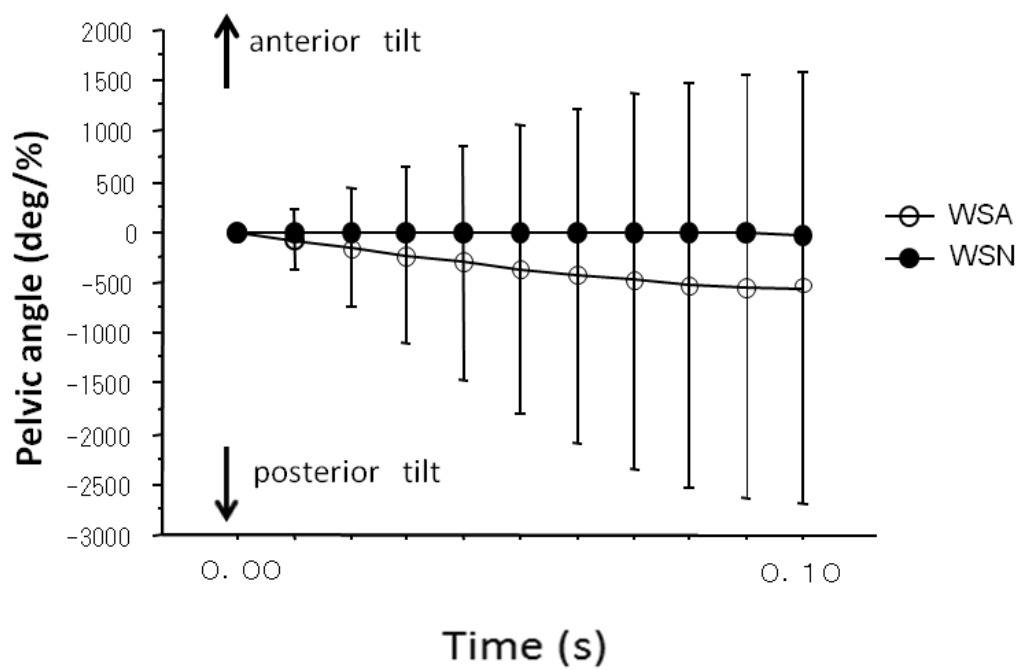


図 8(a). 骨盤の角度変化（前傾・後傾）



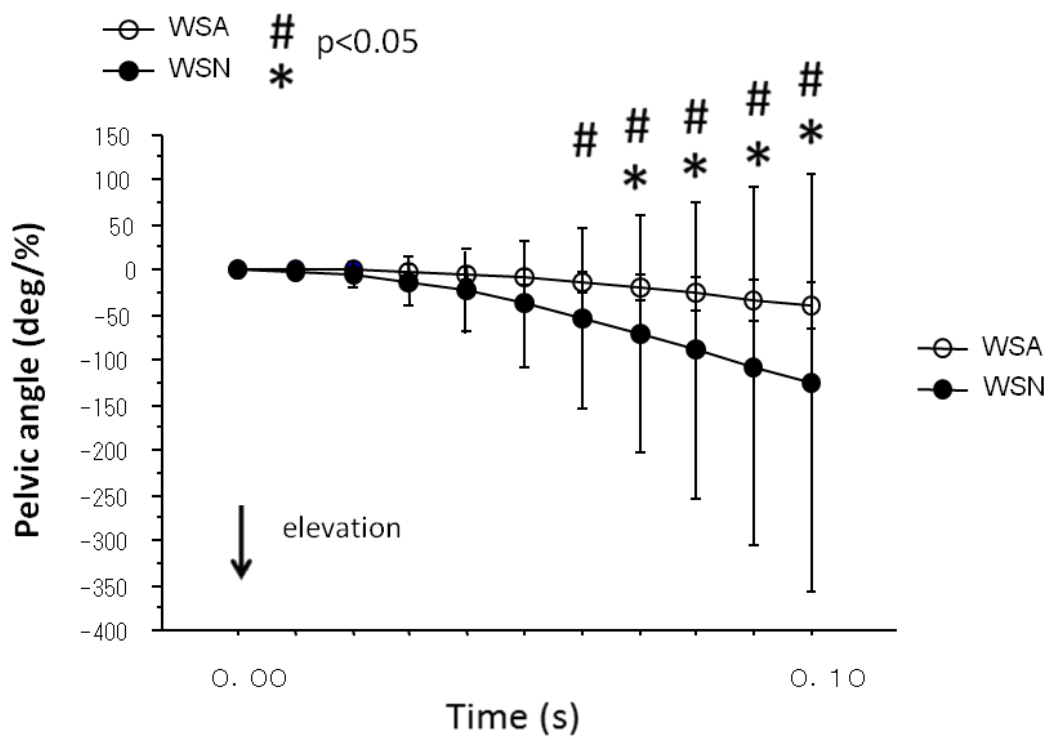


図 8(b). 骨盤の角度変化（挙上・下制）

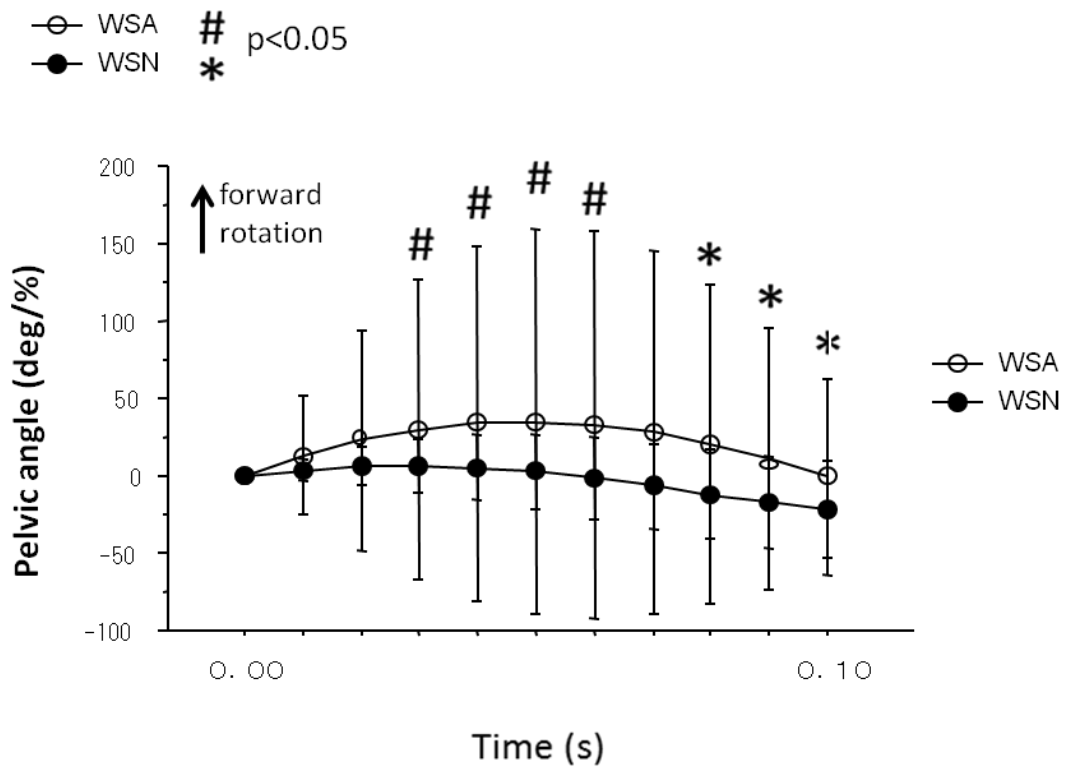


図 8(c). 骨盤の角度変化（前方回旋・後方回旋）

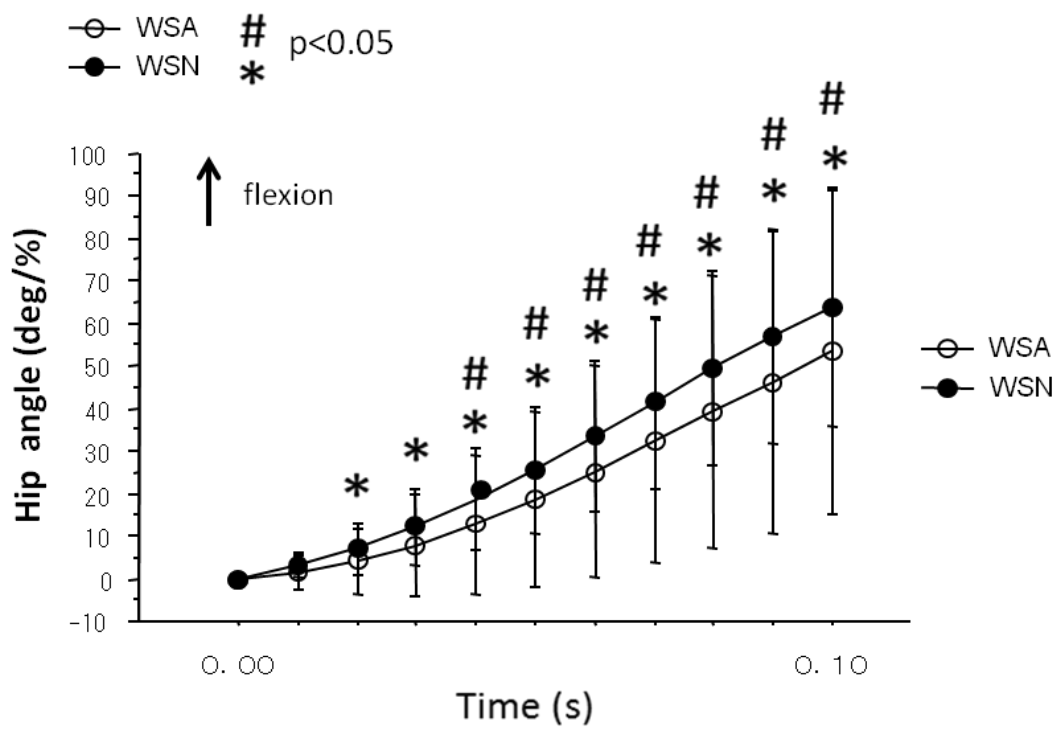


図 9(a). 股関節の角度変化（屈曲・伸展）

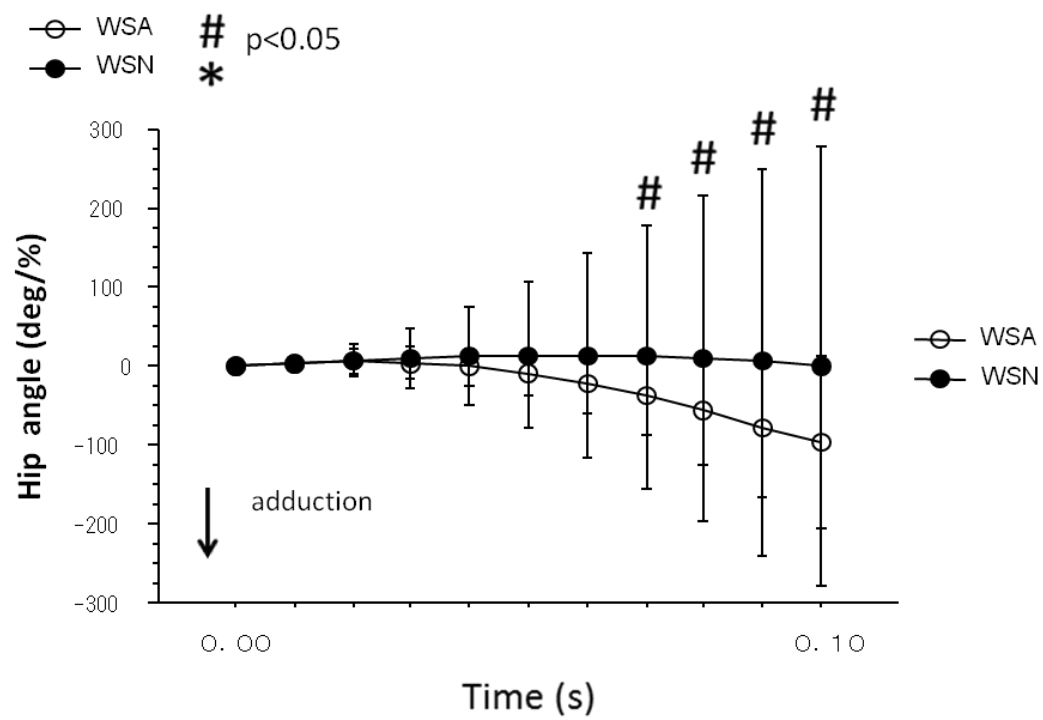


図 9(b). 股関節の角度変化（外転・内転）

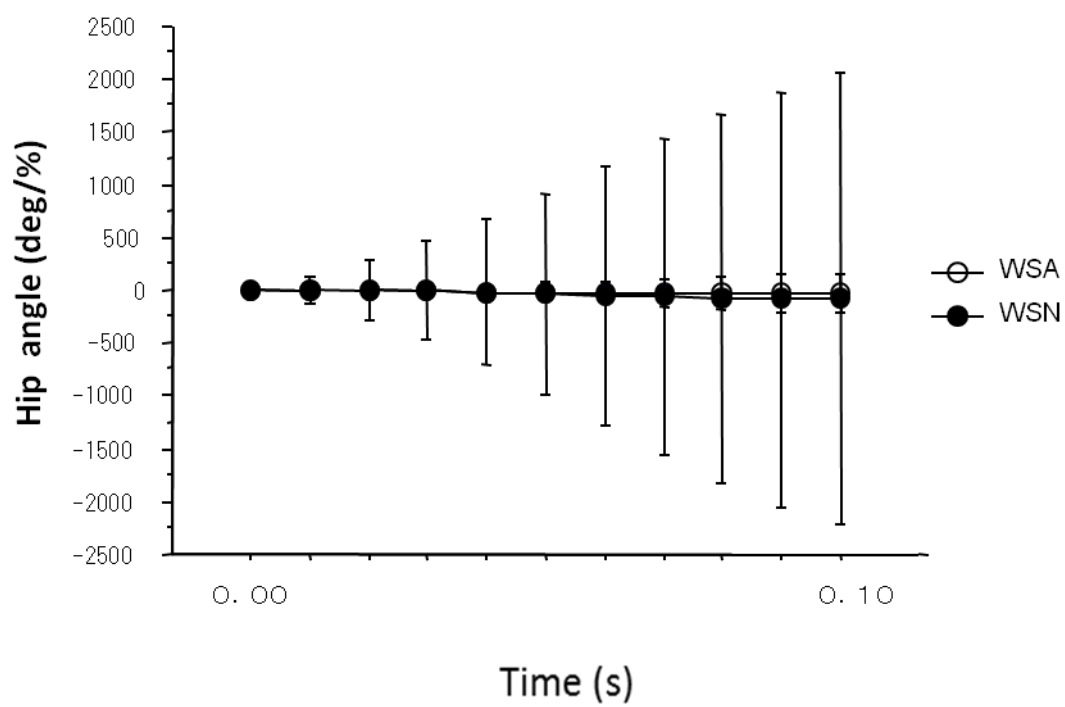


図 9(c). 股関節の角度変化 (外旋・内旋)

