

運動器機能のリハビリ支援を目的とした安価な身体動揺解析技術(第3報)

— データ傾向の臨床的所見とデータの蓄積・活用 —

曾賀野 健一 青木 隆明* 渡辺 博己

松原 早苗 棚橋 英樹

A Study on Inexpensive Body Sway Analysis for Rehabilitation Support of Locomotorium (3rd report)

Kenichi SOGANO Takaaki AOKI* Hiroki WATANABE
Sanae MATSUBARA Hideki TANAHASHI

あらまし 身体の動揺を安価な計測器を用いて定量化し、リハビリテーションの経過観察等に資する情報をPT(理学療法士)等に提供することを目的に、Wii Board (WB) を利用した床反力計測・解析システムの構築を進めている。本年度は、WBに配置された4箇所フォースセンサ情報をBluetooth経由で取得し、足圧中心 (Center of foot Pressure ; COP) の位置や床反力の時間変化等を取捨する独自のプログラムを用いて床反力情報取得実験を行い、股関節症患者のデータ傾向の観察と臨床的所見との確認を行った。さらに、股関節症患者にみられる重要度の高い因子を導き、リハビリ支援に資するデータの蓄積と活用を図るための機能を構築したので報告する。

キーワード 床反力, COP, ロコモティブシンドローム, 股関節機能, リハビリテーション, データベース

1. はじめに

加齢や生活習慣(運動不足, 肥満等)により筋肉や骨等の運動器機能が衰弱するとよろめく等の症状, いわゆるロコモティブシンドローム^[1]を発症する。運動器の中でも特に股関節は骨盤と下肢をつなぐ要の荷重関節であり, 立つ, 歩く等の姿勢や動作を安定して行うために必要な筋肉や骨等で構成されているが, この関節機能が衰弱すると, 更衣, 階段の昇り降り, 車の乗り降り等の幅広い日常生活動作が制限され, 躓く, 転倒等の事故を引き起こし骨折から要介護(寝たきり等)を招く危険性が一段と高まる。

股関節症片側罹患例の特徴として, 患側下肢の片脚支持期において上体の動揺する現象が臨床的所見にみられる。また先行研究において, 股関節症片側罹患例では左右脚で等しい二峰性の床反力形状とならず二峰性の平坦化が観察されるという報告がある^[2]。このことから, 股関節症片側罹患例にみられる特徴は, 床反力の変化や床反力情報から得られる足圧中心 (Center of foot Pressure ; 以下COPという) 位置に現れると考え, 我々はこれまでに床反力情報取得装置に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

術を開発した。WBの4箇所に配置されたフォースセンサを所定のサンプリングレートで連続的に計測し, Bluetoothを利用してパソコンで受信することが可能である。そして受信したフォースセンサ値からCOP位置や床反力の変化量を計算しCOP位置等の時間的変化を軌跡として確認することができる。

本年度は, これまでに開発した床反力情報取得・解析技術を実際の臨床現場に適用し, データ傾向の観察と臨床的所見との確認を行うことを目的とする。さらに, 股関節症患者群と非患者群のデータ分布を統計的に分析し, 股関節症患者群にみられる重要度の高い因子を統計的手法を用いて導き, この因子に注目してデータの活用(リハビリ支援)を図るための機能を構築したので報告する。

2. 計測対象姿勢と動作

股関節機能を評価する場合, 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)や歩行等の遂行度を判定する方法が最も普及している^[3]。

床反力の計測対象とする姿勢・動作の種類及びWBを用いた計測方法については, JOA SCOREに記載されている股関節機能評価基準に準拠する内容とし, 以下のように定め

* 国立大学法人岐阜大学医学部附属病院

た。

[静的姿勢の保持]

- ・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（左右脚別）
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（左右脚別）
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（左右脚別）
3歩以上歩行後、WBに片脚でのり前方へ移動する。
WBとの段差の小さい歩行路を整備した。

3 床反力情報取得実験

股関節症患者が2の姿勢と動作を行った場合に COP位置と床反力にあらわれるデータの傾向を観察し臨床的所見との確認を行うため、股関節症患者を対象とした床反力情報取得実験を実施した。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。

非患者のサンプルは、医療・福祉・介護関連の展示会等の場を活用して募集した。非患者を対象とした床反力情報取得実験ではアンケート調査をあわせて実施し、下肢の疾患（現在の治療状況、既往歴の有無）や日常生活機能の支障に関するチェックを行い、すべての項目に該当がみられない場合は非患者に分類した。

