

## 研究報告



# 大腿骨頸部骨折骨接合術後患者の歩行分析

## — 10 m 自由歩行における荷重変化からの考察 — \*

山田 寛<sup>1)</sup>・白木隆之<sup>1)</sup>・下地健雄<sup>1)</sup>・高田美穂<sup>1)</sup>・星野啓介<sup>2)</sup>

### 【要 旨】

【目的】大腿骨頸部骨折に対し骨接合術を施行した患者（以下、頸部骨折術後患者）の急性期における歩行分析において、歩行開始直後の不安定性をよく経験する。そこで本研究は、頸部骨折術後患者の一歩行検査における患側下肢荷重推移に着目し、そのデータから歩行の安定性評価の客観的指標を確立することを目的とした。【方法】対象は頸部骨折術後患者 13 例とした。下肢荷重測定はインソールタイプの測定装置を用い、歩行条件は平行棒内での自由歩行 10 m とした。測定は術後 1・7・14 日目に実施した。分析項目は、全足底荷重率および前足部荷重率、後足部荷重率のそれぞれ最大値を代表値とした。また、後足部から前足部への荷重変化を計測し、足底における重心移動の円滑性について分析した。それらを一検査における患側下肢の初歩と最終歩にて比較検討した。また、疼痛・歩行率・歩行速度において術後経過日数間で比較検討した。【結果】術後 7 日目では、最終歩において全足底荷重率の増加を認めた。術後 14 日目では、最終歩において量的変化に加え足底における重心移動は円滑となった。疼痛および歩行率、歩行速度は経日的に改善を認めた。【結論】急性期においては、疼痛が軽減した段階でも一歩行検査において荷重率や重心移動の円滑性は変化することから、経時的変化を考慮し、歩行の安定性を判断する必要があると考えられた。

キーワード：大腿骨頸部骨折術後，自由歩行，荷重変化

### はじめに

大腿骨頸部骨折は高齢社会に伴い増加の一途をたどっており、2007 年に約 15 万例とされていた発症件数は、2030 年には約 30 万人までにのぼると推定されている<sup>1)</sup>。この骨折は下肢運動機能の低下を招き、歩行能力が著しく低下する疾患である<sup>2)3)</sup>。そのため、術後のリハビリテーションで

は、早期より起立・歩行練習を開始し、受傷前における移動能力の再獲得を目指すことが重要である。

頸部骨折術後患者の歩行練習を進めるにあたり、荷重率および歩容評価は歩行補助具の選定や歩行自立度の判断をする上で重要である<sup>4)6)</sup>。従来の荷重率評価は体重計や床反力計を用いた方法が多い。しかし、歩行路に設置した荷重計での測定では、歩幅や歩行速度は調節され患側下肢の意識した一歩となることから、過荷重となりやすく、臨床的な有効性は低いという報告がある<sup>6)7)</sup>。そのため、歩行の安定性を判断する場合、自由歩行またはそれに準じた歩行条件で荷重率を評価する必要がある。また、歩行の安定性の向上に伴い“できる ADL”から“している ADL”へ繋げる必要があるが、転倒の発生は歩行開始初期が多い<sup>8)</sup>という報告があり、急性期の臨床においても一歩行検査における歩行開始直後の不安定性をよく経験

\* Gait analysis after osteosynthesis for femoral neck fracture  
— The study from load changes by 10 m free walk —

1) 小牧市民病院 リハビリテーション科  
(〒485-8520 愛知県小牧市常普請1丁目20番地)  
Hiroshi Yamada, PT, Takayuki Shiraki, PT, Takeo Shimoji,  
PT, Miho Takada, PT: Department of Rehabilitation,  
Komaki City Hospital

2) 小牧市民病院 整形外科  
Keisuke Hoshino, MD: Department of Orthopedic Surgery,  
Komaki City Hospital

