

原著

変形性膝関節症患者に対する腹臥位の膝伸展トレーニングにおける筋活動特性

境 隆弘^{1*}, 小柳 磨毅², 眞田 祐太朗³, 野谷 優⁴, 羽崎 完², 中江 徳彦⁵

¹大阪保健医療大学 保健医療学部

²大阪電気通信大学 医療健康科学部

³神戸海星病院 リハビリテーションセンター

⁴ガラシア病院 リハビリテーション科

⁵関西メディカル病院 リハビリテーション科

要旨

変形性膝関節症 (knee osteoarthritis : 膝 OA) 患者の症状の進行には大腿四頭筋の筋力低下が影響し, また大腿四頭筋の筋力トレーニングによって, 疼痛や日常生活活動が改善するとされる. そのため, 膝 OA 患者にとって, 大腿四頭筋筋力の維持と増強は極めて重要な課題である. 本研究の目的は, 膝 OA 患者に有効な大腿四頭筋トレーニングを提唱することである. 膝 OA 患者に対し, 上肢で支持しない腹臥位の膝伸展トレーニング (knee extension training in the prone position : KETP) 中の大腿四頭筋活動を, 大腿四頭筋セッティング (quadriceps setting : QS) や straight leg raise トレーニング (SLR) と比較した.

KETP は, 一側の下腿遠位に置かれた支点に対して膝関節を伸展させ, 骨盤と対側下肢も挙上する課題とした. 対象は, 膝 OA と診断された外来患者 7 名 11 膝とした (平均年齢 75.9 ± 4.8 歳, BMI 22.3 ± 2.9 , Kellgren-Lawrence grade II ~ III). 両側の罹患例は 4 例であった. 表面筋電計を使用して, 各トレーニング中の内側広筋斜頭, 外側広筋, 大腿直筋の筋電位を計測し, 筋活動量を徒手筋力検査法 (manual muscle testing : MMT) の段階 3 の筋電位で標準化した. 統計学的解析は危険率 5%にて, 一元配置分散分析の後, Tukey-Kramer 法を用いた.

計測の結果, QS と SLR に比較して, 全ての被験筋で KETP の筋活動量が最も高値を示した. 膝 OA 患者は, 高齢で上肢や足部の運動機能が低下することが多い. KETP は上肢や足部の支持を必要とせず, かつ QS や SLR よりも大腿四頭筋活動が高いため, 膝 OA 患者に対して有効な筋力トレーニングとなる可能性が示唆された.

受付日 2020 年 5 月 22 日

採択日 2020 年 8 月 5 日

*責任著者

境 隆弘

大阪保健医療大学 保健医療学部

E-mail:

takahiro.sakai@ohsu.ac.jp

キーワード

変形性膝関節症,
大腿四頭筋トレーニング,
腹臥位

はじめに

令和元年版の高齢社会白書¹⁾によると、日本の総人口に対して、65歳以上人口の占める割合（高齢化率）は28.1%に達し、2065年には38.4%にまで昇ると推計されている。また、平成28年の国民生活基礎調査²⁾では、関節疾患は高齢者が要介護に至る原因の第5位であり、要支援に至る原因としては第1位である。なかでも、変形性膝関節症（Knee osteoarthritis：以下、膝OA）の患者数は2,530万人と推計されている³⁾。こうした膝OAの発症⁴⁾および進行⁵⁾には、大腿四頭筋の筋力低下が影響することが示唆されている。さらに、大腿四頭筋の筋力トレーニングにより、膝OA患者の疼痛や日常生活活動が有意に改善するとされるため⁶⁾、膝OA患者にとって、大腿四頭筋筋力の維持と増強は極めて重要な課題である。

膝OA患者に対する大腿四頭筋の筋力トレーニングとして、大腿四頭筋セッティング（Quadriceps setting exercise：以下、QS）⁷⁾やStraight leg raise トレーニング（以下、SLR）⁸⁾が指導されることが多い。一方でこのような非荷重下の運動は、荷重下の運動に比べて疼痛が生じにくい利点があるものの、運動負荷は小さい。高齢者も若年者と同様に、レジスタンストレーニングによって筋力および筋量が増加することが報告されている⁹⁾。筋力増強に効果的な運動強度は、一般的には最大随意収縮（Maximum voluntary contraction：以下、MVC）時の60%以上とされているが¹⁰⁾、SLR時の大腿四頭筋の筋活動量は11~24%MVCと低値である¹¹⁾。

