

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

森 祐馬^{1,a)} 榎堀 優^{1,b)} 間瀬 健二^{1,c)}

概要：スマートフォンの利用やコンピュータ上での作業などに集中してしまった結果、身体負荷の高い姿勢を継続してしまい、肩凝りや腰痛などを訴える人が増加している。そこで我々は姿勢が悪化した際に、その事を通知し、姿勢の修正を促す補助システムを提案する。本システムは、身体特性を利用して姿勢をモデル化し、基準となる姿勢との乖離度で姿勢悪化を検出する。通知は音を利用し、種類やテンポを変化させることで悪化した部位・方向・変化量を特定可能とし、適切な姿勢への修正を助ける設計とした。提案システムを使ったタイピング作業中の姿勢維持実験の結果として、被験者全体で、姿勢悪化時間が平均 $34.37 \pm 30.10\%$ 短縮できるという結果が得られた。システム有効時に姿勢悪化時間の短縮が見られた被験者においては平均 $46.84 \pm 15.54\%$ 短縮された。システム有効時に通知音が鳴った場合は姿勢を修正する動作が見られたが、システム無効時は修正する動作は見られず、姿勢は悪化したままだった。システム有効時でも無効時と比べてミスタイプ率やタイピング速度の変化が見られなかったことから、システム利用による集中度低下は有意には認められないと考える。実験後のアンケート調査から、多くのユーザが通知音の変化から姿勢悪化の部位や程度を判別できていなかった。しかし、姿勢の修正が見られたことから、姿勢悪化の詳細まで通知する必要はなく、姿勢悪化を通知するだけで十分な効果が得られる可能性も示唆された。

Support System for Posture Improvement using Wearable Accelerometers

MORI YUMA^{1,a)} ENOKIBORI YU^{1,b)} MASE KENJI^{1,c)}

1. はじめに

我々は日常生活の中で、本人が気が付かないうちに身体負荷の高い姿勢で生活している。例えば、デスクワーク時や、スマートフォンに夢中になっている時に前傾姿勢を取ることが多い。これらの姿勢は理想の姿勢と比較して椎間板に1.5倍の負荷がかかることが知られている [1]。これらの姿勢悪化は集中状態で無意識のうちに発生することが多いため、自身で気付くことは難しい。

そこで我々は、姿勢が悪化した際に、姿勢に意識を向けさせ、自身で姿勢を修正するための姿勢改善補助システムを提案する。姿勢を身体特性を利用してモデル化し、セン

サで姿勢悪化を検出して、音で通知する。悪化した部位、方向、度合いに対して音の種類や高低、テンポを変化させて通知することで、姿勢の悪化状況を教示して、適切な姿勢への修正を促す。

集中タスクとしてタイピングを利用し、本システムを姿勢悪化時間で評価したところ、被験者全体で、姿勢悪化時間が平均 $34.37 \pm 30.10\%$ 短縮できるという結果が得られた。システム有効時に姿勢悪化時間の短縮が見られた被験者においては、システム無効時と比べて、姿勢悪化時間が平均 $46.84 \pm 15.54\%$ 短縮できるという結果が得られた。一方で評価実験後のアンケート調査からは、ユーザは通知された姿勢状況を把握しきれなかったことが分かった。このことからユーザへの通知は、姿勢悪化を知らせる単純な通知のみで良い可能性が示唆されており、通知設計の見直しが必要であると思われる。

以降、2章では姿勢改善補助に関する研究を挙げ、本シ

¹ 名古屋大学 大学院情報科学研究科
Nagoya University, Graduate School of Information Science

a) mori@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

b) enokibori@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

c) mase@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

システムの優位性を主張する。3章では構築した姿勢改善補助システムについて説明する。4章では、本システムの利用によって、姿勢がどの程度改善されるかを確認する実験とその結果について言及する。5章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

