

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：34449

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 年～2012 年

課題番号：22500596

研究課題名（和文） 前十字靭帯不全膝の荷重スポーツ動作における運動解析

研究課題名（英文） Motion analysis of anterior cruciate ligament insufficient knee during sports activities.

研究代表者

佐藤 睦美 (MUTSUMI SATO)

大阪保健医療大学・保健医療学部リハビリテーション学科・講師

研究者番号：40444533

研究成果の概要（和文）：荷重位での膝関節の運動解析を実施し、前十字靭帯不全膝の特徴を明らかにすることを本研究の目的とした。健常膝における両脚と片脚の着地動作を比較すると、片脚では下肢関節の屈曲角度が減少した。跳躍方向による比較では、前方よりも側方跳躍の膝外反モーメントが大きくなったが、側方跳躍の方向（内側・外側）による差を認めなかった。片脚立位での体幹後傾動作を用いて、脛骨大腿関節の前後変位量を測定した結果、健常膝よりも ACL 不全膝の方が大きく、最大後傾位での膝関節屈曲角度にも差を認めた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to identify the characteristics of the anterior cruciate ligament insufficient knee during sports activities using motion analysis. In the single-leg landing, the maximum knee flexion angle was greater than the double-leg landing. During the side drop-jump, the knee valgus moment was greater than the front drop-jump, but there was no difference between the knee valgus moment during the internal side drop-jump and that during the external side drop-jump. Concerning the one leg standing with trunk tilting backward, the A-P translation distance of the femur against the tibia in ACL insufficient knee was greater than the normal knee.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	500,000	150,000	600,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：スポーツバイオメカニクス、前十字靭帯、動作解析

1. 研究開始当初の背景

前十字靭帯 (anterior cruciate ligament : ACL) 損傷はスポーツ活動中に頻発する外傷の一つである。ACL は脛骨の前方移動や内旋を制動しているため、損傷膝では関節不安

定性が生じ、スポーツ活動中の急激な減速や方向転換などの動作で膝崩れ (giving way) を呈し、動作が困難となる。

荷重下での運動における ACL 不全膝の動態については三次元動作解析装置、2D-3D

registration 法、磁気センサー等を用いた解析が報告されている。

三次元動作解析では、全身のランドマークに反射マーカを設置 (whole body marker set; WBM) した解析により、着地動作において男性よりも女性で膝外反が大きくなると諸家が述べている (Malinzak 2003, McLean 2005, Hewett 2005)。WBM では膝の詳細な動態が解析できないため、それを補う手法として大腿と下腿に多数の反射マーカを設置する point cluster technique (PCT) が開発され、ACL 不全膝の歩行解析において遊脚終期の膝関節運動の異常 (Andriacchi 2005) や、遊脚初期の脛骨内旋の増大 (Georgoulis 2003) が報告された。また、跳躍着地後の方向転換では急激で大きな脛骨内旋が生じ、方向転換を伴わない着地よりも膝の外反は大きくなるという報告もある (Nagano 2009)。

MRI を用いた解析ではスクワット動作での脛骨前方移動量の増加や脛骨回旋運動の変化が報告されている (Barrance 2007, Logan 2004)。

CT や MRT から構築した三次元モデルと X 線ビデオ (fluoroscopy) で撮影した二次元の画像を同期させて膝の動態を解析する 2D-3D registration 法は人工関節置換術後の膝を対象とした研究が多く、ACL 不全膝を対象とした解析では pivot 動作での脛骨前方移動の増加を報告しているが、回旋については明らかな特徴は認めなかった (Yamaguchi 2009)。磁気センサーを使用した解析において、pivot shift test における脛骨大腿関節の変位量を定量化することが可能となったが、荷重動作の解析にまでは至っていない。従来行われてきた膝関節動態の解析で得られる情報は膝関節周囲に限定されており、動作姿勢などの運動学的データや力学データが含まれないため、動態解析の結果を考察する際には推察の域を出ない。

2. 研究の目的

- (1) 跳躍着地動作の特徴を明らかにすること。
- (2) 荷重位での ACL 不全膝の脛骨大腿関節の変位量をとらえること。

3. 研究の方法

(1) 跳躍着地動作の解析

健常大学生 10 名 (男性 4 名, 女性 6 名) を対象とし、着地動作の解析を実施した。運動課題は 30cm 台からの drop jump における着地動作とし、両脚前方跳躍、片脚前方跳躍、片脚外側方跳躍、片脚内側方跳躍の 4 つの動作を用いた。