そこで我々は体幹のトレーニングとして広く普及している、腹臥位にて両肘と両足趾の4点で身体を支えるフロントブリッジ運動（Front bridge exercise：以下、FB）に¹²⁻¹⁶⁾着目した。これまでに、FBは前十字靭帯再建膝症例¹⁷⁾や後十字靭帯不全膝症例¹⁸⁾に対する大腿四頭筋の筋力増強トレーニングとして有用であることを明らかにした。さらに、高齢者には4点支持のFBは姿勢保持が困難なため、真田ら¹⁹⁾は、腹臥位で上肢支持の無い膝伸展トレーニング（knee extension training in the prone position：KETP）を考案した。KETPにおける大腿四頭筋の筋活動量は、上肢支持のある4点支持のFBと比較して有意に高値を示し、60%MVCを上回ることが明らかとなっている。しかし、これらの検証はいずれも健常青年を対象としており、膝OA患者におけるKETP時の大腿四頭筋の筋活動は不明であった。

本研究の目的は、膝OA患者に効果的な大腿四頭筋トレーニングを提唱するため、膝OA患者を対象として、KETPにおける大腿四頭筋活動を、QSやSLRと比較することとした。

対象と方法

対象

対象は、膝OAと診断され保存的治療を実施している外来患者7名11膝であり、両側罹患例は4例であった。対象の平均年齢は75.9±4.8歳、身長は156.7±4.7cm、体重は54.5±5.3kg、BMIは22.3±2.9、Kellgren-LawrenceのX線像分類はgrade II~IIIであった。対象者の居住地区は都市部であり、外出時に杖を使用している者は1名、歩行時に補装具を装着している者は2名であった。また、就労している者はいなかった。

方法

筋活動測定には、表面筋電計TeleMyo G2（Noraxon社製）を用いた。サンプリング周波数は1000Hzとし、バンドパスフィルターは10~500Hzとした。被験筋は内側広筋斜頭（Vastus medialis oblique：以下、VMO）、外側広筋（Vastus lateralis：以下、VL）、大腿直筋（Rectus femoris：以下、RF）とし、双極誘導により筋電図波形を導出した。アルコール綿と皮膚研磨剤を用いて十分に皮膚処理を行った後、銀-塩化銀のディスポーザブル電極Blue Sensor（Ambu社製）を電極中心間距離20mmで貼付した。電極貼付位置は下野²⁰⁾の方法に基づき、RFは上前腸骨棘と膝関節を結ぶ線の約中央、VLは膝蓋骨の約3~5cm上方、VMOは膝蓋骨上端から約2cm内側で約55°傾斜した位置とし、いずれも筋線維の走行に沿って設置した（Fig.1）。

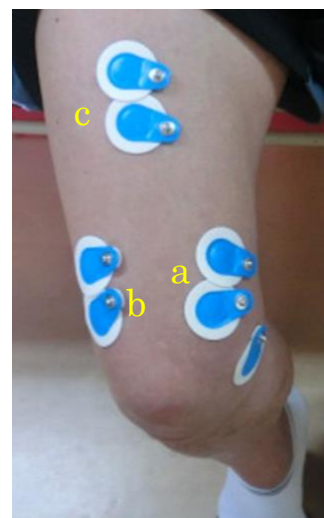


Fig. 1 Electrode placement
a. Vastus medialis oblique
b. Vastus lateralis
c. Rectus femoris

はじめに、対象は端坐位にて、大腿四頭筋の徒手筋力テスト（Manual muscle testing：以下、MMT）の段階3（以下、MMT3）の筋電位を計測した（Fig.2）。

