

< 研究ノート >

## 成長期トップアスリートにおける膝関節機能と障害の関係 — 中学校・高等学校女子サッカー選手を対象として —

### Relationship Between Function and Injury of Knee Joint in the Adolescent Top-Level Athletes: The Case of Junior and Senior High School Female Soccer Players

栗田泰成<sup>1</sup>, 中井 聖<sup>2</sup>, 村本名史<sup>3</sup>, 塚本敏也<sup>1</sup>, 加藤倫卓<sup>1</sup>, 平野幸伸<sup>1</sup>

Yasunari KURITA, Akira NAKAI, Morifumi MURAMOTO, Toshiya TSUKAMOTO, Michitaka KATO, Yukinobu HIRANO

1 常葉大学健康科学部静岡理学療法学科

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Tokoha University

2 静岡福祉大学社会福祉学部健康福祉学科

Department of Health and Welfare, Faculty of Social Welfare, Shizuoka University of Welfare

3 常葉大学経営学部経営学科

Department of Business Administration, Faculty of Business Administration, Tokoha University

#### 【要 旨】

本研究では、The 11+ から選択した種目を用いたトレーニング介入が膝関節のスポーツ障害を低減させる効果を有すると仮説を立て、その検証の第1段階として、成長期女子サッカー選手を対象に膝関節障害を誘発するであろう knee-in の膝関節回旋（いわゆる、大腿に対する下腿の相対的な回旋）を引き起こす要因について検討する。全国大会に出場経験のある中学校あるいは高等学校女子サッカー選手を対象として、属性の調査や形態測定、下肢の関節可動域、筋力および柔軟性測定、アライメント測定を実施する。さらにドロップジャンプ時の動作を高速度撮影し、3次元動作解析により各下肢関節角度と膝関節の回旋角度を算出し、それらの関係について検討する。股関節筋群と下腿三頭筋の筋力が knee-in 防止に対する重要な因子となり、膝関節スポーツ障害の既往歴がある選手は膝関節回旋角度が増大することが結果として予想される。

---

Key Words : 動作解析, 膝関節回旋角度, ドロップジャンプ

#### 1. はじめに

総務省統計局の調査によると、日本におけるサッカー人口は増加傾向にあり<sup>1)</sup>、中でも女子サッカーにおいては、日本女子代表が国際サッカー連盟（以下、FIFA）ワールドカップやオリンピックで好成績を収めていることもあり、若年層の選手が増加している<sup>2)</sup>。このようなサッカー人口の増加に伴い、

スポーツ障害も増加することが予測される<sup>2)</sup>。スポーツによる障害は1件当たりの医療費が150アメリカドルとなるとの報告もあり<sup>3)</sup>、経済学的な側面からも障害予防が重要であると考えられる。van Mechelen et al. は、障害予防のプロセスとして、①障害の問題状況を認識する、②障害の原因とメカニズムを明らかにする、③予防介入を実施する、

④効果検証として①を繰り返す，という4段階のプロセスを提唱しており<sup>4)</sup>，効果的な障害予防を促す介入や予防策とするためには，このプロセスに基づき検討することが有効であると考えられる。

大東らは，日本女子サッカーリーグに所属する選手の165件の外傷・障害のうち，足関節での発症が35.8%，膝関節での発症が22.7%，大腿部での発症が9.2%であったと報告しており<sup>5)</sup>，最も多数を占めた足関節では捻挫，膝関節では膝前十字靭帯（anterior cruciate ligament : ACL）断裂，大腿部では肉離れが最も多い外傷・障害とされている。女子サッカーにおけるACL損傷の発生率は男子選手の2～3倍で，中には9倍以上との報告もある<sup>6-8)</sup>。女子サッカー選手における膝関節障害は注目に値する。高校女子サッカー選手においてもACL損傷発生率が男子選手と比べて多いと報告されている<sup>9)</sup>。女性にACL損傷発生率が多い要因としては，膝関節の過伸展，脛骨の前後移動量の左右差，BMI高値という体組成<sup>10, 11)</sup>，月経周期の卵胞期との関係<sup>12)</sup>，内側縦アーチの低下，Q-angleの増大<sup>13)</sup>などが挙げられる。よって，高校女子サッカー選手における障害を考える上では，特に膝関節障害に注目するべきであろう。