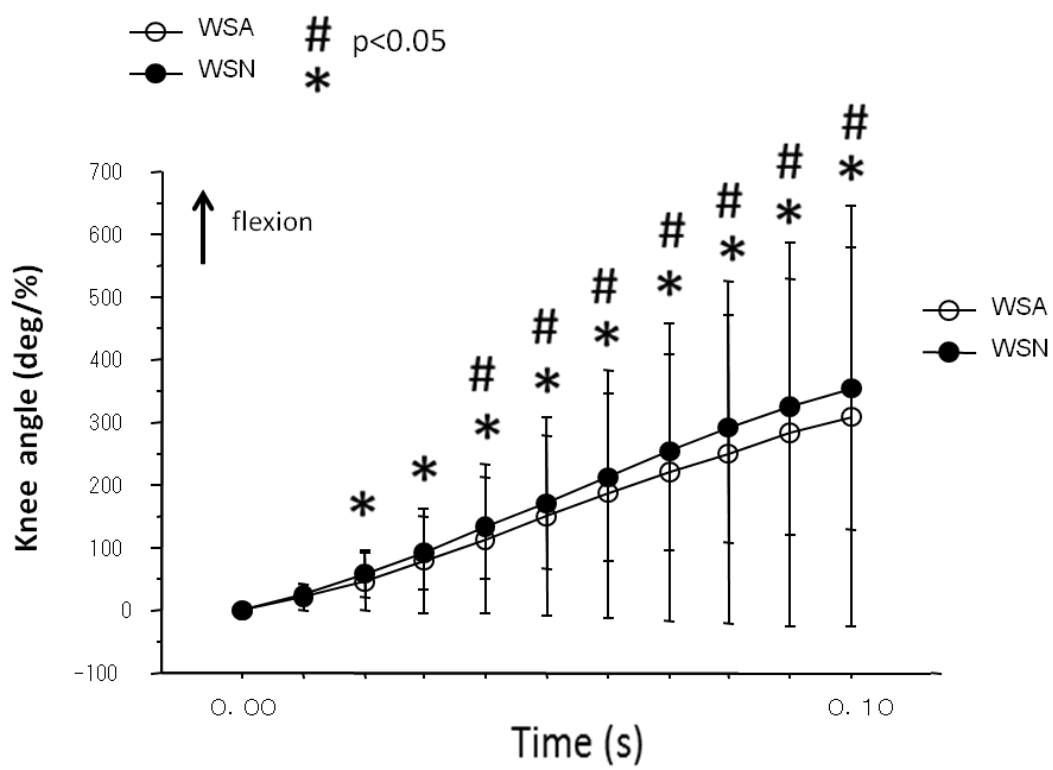


図 10(a). 膝関節の角度変化（屈曲・伸展）

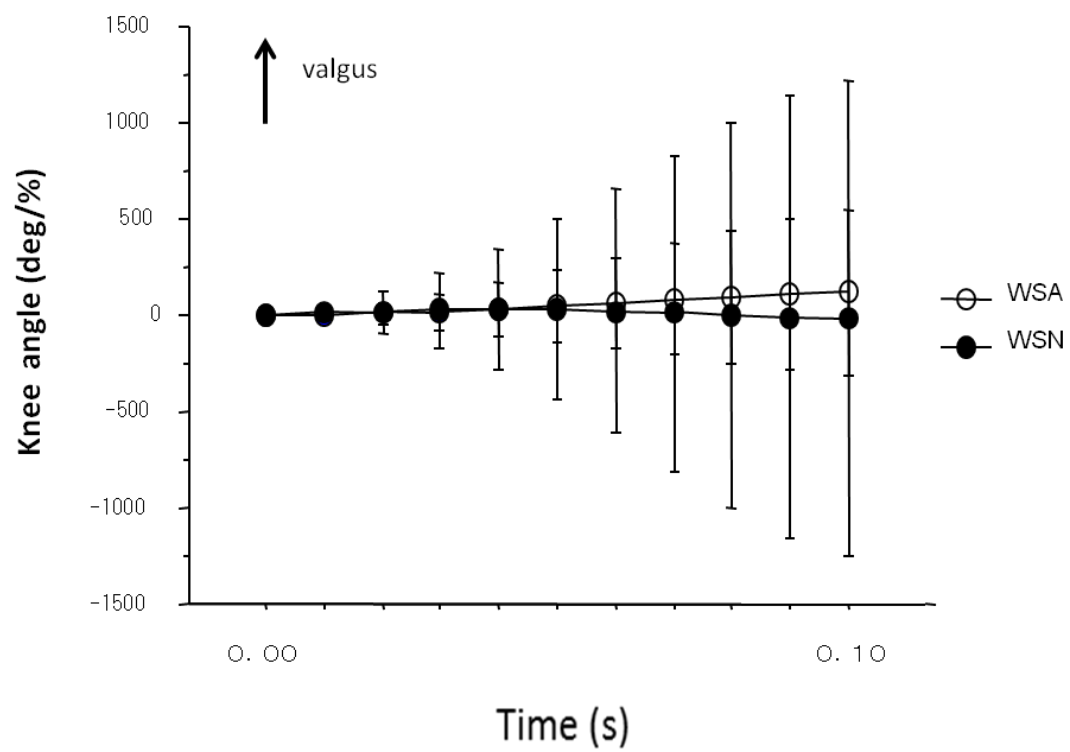


図 10(b). 膝関節の角度変化（外反・内反）

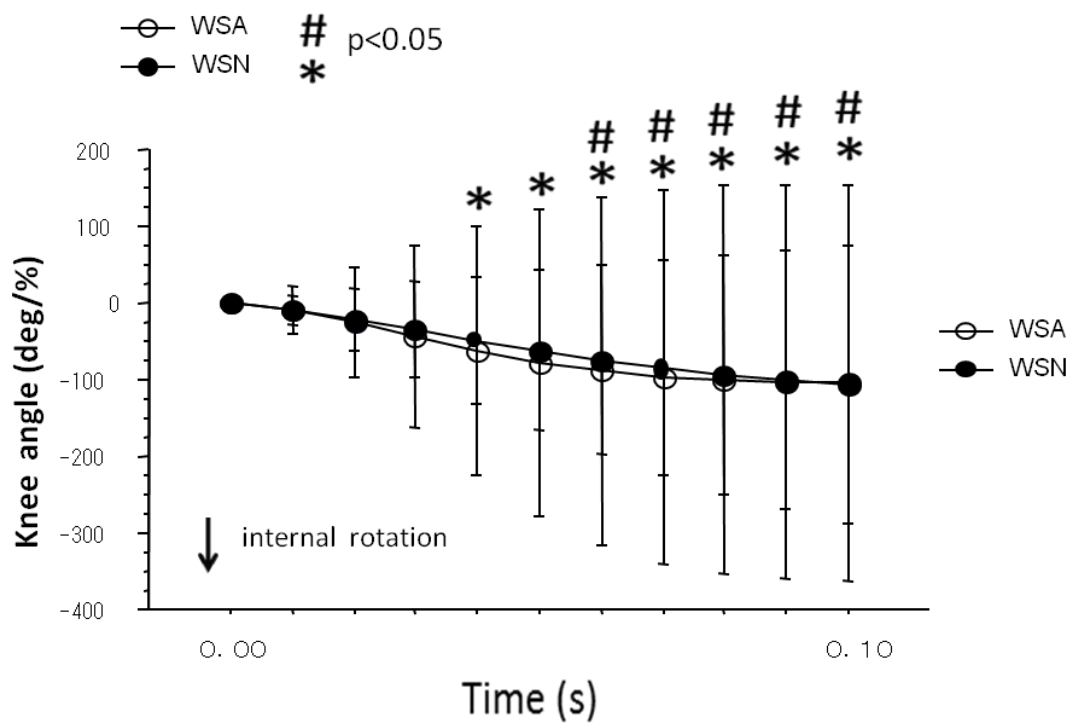


図 10(c). 膝関節の角度変化（外旋・内旋）



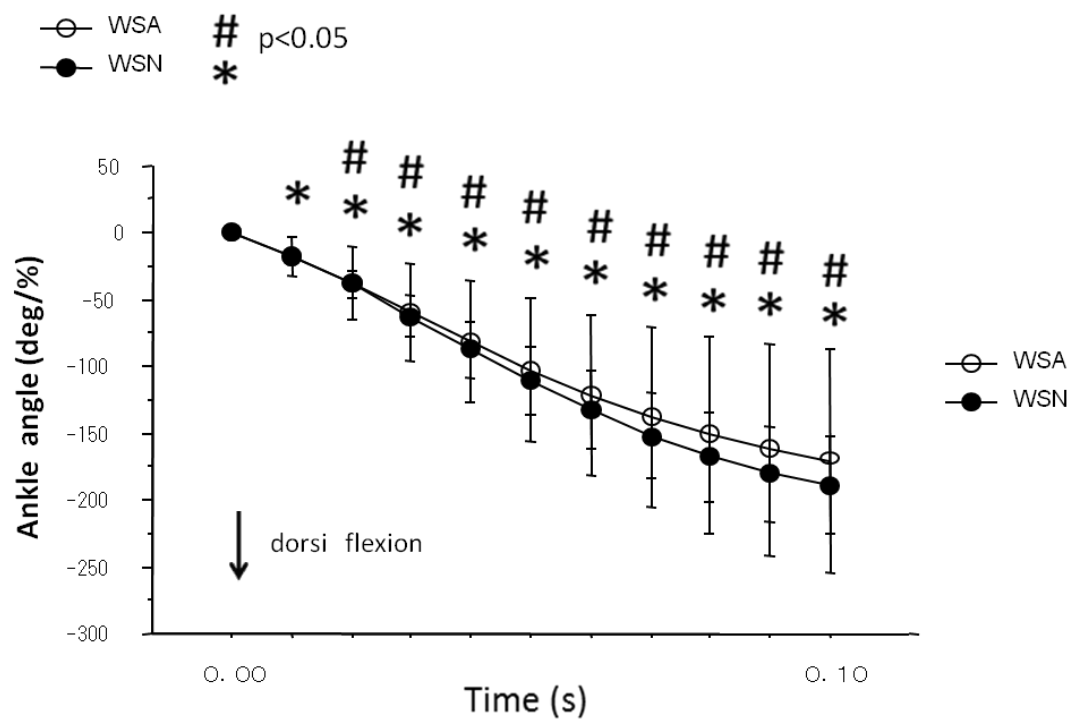


図 11(a). 足関節の角度変化（背屈・底屈）

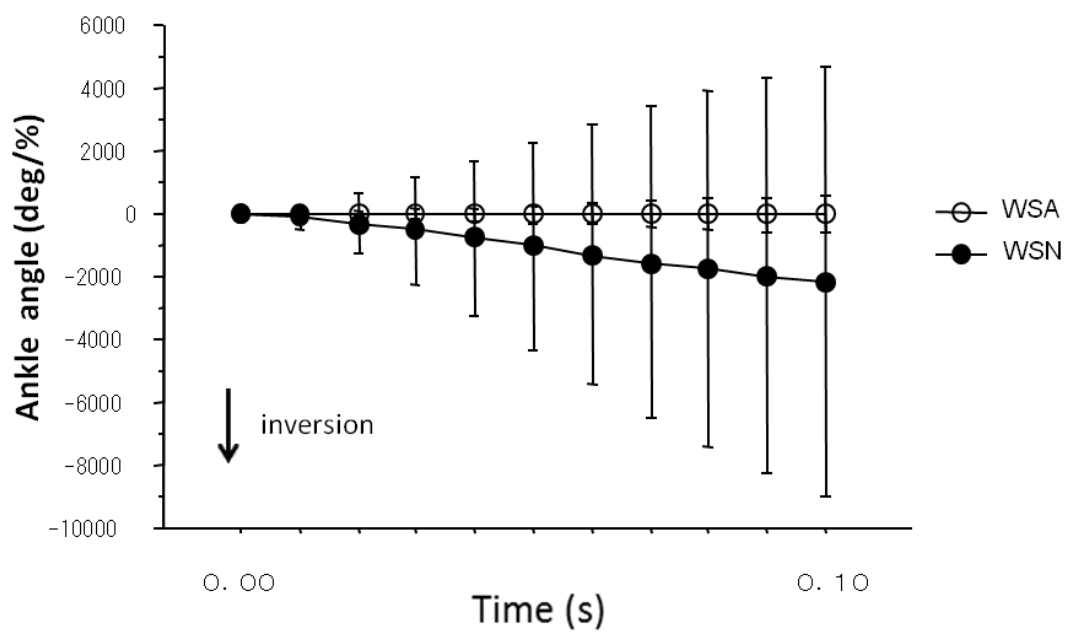


図 11(b). 足関節の角度変化（外反・内反）

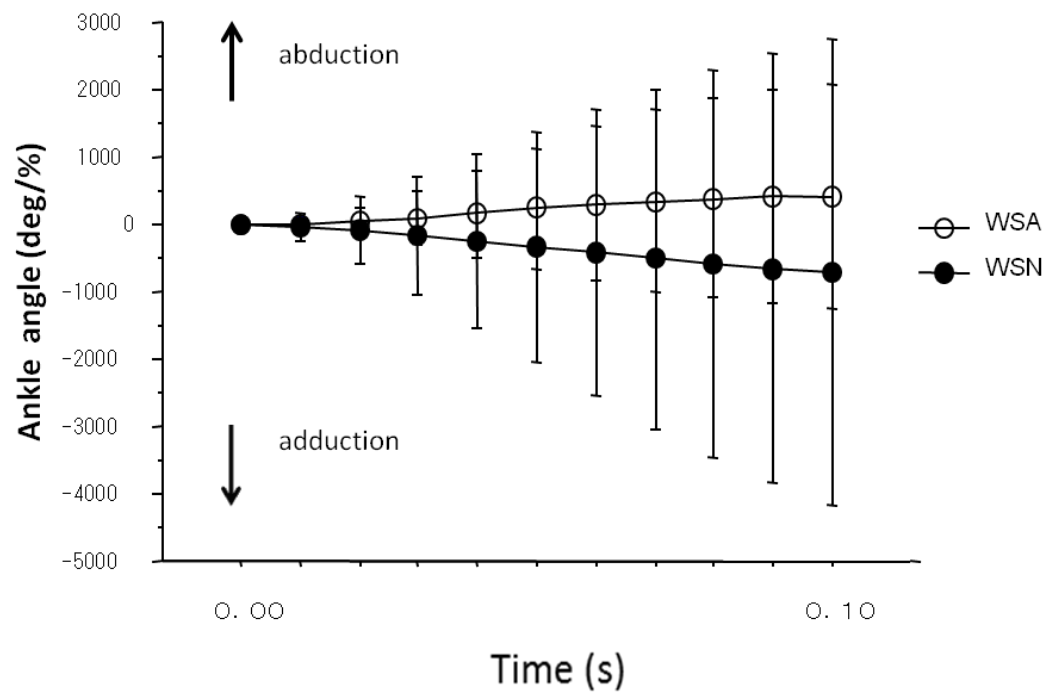


図 11(c). 足関節の角度変化（外転・内転）

表6. 骨盤の角度変化

	Time(sec)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Sagittal Plane	W SN(deg/%)	0.00	-2.43	-4.80	-6.99	-8.97	-10.73	-12.32	-13.87	-15.52	-17.33	-19.28
	W SA(deg/%)	0.00	-76.11	-157.64	-228.31	-301.67	-370.51	-431.78	-482.55	-520.68	-545.50	-558.28
Frontal Plane	W SN(deg/%)	0.00	-0.82	-4.88	-12.31	-23.04	-36.74	-52.87	-70.65*	-89.18*	-107.47*	-124.59*
	W SA(deg/%)	0.00	0.35	-0.09	-1.33	-3.63	-7.29	-12.43*	-18.82*	-25.88*	-32.87*	-39.40*
Transverse Plane	W SN(deg/%)	0.00	3.74	5.97	6.53	5.37	2.62	-1.46	-6.48	-11.93*	-17.30*	-22.12*
	W SA(deg/%)	0.00	12.54	22.66	29.80*	33.88*	34.92*	32.93*	27.98	20.51	10.64	-0.50

\* : multiple comparison tests (Fisher's PLDS)  $p < 0.05$  The significant differences were observed during 0.00 seconds after landing.

