

「脳卒中片麻痺者における
後ろ歩きの動作解析に関する研究」

弘前大学大学院保健学研究科保健学専攻

提出者氏名： 牧野 美里

所 属： 健康支援科学領域 障害保健学分野

指導教員： 高見 彰淑 先生

目次

略語一覧	2
本論文の構成	3
【第1章 後ろ歩きに関する文献検索】	
序論	6
方法	8
結果	9
考察	21
【第2章 健常若年成人を対象とした後ろ歩きの研究】	
第1節 健常若年成人における後ろ歩きと前歩きの比較	
序論	23
方法	24
結果	27
考察	33
第2節 後ろ歩きにおける蹴り出しの有無が足関節と股関節に与える影響	
序論	37
方法	39
結果	41
考察	45
【第3章 脳卒中片麻痺者における後ろ歩きの動作解析】	
序論	49
方法	50
結果	52
考察	62
謝辞	69
引用文献	70
英文要旨	76
資料	79

略語一覧

※特に重要な略語を太字で示す

ACL: 前十字靭帯 (anterior cruciate ligament)

ADHD: 注意欠陥・多動性障害 (attention deficit hyperactivity disorder)

ADL: 日常生活活動 (activities of daily living)

ALA: アルファリポ酸 (alpha-lipoic acid)

BBS: バーグバランススケール (Berg Balance Scale)

Br. Stage: ブルンストロームステージ (Brunnstrom stage)

BR: 後方走行 (backward running)

BW: 後ろ歩き (backward walking)

COG: 身体重心 (center of gravity)

COM: 質量中心 (center of mass)

COP: 足圧中心 (center of pressure)

CP: 脳性麻痺 (cerebral palsy)

DPN: 糖尿病性末梢神経障害 (diabetic peripheral neuropathy)

FR: 前方走行 (forward running)

FW: 前歩き (forward walking)

GMFM: 粗大運動能力尺度 (gross motor function measure)

HC: 踵接地 (heel contact)

HO: 踵離地 (heel off)

MMSE: ミニメンタルステート検査 (Mini-Mental State Examination)

PD: パーキンソン病 (Parkinson disease)

RMI: 移動能力評価法 (Rivermead Mobility Index)

TC: 前足部接地 (**toe contact**)

TO: 足尖離地 (**toe off**)

VAS: 視覚的アナログスケール (visual analog scale)

本論文の構成

後ろ歩き(backward walking、以下 BW)は、日常場面で椅子に座るときや方向転換、重量物の牽引、衝突回避の際など、後方へ数歩移動するために行うことが多い。高齢者や脳卒中などの疾患を有する者にとって困難な動作であり、転倒では後方へ転倒することが多いという報告^{1, 2)}や、高齢者の静止立位姿勢が後方への転倒の危険を増すという報告³⁾もある。前歩き(forward walking、以下 FW)に関する歩行分析や治療報告は多数なされているが、それと比較すると BW に関する報告は少ない。

本研究の目的は、脳卒中片麻痺者の BW の特徴を、麻痺側と非麻痺側下肢の関節運動と関節モーメント、歩行速度、ストライド長、ケイデンスに着目し捉えることである。これらの特徴を捉えることで、より効果的なトレーニングメニューの検討、臨床への応用につなげることができると考える。

この目的を達成するために、まず文献検索、次に健常若年成人を対象とした BW の研究を行い、脳卒中片麻痺者を対象とした本研究と進めることとする。

本論文は次の3章から構成される。第1章は「後ろ歩きに関する文献検索」であり、文献検索の結果を述べる。第2章では「健常若年成人を対象とした後ろ歩きの研究」について述べる。第1節では「健常若年成人における後ろ歩きと前歩きの比較」、第2節では「後ろ歩きにおける蹴り出しの有無が足関節と股関節に与える影響」について述べる。最後に第3章では「脳卒中片麻痺者における後ろ歩きの動作解析」について述べる。解析結果と、そこから検討したより効果的なトレーニングメニューについて考察する。尚、第2章と第3章の歩行の計測には、三次元動作解析装置と床反力計1枚を使用し、5mの歩行路を設定し実施している。

第1章では BW に関する文献検索を行った。その結果 55 編の論文⁴⁻⁵⁸⁾ が得られ、これらを、「後ろ歩きのトレーニングとしての効果・年齢による影響」(29 編)と「健常成人を対象とした後ろ歩きの動作分析」(26 編)の2グループに分類した。BW は、脳卒中患者のトレーニングとして有用であるという報告があった^{7, 13, 26.)}。また健常者を対象とした動作分析では、関節運動パターンや関節モーメントに関して、BW と FW は類似しているという報告^{34, 36, 41, 44)} もあれ

ば、異なるという報告^{35, 48, 49, 51, 52, 53)}もあり、**BW**は**FW**の単純な逆再生か明確になっていなかった。また、動作分析に関する報告は健常者のみで、脳卒中片麻痺者を対象とした報告は見当たらなかった。

第2章第1節では、健常若年成人の**BW**の特徴を、**FW**と比較し捉えることを目的とし研究を行った。健常若年成人14名を対象とし、歩行速度と歩幅は任意とし、**FW**と**BW**を行った。その結果、**FW**と比較し、**BW**で歩行速度・ストライド長・ケイデンスが有意に低下した。また、関節角度や関節モーメントピーク値に有意差を認め、足関節モーメントのピーク位置に相違があった。以上から、**BW**は**FW**の単純な逆転ではないことが示唆された。

第2章第2節では、**BW**において、蹴り出しを意識した場合と意識しない場合での運動学・運動力学的な差異を明らかにすることを目的に研究を行った。健常若年成人14名を対象とし、次の3条件で**BW**を行った。特に指示をしない「通常**BW**」、蹴り出しを意識した「蹴り出し**BW**」、蹴り出さないよう意識した「蹴り出さない**BW**」の3条件である。すべての条件で歩行速度は任意とした。**BW**において、蹴り出しを意識することで歩行速度が増加し、足関節の推進力に対する貢献度が増加すると考えられた。また、連動するように股関節伸展の運動範囲が増加した。**BW**は足関節戦略に不利な動作と言われており、股関節の運動により補完することが考えられた。

第3章では、脳卒中片麻痺者の**BW**の特徴を、下肢の関節運動と関節モーメント、歩行速度、ストライド長、ケイデンスに着目し捉えることを目的とし研究を行った。脳卒中片麻痺者9名を対象とし、歩行速度と歩幅は任意とし、**FW**と**BW**を行った。麻痺側下肢の**FW**と**BW**を比較した結果、歩行速度、ストライド長は**FW**と比較し**BW**で有意に低下した。股関節伸展角度ピーク値が**BW**で有意に低く、股関節屈曲、膝関節伸展、足関節背屈・底屈モーメントピーク値で有意差を認めた。**FW**とは異なり、**BW**は下肢を後方に振り出す際、意識的に股関節伸展を行わなくてはならない。そのため**BW**では股関節の運動範囲の狭小化が認められ、**FW**と比較し、ストライド長、歩行速度が低下したと考える。また**FW**と比較し、**BW**では足関節での推進力を得られにくいものと考えられた。

第 1 章

後ろ歩きに関する文献検索

序 論

後ろ歩き (backward walking、以下 BW) は日常場面で、長距離を移動するために行うことはないが、椅子に座るときや方向転換、重量物の牽引、衝突回避の際など、後方へ数歩移動するために行うことが多い。

BW は後方へのバランス能力が要求され、また視覚的情報が得られにくい動作であり、高齢者や脳卒中などの疾患を有する者にとって、困難な動作である。眞野ら¹⁾の報告によれば、転倒高齢者の転倒方向を調査したところ、「しりもち」が 28%、前方 25%、側方左右合計 33% であり、後方に倒れる「しりもち」が約 4 分の 1 を占めている。また、今岡ら²⁾は、施設車椅子使用者の転倒の特徴として、ベッドサイド及びトイレへの移乗動作にて後方へ転倒するケースが最も多かった、と報告している。Elble³⁾は、多くの高齢者の静止立位時の姿勢は、図 1 のように、胸腰椎の後弯と骨盤の後傾を伴い、この姿勢は後方への転倒の危険を増すと述べている。

このように、高齢者や障害を抱える者にとって、後方への動きが要求されるような運動は、転倒の危険が増す動作でもある。

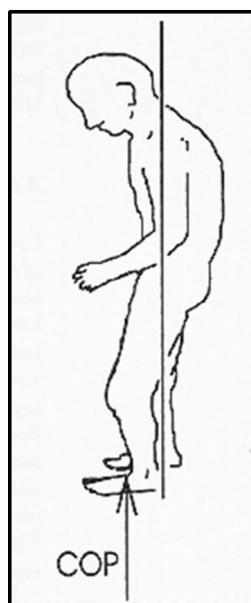


図 1 高齢者の静止立位時の姿勢³⁾

胸腰椎の後弯と骨盤の後傾によって、足圧中心 (center of pressure、COP) (図中の↑) より、質量中心 (center of mass、COM) (図中の直線) が後方に位置している。この姿勢は後方への転倒を助長し、運動開始時の合理的姿勢変化を制限する。

BWは日常生活活動(activities of daily living、以下 ADL)上必要な動作である。同時に、BWの特徴を知ることは、転倒予防やリハビリテーションへの応用において意義のあることだと考える。

しかし、前歩き(forward walking、以下 FW)に関する歩行分析や治療報告は多数なされているが、それと比較するとBWに関する報告は少ないと言われている。

そこで本章の目的は、BWに関する文献検索を行い、BWの歩行分析や治療報告の現状を把握することである。

方 法

対象とする資料は、2016年1月時点で、データベースであるCiNiiならびにPubMedを用いて収集した。CiNiiでは、「後方歩行」、「後進歩行」、「後ろ歩き」をキーワードに検索した。また、PubMedでは「backward walking」、「backward gait」をキーワードに検索した。そこから、本研究と関係深い論文を著者が選定した。

これにより得られた論文数が少数であったため、さらに、収集した論文の引用文献より、「後方歩行」、「後進歩行」、「後ろ歩き」、「backward walking」、「backward gait」をキーワードに、インターネット等を活用し検索し、そこから、また本研究と関係深い論文を著者が抽出した。

これらの作業により得られた論文数が少数であったため、すべての論文を分析対象とした。

結 果

上述の方法により、BWに関する論文 55 編⁴⁻⁵⁸⁾が得られた。この 55 編を、次の 2 つグループに大別した。1 つ目は、脳卒中患者やパーキンソン病 (Parkinson disease、以下 PD) 患者、脳性麻痺 (cerebral palsy、以下 CP) 児に対する介入効果に関する内容の論文、2 つ目は、筋電図やビデオカメラを使用した動作分析に関する内容の論文である。1 つ目のグループは 29 編、2 つ目は 26 編が該当し、以降、それぞれのグループに分けて紹介する。

1. 後ろ歩きのトレーニングとしての効果・年齢による影響

関連する論文 29 編⁴⁻³²⁾を、年代順に、表 1 (pp.11-14) に示す。多くが脳卒中や PD 等の疾患を有する者に対する治療効果に関する論文であるが、一部、疾患を有しない高齢者や学童等を対象とした論文も含まれている。

(1) 脳卒中患者における後ろ歩きトレーニングの効果

Yang ら⁷⁾は脳卒中患者を、実験群と対照群に分け、3 週間の介入を行った。両群ともに従来型トレーニングを受け、実験群は追加で BW トレーニングを受けた。その結果、対照群より実験群で歩行速度、ストライド長が改善したと報告している。Takami ら¹³⁾は、急性期脳卒中患者を、体重支持トレッドミル BW 群、体重支持トレッドミル FW 群、対照群に分け、3 週間の介入を行った。包括的バランス指標である Berg Balance Scale (BBS) は著明な変化はなく、移動能力を示す Rivermead Mobility Index (RMI) は BW 群と FW 群、BW 群と対照群の間で著明な変化を示した。歩行速度は BW 群と対照群で著明な変化を示したと報告している。

(2) PD 患者における後ろ歩きトレーニングの効果

武田ら⁸⁾は、PD 患者を対象とし、トレッドミル BW トレーニングを 1 回 20 分、週 1 回、6 か月間実施した。トレーニング前と比較し、トレーニング後では最大歩行速度とストライド長が増大したが、歩行率 (ケイデンス) は変化がなかった。これは 1 歩当たりの歩幅が大きくなったことを示すものであり、平地歩行における推進力が高まったことが考え

られると報告している。大森ら¹⁴⁾は、PD患者をFW開始群とBW開始群に分け、トレッドミルでFWとBWを、傾斜3%、快適歩行速度で5分間実施した。平地歩行能力は10m最大歩行速度と歩数を指標とし、介入前、FW後、BW後に測定した。最大歩行速度は、介入前、FW後に比べ、BW後が有意に高く、歩数は有意差がなかったと報告している。

(3) 年齢による影響・高齢者の特徴

Laufer⁶⁾は、高齢者と若年者を対象とし、快適歩行と最大歩行でFWとBWの比較を行った。両群ともにBWで歩行速度の低下、ストライド長の短縮、両脚支持期の増加が認められ、高齢者でより著明であったと報告している。美和ら⁹⁾は、健常高齢者を対象とし、10mのFWおよびBWを実施し、FWと比較しBWでは歩幅の減少、歩行速度の低下、歩行比の低下が認められ、高齢者のBWは歩幅を減少させることで、歩行速度や歩行比を調整していると報告している。Fritzら¹⁸⁾は、若年者、中年者、高齢者を対象とし、快適歩行速度でFWとBWを実施した。歩行速度は若年者と中年者と類似し、これらと比較し高齢者で有意に低下し、高齢者はストライド長が著明に短かった。BWとFWのパフォーマンスは、若年者や中年者と比較し高齢者では著しく低下し、FWよりBWでより著明である。さらに高齢者のBWにおいて、転倒歴の無い者より有る者の方が著明に低下すると報告している。

表1 「後ろ歩きトレーニングとしての効果・年齢による影響」に関する論文一覧表

(全29編、1ページ目/4ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察等)	分類
4	Flynn TW, et al J Orthop Sports Phys Ther 1993	Mechanical power and muscle action during forward and backward running (前方および後方走行における機械的力と筋活動)	健常男子大学生6名を対象とし、前方走行(FR)と後方走行(BR)を実施し、ビデオカメラ、床反力計、筋電図を使用し分析を行った。BRIは外側広筋と内側広筋の等尺性と求心性の筋活動を促進するために良い方法で、膝関節伸筋群の筋力増強に有効である。	膝
5	Flynn TW, et al J Orthop Sports Phys Ther 1995	Patellofemoral joint compression forces in forward and backward running (前方および後方走行における膝蓋大腿関節の圧縮力)	健常男子大学生5名を対象とし、自由速度でFRとBRを実施し、床反力と運動学的分析を行った。歩行速度が任意の場合、FRと比較し、BRで膝蓋大腿関節圧縮力のピーク値は減少した。そのピーク値の出現は、FRよりBRの立脚期では著明に遅かった。BRIは膝蓋大腿痛症候群患者のトレーニングに有効である。	膝
6	Lauffer Y Physiother Res Int 2003	Age- and gender-related changes in the temporal-spatial characteristics of forwards and backwards gaits (前方および後方歩行における時空間的特徴の年齢や性別に関連する変化)	高齢者40名、若年者30名を対象とし、FWとBWの比較を行った。快適歩行と最大歩行を実施している。高齢者、若年者ともにBWで、歩行速度の低下、ストライド長の短縮、両脚支持期の増加が認められ、高齢者でより著明であった。しかし、ケイデンスは変化がなかった。	年齢群 (高齢者・若年者)
7	Yang YR, et al Clin Rehabil 2005	Gait outcomes after additional backward walking training in patients with stroke: a randomized controlled trial (脳卒中患者における後方歩行トレーニングの歩行の効果: 無作為化比較対照試験)	脳卒中患者25名(Br. Stage IIIかIV、歩行補助具の有無に関わらず11m以上歩行可能、実験群13名、対照群12名)。両群ともに3週間、3回/週、40分/1回の従来型トレーニングを受けた。実験群はさらに3週間、3回/週、30分/1回のBWTトレーニングを受けた。3週間後、対照群よりも実験群で、歩行速度、ストライド長が改善した。	脳卒中
8	武田秀和, 他 総合リハ 2005	パーキンソン病患者に対する後進歩行トレーニングの試み	PD患者6名(Yahr重症度分類 I ~ III、歩行自立)。トレッドミルBWTトレーニングを20分/1回、1回/週、6か月間実施した。トレーニング前と比較し、トレーニング後では最大歩行速度と重複歩距離が増大したが、歩行率は変化がなかった。これは1歩当たりの歩幅が大きくなったことを示すものであり、平地歩行における推進力が高まったことが考えられる。	PD
9	美和香葉子, 他 理学療法科学 2007	高齢者の後方歩行の特徴およびバランス能力との関連性	健常高齢者11名を対象とし、10mFW、10mBW、Functional Reach Test、片脚立位テストを実施した。FWと比較し、BWでは歩幅の減少、歩行速度の低下、歩行比の低下が認められた。バランス能力との関係は低かった。高齢者のBWは歩幅を減少させることで、歩行速度や歩行比を調整することが明らかとなった。	年齢群 (高齢者)
10	高見彰淑 理学療法 2009	脳卒中患者に対するEBPT実践への取り組み—脳卒中患者への後進歩行適用について—	72歳男性(脳梗塞、左片麻痺)。発症6週目から、従来型トレーニング40分に加え、BW練習を30分追加し、1日70分のトレーニングを、5回/週、2週間実施した。時間的に運動量が増加しただけでなく、より活動量が多くなり、そのことがバランス機能や歩行能力向上に反映されたと推測できる。	脳卒中
11	高見彰淑, 他 東北理学療法科学 2009	急性期脳卒中患者の後進歩行の特徴—前進歩行と後進歩行の比較—	急性期脳卒中患者32名(発症から24日以内)。自由歩行での5mのFWとBWの所要時間と歩数を測定した。下肢Br. Stageや4段階の自己効力感アンケート等も調査した。BWではほとんどの歩行パラメータが、FWに比べ低下する傾向であった。しかし歩行率は差がなく、歩行速度を一定に保つためには、歩幅を短くして対応する傾向が示された。	脳卒中
12	Hackney ME, et al Neurorehabil Neural Repair 2010	The effects of a secondary task on forward and backward walking in Parkinson disease (パーキンソン病における前方および後方歩行の第2課題の効果)	78名のPD患者と年齢と性別割合を統一した健常対照群74名。コンピュータ化した歩行路で、第2の認知課題がある場合とない場合で、FWとBWを行った。歩行の方向や課題による影響は、PD患者と対照群で類似していたが、対照群よりPD患者でより影響を受けやすく、またすぐみみられる者はみられない者より影響を受けやすかった。	PD

