

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：34431

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10840

研究課題名(和文)ジャンパー膝に対する力学的負荷を用いた新たな運動療法の開発

研究課題名(英文)Development of exercise therapy for jumper's knee using eccentric loads

研究代表者

三谷 保弘(Mitani, Yasuhiro)

関西福祉科学大学・保健医療学部・教授

研究者番号：50567071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：Half kneeling exercise (HKE) は、片膝立ち位から後脚の膝関節屈曲と体幹後傾を行う運動である。膝蓋腱に遠心性負荷を与えるeccentric decline squat (EDS) は、ジャンパー膝の運動療法として有効であるとされているが、HKEはEDSに比べて膝関節屈曲角と外側広筋の筋活動が増大することが明らかとなった。また、超音波エラストグラフィを用いた計測では、膝関節屈曲角の増大に伴い膝蓋腱の硬さが増大した。したがって、膝関節屈曲角が増大するHKEは、膝蓋腱をより伸張すると考えられた。これらのことから、HKEは膝蓋腱に遠心性負荷を与える有用な方法であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

損傷腱に対する適度な遠心性負荷は、損傷の治癒を促進するとされている。なかでもEDSは、ジャンパー膝の症状改善に有効であると報告されている。HKEはEDSに比べて膝関節屈曲角と外側広筋の筋活動が増大することが明らかとなった。また、膝関節屈曲角の増大により、膝蓋腱がより伸張されることが明らかとなった。これまで、EDSがジャンパー膝の運動療法として有効とされてきたが、HKEは膝蓋腱をより伸張し、効率的に遠心性負荷を与える方法として有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The half-kneeling exercise (HKE) involves knee joint flexion with posterior trunk tilt from a half-kneeling position. The eccentric decline squat (EDS), which eccentrically loads the patellar tendon, is considered an effective therapeutic exercise for jumper's knee. HKE was found to have a greater knee flexion angle and vastus lateralis than EDS. In addition, the effect of knee flexion angle on patellar tendon hardness was investigated using ultrasound elastography. It was found that patellar tendon hardness increased with increasing knee flexion angle. Therefore, it was suggested that HKE with a greater knee flexion angle would result in a greater stretch of the patellar tendon. These results suggest that HKE is a useful exercise for eccentric loading of the patellar tendon.

研究分野：スポーツ理学療法

キーワード：膝蓋腱 作解析 ジャンパー膝 筋電図 超音波画像診断装置 超音波エラストグラフィ 大腿四頭筋 スクワット 動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

膝蓋腱症(ジャンパー膝)は、膝伸展機構に過度な力学的負荷が加わることで、膝蓋腱の実質部や膝蓋骨付着部に微細損傷が生じるスポーツ損傷である。ジャンパー膝は、バスケットボールやバレーボールなどのジャンプ系競技をはじめ、サッカー、テニス、陸上競技など、あらゆるスポーツ選手に好発するとされている。ジャンパー膝は overuse が発生要因の一つであることから、運動量を軽減することで症状の改善が認められるが、運動量を増加すると再び疼痛が増悪する例も少なくない。また、大腿四頭筋やハムストリングスの柔軟性低下も発生要因と考えられており(Witvrouw E, et al., 2001)、それらに対するストレッチングも実施されているが、十分な効果が得られず、スポーツ復帰までに長期間を要する例も存在する。

損傷腱に対する遠心性負荷は、腱の成熟過程において腱の修復に関与する小径の膠原線維を増大させると報告されており(中村, 2003)、腱損傷後の運動療法にも遠心性負荷が用いられている。なかでも前方傾斜台上で行う片脚遠心性スクワット(eccentric decline squat: EDS)は、ジャンパー膝の症状軽減に有効であると報告されており、介入終了後の長期効果も認められている(Young MA, et al., 2005, Purdam CR, et al., 2004)。EDSは平地での片脚遠心性スクワットに比べて、大腿四頭筋の筋活動や膝関節屈曲角が増大すると報告されている(Zwerver J, et al., 2007, Richards J, et al., 2008, Kongsgaard M, et al., 2006, 三谷ら, 2016)。大腿四頭筋の筋活動や膝関節屈曲角の増大は、膝蓋腱を伸張し、遠心性負荷を増大させる要因であると考えられる。したがって、膝蓋腱にさらなる遠心性負荷を与えるためには、大腿四頭筋の筋活動と膝関節屈曲角が増大する運動を考案する必要がある。

