人工股関節全置換術後患者の歩行分析

——術後12ヵ月間の追跡調査——

Analysis of Gait of Total Hip Arthroplasty Patients: A One-year Follow-up Study

重枝 利佳¹⁾ 山本 澄子²⁾ 石井 慎一郎³⁾ 牧田 浩行⁴⁾

RIKA SHIGEEDA¹⁾, SUMIKO YAMAMOTO²⁾, SHINICHIRO ISHII³⁾, HIROYUKI MAKITA⁴⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Miura Municipal Hospital: 4-33 Kouyou-cho, Miura-shi, Kanagawa 238-0222, Japan.
TEL+81 46-882-2111 E-mail: yuzu_rika1190@yahoo.co.jp

²⁾ International University of Health and Welfare Graduate School

³⁾ Kanagawa University of Human Services

⁴⁾ Department of Orthopedic Surgery, Kanagawa Prefectural Ashigarakami Hospital

Rigakuryoho Kagaku 29(4): 609-613, 2014. Submitted Feb. 10, 2014. Accepted Apr. 6, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] We examined how total hip arthroplasty (THA) patients' hip joint motion and pelvic motion during gait changes after surgery. [Subjects] The subjects were 15 unilateral THA patients. [Method] We used hip joint function criteria as a clinical assessment. Using a 3D motion analysis system, we examined the temporal changes in walking speed, step length, leg symmetry, hip joint angles and moments in flexion and extension, and pelvic tilt. [Results] Walking speed, step length, leg symmetry, and hip joint flexion angle and extension moment significantly improved; however, hip joint extension angle and flexion moment were significantly smaller at 6 and 12 months post-surgery, and the pelvic tilt angle in the late stance phase was significantly greater at 12 months post-surgery. [Conclusion] Increases in walking speed and step length, and improvement in leg symmetry failed to improve hip extension, and anterior pelvic tilt occurred as a compensatory motion.

Key words: total hip arthroplasty, gait analysis, long-term outcome

要旨:〔目的〕人工股関節全置換術後患者の歩行中の股関節と骨盤運動が、術後経過とともにどのように変化をしていくのかを調べた。〔対象〕片側 THA 15 例とした。〔方法〕臨床的評価として、股関節機能判定基準を用いた。三次元動作解析装置を用いた歩行分析では歩行速度、ステップ長、下肢の対称性、股関節屈伸角度と股関節屈伸モーメント、骨盤傾斜角度の経時的変化を分析した。〔結果〕歩行速度、ステップ長、下肢の対称性、股関節屈曲角度と伸展モーメントは有意に改善したが、股関節伸展角度と屈曲モーメントは術後6ヵ月以降12ヵ月の間で有意に減少し、立脚後期の骨盤前傾角度は術後12ヵ月で有意に増加した。〔結語〕歩行速度やステップ長の増加、下肢の対称性の向上に股関節伸展運動が追従しきれず、骨盤の前傾による代償運動が行われていた。

キーワード: 人工股関節全置換術、歩行分析、長期成績

¹⁾ 三浦市立病院 リハビリテーション科: 神奈川県三浦市岬陽町4番33号 (〒238-0222) TEL 046-882-2111

²⁾ 国際医療福祉大学大学院

³⁾ 神奈川県立保健福祉大学

⁴⁾ 神奈川県立足柄上病院 整形外科

I. はじめに

変形性股関節症（以下、OA）における人工股関節全置換術（以下、THA）後理学療法の目的は、日常生活動作能力や歩行能力を可及的早期に向上させ、その効果を長期的に持続させることである。THAの手術手技の向上と人工関節の材質の改良によって、より早期から術後理学療法を開始することが可能となり、クリニカルパスの導入により入院期間や術後の理学療法施行期間も短縮化される傾向にある¹⁾。

