人工膝関節全置換術後患者における大腿四頭筋およびハムストリングスの膝関節角度別等尺性筋力の推移

Variations in the Isometric Quadriceps and Hamstrings Strength at Different Knee Joint Angles and Points of Time after Total Knee Arthroplasty

眞田 祐太郎^{1,3)} 大澤 傑^{1,2)} 椎木 孝幸¹⁾ 今高 康詞¹⁾

YUTARO SANADA, RPT^{1,3)}, SUGURU OHSAWA, MD^{1,2)}, TAKAYUKI SHIIKI, RPT¹⁾, KOJI IMATAKA, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Yukioka Hospital: 2-2-3 Ukida, Kita-ku, Osaka-shi, Osaka 530-0021, Japan

²⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Osaka Yukioka College of Health Science

³⁾ [Present] Department of Rehabilitation Center, Kobe Kaisei Hospital: 3-11-15 Shinohara Kita-machi, Nada-ku, Kobe-shi, Hyogo 657-0068, Japan TEL +81 78-871-5201 E-mail: sanada.yutaro@gmail.com

Rigakuryoho Kagaku 32(4): 553-557, 2017. Submitted Mar. 13, 2017. Accepted Apr. 12, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] To clarify variations in the isometric quadriceps and hamstrings strength at different knee joint angles and points of time within a 1-year period after total knee arthroplasty (TKA). [Subjects and Methods] In 14 patients, who had been diagnosed with knee osteoarthritis and undergone TKA, measurement was performed at 5 points: before and at 3 weeks and 3, 6, and 12 months after surgery. Using the multi-purpose muscle function testing system BIODEX, the muscle strength was measured at knee flexion angles of 30°, 60°, and 90° to calculate the peak torque/weight and hamstrings/quadriceps ratios. [Results] The quadriceps strength at knee flexion angles of 60° and 90° was significantly reduced at 3 weeks after compared with before surgery. At 12 months after surgery, it was significantly increased at knee flexion angles of 30° and 60°. [Conclusion] The results suggest that the quadriceps strength at a knee flexion angle of 90° decreases after TKA, and it takes a longer time to recover.

Key words: total knee arthroplasty, isometric muscle strength, knee joint angle

要旨:〔目的〕人工膝関節全置換術（TKA）後1年までの大腿四頭筋およびハムストリングスの膝関節角度別等尺性筋力の推移を調査し、その推移を明らかにすることを目的とした。〔対象と方法〕変形性膝関節症と診断され、TKAを施行した14名とした。調査期間は術前、術後3週、3ヵ月、6ヵ月、12ヵ月とした。筋力測定にはBIODEXを用いて、膝関節30°、60°、90°屈曲位におけるピークトルク体重比とH/Q比を算出した。〔結果〕大腿四頭筋筋力は、術前に比べ術後3週では60°および90°屈曲位で有意に低下し、術後12ヵ月では30°および60°屈曲位で有意に増加した。〔結語〕TKA後の大腿四頭筋筋力は膝関節90°屈曲位において低下し、回復も遅延することが示唆された。