# E-mail: hiroshi.RPT0327@outlook.jp

する。このことから、非監視下での歩行を自立とするか判断に苦慮することは多い。急性期では、疼痛に伴う下肢運動機能低下および恐怖心によって荷重率は低値となるが、炎症の軽減に伴い下肢運動機能の変化は急速で、荷重においても一日の歩行練習の中で変化する可能性があり、さらには一歩行検査の中でも変化する可能性があると思われる。そのため、従来の荷重測定方法による一歩の荷重率評価では、過大・過小評価に繋がると考えられ、一歩行検査における荷重変化を分析することが、歩行の安定性を判断する上で重要であると思われる。

そこで今回、我々は術後患者に対して、インソールタイプの下肢荷重測定装置を用い、自由歩行での歩き出しの一步を初歩、歩行における最後の一步を最終歩とし、それらの荷重変化に着目し、歩行の安定性について検討したので報告する。

## 対象および方法

2013年9月から2016年9月までの間、大腿骨頸部骨折に対してハンソンピンでの観血的骨接合術を施行した症例のうち、術後翌日より平行棒内歩行を開始し、術後14日目以内にT字杖歩行の開始に至った症例13例（男性3例、女性10例）とした。平均年齢は72.4 ± 10.2歳であった。骨折型はGarden分類 Stage I : 8例, II : 4例, III : 1例であった。除外基準として、術前より独歩もしくはT字杖歩行が自立していない症例、認知症または著しい運動器疾患を有する症例、術後に荷重制限の指示があった症例を除外した。なお、本研究実施にあたって、当院倫理規定に基づき対象者には十分な説明を行い、同意を得て行った。

### 1. 下肢荷重測定装置 (Canon 社製 SmartStep™)

インソールタイプの下肢荷重測定装置であり、インソール、コントロールユニット、コンピューター（解析ソフト）で構成される（図1）。インソールは空気圧式であり前足部・後足部の2区画に分かれ、各区画の空気圧を下腿に装着したコントロールユニットが検知する。得られたデータはBluetoothにてコンピューターに転送され解析ソフトにて解析する。荷重量は体重比に換算され、後足部荷重率（以下、Hind）及び前足部荷重率（以下、Fore）と、両者を合成した全足底荷重率（以下、Entire）が測定可能である。

SmartStepで得られる健常者の歩行の波形は、特徴として立脚相において後足部・前足部それぞれに高い峰を持つ二峰性の波形となる（図2）。後足



図1. SmartStepの構成

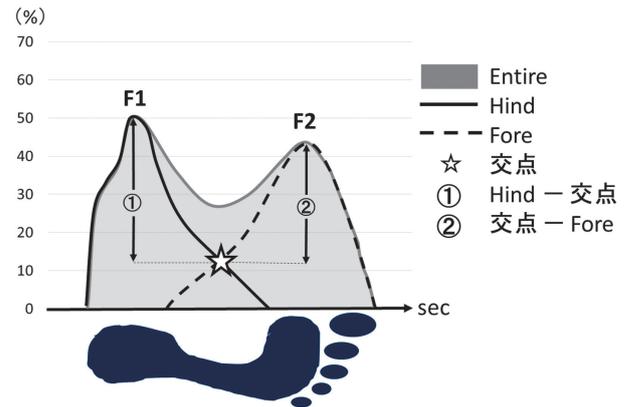


図2. 二峰性波形の歩行

部における峰（以下、F1）は荷重応答期と立脚中期の間に起こり、前足部における峰（以下、F2）は立脚終期から前遊脚期の間にかかる。これら2つの峰は足底における後方から前方への重心位置の変化を反映している。

### 2. 測定条件

平行棒内において任意で上肢支持できるような環境設定をし、患者には可能な限り患側下肢に荷重を加えて歩行するように口頭指示した。測定は平行棒内1往復（10 m）の自由歩行とし、方向転換時の一步は測定から除外した。また、歩行直後にVisual Analogue Scale（以下、VAS）を用い、最大値を100 mmとして疼痛の程度を評価した。測定は毎日実施し、今回は手術後1日目・7日目・14日目（postoperative day : 以下、POD1・7・14）の検査結果に着目した。

