

人工股関節全置換術後患者における術前後の 歩行時エネルギー効率の変化とその関連要因の検討

○久郷真人¹⁾ 谷口匡史¹⁾ 前川昭次¹⁾ 小島弓佳¹⁾ 三村朋大²⁾ 川崎拓³⁾

1) 滋賀医科大学医学部附属病院リハビリテーション部

2) 滋賀医科大学医学部附属病院整形外科学講座

3) 滋賀医科大学医学部附属病院リハビリテーション科

【はじめに】

本研究の目的は、THA 術前後の歩行時エネルギー効率の変化を定量的に評価し、THA 術後早期における歩行効率、およびその関連要因を検討することである。

【対象と方法】

2012 年 9 月から 12 月に THA 目的で当院整形外科に入院した末期変形性股関節症患者 6 名（女性 5 名、男性 1 名、平均年齢 61.6 ± 8.9 歳、身長 155.1 ± 9.7 cm、体重 57.8 ± 7.9 kg）とした。手術は全例前側方侵入にて行われた。身体機能評価として関節可動域（股屈曲、伸展、外転）、下肢筋力（両側股屈曲・外転・伸展、膝伸展）、歩行速度（快適・最大）、TUG、歩行時疼痛（Visual Analogue Scale）、術側荷重率を測定した。代謝学的評価としてはトレッドミル上歩行時（歩行速度： 2.5 km/h）における酸素摂取量 VO_2 (ml/kg/min)、呼吸商 RQ、METs を測定した。さらに、体重 1 kg・ 1 m 当りの VO_2 から VO_2 cost (ml/kg/m) を算出し、歩行効率の指標とした。各種評価は術前および退院時に実施し、術前後の各変数の比較を対応のある t 検定にて検討した。有意水準は 5% 未満とした。

【結果】

術前と比較し退院時に歩行時疼痛および術側股関節外転筋力が有意に低い値を示した。その他の要因に関しては、術前後において有意な差は認めなかったが、 VO_2 cost は術前が 0.308 ± 0.048 ml/kg/m に対し、術後は 0.267 ± 0.051 ml/kg/m と減少傾向を示した。術前に対する退院時 VO_2 cost の減少率は平均 87% であった。

【考察】

退院時では歩行時疼痛および術側股関節外転筋力は術前と比較し低下していたが、歩行時エネルギー消費効率は改善する傾向が認められた。THA 術後早期では除痛効果や機能代償機構による歩行の再構築により、酸素摂取量からみた歩行効率が改善する可能性が示唆された。

1. はじめに

変形性股関節症(Hip Osteoarthritis: 以下、股OA)の外科的治療として行われる人工股関節全置換術(Total Hip Arthroplasty: 以下、THA)は、関節の痛みを除去し、歩行機能、QOLを向上させる効率的な治療介入である¹⁾²⁾。近年では、人工関節のデザイン改良や最小侵襲手術(Minimally Invasive Surgery: MIS)などの手術手技の改良、クリティカルパスの導入等により早期の機能回復や歩行獲得、在院日数の短縮が可能となっている³⁾⁵⁾。

一方で、術後においても、不十分な股関節周囲筋筋力の回復⁶⁾や歩行の非対称性⁷⁾⁸⁾、反対側股関節の罹患、社会・心理的不安⁹⁾などから活動制限が生じるため、身体活動実質(全身的歩行機能)の改善が十分に達成されているとは言い難い。また、身体活動の増進を念頭に歩行を評価するには、歩行の持久性や歩行時のエネルギー消費といった心血管¹⁰⁾・代謝学的な視点を踏まえた、全身的歩行機能として多面的に捉えていくことが重要である。

歩行時のエネルギー消費(Walking Energy Cost: 以下、WEC)に関する研究は、古くから行われており、健常者と高齢者の比較や脳性麻痺児、下肢切断者、脳卒中患者、標準体重と肥満患者との比較などが報告されている。これは、体重1kg当り1m歩行するのに必要なエネルギー消費を歩行効率として求め、歩行評価や治療効果判定として一般的に応用されている評価指標である。

