

スケート滑走姿勢の違いが 膝痛発生に及ぼす影響について —下腿長軸延長線に対する肩峰の位置を指標 としたスケート滑走姿勢評価—

The Influence of Skating Posture on the Incidence of Knee Pain in Short Track Speed Skaters
—An Evaluation of Skating Form, Focusing on the Location of the Acromion as Compared to the Leg Extension Line—

嵯峨野淳*1, 白銀 暁*2, 星川淳人*3
福田 潤*4, 酒井宏哉*3

キー・ワード : speed skate, knee pain, skating posture
スピードスケート, 膝痛, 滑走姿勢

〔要旨〕 本研究は新人発掘研修に参加した小中学生スケート選手全 29 名を対象に滑走姿勢と膝痛発生率の関連性と滑走姿勢から膝伸展モーメント推測方法の妥当性を検討することを目的とした。側面から撮影した滑走姿勢から正規化したモーメントアーム (nMA) を求め、下腿長軸延長線に対する肩峰の位置を基準に前・後群の 2 群に分けた。これに質問紙結果を加え 2 群間の nMA と膝痛発生率、肩峰間距離と nMA の大小との関係性を検討した結果、後群では nMA が増大し、膝痛発生率が有意に高かった。肩峰間距離と nMA の間にも相関関係がみられた。このことから、下腿長軸延長線と肩峰から滑走姿勢を評価から膝関節回りのモーメントを推定できることが示唆された。

1. はじめに

スピードスケート選手における膝痛の訴えは年齢や競技歴にかかわらずどの世代においても多くみられ、しばしば練習や試合への参加を妨げる要因となっている。大半の膝痛は明らかな器質的異常を伴わず安静指導により症状の改善がみられるものの、練習や試合に復帰するたびに再発するという繰り返しが多いため競技現場ではその具体的

対処に苦慮している。このような膝痛発生を予防することは急務であるが、実践的な予防方法は少ないのが現状である。スポーツ動作には急激な加速、減速、方向転換やジャンプ動作など日常生活動作に比べて膝への負担が大きい動作が多く含まれ、加えてその繰り返し頻度が高いこともスポーツ選手が膝痛を招く要因のひとつと考えられている¹⁾。特に、スピードスケートは氷上や陸上でのトレーニングにおいて非常に深いスクワット姿勢を常に要求される競技であることからさらに高い負荷が膝関節にかかっていると推測される。しかしその一方で、同じ練習をしているにもかかわらず、膝痛をまったく訴えない選手がいるのも事実である。我々は長年ショートトラックスピードス

*1 さいとう整形スポーツクリニック

*2 国立障害者リハビリテーションセンター研究所

*3 埼玉医科大学総合医療センター整形外科

*4 藤沢湘南台病院健康スポーツ部

新人発掘質問用紙

名前: _____ 年齢: _____ 歳 学年: 小 中 年
 身長: _____ c m 体重: _____ k g スケート開始年齢: _____ 歳から

1、 通常の練習で膝の屈伸運動を伴う陸上トレーニング（フォームアップやスクワット動作など）を週に何回程度おこないますか？（1週間の合計回数をご記入ください）

①まったくしない（0回）、② 1～50回、③ 51～100回、④ 101～200回
 ⑤201～300回、⑥301回以上（具体的な回数を教えてください； _____ 回）

2、 氷上練習の時間と頻度
 氷上練習の頻度：週 _____ 日、 一回の氷上練習： _____ 時間

3、 **現在** 膝（ひざ）、腰（こし）に痛みを感じることがありますか？
 ある _____ ない _____

4、 **過去に膝の痛み（ひざのいたみ）**のため練習を休むことがありましたか？
 ある _____ ない _____

5、 **過去に練習を休むほどではないが膝（ひざ）**に痛みを感じたことがありますか？
 ある _____ ない _____

6、 **過去に腰の痛み（こしのいたみ）**のため練習を休むことがありましたか？
 ある _____ ない _____

7、 **過去に練習を休むほどではないが腰（こし）**に痛みを感じたことがありますか？
 ある _____ ない _____

8、 上記4～7の質問で（ある）とお答えした方にお聞きします。その痛みのために医療機関に現在かかっている、または過去にかかったことがありますか？
 ある _____ ない _____