### 3. 分析項目

一検査における患側下肢の初歩と最終歩のEntire・Hind・Foreのそれぞれの最大値を代表値とした。

また、波形の形状から足底における重心移動の円滑性を分析した。健常者における歩行の波形では、F1およびF2は身体重心の下方への動きを減

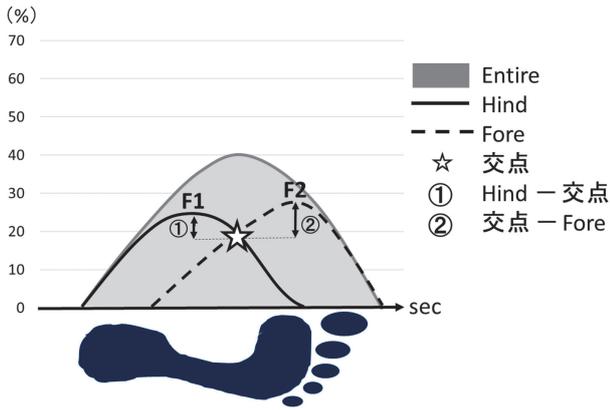


図3. 一峰性波形の歩行

衰させ、上方へ加速させるため、HindとForeの交点は身体重心の上方への動きによって、F1およびF2と比較し小さく表れる(図2)。よって、Entireの波形の形状において、二峰性波形であることは足底における後方から前方への重心移動が円滑であることを反映している。一方、立脚時間の延長や足底全面接地による歩行では、立脚中期における身体重心の上方への加速は減少するため、HindとForeの交点はF1およびF2に近づき差は小さくなる(図3)。よって、Entireの波形

の形状は平坦波形もしくは一峰性波形となり、足底における重心移動は円滑でないことを意味している。これらより、足底における後方から前方への重心移動の円滑性を評価するために、波形からHindとForeの交点の位置を計測し、Hindと交点の荷重率の差(Hind—交点:図2,3の①)およびForeと交点の荷重率の差(交点—Fore:図2,3の②)を求めた。

4. 統計処理

荷重率および波形の値について、POD1・7・14において初歩と最終歩を比較するために、対応のあるt検定を実施した。また、VASおよび歩行率、歩行速度について、POD1・7・14の術後経過日数間で比較するために、多重比較Bonferroni法を実施した。統計解析はIBM SPSS Statistics (Version 21)を用い、有意水準は5%とした。

結果

1) POD1における荷重率および波形(表1)

荷重率ではEntire・Hind・Fore全てに初歩と最終歩で有意な差を認めなかった。また、Hind—交点・交点—Foreにおいて、初歩と最終歩で有

表1. 術後経過における初歩および最終歩の荷重率と波形

	(%)	POD1		POD7		*	POD14		*
		初歩	最終歩	初歩	最終歩		初歩	最終歩	
Entire	(%)	27.7 ± 19.2	32.1 ± 14.5	64.9 ± 17.0	72.2 ± 19.9	*	78.2 ± 17.2	84.1 ± 13.8	*
Hind	(%)	15.7 ± 13.2	22.1 ± 17.8	40.8 ± 21.5	44.3 ± 17.1		50.4 ± 12.8	61.2 ± 12.6	**
Fore	(%)	14.5 ± 14.1	15.1 ± 12.1	48.0 ± 23.1	53.2 ± 29.7		64.5 ± 25.6	64.8 ± 29.2	
Hind—交点	(%)	10.2 ± 13.2	10.7 ± 17.6	19.5 ± 15.3	18.3 ± 14.3		21.1 ± 13.3	28.3 ± 15.0	*
交点—Fore	(%)	10.0 ± 12.0	7.2 ± 9.8	26.8 ± 20.4	28.1 ± 23.9		33.4 ± 21.5	46.8 ± 28.9	**

※ POD1・7・14において、初歩と最終歩の値を比較した。

(平均値 ± SD)

