

片脚ランディング時における下肢の力学的負荷の左右差：

発生メカニズムの解明とトレーニング戦略の確立

九鬼 靖太

大阪経済大学 人間科学部

Abstract

The purpose of the present study was (1) the difference of kinetic variables during single leg landing with varying the angle of trunk and (2) clarify the magnitude of the asymmetry in kinetic variables during single leg landing. In this paper, it was mainly focused on ground reaction force during single leg landing as a predictor of kinetics variable. It was also suggested an exercise to prevent injured associated with single leg landing. Six women collegiate athletes, who were belong with women handball, volleyball soccer teams, were volunteered in experiments. The participants performed single leg landing from 0.3m height as well as single leg counter movement jump and isometric mid-thigh pull. It was instructed for the landings regarding with trunk angle; lean forward landing, normal landing and upright landing. As a variables of ground reaction force, the peak force normalized body mass (PF/BM) and time to peak force from onset of landing and rate of force development multiplying PF/BF and time to peak force were calculated for further analysis. The definition of dominance/non-dominance leg was bellow; stronger side in peak force in IMTP is dominant side, vice versa. As a result of the 1-way ANOVA, upright landing was

significantly higher than forward landing in PF/BM and RFD, while time to peak force was significantly shorter in upright landing. All of the asymmetry index in RFD were much higher than a criterion demonstrated by a previous study. Those results showed that the injury risk during upright landing would be considerably higher. As for injury prevention, it is suggested an exercise to produce high force with quite short time duration.

1. 緒言

トップアスリートを含む多くの女性アスリートが片脚ランディング時に前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament : ACL) を損傷しており, 膝関節の靭帯に関する傷害は我が国の女性アスリートの競技力向上を妨げる大きな要因の一つであると考えられる. ACL 損傷は特に女性選手に多く発生することが報告されており, (成田ほか, 2001; Spindler et al., 2008), 男性選手よりもその受傷率は 2~8 倍程度も高くなる (Hewett et al., 2006). 女性の ACL の受傷率が高い理由として, 女性は前額面上における大腿骨の Q アングルが大きいことや (清水ほか, 2002), 大腿部後面の筋に比べて大腿部前面の筋を優先的に活動させる傾向にあることなどが挙げられており (Withrow et al., 2008; 大見, 2014), ランディング時に誘発する ACL 損傷を予防するためのトレーニングが重要であると言える.

近年, ランディングに関する研究で, Shimokochi et al. (2013) は着地時の体幹における矢状面上の角度を変えることで, キネティクス変数が異なることを報告している. その研究では, 着地時に体幹を前傾することによって, ACL 損傷のリスクを軽減することができ, 逆に体幹が直立した姿勢で着地すると ACL 損傷のリスクが高める可能性を報告している. 一方, ACL 損傷後か

ら競技復帰のタイミングにある対象者に対して、ランディング中の健側-患側差を検討した研究では、大腿四頭筋の筋力の健側-患側差が大きい対象者が、ランディング時での差も大きく、ACL再受傷の危険性が高いと述べられている (Schmitt et al., 2015)。しかしながら、ランディング中における健側-患側差や優位-非優位脚差と筋力との関係については未だ研究が進められていない。

一方、筋力の評価法については、これまでの研究で単関節での筋力測定やパワー発揮能力の測定がされて来たが、近年、下肢の力発揮能力を詳細に評価するテスト方法として、アイソメトリックミッドサイプル (isometric mid-thigh pull: IMTP) が普及しており、様々な運動パフォーマンスとの関係性が報告されている。Beattie et al. (2016) は、IMTP で評価される最大筋力がドロップジャンプの遂行能力に及ぼす影響について検討した。その結果、ドロップジャンプの遂行能力が高い群は低い群に比べて、IMTP における最大筋力が有意に高いことが示され、最大筋力がドロップジャンプの遂行能力に影響を及ぼしていると結論づけられている。また、Kawamori et al. (2006) は、IMTP で評価される最大筋力とかウンタームーブメントジャンプ (Counter Movement Jump : CMJ) の跳躍高との関係について検討した。その結果、IMTP で発揮された最大筋力は、CMJ 跳躍高と有意な相関関係にあることが認められたと報告している。したがって、IMTP がドロップジャンプの遂行能力や CMJ の跳躍高など各種跳躍能力と関係しており、ランディング時における優位-非優位脚差に関連した筋力として評価することができる可能性がある。

そこで、本研究では (1) 片脚ランディング時の体幹の姿勢を変化させた際の力学的負荷の違い、および (2) 片脚ランディング時のキネティクス変数における左右差の大きさを明らかにすることを目的とした。なお、本報告書では、主に地面反力に着目して上記の目的に応じて論を展開

