

ジャンパー膝を有する大学男子 バレーボール選手に対する筋疲労の影響の検討 ～筋硬度および跳躍高の変化に着目して～

Influence of muscle fatigue on university male volleyball players with jumper's knee～Focus on changes in muscle hardness and jump height～

市原 英*1, 西野衆文*2, 福田 崇*3

キー・ワード：jumper's knee, volleyball, muscle fatigue

ジャンパー膝, バレーボール, 筋疲労

【要旨】 大学男子バレーボール選手に対して筋疲労課題を行い、その前後で跳躍高等の身体的特徴を測定した。その変化をジャンパー膝の既往の有無で比較し、ジャンパー膝を有する大学男子バレーボール選手に対する筋疲労の影響を検討した。関東大学1部リーグに所属するチームの選手のうち、医師にジャンパー膝と診断された選手7名(J群)、膝関節・大腿部に既往のない選手8名(C群)を対象とした。Biodexによる筋疲労課題を実施し、筋電図により平均パワー周波数(MPF)を計測した。その前後で筋硬度および跳躍高を測定した。MPF、および筋硬度の測定筋は内側広筋、大腿直筋、外側広筋とした。その結果、筋疲労課題の前後でのMPFは、大腿直筋、外側広筋が両群で、内側広筋はJ群で有意に低下した。また筋硬度は、大腿直筋、外側広筋が両群で、内側広筋がJ群で有意に増加した。以上より、内側広筋での筋疲労の程度が両群で異なり、ジャンパー膝を有する選手は内側広筋の筋疲労が発生しやすいことが示唆された。筋疲労課題の前後で、J群で跳躍高の有意な低下を示し、筋疲労課題前後の跳躍高の変化量は、C群に比べJ群は有意に大きかった。以上より、ジャンパー膝を有する選手は跳躍高が低下しやすく、内側広筋に易疲労性がある可能性が示された。

はじめに

バレーボール競技では垂直方向の跳躍が繰り返されることにより、慢性障害が多く発生すると報告されている¹⁾。なかでも、ジャンパー膝(膝蓋腱症)は発生率が高く難治性のスポーツ障害と言える。

ジャンパー膝は、1973年にBlazinaら²⁾によって初めて定義された。ジャンプ、着地、ダッシュ等が頻繁に繰り返され、膝伸展機構(大腿四頭筋—膝蓋骨—膝蓋腱—脛骨結節)に過度の負荷がかか

ることで引き起こされる慢性障害である。ジャンパー膝発症の要因についてさまざまな検討がなされているが、特に大腿四頭筋の柔軟性低下や優れた跳躍能力等の特徴がみられることが報告されている³⁾。これまでにジャンパー膝を有する選手の身体的な特徴を調査した研究は多く行われているが、その多くはジャンパー膝群と対照群における、ある時点での特徴を比較した研究である。しかしながら、実際の競技現場においては、繰り返し負荷による筋腱複合体における筋疲労や腱部への負荷増大など、量的な因子が問題となることが多い⁴⁾。それにもかかわらず、ジャンパー膝を有する選手に対して筋疲労によってもたらされる変化について比較した研究は少ない。客観的筋疲労指標として筋電図によるMPF(Mean Power Fre-

*1 星槎道都大学経営学部

*2 筑波大学医学医療系整形外科

*3 筑波大学体育系

表 1 被験者の身体特性

測定項目 (単位)	J 群 (n=7)	C 群 (n=8)
年齢 (歳)	20.3±0.8	20.0±1.3
身長 (cm)	187.3±8.3	178.0±6.7*
体重 (kg)	75.7±7.6	71.4±2.6
BMI	21.6±1.3	22.5±1.2

*p<0.05

quency : 平均パワー周波数) 解析⁵⁾ や筋硬度⁶⁾ 測定が知られている。それらの指標を用いてジャンパー膝を有する選手の筋疲労を測定し、その変化が疾患に及ぼす影響を知ることは重要である。そこで、本研究はジャンパー膝を有する大学男子バレーボール選手における筋疲労の影響と躍躍能力の関係を調査した。