\* p < 0.05    \*\* p < 0.01    POD: postoperative day

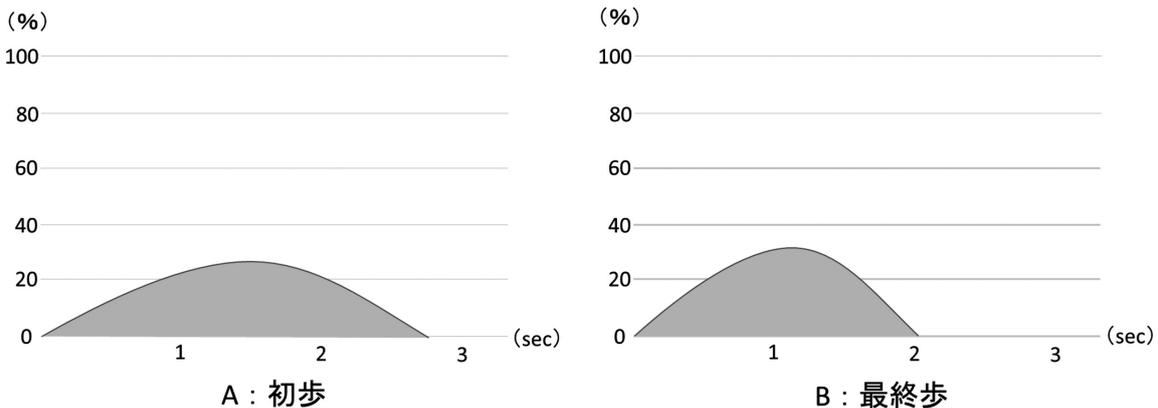


図4. postoperative day 1における平均波形 (A: 初歩 B: 最終歩)

意な差を認めなかった。典型的な波形を図4に示す。形状は、初歩・最終歩ともに平坦な波形を示した。

Foreにおいて、初歩と最終歩で有意な差を認めなかった。典型的な波形を図5に示す。形状は、初歩・最終歩ともに一峰性波形を示した。

2) POD7における荷重率および波形(表1)

荷重率ではEntireにおいて最終歩で有意に高値を示した。HindおよびForeは初歩と最終歩で有意な差を認めなかった。Hind — 交点・交点 —

3) POD14における荷重率および波形(表1)

荷重率ではEntire・Hindにおいて最終歩で有意に高値を示した。Foreは初歩と最終歩で有意な差を認めなかった。Hind — 交点・交点 — Foreにお

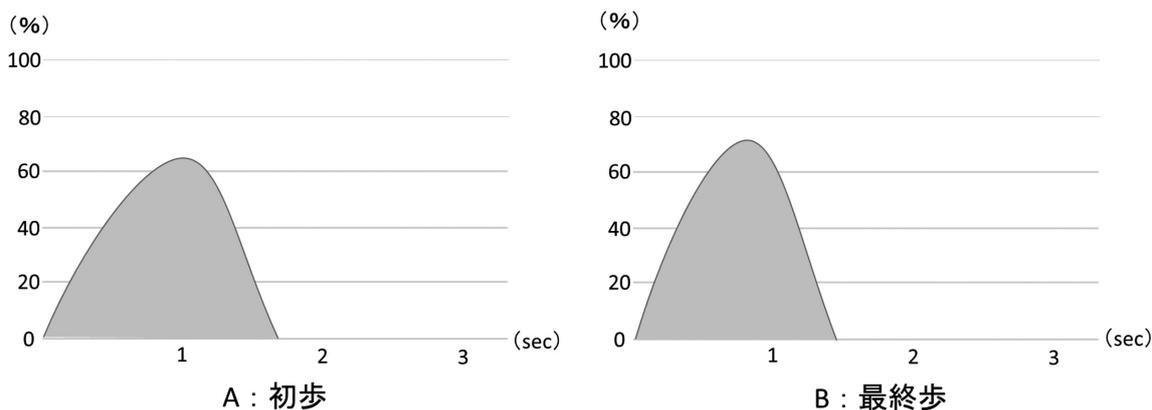


図5. postoperative day 7における平均波形 (A: 初歩 B: 最終歩)

