

予防・健康増進に資するパーソナル・バランスケア技術に関する研究

ー 昇段動作を対象とした床反力時系列情報の解析と股関節機能低下因子に関する考察 ー

曾賀野 健一 青木 隆明* 竹原 正矩
渡辺 博己 成瀬 哲哉 棚橋 英樹

A Study on Personal balance care technology for Prevention and Health promotion

Kenichi SOGANO Takaaki AOKI* Masanori TAKEHARA
Hiroki WATANABE Tetsuya NARUSE Hideki TANAHASHI

あらまし 要介護・要支援の要因として大きな割合を占める股関節症例を対象とし、股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的としている。今年度は、静的立位姿勢及び移動動作にみられる臨床的所見に基づいて、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした計測、解析、データの様相について考察を行ったので報告する。

キーワード 予防、健康増進、股関節機能、昇段動作、床反力、COP

1. はじめに

運動器疾患（転倒・骨折、関節疾患）は、要介護・要支援の要因として全体の20%以上を占める^[1]。運動器疾患は、筋肉や関節等の運動器機能が衰弱し、よろめくなどの症状が現れることをいい、ロコモティブシンドローム（locomotive syndrome；以下、ロコモという。）と呼ばれる^[2]。ロコモの症状が進行すると、更衣、階段の昇り降り等の日常生活動作が制限され、つまづく、転倒等の事故を引き起こし、骨折から要介護・要支援に至るリスクが高まる。運動器機能の低下は、高齢者に限られることはなく、近年は若い世代も含めてロコモ予備軍が増えているといわれている。日本整形外科学会の調査では、ロコモの人口は予備軍を含めると4,700万人と試算されている^[2]。

ロコモの症状が出てからケアするのではなく、若い頃からも意識し、発症前にその兆候を捉えて早期に介入する「予防」の必要性が社会的にも高まっているが、ロコモの兆候は如何なる方法で説明できるのか、これまでに明確な指標は存在しなかった。そこで当研究所では、要介護・要支援に至る要因の一つである股関節症例を対象に、症例の発症につながると考えられる情報支援を目的として、股関節機能の安定性に関わる情報を自分自身で手軽に計測・蓄積し、股関節機能の安定性を定量的に説

明可能な技術に関して研究を進めている^[3]。今年度は、動的な動作計測・評価に関して、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした床反力時系列情報の解析と股関節機能低下因子に関する考察を行ったので報告する。

2. 臨床的所見と計測の構成

股関節症例の臨床的所見では、動的な移動動作の一つである歩行動作において、二峰性の平坦化と動揺がみられる。二峰性は、足底の着床時期から離床時期までに生じる床反力の時間変化（床反力波形）を観察した場合に、足底の着床時期と離床時期のそれぞれの時期に床反力の峰（ピーク）を呈する様相を説明する際に用いられる。二峰性の平坦化や動揺がみられる場合には、転倒のリスクを高める要因として臨床的所見において重要視されるランドマークとなる。動的な移動動作である段昇降動作の臨床的所見では、昇段動作において足底の着床時期にあらわれる床反力の峰が平坦化し、動揺が大きくなるとされており、歩行動作における所見に類似すると考えられている。

静的な姿勢保持の臨床的所見では、例えば、片脚立位姿勢の保持を行う際に、墜落的な動揺が観察される。墜落的な動揺は、患側（股関節症例を有する側）の脚で全体重を支持することが困難である場合に、転倒を回避するために、床平面に対して鉛直方向に荷重の変化が大きく現れる現象のことをいう。

* 国立大学法人岐阜大学医学部附属病院

このような股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的として、計測対象とする姿勢と動作、計測方法を定めた。本稿では、股関節症例の特徴である移動動作時における床反力の峰の平坦化、動揺、静的姿勢時に生じる墜落的な動揺は、床反力の時間変化に作用すると考え、床反力情報を取得するための装置としてBalance Wii Board (任天堂社製:以下WBという)を用いた床反力情報取得・解析システムを試作した(図1)。



