

陸上競技の種目特性が大学女子選手の膝関節固有感覚に及ぼす影響

小柳好生

The Effects of the Characteristics of Track and Field Events on Knee Joint Proprioception in Female College Athletes

Yoshio Koyanagi

Abstract

The objective of this study was to clarify the characteristics of knee joint proprioception in healthy female athletes. The subjects were 20 female college athletes with no serious medical history in the knee joints (jumping event group, $n=10$; non-jumping event group, $n=10$). There was no significant difference between the groups in regard to physical characteristics, athletic history, and isokinetic leg muscle strength. The objective and methods of the study were fully explained to all subjects, and consent to participate was obtained. Knee joint position sense was measured with low (knee flexion $15-30^\circ$) and high (knee flexion $60-75^\circ$) flexion angle ranges. Knee joint kinesthesia was measured by bending 1 knee without prior warning from a stationary state with the knee joint in a slightly bent position ($20-30^\circ$). ANOVA was performed for statistical analysis and a multiple comparison test was conducted. For both methods, statistical significance was defined as 5% ($p<0.05$).

No significant difference was observed for position sense between the groups for the low and high flexion ranges. In kinesthesia, the dominant leg of the athletes in the jumping event group had a significantly smaller value than both the dominant and non-dominant legs of the athletes in the non-jumping event group ($p<0.05$, $p<0.01$ respectively). Also, a significant difference ($p<0.01$) was observed between the dominant leg of the athletes in the jumping event group and that of the athletes in the non-jumping event group. There were no significant differences between the jumping and non-jumping event groups in regard to physical characteristics, athletic history, and isokinetic leg muscle strength. We concluded that the characteristics of the events were related to the fact that the jumping event group had better kinesthesia scores than the non-jumping event group.

キーワード : 固有感覚, プライオメトリック, 陸上競技, 女子大学生

key word : proprioception, plyometrics, track and field, female college student

The Effects of the Characteristics of Track and Field Events on Knee Joint Proprioception in Female College Athletes

I. 緒言

固有感覚とは身体各部位相互の位置関係や関節の動きを認知する機能で、筋、腱、靭帯、滑膜、関節包、関節に存在する固有感覚受容器が重要な役割を担っている。固有感覚受容器には筋の長さや引っ張り力を受感する筋紡錘とゴルジ腱器官、関節の位置

を受感するルフィニ小体や自由神経終末などが存在する¹⁻³。

固有感覚受容器には質的变化に関与し、運動、位置、回旋角度、持続する刺激強度を受感する緩慢順応型と、身体各部位の運動速度を受感する迅速順応型の2種類がある⁴。

固有感覚の研究は、肩関節や膝関節において行わ

れてきた。なかでも膝関節においては膝前十字靭帯 (ACL) 損傷との関連で検討された研究が多くみられる⁵⁻⁹。膝関節周囲筋の筋疲労は、固有感覚に影響を及ぼし、膝関節の弛緩性の増大は神経-筋機能を低下させ、ACL損傷リスクが高まるという報告がある¹⁰。

ACL損傷の特徴としては、発生率は女性アスリートで高く、その受傷機転は非接触型であることが多い。また、受傷リスクとしてドロップジャンプ時の膝関節外反角度との関連が言われている¹¹。近年では、傷害予防プログラムが他のスポーツ傷害に先駆けて取り組まれている。このプログラムの特徴は、バランス・筋力・プライオメトリックであり、特にプライオメトリックが重要なポイントであるとされている¹²。

そこで本研究では、ACL損傷が比較的少なく、トレーニングの約4割がプライオメトリックであると言われる跳躍種目¹³を含む陸上競技選手を対象に、膝関節固有感覚 (以下、固有感覚) を測定し、健常女子アスリートの固有感覚の特徴を明らかにすることを目的として行った。仮説は、「跳躍種目選手のほうが他種目選手と比較して固有感覚が優れている」とした。

II. 研究方法

A. 対象者

膝関節に重篤な既往歴のない関西学生陸上競技連盟に所属する大学女子陸上競技部員20名 (跳躍種目群10名、他種目群10名) を対象とした。プロフィールは表1に示すとおりであり、跳躍種目群と他種目群の間には年齢・身長・体重・競技歴において有意な差はなかった。