この臨床課題に対して、我々は片膝立ち位から体幹の後傾と後脚膝関節の屈曲を行う half kneeling exercise (HKE) を考案した。HKEはEDSに比べて大きな膝関節屈曲角と大腿四頭筋の遠心性収縮が生じることで膝蓋腱を伸張し、大きな遠心性負荷を与えることができると仮説を立てた。

2. 研究の目的

大腿四頭筋の筋活動と膝関節屈曲角は、膝蓋腱の伸張に影響を及ぼす要因であると考えられる。本研究では、ジャンパー膝の運動療法として有効性が認められている EDS と今回考案した HKE の運動特性を比較した。これにより、HKE が膝蓋腱の伸張に及ぼす影響について明らかにするとともに、膝蓋腱に遠心性負荷を与える方法となり得るかについて検討した。また、EDS と平地でのスクワットにおいて、膝関節屈曲 90° での膝蓋腱の長さを計測したところ、EDS は平地でのスクワットに比べて有意に増大したと報告されている(Kongsgaard M, et al., 2006)。EDS は平地でのスクワットに比べて大腿四頭筋の筋活動が増大することから、大腿四頭筋の筋活動の増大が膝蓋腱をより伸張させたと考えられた。一方、膝関節屈曲角と膝蓋腱の伸張との関係は十分に検討されていない。したがって、膝蓋腱の硬さを伸張の指標とし、膝関節屈曲角と膝蓋腱の伸張との関係について検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 実験 1: EDS と HKE の運動特性の比較

対象は健常な男子大学生 8 名(19.9 ± 0.7 歳)とした。運動課題は EDS と HKE とした。EDS は 25° の前方傾斜台上において非利き脚での片脚遠心性スクワットとした。検者の合図でスクワットを開始し、支持側の膝関節をできる限り屈曲させた。このとき、体幹は直立位に保持した(図 1)。HKE は、利き脚を前方、非利き脚を後方とした片膝立ち位にて実施した。開始肢位は、前脚の足底を床に接地し、下腿は床に対して垂直とした。また、後脚の大腿は床に対して垂直とし、下腿が床に対して平行となるように台上に接地した。検者の合図と同時に運動を開始し、できる限り体幹後傾と、後脚の膝関節を屈曲させた(図 2)。

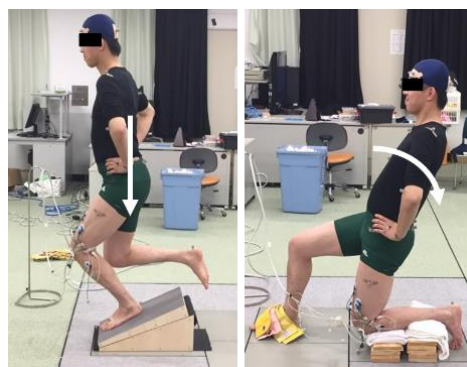


図 1 EDS

図 2 HKE

計測には三次元動作解析装置(VICON NEXUS 1.6.1, OMG 社製)と表面筋電図(MyoSystem, Noraxon 社製)を使用した。Plug-in Gait model に基づき身体の 35 点にマーカを貼付した。表面筋電図の被験筋は、非利き脚の大腿直筋(rectus femoris: RF)、外側広筋(vastus lateralis: VL)、内側広筋(vastus medialis: VM)とした。

EDS と HKE とともに運動開始から終了までの遠心相を解析区間とし、非利き脚の膝関節屈曲角と被験筋の筋活動を求めた。なお、表面筋電図は解析区間における平均振幅を求め、最大随意収縮(maximum voluntary contraction: MVC) の平均振幅に対する割合(%MVC)を算出した。

(2) 実験 2：膝関節屈曲角が膝蓋腱の伸張に及ぼす影響

対象は健康な男子大学生 8 名 (25.9 ± 3.6 歳) とした。等速性筋力測定装置 (Biodex System3, Biodex Medical Systems, Inc.) のシート上に安静座位をとり、非利き脚の足部をアタッチメントに固定し、膝関節屈曲角を 0°、30°、60°、90° に設定した。膝蓋腱の硬さは、超音波画像診断装置 (Noblus、日立アロカメディカル社製) を用いて計測した。膝蓋腱と超音波プローブとの間に厚さ 5mm の音響カプラを設置し、膝蓋腱中央の長軸像を膝蓋骨下極から遠位方向に描出した。計測中は大腿四頭筋が収縮しないようにリラックスさせた。膝蓋腱の硬さの計測には、超音波エラストグラフィの strain imaging 法を用いた。音響カプラのひずみ率を膝蓋腱のひずみ率で除したひずみ比 (strain ratio) を求め、膝蓋腱の伸張の指標とした。なお、strain ratio は数値が大きいくほど膝蓋腱が硬いことを示す。

