

# 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

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

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

Kenichi SOGANO    Takaaki AOKI\*    Hiroki WATANABE  
Sanae MATSUBARA    Masanori TAKEHARA    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、移動動作等にみられる臨床的所見に基づいて、これまでに開発を進めてきた床反力情報取得・解析システムの改良を行った。また、自身で床反力情報の取得・評価が可能な自立式床反力情報取得・解析・蓄積システムを試作した。このシステムを用いて床反力情報取得実験を行い、収集したサンプルのデータ分布傾向から、股関節機能の安定性に関わると考えられる重要度の高い因子に関して基礎検討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, 床反力, COP

### 1. はじめに

ロコモティブシンドローム (locomotive syndrome ; 以下, ロコモという.)<sup>[1]</sup>は, 筋肉や骨等の運動器機能が衰え, よろめくなどの症状が現れることをいう。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 (寝たきり等) を招く危険性が一段と高まる。

運動器機能の低下という言葉を目にすると, 高齢者や老化の進行を想像しやすいが, 必ずしも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によれば, 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<sup>[1]</sup>。

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こと, 転倒等の事故に至る前に未然に防止する「予防」の必要性が社会的にも高まっている。ところが, 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

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。

### 2. 股関節症例の臨床的所見

股関節機能の安定性を定量的に説明可能な技術に関する検討を行うにあたり, 股関節症例にみられる特徴を把握する必要があるため, 臨床的所見を確認した。臨床的所見の対象は, 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股関節症患者とした。

#### 2. 1 静的姿勢の保持

臨床的所見では, 両脚立位や片脚立位等の静的姿勢を保持した際に, 身体に生じる動揺の観察が行われる。例えば, 片脚立位姿勢の保持における股関節症例の臨床的所見では, 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。

#### 2. 2 移動動作

移動動作における臨床的所見では, 特に二峰性の観察が行われる。二峰性は, 移動動作において足底の着床時から離床時まで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2つ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。股関節症例のみられない床反力波形は, 図1 (a) に示すように足底の着床時期と離床時期に明確なピークを

\* 国立大学法人岐阜大学医学部附属病院

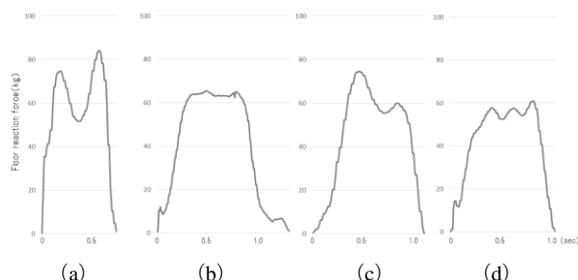


図1 移動動作における床反力波形  
(横軸：時刻，縦軸：床反力)

- (a) 非患者
- (b) 股関節症患者 (患側 平坦症例)
- (c) 股関節症患者 (健側 平坦症例)
- (d) 股関節症患者 (患側 多峰症例)

呈する二峰性の形状を示す様相を確認することができる。これは、足底の着床時期に荷重をかけて踏み込み、離床時期に蹴り出しを行うことができていることを示している。

一方、股関節症患者の患側における床反力波形をみると図1 (b)の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、図1 (c)のように非患側 (健側) の単脚支持期後期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と、患側の単脚支持期後期において患側に十分な推進力を働かせることができないことが考えられ、患側の床反力波形において二峰性の平坦化が観察される一因と推察される。

なお、股関節症例には、前述の二峰性の平坦化の他に、床平面に対し鉛直方向の墜落的な動揺が現れる場合がある。この場合、着床時期にあらわれる第一峰と離床時期に現れる第二峰の間に一峰以上の峰が存在する多峰性を示す (図1 (d))。この多峰性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される。

### 3. 計測・解析

#### 3.1 計測対象姿勢と動作

股関節機能を評価する場合に、対象者が日常生活の中で行う姿勢や移動動作の安定性を尺度としており、臨床現場では日本整形外科学会が定めるJOA SCOREの評価基準に沿って日常生活動作 (立位、段昇降等) や移動動作等の遂行度を判定する方法が最も普及している<sup>12)</sup>。そして、この評価基準に準拠して行われる股関節症例の臨床的所見では、第2章に示したような特徴が観察されている。

このような股関節症例の特徴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静的姿勢時に生じる墜落的な動揺、移動動作時の

二峰性の平坦化や多峰性の影響は、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・解析技術をこれまでに試作した。この技術は、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に配置されたフォースセンサの情報をBluetoothを利用しパソコンに受信することが可能である。そして、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できる。