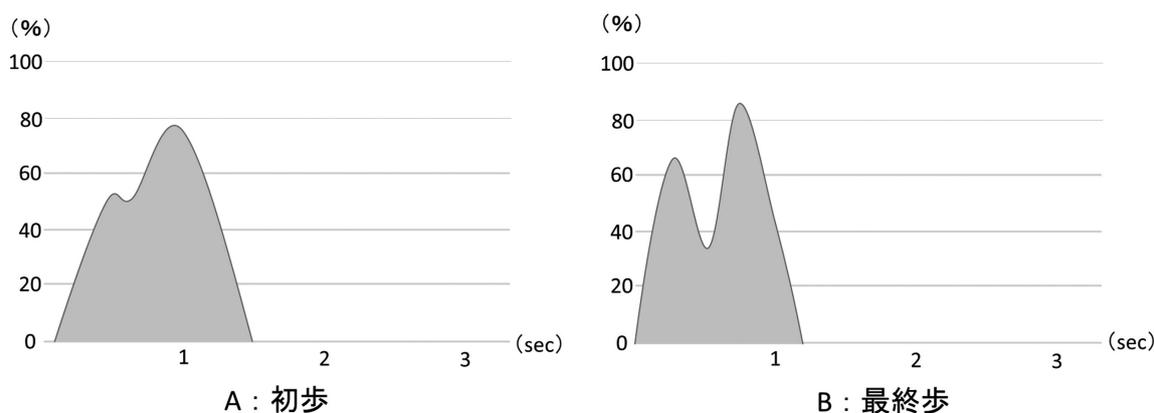


図6. postoperative day 14における平均波形 (A: 初歩 B: 最終歩)

表2. 疼痛および歩行率, 歩行速度の術後経過

		POD1		POD7		POD14
VAS	(mm)	51.2 ± 25.0	† ††	18.8 ± 14.2		9.2 ± 10.0
歩行率	(step/min)	46.6 ± 14.6	† ††	64.1 ± 14.3	††	83.4 ± 17.7
歩行速度	(m/sec)	0.3 ± 0.1	† ††	0.5 ± 0.2	††	0.7 ± 0.2

※ 術後経過日数間で比較した。

(平均値 ± SD)

† : p < 0.05 VS POD7    †† : p < 0.05 VS POD14

VAS : Visual Analogue Scale    POD : postoperative day

いて、最終歩で有意に高値を示した。典型的な波形を図6に示す。形状では、初歩は一峰性波形を示したが、最終歩は二峰性波形を示した。

#### 4) 疼痛および歩行率、歩行速度の経過 (表2)

疼痛ではPOD1に対しPOD7・14は有意に改善を認めた。POD7に対しPOD14は有意な差を認めなかった。歩行率、歩行速度ではPOD1に対しPOD7・14は有意に増加を示した。また、POD7に対しPOD14は有意に増加を示した。

### 考察

POD1では、全ての荷重率および波形に初歩と最終歩で変化を認めなかった。VASはPOD7・14に対し有意に高値を示した。大腿骨頸部骨折術後の疼痛は、骨折時に生じた軟部組織損傷および手術侵襲による軟部組織の疼痛があり<sup>9)</sup>、術後の炎症反応として術後2～3日でピークに達するとされている<sup>10)</sup>。また、今回、全症例においてハンソンプインを用いて骨接合術を行っている。ハンソンプインシステムは術後荷重歩行により、telescopingすることで骨癒合を得るシステムである<sup>11)</sup>。このことから、荷重を加えることで、近位・遠位骨片のmicro movementによる骨性疼痛が生じると考えられる。これらより、炎症期における強い疼痛に対する自己防御機構として上肢支持が一検査通して強く働いたため、荷重率は低値となり、足底における円滑な重心移動も不十分であると考えられた。また、歩行率および歩行速度において、POD7・14に対し有意に低値を示したことから、一歩行検査を通し、ゆっくりとした歩行速度で、疼痛を回避した歩行になっていると思われた。

