

音声通知型姿勢維持補助システムの 日常利用を想定した長時間・繰り返し利用における性能評価

榎堀 優^{†1} 森 祐馬^{†1} 間瀬 健二^{†1}

日常生活において発生する肩こりや腰痛などの一因である不適切な姿勢を予防するために、我々はウェアラブル加速度センサを用いた音声通知型の姿勢維持補助システムを開発している。パイロットテストの結果から、システム利用時の姿勢維持時間の増加、音声通知による迅速な姿勢修正が認められ、また、作業集中度への影響がないことも確認された。しかし、それは3分という短時間のテストであり、日常利用のような長時間の利用においても同様の効果があるかどうかは不明であった。そこで本研究では、まず、被験者5名に1時間のタイピングタスクを課し、長時間利用における作業集中度への影響を評価した。続いて、被験者4名に4日間各3時間の日常作業タスクを課し、日常利用を想定した長時間・繰り返し利用における性能を評価した。結果、長時間の利用においても作業集中度が低下せず、姿勢維持時間の増加も認められ、また、長時間・繰り返し利用を行った実験期間内において、飽きや慣れの影響がないことが確認された。一方で、繰り返し利用による習熟によるシステム非利用時の姿勢維持率向上も有意には認められなかった。

An evaluation of posture maintenance support system using voice notification with long time and repeated situation to emulate daily use case

YU ENOKIBORI^{†1} YUMA MORI^{†1} KENJI MASE^{†1}

One of causes of several pains occurring in daily life, such as stiff shoulders and lumbago, is high-load posture that we are in unconsciously. In order to solve this issue, we are developing a posture maintenance support system using wearable sensors and voice notification. This system was succeeded to provide increase of good-posture keeping time and to help quick posture maintenance without concentration decrease in our pilot test. However, such pilot test was only done for 3 minutes tasks. Thus, in this study, we are evaluate our system in long time and repeated situation to emulate daily use case. With 1 hour typing tasks, five subjects did not get concentration decrease. With 3 hour daily tasks for 4 days, our system showed significant increase of good-posture keeping time, and less of support effect decrease depending on satiation and habituation. On the other hand, increase of good-posture keeping time during the system is disabled, which may be yielded from a learning of good-posture, does not appeared in this evaluation.

1. はじめに

日常生活において、状況に応じた適切な姿勢を維持することは、身体負荷を軽減し、作業効率の向上や怪我の防止に重要である。例えば、デスクワーク時に発生しやすい前傾姿勢は、適切な姿勢と比較して約1.5倍の身体負荷が掛かることが知られている[1]。また、介護の現場などでは、適切な姿勢によって腰痛などの発生数が低減することが知られている[2]。

しかし、デスクワークのように集中を要する作業中は、姿勢維持への注意が散漫となり、意識していたとしても適切な姿勢の維持することは困難である。そこで我々は、目的の姿勢を維持できていないときに通知して、姿勢の維持を補助するシステムを構築している[3]。

提案システムは、ウェアラブル加速度センサを用いて構築されており、目的姿勢から逸脱した場合に、音によって通知する。[3]で示したようにタイピングタスクによるパイロットテストでは、姿勢維持時間の増加、ならびに、音声通知による迅速な姿勢修正が認められた。また、タイプ文

字数/秒やミスタイプ率には変化が見られず、タスクへの集中の妨げになっていないことが確認された。

しかしながら、上記のパイロットテストのタスクは、約3分というごく短時間に終了するものであり、より長時間の利用においても同様にタスクへの集中を維持したまま、姿勢維持時間の増加が認められるか不明であった。また、更に長時間の、日単位での繰り返し利用での習熟によるシステム非利用時の姿勢維持時間の増加や、飽きや慣れによるシステム効果減少の有無についても、未検証であった。

そこで本研究では、被験者5名の約1時間のタイピングタスクからシステム性能の追評価を行い、被験者4名の4日間、各3時間の利用結果から、日常利用を想定した長時間・繰り返し利用における性能を評価した。結果、長時間のタイピングタスクにおいても、タイプ文字数/秒やミスタイプ率の変化は見られず、タスクの大きな妨げになっていないことも確かめられた。また、日単位の繰り返し利用実験において、システムを利用することによる姿勢維持時間の増加が認められた。同実験では期間中における飽きや慣れによる効果減少は見受けられなかった。一方で、繰り返し利用での習熟によるシステム非利用時の姿勢維持時間の増加も確認できなかった。