また、本研究においては対象者の筋力差が、測定結果に影響を及ぼす可能性があるため^{14,15} BIODEX SYSTEM III (BIODEX社製) (以下、BIODEX) を用いて、等速性筋力測定を行った。その結果を表2に示す。設定速度は60deg/sec, 180deg/sec, 300deg/secとし、表中の値はすべてPeak Torque/Body Weight (Nm/kg) である。種目間、踏切脚と非踏切脚との間に有意差は認められなかった。

なお、「利き脚」とは跳躍種目群においては専門競技における踏切脚とし、他種目群では走り幅跳びをする際の踏切りを行う脚とした。

全対象者に本研究の目的と方法を十分に説明し、研究参加への同意を得た。

B. 実験設定

対象者をBIODEXの座席に座らせた。その際、膝窩が座面端に触れないよう、膝窩と座面端の間に5cmの間隔を設けた。下腿・足部に対する外部からの刺激を遮断するために、スキーブーツをはかせた。視覚情報の遮断はアイマスクを用いた。聴覚情報はホワイトノイズの流れるヘッドホンを着用して遮断した。スキーブーツは下腿内・外旋中間位となるよう、またブーツの重さで下腿が牽引されないよう、アタッチメントに固定した。関節角度の計測のために大転子、大腿骨外側顆、スキーブーツ上で外果に相当する部位にマーカーを貼付けた。解析のための映像をデジタルビデオカメラ (DCR-TRV30, SONY社製) を用いて、毎秒60コマ、露出時間1/500で撮影した。利き手に同期シグナル (DKH社製) を点灯させるためのスイッチを持たせ、非利き手にBIODEXの動きを止めるスイッチを持たせた。(図1)

1. 膝関節位置覚 (以下、位置覚) の測定

BIODEXのPassive modeを用いた。膝関節屈曲95°を開始位置とし、膝関節を4deg/secで他動的に伸展させ、任意の設定角度で5秒停止し、対象者にその設定角度を覚えさせた。その後、4deg/secで開始位置まで戻し、2deg/secで再び他動的に伸展させた。対象者が設定角度と認識している位置まできたと感じたら、同期シグナルとBIODEX停止のスイッチを2つ同時に押させた。設定角度は浅角度 (膝屈曲15°~30°) と、深角度 (膝屈曲60°~75°) とし、各5回ずつ計10回をランダムに行った。設定角度と再現角度との差を誤認角度とし、位置覚の評価指標とした。

表1 対象者のプロフィール

| | 跳躍種目群 | 他種目群 | p値 |
|---------|------------|------------|-------|
| 年齢 (歳) | 20.2± 0.6 | 19.9± 1.0 | N. S. |
| 身長 (cm) | 162.6± 5.2 | 159.3± 5.8 | N. S. |
| 体重 (kg) | 54.5± 3.9 | 54.6± 6.4 | N. S. |
| 競技歴 (月) | 88.8±16.5 | 89.8±30.8 | N. S. |

(mean±S. D., N. S.: not significant)

表2 対象者の等速性膝伸展筋力および膝屈曲筋力

| 利き脚 | 伸展 | | | 屈曲 | | |
|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|
| | 跳躍種目群 | 他種目群 | p 値 | 跳躍種目群 | 他種目群 | p 値 |
| 60deg/sec | 266.2±26.2 | 255.2±43.4 | N. S. | 141.2±15.4 | 136.5±20.8 | N. S. |
| 180deg/sec | 187.4±18.0 | 174.0±20.3 | N. S. | 114.9±12.0 | 109.5±27.3 | N. S. |
| 300deg/sec | 137.6±11.3 | 132.7±20.2 | N. S. | 96.1± 6.6 | 91.6±18.2 | N. S. |

(mean ± S. D., Nm/kg, N. S.: not significant)

| 非利き脚 | 伸展 | | | 屈曲 | | |
|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|
| | 跳躍種目群 | 他種目群 | p 値 | 跳躍種目群 | 他種目群 | p 値 |
| 60deg/sec | 271.9±31.5 | 263.6±31.4 | N. S. | 140.3±13.4 | 142.3±12.1 | N. S. |
| 180deg/sec | 187.8±15.5 | 175.2±16.5 | N. S. | 114.1±14.4 | 111.2±17.5 | N. S. |
| 300deg/sec | 142.2±12.9 | 135.5±18.1 | N. S. | 94.6± 9.0 | 87.2±15.4 | N. S. |

(mean ± S. D., Nm/kg, N. S.: not significant)