9、 （はい）の方は、診断名をわかる範囲でお教えてください。

1 : _____ 2 : _____ 3 : _____

ご協力ありがとうございました。この結果は今後のスケート障害予防に活用させていただきます。

図1 質問用紙

スケート選手の医療サポートに携わってきた経験上、側面から観察した滑走姿勢において上体が後方に位置する者ほど疼痛発生が多い印象を持っている。この姿勢は後方重心となるために膝関節に作用する膝伸展モーメントが増大し膝への負担が増すと推測され、滑走姿勢と膝痛発生の間には密接な関係性があるのではないかと考えている。スケート競技独特の姿勢を手掛かりに客観的な指標を提示することができれば、膝痛予防対処に役立つことも可能である。

これらのことより本研究の目的は以下の2つである。

1. スケート滑走姿勢時の膝関節回りのモーメン

トアームの大小と膝痛発生率の関係を明らかにすること。

2. このモーメントアームの大小をスケート滑走姿勢から簡潔に判断する方法として下腿長軸延長線に対する肩峰の近接程度を基準にすることの妥当性を検討することである。

2. 対象および方法

対象

対象はスケート連盟主催の新人発掘研修に参加した小中学生のショートトラックスピードスケート選手全31名のうち、調査時に膝痛のため練習、試合に参加できない者1名（女子）と器質的異常

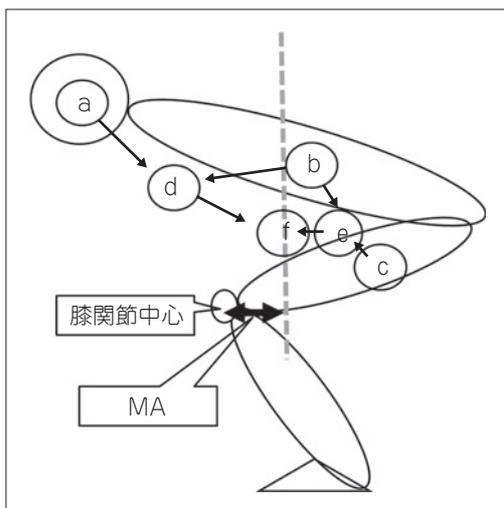


図2 正規化したモーメントアーム (nMA) の算出方法

- (a) : 頭部重心位置
- (b) : 体幹部重心位置
- (c) : 大腿部重心位置
- (d) : 頭部 (a) と体幹部 (b) の合成重心位置
- (e) : 体幹部 (b) と大腿部 (c) の合成重心位置
- (f) : (d) と (e) との合成重心位置
- MA (モーメントアーム) : 合成重心位置 (f) の鉛直線と膝関節中心までの水平距離
- nMA (正規化したモーメントアーム) : MA を大腿長で除した値 ($nMA (\%) = MA / \text{大腿長} \times 100$)

(オスグット・シュラッター病) を指摘された1名(女子)の計2名を除外した29名であった。これらの選手および保護者に口頭でインフォームドコンセントを得た上で質問用紙(図1)を配布し、「過去に膝の痛みのため練習を一日でも休むことがありましたか?」あるいは「過去に練習を休むほどではないが膝に痛みを感じたことがありましたか?」という問いに「ある」と答えた者を膝痛ありとした。

計測および解析方法

屋内の平坦な床面の上で被験者に普段の滑走姿勢を取らせ、その様子を側方からデジタルカメラ(EXILIM EX-FH100, カシオ社製)で撮影した。撮影した画像から、①膝関節屈曲角度、②正規化モーメントアーム(normalized moment arm : nMA)、③下腿長軸延長線に対する肩峰位置、を次に述べる方法で算出した。

①膝関節屈曲角度

膝関節屈曲角度は、大腿長軸と下腿長軸のなす

角度として求めた。

②nMA (正規化モーメントアーム)