開するとともに、トレーニング学的観点からランディング時に誘発される傷害の予防を目的としたトレーニング例についても言及することとする。

2. 方法

2.1. 対象者

本研究では、6名の女子学生を対象とした（年齢： 19.67 ± 0.82 year, 身長： 164.68 ± 9.25 cm, 体重： 59.85 ± 4.82 kg）。対象者は、大学のハンドボール部、バレー部およびサッカー部に所属する現役競技者であった。測定時には、下肢を含む全ての身体に傷害を有しておらず、実験試技を傷害の影響なく遂行できることを口頭で確認した。

測定に先立って、対象者には本研究の目的や実施内容を口頭および書面にて説明し、同意が得られる場合には同意書による署名で本研究に参加する意思を確認した。その際に、この参加は強制ではなく自由意志によるものであること、同意後であっても研究への参加をいつでも取りやめることができること、研究への不参加によって一切の不利益を被ることがない旨を説明した。

2.2. 実験試技と測定方法

本研究における実験は2日間にわたって行われた。1日目は、0.3mの台高からの片脚ランディングを行わせ、2日目にはCMJおよびIMTPを行わせた。いずれの測定でも、試技の開始に先立って10分間の一般的なウォーミングアップを行わせた。

ランディングの試技は、0.3mの台高から片足で着地し、着地後2秒間静止することとした。対象者は、着地足の逆側の足で台の上に立ち、着地足を前に出して、そのまま台高から降りて着

地を行わせた。腕のスイングによる影響を除去するために、胸の前で手をクロスするように指示した。ランディングは3つの条件は Shimokochi et al. (2013) を参考に、体幹を前傾させた姿勢での着地 (Forward lean Landing : FL), 体幹を垂直に起こした姿勢での着地 (Upright Landing) および体幹に対する指示を行わない着地 (Normal Landing : NL) をそれぞれ左右脚で行なった (図1)。順序による影響を除去するために、対象者ごとに左右脚および条件をランダムに組み合わせ、順序による影響を除去した。対象者は、それぞれの姿勢でのランディングに習熟するために、ウォーミングアップの後に全ての条件を3回ずつ練習した。台はフォースプレートから 0.1m 離して設置し、対象者が過度に台から飛び降りたり、着地後 2 秒間の姿勢保持ができなかったりした場合は失敗試技とみなした。それぞれの条件で成功試技を 3 回行わせ、対象者が最も安定して着地できた試技を分析対象試技として採用した。

<図1の挿入>

CMJ および IMTP に関しては、いずれも片脚支持で試技を行わせた。CMJ では、腰に手を当てた姿勢で、遊脚に関する指示は行わなかった。3 回ずつ左右脚で試技を行わせ、それぞれの脚で最も跳躍高が高かった試技を分析対象試技とした。また IMTP の測定は、Kuki et al. (2019) の方法に準拠し、固定されたバーの高さが可変できる特製のスクワットラックを用いて行われた。対象者は、膝関節が 120° の角度で体幹が地面に対して垂直な状態で、肩幅に手と足を開いた姿勢で行わせた。アスレティックテープとストラップで手とバーを固定し、腰ベルトを用いて腰部の安定性を保った。片脚支持の姿勢で、遊脚の膝関節は 90° に固定してスイング動作を行わないように指示した。ウォーミングアップ後、最大努力の 50% と 75% の強さで 2 回の練習を行った。実験試技では、試技中の 4 秒間は全力かつなるべく早くバーを引くように指示した。

2.3. データ分析

光学式自動動作分析装置（Vicon Motion System 社製）を用いて、250Hz のサンプリング周波数で、各試技の身体各部位（47 点）の座標データを収集した。得られた身体各部の座標値は、座標成分ごとに最適遮断周波数を Wells and Winter の方法に基づいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。身体に貼付したマークから、膝関節および股関節の間接角度を算出した。林ほか（2016）に従って、足関節中心と膝関節中心を結ぶ線分と股関節中心と膝関節中心を結ぶ線分のなす角を膝関節角度とし、肋骨下端の midpoint と股関節 midpoint を結ぶ線分と膝関節 midpoint と股関節 midpoint を結ぶ線分のなす角を股関節角度とした。関節角度は正の値が伸展、負の値が屈曲として算出した。いずれの試技においても、着地脚の膝関節と股関節の関節角度を分析対象として、着地後 2 秒間における最低角度を用いた。

また、地面反力については、フォースプラットフォーム（Kistler 社製）を用いて 1,000Hz のサンプリング周波数で算出した。分析項目は、着地後における地面反力のピーク値を体重で除したものの（Peak Force divided by Body Mass : PF/BM）と着地瞬時から PF が出現するまでの時間（Time to PF）をそれぞれ算出した（Schmitt et al. 2015）。なお、着地瞬時は地面反力の波形が 30N を越えた時点と定義した。さらに、先行研究に従って（Decker et al., 2002; Paterno et al., 2007）、PF を体重で規格化していない値に対して Time to PF で除すことで、力の立ち上がり（Rate of Force Development : RFD）を算出した（図 2）。

