

学位の種類	博士	氏名	小原 和宏
<p style="text-align: center;"><b>学位論文題目</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Knee dynamics during take-off and landing in spike jumps performed by volleyball players with patellar tendinopathy</b></p> <p style="text-align: center;">(膝蓋腱炎を発症したバレーボール選手のスパイクジャンプにおける 踏切と着地時の膝関節の動力学的解析)</p> <p style="text-align: center;">共著者： 千葉龍介, 高橋未来, 松野丈夫, 高草木薫</p> <p style="text-align: center;">Journal of Physical Therapy Science 34巻103頁-109頁 2022年2月23日掲載</p> <p style="text-align: center;"><b>研究目的</b></p> <p>本研究の目的は、膝蓋腱炎発症に至る動力学的要因を解明することである。膝蓋腱炎はジャンプ動作などにより膝伸展機構に強い負荷が繰り返し生じることによって発症するスポーツ障害として知られている。膝蓋腱炎発症に至る要因は、内因性要因、外因性要因、動力学的要因に分けられる<sup>1)</sup>。内因性要因は、骨のアライメント異常、性別（男性に多い）、体重増加などがある。外因性要因は、練習量の多さや、硬い床などがある。動力学的要因に関しては、ジャンプ動作の踏切と着地の双方において、膝関節に過大な負荷を及ぼす様々な発症に至るメカニズムが挙げられている。しかし、それらに統一性はなく共通の見解には至っていない。その理由として、各々の研究モデルに疼痛の程度が異なる選手が存在することや、両側と片側発症例が混在すること、そして異なる膝蓋腱の発症部位（内側・中央・外側）を一括して被験者群として扱っているなど、被験者の抽出基準に統一性が無いことが挙げられる。我々は各々の発症部位や発症側に対応する特異的な動力学的変化が膝関節に作用し、膝蓋腱炎が発症すると推測した。そこで、本研究では健常被験者群（以下C群）と膝蓋腱炎群（以下PT群）の内因・外因性要因を可及的にそろえ、PT群の発症側と発症部位並びに疼痛の程度を統一し動力学的要因の解明を試みた。</p> <p style="text-align: center;"><b>方法</b></p> <p>被験者はバレーボール選手13名（C群 n=7、PT群 n=6）、右利きのレギュラー選手でポジションはスパイカーであった。C群は下肢に疼痛の既往の無い選手（男性5例、女性2例）とした。PT群（男性5例、女性1例）は以下の抽出基準を用いた。1)左膝のみの発症。膝蓋腱の膝蓋骨内側付着部に限局した圧痛。2)Roelsらの病期分類で病期1 (pain after practice or after a game)。3)運動時に疼痛の既往は無い。</p>			

三次元動作解析装置と床反力計を用いて、最大努力のスパイクジャンプを3試技計測し、被験者に貼り付けた反射マーカの空間座標と床反力のデータを取得した。

膝関節の角度と関節モーメントを屈曲-伸展，外反-内反，外旋-内旋の3方向で算出した。膝関節角度は静止立位を基準とした。踏切と着地において、膝蓋腱への負荷が最大と想定される伸展モーメントが最大値の時の膝関節の角度と関節モーメントを抽出し、両群間における同側の膝関節の角度と関節モーメントを比較した。Mann-Whitney U-testにて $p < 0.05$ を有意差ありとした。

また、PCのスティックピクチャー画面を用いて、踏切と着地の伸展モーメントが最大値の時に、床反力ベクトルが膝関節の中心に対して外側・内側のどちらを通るかを全試技において観察した。