ACL損傷は靭帯再建術を要するケースが多く，スポーツ障害の中でも重篤な障害とされる<sup>14, 15)</sup>。その発生については，筋力や関節可動域（range of motion : ROM）の制限，柔軟性，足関節捻挫などの既往歴が関係するとされている<sup>16-18)</sup>。近年，ACL損傷受傷時の映像から2次元的に動作解析することが行われており，ACL損傷時に多い下肢アライメントは膝関節の外反および軽度屈曲，下腿の内旋および外旋であり，knee-inが代表的な肢位とされている<sup>16, 19-21)</sup>。さらに古賀らは，3次元動作分析により，膝関節外反に伴って外側コンパートメントの圧迫力が増し，膝関節の内旋，脛骨の前方移動が起こりACL損傷が生じている可能性を指摘している<sup>22)</sup>。また，Hewett et al. は，3次元動作解析からACL損傷リスクのスクリーニングとしてジャンプ着地時の膝関節外反角度の測定が有効であることを示している<sup>23)</sup>。ジャンプ着地時に

は，着地時の荷重により膝関節の外反と大腿に対して下腿が回旋するknee-inが誘導される。よって，knee-inでは膝関節内に生じる回旋に起因し，ACLを主とする靭帯やその他結合組織に剪断力が加わることが予想される。

成長期のスポーツ選手は，成長期特有の身体特性とオーバーユースが大きく影響し，スポーツ障害の発生率が高い年代であるとされている<sup>24)</sup>。これは骨成長が先行する第2次性徴期の身体的特性による関節負荷の増大に加え，サッカーではキック動作やカッティング動作，コンタクトなどの負荷によりスポーツ障害が多く発生すると考えられる。成長期のスポーツ障害は競技成績の低下だけでなく，選手として活躍できる期間を短縮させてしまうことにもなる。したがって，成長期のトップアスリートを健全に育成するためには，スポーツ障害に対する方策を実施する必要がある。

近年，FIFAおよび日本サッカー協会（以下，JFA）は，ACL損傷を中心とした選手のスポーツ障害の低減と予防，健康管理といった医学的方策を取り入れたトレーニング方法であるThe 11+（図1）の普及に努めている<sup>25, 26)</sup>。The 11+は，

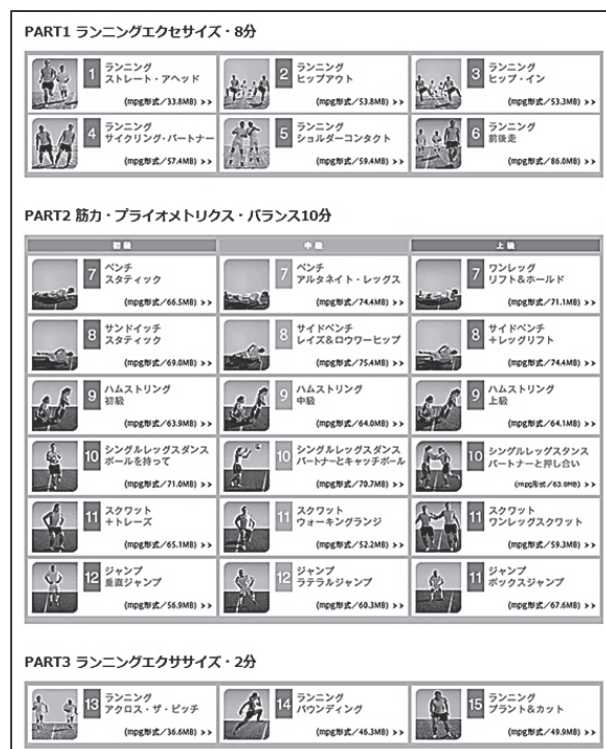


図1 The 11+<sup>25)</sup>

国際サッカー連盟医学委員会傘下の FIFA Medical Assessment and Research Centre (F-MARC) が作成した外傷・障害予防のウォームアッププログラムで、外傷全体の発生数、腱のオーバーユースや障害、ACL 損傷が低減するとされている<sup>27-30)</sup>。しかし、これらの研究のほとんどは、プログラム介入による効果を示しただけに留まり、筋力や柔軟性などの身体運動機能の変化と動作の関連について因果関係の検討が十分にされていない。

