

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730118

研究課題名(和文)全人工膝関節置換術を施した被介護者のための暗黙知を用いた歩行リハビリ度評価法

研究課題名(英文)The evaluation method of the condition in walking rehabilitation using implicitly knowledge for the patient given a total knee arthroplasty

研究代表者

牧野 浩二(MAKINO, koji)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：60560159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：全人口膝置換術を施した被介護者のリハビリテーションの回復具合を示すシステムを目指している。これには歩容動作を計測するだけでなく、医師や理学療法士の持つ暗黙知が必要となる。そこで、ヒューマンモーションキャプチャの結果と足裏の重心動揺の軌跡から理学療法士がリハビリテーション中の歩容動作で着目する点を調べた。その結果、膝とかがこの動作と、重心動揺の時間変化が重要であることが分かった。それを基に自己組織化マップにより歩容分類を行った。その結果、リハビリテーションの回復度合いをSOM上で示すシステムを開発することができた。

研究成果の概要(英文)：It has been considered that the system is developed to evaluate the recovery condition of the patient given the surgery of the Total Knee Arthroplasty in the walking rehabilitation. It is necessary not only to measure the gait motion, but also to consider the implicitly knowledge of the physical therapist. Therefore, the points that are focused on by the physical therapist in the walking rehabilitation are investigated using the result of the motion capture and the trajectory of the gravity center fluctuation on the sole. From this, it is clear that the motion of the heel and the knee and the time variant of the gravity center fluctuation are important. We measure these motion in the walking rehabilitation and analyze them using Self-Organized Map. As a result, the system to evaluate the recovery condition on the Self-Organized Map is developed.

研究分野：福祉工学

キーワード：リハビリテーション 暗黙知 自己組織化マップ 重心動揺 モーションキャプチャ

### 1. 研究開始当初の背景

整形外科手術を施した被介護者の多くはリハビリテーションを必要とし、その回復度合い(リハビリ度)を正確に把握することは重要な課題である。特に全人工膝置換術(TKA)を施した被介護者は、術前の癖が大きく影響し、正常歩行に戻すには的確なリハビリテーションが必要となる。このリハビリ度の診断は理学療法士による歩行の視認と、いくつかの形式値化された評価項目によって行われているが、被介護者の状態が評価基準に当てはまらない場合には、各被介護者の状態に合わせて理学療法士の経験に基づく暗黙知により評価が行われている。

一方、動画撮影などにより被介護者の動作を数値化して診断する方法も行われているが、準備の時間など被介護者の負担が大きいため実用性が問題となっているだけでなく、理学療法士の暗黙知を診断に組み込むことが難しい問題もある。

以上より、理学療法士の暗黙知を形式知化して、これを組み込んだ被介護者の負担が少ないリハビリ度を示すシステムが望まれていた。

### 2. 研究の目的

症例毎にリハビリテーションの内容は異なり、同じ症例であってもリハビリテーション中の注目点は異なる。そこで、本研究では対象とする症例として、TKAを施した被介護者は術後に痛みが取れるため、痛みの影響が少ないことと、術前に付いた歩容の癖が術後のリハビリテーションに大きく影響することの2点の理由から、TKAを施した被介護者の歩容状態に着目してリハビリ度を示すシステムを開発することを目的とする。

これには市立甲府病院の理学療法士と整形外科医の協力を得て実施する。リハビリ度を計るために、理学療法士の診断(形式知+暗黙知)、ヒューマンモーションキャプチャ、重心動揺(足裏の重心動揺の偏移)を解析するアプローチを通じて相互関係を明らかにすることで、システムの開発を行う。

### 3. 研究の方法

本研究はまず、歩容を計測するため機器の作成と改善を行うことで数値化を行う同時に、理学療法士の診断のドキュメント化を行う。次に、実際の被介護者を対象とした臨床研究においてデータ取得を行う。その後、理学療法士の診断をもとにした形式知化された知見をもとに自己組織化マップ(SOM)によるデータ解析を行う。この解析結果と理学療法士の暗黙知を比較しシステムの精度を調べ、システムの開発を行う。そのために大きく2つに分けて行った。