対象および方法

1. 対象

関東大学男子 1 部バレーボールリーグに所属する大学バレーボール選手 15 名を対象とした。過去半年以内に医師による診察によりジャンパー膝と診断され、過去 1 ヶ月以内に治療のために整形外科を受診した選手のうち、プレーを継続している選手 7 名 (J 群)、膝関節および大腿部に既往歴のない選手 8 名 (C 群) の 2 群に分けて研究を実施した。なお、医師による診察では、MRI 画像診断による膝蓋腱部の肥厚の確認、超音波画像診断による新生血管化の確認、徒手抵抗による膝関節伸展運動時の疼痛発生、触診による圧痛の確認によりジャンパー膝と診断された。

J 群ではジャンパー膝と診断された膝を対象とした。なお、両膝において診断を受けた場合は、利き手側の膝とした。C 群では利き手側の膝を対象とした。対象となった膝はそれぞれ、J 群で右膝 6 名、左膝 1 名、C 群で右膝 7 名、左膝 1 名であった。被験者の身体特性を表 1 に示した。

本研究は筑波大学倫理委員会の承認 (体 27-112 号) を受けて実施し、ヘルシンキ宣言を遵守したものである。すべての対象者に文書および口頭によって本研究の趣旨を十分に説明し、同意を得た上で実施した。

2. 方法

筋硬度の測定として、生体組織硬度計 PEK-1 (井元製作所製) を用いて、大腿四頭筋のうち、内側広筋、大腿直筋、外側広筋の筋硬度を測定した。

測定はそれぞれの筋について 7 回ずつ行い、最大値と最小値を除いた 5 回分の平均値を測定値とした。また、すべての測定は同一検者によって行われた。

筋疲労課題中の筋活動電位を測定するため、対象者の内側広筋、大腿直筋、外側広筋に表面筋電図 (Biometrics 社製) を貼付した。電極には表面電極とアンプが一体化された EMG アンプ (SX 230-1000 型, Biometrics 社製) を使用し、各筋の筋線維方向と平行になるように貼付した。電極間距離は 1.5cm とした。電極ケーブルは試技の邪魔にならないように、粘着テープで皮膚に固定した。導出した筋電位はサンプリング周波数 1000Hz にて A/D 変換し、データを取り込んだ後、汎用解析プログラム TRIAS System (Biometrics 社製) を用いてパーソナルコンピュータに保存した。その後、バンドパスフィルタ 10~400Hz を介した後に全波整流した。

跳躍高測定として、アンプ内蔵型フォースプレート (KISTLER 社製) 上でのカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) を実施し、滞空時間より跳躍高を算出した。被験者には腰に手を当てた状態で、脚の反動動作を用いて全力で上方に跳躍させた (図 1)。試技は 5 回とし、滞空時間はフォースプレート上で測定し、跳躍高は以下の計算式より算出した。

$$\text{跳躍高} = \text{重力加速度} \times (\text{滞空時間}) \times (\text{滞空時間}) \div 8\text{cm}$$

試技間は 10 秒とし、5 回の測定のうち上位 3 回の平均値を測定値とした。

筋疲労課題として、多用途筋機能評価運動装置 Biodex system 4 (Biodex Medical Systems 社製) を用いて、膝関節伸展運動を実施した。被験者は椅子に座り、上半身を付属のシートベルトで固定した。ウォーミングアップ後、数分間休み、求心性収縮角速度 180°/sec で最大努力による膝関節伸展運動を 30 回 3 セット実施した。運動範囲は膝関節 0°~90° で、最大努力で完全に伸展 (膝関節 90°~0°) させ、屈曲時 (膝関節 0°~90°) には力を入れない運動を繰り返した。セット間には 30 秒の休息を挟んだ。筋疲労は表面筋電図を用いて、運動負荷中の筋活動電位から評価した。筋電図と Biodex を同期し、Biodex のアタッチメントの角度から筋疲労課題の 1 セット目の 1~10 回と、3 セット目の 20~30 回を解析区間とした。その区間