表 1(続き) (2 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察 等)	分類
13	Takami A, et al J Phys Ther Sci 2010	Effects of partial body weight support while training acute stroke patients to walk backwards on a treadmill-A Controlled clinical trial randomized allocation- (急性期脳卒中患者に対するトレッドミル後進歩行の部分的体重支持トレーニングの効果—無作為化比較臨床試験)	急性期脳卒中患者36名を、無作為に体重支持トレッドミルBW群、体重支持トレッドミルFW群、対照群に分けた。3週間の介入を行い、多重比較を行った。Berg Balance Scale (BBS)は著明な変化はなく、Rivermead Mobility Index (RMI)はBW群とFW群、BW群と対照群の間で著明な変化を示した。歩行速度はBW群と対照群で著明な変化を示した。3週間の介入により、歩行速度とRMIに著明な改善がみられ、急性期脳卒中患者に対し、体重支持トレッドミルBWトレーニングは、運動の改善に効果的である。	脳卒中
14	大森圭貢, 他 理学療法 2010	パーキンソン病患者に対するトレッドミル後進歩行運動が平地歩行能力に及ぼす即時効果 —クロスオーバーデザインを用いた検討—	PD患者6名(Yahr重症度分類 I と II)を無作為にFW開始群とBW開始群に分けた。トレッドミルでFWとBWを、傾斜3%、快適歩行速度で5分間実施した。平地歩行能力は10m最大歩行速度と歩数を指標とし、介入前、FW後、BW後に測定した。最大歩行速度は、介入前、FW後に比べ、BW後が有意に高かった。歩数は有意差がなかった。トレッドミルBWは平地歩行能力を即時に改善する効果を持ち、有用な運動と考えられた。	PD
15	Hao WY, et al Sports Med, Arthrosc., Rehabil. Ther & Technol 2011	Backward walking training improves balance in school-aged boys (後方歩行トレーニングは学童期男児のバランスを改善する)	健康男児16名を無作為に、実験群と対照群に分けた。実験群はBWTレーニン(12週間、週2回、各25分)を行い、対照群は通常の身体運動を行った。両群とも、開始前、4、8、12、24週目に動的バランスを評価した。対照群と比較し、実験群のバランスが8と12週目に改善した。両群ともトレーニング後のBWとFWの運動学的違いはなかった。FWと比較し、BWは立脚期が延長し、遊脚期、ストライド長、歩行速度、股・膝・足関節の運動範囲は減少する傾向であった。	年齢群 (学童)
16	Whitley CR, et al Int J Exerc Sci 2011	Effect of backward walking on hamstrings flexibility and low back range of motion (ハムストリングス柔軟性および腰部関節可動域に対する後方歩行の効果)	健康女性10名(29.9±10.0歳)を対象とし、週4回、1日10～15分間、自己選択した速度でトレッドミルでBWを行った。介入前後で、BW速度、ハムストリングス柔軟性、矢状面と前額面の腰部関節可動域を測定し、比較した。BW速度とハムストリングス柔軟性で有意差を認め、腰部関節可動域(矢状面、前額面)は有意差がなかった。4週間のBW介入は、ハムストリングスの柔軟性を増すために適切な刺激を与えることを示唆した。	ハムストリングス
17	二階堂康隆, 他 理学療法科学 2011	パーキンソン病患者に対する後進歩行運動が姿勢と姿勢制御に与える即時効果	前屈姿勢を呈するPD患者1名(59歳、男性、Yahr重症度分類Ⅲ)。課題は静止立位とFunctional Reach Tset、Cross Testとし、5分間のBW運動前後に三次元動作解析装置と床反力計を用いて課題中の姿勢と重心の変化を測定した。BW運動後の静止立位では身体重心、足圧中心の後方移動を認め、即時的に前屈姿勢が軽減した。BW運動は前屈姿勢の軽減と足関節を主とした姿勢制御能力を向上させる。	PD
18	Fritz NE, et al Gait Posture 2012	Backward walking measures are sensitive to age-related changes in mobility and balance (後方歩行計測は運動性とバランスの年齢的变化を敏感にとらえる)	若年者37名、中年者31名、高齢者62名。快適歩行速度でFWとBWを行った。また、事前に1週間の運動の種類と量、自己申告による過去6か月の転倒数、歩行補助具の使用の有無を調査した。歩行速度は若年者と中年者で類似し、これらと比較し高齢者で有意に低下した。また高齢者はストライド長が著明に短く、若年者と中年者よりもBW・FWの両方において両脚支持期と立脚期の割合が増加し、遊脚期の割合が減少していた。またすべての高齢転倒者はBW速度が0.6m/s以下であった。BW・FWのパフォーマンスは、若年者や中年者と比較し高齢者では著しく低下し、FWよりBWでより著明である。さらに高齢者のBWにおいて、転倒歴の無い者より有る者の方が著明に低下する。	年齢群 (高齢者・ 中年者・ 若年者)
19	Roos PE, et al J Biomech 2012	Patellofemoral joint compression forces in backward and forward running (後方および前方走行における膝蓋大腿関節の圧縮力)	健康成人20名(データ分析は17名分)を対象とし、速度が2.8～3.4m/sとなるようにした一定の速度でBRとFRを実施した。計測にはVICON MXを使用した。膝蓋大腿関節圧縮力はBRよりFRが高かった。膝関節モーメントの増加によって起こり、膝関節と関連した床反力ベクトルの位置と規模の違いによるものである。BRは膝蓋大腿関節圧縮力を軽減させる運動として利用できる。	膝
20	Kachanathu SJ, et al Int J Ther Rehabil Res 2013	Efficacy of backward versus forward walking on hamstring strain rehabilitation (ハムストリングス筋挫傷に対するリハビリテーションにおける後方歩行と前方歩行の効力)	グレード I と II のハムストリングス筋挫傷患者30名を、無作為に2群に分けた。各群で、それぞれBWとFWを20分間行った。週4回、3週間介入し、介入前後で下肢の筋力、静的・動的バランスを測定した。大腿四頭筋と足関節底屈筋群の強さはFWと比較し、BW群で有意に改善し、ハムストリングスの強さに両群で有意差はなかった。静的バランスはBW群で有意に改善し、動的バランスは両群で改善した。	ハムストリングス

表1(続き) (3 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察 等)	分類
21	Kim SG, et al Int J Rehabil Res 2013	Backward walking treadmill therapy can improve walking ability in children with spastic cerebral palsy: a pilot study (トレッドミル後方歩行療法は痙直型脳性麻痺児の歩行能力を改善する: 予備的研究)	痙直型CP児12名(5~15歳)。8週間、週3回、1回20分のBWTトレーニングを実施した。立位時の垂直床反力の差異、歩行パラメータ、粗大運動能力尺度(GMFM)の項目D(立位)と項目E(歩行、走行とジャンプ)を測定した。GMFM、荷重対称性、FW速度、ステップ・ストライド長で統計学的有意差を示した。トレッドミルBWTトレーニングは、歩行能力と他の粗大運動能力の改善の一助となることを示唆している。	CP
22	伊藤忠, 他 理学療法科学 2013	歩行ケイデンスの変化をさせた後進歩行練習が高齢者と若年者の運動機能に及ぼす即時効果	対象は高齢者6名(高齢群、年齢74.8±3.9歳)、若年者7名(青年群、年齢21.9±1.9歳)、中学生7名(少年群、12.6±0.8歳)。3分間のBW練習を、メトロノームを使用して、ケイデンスを自由速度から50%の速度へ30秒ごとに増減させて実施した。運動機能評価は、自由歩行速度、Timed Up & Go Test(TUG)、5m最大歩行速度、片脚立位時間、座位開閉ステップングテスト、chair stand test(CS-30)とした。共通して、5m最大歩行速度、CS-30で有意な向上を認めた。BW練習は、年齢によって若干の違いは出るが、運動機能向上に有用であることが示唆された。	年齢群 (高齢者・若年者・中学生)
23	伊藤忠, 他 愛知県理学療法学会誌 2013	後進歩行練習が最大歩行速度に及ぼす影響	健康若年者13名(年齢27.1±6.6歳)を対象とした。歩行練習前とFW練習後、BW練習後の、最大歩行速度、歩幅、歩行率の比較を行った。また、各歩行練習中の歩行率と歩行速度、距離の比較、練習中の歩行率と最大歩行の歩行率との関連を検証した。BW練習が、練習前とFW練習よりも最大歩行速度に有意な向上を認めた。一方、FW練習がBW練習よりも、歩行距離、練習中の歩行率と歩行速度が有意に高かった。各々の練習中の歩行率と最大歩行の歩行率との関連は認めなかった。BW練習は、FW練習と比較して、歩幅や歩行率を大きく変えることなく、即時的に最大歩行速度を高めることが示唆された。	年齢群 (若年者)
24	Davalos-Bichara M, et al Gait Posture 2014	Forward and backward locomotion in individuals with dizziness (めまいのある人の前方および後方移動)	健康対照群28名(53.8±17歳、23~81歳)、前庭システム症状有群21名(69.5±13歳、36~89歳)、めまいの原因が前庭以外の群18名(67.4±17歳、36~94歳)の3群を対象とした。被験者は、GAITRite歩行路上でFWとBWを2回ずつ行った。また、前年の転倒歴に関するデータを収集した。BWの速度、ケイデンス、ステップ時間、ストライド時間はめまいによって著明に影響をうけ、FWの特徴に変化がなかった。転倒者と非転倒者の間のBWとFWの間に有意差はなかった。BWは、転倒者の特徴はとらえられないが、めまいの症状のある人を識別するためにFWより良い指標である。	めまい
25	Kachanathu SJ, et al J Phys Ther Sci 2014	Effect of forward and backward locomotion training on anaerobic performance and anthropometrical composition (嫌気性パフォーマンスと人体構造に対する前方および後方運動トレーニングの効果)	健康男性30名(20.93±2.54歳)を、各々傾斜10%がついたトレッドミルで、FW群(15名)とBW群(15名)の2群に分けた。週3回、6週間のトレーニングを行った。介入前後で、嫌気性パフォーマンスと人体構造の計測を行った。FW群、BW群ともに、嫌気性パフォーマンスは著明に改善し、FWよりBWでより良好なパフォーマンスを示した。しかし、両群ともに人体構造の著明な変化を認められなかった。	年齢群 (若年者)
26	Kim K, et al J Phys Ther sci 2014	Effects of progressive body weight support treadmill forward and backward walking training on stroke patients' affected side lower extremity's walking ability (脳卒中患者の麻痺側下肢の歩行能力に対する革新的体重支持トレッドミル前方および後方歩行トレーニングの効果)	慢性脳卒中患者36名が、12名ずつ3群に分けられた。体重支持トレッドミルFWBWTトレーニング(PBWSTFBWT)、体重支持トレッドミルFWトレーニング(PBWSTFWT)、体重支持トレッドミルBWトレーニング(PBWSTBWT)の3群である。各群、それぞれのトレーニングを、1回30分、週6回、3週間行った。フォローアップテスト(6週間)までの間、一般的な理学療法を受けた。麻痺側下肢の歩行能力の評価のため、麻痺側のステップ長・立脚期・遊脚期・単脚支持期・ステップ時間を測定した。グループ間の比較で、3群すべてで、介入前後で有意差がみられ、PBWSTFBWTは他の2群より、すべての評価項目でより著明な差があった。PBWSTFBWTは、脳卒中患者の麻痺側下肢の歩行能力改善により効果的である。	脳卒中
27	Michaelsen SM, et al Int J Stroke 2014	【Protocol】Effect of backward walking treadmill training on walking capacity after stroke: a randomized clinical trial (脳卒中後の歩行能力に対するトレッドミル上後方歩行トレーニングの効果: 無作為化比較対照試験)	対象は脳血管障害発症日から6週以上18週未満の者で、社会復帰を果たしており、通常のリハビリテーションを終了している者、MMSEのスコアが23点以上の者、20歳以上の者とする。歩行補助具なしで10m歩行が0.4m/秒以上1.2m/秒以下で歩行可能な者、中等度の運動が妨げられるような心臓疾患を有する者、重篤な認知機能の低下がある、あるいは、介入やデータ収集の際の指示を受ける際に問題となる言語障害を有する者、歩行能力に影響を及ぼす健康状態である者(前庭障害、重篤な関節炎、その他の神経疾患)は除外する。ランダムにBW群、FW群に分ける。30分間のトレッドミル歩行後、10分間の平地でのFWを行うのを、週3回、6週間実施する。両群ともに週毎に速度を10%上昇させる。介入前、介入終了時、終了後12週後に、歩行パラメータの計測や運動学的分析を行う。	脳卒中

表 1(続き) (4 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察 等)	分類
28	Viggiano D, et al J Hum Kinet 2014	The kinematic control during the backward gait and knee proprioception: insights from lesions of the anterior cruciate ligament (後方歩行と膝関節固有感覚の運動学的コントロール: 前十字靭帯損傷からの見識)	ACL損傷者15名(30±4.8歳)、ACL再建術施行者15名(24±4.6歳)、ACL損傷の無い者15名(25±3.8歳)で、すべての被験者は男性でプロのサッカー選手であった。5種類の速度(1~5km/h)で、トレッドミルでFWとBWを行った。膝の固有感覚は、他動的膝関節運動の感知の閾値で評価した。結果、FWのパラメータはACL損傷者で著明な差があった。ACL再建群と対照群は、BW中にステップ長を減少させたが、ACL損傷群ではこの現象がみられなかった。ACL損傷後、膝関節固有感覚の乏しい者は、BW中にステップ短縮戦略をとらなかった。ACL再建術によって、膝固有感覚が回復し、ステップ長の修正が可能になった。	膝
29	Zhang X, et al Arch Phys Med Rehabil 2014	Investigating the role of backward walking therapy in alleviating plantar pressure of patients with diabetic peripheral neuropathy (糖尿病性末梢神経障害患者の足底圧軽減に対する後方歩行療法の役割に関する調査)	DPN(糖尿病性末梢神経障害)患者60名を介入群30名、対照群30名に分けた。介入群はBW運動とALA(アルファリボ酸)、対照群はALAのみを受けた。介入群は12週間BWトレーニングを行った。治療後、前足部のピーク足底圧は両群ともに低下し、介入群では有意に低下した。介入群の中足部のピーク足底圧はわずかに上昇し、介入群の治療後に、足底圧分布がより均等になった。ALAとBW運動の組み合わせ治療は、ALA単独治療より効果的である。BWIはDPN患者のバランス能力と筋力の改善にも効果がある。	糖尿病
30	El-Basatiny HM, et al Clin Rehabil 2015	Effect of backward walking training on postural balance in children with hemiparetic cerebral palsy: a randomized controlled study (脳性麻痺片麻痺児における姿勢バランスに対する後方歩行トレーニングの効果: 無作為化比較対照試験)	CP片麻痺児30名(10~14歳、男児16名、女児14名)を無作為に15名ずつ、実験群と対照群に分けた。両群ともに12週間、伝統的な理学療法プログラムを受けた。実験群は、1日25分、週3回、3か月間、BWトレーニングを追加で受けた。実験群の大多数で、前後方向と側方の安定指数が、対照群よりも改善した。伝統的なプログラムに加え、BWトレーニングを追加すると、CP片麻痺児の姿勢安定性指数の改善をもたらす。	CP
31	Tseng IJ, et al Am J Phys Med Rehabil 2015	Treadmill training improves forward and backward gait in early Parkinson disease (早期パーキンソン病患者に対するトレッドミルトレーニングが前方および後方歩行を改善する)	早期PD患者26名を対象とし、12週間、トレッドミルFWトレーニングを実施した。トレーニング前、1週目、4週目、終了時にGAITRiteでFWとBWを計測した。終了後、FWとBWで歩行速度の増加、ストライド長の延長、遊脚期の延長、両脚支持期の短縮がみられた。改善は1週目から見られ、4週目、12週目も継続した。トレーニング後、FWとBWの改善は類似していた。	PD
32	Viggiano D, et al Transl Med UniSa 2015	Effect of backward walking on attention: Possible application on ADHD (注意力に対する後方歩行の効果: ADHDへの可能な適用)	ADHAの子ども(13名)と、同年代で身長と体重が類似している健常な子ども17名を対象とした。GO/NO-GO課題の平均による注意深さ/衝動性のプロフィールと、ステップ長やケイデンス等のBWとFWの歩行パラメータを評価した。さらに、BWと注意の関係を調査するため、BWトレーニングを実施した。トレーニングプログラムは、1回10分間、週3回、2か月間のBWであった。結果は、GO/NO-GO課題の反応時間とBW中のフルード数の間に、負の相関関係を示した。さらに、BWトレーニング後、対照群は9.3%ケイデンスが増加し、BW中にフルード数が17%増加した。逆に、ADHD群はトレーニング後に歩行パラメータの変化は見られず、トレーニング前のスコアと比較し、GO/NO-GO課題のエラー数が有意に減少した(-49%)。これらのデータは、注意が要求される課題を伴う特定の身体的トレーニングは、注意深いパフォーマンスを改善できることを示唆している。	ADHD

2. 健常成人を対象とした後ろ歩きの動作分析

健常成人を対象としている関連する論文 26 編³³⁻⁵⁸⁾を、年代順に表 2 (pp.17-20) に示す。一部、動作分析ではなく呼吸循環器系への影響に関する論文も含まれているが、健常成人を対象としているという点でここに分類している。

(1) 歩行パラメータ

Kramer ら³³⁾は、平地にて快適歩行速度で FW と BW を実施したところ、FW と比較し、BW で歩行速度、ケイデンス、歩幅が低値であったと報告している。大杉ら⁴⁶⁾は、被験者の自由な速度で FW と BW を実施し、FW と比較し、BW で歩行速度、歩幅、歩行率(ケイデンス)が低値を示したと報告している。藤澤ら⁴⁸⁾は、普通、速く、遅くの 3 種類の速度条件で FW と BW を実施した。同じ歩行速度で比較した場合、BW では FW と比較して歩行率(ケイデンス)が高値で調整され、歩幅は低値となる傾向を示すと報告している。坂本ら⁵⁰⁾は自由速度で FW と BW を実施し、BW において、左右の立脚時間、歩隔が有意に増加し、歩行速度とストライド長が有意に減少したと報告している。Lee ら⁵²⁾は三次元動作解析装置と床反力計を使用し、FW と BW を実施し、歩行速度、ケイデンス、ストライド長は FW で高値であったと報告している。

(2) 筋電図的分析

Thorstensson³⁴⁾は、トレッドミルで FW と BW を行い、大殿筋、ハムストリングス、大腿直筋、内側広筋、腓腹筋外側頭、前脛骨筋を被検筋として比較を行った。多くの筋の筋活動は異なり、特徴的なのは、toe strike における大腿直筋など膝関節伸筋群の活動増加と、足関節底屈の活動抑制であると報告している。Winter ら³⁶⁾は、半腱様筋、大腿直筋、内側広筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋、後脛骨筋を被検筋として、FW と BW の筋電図的比較を行った。筋活動の相違は、筋収縮様式の違いによるものであると報告している。これらの報告をまとめると、筋活動パターンは前脛骨筋で FW と BW で正反対のパターンを示すと述べている。また筋活動量は、FW より BW で大殿筋は低下するのに対して、大腿直筋では増加すると報告している。このような活動パターンや活動量の違いは多くの筋で認められている。しかしこれらの結果は、歩行速度の影響に

ついて考慮されていない⁵⁵⁾。Grassoら⁴¹⁾は、自由速度でFWとBWを行い、被検筋を大殿筋、大腿二頭筋長頭、大腿直筋、外側広筋、腓腹筋外側頭、前脛骨筋とし、比較を行った。筋活動は、概してBWの方がFWより高値であったと報告している。本間ら⁵⁵⁾は、トレッドミル上で、4つの速度条件で、FWとBWの2種の様式の表面筋電図を測定した。被検筋は左側の大殿筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋、内側広筋、腓腹筋外側頭、前脛骨筋、ヒラメ筋とした。すべての筋で歩行速度が変化しても、FWとBWの筋活動パターンの類似性はみられなかった。筋活動量は多くの筋でBWの方がFWよりも大きくなったと報告している。

(3) 運動学・運動力学的分析

Thorstensson³⁴⁾は、トレッドミルでFWとBWを行い、BWの関節運動はFWの逆運動パターンをとり、運動軌跡は類似していたと報告している。Winterら³⁶⁾は、足関節を除き関節運動は類似していると報告している。一方Vilenskyら³⁵⁾は、3種の異なる速度でトレッドミル上でFWとBWを実施し、股・膝・足関節の角度と運動パターンには特徴的な違いがあったと報告している。

藤澤ら⁴⁸⁾は、FWとBWの2種類の歩行を、普通、速く、遅くの3種類の速度条件で実施したところ、BWの関節運動パターンはFWとは異なると報告している。更に、BW中の主要な推進力と衝撃吸収の関節は足関節であり、膝と股関節は推進力を生成しなかったと述べている。Leeら⁵²⁾は、三次元動作解析装置と床反力計を使用し、FWとBWを実施した。その結果、歩行速度の有意な低下、ケイデンスの有意な低下、ストライド長の有意な低下がみられた。関節角度の変位の特徴は、FWと逆再生BWでは類似していたが、関節角度は異なっていたと報告している。Sodaら⁵³⁾は、三次元動作解析装置と床反力計3台を使用し、FWとBWを計測した。立脚相の分析を行い、FWと比較しBWで、足関節パワー、仕事量、仕事率が有意に低い値を示した。歩行時間に有意な差がなかったことからBWでは足関節パワーによる推進力の貢献度が低いと考えられると報告している。

