人工膝関節全置換術後6ヵ月の筋力低下例を 予測する術前因子の検討

Examination of Preoperative Factors Predicting Cases of Muscle Weakness 6 Months after Total Knee Arthroplasty

古本 太希¹⁾ 片山 綾音¹⁾ 川村 由佳¹⁾ 友成 健¹⁾

TAIKI FURUMOTO, RPT¹⁾, AYANE KATAYAMA, RPT¹⁾, YUKA KAWAMURA, RPT¹⁾, KEN TOMONARI, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Tokushima University Hospital: 2-50-1 Kuramoto-cho, Tokushima-shi, Tokushima 770-8503,
Japan TEL +81 88-631-3111 E-mail: tom1344@tokushima-u.ac.jp

Rigakuryoho Kagaku 35(5): 629-633, 2020. Submitted Apr. 13, 2020. Accepted May 10, 2020.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to clarify the preoperative factors that predict muscle weakness 6 months after total knee arthroplasty (TKA). [Participants and Methods] The subjects were 108 patients who underwent unilateral TKA for a diagnosis of knee osteoarthritis. Muscle strength was recorded as the value obtained by dividing the maximum isometric knee extension torque by the body weight before, and 2 weeks, 3 months, and 6 months after the operation. Basic attributes, knee range of motion, thigh muscle morphology, and muscle strength were selected as preoperative factors. Multiple regression analysis was used to determine the preoperative factors affecting the muscle strength 6 months after surgery. [Results] Preoperative femoral muscle cross-sectional area and muscle strength were factors predicting muscle strength 6 months after surgery ($p < 0.01$, $R^2 = 0.45$). [Conclusion] The results suggest that patients with muscle weakness remaining 6 months after TKA are likely to have muscle atrophy and weakness of the thigh before surgery.

Key words: total knee arthroplasty, weakness cases, predictors

要旨:〔目的〕本研究の目的は、人工膝関節全置換術（TKA）後6ヵ月の筋力低下例を予測する術前因子を明らかにすること。〔対象と方法〕対象は、変形性膝関節症の診断で片側のTKAを施行した患者108名とした。筋力は、術前、術後2週、3ヵ月、6ヵ月時に最大等尺性膝伸展トルクを体重で除した値を計測した。術前因子は、基本属性、膝可動域、大腿部筋形態、筋力を抽出した。重回帰分析にて、術後6ヵ月の筋力値に影響する術前因子を解析した。〔結果〕術前的大腿部筋横断面積と筋力が術後6ヵ月の筋力を予測する因子であった($p < 0.01$, $R^2 = 0.45$)。〔結語〕TKA後6ヵ月時に筋力低下が残存する症例は、術前に大腿部の筋萎縮と筋力低下を認めている可能性が高いことが示唆された。

キーワード: 人工膝関節全置換術, 筋力低下例, 予測因子

¹⁾ 徳島大学病院 リハビリテーション部：徳島県徳島市蔵本町2-50-1 (〒770-8503) TEL 088-631-3111

受付日 2020年4月13日 受理日 2020年5月10日

I. はじめに

末期の変形性膝関節症（以下、膝 OA）患者に対する人工膝関節全置換術（total knee arthroplasty：以下、TKA）の施行は、除痛および膝関節機能を向上させ歩行や階段昇降などの機能的な能力を改善させる。TKA 後の耐久性は、約 15～20 年程度と長期成績も良好であり、現在では整形外科領域で確立された観血的治療となっている^{1,2)}。TKA 後の機能的予後や患者満足度には、術後の大腿四頭筋筋力が強い関連因子であり³⁻⁶⁾、高い移動動作能力や患者満足度の獲得には高い大腿四頭筋の筋力水準が必要となる。実際に抵抗運動は、TKA 後 1～4 年経過した患者にとって筋サイズと筋力増強に有効であったとの報告もあり⁷⁾、理学療法診療ガイドライン第 1 版でも筋力運動は推奨グレード A である⁸⁾。このため急性期および回復期での継続した筋力強化運動が重要であり、本邦での運動器リハビリテーションの算定日数が 150 日である現状を踏まえると、TKA 後 6 ヶ月時の大腿四頭筋筋力が機能的予後を規定する重要な指標となると考えた。

TKA 後の中長期における筋力回復の報告によると、術前レベルから 10～20% 程度改善するが健常値や非術側値までには回復しない⁹⁾。また膝 OA 患者では、術前から同年代健常者よりも大腿四頭筋の筋断面積および大腿四頭筋の筋力が低下していると報告されている^{10,11)}。膝 OA および TKA 後患者の筋断面積や筋力値の報告は散見されるものの術後筋力を予測する術前因子は不明確である。この原因は、筋力や筋量は年齢や性別で異なり多くの要因が関連するため大きいサンプルサイズでの多変量解析が必要であること、筋形態評価には高額な画像解析ソフトが必要であることが挙げられる。特に機能的予後や患者満足度が低くなる可能性が高い術後の筋力低下例を術前から予測可能となれば、術後の筋力運動処方の一助となり、また回復期病院への有益な情報提供も可能になると考えた。

