

事例・症例報告

日本代表ジュニアスキー選手における動的アライメントの性差
Sex-related differences in dynamic alignment of Japanese national junior skiers

加藤英人¹⁾, 島田結依¹⁾, 高橋佐江子¹⁾, 中里浩介²⁾, 木戸陽介¹⁾, 鈴木栄子¹⁾, 中本真也¹⁾,
石毛勇介¹⁾

Hideto Kato¹⁾, Yui Shimada¹⁾, Saeko Takahashi¹⁾, Kosuke Nakazato²⁾, Yosuke Kido¹⁾,
Eiko Suzuki¹⁾, Shinya Nakamoto¹⁾, Yusuke Ishige¹⁾

Abstract : Skiing is associated with a high incidence of anterior cruciate ligament (ACL) injury. A higher incidence of ACL injuries in female skiers has been reported, similar to that in other sports; a previous study also reported a higher incidence of ACL injury in junior female skiers. Dynamic alignment of the leg is considered a risk factor for ACL injury. However, no reports have examined sex-related differences in dynamic alignment of junior athletes. Therefore, this study aimed to investigate the sex-related differences in dynamic alignment of the lower extremities as a risk factor for ACL injury in national top-level junior skiers. In total, 52 legs of 26 skiers (28 legs of 14 male junior skiers and 24 legs of 12 female junior skiers) were evaluated. The skiers performed drop vertical jump (DVJ) and single-leg squat (SLS). Frontal, sagittal, and horizontal plane images of their posture during DVJ and SLS were obtained. From these images, the joint angles of the lower extremities in the frontal and sagittal planes were calculated. The knee valgus angle at DVJ and SLS was significantly greater in female junior skiers than in males ($p<0.001$ and $p<0.05$, respectively). As knee valgus is a risk factor for ACL injury, dynamic alignment of junior female skiers seems to be improved to prevent ACL injury.

Key words : drop jump, single leg squat, injury prevention, ACL injury

キーワード : ドロップジャンプ, 片脚スクワット, 外傷予防, ACL 損傷

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ 北海道情報大学

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾Hokkaido Information University

E-mail : saeko.takahashi@jpnpsport.go.jp

受付日 : 2020 年 1 月 20 日

受理日 : 2020 年 8 月 3 日

I. 緒言

スキー競技における傷害発生率は膝関節で最も高く²⁾、特に膝前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament 以下 ACL) 損傷が最も多い⁴⁾。ACL 損傷はスポーツ復帰までに長期間を要し、選手生命を左右することが多いことから ACL 損傷の予防は重要である。多くの競技において ACL 損傷は男子ジュニア選手に比べて女子ジュニア選手の発生率が高い²⁸⁾。年代別にみると非接触型の ACL 損傷は 14～18 歳の年代に最も多く、その中でも女子ジュニア選手は男子ジュニア選手よりも高い発生率であった^{21), 22)}。日本国内においても女子ジュニア選手は男子ジュニア選手と比較して ACL 損傷の発生率が 3.4～3.5 倍高いと報告されている²⁸⁾。

ワールドカップでのスキー競技中における性別・部位別の受傷率は、女子の膝関節が最も高く、次いで男子の膝関節であった⁴⁾。また、スキー選手の中でも競技レベルの高い選手の方が膝の受傷が多い²⁴⁾と報告されている。国内でのスキー競技での ACL 損傷の発生率は女子ジュニア選手で 9.30/1000 Athlete-years、男子ジュニア選手では 2.74/1000 Athlete-years であった²⁸⁾。また、競技別にみると女子ジュニア選手ではバスケットボール、柔道についてスキーは 3 番目に高い ACL 受傷率であった²⁸⁾。実際のスキー競技中の ACL 損傷リスクは女子ジュニア選手が男子ジュニア選手の 2 倍であり、ACL 損傷発生率には性差がある²¹⁾。このようにスキー競技において女子ジュニア選手は ACL 損傷のリスクが高い可能性がある。

ACL 損傷のリスク因子としてはジャンプ着地動作時の膝外反角度と膝外反モーメントの増大⁶⁾、カッティング動作時の膝外反角度の増加や膝屈曲角度の低下、大腿四頭筋の高い筋活動¹³⁾、片脚スクワット時の股関節屈曲角度の低下³²⁾などがあげられる。様々な競技においてドロップジャンプやストップジャンプ、カッティング動作時などにおける膝外反角度は男子ジュニア選手よりも女子ジュニア選手の方が大きい^{3), 25)}。また、ACL 受傷選手の受傷前のドロップジャンプ着地