図1 床反力情報取得・解析システム

当研究所が独自に開発したプログラムを用いることでWBに配置された4箇所フォースセンサの情報をBluetoothを利用してパソコンに受信し、取得した各フォースセンサの情報からサンプリング時間ごとに床反力情報の変化等を参照し諸種の特徴量を抽出することが可能である。床反力の計測対象とする姿勢・動作の種類及びWBを用いた計測方法を表1に示す。段昇降は、昇段時における足底の着床時から離床時まで生じる床反力の時間変化に注目することにより、歩行時における床反力の峰及び動揺の評価に類似する評価を行えるのではないかと考えた。静的姿勢・移動動作とWBを用いた床反力情報取得方法を表1に示す。

表1 静的姿勢・移動動作とWBを用いた床反力情報取得方法

静的姿勢 移動動作		床反力情報取得方法
静的 姿勢	両脚 立位 姿勢	WBに両下肢を接し、眼の高さで約3m離れた正面の指標を注視し10秒間静止姿勢を保持する。
	片脚 立位 姿勢	WBに片脚で立位し、眼の高さで約3m離れた正面の指標を注視し10秒間静止姿勢を保持する。
移動 動作	段昇降	前方のWB(段差:約5cm)に昇段し、WBから後方に降段する移動を行う。 (例) 右脚から昇段する場合 右昇段→左昇段→右降段→左降段
	歩行	3歩程度歩いた後、WBに片脚でのり前方へ移動する。WBとの段差が生じない歩路を整備した。

※すべての姿勢・移動動作について、計測時は開眼で靴を脱いだ状態(靴下の着用は許可)で行った。

3. 床反力時系列情報の様相と解析

股関節機能に衰弱がみられる場合の特徴的な傾向には、機能低下の兆候を知る上で重要な情報が含まれると考えられる。特徴的な傾向とは、移動動作に観察される床反力波形の峰の平坦化や動揺、片脚立位姿勢の保持に観察される墜落的な動揺のことをさす。本稿では、これらの臨床的所見に観察される特徴をふまえて、特に移動動作に関して、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした床反力時系列情報の様相と解析について考察を行った。

非症例の床反力波形は、図2(a)に示すように足底の着床時期(時刻 t_1)に峰(ピーク)を呈する様相がみられる。これは、単脚支持期(片側の脚で上体を支える時期)初期に荷重をかけて昇段動作を行うことができていることを示している。一方、股関節症例の患側における床反力波形をみると図2(b)の足底の着床時期(時刻 t_1)にみられるように床反力変化が小さい様相を示す。これは、患側の単脚支持期(片側の脚で上体を支える時期)初期において患側に荷重をかけることが困難であることから、非患側(健側)に働かせる推進力を低減し患側の荷重負担を軽減する影響が考えられる。

図3(a)は、非症例のCOP軌跡を示している。COPは足圧中心(Center of foot Pressure)のことをいい、身体の動揺を観察する場合に用いられる。図3(b)は、股関節症例の患側におけるCOP軌跡を示している。単脚支持期初期(時刻 t_1)から単脚支持期終期(時刻 t_3)までの区間におけるCOP軌跡の変化をみると、股関節症例は、非症例と比較して動揺が大きい様相を確認できる。これは、患側の単脚支持期において、片側の脚で上体を支えることが困難である影響がCOP軌跡に作用していると考えられる。

本稿では、昇段動作において床反力の峰の強さをあらわす特徴量として、足底の着床時期(図2(a),(b)時刻 t_1)にあらわれる峰のピークから、その直後(図2(a),(b)時刻 t_2)にあらわれる谷までのサンプリング時間ごとに示す床反力の変化値(絶対値)の積分値を特徴量に用いることとした。これを衝撃値 TdZ とし、(式1)で定義する。この特徴量が低値を示す場合に、峰の平坦化が疑われる。

$$TdZ = \frac{1}{t_2 - t_1} \frac{1}{w} \int_{t_1}^{t_2} |Z_{t+1} - Z_t| dt \quad (式1)$$