表2 「健常成人を対象とした後ろ歩きの動作分析」に関する論文一覧表

(全26編、1ページ目/4ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察等)	FWとの関連
33	Kramer JF, et al Physiother Can 1981	Backward walking: a cinematographic and electromyographic pilot study (後方歩行: 映写および筋電図による予備的研究)	健常男性1名(28歳)を対象とし、平地にて、快適歩行でFWとBWを9回ずつ行い、ビデオカメラと筋電図で記録した。FWと比較し、BWで歩行速度、ケイデンス、歩幅が低値であった。またFWとBWでは筋活動に違いがある。	筋活動: ×
34	Thorstensson A Exp Brain Res 1986	How is the normal locomotor program modified to produce backward walking? (後方歩行を生じさせるために正常歩行プログラムはどのように修正されるか?)	健常成人5名(25~30歳)を対象とし、トレッドミル上でFWとBWを行い、関節運動と表面筋電計によって筋活動を記録した。BWの関節運動はFWの逆の運動パターンをとり、運動軌跡は類似していた。また、多くの筋の筋活動は異なっていた。	関節運動: ○ 筋活動: ×
35	Vilensky JA, et al J Hum Move Stud 1987	A kinematic comparison of backward and forward walking in human (人間における後方歩行と前方歩行の運動学的比較)	健常成人4名(27~32歳)を対象とし、3種類の異なる速度で、トレッドミルを使用しFWとBWを行った。股・膝・足関節の角度と運動パターンに特徴的な違いがあった。FWと比較しBWでは、股関節の動きが小さく、ストライド長が短くなり、ケイデンスが増加した。FWと同じような歩行速度を保つには、ケイデンスの増加によって対応している。	関節運動: ×
36	Winter DA, et al J Mot Behav 1989	Backward walking: a simple reversal of forward walking? (後方歩行: 前方歩行の単純な逆転か?)	健常者6名を対象とし、関節角度、関節モーメント、関節パワー、筋電図をFWとBWで比較した。FWは通常歩行速度とし、BWではメトロノームを使用しケイデンスを統一し、一歩行周期に要する時間を統一した。足関節を除き関節運動は類似している。膝関節を除き関節モーメントは類似している。関節パワーは鏡像関係であった。これらから、筋活動の相違は筋収縮様式の違いによるものである。	関節運動: ○ 関節モーメント: ○ 関節パワー: 鏡像関係 筋活動: ×
37	Flynn TW, et al Med Sci Sports Exerc 1994	Comparison of cardiopulmonary responses to forward and backward walking and running (前方および後方歩行と走行における心肺反応の比較)	健常男性10名(24±1.2歳)を対象とし、トレッドミルでFW、前方走行(FR)、BW、後方走行(BR)を行った。酸素消費量と心拍数、血中乳酸は、FWやFRよりBWやBRに有意に高値であった。今回与えられた速度で、後方移動は、前方移動より、より大きな代謝要求と心肺反応を引き出す。	
38	Cipriani DJ, et al J Orthop Sports Phys Ther 1995	Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis (3つのレベルのトレッドミル傾斜における後方歩行: 筋電図および運動学的分析)	対象は健常成人16名(男性14名、女性2名、23.19±3.02歳)。被験者は約1分間、4km/hで、3つのレベルの傾斜(0、5、10%)をつけたトレッドミル上でBWを実施した。大腿直筋、ハムストリングス、腓腹筋、前脛骨筋の筋活動を筋電図にて計測した。また、股・膝・足関節の位置関係を計測した。その結果、傾斜が0%から10%に増加した際、イニシャルコンタクト時の足関節と膝関節の関節角度が増加した。傾斜増加に伴い筋活動も変化し、最も顕著であったのがイニシャルコンタクト時の腓腹筋の筋活動の増加であった。	
39	Myatt G, et al J Orthop Sports Phys Ther 1995	The cardiopulmonary cost of backward walking at selected speeds (選択された速度における後方歩行の心肺コスト)	健常男性25名(18~35歳)を対象とし、5種類の異なる速度でBWを実施し、酸素摂取量と心拍数を測定した。BWの速度が速くなると、酸素摂取量と心拍数は曲線的に増加した。	
40	Chaloupka EC J Orthop Sports Phys Ther 1997	Cardiorespiratory and metabolic responses during or forward and backward walking (前方および後方歩行中の呼吸循環および代謝応答)	対象は健常成人17名(男性11名、女性6名、25±2歳)。最大前方歩行テストと、4種類のランダムに指示された6分間最大歩行(93.8m/min)を実施した。その4種類とは、傾斜0%と5%のFW、傾斜0%と5%のBWである。それぞれで、酸素摂取量、心拍数等を計測した。傾斜がついた状態では、FWよりBWで、循環器や代謝の反応が大きかった。傾斜5%BWは呼吸循環のフィットネスを維持するのに有効である。	
41	Grasso R, et al J Neurophysiol 1998	Motor patterns for human gait: backward versus forward locomotion (人間の歩行の運動パターン: 後方と前方移動の比較)	対象は健常者7名(男性4名、女性3名、21~36歳)。自由速度でFWとBWを行い、関節運動、床反力、下肢の筋の筋活動を筋電図で計測した。矢状面での関節角度はFWと類似していた。膝関節と足関節は床反力の影響を受けにくく、BWの方が小さくなる傾向であった。筋活動は、概してBWの方がFWより高値であった。	関節運動: ○ 筋活動: ×

表 2(続き) (2 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察等)	FWとの関連
42	Van Deursen RWM, et al Gait Posture 1998	Does a single control mechanism exist for both forward and backward walking? (前方および後方歩行のため単純な制御機構は存在するか?)	対象は健康者4名(男性2名、女性2名、年齢31±3歳)。トレッドミルでFWとBWを行った。筋電計で前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋外側頭、外側広筋、大腿二頭筋、大腿直筋の筋活動を計測した。結果は、FWとBWで股・足関節で運動学的に逆転パターンであった。しかし、膝関節の運動パターンは類似していたが、歩行サイクルの14.3%の位相変位が起こった。筋活動パターンの約25%の位相変位は6筋中4筋でみられた。FWとBWの両方で、制御するためにみられる特徴を伴うセントラルパターンジェネレーターのような単純な脊髄機構を支持する。	関節運動: △ 筋活動: ×
43	Chen LY, et al Engineering in Medicine and Biology Society 2000	Kinematic and EMG analysis of backward walking on treadmill (トレッドミル後方歩行の運動学および筋電図学的分析)	健康男性16名(21~29歳)を対象とし、平地前方歩行(FW)、平地後方歩行(BW)、トレッドミル前方歩行(FWT)、トレッドミル後方歩行(BWT)、10%傾斜トレッドミル後方歩行(BWTI)を実施した。COPとCOGの軌跡の分析をした。また、筋電図にて大腿直筋、ハムストリングス、前脛骨筋、腓腹筋の筋活動を分析した。BWTIが、平均筋活動が高値であり、平地でのBWより効果を高めることが示唆された。	
44	北湯口純, 他 理学療法 2003	後進歩行の動作分析	小型圧力板上に設置されたトレッドミルでFWとBWを行い、重心運動を三次元的に記録した(被験者8名)。右脚の内側広筋、腓腹筋、大腿二頭筋の筋活動を筋電図にて計測し、また膝関節外側にゴニオメーターを装着して角度曲線を記録した(被験者3名)。ビデオで撮影した映像から、手描法により腰、膝、踵、爪先を結線しスティックピクチャーを作図した。BWのスティックピクチャーを水平方向に反転させFWと比較すると、それほど違いがあるようには見受けられない。筋電図学的には、各筋、各速度において相対出力はBWが高値を示す傾向にあった。	関節運動: ○ 筋活動: ×
45	Masumoto K, et al Gait Posture 2007	A comparison of muscle activity and heart rate response during backward and forward walking on an underwater treadmill (水中トレッドミルでの前方および後方歩行における筋活動と心拍反応の比較)	健康男性10名(23.5±1.4歳)を対象とした。被験者は剣状突起レベルまで水に浸かり、3種類の速度でトレッドミルで歩行をし、筋電図にて筋活動を計測した。また心拍数を計測した。その結果、水中では脊柱起立筋群、内側広筋、前脛骨筋の筋活動が向上し、腹直筋、中殿筋、大腿二頭筋、腓腹筋は変化が少ない。心拍数は速度が3.0km/hのときに有意な心拍数上昇がBWでみられた。	
46	大杉紘徳, 他 理学療法科学 2007	健康成人の後方歩行の特徴	対象は大学生27名(男性17名、女性10名、年齢20.2±1.3歳)。10mFW、10mBWをそれぞれ1回ずつ測定した。BWの終了直後にはVAS(visual analog scale)を測定し、主観的な恐怖心を確認した。歩行速度は被験者の自由な速度(自由歩行)とし、歩行に要した時間(所要時間)と歩数、実際の歩行距離を測定した。BWはFWと比較し、歩行速度は有意に遅くなり、歩幅は有意に狭くなり、歩行率は有意に減少し、歩行比は有意に低下した。恐怖感BWとは関係がなかった。	
47	Katsavelis D et al Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci 2010	Variability of lower extremity joint kinematics during backward walking in a virtual environment (仮想環境における後方歩行中の下肢関節の運動学的変動性)	自己選択したペースで次の4条件で、トレッドミル歩行を行った。①視覚的動きなしBW、②視覚的動きありBW、③反対方向の視覚的動きありBW、④視覚的動きありFWの4条件である。FWとBWの歩行の特徴と歩行変動性(変動の大きさと構造)で有意差が認められた。しかし、BWの3条件では有意差はなかった。	
48	藤澤宏幸, 他 理学療法科学 2010	若年健康者における後ろ歩き の速度制御に関する研究	対象は若年健康者157名(男性69名、女性88名、年齢19.4±0.7歳)。歩行はFWとBWの2種類、速度条件は普通、速く、遅くの3種類とした。進行方向および速度条件毎の歩行速度、歩幅、歩行率を10m歩行テストにより求めた。歩行速度と歩行率の関係では、FWで $r=0.92$ 、BWで $r=0.90$ と有意な相関があった($p<0.01$)。さらに、回帰曲線の傾きが、BWでFWよりも有意に大きかった($p<0.01$)。一方、歩行速度と歩幅の関係では、FWで $r=0.86$ 、BWで $r=0.75$ と有意な相関があったものの($p<0.01$)、回帰曲線の傾きの差では有意ではなかった。同じ歩行速度で比較した場合、BWではFWと比較して歩行率が高値で調整され、歩幅は低値となる傾向を示した。BWの関節運動パターンはFWとは異なると考えられる。	関節運動: ×

表 2 (続き) (3 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察等)	FWとの関連
49	末長宏康, 他 電子情報通信学会技 術研究報告 2011	後進歩行における脚関節協調の解析	健康男性3名(平均年齢21歳)を対象とし、トレッドミルでFWとBWを行い、側面より高速度ビデオカメラで撮影し、画像解析ソフトを用いてマーカ位置の運動軌跡を取得した。BWにおいて、体幹位置を調節しやすい両脚支持期や、つまづきが生じやすい遊脚相中期から着地にかけて、股関節に対する足先位置を調節する関節間協調が働いていることが分かった。これらの特徴の幾つかはFWにおいて観察される関節間協調とは異なるものであり、BWとFWは異なる制御戦略で実現されていることを示唆する。	関節運動: ×
50	坂本友梨恵, 他 ヘルスプロモーション 理学療法研究 2012	歩行分析計を用いた健康成人の 後ろ向き歩行の分析	健康大学生23名(男性13名、女性10名、年齢21.0±1.3歳)を対象とし、アニメ社製シート式足圧接地足跡計測装置(ウオークWayMW-1000)を使用し、シート上でFWとBWを各2回ずつ、自由歩行で行った。空間パラメータ(歩幅、歩隔、足角、歩行率)と時間パラメータ(ステップ時間、歩行速度)を収集した。BWにおいて、左右の立脚時間、歩隔が有意に増加し、歩行速度とストライド長が有意に減少した。また、FWとBWの左右の立脚時間と歩行速度には有意な相関が認められた。	
51	Błażkinewics M Acta Bioeng Biomech 2013	Muscle force distribution during forward and backward locomotion (前方および後方移動中の筋力分布)	健康男子大学生1名を対象とし、8台のVICONシステムカメラと筋電図計を使用し、FWとBWを行い、関節角度、ストライド長、トゥクリアランス、歩隔、歩行速度、ロンベルグ率、関節モーメントを計測した。また筋電図を使用し、前脛骨筋、後脛骨筋、大腿直筋、大腿二頭筋短頭、大殿筋、腸骨筋の6つの筋の筋活動量を計測した。足・膝関節の関節角度とトルクは、BWで全体的に低値であった。筋活動はFWとBWで違いがみられた。	関節運動: × 関節トルク: × 筋活動: ×
52	Lee M, et al Gait Posture 2013	Kinematic and kinetic analysis during forward and backward walking (前方歩行と後方歩行の 運動学的・運動力学的分析)	健康成人31名(男性26名、女性5名、年齢22.4±3.2歳)を対象とし、三次元動作解析装置と床反力計を使用し、FWとBWを行った。FWと比較しBWで、歩行速度、ケイデンス、ストライド長は有意に低下した。立脚期の時間的割合に有意差はなかった。FWと時間逆転BWの関節角度の変位はほぼ同一であった。しかし、選択された重要なポイントでの関節角度は著明に異なっていた。FWと時間逆転BWで、足関節のモーメントパターンは非常に類似していた。膝や股関節においては、時間逆転BWのモーメントパターンは、FWより単純であった。足、膝、股関節の関節パワーパターンはFWとBWでは異なっていた。BW中の主要な推進力と衝撃吸収の関節は足関節である。膝と股関節は推進力を生成しなかった。	関節運動: △ 関節モーメント: △ 関節パワー: ×
53	Soda N, et al J Phys Ther Sci 2013	Three-dimensional motion analysis of the ankle during backward walking (後ろ歩きにおける足関節の 三次元動作分析)	健康成人11名(年齢23.8±4.6歳)を対象とし、三次元動作解析装置と床反力計3台を使用し、FWとBWを計測した。FW、BWは自然歩行(速度、歩幅は任意)とした。立脚期を解析区間とし、解析項目は歩行時間、足関節最大背屈角度・底屈角度、矢状面における足関節パワー(角速度×関節モーメント: W/Kg)のピーク値、足関節の力学的な仕事、仕事率とした。FWと比較しBWで、足関節パワー、仕事量、仕事率が有意に低い値を示した。歩行時間に有意な差がなかったことからBWでは足関節パワーによる推進力の貢献度が低いと考えられる。	(足関節のみ) 関節運動: × 関節パワー: ×
54	内藤藤愛, 他 理学療法科学 2013	健康成人における歩行様式の違いによる 脳内血液酸素動態の検討	健康成人70名(年齢25.2±2.4歳)を対象とした。脳内血液酸素動態は機能的近赤外分光法を用いて測定した。脳の各領域での脳賦活量をトレッドミル上での肢位と向きの異なる立位前進、立位後進、膝立ち前進、膝立ち後進の4課題で比較した。右前頭前野、右運動前野、補足運動野は、前進よりも後進歩行で有意に高い賦活を認めた。また左感覚運動関連領域、左体性感覚野は、立位よりも膝立ち位で有意に高い賦活を認めた。進行方向と姿勢の違いによって、脳の賦活パターンが異なることから、膝立ち位あるいは後進歩行の動作の持つ治療効果が期待される。	
55	本間秀文, 他 理学療法科学 2013	後方歩行の筋活動に関する研究	健康男性12名(年齢21.8±2.2歳)を対象とし、トレッドミルを使用し4種類の速度条件で、FWとBWの2種の様式の表面筋電図を測定した。被検筋は左側の大殿筋、中殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋、内側広筋、腓腹筋外側頭、前脛骨筋、ヒラメ筋とした。すべての筋で、歩行速度が変化しても、FWとBWの筋活動パターンの類似性はみられなかった。筋活動量は多くの筋でBWの方がFWよりも大きくなった。	筋活動: ×

表 2 (続き) (4 ページ目 / 4 ページ中)

引用番号	著者名 雑誌名 年	論文題名 (英語の場合、日本語訳)	概要(対象、方法、結果、考察等)	FWとの関連
56	Msumoto K, et al Res Sports Med 2015	Metabolic costs and rating of perceived exertion during backward walking in water and on dry land (水中と陸地での後方歩行中の代謝コストと自覚的運動強度の評価)	健常男性8名(22.5±2.8歳)を対象とし、剣状突起まで水に浸かり、トレッドミル上で、水流あり水中BW、水流なし水中BW、陸上BWを実施した。陸上BWは3種類の歩行速度で行い、水中ではその半分の速度に設定した。代謝コストと自覚的運動強度に、ゆっくりと普通の速度では、水中と陸地で、著明な差はなかった。しかし、速い速度では、陸地での代謝コストと自覚的運動強度は、水中よりも著明に高値であった。速い速度のBWに関しては、水中の速度を陸地の半分に設定した場合、陸地と同様の代謝コストや自覚的運動強度を得るには不十分ということが示唆された。	
57	Yu Wu, et al Eng Med Biol Soc 2015	Local dynamic stability of the trunk segments and lower extremity joints during backward walking (後方歩行中の体幹セグメントと下肢関節の局所的動的安定性)	健常男性17名(24.94±1.43歳)を対象とし、快速歩行速度BW(BW)、BWと同じ速度のFW(FW)、通常歩行速度FW(FWN)の3種類の歩行をトレッドミル上で行った。体幹セグメント(頸部、胸、骨盤)と下肢関節(股・膝・足関節)の局所的動的安定性を調査するため、最大リアブノフ指数(接近した軌跡がどれくらい離れていくかを示す)を算出した。FWとBWを比較し、体幹セグメントの垂直方向のリアブノフ指数が、著明に高値を示した。胸セグメントの前後方向のリアブノフ指数が高値を示した。BWでのリアブノフ指数の高値は、股・膝関節の回旋、膝・足関節の内転外転で認められた。これらは、BWは体幹セグメントと下肢関節の局所的動的安定性を低下させるということを示唆している。	
58	Cadenas-Sanchez C, et al J Sports Sci 2016	Biomechanical characteristics of adults walking forward and backward in water at different stride frequencies (異なるストライド数での水中における前方および後方歩行の成人のバイオメカニカル的特徴)	健常者8名(男性4名、女性4名、22.1±1.1歳)を対象とし、胸の前で腕を組み、剣状突起レベルまで水中に浸かり、低回数(50回/分)と高回数(80回/分)のストライド数でFWとBWを実施した。結果、ストライド長とステップ長は低回数と比較し高回数で低値であり、高回数では速度とステップ長非対称性が高値であった。支持期はBWよりFWで高値であった。イニシャルコンタクト時、BWよりFWで足・股関節の屈曲が増加した。ファイナルスタンスでは、高回数より低回数で、膝・股関節の屈曲が増加した。膝関節はBWよりFWで屈曲した。	

考 察

1. 後ろ歩きのトレーニングとしての効果・年齢による影響

脳卒中患者やPD患者において、BWトレーニングやトレッドミル上BWトレーニングは、歩行速度やストライド長等の歩行能力の改善に効果的であるということが明らかとなった。また高齢者は、若年者や中年者と比較し、BWパフォーマンスが著明に低下し、FWより年齢の影響が大きく、転倒リスクにも関与していることが明らかとなった。

以上より、BWはトレーニングや転倒リスクの評価指標として有用であると考えられる。

2. 健常成人を対象とした後ろ歩きの動作分析

Kramerら³³⁾は、日常生活において、前方だけではなく後方や側方にも移動が行われていることに着目し、健常男性1名を対象としBWの動作分析を行った。1981年に発表されたこの論文が、今回収集した論文の中で最も古いものであった。

その後、1980年代から1990年代に発表された、Thorstensson(1986)³⁴⁾、Vilenskyら(1987)³⁵⁾、Winterら(1989)³⁶⁾、Ciprianiら(1995)³⁸⁾、Grassoら(1998)⁴¹⁾の論文は、その後のBWに関する論文に多く引用されていた。

