

原 著 ジュニアアスリートにおける 成長期の膝関節スポーツ障害と膝関節位置覚 および身体機能との関係

Relationship Between Knee Joint Sports Injuries During Growth Period, and Sense of Knee Joint Position and Physical Functions in Junior Athletes

山内 縚^{*1,2}, 幸田仁志^{*3}, 来田宣幸^{*4}, 田中真紀^{*5}
権野めぐみ^{*6}, 松井知之^{*7}, 宮崎哲哉^{*7}, 渡邊裕也^{*8}
森原 徹^{*7}, 甲斐義浩^{*1}

キー・ワード : sense of knee joint position, junior athletes, knee joint sports injuries during growth
膝関節位置覚, ジュニアアスリート, 成長期の膝関節スポーツ障害

【要旨】 (目的) 本研究では、ジュニアアスリートを対象に、成長期の膝関節スポーツ障害と膝関節位置覚および身体機能との関係を検討した。(対象と方法) 対象は、成長期のジュニアアスリート36名(男性18名、女性18名)であり、平均年齢は 11.1 ± 1.9 歳であった。対象者は、メディカルチェックによって、成長期の膝関節スポーツ障害(オスグッド・シュラッター病もしくはジャンパー膝)を指摘された11名(障害群)と、膝関節に異常が認められなかった25名(非障害群)に割り付けた。膝関節位置覚の測定には、マーカレスモーションキャプチャを用い、荷重下にて教示角度(膝屈曲120°)に対する再現角度を3回測定し、角度誤差を求めた。身体機能は、握力、柔軟性、跳躍力、敏捷性を測定した。統計処理には、対応のないt-検定を用いて、障害群と非障害群の体格、膝関節位置覚(角度誤差)、および身体機能を比較した。(結果) 障害群では、非障害群と比べて身長、握力において有意に高値を示した($p < 0.05$)。また、障害群の角度誤差は、非障害群と比べて有意に高値を示した($p < 0.05$)。(結論) 成長期における膝関節スポーツ障害の予防や早期発見を行う指標として、筋力や柔軟性といった身体機能よりも、膝関節位置覚の評価が有用である可能性が示唆された。

緒 言

関節位置覚 (Joint Position Sense : JPS) は、関

節の位置や動きを認識する能力であり、運動中の姿勢制御やバランス維持に重要な役割を果たす。適切なJPSは、関節への過剰な負荷を抑え、傷害リスクの低減に寄与するとされている。Willemsら¹⁾は、スポーツを専攻する女子大学生を対象に、足関節捻挫の発症要因を前向きに調査し、足関節位置覚の低下がリスク因子であることを明らかにしている。また、Mohammadiら²⁾は、筋疲労によるJPSの低下が、下肢筋骨格系傷害の発症リスクと関連していることを示している。これら先行研究は、JPSの低下がスポーツ外傷・障害発生に影響する可能性を示唆している。

*1 京都橘大学大学院健康科学研究科

*2 医療法人徳洲会宇治徳洲会病院リハビリテーション科

*3 関西福祉科学大学保健医療学部

*4 京都工芸繊維大学基盤科学系

*5 京都橘大学発達教育学部

*6 名古屋女子大学

*7 洛和会丸太町リハビリテーションクリニック

*8 びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部

Corresponding author: 森原 徹 (toru4271@koto.kpu-m.ac.jp)

ジュニアアスリートに多く見られるオスグッド・シュラッター病（以下、オスグッド）やジャンパー膝は、下肢における一般的なスポーツ障害として認識されている。Sprague ら³⁾のメタアナリシスでは、ジャンパー膝のリスク因子として、大腿四頭筋の柔軟性低下、足関節背屈可動域の制限、週当たりのジャンプトレーニング頻度、カウンタームーブメントジャンプの高さが挙げられている。また、Nakase ら⁴⁾は、成長期サッカー選手を対象に、オスグッドの発症要因を縦断的に調査し、大腿四頭筋およびハムストリングスの柔軟性低下、大腿四頭筋筋力の大きさがリスク因子であることを明らかにしている。このような背景から、成長期におけるスポーツ障害の予防や早期発見には、筋力や柔軟性といった身体機能が重視されてきた。