表7. 股関節の角度変化

	Time(sec)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Sagittal Plane	W SN(deg/%)	0.00	2.94	7.02*	12.23*	18.49*	25.63*	33.41*	41.49*	49.50*	57.02*	63.74*
	W SA(deg/%)	0.00	1.43	4.15	7.99	12.82*	18.64*	25.21*	32.17*	39.20*	46.35*	53.53*
Frontal Plane	W SN(deg/%)	0.00	3.80	7.40	10.48	12.70	13.78	13.51	11.87	8.99	5.11	0.53
	W SA(deg/%)	0.00	4.11	5.83	4.47	-0.51	-9.34	-22.22	-38.63*	-57.44*	-77.31*	-96.57*
Transverse Plane	W SN(deg/%)	0.00	-1.30	-3.68	-9.07	-18.99	-33.26	-49.65	-64.73	-75.58	-81.18	-82.23
	W SA(deg/%)	0.00	-4.66	-7.83	-11.67	-15.38	-17.68	-20.64	-24.38	-25.26	-24.89	-22.99

\* : multiple comparison tests (Fisher's PLDS)  $p < 0.05$  The significant differences were observed during 0.00 seconds after landing.

表8. 膝関節の角度変化

	Time(sec)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Sagittal Plane	W SN(deg/%)	0.00	25.54	56.97*	92.93*	131.87*	172.29*	212.85*	252.38*	289.81*	324.13*	354.49*
	W SA(deg/%)	0.00	20.17	47.62	79.28	114.06*	150.16*	185.45*	219.14*	251.13*	281.47*	310.18*
Frontal Plane	W SN(deg/%)	0.00	7.98	16.93	24.91	29.53	28.71	21.80	10.08	-3.35	-13.89	-15.97
	W SA(deg/%)	0.00	4.45	10.52	18.21	29.19	42.88	59.97	79.60	98.08	113.18	121.30
Transverse Plane	W SN(deg/%)	0.00	-10.00	-21.87	-34.96	-48.50*	-61.70*	-73.87*	-84.49*	-93.34*	-100.49*	-106.17*
	W SA(deg/%)	0.00	-9.89	-25.88	-44.17	-62.05	-77.31	-88.61*	-96.11*	-101.20*	-103.89*	-104.66*

\* : multiple comparison tests (Fisher's PLDS)  $p < 0.05$  The significant differences were observed during 0.00 seconds after landing.

表9. 足関節の角度変化

	Time(sec)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Sagittal Plane	W SN(deg/%)	0.00	-17.04*	-38.29*	-62.22*	-87.04*	-111.05*	-132.95*	-151.88*	-167.49*	-179.84*	-189.28*
	W SA(deg/%)	0.00	-17.34	-38.28*	-59.49*	-81.50*	-102.25*	-120.81*	-137.28*	-150.96*	-161.86*	-169.95*
Frontal Plane	W SN(deg/%)	0.00	-123.31	-302.48	-526.60	-778.31	-1041.15	-1300.69	-1544.82	-1766.13	-1962.64	-2136.62
	W SA(deg/%)	0.00	-2.17	-5.68	-7.83	-8.95	-8.76	-9.05	-10.36	-13.23	-16.03	-16.76
Transverse Plane	W SN(deg/%)	0.00	-33.55	-86.16	-156.10	-238.62	-328.42	-419.72	-506.61	-584.81	-652.50	-709.95
	W SA(deg/%)	0.00	12.93	45.37	97.94	164.37	235.83	301.04	353.21	390.06	415.06	433.45

\* : multiple comparison tests (Fisher's PLDS)  $p < 0.05$  The significant differences were observed during 0.00 seconds after landing.

### 3-5. 考察

スポーツ活動において、下肢障害を誘発する可能性が高い動作は、片脚着地動作やカッティング動作に多く見られる<sup>70,71)</sup>。片脚着地動作やカッティング動作時の下肢障害を誘発するリスクファクターの1つとして、異常な下肢アライメントが挙げられる。異常な下肢アライメントは、大腿骨頭から足関節中央を結んだ線が、膝関節中央から逸脱した状態を示し、活動中の足底荷重部位によっては、扁平足や後方重心を助長し下肢障害を誘発する可能性が高くなる<sup>72)</sup>。これらの研究に関して、受傷時の画像解析や片脚着地の膝関節における三次元動作解析の報告<sup>36,67)</sup>が多く存在し、障害予防プログラムに反映している。障害予防プログラムでは、下肢の関節を深く屈曲し、膝と足趾が一致した柔らかい着地をすることと、身体重心が後方重心にならないように注意することが統一されている<sup>12,22~27)</sup>。しかし、障害予防プログラムにおける下肢アライメントを、客観的に確認し獲得する方法はみられない。

本研究では、WSのWSNとWSAとでACLが損傷する足部接地から0.1秒までの片脚着地動作を三次元動作解析にて、下肢の各関節角度の軌跡を分析し比較した。

片脚着地動作での矢状面において、WSNは、股関節・膝関節とも接地後0.02秒から有意に屈曲角度が増大している。一方、WSAでは、股関節・膝関節とも正常と比べ0.02秒遅い、0.04秒から有意に屈曲角度が増大している。これは、Kogaら<sup>69)</sup>の報告している、ACL損傷の受傷時期と一致している。また、WSNよりもWSAの方が、片脚着地動作において股関節・膝関節とも屈曲角度が浅く、足関節の背屈角度も浅かった。骨盤も、後傾位の傾向が示唆されたことより、身体重心が後方傾向にあると考えられる。これは、障害予防プログラム<sup>25~27)</sup>に活用されている、下肢の各関節を深く曲げ柔らかく着地する動作が、行えていない状況であると考ええる。またBoden<sup>73)</sup>の報告している、下肢障害の発生要因とも類似している。

前額面・水平面に関して、WSAの骨盤回旋では、0.03~0.06秒間で前方回旋が生じる。WSAは、骨盤の前屈方向への誘導が損なわれることで、柔らかい着地が困難となり、膝関節や足関節に対する衝撃が大きくなると考える<sup>74)</sup>。そのため、骨盤を前方回旋することによって、各関節における衝撃を吸収してい

ると考える。WSAの股関節内転は、0.07秒から有意に増加している。これは、骨盤が股関節内転よりも早期に前方回旋することによって、身体の後方重心を助長すると考える。身体の後方重心移動を予防するために、股関節を内転方向へ可動していると考えられる。

膝関節の前額面において、WSAでは外反傾向が示唆された。これは、股関節が内転することによって膝関節の内側方向への誘導が高まり、外反する現象が引き出されたと考えられる。また、足関節の内転や回内外が認められなかったことから、骨盤と股関節の関節運動が正確な下肢アライメントに影響し、膝関節の外反傾向によるknee inを出現させていると考えられる。膝関節の水平面において、WSAは0.06秒から内旋が有意に増加している。Kanamoriら<sup>75)</sup>は、ACLにかかる張力は膝の外反を伴う脛骨内旋で増大すると報告している。また、膝関節屈曲角度は30度以下で膝関節に外反力や脛骨に回旋力が加わりACLが損傷すると報告されている。本研究では、膝関節に対する水平軸のため、脛骨が内旋しているかを判定することができない。しかしWSAにおいて、股関節内転と膝関節内旋が高まることによって、脛骨の回旋力が増大すると考える。Naganoら<sup>76)</sup>によると、片脚着地での膝関節においては、外反が認められず、脛骨回旋の割合が大きいと報告している。これは、本研究における膝関節の関節軌跡と類似している。

障害予防において、小笠原ら<sup>77)</sup>は、フィードフォワードに対応する身体保持能力が必要と報告している。本研究の片脚着地動作は、事前にジャンプすることを伝え予測することができる。そのため、身体を十分に整えてから着地することが可能である。しかし、WSAと判定された対象は、障害を誘発しやすい危険な着地をしていた。片脚着地動作やカッティング動作時の下肢障害を発症する原因は、筋力・可動域・感覚系など多くの器官が関与しているなか<sup>78)</sup>、本研究のWSAは、下肢障害を発症しやすい異常な下肢アライメントと考える。

本研究では、WSAが異常な下肢アライメントである可能性を示したが、WSにおける荷重コントロールについて立証するには限界がある。第4章以降において、WSの荷重コントロールについて検討していく。

### 3-6. 要約

- WSにおいて、WSAと判定された者は、下肢障害を誘発しやすい異常な下肢アライメントの可能性が高い。
- WSAの片脚ジャンプにおける矢状面は、下肢の各関節を深く曲げて、柔らかく着地する動作が行えていない。
- WSAの片脚ジャンプにおける前額面では、knee in傾向が示唆された。



## 第 4 章

Wall squat における下肢アライメントの違いが  
荷重に及ぼす影響についての検討

#### 4-1. はじめに

障害予防プログラムのスクワットフォームは、膝と足趾が一致し、股関節を屈曲しながら体幹を前傾することである<sup>12.31~33</sup>。また、スクワット時の荷重コントロールは、後方重心に注意しながら足底全体で全体重を支えることである<sup>31.34.35</sup>。

障害予防プログラムの下肢アライメントにおける注意事項には、2人1組やトレーナーによって正確か否かを判定するように指示している<sup>7.34</sup>。一方、荷重コントロールの評価には、選手の主観的な感覚やトレーナーとの口答で判定しているのが現状である。このことから、選手個人で実施している障害予防プログラムでは、注意事項を正確に判定することが困難と推測できる。トレーニングで、下肢アライメントと荷重コントロールを、1人で評価し理解できることが、障害予防において重要な要素と考える。スクワットの荷重に関する先行研究は、足底圧中心の軌跡や足底圧中心の違いによる筋活動の報告<sup>52.79.80</sup>があるなか、日常実施しているスクワットトレーニングでの荷重コントロールを、正しく実施する方法は、検索した範囲内ではみられない。

簡易的に正確な下肢アライメントと荷重コントロールを評価し、理解する方法として、Wall squat (WS) がある。WSは、直交する壁に殿部・左右の下肢外側・第5中足骨頭を壁に接触させ、足底荷重中心が足の長軸上の中央になるよう意識させる。第2章と第3章にて、Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) とに分類し、WSAが障害を発症しやすい異常な下肢アライメントのスクワットフォームであることを立証したが、荷重コントロールについては検証していない。

#### 4-2. 目的

本研究は、対象者の WS を WSN と WSA とに分類し、WSN と WSA それぞれの荷重コントロールと Free squat (FS) の荷重コントロールを比較・分析する。その結果、WSA の荷重コントロールが WSN よりも変位していることを明らかにすることで、WSN の荷重が一定した荷重コントロールであることを、目的とする。また、WS は殿部と両下肢が壁に接触したスクワットのため、FS と WS の荷重の影響についても調査した。

### 4-3. 方法

#### A. 対象者

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±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。

#### B. 測定方法

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±5%）した。（図 12(a)）対象者の中足骨部（前足部）と踵部（後足部）に合わせて、 $5.0 \times 5.0$ cm の荷重センサーを左右の靴の前足部と後足部に固定し、FS と WS の前足部と後足部の荷重量（kg）を測定した。（図 13）なお、本研究は靴型下肢加重計ゲートコーダを用いて FS と WS の荷重量を調査した、比較研究である。

検査者は、理学療法士ならびに日本体育協会公認アスレティックトレーナーの免許を有する者とした。

#### C. 実験手順

対象者は、靴型下肢加重計ゲートコーダを装着して FS と WS を実施した。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 12(b)）FS の荷重に関しては、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指導した。手順は、眞瀬垣らの報告<sup>81)</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 回分の荷重を記録した。また、両上肢の位置は、胸の前で組むように統一した。WS での WSN と WSA の判定は、第 1 章で述べた WS の基準に則り、指示通り WS を実施できた者を WSN、実施できなかった者を WSA と判定した。また、対象者には、「壁に接触している殿部ならびに左右の脚が壁から離れないこと」、「体幹は膝下と平行になるように前傾し、背中が壁から離れること」、「荷

重は、足底中心を意識すること」の3点を説明した。

FSとWSとも、膝関節の角度は、なるべく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14)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サイクルにおける荷重の変位を調査するため、前足部と後足部の荷重が、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荷重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、個人差を考慮して荷重を変化率(kg%)で表した。

#### D. 統計処理

FSとWSにおける荷重の検討は、対象者54名のFSとWSの最大値を比較し検討した。

FSとWSの変位値の比較については、対象者54名をWSNとWSAとに判定し、WSN 30名 60脚とWSA 24名 48脚とに分類した。WSNにおいては、WSNの対象60脚を前足部と後足部それぞれFSとWSの変位値で比較し検討した。また、WSAの対象48脚も同様に検討した。