<図 2 の挿入>

CMJ および IMTP の測定には、z 軸方向のみ地面反力が測定できるフォースプレート

(Ex-jumper, DKH 社製) を用いた。地面反力のデータは、1,000Hz でサンプリングされた。CMJ は、跳躍中における滞空時間から跳躍高を算出した。また、IMTP は得られた時間-力曲線から、対象者の体重を除き、試技中に発揮された最大値を算出した。

2.4. 優位脚と非優位脚の定義

本研究では、対象者における左右差を検討するために、対象者の優位脚と非優位脚を定義した。先行研究によって、この定義の方法にはばらつきがあるものの、本研究で脚の力発揮能力に着目して、IMTP の PF が強い方の脚を優位脚としてその逆側を非優位脚とした (Kuki et al., 2019)。上記の定義に沿って、対象者の左右脚を優位脚・非優位脚に分類したところ、4 名において右脚が優位脚で、2 名において左脚が非優位脚であった。また優位脚と非優位脚の差（以下、優位-非優位差）は以下の式で算出された。

$$\text{優位-非優位差 (\%)} = (\text{優位脚} - \text{非優位脚}) / \text{非優位脚} \cdot 100.$$

2.5. 統計処理

記述統計は、平均および標準偏差で示された。Landing の姿勢の違い（3 条件）における条件間の比較は、対応のある一要因分散分析（ANOVA）を用いた。F 値から条件間の差に有意な差が認められたら、Bonferroni 法にて多重比較を行った。一方、測定項目ごとに算出された優位-非優位差においては、それぞれの値を絶対値に換算し、McGuigan (2017) が示す 15% の基準に従って優位-非優位差を評価した。なお、ANOVA および多重比較の統計処理は、SPSS ver. 25 を用いて行われ、有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

表1には、3つの条件のLandingにおける平均および標準偏差を示すとともに、ANOVAと多重比較の結果を示している。膝関節において、着地後の最低角度は優位脚および非優位脚ともに有意なばらつきは認められなかった（優位脚： $F = 0.83$ ，非優位脚： $F = 1.72$ ）。一方、股関節における非優位脚では有意な差が認められ（ $F = 14.43$ ）、NLとULの条件ではFLの条件よりも有意に大きな値であった。さらに、地面反力の値に関してはPF/BM（ $F = 22.91$ ， 21.23 ）、Time to PF（ $F = 49.95$ ， 31.68 ）およびRFD（ $F = 43.17$ ， 19.77 ）において有意な条件間の差が認められた。また、CMJおよびIMTPのピーク値における平均と標準偏差は以下の通りであった（CMJ 優位脚： 17.67 ± 1.23 cm，非優位脚： 17.98 ± 1.56 ，IMTP 優位脚： 1767.17 ± 77.01 N，非優位脚： 1658.54 ± 104.16 ）。

表2には、測定項目ごとの優位-非優位差を示している。また、図3には優位-非優位差を絶対値に換算したデータを棒グラフにて示している。McGuigan（2017）に基づいて決定した15%の基準を上回ったのは、Time to PFのNL条件（ $41.78 \pm 71.20\%$ ）とRFDにおける全ての条件であった（FL： $22.12 \pm 22.72\%$ ，NL： $23.90 \pm 24.83\%$ ，FL： $17.57 \pm 8.55\%$ ）。

<表1・2，図3の挿入>

4. 考察

本研究は、(1) 片脚ランディング時の体幹の姿勢を変化させた際の力学的負荷の違い、および(2) 片脚ランディング時のキネティクス変数における左右差の大きさを明らかにすることを目

的として行われた。大学で球技系種目を専門とする女子選手を対象に、筋力測定および体幹の姿勢を変えたランディングを行わせた。考察では、着地時における体幹の角度がキネマティクス・キネティクス変数に及ぼす影響およびランディング時の優位-非優位差の各項目間での比較を行い、さらにランディング時における傷害予防のエクササイズ例について示すこととする。それぞれのトピックごとの詳細な考察は以下に示す通りである。

