

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 ― 股関節機能回復の目標設定支援を目的とした床反力波形解析と Webアプリケーションの開発 ―

曾賀野 健一 青木 隆明*

藤井 勝敏 成瀬 哲哉 棚橋 英樹

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

- Floor reaction force waveform analysis and development of Web
application for the purpose setting support of hip joint function recovery -

Kenichi SOGANO Takaaki AOKI*
Katsutoshi FUJII Tetsuya NARUSE Hideki TANAHASHI

あらまし 本研究は、運動器機能疾患の中でも近年急増してい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、股関節機能の評価パラメータの解釈を深め、機能回復の目標設定に資する情報を提供するための床反力波形解析を行った。また、自身の股関節機能の安定性評価に関わる情報を手軽に確認可能な技術を確認するため、Web機能を用いてデータベースサーバーに格納されている股関節機能の安定性評価に関わる情報を取得・可視化する機能を試作した。

キーワード 予防, 健康増進, 股関節機能, 床反力波形, Webアプリケーション

1. はじめに

加齢や生活習慣（運動不足、肥満等）により、関節や筋肉等の運動器機能が低下すると、日常生活の様々な動作が制限され、墮く、転倒等の事故に至るリスクが高まる。運動器機能の低下はロコモティブシンドローム（以下、ロコモという）と呼ばれ、要介護の主たる原因となっている。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^[1]。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、これまでに、運動器機能疾患の中でも近年急増している股関節症例を対象とし、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きた。今年度は、股関節機能の評価パラメータの解釈を深め、機能回復の目標設定に資する情報を提供するため、段昇降時の床反力波形解析を行った。また、自身の股関節機能の安定性評価に関わる情報を手軽に確認可能な技術を確認するため、Web機能を用いてデータベースサーバーに格納されている股関節機能の安定性評価に関わる情報を取得・可視化する機能を試作したので報告する。

2. 股関節機能の安定性評価における課題

股関節機能の安定性評価に関しては、股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的に、これまでに、簡易な床反力計測装置（バランスWiiボード：任天堂社製）を用いて、静的姿勢保持（両脚立位、片脚立位）と動的動作（段昇降、歩行）の全4種類の姿勢保持と動作を行った場合の床反力時系列情報を取得・解析し、データベースサーバーに蓄積する床反力取得・解析システム（図1）を開発した。このシステムの内容については、過去の研究報告書を参考にされたい^[2,3]。

* 国立大学法人岐阜大学医学部附属病院



図1 床反力取得・解析システム

この床反力取得・解析システムを用いて、前年度までに股関節症例と非症例のサンプルを収集し、股関節症例群と非症例群のデータ分布傾向を統計的に分析した。この分析結果に基づいて、股関節症例群に対し重要度の高いパラメータとして導かれた情報を採用し股関節機能の安定性を評価することが可能である。

股関節症例群に対し重要度の高いパラメータと内容は表1のとおりである。

表1 股関節症例群にみられる重要度の高い情報

項目	内容
TdX (両脚立位)：ふらつき	COP (※) 総軌跡長 (側方)
RX (両脚立位)：偏り	荷重割合 (側方)
TdZ (片脚立位)：がくつき	床反力の総変化量
TdX (段昇降)：昇段時の動揺	COP 総軌跡長 (側方)
TdZ (段昇降)：昇段の力強さ	床反力の総変化量
TdX (歩行)：歩行時の動揺	COP 総軌跡長 (側方)
TdZ (歩行)：歩行の力強さ	床反力の総変化量

(※) COP：足圧中心 (Center of foot Pressure)

(注) 片脚立位における床反力の総変化量は、サンプリング時間ごとに示す床反力変化値 (絶対値) の積分値である。
段昇降と歩行における床反力の総変化量は、単脚支持期 (片側の脚で上体を支える時期) の峰-谷間を対象としサンプリング時間ごとに示す床反力変化値 (絶対値) の積分値である^[3]。

