



Title	体幹姿勢の前額面における変化が着地動作における下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差の検討
Author(s)	谷口, 翔平
Citation	北海道大学. 博士(保健科学) 甲第15170号
Issue Date	2022-09-26
DOI	10.14943/doctoral.k15170
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/87156
Type	theses (doctoral)
File Information	Shohei_Taniguchi.pdf



[Instructions for use](#)

学位論文

体幹姿勢の前額面における変化が着地動作における
下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差の検討

谷口 翔平

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻保健科学コース

2022年度

目次

要約	1
1 緒言	3
1.1 膝前十字靭帯損傷の疫学	3
1.2 膝前十字靭帯損傷の症状と治療	3
1.3 膝前十字靭帯損傷メカニズム	4
1.4 体幹の前額面上姿勢と膝前十字靭帯損傷との関係について	5
1.5 本論文の目的	6
2 スポーツ動作時の前額面上体幹姿勢の 性差に関するシステマティックレビューとメタアナリシス	6
2.1 緒言	6
2.2 方法	7
2.3 結果	9
2.4 考察	22
2.5 結論	23
3 体幹姿勢の前額面における変化が 着地動作における下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差について	24
3.1 緒言	24
3.2 方法	25
3.3 結果	27
3.4 考察	32
3.5 結論	34
4 総括論議	35
5 結論	36
6 謝辞	37
7 引用文献	38
8 付録	44
9 業績一覧	46

要約

1. 緒言

膝前十字靭帯（ACL）損傷は、スポーツ場面での発生が多いとされ、スポーツ外傷の中でも重症度が高い外傷の一つである。ACL 損傷後スポーツ復帰を目指すにあたって、ACL 再建術が行われることが多いが、スポーツ復帰までは平均 7.3 ヶ月を要し、またスポーツ復帰率は活動レベルが高いほどに低下することが報告されている。また、長期的に見ると ACL 再建術を施行したとしても、変形性膝関節症への進行リスクが増大するとされており、予防の重要性が認識されている。

ACL 損傷は他者との接触のない非接触型損傷が約 7 割とされている。好発動作は片脚着地や繰り返し動作といった片脚に負荷が集中する動作に多い。非接触型の損傷は他者との接触がなく、身体の動きの中で生じる膝関節への負荷によって発生するため、予防の余地があると考えられている。特に女性においては非接触型の ACL 損傷は男性の 2~9 倍高い発生率とされており、女性における ACL 損傷予防が特に重要視されている。これまで様々な ACL 損傷予防プログラムが考案され一定の効果を上げているものの、女性の ACL 損傷発生率は過去 10 年間高いまま維持していると報告されている。

ACL 損傷予防を考えるうえで、損傷メカニズムの解明は重要である。実際に ACL 損傷が発生した場面のビデオ解析や、屍体膝を用いた着地動作のシミュレーション研究などによって、膝関節外反負荷が ACL 損傷メカニズムの重要な要素であると考えられている。前額面上の体幹姿勢は下肢関節バイオメカニクスに影響を与えることが報告されており、特に膝関節に対しては、動作時に支持脚側方向への体幹傾斜が大きくなることにより、膝関節外反負荷が高まるとされている。女性の ACL 損傷場面において損傷側への体幹側方傾斜が生じていることが多く、さらに男性の損傷場面と比較して、側方傾斜角度が大きいことが示されており、女性の ACL 損傷メカニズムに体幹の側方傾斜が関与していると考えられている。女性の ACL 損傷場面において損傷側への体幹側方傾斜が特徴的である要因として、女性はスポーツ動作時に体幹側方傾斜を起こしやすいこと、女性は体幹側方傾斜姿勢において膝関節外反モーメントがより高まりやすいこと、が仮説として考えられた。よって本論文の目的は 1) スポーツ動作時の前額面上体幹姿勢の性差についてシステマティックレビューとメタアナリシスにより検討すること、2) 体幹姿勢の前額面における変化が着地動作における下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差について検討することとした。

2. スポーツ動作時の前額面上体幹姿勢の性差に関するシステマティックレビューとメタアナリシス

スポーツ動作時の体幹傾斜角度の性差に関してシステマティックレビューとメタアナリシスを実施した。Pubmed, Web of Science, Cochrane Library の 3 つのデータベースを使用し、996 編抽出された中から適合基準に合致した 17 編の論文がレビューの対象となった。その内、数値データが入手できた 16 編に対しメタアナリシスを行いデータの統合を行った。対象とした動作課題は、片脚スクワット、繰り返し動作、片脚着地動作の 3 課題であった。片脚スクワットに関しては、7 編の論文（男性 142 人、女性 129 人）をメタアナリシスに投入し、平均差は 1.67° で、男性が女性と比較して片脚スクワット時の体幹傾斜が大きい傾向にあったが、統計学的には有意な差ではなかった（ $P = 0.05$, 95%信頼区間：0 to 3.35° ）。繰り返し動作に関しては、計 5 編の論文（男性 335 脚、女性 251 脚）をメタアナリシスに投入し、平均差は 3.90° で、男性が女性と比較

して繰り返し動作時の体幹傾斜が大きかった ($P = 0.02$, 95%信頼区間: 0.75 to 7.04°). 片脚着地動作に関しては, 計 4 編の論文 (男性 93 人, 女性 94 人) をメタアナリシスに投入し, 平均差は 0.42° であり, 片脚着地時の体幹傾斜に男性と女性との間に有意な差は認めなかった ($P = 0.50$, 95%信頼区間: -0.79 to 1.63°).

3. 片脚着地動作における体幹傾斜が下肢バイオメカニクスに与える影響の性差について

健常男女各 18 名を対象に体幹姿勢に関して特別な指示を与えない条件 (指示なし条件) と, 体幹を垂直線から 15° 側方に傾斜させた状態を保つ条件 (体幹傾斜条件) の二条件で片脚着地動作を実施した. 三次元動作解析装置と床反力計を用いて股関節と膝関節の角度とモーメントを解析した. 二元配置反復測定分散分析 (性別×着地条件) と, 有意な効果が得られた項目に対しては post hoc test として Bonferroni 法による比較を行った. 着地時の体幹傾斜角度は指示なし条件と比較し体幹傾斜条件で有意に大きく (指示なし条件: $4.0 \pm 2.2^\circ$, 体幹傾斜条件: $15.1 \pm 3.6^\circ$, $P < 0.001$), 性差は認めなかった ($P = 0.56$, 95%信頼区間: -1.2 to 2.2°). 膝関節最大外反モーメントは, 体幹傾斜条件で指示なし条件と比較し有意に大きかったが ($P < 0.001$, 体幹傾斜条件: 0.09 ± 0.07 Nm/kg/m; 指示なし条件: 0.04 ± 0.06 Nm/kg/m), 有意な性別の効果や交互作用は認めなかった. 股関節最大外転モーメントに対して性別と着地条件の有意な交互作用が認められた ($P = 0.021$). 男性は体幹傾斜条件で指示なし条件と比較して有意に大きな股関節最大外転モーメントを示したが ($P < 0.01$, 95%信頼区間: 0.05 to 0.13 Nm/kg/m), 女性は二つの着地条件間で股関節最大外転モーメントの差を認めなかった ($P = 0.36$, 95%信頼区間: -0.23 to 0.062 Nm/kg/m).

4. 考察及び結論

スポーツ動作時の体幹傾斜角度の性差に関するシステムティックレビューにおいて, 女性は男性と比較してスポーツ動作時の体幹傾斜が大きいという仮説を支持するエビデンスは得られなかった. 支持脚側への体幹傾斜は女性と比較して, 片脚スクワットでは有意ではなかったものの男性で大きい傾向にあり, 繰り返し動作では男性で有意に大きかった. 女性は危険な姿勢である体幹の側方傾斜を避ける動作を行っている可能性が示唆された. 片脚着地動作における体幹傾斜が下肢バイオメカニクスに与える影響の性差については, 支持脚側への体幹傾斜の増大によって, 男女ともに膝関節外反モーメントは増大した. 膝関節外反モーメントに性差は認められず, 男女ともに体幹傾斜を避けることは ACL 損傷予防において重要であると考えられた. 一方股関節外転モーメントについては, 男性は体幹傾斜に伴って増加したものの, 女性は変化が認められず, 女性における股関節内転筋の反応性低下を示唆しているものと考えられた. 女性の ACL 損傷場面において損傷側への体幹傾斜が特徴的である要因として, スポーツ場面において股関節機能の低下に伴い体幹傾斜の制御が十分に行えていないことが関係していると予想された. 今後はよりスポーツ場面に近い環境セッティングにおいて体幹傾斜の性差を検討する必要があると考えられる.

1 緒言

1.1 膝前十字靭帯損傷の疫学

膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament, ACL）損傷は、米国において一般人口 10 万人あたり 68.6 人の発生率とされており、発生率のピークは女性で 14~18 歳、男性では 19~25 歳であることが報告されている¹。本邦において一般人口当たりの ACL 損傷発生頻度の調査は行われていないが、手術件数から類推された ACL 損傷発生件数は年間 2 万から 3 万件とされている²。スポーツ場面での発生が多いとされており³、スポーツ外傷の中でも重症度が高いことが知られている。スポーツ外傷の重症度は、外傷に伴ってスポーツ活動ができなかった期間より、minimal（1 から 3 日）、mild（4 から 7 日）、moderate（8 から 28 日）、sever（28 日以上）と分類されるが^{4,5}、ACL 損傷後再建術を施行し、スポーツ復帰まで平均 7.3 ヶ月であったとシステマティックレビューでは報告されており⁶、ACL 損傷が非常に重篤な外傷であることがわかる。

1.2 膝前十字靭帯損傷の症状と治療

ACL 損傷の主要な症状としては、疼痛、腫脹、運動時痛、運動時の膝関節不安定性が挙げられる。主な治療戦略として保存的治療または ACL 再建術が行われており、Cochrane database のシステマティックレビューにおいて、術後 2 年及び 5 年時点での患者報告型評価指標に保存療法と再建術との間に差がなかったことが報告されている⁷。しかしながらこの結果は保存療法後に症状が残存し、ACL 再建術に移行した患者が含まれている点に注意が必要である⁷。近年のシステマティックレビューにおいては、1004 名の患者を対象として 5 年と 10 年フォローアップ時点での治療効果の比較がされており、活動レベル、主観的な膝関節機能スコアに両治療群に差がなかったとされている⁸。以上のように保存療法と再建術との間で治療成績に大きな違いがないことが示されているが、保存療法で二次的な半月板切除の割合が増えたこと、ACL 再建術を施行することで保存療法よりもその後の半月板損傷発生数が少なかったことから、再建術の施行は半月板損傷を予防することにおいて有意性があるとされている^{8,9}。2019 年の ACL 損傷診療ガイドラインにおいては、「保存治療には一定の有効性はあると考えられるが、半月板損傷を予防する観点からは明確な推奨はできない」、「若く活動性の高い患者に対しては、ACL 再建術を行うことを推奨する」と記載されており、本邦において ACL 再建術は主要な治療戦略として頻繁に行われている¹⁰。

ACL 再建術はアメリカで年間約 13 万件¹¹、本邦では年間約 1 万 5 千件行われている²、一般的な手術療法の一つである。ACL 再建術の進歩と術後のリハビリテーションの改善に伴って、一定の割合でのスポーツ復帰が可能となっているものの、受傷前と同じスポーツレベルへの復帰で 54~71%、競技レベルへの復帰で 34~56%の復帰率とされている⁶。近年の報告ではニュージーランドの ACL レジストリーにおいて、切り返しや減速、回旋動作を頻繁に行う、活動レベルの高い患者に限定して、ACL 再建術後のスポーツ復帰率を術後 1 年及び 2 年時点に調査しており、それぞれわずか 11.3%、15.5%であったとされている¹²。長期間のリハビリテーションを乗り越えてスポーツ復帰を目指す中で、ACL の再損傷の問題も重要な課題として知られている。ACL 再建術後の再損傷は、再建側と反対側両方に発生することがあり、どちらも含めると再建術後の再損傷率は約 21.9%であった¹³。さらに長期的な面で見ると ACL 再建を行っても変形性膝関節症への進行リスクは健常膝と比較して高いことが示されている¹⁴。上記のように、ACL 損

傷後のスポーツ復帰は高い活動レベルのスポーツほど難しく、またもしスポーツ復帰が叶ったとしても約2割の再損傷が生じる。長期的に見ると変形性膝関節症への進行リスクは高まることから、ACL 損傷予防の重要性が国際的に認識されている。

1.3 膝前十字靭帯損傷メカニズム

スポーツ活動中の ACL 損傷は、損傷発生時の状況から大きく接触型損傷と非接触型損傷の二つに分類される。接触型損傷は膝への直接外力による損傷型であり、非接触型損傷は他者との明らかな接触がない損傷型と定義される。非接触型の損傷は他者との接触がなく、身体の動きの中で生じる膝関節への負荷によって発生するため、予防の余地があると考えられている。スポーツ種目ごとに割合は異なるものの、片脚着地や切り返し動作などといった動作中に生じる非接触型の損傷が約7割を占めるとされている¹⁵⁻²¹。特に女性においては非接触型の ACL 損傷が多いスポーツ種目において男性と比較して発生率が高いとされており^{22,23}、女性における ACL 損傷予防が特に重要視されている。これまで様々な ACL 損傷予防プログラムが考案され、一定の効果を上げているものの²⁴、女性の ACL 損傷発生率は過去10年間高いままであった²²。ACL 損傷予防の発展において ACL 損傷メカニズムの解明は重要であり、①ACL 損傷発生時のビデオ解析、②屍体膝を用いたシミュレーション研究が行われてきた。

ACL 損傷メカニズムの推定のため、実際に ACL 損傷が生じた場面のビデオ映像により、ACL 損傷場面の膝関節姿勢が評価されている。矢状面上においては膝関節の浅い屈曲角度での接地が多く、前額面上においては多くの研究で膝関節外反が生じていたことが報告されている^{19,20,25-30}。ACL 損傷場面に生じる膝関節外反については、性差があり女性の損傷場面で特徴的であったとする報告がある^{19,25,31}。Krosshaug ら¹⁹は、ACL 損傷場面の膝関節外反崩れ（膝関節外反に伴って膝が内側方向に崩れる現象）が生じる割合が、女性は男性の5.3倍であったと報告している。Koga ら²⁹は、model-based image matching 法を用いて、ビデオ画像に骨モデルを当てはめて行う三次元ビデオ解析によって、より詳細な受傷メカニズムの推定を行っている。女性のバスケットボール及びハンドボールの損傷場面の三次元ビデオ解析によって、ACL 損傷は床面接地後約40msで生じ、膝関節外反、内旋及び脛骨前方移動によって生じていたと推定された。以上のことから、ACL 損傷場面におけるビデオカメラの解析から、浅い膝関節屈曲角度における、膝関節外反によって ACL 損傷が生じるメカニズムが考えられている。ビデオ解析による損傷メカニズムの解明は、取れたビデオ映像のクオリティに影響すること、映像が入手できた損傷場面のデータに限られることなど限界はあるものの、実際の損傷場面のメカニズムが推定できる貴重なデータである。

屍体膝を用いて着地時に生じる衝撃をシミュレートし、さらに膝関節外反モーメントや脛骨前方剪断力、脛骨内旋モーメントを変化させ、ACL のひずみや張力への影響、加えた膝関節負荷に伴い ACL 損傷に至るリスクとの関係性についての検討が近年行われており、ACL 損傷メカニズムに関わる要因の検討が行われている。Bates ら³²は、膝関節外反モーメント、脛骨前方剪断力、脛骨内旋モーメントを組み合わせ、ACL ひずみに与える効果を検討し、膝関節外反モーメントが最も大きな ACL のひずみ変化を引き起こしたことを報告している。Navacchia ら³³は、屍体膝への衝撃シミュレートから固有の有限要素モデルを作成し、膝関節外反モーメント、脛骨前方剪断力、脛骨内旋モーメントの変化が ACL 張力に与える変化を検討している。各荷重の1%の変化がそれぞれ平均15, 3, 10N の ACL 張力の変化を与えており、膝関節外反モーメントや脛骨内旋モーメントの増加が ACL 損傷リスクと関連する重要な役割を果たしていることを報告し

ている。Ueno ら³⁴は、ACL の破断に至る膝関節への荷重を検討しており、膝関節外反モーメント荷重条件において、特に ACL 破断が生じるリスクが高かったことを報告している。以上のように、膝関節外反モーメントの増加は ACL ひずみや張力を高め、ACL 破断につながる膝関節負荷であることが示されている。

1.4 体幹の前額面上姿勢と膝前十字靭帯損傷との関係について

前額面上の体幹姿勢は下肢関節バイオメカニクスを変化させることが報告されている。

Dempsey ら³⁵は、頭上でのボールキャッチ後に片脚着地動作を行う課題において、ボールの落下位置を変えることで空中での体幹姿勢を変え、膝関節外反モーメントへの影響を調査しており、体幹の支持脚側への側方傾斜角度の増大が、膝関節外反モーメントの増加と関連することを報告している。Jamison ら³⁶は、カッティング動作時の体幹傾斜角度と膝関節外反モーメントとの間の関係性を調査しており、支持脚側方向への体幹傾斜の増大は膝関節外反モーメントを高めること報告している。以上のように、スポーツ動作時の支持脚側方向への体幹傾斜の増大は膝関節外反モーメントを増大させるとされており、一方で膝関節屈曲モーメントに対しては効果を与えず、膝内旋モーメントに対しては変わらないか減少するとされている³⁵⁻³⁷。前額面上の体幹姿勢は膝関節だけではなく、股関節へも影響を与え、支持脚側への体幹傾斜の増大は股関節内転モーメントを減少させ、股関節外転モーメントを高めるとされている³⁸⁻⁴⁰。以上のような変化は、体幹姿勢の変化に伴って、前額面上の身体質量中心位置が変化することが、膝関節や股関節のモーメントを変化させる要因であると考えられている^{38,41}。また、体幹からの股関節・膝関節への運動連鎖もまた、上記のような変化を引き起こすメカニズムとして推定されている³⁸。