以上のことから、成長期の女子サッカー選手を対象とし、障害が多く発生する膝関節を中心とした身体運動機能および動作の測定を行い、膝関節障害を誘発すると予想される knee-in との関連について検討することとする。

## 2. 方法

### 2.1. 対象

本研究では、全国大会に出場経験のある中学校女子サッカー選手 30 名、高等学校女子サッカー選手 27 名（計 57 名）を対象とする予定である。本研究は常葉大学倫理委員会の研究倫理審査により承認を得て、対象者、監督および保護者に本研究の目的および方法、予想される影響について詳細に説明し、同意を得て実施する。なお、本研究は平成 27 年度常葉大学共同研究費「成長期トップアスリートにおけるスポーツ障害予防—中学校・高等学校女子サッカー選手の縦断的研究—」の補助を受けて実施するものである。

### 2.2. 測定項目

#### a. 属性調査および形態測定

身長を身長計（101-703, sanwa 社製）、体重および体脂肪率を体組成計（BC-621, TANITA 社製）にて測定する。質問紙を用いて、年齢、蹴り足と軸足、競技歴、スポーツ障害歴（障害名、受傷部位、受傷年齢、受傷機転、再受傷の有無、手術歴）について調査する。

表 1 ROM 測定における対象部位と運動方向

対象部位	運動方向
股関節	屈曲
	伸展
	内転
	外転
	内旋
	外旋
膝関節伸展位下肢挙上 (straight leg raising : SLR)	

#### b. ROM 測定

日本整形外科学会および日本リハビリテーション医学会が制定した ROM 表示ならびに測定法<sup>31)</sup>を基に、対象部位両側の運動方向に対する他動的 ROM（表 1）をデジタルプロトラクター（62496, シンワ測定社製）にて測定する。なお、股関節内外旋に関しては、着地動作やキック動作の支持脚に障害が多く発生するため、JFA で用いられている筋タイトネステスト<sup>32)</sup>を参考とした測定肢位である股関節伸展位で測定する。

#### c. 柔軟性測定（図 2）

JFA で用いられている筋タイトネステストの方法<sup>32)</sup>を参考に、両側の①大腿四頭筋、②ハムストリングス、③下腿三頭筋について代償運動のない最大他動的 ROM をデジタルカメラ（5045B004, Canon 社製）で撮影する。その際、カメラはカメラレンズ中心に対して対象関節軸が平行かつ正面になるよう設置し、大転子、大腿骨外側上顆、外果、第 5 中足骨頭に球状マーカーを貼付して撮影を行う。得られた映像から静止画像を抽出し画像処理ソフトウェア（Image J, 米国国立衛生研究所）を用いて ROM ( $\theta$ ) を算出する。また、徒手筋力計（モービィ, 酒井医療社製）を使用して対象測定肢位の最大 ROM で出現する反発力を測定する（図 2）。関節中心から体表面までの距離 ( $r$ ) をデジタルノギス

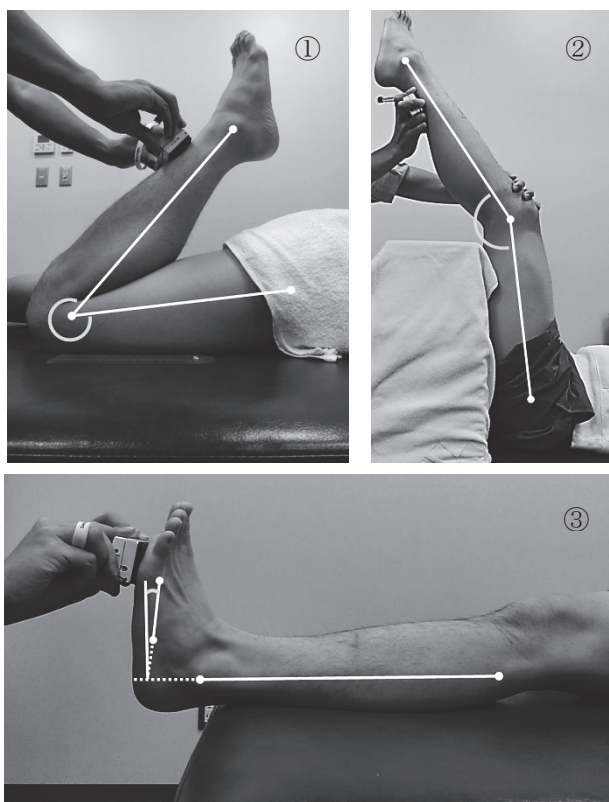
(19975, シンワ測定社製) にて測定し, 伸長される体表面の距離 (円弧長:  $l$ ) を式 (1) により算出する.

