

# 腰痛予防のためのバイオフィードバックによる姿勢改善支援システム

## Effective Biofeedback System to Support Posture Improvement for Lumbago Prevention

知能機械システム工学コース

ヒューマンメカトロダイナミクス研究室 1225042 西田 隼人

### 1. 緒言

近年、腰痛を感じている人の数は、年齢を問わず増加傾向にある。厚生労働省が行った平成 28 年度国民生活基礎調査<sup>(1)</sup>において、自覚症状の状況について国民が訴える症状別に見てみると、男性では腰痛が最も多く、女性では2番目に腰痛が多い。

腰痛は、腰部に起こる痛み、炎症などを感じる状態のことをいい、腰痛の原因のひとつとして、車の運転時やデスクワーク時に歪みのある姿勢を長時間取ってしまうことや重量物を持つなどの腰に大きな負荷のかかる姿勢や動作が考えられる。日常生活の中で、鏡などを使わずに自らがどのような姿勢をとっているかを自覚することは困難であり、例えば歩行中に足元またはスマートフォンを見ることにより無意識のうちに姿勢が崩れてしまい、猫背のような腰に負担の大きい姿勢に陥ってしまう。そこで、日常生活内で自らの姿勢を自覚し、負担の少ない姿勢に意識的に改善することができれば、腰痛の予防に繋がると考えられる。

従来までの姿勢矯正の方法は、姿勢が崩れ骨格系に歪みがある場合は整形外科やカイロプラクティックでの施術矯正があるが、使用者にとっては受け身であり、一時的な処置であるため、日常生活で腰に負荷の大きい姿勢を繰り返せば、再び歪みが生じる。能動的な方法としては、姿勢改善ストレッチなども多く提案されているが、万人共通の方法なので、個人毎に異なる姿勢の歪みには適さない。

個人差のある歪みに対応した能動的な姿勢矯正法として先行研究では、使用者の姿勢改善を支援するシステムが数多く提案されてきた<sup>(2)-(5)</sup>。多くのシステムは各種センサを用いて現在の姿勢を推定し、リアルタイムで姿勢が悪化したことを特定し、視覚刺激もしくは聴覚刺激を用いて使用者に提示することで姿勢改善を支援している。ここでこれらのシステムに、取得した姿勢データを長期保存する機能や、現在の姿勢と良い姿勢の差異を直感的に認識させる機能、腰への負荷が定量評価される機能が追加されれば、使用者自身への働きかけの効果が増し、より積極的な姿勢改善が望めると考えられる。

そこで本研究では、腰痛予防のために日常生活内において個人の姿勢に特化したフィードバックを行うことで、使用者が自身の姿勢と腰に加わる負荷を認識し、能動的に姿勢改善を行えるように促す支援システムの開発を目的とする。本研究グループはこれまで、腰椎椎間板にかかる負荷の非侵襲推定法の提案<sup>(6)(7)(8)</sup>や姿勢改善支援システムの通信部分の開発<sup>(9)</sup>を行ってきた。本報では、使用者の意識改善を促すバイオフィードバック部分の開発について報告する。ワイヤレスモーションセンサより取得したクォータニオンデータをを用いて、Android 端末上に、負荷の少ない姿勢形状とあわせて現在の姿勢形状と、腰椎椎間板負荷をリアルタイムで提示する。また、光学式モーションキャプチャ(以下、MC)と Android 端末上に表示するフィードバック内容を比較することで、提案する姿勢改善支援システムにおける使用者へのフィードバックとして適用可能か検討する。

### 2. 姿勢改善支援システムの概要

姿勢改善支援システムの全体像を図 1 に示す。日常生活の妨げとならないような小型軽量のセンシングシステムにより使用者の姿勢を連続的に計測し、計測した姿勢データはクラウドサーバ上に長期保存する。使用者へのフィードバックとしてデバイス上で姿勢形状と腰部に加わる負荷を表示する。リアルタイムで使用者が自身の姿勢と腰部への負荷を認識し、使用者の意思で能動的に正しい姿勢、腰部への負荷が小さい姿勢へ改善するような支援が提供できると考えている。また、使用者へのフィードバックに関しては、今後、編集した姿勢データを専門家に見てもらいアドバイスを付加できるような仕組みを追加し、使用者個別の Web サイト上で公開することによって使用者が日常生活の姿勢を自主的に見直し、改善できるようにすることも考えている。

今回、センシングシステムにはモーションセンサ(TSND151: ATR-Promotions 社製)を4台使用し、デバイスには Android 端末のスマートフォンを使用し、クラウドサーバには Ubuntu 16.04.2 LTS サーバを使用した。センシングシステムとデバイスは Bluetooth 通信、デバイスとクラウドサーバは HTTPS 通信で姿勢データのやり取りを行う。