次の3段階の計算を行って求めた(図2)。はじめに、横井らの日本人幼少年を対象とした係数³⁾を用い、作図法²⁾によって各被験者における頭部重心位置(a)、体幹部重心位置(b)、大腿部重心位置(c)と各セグメントの質量を次式のように推定した。

(a) 頭部重心位置(耳孔と頭頂の内分点) = 耳孔-頭頂間の長さ×重心位置比

頭部重量 = 選手の体重×頭部比重

(b) 体幹部重心位置(肩峰と大転子の内分点) = 肩峰-大転子間の長さ×重心位置比

体幹部重量 = 選手の体重×体幹部比重

(c) 大腿部重心位置(大転子と膝外側顆の内分点) = 大転子-膝外側顆間の長さ×重心位置比

大腿部重量 = 選手の体重×大腿部比重

こうして得られた推定位置と質量とを用いて、線分の内分点を求める要領で頭部(a)と体幹部(b)の合成重心位置(d)、さらに体幹部(b)と大腿部(c)の合成重心位置(e)を求める。最後に、(d)と(e)から、膝関節より上部の身体(頭部、体幹部、大腿部)合成重心位置(f)を算出した。合成重心位置(f)の鉛直線と膝関節中心までの水平距離(モーメントアーム: MA)を求めた。さらに、次式のように各被験者の大腿長で正規化してnMAとして算出した。

$$nMA (\%) = MA / \text{大腿長} \times 100$$

③下腿長軸延長線に対する肩峰位置

下腿長軸延長線と肩峰を通る水平線が交わる点と肩峰との間の距離として求めた(図3)。この際、各被験者の肩峰位置が下腿長軸延長線より前方にある場合を正とした。

下腿長軸延長線に対する肩峰の前後位置から、肩峰が下腿長軸延長線上あるいは前方にある群(以下、前群とする)と下腿長軸延長線より後方にある群(以下、後群とする)の2群に分け(図4)、2群間における膝痛発生率とnMAの大きさをFisher's exact probability test, Mann-Whitney testを用いて比較検討した。さらに下腿長軸延長線を基準とした肩峰の位置をnMAの大きさの簡易指標目安とすることの妥当性検証のため、両者の相関をPearsonの相関係数にて調べ、Fisherのrのz変換を行ない有意性を検討した。すべての検定において有意水準を5%未満とした。

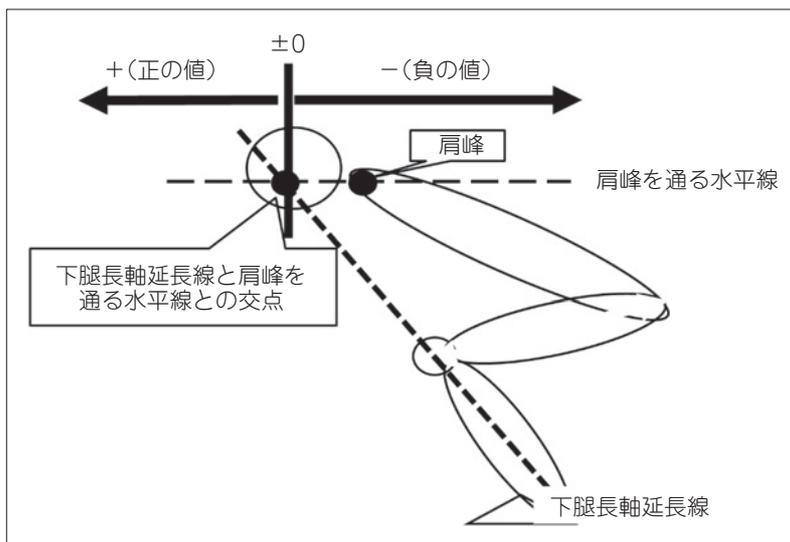


図3 肩峰位置の決定方法

原点 (0) : 下腿長軸延長線と肩峰を通る水平線との交点
 正の値 : 肩峰の位置が原点に対して前方 (頭側) にある場合
 負の値 : 原点に対して肩峰の位置が後方 (尾側) にある場合