THA患者におけるWECについても、過去の報告で股関節機能¹¹⁾や歩行速度¹²⁾との関連が報告されているが、THA患者の術前後の歩行効率に影響すると思われる年齢や性別、関節可動域、筋力、歩行機能といった詳細な関連要因についての検討はなされていない。また、以前の術後管理には免荷期間が必須であったが、近年では低侵襲手術の普及や術早期の運動療法介入により従来よりも短期間に大幅な歩行機能の改善が達成されている。したがって、現行の理学療法介入によるWECの変化を術前後で比較検討することは非常に重要である。

そこで本研究の目的は、THA術前後の歩行時エネルギー効率の変化を定量的に評価し、THA術後早期における歩行効率、およびその関連要因について明らかにすることである。また、THA術前後におけるWECの変化を明らかにすることは、単なる機能回復だけでなく、身体活動量を増加させ健康・体力づくりの増進にまで理学療法を発展させる新たな治療展開の一助になると考えられる。

2. 対象と方法

1) 対象

対象は、2012年9月から2012年12月の間にTHA目的で滋賀医科大学医学部附属病院整形外科に入院した患者のうち、本研究の同意が得られた股OA患者6名(女性5名、男性1名、平均年齢 61.6 ± 8.9 歳、身長 155.1 ± 9.7 cm、体重 57.8 ± 7.9 kg、BMI 24.0 ± 2.7 kg/m²、日本整形外科学会股関節機能判定基準(以下、JOA) 52.5 ± 9.1 点)とした(表1)。対象者の要約は、片側例が2例、両側例が4例であり、うち2例がすでに反対側のTHA済であった。なお、THA再置換術患者、過去に下肢整形外科疾患により股関節以外に手術の既往を有する者、歩行能力を阻害するような神経系および循環器疾患を有する者、5分以上の連続歩行が困難な者、なんらかの理由で当院クリティカルパスから逸脱した者は研究対象から除外した。

2) 術後リハビリテーション

手術は全例前側方侵入(Mini-one anterolateral approach⁵ 例、Hardinge approach¹ 例)にて行われた。術後療法には、全例当院クリティカルパスを採用した。術後は2日目よりドレーン抜去後、ベッド端坐位、車いす移乗を行い、3日目よりリハビリテーション室にて理学療法開始となる。術後離床時より可及的に疼痛自制内での全荷重および歩行許可とし、平行棒内歩行・歩行器歩行練習を行った。また、可及的関節可動域訓練、漸増筋力強化訓練を進めていった。術後2週経過時には杖歩行獲得を目指し、術後3から4週間でADL自立、階段昇降獲得にて退院となる。理学療法は1回/日、週5回行い、1回40～60分程度実施した。