その一方で、ジュニアアスリートを対象としたJPSとスポーツ障害の関係においては、現時点で明確な報告は確認されていない。成長期は筋骨格が急速に発達する時期であり、これに伴う身体機能の変化に加えて、JPSもまたスポーツ障害と関連する可能性がある。したがって、JPSの評価は、ジュニアアスリートにおける障害予防や早期発見において、新たな知見をもたらす可能性がある。

そこで本研究の目的は、ジュニアアスリートを対象に、マーカレスモーションキャプチャを用いて膝関節位置覚を測定し、成長期の膝関節スポーツ障害との関連性を明らかにすることである。本研究では、成長期の膝関節スポーツ障害群は、非障害群と比較して膝関節位置覚の誤差が大きいという仮説を立てた。

対象および方法

1. 対象

対象は、京の子どもダイヤモンドプロジェクト⁵⁾に参加しているジュニアアスリート36名（男性18名、女性18名）とした。対象者の年齢は平均 11.1 ± 1.9 歳、身長は平均 144.4 ± 12.7 cm、体重は平均 36.1 ± 9.4 kgであった。競技種目は、バドミントン5名、フェンシング17名、カヌー3名、ボート3名、スポーツクライミング8名であった。なお、本研究への参加に先立ち、選手と保護者に対して事前に本研究の目的と内容について文書で説明をした後、選手本人と保護者から研究への参加の同意を得た。本研究は著者所属の研究倫理委員会の承認を受け実施した（承認番号23-57）。

2. 方法

測定に先立ち、整形外科医によるメディカルチェックを実施した。メディカルチェックでは、診察所見として自覚症状に関する問診および圧痛の有無を評価した。圧痛の評価に関して、オスグッドは脛骨粗面、ジャンパー膝は膝蓋骨下端の腱付着部の圧痛の有無を確認し、どちらかの障害について陽性が確認された選手を成長期の膝関節スポーツ障害群と定義した。

測定項目は、柔軟性（長座体前屈距離、Heel Buttock Distance : HBD）、筋力（等尺性膝伸展筋力、握力）、跳躍力（垂直とび高）、敏捷性（反復横とび）、動的バランス能力（Star Excursion Balance test : SEBT）、膝関節位置覚評価を実施した。

長座体前屈距離は、長座体前屈計（デジタル長座体前屈計 T.K.K.5412、竹井機器工業株式会社）を使用した。測定肢位は、測定器の間に両脚を入れ、壁に背部および殿部を密着させた長座位とした。測定は、対象者に肩幅の広さで機器の手前端を把持させ、両肘および膝関節伸展位のまま可能な限り体幹を屈曲するよう指示し、その最大距離を測定した。解析には2回測定した最大値(cm)の身長比百分率（%）用いた。

HBDの測定は、対象者を腹臥位とし、骨盤を固定した状態で実施した。検査側の踵部を同側の殿部に接触させるように他動的に膝を屈曲させ、抵抗感を感じた時点で踵部と殿部との距離を0.1cm単位で測定した。測定は2回実施し最小値を代表値(cm)とした。

等尺性膝伸展筋力は、Biodex System (Biodex System 3 pro、Biodex medical System 社)を用いた。測定肢位は、座位にて膝関節屈曲90°とした。測定は、右脚にて5秒間の等尺性膝伸展運動を2回行わせた。測定は2回実施し、得られた最大値の体重比百分率（%）を解析に用いた。

握力は、握力計（YDD-110、堤製作所）を使用した。測定肢位は安静立位で、上肢下垂位にて握力計の指針が外側になるように握り、示指の近位指節間関節が直角になるように握りの幅を調節した。測定は、握力計が身体や衣服に触れないようにし、可能な限り強く握るよう指示した。左右交互に2回ずつ計測し、解析には左右の最大値(kg)を用いた。