非接触型の ACL 損傷場面のビデオ解析において、ACL 損傷時の体幹姿勢に着目した報告が散見される。Hewett ら³¹は ACL 損傷場面のビデオ映像を解析し、損傷時の体幹傾斜角度を算出している。女性損傷者は男性損傷者と比較して、初期接地 (initial contact, IC) 時から損傷側への体幹傾斜角度が有意に大きかった (女性損傷者: 11.1°; 男性損傷者: -5.5°)。また、プロサッカー選手を対象とした、ACL 損傷場面のビデオ解析では、IC 時及び ACL 損傷発生時において、女性は 15°損傷側へ体幹傾斜が生じていたのに対して、男性は 5°損傷側へ体幹傾斜が生じていたことが報告されている^{26,30}。女性ネットボール選手を対象とした研究においては、ACL 損傷場面の 44%で損傷側への体幹傾斜が生じていたことが報告されている⁴²。以上のように、損傷側への体幹傾斜の増大は女性の ACL 損傷場面で特徴的であることが示されており、女性の ACL 損傷メカニズムに関連すると考えられている。

女性において体幹機能と ACL 損傷との関連性についていくつかの報告がある。Zazulak ら⁴³は大学生アスリート 277 名を対象に、体幹の神経筋機能と ACL 損傷発生との関係性について 3 年間の前向き調査を行った。この研究において体幹の神経筋機能は継続的に体幹に負荷された外力を突然解放した際に、体幹に生じた角度変化の大きさを指標としており、前方、後方、側方の 3 方向より評価した。外力解放後に角度変化が大きいほど、体幹の神経筋機能が低下していることを意味した。どの平面においても ACL 損傷者は非損傷者と比較して体幹の角度変化量は大きく、中でも側方の変化量は ACL 損傷の最も強い予測因子であった。体幹の変位量、体幹の固有感覚、腰痛の既往からなる予測モデルでは、女性においては ACL 損傷を 91%の精度で予測したが、男性においては、予測因子は腰痛歴のみであり、体幹の神経筋機能は有意な予測因子とならなかった。Dingenen ら⁴⁴は、50 名の女性アスリートを対象に、片脚での着地後直ちに最大垂直飛びを行う片脚 drop vertical jump (DVJ) 課題において、ビデオカメラによって前方から撮影し

た動画から算出された、体幹傾斜角度と膝関節外反角度の和が、将来的な ACL 損傷と関連したことが報告されている。ACL 損傷者は非損傷者と比較して有意に体幹傾斜角度と膝関節外反角度の和が大きく、受信者操作特性曲線による解析によって、将来的に ACL 損傷を被る選手としない選手を有意に振り分けた (area under curve = 0.803)。以上のように、前額面上の体幹傾斜の増大は女性アスリートの将来的な ACL 損傷リスクと関連することが示されている。

1.5 本論文の目的

ACL 損傷は重篤なスポーツ外傷であり、予防の重要性が認識されてきた。特に片脚着地動作や繰り返し動作などの非接触型での損傷は女性での発生率が高く、女性における ACL 損傷予防法の発展が望まれている。スポーツ動作時の支持脚側方向への体幹傾斜角度の増大は、ACL 損傷メカニズムに関与するとされる膝関節外反モーメントを高める。ACL 損傷場面のビデオ解析によって、特に女性の ACL 損傷メカニズムに体幹の側方傾斜が関与しているというエビデンスが報告されている。ACL 損傷場面において女性で体幹傾斜が特徴的な要因を明らかにすることは、女性の ACL 損傷予防法の発展につながると考えられる。女性の ACL 損傷場面において体幹側方傾斜が特徴的である要因として、女性はスポーツ動作時に体幹傾斜を起こしやすいこと、女性は体幹傾斜によって男性と比較して膝関節外反モーメントがより高まりやすいことが仮説として考えられた。よって本論文の目的は、第一にスポーツ動作課題中における体幹の側方傾斜角度に性差があるのか、どういった動作で特に性差が検出されるのかを整理する為に、現存するエビデンスに対してシステマティックレビューを行った。第二に、体幹側方傾斜によって生じる下肢バイオメカニクスの変化に性差があるのか、片脚着地動作課題で比較を行うこととした。

2 スポーツ動作時の前額面上体幹姿勢の性差に関するシステマティックレビューとメタアナリシス

2.1 緒言

片脚着地動作や繰り返し動作で生じる非接触型の ACL 損傷は、男性と比較して女性で発生率が高いことが示されている^{22,23}。ACL 損傷発生メカニズムにおいて膝関節外反負荷が重要な要素であることが、ACL 損傷場面のビデオカメラ解析や、屍体膝を用いたシミュレーション研究で示されてきた^{19,29,32-34}。体幹の支持脚側への側方傾斜角度の増大は身体質量中心位置をより外側へ移動させ、膝関節外反モーメントを高めると考えられているものの^{35,36}、特に女性での ACL 損傷とのかわりが強いエビデンスが報告されている^{30,31}。女性が ACL 損傷場面において損傷側への体幹傾斜が大きい要因として、スポーツ動作中に女性が男性と比較して、より支持脚側への体幹傾斜が生じやすいことに起因するかもしれない。スポーツ動作中の体幹傾斜の性差は、現在整理されておらず、またどのようなスポーツ動作課題において体幹傾斜角度の性差が検出されるのかは不明である。特に性差が検出されやすい動作課題が判明すれば、ACL 損傷予防のための体幹機能のスクリーニングに用いることが可能となるかもしれない。よって本研究の目的は、スポーツ課題（片脚スクワット、繰り返し、片脚着地）中に生じる体幹傾斜角度の性差をシステマティックレビューとメタアナリシスにより整理することである。

2.2 方法

2.2.1 研究選択の適格基準

本レビューでは、スポーツリハビリテーションでの動作評価や治療によく用いられる片脚スクワットと、主要な ACL 損傷場面として知られるスポーツ動作である片脚着地、繰り返し動作を解析対象とし、体幹傾斜角度について男性と女性との間で比較している、横断研究、無作為または非無作為化比較研究で、全文が入手可能であった研究を対象とした。研究の適格基準は 1) 健常者を対象としていること（過去 6 か月以内の下肢外傷の既往がない）。2) 英語の査読付き論文であること。3) 片脚スクワット、片脚着地または繰り返し動作の解析を行っていること。4) 体幹傾斜角度を、二次元または三次元動作解析によって算出し男女で比較していることとした。男性または女性のみを対象とした研究は除外した。トレーニングや疲労といった介入及び治療の効果を検討した比較研究は、ベースライン時の結果を抽出した。また、ACL 損傷群や膝蓋大腿関節痛群など対象群を含む研究においては健常群の結果のみを対象とし、健常群のみの結果を示していない研究は除外した。

2.2.2 研究資料の収集

2022 年 5 月 24 日までに出版された論文について、PubMed, Web of Science, Cochrane Library の 3 つのデータベースを用いて検索した。網羅的な検索のために必要に応じてハンドサーチを追加で行った。各データベースで使用した検索式を表 1 に示した。

表 1. 各データベースで用いた検索式

PubMed

#1	“healthy”[tiab] OR “non-injured”[tiab] OR “non injured”[tiab] OR “uninjured”[tiab] OR “ACL reconstruct*”[tiab] OR “ACL injur*”[tiab] OR “anterior cruciate ligament injur*”[tiab] OR “anterior cruciate ligament reconstruct*”[tiab] OR “patellofemoral pain“[tiab]
#2	“Anterior cruciate ligament reconstruction“[mh] OR “Patellofemoral pain syndrome“[mh]
#3	“trunk“[tiab] OR “spine“[tiab] OR “thorax“[tiab] OR “core“[tiab] OR “torso”[tiab]
#4	“Torso/physiology“[mh] OR “Thorax/physiopathology“[mh]
#5	“kinematic*”[tiab] OR “angle“[tiab] OR “motion“[tiab] OR “biomechanic*”[tiab] OR “lean*”[tiab] OR “obliquit*”[tiab] OR “bend*”[tiab] OR “inclin*”[tiab] OR “lateral flex*”[tiab]
#6	“Biomechanical Phenomena“[mh] OR “Range of Motion, Articular“[mh] OR “Movement/physiology*”[mh] OR “Imaging, Three-Dimensional“[mh] OR “Video Recording“[mh] OR “Photography“[mh] OR “Posture/physiology*”[mh]
#7	“sex“[tiab] OR “gender“[tiab] OR “female*”[tiab] OR “male*”[tiab] OR “women“[tiab] OR “men“[tiab]
#8	“Sex Characteristics*”[mh] OR “Male“[mh] OR “Female“[mh] OR “Sex Factors“[mh]
#9	“landing”[tiab] OR “cut”[tiab] OR “cutting”[tiab] OR “change of direction”[tiab] OR “squat*”[tiab] OR “step*”[tiab] OR “hop”[tiab] OR “hopping”[tiab] OR “jump*”[tiab]

#10	(#1 OR #2) AND (#3 OR #4) AND (#5 OR #6) AND (#7 OR #8) AND #9
-----	--

Web of Science

#1	TS="healthy" OR TS= "non-injured" OR TS= "non injured" OR TS= "uninjured" OR TS= "ACL reconstruct*" OR TS= "ACL injur*" OR TS= "anterior cruciate ligament injur*" OR TS= "anterior cruciate ligament reconstruct*" OR TS= "patellofemoral pain"
#2	TS="trunk" OR TS= "spine" OR TS= "thorax" OR TS= "core" OR TS="torso"
#3	TS="kinematic*" OR TS= "angle" OR TS= "motion" OR TS= "biomechanic*" OR TS= "lean*" OR TS= "obliquit*" OR TS= "bend*" OR TS= "inclin*" OR TS= "lateral flex*"
#4	TS="sex" OR TS= "gender" OR TS= "female*" OR TS= "male*" OR TS= "women" OR TS= "men"
#5	TS="landing" OR TS="cut" OR TS="cutting" OR TS="change of direction" OR TS="squat*" OR TS="step*" OR TS="hop" OR TS="hopping" OR TS= "jump*"
#6	#1 AND #2 AND #3 AND #4 AND #5

Cochrane Library

#1	"healthy" OR "non-injured" OR "non injured" OR "uninjured" OR "ACL reconstruct*" OR "ACL injur*" OR "anterior cruciate ligament injur*" OR "anterior cruciate ligament reconstruct*" OR "patellofemoral pain"
#2	[mh "Anterior cruciate ligament reconstruction"] OR [mh "Patellofemoral pain syndrome"]
#3	"trunk" OR "spine" OR "thorax" OR "core"
#4	[mh "Torso"] OR [mh "Thorax"]
#5	"kinematic*" OR "angle" OR "motion" OR "biomechanic*" OR "lean*" OR "obliquit*" OR "bend*" OR "inclin*" OR "lateral flex*"
#6	[mh "Biomechanical Phenomena"] OR [mh "Range of Motion, Articular"] OR [mh "Movement "] OR [mh "Imaging, Three-Dimensional"] OR [mh "Video Recording"] OR [mh "Photography"] OR [mh "Posture"]
#7	"sex" OR "gender" OR "female*" OR "male*" OR "women" OR "men"
#8	[mh "Sex Characteristics*"] OR [mh "Male"] OR [mh "Female"] OR [mh "Sex Factors"]
#9	"landing" OR "cut" OR "cutting" OR "change of direction" OR "squat*" OR "step*" OR "hop" OR "hopping" OR "jump*"
#10	(#1 OR #2) AND (#3 OR #4) AND (#5 OR #6) AND (#7 OR #8) AND #9

2.2.3 研究論文のバイアスリスク評価

無作為化及び非無作為化比較試験のバイアスリスク評価には、高い妥当性と良好な評価者間信頼性が示されている Downs and Black checklist の修正版を用いた⁴⁵。Downs and Black ら⁴⁶のオリジナル版における 27 項目の内、報告の質 (7 項目)、外的妥当性 (2 項目)、内的妥当性 (7 項目)、パワー (1 項目) の合計 16 項目から各研究の質の評価を行った (付録)。スコアが 50%以下であった論文は以降の解析から除外した⁴⁵。

2.2.4 データの抽出と統合

著者、出版年、年齢、サンプルサイズ、動作課題、体幹傾斜の基準（例：骨盤、グローバル座標系）、測定点（どの時点におけるデータか、例：IC時、解析相における最大値）、男女全体での体幹傾斜角度、各論文内での課題の説明を選出された論文から抽出した。二群全体の平均値やSDが報告されていなかった場合には、下記の二式より全体の平均値及びSDを計算した。

$$mean_{all} = \frac{n_a \times mean_a + n_b \times mean_b}{n_a + n_b}$$

$$SD_{all} = \sqrt{\frac{n_a \times (SD_a^2 + (mean_a - mean_{all})^2) + n_b \times (SD_b^2 + (mean_b - mean_{all})^2)}{n_a + n_b}}$$

mean：平均値，n：サンプルサイズ，SD：標準偏差

数値データを手に入れた論文に対しては、データの統合のためにメタアナリシスを行った。メタアナリシスには RevMan5.4 (Cochrane Information Management System) を用いて分析を行った。複数のアウトカムを報告している論文では体幹傾斜角度の男女の全体平均が、より大きい課題・及び測定点における数値を抽出した。体幹傾斜角度の男性と女性との間の平均差及び95%信頼区間を算出し、ランダム効果モデルを用いてメタアナリシスを行った。統計的異質性はI²値から確認した。

2.3 結果

2.3.1 論文の選択

データベース検索から計1345編の論文が抽出された。そのうち、重複論文を除外し残った996編に対してタイトルと抄録に対してスクリーニングを行い、52編の論文が選出された。1編の論文が全文を手に入ることができず、残った51編に対して本文スクリーニングを行った。34編が除外され、最終的に17編の論文が本レビューの対象となった（図1）^{36,47-62}。バイアスリスク評価より、事前に設定したスコアである50%以下となった論文は無く、17編の論文全てに対し以降の解析を行った（表2）。

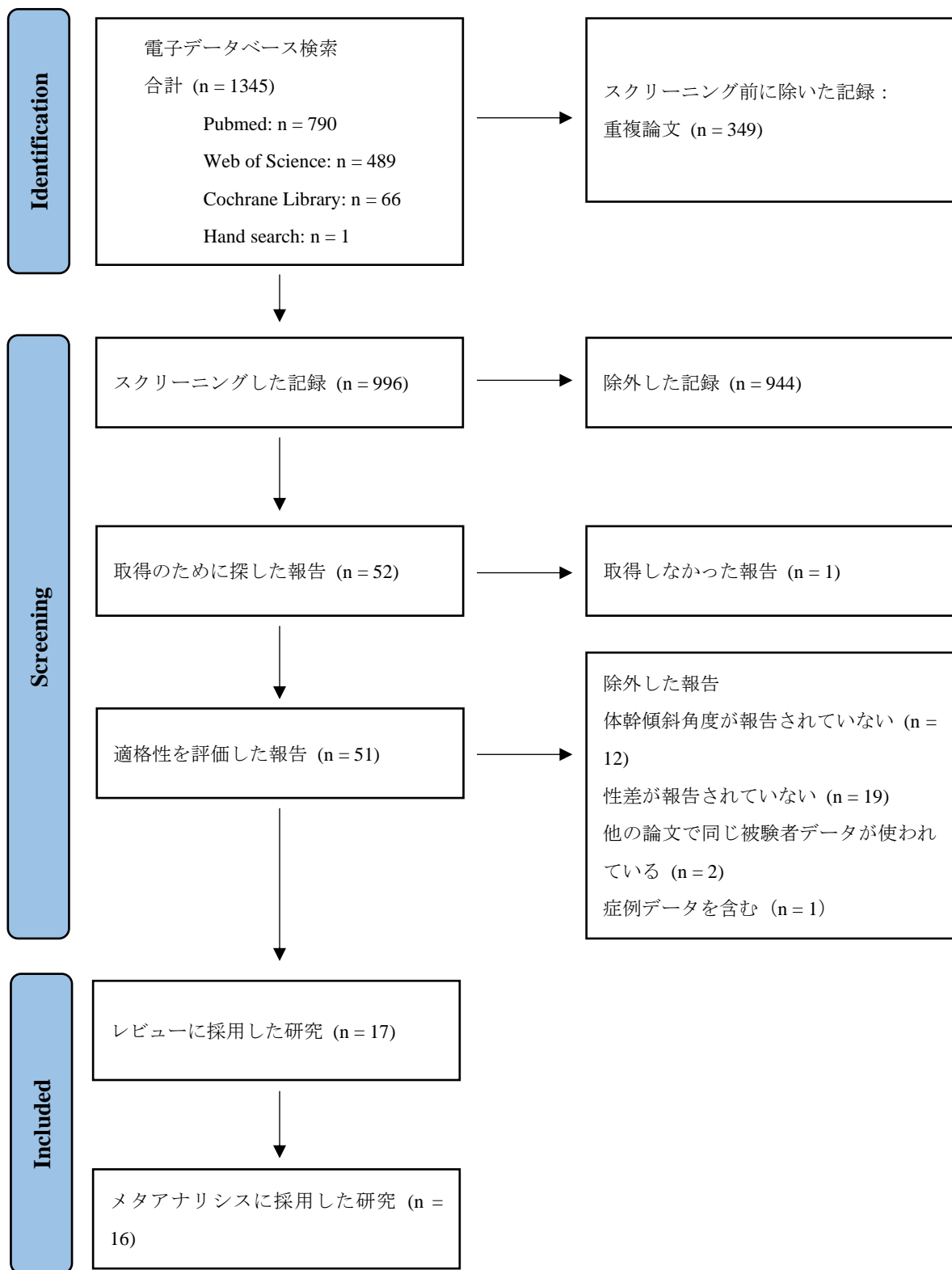


図 1. 論文選択のフローチャート

表 2. 研究の質の評価 (改訂版の Downs and Black checklist)