## 成 績

### (1) 被験者

年齢，身長，体重，下肢長，BMI，練習時間，バレーボール経験年数において有意差は無かった。

### (2) 膝関節角度

踏切・着地共に両群間において有意差は無かった。

踏切は、両群において、右膝は屈曲・内反・内旋傾向，左膝は屈曲・外反・内旋傾向であった。

着地は、両群の両膝で屈曲・内反・内旋傾向であった。

### (3) 膝関節モーメント

膝関節角度とは対照的に、PT群の左膝（患側）にはC群とは異なる関節モーメントが生じていた。

踏切は、C群の両膝とPT群の右膝（健側）において、外反・外旋傾向であった。PT群の左膝（患側）では、内反・内旋傾向を呈しており各々で有意差を認めた。

着地は、C群の両膝において、踏切と同様に外反・外旋傾向であったが、PT群の両膝において内反・外旋傾向であり、左膝（患側）の内反モーメントにおいて有意差を認めた。

また、着地の右膝の伸展モーメントにおいて有意差を認めC群の方が高い値を示した。

### (4) 床反力ベクトルと膝関節の位置関係

健常膝（C群の両膝とPT群の右膝）において、床反力ベクトルは踏切・着地共に多くの試技で内側を通過していた（67%～100%）。しかしPT群の左膝（患側）を観察すると、踏切では全ての試技で外側を通過し、着地では28%のみが内側を通過していた。

## 考 察

本研究の特徴は、動力学的要因を解明するために、C群とPT群の内因・外因性要因を可及的に統一し、PT群に抽出基準を設けたことである。抽出基準は「方法」に示した通りだが、運動時に膝痛の既

往の無い選手を抽出した理由は、膝痛の既往のある選手は疼痛に適応した動作を獲得している可能性があるためである。しかし、抽出基準を設けたことにより十分な被験者数を獲得することはできなかった。今後、症例数を増やし本研究の結果を検証する必要がある。

先行研究において、強いインパクトフォース、膝の深屈曲と外旋モーメントが膝蓋腱への負荷を増大させるという考察や<sup>2)</sup>、膝・足関節において着地時に関節可動性が少なく硬い着地になり、膝蓋腱への負荷が強くなるという報告がある<sup>3,4)</sup>。他にも様々な 動力学的要因が示されてきているが統一された見解は無いようである。

Edwards らは超音波診断装置で膝蓋腱に変性を認めたが疼痛既往の無い被験者に対し動作解析を行った。膝蓋腱に対する負荷に C 群と差は無いものの、膝関節角度は外反・内旋傾向であり、この関節角度が膝蓋腱の内側に偏った張力の増大をもたらす、膝蓋腱の内側に膝蓋腱炎を発症させる可能性を指摘している<sup>5)</sup>。本研究においても、踏切の左膝において外反・内旋位であったが、この傾向は両群においてみられ有意差は無かった。よって我々は、膝蓋腱の内側に偏った張力が生じるためには、関節角度だけではなく PT 群の左膝（患側）に発症した特異的な関節モーメントが重要であると推測した。そこで膝蓋腱炎が膝蓋腱の内側に発症した機序を考察する。踏切の伸展モーメントが最大値の時は膝蓋腱の張力が最も大きい時と考えられる。この状況下において、左膝（患側）は外反・内旋位で、関節モーメントは内反・内旋モーメントを発生していた。これらの関節モーメントにより、膝蓋腱の内側部に偏った張力が生じたと考えた。また着地の内反モーメントによっても同様の張力が生じる可能性があると考えられる。これらの動力学的要因が繰り返されることにより膝蓋腱炎が発症すると考えた。

本研究では、PC 画面において床反力ベクトルと膝関節の位置関係を観察した。その結果、C 群の両膝と PT 群の右膝（健側）では、床反力ベクトルの多くが膝関節の内側を通過していたが、PT 群の左膝（患側）においては、全試技で外側を通過していた。選手へ説明を行う際にスティックピクチャーを用いることで、専門用語を使用せず視覚的に説明することが可能になると考えている。

内因・外因性要因に加え、本研究によって解明された動力学的要因が膝蓋腱炎発症の予防・再発予防の一助になると考えている。

## 結 論

我々は、膝蓋腱内側の膝蓋骨付着部に膝蓋腱炎を発症したバレーボール選手のスパイクジャンプの動作解析を行った。膝関節角度は離床・着地共に C 群と PT 群に有意差は無かった。膝関節モーメントは C 群の両膝において、踏切・着地共に外反・外旋モーメント傾向であった。PT 群の左膝（患側）において、踏切は内反・内旋モーメント傾向、着地は内反・外旋モーメント傾向であった。踏切の内反・内旋モーメント並びに着地の内反モーメントにより膝蓋腱内側に偏った張力が発生し、これを繰り返すことで膝蓋腱炎が発症すると考えた。