姿勢に関する研究は様々なアプローチでなされている。菊川ら [2] と石松ら [3] はコンピュータ作業を対象とした姿勢の自己修正支援システムを開発した。菊川らのシステムは、Kinect で姿勢悪化を検出し、姿勢悪化時間に応じて作業の画面をぼかして通知する。石松らのシステムは、椅子に取付けた圧力センサと Kinect を用いて姿勢悪化を検出し、コンピュータの画面上にポップアップを出すことによって通知する。Mutlu らは圧力センサを利用して、姿勢を推定した [4]。椅子の底面と背もたれに取り付けた圧力センサから圧力マップを取得し、画像として捉えることで特徴点を抽出し、SVM を用いて姿勢を推定する。伊丹らは傾斜角センサとカメラを用いて、看護動作におけるボディメカニクス学習システムを開発した [5]。伊丹らのシステムは、傾斜角センサによって背部の傾きを取得し、角度が閾値以上になると警告音で通知する。

しかし、これらのシステムはセンサやカメラが設置されている場所でしか使用できない。また、システムは身体の一部しか測定していないため、検出できない姿勢悪化も存在する。例えばスマートフォンを見ている際の首のみが垂れている姿勢などである。この他、計測部位が少ないため、姿勢状況通知ができないという問題もある。

これらの問題に対して我々は、小型のウェアラブルセンサを利用して、身体の数箇所を測定することによって、利用場所に依存せず、姿勢悪化状況を通知できる姿勢改善補助システムを提案する。

3. 姿勢改善補助システム

3.1 システム概要

本システムは、身体特性に基づき姿勢をモデル化し、小型ウェアラブルセンサから得られたデータを用いて姿勢悪化を検出する。また、検出結果に従い姿勢悪化状況を、音の種類や高低、テンポを変化させて通知する。概要図を図1に示す。

3.2 姿勢のモデル化

本研究では、人間の身体特性を利用して、姿勢を頭部、背部、腰部の3箇所の傾きの組合せでモデル化した。一般に、脊柱は部位毎に屈曲可能な向きや範囲が決まっている。例えば、頸椎は全方向に屈曲できる。一方、胸椎は左右方向への屈曲範囲は広いが、前後方向への屈曲範囲は狭い。本稿では、前後方向への姿勢変化に対して、この特性

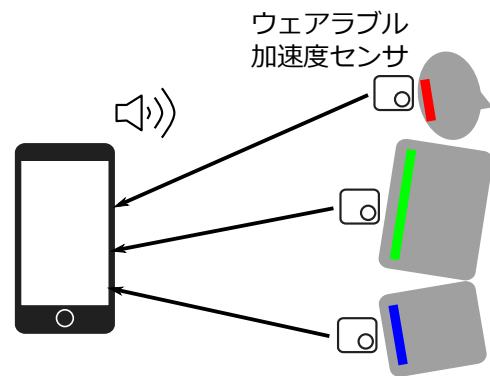


図1 システムの概要図

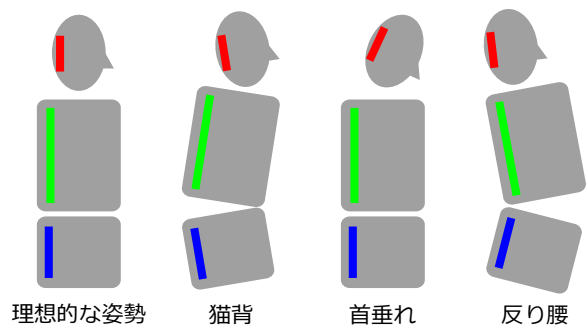


図2 姿勢のモデル化

赤色の線は頭部の傾き、緑色の線は背部の傾き、青色の線は腰部の傾きをそれぞれ表している。

を利用した。前後方向への屈曲範囲が狭い部分を剛体と見なし、その連結で前後方向の姿勢変化をモデル化した。図2に本研究で定義したモデルの概要を示す。脊柱の中で前後方向への可動域が狭い部位は、背部と腰部である [6]。これに加えて、頭部の前傾を取得するために、頭部を加えた3部位の連結で姿勢をモデル化した。

図2は、姿勢の例として左から順に理想的な姿勢、猫背姿勢、首垂れ姿勢、反り腰姿勢を示している。猫背姿勢は背部が前傾し、腰部が後傾している姿勢である。コンピュータやテレビなど画面を長時間見る人に多く、画面を見るために背部が前傾し、バランスをとるために腰部が後傾する。首垂れ姿勢は頭部のみが前傾している姿勢である。スマートフォンを長時間利用している人に多く、手元の画面を見るために頭部が前傾する。反り腰姿勢は腰部が前傾し、背部が後傾している姿勢である。女性に見られやすく、胸部やヒールなどの履物で重心位置が前方になりやすく腰部が前傾し、バランスをとるために背部が後傾する。このように、多くの姿勢が3部位の傾きの組合せによって表現できる。