	改訂版 Downs and Black checklist 質問項目																		スコア
	報告の質							外的妥当性		内的妥当性							パワー		
	1	2	3	5	6	7	10	11	12	15	16	18	20	21	22	25	27		
Zeller et al ⁴⁷	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	12/19 (63 %)	
Weeks et al ⁴⁹	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	12/19 (63 %)	
Silva et al ⁵⁶	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	12/19 (63 %)	
Zawadka et al ⁵⁷	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	11/19 (58 %)	
Graci et al ⁵⁸	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	11/19 (58 %)	
Nakagawa et al ⁵⁹	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	12/19 (63 %)	
Khuu et al ⁶⁰	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	11/19 (58 %)	
Liederbach et al ⁵¹	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	14/19 (74 %)	
Taniguchi et al ⁵⁵	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	12/19 (63 %)	
Romanchuk et al ⁵²	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	11/19 (58 %)	
Lessi et al ⁵⁴	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	12/19 (63 %)	
Mornieux et al ⁶¹	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	11/19 (58 %)	
Jamison et al ³⁶	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	10/19 (53 %)	
Havens et al ⁶³	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	12/19 (63 %)	
Leppanen et al ⁴⁸	0	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	14/19 (74 %)	
Nagano et al ⁵⁰	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	10/19 (53 %)	
Weltin et al ⁵³	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	10/19 (53 %)	

2.3.2 対象となった論文の特徴

論文の概要を表 3 に示す。体幹傾斜角度は支持脚側への体幹傾斜をすべて正の角度として抽出した。全ての論文で三次元動作解析装置または電磁トラッキングシステムを用いた解析により体幹傾斜角度を算出していた。対象の平均年齢 18 歳以下であった論文が 2 編含まれ、Leppanen ら⁴⁸は、ユース選手を対象とし、Silva ら⁵⁶は青年期の若年者を対象とした。対象となった動作課題は片脚スクワットが 7 編、繰り返し動作が 6 編、片脚着地が 4 編であり、それぞれ動作課題別に分析を行った。体幹傾斜角度の算出には、体幹セグメントが、骨盤またはグローバル座標系を基準とした角度として算出されたものが混在していた。体幹傾斜角度の測定点も研究間でばらつきが見られ、IC 時、解析区間における最大値、膝関節屈曲角度を基準とした測定点、膝関節最大外反モーメント発生時などであった。

表 3. 各論文の特徴について

著者	年	サンプル サイズ	年齢 (歳)	動作課題	体幹傾斜 角度の基準	測定点	全体平均± SD	課題の説明
Zeller	2003	男性 9 人, 女性 9 人	男性 20.3±1.0, 女性 20.0±1.5	片脚スクワット	記載なし	最大値*	18.1±17.7	片脚で立ち上肢は胸の前に交差する. 可能な範囲で深くまでしゃがみ込み, バランスを崩さずに片脚立ちまで戻る. 開始から終了まで 5 秒以内に行う.
Weeks	2015	男性 30 人, 女性 30 人	全体 25.3±4.3	片脚スクワット	記載なし	最大値	0.7±9.1	片脚で立ち, 反対脚は股関節中間位, 膝関節 90°屈曲位とし, 手は腰に置く. 前方を見ながら, 膝の屈曲角度が 75° ~ 85°に達するまでしゃがみ込む. 必要に応じて立脚肢の踵の浮き上がりは許容.
Silva	2014	男性 22 人, 女性 22 人	男性 16.4±1.5, 女性 16.6±1.1	片脚スクワット	骨盤	膝最大屈曲時	6.2±4.9	反対脚の膝を 90°屈曲位とし, 上肢は胸の前に交差する. 2 秒間で可能な限りしゃがみ込み, 膝 60°以上しゃがみ込み, さらに 2 秒間で片脚立ちに戻る.
Zawadka	2020	男性 35 人, 女性 23 人	男性 21.0±1.2, 女性 20.3±0.5	片脚スクワット	記載なし	最大値	9.0±5.0	対側下肢は大腿部が床に対して垂直になるよう膝を曲げて行う. まっすぐ前を向き, バランスを崩さず, 踵を地面につけたまま, ゆっくりとコントロールしながらしゃがみ込む. 上肢は横に下げたまま行う.
Graci	2012	男性 10 人, 女性 9 人	男性 28.7±6.1, 女性 26.7±5.8	片脚スクワット	骨盤	膝屈曲 45°時 膝最大屈曲時	0.5±3.2 -4.5±4.5	対側下肢を曲げ, 下肢を体の後ろに位置させた状態で片脚スクワットを行う. 両腕を体の横に下げたまま行う.
Nakagawa	2012	男性 20 人, 女性 20 人	男性 23.5±3.8, 女性 21.8±2.6	片脚スクワット	骨盤	最大値*	7.0±3.0	2 秒間で膝屈曲 60°以上になるようにしゃがみ込み, バランスを崩さずに 2 秒かけて最初の片脚立ちの姿勢に戻る.
Khuu	2019	男性 16 人, 女性 16 人	男性 22.2±3.7, 女性 23.1±1.9	片脚スクワット 遊脚肢前方	グローバル	膝屈曲 60°時 膝最大屈曲時	2.4±2.7 2.1±3.8	対側下肢を以下の 3 条件で片脚スクワット行う. 1) 対側下肢を前方に伸ばす, 2) 対側下肢の膝をわずかに曲げ立脚肢の足関節に添わせる, 3) 対側下肢の大腿部をまっすぐ下げたまま膝を 90°屈曲する. 各対象者の選択した方法で, できるだけ深くしゃがみ込み, 両足を地面につけて開始姿勢に戻る.
				片脚スクワット 遊脚肢中央		膝屈曲 60°時 膝最大屈曲時	2.6±2.6 2.6±3.1	
				片脚スクワット 遊脚肢後方		膝屈曲 60°時 膝最大屈曲時	3.6±2.8 3.5±2.8	

表 3. 各論文の特徴について (続き)

著者	年	サンプル サイズ	年齢 (歳)	動作課題	体幹傾斜 角度の基準	測定点	全体平均± SD	課題の説明
Liederbach	2014	男性 40 人, 女性 40 人	男性 24.5±5.7, 女性 22.5±4.6	片脚着地	記載なし	最大値	4.5±1.4	30cm 台上から片脚で着地動作を行う. 両腕は胸の前に交差する. 台上から踏み切った脚で床反力計上に着地する.
Taniguchi	2022	男性 18 人, 女性 18 人	男性 21.8±1.1, 女性 22.1±1.5	片脚着地	グローバル	IC 最大値	4.0±2.3 5.8±2.7	30cm 台上から片脚で立ち, 片脚着地動作を行う. 両手は腰に当てたまま保つ.
Romanchuk	2020	男性 15 人, 女性 16 人	男性 15.7±1.9, 女性 15.7±1.7	非予測片脚着地	骨盤	IC から最も沈み込む時点までの平均値	8.7±6.9	各対象者の脛骨プラトーの高さに合わされた台上から両脚で踏み切り, 両脚で着地後ただちに最大垂直飛びを行い, その後片脚または両脚で着地を行う. 二回目の着地の指示はランダムに最大垂直飛びの後に前方のプロジェクトーに示される. 着地後に足底面は動かしてはいけない.
Lessi	2017	男性 20 人, 女性 20 人	男性 22.8±2.9, 女性 23.6±3.0	片脚着地後最大垂直飛び	グローバル	IC 最大値	1.0±3.2 10.3±4.3	両手を胸の前に組み, 飛び上がったたり, 踏み下りたり, バランスを崩したりすることなく, 31 cm 台上から落下し, 片脚で着地する. 接地後対側の下肢が床面に触れることなく, 最大努力の片脚垂直飛びを行う.
Mornieux	2021	男性 12 人, 女性 12 人	男性 24.2±2.5, 女性 21.6±1.4	30°カッピング 60°カッピング	グローバル	最大膝外反モーメント発生時 最大膝外反モーメント発生時	8.1±3.7 9.2±4.5	床反力計上で 30°の切り返し, 60°の切り返し, 20°の逆方向への切り返しの 3 種類のカッピング動作をランダムな指示で, アプローチ速度 4±0.2m/s で行う. 課題は床反力計に接する 460ms 前に光信号によって指示される.
Jamison	2012	男性 15 人, 女性 14 人	男性 26.7±7.6, 女性 25.5±6.2	45°カッピング	グローバル	最大値	8.4±7.9	圧センサーマット上から開始し, 各対象者のペースで 3 歩走った後に床反力計上に接地する. アプローチ中に, まっすぐ走り抜けるか, 45°方向に切り返し動作を行うか矢印で指示される. 矢印が点灯するまでの時間は対象者ごとに調整される.
Havens	2015	男性 13 人, 女性 12 人	男性 20.3±2.8, 女性 24.8±2.6	45°カッピング 90°カッピング	グローバル	IC ROM (IC から最大値) IC ROM (IC から最大値)	A A A A	7.5m をできるだけ速く走り, 45°または 90°で切り返し動作を行い, さらに 7.5m をできるだけ速く走り続ける. 切り返し方向の順番は対象者ごとに決定される.

表 3. 各論文の特徴について (続き)

著者	年	サンプル サイズ	年齢 (歳)	動作課題	体幹傾斜 角度の基準	測定点	全体平均± SD	課題の説明
Leppanen	2021	男性 149 人, 女性 109 人 (男性 286 脚, 女性 203 脚)	男性 16.1± 1.8, 女性 15.8±2.2	180°方向転換動作	グローバル	最大値	1.4±18.2	最高速度でのアプローチから 180°の方向転換を最大努力下で (目視による確認される) 行う. アシスタントからパスを受け, ワンタッチでボールを返す. その後, 横方向に 4m 加速して, 床反力計上で高速の 180°方向転換動作を行い, 再びボールを受け渡した地点にできるだけ早く戻る.
Nagano	2011	男性 10 人, 女性 10 人	男性 20.7± 1.3, 女性 20.1±1.4	180°方向転換 動作	グローバル	IC	1.1±10.3	静止立位から最高速度で 180°方向転換動作を行う. 5m 直進し, 進行方向に対して垂直に床反力計に接地した後, 進行方向を 180°転換させる.
						接地後 75ms	1.4±12.5	
						接地後 150ms	1.2±15.6	
						IC から接地後 150ms までの ROM	0.2±8.5	
Weltin	2015	男性 12 人, 女性 12 人	男性 23.2± 3.0, 女性 23.2±2.6	側方ジャンプ	グローバル	最大膝外反モー メント発生時	1.9±4.0	直立した状態から左脚で右側に飛び出し, 右脚で元の位置へ戻る課題を行う. 跳躍距離は各対象者の脚長の 124%と設定される. 前方を見ながらできるだけ早く動作を行う.

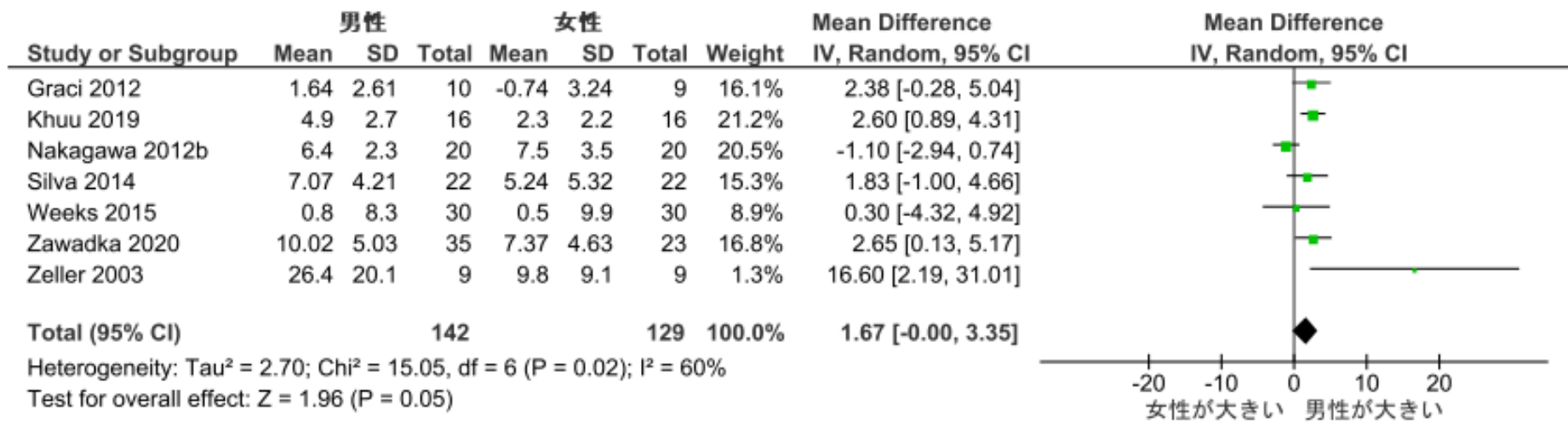
IC : 初期接地

a : 本文中に数値データの記載なし. 男性と女性の間には有意差なし.

*は本文中には Range of motion や Excursion との記載があるが本文中より最大値と判断.

2.3.3 片脚スクワット

全17編のうち、片脚スクワットを動作課題とした論文は計7編であった^{47,49,56-60}。片脚スクワットにおける体幹傾斜角度の測定点は研究によってばらつきが見られた(表3)。体幹傾斜角度の基準は、3編の論文で骨盤基準、1編の論文でグローバル座標系基準、3編の論文で本文中での記載が無かった。Graciら⁵⁸の研究では、膝関節45°屈曲位と膝最大屈曲位の二点において、体幹側方傾斜角度が示されていたが、全体平均がより大きかった膝関節45°屈曲位での値をメタアナリシスに使用した。また、Khuuら⁶⁰の研究では、片脚スクワットの際の遊脚肢の位置による比較を行っており、遊脚肢を前方、側方、後方の3方向に保つ動作間での比較を行った。体幹傾斜角度は遊脚肢後方でのスクワットが他の2条件より大きく、また膝屈曲60°の際に最も全体平均が大きかったため、メタアナリシスに使用した。計7編の論文をメタアナリシスに投入した(男性142人、女性129人、図2)。平均差は1.67°であり、男性が女性と比較して片脚スクワット時の体幹傾斜が大きい傾向にあったが、統計学的には有意でなかった($P = 0.05$, 95%信頼区間; 0 to 3.35°)。I²値は60%であり比較的高い異質性が認められた。



- 17 -
 図2 片脚スクワットのフォレストプロット

2.3.4 繰り返し動作

全17編のうち、繰り返し動作を課題とした論文は計6編であった^{36,48,50,53,61,62}。繰り返し動作の中には、アプローチからのカッティング動作、180°の方向転換動作、側方にジャンプし片脚で接地し、元の位置まで戻る側方ジャンプ動作を含めた。測定点は研究間によってばらつきが認められた(表3)。体幹傾斜の基準は全ての論文でグローバル座標系としていた。6編のうち、女性の体幹傾斜が大きいとする論文は無かった。Mornieuxら⁶¹は、ランニングからのカッティング動作を、30°と60°の二つの異なる角度で計測を行った。カッティングの角度で体幹傾斜角度に有意差は認めなかったものの、全体平均は60°の繰り返しで大きい値を示しており、メタアナリシスに用いた。Havensら⁶²は走行からのカッティング動作を45°と90°の二つの異なる角度で計測を行った。どちらの条件においても体幹の傾斜角度に性差は認められず、性別ごとの数値データは示されていないため、メタアナリシスから除外した。Naganoら⁵⁰は180度の方向転換動作においてIC時、IC後75ms、150ms、ICから150msまでの変化量の4つの計測点で結果を示した。IC時及びIC後75ms時において、男性は女性と比較して支持脚側への体幹傾斜が大きかった。IC後75ms時点での全体平均が最も大きく、メタアナリシスに用いた。よって計5編の論文をメタアナリシスに投入した。Leppanenら⁴⁸は、各対象者の両脚でのデータを解析に用いており、サンプルサイズに脚数を報告した。そのため合計男性335脚、女性251脚が解析対象となった(図3)。平均差は3.9°であり、男性が女性と比較してカッティング動作時の体幹傾斜が大きかった($P = 0.02$, 95%信頼区間: 0.75 to 7.04°)。I²値は64%であり比較的高い異質性が認められた。