図1 測定風景

2. 膝関節運動覚（以下、運動覚）の測定

BIODEXのPassive modeを用いた。膝関節屈曲位95°を開始位置とし、膝関節を4deg/secで他動的に伸展させ、膝関節軽度屈曲位（20°～30°）で静止した。静止時間はランダムに2～6秒とした。静止後、スピード設定を300deg/secとし、予告なく下腿を落下させた。対象者には落下したと感じたら素早く同期シグナルとBIODEX停止のスイッチを2つ同時に押し、落下を止めるように指示した。測定は10回行い、静止角度から同期ランプが光った角度までを落下角度とし運動覚の評価指標とした。

3. ビデオ解析

デジタルビデオカメラで撮影した映像をパーソナルコンピューターに取り込み、2次元ビデオ動作解析システム Frame-DIAS II (DKH社製)を用いて、パーソナルコンピューター上で角度解析を行った。

1) 位置覚（誤認角度）

設定角度と対象者が合わせた角度を解析し、2つ

の誤差を誤認角度とした。誤認角度は全て絶対値で算出した。解析に使用した映像は、設定角度は完全に静止している映像を、対象者が合わせた角度は同期シグナルが光り始めた映像を使用した。（図2）

2) 運動覚（落下角度）

静止している角度と、対象者が落下から止めた角度を解析し、2つの差を落下角度とした。解析に使用した映像は、落下前は完全に静止している映像を、落下から止めた角度は同期シグナルが光り始めた映像を使用した。（図3）

C. 統計処理

統計処理にはエクセルアドインソフト statcel 2 (OME出版)を用いた。誤認角度、落下角度の比較には一元配置の分散分析を行い、多重比較検定にはTukey法を用いた。いずれも統計的な有意水準は危険率5% (p<0.05)とした。

Ⅲ. 結 果

A. 位置覚について

1. 浅屈曲域（15°～30°）の位置覚

浅角度における跳躍種目群および他種目群の誤認角度の平均値を図4に示す。利き脚については、それぞれ5.83±4.92°、6.75±4.29°であり、有意差はなかった。同様に非利き脚でも、有意差は認められなかった。

