

人工膝関節置換術施行患者の術後1年における 歩行周期時間変動

飛山 義憲¹、和田 治²、中北 智士²、浅井 剛³

Stride time variability in patients after total knee arthroplasty at 1 year postoperatively

Yoshinori HIYAMA¹⁾, Osamu WADA²⁾,
Satoshi NAKAKITA²⁾, Tsuyoshi ASAI³⁾

Abstract

Objective

Total knee arthroplasty (TKA) effectively alleviates pain and improves walking ability. Stride time variability (STV) is a marker of a safe gait pattern, however, the STV at 1 year after TKA surgery is unclear. The present study aimed to compare the STV between patients following TKA at 1 year postoperatively and healthy elderly adults and to determine gait stability in patients following TKA at 1 year postoperatively.

Methods

This prospective cohort study comprised 20 patients undergoing TKA and 20 healthy elderly adults. Patients undergoing TKA were evaluated at 1 month before surgery and at 1 year after surgery. The primary outcome was STV, and secondary outcomes were knee range of motion (ROM), quadriceps strength, gait speed, and pain during walking.

Results

STV in the TKA group at 1 year postoperatively was significantly lower than that at preoperatively. However, STV in the TKA group at 1 year postoperatively was significantly higher than that in normal, slow, and very slow speeds in healthy elderly adults. Additionally, knee ROM of flexion, quadriceps strength, and gait speed in the TKA group at 1 year postoperatively were significantly worse than those in healthy elderly adults.

Conclusions

We concluded that the gait stability in patients following TKA at 1 year postoperatively declined compared to healthy elderly adults. Additionally, patients following TKA at 1 year postoperatively demonstrated the decline in physical function including quadriceps strength compared to healthy elderly adults. Therefore, patients following TKA at 1 year may have an elevated fall risk.

Keywords

total knee arthroplasty, gait stability, stride time variability, quadriceps weakness

1. 東京工科大学医療保健学部理学療法学科
飛山義憲 〒144-8535 東京都大田区西蒲田5-23-22 Email: yoshinori.hiyama@gmail.com
2. あんしん病院リハビリテーション科
3. 神戸学院大学総合リハビリテーション学部理学療法学科

緒言

要支援および要介護認定者数が年々増加する中、関節疾患は高齢者が要支援および要介護に至る要因の上位を占めており¹⁾、その代表的な疾患である変形性膝関節症の罹患者数は約2,500万人にのぼる²⁾。変形性膝関節症者では疼痛や筋力低下により移動能力が低下することから³⁾、要支援および要介護に至る状態を予防し、健康的な生活を送るためには疼痛や運動機能の改善が必要である。

変形性膝関節症の治療にはまず運動療法など保存的治療が選択されるが、末期変形性膝関節症に対しては人工膝関節置換術が選択されることが多い。わが国では年間8万件の人工膝関節置換術が施行され⁴⁾、疼痛や運動機能の改善に有効であることが広く知られている^{5,6)}。健康寿命を延伸させるためには運動機能の維持が不可欠であることから、人工膝関節置換術は変形性膝関節症者の運動機能を改善し、健康寿命を延伸させる非常に重要な手段であるといえる。

術後早期には手術侵襲や炎症等により一時的に運動機能が低下するものの、術後数ヶ月で大幅に回復し、6ヶ月程度でプラトーに達する⁶⁻⁸⁾。しかし同年代の健常者に比べると膝伸展筋力や歩行速度は1年が経過しても低下しているという課題を有する^{9,10)}。このような運動機能の低下は高齢者における転倒の要因として重要であるが^{11,12)}、運動機能の低下が直接転倒を引き起こすのではなく、歩行不安定性を引き起こすことで転倒が発生すると考えられている¹³⁾。転倒は高齢者の生活の質を阻害する大きな要因の一つであり、運動機能が低下する術後には転倒を引き起こす要因となる歩行不安定性を評価することが不可欠である。しかし、転倒を予測する歩行周期時間の変動係数¹³⁾などを用いて術後の歩行安定性を検討した報告は見あたらない。そこで本研究では人工膝関節置換術後1年の歩行周期時間の変動係数を健常者と比較し、歩行安定性を検討することを目的とした。