しかし、術後理学療法期間の短縮化が長期成績を保障し得るのかという問題については明確なエビデンスが示されているとはいえない。Long²⁾、Tanaka³⁾、Perron⁴⁾は、外来通院期間を終了した術後患者を対象とした歩行分析から、歩行速度やストライド長、下肢の対称性は術後経過日数に比例して改善傾向を示し、術後12ヵ月の時点で健常者とはほぼ同等となると報告している。また、Sashika⁵⁾、Gocen⁶⁾、Galea⁷⁾は、退院後の患者に対して、通院による理学療法を施行した患者群と、セルフエクササイズのみを施行した患者群の術後12ヵ月後の歩行速度、持続歩行距離の比較を行った結果、両群間で差がないことから、セルフエクササイズの指導だけでも歩行能力が維持され、術後理学療法期間の短縮が可能だと報告している。一方、股関節の可動域や筋力の改善が認められても、歩容の改善に直結せず、跛行が残存する症例が多く存在することを指摘する報告もある。南角⁸⁾は術後一定期間を経過した患者の多くに跛行が残存し、人工股関節の荷重応力の集中化を招き摩耗を早める危険性があることを指摘し、術後理学療法の期間を不用意に短縮することに否定的な意見を述べている。

このように、術後理学療法期間の短縮化が長期成績に及ぼす影響についての見解は一致していない。研究者により結果が異なる最大の要因は評価指標の相違であるといえる。THA術後理学療法効果の判定には、歩行中の股関節の運動範囲や発揮筋力などを詳細に分析し、股関節が正常に機能しているのかを評価する必要がある。長期成績が良好であるとする報告の多くが用いている評価の指標は、歩行評価によって得られる歩行速度や持続歩行距離、ステップ長といった距離・時間因子によるものである。しかし、このような指標からは、歩行中の股関節の運動範囲や発揮筋力を知ることはできない。実際に臨床場面において、股関節機能の改善が認められなくても、他関節による代償で、持続歩行距離や歩行速度の改善が認められる症例も観察される。このような症例の中には、術後数ヵ月間経過した後に、股関節や他関節に疼痛を訴えて再来院する者も多い。代償運動によって歩行速度やステップ長が向上したとしても、股関節が正常に機能していない状況では良好な長期成績は期待できない。

良好な長期成績を保障する理学療法を提供するためには、歩行能力を距離・時間因子という巨視的な視点だけではなく、股関節の機能にも着目して術後経過の分析を行う必要がある。そこで、本研究の目的は、三次元動作解析装置を用いて、THA術後患者の歩行を12ヵ月間に渡って継続的に分析し、術後経過とともに歩行中の股関節機能がどのように変化をしていくのかを調べることとした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、本研究の趣旨および目的に対して同意を得られた片側THA症例15例（女性13例、男性2例）とした。対象の年齢は 73 ± 5.0 歳（平均 $\pm$ 標準偏差）であり、原疾患は全例片側OAであった。対象を選出するにあたっての除外基準として、股関節以外の下肢関節に著しい変形を有し、歩行が障害されている症例は除外した。術式は、全例trans trochanteric approachが施行された。

対象者には、手術直後より「THA術後理学療法プロトコル」に準じた理学療法が施行されており、術後1週目から荷重が開始され、全ての患者が術後7週目までにT字杖を使用した歩行自立レベルで退院した。退院後は、術後150日まで週1回の頻度で外来通院での理学療法を行った。

なお、本研究は神奈川県立保健福祉大学研究倫理審査委員会の承認（承認番号21-043）を得て行われた。

2. 方法

臨床的評価として、日本整形外科学会の股関節機能判定基準（以下、日整会点数）を用いて、疼痛の有無、他動的股関節可動域、歩行能力、日常生活動作能力を計測した。また、股関節周囲の筋力を、徒手筋力検査⁹⁾（Danielsのmanual muscle testing: MMT）によって調べた。なお、計測は手術日を1日目として換算し、術後3ヵ月、6ヵ月、12ヵ月の時点で行い、計測日の誤差は該当日の前後5日以内となるようにした。

歩行計測には6基の床反力計（AMTI社製）と10台の赤外線カメラで構成される三次元動作解析装置VICON612（VICON社製）を用いた。対象者には、VICON-plugin手法に準じて、両側の肩峰、両側の上前腸骨棘、左右上後腸骨棘の中間の仙骨、両側的大腿外側中央、両側の膝関節外側裂隙、両側の下腿外側中央、両側の足関節外果、両側の第2中足骨頭、両踵骨の後方の計18点の反射標点を貼付した。対象者には、床反力計上を杖等の歩行補助具を用いずに自由速度で歩行するように指示し、歩行中の各標点の三次元座標と床反力をサンプリング周波数120 Hzでサンプリングした。計測は数回の練習を行った後に10回行った。三次元動作解析