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。

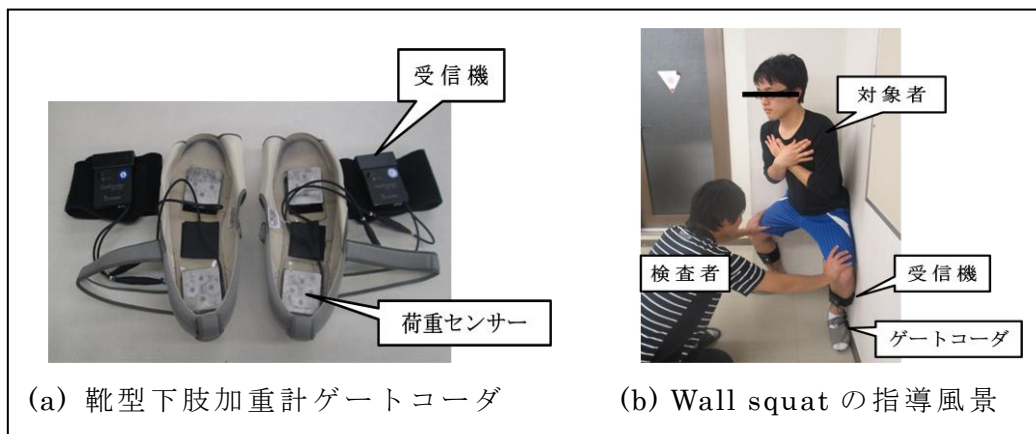


図 12. 測定器具ならびに Wall squat の指導風景

(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。

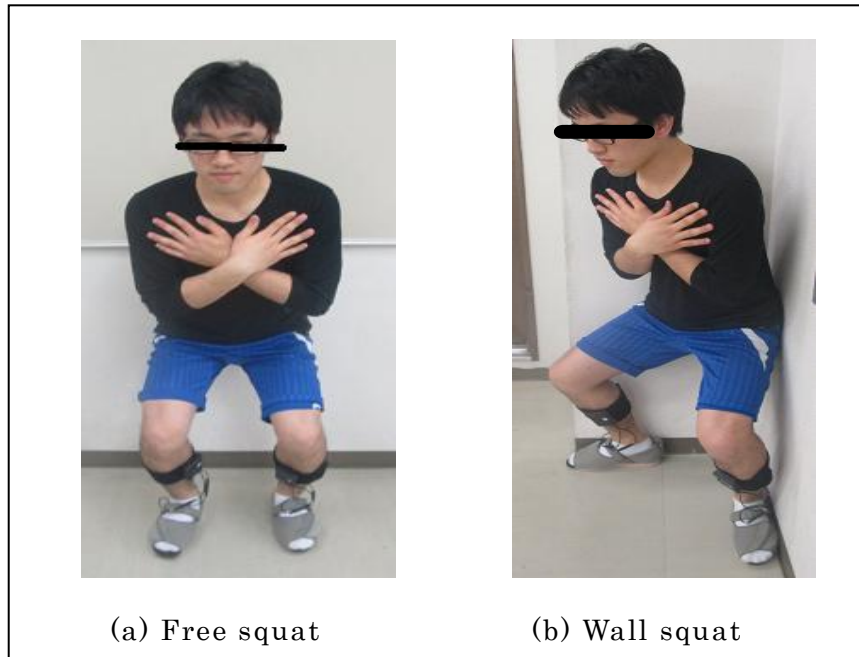


図 13. 靴型下肢加重計ゲートコーダを装着した Free squat と Wall squat

(a) Free squat(FS) : 膝と足趾の方向を一致し、骨盤を前傾したスクワット

荷重コントロールは、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指導した。

(b) Wall squat(WS) : 図の対象は、下肢が壁から離壁し膝外反が認められる

ため WSA の対象である。

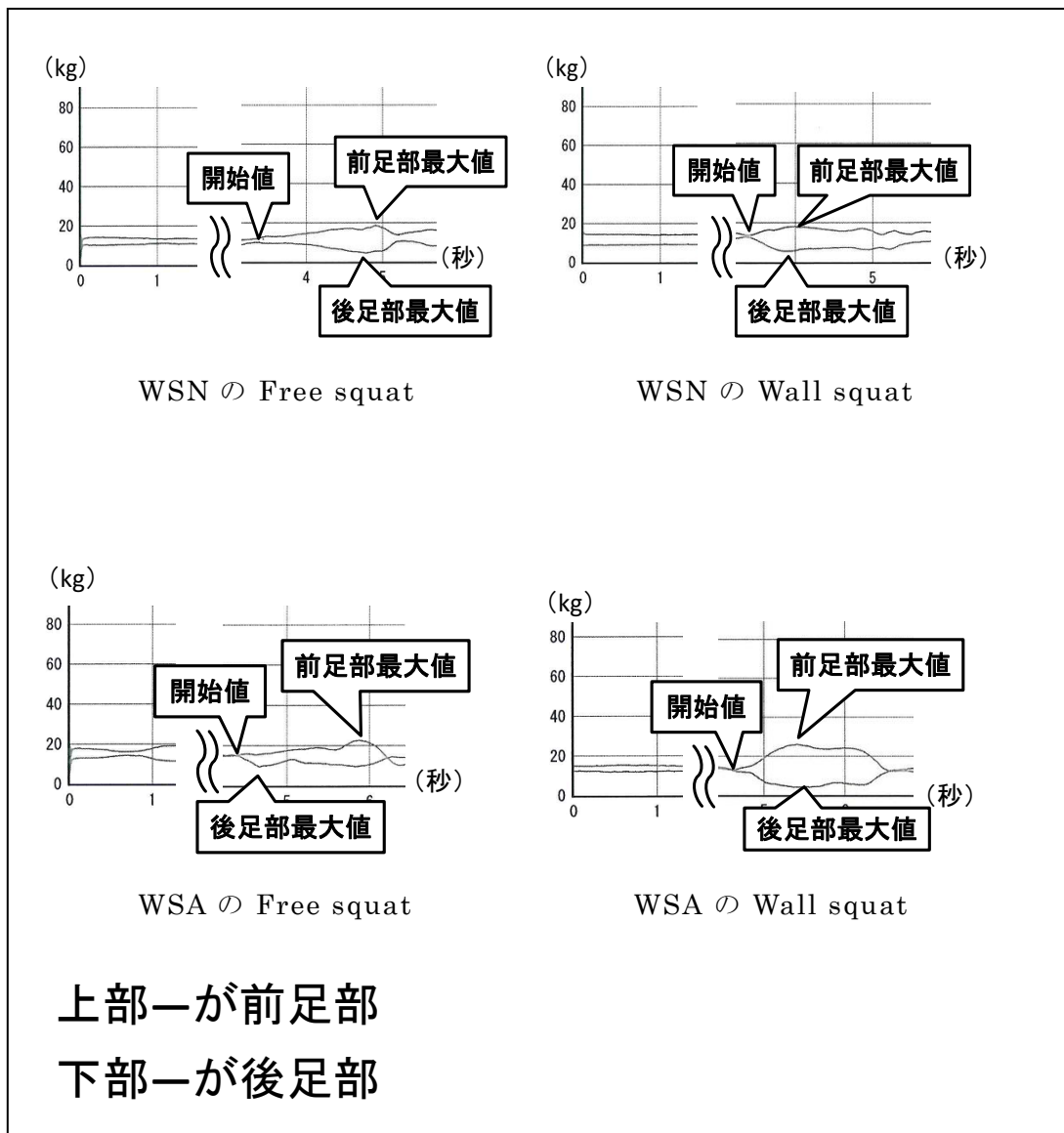


図 14. 靴型下肢加重計ゲートコードにおける Free squat と Wall squat の採用データの抽出

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。

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



#### 4-4. 結果

##### A. FS と WS における荷重の検討 (図 15)

FS の最大値は  $99.78 \pm 12.97 \text{ kg/\%}$  (平均値  $\pm$  標準偏差) ( $66.38 \sim 123.70 \text{ kg/\%}$ ) で、WS の最大値は  $98.65 \pm 7.90 \text{ kg/\%}$  ( $78.58 \sim 115.48 \text{ kg/\%}$ ) 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. FS と WS における変位値の検討 (図 16)

###### a. WSN の検討

前足部：FS の変位値は  $10.10 \pm 8.65 \text{ kg/\%}$  ( $0.35 \sim 42.37 \text{ kg/\%}$ ) で、WS の変位値は  $11.91 \pm 6.03 \text{ kg/\%}$  ( $0.39 \sim 29.18 \text{ kg/\%}$ ) 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。

後足部：FS の変位値は  $10.28 \pm 6.33 \text{ kg/\%}$  ( $0.37 \sim 26.88 \text{ kg/\%}$ ) で、WS の変位値は  $9.80 \pm 4.13 \text{ kg/\%}$  ( $1.32 \sim 18.14 \text{ kg/\%}$ ) 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. WSA の検討

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

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

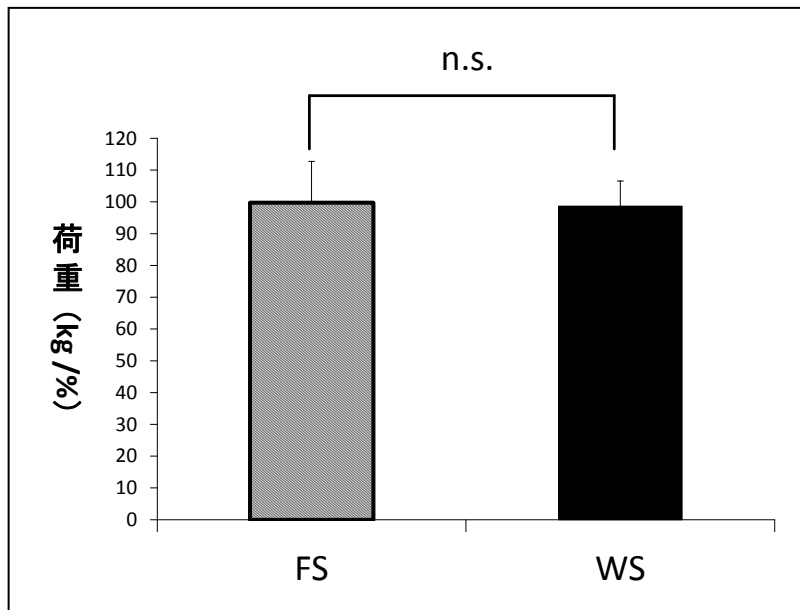


図 15. Free squat (FS)と Wall squat (WS)における荷重の比較

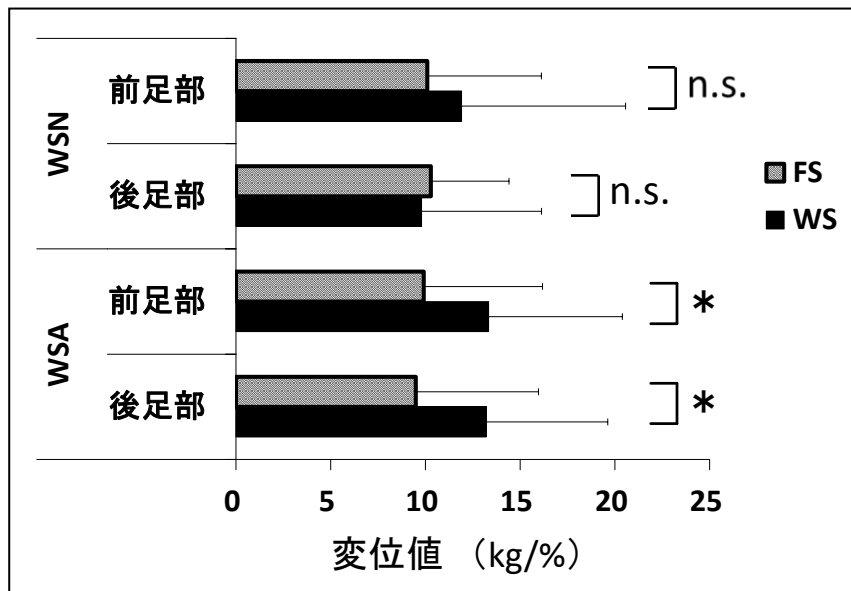


図 16. Free squat (FS)と Wall squat (WS)における変位値の比較 (\* : p<0.05)

#### 4-5. 考察

##### A. FS と WS における荷重の検討

WS は、殿部から左右の下肢外側を壁に接触したスクワットのため、FS よりも摩擦により荷重が減少する可能性があると考えた。しかし、本研究において、FS と WS の荷重に差は生じなかった。この結果より、WS における荷重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>82)</sup>は、スクワット動作時に骨盤から上半身を膝の直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。また、池添ら<sup>52)</sup>は足圧中心位置を後方位にするため、足関節背屈角度を少なく骨盤を後方に位置し体幹を垂直にしている。WS のフォームは、図 3(a).(b)のように骨盤を前傾し背部が壁から離れる。そのため、WS 中の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ることが可能となる。

##### B. FS と WS における変位値の検討

WS は、直交した壁を使用するため、FS よりも明確に正確な下肢アライメントの関節運動と荷重コントロールを意識することができる。しかし、本研究の FS と WS の荷重コントロールの比較では、WSA で荷重が変位する傾向を示した。第 2 章において WSA の FS では、下肢の各関節や荷重コントロールで異常な下肢アライメントを代償していると考えられている。しかし、WS においては、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、荷重コントロール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>83)</sup>や足部回内運動<sup>84)</sup>、後足部機能不全<sup>85)</sup>などが影響し、knee in や足部移動が引き起こされ、荷重が変位したと考える。結果、WSA では一定した足底接地場所での荷重コントロールが困難となり、FS よりも大きな変位が生じたと考えられる。

WSN においては、荷重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。そのため、WSN 対象の FS も正確な下肢アライメン

トと荷重コントロールがおこなえていたと考える。結果、WSNとFSでは、一定した足底接地場所での荷重コントロールとなり、荷重の変位に差が生じなかったと考える。

### C. まとめ

現状において、下肢アライメントと荷重コントロールを同時に判定し理解する方法は、検索した範囲内ではみられない。トレーニングにおいては、下肢アライメントと荷重コントロールのどちらか一方だけではなく、双方が正確に実施できることが重要と考える。荷重コントロールの重要性は、眞瀬垣ら<sup>81)</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。田上<sup>30)</sup>によるとスクワット動作中の前後の重心動揺は少なく、バランスが維持され関節位置の協調運動が決定されると報告している。柏木ら<sup>86)</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>87)</sup>は、スクワットの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。このように荷重コントロールの重要性は先行研究からも明白である。スポーツ活動や日常生活の中で、下肢アライメントのみに着目するのではなく、荷重コントロールも同時に着目し、双方を評価し理解することが障害予防において重要であると考えられる。

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荷重コントロールを簡便に評価し理解することができるスクワットと考える。そのため、WSは臨床での障害予防において有効な方法の1つになり得る可能性がある。

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。今後は、WSNとWSAにおける荷重がどのように変位しているのかを詳細にすることによって、WSにおける下肢アライメントと荷重の関係性を明らかにしたい。

#### 4-6. 要約

- WSN は、正確な下肢アライメントで足底接地場所が一定した荷重コントロールの可能性が高い。
- WSA は、下肢アライメントおよび足底接地場所が一定せず、荷重コントロールが難しい傾向であった。
- WS の荷重は、FS と同様の荷重量であった。

## 第 5 章

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 -

### 5-1. 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、下半身トレーニングの強化として多く取り入れられ<sup>65)</sup>、身体症状や強化の目的に応じ、負荷量や強度の異なったスクワットを選択している。しかし、スクワットフォームは多くの場合、正しく指導されることなく実施されていると推察される。そのため、トレーニングとして実施されている各種スクワットが、正確に実施できているか不明である<sup>11,48,88,89)</sup>。本研究では第1章同様、正確な下肢アライメントの Free squat (FS) を正しい FS (図1)、異常な下肢アライメントの FS を誤った FS (図2) と定義した。

誤った FS においては、三次元動作解析による膝の外反や股関節の内転などスクワット動作における異常な運動軌跡について報告されている<sup>36,67)</sup>。スクワットを誤った FS で実施している場合、下肢アライメントは、関節構成体にメカニカルストレスを与え、障害や疼痛を誘発する可能性が高い<sup>38,40)</sup>。また浦辺らによると、高負荷の CKC が下肢の関節コントロールを不十分にし、アライメント不良が明確に現われると報告している<sup>90)</sup>。誤った FS の選手は、日常でのトレーニングで実施している各種スクワットでも、異常な下肢アライメントになる可能性が高く、早期に発見し改善する意義は、下肢障害を予防するうえで大きいと考える。誤った FS を実施している選手が、日常での各種スクワットトレーニングを正しく実施できているか否かの報告は、検索した範囲内ではみられない。

これまでの章にて、直交した壁による Wall squat (WS) の Wall squat normal (WSN) が、正確な下肢アライメントで荷重コントロールしたスクワットフォームであることを立証した。しかし、壁の角度が 90° 以外に設定した股関節外転角度の異なった WS の下肢アライメントについては検証していない。

## 5-2. 目的

本研究では、Wall squat abnormal (WSA) の対象者は、股関節外転角度が異なる WS においても WSA になると仮定した。WS の交わった壁の角度を  $90^{\circ}$ ・ $70^{\circ}$ ・ $50^{\circ}$  に設定し、股関節外転角度が異なった WS を判定した。各角度で判定された WS を検証することにより、 $90^{\circ}$  WS での WSA が股関節外転角度の異なる WS にも、同様の判定となるか否かを明らかにすることを目的とした。