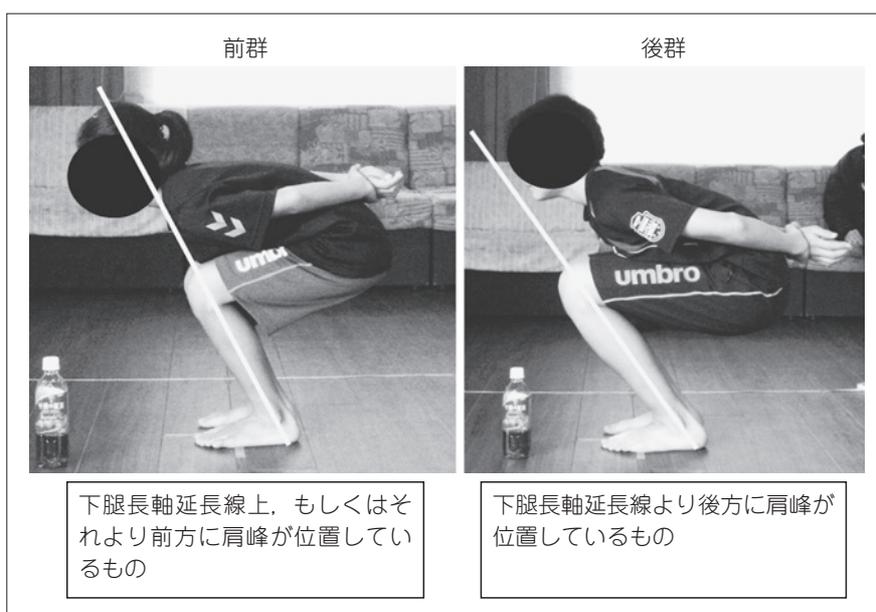


図4 滑走姿勢による群分け方法

3. 結果

被験者 29 名は男子 15 名, 女子 14 名で, 平均年齢は 11.9 歳 (7 歳から 14 歳), スケート競技歴は平均 4.6 年であった。このうち膝痛経験があった者は 15 名おり, その中で整形外科を受診した既往のある者は 3 名であった。その診断は, 成長痛 2 名, 走り方, 歩き方が悪いとの指摘を受けたものが 1 名であった。前群は 9 名 (男子 4 名, 女子 5 名) で,

後群は 20 名 (男子 12 名, 女子 8 名) であり, 両群間で年齢, 性差, 身長, 体重, 練習頻度, 一回練習時間, スケート競技開始年齢, 一週間での延べスクワット回数に有意差はみられなかった (表 1)。

nMA の平均は前群 26.1 (±5.7) %, 後群 32.4 (±4.9) % (p=0.018) で, 後群は有意に nMA が高かった (図 5)。膝痛経験者は前群 1 名 (女子選手 1 名), 後群 14 名 (男子 7 名, 女子 7 名) で

表 1 2 群間における特性比較

| | 前群 | 後群 | P 値 |
|--------------------|------------------|-------------------|------|
| 年齢 (歳) | 11.4±1.4 | 12.1±1.4 | 0.27 |
| 身長 (cm) | 149.9±7.6 | 152.7±6.5 | 0.36 |
| 性差 | 男子 4 名 女子 5 名 | 男子 12 名 女子 8 名 | 0.69 |
| 体重 (kg) | 41.4±9.1 | 44.2±9.8 | 0.46 |
| 1 週間の練習頻度 (回) | 3.4±1.4 | 3.7±1.6 | 0.75 |
| 1 回の練習時間 (時間) | 1.4±0.3 | 1.5±0.16 | 0.36 |
| 競技開始年齢 (歳) | 7.4±1.2 | 7.3±2.4 | 0.77 |
| 1 週間の延べスクワット回数 (回) | 231.9±212.1 | 223.8±201.1 | 0.90 |
| 滑走姿勢での膝屈曲角度 (度) | 114.7±4.6 | 118.0±7.9 | 0.17 |