装置によってサンプリングされた、各標点の座標データと床反力データを歩行解析ソフト Plug in GAIT (VICON 社製) を用いて処理し、以下に示す 3 つの分析項目を算出した。なお、三次元動作解析装置によって得られた対象の 10 試行分の時系列データから対象者の代表データ値とする平均波形を抽出するために、Tokuyama¹⁰⁾ の報告した最小二乗法に基づいた位相あわせによる平均化手法を用いて、対象者ごとに算出した。

1) 歩行速度、ステップ長

歩行の基本因子である歩行速度とステップ長を計測した。歩行速度は、体表面に貼付されたマーカの座標位置から身体重心位置座標を求め、歩行が定常状態になる 4 歩目から 8 歩目までの身体重心の進行方向速度の平均値を算出し、10 試行の平均速度を算出した。ステップ長は、非術側の下肢の踵接地時における前脚（非術側）と後脚（術側）の踵マーカの進行方向座標位置の差を求め、10 試行の平均値として算出した。

2) 下肢の対称性

下肢の対称性は、矢状面上の非術側踵接地の時点における前脚（非術側）の大腿骨の鉛直に対する傾斜角度 (θf) と後脚（術側）の大腿骨の鉛直に対する傾斜角度 (θe) をそれぞれ求め、計算式 1 により対称性指数 (R) として算出した (図 1)。

$$\text{計算式 1} \quad R = (\theta e / \theta f) * 100$$

ここで、大腿骨の傾斜角度 θe および θf は、絶対空間座標における矢状面内の大腿骨の傾斜角度を表し、対称性指数が 100% の値は、両側の大腿骨の傾斜角度が完全に対称的であることを示す。

図1 下肢の対称性

θf : 非術側の踵接地の時点における前脚（非術側）の大腿骨の傾斜角度。

θe : 非術側の踵接地の時点における後脚（術側）の大腿骨の傾斜角度。

3) 股関節屈伸角度、股関節屈伸モーメント、骨盤前後傾角度

股関節屈伸角度は、骨盤に対する大腿の角度として算出した。分析対象とする特徴値は歩行立脚期中の屈伸角度の最大値とした。股関節屈伸モーメントの分析対象とする特徴値は歩行立脚期中の屈伸モーメントの最大値とした。骨盤前後傾角度は、絶対空間座標における矢状面内の骨盤傾斜角度を算出した。

統計学処理には、SPSS Ver.11 (SPSS 社製) を使用した。日整会点数、股関節可動域、歩行速度、ステップ長、下肢の対称性指数、歩行中の股関節屈伸モーメント、屈伸角度、骨盤前傾角度が、術後 3 ヶ月、6 ヶ月、12 ヶ月の期間にどのように推移していくのかを調べるため、各測定項目において Bonferroni の多重比較を用いて、術後経過日数間で比較した。有意水準は 5% とした。

III. 結果

日整会点数は有意に増加し、日常生活動作において「腰かけ」、「立ち仕事」、「階段の昇り降り」、「車、バスなどの乗り降り」が容易に行えるようになった。股関節可動域、歩行速度、ステップ長、対称性指数は、術後経過とともに有意に増加、すなわち改善した (表 1)。徒手筋力検査においても、術後経過とともに MMT4~5 の人数が増えており、改善していた (表 2, 3)。

歩行中立脚初期の股関節屈曲角度と伸展モーメントは、術後経過とともに有意に改善した。しかし、歩行中立脚後期の股関節伸展角度と屈曲モーメントは、術後 6 ヶ月までは改善し、術後 12 ヶ月時点で有意に減少した。また、歩行中立脚後期の骨盤前傾角度は、術後 12 ヶ月時点で有意に増加した (表 4)。

IV. 考察

歩行中の股関節運動について、矢状面での股関節運動域の回復は、歩行能力を左右する最も重要な課題の一つであるとされている¹¹⁾。臨床においても、股関節伸展角度の減少が観察されることから、本研究では矢状面での股関節運動に着目し、分析を行った。

THA 術後患者の歩行は、術後 12 ヶ月の時点で歩行速度やステップ長、下肢の対称性が、健常者とはほぼ同等レベルに到達していた。また、関節可動域や筋力も回復し、疼痛の訴えも無くなっていた。Murray ら¹²⁾ や Wall ら¹³⁾ によれば、関節可動域、筋力、下肢の対称性、歩行速度、ステップ長は、術後 6 ヶ月以内に著しく改善すると報告されており、本研究においても同様の結果となった。術後の理学療法期間が終了した後も、このような歩行能力の向上が維持されていることは、歩行能力を距離・時間因子という巨視的視点で捉えた場合には良