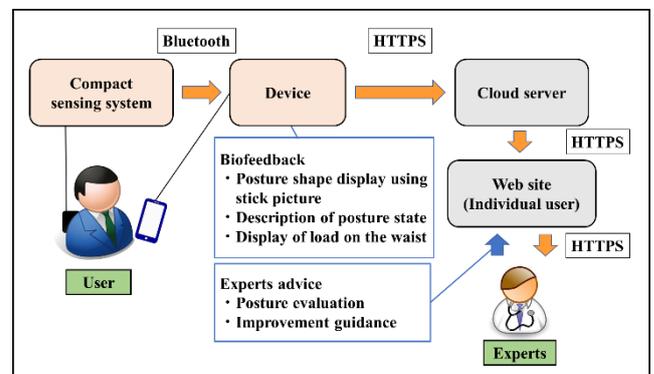


Fig. 1 Summary of the proposal system

### 3. 使用者へのフィードバック

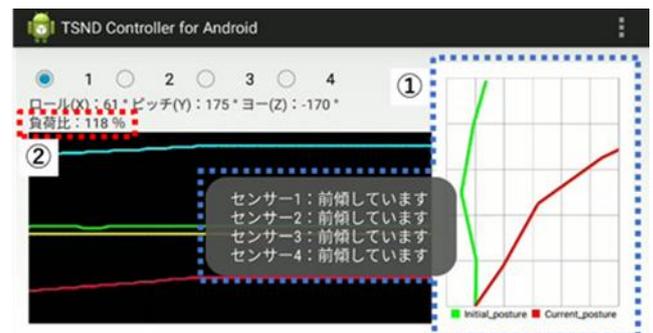


Fig. 2 Interface on the Android device during measurement

Android 端末上に姿勢形状と腰椎椎間板負荷比をフィード

バックした時の画面を図 2 に示す。図 2 の姿勢形状の通知(青点線で囲った①)については 3.1 節にて述べ、推定した腰椎椎間板負荷比の表示(赤点線で囲った②)については 3.2 節にて述べる。今回、姿勢形状は脊柱の体表面形状を矢状面から見た場合の形状とし、スティックピクチャによる姿勢形状と腰椎椎間板負荷比の表示間隔は 50ms とした。

### 3.1 姿勢形状の通知

モーションセンサの貼り付け位置については後述するが、4 つの各モーションセンサより得られたクォータニオン値をオイラー角に変換する。最初、負荷の少ない姿勢を使用者にとってもらい、この姿勢を基準に姿勢の評価を行った。今回は、負荷の少ない姿勢を直立立位の姿勢とした。各モーションセンサのヨー角の補正と負荷の少ない姿勢を決定するために計測開始から 30 秒経過後 3 秒間を初期姿勢取得時間とする。初期姿勢取得後、デバイス上に初期姿勢形状(図 2 右の緑線「Initial posture」)と現在の姿勢形状(図 2 右の赤線「Current posture」)をスティックピクチャにより表示する。また、各モーションセンサで、閾値(今回は初期姿勢から  $\pm 10$  度)以上の角度を 5 秒間取り続けるとデバイス上にポップアップウィンドウ(図 2 中央の灰色ウィンドウ)でモーションセンサの前後傾状態が通知される。現在は、モーションセンサの前後傾状態を通知しているが、猫背や平背などの特徴ある姿勢をとっている時の各モーションセンサの前後傾状態がわかれば、特徴ある姿勢と改善案の通知をすることも考えられる。