4. 研究成果

(1) 実験 1 の結果を中央値と四分位範囲 (第 1 四分位数-第 3 四分位数) で示す。運動開始時の膝関節屈曲角 (°) は、EDS が 17.8 (10.9-22.6)、HKE が 83.5 (80.0-91.3) であった。運動終了時の膝関節屈曲角 (°) は、EDS が 67.8 (61.2-75.0)、HKE が 98.9 (92.3-108.4) であった。解析区間における膝関節最大屈曲角 (°) は、EDS が 68.3 (63.2-75.4)、HKE が 98.9 (92.7-108.4) であり、HKE が EDS に比べて有意に高値を示した (p<0.05)。VL の筋活動 (%MVC) は、EDS が 52.6 (36.9-74.6)、HKE が 77.3 (63.2-84.7) であり、HKE が EDS に比べて有意に高値を示した (p<0.05)。RF と VM の筋活動は、EDS と HKE との間に有意差が認められなかった (表 1)。

運動開始時ならびに終了時の膝関節屈曲角は、いずれも HKE が EDS に比べて有意に高値を示した。また、解析区間における膝関節最大屈曲角も HKE が EDS に比べて有意に高値を示した。これらのことから、運動中の膝関節屈曲角が増大する HKE は、EDS に比べて大腿四頭筋の静止張力が増大し、膝蓋腱を伸張すると考えられた。また、VL の筋活動は HKE が EDS に比べて有意に高値を示した。HKE は体幹後傾運動を伴うことから、EDS に比べて身体重心が大きく後方へ偏位し、膝関節伸展モーメントが増大すると考えられた。これにより、HKE における VL の筋活動が増大したと考えられた。今回の研究では RF と VM の筋活動は EDS と HKE との間に有意差が認められなかったが、VL は大腿四頭筋のなかでも断面積が最も大きく、大きな筋力発揮ができると考えられた。したがって、VL の筋活動が高まる HKE は、EDS に比べて大腿四頭筋の活動張力が増大し、膝蓋腱を伸張すると考えられた。これらのことから、HKE は EDS に比べて大腿四頭筋の静止張力ならびに活動張力が増大し、膝蓋腱に大きな遠心性負荷を与える有用な方法であることが示唆された。

表1 EDSとHKEにおける膝関節屈曲角と大腿四頭筋の筋活動

	EDS	HKE	p値
運動開始時の膝関節屈曲角(deg)	17.8(10.9-22.6)	83.5(80.0-91.3)	0.012*
運動終了時の膝関節屈曲角(deg)	67.8(61.2-75.0)	98.9(92.3-108.4)	0.012*
解析区間の膝関節最大屈曲角(deg)	68.3(63.2-75.4)	98.9(92.7-108.4)	0.012*
大腿直筋の筋活動(%MVC)	38.8(30.5-47.2)	31.7(27.5-42.0)	0.779
内側広筋の筋活動(%MVC)	52.6(36.9-74.6)	77.3(63.2-84.7)	0.017*
外側広筋の筋活動(%MVC)	62.9(54.2-97.1)	84.1(45.1-96.4)	0.263

結果は中央値と四分位範囲(第1四分位数 - 第3四分位数)にて示す

Wilcoxonの符号付き順位検定

*: p<0.05

(2) 実験 2 の結果を平均値と標準偏差で示す。Strain ratio は、膝関節屈曲 0° が 2.73 ± 1.33、30° が 2.15 ± 0.80、60° が 2.86 ± 1.48、90° が 4.54 ± 1.85 であり、膝関節屈曲 0°、30°、60° に比べて 90° において有意な増大が認められた (図 3)。このことから、大腿四頭筋が収縮していない安静状態では、膝関節屈曲 90° において膝蓋腱の硬さが増大することが示された。大腿四頭筋は膝関節屈曲 60° で自然長になるとされており、それ以上の膝関節屈曲角では大腿四頭筋が伸張され、膝蓋腱も伸張されることが示唆された。