表 1 各術後経過月数における日整会点数, 股関節可動域, 歩行速度, ステップ長, 対称性指数

	3 ヶ月		6 ヶ月		12 ヶ月
日整会点数 (点)	89.3 ± 3.4	**	95.6 ± 2.9	**	98.2 ± 1.7
屈曲関節可動域 (°)	102.3 ± 7.0	**	106 ± 7.1	**	114.3 ± 8.6
伸展関節可動域 (°)	9.3 ± 3.1	**	11.3 ± 2.2	**	12.3 ± 3.1
歩行速度 (m/sec)	0.86 ± 0.10	**	0.92 ± 0.08	**	0.97 ± 0.10
ステップ長 (m)	0.49 ± 0.04	**	0.51 ± 0.04	**	0.53 ± 0.05
対称性指数 (%)	81.1 ± 7.7	**	90.8 ± 7.4	**	101.2 ± 6.5

* : p<0.05 vs 6 ヶ月.

** : p<0.05 vs 12 ヶ月.

表 2 各術後経過月数における股関節周囲屈曲筋筋力

		3 ヶ月	6 ヶ月	12 ヶ月
MMT3	(人)	3	0	0
MMT4	(人)	12	12	4
MMT5	(人)	0	3	11

表 3 各術後経過月数における股関節周囲伸展筋筋力

		3 ヶ月	6 ヶ月	12 ヶ月
MMT3	(人)	4	0	0
MMT4	(人)	11	12	6
MMT5	(人)	0	3	9

表 4 各術後経過月数における歩行中の股関節屈伸角度, 屈伸モーメント, 骨盤前傾角度

	3 ヶ月		6 ヶ月		12 ヶ月
屈曲角度 (°)	30.5 ± 3.1	**	36.0 ± 5.0	**	43.2 ± 3.0
伸展角度 (°)	1.7 ± 1.9	*	4.7 ± 1.9	**	0.6 ± 0.8
屈曲モーメント (Nm)	38.4 ± 8.9	**	45.6 ± 11.2	**	25.1 ± 8.1
伸展モーメント (Nm)	36.2 ± 4.8	**	44.9 ± 4.1	**	48.1 ± 3.9
骨盤前傾角度 (°)	2.1 ± 2.0	**	0.3 ± 1.2	**	3.1 ± 1.4

* : p<0.05 vs 6 ヶ月.

** : p<0.05 vs 12 ヶ月.

好な結果といえる。

しかし一方で, 歩行中の股関節の運動性に関する分析では, 術後 6 ヶ月目以降 12 ヶ月目までに, 立脚後期における股関節伸展角度と屈曲モーメントが減少することが分かった。

立脚後期における股関節屈曲モーメントの減少は, 股関節伸展角度の減少により, 床反力作用線と股関節中心位置までの距離, すなわち股関節屈曲モーメントのレバーアームの減少によるものと推察される。術後 6 ヶ月までは継続的に改善がみられていた歩行中の股関節伸展角度と屈曲モーメントが, 術後 12 ヶ月で正常値を大幅に下回るほどに低下することは, THA 術後の歩行の変化を考察する上で重要な結果である。

この点を考察するためには, 本研究結果から導出される 1 つの矛盾に対する推論を形成する必要がある。すな

わち, 術後 12 ヶ月の歩行分析において, ステップ長や下肢の対称性が改善しているにもかかわらず, 歩行中の股関節伸展角度が減少することである。また, 臨床評価において股関節伸展可動域と屈曲筋力は術後 6 ヶ月から 12 ヶ月まで改善を続けており, 歩行中の股関節伸展角度の減少の直接的な原因としては考えにくいということも重要な所見といえる。

下肢の対称性やステップ長の改善にもかかわらず, 立脚後期の股関節伸展角度が減少する理由について, 以下に考察する。下肢の対称性は, 大腿骨の空間上での傾斜角度を表す, 両側の下肢を前後にどれだけ対称的に振り出すことが可能なかを示す指標である。歩行速度やステップ長を増加させるためには, 両下肢の振り出される角度が対称的になる必要がある。つまり, 前脚と後脚の大腿骨が, 身体の垂直軸に対して前後に対称的に開かれ