近年では、藤澤ら(2010)⁴⁸⁾、Leeら(2013)⁵²⁾、Sodaら(2013)⁵³⁾が、動作分析を行っている。

これまで述べてきた通り、関節運動パターンや関節モーメントに関して、BWとFWは類似しているという報告^{34, 36, 41, 44)}もあれば、異なるという報告^{35, 48, 49, 51, 52, 53)}もある。しかし、近年の報告を見れば、類似性を否定する意見が多い印象である。

BWはFWの単純な逆再生か明確になっていないということがわかり、それを明らかにする必要があるのではないかと考えられる。

BWについて、トレーニングに関しては脳卒中患者を対象とした報告はみられる。しかし、動作分析に関しては、脳卒中患者を対象とした報告は見当たらず、健常者の報告のみにとどまっている。今後、脳卒中患者のBWの動作分析を行い、その特徴を捉えることができれば、より効果的なトレーニングメニューの検討等、臨床への応用につながることもできると考える。

第 2 章

健常若年成人を対象とした後ろ歩きの研究

第 1 節

健常若年成人における後ろ歩きと前歩きの比較

序 論

第1章で述べた通り、**BW**は、脳卒中患者のトレーニングとして有用である。健常者を対象とした動作分析では、関節運動パターンや関節モーメントに関して、**BW**と**FW**は類似しているという報告^{34, 36, 41, 44)}もあれば、異なるという報告^{35, 48, 49, 51, 52, 53)}もあり、**BW**は**FW**の単純な逆再生か明確になっていない。また、動作分析に関する報告は健常者のみで、脳卒中片麻痺者を対象とした報告は見当たらない。

将来的に、脳卒中片麻痺者に対し、より効果的なトレーニングメニューの検討等、臨床への応用につなげることを目標とし、本研究の目的は、三次元動作解析装置を用いて運動学及び運動力学的視点から、あらためて健常若年成人を対象として、**BW**の特徴を分析することである。**FW**の解析も行い両者の比較を行う。

方法

1. 対象

対象は下肢や腰部に問題となるような既往歴を有しない健常若年成人 14 名 (男性 7 名・女性 7 名、年齢 21.4 ± 0.6 歳、身長 166.3 ± 8.3 cm、体重 56.9 ± 7.6 kg) であった。

すべての対象者には本研究の概要等を十分に説明し、書面にて同意を得た。また弘前大学大学院医学研究科倫理委員会の承認を得てから実施した (整理番号: 2013-112)。

2. 計測機器

計測機器は、赤外線カメラ 8 台で構成される三次元動作解析装置 (Vicon Motion Systems 社製、Vicon Nexus) および床反力計 1 枚 (AMTI 社製、 $400\text{mm} \times 600\text{mm}$) を使用し、サンプリング周波数は 100Hz とした。三次元動作解析装置に設定されている Plug-in Gait Full Body モデルに従い、直径 14mm の赤外線反射マーカを対象者の身体の 35 か所 (頭部 4 か所、第 7 頸椎棘突起・第 10 胸椎棘突起・胸骨柄・胸骨剣状突起・右肩甲骨に 1 か所ずつ、肩峰・肘関節・橈骨茎状突起・尺骨茎状突起・手指第 2MP 関節・上前腸骨棘・上後腸骨棘・大腿外側・膝軸・下腿外側・外果・足趾第 2MP 関節・踵部の左右 1 か所ずつの合計 35 か所) に貼付した (図 2)。

また、解析には解析ソフト Polygon4 を使用した。

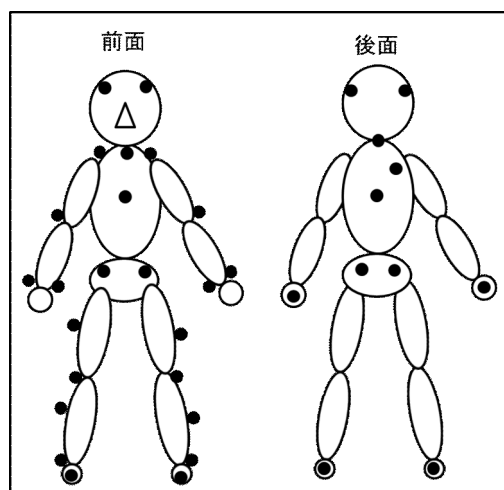


図 2 マーカーの貼付位置

●: 直径 14mm の赤外線反射マーカ

3. 実験手順

床反力計上を通過するような5mの歩行路を設定し、床面に誘導用の赤いラインを引いた。そのラインを見ながら、速度と歩幅は任意でFWとBWを行った。なお、BW時は後方が見えずゴール地点が分からないため、ゴール手前1mから黄色のラインをもう1本引いた(図3)。そして、安全に止まれるよう何度か練習を行った。成功試行を各3回計測し、最も自然な歩行の試行を選択し、分析を行った。測定順序はFW、BWとした。

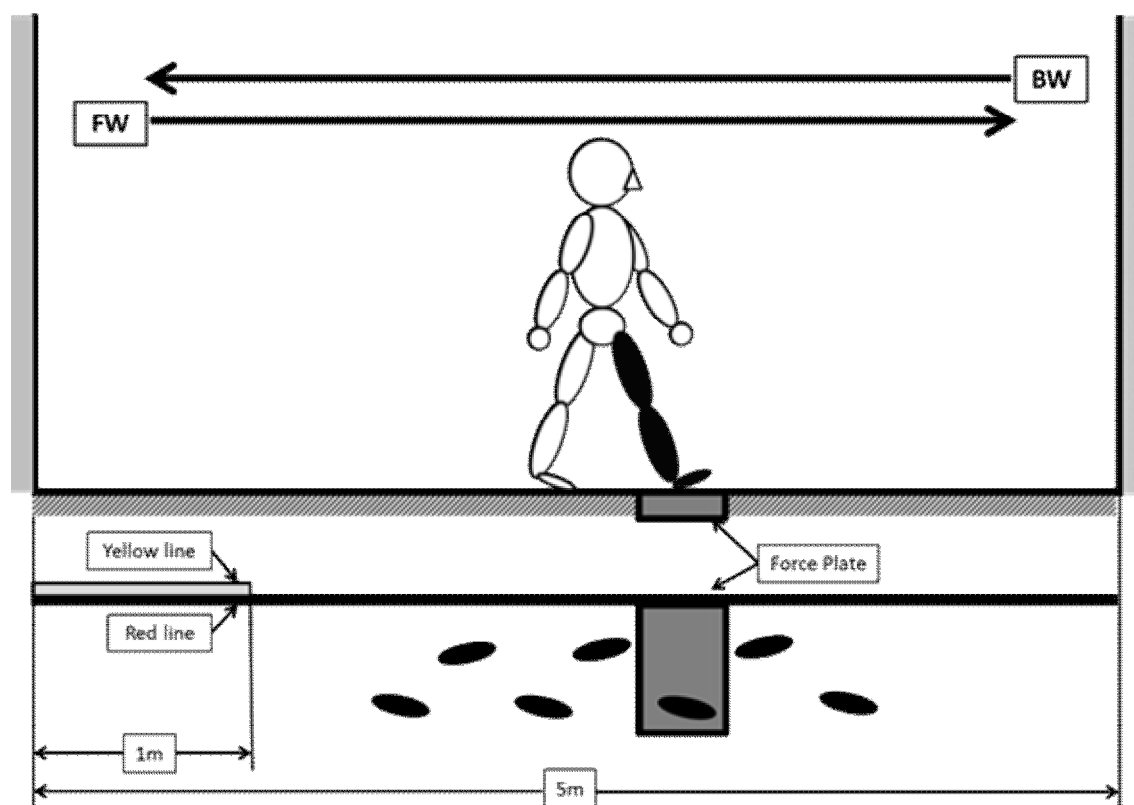


図3 歩行路

誘導用の赤いラインを引き、さらにゴール地点を分かりやすくするため、ゴール手前1mから黄色のラインをもう1本引いた。

4. データ解析

FWでは右踵接地(heel contact、以下HC)から、右足尖離地(toe off、以下TO)を経て、次の右HCまでを1歩行周期とした。BWでは右前足部接地(toe contact、以下TC)から、右踵離地(heel off、以下HO)を経て、次の右TCまでを1歩行周期とした。この1歩行周期の分析を行った。

また、FWとBWを比較するため、先行研究⁵⁹⁾を参考にし、FWのHCとBWのHOを同期させ、さらにBWの運動を逆転させた。

分析項目は、歩行速度、ストライド長、ケイデンス、Foot off、矢状面における下肢の関節角度と関節モーメントであった。統計学的分析は、エクセル統計 Statcel3を使用し、対応のあるt検定とウィルコクソン符号付順位和検定を用い、有意水準は5%未満とした。

結 果

1. 歩行パラメータ

歩行パラメータの結果を表3に示す。歩行速度はFWで 1.3 ± 0.1 m/s、BWで 0.8 ± 0.1 m/s、ストライド長はFWで 1.3 ± 0.1 m、BWで 1.0 ± 0.1 m、ケイデンスはFWで 111.8 ± 7.9 steps/min、でBWで 102.8 ± 10.5 steps/minで、いずれもFWと比較しBWで有意に低下した。

Foot offとは、FW・BWともに1歩行周期において右下肢が床面に接地している割合を示し、立脚相に相当する。Foot offはFWで $59.8 \pm 1.4\%$ 、BWで $59.4 \pm 2.2\%$ で有意差はなかった。

表3 歩行パラメータ

	FW	BW
Walking speed (m/s)	1.3 ± 0.1	0.8 ± 0.1 **
Stride length (m)	1.3 ± 0.1	1.0 ± 0.1 **
Cadence (steps/min)	111.8 ± 7.9	102.8 ± 10.5 **
Foot off (%)	59.8 ± 1.4	59.4 ± 2.2

* : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

2. 関節角度・関節モーメント

関節角度ピーク値を表 4 に示す。股関節伸展角度ピーク値は FW で $14.8 \pm 5.0^\circ$ 、BW で $5.1 \pm 4.7^\circ$ 、膝関節屈曲角度ピーク値は FW で $59.5 \pm 7.6^\circ$ 、BW で $40.0 \pm 9.0^\circ$ 、足関節底屈角度ピーク値は FW で $14.0 \pm 6.5^\circ$ 、BW で $2.7 \pm 7.8^\circ$ であり、この 3 項目で有意差を認めた。他の項目に有意差はなかった。

表 4 関節角度ピーク値($^\circ$)

		FW	BW
Hip joint	Flexion	30.3 ± 2.8	29.5 ± 5.5
	Extension	14.8 ± 5.0	$5.1 \pm 4.7^{**}$
Knee joint	Flexion	59.5 ± 7.6	$40.0 \pm 9.0^{**}$
	Extension	-4.4 ± 3.9	-5.1 ± 5.5
Ankle joint	Dorsiflexion	16.9 ± 4.4	23.2 ± 5.9
	Plantar flexion	14.0 ± 6.5	$2.7 \pm 7.8^{**}$

* : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

関節モーメントピーク値を表 5 に示す。股関節屈曲モーメントピーク値は FW で 0.7 ± 0.3 Nm/kg、BW で 0.4 ± 0.1 Nm/kg、股関節伸展モーメントピーク値は FW で 0.7 ± 0.2 Nm/kg、BW で 0.6 ± 0.3 Nm/kg、膝関節屈曲モーメントピーク値は FW で 0.4 ± 0.1 Nm/kg、BW で 0.3 ± 0.1 Nm/kg で、膝関節伸展モーメントピーク値は FW で 0.5 ± 0.2 Nm/kg、BW で 0.4 ± 0.3 Nm/kg であり、この 4 項目に有意差を認めた。足関節背屈・底屈モーメントピーク値に有意差はなかった。

表 5 関節モーメントピーク値 (Nm/kg)

		FW	BW
Hip joint	Flexion	0.7 ± 0.3	$0.4 \pm 0.1^{**}$
	Extension	0.7 ± 0.2	$0.6 \pm 0.3^*$
Knee joint	Flexion	0.4 ± 0.1	$0.3 \pm 0.1^{**}$
	Extension	0.5 ± 0.2	$0.4 \pm 0.3^*$
Ankle joint	Dorsiflexion	0.1 ± 0.03	0.1 ± 0.05
	Plantar flexion	1.6 ± 0.2	1.5 ± 0.3

* : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

関節角度と関節モーメントの1歩行周期のグラフを図4(p.31)と図5(p.32)に示す。図4がFW・BWともに1歩行周期の開始地点から描き始めたグラフである。図5はFWのHCとBWのHOを同期させ、さらにBWの運動を逆転させ、BWのグラフを作成している。

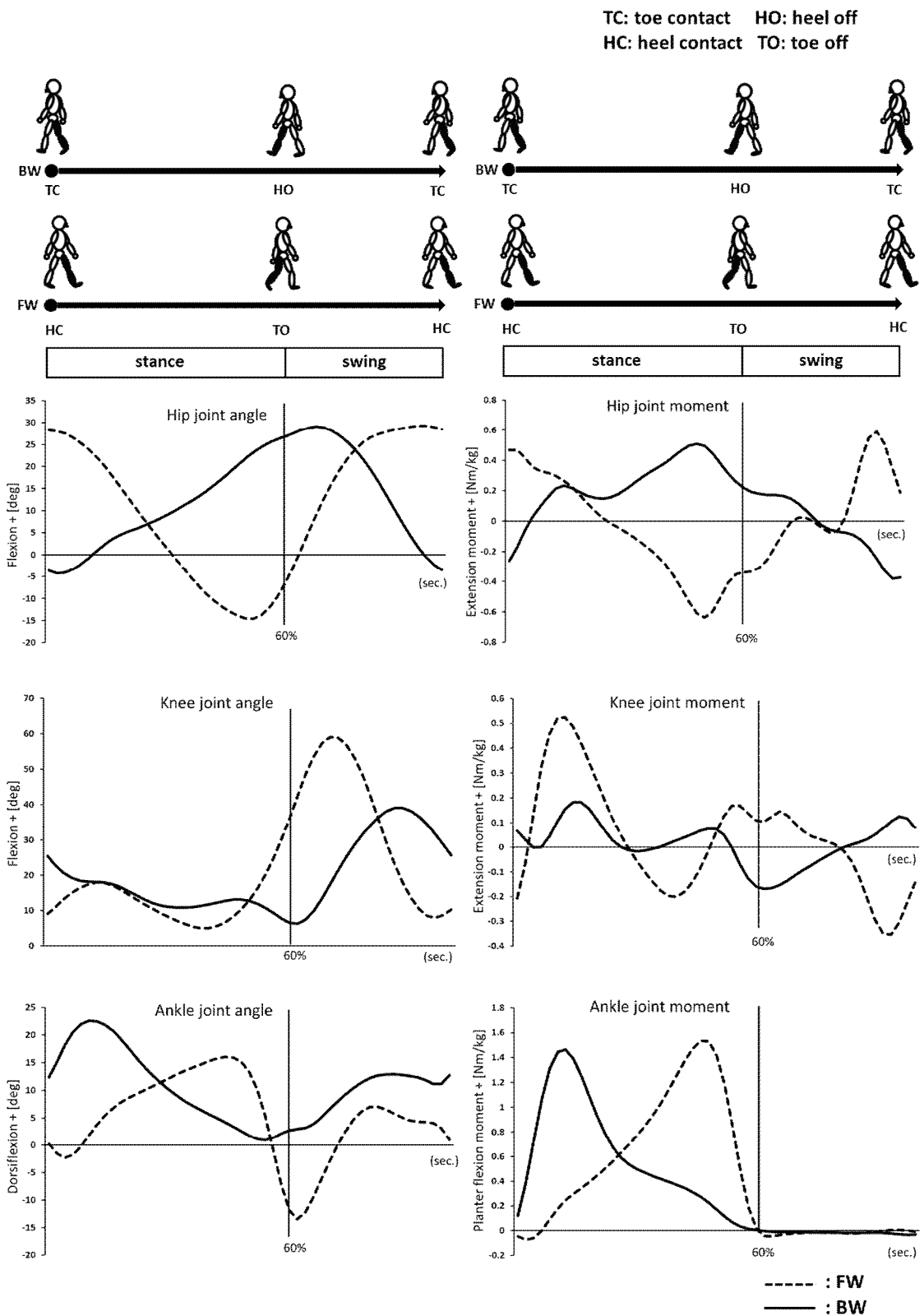


図4 関節角度と関節モーメント

● : 1 歩行周期の開始地点

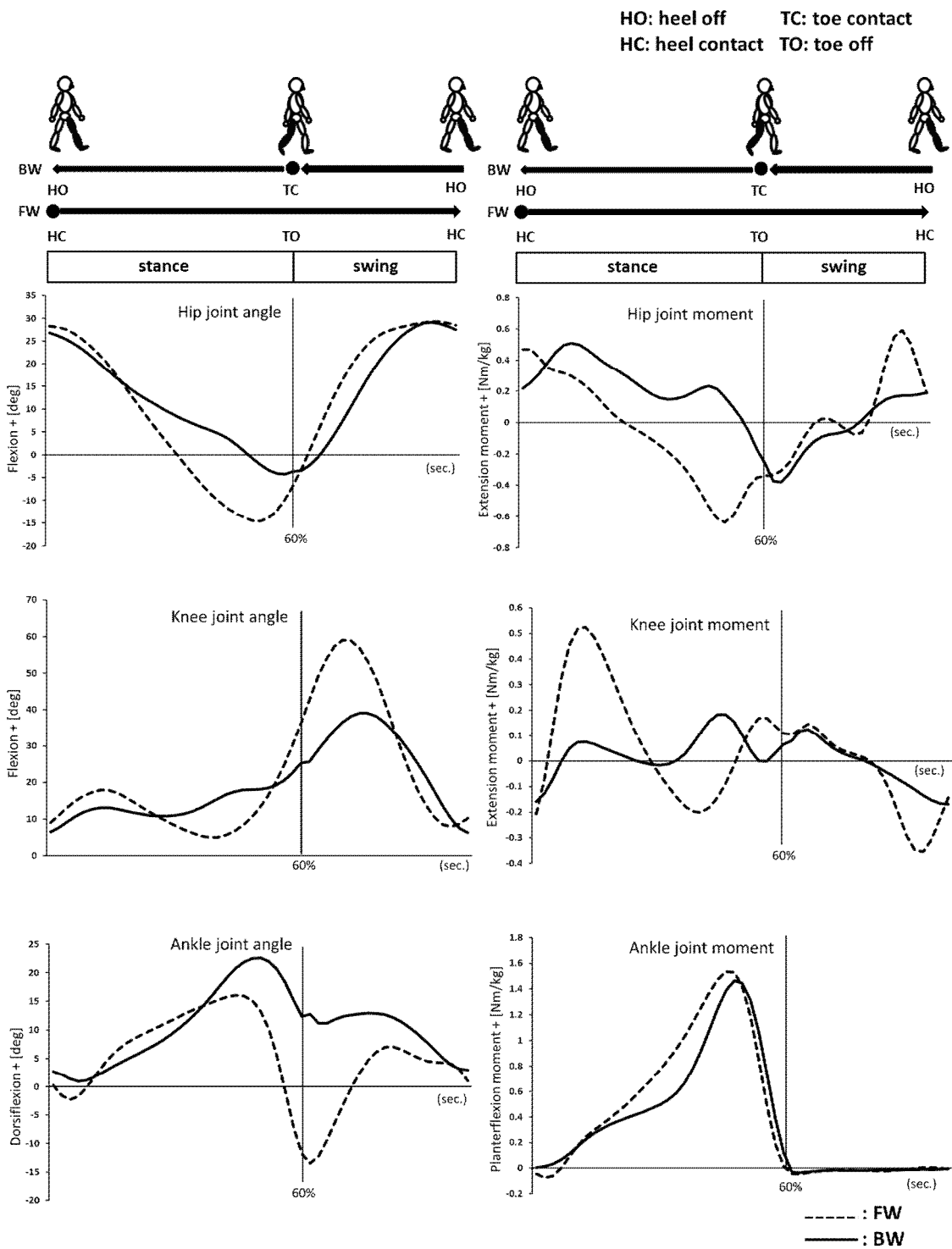


図5 関節角度と関節モーメント（逆転）

● : 1 歩行周期の開始地点

BW のグラフは、FW の HC と BW の HO を同期させ、さらに BW の運動を逆転させている。

考 察

本研究は、健常若年成人のBWの特徴を捉えることを目的とし、FWとBWで、歩行速度、ストライド長、ケイデンス、下肢の関節角度、関節モーメントについて比較した。その結果、FWと比較してBWでは、歩行速度、ストライド長、ケイデンスが有意に低下した。これは先行研究^{46, 50)}と類似した結果であった。