ただし、動的動作に関しては、段昇降もしくは歩行のパラメータを用いることにより、全5種類のパラメータを採用し股関節機能の安定性を評価することとした。これらのパラメータを視覚的に確認しやすい方法としてレーダーチャートを用いた可視化機能を構築した (図2)。この評価手法により、同年代の平均値に対して、自身の状態がどの位置にあるのかを把握することが可能である。平均値より外側に位置する程、良好であることを示している。また、右脚と左脚の評価を色分け表示しており、左右のバランスも視覚的に確認可能である。

段昇降の力強さに関するパラメータは、昇段時の床反力の変化に注目し評価を行っている。このとき、軸脚の昇段時から反対脚が交差するまでの時期において、床反力の変

化を評価することも臨床的に重要視される。しかし、これまでの評価機能では、このような床反力の変化を評価することができない課題が残されていた。

また、図2の可視化機能は、Microsoft Visual Studioを用いて開発しており、開発したプログラムを実行可能なパソコンの環境と実行プログラムが存在しなければ動作しない。すなわち、時間や場所に制約されず、必要な情報を手軽に取得することができなかった。

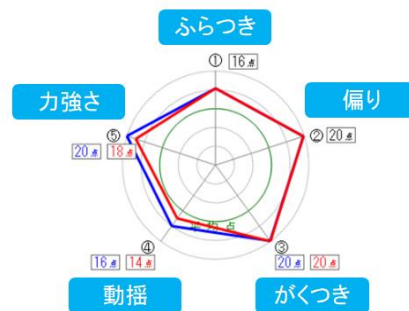


図2 股関節機能の安定性評価

3. 床反力波形解析

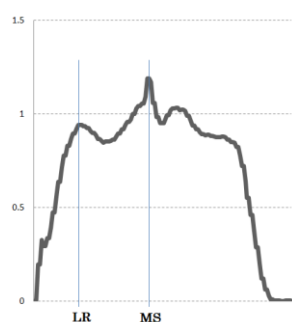
2に記述したように、段昇降の力強さに関するパラメータの解釈を深める必要がある。そのため、段昇降における軸脚の昇段時から反対脚が交差するまでの時期を対象とした床反力の変化を評価可能な機能を加えることを目的として、段昇降の床反力波形解析を行った。

臨床的所見では、段昇降における軸脚の昇段時から反対脚が交差するまでの時期を対象に、床反力の変化を評価する場合、床反力波形の平坦性と多峰性に注目する。そこで本研究では、床反力の変化を評価するため、歩行動作に準じてローディングレスポンス後期 (反対脚の離床、以下LRという) からミッドスタンス前期 (反対脚の交差、以下MSという) までの単脚支持期 (片側の脚で上体を支える時期) に注目し、床反力波形に平坦性がみられる場合には「平坦型」、床反力波形に多峰性がみられる場合には「動揺型」に分類する方法とした。

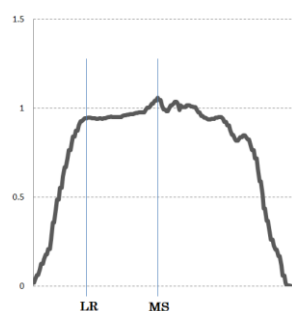
段昇降の床反力波形は、通常 非症例の場合、図3 (a) のようにLR時とMS時に峰を呈する歩行時の二峰性に準じた形状を形成するが、床反力波形に平坦性がみられる場合には、図3 (b) のようにLR時とMS時の峰の高さが減少している。これは、軸脚の接床時に荷重をかけて踏み込むことが困難であり、反対脚に働かせる推進力を低減し軸脚の荷重負担を軽減する作用が考えられる。床反力波形に多峰性がみられる場合には、図3 (c) のようにLRからMSまでの区間に1箇所以上の峰が観察される。これは、軸脚で上体を支持することが困難である場合に、転倒を回避するために床平面に対して鉛直方向に荷重の変化が大きく現れる墜落的な動揺が生じる作用が考えられる。図3 (b) や図3 (c) のような現象がみられる場合には、股関節機能の低下が疑われ、転倒のリスクが高まる要因とされる。