ていなくてはならない。健常者は股関節の屈伸角度を対称的に使うことによって、前脚と後脚の対称運動を実現している。ところがTHA術後患者では、立脚後期の骨盤前傾角度の増加と、股関節伸展角度の減少がいずれも術後12カ月の時点で起きており、術側股関節の伸展角度を立脚後期に増加させることができないことの補償として骨盤の前傾角度を増加させ、股関節の伸展を伴わずに大腿骨を後方へ傾斜させて下肢の対称性を実現している可能性がある。

術後12カ月を経過したTHA術後患者は、日整会点数の歩行能力と日常生活動作の点数が増加したことからもわかるように、より積極的に社会生活を営むようになっていた。こうした生活活動量の変化は、環境や動作課題へのより高度な適応を必要とし、歩行速度やステップ長の増加、下肢の対称性の向上によって環境適応を図る。一方で、股関節伸展運動が追従しきれず、骨盤の前傾による代償運動が行われていたと考えられる。

骨盤前傾運動による股関節伸展運動の代償は、歩行中の腰椎椎間関節や椎体間関節への負荷を増大させるため、好ましい代償運動とはいえない。事実、術後12カ月以降で腰痛を主訴として来院する症例が多いことを指摘する報告も少なくない¹⁴⁾。したがって、今後はTHA術後患者の歩行の特徴である、立脚後期における股関節伸展角度の減少の要因を調査し、それに対する理学療法プログラムを立案することが重要である。

引用文献

- 1) 伊達 亮, 城戸研二, 桑田憲幸・他: 人工股関節全置換術のクリニカルパスの検討. 日職災医誌, 2004, 52: 329-334.
- 2) Long WT, Dorr LD, Healy B, et al.: Functional recovery of noncemented total hip arthroplasty. Clinical Orthop Relat Res, 1993, 288: 73-77.
- 3) Tanaka Y: Gait analysis of patients with osteoarthritis of the hip and the those with total hip arthroplasty. Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi, 1993, 67(11): 1001-1013.
- 4) Perron M, Malouin F, Moffet H, et al.: Three-dimensional gait analysis in women with a total hip arthroplasty. Clin Biomech, 2000, 15(7): 504-515.
- 5) Sashika H, Matsuba Y, Watanabe Y: Home program of physical therapy: effect on disabilities of patients with total hip arthroplasty. Arch Phys Med Rehabil, 1996, 77(3): 273-277.
- 6) Gocen Z, Sen A, Unver B, et al.: The effect of preoperative physiotherapy and education on the outcome of total hip replacement: a prospective randomized controlled trial. Clin Rehabil, 2004, 18(4): 353-358.
- 7) Galea MP, Levinger P, Lythgo N, et al.: A targeted home- and center-based exercise program for people after total hip replacement: a randomized clinical trial. Arch Phys Med Rehabil, 2008, 89(8): 1442-1447.
- 8) 南角 学, 坪山直生, 秋山治彦・他: 人工股関節置換術後患者の骨盤アライメントと歩行中の重心移動の関連性. 理学療法学, 2010, 37(1): 29-34.
- 9) Helen JH, Jacqueline M: 新・徒手筋力検査法第7版. 共同医学出版, 東京, 2004, pp182-199.
- 10) Mitsuru T, Hirotsugu O, Hisao I, et al.: Individuality and reproducibility in high-speed motion of volleyball spike jumps by phase-matching and averaging. J Biomechanics, 2005, 38(10): 2050-2057.
- 11) 遠藤祐介, 三谷 茂, 川井 章・他: 寛骨臼回転骨切り術前後の三次元動作解析による歩行分析. 関節外科, 2003, 153: 31-40.
- 12) Murray MP, Gore DR, Brewer BJ, et al.: A comparison of the functional performance of patients with Charnley and Muller total hip replacement. Acta Orthop Scand, 1979, 50(5): 563-569.
- 13) Wall JC, Ashburn A, Klenerman L: Gait analysis in the assessment of functional performance before and after total hip replacement. J Biomed Eng, 1981, 3(2): 121-127.
- 14) 森本忠嗣, 曾田勝広, 西田圭介・他: Hip-Spine Syndrome—人工股関節置換術施行例における腰痛の検討—. 整形外科と災害外科, 2003, 52(2): 356-360.