また、術後理学療法は一名の理学療法士が担当し、その内容は前述の内容で統一して実施した。

3) 測定方法と歩行条件

関節可動域(Range Of Motion: 以下、ROM)は術側および非術側の股関節屈曲、伸展、外転の他動的ROMを測定した。

筋力評価では術側と非術側の股屈曲、外転、伸展、膝伸展の最大等尺性筋力を測定した。股関節筋力の測定には Hand-Held Dynamometer(OG 技研社製 ISOFORCE GT-300: 以下、HHD)を使用した。股屈曲筋力は座位にて股関節・膝関節屈曲90度、股伸展筋力は腹臥位とし、筋出力を受ける HHD のセンサーパッドを大腿遠位部前面および後面の膝関節裂隙上に当て、対象者が最大等尺性股屈曲・伸展運動を行った際の力(N)を測定した。股外転筋力は、仰臥位にて股外転0度の肢位で両大腿部をベルトにて固定し、HHD のセンサーパッドを大腿遠位部側面の膝関節裂隙側面に設置し、対象者が左右同時に最大等尺性股外転運動を行った際の力(N)を測定した。アーム長は大転子の最突出部から膝関節裂隙までの大腿長とした。測定にて得られた力(N)とアーム長(m)よりトルク(Nm)を算出し、それを対象者の体重(kg)で除したトルク体重比(Nm/kg)を算出した。膝伸展筋力の測定には筋力測定器(OG 技研社製 ISOFORCE GT-360)を使用して、股関節90度屈曲位、膝関節60度屈曲位での最大等尺性膝伸展筋力を測定した。対象者の下腿長に合わせて ISOFORCE のレバーアームを決定し、測定されたトルク(Nm)を対象者の体重(kg)で除したトルク体重比(Nm/kg)を算出した。各項目5秒間の最大等尺性筋力測定を2回繰り返し行い、最大値を採用とした。同一筋群、各筋群に対する測定の間には十分な休憩時間を設け、疲労や疼痛の影響が出ないように配慮した。

さらに、重心動揺計(MEDICAPTEURS 社製 WIN-POD)を用いて左右それぞれの荷重量を測定した。測定は重心動揺計上にて、両上肢を下垂させた30秒間の開眼閉脚立位課題とした。対象者には1.5m前方に目の高さに設置したマーカーを見るように指示し安静立位を行わせた。測定結果から、術側への荷重量を対象者の体重(kg)で除することで荷重率(%)を算出した。

歩行機能評価には10m歩行速度および Timed up&Go test(以下、TUG)を採用した。10m歩行評価では14mの平坦な歩行路を用いて行い、測定条件は快適歩行と最大歩行とした。対象者には「歩きやすい、快適な速さで歩いてください」と「出来るだけ速く歩いてください」とそれぞれ指示をし、歩行路の中間10m区間を通過するのに要する時間を測定した。

測定結果より各条件における歩行速度(m/min)を求めた。なお、両検査とも歩行補助具に関しては、術前は外出時と同様の、退院時はその時点で使用している補助具の使用を許可した。また、同時に歩行時の術側股関節痛を、100mmの Visual Analog Scale(以下、VAS)を用いて対象者に記録させ、mm単位で測定した。

WECの評価には間接的熱量計算法を用い、呼気ガス分析装置(ミナト医科学社製エアロモニタ AE-310s)にて測定した。測定条件はトレッドミル上での規定速度歩行とした(図1)。なお、末期股OA患者の快適歩行速度が0.93m/sec¹³⁾であり、トレッドミル上では1.5倍速に体感する¹⁴⁾と言われている。これより、約2.5km/hがその歩行速度に相当(37.2m/min)するため、本研究では2.5km/h(約41.66m/min)を規定歩行速度として設定した。また、不慣れや精神的不安による影響を考慮し、被験者には事前に設定速度にて5分間練習をさせたのちに測定を実施した。さらに、安全面を考慮し全ての被験者には歩行中非術側の手すりを把持させるようにさせた。測定は開始時安静座位から終了時安静座位までの呼気ガスを測定した。実験プロトコールは3分間の安静座位ののち、5分間のトレッドミル上歩行を行い、終了後2分間の安静座位を設けた(図2)。定常運動負荷の場合、VO₂ kinetics と呼ばれる、開始直後に酸素摂取量VO₂が指数関数的に急激に増加し、2、3分で定常状態に達する時間的推移が存在する¹⁵⁾ことから、計測は歩行中の酸素摂取量が定常状態に達していると思われた3分から4分までの1分間のデータを用いた。得られたデータより酸素摂取量(ml/kg/min: 以下、VO₂)、呼吸商(Respiratory Quotient: 以下、RQ)およびMETs(Metabolic Equivalent: 以下、METs)を求めた。さらにWECの指標として、VO₂を歩行速度(m/min)より求めた1分あたりの移動距離で除することで1mあたりの酸素摂取量(ml/kg/m: 以下、VO₂ cost)を算出した。