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。

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との段差の小さい歩路を整備した。

※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。

※移動動作はWBの段差が平坦となる歩行路を整備した。

#### 3.2 床反力情報取得・解析技術の改良

股関節機能に衰弱がみられる場合の特徴的な傾向 (片脚立位姿勢の保持に観察される墜落的な動揺、移動動作に観察される二峰性の平坦化や多峰性) 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。そこで、これらの臨床的所見に観察される特徴をふまえて、特に、移動動作における二峰性に関する特徴量の抽出方法について改良を加えた。これまでの床反力情報取得・解析技術では、軸脚の足底着床時期にあらわれる第一峰から離床時期にあらわれる第二峰までの床反力時間変化の積分値を用いていたが、股関節症例には、患側の床反力波形にあらわれる二峰性の平坦化の他に多峰性を示す場合がある。二峰間にあらわれる各峰の振幅 (床反力の変化量) は峰の数に応じて大きな数値を示すため、二峰性の評価が適正でない問題が生じていた。そこで、軸脚の足底着床時期にあらわれる第一峰と離床時期にあらわれる第二峰について、それぞれの峰が示す振幅の加算値を算出する機能を構築した。

移動動作の床反力波形 $M(t)$ は、股関節症例がみられない場合、図2 (a)のように明確な二峰性が観察される<sup>13,14)</sup>。時

刻 $t_1$ ,  $t_4$ における2つの峰は、それぞれ足底の着床時と離床時の瞬間的な荷重を表している。一方、股関節症例の床反力波形 $M(t)$ は図2 (b)のように二峰間に峰が複数存在し、多峰性を示す墜落的動揺区間 $\{t_2, t_3\}$ が確認できる。これは、足底の着床時と離床時に十分な荷重をかけられず、単脚支持時に荷重を分散させている現象と考えられる。すなわち、歩幅や移動速度よりも身体のバランス維持に力を集中させる傾向にあり、健全な移動能力に支障が生じていることが推察される。

本稿では、移動動作の二峰性の強さをあらわす特徴量として、足底の着床時期(図2 (b) 時刻 $t_1$ )にあらわれる峰のピークから、その直後(図2 (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)の積分値を求め、次に、足底の離床時期(図2 (b) 時刻 $t_4$ )にあらわれる峰のピーク値から、その直前(図2 (b) 時刻 $t_3$ )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)の積分値を求め、各積分値の和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は、二峰性の平坦化が疑われる。

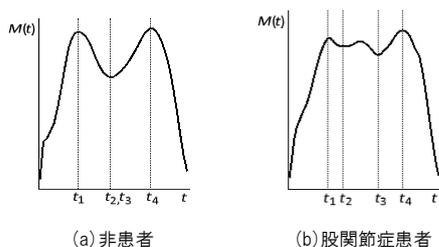


図2 移動動作の床反力波形  
(横軸：時刻，縦軸：床反力)

$$TdZ = \int_{t_1}^{t_2} |M'(t)|dt + \int_{t_3}^{t_4} |M'(t)|dt \quad (式1)$$

### 3. 3 自立式床反力情報取得・解析システム

股関節機能の安定性に関わる情報を日常的に自分自身で手軽に取得し、継続的に蓄積・観察することを目的として、自立式床反力情報取得・解析システムを構築した(図3)。

このシステムは、人物識別カードに記載されている被計測者の固有識別情報 (UserID) を人物識別情報読取装置にかざすと、データベースに登録されている人物情報を取得し、3. 1の計測に自動的に移行する。計測中、WBに乗る、WBから降りる等の案内は、床反力情報を参照することにより、被計測者の前に設置されたモニタに自動的に表示する。なお、データベースに関しては第4章に記述する。両脚立位姿勢の計測後は、自動的に片脚立位姿勢の計測に移行する。以前の床反力取得・解析システムでは、片脚立位姿勢を10秒間保持できずに途中で非支持足(遊脚側の脚)を着床した場合も評価の対象としていたため、例えば非支

持足が着床している時間が長いと良い評価となる問題が生じていた。そこで、床反力情報を参照し、サンプリング間の床反力変化量と足圧中心 (Center of foot Pressure ; 以下COPという) 位置の側方変位量を用いて評価することで非支持足の着床を検出する機能を加えた。また、片脚立位姿勢を10秒間保持できずに非支持足を着床した場合に保持できた時間を取得する処理と再度同じ側の脚で計測を行うか、次のステップに移行するかを選択する機能を加えた。片脚立位姿勢の計測後は、自動的に段昇降の計測に移行する。左右脚別に計測を行い、段昇降の順序に誤りが発生した場合はリアルタイムに検出する。以前の床反力取得・解析技術では、例えば、右脚から昇降を開始する場合は、右脚(昇段)→左脚(昇段)→右脚(降段)→左脚(降段)の順序で動作を行うことになるが、被計測者の中には順序を誤るケースがあり、誤った床反力情報を取得する問題があった。そこで、床反力情報を参照し、WB上の左右の荷重割合と総床反力値を判定することにより、WB上の左右の昇降の様子を案内する機能を加えた。段昇降の計測後は、自動的に移動動作の計測に移行する。左右脚別に計測を行い、移動動作の計測後は、結果の閲覧画面に移行する。