(w: 被験者体重, Z: 床反力値)

昇段動作時の動揺をあらわす特徴量として、単脚支持期におけるCOPの進行方向及びCOP軌跡長に注目した。サンプリング時間ごとのCOPの進行角度から単脚支持期におけるCOPの進行角度の平均値を求め、これを基準進行角度とした。この基準進行角度に対して、サンプリング時間ごとのCOPの進行角度が閾値 $\pm 30^\circ$ を超える場合に動揺と判断し、動揺と判断されたCOPの総軌跡長を特徴量として

抽出した。この場合のCOP総軌跡長は、図3に示すXY座標系を用いて算出し、静的立位姿勢においてCOP総軌跡長の算出に用いるXY座標系と同じである。閾値±30°は、非症例別に単脚支持期におけるサンプリング時間ごとのCOPの進行角度に対しヒストグラムを求め、平均値の95%信頼区間にあたるCOPの進行角度を取得し非症例群の平均値を算出することにより設定した。なお、歩行におけるCOP総軌跡長の算出についても、段昇降と同様の方法とした。

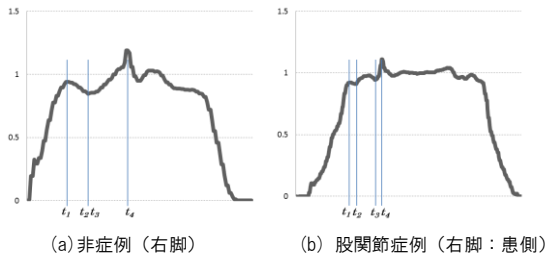


図2 段昇降時の床反力波形
(横軸：時刻，縦軸：床反力値を被験者体重値で正規化)

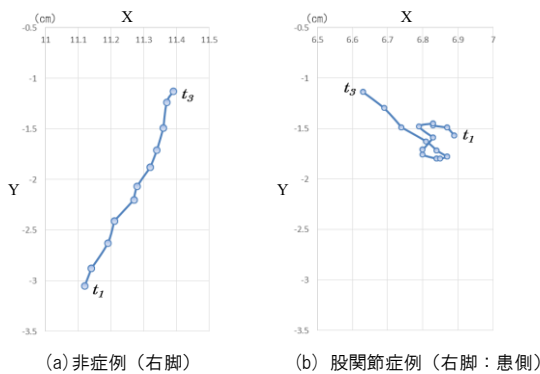


図3 昇段動作時のCOP軌跡

4 実験

3の解析方法に基づいて、昇段動作の床反力時系列情報から特徴量を抽出する機能を開発した。この機能を加えた床反力情報取得・解析システムを用いて、股関節症例と非症例を対象としたデータの分布傾向を確認するため、実験を行った。床反力情報取得実験により収集したサンプル数は股関節症患者52名、非症例455名の計507名である。股関節症例のサンプルは岐阜大学医学部附属病院リハビリテーション部に通院する患者とし、事前に実験参加の安全性や個人情報の秘密保持等を十分に説明した。股関節症例の実験にあたっては、岐阜大学大学院医学系研究科の医学研究等倫理審査委員会の承認を受けて実施した。また、実験に際して被験者にアンケートの記入を依頼し、人物属性情報（年齢等）、運動習慣（運動の頻度、運動の内容等）、表2に示すロコチェック（片脚立ちで靴下がはけない、階段を上るのに手すりが必要である等、7項目のチェック項目⁴⁾、症状（股関節疼痛等）に関する情報を取得した。