なお、すべての検査測定を術前と退院時に同一検者によって行った。



図1 トレッドミル上での実験の様子

表1 対象者特性(n=6,平均値±SD)

年齢(歳)	61.6±8.9
身長(cm)	155.1±9.7
体重(kg)	57.8±7.9
BMI(kg/m ²)	24.0±2.7
JOA*(点)	52.5±9.1

* 日本整形外科学会股関節機能判定基準



図2 実験プロトコール

4) 倫理的配慮

本研究は滋賀医科大学倫理委員会の承諾を得て行った(プロジェクト番号:3812375)。また、対象者には研究の趣旨を書面および口頭にて十分な説明を行い、書面にて同意を得て行った。

5) 統計学的解析

全ての統計解析には SPSS version 20,0 for windows を使用した。術前後の各身体機能と代謝学的要因の比較を対応のある t 検定にて検討した。なお、有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

1) 理学療法経過

対象者は全例術後クリティカルパスの逸脱もなく、退院時には杖歩行ないし独歩を獲得していた。また、全例自宅退院であった。平均在院日数は 22.8 日±4.3 日であった。

2) 術前および退院時身体機能

術前および退院時における術側・非術側の股関節可動域(屈曲・伸展・外転)および下肢筋力(股屈曲・外転・伸展、膝伸展)、歩行速度(m/min)、歩行時疼痛(VAS: mm)、TUG、荷重率を表 2 に示した。術前と比較し退院時では、術側股関節外転筋力が術前 $0.72 \pm 0.07\text{Nm/kg}$ であったのが退院時は $0.54 \pm 0.12\text{Nm/kg}$ と有意に低い値を示した($p=0.04$)。一方で、歩行時疼痛は術前 $49.33 \pm 23.33\text{mm}$ であったのに対し、退院時では $9.83 \pm 12.69\text{mm}$ と有意に低下していた($p=0.02$)。その他の要因に関しては、術前後において有意な差は認めなかった。

表2 術側と非術側の術前および退院時の各測定値の平均値(n=6)

		術側		非術側	
		術前	退院時	術前	退院時
股関節ROM(°)	屈曲	86.7±16.3	90.0±8.4	101.7±12.1	102.5±12.9
	伸展	5.0±3.2	7.5±2.7	12.5±5.2	15.8±3.8
	外転	25.8±14.3	27.5±9.4	32.5±6.9	34.2±5.8
股関節筋力(Nm/kg)	屈曲	1.15±0.24	1.13±0.23	1.24±0.09	1.3±0.11
	外転	0.72±0.07	0.54±0.12 *	0.72±0.17	0.57±0.12
	伸展	0.89±0.35	1.13±0.24	1.32±0.28	1.42±0.28
膝関節筋力(Nm/kg)	伸展	1.23±0.32	1.11±0.36	1.3±0.3	1.45±0.29
快適歩行速度(m/min)		54.57±9.30		53.64±3.32	
最大歩行速度(m/min)		80.51±20.19		82.66±13.55	
疼痛(mm)		49.33±23.33		9.83±12.69 *	
TUG(sec)		8.91±1.95		8.96±1.18	
荷重率(%)		36.17±12.06		41.33±12.13	

平均値±SD

* $p<0.05$

3) 術前後における歩行効率の変化

術前および退院時における VO_2 、RQ、METs、 $\text{VO}_2 \text{ cost}$ の結果を表 3 に示した。測定された各代謝学的因子は、術前および退院時における比較では全て有意差が認められなかった。また、WEC の指標である $\text{VO}_2 \text{ cost}$ においても、術前が $0.308 \pm 0.05 \text{ ml/kg/m}$ に対し、術後は $0.267 \pm 0.05 \text{ ml/kg/m}$ と有意差は認められなかった($p=0.051$)。術前に対する退院時 $\text{VO}_2 \text{ cost}$ の減少率は平均 87%であった。

表3 術前および退院時における各代謝学的因子の平均値(n=6)