キーワード: 人工膝関節全置換術、等尺性筋力、膝関節角度

¹⁾ 行岡病院 リハビリテーション科：大阪府大阪市北区浮田2-2-3（〒530-0021）

²⁾ 大阪行岡医療大学 医療学部 理学療法学科

³⁾ 現所属：神戸海星病院 リハビリテーションセンター：兵庫県神戸市灘区篠原北町3-11-15（〒657-0068）TEL 078-871-5201

I. はじめに

末期の変形性膝関節症（Knee Osteoarthritis：以下、膝 OA）患者に対する、現在における最も効果的な治療法は人工膝関節全置換術（Total Knee Arthroplasty：以下、TKA）である。TKA は疼痛の改善と運動機能の向上をもたらすものの、術後早期には関節可動域（Range of Motion：以下、ROM）制限や大腿四頭筋の筋力低下、歩行や階段昇降などの運動機能低下が生じる¹⁾。なかでも、大腿四頭筋の筋力低下は顕著であり、術後1ヵ月では術前に比べて約50～60%低下することが報告されている¹⁻⁴⁾。Mizner ら³⁾は、TKA 後患者を対象に大腿四頭筋筋力、疼痛、ROM と運動機能テストとの関連を術後6ヵ月まで1ヵ月間隔で調査し、大腿四頭筋筋力がすべての調査期間で最も相関の高い身体機能であったと報告している。加えて、TKA 後は大腿四頭筋だけでなくハムストリングスにも筋力低下が生じることが報告されており^{4,5)}、大腿四頭筋およびハムストリングスの筋力強化は、術後リハビリテーションにおける重要な課題である。

我々はTKA 後3ヵ月における階段昇降能力に関連する身体機能について、関節角度別の大腿四頭筋筋力に着目して検討した結果、大腿四頭筋筋力は膝関節60°および90°屈曲位で相関を認めたものの、30°屈曲位では相関を認めなかったことを報告した⁵⁾。階段昇降時の膝関節運動について、昇り動作では約60°屈曲位から立脚中期にかけて伸展し、降り動作では約10°屈曲位から立脚後期にかけ約90°屈曲位まで屈曲していく⁶⁾。そして、筋活動を反映するとされる関節モーメントの大きさは、昇り動作では立脚初期、降り動作では立脚後期に増加することが報告されている⁷⁾。すなわち、階段昇降時に求められる大腿四頭筋の筋力発揮は、昇り動作降り動作ともに60°屈曲位以上の深い関節角度であることが推測される。また、TKA 後の臨床的問題である膝伸展不全（Knee Extension Lag：以下、Lag）も⁸⁾、大腿四頭筋の筋力低下が要因の一つとされている⁹⁾。一方、Lag は座位での膝伸展動作を膝最終伸展位まで行うことができない現象であることから、主動作筋である大腿四頭筋に求められる筋力発揮は、深い関節角度よりも膝最終伸展域に近い浅い関節角度であることが推察される。このように、TKA 後の臨床的問題点と大腿四頭筋筋力との関連は膝関節角度に特異的である可能性が考えられる。したがって、これらの問題点の改善を図っていくためには、各関節角度における大腿四頭筋筋力の推移を明らかにし、膝関節角度別に介入すべき時期や期間を明確にすることで、効果的な運動療法を検討していく必要がある。

膝関節角度別の等尺性膝伸展・屈曲筋力の推移について、Silva ら¹⁰⁾はTKA 後2年以上が経過した32膝を対象に、膝関節0°から90°屈曲位まで15°間隔で調査し、

健康な52膝と比較検討した。その結果、TKA 群の膝伸展・屈曲筋力は対照群に比べ有意に低値であったと報告している。また、中木ら¹¹⁾はTKA を施行した70膝を対象に、膝関節30°、45°、60°屈曲位における等尺性筋力を術前から術後5週まで1週間隔で調査し、深い関節角度ほど術前の状態に回復するのに時間を要したと報告している。しかしながら、先行研究の限界として、Silva ら¹⁰⁾の研究では対象者の術後経過年数が2年から6年までと一定でないこと、横断研究であり術前からの推移が不明であることが挙げられる。また、中木ら¹¹⁾の研究では調査期間が術後5週と短期間であり、60°屈曲位を超える深い関節角度の推移も明らかになっていない。