2 群間の特性の各項目において有意差はみられなかった。

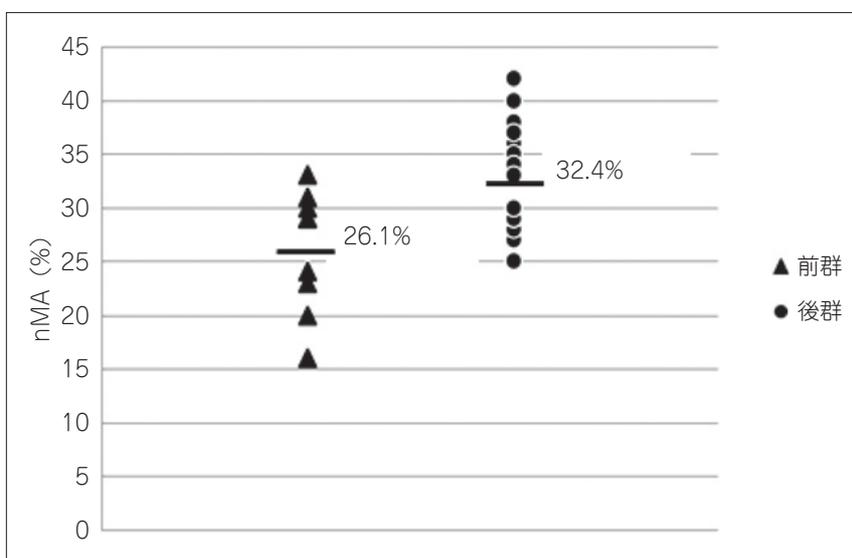


図 5 2 群間における nMA
前群における nMA (正規化したモーメントアーム) は後群に比べ有意に低かった。

あり、それぞれの発生率は 11%, 70% となり、後群では膝痛発生率が有意に高かった ($p=0.005$) (図 6)。また、膝痛発生率に性差は認めなかった。下腿長軸延長線からの肩峰の距離と nMA との間に負の相関がみられた ($r = -0.339, p = 0.032$) (図 7)。

4. 考察

一般的にスポーツ選手の慢性的な膝痛の原因は、大腿四頭筋や股関節外旋筋群の筋力低下、大腿四頭筋、ハムストリングス、腸脛靭帯の柔軟性欠如、後足部の過剰な回内といった下肢のアライメント破綻などの内因性要素や、技術レベルに見合わないトレーニング強度や方法、環境や用具等の外因性要素など多岐にわたるとされている⁴⁾。さ

らにジュニア期やそれ以前の幼少期でのスポーツ障害は成長も絡み原因の特定を困難にしている。膝への負荷を長期的に加え続けることは、将来の器質的変化を誘発する要因のひとつとされるが⁵⁾、その変化以前に痛み等の初期症状を訴えることが実際のスポーツ活動ではよくあることである。器質的変化の生じる前に膝関節に作用する様々な負荷の軽減を考慮することは今後の障害予防や障害からの復帰の際に有益であろうと思われる。

スクワットはスケート競技やその練習 (氷上および陸上) において頻回に行われるが、スクワット動作において、膝屈曲 75° から 80° までは膝蓋大腿関節に作用する圧縮力 (PF force) は増加するが、それ以降の PF force は変化なし、もしくは若干減少するといわれている^{6,7)}。また、膝屈曲角度