4 股関節症患者のデータ傾向

3の床反力情報取得実験で取得した床反力の時系列情報からCOP位置と床反力の変化に注目した床反力情報の解析例を図1に示す。

図1 (a) は、片脚立位姿勢の保持におけるCOPの軌跡を示している。股関節症患者のCOP軌跡は、非患者と比較して特に側方の動揺が大きい傾向がみられる。図1 (b) は、サンプリング時間ごとのCOP位置の変化からCOPの移動速度を求め、2次元平面上にプロットした分布である。2次元平面上の原点に対する位置をみることでCOPの移動方向を確認することができる。また、床反力の変化量（体

重比）を20段階のカラーパターンを用いて分類表示し、COPの移動方向と移動速度情報に加えて床反力の変化情報を定量的に確認することができる。非患者のCOP移動速度分布が概ね原点付近に集まり床反力の変化が小さく、COPの移動や床反力の変化が緩やかである傾向がみられるのに対し、股関節症患者のCOP移動速度分布では、COPが左側方に複数回、速く移動している傾向がみられる。また、床反力変化の大きい分布傾向がみられることから非患者と比較して震動の大きさを確認できる。このことは、臨床の所見において、患側下肢の片脚立位時に床反力の震動がみられる現象と一致している。

図2は、歩行における床反力の時間変化（以下、床反力波形という）をあらわしたものである。非患者の床反力波形には、着床時と離床時にピークを呈する二峰性の形状を示している様相を確認することができる。これは、軸脚の着床時に荷重をかけて踏み込み、軸脚の離床時に蹴り出しを行うことができていることを示している。しかし、股関節症患者の患側における床反力波形をみると、図2（右）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、非患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。

5 分析

5.1 特徴量

4の股関節症患者のデータ傾向から、股関節症患者の臨床所見にみられる患側片脚立位時の震動や歩行における二峰性の平坦化の影響は、床反力及びCOP位置の変化に作用すると考えられる。股関節症患者の特徴を定量的に把握するため、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1に示す。

表1 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） （※）床反力の総変化量は単脚支持期に注目した解析値である。単脚支持期は片脚で体重を支える時期を指し、床反力波形の特徴から解析区間を定めた。