時の膝外反モーメントは非受傷選手よりも 2.5 倍高く、女子ジュニア選手の着地時における膝の動的アライメントをみることは ACL 損傷リスクの予測因子になりうる⁶⁾。さらに女子ジュニア選手における片脚スクワット着地動作時の膝外反角度は両脚着地動作よりも大きく¹⁴⁾、性差でみると女子選手の片脚スクワット着地動作時は男子選手と比較して ACL の張力がより加わりやすい動作をしている⁹⁾。このように両脚や片脚における動的アライメントは男子ジュニア選手と女子ジュニア選手で異なる可能性がある。しかしながら ACL 損傷と動的アライメントの検討はバスケットボールやサッカーなどの競技を対象に多く実施されており、スキー競技に限定した検討を報告したものは散見されない。そこで本研究の目的は、国内トップレベルのジュニアスキー選手における動的アライメントの性差を明らかにすることとした。

II. 方法

1. 対象

2016 年 4 月～2016 年 12 月に国立スポーツ科学センター (JISS : Japan Institute of Sports Sciences) ハイパフォーマンス・ジム (HPG : High Performance Gym) において姿勢チェック (FAAB : Functional Assessment for Athlete Body)^{9), 29)}を実施した 15～19 歳の国内トップレベルジュニアアルペンスキー選手およびフリースタイルスキー (モーグルおよびクロス) 選手を対象とした。対象者数は男子選手 14 名 28 脚 (年齢 17.6 ± 1.1 歳、身長 169.5 ± 5.0cm、体重 67.4 ± 6.8kg)、女子選手 12 名 24 脚 (年齢 16.9 ± 1.5 歳、身長 159.5 ± 5.9cm、体重 55.4 ± 4.4kg) の計 26 名 52 脚とした。利き足はボールを遠くに飛ばせる脚とした。本研究は国立スポーツ科学センター倫理審査会の承認 (R1-007) を得て実施した。すべての対象者には事前に測定内容を説明し同意を得た。

2. 測定方法

選手に身体に密着するウェアを着用させ、左右計 7 カ所 (肩峰・上前腸骨棘下端・膝蓋骨中

央・後前腸骨棘上縁)にマーカーを貼付した (Figure 1)。動的アライメント記録用のカメラ3台 (Panasonic 社製: 30Hz) は、試技実施場所から前方および側方に向かって4m、上方に15mの位置に常設されているものを用い、前方、側方および上方の3方向から同時に撮影した⁷⁾。測定は日常的にFAAB撮影を行っているJISSのHPGスタッフがいずれの選手にも同じ手順、同じ指示で実施した。

3. 測定試技

1) ドロップジャンプ

台高30cmの台に両足間の幅が35cmとなるよう立位姿勢を取らせ、滑り落ちるように両脚を前方へ踏み出し、両脚で着地後すぐに真上にジャンプ動作を行わせた¹⁵⁾。上肢の動きは自由とし、出来るだけ高くジャンプするよう指示した。練習を行った後に試技を1回実施し、一連の動作を動画で撮影した。台から降りる際に上方へ跳んだ場合や着地後真上でなく前方もしくは側方にジャンプをした場合は失敗試技として再度撮影を行った。

2) 片脚スクワット

選手は前方のカメラに対し測定側の示趾と踵の中央が一直線上、側方のカメラの延長線上に外果が位置するように立たせた。両手を腰に添え、測定側の反対側の脚を軽く浮かせた片脚立位姿勢から徐々に下肢を屈曲させ、膝関節屈曲角度が90度¹²⁾のタイミングで静止するよう指示し、静止画を撮影した。静止が不十分な場合や浮かせた脚が地面に触れた場合は再度測定を行った。試技は前方のカメラに向けて左右1回ずつ、背を向けて左右1回ずつ実施し、いずれも側方のカメラに左右の脚の外側が映るようにした。

4. 分析方法 (Figure 2, 3)

前方から撮影した前額面の画像より動作時の膝外反角度を算出した。動作時の膝外反角度は上前腸骨棘と膝蓋骨中央を結んだ線分、膝蓋骨中央と足関節中心を結んだ線分のなす角度とした。側方から撮影した矢状面の画像より動作時の下肢 (股関節、膝関節、足関節) 屈曲角度を算出した。動作時の股関節屈曲角度は肩峰と大転子を結んだ線分、大転子と膝関節中心を結んだ線分のなす角度とした。動作時の膝関節屈曲角度は大転子と膝関