図3 (b) のような床反力波形における平坦性の判定では、サンプリング時間ごとに床反力変化量（絶対値）を求め、単脚支持期におけるすべてのサンプリング時間について所定の閾値を超過しない場合に「平坦型」に分類した。図3 (c) のような床反力波形における多峰性の判定では、サンプリング時間ごとに床反力変化量（絶対値）と床反力変化量（符号付）を求め、床反力変化量（絶対値）が所定の閾値を超過し、かつ床反力変化量（符号付）が正から負に変化するポイントを検出し、単脚支持期において1箇所以上のポイントを有する場合に「動揺型」に分類した。

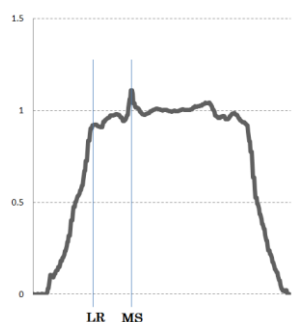
このような力強さ（段昇降）の評価における型の情報を提供することにより、リハビリ等における股関節機能の回復目標を設定するための検討材料になるのではないかと



(a) 通常（非症例）



(b) 平坦型



(c) 動揺型

図3 段昇降時の床反力波形と「型」の分類
(横軸：時間 縦軸：床反力)

縦軸の数値は、被験者の体重値を用いて標準化した値を用いた

考えている。たとえば、「平坦型」と判定された場合には、LRからMSまでの時期を対象として、膝立ち位や片脚支持での前方重心移動に関する運動介入等を検討できる。「動揺型」と判定された場合には、LRからMSまでの時期を対象として、膝立ち位や片脚支持でのリーチ動作等、上体を支持する機能を増強するための運動介入等を検討できる。

4. Web機能開発の構成

2に記述したように、これまでの床反力取得・解析システムでは、自身の股関節機能の安定性評価情報を手軽に取得することができなかった。そこで、Webブラウザの機能を用いて、3の床反力波形解析に基づく評価機能を加えた自身の股関節機能の安定性評価情報を手軽に参照する仕組みを確立することとし、必要な環境を整備した(図4)。



図4 Web機能開発の構成

Webブラウザを利用するためにWeb Serverを設置、Web Server SoftwareにはApache Tomcatを導入し、開発環境にはMZ Platform^[4]を利用した。このMZ Platformの機能として用意されているMZ Platform Servletを用い、Apache Tomcatに所定のファイル(MZ.war)を配備することにより、Webアプリケーションを構築、利用することが可能である。また、Webアプリケーションから床反力取得・解析システムで取得・解析した情報を蓄積するためにデータベースサーバーを用意し、データベースサーバーのDBMS (DataBase Management System) にはMySQLを利用した。MZ Platformを用いて開発したWebアプリケーション上で、MySQLのサーバー、ドライバ、ユーザー、パスワードの情報を設定することでMySQLに接続し、データベース内の所定のテーブルに格納されている情報を取得することが可能である。

5. Webアプリケーションの試作

4で整備した開発環境により、MZ Platformを利用し、2に記述した股関節機能の安定性評価を可能とするWebアプリケーションを試作した。Webアプリケーションの試作にあたっては、以下の要求仕様に基づいて必要となる機能を設計・構築した。