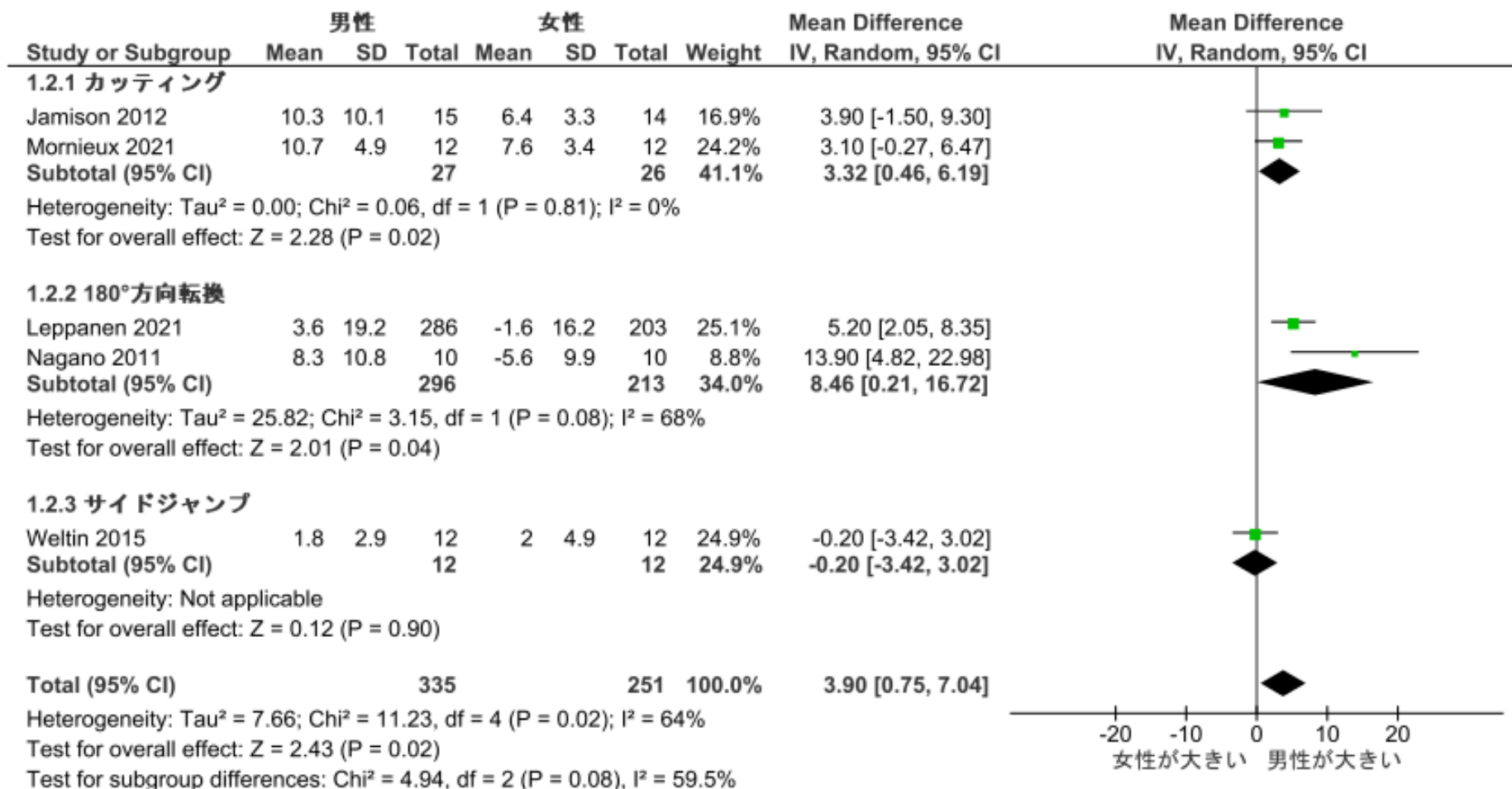


図3 繰り返し動作のフォレストプロット

2.3.5 片脚着地

全17編のうち、片脚着地を動作課題とした論文は計4編であった^{51,52,54,55}。片脚着地動作の中には、台上からの片脚着地と片足で着地後ただちに最大垂直飛びを行う片脚DVJが含まれた。4編のうち、女性の体幹傾斜が大きいとする論文は無かった。Romanchukら⁵²の報告では、台上からの両脚でのDVJ中に前方に設置した画面上の指示によって、右脚または左脚での片脚着地を非予測下に行う片脚着地課題が実施された。体幹傾斜の基準はRomanchukら⁵²の研究のみ骨盤基準で、他の3編の論文はグローバル座標系基準であった。体幹傾斜角度の測定点は、3編の論文で解析相における最大値をメタアナリシスに用いた。Romanchukら⁵²はICから重心が最大に沈み込むまでの期間において、体幹傾斜角度の平均値を算出した。計4編の論文をメタアナリシスに投入した(男性93人、女性94人、図4)。平均差は0.42°であり、片脚着地時の体幹傾斜に男性と女性との間に有意な差は認めなかった($P=0.50$, 95%信頼区間: -0.79 to 1.63°)。I²値は43%であり中等度の異質性が認められた。

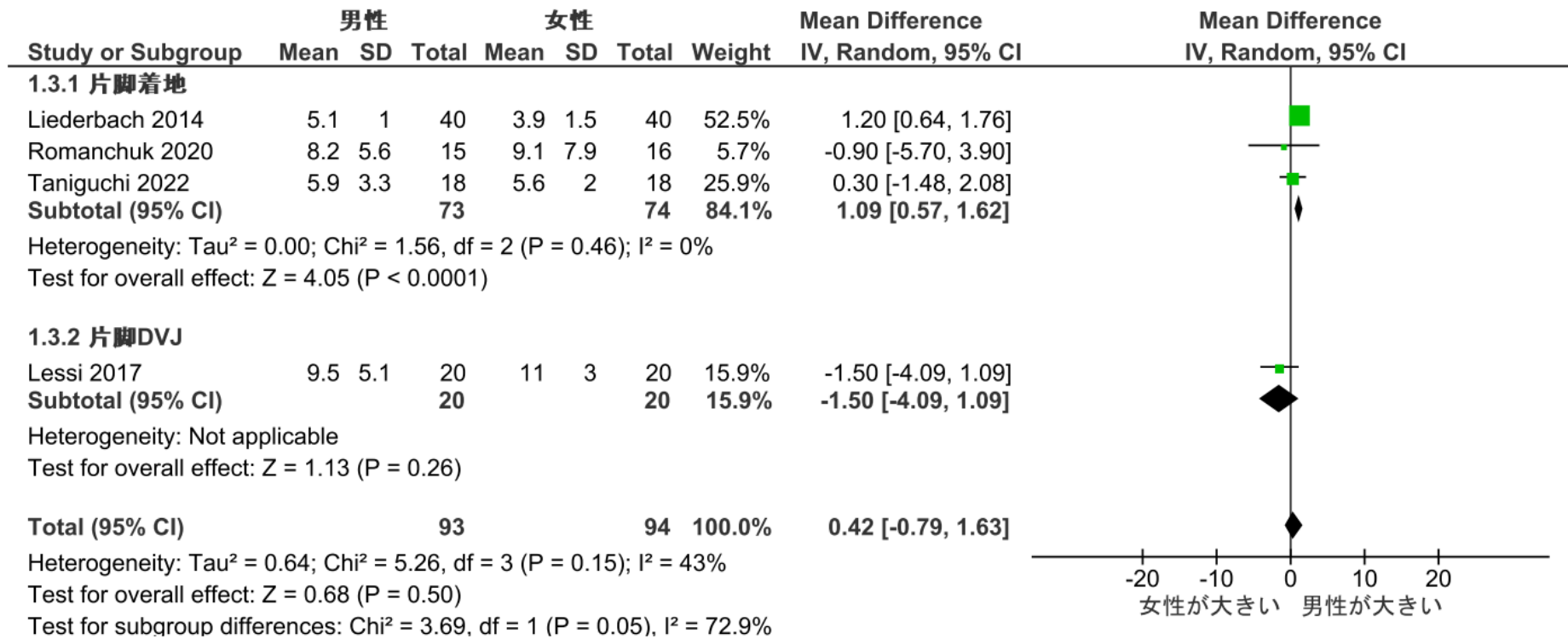


図4 片脚着地のフォレストプロット

2.4 考察

本研究の目的は、男性と女性の間でスポーツ動作課題中の体幹傾斜角度に差があるかを検討することであった。本研究で対象となった論文 17 編において、動作課題は片脚スクワット、繰り返し動作、片脚着地動作の 3 課題であった。片脚スクワット、繰り返し動作においては男性が女性と比較して支持脚側方向への体幹傾斜角度が大きい傾向にあり、片脚着地動作においては性差を認めない結果であった（図 2~4）。ACL 損傷場面において女性は男性と比較して体幹傾斜が大きいとされ、損傷側への体幹傾斜は女性の ACL 損傷メカニズムとして特徴的である^{30,31,42}。よって本研究では女性において体幹傾斜角度が大きいと仮説をたてたが、仮説は支持されなかった。課題ごとのメタアナリシスより、 I^2 値は 43%~64%であり中等度から比較的大きな異質性が認められた。これらの論文では、体幹傾斜角度の測定点の違いや、体幹傾斜角度の基準にばらつきがみられ、異質性を高める要素を含むものであり、結果の解釈には注意を要するだろう。異質性の高さに影響する要因の検討は、抽出された論文数が少なく困難であった。

片脚スクワットは臨床現場においてトレーニングや、運動評価に頻繁に用いられる課題である。男性と女性の間で体幹側方傾斜角度の平均差は 1.67°であり、統計学的には有意ではなかったものの、男性で体幹傾斜が大きい傾向にあった。体幹傾斜角度の基準が半数の論文で骨盤であった。対象となった論文 7 編の内 5 編で骨盤の傾斜角度の性差についても検討がされていたが、2 編の論文で性差が認められた^{57,60}。よって結果の解釈には注意を要し、骨盤と体幹運動の総合的な評価が必要であるかもしれない。また片脚スクワットの条件設定に論文間でばらつきが見られた。上肢の位置、対側下肢の保持の仕方、踵の浮き上がりの許容の有無、しゃがみこむ深さはそれぞれ論文ごとに決定されており、ゴールドスタンダードな評価は決まっていなかった。Khuu ら⁶⁰は、対側下肢の位置を前方、側方、後方の三条件で片脚スクワット時のキネマティクスを比較しており、対側下肢が後方の条件で他の二条件と比較して有意に体幹傾斜角度が増加したことを報告している。よって、論文ごとに片脚スクワットの条件設定が異なることは、結果の統合に影響を与えている可能性があり、統一した評価方法の設定が必要であるかもしれない。

繰り返し動作や片脚着地動作は ACL 損傷場面の好発動作である¹⁵⁻²¹。ACL 損傷場面において、体幹の側方傾斜の増大は女性で特徴的であり、スポーツ動作中の体幹傾斜角度は女性で大きいと仮説をたてた。しかしながら仮説とは反して、繰り返し動作では男性で有意に体幹傾斜角度が大きく、片脚着地動作では男性と女性の間には差はなかった。女性はスポーツ動作において危険な姿勢である体幹側方傾斜姿勢を避けた動作を行っている可能性があり、本研究結果に反映されたものと考えられた。特に 180°の方向転換動作においては男女の体幹傾斜角度の差は最も大きく、男性が平均 8.46°女性と比較して体幹傾斜角度が大きかった（95%信頼区間：0.21 to 16.72）。これらの研究では方向転換動作時の膝関節外反角度も算出されているが、差がないかむしろ女性で大きい膝外反角度を呈していた^{48,50}。体幹の傾斜角度の増大は膝関節外反負荷を高め、膝関節外反角度の増加につながると考えられているが^{35,36}、男性はより支持脚側への体幹傾斜角度が大きいにもかかわらず、膝関節外反角度は小さい、または女性と差がなく、体幹傾斜に伴う膝関節外反負荷の増大をうまくコントロールできている結果であるかもしれない。

女性の ACL 損傷場面において、IC 時より 10° ~ 15°の損傷側への体幹傾斜が生じていたことが報告されている^{30,38}。ACL 損傷は接地後 40ms 前後の早期に生じるとされていることから、初期接地時から生じる体幹傾斜の増大が女性の ACL 損傷の重要な要素であるかもしれない²⁹。今回対象となった論文の中で IC 時の体幹傾斜角度がいくつかの論文で報告されており、片脚着地と繰り返し動作で 1.0° ~ 4.0°の傾斜角度であった（表 3）。本研究で抽出された論文における体

幹傾斜角度は ACL 損傷場面において観察される体幹傾斜角度と比較して小さい。ACL 損傷の生じていないスポーツ動作において、健常者は ACL 損傷場面と比較して小さな体幹傾斜角度を呈していたと考えられる。本研究で対象となった論文は全て実験室でデータの計測が行われた。実験室で行われる研究では、安全に配慮し、十分に練習を行った後にデータの計測が行われる。よって、危険な姿勢を避ける動作戦略をとったうえでの結果が報告されているのかもしれない。実際のスポーツ場面に近い環境で、特に IC 時より体幹傾斜角度が増大するような課題設定での動作解析によって、体幹傾斜の性差の検討が必要であるだろう。

本研究の限界として、動作課題が研究間で厳密に同じではなかったことが挙げられる。片脚スクワット、切り返し動作、片脚着地課題と 3 つの課題に分類し、それぞれにおいてメタアナリシスを行ったが、論文ごとの課題の規定は異なった。それぞれのフォレストプロットで比較的大きな異質性が認められたことは、論文間で課題の規定が異なることが要因の一つであるかもしれない。しかしながら、同様の規定の動作課題ごとにサブグループ解析を行うにはサンプルサイズが少ないために困難であった。二つ目の限界として、本レビューで確認された体幹傾斜の性差について、その原因については不明であった。支持脚側への体幹傾斜に関連する因子として、股関節外転筋筋力の低下が示唆されているが³⁹、一般的に股関節外転筋筋力は女性と比較して男性で強いとされており⁶⁴、本研究結果とは矛盾している。方向転換動作における体幹傾斜と、体幹筋の筋活動の関係性に関する調査では、有意な関連性は示されていない⁶⁵。今後の課題として、こういった要因が動作時の体幹傾斜を高めることに関連するのかが調査が必要となるだろう。三つ目の限界として、本レビューにおいて採用された論文は全て実験室で行われた研究であり、実際のスポーツ場面において計測された研究は含まれなかった。実験室での研究においては十分に練習が行われたのちに、安全に配慮され行われる。今後はより実際のスポーツ場面に近い環境設定や、実際のスポーツ活動中における計測が必要であるだろう。

2.5 結論

本研究ではスポーツ動作時の体幹傾斜角度の性差について、システマティックレビューとメタアナリシスにて検討を行った。片脚スクワット、および切り返し動作において支持脚側への体幹傾斜角度は男性で大きい傾向にあった。また、片脚着地課題においては体幹傾斜角度に性差を認めなかった。

3 体幹姿勢の前額面における変化が着地動作における下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差について

3.1 緒言

体幹姿勢の前額面における変化が、着地動作における下肢関節バイオメカニクスに影響を与えることが報告されている^{35-39,66,67}。支持脚側への体幹側方傾斜の増大は、膝関節外反モーメントや外反角度を増加させ、股関節内転モーメントの減少または股関節外転モーメントの増加を生じる^{39,40}。一方で体幹側方傾斜は膝関節屈曲モーメントには影響を与えず、膝関節内旋モーメントには影響を与えないか減少させた³⁵⁻³⁷。これらの下肢バイオメカニクスの変化には体幹姿勢の変化によって身体質量中心位置が変化することに起因していると考えられている^{38,41}。また、体幹の動きと股関節・膝関節の動きの間の運動連鎖が上記メカニズムに関与していると考えられている³⁸。女性のACL損傷場面において、損傷側への体幹側方傾斜角度が男性と比較して大きいことが示されている^{26,30,31}。ACL損傷場面のビデオ解析によって、女性のACL損傷場面においては体幹が損傷側へ11.1°傾斜していたのに対して、男性の損傷場面においては損傷側とは反対側に5.5°傾斜していた³¹。またプロサッカー選手の損傷場面のビデオ解析によると、女性は損傷側への体幹傾斜が15°であったのに対して、男性は5°であった^{26,30}。以上のように、損傷側への体幹傾斜の増大は女性のACL損傷メカニズムの一つと考えられている。女性のACL損傷場で損傷側への体幹傾斜が大きい原因として、女性の体幹コントロールの欠如が起因していると推測されており、ACL損傷予防においては支持脚側への体幹傾斜を避けて、正中位に保つよう指導されている^{37,68-70}。しかしながらこれまでの動作解析研究においては、ACL損傷場で観察されるのと同程度もしくはそれ以上の体幹傾斜度を示したとしても、ACL損傷は実際には生じていない^{36,66,67,71}。Hinshawら⁶⁶は、健常男女を対象に、両脚垂直ジャンプ着地課題の空中相で体幹を側方に傾けて着地を行う動作の解析が行われており、初期接地時には17.0°の体幹側方傾斜を示した。また、本論文の研究1ではスポーツ動作課題における体幹側方傾斜角度の性差について、システマティックレビューにて検討したが、ACL損傷発生が多いとされている繰り返し動作においては男性で支持脚側への体幹傾斜が大きく、片脚着地動作においては有意な性差を認めなかった。繰り返し動作においては支持脚側への体幹傾斜角度が男性で有意に大きいにもかかわらず、女性と比較して膝外反角度が小さい、または有意差がなかったことが報告されている^{48,50}。よって、体幹の側方傾斜を回避することに加えて、体幹傾斜姿勢における膝関節や股関節の制御がACL損傷予防に重要であると考えられる。体幹の側方傾斜が下肢関節のバイオメカニクスに与える効果の性差についてはこれまで検討されていなく不明であり、ACL損傷場面において女性で損傷側への体幹傾斜が生じる頻度が多い理由を解明する一助となる可能性がある。

よって本研究の目的は、片脚着地動作時の体幹傾斜が前額面上の膝関節及び股関節のモーメントと角度に及ぼす影響を、女性と男性で比較することであった。仮説は、体幹の側方傾斜姿勢によって、膝関節外反モーメント、外反角度、股関節外転モーメントが増加する。さらに、女性は男性と比較して、着地時の体幹側方傾斜に伴う膝関節外反モーメントの増加が大きくなると予想した。さらに、ACL損傷は浅い膝屈曲角度における、膝内旋モーメント及び角度の増加を含む多面的な負荷メカニズムによって損傷が起きるとされているため、矢状面と水平面での膝と股関節のモーメントと角度についても効果を検討した⁷²。

3.2 方法

3.2.1 対象

対象者は健常女性 18 名（平均 ± 標準偏差：年齢 22.1 ± 1.5 歳；身長 157.7 ± 6.0 cm；体重 52.5 ± 4.6 kg），健常男性 18 名（年齢 21.8 ± 1.1 歳；身長 173.5 ± 5.1 cm；体重 63.6 ± 4.7 kg）の計 36 名であった。全ての参加者はレクリエーションレベルのスポーツ経験を有していた（サッカー，テニス，ラクロスなど）。本研究対象の除外基準は，1) ACL 断裂を含む膝の損傷の既往，2) 下肢または体幹の手術歴，3) 神経筋障害，4) 過去 6 か月以内の筋骨格系障害（足関節捻挫や腰痛など）とした。全ての対象者に対して本研究の趣旨及び実験内容について口頭及び書面にて説明し，書面にてインフォームドコンセントを取得し，署名を得た。また本研究は，北海道大学保健科学研究所の倫理委員会の承認を得て行った（15-81）。