運動課題は、KETP（Fig.3）と、長座位でのQS（Fig.4）および背臥位でのSLR（Fig.5）とし、課題遂行中の筋電位を計測した。KETPは一側の下腿遠位に置かれた支点に対

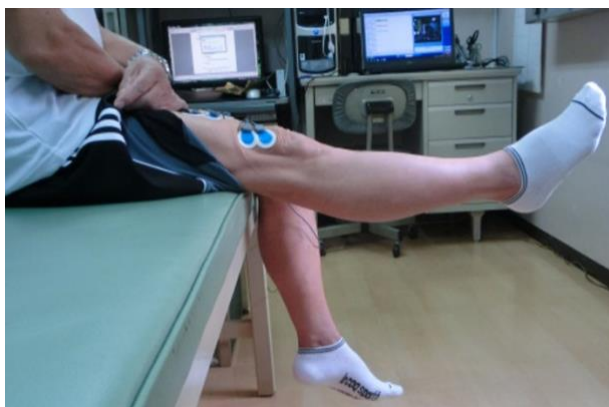


Fig. 2 Manual muscle testing grade 3



Fig. 4 Quadriceps setting (QS)



Fig. 3 Knee extension training in the prone position (KETP)



Fig. 5 Straight leg raise (SLR)

して、膝関節を伸展させることで、運動遂行側の下肢以外に、骨盤と対側下肢も挙上する課題とした。ベッド上から支点までの高さは118mmであった。SLRの下肢の挙上条件は、ベッドから踵を上げる高さを20cmとした。課題は対象ごとにランダムに実施し、各課題間は30秒の休憩を設けた。全課題を通じて、膝関節およびその他の部位に疼痛を訴える対象はいなかった。計測した筋電位波形を正規化し、二乗平均平方根 (Root Mean Square : RMS) 処理した。課題はそれぞれ5秒間、3回実施した。そのうち被験筋3筋が全て高い電位を發揮した試技における、最大發揮電位の前後1秒間の積分値を算出した。各課題で得られた積分値は、それぞれMMT3の積分値で除して、標準化した(以下、%MMT3)。統計解析には統計ソフトSPSS ver. 21を用いた。計測値を危険率5%にて、一元配置分散分析の後、Tukey-Kramer法で多重比較した。

本研究は、医療法人広誠会広実医院の倫理審査を受け、承認された(承認番号14-01)。

対象には本研究の趣旨、方法、結果の取り扱いに関して、口頭と書面による説明を行い、同意を得た。

結果

各課題における、%MMT3の平均値と分散分析の結果をTable.1に、多重比較の結果をTable.2に示す。%MMT3の平均値は、VMOがKETPで $130.4 \pm 55.0\%$ 、QSで $98.2 \pm 62.2\%$ 、SLRで $65.5 \pm 43.5\%$ 、VLがKETPで $143.0 \pm$

36.7% 、QSで $85.2 \pm 37.5\%$ 、SLRで $72.1 \pm 35.0\%$ 、RFがKETPで $159.8 \pm 34.7\%$ 、QSで $58.3 \pm 23.9\%$ 、SLRで $129.4 \pm 33.0\%$ であり、全ての課題でKETPが最高値であった。多重比較の結果、VMOの筋活動量は、KETPとSLRの間で有意差があった($p < 0.05$)。VLは、全ての課題に対してKETPの筋活動量が有意に大きかった($p < 0.01$)。RFは、QSに対してKETPとSLRの筋活動量が有意に大きかった($p < 0.01$)。

考察

高齢者が要支援に至る原因の最上位である関節疾患のなかでも、膝OAの罹患率が高い。膝OAの発症原因の一つとされる大腿四頭筋の筋力低下は、歩行能力の低下にも影響することが示唆されている²¹⁻²³。これより、高齢者における大腿四頭筋の筋力を維持、向上させるために効果的な筋力トレーニングの必要性は高い。

QSは関節運動を伴わないことから、膝OAに対する運動療法として推奨される。しかし、QSは抵抗負荷を加えないため、十分な大腿四頭筋活動を得るには限界がある。また、SLRも膝OA患者へのホームエクササイズとして実施する場合、家庭では抵抗を負荷することが困難なことが多く、無負荷で実施されることが多い。