そこで本研究では、膝関節30°、60°、90°屈曲位における大腿四頭筋およびハムストリングスの膝関節角度別等尺性筋力を術前から術後1年間縦断的に調査し、その推移を明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は2013年10月から2014年8月に、膝OAを原疾患とし、当院にてTKA を施行した14名（女性14名、年齢71.2 ± 5.7歳）とした（表1）。Kellgren-Lawrence 分類による術側の重症度評価は、全例グレードIVであった。非術側はグレードIVが5名、Iが3名、片側罹患が2名、TKA 施行済みが4名であった。取り込み基準は内側型膝OAである者、同一術者によるTKA である者、術後1年の経過観察が可能であった者とし、術前にシルバークーを利用していた者は、歩行の自立度が大腿四頭筋筋力に影響を及ぼす¹²⁾ことから、対象から除外した。

使用機種はTriathlon® CS（日本ストライカー社製）で、手術はmini-midvastus approach で関節に達し、Modified

表1 対象者のベースライン属性

性別（人）	女性：14	
年齢（歳）	71.2 ± 5.7	(60～80)
身長（cm）	153.0 ± 5.2	(146.0～165.0)
体重（kg）	60.0 ± 5.6	(50.0～71.0)
BMI（kg/m ² ）	25.7 ± 3.0	(20.2～30.1)
罹患期間（年）	10.9 ± 6.1	(3～20)
FTA（°）	185.3 ± 3.6	(178.5～191.0)
膝屈曲 ROM（°）	128.2 ± 11.0	(110～145)
膝伸展 ROM（°）	-8.9 ± 6.6	(-25.0～0)
TUG（秒）	11.1 ± 2.0	(7.7～13.8)

平均値 ± 標準偏差（最小値～最大値）。BMI：Body mass index, FTA：Femorotibial angle, TUG：Timed Up and Go test.

gap technique で施行された。また膝蓋骨は置換され、lateral release は施行されず、各コンポーネントはセメント固定された。術中は駆血圧 300 mmHg でターニケットが使用され、平均駆血時間は 109 ± 13 (95~141) 分、平均出血量は 173 ± 88 (74~380) g であった。術後理学療法は、当院のクリニカルパスに準じて術後翌日から段階的に介入し、術後 3 週から 5 週での退院を目標に実施した。担当は 3 名の理学療法士から無作為に選出され、担当間で実施内容に差が生じないように調整を行った。術後の平均入院期間は 33.7 ± 10.5 (17~53) 日であった。退院後は主治医の外来診察と並行し、原則として術後半年までは月 1 回、半年以降は 3 ヶ月に 1 回の頻度で実施した。対象者には本研究の趣旨と内容、データの利用に関する説明を行い、書面にて参加の承諾を得た。倫理的配慮として、行岡病院倫理委員会の承認を得た (承認番号: H2605-003)。

2. 方法

研究デザインは前向きコホート研究とした。対象者は手術前日に入院し、入院日にベースライン調査を行った。

調査項目は性別、年齢、身長、体重、Body mass index、罹患期間、大腿脛骨角 (Femorotibial angle: 以下、FTA)、膝屈曲・伸展 ROM、大腿四頭筋およびハムストリングスの等尺性筋力、Timed Up and Go test (以下、TUG) とした。さらに、追跡調査として術後 3 週、3 ヶ月、6 ヶ月、12 ヶ月に筋力を測定した。

筋力測定には、多用途筋機能評価運動装置 BIODEX SYSTEM 4 (Biodex Medical Systems 社製) を用いた。動作は Isometric mode、測定角度および順序は膝関節 30°、60°、90° 屈曲位とした。測定は 5 秒間の最大努力による膝伸展・屈曲動作を 2 回実施し、モニター上の波形から安定した筋力発揮が持続的に行えていることを確

認した。加えて、各測定後には測定中に感じた疼痛の程度を問診した。なお、十分な筋力発揮が妨げられるような中等度以上の疼痛を訴えた者はいなかった。また、測定は非術側から術側の順とし、各動作間は 10 秒、各関節角度間は 60 秒の休憩を設けた。得られたピークトルク値を体重で除したピークトルク体重比 (Nm/kg) を採用し、その値から大腿四頭筋に対するハムストリングスの筋力比 (Hamstrings/Quadriceps ratio: 以下、H/Q 比) を算出した。なお、術後の初回測定時期である 3 週の ROM は、屈曲が平均 $119 \pm 4.0^\circ$ (115~125°)、伸展が全例 0° であった。