股関節伸展角度ピーク値はFWで $14.8 \pm 5.5^\circ$ 、BWで $5.1 \pm 4.7^\circ$ となり有意に低下した。また、膝関節屈曲角度ピーク値もFWで $59.5 \pm 7.6^\circ$ 、BWで $40.0 \pm 9.0^\circ$ となり有意に低下した。Vilenskyら³⁵⁾はトレッドミルを使用した3種類のスピードでFWとBWを行った報告で、FWに比べBWでは股関節の動きが少なく、歩幅が狭くなる傾向があると述べている。また、北湯口ら⁴⁴⁾は、トレッドミルを使用した3種類のスピードでFWとBWを行った報告で、BW時は歩行速度の増加に伴って、歩幅ではなく歩数の増加、言い換えればケイデンスの増加で対応していくため、膝関節伸展期間が短く、膝関節屈曲も少ないと述べている。藤澤ら⁴⁸⁾は、3つの速度条件でFWとBWを行った報告で、同じ歩行速度で比較した場合、BWではFWと比較してケイデンスが高値となり、歩幅が低値となる傾向があると報告している。

本研究では、速度条件は「任意」とし、FWと比較しBWでは有意に歩行速度が低下した。そのため、上記の報告のような速度変化による歩幅やケイデンスへの影響の考察は困難である。しかし、BWでは股関節伸展の運動範囲の減少がストライド長の減少につながり、トレッドミル歩行のような定められた速度維持を要求されていないため、ケイデンスが減少し歩行速度が低下したと考える。また、日常の歩行とは異なる実験室という特殊な環境であったため、より慎重な歩行となったことが、歩行速度とケイデンスの減少に影響を及ぼしたと考えられる。

関節モーメントの大きさは力の大きさと回転中心から力の作用線までの距離の積で求められるため、床反力が大きく、床反力ベクトルが関節から離れた位置を通るほど関節モーメントは大きいと推定することができる⁶⁰⁾。また、健常者の歩行(FW)では床反力が関節から遠く離れることはほとんどなく、平地歩行(FW)中の下肢関節には大きな筋活動は必要でないとされている⁶¹⁾。

金ら⁶²⁾は、健常成人7名を対象とし10種類の歩行速度で歩行(FW)を行った研究

で、股関節モーメントピーク値は膝関節モーメントピーク値、足関節モーメントピーク値より歩行速度とともに増大傾向が強かったと報告している。今回の結果では、FWと比較しBWで股関節と膝関節の関節モーメントが有意に低下している。これはBWでは、FWと比較し歩行速度が有意に低下していること、また関節運動範囲の減少によるものと考えられる。膝関節に関しては、FWでは歩行1周期を通じて関節モーメントは比較的小さい⁶⁰⁾と言われているが、今回のFWでも同様に関節モーメントは比較的小さく、歩行速度が減少したBWではさらに小さくなっていた。FWにおける股関節については、立脚初期に活動しているのは股関節伸筋群であり、立脚初期に後脚から移ってきた重心を受けてとめて、単脚支持期に向けて上方に押し上げるため股関節伸筋群が働く⁶⁰⁾と言われている。また早く歩く(FW)ためには股関節モーメントが重要であると示唆されている⁶²⁾。今回は、歩行速度を任意とし早く歩くことが要求されなかったため、股関節モーメントはBWで有意に低下したと思われる。

また金ら⁶²⁾は、歩行(FW)の推進力であると考えられている、立脚中期以降の足関節モーメントピーク値は歩行速度に依存しなかったとも報告している。今回の結果では、足関節モーメントに有意差はなく、また逆再生にしたグラフは類似している。しかし、通常再生のグラフをみると底屈モーメントのピーク位置が異なり、FWでは立脚相後半、BWでは前半となっている。このことにより、BWではFWでみられるような足関節モーメントによる推進力が得られにくく、歩行速度の減少、ストライド長の減少に影響したと思われる。

以上のように、健常若年成人のBWの特徴として、FWと比較して、歩行速度、ストライド長、ケイデンスの減少、股関節伸展可動域の減少、股関節・膝関節モーメントピーク値の減少、足関節底屈モーメントのピーク値の出現時期の相違といった特徴を捉えることができた。また、歩行速度に有意差がある状況下ではあるが、BWはFWの単純な逆転ではないということが示唆された。

今回は健常若年成人を対象としているが、今後は脳卒中片麻痺者のBWの特徴を捉えることを目的とし、研究をすすめていく予定である。その場合、対象者の多くが高齢者だと予想される。高齢者を対象とした報告で、Laufer⁶⁾は、高齢者と若年者ともに、FWと比較し、BWでは歩行速度、ストライド長が減少し、これらの変化は若年者より高

齢者で大きく、ケイデンスは変化がなかったと報告している。美和ら⁹⁾も、高齢者におけるBWは、FWと比較し、歩幅の減少、歩行速度の低下、歩行比の低下があったと報告している。脳卒中片麻痺者を対象とした場合も、歩行速度やストライド長の減少が予測される。また、BWでは、進行方向に対する視覚情報が得られず、高齢者にとっては非常に困難な歩行状態である⁹⁾と言われている。我々が行った今回の研究では、健常若年成人14名の被験者で、BW時に、恐怖心や不安感を訴える者はなく、また転倒につながるような危険な場面もなかった。健常者を対象とした研究より、高齢者や脳卒中片麻痺者の場合、転倒への配慮を充分に行う必要があると考える。

第 2 章

健常若年成人を対象とした後ろ歩きの研究

第 2 節

後ろ歩きにおける蹴り出しの有無が
足関節と股関節に与える影響

序 論

第1章で述べた通り、BWは、脳卒中患者のトレーニングとして有用である。しかし、FWに関する歩行分析や治療報告は多数なされているが、それと比較するとBWに関する報告は少ない。健常者を対象とした動作分析では、関節運動パターンや関節モーメントに関して、BWとFWは類似しているという報告^{34, 36, 41, 44)}もあれば、異なるという報告^{35, 48, 49, 51, 52, 53)}もあり、BWはFWの単純な逆再生か明確になっていない。また、動作分析に関する報告は健常者のみで、脳卒中片麻痺者を対象とした報告は見当たらない。

そこで、第2章第1節に示した通り、健常若年成人のBWの特徴を、FWと比較し捉えることを目的とし研究を行った。結果、健常若年成人のBWの特徴として、FWと比較して、歩行速度、ストライド長、ケイデンスの減少、股関節伸展可動域の減少、股関節・膝関節モーメントの減少、足関節底屈モーメントのピーク値の出現時期の相違といった特徴を捉えることができた。また、歩行速度に有意差がある状況下ではあるが、BWはFWの単純な逆転ではないということが示唆された。

前節で述べた結果には含まれていないが、研究を行っていく上で、興味深いことがあった。それは、前節の研究は対象者が14名であったが、足関節モーメントのバラつきが、FWと比較し、BWで大きいということである。参考までに、図6に被験者全14名分のBWとFWの1歩行周期の足関節モーメントのグラフを示す。

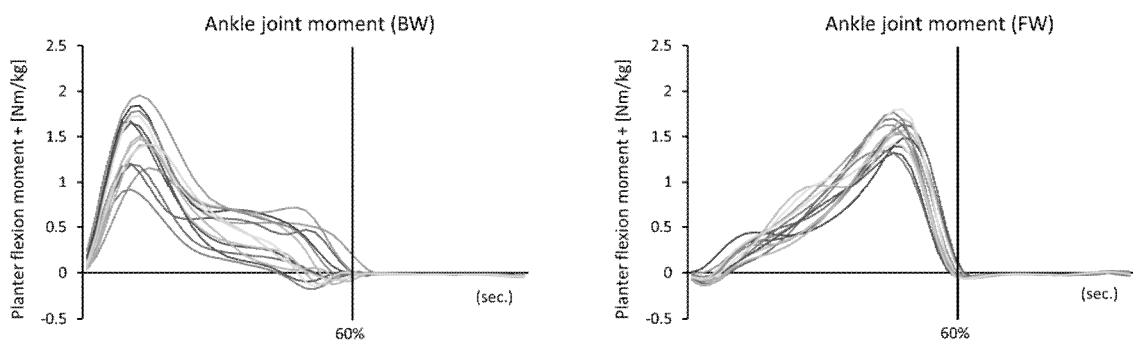


図6 第2章 第1節 全被験者(n=14)のBWとFWの足関節モーメントのグラフ

BWはFWとは異なり、日常的に行わない不慣れた動作であることから、個人差が大きいと考える。また前節の研究を通し、足関節で床面を蹴り出すようにBWを行う人と、あまり蹴り出さずに行う人がいるということがわかった。この結果より、BWの個人差は足関節に現れやすいのではないかと推測された。そこで、足関節の動きをある程度条件統一を図る意味でも、意識的に実行させることで、歩容評価に有益ではないかと新たに推察された。

井川ら⁶³⁾は、歩行(FW)立脚後期および階段昇降全周期において、高齢者は若年者に比べ、前脛骨筋活動量を増大させ、足関節の剛性を高めていると報告している。このように、足関節は年齢の影響を受けやすいと思われる。

歩行(FW)時、足関節底屈筋の大きな活動は踵離地付近で生じ、足趾離地時、急に低下しほぼゼロになる。その短い間、これらの筋の短縮は身体の推進に不可欠な足関節底屈トルクを発生する。この作用はプッシュオフ*といわれる⁶⁴⁾。

このように、FW時に足関節は重要な役割を担っており、BWにおいても足関節の分析を行うことは重要だと考える。

そこで本節の目的は、BWにおいて、足関節での蹴り出しを意識した場合と、意識しない場合で、運動学・運動力学的な差異を明らかにすることとする。

FWでは、足関節と股関節には相互補完の関係があると言われている⁶⁵⁾。また、BWは足関節の貢献度が低いという報告もある⁵³⁾。そこで、本節では特に、足関節と股関節に着目し分析を行うこととする。

* プッシュオフ⁶⁶⁾

前遊脚期の間、トレイリング下肢(股関節過伸展位)は急速に荷重から解放され、立脚終期における前進によってきつくひかれた腓腹筋とヒラメ筋の筋腱複合体の緊張は緩められる。すると引き伸ばされた腱の弾性反跳による爆発的な力が生じ、急速な底屈の一因となる。この現象は一般にプッシュオフ(踏み切り)とよばれており、この力は下肢の前方への振り出しを開始するのに充分大きい。多くの研究者は、これが下肢を遊脚へ前進させる主要な推進力であると考えている。

方法

1. 対象

対象者は下肢や腰部に問題となるような既往歴を有しない健常若年成人 14 名(男性 10 名、女性 4 名、年齢: 21.8 ± 1.8 歳、身長: 169.0 ± 8.6 cm、体重: 58.9 ± 8.9 kg)であった。すべての対象者には本研究の概要等を十分に説明し、書面にて同意を得た。また弘前大学大学院保健学研究科倫理委員会の承認を得てから実施した(整理番号: HS2015-031)。

2. 計測機器

計測機器は、赤外線カメラ 8 台で構成される三次元動作解析装置(Vicon Motion Systems 社製、Vicon Nexus)および床反力計 1 枚(AMTI 社製、 $400\text{mm} \times 600\text{mm}$)を使用し、サンプリング周波数は 100Hz とした。三次元動作解析装置に設定されている Plug-in Gait Full Body モデルに従い、直径 14mm の赤外線反射マーカを対象者の身体の 35 か所(頭部 4 か所、第 7 頸椎棘突起・第 10 胸椎棘突起・胸骨柄・胸骨剣状突起・右肩甲骨に 1 か所ずつ、肩峰・肘関節・橈骨茎状突起・尺骨茎状突起・手指第 2MP 関節・上前腸骨棘・上後腸骨棘・大腿外側・膝軸・下腿外側・外果・足趾第 2MP 関節・踵部の左右 1 か所ずつの合計 35 か所)に貼付した(詳細は第 2 章第 1 節、p.24 参照)。また、解析には解析ソフト Polygon4 を使用した。

3. 実験手順

床反力計上を通過するような 5m の歩行路(p.25、図 3 参照)を設定し、次の 3 条件で BW を行った。特に指示をしない BW(以下、通常 BW)、口頭指示により、蹴り出しを意識した BW(以下、蹴り出し BW)、蹴り出さないよう意識した BW(以下、蹴り出さない BW)の 3 条件である。口頭指示は、蹴り出し BW では「いつもより足で床面をしっかりと蹴るようにして歩いてください」、蹴り出さない BW では「あまり足で床面を蹴らないようにして歩いてください」とした。

最初に通常 BW の計測を行い、蹴り出し BW と蹴り出さない BW を行う順番はランダムとした。各条件で数分間練習してから計測した。成功試行を各 3 回計測し、最も自

然な歩行の試行を選択し、分析を行った。また、すべての条件において、歩行速度は任意とした。

4. データ解析

BW では右 TC から、右 HO を経て、次の右 TC までを 1 歩行周期とし、この 1 歩行周期の分析を行った。

分析項目は、歩行速度、ストライド長、ケイデンス、Foot off、矢状面における下肢の関節角度と関節モーメントであった。これらの項目について 3 条件間で比較を行った。統計学的分析はエクセル統計 Statcel3 を使用し、多重比較検定の Tukey 法を用い、有意水準は 5% 未満とした。

結果

1. 歩行パラメータ

歩行パラメータの結果を表6に示す。歩行速度、ストライド長は、蹴り出しBW、通常BW、蹴り出さないBWの順に高値を示した。内訳を述べると、歩行速度は順に、 1.0 ± 0.2 m/s、 0.8 ± 0.2 m/s、 0.6 ± 0.02 m/sで各群間相互で有意差を認めた。ストライド長は順に、 1.3 ± 0.2 m、 1.0 ± 0.2 m、 0.8 ± 0.2 mでこれも各群間相互で有意差を認めた。

ケイデンスとFoot offに有意差は認められなかった。

表6 歩行パラメータ

	通常BW	蹴り出しBW	蹴り出さないBW
Walking speed (m/s)	0.8 ± 0.2	1.0 ± 0.2	0.6 ± 0.02
Stride length (m)	1.0 ± 0.2	1.3 ± 0.2	0.8 ± 0.2
Cadence (steps/min)	97.9 ± 12.3	93.5 ± 12.9	90.7 ± 12.8
Foot off (%)	60.8 ± 2.9	60.9 ± 2.9	59.3 ± 2.3

* : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

2. 関節角度・関節モーメント

関節角度ピーク値を表 7 に示す。股関節伸展角度ピーク値では、蹴り出し BW で $12.0 \pm 4.9^\circ$ 、蹴り出さない BW で $6.3 \pm 4.6^\circ$ で有意差を認めた。また、足関節背屈角度ピーク値では、通常 BW で $5.3 \pm 3.0^\circ$ 、蹴り出し BW で $12.5 \pm 11.1^\circ$ 、底屈角度ピーク値では、蹴り出し BW で $22.5 \pm 5.6^\circ$ 、蹴り出さない BW で $16.2 \pm 5.5^\circ$ で有意差を認めた。その他の項目では有意差はなかった。

表 7 関節角度ピーク値 ($^\circ$)

		通常BW	蹴り出しBW	蹴り出さないBW
Hip joint	Flexion	26.8 ± 8.2	29.9 ± 6.8	25.9 ± 9.2
	Extension	10.2 ± 4.6	12.0 ± 4.9	6.3 ± 4.6
			**	
Knee joint	Flexion	43.7 ± 10.8	42.6 ± 8.3	37.8 ± 16.4
	Extension	-5.0 ± 3.7	-3.4 ± 2.7	-5.8 ± 4.1
Ankle joint	Dorsiflexion	5.3 ± 3.0	12.5 ± 11.1	5.9 ± 5.2
	Plantar flexion	18.7 ± 5.8	22.5 ± 5.6	16.2 ± 5.5
			*	

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

関節モーメントのピーク値を表8に示す。蹴り出さないBWと比較し、蹴り出しBWで有意に高値を示したのは次の項目であった。股関節屈曲モーメントピーク値(蹴り出しBW、蹴り出さないBWの順に、 $0.6 \pm 0.2 \text{ Nm/kg}$ 、 $0.3 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$)、股関節伸展モーメントピーク値(同、 $0.6 \pm 0.2 \text{ Nm/kg}$ 、 $0.3 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$)、足関節底屈モーメントピーク値(同、 $1.6 \pm 0.5 \text{ Nm/kg}$ 、 $1.1 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$)の3項目であった。さらに、股関節屈曲モーメントピーク値では、通常BW($0.4 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$)と蹴り出しBW($0.6 \pm 0.2 \text{ Nm/kg}$)の間にも有意差を認めた。その他の項目では有意差はなかった。

表8 関節モーメントピーク値(Nm/kg)

		通常BW	蹴り出しBW	蹴り出さないBW
Hip joint	Flexion	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.3 ± 0.1
	Extension	0.5 ± 0.2	0.6 ± 0.2	0.3 ± 0.1
Knee joint	Flexion	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.1
	Extension	0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.4	0.3 ± 0.2
Ankle joint	Dorsiflexion	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1
	Plantar flexion	1.2 ± 0.3	1.6 ± 0.5	1.1 ± 0.3

* : $p < 0.05$ * * : $p < 0.01$

関節角度と関節モーメントの1歩行周期のグラフを図7に示す。左側が関節角度を示し、右側が関節モーメントを示している。

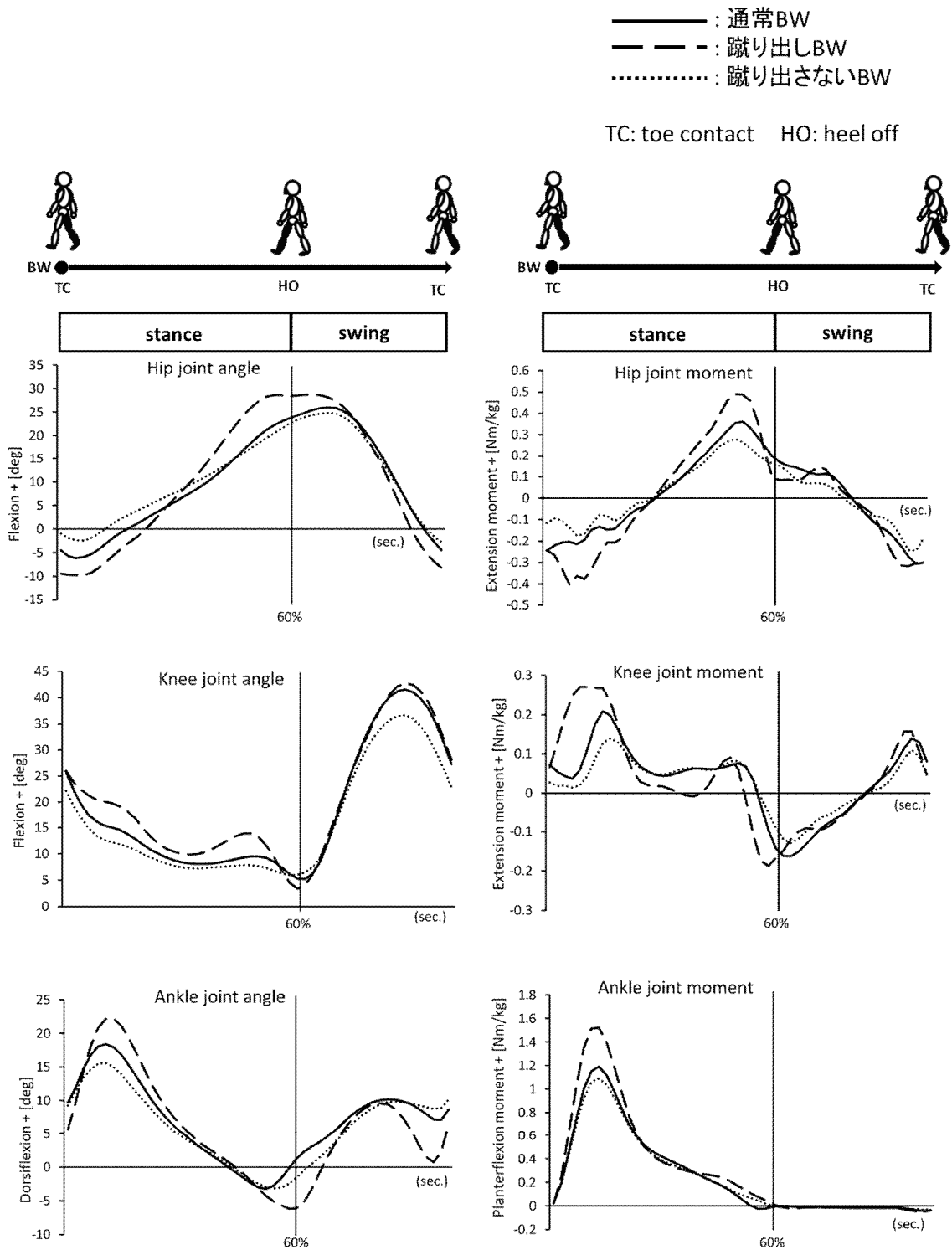


図7 関節角度と関節モーメント

考 察

本研究の目的は、足関節と股関節に着目し、**BW**において足関節での蹴り出しを意識した場合と、意識しない場合で、運動学・運動力学的な差異を明らかにすることであった。**Soda**ら⁵³⁾は、**BW**において、推進力に対する足関節の貢献度は低いと報告している。そこで今回、足関節での蹴り出しを意識することで、足関節の貢献度が増すのではないかと考えた。