2. 深屈曲域（60°～75°）の位置覚

設定角度が膝屈曲60°～75°の深角度において、跳

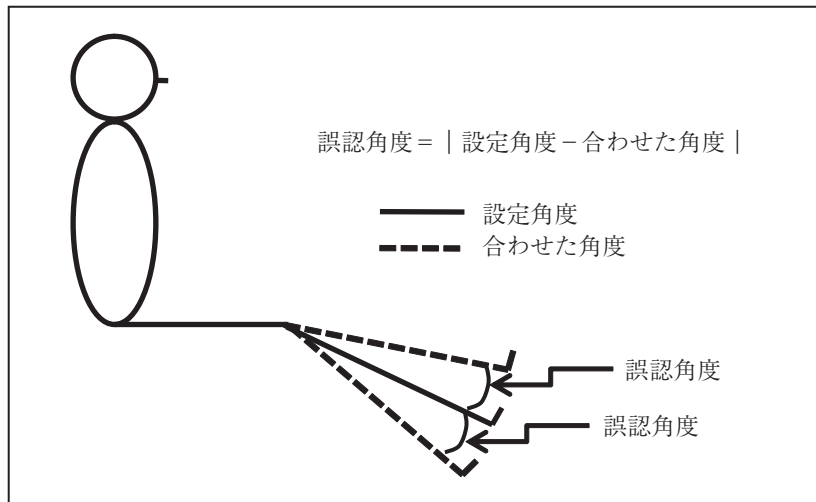


図2 誤認角度の算出法

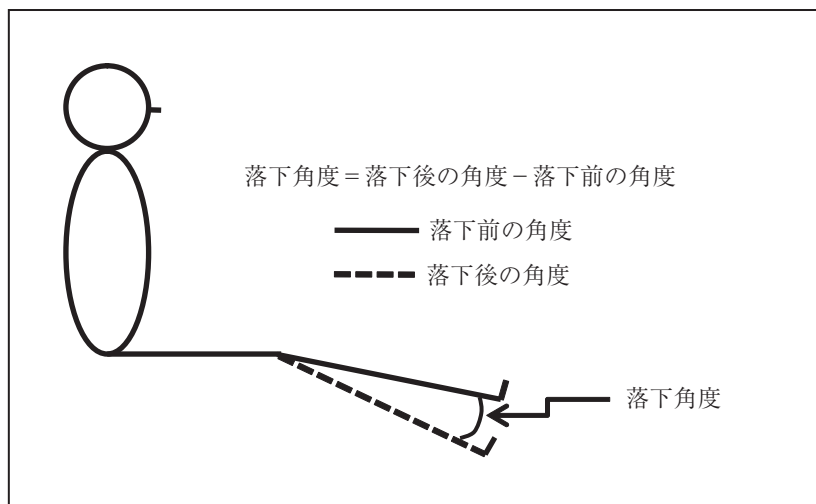


図3 落下角度の算出法

躍種目群および他種目群の誤認角度の平均値を図5に示す。利き脚については、それぞれ $4.25 \pm 2.91^\circ$ 、 $6.01 \pm 3.79^\circ$ と他種目群で若干大きな値となったが、統計学的に有意な差は認められなかった。非利き脚でも同様の結果となった。

B. 運動覚について

運動覚の結果を図6に示す。跳躍種目群の利き脚の落下角度は $8.08 \pm 1.94^\circ$ であり、他種目群のそれは $9.00 \pm 1.95^\circ$ であり、有意に小さな値 ($p < 0.05$) となった。また、他種目群の非利き脚 $9.31 \pm 2.52^\circ$ と比較しても有意に小さな値 ($p < 0.01$) であった。跳躍種目群の非利き脚 $8.23 \pm 2.30^\circ$ と他種目群の非利き脚との間にも有意差 ($p < 0.01$) が認められ、跳躍種目群が小さな値を示した。

IV. 考 察

今回、健全な大学女子陸上競技選手の固有感覚を測定し、種目間および利き脚と非利き脚との間で、固有感覚に違いがあるのかを検討した。

昇ら¹⁴は筋力が低下すると固有感覚が低下すると述べている。また、浦辺ら¹⁵はハムストリング筋力の向上が位置覚の向上につながると述べている。これらの先行研究から、固有感覚は筋力差の影響を受ける可能性があると考え、対象者の筋力測定を行った。

筋力測定の結果は、60deg/sec, 180deg/sec, 300deg/secの伸展・屈曲いずれにおいても、対象者群間、利き脚と非利き脚間に有意差はなかった。また、身体的な特徴あるいは競技歴にも違いが見られなかったことから、筋力は群間、利き脚、非利き脚

で差はないものとして研究を進めた。

1. 位置覚

位置覚については、深角度・浅角度ともに跳躍種目群と他種目群、対象者群の利き脚と非利き脚間、および対象者群間の利き脚と非利き脚間のすべてにおいて誤認角度に有意差は認められなかった。ACL損傷に関連した先行研究では、健側と患側で有意差があった⁹という報告や、荷重位で左右差がある¹⁶という報告、再建後の経過時間によりばらつきが見られるという研究⁷もあり、一定の見解が得ら

れてはいない。これは、ACL損傷に関する研究では、再建術後の経過期間に違いがあることや、設定角度に違いがあることが原因の一つと考えられる。本研究では、設定角度を15°～30°（浅角度）、60°～75°（深角度）とした。筋腱の緊張が筋知覚の感受性を向上させ、関節固有感覚が改善するという報告がある^{17,18}。そのため浅角度では、ハムストリングのタイトネスの影響を受けないように設定した。深角度については、膝関節屈曲の参考可動域が130°であるから、大腿四頭筋のタイトネスは考慮する必要がないと考えて行った。