	術前	退院時	p値	95%CI	
VO ₂ (ml/kg/min)	12.85±2.01	11.12±2.13	0.051	-0.014	3.460
RQ	0.88±0.06	0.92±0.10	0.380	-0.141	0.064
METs	3.67±0.57	3.18±0.61	0.051	0.193	-0.002
VO ₂ cost(ml/kg/m)*	0.308±0.048	0.267±0.051	0.051	-0.001	0.083

* 移動距離1mあたりの酸素摂取量(2.5km/h)
平均値±SD
95%CI : 95% confidential interval

4. 考察

1) 術前後における身体機能の推移について

本研究における対象者の術前股関節外転筋力は、術側 $0.72 \pm 0.07 \text{ Nm/kg}$ 、非術側 $0.72 \pm 0.17 \text{ Nm/kg}$ と本邦における先行研究¹⁶⁾¹⁷⁾と比較し、同等ないしわずかに高い値であった。同様に、最大歩行速度および TUG においても先行研究¹³⁾¹⁸⁾と同等に近い値であり、本研究の対象者は一般的な THA 術前機能を有した股 OA 患者であったと推察された。

また、術前・退院時において身体機能は有意差を認めなかったため、概ね術前値まで回復していた。しかし、術側股関節外転筋力は、術前値と比較し有意に低値を示した。THA 後の術側股関節外転筋力の推移については諸家らの報告があり、術後 4 週で術前値の 141.5%まで改善する¹⁹⁾との報告や、術後数ヵ月～1 年で非術側と同程度まで回復する²⁰⁾との報告がある。一方で、THA の手術進入路の違いにより術中侵襲を受ける筋が異なるため、術後の筋力回復の推移についても術式間で異なる。本研究同様、前側方侵入における股関節外転筋力の推移に関しては少数の報告があり、術後 4 週では、術前値の 94%であるとする報告¹⁶⁾や、トルク体重比で $0.41 \sim 0.54 \text{ Nm/kg}$ であった²¹⁾との報告があり、本研究も同程度の結果となった。前側方侵入では中殿筋や小殿筋の剥離を行うため、術後は歩行時や股関節外転運動時、縫着部に疼痛を訴える患者も少なくない。そのため、Duchenne 破行や外転破行といった疼痛回避性破行を呈するようになり、一時的に外転筋活動が不十分となった結果として機能低下を招いたと考える。したがって、股関節外転筋力の機能回復が退院時という比較的短期間では回復が不十分となる可能性があると考ええる。

2) 術前後における WEC の変化について

本研究の結果、VO₂ cost は術前後の比較で統計学的に有意差は認められなかったが、術前と比較し退院時には減少傾向を示し、THA 後は WEC が向上する可能性が示唆された。対象者の中には、術前値に対して退院時 68%まで VO₂ cost が減少した症例も存在した。術前後において有意差はなかったものの、術後早期においても術後半年から 1 年で歩行効率が改善すると示した諸家ら¹¹⁾¹²⁾²²⁾の報告と一致する傾向が認められた。

WEC を示す指標のひとつである VO₂ cost(ml/kg/m)は、体重 1kg 当り 1m 歩行するのに必要なエネルギー消費であり、酸素摂取量 VO₂ を歩行速度で除した値とほぼ一致する。したがって、VO₂ cost は歩行速度の影響を受け²³⁾、歩行速度が遅すぎても早すぎてもエネルギー消費は大きくなる。一般的には 60～80m/min で最小となり、至適歩行速度と言われる²³⁾。健常者の歩行時エネルギー消費は、至適歩行速度でおおよそ $0.104 \sim 0.198 \text{ ml/kg/m}$ ²⁴⁾とされ、年齢や体型、身体運動に関連する筋群の筋活動や運動機能障害等に影響されることが報告されている。また、正常歩行ではエネルギー消費を最小限にするために、下肢・骨盤の複合運動により歩行中の重心移動を最小限にする運動学的方略が存