対象と方法

1. 対象

対象は人工膝関節置換術を施行する女性20名(TKA群)とし、取り込み基準は原疾患がgrade 4¹⁴⁾の変形性膝関節症、初回の人工膝関節置換術、60歳以上80歳未満で独歩が可能な者とし、除外基準は原疾患が関節リウマチ、非術側の膝関節および下肢の他関節に既に人工関節置換術を施行している、神経学的疾患など歩行能力に影響を及ぼす疾患を有する者とした。さらに、要支援、要介護状態にない、定期的な運動習慣を持たない地域在住の高齢女性20名(健常群)を対象とした。取り込み基

準は60歳以上80歳未満で日常的に独歩での外出を行っている者とし、下肢に筋骨格系疾患を有する者、神経学的疾患など歩行能力に影響を及ぼす疾患を有する者、既に人工関節置換術を施行している者は除外した。なお、年齢、性別、Body mass indexに関してTKA群との個別マッチングを行った。本研究は倫理委員会の承認を得た後、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、書面にて同意を得た。

2. 方法

本研究では歩行周期時間の変動係数、歩行速度、歩行時の疼痛(歩行時痛)、膝関節可動域および膝伸展筋力の評価を行った。術後の運動機能の回復が6ヶ月程度でプラトーに達する⁶⁻⁸⁾ことからTKA群は手術1ヶ月前および1年後に計測を実施した。なお、全例とも後十字靭帯置換型の人工関節を用い、術式はmedial parapatellar approachであった。術後のリハビリテーションは疼痛や炎症、腫脹の軽減、可動域や筋力の改善を目的として術翌日から術後5日目の退院日まで実施し、退院後は週に一度の外来リハビリテーションを3ヶ月間継続した。

1) 歩行周期時間の変動係数

ワイヤレス型3軸加速度計(マイクロストーン株式会社、MVP-RF8-HC)を用い、TKA群は術側下肢の踵、健常群は右下肢の踵に装着¹⁵⁾、固定した。計測には同一種類の靴を使用し、歩行補助具は用いなかった。

助走路と減速路を含む16mの歩行を指示し、中央10mの歩行速度を求めた。歩行周期時間の変動係数は歩行速度に依存するが¹⁵⁾、TKA群の歩行速度は健常群に比べ低下する⁹⁾ことが予測されたため、同速度での比較を行うためにTKA群は快適速度のみ、健常群は快適速度だけでなく、対象者の主観で「遅い」条件(遅歩)、「さらに遅い」条件(最大遅歩)の3条件での歩行を指示した。測定は各条件十分な練習を行った後に2回の計測を行い、2回の歩行速度の平均値を代表値とした¹⁶⁾。

加速度データは数値解析ソフト(MathWorks社、MATLAB)を用いてカットオフ周波数20Hzのローパスフィルタにて処理後、歩行開始と終了の2歩を除き歩行周期時間を求めた。連続する歩行周期時間の平均、標準偏差から変動係数(CV = 標準偏差/平均値 × 100(%))を算出し^{17,18)}、2回の計測の平均を求めた。CVは値が大きいほど歩行周期時間のばらつきが大きく、歩行が不安定であることを示す。

TKA群においては歩行直後にNumeric Rating Scale¹⁹⁾を用いて歩行時痛を評価した。数値が大きいほど疼痛が強く表現されるよう0から10の11段階で聴取した。

2) 膝関節可動域

対象者を背臥位とし、日本整形外科学会および日本リハビリテーション医学会が推奨する測定方法に準じ、ゴニオメーターを用い膝関節の屈曲および伸展可動域を他動にて測定した。

3) 膝伸展筋力

徒手筋力計 Hand-Held Dynamometer (アニマ株式会社, ミュータス F-1) を使用し、膝伸展の最大等尺性筋力を測定した。測定肢位は座位にて膝関節90度屈曲位とし、筋出力を受けるセンサー部の位置は下腿遠位部前面とした。TKA群は術側、非術側の順に、健常群は右下肢の計測を行った。2回の計測のうち最大値を採用し²⁰⁾、トルク体重比(Nm/kg; センサー部の力(N) × アーム長(m) / 体重(kg))を算出した。

3. 統計学的解析

まず Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認し、TKA群における術前および術後の各項目の比較に

は対応のある t 検定を、TKA群と健常群の基本属性の比較、およびTKA群術後1年と健常群の各項目の比較には student の t 検定を用いた。有意水準は5%とし、検定には統計解析ソフト (SPSS 22.0J, IBM, Japan) を用いた。