#### (1) 歩容動作計測

診断のドキュメント化  
歩行データとリハビリテーション中の診断

結果を比較する必要がある。そこで、リハビリテーション中の診断をドキュメント化して、理学療法士の経験に基づく暗黙知を含むドキュメントの閲覧や分析ができるようにする。このドキュメントを、診断と歩行動作の相関を明らかにするための基準データとする。ドキュメント化にあたり、リハビリテーション中の理学療法士と計測者の会話を通じて書き起こすことを行う。これは、暗黙知は言葉ではっきりと伝えられるものではなく、自然な会話の中に現れるものと考えられるからである。また、暗黙知は理学療法士間では共有されていることが多く、理学療法士や医師では会話中に医師や理学療法士が気づきにくいものであるため、計測者には医学的な教育を受けていない者を当てた。

モーションキャプチャによる骨格モデルの計測

歩行データの数値化のために、モーションキャプチャによる動作計測が必要となる。本研究で対象とするTAK術後の被介護者は、術後しばらくは歩行器を用いた歩行となり、その後、杖を用いた歩行、最後に通常歩行といった段階がある。モーションキャプチャは通常歩行器や杖といった機器を使わないことを想定している。そこで、その影響を排除したモーションキャプチャの取得を行った。

重心動揺計測の精度向上と無線化

歩行データの数値化のために、重心計測が必要となる。そこで、これまでに開発した靴の中敷きに圧力センサを複数組み入れることで足裏の圧力分布を計測できる靴を基にして重心位置を計測する。この計測のための靴はゴムの硬さや導電体の精度調整を行っていないため、ノイズや誤作動が起きる場合がある。そのため、導電体とゴムの素材を見直した計測のための靴の改良を行う。これまでは、計測のための靴と計測器が配線でつながっていたため、測定時の転倒などの危険や心的負担があった。そこで、データ収集機を無線化して、被介護者は計測靴を履くだけで計測可能なシステムとする。これにより、計測の準備時間の削減と被介護者の負担軽減につながる。さらに、重心動揺取得のプログラムの改良を行うことで、重心動揺をリアルタイムに可視化できるシステムを作成する。これにより、理学療法士が被介護者の歩容を視認しながら重心動揺を確認することができるようになり、新たな知見を得ることができると期待される。

#### (2) 分類・評価システム

モーションキャプチャとの相関

モーションキャプチャにより得られる骨格モデルを理学療法士に診断していただき、理学療法士が歩容を評価する際に着目する位置や動作を抽出する。骨格動作モデルとして情報を制約することで、動作の注目点の明確化を行う。この結果を用いてSOMの入力データの形式を決める。

### 重心動揺との相関

重心動揺とは重心の時間的な変化であり、図1に示すようなグラフを作成する。この重心動揺の結果を理学療法士に診断していただき、正常や異常などの被介護者の特徴をドキュメント化する。この結果を用いてSOMの入力データの形式を決める。

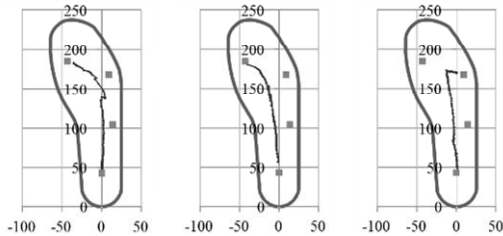


図1 .重心動揺

### 理学療法士の暗黙知の形式知化

モーションキャプチャより抽出したデータと重心動揺から抽出したデータを用いてSOMによる分類を行う。例えば、図2のように、歩容状態の特徴ごとにSOMの領域が分類できることが予想される。この例では、白抜きのマークが学習データをあらわす。そして、黒いマークで示す新たなデータを加えることで、自動的に分類できるシステムを目指す。さらに、黒い星型のマークと白抜きの矢印で示すように時間経過とともに正常歩行へ向かう様子が直観的に判別できるシステムを構築する。このシステムによる評価が理学療法士の暗黙知と一致することを理学療法士や医師との定例会にて検討し評価を行う。

