
下肢障害者の歩容評価支援システムに関する研究

An Analysis of Gait with Extensor Thrust

原 良昭 赤澤康史 中村俊哉 松原裕幸

HARA Yoshiaki, AKAZAWA Yasushi, NAKAMURA Toshiya, MATSUBARA Hiroyuki

河合秀彦 東 祐二 相見真吾 大門守雄 小玉千香 長原香織 小寺有里子

(兵庫県立総合リハビリテーションセンター)

KAWAI Hidehiko, AZUMA Yuji, AIMI Shingo, OKADO Morio, KODAMA Chika, NAGAHARA Kaori,

KOTERA Yuriko (Hyogo Rehabilitation Center)

上月強史 (兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター)

KODUKI Tsuyoshi (Hyogo Prefectural Rehabilitation Center at Nishi-harima)

キーワード：

異常歩行、歩行分析、根拠に基づく医療

Keywords:

Abnormal gait, Gait analysis, Evidence based medicine

Abstract:

The purpose of this study was to reveal relation between angular velocity of knee joint and subjective observational evaluation of extensor thrust to evaluate extensor thrust objectively.

Angle of knee during level gait and gait of imitated extensor thrust motion of five subjects were measured. Worse subjective observational evaluations of extensor thrust motion by physical therapists were proportional to angular velocity of knee.

1 はじめに

歩行はほぼ全ての運動器が関係する協調運動であるため、その一部にでも機能障害が生じれば異常歩行と言われる正常歩行から逸脱した様式の歩容を示すことがある。異常歩行はその歩容に応じて定性的に分類されている¹⁾。

理学療法士(以下、PT: Physical Therapist)は患者の歩容に異常歩行を認めると、異常歩行の種類と程度から異常歩行の原因となった運動器を推定し、運動器の機能回復と異常歩行の消失を目的とした理学療法を行う^{2), 3)}。PTは行った理学療法の効果を評価するために患者の歩行分析を行い異常歩行の程

度を評価する。

PTによる異常歩行の歩行分析では、歩行周期や歩行速度といった客観的な指標による歩行分析よりも、異常歩行の大部分は定性的に分類されていることからPTの観察による歩行分析による評価が主となっている。観察による動作分析ではPT個人の臨床経験に基づく暗黙知によって異常歩行の程度が評価されるが、暗黙知による評価が適切であるには、通常、ある程度の臨床経験が必要となる。近年、PTの養成校は急増しており、結果として臨床経験が浅く暗黙知による評価が困難なPTが増加している⁴⁾。また、暗黙知を指標とした評価は評価者間で結果が異なることがある主観的なものであり、評価内容の科学的根拠を示すには不十分である。そのため、臨床経験に基づく暗黙知によって評価している内容を定量的・客観的指標で評価することが求められている。

異常歩行の1つに「膝のSnapping」⁵⁾、英語では「Extensor thrust」⁶⁾と呼ばれる歩容がある(以下、ET: Extensor thrust)。ETは文献によって細部が異なるが“立脚期に膝関節が急激に伸展すること”と定性的に定義されている。しかし、膝関節の伸展がどの程度“急激”であればETなのかという指針はなくPTが主観に基づきETであるか否か、また、ETの程度を定性的に評価している。

本研究ではETに着目し、PTの主観的評価を写像できる定量的評価指標を作成し、PTがETを定量的に評価できるように支援できるシステムの構築を目標とする。本研究は平成21年度から22年度までの2年間に渡って行われる予定であり、平成21年度ではPTのETに対する主観的評価と膝関節の角速度との関係を明らかにするために、健常者の自由歩行時と

健常者がETを模擬した歩行時における膝関節の角速度の比較を行い、ETを模擬した歩行における膝関節の角速度とPTの主観的評価の相関を求めた。

2 実験内容

2.1 測定内容

本研究では本研究では自由歩行、ETが右足に生じている歩容を模擬した歩行（以下、並ET歩行）、程度の強いETが右足に生じている歩容を模擬した歩行（以下、強ET歩行）の3つの異なる歩容で歩いたときの右足の膝関節の角度変化を評価した。

被験者は正常歩行が可能な健常成人男性5名、年齢の平均は31.6歳、標準偏差は3.5歳である。測定前に被験者に対して丸岡等⁷⁾やperry⁶⁾の説明と同じ内容である“立脚期に膝関節が急激に伸展する歩容”と、ET歩行の特徴を説明し、被験者が歩容をイメージできるまでET歩行を練習させた。また、並ET歩行および強ET歩行では歩行前に被験者に対してそれぞれ“ET歩行出歩いて下さい”と“ETを強めて歩いて下さい”と指示した。従って、並ET歩行および強ET歩行の定義は各被験者の主観によって異なる。測定を行った順番は自由歩行、並ET歩行、強ET歩行であり、各歩行は10回行った。