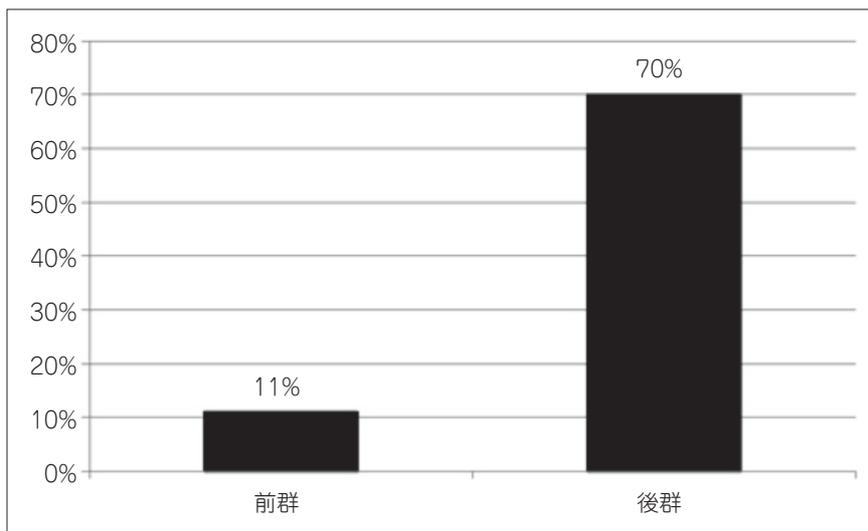


図6 2群間における膝痛発生率
前群における膝痛発生率は後群に比べ有意に低かった。

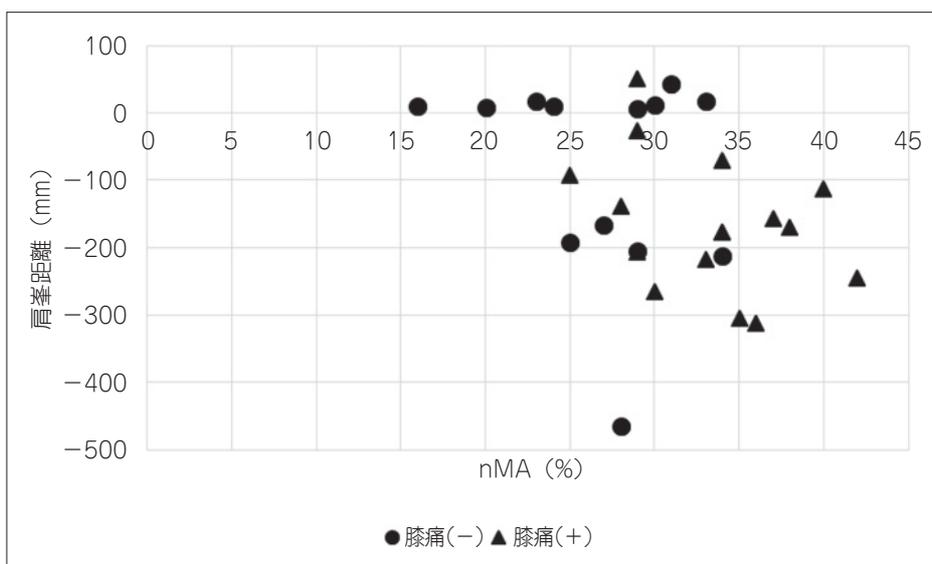


図7 肩峰距離とnMAの相関
肩峰の距離とnMAとの間に負の相関がみられた ($r=-0.399$, $p=0.032$)。

に応じた膝蓋骨の大腿骨との接触面積当たりの圧力シミュレーションにおいても同様な結果が報告されている⁸⁾。Salemら⁹⁾も同様な結果を報告し、膝屈曲角度の増大と膝障害のリスクは必ずしも比例関係ではないと指摘している。本研究の結果においても後群が前群に比べて膝痛発生率が有意に高かったが、膝屈曲角度は前群が約115°、後群が約118°と有意差はみられなかった。スピードスケートで繰り返されるような膝関節深屈曲動作にともなう膝への過負荷が膝痛の一因と推測されがちであるが、深い膝屈曲角度が必ずしも膝痛を誘

発するものではなく、膝に作用する他の様々な力学的要素を考慮すべきであろうと考えられる。

膝関節以外の他関節からの影響によるスポーツで生じやすい膝痛発生機序については様々な議論がある。BackmanとDebielson¹⁰⁾は、バスケットボール選手の膝蓋腱障害の発症と足関節背屈可動域制限との関連について一年間の前向き調査を実施し、36.5°以下の背屈制限を有する選手は膝蓋腱障害発症の危険性が高いとしている。福井ら¹¹⁾は、オスグットシュラッター病の患者を調査し、股関節伸展モーメントの減少があることを指摘してい