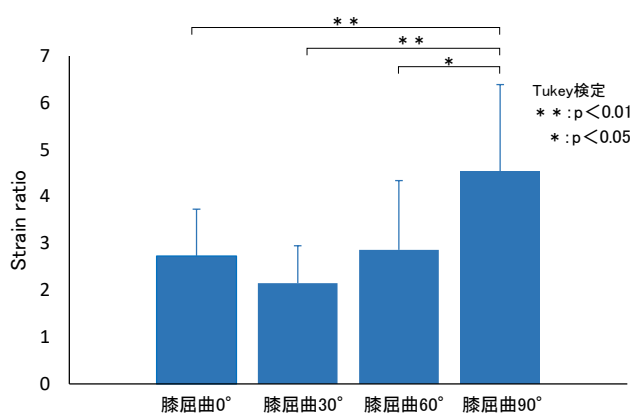


図3 各膝関節屈曲角における膝蓋腱の硬さ

実験 1 から HKE の膝関節最大屈曲角の中央値は 90° を超えており、EDS よりも大きな膝関節屈曲角が生じることが明らかとなった。このことから、HKE は EDS に比べて膝蓋腱を伸張することが考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 三谷保弘、小柳磨毅、木村佳記、松尾高行、堀部秀二	4. 巻 39
2. 論文標題 膝慢性障害に対するアスレチックリハビリテーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 関節外科	6. 最初と最後の頁 541 ~ 551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18885/JJS.0000000219	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三谷保弘、松尾高行、木村佳記、向井公一、幸田仁志、小柳磨毅、堀部秀二	4. 巻 41
2. 論文標題 Half kneeling exerciseの運動解析 : Eccentric decline squatとの比較による検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 235 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三谷保弘、幸田仁志、武田 要、森 禎章	4. 巻 11
2. 論文標題 高等学校サッカー部員における下肢の疼痛発生の特徴 - 1 チームにおける疼痛の発生割合とその要因に関する文献的考察 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 保健医療学雑誌	6. 最初と最後の頁 152 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15563/jalliedhealthsci.11.152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 三谷保弘、小柳磨毅、堀部秀二	4. 巻 36
2. 論文標題 腱付着部障害に対する高負荷トレーニング - ジャンパー膝に対するeccentric decline squatの有用性 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床スポーツ医学	6. 最初と最後の頁 64-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三谷保弘、松尾高行、木村佳記、幸田仁志、成 俊弼、小柳磨毅、堀部秀二
2. 発表標題 大腿四頭筋のストレッチング法の違いが膝蓋腱の組織弾性に及ぼす影響
3. 学会等名 第31回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三谷保弘、松尾高行、木村佳記、小柳磨毅、堀部秀二
2. 発表標題 前方傾斜台上での片脚遠心性スクワットの運動特性 - 前傾角度の比較による検討 -
3. 学会等名 第47回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三谷保弘、松尾高行、木村佳記、幸田仁志、小柳磨毅、堀部秀二
2. 発表標題 膝関節屈曲角が膝蓋腱の組織弾性に与える影響
3. 学会等名 第30回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三谷保弘、松尾高行、木村佳記、向井公一、幸田仁志、小柳磨毅、堀部秀二
2. 発表標題 Half kneeling exerciseの運動解析 - Eccentric decline squatとの比較による検討 -
3. 学会等名 第46回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小柳磨毅、中江徳彦、三谷保弘、松尾高行、木村佳記
2. 発表標題 アスリートケア スポーツ損傷膝の評価・治療・予防
3. 学会等名 第54回日本理学療法学会学術研修大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三谷保弘
2. 発表標題 膝の慢性障害に対する理学療法
3. 学会等名 八尾市・柏原市理学療法士会 研修会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 堀部秀二（監修）、小柳磨毅、境 隆弘、三谷保弘、松尾高行（編集）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 三輪書店	5. 総ページ数 272
3. 書名 明解 スポーツ理学療法 - 図と動画で学ぶ基礎と実践 -	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	小柳 磨毅 (Koyanagi Maki) (20269848)	大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授 (34412)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 禎章 (Mori Yoshiaki) (70268192)	関西福祉科学大学・保健医療学部・教授 (34431)	
研究分担者	境 隆弘 (Sakai Takahiro) (60353009)	大阪保健医療大学・保健医療学部・教授 (34449)	
研究分担者	松尾 高行 (Matsuo Takayuki) (80643593)	大阪行岡医療大学・医療学部・教授 (34452)	
研究分担者	木村 佳記 (Kimura Yoshinori) (00571829)	大阪大学・医学部附属病院・理学療法士 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関