

健康成人の左右下腿運動の解析

日大・医附属板橋病院 ○萩原 礼紀 唐牛 大吾 龍嶋 裕二
日大生産工 堀江 良典 神野 英毅 勝田 基嗣 (院) 柴田 泰河

1. 緒言

高齢者の QOL を考える上で歩行能力の維持は重要である。この能力は加齢に伴い減少することが知られ、様々な歩行能力改善方法が提案されている。その中で、大きくは股関節周囲筋群の強化を推奨するものと、下肢筋群の強化を支持するものとはわかれているが、結論に至っていない。同時に筆者らは、歩行動作においてはどこか局所の強化が重要なのではなく、体全体の協調的な筋活動が必要とされており、行為として連続し持続的な筋活動が要求されるため、単純な筋収縮力の発揮によってのみでは規定できない動作と考えている。前回我々は、健康者の正常歩行において、1 歩行周期を運動相毎の区間時間と下腿変位量とで比較した結果、歩行周期の各運動相の一部において、高い相関を示すことを報告した。健康者の正常歩行は周期性運動と呼べるが、仔細に観察すると、その歩容が一樣でないのは報告した通りである。今回も健康者の正常歩行を対象に、単純な筋収縮だけでは説明困難な動きおよび、その周期性について、さらに詳細な評価を行うことを目的として、1 歩行周期における各運動相の所要時間、運動相毎の足関節の変位角度および角速度、運動相の特定時間と下腿変位量との相関について、左右の下腿運動それぞれに解析し検討したので報告する。

2. 測定方法

課題は、10mの直線歩行路上における自由歩行とした。測定前に複数回の試行を実施し動作に習熟させた。図 1 に示すように被験者の体表面上位置に、直径 10mm の 4 つの赤外線反射標点を貼り付け、各被験者に 5 回施行させた。測定は、歩行が定常化する 4 歩行周期目以降の位置に、測定域として 2m^3 の補正空間を設定し、空間内を移動する反射標点を測定した。測定課題を実施中の標点位置を三次元動作解析装置（ライブラリー社製 GE-200C）により撮影した。サンプリング周波数は 120Hz とした。計測した 1 歩行周期を、画像データから各運動相に分類した。



- | |
|-----------|
| (1)腓骨小頭 |
| (2)外果 |
| (3)踵骨隆起 |
| (4)第五中足骨頭 |

図 1 反射標点貼り付け位置

3. 対象

本研究の目的および方法について、十分に説明書面にて同意を得た、下肢に既往のない成人男性 9 名 (平均年齢 $27 \text{ 歳} \pm 5.4 \text{ 歳}$) とした。

Gait analysis of both legs on healthy adults.

Reiki HAGIWARA, Daigo KAROJI, Yuji RYUSHIMA

Yoshinori HORIE, Hideki KOUNO, Mototsugu KATSUTA, Taiga SHIBATA

4. 解析方法と統計処理

観測データを PC に取り込み、被験者 9 名それぞれ 5 試行のデータから、平均的な波形を抽出するために、最小二乗法により最適化をおこない位相を合わせ、平均化した。図 3 に示す歩行周期の各相(①HS-FF、②FF-MS、③MS-HO、④HO-TO、⑤TO-HS)における区間時間、垂直軸に対しての足関節

節底背屈角度および角速度を求めた。

また時間と足関節底背屈角度との関係を検討するために回帰分析を行った。個人間で各相への到達時間が異なるために、加算平均をとる上で、運動相毎に抽出された数値全てを観測数とし、スプライン補間により補正した。