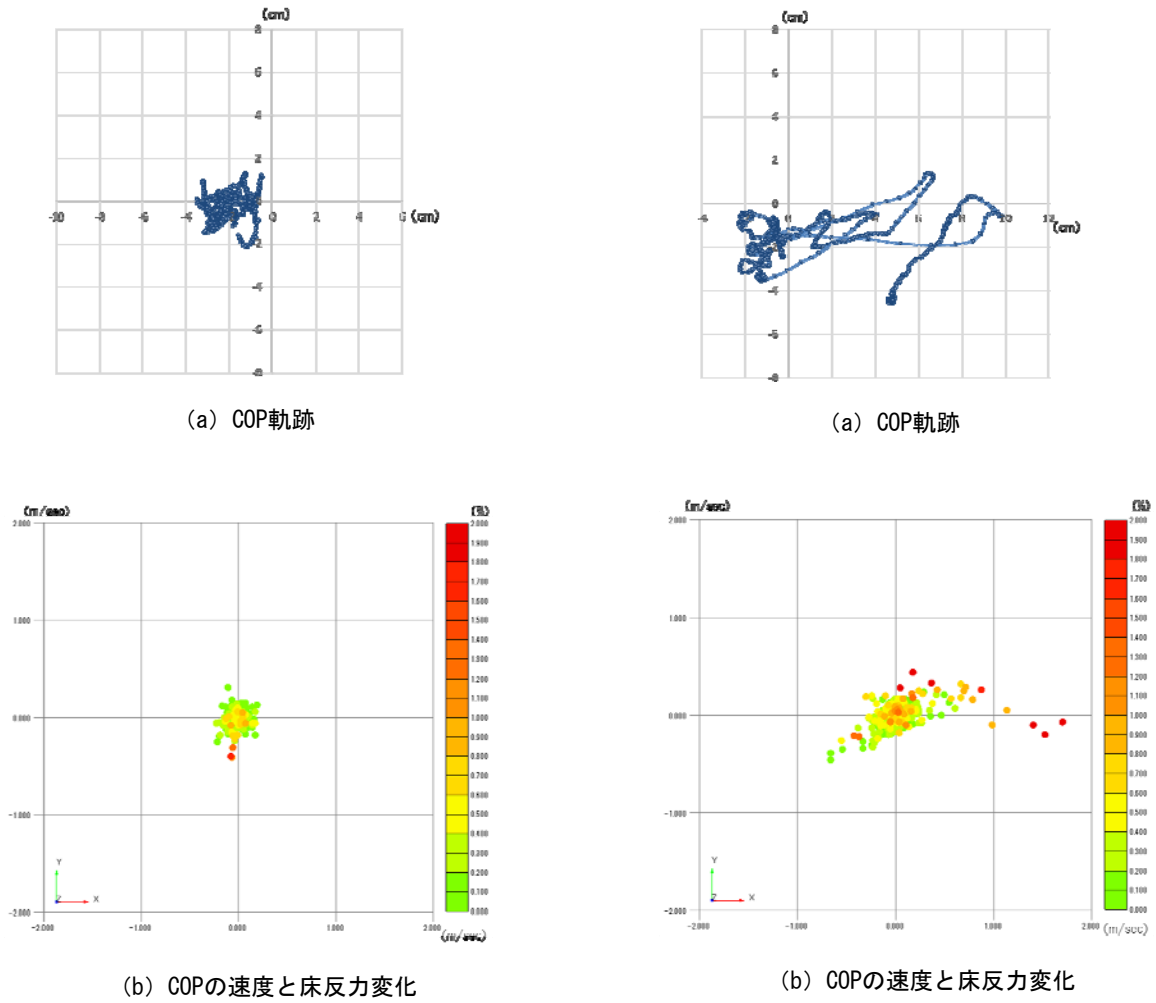


図1 片脚立位姿勢保持中（左脚）のCOP位置と床反力の変化
 (左) 非患者 (右) 股関節症患者（患側）

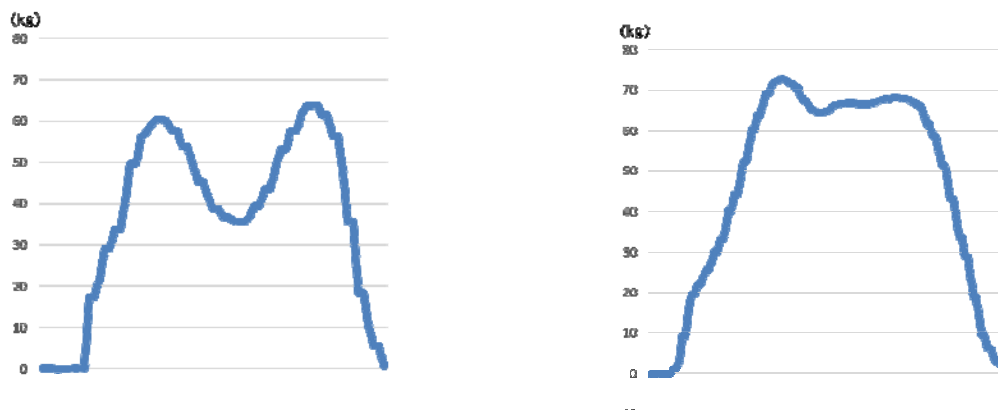


図2 歩行時（左脚）の床反力の変化
 (左) 非患者 (右) 股関節症患者（患側）

5. 2 因子分析

3の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28名、非患者347名の計375名である。股関節症患者群（以下、患者群という）と非患者群（以下、対照群という）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。因子分析は、観測された変数に対して共通に影響を与えている新しい変数（共通因子）を探索し、探索された共通因子の線形結合によって観測された変数を表す統計的手法で、式1に示すモデルを想定する。分析では、統計解析ソフトJUSE-StatWorks/V4.0を用いた。因子分析の結果、患者群にみられる重要度の高い因子として、TdX（両脚立位）、RX（両脚立位）、TdZ（片脚立位）、TdX（歩行）、TdZ（歩行）が該当した。これらの因子には、臨床所見において患側下肢の片脚立位時に床反力の震動がみられる現象と歩行時の二峰性の平坦化が関係する因子であるTdZ（片脚立位）とTdZ（歩行）が含まれている。

$$u_j = a_{kj}f_k + \dots + \varepsilon_j \quad (j = 1, \dots, p; k = 1, \dots, m) \quad (式1)$$

- u ; 観測された変数（特徴量）
- a ; 因子負荷量（固有ベクトル）
- f ; 共通因子スコア
- ε ; 独自因子
- j ; 観測された変数の数
- k ; 共通因子の数