そこで本研究の目的は、TKA 後 6 ヶ月の大腿四頭筋筋力と術前因子である基本属性、膝可動域、大腿部筋形態と筋力との関連性を重回帰分析にて検討し、術後の筋力低下例を早期から予測できる術前因子を明らかにすることである。

II. 対象と方法

1. 対象

2014 年 2 月～2019 年 8 月に徳島大学病院で末期の変形性膝関節症と診断され、初回の片側人工膝関節全置換術を施行し術後 6 ヶ月以上経過した患者 108 名とした。除外基準は、関節リウマチと診断された者、術後 6 ヶ月で歩行が自立していない者、脊椎疾患を有する者、デー

タに欠損がある者、本研究におけるリスクと利益についての理解が困難な認知機能の低下を認める者とした。術後の理学療法は、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 2 週での転院までの期間に主に膝関節可動域運動、大腿四頭筋の筋力強化運動、歩行運動を中心に実施した。

本研究は、徳島大学病院倫理委員会（承認番号：第 1627 号）の承認を得たうえで実施した。研究の実施には、ヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針を遵守し、対象者には実験主旨および実験方法について十分に説明し承諾を得たうえで実験を行った。

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、手術の数日前に入院し全例術前にベースライン調査を行った。調査項目は、年齢、性別、診断名、使用機種、創部長、Body Mass Index、大腿部の筋横断面積・computed tomography（以下、CT）値、膝伸展・屈曲可動域（以下、ROM）、大腿四頭筋の等尺性筋力とした。さらに、追跡調査として術後 2 週、3 ヶ月、6 ヶ月に膝 ROM と筋力を計測した。大腿部筋形態要因としての筋横断面積と CT 値の計測は、コンピューターの画像上で CT トレース法（画像解析ソフト Aquarius Net Viewer、テラリコン社製）にて 2 回測定し、その平均値を算出した（図 1）。大腿部筋形態の計測部位は、大腿四頭筋の筋厚測定部位の先行研究¹²⁾に準じて外側広筋の筋量が多い大腿長 50% 点とした。なお、CT トレース法の信頼性については 10 名の膝 OA 患者による事前検証を行い、級内相関係数（intraclass correlation coefficient：以下、

図1 大腿部筋形態の計測方法

ICC)を算出し、筋横断面積でICC (1.1) = 0.996, CT値でICC (1.1) = 0.967となり、計測方法の再現性が高いことを確認している。

大腿四頭筋筋力の測定には、多用途筋機能評価運動装置 BIODEX SYSTEM4 (Biodex Medical Systems 社製)を用いた。測定条件は、Isometric mode とし膝関節 60° 屈曲位にて 5 秒間の最大努力による膝伸展動作を 2 回実施した。得られたピークトルク値を体重で除した最大ピークトルク体重比 (Nm/kg) を算出した (図 2)。膝関節可動域の計測は、背臥位にて日本整形外科学会と日本リハビリテーション医学会による「関節可動域表示ならびに測定法」に準じてゴニオメーターを用いて 1 回測定し、5° 単位で記録した。

統計解析方法は、すべての解析結果には正規性の検定として Shapiro-Wilk 検定を行い、その結果に基づいて以後の検定を選択した。術側膝関節機能の経時的変化には、Friedman 検定を用いて検討した。また、術後の筋

力を予測する術前因子の検討には、重回帰分析を用いて従属変数を術後 6 ヶ月の筋力、独立変数を術前因子である年齢、性別、筋横断面積、CT 値、膝関節可動域と筋力とし強制投入法を行った。計測値は、平均値 ± 標準偏差または中央値 (四分位範囲) で示した。なお、統計処理は、解析ソフト IBM SPSS ver22.0 を用いて有意水準は 5% とした。

III. 結 果

術前の基本情報と大腿部筋形態値を表 1 に示した。対象者が 108 名で平均年齢は 73.1 ± 7.4 歳、性別の内訳が男性 22 名 (20.3%)、女性 86 名 (79.6%) であった。術側膝関節機能の経時的変化を表 2 に示した。膝伸展可動域は、術前と比較して術後 2 週、3 ヶ月、6 ヶ月で有意に増加した。膝屈曲可動域は、術前と比較して術後 2 週で有意に低下したが、術後 3 ヶ月と 6 ヶ月では有意差を認めなかった。全体の大腿四頭筋筋力は、術前と比較して術後 2 週で有意に低下したが、術後 3 ヶ月と 6 ヶ月では有意差を認めなかった。男性では、術前と比較して術後 2 週、3 ヶ月、6 ヶ月でも有意な低下を認めた。女性では、術前と比較して術後 2 週で有意に低下し、術後 3 ヶ月と 6 ヶ月では有意差を認めなかった。