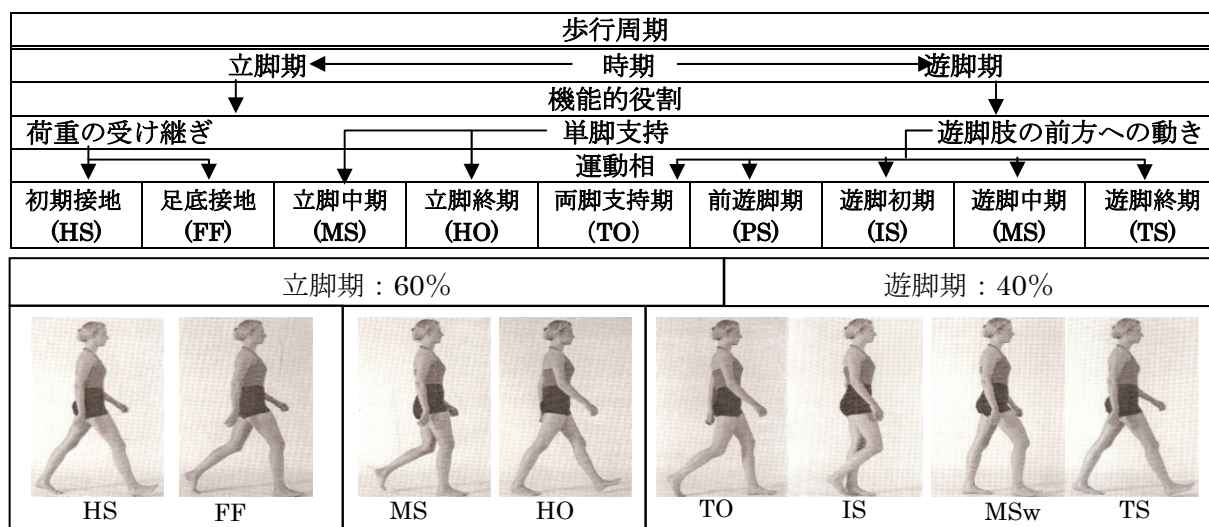


図 2 歩行周期の運動学的分類

5. 結果

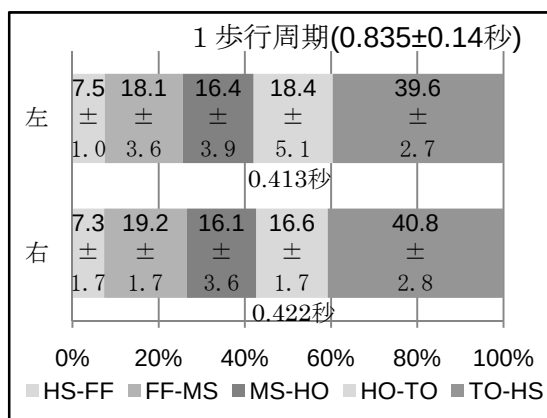


図 3. 1 歩行周期における運動相の区間時間比率

図 3 は時間を規格化しているために、比率を単純比較することはできないが、右脚の HO-TO 区間時間の短さおよび、SD の収束具合以外は周期性としては似通っている。

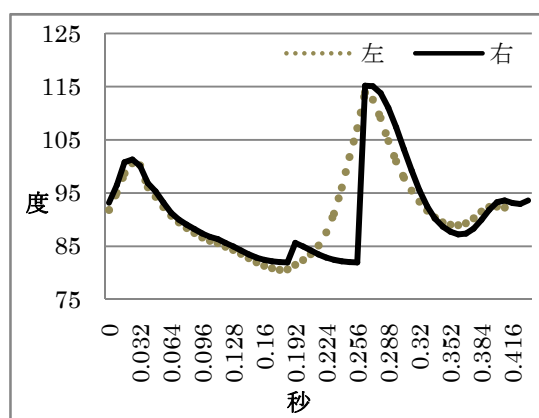


図 4. 1 歩行周期中の足関節の角度変化

図 4 は、左右脚の角度変化を重畳させたものだが、左脚に対し右脚は HO-TO 区間に相当する 0.26 秒付近に急激な角度変化を描出している。その後は、左と同様な推移を示した。

表 1.各運動相における左右下腿の区間時間

運動相	左	右
HS-FF	0.031±0.004	0.031±0.007
FF-MS	0.075±0.015	0.081±0.007
MS-HO	0.068±0.016	0.068±0.015
HO-TO	0.076±0.021	0.07±0.007
TO- HS	0.164±0.011	0.172±0.012

単位：秒

表 1 は、運動相の区間時間を表記した。図 4 と同様に類似性を感じる結果だとなった。実際に筋出力を発揮し加速している HO-TO 区間の長さ（0.07 秒）と、引き続くフォロースルーを経て、減速開始期となる 2 回目の HS までの合計時間は、左右ともに約 0.24 秒の間に生じている動作であった。