#### 引用文献

- 1) Hyman GS: Jumper's Knee in Volleyball Athletes: Advancements in Diagnosis and Treatment. Current Sports Medicine Reports, 2008, 7: 296-302.
- 2) Richards DP, Ajemian SV, Wiley JP, Zernicke RF: Knee joint dynamics predict patellar tendinitis in elite volleyball players. Am J Sports Med, 1996, 24: 676-683
- 3) Bisseling RW, Hof AL, Bredeweg SW, et al.: Are the take-off and landing phase dynamics of the volleyball spike jump related to patellar tendinopathy? Br J Sports Med, 2008, 42: 483-489.
- 4) Siegmund JA, Huxel KC, Swanik CB: Compensatory mechanisms in basketball players with jumper's knee. J Sport Rehabil, 2008, 17: 358-371.
- 5) Edwards S, Steele JR, McGhee DE, Beattie S, Purdam C: Landing strategies of athletes with an asymptomatic patellar tendon abnormality. Med Sci Sports Exerc, 2010, 42: 2072-2080.

#### 参考論文

小原和宏, 佐々木祐介, 松野丈夫: バレーボール選手における第5中足骨疲労骨折の動作解析. 東日本整形災害外科学会雑誌, 2010, 22: 81-84.

小原和宏, 高草木薫, 佐々木祐介, 入江徹, 松野丈夫: バレーボール選手における有鉤骨鉤骨折の1例. 臨床スポーツ医学, 2012, 29: 865-866.

## 学位論文の審査結果の要旨

報告番号	第 号		
学位の種類	博士(医学)	氏 名	小原 和宏
審査委員長 大田 哲生 			
審査委員 吉田 成孝 			
審査委員 伊藤 浩 			
学 位 論 文 題 目			
Knee dynamics during take-off and landing in spike jumps performed by volleyball players with patellar tendinopathy (膝蓋腱炎を発症したバレーボール選手のスパイクジャンプにおける踏切と着地時の膝関節の動力学的解析) 掲載雑誌: J. Phys. Ther. Sci. 34;103-109, 2022			
本研究は、バレーボール選手のスポーツ障害の一つである膝蓋腱炎発症の動力学的要因を解明するために行われた。対象は右利きのスパイカーで、PT群として左膝のみの膝蓋腱膝蓋骨内側付着部に限局した圧痛を認め、運動時には疼痛は認めないものの、運動後に疼痛を認める Roels らの病気分類で病期 1 の選手 6 名を選び、コントロールを C 群として PT 群と同程度の運動量であるものの、下肢に疼痛の既往のない選手 7 名を用いた。方法は三次元動作解析装置と床反力計を用いて最大努力のスパイクジャンプを 3 回計測。解析は膝関節の角度と関節モーメントを屈曲伸展、外反内反、外旋内旋の 3 方向で算出。さらに、踏切と着地において膝蓋腱への負荷が最大と想定される伸展モーメントが最大となった時の膝関節角度と関節モーメントを求め、両群で比較した。また、踏切と着地時の床反力ベクトルの向きを評価した。その結果、膝関節角度は踏切、着地ともに両群間に有意差はなかった。膝関節モーメントは PT 群で踏切時に左膝の有意な内反、内旋モーメントの増大を認め、着地時に左膝の有意な内反モーメントの増大を認めた。床反力ベクトルと膝関節の位置関係では、C 群の両膝と PT 群の右膝において床反力ベクトルは踏切、着地とも多くが膝関節中心の内側を通過していたが、PT 群の左膝では踏切時においてすべての試技で外側を通過し、着地時でも 72% が外側を通過していた。以上のことより、右利きバレーボール選手のスパイクジャンプにおいて踏切時の膝関節における内反、内旋モーメント並びに着地時の内反モーメントの増大が膝蓋腱内側に偏った張力を発生させ、膝蓋腱炎を生じさせるものと考えられた。本研究はバレーボール選手の指導方法およびスポーツ障害発生の予防に重要な知見を与える点で価値があり、申請者は審査員の諮問に対して的確な回答を示し、関連分野における知識も十分に備えていた。よって学位を付与するに値すると判断した。			