本稿では、腰部の傾きは腰部と地面の角度差を、背部の傾きは背部と腰部の角度差を、頭部の傾きは頭部と背部の角度差をそれぞれ利用する。これは姿勢修正の詳細な教示をし、利用者の迅速な姿勢修正をサポートするためである。例として、上体が均一に前傾している姿勢を考える(図3)。(a)の場合、腰部のみを修正すれば身体負荷の低い姿勢に修

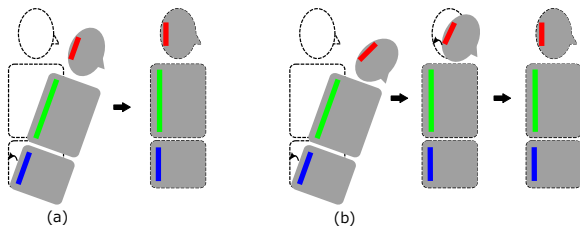


図 3 上部が均一に前傾している姿勢の修正

正可能である。一方で、(b)のように頭部も合わせて前傾している場合、腰部と頭部の修正指示が必要となる。(a),(b)どちらの場合にも背部を修正する必要はなく、相対角度を用いることで姿勢修正指示を少なくできる。

3.3 姿勢悪化の検出・通知

本システムは、システム利用初期に計測した基準姿勢との角度によって姿勢悪化を検出する。加えて、姿勢悪化状態が一定時間継続したときに通知する。これは物を拾うなどの短時間動作の誤認防止のためである。

姿勢悪化を検出した際に、システムはどの部位が、どの方向に、どの程度屈曲しているかを、音の種類、高低、テンポの変化で通知する。部位は音の種類で、方向は音の高低で、程度は音の鳴る間隔でそれぞれ表現する。音の強弱は周囲の環境によって変化するため利用しなかった。

通知音は気付きやすいように、警告音として扱われている音を利用する。頭部の悪化は「ポンポンポン」、背部は「プンプンプン」、腰部は「ピーピーピー」という音で通知する。悪化した部位が前傾状態のときは高音、後傾状態のときは低音で通知する。角度差が閾値よりも大きくなればなるほど通知音の間隔を短くする。これは悪化度合いを感覚的に捉えることができるからである。

複数部位が通知条件に当てはまる場合、悪化部位を順に通知する方法を採用した。通知する順番は、腰部、背部、頭部の順であり、修正されるまで同じ部位を通知する。これは下部から順に姿勢を修正させることで、同じ部位を何度も修正する必要がなくなるからである。

3.4 実装

本システムでは ATR Promotions 社製の多機能センサである TSND121 を利用した。センサのデータ取得設定はサンプリング周波数 50Hz、加速度レンジ± 4G、サンプル平均回数 1 回にそれぞれ設定した。センサを身体に取付けるために、各部位に対応した固定器具を利用した(図 4)。頭部は帽子、背部は鎖骨用サポートを身体動作を制限しないよう改造したもの、腰部は伸縮可能なベルトをそれぞれ利用した。これによりセンサと身体の相対向きは一意に固定される。

姿勢悪化を検出する際の角度差の閾値は、予備実験の結果から、前傾、後傾共に 10° とした。また、短時間動作誤

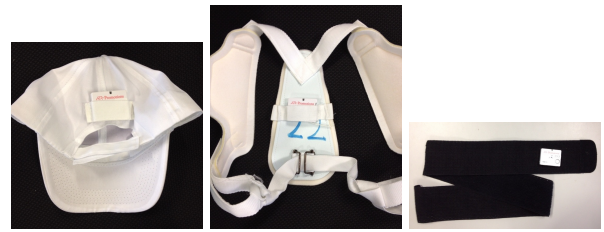


図 4 センサ取付け器具

認防止のための猶予時間は 10 秒に設定した。

4. 実験

集中状態下での姿勢の悪化に対して、システムを利用することで姿勢がどれだけ改善されるかを実験した。本実験では、システム有効時と無効時の姿勢悪化時間を比較し、システムの有効性を検証した。