在する²⁵⁾。しかし、何らかの関節機能異常を生じると歩行障害を来すとともに、運動学的方略が破綻し容易に歩行時のエネルギー消費の増大を招くと考えられる。特に、変形性股関節症患者では股関節の構造学的破綻から生じる疼痛や筋力低下、関節可動域制限、脚長差等により Trendelenburg 歩行を代表とする骨盤の代償運動や体幹動揺の増大などの特徴的な異常歩行を呈す。Larsen ら²⁶⁾は、股 OA 患者は健常者と比較し、1 日における歩行時のエネルギー消費が同程度にも関わらず歩数は 29.3%も少なかったとことを報告しており、歩数当りのエネルギー消費が増大していることが推測される。したがって、モーメントや重心移動評価を代表とする運動力学による局所の分析に限らず、全身的代謝エネルギーを定量的に評価することができる呼気ガス分析装置によって歩行時のエネルギー消費を検討する必要がある。Warters ら²⁷⁾も、呼気ガス分析法を用いて歩行効率を評価しており、一側の股関節の固定により歩行時のエネルギー消費は約 32%増大すると報告し、歩行効率における股関節運動の重要性を示唆している。本研究においても、VO₂ cost の術前値は $0.308 \pm 0.058 \text{ ml/kg/m}$ と健常者よりも高い値を示しており、股 OA 患者では歩行時のエネルギー消費が増大していることが認められる。

しかしその一方で、THA 後の歩行効率の変化を検討した報告は少ない。Brown ら¹²⁾は、術後 1 年で歩行効率(ml/kg/m)が術前と比較し有意に改善したと報告し、Mattoson¹¹⁾らや Andrew²²⁾らも同様に術後 6 か月から 1 年で歩行効率(ml/kg/m)が改善したとしており、股関節機能の向上や歩行速度の至適速度化が影響していると報告している。しかし、本研究では、術前後においては歩行速度に変化がなかったことから、至適歩行速度へ近づいたことによる改善ではないと考えられ、その他の要因が関連していると思われる。

本研究では、身体機能評価より THA 術前後に変化した要因は、歩行時疼痛の減少と術側外転筋力の低下である。術前からの股関節痛は歩行時の股関節周囲筋の過緊張や異常歩行を助長し歩行効率の低下を招く要因であると推察される。先行研究においても、疼痛減少に関連し歩行機能および WEC が改善することが示されている¹¹⁾²⁸⁾。本研究でも、歩行時疼痛は術前 $49.33 \pm 23.33 \text{ mm}$ であったのに対し、退院時では $9.83 \pm 12.69 \text{ mm}$ と有意に低下しており、THA 本来の除痛効果による歩行機能の改善が歩行効率の向上に影響を与えた可能性が考えられる。

一方で、術側股関節外転筋力は術後でも有意に低値であったことから歩行効率の改善には影響しない可能性が示唆された。先行研究において THA 術後早期では歩行立脚期での股関節外転モーメントの発揮が不十分であることは明らかであり、最近ではその股関節の機能低下を足関節運動によって代償していることが報告されている²⁹⁾³⁰⁾。したがって、THA 術後早期では下肢関節間の合理的な機能代償機構により歩行効率を損なうことなく歩行動作を達成しているものと思われる。

さらに、先行研究によると片側股 OA 患者の歩行時の骨盤や股関節運動の非対称性は THA 術後徐々に改善し、6 か月から 12 か月で左右対称となると報告されている⁷⁾³¹⁾。関節運動の非対称性に限らず歩行時の重心移動に関しても、術後 4 週では非対称性パターンを呈するが、術後 6 か月では健常人と同様の対称性パターンに改善し、生体力学的観点においても歩行効率が改善することが示されている⁸⁾。若年者においても重心の移動量と歩行時エネルギー消費量との間に相関が認められている³²⁾ことから、術後の歩容の変化が歩行効率の改善に寄与している可能性が考えられる。