$$l = r \theta \quad (1)$$

d. 筋力測定

多用途筋機能評価運動装置 (Biodex System3, BIODEX 社製) を使用し, 表 2 に示した対象筋群の等速性筋力を測定する<sup>33, 34)</sup>. その際の各関節の動作速度は, 60 deg/sec あるいは 180 deg/sec とし, 各角速度におけるピークトルク (Nm) を体重 (kg) で除することで体重比 (Nm/kg) を求めるとともに, 各角速度における各関節の主動筋のピークトルクを拮抗筋のピークトルクで除した割合 (%) を算出して, 等速性筋力を評価する.

e. 動作解析および膝関節アライメント測定



①大腿四頭筋, ②ハムストリングス, ③下腿三頭筋

図 2 柔軟性測定

表 2 筋力測定における対象部位・運動方向と筋群

対象部位・運動方向	筋群 (筋)
股関節・屈曲	腸腰筋, 大腿直筋
伸展	大殿筋, ハムストリングス
外転	中・小殿筋, 大腿筋膜張筋
内転	股関節内転筋群
膝関節・屈曲	ハムストリングス
伸展	大腿四頭筋
足関節・底屈	下腿三頭筋
背屈	前脛骨筋

本研究では, ACL 損傷の発生率が高いジャンプ着地時や動作の切り替え時を想定し, ドロップジャンプ (以下, DJ) を課題動作として選択する. そして, DJ 着地時の各関節角度および大腿に対する下腿の相対的な回旋角度 (以下, 膝関節回旋角度) を測定する. DJ は, Noyes et al. によって示された Drop-Jump Screening Test<sup>35)</sup> を参考に実施する. 高さ 30 cm の台から前方に飛び降り, 床面に着地した直後に最大跳躍させる. 跳躍動作時の上肢による付加動作を制限するため, 手を腰部にあてた状態での試行とする. 着地後の跳躍については, 事前に最大努力で行うよう口頭にて指示を与える. なお, DJ 測定は先行研究<sup>36)</sup> にならい十分な練習を行った後, 疲労の影響が及ばないように配慮して試行間に休息時間を設定し, 3 回試行する.

DJ 時の関節角度や関節運動が切り換わる時点, ジャンプ高を計測するために, 対象者の両側の肩峰, 上前腸骨棘 (Anterior Superior Iliac Spine: ASIS), 上後腸骨棘 (Posterior Superior Iliac Spine: PSIS), 大腿骨大転子 (大転子), 大腿骨外側上顆, 外果, 第 5 中足骨頭の各部位に球状マーカーを貼付するのに加え, 膝関節回旋角度の算出のために大腿骨内側上顆, 脛骨内・外側顆, 内果にマーカーを貼付する. なお, マーカー貼付は経験のある同一験者が行うこととする. マーカーを貼付した対象者の DJ 時の動作を, 貼付したお

よそのマーカーが見えるように設置して時間同期させたハイスピードカメラ (スポーツコーティングカム GC-LJ20B, JVC 社製) 4 台を使用して撮影速度 240 fps, シャッター速度 1/1000 sec で撮影する。