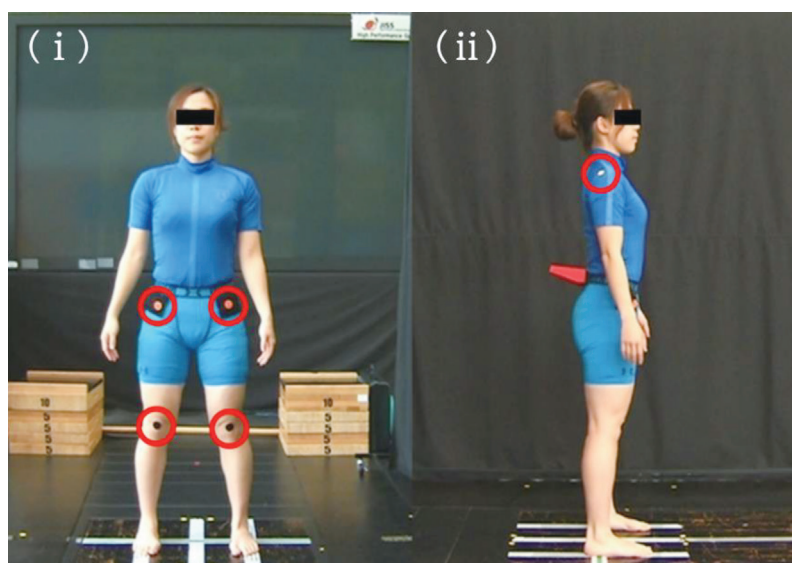


Figure 1. Placements of marker
Markers were placed on the anterior superior iliac spine, center of the patella (i) and acromion (ii).



Figure 2. Method of calculating the knee valgus and lower extremity angle during the drop vertical jump
(a:knee valgus angle, b:hip flexion angle, c: knee flexion angle, d: ankle flexion angle)

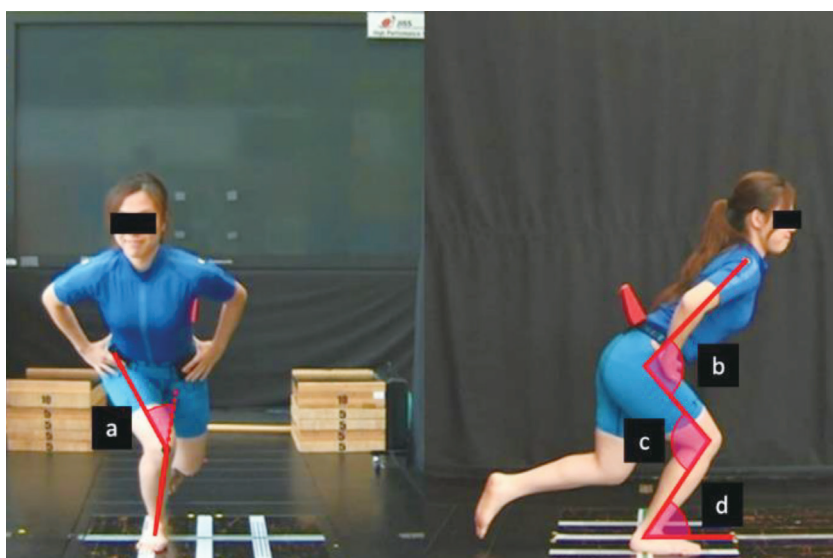


Figure 3. Method of calculating the knee valgus and lower extremity angle during the single leg squat
(a: knee valgus angle, b: hip flexion angle, c: knee flexion angle, d: ankle flexion angle)

節中心を結んだ線分と、膝関節中央と外果を結んだ線分のなす角度とした。動作時の足関節屈曲角度は膝関節中心と外果を結んだ線分と水平線のなす角度とした。上方から撮影した水平面の画像より、動作時の上半身および骨盤の回旋角度を算出

した。動作時の上半身の回旋角度は左右の肩峰を結ぶ線分と水平線分のなす角度、骨盤の回旋角度は左右の後上腸骨棘を結んだ部位に装着した骨盤マーカーと水平線のなす角度とした。