### 3.2 推定した腰椎椎間板負荷比の表示

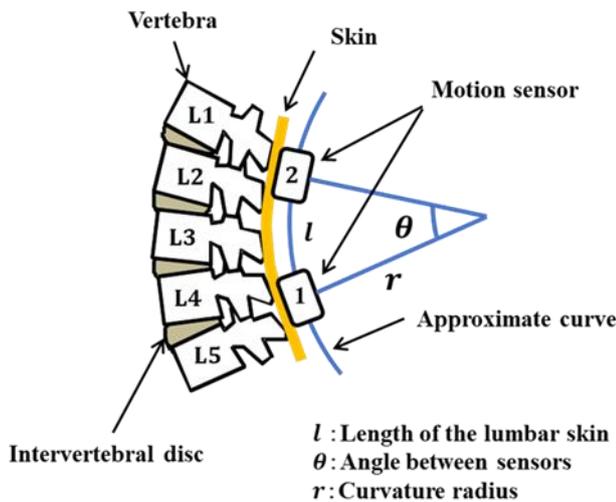


Fig. 3 Method to estimate lumbar shape using motion sensors

図 3 にモーションセンサの貼り付け位置を記した腰椎部の模式図を示す。本研究グループでは、椎骨は椎間板と比べると剛性が高く剛体と見なせることから、姿勢が変化することで椎骨が動き、椎骨間の隙間が変化することによって椎骨間の椎間板が変形するため、姿勢変化による腰椎系の変化は椎間板のみの変形で決まると考えている。そのため、姿勢が変化したときの椎骨間の隙間変化がわかれば、椎間板にかかる負荷を相対的に算出できると考えている<sup>(6)</sup>。既報<sup>(7)</sup>で述べているように、腰椎部の体表面形状を 2 次関数で近似し、算出した曲率半径を基に椎骨間の隙間変化を推定することで、負荷の算出を行う。したがって、本研究グループが提案している腰椎椎間板負荷推定には、腰椎部(L1-L5)の曲率半径の値が必要となる。既報<sup>(8)(10)</sup>では、モーションセンサを 2 台使用して腰椎部の曲率半径を求めている。モーションセンサの相

対角度を  $\theta$ 、L1-L5 間の腰椎部長さを  $l$  とすると、曲率半径  $r$  は式(1)で求めることができる。

$$r = \frac{l}{\theta} \quad (1)$$

腰椎部長さ  $l$  は、今回簡略化して、既報<sup>(10)</sup>で述べた腰椎部角度  $\theta$  と腰椎部長さ  $l$  の関係式(2)を用いて求めることとする。

$$l = -21.972\theta + 91.484 \quad (2)$$

以上のように、初期姿勢の負荷を基に増減の割合を腰椎椎間板負荷比として推定し、Android 端末上に表示する。

### 4. フィードバック内容と MC との比較実験

今回 Android 端末上にフィードバックする姿勢形状と腰椎椎間板負荷比のリアルタイム性を確認するため、MC を用いた比較実験を行った。

図 4 に 4 台のモーションセンサと比較検証用の MC マーカーの貼り付け位置を示す。モーションセンサの貼り付け位置は、下から L4L5 間、L1L2 間、T4T5 間、C7T1 間とした。MC マーカーは、脊柱を構成する頸椎(2 椎、C6-C7)、胸椎(12 椎、T1-T12)、腰椎(5 椎、L1-L5)、仙骨(1 椎、S1)の計 20 椎に貼り付けた。

今回は、ゆっくりと体を前に倒す動作を対象とし、計測開始時に直立立位の姿勢をとり、Android 端末上で初期姿勢取得通知が確認されてから約 1 秒間静止した後、ゆっくりと前屈する。初期姿勢取得後からの姿勢形状と腰椎椎間板負荷比を MC と Android 端末上で比較する。被験者は、男性 3 名(23.3  $\pm$  0.47 歳、身長 1.70  $\pm$  0.02 m、体重 71.2  $\pm$  8.69 kg)で行った。実験は、本学倫理審査委員会の承認を得て、被験者には内容を説明し同意を得た上で実施した。

被験者 1 名 1 試行分の結果を示す。図 5 は姿勢形状の比較結果である。図 5 の Current posture は、初期姿勢取得通知が表示されてから 3 秒後の姿勢形状を示している。図 6 は腰椎椎間板負荷推定の比較結果である。Android 端末上に表示される腰椎椎間板負荷比と MC で推定する腰椎椎間板負荷比は共に、Android 端末上で初期姿勢取得通知が表示された時の直立立位の姿勢の負荷を 100 として正規化している。

図 5 より MC と同様に、Android 端末上でも脊柱の S 字カーブの特徴と前傾している様子を得ることができた。図 6 より Android 端末上と MC の間で負荷比に平均で約 2% の誤差があるものの、上半身の前屈に伴い負荷比が同程度で増加する傾向を得ることができた。