結果

TKA群は対象者すべてが術後1年の計測に参加し、TKA群20名、健常群20名での解析を行った(表1)。TKA群術後1年のCV、歩行速度、歩行時痛、膝関節伸展可動域、膝伸展筋力は術前に比べ有意に改善を認めたが ($p < 0.001$)、膝関節屈曲可動域は術前に比べ有意な差を認めなかった ($p = 0.52$) (表2, 3)。健常群との比較では術後1年のCVはいずれの歩行条件と比較しても有意に大きく ($p < 0.001$)、健常群の快適速度と比較した歩行速度は有意に小さな値を示した ($p = 0.01$)。膝関節屈曲可動域、膝伸展筋力は健常群に比べ術後1年で有意な低下を示したが ($p < 0.001$)、膝関節伸展可動域は有意差を認めなかった ($p = 0.38$)。

表1 両群の属性

	TKA 群 (n=20)	健常群 (n=20)	p 値
年齢 (歳)	63.1 ± 6.7	63.5 ± 3.8	0.84
Body mass index (kg/m ²)	23.1 ± 3.6	22.9 ± 2.9	0.76
非術側重症度 (人数, %)			
Grade0	2 (10.0)		
Grade1	8 (40.0)		
Grade2	6 (30.0)		
Grade3	2 (10.0)		
Grade4	2 (10.0)		

表2 歩行周期時間変動および歩行速度

	TKA 群 (n=20)			健常群 (n=20)			p 値
	術前	術後1年	p 値	快適速度	遅歩	最大遅歩	
歩行周期時間変動 (%)	8.1 ± 5.4	3.4 ± 3.2	< 0.001	1.3 ± 0.3	2.0 ± 0.6	2.1 ± 0.5	< 0.001 ¹
歩行速度 (m/秒)	1.05 ± 0.17	1.19 ± 0.34	< 0.001	1.30 ± 0.25	1.20 ± 0.24	0.90 ± 0.30	0.01 ²
歩行時痛	3.7 ± 2.0	1.0 ± 3.1	< 0.001				

1 TKA 群術後1年と健常群における快適速度、遅歩、最大遅歩条件それぞれとの比較

2 TKA 群術後1年と健常群における快適速度との比較

表3 膝関節可動域および膝伸展筋力

	TKA 群 (n=20)			健常群 (n=20)	p 値
	術前	術後 1 年	p 値		
膝関節屈曲可動域 (°)					
術側または右下肢	125.2±14.2	122.4±7.0	0.52	150±9.4	<0.001 ¹
非術側	135.2±11.0	134.6±10.9	0.91		
膝関節伸展可動域 (°)					
術側または右下肢	-8.6±6.1	-2.1±3.2	<0.001	-0.4±0.3	0.38 ¹
非術側	-4.0±4.2	-4.3±3.8	0.73		
膝伸展筋力 (Nm/kg)					
術側または右下肢	0.94 ± 0.36	1.25 ± 0.56	<0.001	1.61 ± 0.41	<0.001 ¹
非術側	1.18±0.42	1.20±0.51	0.70		

1 TKA 群術後 1 年と健常群との比較

考察

転倒リスクを反映する^{13,18)}歩行周期時間の変動係数は術前に比べ術後 1 年で有意に小さな値を示し、術前に比べ転倒リスクが軽減し歩行の安定性が向上していることが示唆された。歩行周期時間の変動係数は歩行速度¹³⁾や下肢の可動域、筋力²¹⁾に依存し、術後 1 年には歩行速度や膝関節伸展可動域、膝伸展筋力が術前に比べ改善したことにより歩行周期時間変動が改善したと考えられる。

しかし、術後 1 年における歩行周期時間の変動係数は健常群に比べて有意に大きく、健常者に比べ転倒リスクが高いと考えられた。本研究では先行研究^{9,10)}と同様に、術後 1 年の歩行速度や膝伸展筋力は健常群に比べ有意な低下を認めた。歩行速度や膝伸展筋力は歩行周期時間変動に影響を及ぼすが^{13,21)}、術後 1 年の歩行速度と同程度の歩行速度である健常群の運歩条件に比べても TKA 群の歩行周期時間の変動係数は大きく、TKA 群の歩行周期時間変動には、特に膝伸展筋力が影響している可能性が考えられる。今後は膝伸展筋力と歩行周期変動の関連性を明らかにし、歩行安定性を向上させる取り組みが必要である。