5. 3 差の検定

5. 2の因子分析により導出した患者群にみられる重要度の高い因子の中で、TdZ（歩行）に関して患者群と対照群の分布傾向を示すと図3となる。対照群の立脚期における床反力変化量の平均値は体重比で200%を超えているのに対し、患者群の立脚期における床反力変化量の平均値は体重比で約50%以下であり、対照群の約4分

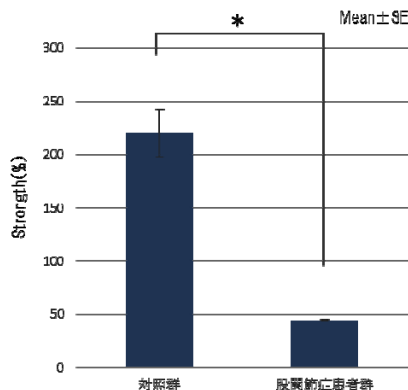


図3 歩行における股関節症患者群と非患者群の床反力総変化量分布傾向 (*:p<0.05)

の1と小さい値を示していることがわかる。

患者群にみられる重要度の高い5つの各因子に対し、患者群と対照群の2群について母平均の差の検定を行った結果、すべての因子について患者群と対照群の平均値の95%信頼区間において有意水準5%で有意であった。このことは、因子分析により導出した5つの因子が股関節症患者の特徴を定量的に把握する場合に有効なパラメータであることを示唆している。

6 床反力解析情報の可視化

5の分析の結果、患者群にみられる重要度の高い因子に注目することにより、リハビリの分野において股関節機能の回復効果を定量的に確認し、日常生活復帰の目安として活用できる可能性を有する。本研究では、術後、リハビリの経過観察期において、重要度の高い因子を視覚的に確認しやすい機能として、図4に示すようなレーダーチャートを用いて床反力解析情報を可視化する機能を構築した。各特徴量の数値は、非患者群の特徴量の数値から算出した平均値に対する倍率を示しており、非患者群の平均値ラインを「1」として、これより外側に位置するほど股関節機能の低下が疑われることをあらわしている。また、片脚立位姿勢、歩行に関しては左右脚別の特徴量の数値を確認することが可能であり、体重を支える片側の脚の支持機能が低下していないか等、身体の左右の平衡性を視覚的に把握することができる。

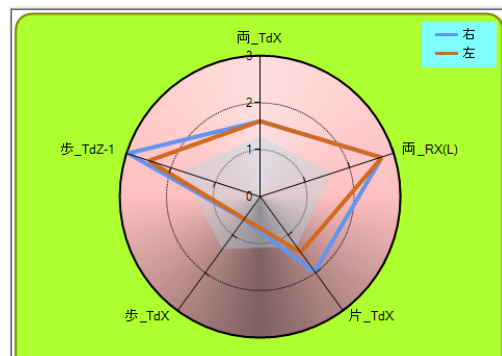


図4 レーダーチャートを用いた床反力解析情報の可視化例

7 床反力解析情報の蓄積と活用

このように、5の分析結果から導かれた股関節症例にみられる重要度の高い因子について、6の可視化手法を用いることにより対象者の股関節機能を定量的に確認することが可能である。この分析・可視化手法は、例えば術後のリハビリ経過観察において運動療法を実施し、股関節機能の回復効果を定量的に確認する際に活用できる。ここで、リハビリ経過観察での活用を図る場合には次のようなニーズがある。リハビリ施設等でのリハビリ期間

は一般的に短く、早い段階で自宅でのリハビリ期に移行する例は少なくないことから、リハビリ施設以外にも通所介護（デイサービス）や自分自身で床反力を測定し、測定履歴情報を参照できることが望まれる。しかしながら、前年度までに開発した床反力情報取得・解析プログラムでは、床反力情報取得・解析プログラムが導入されたパソコン（クライアント側の端末）内に床反力解析情報を格納しており、他のパソコン等から床反力解析情報を参照することはできないため、床反力解析情報（履歴）を自宅等から参照することは不可能である。そして、自宅のパソコン等で測定した新たな床反力解析情報は、リハビリ施設等のパソコン内に格納された情報と独立しているため、新規の測定結果とそれまでの測定履歴を比較するといった活用ができない。このような情報の活用を図るためには、情報の管理機能が必要となる。

そこで、床反力情報取得・解析プログラムを用いて取得・解析した床反力解析情報を格納するデータベース構造を設計・構築した。

RDBMS（Relational Database Management System；データベース管理システム）にはMySQLを用い、このデータベースは、人物属性情報、床反力試験情報（4種類の姿勢・動作試験情報）、床反力解析情報（4種類の姿勢・動作別）等のテーブルから構成され、人物属性情報と床反力解析情報は人物の固有識別情報により関連付けを行っている（図5）。