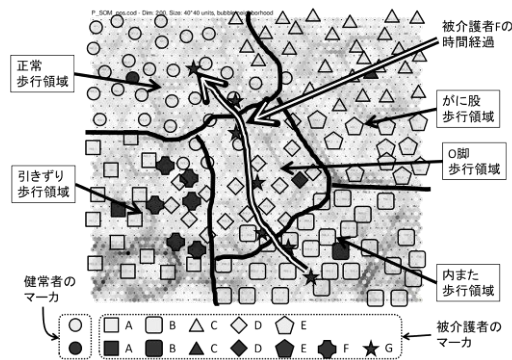


図2 . SOM 解析の分析例

## 4 . 研究成果

研究成果を動作計測と分類評価システムの2点に分けて述べる。

### (1)動作計測

理学療法士がリハビリテーション中に着目する歩容動作について調べ、歩容計測のためのシステム開発を行った。

まず、モーションキャプチャの着目点を調べた。その結果、図3に示す、足部高さ、膝の最大屈曲角度、ストライド幅、歩幅の左右差、歩行速度の5点が重要となることが分かった。また、歩行リハビリテーションの評価

には10m歩行がよく用いられ、その計測時に被介護者は直線移動を行う。直線移動は平面移動となる特性を利用し、1台のカメラでこの5項目を計測できることが明らかとなった。

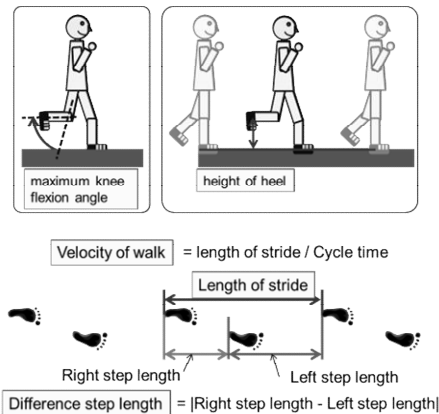


図3 . 5項目評価

次に、重心動揺の無線化を行い、タブレットPCにより図4に示すように、画面をリアルタイムに示すこととそのデータを保存するシステムを作成した。これにより、患者の心的負担を減らすとともに転倒の危険性の軽減を行うことができた。

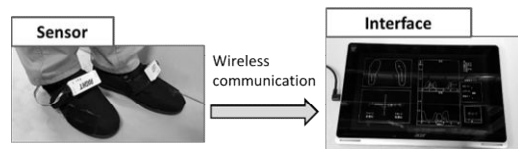


図4 . 無線デバイスとインターフェース

### (2)分類・評価システム

重心動揺に着目してSOMによる分類を行った。まず、図5に示すように領域ごとに歩容の特徴が現れることを確認した。ここでは便宜的に各領域を実線で区切っているが、SOM上ではその境界は曖昧に示されている。SOMは類似度の高いデータは近くに配置される

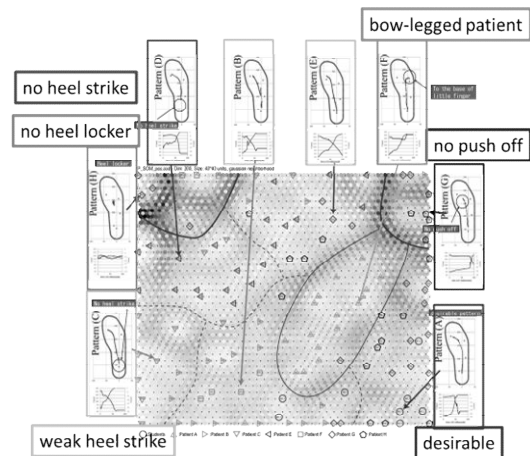


図5 . SOMによる症例分類

特徴を有するため、ある領域では正常歩容、その領域から外れると異常歩容といったデジタル的な分類は行われぬ。これは重要な観点であり、実際の診断において正常と異常を分けているのではなく、その境界はシームレスになっている。このことから、理学療法士の診断と SOM の分類の親和性は高いと結論付けることができる。