表2 ロコチェック項目と内容

項目	内容
LC1	片脚立ちで靴下がはけない
LC2	家の中でつまづいたり滑ったりする
LC3	階段を上るのに手すりが必要
LC4	横断歩道を青信号で渡りきれない
LC5	15分くらい続けて歩けない
LC6	2kg程度の買い物をして持ち帰るのが困難
LC7	家のやや重い仕事が困難（布団の上げ下ろし等）

5 考察

股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的とし、股関節症例群と非症例群の分布傾向を分析した。分析に用いた主な特徴量と内容を表3に示す。なお、非症例群については、実験時に採取したアンケートの情報に基づいて良群を抽出した。良群は、6ヶ月以上の運動習慣を有し、ロコチェックや症状に該当がないサンプル群とした。

表3 主な特徴量と内容

特徴量	内容
MX, MY	COP最大振幅（側方，前後方）
TdX, TdY	COP総軌跡長（側方，前後方）
SDX, SDY	COP位置の標準偏差（側方，前後方）
RMS	Root Mean Square；COP位置の二乗平均平方根
RX, RY	荷重割合（側方，前後方）
TdZ, MdZ	床反力の総変化量，最大変化量（被験者の体重で正規化） (※) 静的姿勢時における床反力の総変化量は立位保持中のサンプリング時間ごとに示す床反力の変化値（絶対値）の積分値である。最大変化量は床反力の最大値と最小値の差分値である。

特徴量に対して因子分析を行い、股関節症例群に影響を与えている因子を調査した。因子分析に用いた特徴量は、非症例群の平均値を用いて標準化した値を用いた。因子分析にはJUSE-StatWorks/V4.0を用い、最尤因子法による主因子解法を適用した。因子数は累積寄与率が60%以上となる数とした。因子負荷は、因子軸のバリマックス回転を考慮し、各因子に対して因子負荷量の大きさが0.6以上になるものを採用した。分析の結果、各因子に対し影響度の大きい因子負荷を以下に示す。

TdX（両）、RX（両）、TdZ（片）、TdZ（段）、TdX（段）
TdZ（歩）、TdX（歩）

（両：両脚立位，片：片脚立位，段：段昇降，歩：歩行）

次に、因子分析の結果、各因子に対し影響度の大きい各因子負荷について、群の分布傾向を確認した。群は、股関節症例群と非症例群を対象としたが、非症例群については、実験時に採取したアンケートの情報に基づいて良群と股関節機能の衰弱が疑われる群（衰弱群）の2群に分類した。2群の分類にあたっては、アンケートの情報及び特徴量を用いた相関分析により順位相関係数（spearman；non parametric）を求め検討した。相関分析の結果を図4に示す。ただし、特徴量については、因子分析の結果、各因子に対

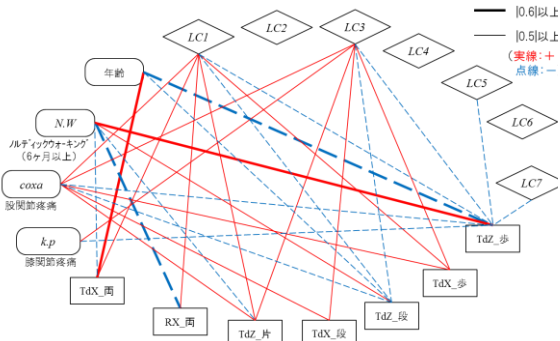


図4 アンケートの情報と特徴量の相関
(両：両脚立位，片：片脚立位，段：段昇降，歩：歩行)

し影響度の大きい因子負荷を採用した。

股関節疼痛との相関がみられる情報として、ロコチェックではLC1とLC3が0.5以上の正の相関を示し、股関節疼痛、LC1、LC3は特定の特徴量との相関がみられる。本稿では、運動習慣がなくロコチェック（LC1、LC3）を有するサンプル群を衰弱群とした。