4.1 実験設定

本実験では、被験者を集中状態下に置くために、被験者にタイピングのタスクを課した。日常生活中でもコンピュータを利用しているときに姿勢が悪化しやすい傾向があり、システムの利用状況を想定した環境である。

被験者は、日常的にタイピングをしている男子大学生 10 名である。タイピングソフトとして、EasyTyping^{*1}を利用した。被験者に対し、システム有効時とシステム無効時でタイピングをそれぞれ 3 セット、合計 6 セット計測した。1 セットは 50 単語の入力であり、単語の文字数はランダムである。センサ装着の有無による影響を排除するため、システム無効時でも固定用の器具は装着し、通知音が鳴らない状態で実験した。システム有効時と無効時の計測順は被験者毎に変更し、学習効果や疲労による影響を極力排除した。被験者の恣意的な姿勢変化を防止するために、どのセットでシステムが有効になるかどうかは、被験者に事前に通知をしなかった。

また実験終了後に以下の 3 項目のアンケートを実施した。

- 通知音が聞こえたか
- 通知音の聞き分けができたか
- 通知音に従って姿勢を修正できたか

4.2 結果

通知による姿勢の修正は、全ての被験者で確認できた。一例として被験者 8 のシステム有効時(図 5)とシステム無効時(図 6)の 1 セットにおける姿勢変化をそれぞれ示す。システム有効時の姿勢悪化が通知された後の背部の角度差は、閾値未満に戻っており、姿勢悪化を修正していることが確認できる。一方、システム無効時で本来通知されるべき時間の直後の背部の角度差は閾値未満に戻らず、姿勢は悪化したままであり、身体負荷の高い姿勢が長時間続いて

^{*1} <http://neutralx0.net/type01.html>

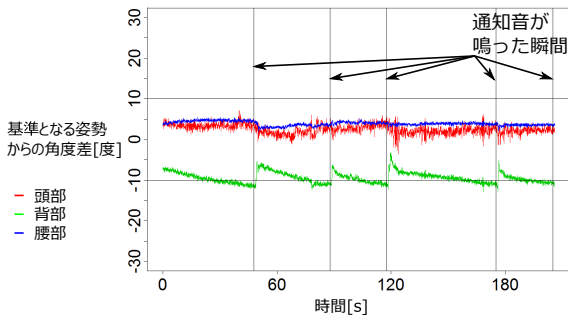


図 5 システム有効時の姿勢変化の例 (被験者 8)

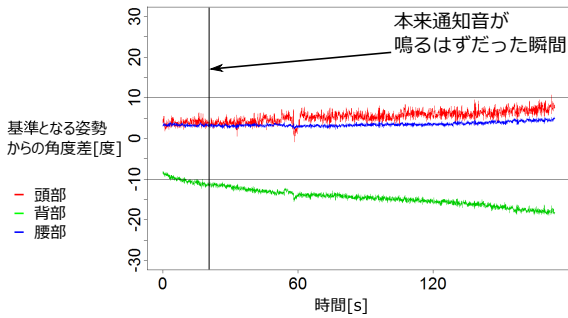


図 6 システム無効時の姿勢変化の例 (被験者 8)