台から飛び降りて着地した際の膝関節が最大屈曲した肢位を分析肢位とする。撮影画像の分析は 3 次元動作解析ソフト (Frame Dias V, DKH 社製) を用いて行う。撮影映像における各マーカーの 2 次元座標値を 1 フレームずつ手動で取得した後, DLT 法 (Direct Linear Transformation Method)<sup>37)</sup> により各マーカーの 3 次元座標値を算出し, 体幹前後傾, 骨盤傾斜, 股関節屈曲, 膝関節屈曲および回旋, 足関節背屈の各角度を算出する。この際, 体幹前後傾角度は左右肩峰中点と左右の ASIS と PSIS の中点を結ぶ線分と鉛直上方向への線分のなす角度とし, 骨盤傾斜角度は左右の ASIS と PSIS の中点を結ぶ線分と水平面のなす角度とする。股関節屈曲角度は ASIS と PSIS との中点と大転子を結ぶ線分と大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線分のなす角度, 膝関節屈曲角度は大転子と膝関節裂隙を結ぶ線分と膝関節裂隙と外果を結ぶ線分がなす角度とする。また, 膝関節回旋角度については, 大腿骨外側上顆と内側上顆を結ぶ線分と内果と外果を結ぶ線分がなす角度, 足関節背屈角度は腓骨頭と外果を結ぶ線分と外果と第 5 中足骨頭を結ぶ線分がなす角度とする。なお, 各関節角度は立位静止時の角度を 0 度として値を補正する。

女性に ACL 損傷が多い理由の一つとして, 男性との間に膝関節のアライメントの違いがあるとされている<sup>38)</sup>。また, スポーツ活動時には女性の膝関節の外反角度は男性の外反角度に比べて大きいことが報告されている<sup>39, 40)</sup>。よって, 本研究では, 膝関節のアライメントを測定するため, 前述した撮影条件を用いて立位で静止した際の下肢の肢位を撮影する。そして, 得られた各マーカーの 2 次元座標

値から 3 次元座標値を求め, 立位静止時の膝関節外反角度を算出する。

### 2.3. 統計処理

DJ 時の関節角度および膝関節回旋角度, 下肢柔軟性, 下肢筋力, 膝関節アライメントについて, 各測定値間の関連を Pearson の積率相関係数を用いて検討する。統計解析には統計処理ソフト (SPSS23.0 for Windows, IBM 社製) を使用し, 危険率は 5% 未満とする。

### 3. 予想される結果

膝関節の回旋を誘発する knee-in を防止するためには, 腸腰筋と大殿筋, 中・小殿筋, 大腿筋膜張筋を中心とする股関節筋群と下腿三頭筋の筋力が重要な因子となることが予想される。さらに膝関節にスポーツ障害の既往歴を認める選手ほど, DJ 時の膝関節回旋角度が増大することが予想される。

この結果に基づき The 11 + の中で関連すると思われるトレーニングを選択し, トレーニング介入を行った結果を本研究の第 2 段階とする予定である。

### 引用文献

- 1) 総務省統計局:「637万5千人—我が国の「サッカー人口」」。話題の数字, 13, 2014
- 2) 黒田早苗:女子サッカー, 第27回トップメディカルドクターにきく。運動器疾患と炎症 10-2, 56~62, 2012
- 3) Inklaar H: Soccer injuries. II: Aetiology and prevention. Sports Med 18-2: 81~93, 1994
- 4) van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC: Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. Sports Med 14-2: 82~99, 1992
- 5) 大東亜衣, 山本利春, 瀬戸口芳正, 他: Lリーグ所属女子サッカー選手におけるスポーツ傷害の対応に関する実態調査。臨床スポーツ医