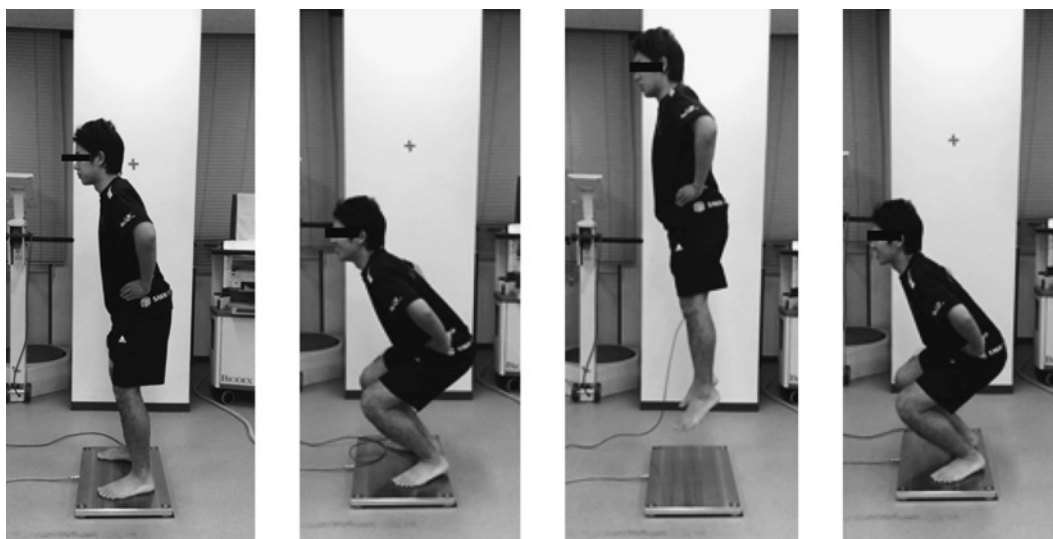


図1 カウンタームーブメントジャンプ

の筋電位をそれぞれ高速フーリエ変換し、MPFを算出した。それぞれのMPFを比較することで筋疲労を評価した。

Biodexによる筋疲労課題終了後、再度筋硬度測定および跳躍高測定を実施し、各測定値について両群間での比較、および疲労課題の前後での同一群内での比較を実施した。

すべての測定において、膝関節の疼痛による影響を排除するため、動作の途中で膝関節を含む下肢に疼痛が発生した場合には測定を中止し、後日再測定とした。

統計処理

測定値はすべて平均値および標準偏差で表した。筋疲労課題前後での両群の間で、MPF、筋硬度、跳躍高の平均値の差を分析するために、同一群内での比較には対応のあるt検定を用いた。また、筋硬度、跳躍高の結果、および変化量について両群間の比較には、対応のないt検定を用いた。なお、有意水準は5%未満とした。

結果

MPFにおいて、大腿直筋、外側広筋では、J群、C群共に、筋疲労課題1セット目1~10回と比較し、3セット目20~30回ではMPFが有意に低下した($p < 0.05$)。内側広筋では、J群において、筋疲労課題1セット目1~10回と比較し、3セット目20~30回で有意に低下した($p < 0.05$)。一方で、C群においては、筋疲労課題1セット目1~10

回と3セット目20~30回目で、有意な変化は認められなかった(図2)。

筋硬度において、筋疲労課題前、筋疲労課題後のどちらの場合にも両群間のすべての測定筋の筋硬度に有意差は認められなかった。筋疲労課題の前後の比較では、両群ともに大腿直筋、外側広筋で筋疲労課題後に筋硬度が有意に増加した($p < 0.05$)。内側広筋の筋硬度は、J群においてのみ有意に増加した($p < 0.05$)。(図3、図4)。