垂直とび高の測定は、デジタル垂直とび測定器

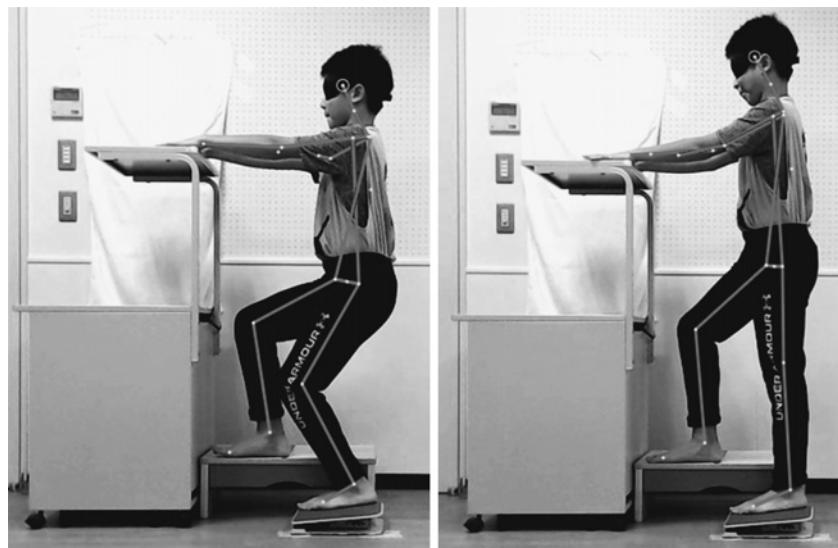


図1 マーカレスモーションキャップチャを用いた膝関節位置覚の測定
右図が開始肢位、左図が教示場面

(T.K.K.5406, 竹井機器工業株式会社)を骨盤帯にベルトで固定し測定を実施した。測定は、その場からできるだけ高くとび上がるよう指示した。なお、上肢は特に指示を行っておらず、反動を用いてよいものとした。2回測定した最大値(cm)を、1cm単位で記録し解析に用いた。

反復横とびは、文部科学省新体力測定の実施要項⁶⁾を参考に、以下の手順で実施した。対象者の開始肢位は中央線を跨いだ立位とし、両側に100cm離れた平行線を、サイドステップを用いてこれらのラインを踏むか通過する動作をジャンプせずに繰り返すよう指示した。測定時間は20秒とし、2回測定した最大値(回)を解析に用いた。

動的バランス評価のSEBTは、Y字方向で評価する変法で実施した。前方0°、右後方135°、左後方135°の3方向へY字に引いたメジャーの中心に対象者の軸足の母趾を置き、対側の脚を床から浮かせた状態で各方向に最大限リーチさせ、バランスを保ちながら床に軽く触れた最大距離を0.1cm単位で測定した。測定は、各方向2回ずつを行い、その最大値を下肢長比百分率(%)として解析に用いた。

膝関節位置覚の測定は、利き脚で実施した。掛川ら⁷⁾は、ボールを蹴る脚を利き脚と定義し、踏切脚との運動機能の関連を比較検証した。本研究も先行研究に準じ、ボールを蹴る脚を利き脚と定義した。運動課題は、先行研究⁸⁾の方法を参考に、膝関節(大腿中央と下腿中央のなす角)120°に設定さ

れた教示角度に対して、自動運動にて教示角度を再現させた(再現角度)。開始肢位(図1)は、検査側(利き脚)の膝関節を伸展させた立位とし、前方に設置した支持台を用いて姿勢を保持しながら、下腿三頭筋の受動的緊張を抑制するため、床面に設置した5°の傾斜台に検査脚を載せた。非検査脚は、20cm台上に静止させ、股関節及び膝関節を軽度屈曲位の姿勢でリラックスさせた。測定は、対象者の視覚情報をアイマスクで遮断した状態で、検査者が示した教示角度(膝関節120°)を5秒間保持させた(図1)。次に、開始肢位(膝関節伸展位)に戻るよう指示したのち、検査者の指示に合わせて3回連続して教示角度を再現するよう求めた。再現運動の速度は3秒間として、対象者が教示角度に達したと判断した再現角度で3秒間保持するよう指示した。なお、教示角度の設定は、対象者の大腿中央と下腿中央のなす角が120°になるようゴニオメーターで測定した。

膝関節角度の測定には、マーカレスモーションキャップチャ(以下、マーカレス)を使用した。マーカレスを用いた膝関節位置覚の測定については、先行研究⁸⁾により高い信頼性および妥当性が確認されている。汎用性ビデオカメラ(GC-YJ40, ケンウッド社)により撮影された動作を、姿勢推定AIエンジン(VisionPose, ネクストシステム社)を搭載したマーカレス骨格検出ソフトウェア(Pose-Cap, フォーアシスト社)で、AIによって推定された3点の関節中心、すなわち股関節、膝関節、