床反力情報取得・解析プログラムが導入されたパソコン（クライアント側の端末）において人物識別カード等を人物識別情報読取装置にかざすと、人物識別カードに記載されている固有識別情報（コード）を読み取り、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固有識別情報に該当する人物属性情報をクライアント側の端末で取得することが可能である。また、クライアント側の端末で4種類の姿勢・動作を行った後に得られた床反力解析情報は、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することが可能である。

8 まとめ

床反力情報取得・解析技術を用いて股関節症患者のデータ傾向（COP位置と床反力の変化）を観察した結果、臨床的所見にみられる患側下肢の片脚立位時に床反力の震動が生じる現象と歩行時の二峰性の平坦化に関係すると考えられる傾向を確認した。

次に、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、股関節症患者群にみられる重要度の高い5つの因子を導出した。各因子について股関節症患者群と非患者群に対し母平均の差の検定を行った結果、すべての因子について平均値の95%信頼区間において有意

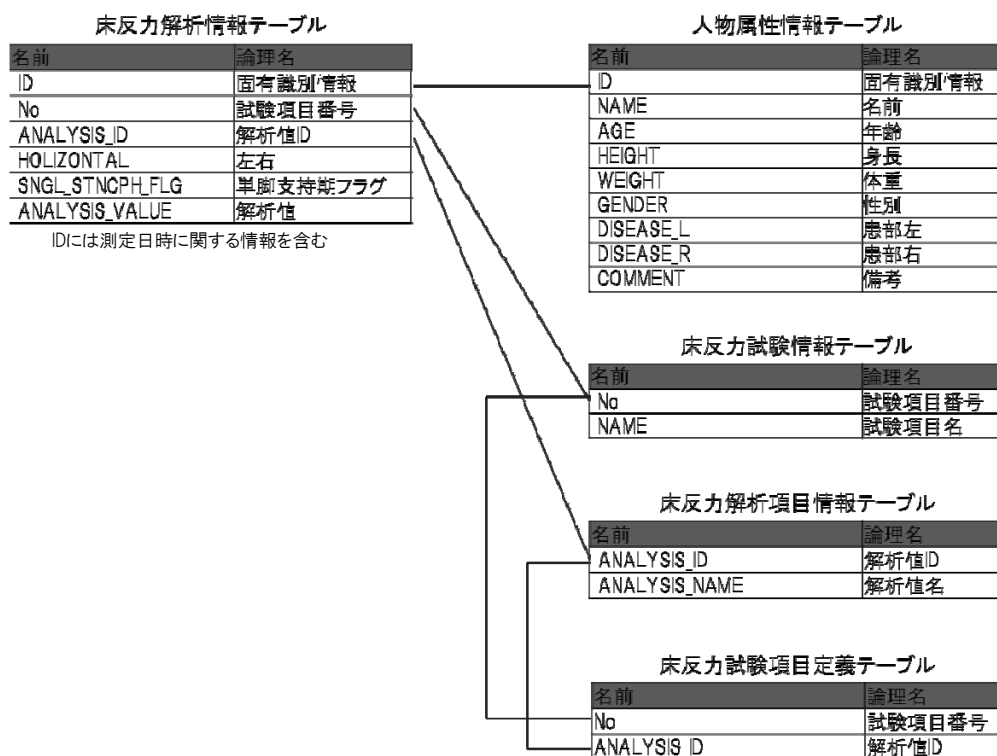


図5 床反力解析情報データベースのER図

水準5%で有意という結果となった。

この5つの重要度の高い因子に注目することにより、術後、リハビリの経過観察期において、股関節機能の回復効果を定量的かつ視覚的に確認することが可能である。さらに、データベースを活用した床反力解析情報を逐次蓄積することにより、リハビリ施設等でのリハビリ期を終え、自宅でのリハビリ期に移行した際にも過去の測定履歴情報を活用することが可能となり、その後の運動療法や健康増進施設等において股関節機能の維持・増進を図る際にも情報活用の幅が広がる。

なお、本稿で分析対象とした股関節症患者のサンプル数は28例であり多いとはいえない。身体動揺評価技術の精度を高めるためには、患者サンプルの確保と医学的知見に基づいたデータ傾向の観察が一層重要となる。

謝 辞

本研究の一部は、平成27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/>(2016.3現在)
- [2]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.
- [3]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.