

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 19 日現在

機関番号：34449

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500626

研究課題名(和文) 膝関節疾患に対する安全かつ有効な膝伸筋トレーニングの開発

研究課題名(英文) Development of the safe and effective knee extensor muscle training for the knee joint disorder.

研究代表者

境 隆弘 (Sakai, Takahiro)

大阪保健医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：60353009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：腹臥位で下腿前面に支点を置いて膝を伸展するフロントブリッジは、支点を下腿近位に置くと、脛骨の前方変位が制動され、膝前十字靭帯再建術後でも安全かつ有用であることを、X線画像および筋骨格モデル解析、筋電図計測により証明した。また支点を下腿遠位に置くと、大腿四頭筋の収縮力と重力が脛骨を前方に引き出し、膝後十字靭帯不全膝にも安全かつ有用であることを、X線画像および筋骨格モデル解析、筋電図計測により証明した。更に、フロントブリッジは変形性膝関節症に対する下肢伸展挙上(SLR)やマッスルセッティングよりも高い筋活動が得られ、有効な膝伸筋トレーニングであることを証明した。

研究成果の概要(英文)：Using X-ray imaging, musculoskeletal model analysis, and electromyography, we examined the safety and effectiveness of the front bridge exercise performed by extending the knee in the prone position with the fulcrum placed at the proximal front leg. Findings confirmed the restraint of the tibial front displacement and adequate muscle activity. It was therefore revealed that the front bridge was safe and useful training for patients after anterior cruciate ligament reconstruction. It was confirmed by the same method that in the front bridge with the distal leg fulcrum, the contraction force of the quadriceps femoris muscle and gravity drew the tibia forward. Therefore, the safety and effectiveness were shown for the posterior cruciate ligament-deficient knee. Furthermore, the muscle activity of the front bridge was higher than that of straight leg raising and muscle setting. Therefore, the front bridge exercise was effective knee extensor muscle training for knee osteoarthritis.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：膝前十字靭帯損傷 膝後十字靭帯損傷 変形性膝関節症 大腿四頭筋トレーニング

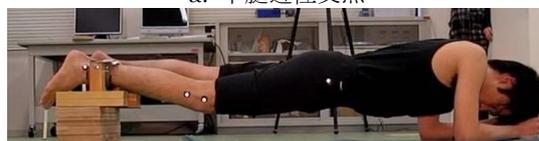
1. 研究開始当初の背景

膝関節疾患のリハビリテーションにおいて、膝伸展筋力の回復は極めて重要な課題である。しかし、靭帯再建術後の症例では術式に応じてレッグエクステンション(開放運動連鎖)のような膝伸筋トレーニングの実施に制約が生じる。膝前十字靭帯(anterior cruciate ligament: ACL)再建術後早期の膝伸展域における大腿四頭筋の強化は、前方剪断力を発生させるため(Beynon, 1992、Markolf, 1990)骨-移植腱-骨複合体に対して力学的ストレスを与え、移植腱の再構築を妨げ、膝関節の安定性を損なう。このため ACL 再建術後のレッグエクステンションは近位抵抗で膝伸展運動範囲に制限を設け、段階的に解除する方法が一般的である。そこで、我々はより脛骨の前方移動を制動しながら膝伸展筋を強化する方法として、腹臥位で下腿近位を支点とした膝伸展運動(図1a.)が有用であると仮説を立てた。また、膝後十字靭帯(posterior cruciate ligament: PCL)再建術後のリハビリテーションでは、座位での大腿四頭筋強化のトレーニング中に下腿の後方落ち込み現象(posterior sagging)が出現し、運動時痛や膝伸展不全(extension lag)が出現する症例が散見される。また PCL 再建術後膝は脛骨骨孔開口部での移植腱の屈曲(killer turn: Huang, 2003)が存在するため、座位で行うレッグエクステンションは膝の深い屈曲が制限される。そこで PCL 再建術後膝に対しては、下腿遠位を支点とする膝伸展運動(図1b.)が膝伸展位付近で脛骨を前方へ整復する作用を持つと考え、最も安全な膝伸筋トレーニングになると仮説を立てた。

更に、変形性膝関節症例に対して一般的に実施される背臥位での下肢伸展挙上や muscle setting は、目標とした筋収縮力が得られない場合があり、muscle setting での大腿四頭筋の筋収縮は、長座位や背臥位、立位で行うよりも足趾を床に接地した腹臥位だと有意に高まるとの報告もある(羽崎, 1996)。しかし、高齢患者や足部の変形を有する症例では足趾を床に接地できない場合が多い。そこで、変形性膝関節疾患に対しては、下腿に支点を設けることが出来る腹臥位での膝伸展運動(図1)が、有用な膝伸筋トレーニングになると仮説を立てた。



a. 下腿近位支点



b. 下腿遠位支点

図1. 腹臥位での膝伸展運動(上肢支持あり)