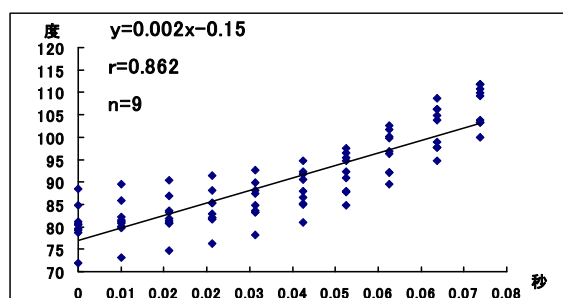


図 5. 右 HO-TO の区間における下腿軸変位量と時間の相関グラフ

$r = 0.862$ という相関が認められた。

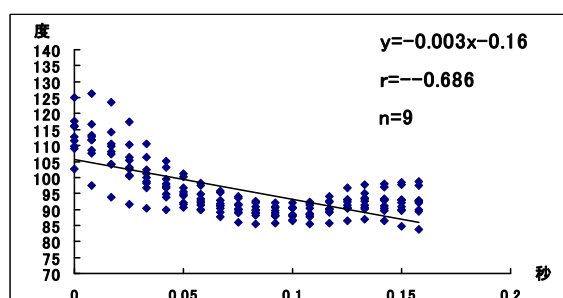


図 6. 右 TO- HS の区間における下腿軸変位量と時間の相関グラフ

$r = -0.686$ という相関が認められた。

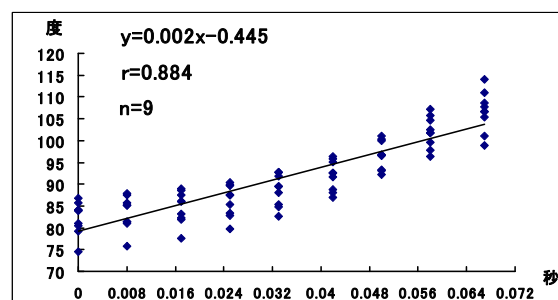


図 7. 左 HO-TO の区間における下腿軸変位量と時間の相関グラフ

$r = 0.884$ という相関が認められた。

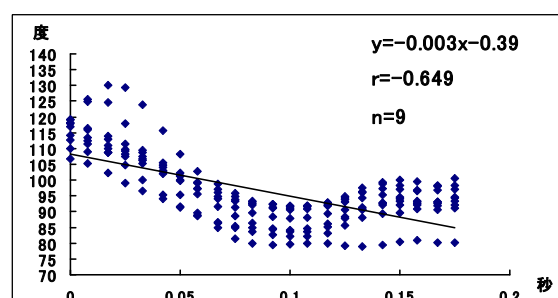


図 8. 左 TO- HS の区間における下腿軸変位量と時間の相関グラフ

$r = -0.649$ という相関が認められた。

表 2. 各運動相における垂直軸に対する左右足関節の角度

角度	左	右
HS	91.8±5.0	92.8±6.1
FF	100.1±5.9	99.9±7.4
MS	84.4±4.9	85.9±5.9
HO	82.4±4.5	82.1±4.3
TO	105.3±6.7	108.2±4.6

単位：度

表 2 は、歩行周期中の足関節の変位を示したもののだが、運動相の区間時間とは違う傾向となった。全般的に左右ともに差が少なかったが、TO 区間では左右で約 3 度の差が認められた。これは右脚が左脚よりも強く蹴り出していると推察されるが、角度変化の収束の程度から、図 4 の HO-TO 区間で描出された急激な角度

波形の変化は、時間に依存したものであることがわかる。

表 3. 左右下腿の各運動相における足関節の角速度

角速度	左	右
HS	24.6±27	88.4±42
FF	34.6±32.2	47±36.3
MS	9.6±35.8	8±33.8
HO	434.6±125	555.7±123
TO	60.5±55.6	70.5±59

単位：度/sec

表 3 は、左右とも HO 区間の角速度が、他の運動相と比較して著明に大きい結果となった。これは HO 区間が歩行周期において最も強く加速していることがわかる。右脚の角速度は左脚の 127%となっており、利き足として推進力を発揮していると考えられた。また HO 区間の加速の影響は、TO 区間を経ても減衰しきれておらず、HS 区間で、右脚は左脚の 359%の角速度で接地していた。

表 4. 左右下腿の運動相区間時間と足関節角度の相関係数

	左	右
HS-FF	r=0.448	r=0.209
FF-MS	r=-0.471	r=-0.384
MS-HO	r=-0.120	r=-0.143
HO-TO	r=0.884	r=0.862
TO-HS	r=-0.649	r=-0.686

有意な相関として認められたものは、両脚とも HO-TO と TO-HS の区間であった。両区間は加速期とそれに引き続くフォロースルーの区間であり、運動相に分けてはいるが相関の高さから一連の動きとして考えられた。

6. 考察・結言

歩行は踵が接地する HS に始まり、約 0.2 秒間に床反力を受け、慣性を継ぎ、続く区間で筋出力を生成、発揮させるという周期動作を繰り返す。今回の測定では、健康な成人男性の自由歩行は、片足あたり約 0.42 秒の動作であり、1 歩行周期のうち重複歩分の約 40%を差し引くと約 0.52 秒サイクルでの動作という結果になった。歩行周期を運動相で分類した結果(図 3)、右脚が足関節の可動範囲(図 4.表 1.2)や角速度において(表 3)著明に大きい結果となった。図 3 の HO-TO 区間では、右は左に比べ時間比率が短い。これは一般的に右が利き足であり、素早く床を蹴って進んでいるためと考えられた。続く TO-HS の区間は、右が長く左が短い。これはその直前で発揮した推力に反比例する時間比率と考えられた。バッティングやゴルフのスイングでもフォロースルーが重要であるが、歩行においても同様で、効率の良い運動発揮のために、左右脚それぞれに特徴のある体の使い方となっている。特に右脚の HO-TO の区間で、左脚よりも積極的に加速に使用されているように見える、右一脚が動作をリードするような結果は、大脳半球抑制による一側優位性の反応によるものと考えられた。歩行能力を規定する大きな因子として筋力があげられるが、今回の時間領域の結果からみて、歩行の周期動作は、単純な筋収縮力の発揮では説明のつかない動作速度(表 1.3)であることが認められた。また運動相の区間時間と足関節角度の相関係数(表 4)から、筋出力を開放した後の動きと、再び接地の衝撃に対応する区間とで違いが認められたことから、歩行能力の規定因子が筋出力だけではなく、筋腱複合的な動作であることが示唆された。したがって、局所の筋力強化に注目するだけではなく、神経系の改善を視野に入れた、動作・運動速度の改善を検討する必要があると考えられた。