る。また異なるスクワット動作様式を比較した Escamilla ら¹²⁾の研究では、両脚スクワット (Wall squat) と片脚でのスクワット (One leg squat) を比較し、壁から上体を離れた片脚での One leg squat は片脚にも関わらず上体を壁に沿わせておこなう Wall squat よりも膝関節伸展モーメントが少なく、より股関節伸展モーメントが増加していることを指摘している。これは One leg squat は、上体の前傾姿勢を要することが影響しているためであろうと推測し、膝関節の伸展モーメントを減少させるために頭部や体幹部といった膝関節より上部の体節の重心位置の重要性を示唆している¹³⁻¹⁵⁾。

今回の結果でも膝屈曲角度は前群と後群で有意差を認めないにもかかわらず、滑走姿勢において肩峰が下腿長軸延長線上よりも前方にあると nMA がより小さく、膝痛発生率が低かった。さらに肩峰の距離と nMA との間には負の相関関係がみられたことは、下腿長軸延長線上に対する肩峰の位置はモーメントアームをおおまかに推測するよい指標であることを意味する。モーメントアームが短いほど膝関節回りの回転トルクが小さくなるため、滑走姿勢を観察し、下腿長軸延長線よりも肩峰を前方に位置するように、もしくはその延長線に近づけるよう指導することは、膝への負担軽減につながり、膝痛発生やその再発予防に活用できる可能性が今回の研究から示唆された。膝痛への対処法には膝周囲筋のストレッチングや筋力トレーニングといった疼痛部位の局所で指導されることが多いが、今回示した指標は膝より上の頭部、体幹部や大腿部など複数の体節が関与することから、局所にとらわれ過ぎず多関節からの作用も考慮したりハビリテーションやトレーニングを行う有用性を示唆するものでもある。

本研究は身体に直接マーカーを付着させずに衣服をつけた画像から体表のランドマークを判断していること、各部位の重心位置はあくまで推定値を用いていること、被験者全員が成長期にあたる小中学生であるため骨盤付近の結合組織のタイトネスが一時的に高まり、結果に影響を及ぼした可能性があること、側面 (矢状面) のみからの指標であるという限界があり、今後さらなる検証が必要である。また、この指標におけるスケート滑走姿勢の違いが競技力にどのような影響を及ぼすかといった視点からの検討も今後必要であると思わ

れる。今回のわれわれの試みた簡便な指標作りは、主観的要素が強い「痛み」という指標に依存しがちな現状において、特別な測定機器を必要せずに「膝への負担の少ないスケート滑走姿勢」という指標を提示することは膝痛を有する選手やそのコーチが膝痛再発防止や予防に指導現場で活用できる可能性が大いにあり、また膝痛発生後の復帰の目途やリハビリテーション等を進めるうえで治療する医療側にとっても有益であろうと思われる。

5. 結論

スケート滑走姿勢において、肩峰が下腿長軸延長線の後方に位置すると膝関節回りのモーメントアームが増大し、膝痛発生率が有意に高かった。体幹重心位置が後方寄りとなることがモーメントアームの増大につながり、膝伸展機構への負荷を増加させ膝痛の発生要因となると考えられた。側面からのスケート滑走姿勢の評価は、膝関節に作用するモーメントアームを推定する簡便な客観的指標として膝痛予防や再発防止に指導現場で活用できると思われた。

謝 辞

本研究の画像解析に関して、リハビリテーション科学総合研究所研究室 吉田直樹主任研究員から貴重なアドバイスをいただきました。心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) Bahr, R, Krosshag, T: Understanding injury mechanics: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med* 39: 324-329, 2005.
- 2) 立石哲也: バイオメカニクス: 機械工学と生物医学の融合. オーム出版局, 122-130, 2010.
- 3) 横井孝志ほか: 日本人幼少年の身体部分係数. *体育学研究* 31: 53-66, 1986.
- 4) Wilk, KE et al.: Patellofemoral disorders: A classification system and clinical guidelines for nonoperative rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 28(6): 307-322, 1998.
- 5) Felson, DT et al.: Osteoarthritis: New insights part1: the disease and its risk factors. *Ann Intern Med* 133: 635-646, 2000.
- 6) Escamilla, RF et al.: Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc* 30: 556-569, 1998.