2. 研究の目的

腹臥位での膝伸展運動(図1)が、膝関節疾患(膝十字靭帯再建術後および変形性膝関節症)のリハビリテーションにおいて、安全かつ有効であることをX線画像および筋骨格モデル解析、筋電図計測により検証すること。

3. 研究の方法

(1) 腹臥位で下腿を支点とした膝伸展運動の筋骨格モデルを用いた運動力学的検証

健康成人 10 名を対象に、床反力計を用いて、腹臥位・膝関節 20° 位で下腿近位を支点とした膝伸展運動時の下腿前面にかかる力を計測し、静的平衡方程式を用いて膝関節剪断力の推定値を算出した。

(2) PCL 不全膝における膝伸展運動中の X 線画像解析

PCL 不全膝 6 例を対象に、膝屈曲角度(60°)と大腿四頭筋発揮筋力(体重比 30%)を統一し、腹臥位で下腿遠位を支点とした膝伸展運動(図2)と座位でのレッグエクステンション時の脛骨の変位量(大腿骨顆前縁と脛骨顆前縁との距離: S0)を X 線側面画像により比較した。



図2. 腹臥位での膝伸展運動(膝屈曲 60°)

(3) 腹臥位での膝伸展運動における上肢肢位の違いによる大腿四頭筋の収縮特性

対象は、健康大学生 13 名とした。運動課題は腹臥位で下腿遠位を支点とした膝関節屈曲 50° から 0° までの膝伸展運動で、対側下肢は挙上させた。運動肢位は上肢支持ありとなし(図3)の 2 条件とし、各条件における大腿四頭筋の筋活動を測定した。筋活動の計測は、表面筋電計を用いた。



図3. 腹臥位、上肢支持なしでの膝伸展運動

(4) 変形性膝関節症患者における腹臥位での膝伸展運動時の大腿四頭筋の収縮特性

対象は、変形性膝関節症 11 例(平均年齢 75.9 ± 4.8 歳)とし、Kellgren の X 線像分類は grade II ~ III であった。運動課題は、腹臥

位で下腿遠位を支点とした膝伸展運動と大腿四頭筋 muscle setting および背臥位での下肢伸展運動とし、各運動遂行中の大腿四頭筋の表面筋電図を計測し、徒手筋力テストのグレード3 (%MMT 3) にて標準化し、比較検討した。

4. 研究成果

(1) 腹臥位で下腿を支点とした膝伸展運動の運動力学的特性

腹臥位にて下腿近位支点での膝伸展運動 (PLEP) では、膝関節に $27.8 \pm 45.7\text{N}$ の後方剪断力が発生していた。また、下腿遠位支点では $810.4 \pm 220.8\text{N}$ の前方剪断力が発生していた (図4)。よって、腹臥位で下腿近位を支点とした膝伸展運動は、大腿四頭筋が支点を押すことにより発生する反力が膝関節前方剪断力の発生を抑制するため、ACL 再建術後早期でも、膝伸展位付近で移植腱に負荷を与えず、大腿四頭筋トレーニングを安全に行える可能性が示された。また、腹臥位で下腿遠位を支点とした膝伸展運動 (PLED) では、膝関節に前方剪断力が発生するため、後方不安定性を有する PCL 損傷症例に対して適用できると考えられた。

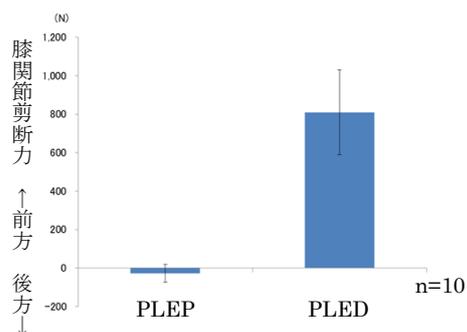


図4. 支点位置別膝関節剪断力

(2) PCL 不全膝における膝伸展運動中の脛骨変位量

座位での膝伸展運動 (SLE) の開始時には、脛骨は全員が後方逸脱しており ($S_0 = 3.9 \pm 1.7\text{mm}$)、大腿四頭筋の収縮による脛骨前方移動量は $7.1 \pm 3.1\text{mm}$ であった。それに対し、腹臥位で下腿遠位支点での膝伸展運動 (PLED) の開始時には、脛骨は全員が後方への逸脱は認めず ($S_0 = -2.9 \pm 2.7\text{mm}$)、大腿四頭筋の収縮による脛骨前方移動量は $2.8 \pm 3.5\text{mm}$ で、座位に比べて有意に少なかった ($p < 0.05$)。