一般的なブリッジ運動である背臥位からの殿部挙上は、足底からの床反力が股関節伸筋や膝関節屈筋を収縮させる²⁴。一方、KETPは下腿遠位の支点から床反力を受け、大腿

Table 1 Comparison of quadriceps muscle activity (%MMT3) in each type of training by one-way ANOVA

	KETP	QS	SLR	F value	η^2	P value
VMO	130.4±55.0	98.2±62.2	65.5±43.5	5.13	0.18	0.036*
VL	143.0±36.7	85.2±37.5	72.1±35.0	10.92	0.42	0.000*
RF	159.8±34.7	58.3±23.9	129.4±33.0	23.71	0.58	0.000*

n=11; mean ± standard deviation; unit: %; η^2 : effect size;

VMO: vastus medialis oblique; VL: vastus lateralis; RF: rectus femoris;

KETP: knee extension training in the prone position; QS: quadriceps setting; SLR: straight leg raise

*Statistically significant at $p < 0.05$

Table 2 Post hoc comparisons by the Tukey–Kramer test

			Mean difference	SE	P value	95% CI
VMO	KETP	vs. QS	24.458	17.922	0.376	-20.5647 – 69.481
		vs. SLR	57.233	17.922	0.011*	12.2103 – 102.256
	QS	vs. SLR	32.775	17.922	0.184	-12.248 – 77.798
VL	KETP	vs. QS	55.272	15.753	0.006*	15.417 – 95.127
		vs. SLR	68.381	15.753	0.001*	28.527 – 108.236
	QS	vs. SLR	13.109	15.753	0.688	-26.745 – 52.964
RF	KETP	vs. QS	75.390	12.356	0.000*	44.130 – 106.651
		vs. SLR	3.518	12.356	0.956	-27.742 – 34.778
	QS	vs. SLR	71.872	12.356	0.000*	40.612 – 103.133

n=11; unit: %; SE: standard error; 95% CI: 95% confidence interval;

VMO: vastus medialis oblique; VL: vastus lateralis; RF: rectus femoris;

KETP: knee extension training in the prone position; QS: quadriceps setting; SLR: straight leg raise

*Statistically significant at $p < 0.05$

四頭筋の筋活動が高まったと考えられた。羽崎ら²⁹⁾は、背臥位や長座位での QS と比較して、腹臥位で両足趾を床に接地した状態で、膝関節を伸展位に保持させた QS は、重力に抗して膝関節を挙上するために、大腿四頭筋の筋活動が高まるとしている。つまり、大腿四頭筋に加わる負荷の大きさが活動を高めたと理解できる。本研究での KETP では、運動遂行側の下肢以外に、骨盤と対側下肢も重力に抗して挙上する課題とした。KETP はこれらの重量も支持するために、大腿四頭筋にかかる負荷が大きく、筋活動が最も高まったと考えられた。また、稲田ら²⁹⁾は腹臥位での片脚による QS では、対側股関節を伸展位にしない条件よりも最大伸展位にした方が、骨盤の後傾運動に抗するため、大腿直筋の筋活動が高まるとしている。対側股関節を伸展させた KETP も、同様の機序が作用して大腿直筋の筋活動が顕著になったと推察された。本研究の結果、KETP は RF を含め、大腿四頭筋の筋活動が、膝 OA の保存療法に用いられることの多い QS や SLR よりも大きかった。本研究は筋活動量の指標を、%MVC としていないが、眞田ら¹⁹⁾は、本研究と同条件での KETP における大腿四頭筋の%MVC は、筋力増強に効果的な 60%を上回ったと報告している。これ

より、KETP は膝 OA 患者の大腿四頭筋トレーニングにおいても、至適負荷となる可能性が高い課題と考えられた。このように、高い筋活動が得られるにもかかわらず、膝痛を訴える被験者がいなかったことは、KETP の膝 OA 患者に対する大腿四頭筋トレーニングとしての有用性を示唆する。