POD7では、荷重率はEntireのみ平均値64.9%から72.2%と最終歩で有意に増加を認めた。また、VASはPOD1に対し有意に軽減し、平均値も18 mmと軽度なものとなっていた。一般的に術後7日目は、創治癒過程において増殖期に移行する段階であり、炎症マーカーも軽減する時期である。このことから、炎症期における疼痛は軽減してきていると考えられる。さらに、Entireにおける平均荷重率も初歩において60%であり、荷重によるtelescopingが起こればmicro movementでの疼痛も減少に転じている段階と考えられる。そのため、患肢立脚相において、疼痛レベルを確認しながら徐々に上肢支持を解除することで、荷重の量的増加を認めたと考えられた。また、波形では初歩と最終歩において変化を認めなかった。図7に示す波形はSmartStepにおける成人健常者の波形の一

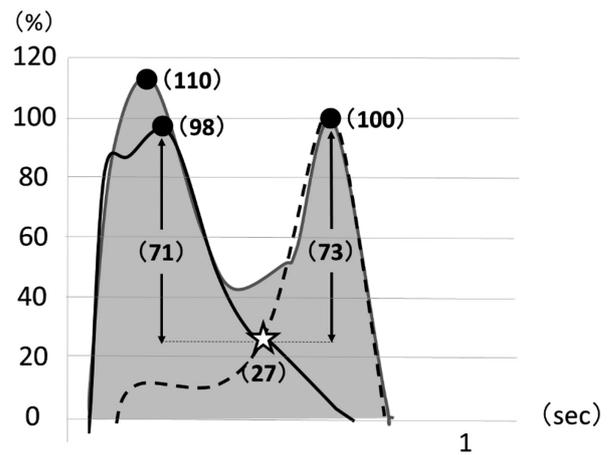


図7. 成人健常者における波形の一例

例であり、交点の位置は体重の約30%に位置し、F1およびF2と交点の距離は体重の約70%である(当院Data)。Hind — 交点および交点 — Foreは、初歩と最終歩ともに30%以下と健常者と比較し低値であり、初歩と最終歩に有意な差を認めなかった。これは、患側下肢の全足底接地での歩行を意味しており、足底における円滑な重心移動は不十分であることから、歩行における立脚相の十分な筋活動は発揮できていない可能性が考えられる。よって、POD7では荷重の量的変化を認める段階であり、歩数を重ねた後の一歩での荷重率評価は、過大評価に繋がることが危惧された。

POD14では、荷重率はEntireにて平均値78.2%から84.1%と最終歩で有意に増加を認め、Hindにおいても最終歩で有意に増加を認めた。また、VASはPOD7と比較し有意な差を認めなかった。Entireにおける平均荷重率が初歩において80%前後であることから、荷重によるtelescopingがさらに進行しmicro movementが抑えられることで、骨折部の安定化が進んでいるものと考えられる。疼痛に変化がないにも関わらず、初歩と最終歩に変化を認めた一要因として、急性期における疼痛は強く鋭い痛み の性質を持ち、これが短期的に軽減した故に、疼痛に対する警戒心から歩行開始時に自己防御機構として上肢支持が働いた可能性がある。歩数を重ねることによって、心理的要因は軽減し上肢支持が解除されることで、最終歩での荷重率増大に繋がったと考えられた。また、Hindでの荷重率変化を認めたことから、Hindにおける荷重率は荷重応答期における後足部での衝撃吸収能を表しており、初歩で低値であることは衝撃吸収能が不十分であり、一歩行検査の中でも変化する状況であった。波形はHind — 交点および交点 — Foreにおいて最終歩で有意に増加を認め、二峰性