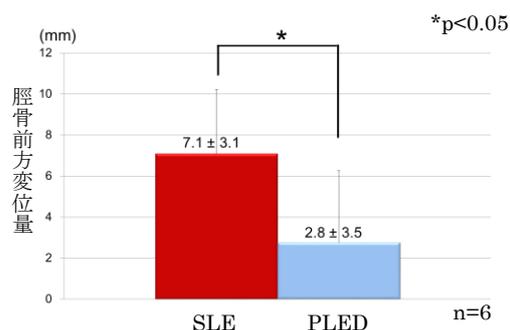


図5. 肢位別脛骨変位量

よって、一般的な座位での膝筋トレーニングは、大腿四頭筋の収縮に伴い過剰な前方移動が生じ、圧縮と剪断により関節内組織に二次的な障害を惹起する可能性が示唆された。それに対して、腹臥位で下腿遠位支点での膝筋トレーニングは開始時より重力が脛骨を整復するため、大腿四頭筋が収縮しても過剰な前方剪断力が発生せず、安全であると考えられた。

(3) 腹臥位での膝伸展運動における上肢肢位の違いによる大腿四頭筋の収縮特性

腹臥位にて下腿遠位支点での膝伸展運動の大腿四頭筋筋活動 (%MVC) は、上肢支持あり (大腿直筋: $70.7 \pm 30.0\%$ 、外側広筋: $38.8 \pm 13.7\%$ 、内側広筋: $35.3 \pm 15.2\%$) に比べ、上肢支持なし (同: $83.3 \pm 23.7\%$ 、 $64.1 \pm 21.5\%$ 、 $60.9 \pm 22.7\%$) の方が、すべての被験筋で有意に筋活動が高値であった ($p < 0.01$, 図6)。よって、上肢支持なしでの腹臥位で下腿遠位に支点を置いた膝伸展運動は、一側の膝伸展 (大腿四頭筋収縮) 力により、対側の下肢および骨盤と下部体幹を挙上するために、筋活動が増加し、有用な大腿四頭筋のトレーニングになることが示唆された。

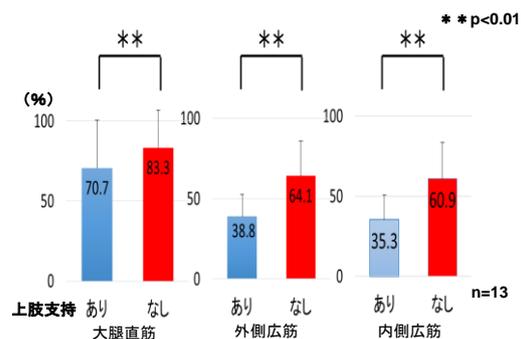


図6. 上肢支持の有無による筋活動 (%MVC)

(4) 変形性膝関節症患者における腹臥位での膝伸展運動時の大腿四頭筋の収縮特性

大腿四頭筋の筋活動 (%MMT 3) の平均は、内側広筋が腹臥位にて下腿遠位に支点を置いた膝伸展運動 (PLED) で 130.4 ± 55.0 、大腿四頭筋 muscle setting (QS) で 98.2 ± 62.2 、背臥位での下肢伸展挙上 (SLR) で 65.5 ± 43.5 であり (図7)、外側広筋が PLED で 143.0 ± 36.7 、QS で 85.2 ± 37.5 、SLR で 72.1 ± 35.0 (図8)、大腿直筋が PLED で 159.8 ± 34.7 、QS で 58.3 ± 23.9 、SLR で 129.4 ± 33.0 であった (図9)。内側広筋は PLED と SLR の間のみ有意差があったが ($p < 0.05$)、外側広筋、大腿直筋は全て LEP の筋活動が有意に大きかった ($p < 0.01$)。よって、腹臥位にて下腿遠位に支点を置いた膝伸展運動は、重錘やトレーニング機器を使用せずとも、自重により負荷が上がり、高齢者でも大腿四頭筋の筋活動を高めることが明らかとなった。高齢者は、重錘やトレーニング機器を用意しにくく、変形性膝関節症の大腿四頭筋強化のためのホームエクササイズには、腹臥位にて下腿遠位に

支点を置いた膝伸展運動が適していると考えられた。また、腹臥位にて下腿遠位に支点を置いた膝伸展運動は足趾ではなく下腿遠位に支点を置くため、加齢により足部の機能障害を有しやすい高齢者により有用であると考えられた。