本研究で、「蹴り出しを意識した場合」と、「蹴り出しを意識しない場合」とでは、意識した**BW**で、足関節底屈角度ピーク値と底屈モーメントピーク値が有意に増加した。また歩行速度が有意に速くなり、ストライド長も有意に増加した。よって、足関節での蹴り出しを意識したことで、推進力に対する足関節の貢献度が増加したと考える。

本研究では、口頭で「いつもより足で床面をしっかりと蹴るようにして歩いてください」、「あまり足で床面を蹴らないようにして歩いてください」と指示しただけで、身体の他の部位に対して特に指示をしていなかった。しかし、足関節での蹴り出しを意識しただけで、意識しない場合より、股関節伸展角度、股関節屈曲・伸展モーメントのピーク値が有意に増加した。

藤澤ら⁴⁸⁾は、**FW**では踵接地時に床反力ベクトルが足関節付近を通り、荷重応答期 (loading response) に足関節が安定しやすく、荷重連鎖が円滑に生じるのに対して、**BW**では足尖で接地するために床反力ベクトルは足関節のかなり前方を通り、足部の運動制御はより難易度が高くなると述べている(次ページ、図8参照)。また、**Soda**ら⁵³⁾は、**BW**は足関節パワー発揮に不利な動作であると述べている。さらに、股関節伸展可動域が屈曲可動域と比べ相当小さいため、下肢の振り出しには体幹および股関節伸筋群の求心性収縮による大きな筋活動が必要と思われる⁴⁸⁾という報告もある。

以上のことより、**BW**は足関節戦略に不利な動作であり、股関節の運動が補完していると考えられる。

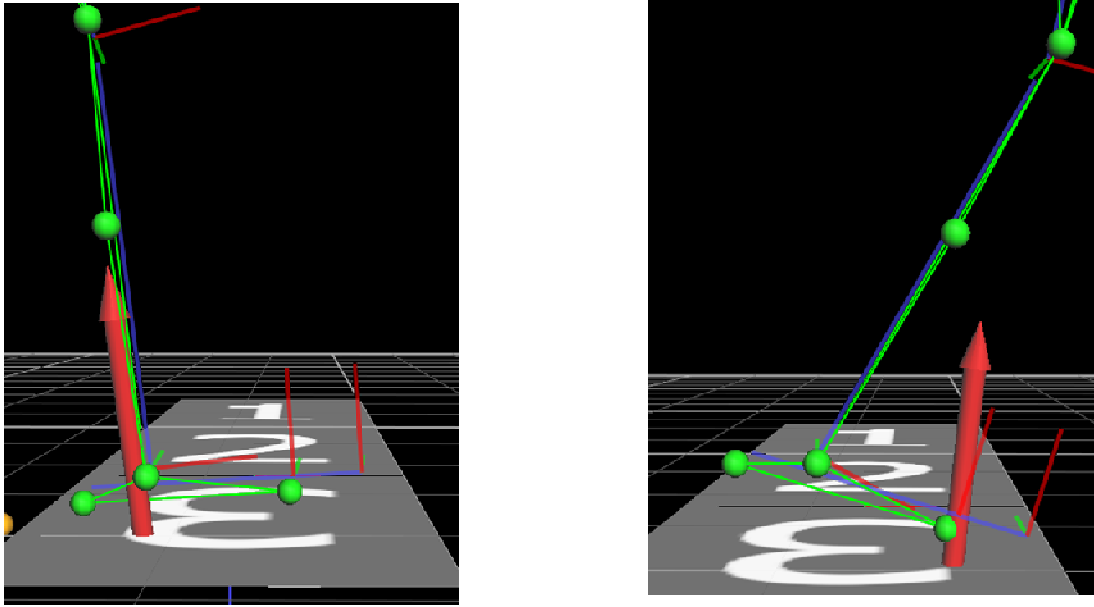


図 8 足関節と床反力の位置関係

左図:FW の踵接地時では床反力ベクトル(赤矢印)が足関節付近を通る

右図:BW の足尖接地時では床反力ベクトル(赤矢印)が足関節のかなり前方を通る

Lewisら⁶⁵⁾は、健常者を対象とし、自然なプッシュオフ (Natural Pushoff) とプッシュオフ増加 (Increased Pushoff)、プッシュオフ減少 (Decreased Pushoff) の 3 条件で FW を行ったところ、足関節と股関節の相互補完の関係を認めたと報告している。Tateuchiら⁶⁷⁾は、人工股関節置換術患者において、少ない足関節プッシュオフ (decreased ankle pushoff) での歩行練習は、股関節の機能の改善の一助となると報告している。また、石原ら⁶⁸⁾は CP 児・者を対象とし、歩行 (FW) 中のけりだし強化が、足関節と股関節に即時的な変化が生じるかを検討し、強いけりだし歩行遂行には足関節の活動ではなく、股関節で代償していたと報告している。

これらFWに関する3つの報告のいずれも、口頭で指示を与え、上記のような結果を得ていた。BWに関する本研究では、足関節による蹴り出しを意識することで、蹴り出さない場合と比較し、股関節屈曲・伸展モーメントピーク値と、足関節底屈モーメントピーク値が高値を示した。よって、FWとは異なる戦略であるということが示唆された。

歩行パラメータについては、歩行速度、ストライド長は、蹴り出しBW、通常BW、蹴

り出さない BW の順に高値を示した。股関節の運動範囲もこの順に大きくなっており、特に股関節伸展の運動範囲の拡大が、ストライド長の延長につながったと考える。また、蹴り出しを意識したことで、足関節による推進力が得られやすくなり、ストライド長の延長が歩行速度向上に寄与したと考える。

本研究の限界

本研究では、「いつもより足で床面をしっかり蹴るようにして歩いてください」もしくは「あまり床面を蹴らないようにして歩いてください」という口頭指示のみで、「蹴り出し BW」と「蹴り出さない BW」を定義した。各条件で、口頭指示をした後、数分間の練習を行ってから計測を行った。これだけで、パフォーマンスを適切に行えていたかは不確かである。適切なパフォーマンスを行えていたか確認する方法を再検討する必要があると考える。

ただ、臨床場面への応用を考える場合、口頭指示が現実的であると考え。高額な機器や操作が煩雑な機器では、臨床場面での日常的な使用は難しくなる。口頭指示の内容が適切であったかは再検討の余地があると思われるが、今回は口頭指示のみで計測を行った。

また、本研究の対象者は健常若年成人であった。高齢者や疾患を有する者において、今回と同様の結果が得られるかは疑問である。臨床場面への応用を考える場合、高齢者や疾患を有する者を対象とし、さらに検討する必要があると思われる。

第 3 章

脳卒中片麻痺者における 後ろ歩きの動作解析

序 論

第2章第1節に示した通り、健常若年成人のBWの特徴を、FWと比較し捉えることを目的とし研究を行った。その結果、健常若年成人のBWの特徴として、FWと比較して、歩行速度、ストライド長、ケイデンスの減少、股関節伸展可動域の減少、股関節・膝関節モーメントピーク値の減少、足関節底屈モーメントのピーク値の出現時期の相違といった特徴を捉えることができた。また、歩行速度に有意差がある状況下ではあるが、BWはFWの単純な逆転ではないということが示唆された。

これまでに述べてきた通り、BWの動作分析に関して、健常者を対象として報告はあるが、脳卒中片麻痺者を対象とした報告は見当たらない。脳卒中片麻痺者のBWの特徴を捉えることができれば、より効果的なトレーニングメニューの検討等、臨床への応用につなげることができると考える。

そこで、本研究の目的は、脳卒中片麻痺者のBWの特徴を、麻痺側と非麻痺側下肢の関節運動と関節モーメント、歩行速度、ストライド長、ケイデンスに着目し捉えることである。さらに健常若年成人と比較し考察を加え検討する。

方法

1. 対象

脳卒中片麻痺者9名(男性8名、女性1名、年齢 68.9 ± 8.8 歳、身長 162.7 ± 9.2 cm、体重 63.4 ± 15.4 kg、右片麻痺2名、左片麻痺7名、下肢 Br. StageIVが5名、Vが4名、脳梗塞6名、脳出血3名、平均発症からの経過期間6.4年、日常的に杖と短下肢装具を使用している者2名)がボランティアとして本研究に参加した。

参加の条件は、装具を使用せず裸足でFWとBWが自立して5m以上可能な者、計測に支障をきたすような視力や理解力の低下がない者、また、重大な疾患が腰部や下肢にない者であった。認知機能障害で参加が困難な者、パーキンソニズムがある者は除外した。なお、計測時に杖の使用は許可し、2名が計測時にT字杖を使用した(p.79資料1参照)。

すべての対象者には本研究の概要等を十分に説明し、書面にて同意を得た。また弘前大学大学院医学研究科倫理委員会の承認を得てから実施した(整理番号: 2014-076)。

2. 計測機器

計測機器は、赤外線カメラ8台で構成される三次元動作解析装置(Vicon Motion Systems社製、Vicon Nexus)および床反力計1枚(AMTI社製、 $400\text{mm} \times 600\text{mm}$)を使用し、サンプリング周波数は100Hzとした。三次元動作解析装置に設定されているPlug-in Gait Full Bodyモデルに従い、直径14mmの赤外線反射マーカを対象者の身体の35か所(頭部4か所、第7頸椎棘突起・第10胸椎棘突起・胸骨柄・胸骨剣状突起・右肩甲骨に1か所ずつ、肩峰・肘関節・橈骨茎状突起・尺骨茎状突起・手指第2MP関節・上前腸骨棘・上後腸骨棘・大腿外側・膝軸・下腿外側・外果・足趾第2MP関節・踵部の左右1か所ずつの合計35か所)に貼付した(詳細は第2章第1節、p.24参照)。また、解析には解析ソフトPolygon4を使用した。

3. 実験手順

床反力計上を通過するような5mの歩行路を設定した。床面に誘導用の赤いライン

を引いた。BWは進行方向が見えないため、コースから外れないようにするため、またゴールを分かりやすくするために誘導用の赤いラインを引いた。そのラインを見ながら、速度と歩幅は任意でFWとBWを行った。計測順序はFW、BWとした。FW、BWともに数回練習を行って実施した。成功試行を各3回計測し、最も自然な歩行の試行を選択し、分析を行った。

安全には充分注意して行い、万が一の転倒に備え、計測の妨げにならない位置に付添えを付けて実施した。

4. データ解析

FWでは一側のHCから、同側のTOを経て、次の同側のHCまでを1歩行周期とした。BWでは一側のTCから、同側HOを経て、次の同側のTCまでを1歩行周期とした。この1歩行周期の分析を行った。麻痺側と非麻痺側のFWとBWについて分析を行った。

分析項目は、歩行速度、ストライド長、ケイデンス、Foot off、矢状面における下肢の関節角度と関節モーメントであった。麻痺側下肢のFW1歩行周期(次ページ以降の結果の表では、FW麻痺側とする)、非麻痺側下肢のFW1歩行周期(同様、FW非麻痺側)、麻痺側下肢のBW1歩行周期(同様、BW麻痺側)、非麻痺側下肢のBW1歩行周期(同様、BW非麻痺側)の4つについて比較を行った。

統計学的分析はエクセル統計 Statcel3を使用し、多重比較検定のTukey法を用い、有意水準は5%未満とした。

結 果

「1. 麻痺側下肢の FW と BW の比較」と「2. BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較」について結果を記載していく。

1. 麻痺側下肢の FW と BW の比較

(1) 歩行パラメータ

結果を表 9 に示す。歩行速度は、FW で 0.51 ± 0.15 m/s、BW で 0.21 ± 0.09 m/s であった。ストライド長は、FW で 0.80 ± 0.14 m、BW で 0.36 ± 0.09 m であった。この 2 項目については FW と比較し BW で有意に低下した。ケイデンスと Foot off には有意差は認められなかった。

表 9 歩行パラメータ (麻痺側下肢の FW と BW の比較)

	FW 麻痺側	BW 麻痺側
Walking speed (m/s)	0.51 ± 0.15	0.21 ± 0.09 **
Stride length (m)	0.80 ± 0.14	0.36 ± 0.09 **
Cadence (steps/min)	75.86 ± 18.91	68.23 ± 16.70
Foot off (%)	60.52 ± 6.30	61.44 ± 8.93

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

(2) 関節角度

結果を表 10 に示す。股関節伸展角度ピーク値が、FW で $8.58 \pm 9.49^\circ$ 、BW で -8.13 ± 9.29 であり、この項目のみで有意差を認め、他の項目では有意差は認められなかった。BW の麻痺側股関節伸展は、唯一マイナス表記であり、体の後方へ下肢を送れないことを意味する。

表 10 関節角度ピーク値($^\circ$) (麻痺側下肢の FW と BW の比較)

		FW 麻痺側	BW 麻痺側
Hip joint	Flexion	23.31 ± 7.61	23.31 ± 7.13
	Extension	8.58 ± 9.49	-8.13 ± 9.29 **
Knee joint	Flexion	24.68 ± 8.06	22.06 ± 10.94
	Extension	1.92 ± 7.63	1.33 ± 8.14
Ankle joint	Dorsiflexion	14.50 ± 5.10	11.77 ± 3.51
	Plantar flexion	0.39 ± 8.13	2.16 ± 6.90

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

(3) 関節モーメント

結果を表 11 に示す。股関節屈曲モーメントピーク値が、FW で $0.46 \pm 0.18 \text{Nm/kg}$ 、BW で $0.15 \pm 0.09 \text{Nm/kg}$ であった。膝関節伸展モーメントピーク値が、FW で $0.24 \pm 0.12 \text{Nm/kg}$ 、BW で $0.06 \pm 0.04 \text{Nm/kg}$ であった。足関節底屈モーメントピーク値が、FW で $1.09 \pm 0.32 \text{Nm/kg}$ 、BW で $0.62 \pm 0.19 \text{Nm/kg}$ であった。この 3 項目で有意差を認め、他の項目では有意差は認められなかった。

表 11 関節モーメントピーク値 (Nm/kg) (麻痺側下肢の FW と BW の比較)

		FW 麻痺側	BW 麻痺側
Hip joint	Flexion	0.46 ± 0.18	0.15 ± 0.09 **
	Extension	0.43 ± 0.16	0.56 ± 0.19
Knee joint	Flexion	0.37 ± 0.25	0.40 ± 0.25
	Extension	0.24 ± 0.12	0.06 ± 0.04 *
Ankle joint	Dorsiflexion	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.003
	Plantar flexion	1.09 ± 0.32	0.62 ± 0.19 **

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

2. BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較

(1) 歩行パラメータ

結果を表 12 に示す。Foot off は、麻痺側で $61.44 \pm 8.93\%$ 、非麻痺側で $78.75 \pm 4.89\%$ で、麻痺側と比較し非麻痺側で立脚相の有意な増加を認めた。歩行速度、ストライド長、ケイデンスに有意差は認められなかった。

表 12 歩行パラメータ (BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較)

	BW 麻痺側	BW 非麻痺側
Walking speed (m/s)	0.21 ± 0.09	0.23 ± 0.07
Stride length (m)	0.36 ± 0.09	0.42 ± 0.08
Cadence (steps/min)	68.23 ± 16.70	66.28 ± 13.77
Foot off (%)	61.44 ± 8.93	78.75 ± 4.89 **

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

(2) 関節角度

結果を表 13 に示す。膝関節屈曲角度ピーク値が、麻痺側で $22.06 \pm 10.94^\circ$ 、非麻痺側で $36.09 \pm 11.69^\circ$ であった。足関節背屈角度ピーク値が、麻痺側で $11.77 \pm 3.51^\circ$ 、非麻痺側で 23.95 ± 4.96 であり、この 2 項目で有意差を認めた。他の項目では有意差は認められなかった。

表 13 関節角度ピーク値($^\circ$) (BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較)

		BW 麻痺側	BW 非麻痺側
Hip joint	Flexion	23.31 ± 7.13	31.11 ± 6.00
	Extension	-8.13 ± 9.29	-5.85 ± 9.73
Knee joint	Flexion	22.06 ± 10.94	$36.09 \pm 11.69 *$
	Extension	1.33 ± 8.14	-5.87 ± 7.57
Ankle joint	Dorsiflexion	11.77 ± 3.51	$23.95 \pm 4.96 **$
	Plantar flexion	2.16 ± 6.90	2.65 ± 5.95

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

(3) 関節モーメント

結果を表 14 に示す。股関節伸展モーメントピーク値が、麻痺側で $0.56 \pm 0.19 \text{Nm/kg}$ 、非麻痺側で $0.83 \pm 0.21 \text{Nm/kg}$ であった。膝関節伸展モーメントピーク値が、麻痺側で $0.06 \pm 0.04 \text{Nm/kg}$ 、非麻痺側で $0.33 \pm 0.20 \text{Nm/kg}$ であった。足関節底屈モーメントピーク値で、麻痺側で $0.62 \pm 0.19 \text{Nm/kg}$ 、非麻痺側で $1.14 \pm 0.18 \text{Nm/kg}$ であった。この 3 項目で有意差を認め、他の項目では有意差は認められなかった。

表 14 関節モーメントピーク値 (Nm/kg) (BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較)

		BW 麻痺側	BW 非麻痺側
Hip joint	Flexion	0.15 ± 0.09	0.27 ± 0.11
	Extension	0.56 ± 0.19	$0.83 \pm 0.21 *$
Knee joint	Flexion	0.40 ± 0.25	0.47 ± 0.18
	Extension	0.06 ± 0.04	$0.33 \pm 0.20 **$
Ankle joint	Dorsiflexion	0.02 ± 0.003	0.02 ± 0.01
	Plantar flexion	0.62 ± 0.19	$1.14 \pm 0.18 **$

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

3. 健常若年成人と脳卒中片麻痺者の比較

参考までに、健常若年成人 14 名 (第 2 章第 1 節の被験者) と、脳卒中片麻痺者 9 名の BW の結果を併記したものを表 15~17 を示す。

表 15 歩行パラメータ(BW)

	健常若年成人	麻痺側	非麻痺側
Walking speed (m/s)	0.8 ± 0.1	0.21±0.09	0.23±0.07
Stride length (m)	1.0 ± 0.1	0.36±0.09	0.42±0.08
Cadence (steps/min)	102.8 ± 10.5	68.23±16.70	66.28±13.77
Foot off (%)	59.4 ± 2.2	61.44±8.93	78.75±4.89

表 16 関節角度ピーク値(°) (BW)