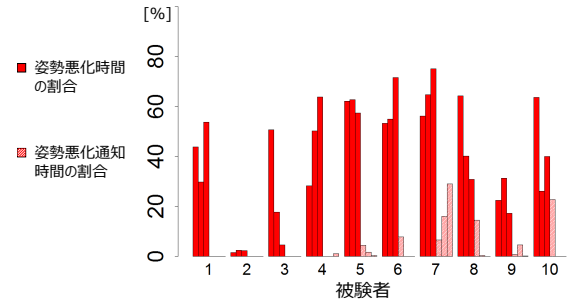


図 8 通知発生時間の割合と姿勢悪化時間の割合

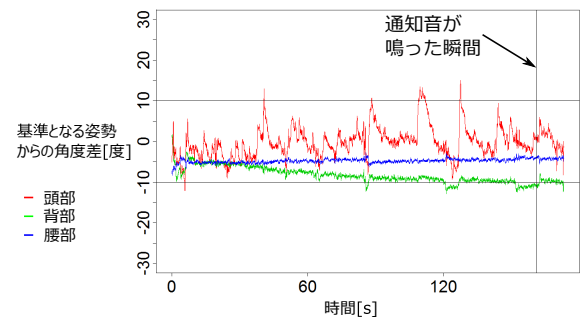


図 9 被験者 9 におけるシステム有効時の姿勢変化

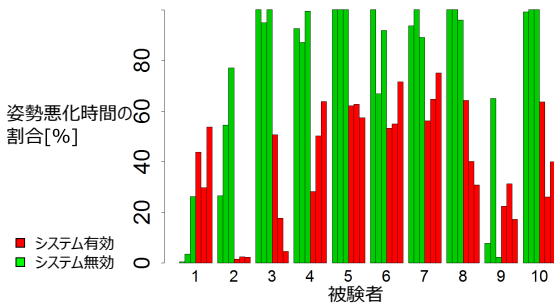


図 7 システムの有無における姿勢悪化時間の割合

表 1 アンケート調査結果

質問内容	○	×
通知音が聞こえたか	10	0
通知音が聞き分けができたか	7	3
通知音に従って姿勢を修正できたか	2	8

いることが見て取れる。

次に、システム有効時と無効時の姿勢悪化時間の割合を図 7 に示す。姿勢悪化時間の割合を導出したのは、各セットの時間が被験者のタイピングスキルによって異なるためである。システムの利用により、被験者 1 と試験者 9 以外の 8 名で明確な改善が見られた。全体として姿勢悪化時間が $34.37 \pm 30.10\%$ 短縮された。改善が見られた被験者のみでは姿勢悪化時間が平均で $46.84 \pm 15.54\%$ 短縮された。

実験後のアンケート調査結果を表 1 に示す。被験者全員が通知音が聞こえており、姿勢悪化が少なくとも一度は発生したことが分かった。通知音を聞き分けられた人数は 7

人、聞き分けられなかった人数は 3 人だった。通知音に従って姿勢を修正できた人数は 2 人、できなかった人数は 8 人だった。また、通知音に従って姿勢を修正できなかった被験者にその理由を聞いたところ「音が鳴った際に焦ってしまって判断ができなかった」「音と部位の対応関係を忘れてしまった」という回答が得られた。

4.3 考察

姿勢悪化時間の割合に対して、Friedman 検定をしたところ、システム有効時と無効時との間に有意差が認められた ($p < 0.01$)。したがって、本システムを利用することで姿勢を改善できたことが示された。一方で、図 7 では、被験者 1 や被験者 9 においてはシステム有効時の方が、システム無効時と比べて姿勢悪化時間の割合が高い。この原因を調査するため、姿勢悪化時間の割合と通知発生時間の割合について比較したところ、図 8 が得られた。通知発生時間の割合と姿勢悪化時間の割合の間で有意差が認められた (Friedman 検定, $p < 0.01$)。したがって、姿勢悪化時間の中に通知発生時間はほとんど含まれていないことが分かった。

より詳細な分析のために、被験者 9 のシステム有効時における姿勢変化を図 9 に示す。頭部や背部の傾きが閾値を超えている時間がいくつかあるが、いずれも通知される前に閾値以内に戻っている。このことから、現在のシステムでは、閾値付近で断続的に繰り返される短時間の姿勢悪化を検出できず、対策が必要であることが分かった。