4.1. 着地時の姿勢が着時の関節角度および地面反力に及ぼす影響

はじめに、本研究における一つ目の目的は、片脚ランディング時の体幹の姿勢を変化させた際の力学的負荷の違いを地面反力に着目して検討することであった。一要因分散分析の結果、股関節の非優位脚には条件間の有意差が認められたものの、膝関節ではいずれの脚においても有意な差が認められなかった。本研究で設定した条件は、着地時における矢状面の体幹角度であったが、本研究の結果から、体幹の角度が変化しても膝関節角度には有意な影響を及ぼすことがないということが示された。一方、着地時の地面反力のピーク値である PF/BM においては、FL よりも UL の方が有意に高いことが示された。この結果は、体幹の角度が着地時の地面反力に有意に影響を及ぼしうることを示唆するものである。実際、Shimokochi et al. (2013) は体幹を直立させた着地の方が、前傾させた着地よりも有意に地面反力が大きかったことを報告しており、これらの結果は本研究の結果と一致するものであった。着地時に誘発される傷害として、ACL 損傷が多くの研究から報告されており、着地時のキネティクス変数と ACL にかかる歪みの大きさとの関係が先行研究で検討されている。Cerulli et al. (2003) によると、地面反力のピーク値と ACL の歪みの大きさには強い関係性があることが明らかにされている。したがって、これらの知見を踏

まえると、着地時における地面反力のピーク値を小さくすることは、ACL など膝関節の傷害予防の観点から非常に重要であり、その方略の一つとして体幹を前傾させて着地することが示された。

さらに、本研究では着地瞬時から PF に到達するまでの時間についても検討した。その結果、FL が UL よりも有意に Time to PF が長かったことが示され、同様に NL は UL よりも有意に長いことが示された。これらの結果は、体幹の角度によって着地時における力-時間曲線が異なることを示すものである。さらに、この Time to PF と PP/BM の 2 つの変数を考慮して、RFD を算出した。そして、RFD では FL が UL よりも有意に小さいことが示された。この着地動作中における RFD が大きいことは、短い時間に大きな力が反作用として身体に加わっていることを示しており、前述した Cerulli et al. (2003) の報告を踏まえると、この RFD の数値は ACL 損傷のリスクを示す変数として考えることができると推察される。Ebben et al. (2010) は、片脚での鉛直跳躍後の着地時における地面反力を測定し、PF に至るまでの時間を考慮した RFD を算出している。その結果、対象者の体重は 79.41kg と本研究の対象者よりも重たいにも関わらず、RFD は 31007.34N・s と本研究における UL よりも著しく小さい値であった。実験試技における条件が異なるため、単純に比較することができないものの、本研究において実施された体幹を直立させた状態での着地における RFD の大きさが顕著であったことがわかる。したがって、体幹を直立させた着地は、通常の着地動作とは関節角度などのキネマティクスの変数は大きな違いがなくても、RFD は異なるものであり、傷害予防としてこのような短い時間で高い PF が出現するような運動を用いて上述したような着地に備えてトレーニングを行っておくことが重要であると言える。

4.2. 着地時の関節角度および地面反力における優位-非優位差

本研究における2つ目の目的は、ランディングにおける変数および下肢筋力の左右差を検討することであった。はじめに、左右差を評価する場合、利き脚と非利き脚を対象者間で統一することができず、適切な分類であると言えない。また、優位脚と非優位脚の定義においては、先行研究で多く取り扱われているが、その定義方法は一様に定められているわけではない(Newton et al 2006)。それらを踏まえて、本研究ではIMTPで評価される下肢の最大筋力が高い側を優位脚、その逆側を非優位脚と定義した(Kuki et al., 2019)。しかしながら、必ずしも優位脚と非優位脚とのランディングにおける変数およびCMJの跳躍高で一様の差が得られているわけではなかったため、本報告書では優位-非優位差における絶対値に着目して議論を進めることとする。

図3に示されている、優位-非優位差の一覧を見ると、McGuigan et al. (2017)の基準である15%を上回った項目は、ランディングにおけるRFDであった。また、RFDの下位要因はPFとTime to PFであるが、本研究ではTime to PFによる差の大きさに大きく影響を受ける傾向にあると言える。実際、ランディングにおけるRFDの患側-健側差を検討した先行研究でも、類似した結果が得られている。Schmitt et al. (2015)は、ACL損傷後から競技復帰のタイミングにある対象者に対して、アイソメトリックな膝関節伸展の力発揮をもとに、大腿四頭筋の筋力を評価し、その患側-健側間の大きさから対象者を分類した。そして、ランディング中の患側-健側差を群間で比較してみると、RFDにおいて大きな差が認められた。これは、大腿四頭筋の筋力差が大きいことは、ランディングにおけるRFDの差も大きいことを示しており、ひいてはACL損傷のリスクが高くなる可能性を示唆するものである。本研究ではIMTPを脚の分類における定義に用いたが、ランディングのRFDにおける優位-非優位差が上述したSchmitt et al. (2015)と類似し