各角度は画像解析ソフト Image J ver.1.49 (Na-

tional Institute of health 社製)^{20), 26)}を用いて同一検査者が対象者すべての各角度を3回ずつ算出し、各角度の3回の平均値を求めた。

1) ドロップジャンプ

動作時の膝外反角度、動作時の下肢屈曲角度¹⁵⁾および動作時の上半身と骨盤の回旋角度を算出した。動作時の膝外反角度は台から降り、接地後から頭部が最下点になるまでの間における膝外反角度最大時の角度を算出した。動作時の下肢屈曲角度は下肢最大屈曲時における股関節、膝関節および足関節の角度を算出した。動作時の上半身と骨盤の回旋角度は、着地時における下肢最大屈曲時の角度を算出した。動作時の膝外反角度は両脚、動作時の下肢屈曲角度は右脚のみを算出した。

2) 片脚スクワット

動作時の膝外反角度、動作時の下肢屈曲角度および動作時の上半身と骨盤の回旋角度を算出し

た。動作時の下肢屈曲角度は左右それぞれの屈曲角度を算出した。

性差の検討は統計ソフトウェア SPSSstatistics24を用いて t 検定を行い、統計学的有意水準は 5%とした。

Ⅲ. 結果

1. ドロップジャンプ (Table 1. 2)

ドロップジャンプ着地時の利き足における動作時の膝外反角度は、女子選手は男子選手よりも有意に大きかった (p<0.001)。非利き足における動作時の膝外反角度は、女子選手は男子選手よりも有意に大きかった (p<0.05)。動作時の膝外反角度以外の項目において性差は認められなかった。

2. 片脚スクワット (Table 3)

片脚スクワット時の利き足における動作時の膝

Table 1. Sex differences in joint kinematics during the drop jump landing

		Male	Female	P value
Knee valgus angle(°)	DL	-4.2±13.3	8.2±8.9	<0.001
	NDL	-1.5±10.5	13.9±8.8	<0.05

(Average±SD)

Table 2. Sex differences in joint kinematics during the drop jump landing (right leg)

	Male	Female	P value
Hip flexion angle(°)	81.0±24.4	75.2±15.9	0.43
Knee flexion angle(°)	79.8±15.7	80.8±8.2	0.77
Ankle flexion angle(°)	70.8±3.2	71.5±4.2	0.47
Trunk rotation angle(°)	1.3±3.0	3.4±4.2	0.16
Pelvis rotation angle(°)	0.0±3.7	1.2±3.4	0.42
Pelvis – Trunk rotation angle(°)	-1.3±2.8	-2.2±4.6	0.55

(Average±SD)

外反角度において女子選手は男子選手よりも有意に大きかった ($p<0.05$)。非利き足における動作時の股関節角度、動作時の膝関節角度および動作時の足関節角度において女子選手は男子選手よりも有意に小さかった ($p<0.05$)。利き足では動作時の下肢屈曲角度および上半身と骨盤回旋角度、非利き足では動作時の膝外反角度および上半身と骨盤回旋角度における性差は認められなかった。

IV. 考察

本研究で日本代表ジュニア選手のドロップジャンプにおいて動作時の膝外反角度は女子選手が男子選手よりも大きかった。片脚スクワットにおいて利き足の動作時の膝外反角度は女子選手が男子選手よりも大きく、非利き足の動作時の下肢屈曲角度は女子選手が男子選手よりも小さかった。

本研究においてドロップジャンプ着地動作時の膝外反角度において女子選手は男子選手よりも大

きかった。ドロップジャンプ着地動作時の膝外反角度において女子選手は男子選手よりも大きい^{25), 31)}。本研究はドロップジャンプ動作における動作時の膝外反角度に関して報告した研究^{3), 25)}と同様の結果であった。

片脚スクワット動作時の膝外反角度においてもジュニアおよびシニア世代において女子選手は男子選手よりも大きい特徴^{25), 31)}を有している。したがって本研究における女子選手の利き足の膝外反角度が男子選手よりも大きいことは、先行研究^{25), 31)}からも性差の影響であると考えられたが非利き足では異なる結果であった。サッカー選手においては、競技レベルに関係なく利き足の着地時の膝外反角度が大きく¹²⁾、サッカーの競技特性を反映している可能性も考えられる。スキー選手においてはこれまでに利き足と非利き足の特徴について報告されていないため、今後さらなる調査が必要である。しかしながら、動作時の膝外反角度