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

以下、本稿は第2章で関連研究について述べ、第3章で理解のために提案システムの概要について再掲する。第4章で約1時間のタイピングタスクによる追評価について議論し、5章で日常利用を想定した繰り返し利用実験の結果について述べ、6章でまとめる。

2. 関連研究

特定作業時の姿勢を対象とする研究には宮寄ら[4]や伊丹ら[5]の研究がある。宮寄らは農作業の作業姿勢を対象として労働負荷を推定した。作業者の体幹、上腕、前腕、大腿、下腿を含めた計8部位に装着した角度センサを利用している。伊丹らは看護動作の姿勢を対象とし、システムによって看護動作の姿勢習熟を支援した。看護動作をモデル化し、傾斜角センサで取得した背部の傾きから音による通知を行っている。

VDT 作業時の姿勢を対象とする研究は、様々なアプローチでなされている。圧力センサを利用した姿勢推定の研究として、Mutluら[6]の研究がある。Mutluらは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した。

Kinect を利用した姿勢維持の研究として、菊川ら[7]の研究がある。菊川らは癖の矯正を目的としており、特にコンピュータ利用時に姿勢が前傾する癖を矯正するのが目的である。Kinect で頭部と画面の距離を取得して姿勢の前傾度合いを計測し、姿勢が前傾している場合は画面をぼやけさせることで利用者に通知している。

Ishimatsuら[8]はKinectで取得した頭部と背部の傾きから姿勢を推定し、椅子に取り付けた圧力センサで脚組みを推定した。本システムは、姿勢悪化を検出した際に、画面上にポップアップウィンドウを出すことによって通知している。

小型のウェアラブルセンサを利用した姿勢推定の研究として、鷺澤ら[9]の研究がある。鷺澤らはデスクワーク中の姿勢を13姿勢の代表姿勢に分類し、小型で軽量のウェアラブルセンサを身体に直接貼り付け、身体の傾きを計測して姿勢を推定した。

上記の関連研究には、本研究で利用しているシステムと類似したものも含まれている。一方で、その長時間利用、繰り返し利用における性能、影響評価は十分に成されていない。

3. システム概要

本節では、以降の理解のために、提案システムの概要を述べる。基本的には[3]で報告したものと同様である。

3.1 ハードウェア構成と装着状態の概要

提案システムのシステム概要を図1に示す。本システム

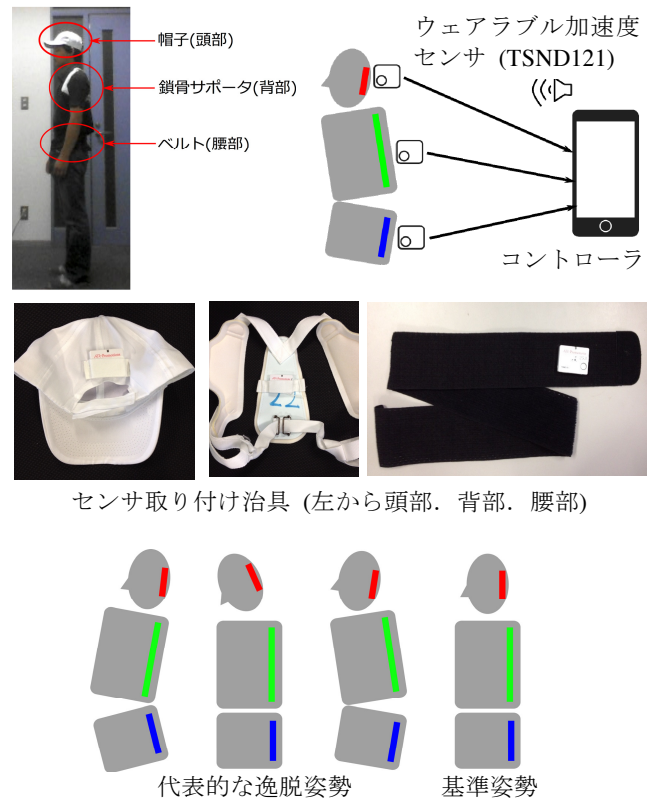


図1 システム概要
 Figure 1 The overview of proposed system

は、3つの加速度センサとコントローラ(例えばスマートフォン)によって構成される。加速度センサは頭部、上体上部の背部、腰部の身体後ろ側に装着する。上体上部と腰部へのセンサ装着を選択した理由は、実質的な背骨の可動モデルが、可動域が狭い上体上部と腰部を、可動域の広い腹部で接続するという構造になっているためである[12]。上体上部は胸骨で繋がった肋骨が配置されているため可動域が狭い。骨盤近くの背骨も可動域が狭い。したがって、上記2箇所の傾きを見ることによって、効率的な上体の姿勢検出が可能となる。提案システムでは、上記2箇所による猫背や反り腰姿勢の検出に加え、頭部を計測する事で、スマートフォン利用時や読書時に多い、首垂れ姿勢の検出を可能としている。