跳躍高において、筋疲労課題前、筋疲労課題後のどちらの場合にも両群間の跳躍高に有意差は認められなかった。J群における筋疲労課題前後の跳躍高、およびC群における筋疲労課題前後の跳躍高において、J群のみ筋疲労課題後に有意に低下した($p < 0.05$) (図5)。筋疲労課題前、および筋疲労課題後の両群内における跳躍高の変化量は、C群に比べJ群の方が有意に大きかった($p < 0.05$) (図6)。

考察

筋疲労課題前および筋疲労課題後において内側広筋、大腿直筋、外側広筋で測定された筋硬度について、両群間で有意な差は認められなかった。これらの結果は、ジャンパー膝を有する選手が既往のない選手と比較して、必ずしも筋硬度が高いとは限らないことを示している。ジャンパー膝を有する選手の身体的特徴として、筋硬度をはじめとする大腿四頭筋の筋柔軟性低下を報告している先行研究^{2-4,7,8)}も少なくないが、本研究の結果は先

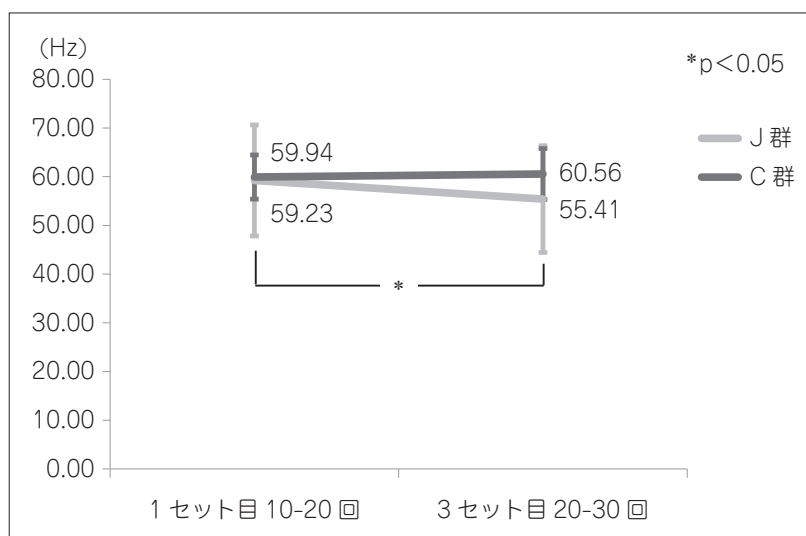


図2 内側広筋の筋疲労課題前後のMPF

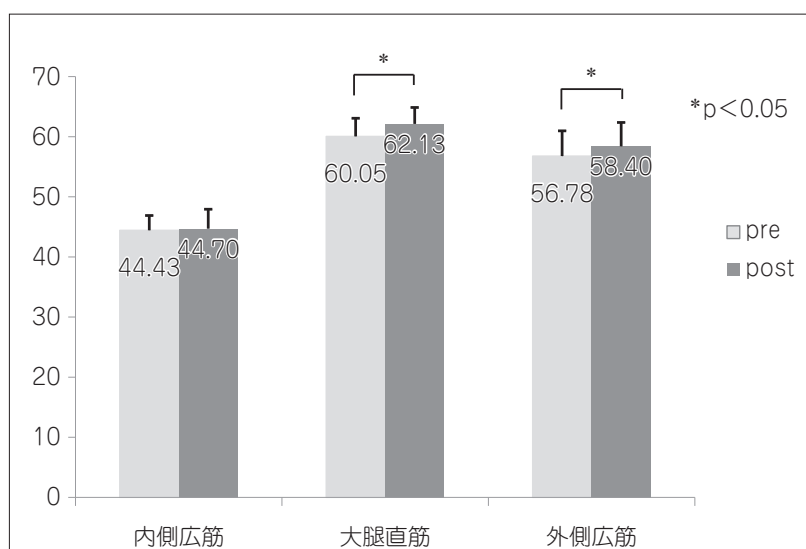


図3 C群における筋疲労課題前後の筋硬度

行研究とは一致しなかった。この理由について、ジャンパー膝の治療方法として、ストレッチング等により大腿四頭筋の柔軟性を高めることが一般的に普及している⁷⁾。本研究の被験者も、日常的に大腿四頭筋の柔軟性を高めるようコンディショニングを実施しているため、先行研究で指摘されているような、筋疲労の影響が無い状態における大腿四頭筋の柔軟性の低下は、確認できなかった可能性が考えられる。