		健常若年成人	麻痺側	非麻痺側
Hip joint	Flexion	29.5 ± 5.5	23.31±7.13	31.11±6.00
	Extension	5.1 ± 4.7	-8.13±9.29	-5.85±9.73
Knee joint	Flexion	40.0 ± 9.0	22.06±10.94	36.09±11.69
	Extension	-5.1 ± 5.5	1.33±8.14	-5.87±7.57
Ankle joint	Dorsiflexion	23.2 ± 5.9	11.77±3.51	23.95±4.96
	Plantar flexion	2.7 ± 7.8	2.16±6.90	2.65±5.95

表 17 関節モーメントピーク値(Nm/kg) (BW)

		健全若年成人	麻痺側	非麻痺側
Hip joint	Flexion	0.4 ± 0.1	0.15±0.09	0.27±0.11
	Extension	0.6 ± 0.3	0.56±0.19	0.83±0.21
Knee joint	Flexion	0.3 ± 0.1	0.40±0.25	0.47±0.18
	Extension	0.4 ± 0.3	0.06±0.04	0.33±0.20
Ankle joint	Dorsiflexion	0.1 ± 0.05	0.02±0.003	0.02±0.01
	Plantar flexion	1.5 ± 0.3	0.62±0.19	1.14±0.18

また、図 9 に健常若年成人 14 名 (第 2 章第 1 節の被験者) と、脳卒中片麻痺者 9 名の麻痺側と非麻痺側の、FW と BW の足関節モーメントのグラフを示す。

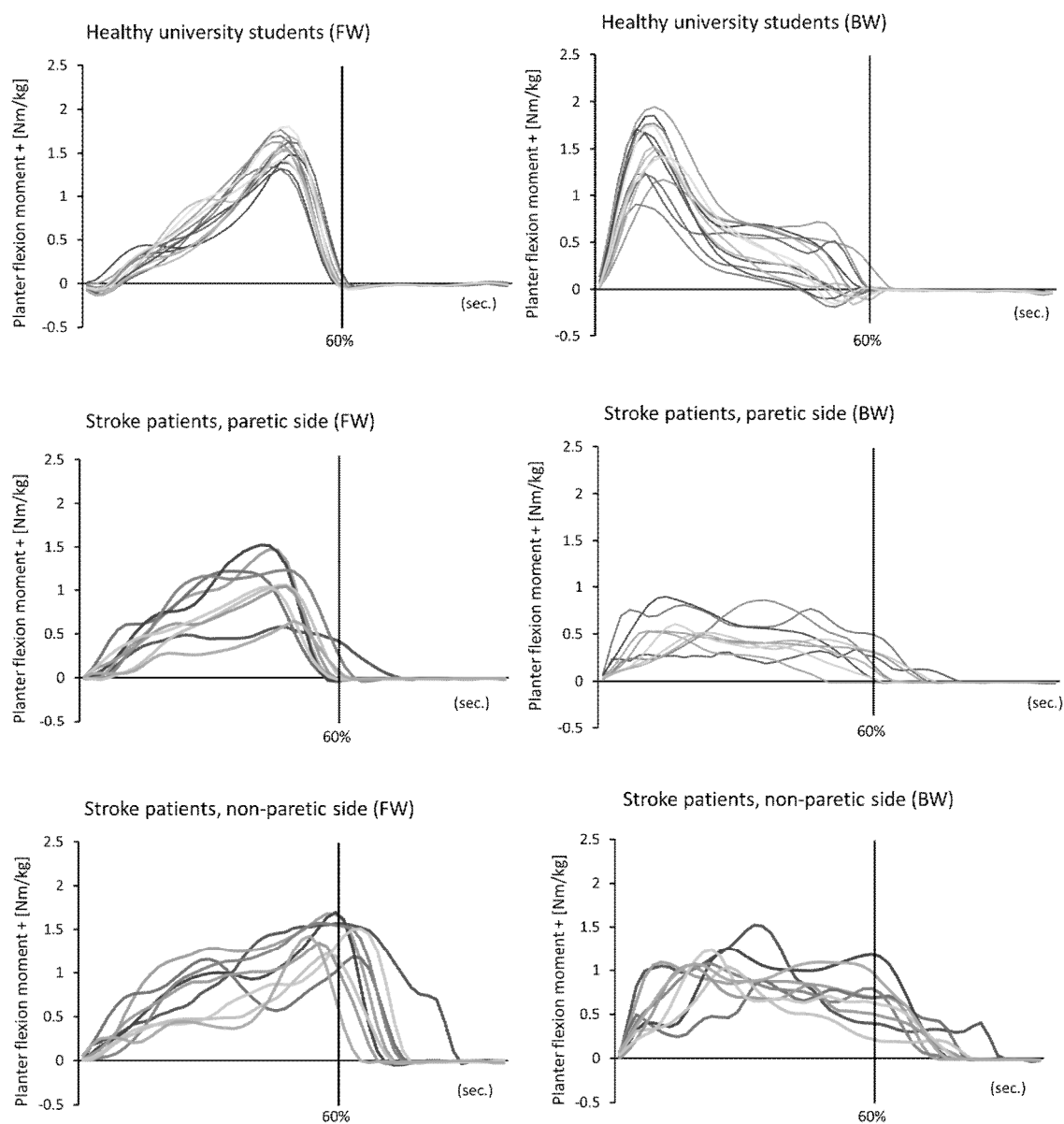


図 9 健常若年成人 14 名と脳卒中片麻痺者 9 名の足関節モーメントのグラフ
 (上段:健常若年成人 中段:片麻痺者(麻痺側) 下段:片麻痺者(非麻痺側))
 (左列:FW 右列:BW)

表 15～17 及び図 9 より読み取れる、BW における特徴的な事項は以下に列挙する。

- 健常若年成人と比較すると脳卒中片麻痺者では、歩行速度、ストライド長、ケイデンスの低下がみられる。
- 健常若年成人と比較すると脳卒中片麻痺者では、股関節伸展角度ピーク値の低下がみられる。
- 足関節底屈モーメントについて、健常若年成人と比較し脳卒中片麻痺者では低下する傾向にあり、麻痺側で特に低下する。また健常若年成人の場合、立脚初期にピークがみられるが(図 9 右側上段のグラフ参照)、脳卒中片麻痺者では明確なピークがみられない(図 9 右側中段・下段のグラフ参照)。

考 察

脳卒中片麻痺者の **BW** の特徴を、麻痺側と非麻痺側下肢の関節運動と関節モーメント、歩行速度、ストライド長、ケイデンスに着目し捉えたところ、以下に示す特徴を得た。いくつかの項目に分け説明していく。

1. 麻痺側下肢の **FW** と **BW** の比較

麻痺側下肢の **FW** と **BW** を比較した場合、以下に示すような結果が得られた。**FW** と比較し **BW** において、歩行速度とストライド長の有意な低下、股関節伸展角度ピーク値の有意な低下、股関節屈曲・膝関節伸展・足関節底屈モーメントピーク値の有意な低下が認められた。これらの結果は著者らが行った先行研究(第2章第1節)⁶⁹⁾と類似した。

本研究でも、**BW** は進行歩行が見えず、日常では行わない不慣れた動作であったため、有意に速度が低下したものと思われる。また歩行速度条件を「任意」としたことで、歩行速度を維持する必要がなく、ケイデンスも低下したと考える。

関節角度では、股関節伸展角度ピーク値が **BW** で有意に低下し、股関節の運動範囲の減少が認められた。**BW** における股関節伸展運動の減少が、ストライド長の減少につながったと考える。しかし、本研究では股関節・膝関節・足関節に着目しており、骨盤や体幹の分析を行っていない。

国分ら⁷⁰⁾、脳卒中片麻痺患者の歩行において、頻繁に経験する遊脚相の異常動作として麻痺側の振り出しにくさを挙げている。患者は困難感に対し、「非麻痺側への体幹側屈および非麻痺側股関節外転での麻痺側骨盤拳上による麻痺側下肢の振り出し」、「体幹後傾による麻痺側下肢の振り出し」⁷¹⁾といった対応をしていると述べている。脳卒中片麻痺者の **BW** を考える際には、**FW** と同様、体幹や骨盤の状態を考慮しなくてはならない。実際、本研究において、**BW** の計測時に、体幹や骨盤を回旋させ振りだそうとしたり、または、体幹を前傾し下肢を後方に振りだそうとしたりする被験者もいた。今後は、骨盤や体幹の分析も必要だと思われる。

参考までに、スティックピクチャーの一例を示す。図 10 が **FW** であるが、麻痺側である左下肢(赤線)を振り出そうとする際、麻痺側(左側)骨盤が拳上している。また図 11 が **BW** であるが、麻痺側骨盤の拳上と後方への回旋が見られる。

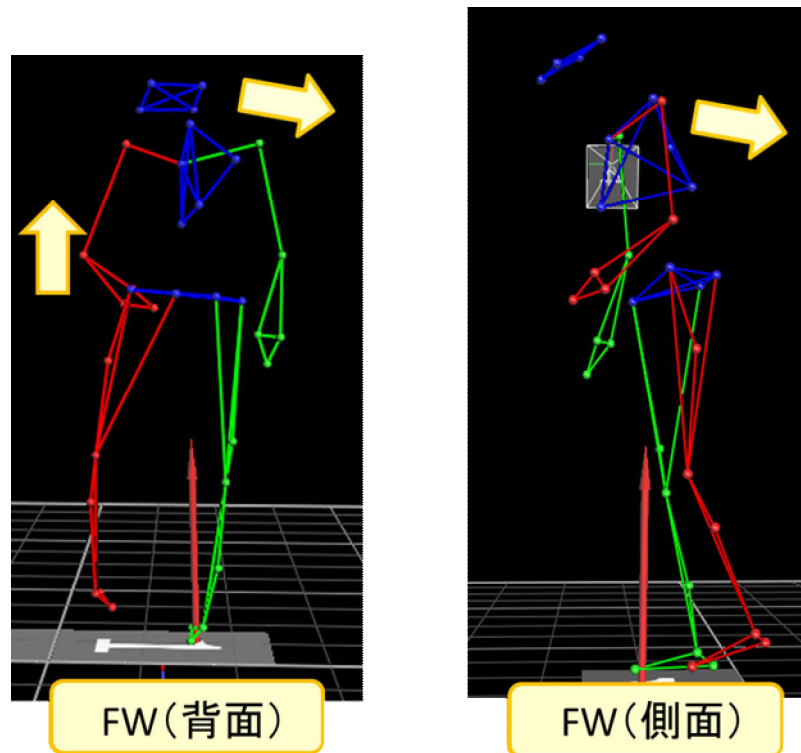


図 10 スティックピクチャーの一例(FW) 赤:左側(麻痺側)

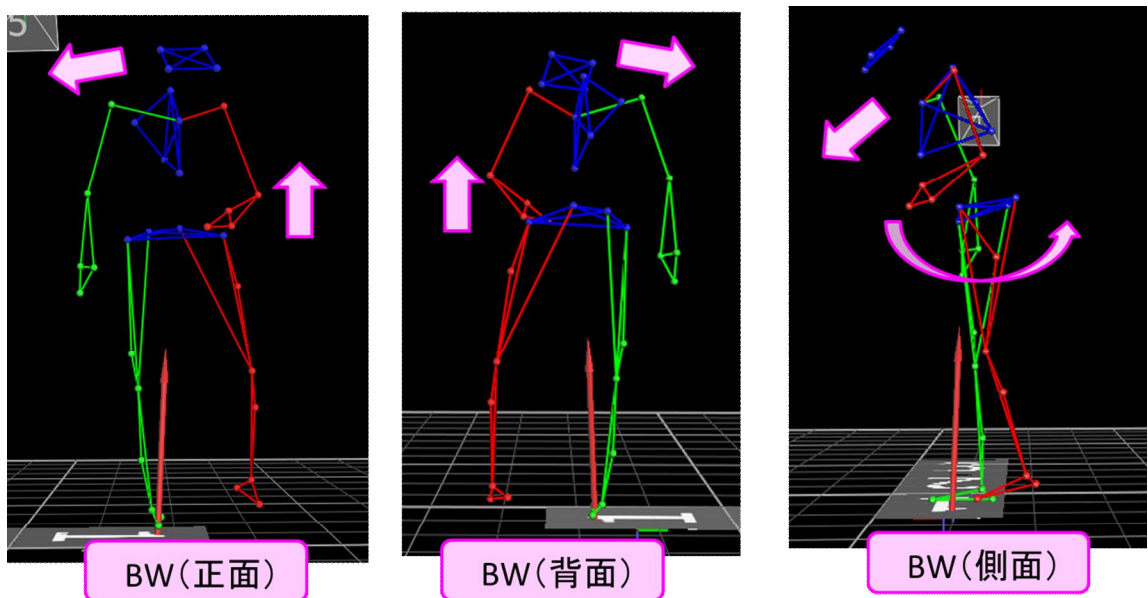


図 11 スティックピクチャーの一例(BW) 赤:左側(麻痺側)

そもそも、FWとは異なり、BWでは下肢を後方に振りだす際に、股関節伸展を意識的に行わなくてはならず、この股関節伸展の動きは脳卒中片麻痺者にとって困難な動作だと思われる。

先行研究(第2章第1節)⁶⁹⁾において、足関節底屈モーメントピーク値に有意差は認められなかったが、FWとBWでは足関節底屈モーメントピーク値の出現位置に相違があり、BWでは足関節による推進力が得られにくいという結論であった。また、Sodaら⁵³⁾は、BWでは足関節パワーによる推進力の貢献度が低いと考えられると報告している。本研究の結果では、FWと比較しBWで足関節底屈モーメントピーク値に有意に低下し、推進力が得られにくく、歩行速度が低下したと考えられる。

Leeら⁵²⁾はBW中の主要な推進力と衝撃吸収の関節は足関節であり、膝と股関節は推進力を生成しなかったと報告し、BWにおける足関節の役割の重要性を示唆している。BWは日常場面で、長距離を移動するために行うことはないが、方向転換や衝突回避の際に、後方へ数歩移動するために行うことが多い。そのため、速度を要求される動作ではないと考える。第1章で述べた通り、脳卒中患者において、BWトレーニングやトレッドミル上BWトレーニングは、FWにおける歩行速度やストライド長等の歩行能力の改善に効果的であるという報告^{7, 13, 26)}がある。FWの歩行能力の改善のために練習としてBWを行う場合、床面を足関節で蹴り出すよう意識的に練習すると、より効果的ではないかと考える。

ただ、図9(P. 60)に示す通り、健常若年成人においても足関節底屈モーメントにバラつきが大きく、戦略が異なる。床面を足関節で蹴るようにBWを行うと、勢いが付き過ぎて、バランスを崩し、転倒につながる危険性が考えられる。そのため、脳卒中片麻痺者においては、あえて足関節で床面を蹴らずに、コントロールしながらBWを行っている可能性があると考えられる。

一般的に、FWの矢状面における股関節の運動は、30°屈曲から10°伸展までの可動域と言われている⁶⁶⁾。本研究の結果では、脳卒中片麻痺者のFWの股関節の運動範囲は約23°屈曲から約9°伸展となっており、運動範囲の狭小化が認められた。骨盤回旋や体幹前傾を伴わないようBWを練習することにより、股関節の運動の機会も増加し、より効果的な練習になるのではないかと考える。

2. BW 中の麻痺側と非麻痺側の比較

BW 中の麻痺側と非麻痺側を比較した場合、次のような結果が得られた。麻痺側と比較し非麻痺側での立脚相の有意な延長を認めた。非麻痺側と比較し麻痺側において、膝関節屈曲・足関節背屈角度ピーク値の有意な低下、股関節伸展・膝関節伸展・足関節底屈モーメントピーク値の有意な低下が認められた。

BW において足関節背屈角度ピーク値以外でピーク値が低下した項目は、速度を意図的に遅くし、両脚支持期を延長させ、不安定性に対応しているためだと考える。一方、背屈角度ピーク値が低下したのは、BW という難易度の高い動作で痙性が高まり背屈が困難であったのではないかと考える。

特徴的な結果は、Foot off が麻痺側で $61.44 \pm 8.93\%$ 、非麻痺側で $78.75 \pm 4.89\%$ で、麻痺側と比較し非麻痺側で立脚相の有意な増加を認めた点である。

片麻痺歩行 (FW) の特徴は、麻痺肢の不安定性を体幹および非麻痺肢が補う非対称性にある⁷²⁾と言われている。本研究では、FW よりも難易度の高い BW であるため、さらに非麻痺側の立脚相の延長が認められると考えられる。すなわち、麻痺側下肢の支持性低下を補うために、非麻痺側下肢の立脚相が延長し、非対称的な歩行になったと考えられる。

3. 脳卒中片麻痺者の BW の特徴のまとめ

(1) 麻痺側下肢において FW と比較した場合、脳卒中片麻痺者の BW の特徴は以下の通りである。

- BW では歩行速度が低下する。
- BW ではストライド長が低下する。
- BW では股関節伸展角度ピーク値が低下する。
- BW では足関節底屈モーメントピーク値が低下する。

(2) BW において非麻痺側と比較した場合、脳卒中片麻痺者の麻痺側と特徴は以下の通りである。

- 麻痺側では立脚相が低下する(非麻痺側で立脚相が延長する)。

- ・麻痺側では足関節背屈角度ピーク値が低下する。
- ・麻痺側では股関節伸展モーメントピーク値が低下する。
- ・麻痺側では足関節底屈モーメントピーク値が低下する。

4. 健常若年成人と脳卒中片麻痺者の比較

健常若年成人と比較し、脳卒中片麻痺者において特徴的であった事項を以下に述べる。健常若年成人と比較すると脳卒中片麻痺者では、歩行速度、ストライド長、ケイデンスの低下がみられる。また股関節伸展角度ピーク値の低下もみられる。足関節底屈モーメントについて、脳卒中片麻痺者では低下する傾向にあり、麻痺側で特に低下する。また健常若年成人の場合、立脚初期にピークがみられるが、脳卒中片麻痺者では明確なピークがみられない。

以上のことから、脳卒中片麻痺者にとって、**BW** 中の意識的な股関節伸展が困難であることが推察される。また、第2章第2節でも述べた通り、床面を足関節で蹴るように**BW**を行うと歩行速度が増加し、勢いがつく。健常若年成人ではそのような歩行でも対応可能である。しかし、脳卒中片麻痺者の場合、勢いがつき過ぎてバランスを崩し、転倒につながる危険性が考えられる。そのため、脳卒中片麻痺者では、あえて足関節で床面を蹴らずに、コントロールしながら**BW**を行っている可能性があると考えられる。

5. 効果的なトレーニングメニューの再考

BW は日常場面で、長距離を移動するために行うことはないが、椅子に座るときや方向転換、衝突回避の際など、後方へ数歩移動するために行うことが多く、日常生活で必要な動作である。そのため、その能力が低下した場合には、**BW** の練習を行うことは必要であると考えられる。

本間ら⁵⁵⁾は、筋活動量は多くの筋で**BW**の方が**FW**よりも大きく、1歩行周期における筋活動パターンは**FW**と異なると報告している。また、阪本ら⁷³⁾は、筋活動量は、立脚相の大腿直筋、前脛骨筋、遊脚相の大腿二頭筋が**BW**で有意に増加し、立脚相の大腿二頭筋が有意に減少し、1歩行周期での筋活動量における**BW**と**FW**の差異を報告している。第1章(後ろ歩きの文献検索)でも述べた通り、先行研究をまとめると、

筋活動に関しては、概して **BW** の方が **FW** より高値であったと報告している。また、筋活動パターンについては、**BW** と **FW** の類似性は否定されている。また、脳卒中片麻痺者では健常者より少ない数の筋シナジーで歩行が行われている⁷⁴⁾という報告もある。

このように、**BW** と **FW** は筋活動に違いがあり、より多くの筋活動を行わせるために、**BW** をトレーニングメニューに取り入れることは有用であると考ええる。

BW をトレーニングメニューとして取り入れる際、以下の2点について考慮して行うことで、より効果的ではないかと考える。

1点目は、骨盤回旋や体幹前傾を伴わないよう、意識的に股関節を伸展するという点である。冒頭でも述べた通り、高齢者や障害を抱える者にとって、後方への動きが要求されるような運動は、転倒の危険が増す動作でもある。意識的に下肢を後方の振り出す練習を繰り返し行うことによって、日常生活で後方へ数歩踏み出すことが容易になるかと考える。