図3 自立式床反力情報取得・解析システム

## 4 床反力情報の蓄積と活用

股関節機能の安定性に関わる情報を日々蓄積し、時間や場所の制約を受けず、自分自身の分析結果・履歴情報を参照することを目的として、床反力解析情報システムを用いて取得・解析した床反力解析情報を格納するデータベース構造の設計及び試作を行った。RDBMS (Relational Database Management System ; データベース管理システム) にはMySQLを用いた。このデータベースは、人物属性情報、4種類の姿勢・動作に関する情報、床反力解析情報(4種類の姿勢・動作別)のテーブルから構成される。データベースの構造については、これまで被計測者のIDとして計測日時を参照した数値を設定していたが、複数箇所(施設)での計測ではIDの重複が懸念されるため、被計測者固有の固

有識別情報にUserIDを発行する機能を加えた。また、計測時に取得したアンケートの情報（運動習慣の有無・内容、日常生活の支障度に関する7項目のチェック、症状等）を考慮し、データベースの構造を設計した。

なお、現行の床反力情報取得・解析システムは、計測時に床反力情報の取得と解析処理を同一の計測用パソコン上でを行い、床反力解析情報をローカルのデータベースに格納している。そして、解析情報を閲覧する際には、データベースに格納された床反力解析情報を参照する方法としている。今後は、システムの効率化を図るため、床反力情報をサーバー側に蓄積しておき、端末側の要求に応じて解析結果を取得するしくみに移行する予定である。

## 5 実験

第4章で試作したデータベースを対象とし、自立式床反力情報取得・解析システム及び床反力解析情報データベース登録・管理システムを用い、ローカルネットワーク経由での接続・通信に関するシステムの有用性を検証した。この検証では2台のパソコンを用いて行った。1台目の端末上で、被計測者の入力、両脚立位姿勢等の計測を行うと、2台目の端末に構築したデータベースに対し、ローカルネットワーク経由で接続・通信を行う構成とした。

検証場所は、健康増進施設である岐阜市の健康ステーション、岐南町の地域包括支援センター等での床反力情報取得実験の場を利用して行った（図4）。検証の結果、人物識別カード等に記載されている被計測者の固有識別情報（UserID）を人物識別情報読取装置にかざすことにより、ローカルネットワークを経由して床反力解析情報データベースの人物属性情報テーブルに格納されているUserIDに該当する人物属性情報（氏名、年齢等）をパソコン上で取得できていることを確認した。また、パソコン上で4種類の計測（両脚立位姿勢、片脚立位姿勢、段昇降、移動動作）を行った後に得られた床反力解析情報が、各計測の計測後にローカルネットワークを経由して床反力解析情報データベースの床反力解析情報テーブルに自動的に登録される機能が正常に動作することを確認した。



図4 床反力情報取得実験の様子  
（岐南町地域包括支援センター）

## 6 データの分布傾向

股関節症の臨床的所見にみられる、片脚立位姿勢時に生じる墜落的な動揺、移動動作時の二峰性の平坦化や多峰性の影響は、床反力及びCOP位置の時間変化に作用すると考えられる。そこで、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、股関節症患者群と非患者群のデータ分布傾向を統計的に分析した。分析に用いた主な特徴量と内容を表2に示す。

表2 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 各最大値）
TdZ, MdZ	床反力の総変化量、最大変化量（被験者の体重で標準化） <small>（※）移動動作における床反力の総変化量は（式1）参照。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。</small>

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21名、非患者147名の計168名である。股関節症患者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。股関節症患者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。

股関節症患者群と非患者群のデータの分布傾向を分析し、患者群に寄与する重要度の高い特徴量（因子）を導くため因子分析を行った。因子分析に用いた非患者群のサンプルは、運動習慣を有し、かつ股関節等に症状がない良群に属するサンプルを用いた。分析の結果、患者群にみられる重要度の高い因子として、片脚立位と移動動作におけるTdZ（床反力の変化に関わる特徴量）等が導出された。これらの因子は、臨床的所見において患側下肢の片脚立位時に墜落的な動揺がみられる現象と移動動作時における二峰性の平坦化がみられる現象を説明可能な重要度の高い因子と考えられる。

図5は、因子分析の結果、重要度の高い因子として導出された2つの因子に基づいて、サンプルの分布を2次元平面上にプロットしたものである。非患者群はTdZ（移動動作）が高値を、TdZ（片脚立位）が低値を示すのに対し、患者群は逆の様相がみられる。