Table 3. Sex differences in joint kinematics during the single leg squat

		Male	Female	P value
Knee valgus angle (°)	DL	15.1±10.9	28.4±14.4	<0.05
	NDL	15.7±10.1	19.2±12.8	n.s.
Hip flexion angle (°)	DL	80.4±9.5	81.8±18.0	n.s.
	NDL	80.3±8.6	89.3±11.9	<0.05
Knee flexion angle (°)	DL	85.6±6.4	87.0±10.0	n.s.
	NDL	86.7±7.6	94.5±10.4	<0.05
Ankle flexion angle (°)	DL	51.2±4.0	51.9±4.1	n.s.
	NDL	51.9±3.7	55.8±4.2	<0.05
Trunk rotation angle (°)	DL	-2.1±3.2	-1.7±4.2	n.s.
	NDL	-3.2±4.6	-0.7±4.3	n.s.
Pelvis rotation angle (°)	DL	-0.3±4.6	-1.1±5.7	n.s.
	NDL	1.5±6.4	3.6±4.9	n.s.
Pelvis-Trunk rotation angle (°)	DL	-0.8±2.9	-0.6±6.3	n.s.
	NDL	-1.3±6.4	3.0±4.0	n.s.

(DL : dominant leg, NDL : non-dominant leg)

(Average±SD)

の増加および動作時の下肢屈曲角度が小さいことは、いずれも ACL 損傷のリスクである^{12),14)}。また、左右差があることは ACL 損傷のリスクファクター²³⁾であることから、利き足の動作時の膝外反角度の増加や非利き足の動作時の下肢屈曲角度減少に対する動作改善を実施することで傷害予防につながると考えられる。

年齢別に見た非接触型の ACL 損傷はジュニア選手に最も多く発生する^{21),22)}。スキー競技においてトップレベルのシニア選手では ACL 損傷発生率の男女差がないことが報告されているのに対し³⁰⁾、ジュニア選手においては男子選手に比べて女子選手の ACL 損傷発生率が高い²¹⁾。ACL 損傷のリスク因子の一つとして動作時の膝外反角度の増加があげられ⁶⁾、特にジュニア世代女子選手は成長過程において動作時の膝外反角度が増加する²⁵⁾とされている。今回対象としたジュニア世代の女子選手においても動作時の膝外反角度は男子選手よりも大きかった。以上より、ジュニア世代の女子選手はシニア世代の女子選手よりも ACL 損傷発生リスクが高い動作を呈している可能性が考えられる。

予防トレーニングの実施はジュニア選手においてドロップジャンプや着地動作時の膝外反角度、股関節外転角度等の下肢の動的アライメントを改善させ¹⁸⁾、ACL 損傷の予防が出来ることが示されている¹⁶⁾。ジュニア世代の女子選手におけるドロップジャンプ着地動作時の膝外反角度は成長とともに増加したことに對し、予防トレーニング実施群の動作時の膝外反角度は変化しなかった¹⁹⁾。本研究の女子選手は両脚着地や片脚スクワット動作時の膝外反角度が男子選手よりも大きかった。以上より日本代表レベルにおいてもジュニア世代の女子選手に対して動的アライメント改善のための適切なトレーニングが必要であると考えられる。

動的アライメントの評価において動作特徴を下肢のみでなく骨盤の向きも含めて実施することで膝外反ひとつにおいても個々の動作特徴がより詳細に把握でき、焦点を絞った改善エクササイズが

実施可能になる⁷⁾。今回の対象者では上半身および骨盤回旋角度の性差はみられなかった。一方で股関節外転筋力は片脚スクワットの膝の内方変位量と関連する¹⁰⁾。そのため膝外反動作の改善トレーニングの際には動作指導だけではなく股関節外転筋力向上なども組み合わせてアプローチすべきであると考えられる。HPG では動作時の膝外反角度が大きくみられた選手に対してループチューブを両膝の上に装着した状態で行う両脚スクワットやサイドウォークなどのエクササイズを指導し、動作時の膝外反角度の改善に向けてアプローチしている。