独立変数を術前筋力、年齢、性別、筋横断面積、CT 値、術前膝屈伸可動域とし、従属変数を術後 6 ヶ月の筋力とした重回帰分析を行った。結果は表 3 に示すように回帰式は $p < 0.01$ で有意であり、 $R^2 = 0.45$ となった。術後 6 ヶ月の筋力を予測する因子として、術前的大腿四頭筋筋力 ($p < 0.01$, 標準偏回帰係数 = 0.64) と筋横断面積 ($p = 0.02$, 標準偏回帰係数 = 0.19) が独立した因子として抽出された。

IV. 考 察

本研究の結果より TKA 後の大腿四頭筋筋力の回復過程は、術前よりも術後早期に一過性の低下を認めるが、

図 2 大腿四頭筋の筋力測定

表 1 術前の基本情報と大腿部筋形態値

	全体 (n = 108)	男性 (n = 22)	女性 (n = 86)
年齢 (歳)	73.1 ± 7.4	74.8 ± 5.5	72.7 ± 7.9
体重 (kg)	62 (56-69)	65 (62-72)	61 (53-67)
BMI (kg/m ²)	27 (25-30)	26 (24-28)	27 (25-30)
創部長 (cm)	12 (12-13)	13 (12-14)	12 (12-13)
入院期間 (日)	21.7 ± 4.1	19.9 ± 2.4	22.2 ± 4.3
筋横断面積 (cm ² /kg)	1.5 (1.4-1.6)	1.7 (1.5-1.8)	1.5 (1.3-1.6)
CT 値 (HU)	36 (28-45)	44 (37-77)	33 (27-42)

平均値 ± 標準偏差, 中央値 (四分位範囲). BMI: Body Mass Index, CT: computed tomography, HU: Hounsfield unit.

表2 術側膝関節機能の経時的変化

		術前	術後2週	3ヵ月	6ヵ月
膝関節可動域	伸展 (°)	-5 (-10-0)	0 (-5-0) *	0 (-5-0) *	0 (-5-0) *
	屈曲 (°)	120 (105-130)	100 (95-110) *	120 (113-125)	120 (114-130)
大腿四頭筋筋力	全体 (Nm/kg)	1.0 (0.7-1.3)	0.4 (0.3-0.6) *	0.9 (0.6-1.2)	1.0 (0.8-1.3)
	男性 (Nm/kg)	1.5 (1.1-1.7)	0.5 (0.3-0.8) *	1.1 (0.7-1.4) *	1.1 (0.9-1.4) *
	女性 (Nm/kg)	0.9 (0.7-1.1)	0.4 (0.3-0.5) *	0.8 (0.6-1.1)	0.9 (0.8-1.2)

n = 108. 中央値 (四分位範囲). *: p < 0.05 vs 術前値, Friedman 検定.

表3 術後6ヵ月の大腿四頭筋筋力を予測する術前因子

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	p 値	95% 信頼区間	
				下限	上限
定数	0.31		0.47	-0.54	1.16
大腿四頭筋筋力	0.58	0.64	<0.01	0.43	0.73
筋横断面積	0.37	0.19	0.02	0.07	0.66
性別	-0.16	-0.16	0.07	-0.33	0.01
年齢	-0.01	-0.13	0.09	-0.02	0.01

n = 108. R² = 0.45, ANOVA (analysis of variance) p < 0.01.

術後6ヵ月経過しても術前値と同程度であった。まず術後早期における筋力低下の原因には、手術侵襲、術後安静、疼痛、腫脹などが関与する^{13,14)}。またTKA後の中長期における筋力回復は術前値から10~20%程度まで改善するが⁹⁾、本研究の筋力値は術前程度であり回復の途中段階での筋力評価となっていたと考える。ただ本邦におけるTKA後の大腿四頭筋筋力の報告によると術後6ヵ月で0.96 ± 0.27 Nm/kgであり¹⁵⁾、本研究の筋力の中央値が全体で1.0 Nm/kg、男性で1.1 Nm/kg、女性0.9 Nm/kgであり先行研究と類似した筋力値であったと考える。また、60歳代健常者男性の平均膝伸展筋力は1.9 Nm/kg、60歳代健常女性で1.4 Nm/kgとの報告があり¹⁶⁾、本研究の術後6ヵ月の筋力は健常値までは回復しておらず、TKA後の理学療法では急性期よりの筋力強化運動の重要性が示唆された。