- 7) van Eijden, TM, Kouwenhoven, E: Force acting on the patella during maximal voluntary contraction of the quadriceps femoris muscle at different knee flexion/extension angle. *Acta Anat* 129: 310-314, 1987.
 - 8) Huberti, HH, Hayes, WC: Patellofemoral contact pressures; the influence of Q-angle and tendofemoral contact. *J Bone Joint Surg* 66A: 715-724, 1984.
 - 9) Salem, GJ, Powers, CM: Patellofemoral joint kinetics during squatting in collegiate women athletes. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 16: 424-430, 2001.
 - 10) Backman, LJ, Dabielsion, P: Low range of ankle dorsiflexion predisposes for patellar tendinopathy in junior elite basketball players. A 1-year prospective study. *Am J Sport Med* 39: 2626-2633, 2011.
 - 11) 福井 勉ほか：ジャンパー膝, Osgood・Schlatter病に対する運動療法. *関節外科* 15: 74-82, 1996.
 - 12) Escamilla, RF et al.: Patellofemoral joint force and stress during the wall squat and one-leg squat. *Med Sci Sports Exerc* 41(4): 879-888, 2009.
 - 13) Wallace, DA et al.: Patellofemoral joint Kinetics while squatting with and without an external load. *J Orthop Sports Phys Ther* 32(4): 141-148, 2002.
 - 14) McLaughlin, TM et al.: A kinematic model of performance in the parallel squat by champion power lifters. *Med Sci Sports Exerc* 9: 881-886, 1997.
 - 15) McLaughlin, TM et al.: Kinematics of the parallel squat. *Res Q* 49: 175-188, 1979.
-
- (受付：2015年9月4日, 受理：2015年12月15日)

The Influence of Skating Posture on the Incidence of Knee Pain in Short Track Speed Skaters

—An Evaluation of Skating Form, Focusing on the Location of the Acromion as Compared to the Leg Extension Line—

Sagano, J.*¹, Shirogane, S.*², Hoshikawa, A.*³

Fukuda, J.*⁴, Sakai, H.*³

*¹ Saito Sports Orthopedic Clinic

*² Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

*³ Department of Orthopaedic Surgery, Saitama Medical Center, Saitama Medical University

*⁴ Department of Health and Sports, Fujisawa Shounandai Hospital

Key words: speed skate, knee pain, skating posture

[Abstract] The purposes of this study were (1) to investigate the relationship between skating posture and the incidence of knee pain, and (2) to investigate the validity of observing skating posture as it relates to moment arm (MA) affecting the knee joint. The subjects were 29 short track speed skaters attending primary and junior high school. The skating posture of each subject was photographed from the side. The subjects were divided into the forward (FG) and backward groups (BG) based on their skating posture. A segmental method was utilized to determine the combined center of gravity (COG) from the mass of the head, trunk, and femur. Then, the vertical line (VL) through the point of the COG was drawn and the horizontal line (HL) from the center of the knee joint was also drawn. The moment arm (MA) was determined as the distance between the center of the knee joint and the intersecting point of the two lines (VL and HL). The MA was divided by the length of the thigh for normalization. There was a statistically significant difference in the normalized moment arm (nMA) and the incidence of knee pain between the groups ($p=0.018$ and 0.005 , respectively). A statistically significant correlation was seen between the distance of the acromion from LL and nMA ($r=0.399$). When observing the skating posture, the location of the acromion as compared to the leg extension line may estimate the moment acting on the knee joint, and also help in determining the risk of knee pain in short track speed skaters.