た結果であったことを踏まえると、IMTP のテストも ACL 損傷における競技復帰のタイミングを評価する手段の一つとして有効である可能性が考えられた。

4.3. 着地時の傷害予防に関するトレーニング（現場への応用）

これまで示した通り、片脚でのランディングにおいて、体幹の角度が垂直になると地面反力のピーク値が大きいことに加えて、着地瞬間から PF までの時間が短く、結果として RFD が高くなることが示された。また、ランディング時における優位-非優位差は RFD の項目において大きい傾向にあることが示された。そのため、ランディングで誘発される傷害に対する予防としては、高いエクササイズにおいて安全な形で高い RFD を選手に負荷として加えることが重要であると考えられる。着地時における高い RFD が出現するのは、プライオメトリック運動である片脚でのジャンプ運動である。しかしながら、このエクササイズはこの運動自体に傷害のリスクが少なからず含まれているということ、あるいは運動の遂行において技術的な要因が大きく関与しており（荻山ほか、2013）、この運動だけで傷害予防のエクササイズを構成することには疑問が残る。

その他の代替的な方法として、ウェイトトレーニングのキャッチ局面においても高い RFD が出現すると考えられる。林ほか（2016）は、パワークリーンにおけるプル局面とキャッチ局面を比較して、キャッチ局面において地面反力のピーク値が高く、下肢関節におけるピークトルクパワーが有意に大きかったことを示している。このようなパワークリーンにおけるキャッチ局面の特徴を活かして、ランディング時の傷害予防エクササイズとすることが可能であると考えられる。そこで、筆者はパワークリーンよりもさらに技術的要素の貢献が小さいヘックスバー（アイロテック社製）を用いたスクワットジャンプ形式でのエクササイズにて、実際の地面反力に関与する

変数を算出した。図4に示すように、実践者はヘックスバーを持ち少しの高さを跳躍し、着地時に片脚で着地する。この際に、高いRFDを獲得するために、下肢三関節は着地後に屈曲せずに同じ角度を保てるように注意をさせる。このエクササイズ中の地面反力を計測したところ、PF/BM、Time to PF および RFD とともに 0.3m 台高からの体幹を直立させた試技と類似した値が得られた。もちろん、本研究の対象者とここでの実践者は同一ではないこと、あるいは複数のサンプルからデータを収集できていないことを考慮すると、単純な比較は難しい。しかしながら、このようなウェイトリフティングやパワーリフティングは多くの競技者が日常的に取り組むエクササイズであり、そのキャッチ局面を少し強調するだけで、片脚でのランディングで誘発される傷害を予防するトレーニングになりうるという可能性は非常に興味深いものである。

<図4の挿入>

5. まとめ

本研究は、(1)片脚ランディング時の体幹の姿勢を変化させた際の力学的負荷の違い、および(2)片脚ランディング時のキネティクス変数における左右差の大きさを明らかにすることを目的として行われた。体幹の角度が前傾よりも垂直な姿勢でのランディングによってRFDが有意に高く、RFDの変数において優位-非優位差が大きくなる傾向が示された。本研究の結果から、ランディングに起因する下肢の傷害を予防するためにエクササイズとして、地面反力の大きさとピークまでの時間的要素を加えたRFDの概念を用いることが重要であると言える。

謝辞

本研究の遂行にあたり、研究助成金を交付いただいたミズノスポーツ振興財団に深く感謝いたします。

参考文献

1. Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., & Kenny, I. C. (2017). The relationship between maximal strength and reactive strength. *International journal of sports physiology and performance*, 12(4), 548-553.
2. Cerulli, G., Benoit, D. L., Lamontagne, M., Caraffa, A., & Liti, A. (2003). In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 11(5), 307-311
3. Decker, M. J., Torry, M. R., Noonan, T. J., Riviere, A. M. Y., & Sterett, W. I. (2002). Landing adaptations after ACL reconstruction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(9), 1408-1413.
4. Ebben, W., VanderZanden, T., Wurm, B., Garceau, L., Feldmann, C., & Petushek, E. (2010). Kinetic quantification of plyometric take off, flight, and landing characteristics. XXVIII International Congress on Biomechanics in Sports
5. 林陵平・荻山靖・吉田拓矢・関子浩二. (2016). クリーンエクササイズのカッチ動作をトレーニング手段に用いる場合の負荷特性：主要局面であるプル局面との比較を通して. *体育学研究*, 61(2), 575-587.
6. Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006) Anterior cruciate ligament injuries in female