歩行時の右足の膝関節の角度は身体に添付した反射マーカの位置座標から算出した。反射マーカを添付した位置を表1に示す。反射マーカの位置は光学式三次元動作解析装置MAC3D（Motion Analysis社）を用いて100fpsで測定した。MAC3Dの座標系に対する歩行前、すなわち静止時の被験者の向きは左右方向がX軸、前後方向がY軸、鉛直方向がZ軸である。

立脚期を判定するためにMAC3Dと同期しているKISTLER社製の床反力計Z13216を用いて床反力を測定した。床反力計のサンプリング周期は100Hzである。

PTのETに対する主観的評価を求めるためにMAC3Dの測定と同時にデジタルビデオカメラを用いて各歩行の様子を右側方向から30fpsで撮影した。

2.2 評価内容

本研究ではY-Z平面、すなわち矢状面に射影した右膝関節の角度を評価する。右膝関節の角度は表1に示した3番と4番と5番のマーカのYおよびZ座標から算出した。本研究ではETの有無や程度によって影響を受けると考えられる立脚期初期の膝軽度屈曲の最大屈曲から最大伸展までの単位時間あたりの平均変化率（以下、平均角速度）の平均値を3

表1 調査の概要
Table.1 Outlines of Surveys

マーカ番号	マーカの添付位置	
1	頭	頭頂
2	右肩	肩峰中央
3	右股関節	右大転子と上前腸骨棘を結んだ直線上で大転子から1/3の位置
4	右膝関節	大腿骨外果上顆
5	右足関節	右足関節外果
6	右足部	第5中足骨骨頭
7	左肩	肩峰中央
8	左股関節	左大転子と上前腸骨棘を結んだ直線上で大転子から1/3の位置
9	左膝関節	大腿骨外果上顆
10	左足関節	左足関節外果
11	左足部	第5中足骨骨頭
12	仙骨	仙骨

つの歩行条件間で比較した。

並ET歩行から2つ、強ET歩行から3つの動画を選択し、選択した5本の動画に対してサーストンの一対比較法^{8),9)}を行い各ET歩行に対するPTの数量化された主観的評価を求める。数量化された主観的評価と各動画に対応する平均角速度との相関を求める。一対比較を行ったのは6名のPTであり、その平均臨床経験は2.8年、標準偏差は1.0である。

3 結果と考察

図1は自由歩行、並ET歩行、強ET歩行時の立脚期における膝関節の代表的な角度変化と床反力である。図1の左側は測定結果の全体図であり、右側は左側の図の床反力が測定できた部分、すなわち、立脚期を示したものである。平均角速度は右側の図の様に立脚期初期の膝軽度屈曲の最大屈曲角度と最大伸展角度を求めることで算出した。また、左右共に上段から自由歩行、並ET歩行、強ET歩行を示している。図1の左側下段の図が示しているように、マーカの測定ミスなどにより、ある範囲の角度が算出できなかった測定があった。角度の算出ができなかった範囲内に立脚期初期の膝軽度屈曲やその後の最大伸展などが含まれており、平均角速度の算出ができなかった測定が生じた。表2に平均角速度の算出ができた試行数を示している。