### 5-3. 方法

#### A. 対象者

健康な専門学校生 100 名（男性 50 名・女性 50 名）を対象とした。年齢  $21.7 \pm 3.7$  歳（平均±標準偏差）、身長  $166 \pm 9.8\text{cm}$ 、体重  $59.1 \pm 11.9\text{kg}$ 、BMI  $21.2 \pm 2.8\text{kg/m}^2$ 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。

#### B. 測定方法

測定する壁は、渡會が考案した美スタンド（クリティター社製：図 17(a)）の両脇に、1cm の厚手の板を接着させて歪まないように作製した。壁の高さは 85cm とし、各角度の WS の測定をする際に同一の高さとした。測定中の壁の固定は、壁後方の両側に介助者を配置した。また、壁の角度設定はゴニオメーターを用いて設定し、測定中も角度変化が生じないよう常時、介助者が確認できる位置に設置した。介助者には、WS による代償運動を十分に説明し、代償運動が生じないよう確実に壁を固定した。（図 17(b)）

対象者には、WS の説明と指導を実施した後、 $90^\circ$ ・ $70^\circ$ ・ $50^\circ$  に角度設定した美スタンドを用いて WS ( $90^\circ$  WS・ $70^\circ$  WS・ $50^\circ$  WS) を測定した。なお、本研究は股関節外転角度が異なる WS の各フォームを調査した、比較研究である。

検査者は、理学療法士ならびに日本体育協会公認アスレティックトレーナーの免許を有する者とした。

#### C. 実験手順

$90^\circ$  WS の説明と指導を実施した後、 $70^\circ$  WS と  $50^\circ$  WS の際には、左右の殿部がなるべく壁の奥に接するようにし、 $90^\circ$  WS と同様のスクワットをするように指導した。また、「壁に接触している殿部ならびに左右の脚が壁から離れないこと」、「体幹は膝下と平行になるように前傾し、背中が壁から離れること」、「荷重は、足底中心を意識すること」の 3 点を説明した。その際の膝関節の角度は、なるべく  $90^\circ$  まで屈曲するように指導した。測定中 WS の判定基準であ

る体幹前傾や膝関節の屈曲角度が不十分な WS と、膝前面が足趾より前にでた WS を失敗とし、再指導した。そのため、本研究の 90°・70°・50° に角度設定した WSN と WSA の判定は対象者の正面に位置し、下肢の動きを目視で判定した。判定は、第 1 章で述べた WS の基準に則り、指示通り WS を実施できた者を WSN (図 18)、実施できなかった者を WSA (図 19) と判定した。本研究では、90° WS の WSN 者を WSN 群、WSA 者を WSA 群とした。測定回数は、十分な練習後 10 分後に各 WS を 3 回続けて実施し、90°・70°・50° の順に判定した。また、各 WS への移行には 1 分間の休息を取り、疲労がないことを確認した後に測定した。

#### D. 統計処理

90° WS を 90° WSN 群と 90° WSA 群とに群わけして、各群についての 70° WS と 50° WS における WSN と WSA の人数を、 $\chi^2$  二乗検定にてそれぞれの角度の関連について検討した。

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

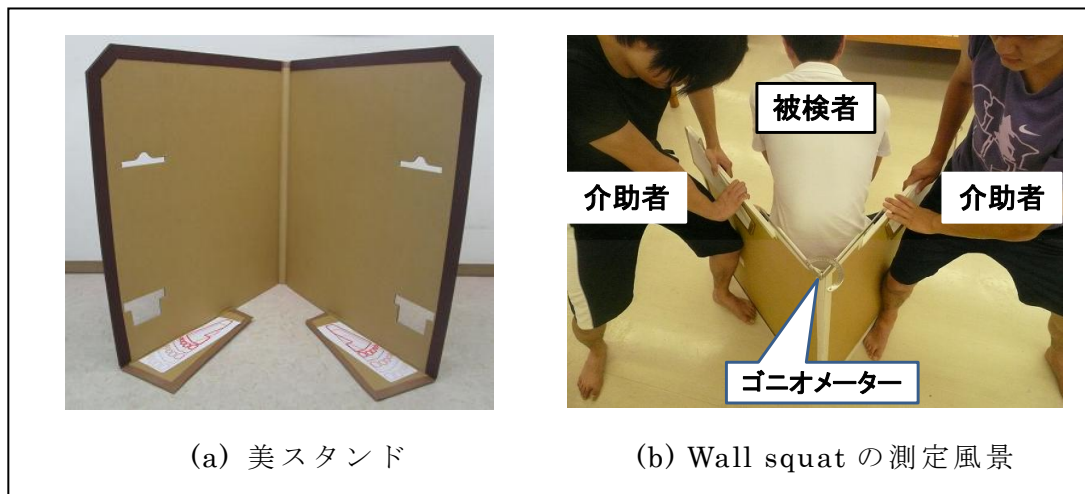


図 17. 測定方法

(a) 渡會が考案した、スクワット補助具 美スタンド

(b) 美スタンドの上にゴニオメーターを設置し、介助者 2 名にて壁を固定

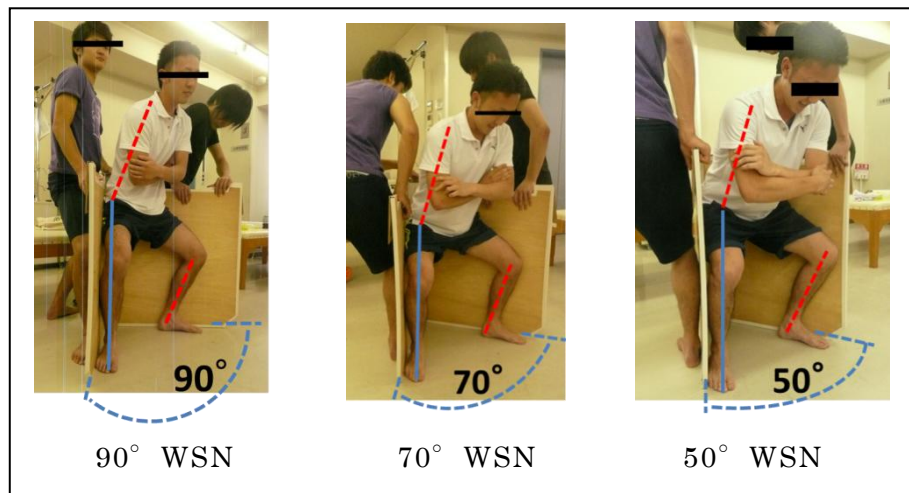


図 18. 90°・70°・50° に角度設定した Wall squat normal (WSN)

- ・すべての角度において殿部・大腿・下腿・第5中足骨頭（踵は壁に接触しない）は壁に接触し、膝と足趾が一直線上の正確な下肢アライメントとなる。
- ・体幹は下腿と平行になるように、股関節を屈曲しながら前傾する。
- ・荷重は足部長軸上の中央を意識する。

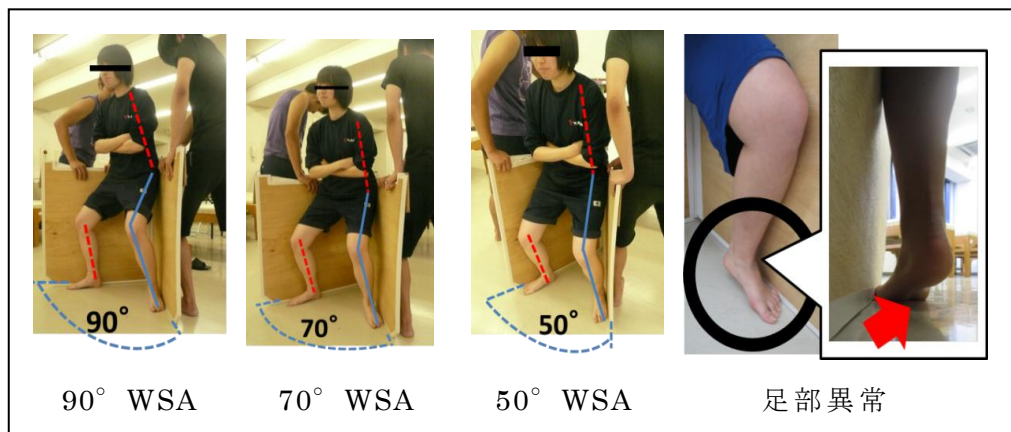


図 19. 90°・70°・50° に角度設定した Wall squat abnormal (WSA)

- ・すべての角度において、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）。
- ・足部異常：踵部の離床または内側方向への移動が認められる。
- ・下肢の離壁または足部異常が認められた場合を WSA とした。

#### 5-4. 結果 (表 10)

90° WS においては 40 名が WSN (90° WSN 群) で、60 名が WSA (90° WSA 群) と判定された。

90° WSN 群では、70° WS で 39 名が WSN で 1 名が WSA と判定され、90° WSN 群と比較した結果、有意な差は認められなかった。50° WS では 39 名が WSN で 1 名が WSA と判定され、90° WSN 群と比較した結果、有意な差は認められなかった。また、70° WS と 50° WS で WSA と判定された 1 名は同一者であった。(図 20)

90° WSA 群では、70° WS で 57 名が WSA で 3 名が WSN と判定され、90° WSA 群と比較した結果、有意な差は認められなかった。50° WS では 57 名が WSA で 3 名が WSN と判定され、90° WSA 群と比較した結果、有意な差は認められなかった。また、70° WS と 50° WS で、WSN と判定された 3 名は同一者であった。(図 21)

表 10. 90° Wall squat normal 群 (90° WSN 群) と 90° Wall squat abnormal 群 (90° WSA 群) における各群の 70° Wall squat (WS) と 50° WS の比較

	90° WSN群		90° WSA群	
90° WS(人)				
Normal	40		0	
Abnormal	0		60	
70° WS(人. %)				
Normal	39	(97.5)	3	(5.0)
Abnormal	1	(2.5)	57	(95.0)
50° WS(人. %)				
Normal	39	(97.5)	3	(5.0)
Abnormal	1	(2.5)	57	(95.0)

n=100.

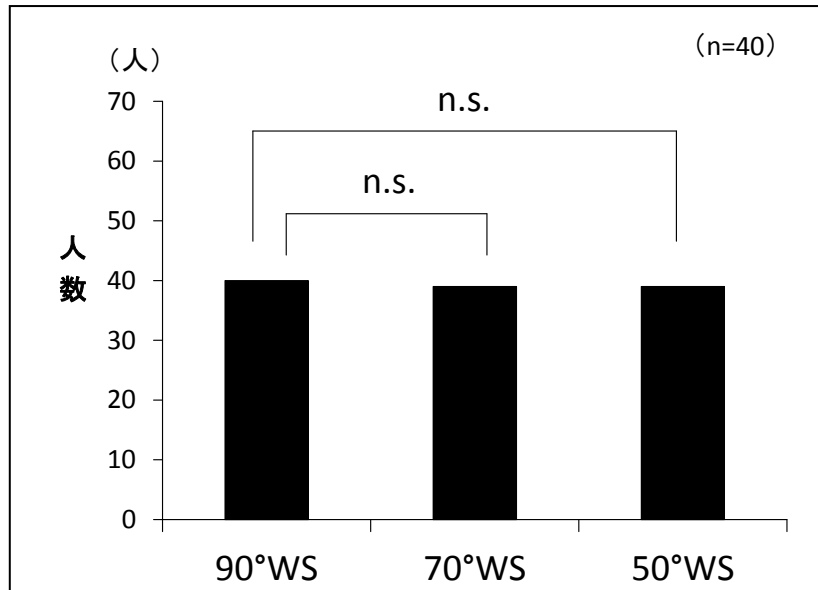


図 20. 90° Wall squat normal 群 (90° WSN 群) における 70° Wall squat (WS) と 50° WS の比較

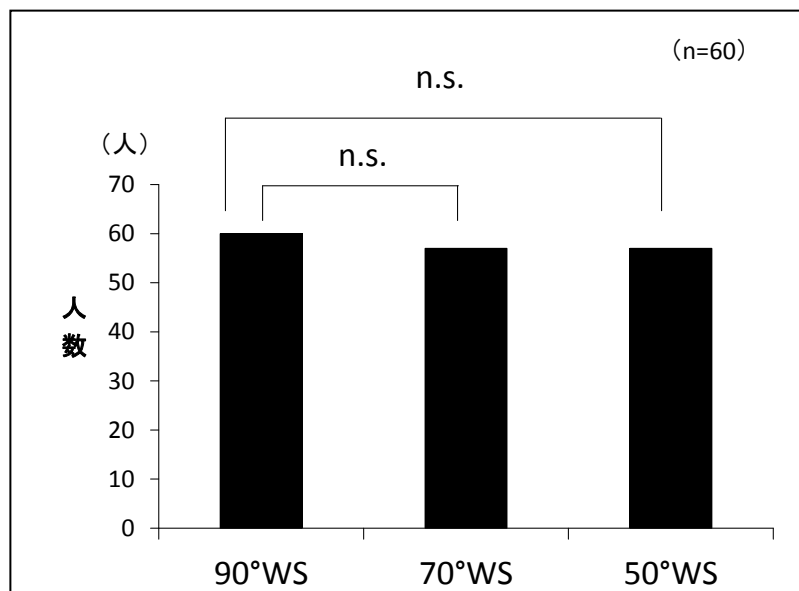


図 21. 90° Wall squat abnormal 群 (90° WSA 群) における 70° Wall squat (WS) と 50° WS の比較

## 5-5. 考察

本研究で明らかになったことは、90° WS で WSA と判定された対象は、股関節外転角度が狭くなった WS においても、WSA と判定される傾向であった。すなわち、90° WS と 70° WS の判定結果について有意な差は認められなかった。また、90° WS と 50° WS の判定結果についても、有意な差は認められなかった。WSN でも、同様の結果であった。3つの異なった角度に設定した WS は、異なった股関節外転角度のスクワットフォームとなる。WS の角度が狭くなれば、股関節周囲筋群や関節可動域の影響が減少し、90° WS で WSA と判定された対象が 70°・50° WS において、WSN になりうると考えた。しかし判定された結果は、股関節周囲筋群や関節可動域の影響を受けずに、同様のスクワットフォームになることが判明した。つまり、WSA の対象は、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になる可能性があると考ええる。

スクワットフォームにおける異常な下肢アライメントは、スポーツ活動や日常生活での習慣化した動作がアライメントに大きな影響を与えると考える。中畑らによると、ACL の再受傷機転は初回の受傷機転と異なり、方向転換による再断裂が多く認められ、スポーツ復帰前に安全な動作の獲得と指導が重要であると報告している<sup>91)</sup>。WSA の習慣化した動作もまた方向転換などの下肢アライメントに影響し、再受傷への要因の1つになると考える。選手などは、スポーツ復帰前のトレーニングとして、目的に応じた各種スクワットを実施している。しかし、誤った FS で実施している選手は、スポーツ活動や日常生活での動作そのものが習慣化され、その習慣化された動作が CKC のトレーニングにも影響してくると考える。

本研究において、90° WSA 群は比較的容易に実施できる WS においても、異常な下肢アライメントのスクワットフォームになることが立証された。そのため、WS において正確な下肢アライメントのスクワットフォームを安全に獲得することは、スポーツ活動や日常生活での障害予防に繋がると考え、スクワットフォームの指導方法として、WS が有効であると考ええる。