波形に近づいた。さらに、歩行率および歩行速度ではPOD7に対し有意に増加していることから、歩行時の重心移動の円滑性は改善していると思われる。このことから、患側立脚相における足底での重心移動の円滑性は一歩行検査の中で変化しており、同様に筋活動も変化する段階と考えられた。歩行における転倒防止の観点から、患側下肢は体重支持能力に加え、外乱刺激に対するステップング反応として、急激な荷重コントロールが要求される。POD14では、後足部での衝撃吸収能や足底における重心移動の円滑性は一歩行検査の中で変化する段階であり、初歩においては急激な荷重変化に対応できない可能性があることから、転倒回避能力は不十分であると思われた。よって、頸部骨折術後患者の急性期における歩行分析は、一歩行検査において荷重率・重心の円滑性は変化するものであり、一歩での評価では過大・過小評価に繋がるものと思われた。また疼痛、荷重率の変化が小さくなった段階においても、荷重率の質的变化として波形は変化しており、これら量的・質的経過を考慮した上で、歩行の安定性を判断する必要があると考えられた。

## 結論

本研究は、頸部骨折術後患者の一歩行検査における患側下肢荷重推移に着目し、歩行の安定性評価の客観的指標を確立することを目的とした。その結果、急性期で疼痛が軽減した段階においても、一歩行検査の中で荷重率や重心移動の円滑性は変化することが明らかとなった。

運動処方において、“しているADL”として非監視下での移動手段は、バランスを崩した状況を想定すると、一歩行検査における歩行開始初期の荷重率や重心移動の円滑性を指標に補助具を選定することが実用的であると考えられた。また、“できるADL”として理学療法における歩行練習では、歩数を重ねた後の一歩の荷重率や重心移動の円滑性を指標に補助具を選定し、後足部での衝撃吸収能や重心移動の円滑性の改善を狙ったアプローチをする必要があると考えられた。

## 【文献】

- 1) 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会, 大腿骨頸部／転子部骨折診療ガイドライン策定委員会(編): 大腿骨頸部／転子部骨折診療ガイドライン(改訂第2版). 南江堂, 東京, 2011, pp. 20-26.
- 2) 本間睦, 櫛引久丸・他: 大腿骨頸部骨折患者の予後調査. 北海道リハビリテーション学会雑誌. 2001; 29: 65-70.
- 3) 小林勝, 浜田松彦・他: 大腿骨頸部骨折の術後の歩行能力に影響する因子について. リハビリテーション医学. 1997; 34(7): 484-489.
- 4) Isakov E: Gait rehabilitation a new biofeedback device for monitoring and enhancing weight-bearing over the affected lower limb. *Eura Medicophys.* 2007; 43(1): 21-26.
- 5) 谷勇介, 石月亜由美・他: 大腿骨近位部骨折術後の歩行能力と関連する要因－患側荷重率に着目して－. 高知リハビリテーション学院紀要. 2010; 12: 45-49.
- 6) Dickstein R, Yoeli Y, et al.: Weight bearing on the affected lower limb in residents of a geriatric rehabilitation hospital. *Am J Phys Med Rehabil.* 2010; 89(4): 287-292.
- 7) Perry J, Burnfield JM: *Gait analysis Normal and pathological function second edition.* 武田功(訳), 医歯薬出版, 東京, 2012, pp. 314-317.
- 8) 眞野行生: 高齢者の転倒とその対策. 医歯薬出版, 東京, 1999, pp. 2-12.
- 9) 石橋英明: 大腿骨頸部骨折のリハビリテーション. *理学療法科学.* 2005; 20(3): 227-233.
- 10) 青木重久, 小泉富美朝: 基準病理学 総論(改訂第2版). 南江堂, 東京, 1992, pp. 103-108.
- 11) 草開義治, 安原良典・他: 非転位型大腿骨頸部骨折に対するハンソンピン手術後の大腿骨頸部短縮についての検討. *骨折.* 2016; 38(3): 629-632.