図2は歩行条件毎の平均角速度の箱ひげ図である。歩行条件によって平均角速度の分布が異なり、強

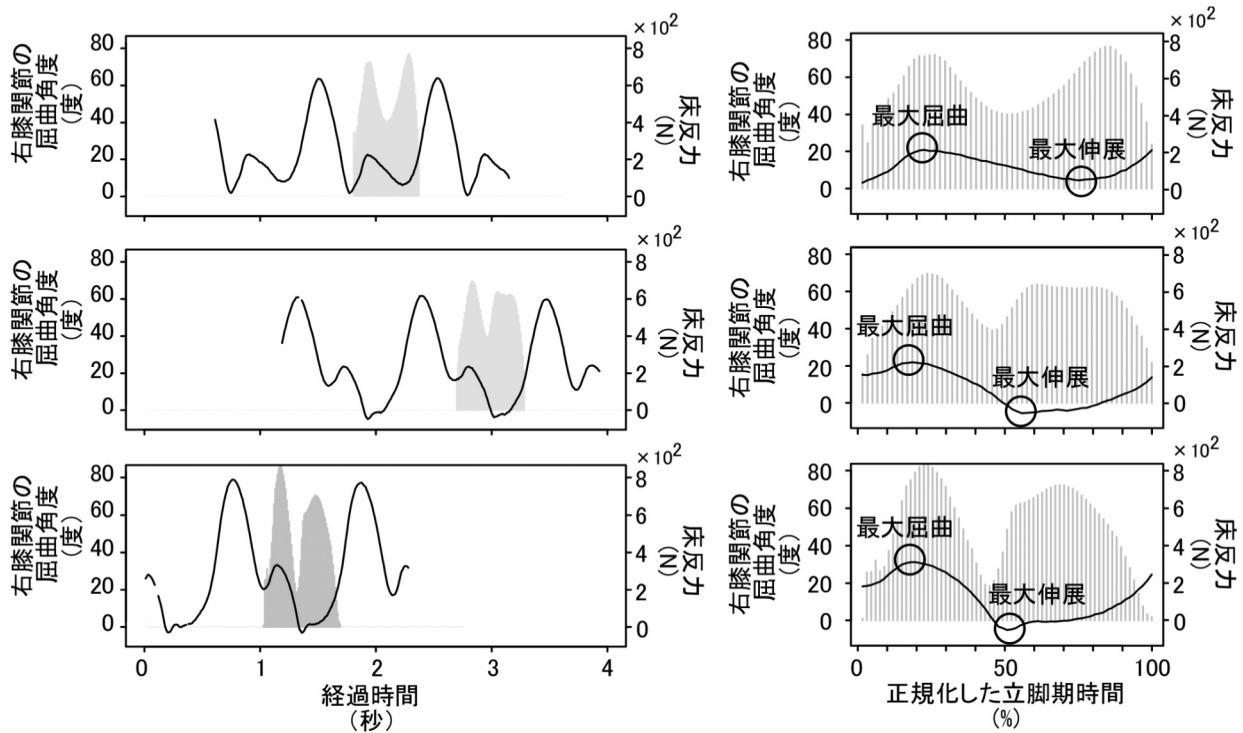


図1 膝関節角度と床反力の例
Fig.1 Typical results of angles of knee and reaction force

左側の図は、上から自由歩行、弱ET歩行、強ET歩行の測定結果の1例である。右側の図は左側の図の床反力が生じている区間、すなわち立脚期の拡大図である。平均角速度の算出に用いた最大屈曲と最大伸展の角度と時刻は右側の図の範囲

表2 評価に用いた測定数
Table 2 Number of successful trials

被験者 番号	試行数		
	自由歩行	弱 ET 歩行	強 ET 歩行
1	10	9	9
2	9	10	10
3	10	10	10
4	10	10	6
5	10	10	10

ET歩行、並ET歩行、自由歩行の順に平均角速度の平均が大きくなっていることを図2および平均角速度に対する歩行条件を要因とした一元分散分析の結果 ($p < 2 \times 10^{-16}$) は示している。これは、被験者にとって膝関節の伸展が速いほどETの程度が強いというイメージが形成されていたこと示している。このイメージは被験者に対してET歩行を説明した際の“膝関節が急激に伸展する”という言葉が原因と考えられる。しかし、図2の自由歩行と並ET歩行の箱ひげ図を比較すると箱ひげ図の箱の部分、すなわちデータの50%の範囲は重なっていないが“ひげ”の部分では重なりが生じているため、平均角速度だけでETの有無を明確に判定するのは困難であるといえる。

表3は動画の一対比較の結果を示しており、各セルの数字は縦軸の動画に対して横軸の動画のほうがETの程度が強い判断した人数を表している。表4は表3に示した一対比較の結果からサーストンの一対比較法を用いて算出した動画毎のET歩行に対するPTの数量化された主観的評価とそれに対応する平均角速度である。ただし、サーストンの一対比較法では一対比較で選択されなかった選択肢があれば