表1 対象者の基本属性 (n=36)
** : p<0.01, BMI : Body Mass Index

	健常群 (男性14名, 女性11名)	障害群 (男性4名, 女性7名)	p 値
年齢 (歳)	10.7±1.7	12.1±2.3	0.100
身長 (cm)	140.9±10.2	152.5±14.7	0.009 **
体重 (kg)	34.2±8.5	40.7±10.0	0.052
BMI	16.9±2.0	17.3±2.4	0.658

表2 成長期の膝関節スポーツ障害群と非障害群の2群間比較
* : p<0.05, HBD : Heel Buttock Distance, SEBT : Star Excursion Balance Test

	健常群 (n=25)	障害群 (n=11)	p 値
長座体前屈距離 (%)	0.29±0.04	0.30±0.04	0.25
HBD (mm)	55.60±55.60	57.27±6.07	0.54
等尺性膝伸展筋力 (%)	279.49±35.86	295.42±43.89	0.26
握力 (kgf)	19.92±5.53	25.00±8.75	0.04 *
垂直とび高 (cm)	38.72±5.30	43.36±7.50	0.06
反復横とび回数 (回)	50.21±6.28	54.73±6.89	0.06
SEBT 前方 (%)	93.84±7.34	97.52±6.37	0.16
SEBT 左後方 (%)	120.67±10.87	123.55±14.55	0.59
SEBT 右後方 (%)	124.61±9.92	126.63±8.36	0.56
膝関節位置覚 (°)	3.31±5.36	7.84±5.65	0.03 *

および足関節のなす角(内側)を0.1°単位で算出した。なお、測定に用いたビデオカメラの計測周波数は60Hzであり、対象者からの距離340cm、高さ65cmの位置に配置した。解析には、マーカレスで求めた関節角度から、角度誤差を求めた。角度誤差=[(教示角度-1回目再現角度)+(教示角度-2回目再現角度)+(教示角度-3回目再現角度)]/3とした。

統計処理は、メディカルチェックの判定結果から、成長期の膝関節スポーツ障害群と非障害群の2群に分類した。まず、Shapiro-Wilk検定による正規性の確認を行い、Student-t検定あるいはMann-WhitneyのU検定による単変量解析(有意水準5%)を実施した。なお、解析にはIBM SPSS Statistics ver.24を用いた。

結果

メディカルチェックの結果、対象者36名中11名(30.6%)にオスグッドまたはジャンパー膝の診察所見が検出され、成長期の膝関節スポーツ障害群(障害群)に分類された。

障害群と非障害群における基本属性を比較した結果、身長は非障害群(140.9±10.2cm)と比較し

て、障害群(152.5±14.7cm)で有意に高値を示した(p=0.009)。年齢および体重は、障害群と非障害群との間に有意な差は認められなかった(表1)。

身体機能の比較で、障害群と非障害群との間に有意差を認めた項目は、握力(障害群: 25.0±8.8kg、非障害群: 19.9±5.5kg、p=0.04)であり、障害群が有意に高値を示した(表2)。HBDおよび等尺性膝伸展筋力、長座体前屈距離、垂直とび高、反復横とび、SEBTは、障害群と非障害群との間に有意な差は認められなかった(表2)。

膝関節位置覚の比較では、障害群(7.8±5.7°)の角度誤差は、非障害群(3.3±5.4°)と比べて有意に高値を示した(p=0.03)(表2)。

考察

本研究では、成長期におけるジュニアアスリートを対象に、マーカレスモーションキャプチャを用いて膝関節位置覚を測定し、成長期の膝関節スポーツ障害および身体機能との関連性を検討した。その結果、障害群は、非障害群に対して関節位置覚の誤差は大きいという本研究の仮説を支持する結果となった。また、障害群における身長と握力は、非障害群と比較して有意に高値を示した。

従来より、筋力や柔軟性といった身体機能の低下は、スポーツ障害の結果として生じるのみならず、リスク因子となりうると広く認識されてきた^{9~12)}。一方、スポーツ競技者における競技力の優劣にも、少なからず筋力や柔軟性などの身体機能が関連すること、またジュニアアスリートの身体機能は、年齢（学年）や体格（発達）と密接に関連することが報告されている^{13~15)}。等々力ら¹⁶⁾は、少年野球選手を対象に、投球肘障害と体格および身体機能との関連を調査した結果、投球障害群では月齢や体格および身体機能が有意に高かったと述べている。本研究結果においても、スポーツ障害群では身長と筋力が有意に高かった。すなわち、ジュニアアスリートでは、高学年で体格や身体機能が高い者ほど競技力も高く、かつ出場機会や練習量の増加といったオーバーユースを招きやすい可能性が推察される。これらのことより、成長期における膝関節スポーツ障害は、単に筋力や柔軟性などの身体機能の低下では説明できない可能性がある。