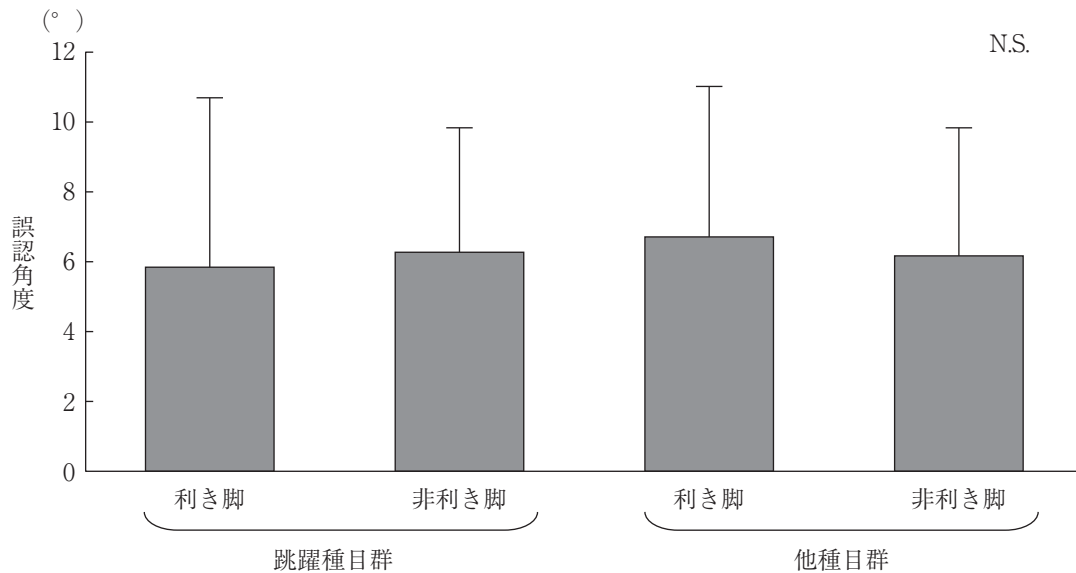


図4 跳躍種目群および他種目群の膝関節位置覚(浅角度)

N. S.: not significant

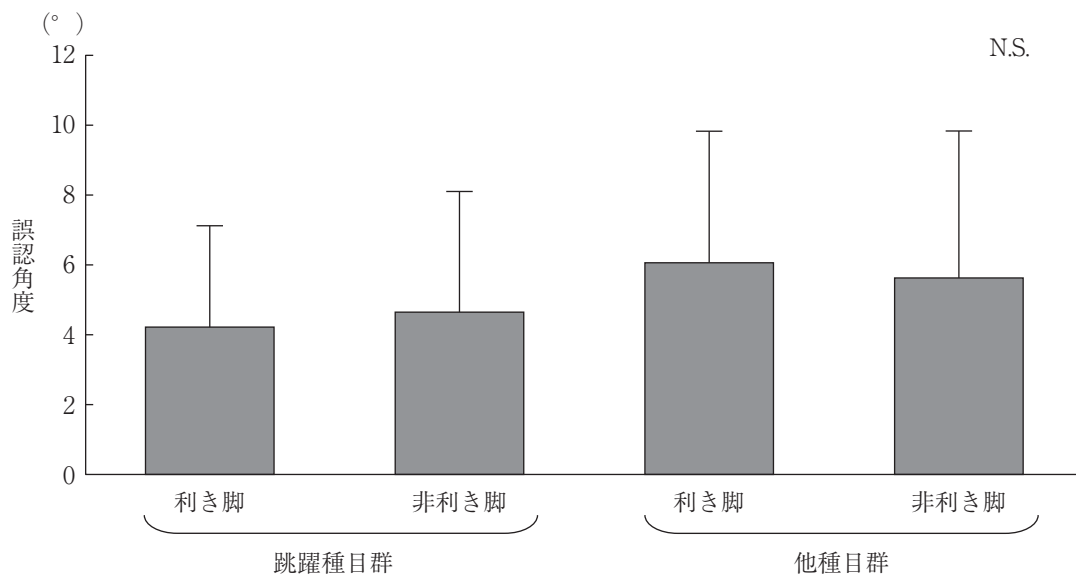


図5 跳躍種目群および他種目群の膝関節位置覚(深角度)