3.2.2 手順とデータ収集

全てのデータは Cortex 5.0.1 動作解析システム（Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA, USA）を用いて収集した。この動作解析システムを用いて，6 台の高速度デジタルカメラ（Hawk cameras; Motion Analysis Corporation）と 1 台の床反力計（Type 9286; Kistler AG, Winterthur, Switzerland）より得られるマーカー座標データ，床反力データを同期して記録した。サンプリング周波数はマーカー座標データを 200Hz，床反力データを 1000Hz に設定した。全ての対象者は右脚が利き足であったため，右脚を解析肢とした。利き脚はボールをより遠くまで蹴ることができる側の脚として定義した。全 41 個の赤外線反射マーカーを対象者の第 7 頸椎棘突起（C7），第 10 胸椎棘突起（Th10），仙骨，右側の腸骨稜，大腿骨内側上顆，左右の肩峰，前上腸骨棘（ASIS），大転子，股関節，大腿骨外側上顆，足関節内果・外果，踵骨隆起，第 2・第 5 中足骨頭，さらに右大腿部と下腿部にクラスターマーカーを，両面テープを用いて貼付した⁷³。初めに，各対象者のスケーリングを行うために，静止立位姿勢のデータを記録した。30cm 台上からの片足着地動作の計測を以下の 2 条件で行った：(1) 体幹の姿勢に関して何も指示せずに片脚着地を行う（指示なし条件），(2) 体幹を支持脚側方向へ傾けた姿勢を保って片脚着地を行う（体幹傾斜条件）。体幹傾斜条件では，対象者は台上で体幹を右に 15 度傾けた状態で片脚立位をとり，その傾斜角度を IC まで保って着地を行うよう指示した（図 5）。体幹の傾斜角度はゴニオメーターを用いて後方より測定した。体幹の傾斜角度は C7 と Th10 のマーカーを結ぶ直線が前額面上の垂直線と成す角度と定義した⁷⁴。体幹の傾斜角度 15 度は ACL 損傷場面のビデオ解析研究のデータに基づいて決定した^{30,31}。IC の前に体幹の傾斜角度が明らかに変化していた場合は失敗として，再度施行を行った。また両着地条件共に，対象者は両手を両腸骨稜においた。対象者が十分に課題になれるまで練習施行を行った。着地後少なくとも 3 秒間制止することができなかった場合は，失敗施行として解析より除外した。各条件 3 回ずつの成功施行を解析に使用した。

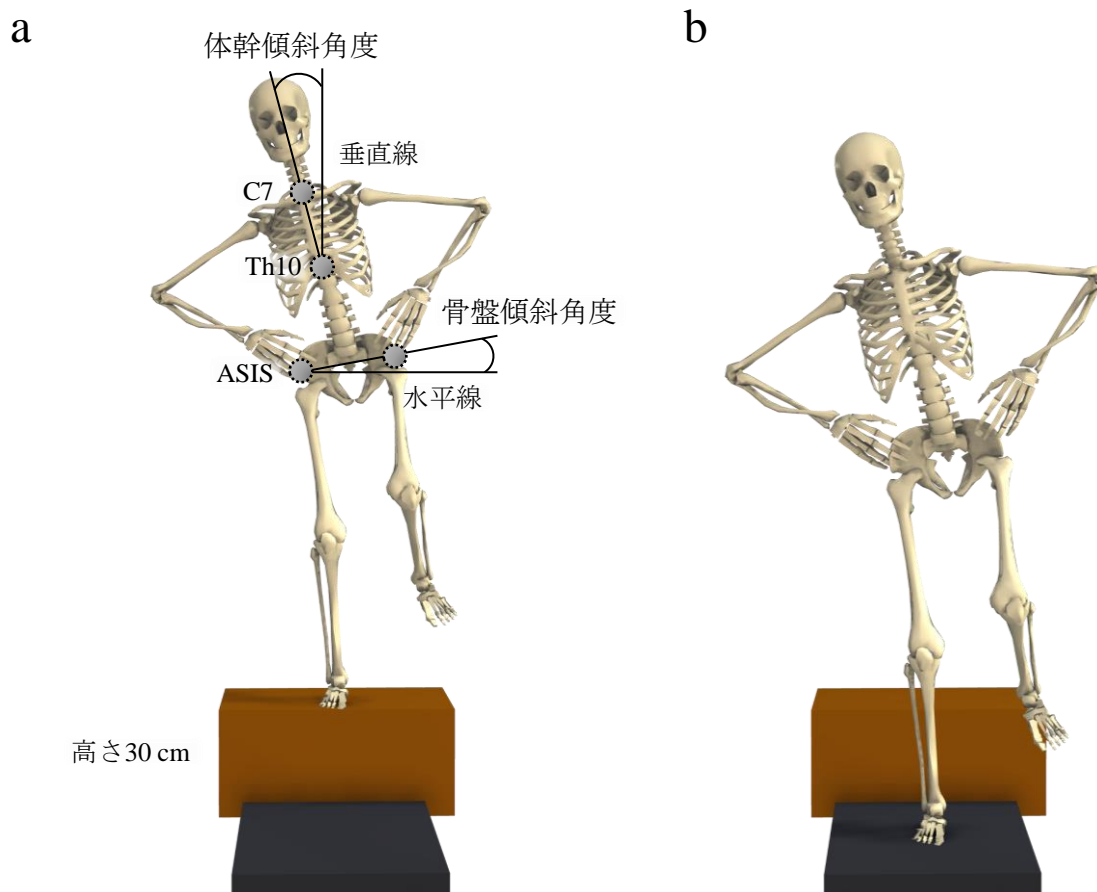


図 5. 片脚着地課題. 高さ 30 cm の台上に立ち (a), 台から落下して床反力計上に着地する (b). 体幹傾斜条件では, 台上で体幹を着地脚側に 15°傾け, 着地脚が床反力計に接触するまでの間, その姿勢を保つよう指示した. 指示なし条件では, 体幹の姿勢に関する指示は行わなかった. 体幹の傾斜角度は, C7 と Th10 マーカーを結ぶ線と垂直線との間の角度と定義した.

Taniguchi et al. (2022)⁵⁵ Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) より一部改変.

3.2.3 データ解析

股関節と膝関節のキネマティクスデータは 12 Hz の 4 次 Butterworth filter を用いてフィルタ処理を行った. 股関節と膝関節のキネマティクスデータは Visual3D ソフトウェア (C-Motion Inc., Germantown, MD, USA) を用いて関節座標系より計算した. 静止立位姿勢時の膝関節と股関節の角度をゼロリファレンスと設定した⁷⁵. さらに, 自作の MATLAB プログラム (MathWorks, Inc., Natick, Ma, USA) を用いて体幹と骨盤の傾斜角度を算出した. 体幹の傾斜角度は C7 と Th10 マーカーを結ぶ線と垂直線が前額面上で成す角度として算出した⁷⁴. また骨盤の傾斜角度は両 ASIS マーカーを結ぶ線と水平線とが前額面上で成す角度として定義した (図 5)³⁷. 体幹と骨盤の傾斜角度はそれぞれグローバル座標系に対する角度として個別に計算した. 床反力データは 50 Hz の 4 次 Butterworth filter を用いてフィルタ処理を行った. 膝関節と股関節の外部モーメントは Visual3D ソフトウェアを用いて逆動力学計算により算出した. 外部モーメント算出に用いた各セグメントの慣性モーメントは de Leva の報告に基づいた⁷⁶. 解析相は IC から, IC から垂直床反力 (VGRF) のピークまでの時間の 2 倍の時点とした³⁵. この期間は, ACL 損傷が着地後

早期に発生するとされているため、解析相として設定した²⁹。ICにおける膝関節および股関節の角度を抽出した。また、着地相における膝関節および股関節角度とモーメントの最大値、さらにVGRFの最大値を抽出した。関節角度は膝関節屈曲、外反、内旋、股関節屈曲、内転、内旋、体幹の右側への傾斜、骨盤の遊脚側挙上をそれぞれ正の値で示した。また外部モーメントは膝関節屈曲、外反、内旋、股関節屈曲、外転、内旋を正の値で示した。外部モーメントは身長と体重で標準化し(Nm/m/kg)、VGRFは各対象者の体重で標準化した(N/kg)。

3.2.4 統計解析

体幹傾斜と性別の交互作用が膝関節および股関節のモーメントと角度に及ぼす効果について調査した研究はないが、体幹の側方傾斜が膝関節外反モーメントと角度に対する効果量は中から大と報告されている^{35,66}。そのため、交互作用の効果量を中程度と仮定した。サンプルサイズの計算にはG*Power3.1.9.6(Kiel University, Kiel, Germany)を用い、中程度の効果量($F = 0.25$)、 α レベルと0.05、パワー($1 - \beta$)を0.80と設定したところ、必要なサンプルサイズは合計34名となった。各従属変数に関して、性別を被験者間因子、着地条件を被験者内因子として二元配置反復測定分散分析を実施した。従属変数には、膝関節および股関節の三平面上の角度を、IC時と着地相における最大値を採用し、膝関節および股関節の三平面上のモーメント、VGRFについては着地相における最大値を採用した。Post-hocテストはBonferroniの補正のもと行った。統計学的有意水準は $P < 0.05$ とし、さらにpairwise比較の効果量としてCohen's dを算出した。効果量の大きさは、 $d > 0.80$ を効果量大、 $0.80 > d > 0.50$ を中等度、 $0.50 > d > 0.20$ を小とした⁷⁷。

3.3 結果

ICでの体幹傾斜角度は、女性で $14.3 \pm 3.2^\circ$ 、男性で $15.8 \pm 3.8^\circ$ であった(表4)。ICでの体幹傾斜角度には性差を認めなかった($P = 0.555$, $d = 0.08$)。一方、体幹傾斜条件では、指示なし条件と比較して、ICでの体幹傾斜角度が有意に増加した($P < 0.001$, 95%信頼区間 9.9 to 12.2° , $d = 3.63$)。体幹側方傾斜角度の最大値も、体幹傾斜条件では指示なし条件よりも有意に増加しており($P < 0.001$, 95%信頼区間 9.7 to 12.3° , $d = 3.46$)、性差は認めなかった(表4)。また、骨盤傾斜角度は指示なし条件よりも体幹傾斜条件で有意に増加したが(IC時: $P < 0.001$, 95%信頼区間 1.2 to 2.5° , $d = 0.58$; 最大値: $P < 0.001$, 95%信頼区間 1.4 to 2.6° , $d = 0.67$) (表4)、骨盤傾斜角度に交互作用や性別の影響は認めなかった。

膝関節外反モーメントの最大値について、着地条件の有意な主効果が認められ($P < 0.001$)、一方性別や交互作用の効果は認められなかった(表5)。体幹傾斜条件では、指示なし条件よりも有意に膝関節外反モーメントは増加した(95%信頼区間 0.031 to 0.059 Nm/kg/m, $d = 0.66$) (図6a)。一方、股関節外転モーメントについては、有意な交互作用と体幹傾斜の効果が認められた($P = 0.021$, $P < 0.001$) (表5)。男性は体幹傾斜条件において、指示なし条件と比較して股関節外転モーメントの最大値が増加したが($P < 0.001$, 95%信頼区間 0.049 to 0.134 Nm/kg/m, $d = 0.58$) (図6b)、一方女性は体幹傾斜条件と指示なし条件の間で股関節外転モーメントに差は認められなかった($P = 0.355$, 95%信頼区間 -0.23 to 0.062 Nm/kg/m, $d = 0.18$)。また、股関節屈曲モーメントと膝関節屈曲モーメントについても、着地条件の有意な効果が認められた($P = 0.041$, $P = 0.009$) (表5)。体幹傾斜条件において、指示なし条件と比較して有意に大きな股関節および膝関節屈曲モーメントを認めた(股関節屈曲モーメント: 95%信頼区間 0.005 to 0.203 Nm/kg/m, $d = 0.18$; 膝関節

屈曲モーメント：95%信頼区間 0.017 to 0.111 Nm/kg/m, $d = 0.26$). 最大 VGRF は有意な性別の主効果を認め、女性は男性と比較して有意に小さな最大 VGRF を認めた ($P = 0.036$, 95%信頼区間 0.3 to 7.2 N/kg, $d = 0.71$).

股関節角度と膝関節角度には有意な交互作用を認めなかった (表 6). 着地条件の主効果は、IC 時の股関節内転角度、股関節内転角度最大値、膝関節屈曲角度の最大値、膝関節外転角度の最大値に認めた. 体幹傾斜条件では、指示なし条件と比較して膝関節外反角度の最大値が有意に増加した ($P = 0.005$, 95%信頼区間 0.2 to 0.8°, $d = 0.19$). 体幹傾斜条件では、指示なし条件と比較して、IC 時の股関節外転角度が大きく、股関節内転角度最大値が小さかった (IC 時：95%信頼区間 1.8 to 3.1°, $d = 0.69$; 最大値：95%信頼区間 2.1 to 4.0°, $d = 0.64$). また体幹傾斜条件では、指示なし条件と比較して膝屈曲角度最大値が有意に増加した ($P < 0.001$, 95%信頼区間 0.7 to 2.3°, $d = 0.22$). 性別の主効果は、IC 時の股関節内旋角度、股関節屈曲角度最大値、股関節内旋角度最大値で認められた. 女性は男性と比較して、股関節屈曲角度最大値が大きかった ($P = 0.010$, 95%信頼区間 1.3 to 9.2°, $d = 0.89$). さらに、女性は IC 時の股関節内旋角度が小さく (より股関節外旋位)、股関節内旋角度最大値も小さかった (IC 時：95%信頼区間 2.0 to 9.3°, $d = -1.0$, 最大値：95%信頼区間 0.9 to 7.6°, $d = -0.86$).

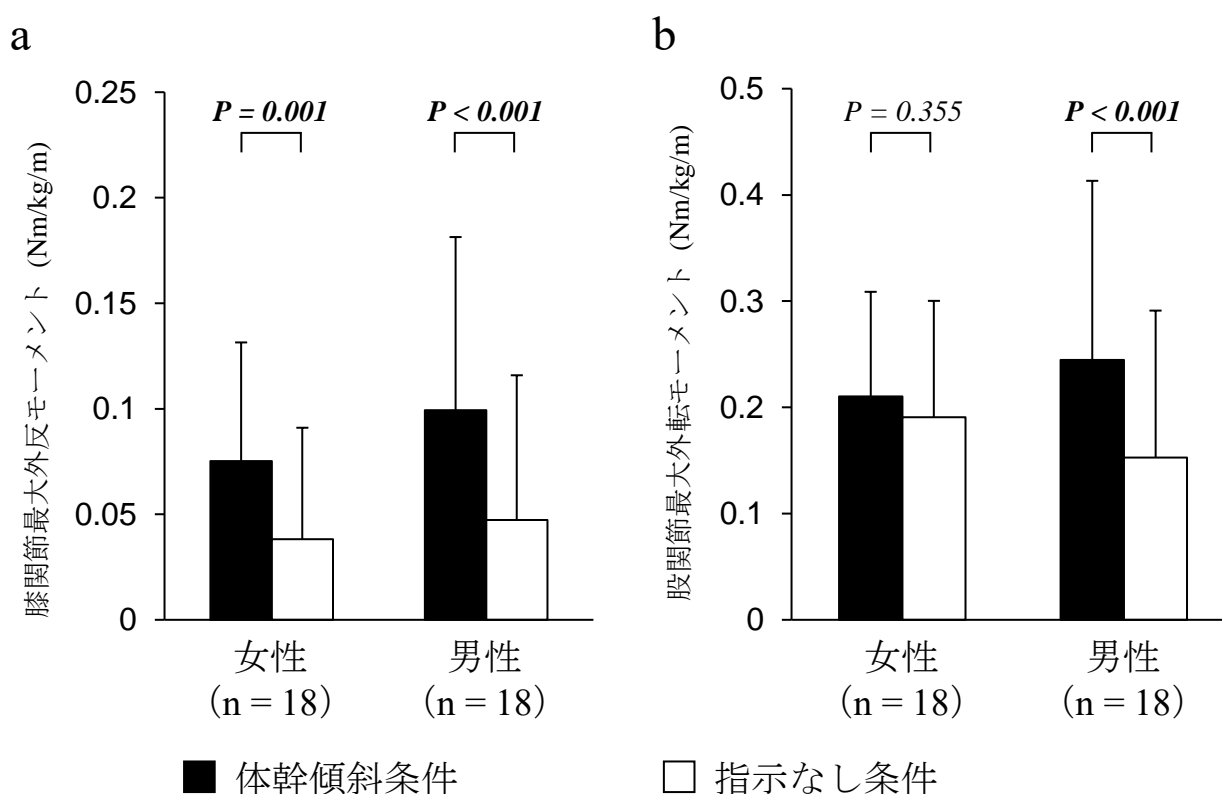


図 6. 着地条件による膝関節最大外反モーメントと股関節最大外転モーメントの比較. 膝関節最大外反モーメントについては着地条件の有意な主効果が認められ ($P < 0.001$) (a), 股関節最大外転モーメントについては着地条件の有意な効果および交互作用が認められた ($P < 0.001$, $P = 0.021$) (b). P 値は、体幹傾斜条件と指示なし条件との post hoc 検定の結果を示す.

表 4. 体幹と骨盤角度の比較 (°)

	女性		男性		P 値		
	指示なし	体幹傾斜	指示なし	体幹傾斜	着地条件	性別	交互作用
初期接地時							
体幹側方傾斜	4.2 ± 2.0	14.3 ± 3.3	3.8 ± 2.5	15.8 ± 3.9	< 0.001	0.555	0.113
骨盤側方傾斜	11.6 ± 3.2	13.2 ± 3.3	9.8 ± 3.0	11.9 ± 3.3	< 0.001	0.149	0.471
最大角度							
体幹側方傾斜	5.6 ± 2.0	15.7 ± 3.4	5.9 ± 3.3	17.7 ± 3.6	< 0.001	0.182	0.156
骨盤側方傾斜	12.3 ± 3.1	14.0 ± 3.1	10.3 ± 2.7	12.7 ± 2.9	< 0.001	0.087	0.289

平均 ± SD

二元配置反復測定分散分析で有意であった結果を太字で示す.

表 5. 股関節と膝関節モーメント最大値, 垂直床反力最大値の比較

	女性		男性		P 値		
	指示なし	体幹傾斜	指示なし	体幹傾斜	着地条件	性別	交互作用
外的モーメント最大値 (Nm/kg/m)							
股関節屈曲	1.79 ± 0.50	1.90 ± 0.65	1.96 ± 0.58	2.06 ± 0.54	0.041	0.387	0.879
股関節外転	0.19 ± 0.11	0.21 ± 0.10	0.15 ± 0.14	0.24 ± 0.17	0.001	0.968	0.021
股関節内旋	0.06 ± 0.07	0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.10 ± 0.07	0.025	0.267	0.512
膝関節屈曲	1.82 ± 0.24	1.90 ± 0.21	1.78 ± 0.27	1.82 ± 0.25	0.009	0.483	0.480
膝関節外反	0.04 ± 0.05	0.08 ± 0.06	0.05 ± 0.07	0.10 ± 0.08	< 0.001	0.445	0.279
膝関節内旋	0.14 ± 0.06	0.11 ± 0.06	0.16 ± 0.06	0.13 ± 0.07	< 0.001	0.397	0.532
最大垂直床反力 (N/kg)	37.6 ± 5.2	37.7 ± 5.3	41.6 ± 5.2	41.2 ± 5.1	0.731	0.036	0.580

平均 ± SD

二元配置反復測定分散分析で有意であった結果を太字で示す.