- athletes. *The American journal of sports medicine*, 34(2), 299-311.
7. 荻山靖・藤井宏明・森健一・関子浩二. (2013). 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける 3 次元的な力発揮特性の相違. *体育学研究*, 58(1), 91-109.
 8. Kawamori, N., Rossi, S. J., Justice, B. D., Haff, E. E., Pistilli, E. E., O'BRYANT, H. S., Stone, M. H., & Haff, G. G. (2006). Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 483-491.
 9. Kuki, S., Konishi, Y., Okudaira, M., Yoshida, T., Exell, T., & Tanigawa, S. (2019). Asymmetry of force generation and neuromuscular activity during multi-joint isometric exercise. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 8(1), 37-44.
 10. McGuigan, M. (2017) Monitoring training and performance in athletes. *Human Kinetics, Auckland, New Zealand*: pp, 185-188.
 11. 成田哲也・増島篤・内山英司・三木英之・森淳・小林薫・武田知通・伊藤博元. (2001). バスケットボールにおける整形外科的メディカルチェックと予防へのコツ. *臨床スポーツ医学*, 18(9), 1009-1013.
 12. Newton, R. U., Gerber, A., Nimphius, S., Shim, J. K., Doan, B. K., Robertson, M., Pearson, D. R., Craig, B. W., Hakkinen, K. and Kraemer, W. J. (2006) Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20: 971-977.
 13. 大見頼一 (2014) 選手の膝をケガから守る チームで取り組む傷害予防トレーニング (TJ ス

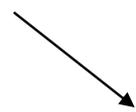
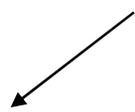
- ペシャルファイル 11) . ブックハウス・エイチデイ: 東京.
14. Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258-262.
 15. Schmitt, L. C., Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2015). Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after ACL reconstruction. *Medicine and science in sports and exercise*, 47(7), 1426.
 16. 清水将・関岡康雄・橋本実・勝田隆 (2002) 女子バスケットボール競技者の前十字靭帯損傷に関するコーチ学的研究. 仙台大学スポーツ研究科研究論文集, 3(3): 29-37.
 17. Shimokochi, Y., Ambegaonkar, J. P., Meyer, E. G., Lee, S. Y., & Shultz, S. J. (2013). Changing sagittal plane body position during single-leg landings influences the risk of non-contact anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(4), 888-897.
 18. Spindler, K. P., and Wright, R. W. (2008) Anterior cruciate ligament tear. *New England Journal of Medicine*, 359(20): 2135-2142.
 19. Withrow, T. J., Huston, L. J., Wojtys, E. M., and Ashton-Miller, J. A. (2008) Effect of varying hamstring tension on anterior cruciate ligament strain during in vitro impulsive knee flexion and compression loading. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 90(4): 815-823.

表1 3つの条件における平均・標準偏差とANOVAの結果

	Front	Normal	Upright	ANOVA	
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	F	Post hoc
Knee (angle)					
優位脚	112.94 \pm 20.94	117.71 \pm 6.48	119.61 \pm 7.71	0.83	-
非優位脚	112.23 \pm 4.85	112.91 \pm 5.51	116.31 \pm 2.83	1.72	-
Hip (angle)					
優位脚	108.17 \pm 9.21	109.54 \pm 6.55	111.78 \pm 6.33	0.80	-
非優位脚	102.15 \pm 5.07	111.66 \pm 5.06	113.48 \pm 4.76	14.43	F<N, F<U
PF/BM (N/kg)					
優位脚	26.26 \pm 5.43	33.08 \pm 5.82	42.11 \pm 9.16	22.91	F<N<U
非優位脚	26.25 \pm 4.15	36.27 \pm 9.19	44.62 \pm 9.57	21.23	F<U
Time to PF (sec)					
優位脚	0.072 \pm 0.018	0.050 \pm 0.009	0.01 \pm 0.002	49.95	F>U, N>U
非優位脚	0.074 \pm 0.018	0.041 \pm 0.015	0.01 \pm 0.002	31.68	F>U, N>U
RFD (N \cdot s)					
優位脚	23971 \pm 10891	41304 \pm 11791	221609 \pm 74487	43.17	F<N<U
非優位脚	23004 \pm 9289	68718 \pm 57670	245213 \pm 91654	19.77	F<U, N<U

表2 各項目における優位-非優位差の一覧

	Front	Normal	Upright
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Joint angle (%)			
Knee	0.30 \pm 15.23	4.34 \pm 5.00	2.88 \pm 6.86
Hip	6.01 \pm 9.11	-1.83 \pm 5.59	-1.34 \pm 6.99
GRF (%)			
PF	16.99 \pm 15.07	-7.12 \pm 10.26	-5.02 \pm 14.09
Time to PF	-0.72 \pm 19.41	40.61 \pm 72.01	3.80 \pm 7.36
RFD	5.94 \pm 36.24	-23.87 \pm 24.86	-7.62 \pm 19.33



Forward Lean Landing
(FL)

Normal Landing
(NL)

Upright Landing
(UL)