次に、モーションキャプチャから得られるデータとの相関関係について調べた。ここでは、5 項目のうちのスライド幅の項目について示す。スライド幅は TKA 術後の被介護者の歩容改善に重要な要素であるが、これを計測するにはモーションキャプチャのような計測器が必要となる。この動作が足裏の重心動揺と相関があれば重心動揺からその評価をすることができる。重心動揺は無線化の成果により、被介護者への負担が少ない計測法であり、モーションキャプチャに比べて準備やデータ処理の時間が少ないことから計測する理学療法士の負担軽減にもつながる。そこで、分類結果とモーションキャプチャから得られるスライド幅の数値を重ね合わせた図を図 6 に示すと、この結果から大きな矢印で示す傾向がみられ、重心動揺からスライド幅を推測することが可能となることが分かった。

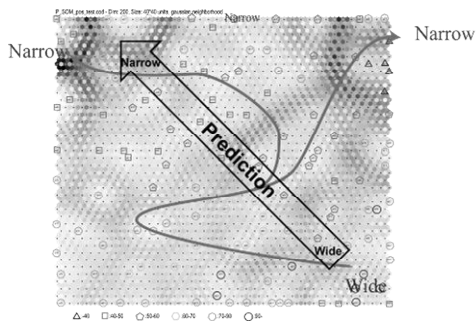


図 6 .SOM とスライド幅の相関

最後に、被介護者のリハビリテーションの時間変化を SOM 上に示した結果を図 7、図 8 に示す。被介護者は術前、術後 1、2、3 週後に計測を行っており、その変遷を図中の矢印で示している。まず、ある被験者の変遷を図 7 で示す。状態の良くない左上の領域から、ヒールストライクは少ないがキックオフのある中央の領域を経て、健常者に近い右下の領域へ状態が遷移していることが確認できる。このことから、この被介護者は健常者に近い歩容に戻っていると判断できる。そしてこれは、理学療法士の会話によるデータベースでの傾向と一致する。一方、他の被験者の変遷を図 8 に示す。この被験者は術後に健常者に近い重心動揺へ遷移し始めるが、その後、元の癖に近い重心動揺へ戻っていることが確認できる。この変遷もデータベースから確認でき、歩容がきれいにならないという記録がある。これは、重心動揺が元に戻っていることから当初の癖の影響と判断できる。これ