統計学的解析は、術前後における膝関節角度別の大腿四頭筋およびハムストリングスの等尺性筋力、H/Q 比の推移を検討するため、各測定期間のうち術前を対照群とした Dunnett 法による多重比較を行った。統計ソフトは EZR version 1.35¹³⁾ を使用し、有意水準は 5% とした。

III. 結 果

大腿四頭筋およびハムストリングスの筋力、H/Q 比の膝関節角度別の推移を表 2 に示す。大腿四頭筋筋力は、術前に比べ術後 3 週の 60° 屈曲位 ($p < 0.05$) および 90° 屈曲位 ($p < 0.01$) で有意に低下し、術後 12 ヶ月の 60° 屈曲位 ($p < 0.05$) で有意に増加した。また、30° 屈曲位では術前に比べ術後 6 ヶ月 ($p < 0.05$) と 12 ヶ月 ($p < 0.01$) で有意に増加した。ハムストリングスの筋力は、術前に比べ術後 3 週の 90° 屈曲位 ($p < 0.01$) で有意に低下した。また、30° 屈曲位では術前に比べ術後 6 ヶ月 ($p < 0.05$) と 12 ヶ月 ($p < 0.01$) で有意に増加した。H/Q 比については、いずれも有意な差は認めなかった。

表 2 大腿四頭筋およびハムストリングスの筋力、大腿四頭筋に対するハムストリングスの筋力 (H/Q) 比の膝関節角度別の推移

膝関節角度	術前	術後 3 週	術後 3 ヶ月	術後 6 ヶ月	術後 12 ヶ月
大腿四頭筋筋力 (Nm/kg)					
30°	0.53 ± 0.18	0.46 ± 0.10	0.59 ± 0.11	$0.66 \pm 0.08^*$	$0.76 \pm 0.12^{**}$
60°	0.86 ± 0.24	$0.62 \pm 0.13^*$	0.84 ± 0.25	0.96 ± 0.27	$1.12 \pm 0.25^*$
90°	0.85 ± 0.31	$0.44 \pm 0.08^{**}$	0.69 ± 0.19	0.82 ± 0.19	0.95 ± 0.23
ハムストリングス筋力 (Nm/kg)					
30°	0.45 ± 0.16	0.41 ± 0.09	0.54 ± 0.12	$0.58 \pm 0.14^*$	$0.61 \pm 0.14^{**}$
60°	0.41 ± 0.15	0.32 ± 0.07	0.43 ± 0.08	0.47 ± 0.11	0.48 ± 0.09
90°	0.26 ± 0.11	$0.11 \pm 0.05^{**}$	0.20 ± 0.09	0.22 ± 0.08	0.28 ± 0.07
H/Q 比 (%)					
30°	86.2 ± 29.5	89.9 ± 21.2	93.8 ± 24.2	88.9 ± 25.1	82.2 ± 24.3
60°	47.0 ± 11.7	52.2 ± 9.9	54.4 ± 16.9	51.1 ± 15.1	44.4 ± 10.7
90°	32.2 ± 11.2	26.4 ± 14.4	28.9 ± 12.1	27.3 ± 8.5	29.7 ± 5.0