- 学 25, 73~76, 2008
- 6) Waldén M, Hägglund M, Werner J: The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19-1: 3~10, 2011
  - 7) Agel J, Arendt EA, Bershadsky B: Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med* 33-4: 524~530, 2005
  - 8) Parkkari J, Pasanen K, Mattila VM, et al: The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46500 people with a 9 year follow-up. *Br J Sports Med* 42-6: 422~426, 2008
  - 9) Michel LJ, Metzl JD, Di Canzio J, et al: Anterior cruciate ligament reconstructive surgery in adolescent soccer and basketball players. *Clin J Sport Med* 9-3: 138~141, 1999
  - 10) Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, et al: Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets. *Am J Sports Med* 31-6: 831~842, 2003
  - 11) Myer GD, Ford KR, Paterno MV, et al: The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. *Am J Sports Med* 36-6: 1073~1080, 2008
  - 12) Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD: Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review. *Am J Sports Med* 35-4: 659~668, 2007
  - 13) Beutler A, de la Motte S, Marshall S, et al: Muscle strength and qualitative jump-landing differences in male and female military cadets: the Jump-ACL study. *J Sports Sci Med* 8: 663~671, 2009
  - 14) Arbes S, Resinger C, Vécsei V, et al: The functional outcome of total tears of the anterior cruciate ligament (ACL) in the skeletally immature patient. *Int Orthop* 31-4: 471~475, 2007
  - 15) 小笠原一生, 宮川俊平, 朴 時英: 片脚着地動作における着地姿勢が膝外反モーメントに与える効果の静力学的検討—膝前十字靭帯損傷のリスクを高める動作の同定—. *体力科学* 59, 485~494, 2010
  - 16) Boden BP, Dean GS, Feagin JA, et al: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23-6: 573~578, 2000
  - 17) Loudon JK, Jenkins W, Loudon KL: The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *Orthop Sports Phys Thec* 24-2: 91~97, 1996
  - 18) Kramer LC, Denegar CR, Buckley WE, Hertel J: Factors associated with anterior cruciate ligament injury: history in female athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 47-4: 446~454, 2007
  - 19) 金子 聡, 佐々木正吾, 永野康治, 他: ビデオ映像を用いた ACL 損傷リスクに関連した動作の評価方法についての検討. *臨床バイオメカニクス* 1-35, 291~296, 2014
  - 20) 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
  - 21) Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, et al: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball 11: video analysis of 39 cases. *Am J Sport Med* 35-3: 359~367, 2007
  - 22) 古賀 秀之: Model-based image-matching technique を用いた動作解析. *Jpn J Rehabil Med* 49-6, 270~274, 2012

- 23) 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
- 24) 奥脇 透, 小倉 雅: いわゆる肉離れの臨床. *整形・災害外科* 42, 639~648, 1999
- 25) 国際サッカー連盟: FIFA 医学評価研究センター (F-MARC) サッカー医学マニュアル第1版. 大島襄(監訳), 113~121, サンメッセ(株), 東京, 2007
- 26) 中堀千香子: コーチとプレーヤーのためのサッカー医学テキスト. 財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会 (編), 98~105, 金原出版, 東京, 2011
- 27) Soligard T, Myklebust G, Steffen K, et al: Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 337: a2469, 2008
- 28) Soligard T, Nilstad A, Steffen K, et al: Compliance with a comprehensive warm-up programme to prevent injuries in youth football. *Br J Sports Med* 44: 787~793, 2010
- 29) Junge A, Lamprecht M, Stamm H, et al: Countrywide campaign to prevent soccer injuries in Swiss amateur players. *Am J Sports Med* 39-1: 57~63, 2011
- 30) Barengo NC, Meneses-Echávez JF, Ramírez-Vélez R, et al: The impact of the FIFA 11+ training program on injury prevention in football players: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 11-11: 11986~12000, 2014
- 31) 中村隆一, 齊藤 宏, 長崎 浩: 関節可動域表示ならびに測定法. *基礎運動学* 第6版, 536~543, 医歯薬出版株式会社, 東京, 2013
- 32) 森川嗣夫: 選手と指導者のためのサッカー医学. 財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会 (編), 78, 金原出版, 東京, 2011
- 33) Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, et al: Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol* 91-1: 22~29, 2004
- 34) Zawadzki J, Bober T, Siemienski A: Validity analysis of the Biodex system 3 dynamometer under static and isokinetic conditions. *Acta Bioeng Biomech* 12-4: 25~32, 2010
- 35) Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, et al: The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med* 33-2: 197~207, 2005
- 36) 能 由美, 今村詮太郎, 他: 長崎県高校女子バスケットボール選手におけるドロップジャンプ時の下肢アライメントの特徴. *九州・山ロスポーツ医・科学研究会誌*, 20: 111~117, 2008
- 37) 江原義弘, 山本澄子: DLT (Direct Linear Transformation)法, 臨床歩行脛側入門 第1版. 臨床歩行分析研究会 (監修), 144~145, 医歯薬出版株式会社, 東京, 2011
- 38) 松村将司, 宇佐英幸, 小川大輔, 他: 若年健康者の骨盤と下肢の姿勢分類—アライメント・関節可動域・筋力との関連—. *日本保健科学学会誌* 16-1, 29~37, 2013
- 39) Malinzak RA, Colby SM, Kirkendall DT, et al: A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech* 16-5: 438~445, 2001
- 40) 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: 359~367, 2007