表 6. 股関節と膝関節角度の比較

	女性		男性		P 値		
	指示なし	体幹傾斜	指示なし	体幹傾斜	着地条件	性別	交互作用
初期接地時 (°)							
股関節屈曲	22.4 ± 4.6	21.7 ± 5.1	18.8 ± 4.9	19.2 ± 4.5	0.663	0.059	0.059
股関節内転	-5.9 ± 3.6	-8.1 ± 3.7	-4.2 ± 3.3	-6.9 ± 3.4	< 0.001	0.210	0.503
股関節内旋	-8.3 ± 5.5	-8.1 ± 4.9	-3.3 ± 5.8	-1.8 ± 6.0	0.072	0.004	0.178
膝関節屈曲	18.4 ± 5.5	19.2 ± 6.0	16.5 ± 5.3	17.2 ± 5.8	0.055	0.292	0.817
膝関節外反	-2.0 ± 2.0	-1.6 ± 2.0	-1.4 ± 1.6	-1.3 ± 1.6	0.065	0.510	0.271
膝関節内旋	-7.1 ± 4.3	-6.8 ± 3.8	-6.9 ± 4.6	-6.9 ± 4.7	0.680	0.978	0.774
最大値 (°)							
股関節屈曲角度	36.9 ± 6.0	36.9 ± 6.3	31.0 ± 6.0	32.3 ± 5.3	0.163	0.010	0.134
股関節内転角度	7.2 ± 4.7	4.4 ± 6.1	5.3 ± 3.6	2.0 ± 4.1	< 0.001	0.163	0.603
股関節内旋角度	0.6 ± 5.5	0.8 ± 5.2	4.5 ± 4.6	5.4 ± 4.8	0.145	0.014	0.324
膝関節屈曲角度	57.4 ± 8.4	59.1 ± 8.2	53.5 ± 4.9	55.0 ± 5.1	< 0.001	0.084	0.822
膝関節外反角度	0.1 ± 2.8	0.5 ± 2.6	-0.4 ± 2.6	0.1 ± 2.7	0.005	0.581	0.593
膝関節内旋角度	4.0 ± 5.2	4.1 ± 5.5	3.3 ± 5.5	3.7 ± 5.5	0.355	0.753	0.448

平均 ± SD

二元配置反復測定分散分析で有意であった結果を太字で示す。

3.4 考察

本研究の目的は、片脚着地時の膝関節外反モーメントおよび膝と股関節の運動学、運動力学的特性に対する体幹の側方傾斜の効果、女性と男性の間で比較することであった。本研究の主要な知見として、股関節外転モーメント最大値に対して着地条件と性別の有意な交互作用を示したことが挙げられる。涉猟しえた限り、本研究は体幹傾斜が前額面上の股関節モーメントに及ぼす影響が男女で異なることを示した初めての研究である。また、着地脚側への体幹の側方傾斜は膝関節外反モーメント最大値を増加させるが、意図的な体幹側方傾斜が膝関節外反モーメント最大値、および膝関節外反角度に及ぼす影響に性差は検出されなかった。したがって、本研究の仮説は一部支持された。

体幹傾斜条件実施時において、IC まで体幹の傾斜角度を支持脚側へ 15°に保つよう指示を与えた。本研究結果では体幹傾斜条件の IC 時の体幹側方傾斜角度に性別で有意な差を認めず、それぞれ女性で 14.3°、男性で 15.8°であった。また、体幹傾斜条件では指示なし条件と比較して体幹および骨盤の側方傾斜角度が有意に増加し、体幹側方傾斜角度の増加量は 9.9°から 12.2° (95%信頼区間) であり、骨盤傾斜角度の増加量は 1.2°から 2.5° (95%信頼区間) であった。骨盤の側方傾斜角度の増加量は体幹側方傾斜角度の増加量と比較して小さく、股関節と膝関節の角度とモーメントの変化は、主に体幹の側方傾斜角度の変化によって生じたものと考えられる。体幹傾斜条件では膝関節外反モーメント最大値が指示なし条件と比較して有意に増加し、先行研究と一致した結果であった^{35,36}。本研究において体幹傾斜条件の着地課題は適切に執り行うことができ、体幹傾斜が股関節及び膝関節に与える効果について男女で比較することができたと考えられた。

体幹の側方傾斜が膝と股関節のモーメントと角度に及ぼす影響は、股関節外転モーメントを除いて、男女で同様の傾向であった。女性は男性と比較して体幹の側方傾斜によって膝関節外反モーメントがより増加するという仮説は支持されなかった。この仮説は、女性特有の ACL 損傷メカニズムとして体幹の損傷側への傾斜増大が含まれていることに基づいていた^{38,78}。本結果は、ACL 損傷に関するビデオ解析研究において、女性アスリートのみが体幹の側方傾斜を示した理由の 1 つに、女性がスポーツ動作中に体幹を傾斜させやすいことが関係している可能性を示唆しているかもしれない^{26,30,31,42}。外的な負荷に対する前額面上の体幹の安定性が女性において ACL 損傷を含む膝関節損傷の予測因子であることが報告されている⁴³。しなしながら本研究を含めて、制御された中での動作解析研究における着地時の体幹傾斜角度に性差は検出されていない^{51,52,54,55}。よって、女性アスリートがスポーツ活動の際に体幹側方傾斜を生じやすいかどうかは不明であり、今後の研究ではよりスポーツ動作に近い環境での着地課題において体幹傾斜の性差を調査する必要がある。

男性は体幹傾斜によって股関節外転モーメント最大値が増加した。先行研究において横方向の reactive jump 課題において体幹の側方傾斜角度と股関節外転モーメントとの間に有意な相関関係があることが示されており、本研究による知見と一致した⁴⁰。外的股関節外転モーメントの増加は、股関節内転筋の活動増加を示唆している。股関節内転筋の機能として、荷重位において前額面上における大腿骨上での骨盤のコントロールが考えられている⁷⁹。片脚での動作において、股関節内転筋は大腿骨に対する骨盤の位置変化に応じて、骨盤を介した体幹の制御に機能すると考えられている⁶⁴。男性は体幹傾斜条件において体幹と骨盤を安定させるため、反射的に股関節内転筋の活動を高めていたかもしれない³⁸。一方、女性は指示なし条件と体幹傾斜条件とで股関節外転モーメント最大値に変化が認められなかった。このことから女性は体幹側方傾斜に対する股関節内転筋の反応性が低下している可能性が示唆された。本研究では体幹傾斜角度最大値に有意差を認めず、膝関節外反モーメント最大値を含めて膝関節の角度とモーメントに有意な交互作用

を検出できなかった。上記のような交互作用が認められなかった理由として、本研究で行った体幹傾斜条件において、体幹の傾斜は意図的であり、かつ課題は十分にコントロールされた条件下で行われたことが考えられる。従って今後は、頭上でのボールキャッチや、体幹回旋を伴うような、実際のスポーツ状況により近い条件設定において、体幹の側方傾斜が股関節や膝関節のキネマティクスやキネティクスに与える効果の性差について検討する必要があると思われる。

体幹側方傾斜条件では、指示なし条件と比較して膝関節外反モーメントの最大値は男女共に増加し、これまでの知見と一致した結果であった^{35,36}。膝関節外反モーメントはACL損傷メカニズムを構成する主要な関節負荷であるため、ACL損傷予防のために体幹の側方傾斜を避けることは重要となる根拠を示す結果であると考えられる^{37,68-70}。体幹傾斜によって膝関節外反角度最大値も増加を示したが、両条件の差の95%信頼区間は1°未満であり、結果の解釈には注意を要するだろう。その他の結果としては、体幹傾斜条件において、股関節屈曲モーメント最大値、膝関節屈曲モーメント最大値、膝関節屈曲角度最大値が指示なし条件と比較して有意に増加した。これらの変化は体幹傾斜条件において対象者はよりソフトな着地を行おうとしたことを示唆している⁸⁰。ソフトランディング戦略は着地時の膝関節外反モーメントや膝関節外反角度が小さくなることが示されている⁸¹。本研究において体幹傾斜条件でのソフトランディング戦略に伴って膝関節外反角度最大値の変化が小さかった可能性がある。体幹傾斜条件においてソフトランディングを対象者が心掛けたにもかかわらず、膝関節外反モーメント最大値が有意に増加したことは注目に値する結果であると考えられる。このことから、膝関節外反モーメントを減少させるためにはソフトランディングよりも体幹の側方傾斜の制御が重要であることが示唆された。また、体幹傾斜条件において膝内旋モーメント最大値もまた減少しており、先行研究と一致していた^{35,36}。近年の研究では、着地時の膝内旋運動量の減少と、股関節屈曲運動の増加、または膝関節屈曲モーメントの増加と関連することが報告されている⁸²。先行研究及び本研究の知見より、膝の回旋運動やモーメントの減少とソフトランディングの関連性が示唆される。しかしながら上記の関係性を示す報告は現状限られており、これらの関係性を明らかにするためには更なる研究が必要である。

臨床的な関連性について、男女ともにソフトランディングにもかかわらず、体幹の側方傾斜が膝関節外反モーメント最大値を増加させた。したがって、先行研究で示されてきた通りにACL損傷予防のために、着地時の体幹側方傾斜を回避するためのジャンプ着地トレーニングが重要であるだろう。また、女性は片脚着地時の体幹側方傾斜に対して股関節外転モーメントの変化が認められなかったが、男性は股関節外転モーメントが増加した。ACL損傷予防トレーニングにおいて股関節外転筋がターゲットとなることが多いが^{69,70}、本研究結果より股関節内転筋もまた骨盤と体幹の傾きの制御に重要であるかもしれない^{38,64,79}。本研究では、女性は体幹の側方傾斜の増加に合わせた適切な股関節のコントロールが劣っており、結果としてスポーツ動作中において前額面上の骨盤や体幹運動が増加する可能性があることを示した。方向転換動作の解析を行った先行研究においては、女性は男性と比較して支持脚側への骨盤と体幹の傾斜角度が小さいことが示されており^{50,83}、この結果は女性が股関節の不十分な制御に伴う骨盤や体幹の傾きを避ける動作戦略をとっていたことが考えられる。本研究結果は女性におけるACL損傷予防のために、体幹傾斜姿勢での片脚着地動作において股関節の前額面上制御能力に着目した介入の有用性を示唆するものであるだろう。股関節内転筋のトレーニングによって動作課題中の骨盤及び体幹の制御能力を改善するかについてさらなる研究が必要である。

本研究にはいくつかの限界が存在する。第一に、本研究において体幹の側方傾斜は意図的なものであり、着地課題は十分に制御された状態で行われた。本研究において着地課題の間、両手は腸骨稜から離さず行い、体幹傾斜条件においては台上からICまでの間体幹傾斜を維持するよう指

示した。実際のスポーツ場面においては、体幹の側方傾斜が膝関節や股関節の運動特性に及ぼす影響は女性と男性の間で異なる可能性がある。よりスポーツ場面に近い環境セッティングにおける着地動作において、体幹傾斜に伴う股関節及び膝関節の変化の性差について検討が必要である。第二に、股関節外転モーメントで示された交互作用から男性は体幹傾斜条件で股関節内転筋の活動が増加し、女性は増加しないと推測したが、筋活動の測定は行っていない。本研究での考察を裏付けるために、筋活動の性差についての評価が必要である。第三に、本研究では脊柱の側屈についてはコントロールされていない。体幹と骨盤の傾斜角度に性差や交互作用は認めなかったが、全ての対象者の脊柱側屈角度はコントロールされておらず、結果に影響を与えた可能性がある。最後に、ACL 損傷は多平面負荷によるメカニズムが考えられているため、本研究では体幹傾斜の効果を前額面上のみならず、矢状面、水平面においても網羅的に調査した⁷²。他の研究でも同様の研究デザインにおいて、3 平面の股関節及び膝関節の運動特性の比較が行われている⁸⁴⁻⁸⁶。本研究で用いた方法は許容範囲であると思われるが、統計的比較の数がタイプ I エラーを増加させる可能性があることについては認識しておかなければならないだろう。

3.5 結論

膝関節外反モーメントは、女性、男性ともに体幹の側方傾斜に伴い増加し、性差は認めなかった。また、男性は体幹の側方傾斜に対し股関節外転モーメントが増加したが、女性は股関節外転モーメントに変化を認めなかった。このことから、女性は体幹の側方傾斜に対して、前額面の股関節制御が変化していないことが示唆された。したがって、体幹の側方傾斜を避けるためのジャンプ着地トレーニングに加えて、特に女性を対象とした ACL 損傷予防のためには、体幹側方傾斜姿勢のジャンプ着地動作中に股関節の前額面上制御に着目することが有益であると考えられる。

4 総括論議

本論文では女性の ACL 損傷メカニズムとして特徴的である、損傷側への体幹側方傾斜に着目し、なぜ女性は ACL 損傷場面で体幹の側方傾斜が男性と比較して大きいのかを明らかにするために、研究 1 では現存するエビデンスの整理を目的に、スポーツ動作課題中の体幹傾斜角度の性差についてシステマティックレビューとメタアナリシスにて検討した。仮説と反して男性と比較して女性で体幹側方傾斜が大きい課題を検出することはできず、片脚スクワット、および繰り返し動作において、男性が女性と比べて支持脚側への体幹傾斜が大きいことを明らかにした。また研究 2 では、体幹傾斜が下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差の検討を行った。この研究では、女性は体幹側方傾斜によって、ACL 損傷リスクとして知られる膝関節外反モーメントがより増大するのではないかとこの仮説のもと行ったが、結果としては、男女ともに膝関節外反モーメントは増大し、体幹傾斜の効果に男女の間に差はなく、仮説は支持されなかった。

女性の ACL 損傷場面において体幹傾斜が特徴的である要因として、女性はスポーツ動作中に男性よりも体幹傾斜を生じやすい、女性は体幹傾斜によって膝関節外反モーメントが男性よりも高まりやすいという二つの仮説のもと行われた研究であるが、どちらの仮説も支持されなかった。しかしながら、研究 2 において、女性は体幹傾斜に対する股関節内転筋の反応性低下が示唆された。この結果より、女性の ACL 損傷場面において損傷側への体幹傾斜が特徴的である要因として、スポーツ場面における股関節機能の低下に伴い体幹傾斜の制御が十分に行えていないことが関係していると考えられた^{64,79}。研究 1 より、スポーツ動作時の体幹傾斜角度の性差に関するシステマティックレビューにおいて、女性がスポーツ動作中に体幹傾斜を生じやすいということは示されなかったため、今後は実際のスポーツ状況により近い条件設定において体幹傾斜の性差の検討が必要となると考えられる。ACL 損傷は接地後早期に生じることが知られているが²⁹、今回システマティックレビューで抽出された論文において、IC 時の体幹傾斜角度は損傷場面に見られた体幹傾斜角度と比べて小さく、IC 時より体幹傾斜が生じる課題の設定が必要となるかもしれない。また本研究結果より体幹傾斜に対する股関節内転筋の反応性が男女で異なる事が示唆されたが、股関節内転筋の筋活動は計測されておらず、今後は股関節内転筋の筋活動評価が必要となるだろう。男性女性共に体幹傾斜の増大によって、ACL 損傷に寄与するとされる膝関節外反モーメントは有意に高まったことから、ACL 損傷予防において、動作時の体幹コントロールに焦点を当てた予防トレーニングは重要であると考えられる。さらに本研究結果より股関節内転筋に着目した予防トレーニングや体幹側方傾斜方向への外乱を用いたトレーニングが ACL 損傷予防に寄与する可能性があり、ACL 損傷予防効果の検証が必要となるだろう。

5 結論

本研究では、第一にスポーツ動作課題中の体幹側方傾斜角度の性差をシステムティックレビューとメタアナリシスによって検討した。第二に、着地動作時の体幹側方傾斜の増大が下肢関節バイオメカニクスに与える効果の性差について検討した。これらの検討結果より以下の結論を得た。

1. 片脚スクワット、切り返し動作時の体幹側方傾斜角度は男性で大きく、片脚着地時の体幹傾斜角度に性差は認めなかった。
2. 体幹の側方傾斜に伴い、膝関節外反モーメントは、女性、男性ともに増加し、性差は認めなかった。また、男性は体幹の側方傾斜に対し股関節外転モーメントが増加したが、女性は股関節外転モーメントに変化を認めなかった。このことから、女性は体幹の側方傾斜に対して、前額面の股関節制御が変化していないことが示唆された。

6 謝辞

本研究は、筆者が北海道大学大学院保健科学院博士後期課程在学中に、同大学院保健科学研究所リハビリテーション科学分野、遠山晴一教授に御指導頂き行われたものです。本研究を遂行するにあたり、遠山晴一教授には多大なるご指導やご支援を賜りました。心からの敬意と感謝の意を表します。

北海道千歳リハビリテーション大学健康科学部リハビリテーション学科、山中正紀教授には、学部生の時よりご指導いただくとともに、本研究の計画段階から方向性に関して御教示いただきました。心より感謝申し上げます。

北海道大学大学院保健科学研究所リハビリテーション科学分野、寒川美奈准教授には、ご多忙の中、本論文の査読をお引き受けいただきました。深く感謝申し上げます。いつも貴重なご意見やご指導を賜りましたことを重ねて深謝いたします。

北海道大学病院スポーツ医学診療センター、近藤英司教授には、ご多忙の中、本論文の副査をお引き受けいただきました。心より感謝申し上げます。

副指導教員である北海道大学大学院保健科学研究所リハビリテーション科学分野、石田知也助教には、本研究のデータ収集から始まり、解析、論文作成に渡る全ての局面で幾多のご指導を賜りました。深く感謝申し上げます。

北海道大学大学院保健科学研究所リハビリテーション科学分野、笠原敏史助教には、専門的な視点からいつも貴重な御意見や御指導を賜りましたこと、深謝いたします。

NTT 東日本札幌病院井上雅之整形外科部長、同病院リハビリテーションセンター木田貴英技師長をはじめとした理学療法士の方々には、学術的な面のみならず、臨床的な側面から貴重なご意見、ご指導を賜りましたこと深く感謝いたします。また社会人学生としてのご理解、ご協力いただけましたことも重ねて深謝申し上げます。