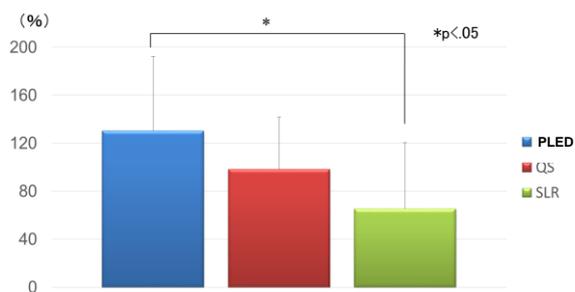


図7. 内側広筋 (%MMT3)

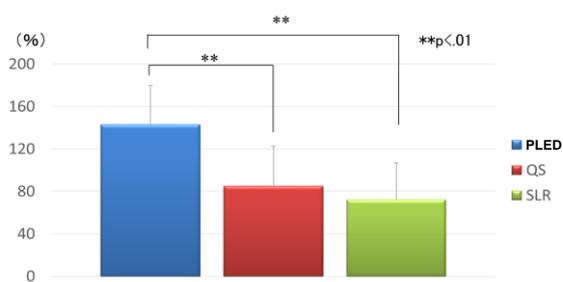


図8. 外側広筋 (%MMT3)

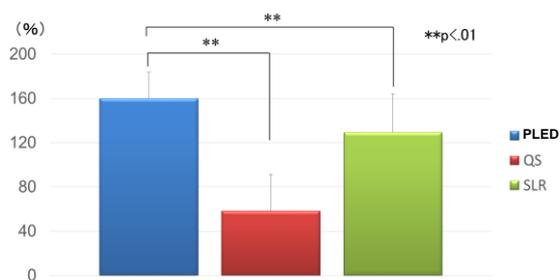


図9. 大腿直筋 (%MMT3)

<引用文献>

- 1) Beynon BD, Howe JG et al : Int Orthop16 : 1-12, 1992.
- 2) 羽崎完, 市橋則明 : 理学療法科学 11. 81-84, 1996.
- 3) Huang TW, Wang CJ, et al : Arthroscopy. 19:712-716. 2003.
- 4) Markolf KL, Gorek JF et al : J Bone Joint Surg Am. 72 : 557-67, 1990.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①境 隆弘 他5名、膝靭帯損傷の治療と装具療法、日本義肢装具学会誌、査読無、31巻、2015、pp. 28-36
DOI : <http://doi.org/10.11267/jspo.31.28>
- ②小柳磨毅 他10名(5番目)、スポーツ外

傷・障害に対する理学療法の効果、整形外科最小侵襲手術ジャーナル、査読無、69巻、2013、pp. 35-46
<http://www.zenniti.com/f/b/show/b01/596/zc01/6.html>

[学会発表] (計3件)

①T Sakai, et al、Muscle activity during knee extension training in the prone position putting the fulcrum in the distal leg in osteoarthritis patients. World confederation for physical therapy Congress 2015. 2015.5.2、Singapore

②真田祐太郎 他4名(2番目)、フロントブリッジ運動における上肢支持が大腿四頭筋の筋活動に及ぼす影響、保健医療学学会第6回学術集会、2015年11月29日、大阪府・大阪市

③T Sakai, et al、Evaluation of a new quadriceps strengthening exercise for the prevention of secondary cartilage injury in patients with PCL insufficiency: Comparison of tibial movement in prone and sitting positions during the exercise. IOC World Conference on Prevention of Injury & Illness in Sport, 2014.4.11、Monaco

[図書] (計3件)

- ①境 隆弘、文光堂、図解理学療法技術ガイド第4版(石川齊 他編)、2013、pp. 824-840
- ②小柳磨毅 他、医学書院、標準理学療法学 骨関節理学療法学、2013、323

③小柳磨毅、三輪書店、ブラッシュアップ理学療法(福井勉編)、2012、pp. 234-238

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

境 隆弘 (SAKAI Takahiro)

大阪保健医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号 : 6 0 3 5 3 0 0 9

(2) 研究分担者

中村憲正 (NAKAMURA Norimasa)

大阪保健医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号： 5 0 2 7 3 7 1 9

中田 研 (NAKATA Ken)
大阪大学大学院医学系研究科・健康スポーツ
科学 (スポーツ医学)・教授
研究者番号： 0 0 2 8 3 7 4 7

小柳磨毅 (KOYANAGI Maki)
大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授
研究者番号： 2 0 2 6 9 8 4 8

佐藤睦美 (SATO Mutsumi)
大阪保健医療大学・保健医療学部・准教授
研究者番号： 4 0 4 4 4 5 3 3

木村佳記 (KIMURA Yoshinori)
大阪大学・医学部附属病院・理学療法士
研究者番号： 0 0 5 7 1 8 2 9

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者
中江徳彦 (NAKAE Naruhiko)
野谷 優 (NOTANI Masaru)
眞田祐太郎 (SANADA Yutaro)