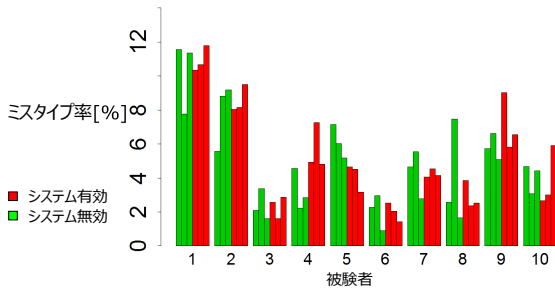


図 10 ミスタイプ率

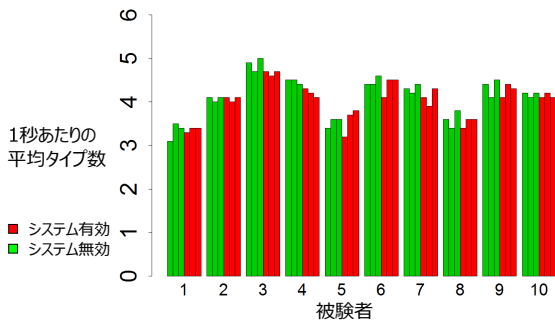


図 11 1秒あたりの平均タイプライク速度

4.3.1 通知に関する考察

表 1 に示したように、アンケート調査の結果から、通知音に従って姿勢が修正できなかったことが分かっている。被験者が通知音から姿勢悪化状況を認識できなかった原因として、姿勢悪化状況通知を聞き取れなかった、通知音と姿勢悪化状況との対応関係が判断できなかった、という理由が考えられる。しかし、図 5 のように、通知音が鳴った際に姿勢が修正されていることから、姿勢が悪化したという情報を利用者に伝えるだけで姿勢を修正できる可能性が示唆された。

4.3.2 集中タスクへの影響に関する考察

また、システム有効時に、システムが集中タスクに及ぼす影響をタイピングのミスタイプ率と 1 秒あたりの平均タイプライク速度から調査した。システム有効時と無効時のミスタイプ率と平均タイプライク速度を図 10 と図 11 にそれぞれ示す。ミスタイプ率と平均タイプライク速度において、システム有効時と無効時の間には有意差は認められなかった (Friedman 検定, ミスタイプ率 $p > 0.5$, タイプライク速度 $p > 0.1$)。従って、本システムの利用によって、集中タスクに及ぼす影響は小さく、妨害される可能性は低いと言える。

5. おわりに

我々はウェアラブル加速度センサを利用して姿勢を測定し、音で通知することによって利用者自身で姿勢を修正するための姿勢改善補助システムを提案した。姿勢を身体特性を利用して頭部、背部、腰部の傾きからモデル化し、システム利用初期に計測した姿勢との乖離度を使って姿勢悪

化を検出し、悪化した部位、方向、程度に応じて異なる種類やテンポの音で通知するよう設計した。

システムの有無における集中状態下での姿勢変化の測定実験から、システム有効時に姿勢悪化時間が全体として $34.37 \pm 30.10\%$ 短縮され、改善が見られた被験者のみにおいては $46.84 \pm 15.54\%$ 短縮されることが確認できた。姿勢悪化時間において、システム有効時と無効時との間に有意差が認められ ($p < 0.01$)、本システムを利用することで、姿勢を改善することができることが示された。一方、姿勢の乖離度が閾値付近で断続的に繰り返される短時間の姿勢悪化は検出できなかったため、対策が必要である。本件は今後の課題とする。

実験後に実施したアンケート調査から、被験者は通知音を聞き分けられなかったことが分かったが、その場合においても姿勢の改善が見られたことから、姿勢悪化の状況を詳細に通知しなくとも、単に姿勢が悪化したという情報のみ通知すれば姿勢悪化を修正できる可能性が示唆された。

また、集中タスクへの影響の分析では、システムの有無で平均タイプライク速度やミスタイプ率に変化が見られなかったことから、システムは集中タスクを妨害する可能性が低いことが示唆された。

謝辞 本研究は「知の拠点あいち」重点研究プロジェクトの支援による。

参考文献

- [1] ALF L. MD NACHEMSON. The lumbar spine an orthopaedic challenge.
- [2] 菊川真理子, 金井秀明. 行動の長期的結果提示による癖の矯正効果の検討, March 2012.
- [3] Haruna Ishimatsu and Ryoko Ueoka. Bitaiika: Development of self posture adjustment system. In *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, AH '14*, pp. 30:1–30:2, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [4] Bilge Mutlu, Andreas Krause, Jodi Forlizzi, Carlos Guestrin, and Jessica Hodgins. Robust, low-cost, non-intrusive sensing and recognition of seated postures. In *Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '07*, pp. 149–158, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [5] Kimiwa Itami and Mikiko Kurushima. 看護動作姿勢改善をめざした危険角度での「音」発生機能を搭載したボディメカニクス学習システム開発とその評価. 日本看護研究学会雑誌 Vol.33 No.2, 日本看護研究学会雑誌 2010. 日本看護研究学会, 2010.
- [6] 橋本有子, 水村 (久埜) 真由美. 胸椎および腰椎可動性の加齢変化. 体育学研究, Vol. 55, No. 2, pp. 333–342, dec 2010.