以上のことから、THA 術後では除痛効果や下肢関節間における機能代償機構が歩行時エネルギー消費効率の改善に寄与していることが示唆された。また、本研究により、術後の理学療法においては関節可動域や股関節筋力、歩行の時間的要因といった量的な要素のみならず、身体各部位の機能的関連を全身的に捉えて代償歩行パターンや歩容といった質的な要素へのアプローチを展開していくことが重要であると考えられた。

3) 本研究の限界

本研究では対象者が少なかったために有意差がでなかった可能性がある。本研究を実施する際に必要な標本規模は、先行研究²²⁾の THA 術後 VO_2 cost の結果（例： $0.218 \pm 0.07 \text{ ml/kg/m}$ ）、検定方法として t 検定を用いること、効果量を 20% と設定すること、両側検定で分析すること、などから算定すると 45 人となる。さらに、脱落者の発生も考慮すると、約 50 人程度の追加検討が必要と思われる。したがって、対象者を増やした場合に THA 術後の VO_2 cost に有意差がでる可能性があるため、今後もさらなる検討を重ねていく必要がある。また、本研究では片側だけでなく両側罹患例も対象者に含めているため非術側股関節機能の影響も受けると考えられ、股 OA の罹患側や進行程度による検討も重要であるとする。最後に、本研究の限界は対象者数が不十分な為、多変量解析を用いた要因分析によりどのような要因が VO_2 cost に影響を及ぼすのかについては検討できていないことであり、今後の研究課題になると考える。

5. 結語

THA 術前後における身体機能および歩行時エネルギー消費効率の変化について調査した。結果、退院時では歩行時疼痛および術側股関節外転筋力は術前と比較し低下していたが、歩行時エネルギー消費効率は改善する傾向が認められた。THA 術後早期では除痛効果や機能代償機構による歩行の再構築により、酸素摂取量からみた歩行効率が改善する可能性が示唆された。

6. 引用参考文献

1. Jones DL, Westby MD, Greidanus N, et al: Update on hip and knee arthroplasty; current state of evidence. *Arthritis Rheum* 2005, 53(5):772-780.
2. Catherine J Minns Lowe, Karen LB, Michael ED, Catherine MS: Effectiveness of physiotherapy exercise following hip arthroplasty for osteoarthritis: a systematic review of clinical trials. *Musculoske Dis* 2009, 10:98.
3. Lyoyd JM, Wainwright T, Middleton RG: What is role of minimally invasive surgery in a fast track hip and knee replacement pathway?. *Ann R Coll Surg Engl* 2012, 94:148-151.
4. Dave WC, Chih CH, Yu HC, Wen EY, Mel SL: Comparison of Clinical Outcome in Primary Total Hip Arthroplasty by Conventional Anterolateral Transgluteal or 2-Incision Approach. *The Journal of Arthroplasty* 2009, 24(4):529-532.
5. Henrik H, Gitte H: Fast Track in total hip and knee arthroplasty – experiences from Hvidovre University Hospital, Denmark. *Injury Int J Care Injured* 2006, 37:31-35.