本研究の限界として、非術側の変形性膝関節症が挙げられる。本研究では TKA 群の半数に変形性膝関節症を認め、20%は Grade 3 および 4 であったことから、術後の歩行周期時間変動に影響を与えた可能性が考えられる。また、本研究では 1 年以降の長期的な検討を行っていない。術後の運動機能の回復は 6 ヶ月程度でプラトー

に達するため⁶⁻⁸⁾、本研究の術後 1 年の評価は運動機能の回復を十分反映していると考えられるが、長期的な検討を行うことで術後の歩行周期時間変動の変化を明らかにすることができると思われる。

結語

本研究では人工膝関節置換術後 1 年の歩行周期時間変動が術前に比べ小さくなるものの、健常者に比べると歩行は不安定であり、膝伸展筋力など運動機能の低下が観察された。そのため、転倒に繋がるリスクの上昇が示唆された。

引用文献

- 1) 厚生労働省ホームページ. 平成 22 年国民生活基礎調査. 2011
- 2) 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 study. J Bone Miner Metab, 2009; 27: 620-628.
- 3) Wilkie R, Peat G, Thomas E, Croft P: Factors associated with restricted mobility outside the home in community-dwelling adults ages fifty years and older with knee pain: an example of use of the International Classification of Functioning

- to investigate participation restriction. *Arthritis Rheum*, 2007;57 (8):1381-1389.
- 4) 矢野経済研究所. 2013年版メディカルバイオニクス(人工臓器)市場の中期予測と参入企業の徹底分析. 2013; 267-353.
 - 5) 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 (9):559-567.
 - 6) Ethgen O, Bruyere O, Richy F, Dardennes C, Reginster JY: Health-related quality of life in total hip and total knee arthroplasty: A qualitative and systematic review of the literature. *J Bone Joint Surg Am*, 2004;86-A (5):963-974.
 - 7) Kennedy DM, Stratford PW, Riddle DL, Hanna SE, Gollish JD: Assessing recovery and establishing prognosis following total knee arthroplasty. *Phys Ther*, 2008;88 (1):22-32.
 - 8) Mizner RL, Petterson SC, Stevens JE, Vandenborne K, Snyder-Mackler L: Early quadriceps strength loss after total knee arthroplasty. The contributions of muscle atrophy and failure of voluntary muscle activation. *J Bone Joint Surg Am*, 2005;87(5):1047-1053.
 - 9) Yoshida Y, Mizner RL, Ramsey DK, Snyder-Mackler L: Examining outcomes from total knee arthroplasty and the relationship between quadriceps strength and knee function over time. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2008;23:320-328.
 - 10) Meier W, Mizner RL, Marcus RL, Dibble LE, Peters C, Lastayo PC: Total knee arthroplasty: muscle impairments, functional limitations, and recommended rehabilitation approaches. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2008;38:246-256.
 - 11) American Geriatric Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. Guideline for the prevention of falls in older persons. *J Am Geriatr Soc*, 2001; 49: 664-672.
 - 12) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF: Risk factor for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med*, 1988; 319: 1701-1707.
 - 13) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK: Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001; 82: 1050-1056.
 - 14) Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*, 1957; 16: 494-501.
 - 15) Asai T, Doi T, Hirata S, Ando H: Dual tasking affects lateral trunk control in healthy younger and older adults. *Gait Posture*, 2013; 38 (4) : 830-836.
 - 16) Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther*, 2002; 82 (2) : 128-137.
 - 17) Hausdorff JM: Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil*, 2005; 2: 19.
 - 18) Maki BE: Gait changes in older adult: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc*, 1997; 45: 313-320.
 - 19) Williamson A, Hoqqart B: Pain: a review of three commonly used pain rating scales. *J Clin Nurs*, 2005; 14 (7) : 798-804.
 - 20) Katoh M, Yamasaki H. Comparison of reliability of isometric leg muscle strength measurements made using a hand-held dynamometer with and without a restraining belt. *Journal of Physical Therapy Science*, 2009; 37-42.
 - 21) Kang HG, Dingwell JB: Separating the effects of age and walking speed on gait variability. *Gait Posture*, 2008; 27: 572-577.