

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：34507

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350642

研究課題名(和文) 下肢回旋運動が足関節への負荷に及ぼす影響と足関節捻挫予防プログラムの開発

研究課題名(英文) Effects of hip rotational muscle exercise on foot/ankle motions : toward development of the prevention exercise program from ankle sprain

研究代表者

伊藤 浩充 (Itoh, Hiromitsu)

甲南女子大学・看護リハビリテーション学部・教授

研究者番号：40314497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：研究では、立位非荷重下の下肢内旋運動における足関節内反運動は股関節内旋可動域と相関したことから、足部接地瞬間前の足関節内反運動は股関節内旋可動域の影響を受けることが明らかとなった。研究では、立位荷重下の下肢内旋運動における足関節内外反運動は股関節内旋可動域の影響を受けることが明らかとなった。研究では、股関節内外旋可動域に応じた個別のスクワットトレーニングの効果を検証した。その結果、股関節内外転筋力は有意に向上し、片脚反復横跳びでの接地時における足部・足関節内外反運動や内外反モーメントが減少する傾向がみられた。

研究成果の概要(英文)：An occurrence of ankle sprain injury is related to foot-touching down during sports activity. The purposes of this study were to examine the biomechanical parameters of ankle joint motion during the total lower extremity rotation and analyze its relationship with clinical measurements of hip function. And also, the effects of squat exercise against hip abduction or adduction on kinematic/kinetic parameters of foot/ankle during one-leg side-hopping. A three-dimensional motion analysis system was used to assess motion characteristics of the foot/ankle. Significant correlations were identified between ankle inversion motion and the clinical parameters of the hip internal rotation and hip abd/add muscle strengths. And also the squat exercises have significant effects on the abd/add motion reduction of foot/ankle. Therefore, it could be possibly effective on preventing ankle sprain motion.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：股関節回旋可動域 足関節運動 三次元動作解析

## 1. 研究開始当初の背景

スポーツ外傷の中で足関節捻挫は最も生じやすい外傷で再発を繰り返す者も少なくない。足関節捻挫予防対策としては、下腿・足部周囲筋群の神経筋反応の促進や筋力増強、固有感覚やバランス能力の向上、テーピングや補装具の使用がすすめられている。しかし、これらの効果は足関節の機能やバランス能力が向上する点では効果的とされているが、足関節捻挫の予防という点では未だ十分な効果が認められていないのが現状である。したがって、スポーツによる足関節捻挫を効果的に予防できるプログラムの開発が望まれている。

スポーツによる足関節捻挫を予防するためには、リスクファクターを同定する必要がある。スポーツによる足関節捻挫のリスクファクターとして個人特有の身体要因が数多く報告されているが、足部・足関節周囲に着目している研究がほとんどである。

リスクファクターに関して、股関節や膝関節の機能、特に股関節や膝関節の回旋可動域や股関節周囲の筋力について着目した研究報告は全くない。また、股関節の内外旋の運動は膝関節の内外旋運動と関連し、膝関節の回旋運動は足関節・足部の底背屈・内外転・回内外・内外反の運動に関連しているため、ジャンプ着地や方向転換時などのスポーツ動作において股関節の回旋運動と共に膝関節の回旋運動の特性が足関節へのメカニカルストレスにどのように影響しているかについても詳細に分析した報告もない。

上記のような理由から、足関節の機能だけでなく、股関節の回旋機能にも着目し、かつ個別性を重視した足関節捻挫予防プログラムを処方できるガイドラインも確立されていないのが現状である。

## 2. 研究の目的

研究の目的は、立位での非荷重下における下肢の内旋運動(開放連鎖運動)における足関節、膝関節、股関節のKinematicsの観点から、足関節運動と股関節回旋可動域との関連を明らかにする。

研究の目的は、立位での荷重下における下肢の内旋運動(開放連鎖運動)における足関節、膝関節、股関節のKinematicsとKineticsの観点から、足関節運動と股関節回旋可動域との関連を明らかにする。

研究の目的は、股関節の回旋可動域と股関節周囲の筋力について個別性を重視した足関節捻挫予防プログラムを考案し、その効果を検証する。

## 3. 研究の方法

### 研究

#### 1) 対象

本研究の趣旨を理解し同意の得られた健康者 20 名(男性 7 名:女性 13 名)で平均年齢は  $25.4 \pm 5.8$  歳である。腰部や下肢に急性外傷や疼痛を有する者は除外した。