腹臥位での大腿四頭筋セッティングの先行研究は、いずれも足趾を支点としているが、高齢者は足部の機能が低下していることが多い。これに対し、KETP は下腿遠位を支点とするため、高齢者でも実施しやすい。支持台の他に器具を要さず、自重により大腿四頭筋活動を高める KETP は、膝 OA 患者のホームエクササイズとして有用であると考えられる。

本研究の限界として、対象者における股関節の可動域制限や筋力低下などの機能評価を実施していない点が挙げられる。また、%MVC を筋活動量の指標としなかったことから、KETP が大腿四頭筋の筋力トレーニングとしての至適負荷であるかは明らかではない。さらに、横断的研究に留まっているため、今後、実際のトレーニング効果を縦断的に検証する必要がある。



利益相反

本研究において、開示すべき利益相反はない。

謝辞

本研究は、科学研究費の助成（2012~2015年度）を受けて実施した。本研究を実施するにあたり、参加を了承頂いた対象の皆様、研究を承認頂いた医療法人広誠会広実医院院長の広実伸郎先生、並びにご協力頂いた同院リハビリテーション科の田野喜美夫先生に、深く感謝いたします。

文献

- 1) 内閣府：令和元年版高齢社会白書。
<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html>（閲覧日：令和2年4月21日）
- 2) 厚生労働省：平成28年国民生活基礎調査。
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/>（閲覧日：令和2年4月21日）
- 3) Yoshimura N, Muraki S, Oka H, et al.: Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability (ROAD). *J Bone Miner Metab* 27: 620-628, 2009.
- 4) 渡辺博史, 古賀良生, 大森 豪・他：膝伸展筋力の加齢変化と変形性膝関節症との関連。運動療法と物理療法 18 : 286-291, 2007.
- 5) Øiestad BE, Juhl CB, Eitzen I, et al.: Knee extensor muscle weakness is a risk factor for development of knee osteoarthritis. A systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage* 23: 171-177, 2015.
- 6) 徳田一貫, 阿南雅也, 高橋 真・他：変形性膝関節症の保存療法における筋力。PTジャーナル 52 : 309-316, 2018.
- 7) 日本理学療法士協会：理学療法ハンドブックシリーズ7 (変形性膝関節症)。
http://www.japanpt.or.jp/upload/japanpt/objectives/aboutpt/handbook07_whole.PDF（閲覧日：令和2年4月21日）
- 8) 石島旨章, 池田 浩, 黒澤尚・他：変形性膝関節症に対する運動療法—臨床現場における実際と考え方—。 *Orthopaedics* 25 : 42-51, 2012.
- 9) Fiatorone MA, Marks EC, Ryan ND, et al.: High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA* 263: 3029-3034, 1990.
- 10) 市橋則明：運動療法学 - 障害別アプローチの理論と実際, 第2版. p224-225, 文光堂, 2014.
- 11) 市橋則明, 羽崎 完, 池添冬芽・他：下肢伸展挙上 (SLR) 訓練時の大腿四頭筋の筋活動量負荷量, 対側下肢肢位, SLR 角度の影響. *運動療法と物理療法* 10 : 141-146, 1999.
- 12) Fredericson M, Moore T: Muscular balance, core stability, and injury prevention for middle- and long-distance runners. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 16: 669-689, 2005.
- 13) Ekstrom RA, Donatelli RA, Carp KC: Electromyographic Analysis of Core Trunk, Hip, and Thigh Muscles During 9 Rehabilitation Exercises. *J Orthop Sports Phys Ther* 37: 754-762, 2007.
- 14) Cowley PM, Fitzgerald S, Sottung K, et al.: Age, weight, and the front abdominal power test as predictors of isokinetic trunk strength and work in young men and women. *J Strength Cond Res* 23: 915-925, 2009.
- 15) Tong TK, Wu S, Nie J: Sport-specific endurance plank test for evaluation of global core muscle function. *Phys Ther Sport* 15: 58-63, 2014.
- 16) 岡田隆, 石井直方 (監修)：体幹トレーニング・メソッド コア 本当の鍛え方, pp23-24, ベースボールマガジン社, 2011.
- 17) 中江徳彦, 小柳磨毅, 佐藤睦美・他：腹臥位での下腿支持ブリッジによる大腿四頭筋訓練が前十字靭帯不全膝の脛骨前方移動に及ぼす影響。 *臨床バイオメカニクス* 30 : 425-430, 2009.
- 18) Sakai T, Koyanagi M, Nakae N, 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. *Br J Sports Med* 48: 656, 2014.
- 19) 眞田 祐太郎, 小柳 磨毅, 越野 八重美・他：上肢支持の有無がフロントブリッジ運動の大腿四頭筋活動に及ぼす影響。 *保健医療学雑誌* 10 : 42-47, 2019.
- 20) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル - 基礎編.