本研究を進めるに当たり、多大なるご協力やご支援を賜り、公私にわたって支えていただいた北海道大学大学院保健科学研究所運動器障害学研究室の関係者皆様には深く感謝致します。特に、越野裕太氏、上野亮氏、生田亮平氏、馬場周氏、千々松雅人氏には有益な助言や多大なるご協力を賜り、心から感謝申し上げます。

最後に、長期間に渡る学生生活を支えていただいた両親、妻に、この場を借りて心から感謝いたします。

7 引用文献

- 1 Sanders, T. L. *et al.* Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am. J. Sports Med.* **44**, 1502-1507, doi:10.1177/0363546516629944 (2016).
- 2 日本整形外科学会. 前十字靭帯(ACL)損傷診療ガイドライン. (南江堂, 2006).
- 3 Parkkari, J., Pasanen, K., Mattila, V. M., Kannus, P. & Rimpela, A. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46 500 people with a 9 year follow-up. *Br. J. Sports Med.* **42**, 422-426, doi:10.1136/bjsm.2008.046185 (2008).
- 4 Fuller, C. W. Managing the risk of injury in sport. *Clin. J. Sport Med.* **17**, 182-187, doi:10.1097/JSM.0b013e31805930b0 (2007).
- 5 Larruskain, J., Lekue, J. A., Diaz, N., Odriozola, A. & Gil, S. M. A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **28**, 237-245, doi:10.1111/sms.12860 (2018).
- 6 Ardern, C. L., Webster, K. E., Taylor, N. F. & Feller, J. A. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br. J. Sports Med.* **45**, 596-606, doi:10.1136/bjsm.2010.076364 (2011).
- 7 Monk, A. P. *et al.* Surgical versus conservative interventions for treating anterior cruciate ligament injuries. *Cochrane Database Syst. Rev.* **4**, CD011166, doi:10.1002/14651858.CD011166.pub2 (2016).
- 8 Cuzzolin, M. *et al.* Anterior Cruciate Ligament Reconstruction versus Nonoperative Treatment: Better Function and Less Secondary Meniscectomies But No Difference in Knee Osteoarthritis-A Meta-Analysis. *Cartilage* **13**, 1658S-1670S, doi:10.1177/19476035211046041 (2021).
- 9 Korpershoek, J. V., de Windt, T. S., Vonk, L. A., Krych, A. J. & Saris, D. B. F. Does Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Protect the Meniscus and Its Repair? A Systematic Review. *Orthop J Sports Med* **8**, 2325967120933895, doi:10.1177/2325967120933895 (2020).
- 10 日本整形外科学会, 日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会, 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会 & 前十字靭帯損傷診療ガイドライン策定委員会. 前十字靭帯(ACL)損傷診療ガイドライン2019. 改訂第3版 edn, (南江堂, 2019).
- 11 Mall, N. A. *et al.* Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am. J. Sports Med.* **42**, 2363-2370, doi:10.1177/0363546514542796 (2014).
- 12 Rahardja, R., Love, H., Clatworthy, M. G., Monk, A. P. & Young, S. W. Higher Rate of Return to Preinjury Activity Levels After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With a Bone-Patellar Tendon-Bone Versus Hamstring Tendon Autograft in High-Activity Patients: Results From the New Zealand ACL Registry. *Am. J. Sports Med.* **49**, 3488-3494, doi:10.1177/03635465211044142 (2021).
- 13 Patel, A. D. *et al.* Does sex affect second ACL injury risk? A systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* **55**, 873-882, doi:10.1136/bjsports-2020-103408 (2021).
- 14 Ajuied, A. *et al.* Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* **42**, 2242-2252, doi:10.1177/0363546513508376 (2014).
- 15 Boden, B. P., Dean, G. S., Feagin, J. A., Jr. & Garrett, W. E., Jr. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* **23**, 573-578, doi:10.3928/0147-7447-20000601-15 (2000).
- 16 Bradley, J. P., Klimkiewicz, J. J., Rytel, M. J. & Powell, J. W. Anterior cruciate ligament injuries in the National Football League: epidemiology and current treatment trends among team physicians.

- Arthroscopy* **18**, 502-509, doi:10.1053/jars.2002.30649 (2002).
- 17 Fauno, P. & Wulff Jakobsen, B. Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *Int. J. Sports Med.* **27**, 75-79, doi:10.1055/s-2005-837485 (2006).
- 18 Ferretti, A., Papandrea, P., Conteduca, F. & Mariani, P. P. Knee ligament injuries in volleyball players. *Am. J. Sports Med.* **20**, 203-207, doi:10.1177/036354659202000219 (1992).
- 19 Krosshaug, T. *et al.* Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am. J. Sports Med.* **35**, 359-367, doi:10.1177/0363546506293899 (2007).
- 20 Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L. & Bahr, R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am. J. Sports Med.* **32**, 1002-1012, doi:10.1177/0363546503261724 (2004).
- 21 Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I. & Bahr, R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **13**, 299-304, doi:10.1034/j.1600-0838.2003.00329.x (2003).
- 22 Agel, J., Rockwood, T. & Klossner, D. Collegiate ACL Injury Rates Across 15 Sports: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System Data Update (2004-2005 Through 2012-2013). *Clin. J. Sport Med.* **26**, 518-523, doi:10.1097/JSM.0000000000000290 (2016).
- 23 Bram, J. T., Magee, L. C., Mehta, N. N., Patel, N. M. & Ganley, T. J. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* **49**, 1962-1972, doi:10.1177/0363546520959619 (2021).
- 24 Huang, Y. L., Jung, J., Mulligan, C. M. S., Oh, J. & Norcross, M. F. A Majority of Anterior Cruciate Ligament Injuries Can Be Prevented by Injury Prevention Programs: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Cluster-Randomized Controlled Trials With Meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* **48**, 1505-1515, doi:10.1177/0363546519870175 (2020).
- 25 Boden, B. P., Torg, J. S., Knowles, S. B. & Hewett, T. E. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am. J. Sports Med.* **37**, 252-259, doi:10.1177/0363546508328107 (2009).
- 26 Della Villa, F. *et al.* Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br. J. Sports Med.* **54**, 1423-1432, doi:10.1136/bjsports-2019-101247 (2020).
- 27 Della Villa, F. *et al.* Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Male Rugby Players: Pattern, Injury Mechanism, and Biomechanics in 57 Consecutive Cases. *Orthop J Sports Med* **9**, 23259671211048182, doi:10.1177/23259671211048182 (2021).
- 28 Grassi, A. *et al.* Mechanisms and situations of anterior cruciate ligament injuries in professional male soccer players: a YouTube-based video analysis. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* **27**, 967-981, doi:10.1007/s00590-017-1905-0 (2017).
- 29 Koga, H. *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**, 2218-2225, doi:10.1177/0363546510373570 (2010).
- 30 Lucarno, S. *et al.* Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Female Soccer Players. *Am. J. Sports Med.* **49**, 1794-1802, doi:10.1177/03635465211008169 (2021).
- 31 Hewett, T. E., Torg, J. S. & Boden, B. P. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are

- combined components of the injury mechanism. *Br. J. Sports Med.* **43**, 417-422, doi:10.1136/bjism.2009.059162 (2009).
- 32 Bates, N. A., Schilaty, N. D., Nagelli, C. V., Krych, A. J. & Hewett, T. E. Multiplanar Loading of the Knee and Its Influence on Anterior Cruciate Ligament and Medial Collateral Ligament Strain During Simulated Landings and Noncontact Tears. *Am. J. Sports Med.* **47**, 1844-1853, doi:10.1177/0363546519850165 (2019).
- 33 Navacchia, A., Bates, N. A., Schilaty, N. D., Krych, A. J. & Hewett, T. E. Knee Abduction and Internal Rotation Moments Increase ACL Force During Landing Through the Posterior Slope of the Tibia. *J. Orthop. Res.* **37**, 1730-1742, doi:10.1002/jor.24313 (2019).
- 34 Ueno, R. *et al.* Analysis of Internal Knee Forces Allows for the Prediction of Rupture Events in a Clinically Relevant Model of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Orthop J Sports Med* **8**, 2325967119893758, doi:10.1177/2325967119893758 (2020).
- 35 Dempsey, A. R., Elliott, B. C., Munro, B. J., Steele, J. R. & Lloyd, D. G. Whole body kinematics and knee moments that occur during an overhead catch and landing task in sport. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **27**, 466-474, doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.12.001 (2012).
- 36 Jamison, S. T., Pan, X. & Chaudhari, A. M. Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. *Journal of biomechanics* **45**, 1881-1885, doi:10.1016/j.jbiomech.2012.05.031 (2012).
- 37 Chijimatsu, M. *et al.* Landing instructions focused on pelvic and trunk lateral tilt decrease the knee abduction moment during a single-leg drop vertical jump. *Phys. Ther. Sport* **46**, 226-233, doi:10.1016/j.ptsp.2020.09.010 (2020).
- 38 Hewett, T. E. & Myer, G. D. The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **39**, 161-166, doi:10.1097/JES.0b013e3182297439 (2011).
- 39 Powers, C. M. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **40**, 42-51, doi:10.2519/jospt.2010.3337 (2010).
- 40 Weltin, E., Mornieux, G. & Gollhofer, A. Influence of Gender on Trunk and Lower Limb Biomechanics during Lateral Movements. *Res. Sports Med.* **23**, 265-277, doi:10.1080/15438627.2015.1040915 (2015).
- 41 Song, Y., Li, L., Hughes, G. & Dai, B. Trunk motion and anterior cruciate ligament injuries: a narrative review of injury videos and controlled jump-landing and cutting tasks. *Sports Biomech.*, 1-19, doi:10.1080/14763141.2021.1877337 (2021).
- 42 Stuelcken, M. C., Mellifont, D. B., Gorman, A. D. & Sayers, M. G. Mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in elite women's netball: a systematic video analysis. *J. Sports Sci.* **34**, 1516-1522, doi:10.1080/02640414.2015.1121285 (2016).
- 43 Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am. J. Sports Med.* **35**, 1123-1130, doi:10.1177/0363546507301585 (2007).
- 44 Dingenen, B. *et al.* Can two-dimensional video analysis during single-leg drop vertical jumps help identify non-contact knee injury risk? A one-year prospective study. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **30**, 781-787, doi:10.1016/j.clinbiomech.2015.06.013 (2015).
- 45 Cronstrom, A., Creaby, M. W., Nae, J. & Ageberg, E. Gender differences in knee abduction during

- weight-bearing activities: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* **49**, 315-328, doi:10.1016/j.gaitpost.2016.07.107 (2016).
- 46 Downs, S. H. & Black, N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J. Epidemiol. Community Health* **52**, 377-384, doi:10.1136/jech.52.6.377 (1998).
- 47 Zeller, B. L., McCrory, J. L., Ben Kibler, W. & Uhl, T. L. Differences in kinematics and electromyographic activity between men and women during the single-legged squat. *Am. J. Sports Med.* **31**, 449-456, doi:10.1177/03635465030310032101 (2003).
- 48 Leppanen, M. *et al.* Change of Direction Biomechanics in a 180-Degree Pivot Turn and the Risk for Noncontact Knee Injuries in Youth Basketball and Floorball Players. *Am. J. Sports Med.* **49**, 2651-2658, doi:10.1177/03635465211026944 (2021).
- 49 Weeks, B. K., Carty, C. P. & Horan, S. A. Effect of sex and fatigue on single leg squat kinematics in healthy young adults. *BMC Musculoskelet. Disord.* **16**, doi:10.1186/s12891-015-0739-3 (2015).
- 50 Nagano, Y., Ida, H., Akai, M. & Fukubayashi, T. Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *J. Sports Sci.* **29**, 1525-1534, doi:10.1080/02640414.2011.599038 (2011).
- 51 Liederbach, M., Kremenic, I. J., Orishimo, K. F., Pappas, E. & Hagins, M. Comparison of Landing Biomechanics Between Male and Female Dancers and Athletes, Part 2 Influence of Fatigue and Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am. J. Sports Med.* **42**, 1089-1095, doi:10.1177/0363546514524525 (2014).
- 52 Romanchuk, N. J., Del Bel, M. J. & Benoit, D. L. Sex-specific landing biomechanics and energy absorption during unanticipated single-leg drop-jumps in adolescents: implications for knee injury mechanics. *J. Biomech.* **113**, doi:10.1016/j.jbiomech.2020.110064 (2020).
- 53 Weltin, E., Mornieux, G. & Gollhofer, A. Influence of Gender on Trunk and Lower Limb Biomechanics during Lateral Movements. *Res. Sports Med.* **23**, 265-277, doi:10.1080/15438627.2015.1040915 (2015).
- 54 Lessi, G. C., dos Santos, A. F., Batista, L. F., de Oliveira, G. C. & Serrao, F. V. Effects of fatigue on lower limb, pelvis and trunk kinematics and muscle activation: Gender differences. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **32**, 9-14, doi:10.1016/j.jelekin.2016.11.001 (2017).
- 55 Taniguchi, S. *et al.* Sex difference in frontal plane hip moment in response to lateral trunk obliquity during single-leg landing. *Bmc Sports Science Medicine and Rehabilitation* **14**, doi:10.1186/s13102-022-00460-y (2022).
- 56 Silva, R. S. & Serrao, F. V. Sex differences in trunk, pelvis, hip and knee kinematics and eccentric hip torque in adolescents. *Clinical Biomechanics* **29**, 1063-1069, doi:10.1016/j.clinbiomech.2014.08.004 (2014).
- 57 Zawadka, M. *et al.* Sex-dependent differences in single-leg squat kinematics and their relationship to squat depth in physically active individuals. *Sci. Rep.* **10**, doi:10.1038/s41598-020-76674-2 (2020).
- 58 Graci, V., Van Dillen, L. R. & Salsich, G. B. Gender differences in trunk, pelvis and lower limb kinematics during a single leg squat. *Gait Posture* **36**, 461-466, doi:10.1016/j.gaitpost.2012.04.006 (2012).
- 59 Nakagawa, T. H., Moriya, E. T. U., Maciel, C. D. & Serrao, F. V. Trunk, Pelvis, Hip, and Knee Kinematics, Hip Strength, and Gluteal Muscle Activation During a Single-Leg Squat in Males and

- Females With and Without Patellofemoral Pain Syndrome. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **42**, 491-501, doi:10.2519/jospt.2012.3987 (2012).
- 60 Khuu, A. & Lewis, C. L. Position of the non-stance leg during the single leg squat affects females and males differently. *Human Movement Science* **67**, doi:10.1016/j.humov.2019.102506 (2019).
- 61 Mornieux, G., Gehring, D. & Gollhofer, A. Is There a Sex Difference in Trunk Neuromuscular Control among Recreational Athletes during Cutting Maneuvers? *J Sports Sci Med* **20**, 743-750, doi:10.52082/jssm.2021.743 (2021).
- 62 Sigward, S. M., Cesar, G. M. & Havens, K. L. Predictors of Frontal Plane Knee Moments During Side-Step Cutting to 45 and 110 Degrees in Men and Women: Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Clin. J. Sport Med.* **25**, 529-534, doi:10.1097/JSM.000000000000155 (2015).
- 63 Havens, K. L. & Sigward, S. M. Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait Posture* **41**, 33-38, doi:10.1016/j.gaitpost.2014.08.005 (2015).
- 64 Sugimoto, D., Mattacola, C. G., Mullineaux, D. R., Palmer, T. G. & Hewett, T. E. Comparison of isokinetic hip abduction and adduction peak torques and ratio between sexes. *Clin. J. Sport Med.* **24**, 422-428, doi:10.1097/JSM.000000000000059 (2014).
- 65 Jamison, S. T., McNally, M. P., Schmitt, L. C. & Chaudhari, A. M. The effects of core muscle activation on dynamic trunk position and knee abduction moments: implications for ACL injury. *J. Biomech.* **46**, 2236-2241, doi:10.1016/j.jbiomech.2013.06.021 (2013).
- 66 Hinshaw, T. J. *et al.* Mid-flight lateral trunk bending increased ipsilateral leg loading during landing: a center of mass analysis. *J. Sports Sci.* **37**, 414-423, doi:10.1080/02640414.2018.1504616 (2019).
- 67 Saito, A., Okada, K., Sasaki, M. & Wakasa, M. Influence of the trunk position on knee kinematics during the single-leg landing: implications for injury prevention. *Sports Biomech.* **00**, 1-14, doi:10.1080/14763141.2019.1691642 (2020).
- 68 Dempsey, A. R., Lloyd, D. G., Elliott, B. C., Steele, J. R. & Munro, B. J. Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *Am. J. Sports Med.* **37**, 2194-2200, doi:10.1177/0363546509334373 (2009).
- 69 Hewett, T. E., Ford, K. R., Xu, Y. Y., Khoury, J. & Myer, G. D. Effectiveness of Neuromuscular Training Based on the Neuromuscular Risk Profile. *Am. J. Sports Med.* **45**, 2142-2147, doi:10.1177/0363546517700128 (2017).
- 70 Omi, Y. *et al.* Effect of Hip-Focused Injury Prevention Training for Anterior Cruciate Ligament Injury Reduction in Female Basketball Players: A 12-Year Prospective Intervention Study. *Am. J. Sports Med.* **46**, 852-861, doi:10.1177/0363546517749474 (2018).
- 71 Dempsey, A. R. *et al.* The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med. Sci. Sports Exerc.* **39**, 1765-1773, doi:10.1249/mss.0b013e31812f56d1 (2007).
- 72 Beaulieu, M. L., Ashton-Miller, J. A. & Wojtys, E. M. Loading mechanisms of the anterior cruciate ligament. *Sports Biomech.*, 1-29, doi:10.1080/14763141.2021.1916578 (2021).
- 73 Ishida, T., Yamanaka, M., Takeda, N. & Aoki, Y. Knee rotation associated with dynamic knee valgus and toe direction. *Knee* **21**, 563-566, doi:10.1016/j.knee.2012.12.002 (2014).
- 74 Davies, J. L., Button, K., Sparkes, V. & van Deursen, R. W. Frontal plane movement of the pelvis and thorax during dynamic activities in individuals with and without anterior cruciate ligament injury. *Knee* **25**, 997-1008, doi:10.1016/j.knee.2018.06.002 (2018).
- 75 Ford, K. R., Myer, G. D. & Hewett, T. E. Reliability of landing 3D motion analysis: implications for

- longitudinal analyses. *Med. Sci. Sports Exerc.* **39**, 2021-2028, doi:10.1249/mss.0b013e318149332d (2007).
- 76 de Leva, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J. Biomech.* **29**, 1223-1230, doi:10.1016/0021-9290(95)00178-6 (1996).
- 77 Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* (Routledge, 2013).
- 78 Quatman, C. E. & Hewett, T. E. The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism? *Br. J. Sports Med.* **43**, 328-335, doi:10.1136/bjsm.2009.059139 (2009).
- 79 Neumann, D. A. Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* **40**, 82-94, doi:10.2519/jospt.2010.3025 (2010).
- 80 Devita, P. & Skelly, W. A. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med. Sci. Sports Exerc.* **24**, 108-115, doi:10.1249/00005768-199201000-00018 (1992).
- 81 Pollard, C. D., Sigward, S. M. & Powers, C. M. Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **25**, 142-146, doi:10.1016/j.clinbiomech.2009.10.005 (2010).
- 82 Ishida, T. *et al.* Larger hip external rotation motion is associated with larger knee abduction and internal rotation motions during a drop vertical jump. *Sports Biomech.* **00**, 1-15, doi:10.1080/14763141.2021.1881151 (2021).
- 83 Weltin, E., Gollhofer, A. & Mornieux, G. Effect of gender on trunk and pelvis control during lateral movements with perturbed landing. *Eur J Sport Sci* **16**, 182-189, doi:10.1080/17461391.2014.992478 (2016).
- 84 Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D. & Hewett, T. E. Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: implications for injury risk assessments. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)* **28**, 459-466, doi:10.1016/j.clinbiomech.2013.02.013 (2013).
- 85 Mueske, N. M. *et al.* Comparison of drop jump landing biomechanics and asymmetry among adolescents with hamstring, patellar and quadriceps tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee* **25**, 1065-1073, doi:10.1016/j.knee.2018.09.005 (2018).
- 86 Wild, C. Y., Grealish, A. & Hopper, D. Lower Limb and Trunk Biomechanics After Fatigue in Competitive Female Irish Dancers. *J Athl Train* **52**, 643-648, doi:10.4085/1062-6050-52.3.12 (2017).