もう1点は、意識的に足関節で床面を蹴るようにするという点である。第2章第2節でも述べた通り、足関節での蹴り出しを意識することで、歩行速度とストライド長が増し、不安定となることが予想される。それに耐えうるバランス能力を獲得できれば、**BW** だけでなく **FW** の安定性も向上すると考える。

6. 本研究の限界と今後の展望

本研究の限界として、今回の測定項目からだけでは上部を含め体幹や骨盤の動きを捉えることができなかったという点が挙げられる。また、**FW** とは異なり、**BW** は日常的に行わない動作であり、**BW** の戦略は個人差が大きい。その上、被験者が9名と少なく、また、もともと裸足で自立して5m以上 **BW** が可能な者を対象としている。そのため、捉えきれなかった特徴があると思われる。今後は、被験者数を増やし、下肢関節だけでなく、体幹や骨盤を含めた分析も必要だと思われる。

また筋電計を用いて筋活動量の計測を行っていない。筋活動に関しては、先行研究を基に考察しているため、今後は実際に計測することが必要であると考ええる。

今後の展望として、本研究で考案したトレーニングメニューが本当に有効かどうか、

介入研究を行う必要があると考える。その際、単に **BW** の能力が向上したというだけでなく、**FW** や移乗能力など他の **ADL** 能力が向上したか評価するための指標を含める必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご協力頂いた皆様、およびご紹介して頂いた皆様に心より感謝申し上げます。また、ご指導頂いた弘前大学大学院保健学研究科の高見彰淑准教授に深く感謝申し上げます。

研究に協力してくれた、弘前大学医学部保健学科理学療法学専攻 12 期生鹿俣光、13 期生三浦真菜両氏に感謝いたします。

引用文献

- 1) 眞野行生, 中根理江, 他: 高齢者の転倒の特徴. 眞野行生, 編: 高齢者の転倒とそ
の対策. pp.2-37, 医歯薬出版, 東京, 1999.
- 2) 今岡真和, 樋口由美, 他: 介護老人保健施設における車椅子使用者の転倒の特徴,
理学療法科学, 27(3):25-261, 2012.
- 3) Elble RJ: Changes in gait with normal aging. Joseph C Masdeu, et al, ed: Gait disorders
of aging falls and therapeutic strategies. pp.93-105, Lippincott-Raven, Philadelphia,
1997.
- 4) Flynn TW, Soutas-Little RW: Mechanical power and muscle action during forward and
backward running. J Orthop Sports Phys Ther, 17(2): 108-112, 1993.
- 5) Flynn TW, Soutas-Little RW: Patellofemoral joint compression forces in forward and
backward running. J Orthop Sports Phys Ther, 21(5): 277-282, 1995.
- 6) Laufer Y: Age- and gender-related changes in the temporal-spatial characteristics of
forwards and backwards gaits. Physiother Res Int, 8(3):131-142, 2003.
- 7) 武田秀和, 大森圭貢, 他: パーキンソン病患者に対する後進歩行トレーニングの試
み. 総合リハ, 33(5):477-480, 2005.
- 8) Yang YR, Yen JG, et al: Gait outcomes after additional backward walking training in
patients with stroke: a randomized controlled trial. Clin Rehabil, 19(3): 264-273, 2005.
- 9) 美和香葉子, 大杉紘徳, 他: 高齢者の後方歩行の特徴およびバランス能力との関
連性. 理学療法科学, 22(2):205-208, 2007.
- 10) 高見彰淑: 脳卒中患者に対する EBPT 実践への取り組み—脳卒中患者への後進
歩行適用について—. 理学療法, 25(3):549-554, 2008.
- 11) 高見彰淑, 若山佐一: 急性期脳卒中患者の後進歩行の特徴—前進歩行と後進歩
行の比較—. 東北理学療法科学, 21:104-110, 2009.
- 12) Hackney ME, Earhart GM: The effects of a secondary task on forward and backward
walking in Parkinson disease. Neurorehabil Neural Repair, 24(1): 97-106, 2010.
- 13) Takami A, Wakayama S: Effects of partial body weight support while training acute
stroke patients to walk backwards on a treadmill -A controlled clinical trial randomized

- allocation-. *J Phys Ther Sci*, 22(2): 177-187, 2010.
- 14) 大森圭貢, 鈴木誠, 他: パーキンソン病患者に対するトレッドミル後進歩行運動が平地歩行能力に及ぼす即時効果—クロスオーバーデザインを用いた検討—. *理学療法学*, 37(1): 22-28, 2010.
- 15) Hao WY, Chen Y: Backward walking training improves balance in school-aged boys. *Sports Med, Arthrosc, Rehabil, Ther & Technol*, 3: 2-7, 2011.
- 16) Whitley CR, Dufek JS: Effect of backward walking on hamstrings flexibility and low back range of motion. *Int J Exerc Sci*, 4(3): 192-198, 2011.
- 17) 二階堂康隆, 佐藤久友, 他: パーキンソン病患者に対する後進歩行運動が姿勢と姿勢制御に与える即時効果. *理学療法科学*, 26(4): 549-553, 2011.
- 18) Fritz NE, Worstell AM, et al: Backward walking measures are sensitive to age-related changes in mobility and balance. *Gait Posture*, 37(4): 593-597, 2012.
- 19) Roos PE, Barton N, et al: Patellofemoral joint compression forces in backward and forward running. *J Biomech*, 45(9): 1656-1660, 2012.
- 20) Kachanathu SJ, Hafez AR, et al: Efficacy of backward versus forward walking on hamstring strain rehabilitation. *Int J Ther Rehabil Res*, 2(1): 8-14, 2013.
- 21) Kim SG, Ryu YU, et al: Backward walking treadmill therapy can improve walking ability in children with spastic cerebral palsy: a pilot study. *Int J Rehabil Res*, 36(3): 246-252, 2013.
- 22) 伊藤忠, 太田和義, 他: 歩行ケイデンスの変化をさせた後進歩行練習が高齢者と若年者の運動機能に及ぼす即時効果. *理学療法科学*, 28(6): 751-756, 2013.
- 23) 伊藤忠, 太田和義, 他: 後進歩行練習が最大歩行速度に及ぼす影響. *愛知県理学療法学会誌*, 25(2): 73-75, 2013.
- 24) Davalos-Bichara M, Zuniga MG, et al: Forward and backward locomotion in individuals with dizziness. *Gait Posture*, 40(4): 499-503, 2014.
- 25) Kachanathu SJ, Alenazi AM, et al: Effect of forward and backward locomotion training on anaerobic performance and anthropometrical composition. *J Phys Ther Sci*, 26(12): 1879-1882, 2014.

- 26) Kim K, Lee S, et al: Effects of progressive body weight support treadmill forward and backward walking training on stroke patients' affected side lower extremity's walking ability. *J Phys Ther sci*, 26(12):1923-1927, 2014.
- 27) Michaelsen SM, Ovando AC, et al: Effect of backward walking treadmill training on walking capacity after stroke: a randomized clinical trial. *Int J Stroke*, 9(4): 529-532, 2014.
- 28) Viggiano D, Corona K, et al: The kinematic control during the backward gait and knee proprioception: insights from lesions of the anterior cruciate ligament. *J Hum Kinet*, 41: 51-57, 2014.
- 29) Zhang X, Zhang Y, et al: Investigating the role of backward walking therapy in alleviating plantar pressure of patients with diabetic peripheral neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(5): 832-839, 2014.
- 30) El-Basatiny HM, Abdel-Aziem AA: Effect of backward walking training on postural balance in children with hemiparetic cerebral palsy: a randomized controlled study. *Clin Rehabil*, 29(5): 457-467, 2015.
- 31) Tseng IJ, Yuan RY, et al: Treadmill training improves forward and backward gait in early Parkinson disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 94(10): 811-819, 2015.
- 32) Viggiano D, Travaglio M, et al: Effect of backward walking on attention: Possible application on ADHD. *Transl Med UniSa*, 11(9): 48-54, 2015.
- 33) Kramer JF, Reid DC: Backward walking: a cinematographic and electromyographic pilot. *Physiother Can*, 33(2): 77-86, 1981.
- 34) Thorstensson A: How is the normal locomotor program modified to produce backward walking? *Exp Brain Res*, 61: 664-668, 1986.
- 35) Vilensky JA, Gankiewicz E, et al: A kinematic comparison of backward and forward walking in human. *J Hum Move Stud*, 13: 29-50, 1987.
- 36) Winter DA, Pluck N, et al: Backward walking: a simple reversal of forward walking? *J Mot Behav*, 21(3): 291-305, 1989.
- 37) Flynn TW, Smutok SM, et al: Comparison of cardiopulmonary responses to forward

- and backward walking and running. *Med Sci Sports Exerc*, 26(1): 89-94, 1994.
- 38) Cipriani DJ, Armstrong CW, et al: Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 22(3): 95-102, 1995.
- 39) Myatt G, Baxter R, et al: The cardiopulmonary cost of backward walking at selected speeds. *J Orthop Sports Phys Ther*, 21(3): 132-138, 1995.
- 40) Chaloupka EC, Kang J, et al: Cardiorespiratory and metabolic responses during or forward and backward walking. *J Orthop Sports Phys Ther*, 25(5): 302-306, 1997.
- 41) Grasso R, Bianchi L, et al: Motor patterns for human gait: backward versus forward locomotion. *J Neurophysiol*, 80(4): 1868-1885, 1998.
- 42) Van Deursen RWM, Flynn TW, et al: Does a single control mechanism exist for both forward and backward walking? *Gait Posture*, 7(3): 214-224, 1998.
- 43) Chen LY, Su FC, et al: Kinematic and EMG analysis of backward walking on treadmill. *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2: 825-827, 2000.
- 44) 北湯口純, 見波静: 後進歩行の動作分析. *理学療法*, 20(5): 551-556, 2003.
- 45) Masumoto K, Takasugi S, et al: A comparison of muscle activity and heart rate response during backward and forward walking on an underwater treadmill. *Gait Posture*, 25(2): 222-228, 2007.
- 46) 大杉紘徳, 美和香葉子, 他: 健常成人の後方歩行の特徴. *理学療法科学*, 22(2): 199-203, 2007.
- 47) Katsavelis D, Mukherjee M, et al: Variability of lower extremity joint kinematics during backward walking in a virtual environment. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci*, 14(2): 165-178, 2010.
- 48) 藤澤宏幸, 吉田忠義, 他: 若年健常者における後ろ歩きの速度制御に関する研究. *理学療法科学*, 37(1): 17-21, 2010.
- 49) 末長宏康, 垣内田翔子, 他: 後進歩行における脚関節協調の解析. *電子情報通信学会技術研究報告*, 111(157): 97-102, 2011.
- 50) 坂本友梨恵, 村田伸: 歩行分析計を用いた健常成人の後ろ向き歩行の分析. へ

ルспロモーション理学療法研究, 2(2): 73-75, 2012.

- 51) Bui Kinewics M: Muscle force distribution during forward and backward locomotion. *Acta Bioeng Biomech*, 15(3): 3-9, 2013.
- 52) Lee M, Kim J, et al: Kinematic and kinetic analysis during forward and backward walking. *Gait Posture*, 38(4): 674-678, 2013.
- 53) Soda N, Ueki T, et al: Three-dimensional motion analysis of the ankle during backward walking. *J Phys Ther Sci*, 25: 7476749, 2013.
- 54) 内藤幾愛, 斉藤秀之, 他: 健常成人における歩行様式の違いによる脳内血液酸素動態の検討. *理学療法科学*, 28(4): 435-440, 2013.
- 55) 本間秀文, 鈴木博人, 他: 後方歩行の筋活動に関する研究. *理学療法科学*, 28(3): 323-328, 2013.
- 56) Msumoto K, Hamada A, et al: Metabolic costs and rating of perceived exertion during backward walking in water and on dry land. *Res Sports Med*, 23(1): 27-36, 2015.
- 57) Yu Wu, Fei Xiao, et al: Local dynamic stability of the trunk segments and lower extremity joints during backward walking. *Eng Med Biol Soc*, 5303-5306, 2015.
- 58) Cadenas-Sanchez C, Arellano R, et al: Biomechanical characteristics of adults walking forward and backward in water at different stride frequencies. *J Sports Sci*, 34(2): 224-231, 2016.
- 59) 藤澤宏幸: 後ろ歩き(後方歩行). 藤澤宏幸, 編: 日常生活活動の分析—身体運動学的アプローチ, pp.211-218, 医歯薬出版, 東京, 2012.
- 60) 山本澄子: 身体運動のバイオメカニクス. *理学療法科学*, 18(3): 109-114, 2003.
- 61) 勝平純司, 山本澄子, 他: 介助にいかすバイオメカニクス. pp.88-101, 医学書院, 東京, 2011.
- 62) 金承革, 福井勉, 他: 下肢関節モーメントの歩行速度への寄与—速い速度での歩行に寄与する筋群の調査—. *バイオメカニズム学会誌*, 25(1): 29-35, 2001.
- 63) 井川達也, 勝平純司, 他: 高齢者の歩行・階段昇降動作時における主動作筋および拮抗筋筋活動についての筋電図学的分析. *理学療法科学*, 28(1): 35-38, 2013.
- 64) Donald AN: *Kinesiology of the musculoskeletal system foundations for physical*

- rehabilitation. (嶋田智明 監訳:筋骨格系のキネシオロジー. pp.547-593, 医歯薬出版, 東京, 2005.)
- 65) Lewis CL, Ferris DP: Walking with increased ankle push-off decreases hip muscle moments. *J Biomech*, 41(10): 2082-2089, 2008.
- 66) Perry J, Burnfield JM: Gait analysis normal and pathological functional. Second Edition. (武田功 監訳:ペリー歩行分析 正常歩行と異常歩行. 原著第2版, 医歯薬出版, 東京, 2012.)
- 67) Tateuchi H, Tsukagoshi, et al: Immediate effects of different ankle push off instructions during walking exercise on hip kinematics in individuals with total hip arthroplasty. *Gait Posture*, 33(4):609-614, 2011.
- 68) 石原みさ子, 樋口由美, 他:脳性麻痺児・者における「けりだし」強化が足関節と股関節に与える即時効果. *理学療法科学*, 28(6):833-839, 2013.
- 69) Makino M, Takami A: Comparison of forward walking and backward walking in healthy university students. *J. Health Sci Res*, 5:33-41, 2015.
- 70) 国分貴徳, 田口孝行, 他:脳卒中片麻痺患者の歩行動作時のボディメカニクスと理学療法. *理学療法*, 32(1): 46-54, 2015.
- 71) Kerrigan DC, Frates EP, et al: Hip hiking and circumduction: quantitative definitions. *Am J Med Rehabil*, 79(3): 247-252, 2000.
- 72) 長谷公隆:歩行(特集 脳卒中リハビリテーションのエビデンス). *総合リハ*, 43(3): 207-214, 2015.
- 73) 阪本昌志, 村田伸, 他:後方歩行の歩行パラメーターと筋活動の特徴—健全成人を対象とした検討—. *ヘルスプロモーション理学療法研究*, 5(4):185-189, 2016.
- 74) Clark DJ, Ting LH, et al: Merging of Healthy Motor Modules Predicts Reduced Locomotor Performance and Muscle Coordination Complexity Post-Stroke. *J Neurophysiol*, 103(2): 844-857, 2010.

Abstract

The study of motion analysis of backward walking in stroke patients with hemiplegia

Misato Makino

Division of Health Sciences,
Hirosaki University Graduate School of Health Sciences

[Chapter 1] Review of backward walking

Purpose: The purpose of this study was to review existing literature on gait analysis and physical therapy related to backward walking (BW).

Methods: English language and Japanese language studies were identified through searches of CiNii, PubMed and the Internet.

Results: Fifty-five studies were identified.

Conclusion: While some studies concluded that the joint movement patterns in BW and forward walking (FW) are similar, several studies reported that these patterns in BW and FW are different.

[Chapter 2-1]

Comparison of forward walking and backward walking in healthy young adults

Purpose: The purpose of this study was to compare the characteristics of BW and FW in healthy young adults.

Subjects: Fourteen healthy young adults.

Methods: Subjects were required to walk over a 5-m walkway at a self-selected pace.

Results: Walking speed, stride length, and cadence were significantly lower in BW than in FW. The peak hip extension, knee flexion, ankle plantar flexion, and the peak hip and

knee joint moments were also significantly lower in BW.

Conclusion: We conclude that BW is not a simple reverse reproduction of FW.

[Chapter 2-2]

Effects of ankle push-off during backward walking on ankle and hip joints

Purpose: The purpose of this study was to investigate the differences in the kinetic and kinematic factors of different ankle push-offs during BW.

Subjects: Fourteen healthy young adults.

Methods: Subjects were required to walk over a 5-m walkway at a self-selected pace under three conditions: Natural Push-off BW, Increased Push-off BW, and Decreased Push-off BW.

Results: Walking speed and stride length increased in the order of Decreased Push-off BW, Natural Push-off BW, and Increased Push-off BW. The peak value of the hip extension angle was higher in Increased Push-off BW than in Decreased Push-off BW.

Conclusion: Ankle push-off can help increase the walking speed and improve the propulsive force of the ankle joint in BW. Hip joint movement plays an important role in BW to accommodate for the disadvantage ankle strategies have in this type of walking.

[Chapter 3]

Motion analysis of backward walking in stroke patients with hemiplegia

Purpose: The purpose of this study was to investigate the features of BW in stroke patients with hemiplegia.

Subjects: Nine stroke patients.

Methods: Participants performed FW and BW along a 5-m walkway. Walking speed and stride length were self-selected.

Results: On the paretic side, walking speed, stride length, and cadence were significantly lower in BW than in FW. Peak hip extension was significantly lower in BW, and peak hip flexion moment, knee extension moment, and both ankle dorsiflexion and plantar flexion

moments were lower in BW.

Conclusion: Unlike FW, BW requires conscious extension of the hip joint, which is difficult for stroke patients with hemiplegia. Therefore, the range of hip joint movement was smaller in BW, and walking speed and stride length were decreased. The peak ankle plantar flexion moment was significantly lower in BW than in FW, and it was difficult to generate propulsion power in BW. These difficulties also affected the walking speed.

弘前大学大学院保健学研究科

研究協力者募集

後ろ歩きは脳卒中の方にとって難しい動作だと言われています。しかし、**後ろ歩き**は歩行の改善に有効なトレーニングだと言われています。

より効果的なトレーニングを検討するため、脳卒中の方の**後ろ歩き**の研究を行っています。

後ろ歩きの研究に、ご協力をお願いいたします。

●対象となる方

- ・20歳以上の方
- ・脳卒中で理学療法を受けた方
- ・**装具を使用せず裸足で、介助者なしで前と後ろに5m以上歩ける方**
- ・杖は使用可能・歩行器は使用不可
- ・足や腰に大きなケガや手術をしたことがない方

●場所

弘前大学大学院保健学研究科
4階生活環境学実験室(エレベーター有)
(弘前市本町66-1)
(弘前大学医学部附属病院の隣)

●所要時間

1時間程度(説明・休憩を含む)



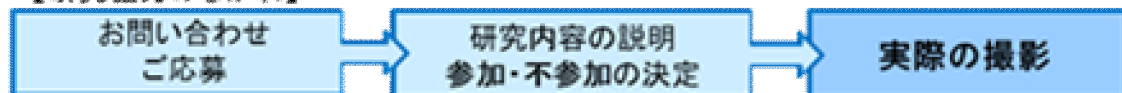
上の写真のような目印を**全身に35個**付けます。目印を付けやすいよう、肘と膝が見えるような服装で撮影します。(こちらでも半袖Tシャツとハーフパンツを準備しています。)



上の写真の赤丸で囲ってあるのがカメラです。8台のカメラからなる三次元動作解析装置というものを使って、歩いている様子を撮影します。



【研究協力のながれ】



ご興味のある方に詳しい説明をいたしますので、下記にご連絡ください。

【連絡先】 弘前大学大学院保健学研究科 牧野美里(マキノミサト)
電話&FAX:0172-39-5543 メール:ptmakino@hirosaki-u.ac.jp