膝関節位置覚の角度誤差は、非障害群と比較して成長期の膝関節スポーツ障害群で有意に大きかった。スポーツ障害と関節位置覚に関する先行研究では、関節位置覚の低下は、スポーツ障害の原因^{1,2)}としても、結果^{17,18)}としても生じうることが報告してきた。その一方で、身体が成長段階にあるスポーツ競技者において、スポーツ障害と関節位置覚の関連は不明であった。これらのことから、成長期の膝関節スポーツ障害の予防や早期発見の指標として、年齢や体格の影響を受けやすい身体機能よりも、膝関節位置覚の評価が有用である可能性が示された。

本研究には、いくつかの限界点がある。1つ目に、研究デザインが横断研究であり、障害群における膝関節位置覚の低下が、成長期の膝関節スポーツ障害の原因として生じたのか、膝蓋腱周囲組織の炎症や組織変性の結果として生じたのかは不明確である。仮に、膝関節位置覚の低下がスポーツ障害の初期症状であれば、スポーツ現場で簡便に測定できるため、障害予防の指標として有用である。よって、今後は縦断的な研究により成長期の膝関節スポーツ障害と膝関節位置覚との因果関係を明らかにする必要がある。2つ目に、対象者数が少なく、性別や学年別に分けて分析することができなかった点である。今後は対象者数を増やす

ことにより、ジュニアアスリートの関節位置覚に影響する要因を明らかにしていく必要がある。

謝 辞

本研究で多大なご協力を賜りました京都府教育委員会、京の子どもダイヤモンドプロジェクトに参加していただいた選手、スタッフの皆様に御礼申し上げます。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

RYは研究の統括として、研究計画の策定、実験・解析の実施、論文執筆を担った。YKは、筆頭著者の主指導者として、本研究の全般に関する指導を行った。HK、NK、MT、MGは、共同研究者として、研究デザイン、実験および解析に貢献するとともに、研究全般に関する助言を行った。TMatsui、YW、TMiyazakiは、スポーツに関する専門的な知識の提供、被検者や実験環境の調整・整備を担当した。TMoriharaは医師として医学的知見の提供、考察、助言を行った。すべての著者は、最終原稿を精読の上で、投稿に同意した。

文 献

- 1) Willems TM, Witvrouw E, Delbaere K, et al. Intrinsic risk factors for inversion ankle sprains in females: a prospective study. *Scand J Med Sci Sports*. 2005; 15: 336-345 doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.00428.x.
- 2) Mohammadi F, Azma K, Naseh I, et al. Military exercises, knee and ankle joint position sense, and injury in male conscripts: a pilot study. *J Athl Train*. 2013; 48: 790-796 doi: 10.4085/1062-6050-48.3.06.
- 3) Sprague AL, Smith AH, Knox P, et al. Modifiable risk factors for patellar tendinopathy in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2018; 52: 1575-1585 doi: 10.1136/bjsports-2017-099000.
- 4) Nakase J, Goshima K, Numata H, et al. Precise risk factors for Osgood-Schlatter disease. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015; 135: 1277-1281 doi: 10.1007/s00402-015-2270-2.
- 5) 京都府教育庁. 京都きっずとは. 入手先：<https://kyoto-kids.com/aboutus> [参照日 2024年9月11日].
- 6) 文部科学省. 新体力テスト. 入手先：https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/03040901.htm