N. S.: not significant

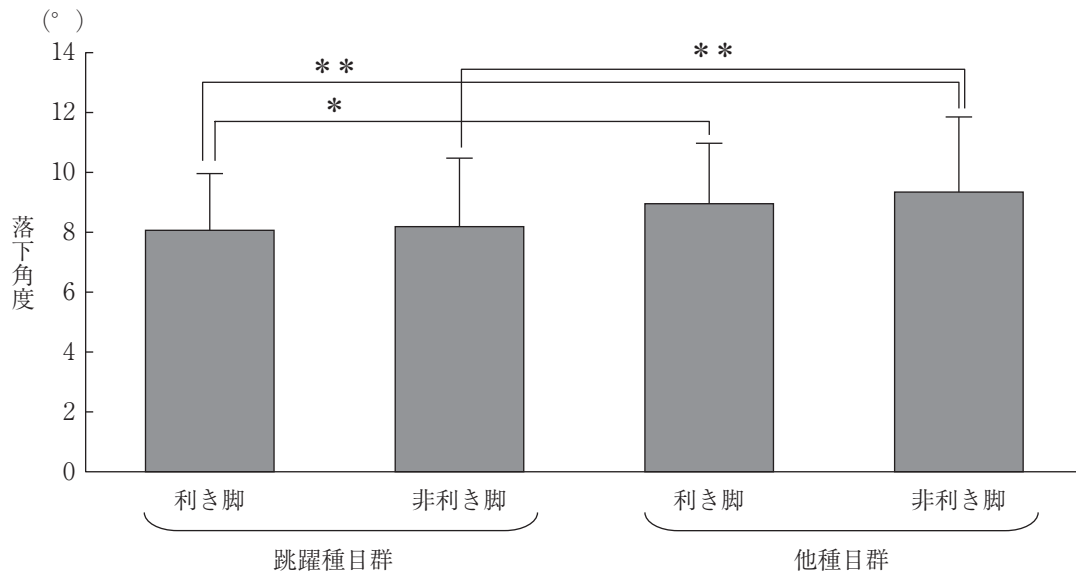


図6 跳躍種目群および他種目群の膝関節運動覚

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

2. 運動覚

運動覚では、跳躍種目群、他種目群それぞれの利き脚と非利き脚間の落下角度に有意差はなかった。しかし、跳躍種目群と他種目群の利き脚間、跳躍種目群の利き脚と他種目群の非利き脚間には1%水準で、さらに跳躍種目群の非利き脚と他種目群の非利き脚間には5%水準で、跳躍種目群の落下角度が有意に小さい値を示した。このことから、跳躍種目群の運動覚は、他種目群のそれより優れていると言える。対象者の群間には、種目以外の事項に差異がないため(表2)、運動覚に見られた有意差は、競技特性が関与していると考えられる。

競技種目によってトレーニング内容は様々である。例えば短距離・長距離選手であれば走るトレーニングが主であるし、投擲選手であれば、投げる技術トレーニングに加えて、ウエイトトレーニングが主になる。跳躍種目では走るトレーニングに加えて、跳躍のトレーニングを行う。走幅跳選手だったV. ポポフは1年間の練習手段の時間比率を、専門的体力トレーニングと跳躍練習をあわせて準備期で45%、試合期で43%と述べている¹⁰。専門的なトレーニングにかかる時間は、全トレーニングの大部分を占めるものと言える。対象者とした跳躍種目選手の練習計画を見ると、専門的体力トレーニングと跳躍練習の中にプライオメトリックのトレーニングが多く組込まれており、対象者もジャンプ系のトレーニングに比重を置いているとコメントしている。

プライオメトリックに関しては、傷害予防トレーニングにおいても重要とされていて、疫学的調査やバイオメカニクス的研究によって有効であると報告されている¹⁹⁻²¹。また、長期間のスポーツ活動などの身体活動は、運動覚の向上に影響を及ぼす^{22,23}という報告がある。本研究で対象者とした陸上競技選手は、平均7年以上の競技歴を有し、対象者群間で競技歴に差は認めていない。つまり、種目特性によるトレーニング内容の相違がこの結果を生んだことが推察される。したがって、跳躍種目群において日常的に行われているプライオメトリックトレーニングが、運動覚に影響を与えていることが示唆された。

今回の測定では、位置覚については有意差がなく運動覚では有意差があるという結果になった。昇ら¹⁴は運動覚を閾値として測定していて、閾値と位置覚とは同一の傾向があると述べている。また、遅い角速度での測定は、より精度の高いデータが得られるとしている。Angoulesら⁷の研究では、位置覚は設定角度により結果にばらつきが見られ、運動覚においてはスタートポジションから伸展方向に動かした場合と、屈曲方向に動かした場合とで異なる結果となっている。同様の結果は、Berboomら²⁴の研究でも見られる。宮里ら²⁵は浅い屈曲角度からの伸展は、ハムストリングなどの膝関節屈曲筋群が伸張されやすく、筋紡錘への刺激が大きくなる。また、膝関節後方関節包の伸張によるルフィニ小体への刺激も同様に大きくなると述べている。本研究の浅屈