平均値 $\pm$ 標準偏差. *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

IV. 考 察

本研究の結果、大腿四頭筋筋力は術後3週において膝関節 60° および 90° 屈曲位で術前に比べ有意に低下していたが、30° 屈曲位では有意な差を認めなかった。すなわち、術後早期における大腿四頭筋の筋力低下は、60° 屈曲位以上の深い屈曲角度において生じることが明らかとなった。また、30° および 60° 屈曲位では術後3ヵ月、90° 屈曲位では術後6ヵ月でおおよそ術前値まで回復していた。そして30° 屈曲位では術後6ヵ月、60° 屈曲位では術後12ヵ月で術前に比べ有意に増加していたが、90° 屈曲位では術後1年通じて有意な増加を認めなかった。関節トルクである筋力はモーメントアームと筋張力の積によって表され、同じ関節であっても関節角度が変化することで関節トルクは増減する¹⁴⁾。大腿四頭筋の等尺性筋力は、膝関節 75° 屈曲位付近で最大となり膝伸展に伴い減少していくが、75° 屈曲位の 15° 前後である 60° および 90° 屈曲位では同程度の値を示すことが報告されている^{10,15)}。本研究でも、術前においては 60° および 90° 屈曲位では同程度の値であったが、術後は 60° 屈曲位に比べ 90° 屈曲位の方が、術後3週で約 29%、3ヵ月以降では約 15～18% 低値であった。Schache ら¹⁶⁾ のシステマティックレビューにおいて、TKA 後患者の大腿四頭筋筋力は、3年が経過しても健常者に比べ低下していることが示されている。また Farquhar ら¹⁷⁾ は、膝関節 90° 屈曲位の大腿四頭筋筋力を術後1年ごとに3年まで調査し、非術側に経年的な筋力低下を認めたものの術側は一定であったと報告している。すなわち、TKA 後の大腿四頭筋筋力は永続的に回復し続けるわけではなく、術後1年で一定の水準に達することが推測される。これらをまとめると、TKA 後は膝関節 90° 屈曲位の大腿四頭筋筋力に回復の遅延を認め、術後1年では 60° 屈曲位以下の浅い関節角度と同等の水準に達しないことが示唆された。

本研究では、ハムストリングスの筋力は術後3週において膝関節 90° 屈曲位で術前に比べ有意に低下し、術後6ヵ月以降では 30° 屈曲位で有意に増加していた。TKA 後におけるハムストリングスの筋力の術後回復率は、大腿四頭筋筋力の回復率と同様の傾向にあることが報告されており⁴⁾、本研究もこれを支持する結果となった。これは大腿四頭筋とは異なり、TKA によってハムストリングスに直接侵襲が加わるわけではないことから、ハムストリングスの筋力低下は大腿四頭筋の筋力低下に付随して生じていると考える。また H/Q 比については、術後1年を通じて有意な差を認めなかった。膝関節の動的安定性は、適切な H/Q に依存するとされている¹⁸⁾。Tan ら¹⁹⁾ は、膝 OA 患者は健常者に比べ膝伸展・屈曲筋力ともに有意に低下しているのに対し、H/Q 比に有意な差は認めなかったことを報告している。また、彼ら

の報告における健常者の H/Q 比は、膝関節 30° 屈曲位で約 91%、60° 屈曲位で約 44% であり、末期の膝 OA 患者である本研究対象者の術前値も 30° 屈曲位で約 86%、60° 屈曲位で約 47% と近い値であった。すなわち、膝 OA 患者には大腿四頭筋だけでなくハムストリングスにも同程度の筋力低下が生じ、H/Q 比は健常者と変わらないことが推察される。これらをまとめると、TKA 後におけるハムストリングスの筋力強化は、大腿四頭筋筋力の回復の程度に応じて実施していく必要があると考えられる。

本研究の限界として、対象者数が 14 名と少ないことが挙げられる。また対象者の罹患関節および非術側の重症度を統一できていないため、筋力の推移にどの程度影響を与えているかは不明である。さらに手術は全例 mini-midvastus approach で施行されたことから、従来法を含む他の展開法による TKA 後患者と比較する際には注意が必要である。このほか、対照群を設けていないため、健常者と比較した筋力の程度は言及できないことも挙げられる。そして膝関節 90° 屈曲位に特異的で持続的な大腿四頭筋の筋力低下を認めたものの、その要因については明らかにできていない。