筋疲労課題後において、大腿直筋、外側広筋の筋硬度は両群共に筋疲労課題前と比較して有意に増加した。また、筋疲労課題中のMPFについては大腿直筋、外側広筋においては両群共に、筋疲労

課題開始時と比較して筋疲労課題終了時では有意に低下した。筋硬度の増加⁶⁻⁸⁾、MPFの低下^{9,10)}は共に筋疲労の指標となるという報告が散見されているため、大腿直筋、外側広筋においては両群共に筋疲労が発生したと判断することができる。内側広筋について、C群においては筋硬度、MPF共に筋疲労課題による有意な影響を確認できなかった。先行研究により、内側広筋は大腿直筋、外側広筋と比較してtype I線維を多く含んでいるため、筋疲労が発生しにくいと報告されている^{11,12)}。しかしながら、J群では内側広筋において筋硬度の有意な増加、MPFの有意な低下がみられた。つまり、C群では筋疲労の発生が小さかった内

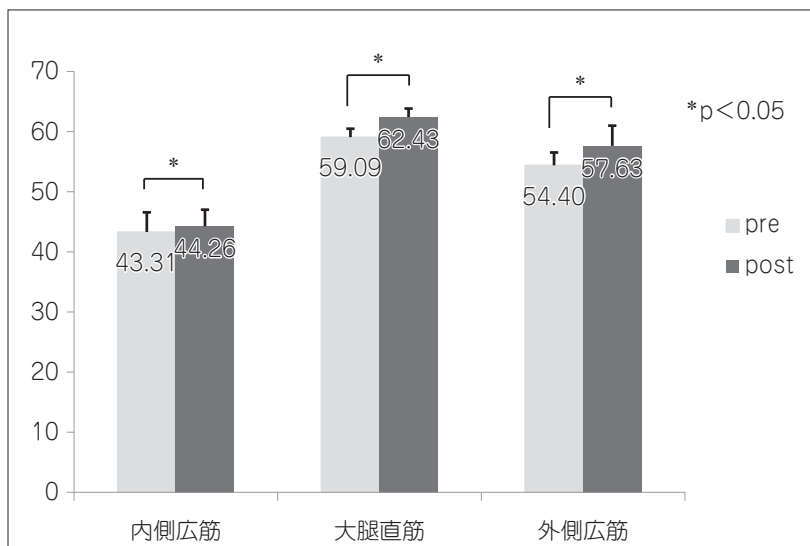


図4 J群における筋疲労課題前後の筋硬度

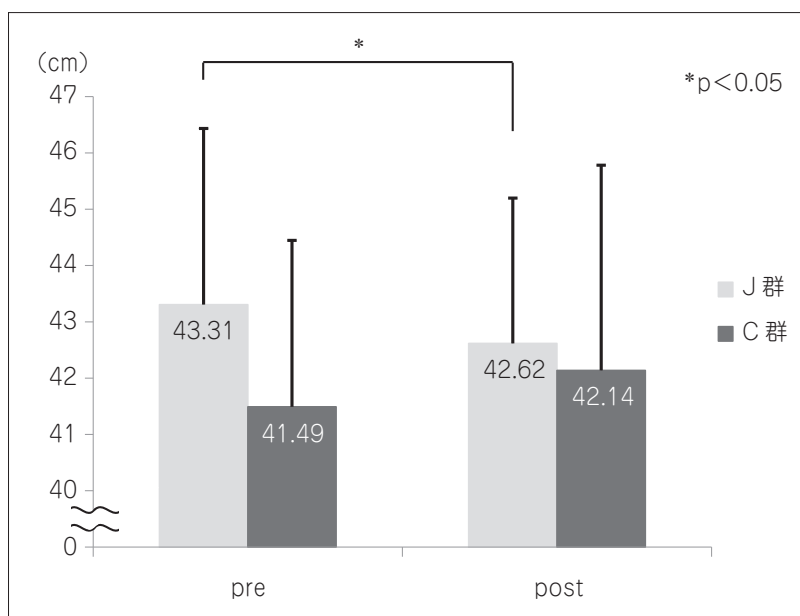


図5 両群の筋疲労課題前後の跳躍高

側広筋において、J群では筋疲労の発生がより大きかったと判断できる。以上より、ジャンパー膝を発症した選手とジャンパー膝の既往の無い選手との間には、筋疲労の発生する程度に差があったと言える。膝伸展機構における内側広筋の選択的使用については、1980年前後より多くの検討がされている。しかしながら、跳躍動作における内側広筋の選択的使用について論拠を示す先行研究は存在しない。動作との関連についての研究としては、スクワット時の膝関節屈曲角度を大きくすることで内側広筋の活動が増大すること¹³⁾、フォ