【要求仕様】

- ・被測定者IDの指定
- ・指定した被測定者IDに対する測定履歴情報の取得
- ・測定履歴情報はMySQLの所定のテーブルから取得
- ・取得した測定履歴情報をWebアプリケーション上にリスト形式で表示
- ・測定ID（レコード）の指定
- ・指定した測定IDに対する床反力解析情報の取得
- ・床反力解析情報はMySQLの所定のテーブルから取得
- ・取得した床反力解析情報を用いて5軸のパラメータ値（得点）を算出
- ・パラメータ値（得点）は、年代別のデータ分布傾向に基づいて算出
- ・算出したパラメータ値（得点）をレーダーチャートに反映
- ・力強さ（段昇降）の評価に関しては、床反力の波形形状に基づいて型を分類・表示することにより、評価の内容を補完（機能回復の目標設定のための情報提供）

以上の要求仕様に基づいて試作したWebアプリケーションを図5に示す。

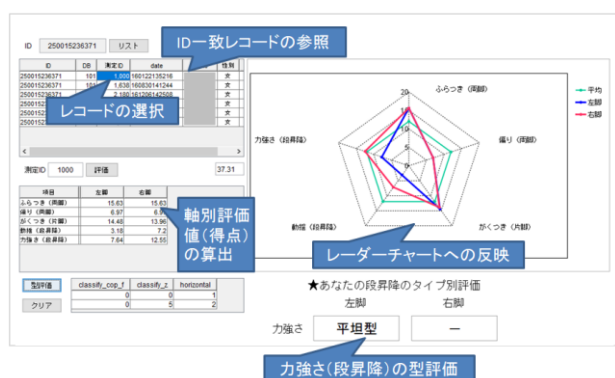


図5 Webアプリケーションの画面構成

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段昇降の力強さに関するパラメータの解釈を深めるため、臨床的所見に基づいて床反力の波形解析を行い、軸脚の昇段時から反対脚が交差するまでの時期を対象に床反力の変化を「型」を用いて評価する手法を考案した。この評価手法を用いることにより、昇段能力の低下に気づきを与え、能力の回復を図るための目標設定に資する検討材料として活用できるのではないかと考えている。

自身の股関節機能の安定性評価に関わる情報を手軽に確認可能な技術を確立するため、前年度までに開発した床反力取得・解析システムを用いた股関節機能の安定性を評価するしくみをベースに、段昇降の力強さに関する評価手法を加えたWebアプリケーションを試作した。このWebア

プリケーションを利用することにより、データベースから取得した情報をレーダーチャートを用いて得点化表示することで、自身の評価が同年代の平均値と比較し、どの程度の位置にあるのか等を視覚的に把握することができる。今回試作したWebアプリケーションを活用することにより、自身の股関節機能の状態を手軽にチェックすることが可能となる。

本研究は、本年度を以て満了となる。これまでの研究開発期間において、近年急増している股関節機能の低下につながると考えられる情報を導き、股関節機能の安定性に関わる評価情報を自身で手軽に確認可能な機能を実現することができた。この機能を実装した床反力取得・解析システムが、県内の医療機関が実施する運動器検診に導入されるに至り、本研究成果は、股関節機能の低下に気づきを与えることができる手軽なツールとして有用であると考えている。

股関節機能の低下から転倒骨折・要介護という大事に至る前に、日頃から自身の股関節機能の状態を知り、股関節機能の低下が疑われる場合には、機能低下の要因に適応した早期介入を行うことが重要である。このような予防・健康増進の視点に立ち、本研究成果が一層活用され情報支援の一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、臨床的知見に基づいた研究指導ならびに床反力取得・解析システムの試用にご理解とご協力をいただき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、社団医療法人 かなめ会 山内ホスピタル リハビリテーション部の皆様に深く感謝の意を表します。

文 献

- [1] 公益社団法人 日本整形外科学会，“新概念「ロコモティブシンドローム（運動器症候群）」”，
<http://www.joa.or.jp/jp/public/locomo/>
- [2] 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。
- [3] 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，“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 ―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―”，岐阜県情報技術研究所 研究報告第19号，pp.47-50，2017。
- [4] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 製造技術研究部門，“MZ プラットフォーム ユーザー会”，
<https://ssl.monozukuri.org/mzplatform/>