光学式三次元動作解析装置を使用し、Plug in Gait マーカー法を用いて動作を記録した。同時にフォースプレートにて床反力を記録した。

(2) 荷重位における ACL 不全膝の脛骨大腿関節変位量の計測

対象は片側 ACL 単独損傷の女性患者 3 名とし、患側 (ACL 不全膝) と健側 (健常膝) の両側を被験肢とした。

被験者の下肢 CT を非荷重静止位にて撮影し、取得された全ての CT 画像に対して大腿骨、脛骨、腓骨部を閾値処理により領域分割した後に、各部位の表面形状モデルからマーチンキューブアルゴリズムを用いて 3D モデルを作成した。

後述する荷重下での動作を、矢状面から X 線透視装置を用いて、1024 × 1024 × 12 ビット/ピクセル、DICOM ファイル形式で 7.5 Hz の条件で記録した。

運動課題は片脚立位での体幹後傾姿勢保持とし、a. 下腿制動なし、b. 下腿制動ありの 2 条件で測定を実施した (図 1)。対側の下肢は

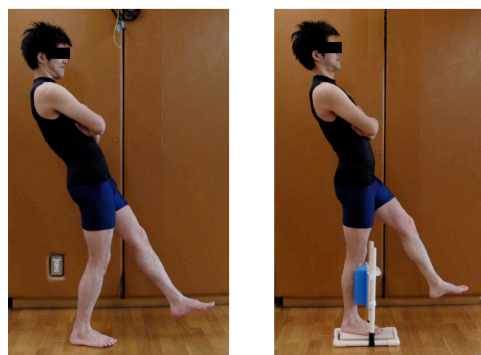


図 1 動作課題

下垂位で膝を屈曲した状態で体幹を後傾し、最大後傾位では下肢を前方に伸展して姿勢を保持するよう指示した。下腿の前傾制動には自作の機器を用いた (図 2)。

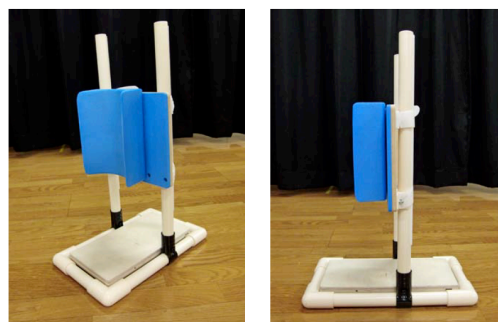


図 2 下腿前傾制動装置(自作)

CTより作成した3DモデルとX線透視画像のマッチングにはソフトウェア Vtk sample を使用し、前後方向をX軸、垂直方向をY軸、内外側方向をZ軸と規定した。

マッチングの後、各動作課題における脛骨に対する大腿骨の前後方向における並進移動量および膝関節屈曲角度、脛骨の前傾角度を求めた。

4. 研究成果

(1) 跳躍着地動作の解析

着地動作の特徴を捉えるために、健常者を対象にドロップジャンプにおける着地動作を解析した。両脚と片脚の着地動作を比較すると、片脚では下肢関節の屈曲角度が減少し(表1)、床反力が最大値を示すまでの時間が短縮した。このことより、両下肢での着地動作の方が衝撃吸収に優れた柔軟な着地となっていたと考えられた。

表1 着地動作における下肢関節屈曲角度

	[deg.]	
	両脚着地	片脚着地
股関節	62.1±19.9	55.9±19.9
膝関節	70.5±11.5	56.2±11.6
足関節	34.9± 0.9	32.8± 3.7

片脚での跳躍方向を前方と側方(内・外側方向)に分けて比較すると、内・外側ともに側方跳躍のほうが前方跳躍よりも膝の外反モーメントが大きくなったが、内側・外側跳躍間に差は認めなかった。体幹の進行方向への加速度を制動するために、矢状面上での運動も制動された影響と推察された。

以上の着地動作の解析は、ACL不全膝の着地動作を検証する際の基礎データとなる。

(2) 荷重位における ACL 不全膝の脛骨大腿関節変位量の計測

立位での体幹後傾動作における ACL 不全膝の動態を、2D/3D registration 法を用いて検証した。体幹後傾動作によって、大腿骨の脛骨に対する後方移動を認め、移動量は ACL 不全膝が健常膝よりも大きかった。