p113, 酒井医療, 2004.

- 21) 杉浦 美穂, 長崎 浩, 古名 丈人・他: 地域高齢者の歩行能力 4年間の縦断変化. 体力科学 47 : 443-452,1998.
- 22) 西島 智子, 小山 理恵子, 内藤 郁奈・他: 高齢患者における等尺性膝伸展筋力と歩行能力との関係. 理学療法科学 19 : 95-99,2004.
- 23) 坂田 悍教: 地域在住高齢者の歩行能力に関する横断的・縦断的分析. 医学のあゆみ 236 : 339-344,2011.
- 24) Andrea B, Daniele B, Andrea C, et al.: The “supine bridge” therapeutic exercise: determination of joint torques by means of biomechanical modeling and technologies. Journal of Mechanics in Medicine and Biology 17 : 1750104-1-16, 2017.
- 25) 羽崎 完, 市橋 則明: 大腿四頭筋の Muscle Setting の肢位が大腿四頭筋筋活動に与える影響. 理学療法科学 11 : 81-84,1996.
- 26) 稲田 竜太, 三谷 保弘, 植田 篤史: 大腿四頭筋セッティングの肢位の違いが筋活動に及ぼす影響. 理学療法科学 33 : 209-213,2018.



Original article

Muscle activity during knee extension training in the prone position in patients with knee osteoarthritis.

Takahiro Sakai^{1*}, Maki Koyanagi², Yutaro Sanada³, Masaru Notani⁴, Kan Hazaki², Naruhiko Nakae⁵

¹ Department of Rehabilitation Science, Osaka Health Science University

² Faculty of Medical Health Science, Osaka Electro-Communication University

³ Rehabilitation Center, Kobe Kaisei Hospital

⁴ Department of Rehabilitation, Gratia Hospital

⁵ Department of Rehabilitation, Kansai Medical Hospital

ABSTRACT

Weakness of the quadriceps affects the progression of symptoms in knee osteoarthritis (OA), and quadriceps strength training improves knee pain and activities of daily living. Therefore, it is important for patients with knee OA to maintain and increase quadriceps muscle strength. The aim of this study was to propose effective quadriceps strength training for patients with knee OA. We compared quadriceps femoris activity during knee extension training in the prone position (KETP) with that during quadriceps setting (QS) and straight leg raise (SLR) training in patients with knee OA.

KETP involves not only the extended knee joint on the training side with the distal lower leg as a fulcrum but also the pelvis and contralateral lower limb, both of which are raised. Subjects were 11 knees of 7 outpatients diagnosed with knee OA (mean age 75.9 ± 4.8 years, BMI 22.3 ± 2.9 , Kellgren-Lawrence grade II to III). OA was present in both knees in 4 patients. Surface electromyography (EMG) was recorded at the vastus medialis, vastus lateralis, and rectus femoris during KETP, QS, and SLR. The EMG signal was normalized by the amplitude during manual muscle testing grade 3. Statistical analysis was performed using one-way analysis of variance and the Tukey–Kramer test, with $p < 0.05$ considered statistically significant.

Muscle activity was higher during KETP than during QS and SLR. Patients with knee OA are often elderly and have poor motor function in the upper limbs and feet. KETP does not require upper limb or foot support and elicits higher quadriceps activity than QS or SLR, and thus may be an effective strength training exercise for patients with knee OA.

Key words: knee osteoarthritis, quadriceps training, prone