本研究の検査者は、複数の理学療法士ならびにアスレティックトレーナーで WS の判定を行ったが、検査者内での判定結果については比較検討を行ってい



ない。そのため、判定結果の妥当性を担保するためにも、検査者内での比較検討を今後の課題としたい。

#### 5-6. 要約

- ・ 90° WS で、WSN と判定された者は、股関節外転角度が異なる WS においても、WSN と判定される傾向であった。
- ・ 90° WS で、WSA と判定された者は、股関節外転角度が異なる WS においても、WSA と判定される傾向であった。
- ・ 異常な下肢アライメントの者は、各種スクワットにおいても、異常な下肢アライメントでのスクワットフォームになる可能性が高い。

## 第 6 章

Wall squat normal と Wall squat abnormal の

性差と既往歴における差異の検討

## 6-1. はじめに

下肢アライメントの評価は、**Squatting test** などが取り入れられ<sup>53.54.55)</sup>、内田ら<sup>53)</sup>は、膝蓋軟骨軟化症や半月板損傷の者にスクワットをさせると、膝の前方や後方に疼痛が誘発されると報告している。**Yamazaki** ら<sup>92)</sup>は、ハーフスクワットにおける下肢のキネマティクスの問題を報告している。下肢アライメント評価の **Squatting test** などで、出現した異常な下肢アライメントは、下肢障害に影響する可能性が高い報告<sup>36.37.61.62)</sup>もあるなか、下肢アライメント評価におけるコンセンサスが得られていない報告<sup>9.49.50)</sup>も認められる。

第2～4章までの研究にて、**Wall squat (WS)** における下肢アライメントについて立証した。**Wall squat normal (WSN)** は、大腿骨頭と膝関節中央そして足関節中央を結んだ線が一直線となった正確な下肢アライメントで、障害や疼痛を誘発しにくいスクワットフォームと考える<sup>39.40)</sup>。しかし、**Wall squat abnormal (WSA)** は、大腿骨頭と足関節中央を結んだ線が膝関節中央を通らない異常な下肢アライメントであるため、障害や疼痛を誘発しやすいスクワットフォームと考える<sup>38.40)</sup>。第5章においても、**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になることを立証し、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と考える。先行研究においても、異常な下肢アライメントにおける姿勢や動作にて障害を誘発する報告<sup>71.73.93)</sup>が認められるなか、習慣化された異常な下肢アライメントと考えられる **WSA** もまた、スポーツ活動や日常生活で障害を経験した可能性が高いと考える。性差においても女性は、**ACL** 損傷などの下肢疾患が多く発症すると報告されている<sup>94.95.96)</sup>。その要因は、股関節の外転筋力の低下<sup>97)</sup>や膝関節の外反傾向<sup>98)</sup>さらに大腿前捻角の影響<sup>99)</sup>が、女性の下肢障害を発症する要因であると報告されている。そのため、**WS** の性差の判定にも影響するのではないかと考える。

これまでの章にて、**WSA** が異常な下肢アライメントでのスクワットフォームであることを立証した。しかし、**WSA** と判定された者の障害発生ならびに性差については、検討していない。

## 6-2. 目的

本研究では、WS で WSN と WSA に判定された者の性差や既往歴を調査し、WSN と WSA を比較検討することによって、異常な下肢アライメントの WSA が、障害を誘発しやすいスクワットフォームであるか否かを明らかにすることを目的とした。

### 6-3. 方法

#### A. 対象者

専門学校生 108 名（男性 54 名・女性 54 名）を対象とした。年齢  $21.5 \pm 3.6$  歳（平均±標準偏差）、身長  $165.7 \pm 9.8\text{cm}$ 、体重  $59.0 \pm 11.8\text{kg}$ 、BMI  $21.3 \pm 2.9\text{kg/m}^2$ 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。

#### B. 測定方法

独自に作成したアライメント評価用紙（表 4）を用いて WS を評価し、アライメント評価用紙に記載された既往歴より、障害の発生件数を調査した。また、性差における WS の判定および既往歴についても検討した。なお、本研究は既往歴より WS の障害発生件数を調査した、後ろ向き研究である。

検査者は、理学療法士ならびに、日本体育協会公認アスレティックトレーナーの免許を保有する者とした。

#### C. 実験手順

WS の説明と指導を十分に実施した後、WS を実施した。また、対象者には、「壁に接触している殿部ならびに左右の脚が壁から離れないこと」、「体幹は膝下と平行になるように前傾し、背中が壁から離れること」、「荷重は、足底中心を意識すること」の 3 点を説明した。WS の判定は、第 2 章で用いたアライメント評価用紙（表 4）に当てはめ、WSN（図 3）と WSA（図 4）に判定した。

膝関節の角度は、なるべく  $90^\circ$  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。測定は、疲労がないことを確認した後に 3 回続けて実施し判定した。検査者は、対象者の正面に位置し判定した。

既往歴に関しては、複数回答ありとした。各疾患別の分類に関しては、足関節捻挫・膝関節靭帯損傷・半月板損傷・膝内障・下肢骨折・腰部症状・その他の 7 項目とした。また、原因不明の膝関節痛を膝内障の項目とし、腰痛・腰椎分離症・腰椎椎間板ヘルニアを腰部症状の項目とした。上記の疾患に当てはま

らない疾患を、その他の項目として判定した。

#### D. 統計処理

WS を、WSN と WSA とに判定した。それぞれの WSN と WSA の性差および既往歴について、 $\chi$  二乗検定を用いて検討した。

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

#### 6-4. 結果

##### A. WSN と WSA における性差の検討（表 11）（図 22）

WS の判定結果、108 名中 41 名が WSN で、67 名が WSA と判定された。

WSN と判定された 41 名のうち、男性は 26 名（63.4%）で、女性は 15 名（36.6%）であった。WSA と判定された 67 名のうち、男性は 28 名（41.8%）で、女性は 39 名（58.2%）であった。WSN と WSA を比較した結果、有意な差が認められ、WSA において女性が、有意に高い値を示した（ $p=0.04 < 0.05$ ）。

##### B. WSN と WSA における既往歴の検討

###### a. 障害発生の比較（表 12）

108 名中、70 名（64.8%）が障害を経験していた。70 名のうち WSN は 21 名（30.0%）で、WSA は 49 名（70.0%）であった。WSN と WSA を比較した結果、有意な差が認められ、WSA において障害を有した対象者が、有意に高い値を示した（ $p=0.02 < 0.05$ ）。（図 23）

性差においては、WSN で障害を経験した 21 名のうち男性 14 名（66.7%）で、女性 7 名（33.3%）であった。WSA では、障害を経験した 49 名のうち男性 20 名（40.8%）で、女性は 29 名（59.2%）であった。WSN と WSA の男性で比較した結果、有意な差は認められなかった。（図 24）WSN と WSA の女性で比較した結果、有意な差が認められ、WSA において女性が、有意に高い値を示した（ $p=0.01 < 0.05$ ）。（図 25）

###### b. 疾患別分類（図 26）

WSN と判定された 21 名は、22 件の障害を経験していた。疾患別は、足関節捻挫 10 件（45.5%）・膝関節靭帯損傷 0 件（0%）・半月板損傷 1 件（4.5%）・膝内障 0 件（0%）・下肢骨折 4 件（18.2%）・腰部症状 5 件（22.7%）・その他 2 件（9.1%）であり、複数部位の障害を有した対象者は 1 名であった。

WSA と判定された 49 名は、63 件の障害を経験していた。疾患別は、足関節捻挫 22 件（34.9%）・膝関節靭帯損傷 8 件（12.7%）・半月板損傷 5 件（7.9%）・膝内障 4 件（6.4%）・下肢骨折 9 件（14.3%）・腰部症状 8 件（12.7%）・その他 7 件（11.1%）であり、複数部位の障害を有した対象者は 14 名であった。



表 11. Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) における性差の比較

	WSN	WSA
Wall squat (人)	41	67
性差 (人. %) *		
男性	26 (63.4)	28 (41.8)
女性	15 (36.6)	39 (58.2)

n=108. \* : p<0.05

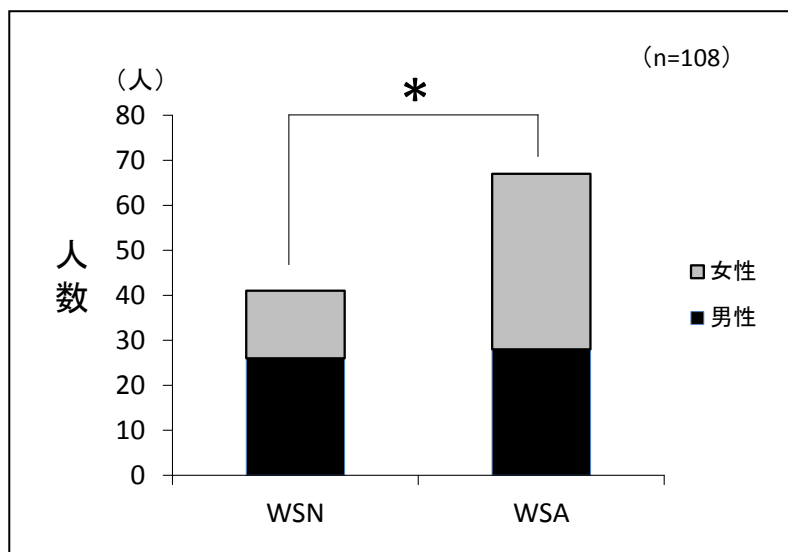


図 22. Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) における性差の比較 (\* : p<0.05)

表 12. Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) における障害発生の比較

	WSN	WSA
障害経験者 (人)*	21	49
性差 (人. %)		
男性	14 (66.7)	20 (40.8)
女性*	7 (33.3)	29 (59.2)

n=70. (既往歴にて障害を経験した人数)

\* : 障害経験者の比較 (p<0.05)

WSN と WSA の女性で比較 (p<0.05)

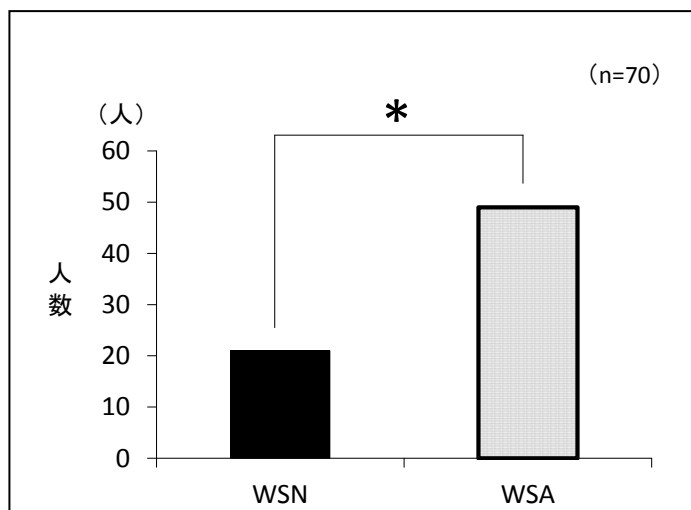


図 23. Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) における障害経験者の比較 (\* : p<0.05)

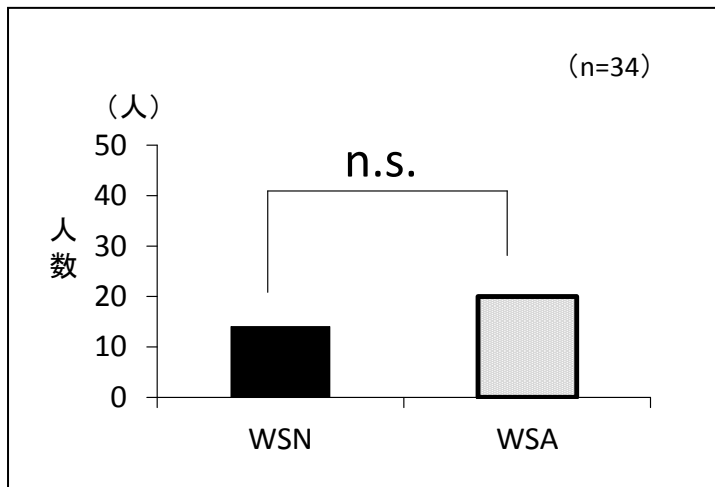


図 24. 障害経験者の Wall squat normal(WSN)と Wall squat abnormal(WSA)における男性の比較

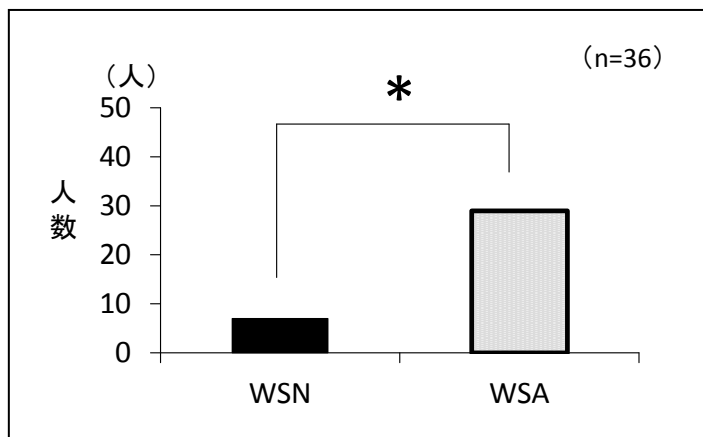


図 25. 障害経験者の Wall squat normal(WSN)と Wall squat abnormal(WSA)における女性の比較 (\* :  $p < 0.05$ )