スキー競技における ACL 損傷は3つの主要なメカニズム (slip-catch、landing back-weighted、dynamic snowplow) があり^{1),11)}、技術や身体的な要因に加えレース時の天候や雪の状態、コースのセッティング、ブーツやスキー板のサイズなどの用具との関連も検討されている^{1),25)}。ルール改定前後の傷害発生率の比較では上肢の傷害発生率が減少したが、膝の傷害発生率は減少しなかった⁵⁾。さらにルール改定前後における傷害発生率の性差は、シニア世代において男子選手では減少したが女子選手では変化はみられなかった⁵⁾。国際スキー連盟で ACL 損傷予防のための取り組みとして2012 - 2013 シーズンにアルペンスキー種目のスキーサイズのルール変更¹¹⁾およびレースのコース設定等²⁷⁾が行われ、さらにスキー用具メーカーによるブーツの改良等、環境や用具の外的要因による予防策が施されている。このことからスキー競技は ACL 損傷が多いバスケットボールなどの競技とは異なり、環境や用具などの外的因子が関わってくる。しかしジュニアおよびシニア女子選手はルールや環境等の外的因子の改善が傷害発生率に直接影響しないとされる⁵⁾ため、動作時の膝関節外反角度の増加や動作時の下肢屈曲角度の減少を修正するべく基本動作を習得することが重要であると考えられる。また基本動作を習得し、さらに負荷をかけた状態やスキー動作中においても動作時の膝関節外反角度や動作時の下肢屈曲角度のコントロールができる状況にすべきであると考

える。

本研究の限界は2次元動画解析を行ったこと、30Hzで撮影したこと、試技の撮影は1回のみであったこと、自然立位時などの静止時の下肢アライメントを評価できていないことである。ドロップジャンプ動作を用いたACL損傷リスクの評価を2次元動作解析している報告²⁵⁾や前額面の2次元動作解析は3次元動作解析に近い評価が可能とも報告されている^{8),17)}。2次元動作解析の精度をさらに上げるべく本研究では上方からの映像を追加したため上半身や骨盤の水平面上の回旋角度は評価可能であった⁷⁾。しかしながら大腿部や下腿部の回旋などの評価は難しく、細部の評価は困難であった。

本研究は基礎研究であり傷害発生との関連については検討が出来ていない。今後は日本代表ジュニアスキー選手のACL損傷の受傷機転を分析し動的アライメント不良が原因のACL損傷がどの程度の頻度で起きているかを分析するとともに、特に女子選手の動的アライメントを改善させることでACL損傷を予防できる可能性があるかを検討したい。

V. 結論

日本代表ジュニアスキー選手の動的アライメントの性差を検討した。女子ジュニア選手は男子ジュニア選手よりもドロップジャンプおよび利き足における片脚スクワット動作時の膝外反角度が有意に大きかった。しかしながらドロップジャンプおよび片脚スクワット動作時における上半身と骨盤の回旋角度および非利き足における片脚スクワット動作時の下肢屈曲角度に性差は認めなかった。

文献

- 1) Bere T, Florenes TW, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Events leading to anterior cruciate ligament injury in World Cup Alpine Skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Br J Sports Med*, 45(16): 1294-1302, 2011.
- 2) Bere T, Florenes TW, Nordsletten L, Bahr R. Sex differences in the risk of injury in World Cup alpine skiers: a 6-year cohort study. *Br J Sports Med*, 48(1): 36-40, 2014.
- 3) Chappell JD, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *Am J Sports Med*, 30(2): 261-267, 2002.
- 4) Florenes TW, Bere T, Nordsletten L, Heir S, Bahr R. Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *Br J Sports Med*, 43(13): 973-978, 2009.
- 5) Haaland B, Steenstrup SE, Bere T, Bahr R, Nordsletten L. Injury rate and injury patterns in FIS World Cup Alpine skiing (2006-2015): have the new ski regulations made an impact?. *Br J Sports Med*, 50(1): 32-36, 2016.
- 6) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Jr., Colosimo AJ, McLean SG, van den Bogert AJ, Paterno MV, Succop P. 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.
- 7) 石毛勇介, 松林武生, 高橋佐江子. JISS ハイパフォーマンス・ジムにおける取り組み. *バイオメカニクス研究*, 18(3): 148-156, 2014.
- 8) 加賀谷善教, 川崎渉, 藤井康成, 西菌秀嗣. 二次元画像で算出した Knee in distance および Hip out distance の妥当性: 片脚着地動作における三次元動作解析との比較から. *体力科学*, 59(4): 407-414, 2010.
- 9) 加藤英人. ハイパフォーマンスジムで実施している姿勢チェック. *JATI EXPRESS*, 54: 45, 2016.
- 10) 菊元孝則, 江玉睦明, 中村雅俊, 宮川俊平. 女子バスケットボール選手の股関節外転筋力が片脚着地時の膝関節アライメントに及ぼす影響. *体力科学*, 66(6): 399-405, 2017.
- 11) 古賀英之, 宗田大. アルペンスキーにおける