ワードランジ動作時に股関節を内転させることで内側広筋の活動が減少すること¹⁴⁾などが報告されている。しかし、これらの動作はバレーボールにおいてレシーブ動作と関連が強いとの報告¹⁵⁾がある。従って、日常的に繰り返されるレシーブ動作により内側広筋が選択的に使用され、筋疲労に対する耐性が強くなった可能性が考えられる。そこで、本研究において得られた、内側広筋における筋疲労の発生する程度の差は、跳躍能力の違いだけではなく、レシーブ動作などの他のバレーボールにおける競技動作と複雑に関連していると思わ

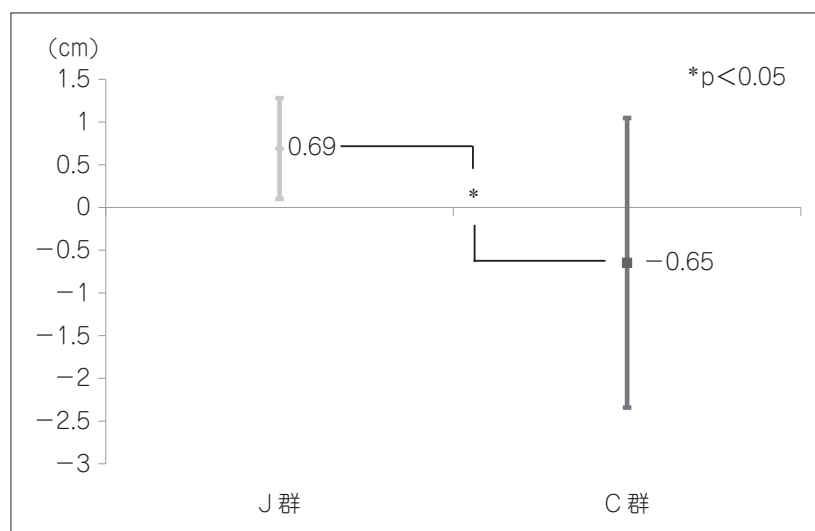


図6 両群の筋疲労課題前後における跳躍高の変化量

れる。

筋疲労課題前および筋疲労課題後において、両群の間に跳躍高の有意な差は認められなかった。ジャンパー膝を有する選手は跳躍能力に優れているという報告^{3,4,16)}も散見されるが、先行研究では運動介入による筋疲労等の影響を検討しておらず、最大跳躍高の比較のみを行っている。したがって、本研究の結果との比較は一概に行えないと考える。

C群において、筋疲労課題前後で跳躍高の有意な変化は見られなかった。しかしながら、J群においては筋疲労課題前と比較して、筋疲労課題後に跳躍高が有意に低下した。また、筋疲労課題前後の跳躍高の変化量も、C群と比較してJ群の方が有意に大きかった。先行研究により、垂直方向の跳躍能力には膝伸展筋筋力の関与が大きいことが述べられている¹⁷⁾ことから、ジャンパー膝を発症した選手はジャンパー膝の既往の無い選手と比較して、同じ強度の負荷がかかる際に、大腿四頭筋の筋疲労がより発生しやすい可能性が示された。