をリアルタイムに表示していればリハビリテーションの補助になったと考えられる。

以上より、SOM を用いた解析により歩容を解析し、その特徴を示すシステムを開発することができた。

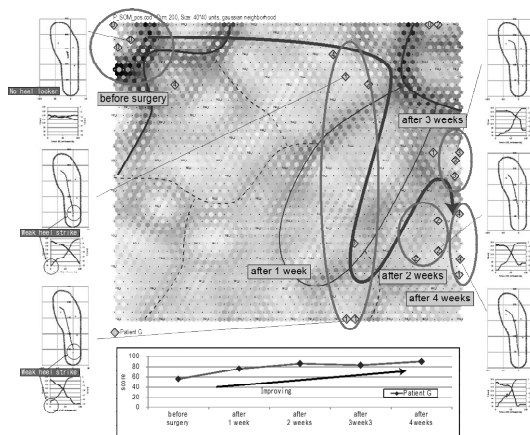


図 7 .SOM とリハビリテーションの時間変化の関係（回復傾向の見られる被介護者）

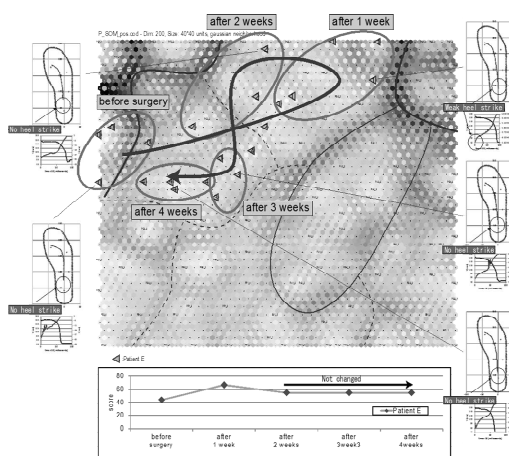


図 8 .SOM とリハビリテーションの時間変化の関係（回復傾向の見られない被介護者）

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. Koji Makino, Kyoko Aoki, Masahiro Nakamura, Hidenori Omori, Yoshinobu Hanagata, Shohei Ueda, Kazuyoshi Ishida, Hidetsugu Terada : Automatic rehabilitation of the Extension Lag using the developed knee assistive instrument, The 9th International Conference on Human System Interaction (HSI2016), pp. 386 - 392, 2016. (査読有)

2. Koji Makino, Masahiro Nakamura, Hidenori Omori, Yoshinobu Hanagata, Shohei Ueda, Kyosuke Nakagawa, Kazuyoshi

Ishida, Hidetsugu Terada : Comparison between Evaluation of the Gravity Center Fluctuation and Analysis of the motion of the Leg , Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2016), pp. 1872 - 1877, 2016. (査読有)

3. Koji Makino, Masahiro Nakamura, Hidenori Omori, Shohei Ueda, Hidetsugu Terada : Evaluation method of degree of functional recovery on walking rehabilitation based on self-organizing map , 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, (IECON 2015), pp. 000202 - 000204, 2015. (査読有)

4. Koji Makino, Masahiro Nakamura, Hidenori Omori, Hidetsugu Terada : Gait analysis using Gravity-Center Fluctuation of the sole at walking based on Self-Organizing Map, 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 900 - 905, 2015. (査読有)

〔学会発表〕(計4件)

1. 中川 喬介, 牧野 浩二, 中村 祐敬, 大森 英功, 植田 祥平, 北野 雄大, 寺田 英嗣: 動画を用いた歩行計測手法による膝の動きの評価比較, 第16回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, pp. 2113-2117, 2015/12/16, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市).

2. 青木 今日子, 牧野 浩二, 中村 祐敬, 大森 英功, 花形 悦伸, 植田 祥平, 寺田 英嗣: 能動膝アシスト装具を用いた自動伸展不全リハビリテーションシステムの開発, 第16回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, pp. 2118-2122, 2015/12/16, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市) (講演論文賞).

3. 牧野 浩二, 中川 喬介, 大森 英功, 中村 祐敬, 寺田 英嗣: Kinect を用いたリハビリテーション用の歩行計測精度, 第15回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, pp. 0109-0110, 2014/12/15, 東京ビッグサイト (東京都・江東区).

4. 牧野 浩二, 中川 喬介, 大森 英功, 中村 祐敬, 寺田 英嗣: Kinect による歩容動作計測のための設置位置, 第34回日本生体医工学学会甲信越支部大会, pp. 21-22, 2014/10/18, 山梨大学 (山梨県・甲府市).

〔その他〕

[http://erdb.yamanashi.ac.jp/rdb/A\\_DispDetail.Scholar?fid=0&id=09EC7A5C90BC6281](http://erdb.yamanashi.ac.jp/rdb/A_DispDetail.Scholar?fid=0&id=09EC7A5C90BC6281)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

牧野 浩二 (MAKINO, Koji)  
山梨大学・大学院総合研究部・助教  
研究者番号: 60560159

### (2) 研究協力者

中村 祐敬 (NAKAMURA, Masahiro)  
市立甲府病院・整形外科・医師(医学博士)

大森 英功 (OHMORI, Hidenori)  
市立甲府病院・リハビリテーション室・理学療法士

花形 悦伸 (HANAGATA, Yoshinobu)  
市立甲府病院・リハビリテーション室・理学療法士

植田 祥平 (UEDA, Shohei)  
市立甲府病院・リハビリテーション室・理学療法士