- 膝関節外傷：用具との関連も含めて（特集 冬季スポーツにおける外傷・障害）--（冬季競技と外傷・障害）. 臨床スポーツ医学, 32(11): 1040-1045, 2015.
- 12) Ludwig O, Simon S, Piret J, Becker S, Marschall F. Differences in the dominant and non-dominant knee valgus angle in junior elite and amateur soccer players after unilateral landing. *Sports*, 5(1): 14, 2017.
 - 13) Malinzak RA, Colby SM, Kirkendall DT, Yu B, Garrett WE. A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech*, 16(5): 438-445, 2001.
 - 14) Munro A, Herrington L, Comfort P. The relationship between 2-dimensional knee-valgus angles during single-leg squat, single-leg-land, and drop-jump screening tests. *J Sport Rehabil*, 26(1): 72-77, 2017.
 - 15) Myer GD, Ford KR, Hewett TE. New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med*, 45(4): 238-244, 2011.
 - 16) Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med*, 13(2): 71-78, 2003.
 - 17) Nagano Y, Sakagami M, Ida H, Akai M, Fukubayashi T. Statistical modelling of knee valgus during a continuous jump test. *Sport Biomech*, 7(3): 342-350, 2008.
 - 18) Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. 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.
 - 19) Otsuki R, Kuramochi R, Fukubayashi T. Effect of injury prevention training on knee mechanics in female adolescents during puberty. *Int J Sports Phys Ther*, 9(2): 149-156, 2014.
 - 20) Rasband WS. ImageJ. <http://imagej.nih.gov/ij/> (2020年6月27日)
 - 21) Raschner C, Platzer HP, Patterson C, Werner I, Huber R, Hildebrandt C. The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *Br J Sports Med*, 46(15): 1065-1071, 2012.
 - 22) Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T, Garrett W, Georgoulis T, Hewett TE, Johnson R, Krosshaug T, Mandelbaum B, Micheli L, Myklebust G, Roos E, Roos H, Schamasch P, Shultz S, Werner S, Wojtys E, Engebretsen L. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med*, 42(6): 394-412, 2008.
 - 23) Ruedl G, Webhofer M, Helle K, Strobl M, Schranz A, Fink C, Gatterer H, Burtscher M. Leg dominance is a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament injuries in female recreational skiers. *Am J Sports Med*, 40(6): 1269-1273, 2012.
 - 24) Schmitt KU, Horterer N, Vogt M, Frey WO, Lorenzetti S. Investigating physical fitness and race performance as determinants for the ACL injury risk in Alpine ski racing. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 8: 23, 2016.
 - 25) Schmitz RJ, Shultz SJ, Nguyen AD. Dynamic valgus alignment and functional strength in males and females during maturation. *J Athl Train*, 44(1): 26-32, 2009.
 - 26) Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*, 9(7): 671-675, 2012.
 - 27) Sporri J, Kroll J, Schwameder H, Schiefermuller

- C, Muller E. Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *Br J Sports Med*, 46(15): 1072-1077, 2012.
- 28) Takahashi S, Okuwaki T. Epidemiological survey of anterior cruciate ligament injury in Japanese junior high school and high school athletes: cross-sectional study. *Res Sports Med*, 25(3): 266-276, 2017.
- 29) 高橋佐江子, 鈴木栄子, 中本真也, 大石益代, 千葉夏実, 加藤英人, 木戸陽介. 片側上肢切断・欠損パラリンピッククロスカントリースキー選手に対する姿勢・動作アセスメントに関する一考察. *Sports Science in Elite Athlete Support*, 3: 69-78, 2018.
- 30) Viola RW, Steadman JR, Mair SD, Briggs KK, Sterett WI. Anterior cruciate ligament injury incidence among male and female professional alpine skiers. *Am J Sports Med*, 27(6): 792-795, 1999.
- 31) Weeks BK, Carty CP, Horan SA. Effect of sex and fatigue on single leg squat kinematics in healthy young adults. *BMC Musculoskeletal Disord*, 16: 271, 2015.
- 32) Yamazaki J, Muneta T, Ju YJ, Sekiya I. Differences in kinematics of single leg squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18(1): 56-63, 2010.