今後の課題として、より多くの症例を対象とした術後1年以上の縦断研究において対照群との比較検討を行い、筋力回復の目標値を示していく必要がある。さらには、筋力低下の要因を解明するとともに、介入研究を行い適切な理学療法を提供するための根拠を示していく必要があると考える。

本研究では、TKA 後1年までの大腿四頭筋およびハムストリングスの膝関節角度別等尺性筋力の推移を縦断的に調査した。結果より、大腿四頭筋筋力は膝関節 90° 屈曲位において低下し回復も遅延することが示唆された。本研究で得られた知見は、大腿四頭筋筋力が関連する臨床的問題点の改善を図るための、効果的な運動療法を検討するための一助となると考えられる。

引用文献

- 1) Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE: Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. J Orthop Sports Phys Ther, 2010, 40: 559-567.
- 2) Stevens JE, Mizner RL, Snyder-Mackler L: Quadriceps strength and volitional activation before and after total knee arthroplasty for osteoarthritis. J Orthop Res, 2003, 21: 775-779.
- 3) Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L: Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. J Orthop Sports Phys Ther, 2005, 35: 424-436.
- 4) Stevens-Lapsley JE, Balter JE, Kohrt WM, et al.: Quadriceps and hamstrings muscle dysfunction after total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468: 2460-2468.

- 5) 眞田祐太郎, 椎木孝幸, 今高康詞・他: 人工膝関節全置換術後患者における階段昇降に関連する身体機能の検討. 日本人工関節学会誌, 2016, 46: 49-50.
- 6) McClelland JA, Feller JA, Menz HB, et al.: Patterns in the knee flexion-extension moment profile during stair ascent and descent in patients with total knee arthroplasty. *J Biomech*, 2014, 47: 1816-1821.
- 7) 山本澄子: 関節モーメントの歩行分析. 医歯薬出版, 東京, 1997, p13.
- 8) 眞田祐太郎, 境 隆弘, 小柳磨毅・他: 人工膝関節全置換術後の膝伸展不全と術前の膝伸展制限との関連性. 理学療法科学, 2017, 32: 11-15.
- 9) 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. 文光堂, 東京, 2014, p233.
- 10) Silva M, Shepherd EF, Jackson WO, et al.: Knee strength after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 2003, 18: 605-611.
- 11) 中木哲也, 橋本亮二, 神戸晃男・他: 人工膝関節全置換術における術後早期の筋力回復の推移について: BIODEX system 3によるIsometric modeでの測定. 石川県理学療法学会雑誌, 2011, 11: 25-27.
- 12) 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, 2004, 19: 95-99.
- 13) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant*, 2013, 48: 452-458.
- 14) 市橋則明: 筋力トレーニングの基礎知識—筋力に影響する要因と筋力増強のメカニズム—. 京都大学医療技術短期大学部紀要別冊健康人間学, 1997, 9: 33-39.
- 15) 市橋則明, 日高正巳, 浦野由紀子・他: 脚伸展動作と膝伸展動作の運動学的分析: Closed Kinetic ChainとOpen Kinetic Chainの違い. 理学療法学, 1997, 24: 341-346.
- 16) Schache MB, McClelland JA, Webster KE: Lower limb strength following total knee arthroplasty: A systematic review. *Knee*, 2014, 21: 12-20.
- 17) Farquhar S, Snyder-Mackler L: The Chitranjan Ranawat Award: The nonoperated knee predicts function 3 years after unilateral total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468: 37-44.
- 18) Campbell DE, Glenn W: Rehabilitation of knee flexor and knee extensor muscle strength in patients with meniscectomies, ligamentous repairs, and chondromalacia. *Phys Ther*, 1982, 62: 10-15.
- 19) Tan J, Balci N, Sepici V, et al.: Isokinetic and isometric strength in osteoarthritis of the knee. A comparative study with healthy women. *Am J Phys Med Rehabil*, 1995, 74: 364-369.