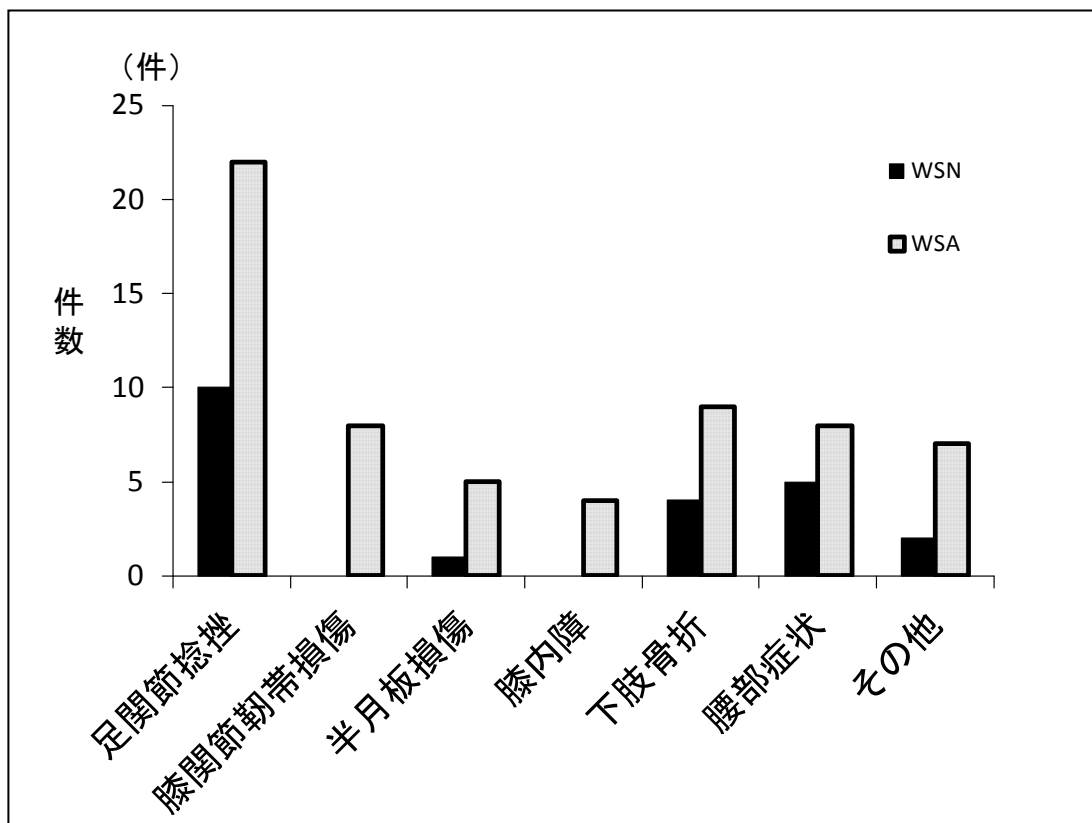


図 26. Wall squat normal (WSN) と Wall squat abnormal (WSA) における疾患別分類

## 6-5. 考察

本研究の性差では、WSA に女性が多くなる傾向を示した。先行研究<sup>94)</sup>でも女性は、膝が外反しやすい異常な下肢アライメントであるため、WS においても女性に WSA が多く出現する傾向であったと考える。また、ACL 損傷の性差でも、非接触型の損傷が多く女性の発症率が男性に比べ高いと報告されている<sup>95,96)</sup>。その要因の報告として、Leetun ら<sup>97)</sup>は、股関節外転・外旋筋力は男性の方が高く、障害を発症した選手は筋力が低かったと報告している。Jacobs ら<sup>98)</sup>は、女性の片脚着地動作において、股関節外転筋力の低下が膝関節の外反角度に影響し、膝関節疾患の危険な要因になると報告している。また、ストップからの動作において、女性では年齢とともに接地時の膝関節と股関節の屈曲角度が低下するとの報告もある<sup>100)</sup>。このように、女性が異常な下肢アライメントとなる要因が多く認められ、その要因が WSA の判定にも影響していると考ええる。

本研究の既往歴では、WSA に下肢障害を経験した者が多いことを示した。WSN では、膝関節疾患が半月板損傷の 1 件 (4.5%) のみであった。WSA では、膝関節疾患が 17 件 (27.0%) と足関節捻挫に次いで多く、そのなかでも膝関節靭帯損傷と半月板損傷が 13 件 (20.6%) であった。また、複数部位の障害を抱えている者が、WSN では 1 名に対して WSA では 14 名と多かった。スポーツ障害を発症しやすい動作の報告として、カッティング動作やジャンプ後の着地動作、急激な減速などで生じる異常動作が受傷機転として報告されている<sup>71,73)</sup>。WSN では、ほぼ見られなかった膝関節疾患や複数部位の障害が WSA で多く見られることから、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で動作をしている可能性が高い。

本研究では、障害発生件数で WSA が多い傾向を示した。また、障害発生件数の性差においては、女性に多く障害発生件数が認められた。異常な下肢アライメントの要因は、女性に多く認められ<sup>97-100)</sup>その結果、障害発生件数の判定に、WSA の女性が多くなったと考える。

WS で異常な下肢アライメントを確認し、正確な下肢アライメントでトレーニングすることは、障害予防として重要と考える。その予防として、鈴川ら<sup>33)</sup>は、成長に伴う動作の変化により、外傷発生率が増加する中学生時代に動作ス

キルを向上させることが、有効であることを報告している。この動作スキルとは、下肢の各関節を深く屈曲し膝と足部を一直線に結んだ位置としている(7.12.13.25.26.27)。この動作スキルを確認するのに、WSが有効であると考えられる。また、障害の再発防止の基準となる正確な下肢アライメントの判断材料になり得ると考える。

本研究では既往歴より、WSの障害発生件数を調査したため、障害発生がWSAに多くなった要因を立証するには限界がある。今後は、前向き調査でWSAが障害を誘発する異常な下肢アライメントでの動作であることを検討する。

#### 6-6. 要約

- WSA と判定された者は、下肢障害を経験している傾向であった。
- WSA と判定された者は、WSN と判定された者に比べ複数部位の障害を経験している傾向であった。
- WSA の判定は、女性に多い傾向であった。
- 障害発生件数は、WSA の女性に多い傾向であった。

## 第 7 章

### 本論文のまとめ

臨床応用と今後の展望ならびに課題



本論文は、直交した壁を使用する Wall squat が、簡便で客観的に下肢アライメントと荷重コントロールを評価し、理解できるスクワットフォームであることを、科学的に確立する目的で研究を進めた。

第 1 章では、先行研究から運動器における障害予防のスクワットフォームを検討し、本論文のテーマである Wall squat のフォームが、先行研究のスクワットフォームと一致している傾向であった。また、Wall squat の有効性と判定基準について、運動学的特徴を交えながら考察した。第 2～6 章にかけては、Wall squat の有効性と運動学的特徴を立証するために、第 1 章で考察した Wall squat の判定基準を用いて、Wall squat normal と Wall squat abnormal とに判定し、Wall squat normal は、正確な下肢アライメントのスクワットフォームで、Wall squat abnormal が異常な下肢アライメントのスクワットフォームであることを科学的に検証し立証した。

Wall squat の有効性を科学的に立証する方法として、4 つの項目を検討した。

- ①. Wall squat で判定された、下肢アライメントの検証においては、第 2 章と第 3 章にて検討を行った。
- ②. Wall squat で判定された、荷重コントロールの検証においては、第 4 章にて検討を行った。
- ③. 直交した壁を使用した Wall squat の有効性の検証においては、第 4 章と第 5 章にて検討を行った。
- ④. 運動器障害の下肢症状についての検証においては、第 6 章にて検討を行った。

第 2 章では、Free squat と Wall squat をアライメント評価用紙にて判定し、Wall squat が下肢アライメントの簡便な評価方法であることを調査した。結果、指導後 Free squat で正しい Free squat と判定された対象者は、Wall squat において Wall squat abnormal と判定されることが明らかになった。この結果は、異常な下肢アライメントの判定を、従前通りの指導者の目測と、選手の主観的な感覚で判定する方法では、限界があることが明らかになり、Wall squat が簡便に下肢アライメントを評価する方法として有効であることが判明した。

第 3 章では、第 2 章で Wall squat abnormal と判定された対象者が、異常な下肢アライメントであるか否かを検討するために、片脚ジャンプの着地動作を、

三次元動作解析によって調査した。結果、Wall squat normal は、股関節・膝関節とも接地後 0.02 秒から屈曲角度が増大しているが、Wall squat abnormal では、股関節・膝関節とも接地後 0.04 秒から屈曲角度が増大している。これは、ACL 損傷の受傷時期と一致している<sup>68)</sup>。また、Wall squat abnormal は、骨盤も後傾位の傾向が示唆され、身体重心が後方傾向になる可能性が高い。そのため、Boden<sup>73)</sup>の報告している下肢障害の発生要因とも類似し、Wall squat abnormal と判定されたスクワットフォームは、下肢障害を発症しやすい異常な下肢アライメントであることが明らかになった。

第 4 章では、Wall squat normal と Wall squat abnormal の荷重コントロールを明らかにすることを目的に、靴型下肢加重計ゲートコーダを用いて Free squat と Wall squat の荷重を調査した。結果、Free squat と Wall squat の荷重コントロールの比較では、Wall squat abnormal で荷重が変位することが明らかになった。この結果、Wall squat abnormal では一定した足底接地場所での荷重コントロールが困難で、Wall squat normal では一定した足底接地場所での荷重が可能と判明した。

第 2～4 章までを総合すると、Wall squat normal と判定された対象は、正確な下肢アライメントを保持し、一定した荷重コントロールのスクワットフォームであることが明らかになった。また、Wall squat abnormal と判定された対象者は、異常な下肢アライメントで、一定した荷重コントロールが困難なスクワットフォームであることが明らかになった。結果、Wall squat の判定基準は下肢アライメントを評価するのに有効であると考ええる。

第 5 章では、股関節外転角度が異なる Wall squat においても、90° Wall squat と同様の下肢アライメントであることを明らかにするため、股関節外転角度が異なった Wall squat のフォームを調査した。結果、Wall squat abnormal と判定された対象は、股関節外転角度が狭くなった Wall squat においても、Wall squat abnormal と判定されることが明らかになった。この結果から、Wall squat abnormal と判定された対象は、スポーツ活動や日常生活においても異常な下肢アライメントが習慣化され、運動器の障害発生に大きな影響を与える可能性が高く、壁を使用して下肢アライメントの評価をする意義は再現性も含めて大きいと考える。また、第 4 章で調査した Free squat と Wall squat の荷重

量の比較調査においても、有意な差が認められなかった。この結果から、壁に接触している殿部・下肢外側が壁に寄りかかることなく実施していることが明らかになった。

体育館などの屋内には、直交した壁が多く存在する。Wall squat において直交した壁を使用することは、壁に接触した下肢の運動方向が皮膚感覚（触覚・圧覚）により感知でき、正確な下肢アライメントの肢位を理解することが可能と考える。

第 6 章では、Wall squat abnormal と判定された対象の、障害発生件数を明らかにすることを目的に、Wall squat normal と Wall squat abnormal の既往歴を調査した。結果、Wall squat abnormal の女性に下肢障害を経験した者が多いことが明らかになった。これは、第 2～5 章で考察した異常な下肢アライメントが習慣化され、スポーツ活動や日常生活の下肢アライメントに影響を及ぼし、Wall squat abnormal の既往歴の障害発生件数に反映されたと考える。第 6 章で Wall squat abnormal が、障害を誘発するスクワットフォームであることを後ろ向き調査にて明らかにした。

第 5 章と第 6 章の結果、Wall squat normal と判定された対象者は、正確な下肢アライメントであるため、障害発生の予防に効果があることが示唆された。

以上より、本論文では Wall squat の科学的根拠を明らかにすべく研究を行った。

本論文の今後の展望や臨床応用として、Wall squat が下肢アライメントのスクリーニング検査として確立することである。スクリーニング検査は、能登<sup>101)</sup>によると早期発見・早期治療によって転帰を改善すること。また予後や治療方針が変わらないような検査は無意味であると述べている。本論文の結果も、Wall squat は、簡便に下肢アライメントを評価することが可能で、Wall squat abnormal と判定された対象者は、早期に正確な下肢アライメントを獲得するために、初期のトレーニングで Wall squat を実施する意義は大きい。こうした、簡便な評価方法ならびにトレーニング方法が科学的に立証され、下肢アライメントにおける障害予防の一助になることを期待したい。また、高岡<sup>102)</sup>は、レクリエーションレベルのアスリートや高齢者が実施するトレーニングは、低いコストで有効な効果を上げることが重要と報告している。Wall squat は、直交

した壁があれば安全にいつでも実施することができる。コストと安全面の両方を確保することで、老若男女問わずトレーニングが簡便に実施でき、効果も期待できる。また、運動器障害の下肢症状に適切なスクワット方法の選択肢として、反映されることも期待したい。

**Wall squat abnormal** は、女性に多く認められた結果から今後の課題として、異常な下肢アライメントを誘発しやすい女性に対して、**Wall squat** を継続的に実施し、その効果を検証していきたい。また、発育発達期における動作スキルの獲得が重要<sup>33)</sup>であることを指摘している。小学生から中高生までの発育発達期におけるスポーツ活動の場において、**Wall squat** による下肢アライメントの評価や障害予防を目的としたトレーニングに対する **Wall squat** の有効性を、検証していきたい。

## 第 8 章

### 結論

本論文は、Wall squat が、正確な下肢アライメントのスクワットフォームであることを科学的に確立するために、各章にて調査し検討を行った。

その結果、以下の結論を得た。

- ・先行研究における障害予防のスクワットフォームと Wall squat のフォームは一致している。
- ・下肢アライメントの評価は、Free squat よりも Wall squat の方が異常な下肢アライメントを抽出できることが認められた。
- ・Wall squat abnormal と判定された対象者の片脚着地動作は、股関節ならびに膝関節の屈曲角度が浅く、後方重心になる傾向が認められた。また股関節が内転方向に可動する傾向も認められた。
- ・Wall squat の足底荷重量は、Free squat の足底荷重量と同様である。
- ・Wall squat normal の荷重コントロールは、一定した荷重コントロールであったが、Wall squat abnormal は、荷重コントロールが変位し、一定した荷重コントロールが困難であることが認められた。
- ・Wall squat で、Wall squat abnormal と判定された異常な下肢アライメントは、他のスクワットフォームにおいても異常な下肢アライメントとなることが認められた。
- ・Wall squat abnormal と判定される傾向は、女性に多く認められた。
- ・障害経験者は、Wall squat abnormal の女性に多く認められた。
- ・Wall squat abnormal と判定された対象者の既往歴において、Wall squat normal よりも障害経験者が多く、膝関節に関わる疾患が多く認められた。

正確な下肢アライメントを指導することは、性別や年齢ならびに活動内容に関わらず重要で、その方法として **Wall squat** は最適であると考えられる。

下肢障害を予防することは、選手のパフォーマンスを高い状態に維持し、選手生命を伸ばすことが可能である。またレクリエーションレベルでも、疼痛や障害を誘発しないことは、心身共に健康な状態で日常を過ごすことが可能である。現在、障害予防のトレーニング方法が多く存在するなか、正確な下肢アライメントを理解する方法は確立されていない。

本論文の **Wall squat** は、下肢アライメントに着目した障害予防のスクワット方法である。より簡便に下肢アライメントを評価できることから、スポーツ等の障害予防に有効な評価方法であることが示唆された。

## 第 9 章

### 参考及び引用文献



- 1) 福林徹：非接触型前十字靭帯損傷の受傷メカニズムの解析 平成16年度～平成17年度科学研究費補助金．研究成果報告書 平成18年
- 2) 小林寛和，金村朋直：スポーツ外傷・障害予防における理学療法士の役割．理学療法 26(2):255-264,2009.
- 3) Longo UG, Loppini M, Cavagnino R, et al : Musculoskeletal problems in soccer players: current concepts. Clin Cases Miner Bone Metab. 9(2):107-11,2012.
- 4) Grooms DR, Palmer T, Onate JA, et al : Soccer-specific warm-up and lower extremity injury rates in collegiate male soccer players. J Athl Train. 48(6):782-9,2013.
- 5) 津田清美，三木英之，大槻玲子：バスケットボールー女子選手の膝前十字靭帯損傷とその予防ー．臨床スポーツ医学 Vol33(11):1044-1051,2016.
- 6) 浦辺幸夫，宮下浩二，田中浩介 ほか：膝前十字靭帯損傷予防プログラムの実施効果．日本臨床スポーツ医学会誌 15(2):270-277,2007.
- 7) 大見頼一，尹成祚，長妻香織 ほか：膝前十字靭帯損傷予防プログラムのトレーニング効果：三次元動作解析による片脚着地動作と下肢筋力評価．日本臨床スポーツ医学会誌 20(1):56-65,2012.
- 8) 後藤知宏：健康寿命とロコモ．四国医誌 67(5):199-202,2011.
- 9) 帖佐悦男：ロコモティブシンドローム 運動器疾患を取り囲む新たな概念ーロコモ予防とリハビリテーションー．Jpn J Rehabil Med 50:48-54,2013.
- 10) 後藤亮吉，佐々木ゆき，轟木孝浩 ほか：当院におけるロコモティブシンドローム予防教室の効果検証．日本農村医学会雑誌 64(1):1-7,2015.
- 11) 大下和茂，山口恭平，大山泰史 ほか：大学生の運動習慣とスクワットに関する認識について．日本生理人類学会誌 19(4):239-245,2014.
- 12) Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, et al : 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.
- 13) Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, et al : Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports. Cluster randomized controlled trial. BMJ 330:449,2005.