#### 2) 股関節・膝関節・足関節の可動域測定

股関節の内外旋可動域は、腹臥位で傾斜計を用いて計測した。膝関節の内外旋可動域は、座位(股・膝関節 90 度屈曲位)で床面に置かれた回転盤(角度目盛り)の上に足底部を固定し、下腿の外旋と内旋の最大角度を計測した。足関節の背屈可動域は、両下肢前後開脚立位にて下腿の前傾角度(膝屈曲位)を傾斜計を用いて計測した。

#### 3) 股関節内外転の筋力測定

座位での股関節内外転の等尺性筋力を竹井機器工業(株)筋力測定器で測定した。

#### 4) 下肢の内外旋運動の計測

三次元動作解析装置を使用して解析した。右下肢の内外旋運動における足関節、膝関節、股関節の回旋を計測した。

具体的な条件設定は以下のごとくである。

床反力計上に下肢回旋運動用の回転盤を設置する。

回転盤の位置は、回転盤の直径(角度目盛りの 0 度と 180 度を結ぶ線)と床反力計の y 軸(矢状面方向)とが平行になるように固定設置する。

足部内側縁は回転盤の直径に接するように置き、内果は回転盤の中心軸と一致させるように置く。

運動開始肢位は、膝蓋骨前面が前額面と平行となる向きとし、その開始位置の回転盤の角度目盛を予め記録しておく。

運動は、下肢の最大内旋と最大外旋をする。条件肢位は、自然立位(ST)、膝関節 30 度屈曲位のハーフスクワット位(HS30)、膝関節 60 度屈曲位のハーフスクワット位(HS60)、座位(Sit)とし、ST 以外は臀部を椅子の座面に座らせ右下肢への荷重は 10N 以下とした。膝屈曲角度は椅子の座面の高さによって調節し、ゴニオメーターで角度を確認した。

体幹は、両上肢 45 度外転位、肩甲骨内転位を保持させた鉛直位とした。

三次元動作解析は、MAC3D システム(Motion Analysis 社製)を用いて行った。8 台の赤外線カメラ(Eagle デジタルカメラ, Motion Analysis 社製)を使用してサンプリング周波数 120Hz で身体に貼り付けた反射マーカーの空間座標を PC に取り込み、リアルタイム動作解析システム EvaRT 5.04(Motion Analysis 社製)を用いて解析を行った。解析に利用したマーカーは以下の如くである。

- a) 骨盤セグメント(CODA model) : 上前腸骨棘・上後腸骨棘(すべて両側)
- b) 大腿セグメント(Surface-marker cluster model) : 大転子・大腿外側4点クラスタセグメント・大腿骨外側上顆・大腿骨内側上顆(すべて両側)
- c) 下腿・足部セグメント(Surface-marker cluster model と Modified IOR foot model) : 脛骨粗面・腓骨頭・下腿外側4点クラスタセグメント・脛骨内果・腓骨外果・踵骨アキレス腱附着部・踵部後面最下点・踵部外側部・第5中足骨粗面・第5中足骨頭・第2中足骨頭・第2中足骨底・第1中足骨頭・第1中足骨底・母趾尖端・載距突起・舟状骨(すべて両側)

#### 5)分析

解析は、Visual3D(C-motion社製)を用いて、骨盤・大腿・下腿・足部の各セグメント間の Cardan sequence (X-Y-Z)で関節角度を求めた。各被験者の3回の平均値を代表値とし、最大角度に対する各関節の最大角度変化率を条件間で比較するために一元配置分散分析を行い、多重比較には Tukey-Kramer の HSD 検定を行った。

下肢の回旋運動における股関節内外旋運動(角度)と足関節内外反運動(角度)との Pearson の相関係数を分析した。また、股関節内外旋可動域および股関節内外転筋力と股関節内外旋運動と足関節内外反運動との Pearson の相関係数を分析した。

#### 研究

##### 1)対象

本研究の趣旨を理解し同意の得られた健康女性26名で年齢、身長、体重の平均はそれぞれ  $20.4 \pm 1.2$  歳、 $158.7 \pm 5.1$ m、 $51.2 \pm 6.0$ kg である。腰部や下肢に急性外傷や疼痛を有する者は予め除外した。