8. 付録

修正版 Downs and Black Checklist

項目	基準	回答
報告		
1.	研究の仮説・目的・目標が明確に記述されているか？	はい (1) / いいえ (0)
2.	測定される主要なアウトカムは、「背景」または「方法」明確に記述されているか？主要なアウトカムが「結果」で最初に述べられている場合、この質問には「いいえ」と答える。	はい (1) / いいえ (0)
3.	研究に含まれる対象者の特徴が明確に記述されているか？	はい (1) / いいえ (0)
5.	比較する各群における主要な交絡因子の分布が明確に記述されているか？一次交絡因子を年齢、体重、身長とし、二次交絡因子をスポーツ種目、利き脚とした。全ての交絡因子が報告されていれば「はい」、少なくとも一次交絡因子を報告していれば「一部」と答える。	はい (2) / 一部 (1) / いいえ (0)
6.	主要なアウトカムは明確に記述されているか？	はい (1) / いいえ (0)
7.	主要アウトカムに関するデータのランダムな変動性の推定値を提供しているか？標準偏差または信頼区間を報告していれば「はい」と答える。	はい (1) / いいえ (0)
10.	主要な結果について、確率値が 0.01 未満の場合を除き、実際の確率値が報告されているか（例：0.05 未満ではなく 0.035）？	はい (1) / いいえ (0)
外的妥当性		
11.	研究に参加するよう求められた対象者は、募集された集団全体を代表していたのか？対象を募集した集団の定義、抽出方法が記載されていれば「はい」と答える。	はい (1) / いいえ (0)
12.	参加する準備ができた対象者は、募集した母集団全体を代表していたのでしょうか？研究参加に同意した人の割合を記載し、主要な交絡因子がサンプルと元集団で同じであると「はい」と答える。	はい (1) / いいえ (0)
内的妥当性		
15.	主要な結果の測定者に対して盲検化はなされていたか？	はい (1) / いいえ (0)

16.	「データ浚渫 data dredging」に基づく結果であれば、それは明らかにされていたの？試験開始時に計画されていなかった解析は、明確に示されるべきである。	はい (1) / いいえ (0)
18.	主要な結果を評価するために使用された統計的検定は適切だったか？	はい (1) / いいえ (0)
20.	使用された主要なアウトカム指標は正確だったか (妥当性、信頼性)？アウトカム測定方法が適切な引用をもとに十分に説明されており、測定誤差が報告されていれば「はい」と答え、少なくとも十分な説明がされていれば「一部」と答える。	はい (2) / 一部 (1) / いいえ (0)
21.	対象者 (例えば、比較する2つのグループ) は、同じ集団から集められたか？集団のソースに関する情報が無い場合はこの質問に「判断できない」と答える。	はい (1) / 判断できない (0) / いいえ (0)
22.	対象者 (比較する2つのグループ) は同じ期間に募集されたのか？募集期間を明記していない研究においては「判断できない」と答える。	はい (1) / 判断できない (0) / いいえ (0)
25.	主要な知見が引き出された分析において、交絡に対する適切な調整がなされていたか？	はい (1) / いいえ (0)
パワー		
27.	この研究は、臨床的に重要な効果を検出するのに十分な検出力を有していたか？	はい (1) / いいえ (0)

9 業績一覧

本論文の一部は以下の論文に発表した。

1. **Shohei Taniguchi**, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Ryo Ueno, Ryohei Ikuta, Masato Chijimatsu, Mina Samukawa, Yuta Koshino, Satoshi Kasahara, Harukazu Tohyama. Sex difference in frontal plane hip moment in response to lateral trunk obliquity during single-leg landing. BMC sports science, medicine & rehabilitation. 2022;14(1).

本論文の一部は以下の学会に発表した。

1. **Shohei Taniguchi**, Tomoya Ishida, Harukazu Tohyama, Ryo Ueno, Ryohei Ikuta, Yuta Koshino, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Masanori Yamanaka. The Effects Of The Lateral Trunk Lean And Gender-difference On The Peak Moment Of The Knee And Hip In The Frontal Plane During Single Leg Landing. 62th Orthopaedic Research Society Annual Meeting. 2016年03月
2. **谷口翔平**, 山中正紀, 石田知也, 生田亮平, 上野亮, 越野裕太, 江沢侑也, 井上雅之, 遠山晴一. 片脚着地動作時の体幹側屈は膝関節外反モーメントを増加させる. 第26回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2015年11月

その他の業績リスト

学術論文一覧

1. Yuta Koshino, **Shohei Taniguchi**, Takumi Kobayashi, Mina Samukawa, Masayuki Inoue. Protocols of rehabilitation and return to sport, and clinical outcomes after medial patellofemoral ligament reconstruction with and without tibial tuberosity osteotomy: a systematic review. Int Orthop. 2022.
2. Tomoya Ishida, Yuta Koshino, Masanori Yamanaka, Ryo Ueno, **Shohei Taniguchi**, Takumi Ino, Satoshi Kasahara, Mina Samukawa, Harukazu Tohyama. Larger hip external rotation motion is associated with larger knee abduction and internal rotation motions during a drop vertical jump. Sports Biomech. 2021;00(00):1-15.
3. Masato Chijimatsu, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, **Shohei Taniguchi**, Ryo Ueno, Ryohei Ikuta, Mina Samukawa, Takumi Ino, Satoshi Kasahara, Harukazu Tohyama. Landing instructions focused on pelvic and trunk lateral tilt decrease the knee abduction moment during a single-leg drop vertical jump. Phys Ther Sport. 2020;46:226-33.
4. Tomoya Ishida, Yuta Koshino, Masanori Yamanaka, Ryo Ueno, **Shohei Taniguchi**, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Hisashi Matsumoto, Yoshimitsu Aoki, Harukazu Tohyama. The effects of a subsequent jump on the knee abduction angle during the early landing phase. BMC Musculoskelet Disord. 2018;19(1):379.
5. Ryo Ueno, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, **Shohei Taniguchi**, Ryohei Ikuta, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Harukazu Tohyama. Quadriceps force and anterior tibial force occur obviously later than vertical ground reaction force: a simulation study. BMC Musculoskelet Disord. 2017;18(1):467.
6. 生田亮平, 石田知也, 山中正紀, **谷口翔平**, 上野亮, 寒川美奈, 遠山晴一. 片脚着地動作における初期接地時の前額面骨盤傾斜と膝関節最大外反モーメントの関連. 日本臨床スポーツ医学会誌 26 3 431 - 436 2018年08月
7. 生田 亮平, 石田 知也, **谷口 翔平**, 上野 亮, 佐藤 正裕, 遠山 晴一, 山中 正紀. ビデオフィードバックによる指導介入が drop vertical jump における膝関節生体力学に与える即時効果.

Journal of Athletic Rehabilitation 14 1 31 - 36 スポーツ選手のためのリハビリテーション研究会
2018年03月

8. 生田 亮平, 石田 知也, 山中 正紀, 谷口 翔平, 上野 亮, 越野 裕太, 寒川 美奈, 遠山 晴一. Drop vertical jump におけるハムストリングスの着地前筋活動と着地中の膝関節外反角度および外反モーメントとの関係. 日本臨床スポーツ医学会誌 24 1 71 - 77 (一社)日本臨床スポーツ医学会 2016年01月

学会発表一覧

1. Ryo Ueno, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Harukazu Tohyama. Correlative Relationship Between Gluteus Medius Force and Knee Valgus Moment During Drop Vertical Jump Task in Female Subjects. 64th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2018年03月
2. Ryo Ueno, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Harukazu Tohyama. Peak Times of Quadriceps Force And Anterior Tibial Force Significantly Later Than That of Vertical Ground Reaction Force During Single Leg Landing. 63th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2017年03月
3. Ryo Ueno, Masanori Yamanaka, Tomoya Ishida, Shohei Taniguchi, Ryohei Ikuta, Harukazu Tohyama. Peak Muscle Forces Around The Knee Joint Do Not Significantly Contribute To The Peak Valgus Knee Moment During A Drop Vertical Jump Task In Female Subjects. 62th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2016年03月
4. Ryohei Ikuta, Tomoya Ishida, Harukazu Tohyama, Shohei Taniguchi, Ryo Ueno, Yuta Koshino, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Masanori Yamanaka. The Pelvic Lateral Tilting At Ground Contact Increases The Knee Abduction Moment During A Single Leg Landing Task. 62th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2016年03月
5. Ryo Ueno, Masanori Yamanaka, Tomoya Ishida, Shohei Taniguchi, Ryohei Ikuta, Harukazu Tohyama. Comparisons of Angular Velocities of Knee Abduction and Tibial Internal Rotation between Female and Male Subjects during a Landing Task. 61th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2015年03月
6. Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Ryo Ueno, Shigeyuki Minami, Yuta Koshino, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Takumi Kobayashi, Hisashi Mtsmoto, Yoshimitsu Aoki, Harukazu Tohyama. The Hip Internal Rotation is Negatively Correlated to Valgus Knee Motion and Internal Tibial Rotation in the Early Phase during a Landing Task in Drop Jumping. 61th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2015年03月
7. Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Yuta Koshino, Kentaro Homan, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Takumi Kobayashi, Hisashi Matsumoto, Yoshimitsu Aoki, Harukazu Tohyama. The Effects of the Subsequent jump on Knee Kinematics during the First Landing in Drop Vertical Jump. 60th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2014年03月
8. Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Yuta Koshino, Hisashi Matsumoto, Naoki Takeda, Yoshimitsu Aoki. The Characteristics of Lower Limb Kinematics associated with Greater Knee Abduction Moment during a Drop Vertical Jump. 59th Orthopaedic Research Society Annual Meeting 2013年01月

9. 千々松雅人, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 遠山晴一. 片脚着地後のジャンプ動作が着地時の膝外転モーメントに与える影響: 膝外転モーメントと関連する変数の検討. 第13回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会・第46回日本整形外科スポーツ医学会学術集会 (JOSKAS-JOSSM 2021)
10. 千々松雅人, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮, 遠山晴一, 山中正紀. 膝関節に対する動作指導が Cutting 動作時の膝関節角度および外反モーメントに与える影響. 第69回北海道理学療法士学術大会 2018年07月
11. 千々松雅人, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 遠山晴一. 体幹および骨盤の側方傾斜に着目した着地動作指導が片脚 drop vertical jump 着地時の膝関節外反モーメントに与える影響. 第10回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2018年06月
12. 千々松 雅人, 石田 知也, 山中 正紀, 谷口 翔平, 上野 亮, 遠山 晴一. 体幹および骨盤の側方傾斜に着目した動作指導が片脚 drop vertical jump 着地時の膝関節外反モーメントに与える影響. JOSKAS 2018年05月 (一社)日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会
13. 千々松雅人, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 寒川美奈, 遠山晴一. 片脚着地後のジャンプ動作が着地時の膝関節外反モーメントに与える影響. 第28回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2017年11月
14. 千々松雅人, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮, 遠山晴一, 山中正紀. 片脚着地後のジャンプ動作が接地後早期の膝外反角度および膝外反モーメントに与える影響. 第68回北海道理学療法士学術大会 2017年10月
15. 生田亮平, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 遠山晴一. Drop vertical jump における膝最大外反モーメントと垂直床反力の衝撃緩衝係数との関連性. 第9回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2017年06月
16. 上野亮, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 遠山晴一. 片脚着地動作における大腿四頭筋筋力および脛骨前方引き出し力の最大値発生時期の検討. 第9回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2017年06月
17. 生田亮平, 佐藤正裕, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮. ビデオフィードバックが drop vertical jump における膝関節生体力学に与える即時効果. スポーツ選手のためのリハビリテーション研究会 第34回研修会 2017年03月
18. 上野亮, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 生田亮平, 遠山晴一. Drop vertical jump と片脚着地課題における垂直床反力と脛骨前方引き出し力の相関性の検討. 第8回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2016年07月
19. 馬場周, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮, 生田亮平, 齊藤展士, 寒川美奈, 遠山晴一. 下腿側方傾斜角度を用いた drop vertical jump 着地時の膝関節外反角度の評価の試み. 第51回日本理学療法学術大会 2016年05月
20. 上野亮, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 生田亮平, 遠山晴一. Drop vertical jump における膝外反モーメントと脛骨前方剪断力に対する膝関節周囲筋筋張力の影響. 第26回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2015年11月
21. 生田亮平, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 越野裕太, 寒川美奈, 遠山晴一. Drop vertical jump における着地後早期の膝関節外反増加量は着地動作中の膝関節最大外反モーメントと相関する. 第26回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2015年11月

22. 生田亮平, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮, 馬場周, 越野裕太, 寒川美奈, 遠山晴一, 山中正紀. 片脚着地動作における接地時の骨盤傾斜角度が接地後早期の膝関節外反運動に与える影響. 第4回日本アスレティックトレーニング学会学術集会 2015年07月
23. 南茂幸, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 上野亮, 生田亮平, 越野裕太, 遠山晴一. Drop vertical jump 着地動作修正介入が膝関節 kinetics およびジャンプパフォーマンスに与える効果. 第7回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2015年06月
24. 生田亮平, 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 上野亮, 南茂幸, 越野裕太, 遠山晴一. 片脚着地における接地後早期の膝関節外反と股関節 kinematics との相関性の検討. 第7回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2015年06月
25. 生田亮平, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 越野裕太, 上野亮, 遠山晴一. Drop vertical jump における膝関節周囲筋の接地前筋活動が膝関節外反に与える影響. 第25回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2014年11月
26. 上野亮, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 生田亮平, 遠山晴一. Drop vertical jump における膝外反が膝前十字靭帯の伸長に与える影響. 第25回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2014年11月
27. 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 越野裕太, 寒川美奈, 松本尚, 青木喜満, 遠山晴一. Drop Vertical Jump における着地動作時の股関節内旋が膝関節外反に与える影響. 第25回日本臨床スポーツ医学会学術集会 2014年11月
28. 生田亮平, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 越野裕太, 遠山晴一. Drop vertical jump における膝関節角度と膝関節周囲筋の着地前筋活動の性差. 第65回北海道理学療法士学術大会 2014年10月
29. 谷口翔平, 山中正紀, 石田知也, 生田亮平, 遠山晴一. Star Excursion Balance Test 側方リーチ時の下肢関節角度, 内的モーメントとリーチ距離との関係. 第40回日本整形外科スポーツ医学会学術集会 2014年09月
30. 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 越野裕太, 寒川美奈, 齊藤展士, 小林巧, 松本尚, 青木喜満, 遠山晴一. 着地後ジャンプ動作の有無が着地時の下肢関節運動に与える効果. 第40回日本整形外科スポーツ医学会学術集会 2014年09月
31. 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 越野裕太, 寒川美奈, 齊藤展士, 小林巧, 松本尚, 青木喜満, 遠山晴一. Drop vertical jump 着地後早期における膝関節外反運動の変化量の検討. 第6回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 (JOSKAS) 2014年07月
32. 谷口翔平, 山中正紀, 石田知也, 越野裕太, 江沢侑也, 生田亮平, 寒川美奈, 齊藤展士, 小林巧, 遠山晴一. Star Excursion Balance Test リーチ時の下肢関節角度, 内的モーメントとリーチ距離との関係 一前方, 後内側, 後外側方向の検討一. 第49回日本理学療法学術大会 2014年05月
33. 生田亮平, 山中正紀, 石田知也, 谷口翔平, 越野裕太, 上野亮. 着地動作における膝周囲筋前活動と接地後早期の膝外反角度および膝外反モーメントの関係. 第49回日本理学療法学術大会 2014年05月
34. 石田知也, 山中正紀, 谷口翔平, 宝満健太郎, 越野裕太, 寒川美奈, 齊藤展士, 小林巧, 青木喜満, 遠山晴一. 着地後早期の膝関節外反, 内旋運動と下肢関節運動の関係. 第49回日本理学療法学術大会 2014年05月