術前的大腿四頭筋の筋横断面積と筋力は、年齢や性別および膝屈伸可動域から独立した術後6ヵ月の筋力値を予測する因子であった。まず筋力の大きさは、主に筋線維数や筋断面積、筋線維タイプなどの筋の解剖学的・組織学的要因と運動単位の動員数 (recruitment) とα運動ニューロンのインパルス発火頻度 (rate coding)、各運動単位の活動のタイミングの一致 (synchronization) の神経系の要因によって決定される¹⁷⁾。このため、筋の解剖学的・組織学的要因において術前に大腿部筋萎縮を認めた症例では、TKA後の大腿四頭筋の筋力低下を残存する可能性が高くなる。また、神経系の要因でも最大限の自発的努力にもかかわらず筋のすべての利用可能な力を生成することができない状態である随意的な筋活性

化の不全の研究では、TKA患者は術前から術後6ヵ月まで大腿四頭筋の筋活性化が改善していなかったことを報告している¹⁸⁾。このため、術前に大腿四頭筋の筋活性化の不全を認める筋力低下例では、術後中長期の筋力改善が遅延する可能性が高いと考える。

本研究の限界は、筋力規定要因の筋形態は画像解析にて筋横断面積とCT値を検討しているが、神経性要因の指標となるデータが不足している。また術前筋力が予測因子の一つとして抽出されたが、その筋力値に影響を及ぼす疼痛や腫脹などの所見が計測できていない。このため今後は、筋力計測時に疼痛の程度、疼痛の発生部位、大腿周径、炎症所見などを加えて評価していく必要がある。

利益相反 本研究において開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) Jones DL, Westby MD, Greidanus N, et al.: Update on hip and knee arthroplasty: current state of evidence. *Arthritis Rheum*, 2005, 53: 772-780.
- 2) Shan L, Shan B, Suzuki A, et al.: Intermediate and long-term quality of life after total knee replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am*, 2015, 97: 156-168.
- 3) Petterson SC, Mizner RL, Stevens JE, et al.: Improved function from progressive strengthening interventions after total knee arthroplasty: a randomized clinical trial with an imbedded prospective cohort. *Arthritis Rheum*, 2009, 61: 174-183.
- 4) Valtonen A, Pöyhönen T, Heinonen A, et al.: Muscle deficits

- persist after unilateral knee replacement and have implications for rehabilitation. *Phys Ther*, 2009, 89: 1072-1079.
- 5) Furu M, Ito H, Nishikawa T, et al.: Quadriceps strength affects patient satisfaction after total knee arthroplasty. *J Orthop Sci*, 2016, 21: 38-43.
 - 6) Mizner RL, Petterson SC, Stevens JE, et al.: Preoperative quadriceps strength predicts functional ability one year after total knee arthroplasty. *J Rheumatol*, 2005, 32: 1533-1539.
 - 7) LaStayo PC, Meier W, Marcus RL, et al.: Reversing muscle and mobility deficits 1 to 4 years after TKA: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res*, 2009, 467: 1493-1500.
 - 8) 木藤伸宏, 小澤淳也, 金村尚彦: 変形性膝関節症 理学療法診療ガイドライン. 理学療法学, 2016, 43: 204-209.
 - 9) Hurley MV, Newham DJ: The influence of arthrogenous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees. *Br J Rheumatol*, 1993, 32: 127-131.
 - 10) Gür H, Cakin N, Akova B, et al.: Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training: effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthrosis of the knee. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83: 308-316.
 - 11) Gür H, Cakin N: Muscle mass, isokinetic torque, and functional capacity in women with osteoarthritis of the knee. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84: 1534-1541.
 - 12) Giles LS, Webster KE, McClelland JA, et al.: Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Phys Ther Sport*, 2015, 16: 45-52.
 - 13) Rodgers JA, Garvin KL, Walker CW, et al.: Preoperative physical therapy in primary total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 1998, 13: 414-421.
 - 14) 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.
 - 15) 眞田祐太郎, 大澤 傑, 椎木孝幸・他: 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. 理学療法科学, 2017, 32: 553-557.
 - 16) 山崎裕司, 青木詩子, 横山仁志: 筋力評価におけるパラダイム転換. 理学療法ジャーナル, 2001, 35: 247-252.
 - 17) 加藤 浩: 筋力増強運動. 運動療法学総論, 第4版. 吉尾雅春・他(編), 医学書院, 東京, 2017, pp195-217.
 - 18) Berth A, Urbach D, Neumann W, et al.: Strength and voluntary activation of quadriceps femoris muscle in total knee arthroplasty with midvastus and subvastus approaches. *J Arthroplasty*, 2007, 22: 83-88.