本研究において、筋硬度、MPF および跳躍高の変化によって、ジャンパー膝の有無により大腿四頭筋の筋疲労の発生の程度が異なると言える。佐久間ら¹⁸⁾は、筋疲労が発生した場合に関節で発揮されるトルクやパワーを維持するために、筋腱複合体の筋力発揮時に腱組織の貢献が大きくなることを報告している。本研究では大腿四頭筋における筋疲労の発生に伴い、膝蓋腱の負担が大きくなったと推察される。その結果、ジャンパー膝発

症や疼痛の発生を促進している可能性が考えられる。

以上より、ジャンパー膝を発症する選手の特徴として、従来検討されている大腿四頭筋の筋柔軟性や跳躍能力といった特徴よりも、跳躍高の低下に現れるような大腿四頭筋の易疲労性との関連が強いと示唆された。また、跳躍高を評価することでジャンパー膝を有する選手における大腿四頭筋の筋疲労を評価することができる可能性が示された。本研究によってジャンパー膝発症の要因となり得る身体的特徴が、跳躍高の低下に現れるような大腿四頭筋の易疲労性であると示唆されたことは、今後ジャンパー膝発症に対する有効的な予防を検討するうえで、有意義であるとも考えられる。

本研究はジャンパー膝発症の要因となり得る身体的特徴として、大腿四頭筋の各要素にのみ着目して実施された。しかしながら、跳躍動作には複数の関節と筋が関連している。そこで、本研究をより実践的に発展させるには、筋疲労課題を複数にし、分析の対象を増やす必要がある。また、本研究はバレーボール選手を対象として行われたものであり、バレーボール特有の動作中にジャンパー膝の発症要因が含まれている可能性が高い^{19,20)}。そこで、今後具体的な競技動作について、膝伸展機構に対する負荷を検証することで、バレーボールにおけるジャンパー膝発症の要因に対する検討がより深いものとなる。加えて、本研究ではバイオメカニクス的な検討が実施されていない。疾患の有無によって、跳躍における動作や筋

の使い方が異なった可能性も考えられるため、今後は動作解析をはじめ、多角的にジャンパー膝へのアプローチを実施し、より競技現場において実践的に応用することができる研究を実施する必要がある。