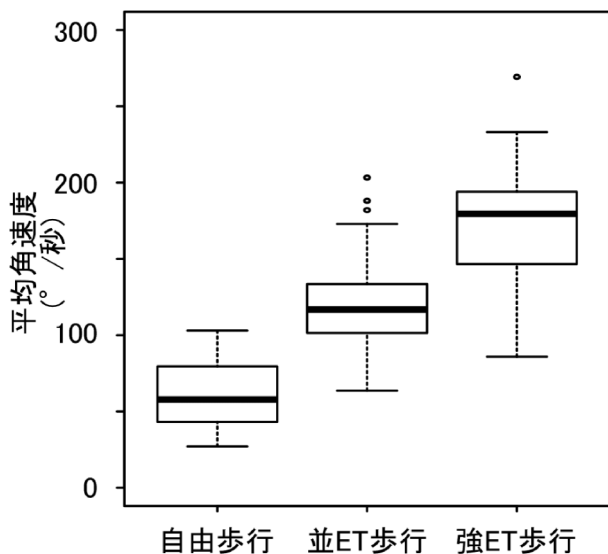


図2 平均角速度の箱ひげ図
Fig.2 Boxplot of angular velocities

計算できないため表3で0となっている箇所を0.01に変更したものを用いた。

図3は表4で示した値をプロットした散布図である。PTの数量化された主観的評価とそれに対応する平均角速度の相関係数は0.95 ($p=0.012$)、相関係数の95%信頼区間は0.44から1.00と強い正の相関があった。これはPTがETの程度を膝関節の伸展速度で評価しており、定量的評価指標として用いることができることを示している。

4 おわりに

本年度では、ETを模擬した歩行ではあるが、立脚初期の膝軽度屈曲の最大屈曲から最大伸展までの平均角速度を自由歩行とETが生じている歩行とで比較し、ETが生じている歩行のほうが、また、ETの程度が強いほうが平均角速度は速くなることを確認した。更に、一対比較法を用いて数量化されたPTのETに対する主観的評価と平均角速度との間に強い正の相関があることを確認した。

来年度では本年度の成果に基づき三次元動作解析装置を用いずに簡易に測定できる機器を用いてET歩行を評価することと模擬ではなく実際にET歩行が生じている方の測定を行う。

参考文献

- 1) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩 “基礎運動学 第6版”, 医歯薬出版株式会社, 2005
- 2) 吉村茂和 “第21章 異常歩行 in 理学療法ハンドブック 改訂第3版”, 協同医書出版社, Vol.1, pp593-616, 2005

表3 一対比較の結果

Table 3 paired comparison of observational evaluation of gait with ET motion

動画番号	1	2	3	4	5
1		3	6	6	6
2	3		6	6	6
3	0	0		4	4
4	0	0	2		4
5	0	0	2	2	

表4 サーストンの一対比較法の結果

Table 4 Quantified observational evaluations and angular velocities of knee

動画番号	1	2	3	4	5
角速度 (°/秒)	208	172	125	111	99
評価点数	2.21	2.21	-1.25	-1.47	-1.68

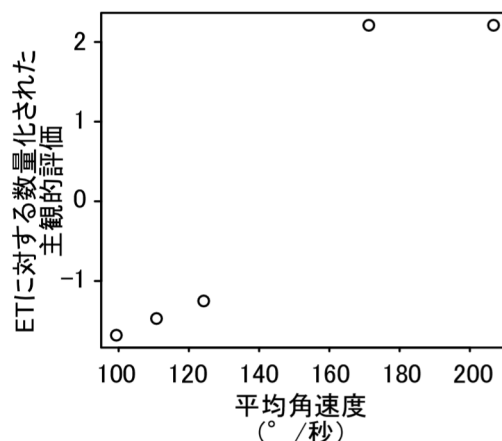


図3 数量化された主観的評価と平均角速度の散布図

Fig.3 Angular velocity of knee during ET motion were plotted verse Quantified subjective evaluation of ET motion

- 3) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩 “臨床運動学 第3版”, 医歯薬出版株式会社, pp.477-591, 2004
- 4) 社団法人理学療法士協会: 「資料・統計」, <<http://www.soc.nii.ac.jp/jpta/02-association/data0803.html>> [accessed March 5, 2010]
- 5) 玉井敦, 高見正利, 松山徹, 光安郁雄, 山田雪雄 “脳卒中片麻痺患者の歩容による床反力波形の分類”, 理学療法学, Vol.13, No.5, pp.357-365, 1986
- 6) Jacquelin Perry “GAIT ANALYSIS Normal and Pathological Function”, SLACK Incorporated, 1992
- 7) 丸岡陽一, 野田泰宏, 中村智也子 “脳卒中片麻痺による異常歩行とその分析” 理学療法, Vol.26, No.1, pp.196-202
- 8) 東京大学教養学部統計学教室編, “人文・社会科学の統計学”, 東京大学出版, pp.303-330, 2003
- 9) 佐藤信, “統計的官能検査法”, 日科技出版社, 2008