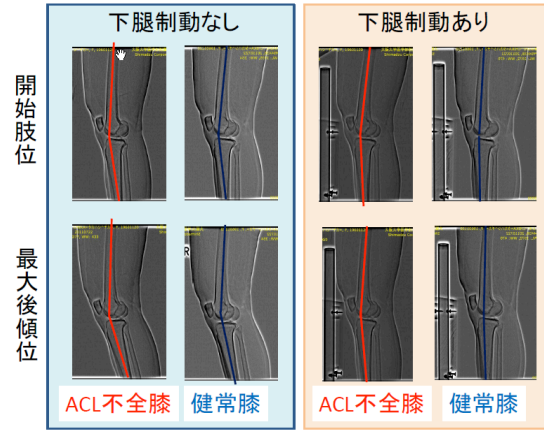
表2 脛骨に対する大腿骨の後方移動量

被験者	下腿制動なし		下腿制動あり	
	不全膝	健常膝	不全膝	健常膝
A	26.96	0.52	20.73	2.78
B	11.10	0.23	1.42	0.73
C	12.56	0.89	11.03	1.50

正の値は後方移動を示す。

立位での体幹後傾動作では、膝の屈曲運動が同期して生じるが、屈曲角度は ACL 不全膝の方が大きくなった。また、下腿の前傾を制限した体幹後傾動作では、脛骨高原の後傾が ACL 不全膝で小さくなった(図3)。

図3 各姿勢におけるアライメント



以上のことから、下腿(脛骨)前傾および後傾角度の減少によって膝関節の前方剪断力を軽減させる戦略が働いていることが示唆された。本研究により、ACL不全膝の荷重動作での脛骨大腿関節の変位を示すことができた。

今回用いた課題は片脚起立での体幹後傾運動であったため、今後は着地動作などのさらに動的な課題を導入し検証を加えていく必要がある。

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 杉山 恭二, 木村 佳記, 佐藤 睦美, 小柳好生, 小笠原 一生, 松尾 知彦, 前 達雄, 北 圭介, 中田 研: 動的バランス評価方法の提案 片脚 drop jump 着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性. スポーツ傷害 17: 40-42, 2012.

② 杉山 恭二, 木村 佳記, 高木 啓至, 鎌田 理之, 佐藤 睦美, 井上 悟, 前 達雄, 北 圭介, 中田 研: 動的バランス評価方法の検討 片脚 drop jump における重心動揺総軌跡長の再現性と有用性. 関西臨床スポーツ医・科学研学会誌 21: 33-35, 2012.

[学会発表] (計3件)

① 佐藤 睦美, 中村 憲正: Point Cluster Technique の精度検証~2D-3D registration 法を用いた検証の計画, 第2回ポイントクラ

スターミーティング，函館市，2010.10.4.
②小柳好生，小笠原一生，杉山恭二，木村佳記，佐藤睦美，中田研：パフォーマンスレベルと動的運動能力との関連性．第66回日本体力医学会大会，下関市，2011.9.16.
③杉山恭二，木村佳記，佐藤睦美，前達雄，北圭介，中田研：動的バランス評価方法の検討 片脚 drop jump 着地動作における重心動揺軌跡長と再現性，第22回日本臨床スポーツ医学会，青森市，2011.11.5.

〔図書〕(計3件)

①佐藤睦美，前達雄：復帰を目指すスポーツ整形外科．種目別スポーツ整形外科の診断・治療-ラグビー・アメリカンフットボール TOPICS ラグビー・フットボールにおけるBTBとSTGのリハビリテーション，484-485，メジカルビュー社，2011.
②佐藤睦美：前十字靭帯損傷，PT 臨床実習ルートマップ．114-121，メジカルビュー社，2011.
③佐藤睦美：荷重位での姿勢変化が前十字靭帯不全膝に及ぼす影響．大阪電気通信大学医療福祉工学部博士論文，56ページ，2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 睦美 (SATO MUTSUMI)
大阪保健医療大学・保健医療学部・講師
研究者番号：40444533

(2) 研究分担者

中田 研 (NAKATA KEN)
大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・講師
研究者番号：00283747

前 達雄 (MAE TATSUO)
大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・助教
研究者番号：10569734

富田 哲也 (TOMITA TETSUYA)
大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号：30283766

菅本 一臣 (SUGAMOTO KAZUOMI)
大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号：40294061

中村 憲正 (NAKAMURA NORMASA)
大阪大学・学内共同施設等・教授
研究者番号：50273719

境 隆弘 (SAKAI TAKAHIRO)
大阪保健医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号：60353009

小柳 磨毅 (KOYANAGI MAKI)
大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授
研究者番号：20269848 (H22-23)

名倉 武雄 (NAGURA TAKEO)
慶應義塾大学・医学部・講師
研究者番号：90306746

(3) 連携研究者

福林 徹 (FUKUBAYASHI TORU)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授
研究者番号：70114626