6. Melanie LB, Mario L, Paul EB: Lower limb biomechanics during gait do not return to normal following total hip arthroplasty. *Gait&Posture* 2010, 32:269-273.
7. Miki H, Sugano N, et al: Recovery of walking speed and symmetrical movement of pelvis and lower extremity joint after unilateral THA. *J Biomech* 2004, 37:443-455.
8. Nankaku M, Tadao T, Ryosuke K, et al: Gait analysis of patient in early after total hip arthroplasty: effect of lateral trunk displacement on walking efficiency. *J Orthop Sci* 2007, 12:550-554.
9. 小野 玲, 平田 総一郎, 山田 実: 人工股関節形成術後 1 年以上経過した女性患者の身体活動と股関節障害および心理社会的要因の関係. *理学療法学* 2005, 32(6):374 - 379.
10. Edward FP, Michael DR, Timothy SF: Feasibility of Maximal cardiopulmonary Exercise Testing in Patient With End-Stage Arthritis of the Hip and Knee Prior to Total Joint Arthroplasty. *Chest* 1995, 108:174-181.
11. Mattoson E, Brostrom LA, Linnarsson D: Walking Efficiency After Cemented and Noncemented Total Hip Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1990, 254:170-179.
12. Brown M, Hislop HJ, Waters RL, et al: Walking Efficiency Before and After Total Hip Replacement. *Phys Ther* 1980, 60:1259-1263.
13. Inge van den AS, Martin S, Sjoerd K, et al: Recovery of Gait After Short-Stay Total Hip Arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil* 2007, 88:361-367.
14. 久保晃: トレッドミルの歩行速度の知覚について. *運動生理* 1991, 6(1):33 - 38.
15. 右田孝志, 平木場浩二: 一定負荷運動時の酸素摂取動態の生理学的意義. *日本運動生理学雑誌* 2004, 11(2):39 - 60.
16. 塚越累、建内宏重、他: 人工股関節全置換術後における股関節・膝関節周囲筋の筋力推移の比較-膝関節伸展筋力の回復は遅延する-. *理学療法学* 2009, 36(2):41 - 48.
17. Nankaku M, Tadao T, Haruhiko A, et al: Factors Associated with the Recovery of Walking Ability Following Total Hip Arthroplasty. *J, Phys Ther Sci* 2011, 23:733-735.
18. Deborah MK, Paul WS, Steven Eh, et al: Modeling early recovery of physical function following hip and knee arthroplasty. *Musculoskeletal Disorder* 2006, 7:100
19. 池添裕史、綾部仁士、森口晃一、他: 人工股関節全置換術後早期の股関節外転筋筋力の推移. *理学療法学* 2005, 32(7):423 - 428.
20. Berticci GE, Munin MC, et al: Isokinetic performance after total hip arthroplasty. *J Phys Med Rehabil* 2004, 83(1).
21. Nankaku M, Tsuboyama T, et al: Prediction of ambulation ability following total hip arthroplasty. *J OrthopSci* 2011, 16:359-363.
22. Andrew AM, Madison, Michael SB, et al: Walking Efficiency before and after Total Hip Replacement as Determined by Oxygen Consumption. *J Bone Joint Surg.* 62A(5). 1980;807-810
23. Ralstone HJ: Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *Int Z Angew Physiol Einschl Arbeitsphysio* 1958, 17:277-283.
24. 岩崎 富子: 運動生理学の流れ - 片麻痺歩行時の酸素消費量と心拍数 -. *運動生理* 1987, 2(3):175 - 178.

25. Inman VT: Human Locomotion. *Canad Med Ass J*. May 1966, 14(94):1047-1054.
26. Larsen AH, Roos EM: Objectively measured physical activity in patients with end stage knee or hip osteoarthritis. *Eur Phys Rehabil Med* 2012, 48:1-9.
27. Waters RL, Barnes G, Husserel T, et al: Energy expenditure following hip and ankle arthrodesis. *J Bone joint Surg* 1988, 70A:1032.
28. Frederic D, Tania A, Maite C, et al: Outcome assessment in osteoarthritic patients undergoing total knee arthroplasty. *Acta Orthop Belg* 2004, 70:38-45.
29. Perron M, Malouin F, et al: Three-dimensional gait analysis in women with a total hip arthroplasty. *Clin Biomech* 2000, 15:504-515.
30. Tateuchi H, Tukagoshi R, et al: Dynamic hip joint stiffness in individuals with total hip arthroplasty: Relationships between hip impairments and dynamics of the other joints. *Clin Biomech* 2011, 26:598-604.
31. Caroline HB, Jorunn LH, Willemijn V, et al: Changes in Gait Symmetry, Gait Velocity and Self-reported Function Following Total Hip Replacement. *J Rehabil Med* 2011, 43:787-793.
32. Nicolas P, David T, Laurie I, et al: Do metabolical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents?. *J App Physiol* 2009, 106:1763-1770.