結 語

ジャンパー膝を有する大学バレーボール選手はジャンパー膝の既往の無い選手と比べて、内側広筋に筋疲労が発生しやすく、跳躍高が低下しやすいという特徴がある。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) 岩切健太郎, 堀部秀二, 中村憲正, 他. 一流バレーボール選手のスポーツ障害. 中部整災誌. 2003; 46: 407-408.
- 2) Blazina M, Kerlan R, Jobe F, et al. Jumper's Knee. Orthop Clin North Am. 1973; 4: 665-678.
- 3) Henk W, Mathijs A, Sakia R, et al. Risk factors for patellar tendinopathy. Br J Sports Med. 2011; 45: 446-452.
- 4) Helland C, Bojsen-Møller J, Raastad T. Mechanical properties of the patellar tendon in elite volleyball players with and without patellar tendinopathy. Br J Sports Med. 2013; 47: 862-868.
- 5) Nagata S, Arsenault A, Gagnon D, et al. EMG power spectrum as a measure of muscular fatigue at different levels and contraction. Medical & Biology Engineering & Computing. 1990; 28: 374-378.
- 6) 岡 久雄, 藤原史朗. 筋硬度変化による筋疲労の評価. バイオメカニズム学会誌. 1996; 20: 185-190.
- 7) 岡崎壮之. ジャンパー膝. 体力科学. 1990; 48: 227-231.
- 8) Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, et al. Change in hardness of the human elbow flexor muscle after eccentric exercise. Eur J Appl Physiol. 2000; 82: 361-367.
- 9) Nagata S, Arsenault A, Gagnon D, et al. EMG power spectrum as a measure of muscular fatigue at different levels and contraction. Medical & Biology Engineering & Computing. 1990; 28: 374-378.
- 10) 山田 洋, 増田 正, 横井孝志, 他. 疲労筋電図を用いた筋・神経機能の非侵襲的評価. バイオメカニズム. 2002; 16: 47-59.
- 11) 沖田 実, 東登志夫, 井口 茂, 他. 膝伸展位における大腿四頭筋の等尺性収縮運動に関する一考察—運動肢位の違いが筋出力, 及び筋疲労に及ぼす影響—. 理学療法科学. 1996; 11: 27-31.
- 12) Kaljumäe U, Hänninen O, Airaksinen O. Knee extensor fatigability and strength after bicycle ergometer training. Arch Phys Med Rehabil. 1994; 75: 564-567.
- 13) 市橋則明, 吉田正樹, 篠原英記, 他. スクワット動作の筋電図学的考察. 理学療法学. 1992; 19: 487-490.
- 14) 宮原拓也, 平林弦大, 原 和彦. フォワードランジにおける下肢伸展筋活動—neutral時とknee in時の比較—. 理学療法・臨床・研究・教育. 2006; 13: 44-47.
- 15) Hedrick A. Designing effective resistance training programs. A practical Example. Strength and Conditioning Journal. 2002; 24: 7-15.
- 16) Vines H, Aandahl H, Bahr R. The jumper's knee paradox—Jumping ability is a risk factor for developing jumper's knee: a 5-year prospective study. Br J Sports Med. 2012; 7: 503-507.
- 17) 山本利春. 現場に役立つ測定・評価の実際 (25) パワールの発揮様式からみた競技選手の体力特性—単発的パワーと反復的パワーの評価. 月間トレーニング・ジャーナル. 1998; 20: 81-85.
- 18) 佐久間淳, 栗原俊之. 筋疲労を伴う動的足関節底屈運動中の下肢三頭筋の筋腱動態の変化. スポーツ科学研究. 2009; 6: 97-110.
- 19) 長見 豊, 徳山 満. ジャンパー膝罹患の有無によるスパイクジャンプ時の制動動作の違いについて. 日本臨床バイオメカニクス学会誌. 2007; 28: 405-410.
- 20) Tiemessen IJ, Kuijjer PP, Hulshof CT, et al. Risk factors for developing jumper's knee in sport and occupation: a review. BMC Research Notes. 2009; 2: 127.

(受付: 2019年11月25日, 受理: 2020年8月19日)

Influence of muscle fatigue on university male volleyball players with jumper's knee～Focus on changes in muscle hardness and jump height～

Ichihara, S.^{*1}, Nishino, T.^{*2}, Fukuda, T.^{*3}

^{*1} Faculty of Administration, Seisa Dohto University

^{*2} Department of Orthopedics Surgery, Tsukuba University

^{*3} Health and Sports Sciences, Tsukuba University

Key words: jumper's knee, volleyball, muscle fatigue

[Abstract] This study was aimed to investigate the influence of muscle fatigue on 15 university male volleyball players with jumper's knee. The players were divided into a jumper's knee group (J group: n=7) and a control group (C group: n=8) based on the diagnosis by orthopedic surgeons. Both groups participated in muscle fatigue protocols using the Biodex Isokinetic machine. The mean power frequency (MPF) measured with an electromyogram, muscle hardness, and jump height were measured before and after the protocol. Measurements were made of the vastus medialis (VM), rectus femoris (RF), and vastus lateralis (VL). After the muscle fatigue protocol, MPF decreased and muscle hardness increased in the RF and VL in both groups. In the VM, MPF decreased and muscle hardness increased only in the J group. This suggested that it is easier to generate VM fatigue in players with Jumper's knee. After the protocol, the jump height decreased in the J group. Compared to the C group, the J group had a significant decrease in jump height before and after the protocol. Thus, for players with jumper's knee, muscle fatigue may easily occur in the vastus medialis, causing a decrease in jump height.