股関節症例群、良群、衰弱群の3群について、2群の組み合わせを対象とし、それぞれ母平均の差の検定を行った。検定の結果を図5に示す。

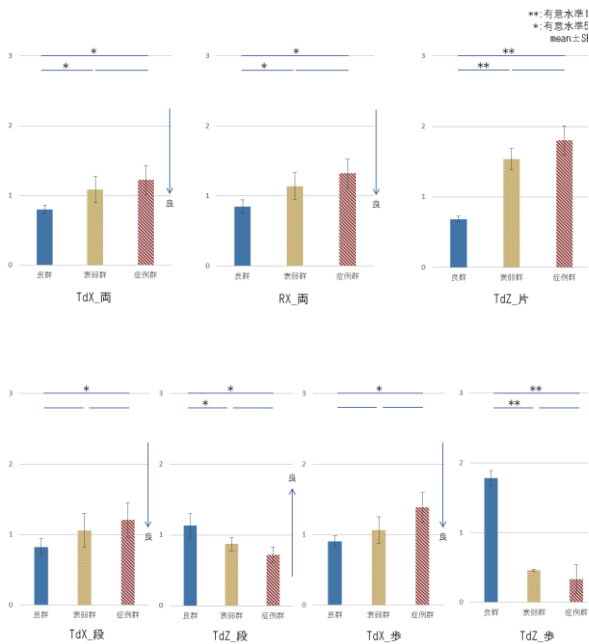


図5 群分布の傾向
(縦軸：非症例群の平均値で正規化)

股関節症例群と良群は、すべての因子負荷について、平均値の95%信頼区間において有意水準1%または5%で有意という結果となった。股関節症例群と衰弱群は、すべての因子負荷について、平均値の95%信頼区間において有意水準5%で有意ではない結果となり、このことは、股関節症例

群の分布と衰弱群の分布に同等性を有することを示している。従って、図5に示す因子負荷の数値をみることにより、股関節機能の衰弱を捉えることが可能と考えられる。また、昇段動作に関わる因子負荷（TdX、TdZ）について、股関節症例群の分布と良群の分布に差異がみられることから、歩行動作に代わり昇段動作に関わる因子負荷を用いて股関節機能の衰弱を説明できる可能性を有することを示している。

6 まとめ

股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的として、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした計測、解析、データの様相について考察を行った。昇段動作における床反力時系列情報に関して、臨床的知見に基づいて床反力波形の峰の強さ及びCOP軌跡の動揺に注目した解析を行い、特徴量を抽出する機能を加えた。昇段動作を含めた静的姿勢・動的動作を対象に抽出した諸種の特徴量に対して因子分析を行い、股関節症例群に影響を与えている因子を調査した結果、7種類の因子負荷が導かれた。この中には、昇段動作に関わる因子負荷が2種類含まれている。各因子負荷について、股関節症例群、非症例群（良群、衰弱群）に分類し、2群の組み合わせに対し母平均の差の検定を行った結果、股関節機能の衰弱が疑われるサンプル群の分布は、昇段動作に関わる因子負荷を含むすべての因子負荷に関して股関節症例の分布と同等性を示すことを確認した。

謝辞

本研究の一部は、平成29年度戦略的情報通信研究開発推進事業（総務省）を受けて実施しました。

岐阜大学医学部附属病院リハビリテーション部の皆様、床反力情報取得実験にご協力いただいた皆様に深く感謝します。

文献

- [1]厚生労働省，“平成28年国民生活基礎調査”，2016.
- [2]日本整形外科学会，“ロコモティブシンドローム”，<http://www.joa.or.jp/jp/public/locomo/>(2018.3現在)
- [3]曾賀野健一，青木隆明，渡辺博己，松原早苗，竹原正矩，棚橋英樹，“予防，健康増進に資するパーソナル・バランスケア技術に関する研究”，岐阜県情報技術研究所研究報告第18号，pp.49-53，2016.
- [4]日本整形外科学会，“ロコモチャレンジ”，<https://locomo-joa.jp/check/lococheck/>(2018.3現在)