INSTRUCTION
「体幹を前傾して着地」



INSTRUCTION
「通常の姿勢で着地」



INSTRUCTION
「体幹を直立して着地」

図1 ランディング中における体幹角度とインストラクション

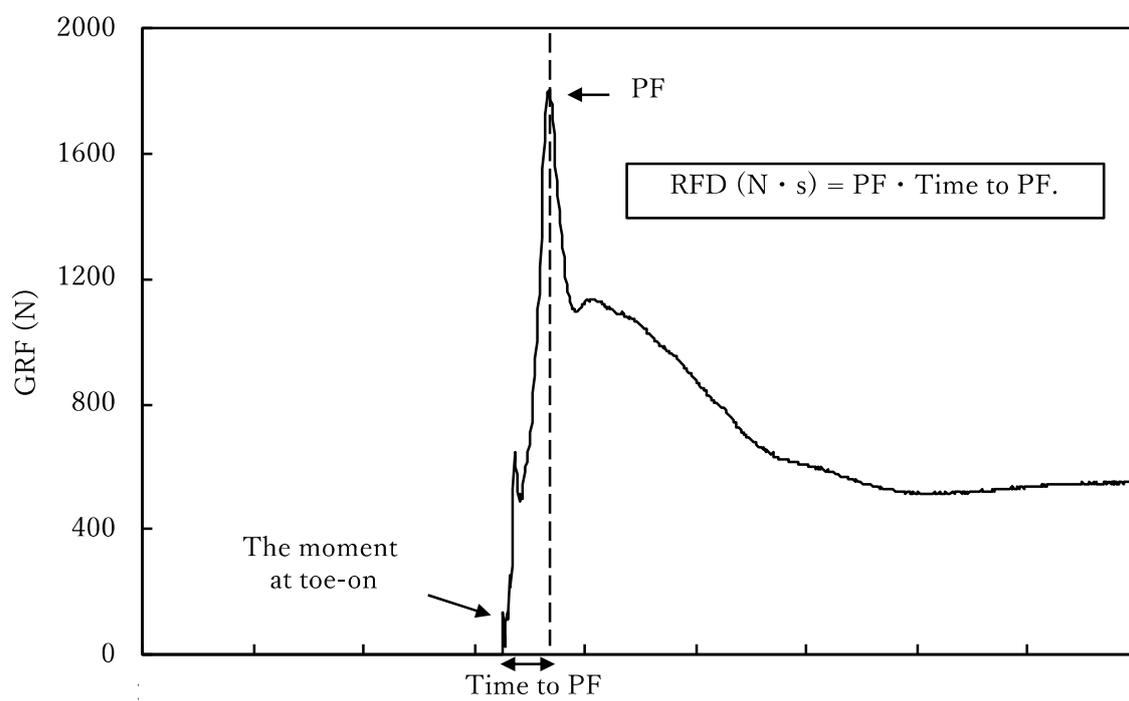


図2 ランディング中における地面反力から得られる変数