##### 2)股関節可動域の測定

研究と同様に行った。

##### 3)股関節内外転の筋力測定

研究と同様に行った。

##### 4)下肢の内旋運動(閉鎖連鎖運動)の計測

研究と同様に三次元動作解析装置を使用して解析した。肢位は、自然立位(ST)、足関節底屈立位(HU)、ハーフスクワット位(SQ)の3種類とし、2枚の床反力計上での体幹最大回旋中の下肢内旋運動における足関節、膝関節、股関節の回旋を計測した。

##### 5)分析

動作解析ソフトウェア VIDUAL 3D を用いて、足関節内外反運動を解析した。

下肢の内旋運動における足関節内外反運動(角度)および足関節内外反モーメントと股関節内外旋可動域および股関節内外転筋力との Pearson の相関係数を分析した。

#### 研究

##### 1)対象

本研究の趣旨を理解し同意の得られた高校男子サッカー選手21名で年齢、身長、体重の平均はそれぞれ  $15.5 \pm 0.5$  歳、 $171.8 \pm 3.8$ m、 $59.9 \pm 5.8$ kg である。

##### 2)股関節の可動域と内外転筋力および足関節背屈可動域の測定

研究と同様に行った。

##### 3)片脚反復横跳び動作の計測

研究と同様に三次元動作解析装置を使用して解析した。片脚反復横跳び動作は、2枚の床反力計上で30cm間の距離を連続10回反復させ、接地期間中の足部・足関節の運動を計測した。なお、関節運動の角度やモーメントは速度の影響を受けるので、介入前後の比較において速度の影響を排除するためにメトロノームによるテンポを同じ条件で計測した。

##### 4)足関節捻挫予防プログラム

対象者の股関節内外旋可動域に応じた個別のスクワットトレーニングを週3回以上6か月間実施させた。具体的には、股関節内旋可動域が有意に大きい者には股関節外転に抵抗をかけながらスクワットトレーニングをさせ、股関節外旋可動域が有意に大きい者には股関節内転に抵抗をかけながらスクワットトレーニングをさせた。

##### 5)分析

効果の検証には三次元動作解析装置を利用し、片脚反復横跳びでの接地時における足部・足関節内外反運動(角度)や内外反モーメントを介入前後で比較した。また、股関節内外旋可動域および股関節内外転の筋力についても介入前後で比較した。介入前後の比較には、対応ありの t 検定を行った。

#### 4. 研究成果

##### 研究

##### 1)下肢の内旋運動

座位で下腿の外旋可動域が大きい者ほど足関節の内外反運動を減じ、下腿の内旋可動域が大きい者ほど膝関節の回旋運動と股関節の内外転運動を減ずる影響があった。同様に、HS60では下腿の外旋可動域が足関節の内外反運動を減じ、下腿の内旋可動域が膝関節の回旋運動、股関節の内外転運動と内外旋運動を減じ、立位で下腿の内旋可動域が足関節の内外反運動、膝関節の内外旋運動を減ずる影響があった。

##### 2)下肢の外旋運動

座位で下腿の内旋可動域が大きい者ほど膝関節の回旋運動と股関節の内外旋運動を減ずる影響があった。同様に、HS60では股関節の外旋可動域は膝関節の回旋運動を減じ、

下腿の外旋可動域が股関節の回旋運動を減じた。HS30では股関節の外旋可動域は足関節の内外反運動を減じ、下腿の外旋可動域が足関節の内外反運動を増加させた。立位では股関節の外旋可動域が膝関節の内外旋運動を減ずる影響があった。

### 3) 計測項目間の相関係数

下肢の内旋運動は、座位、HS60と立位で足関節の内外反運動と股関節外転筋力との間で0.51以上、HS30で足関節内外反運動と股関節内旋可動域との間で0.52が得られた。

下肢の外旋運動は、座位とHS30で足関節内外反運動と股関節外旋可動域との間で0.57以上、HS30で足関節の内外反運動と股関節外転筋力との間で0.51以上、立位で足関節の回旋運動と足関節背屈可動域との間で0.52以上が得られた。

本研究の結果、足関節の内外反運動に及ぼす因子として、肢位によって異なるが股関節の内外旋可動域、股関節外転筋力、足関節背屈可動域があげられる。特に、立位での非荷重下における下肢の内旋運動(開放連鎖運動)では股関節の内旋運動(角度)と足関節内反運動(角度)は相関し、また股関節内旋可動域とも相関したことから、足部接地瞬間前の足関節内反運動は股関節内旋可動域によって影響を受けることが明らかとなった。