- 14) Cerulli G, Benoit DL, Caraffa A, et al :Proprioceptive training and prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *J Orthop Sports Phys Ther* 31(11):655-60,2001.
- 15) Stearns KM, Powers CM : Improvements in hip muscle performance result in increased use of the hip extensors and abductors during a landing task. *Am J Sports Med* 42(3):602-609,2014.
- 16) Wilderman DR, Ross SE, Padua DA : Thigh muscle activity, knee motion, and impact force during side-step pivoting in agility-trained female basketball players. *J Athl Train* 44(1):14-25,2009.
- 17) Kraemer R, Knobloch K : A soccer-specific balance training program for hamstring muscle and patellar and achilles tendon injuries: an intervention study in premier league female soccer. *Am J Sports Med* 37(7):1384-1393,2009.
- 18) Imwalle LE, Myer GD, Ford KR, et al : Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *J Strength Cond Res* 23(8):2223-2230,2009.
- 19) McGovern A, Dude C, Munkley D, et al : Lower limb kinematics of male and female soccer players during a self-selected cutting maneuver: Effects of prolonged activity. *Knee* 22(6):510-516,2015.
- 20) Krosshaug T, Steffen K, Kristianslund E, et al : The Vertical Drop Jump Is a Poor Screening Test for ACL Injuries in Female Elite Soccer and Handball Players: A Prospective Cohort Study of 710 Athletes. *Am J Sports Med* 44(4):874-883,2016.
- 21) Bahr R : Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will...: a critical review. *Br J Sports Med* 50(13):776-780,2016.
- 22) 大見頼一 : 膝前十字靭帯損傷予防プログラムと動作解析 予防プログラムで動作はどう変わるのか. *Sportsmedicine* 22(6):10-17,2010.
- 23) Havens KL, Sigward SM : Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait Posture* 41(1):33-38,2015.

- 24) Root H, Trojian T, Martinez J, et al : Landing Technique and Performance in Youth Athletes After a Single Injury-Prevention Program Session. *J Athl Train* 50(11):1149-1157,2015.
- 25) Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, et al : Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 33(7):1003-1010,2005.
- 26) Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, et al : Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* 13(2):71-78,2003.
- 27) Petersen W, Braun C, Bock W, et al : A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg* 125(9):614-621,2005.
- 28) 中村耕三 : ロコモティブシンドローム (運動器症候群) . 日本老年医学会雑誌 49(4):393-401,2012.
- 29) Palmitier RA, An KN, Scott SG et al: Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med* 11(6):402-13,1991.
- 30) 田上義之 : スクワット動作における協調性. 東北文化学園大学 リハビリテーション学科 紀要 2(1):27-37,2006.
- 31) T Jeff Chandler, Michael H Stone : The Squat Exercise in Athletic Conditioning: A Position Statement and Review of the Literature. *National Strength & Conditioning Association Journal* 13(5):51-58,1991.
- 32) 三木英之, 清水 結 : 前十字靭帯損傷予防の効果と展望 バスケットボールにおける取り組み. *臨床スポーツ医学* 29(11):1147-1154,2012.
- 33) 鈴川仁人, 高橋佐江子, 永野康治 ほか : 中学生バスケットボール選手に対する下肢外傷予防プログラムの実施効果. *日本臨床スポーツ医学会誌* 23(2):206-216,2015.
- 34) 財団法人日本バスケットボール協会 : 日本バスケットボール協会 ジュニア向け外傷予防プログラム 2011.

- 35) 鈴木正之:間違いだらけのスポーツトレーニング. 黎明書房 142-148,1993.
- 36) 林 慶充, 石橋 恭之, 津田 英一 ほか: 2次元動作解析法及び3次元動作解析法を用いたジャンプ: 着地動作中における下肢アライメントと関節キネマティクスの評価. 日本臨床スポーツ医学会誌 16(1):24-29,2008.
- 37) 渡會公治:美しく立つ スポーツ医学が教える3つのA. 文光堂 47-62,2007.
- 38) 黒木裕士:メカニカルストレスと変形性膝関節症の理学療法. 理学療法学 38(8):637-638,2011.
- 39) 細田多穂 ほか:理学療法ハンドブック改訂第3版 第3巻疾患別・理学療法プログラム. 協同医書出版 199-225,2000.
- 40) 石井慎一郎:関節病態運動学1 総論理学療法 23(9):1289-1293,2006.
- 41) 遠藤明, 加藤俊徳, 堀川浩之 ほか: Shoulder width stance squat と wide stance squat による大腿筋への負荷の相違. 日本臨床スポーツ医学会誌 12(2):266-271,2004.
- 42) Baffa AP, Felicio LR, Saad MC, et al: Quantitative MRI of vastus medialis, vastus lateralis and gluteus medius muscle workload after squat exercise: comparison between squatting with hip adduction and hip abduction. J Hum Kinet 33:5-14,2012.
- 43) 久保俊一:股関節学. 金芳堂 73-82,2014.
- 44) 嶋田智明, 平田総一郎:筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版株式会社 414-427,2005.
- 45) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩:基礎運動学 第6版. 医歯薬出版株式会社 266-271,2012.
- 46) 塩田浩平, 瀬口春道, 大谷浩 ほか:グレイ解剖学 原著第2版. エンゼビア・ジャパン 600-601,2011.
- 47) 山田致知:ランツ下肢臨床解剖学. 医学書院 1979.
- 48) 坂田直明:四肢(シコ)の踏み方と指導のポイント. Training Journal 34(2):26-31,2012.
- 49) 宗田大:膝の外傷・障害からのスポーツ復帰. 日本臨床スポーツ医学会誌 25(1):1-6,2017.

- 50) Dudley LA, Smith CA, Olson BK, et al : Interrater and Intrarater Reliability of the Tuck Jump Assessment by Health Professionals of Varied Educational Backgrounds. *Journal of Sports Medicine J Sports Med (Hindawi Publ Corp)* 483503,2013.
- 51) Bayartai Munkh-Erdene, Masaaki Sakamoto, Rie Nakazawa, et al : Relationship Between Hip Muscle Strength and kinematics of the Knee Joint during Single Leg Squatting and Dropping. *Journal of Physical Therapy Science* 23(2):205-207,2011.
- 52) 池添冬芽, 市橋則明, 森永敏博 : スクワット肢位における足底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* 30(1):8-13,2003.
- 53) 内田淳正, 中村利考, 松野丈夫 ほか : 標準整形外科学. 医学書院 610-652, 2011.
- 54) Myer GD, Ford KR, Hewett TE : New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med* 45(4):238-244,2011.
- 55) Myer GD, Ford KR, Hewett TE : Tuck Jump Assessment for Reducing Anterior Cruciate Ligament Injury Risk. *Athl Ther Today* 13(5):39-44,2008.
- 56) 財団法人日本サッカー協会 : F-MARC サッカー医学マニュアル. サンメッセ (株) 113-121,2007.
- 57) 渡會公治 : いますぐできるロコモ体操. 家の光協会 31-114,2010.
- 58) 石井慎一郎 : 姿勢の評価. *理学療法* 24(1):137-147,2007.
- 59) 丸山仁司, 黒澤和生, 斉藤昭彦 ほか : 評価から治療手技の選択. *文光堂* 274-284,2006.
- 60) 越野祐太, 山中 正紀, 瀬戸川 美香 ほか : 足関節背屈可動性と方向転換動作時の足関節背屈・内反・足部方向角度との関係性. *体力科学* 61(5) 487-493, 2012.
- 61) Herrington L : Knee valgus angle during single leg squat and landing in patellofemoral pain patients and controls. *Knee* 21(2):514-517,2014.

- 62) Salsich GB, Graci V, maxam DE : The effects of movement pattern modification on lower extremity kinematics and pain in women with patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 42(12):1017-1024,2012.
- 63) 黒川幸雄, 高橋正明, 鶴見隆正 : 理学療法 MOOK 10 高齢者の理学療法. 三輪書店 58-65,2002.
- 64) Heidt RS Jr, Sweeterman LM, Carlonas RL, et al : Avoidance of soccer injuries with preseason conditioning. *Am J Sports Med* 28(5):659-62,2000.
- 65) 真鍋芳明, 横澤俊治, 島田一志ほか : 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* 53:425-442,2004.
- 66) 藤澤宏幸 : 臨床動作分析. 文光堂 6-11,2016.
- 67) Noehren B, Barrance PJ, Pohl MP, et al : A comparison of tibiofemoral and patellofemoral alignment during a neutral and valgus single leg squat: an MRI study. *Knee* 19(4):380-386,2012.
- 68) Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, et al : Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med* 35(3):359-67,2007.
- 69) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al : Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 38(11):2218-25,2010.
- 70) Myklebust G, Maehlum S, Holm I, et al : A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports* 8(3):149-153,1998.
- 71) Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, et al : Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 32(4):1002-1012,2004.
- 72) Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, et al : The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med* 27(5):585-593,1999.

- 73) Boden BP, Dean GS, Feagin JA Jr, et al : Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23(6):573-578,2000.
- 74) Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, et al : Different Sagittal Angles and Moments of Lower Extremity Joints during Single-leg Jump Landing among Various Directions in Basketball and Volleyball Athletes. *J Phys Ther Sci* 25(9):1109-1113,2013.
- 75) Kanamori A, Zeminski J, Rudy TW, et al : The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament: a biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthroscopy* 18(4):394-398,2002.
- 76) Nagano Y, Ida H, Akai M, et al : Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee* 14(3):218-223, 2007.
- 77) 小笠原一生, 古賀英之, 中前敦雄 ほか : ビデオ解析による非接触型前十字靭帯および内側側副靭帯損傷時の膝モーメント推定と受傷メカニズムの物理的考察. *日本臨床スポーツ医学会誌* 21(1):131-142,2013.
- 78) 川島達宏, 大見頼一, 長妻香織 ほか : 膝前十字靭帯再建術後の同側損傷・反対側損傷の性差. *日本臨床スポーツ医学会誌* 23(3):496-500,2015.
- 79) 柚原千穂, 笠原敏史, 齊藤展士 ほか : 高齢者のスクワット動作の特徴. *理学療法科学* 29(5):765-769,2014.
- 80) 西村沙紀子, 福井勉 : 片脚スクワット動作の三次元動作解析. *理学療法科学* 30(5):755-758,2015.
- 81) 真瀬垣啓, 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.
- 82) 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. *理学療法科学* 29(5):160-163,2002.
- 83) 鈴木秀知, 大森豪, 上松大輔 ほか : 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.

- 84) Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, et al : Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. *N Am J Sports Phys Ther* 5(4):234-251,2010.
- 85) 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.
- 86) 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.
- 87) Dian Lee(監訳者 : 石井美和子) : 骨盤帯. 医歯薬出版 394-398,2013.
- 88) Chiu, Loren Z F : Sitting Back in the Squat. *Strength & Conditioning Journal* 31(6):25-27,2009.
- 89) 大下和茂, 萩原悟一, 門間貴史 ほか : 運動習慣を有する大学生の筋力トレーニング被指導経験とスクワットに関する認識との関係. *体育学研究* 60(2):539-550,2015.
- 90) 浦辺幸夫 : 下肢の各関節の連関を考慮した外傷の発生機序についての運動学的分析. *理学療法学* 21(8):532-536,1994.
- 91) 中畑 晶博, 湯朝友基, 江本 玄 ほか : 当院における前十字靭帯再建術後再断裂の調査. *日本臨床スポーツ医学会誌* 23(1):120-127,2015.
- 92) Yamazaki J, Muneta T, Ju YJ, et al : Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18(1):56-63,2010.
- 93) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al : Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med* 33(4):492-501,2005.
- 94) Hewett TE, Myer GD, Ford : Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am* 86-A(8):1601-1608,2004.



- 95) Mountcastle SB, Posner M, Kragh JF, et al : Gender differences in anterior cruciate ligament injury vary with activity: epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in a young, athletic population. *Am J Sports Med* 35(10):1635-1642,2007.
- 96) Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, et al : A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 23(12):1320-1325,2007.
- 97) Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, et al : Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 36(6):926-934,2004.
- 98) Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, et al : Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *J Athl Train* 42(1):76-83,2007.
- 99) 浦辺幸夫 : スポーツ動作からみたアライメントコントロール. *整形・災害外科* 41(10):1237-1247,1998.
- 100) Yu B, McClure SB, Onate JA, et al : Age and gender effects on lower extremity kinematics of youth soccer players in a stop-jump task. *Am J Sports Med* 33(9):1356-1364,2005.
- 101) 能登洋 : 臨床で役立つ ゼロから学ぶ 医学統計. ナツメ社 126-144,2016.
- 102) 高岡英夫 : 完全版「本物の自分」に出会うゆる身体論. さくら社 226-238,2016.

## 業績リスト

### 発表論文

1. 壁スクワットを用いた下肢アライメントの評価（原著論文：査読付き）  
渡邊学 青山利春 松本高明 渡會公治  
日本臨床スポーツ医学会誌 :Vol23. No2. 224-232. 2015
2. Relationship of lower extremity alignment during the wall squat and single-leg jump: assessment of single-leg landing using three-dimensional motion analysis（原著論文：査読付き）  
MANABU WATANABE, TAKAAKI MATSUMOTO, SUSUMU ONO, HIROHISA KOSEKI, KOJI WATARAI  
Journal of Physical Therapy Science: Vol.28 No6. 1676-1680. 2016
3. 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－（原著論文：査読付き）  
渡邊学 松本高明 小野晋 小関博久 渡會公治  
理学療法科学:Vol32. No3. 423-427. 2017

### 学会発表

1. 自主トレーニングに Wall squat を用いた効果について  
－下肢機能障害を有した 3 症例に対して－  
渡邊学 松本高明  
日本体育学会第 66 回大会 2015 年
2. Wall squat の normal と abnormal における荷重部位の差異に関する検討  
渡邊学 松本高明  
日本体育学会第 67 回大会 2016 年

## 謝 辞

博士論文を終えるにあたり、多大なるお力添えをしていただいた国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 角田直也教授、また本論文の基礎を御教授いただいた帝京科学大学 総合教育センター 特任教授 渡會公治先生に深謝致します。国士舘大学 名誉教授 青山利春先生には、本論文の研究を実施するにあたり本学への入学を推奨いただき、また研究者として導いて頂いたことに感謝申し上げます。

本論文の作成にあたり、東都リハビリテーション学院 小野晋先生ならびに徳寺大学 加藤宗規教授には、貴重な御教授を頂き心より感謝申し上げます。

本論文の測定におきましては、測定場所と測定器具を快く提供していただいたインターリハ株式会社様及び測定への助言を頂いた府川哲也様、ならびにアニマ株式会社 高橋克明様に感謝申し上げます。また、本論文の被検者として御協力頂きました東都リハビリテーション学院の学生の皆様にも感謝申し上げます。さらに、本論文の多大なる御指導と御助言を賜りました国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 故 松本高明教授に感謝申し上げご冥福をお祈り申し上げます。

最後に、私が国士舘大学大学院博士課程に進学することに対し、理解と協力を頂きました家族に感謝致します。