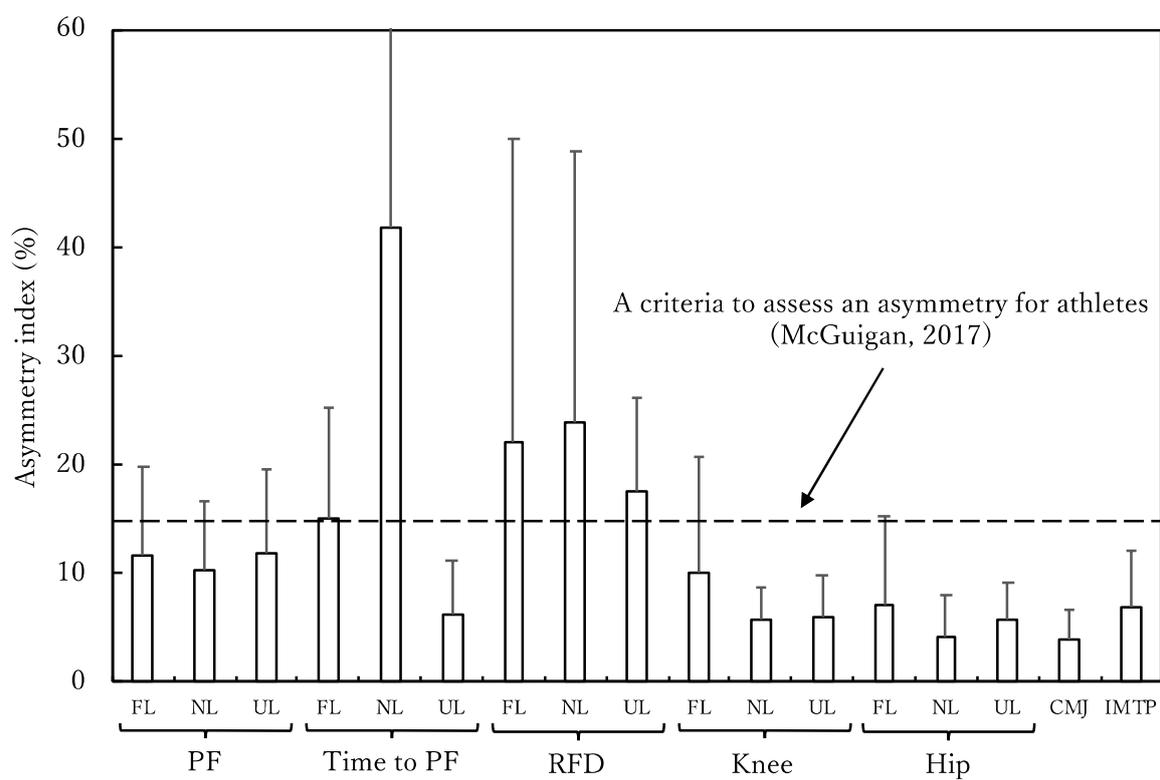


図3 各項目における優位-非優位差の絶対値

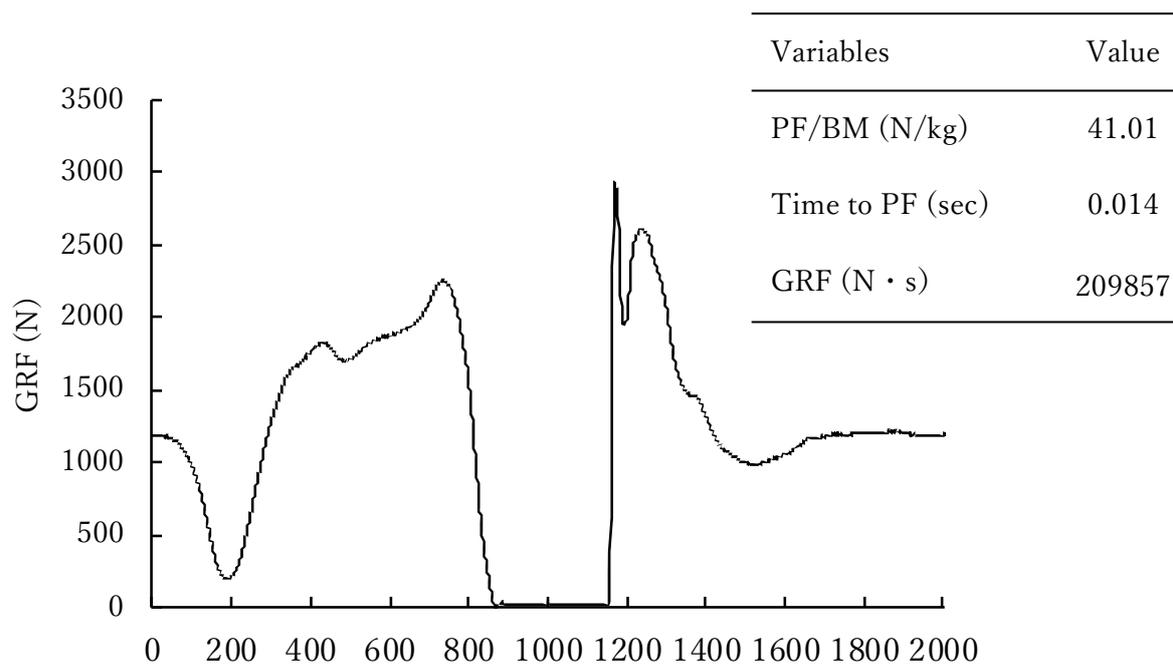
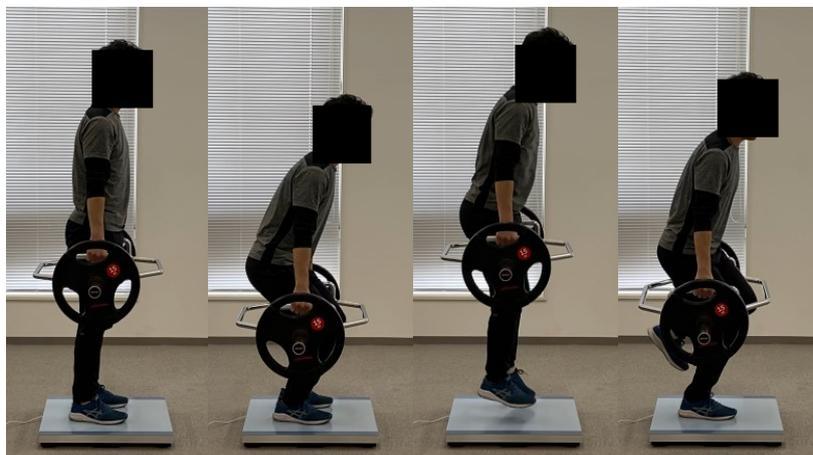


図4 高いRFDに対する傷害予防のエクササイズ例