### 研究

本研究の結果、立位での荷重下における下肢の内旋運動(閉鎖連鎖運動)では、表1のごとく足関節底屈位条件で足関節内外反運動(角度)は股関節内旋可動域と相関した。

表1 下肢内旋運動における各測定項目間のpearson相関係数

	股関節		
	外転筋力	内旋可動域	外旋可動域
<b>自然立位</b>			
足関節外反角度	-0.18	-0.34 *	-0.13
足関節内反角度	-0.15	-0.19	-0.13
足関節外転角度	-0.08	-0.16	-0.01
足関節内転角度	-0.07	0.06	0.06
足関節外反モーメント	0.02	-0.06	0.06
足関節内反モーメント	0.06	-0.09	0.06
足関節外転モーメント	-0.07	0.02	0.02
足関節内転モーメント	-0.09	0.09	-0.07
<b>足関節底屈立位</b>			
足関節外反角度	-0.08	-0.27 *	-0.18
足関節内反角度	-0.18	-0.35 *	-0.09
足関節外転角度	0.01	-0.06	-0.04
足関節内転角度	-0.06	-0.06	0.01
足関節外反モーメント	-0.03	0.00	-0.11
足関節内反モーメント	0.00	-0.11	0.12
足関節外転モーメント	0.10	-0.14	0.04
足関節内転モーメント	0.00	-0.04	-0.02
<b>ハーフスクワット位</b>			
足関節外反角度	-0.10	-0.41 **	-0.09
足関節内反角度	-0.11	-0.38 **	-0.05
足関節外転角度	0.00	-0.11	-0.03
足関節内転角度	-0.03	0.04	0.10
足関節外反モーメント	-0.07	0.05	0.22
足関節内反モーメント	0.03	0.04	0.30 *
足関節外転モーメント	-0.05	0.07	0.07
足関節内転モーメント	-0.01	0.04	0.28 *

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

このことから、足部接地瞬間直後の足関節

底屈位での足関節内外反運動は股関節内旋可動域に影響を受けることが示唆された。

### 研究

介入によって股関節内外転筋力と足関節の背屈可動域は有意に大きくなった(図1)。また、片脚反復横跳びでの接地時における足部外内転運動(角度)や足関節外内転モーメントが有意に低下した(表2)。

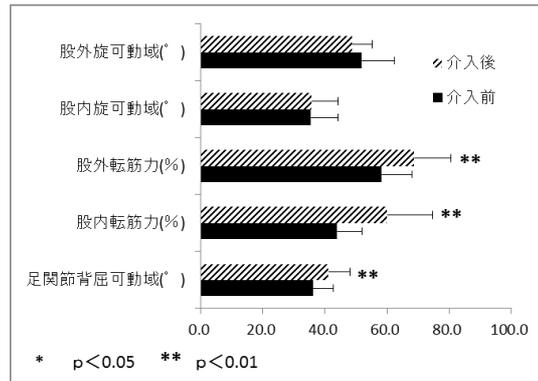


図1 可動域と筋力の介入前後の比較

表2 運動介入前後の比較

	介入前後	
	介入前	介入後
<b>内側方向への横跳び</b>		
足部外内反角度	3.72 ± 7.56	1.30 ± 5.54
足部外内転角度	-11.04 ± 8.80	-6.84 ± 8.15 *
足関節外内反角度	-11.86 ± 5.52	-10.55 ± 5.34
足関節外内転角度	-11.15 ± 7.16	-12.23 ± 6.36
足関節外内反モーメント	-0.01 ± 0.12	-0.02 ± 0.15
足関節外内転モーメント	-0.01 ± 0.02	-0.02 ± 0.02
<b>外側方向への横跳び</b>		
足部外内反角度	0.99 ± 7.19	-1.38 ± 5.30
足部外内転角度	-9.67 ± 8.46	-5.10 ± 7.73 *
足関節外内反角度	-13.53 ± 5.91	-12.25 ± 5.83
足関節外内転角度	-12.49 ± 7.00	-12.95 ± 6.20
足関節外内反モーメント	0.00 ± 0.09	0.00 ± 0.10
足関節外内転モーメント	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.02 *