曲域における測定では、屈曲方向のみ測定を行ったため、ハムストリングのタイトネスによる筋紡錘伸張の影響が、結果に反映しているとは考えられない。

本研究では、使用したBIODEXで設定できる最も遅い角速度が、2.0deg/secであるという機械的な限界がある。先行研究では、ACLの固有受容器の働きを見ようとしている場合が多く、0.5deg/secあるいはそれ以下の角速度で取り組まれている。しかし、宮里ら²⁵が述べているように、関節包や周囲の筋、腱への圧や張力の変化というものは、スポーツ活動中のみならず日常活動でも常に働いているものであり、どれか一つを取り出して評価することよりも、様々な固有受容器を一体ととらえて評価した、今回の取組みも重要ではないかと考える。

今後の課題としては、運動経験の少ない対象者者にプライオメトリックトレーニングを実施し、運動覚への影響を検討することである。

V. 結 語

今回、大学女子陸上競技選手の膝関節固有感覚を測定し、跳躍種目選手と他種目選手について比較検討した。その結果、位置覚においては有意な違いを見ることはなかったが、運動覚においては跳躍種目群が他種目群と比較して優れているという結果を得た。今後、運動経験の少ない対象者者にプライオメトリックトレーニングを実施し、トレーニングと運動覚との関係についてさらに検討を進めていきたい。

文 献

- Schmidt RF.(岩村吉晃ほか訳)：感覚生理学第2版。p.32-54, 金芳堂, 京都, 1989.
- 乾公美. 固有感覚受容器刺激と運動療法(解説). 運動療法と物理療法, 10(4), 364-367, 1999.
- 山下敏彦. 固有感覚受容器—形態と機能—. 運動療法と物理療法, 10(2), 80-84, 1999.
- 井原秀俊. 関節トレーニング. p.29-31, 協同医書出版, 東京, 1996.
- 安達信生. 前十字靭帯損傷・再建膝の評価 —固有感覚能—. 臨床スポーツ医学, 28(1), 13-17, 2011.
- Risberg MA, Holm I, Myklebust G, et al. Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized clinical trail. *Phs ther*, 87(6), 737-750, 2007.
- Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, et al. Knee Proprioception following ACL reconstruction ; a prospective trail comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. *Knee*, 18(2), 76-82, 2011.
- Lee HM, Cheng CK, Liao JJ. Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Knee*, 16(5) , 387-391, 2009.
- Mir SM, Hadian MR, Talebian S, et al. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med*, 42(4), 300-303, 2008.
- Sbriccoli P, Solomonow M, Zhou BH, et al. Neuromuscular response to cyclic loading of the anterior cruciate ligament. *Am j Sports med*, 33, 543-551, 2005.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. 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, 492-501, 2005.
- Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med*, 34, 490-498, 2006.
- V. ポポフ著, 岡本正己訳. 走幅跳のトレーニング. p.90-91, ベースボールマガジン社, 東京, 1965
- 昇寛, 丸山仁司, 高橋直子. 膝関節固有感覚と膝関節トルクの関係についての一考察. *理学療法科学*, 20(1), 43-48, 2005.
- 浦辺幸夫, 田中浩介, 松井洋樹, ほか. 膝関節固有感覚能の評価とトレーニング. *運動と物理療法*, 17(3), 209-220, 2006.
- Hopper DM, Creagh MJ, Formby PA, et al. Functional measerment of knee joint position sense after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(6), 868-872, 2003.
- 平野弘之, 杉原敏道. 再現検査と模倣検査を用いた関節固有覚評価の比較研究—設定角度および関節運動の違いが評価に与える影響—. *リハビリテーション医学*, 35(4), 236-240, 1998.
- Taylor JL, McClosky DI. Detection of slow movements imposed at the elbow during active flexion in man. *J physiol*, 457, 503-513, 1992.

19. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 33(7), 1003-1010, 2005.
20. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*, 27(6), 699-706, 1999.
21. Myer GD, Ford KR, Mclean SG, Hewett TE. The effect of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *Am j Sports Med*, 34, 445-455, 2006.
22. Tsang WW, Hui-Chan CW. Effect of exercise on joint sense and balance in elderly men : Tai Chi versus golf. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 658-667, 2004.
23. D Xu, Y Hung, J Li, K Chan. Effect of tai chi exercise on proprioception of ankle and knee joints in old people. *Br J Sports Med*, 38, 50-54, 2004.
24. Borboom AL, Huzinga MR, Kaan WA, et al., Validation of a method measure the proprioception of the knee. *Gait Posture*, 28(4), 610-614, 2008.
25. 宮里幸, 浦辺幸夫, 山中悠紀ら. 運動速度の違いが膝関節運動覚に与える影響. *体力科学*, 57, 563-568, 2008.