- m [参照日 2024 年 11 月 23 日].
- 7) 掛川 晃, 鈴木康之, 林 英俊. 踏切脚と利き脚が下肢運動機能テストに及ぼす影響. 日本臨床スポーツ医学誌. 2019; 27: 466-472.
 - 8) 山内 縄, 幸田仁志, 来田宣幸, 他. マーカレスモーションキャプチャを用いた膝関節位置覚の評価動作測定における相対及び絶対信頼性の検討. 運動器リハビリテーション. 2024; 35: 264-270.
 - 9) Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, et al. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population: a two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2000; 28: 480-489 doi: 10.1177/03635465000280040701.
 - 10) Shiota M, Kagaya Y, Tamaki T, et al. Characteristics of pre-existing physical factors associated with the onset of Osgood-Schlatter disease in junior soccer players. *J Phys Fitness Sports Med.* 2016; 65: 205-212 doi: 10.7600/jspfsm.65.205.
 - 11) Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Hamstring strength and flexibility after hamstring strain injury: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2016; 50: 909-920 doi: 10.1136/bjsports-2015-095311.
 - 12) 古後晴基, 満丸 望, 岸川由紀. 男子高校サッカー選手におけるオスグッド-シュラッター病発症後の調査. *理学療法科学.* 2017; 33: 467-472.
 - 13) 中塚英弥, 山下典秀, 山下佳倫, 他. 小中学生に見られる身体組成(筋および脂肪組織)の成長特性. *日本生理人類学会誌.* 2023; 28: 85-93.
 - 14) 出村慎一. 中学生水泳選手の形態, 筋力, 及び柔軟性の性差・学年差の検討. *体力科学.* 1983; 32: 8-16.
 - 15) 渡邊将司, 高井省三. ジュニア競泳選手のパフォーマンスに影響する要因の年齢変化. *体力科学.* 2005; 54: 353-362.
 - 16) 等々力賢輔, 甲斐義浩, 宮崎純也, 他. 小学生野球選手における肘痛と体格および身体機能との関係. *運動器リハビリテーション.* 2023; 34: 306-311.
 - 17) 横山茂樹, 蒲田和芳, 根地嶋誠. 足関節機能的不安定性者における足関節位置覚検査法の検討—自動的検査法と他動的検査法の比較—. *理学療法科学.* 2011; 26: 557-562.
 - 18) Relph N, Herrington L, Tyson S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy.* 2014; 100: 187-195 doi: 10.1016/j.physio.2013.11.002.

(受付: 2025 年 2 月 6 日, 受理: 2025 年 4 月 21 日)

Relationship Between Knee Joint Sports Injuries During Growth Period, and Sense of Knee Joint Position and Physical Functions in Junior Athletes

Yamauchi, R.^{*1,2}, Koda, H.^{*3}, Kida, N.^{*4}, Tanaka, M.^{*5}
Gonno, M.^{*6}, Matsui, T.^{*7}, Miyazaki, T.^{*7}, Watanabe, Y.^{*8}
Morihara, T.^{*7}, Kai, Y.^{*1}

^{*1} Graduate School of Health Sciences, Kyoto Tachibana University

^{*2} Department of Rehabilitation, Uji Tokushukai Hospital, Tokushukai Medical Corporation

^{*3} Faculty of Health and Medical Sciences, Kansai University of Welfare Sciences

^{*4} Division of Fundamental Sciences, Kyoto Institute of Technology

^{*5} Faculty of Childhood Education, Kyoto Tachibana University

^{*6} Nagoya Women's University

^{*7} Rakuwakai Marutamachi Rehabilitation Clinic

^{*8} Faculty of Sport Study, Biwako Seikei Sport College

Key words: sense of knee joint position, junior athletes, knee joint sports injuries during growth

[Abstract] (Purpose) To investigate the relationship between knee joint sports injuries during growth period, and sense of knee joint position and physical functions in junior athletes during growth.

(Methods) Thirty-six junior athletes (18 males and 18 females; mean age: 11.1 ± 1.9 years) in the growth phase were divided, based on medical check-ups, into an injury group (IG, n=11; defined as Osgood-Schlatter disease or jumper's knee) and a non-injury group (NIG, n=25). The sense of knee joint position was assessed using markerless motion capture, in which participants reproduced a 120° knee flexion angle three times under weight-bearing conditions, and the angle error was calculated. Physical functions including grip strength, flexibility, jumping ability, and agility were measured. Unpaired t-tests were used to compare body size, sense of knee joint position, and physical functions between the groups. (Results) The IG had significantly higher height, grip strength, and angle error than NIG (all $p < 0.05$). (Conclusion) Assessment of sense of knee joint position may be more effective than physical functions as an indicator for the prevention and detection of knee injuries in junior athletes during growth.