図6は、因子分析の結果、重要度の高い因子として導出された2つの因子に対して、非患者群に属するサンプルの中で運動習慣のないサンプルを対象に、年代別分布傾向を示したものである。移動動作と片脚立位ともに40代以降に

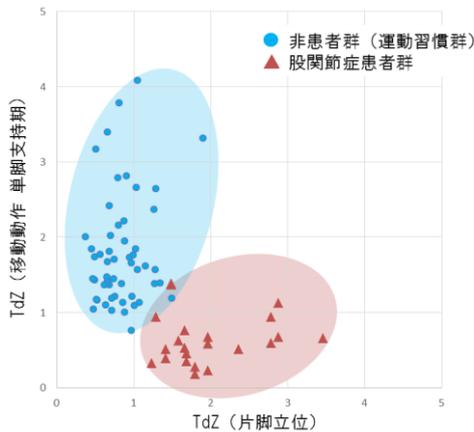


図5 非患者群と股関節症患者群のデータ分布

床反力総変化量の悪化がみられる。このことは、運動習慣のない生活スタイルが続くことにより、股関節機能の低下因子が増長することを示している。

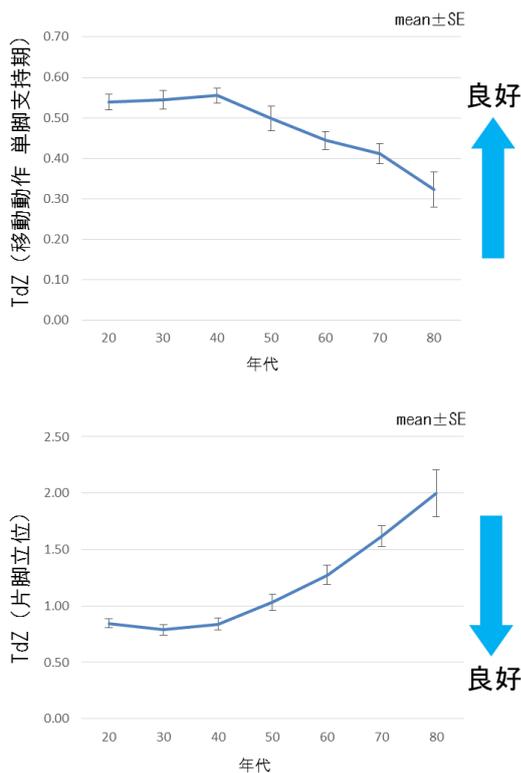


図6 床反力総変化量の年代別分布  
(非患者群 運動習慣なし)  
(上) 移動動作  
(下) 片脚立位

## 7 まとめ

股関節機能に衰弱がみられる場合の特徴的な傾向（移動動作に観察される二峰性の平坦化や多峰性）に基づき、

二峰性の評価に関する特徴量として、移動動作時における着床時の第一峰と離床時の第二峰に注目した峰の振幅変化量を参照する方法に改良した。また、自立式床反力情報取得・解析システムの構築においては、以前のシステムで問題となっていた片脚立位姿勢の保持における非支持足（遊脚）の着床や段昇降における昇降順序の誤りをリアルタイムに検出し、片脚立位姿勢の保持時間を取得する機能や再計測を案内する機能等を加えた。この結果、計測操作を行う補助者を必要とすることなく、股関節機能の安定性に関わる情報を自分自身で計測することが容易となり、信頼性を有する床反力情報を取得することが可能となった。

次に、自分自身の分析結果及び履歴情報を参照することを目的とした床反力解析情報データベースを構築し、床反力情報取得・解析システムとの接続及び通信に関するシステムの有用性を検証した。検証の結果、被計測者の人物属性情報の参照と床反力解析情報のデータベース自動登録機能に関して、ローカルネットワーク経由で正常に動作することを確認した。

床反力情報取得・解析システムを用いて収集したサンプルのデータの傾向を統計的に分析した結果、股関節症例にみられる重要度の高い因子として、片脚立位姿勢の保持と移動動作におけるTdZ（床反力の変化に関わる特徴量）が導かれた。このことは、臨床的所見にみられる現象（片脚立位時の墜落的動揺、移動動作時における二峰性の平坦化）を説明可能な情報と考えられる。

このような股関節機能の安定性に関わる重要度が高いとみられる情報を日常的に手軽に取得し、継続的に蓄積・観察することにより、自分自身の股関節機能の状態を把握し、機能低下の兆候を早期に捉えることが可能になると考えている。

## 謝辞

本研究の一部は、平成28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]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/public/locomo/>(2017.3現在)
- [2]日本整形外科学会，“変形性股関節症診療ガイドライン”，南江堂，2008.
- [3]吉良秀秋，“股関節障害患者の歩行分析”，日整会誌55, pp.735-745, 1981.
- [4]臨床歩行研究会，“臨床歩行計測入門”，医歯薬出版，2012.