正の値: 外反、外転 \*: p<0.05

本研究の結果、股関節内外転筋力と足関節の背屈可動域は有意に向上し、片脚反復横跳びでの接地時における足部内外転運動(角度)や足関節外内転モーメントが有意に減少したことから、足部・足関節にかかる内外転方向へストレスが低減されていることが示唆された。すなわち、足関節捻挫予防プログラムの開発には、股関節内外旋可動域を考慮した個別の股関節周筋力トレーニングが必要であると考えられた。

我々の過去の研究では、股関節内外旋可動域の左右差や非対称性が足関節捻挫に影響していることを報告してきた。また、股関節機能がジャンプ着地時の足関節内反捻挫と関連していることも報告してきた。しかし、ジャンプ着地時や方向転換時に股関節と膝関節の回旋運動や股関節周筋力がどのように足関節へのメカニカルストレスに影響し足関節捻挫を引き起こすのかについて明らかにした報告は皆無であった。

足関節捻挫は、水平における回旋ストレスが加わることによって生じている。その回旋

ストレスを引き起こすのは、膝関節と股関節の内外旋運動である。本研究で、股関節の内外旋可動域やそれらをコントロールしている股関節周囲の筋力に着目し足関節運動への影響を明らかにしたことは、従来からの足関節・足部の機能のみに着目したプログラムだけでなく、股関節にも着目したプログラムが必要であることが示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- 1) 伊藤 浩充: 下肢内旋動作における股関節・膝関節・足関節の回旋可動範囲 膝屈曲角度の違いによる影響 臨床バイオメカニクス 査読有 38 : 183-189 2017
- 2) Hiromitsu itoh, Kohei Takiguchi,, Yohei Shibata, Satoshi Okubo, Shinichi Yoshiya, Ryosuke Kuroda : Correlation between hip function and knee kinematics evaluated by three-dimensional motion analysis during lateral and medial side-hopping JPTS 査読有 28 (9):2451-2467 2016

[学会発表](計6件)

- 1) 伊藤浩充、市橋則明、西川仁史、川勝邦浩、鈴木順一、八木範彦: 回転盤上での下肢内旋動作における股関節・膝関節・足関節の回旋可動範囲に及ぼす影響 第 51 回日本理学療法学会 2016 5.27-29 札幌
- 2) 伊藤浩充、市橋則明: 回転盤上での下肢外旋動作における股関節・膝関節・足関節の回旋可動範囲 膝屈曲角度の違いによる影響 第 43 回臨床バイオメカニクス学会 2016 10.8-9 札幌
- 3) 伊藤浩充、瀧口耕平、柴田洋平、大久保吏司、吉矢晋一、黒田良祐、黒坂昌弘: 片脚反復横跳び動作時の切り返し方向の違いと足関節モーメントとの関係 第 50 回日本理学療法学会 2015 6.5-7 東京
- 4) 伊藤浩充、市橋則明: Semi-closed kinetic condition における 下肢内旋運動と下肢関節可動域との関係 第 42 回臨床バイオメカニクス学会 2015 11.13-14 東京
- 5) 伊藤浩充、瀧口耕平、柴田洋平、木田晃弘、黒田良祐、黒坂昌弘: 股関節機能と片脚反復横跳び動作時の下肢関節角度および関節トルクの変化量との関係

第 49 回日本理学療法学会 2014 5.30-6.1 横浜

- 6) 伊藤浩充、吉田昌平: 切り返し動作時の足関節トルク変動量に及ぼす股関節の可動域と筋力 第 69 回日本体力医学会 2014 9.19-21 長崎

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

伊藤 浩充 (ITO, Hiromitsu)  
甲南女子大学・看護リハビリテーション学部・教授  
研究者番号: 40314497

##### (2)研究分担者

市橋 則明 (ICHIHASHI, Noriaki)  
京都大学・医学研究科・教授  
研究者番号: 50203104

##### (3)連携研究者

なし

##### (4)研究協力者

菅 美由紀 (SUGA, Miyuki)  
兵庫県立リハビリテーション中央病院  
佐藤 伸明 (SATO, Nobuaki)  
神戸百年記念病院  
松本 慶吾 (MATSUMOTO, Keigo)  
神戸百年記念病院  
瀧口 耕平 (TAKIGUCHI, Kohei)  
神戸大学病院  
柴田 洋平 (SHIBATA, Yohei)  
神戸大学病院  
安村 明子 (YASUMURA, Akiko)  
神戸総合医療専門学校  
水島 健太郎 (MIZUSHIMA, Kentaro)  
大久保病院