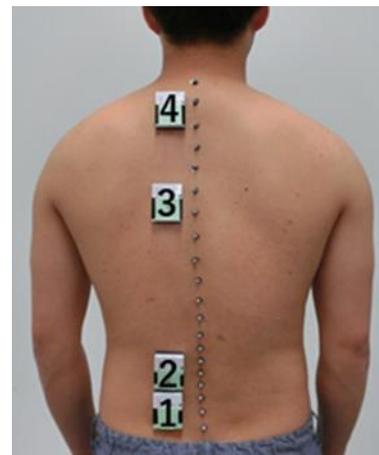


Fig. 4 Positions of motion sensors and motion capture markers

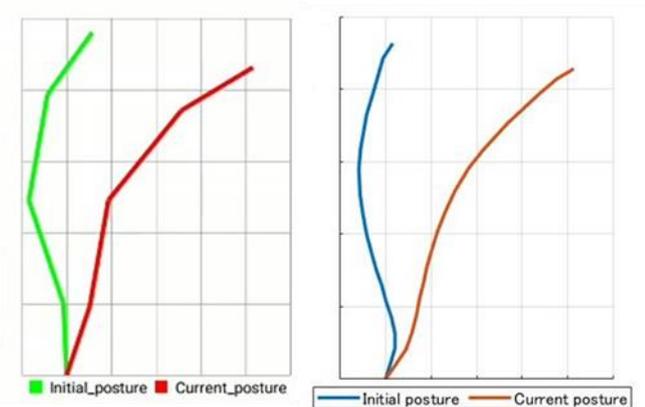


Fig. 5 The results of posture shape  
(Left: Android device, Right: Motion capture, Subject C)

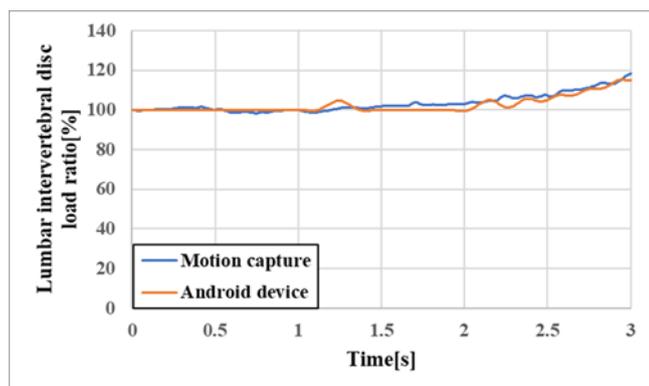


Fig. 6 The results of load ratio in lumbar intervertebral disc  
(Subject C)

## 5. 結言

本報では、Android 端末上で姿勢形状を再現し、初期姿勢形状からの変化と腰椎椎間板負荷をリアルタイムでフィードバックする仕組みを開発し、MC とフィードバック内容と比較することで提案する姿勢改善支援システムにおけるユーザーへのフィードバックとして適用可能か検討した。今回 Android 端末上にフィードバックした内容と MC の比較実験では、姿勢形状が前傾している様子と、前傾する毎に負荷が増加する傾向が、Android 端末上と MC で共通して得られ、Android 端末上にてリアルタイムで表示されていることを確認することができた。これにより、提案する姿勢改善支援シ

ステムにおけるユーザーへのフィードバックとして適用可能である見通しが得られた。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成事業「基盤研究(C)」(JP15K01660)(JP18K11106)の援助を受け実施した。

## 文献

- (1) 平成 28 年 国民生活基礎調査の概況 — 厚生労働省, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/04.pdf>
- (2) Kim, J., Lee, N. H., Bae, B.-C. and Cho, J. D.: A Feedback System for the Prevention of Forward Head Posture in Sedentary Work Environments, Proceedings of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems, DIS '16Companion, pp.161–164 (2016).
- (3) Hong, J.-K., Song, S., Cho, J. and Bianchi, A.: Better Posture Awareness Through Flower-Shaped Ambient Avatar, Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI '15, pp. 337–340 (2015).
- (4) Khurana, R., Marinelli, E., Saraf, T. and Li, S.: NeckGraffe: A Postural Awareness System, CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '14, pp. 227–232 (2014).
- (5) 森祐馬 他, ウェアラブル加速度センサを利用した姿勢改善補助システム, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集 2014, pp. 126-130
- (6) 芝田京子 他, 腰椎系における椎間板負荷の非侵襲的な推定法, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.78, No.791, 2012, pp.130-141.
- (7) 鈴木佑 他, 動作中における腰椎椎間板負荷の非侵襲的な推定, 日本機械学会 中四国学生会 第 47 回学生員 卒業研究発表講演会, 2017, pp.313-1-313-3.
- (8) 津吉康仁 他, 姿勢改善サポートシステムのための慣性センサを用いた腰椎椎間板負荷推定法, 日本機械学会 中四国支部 第 56 期総会・講演会, 2018, pp.112-1-112-2.
- (9) 西田隼人 他, ワイヤレス慣性センサと Android 端末を用いた姿勢改善支援システム, 日本機械学会 中四国学生会 第 48 回学生員 卒業研究発表講演会, 2018, pp.111-1-111-3.
- (10) 仲田亮太 他, 歩行姿勢改善のためのウェアラブルな腰椎椎間板負荷推定, LIFE2019, pp.163-165.