3.2 利用手順と逸脱姿勢検知アルゴリズムの概要

提案システムの利用手順と姿勢検知アルゴリズムは次の通りである。まず、被験者は、本システム装着後に、維持したい任意の姿勢(以下、基準姿勢)でキャリブレーションを行う。キャリブレーションにより、システムは各部の水平面に対する角度を記憶する。その後、システム稼働時において、各部の水平面に対する角度が、キャリブレーション時の基準姿勢時から、任意の規定角度以上逸脱した場合を逸脱姿勢として検出する。システムは逸脱姿勢を検出した場合、音声によって修正方向を指示する。

4. 長時間タイピングタスクによる性能追評価

本節では約3分という短時間の実験であった[3]の追実験として、より長時間のタイピングタスクを用いて「システム利用がタスクへの集中を阻害するか否か」を検証した結果について述べる。システム利用による姿勢維持効果の有無については、より長時間の検証である第5章にて述べる。

4.1 被験者ならびに計測環境

被験者は日常的にタイピングを実施している大学院生5名(年齢: 23.7 ± 1.24)である。被験者には、提案システムを装着し、普段利用しているデスクにて、システムの利用を意識することなく、タイピングタスクを実施するように指示した。図2に実験時の様子を示す。

基準姿勢は、背筋を伸ばし、数十秒の作業を実施した後の姿勢とした。結果、ほぼ全ての被験者において、直立から5度ほど前傾した姿勢となった。また、基準姿勢よりいずれかの部位の角度が10度以上乖離した姿勢を、逸脱姿勢とした。

タイピングソフトは[3]と同じく EasyTyping*1 を利用した。3分間のタイピングを1セットとして15回繰り返す。セット間の切り換え作業などを含めて、合計約1時間のタイピングタスクとした。それぞれのセットにおいてタイプ文字数/秒、タイプミス率を計測した。

4.2 被験者から隠蔽した計測条件

被験者には、1時間の実験を通してシステムが有効であると伝えており、以下の計測条件は隠蔽した。15セットの

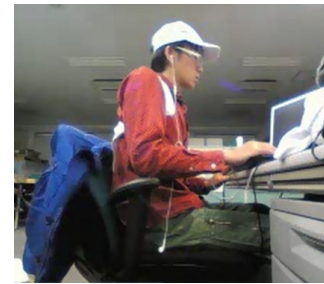


図2 実験の様子

Figure 2 The overview of evaluation

タイピングタスクの内12セットでシステムによる姿勢補助を有効とし、残りの3セットで姿勢補助を無効とした。どのセットでシステムが有効になるかはランダムに決定した。なお、上記条件から明確であるが、被験者は姿勢補助が無効になっている間においても提案システムを装着しており、システム装着の有無による結果への影響を排除している。

4.3 計測結果と考察

表1に被験者ごと、補助の有無ごとのタイプ文字数/秒とミス率を示す。図3に同結果を正規化して箱ひげ図としたものを示す。タイプ文字数/秒とタイプミス率の正規化は、それぞれにおいて全体の平均値を差し引き、標準偏差で割ることで実施した。なお、全ての被験者において、システム補助有りの場合は、1回以上の通知が発生していた。

結果としては図3からも目視で分かる通り、システム

表1 姿勢補助の有無とタイプ文字数/秒 (kps)とタイプミス率 (mr)

Table 1 Key-type-count per second (kpr) and type-miss rate (mr) for support enabled / disabled situations

	Subject A		Subject B		Subject C		Subject D		Subject E	
	kps	mr	kps	mr	kps	mr	kps	mr	kps	mr
補助:有	3.63 ± 0.44	1.85 ± 0.39	4.51 ± 0.22	2.92 ± 0.22	4.35 ± 0.20	2.71 ± 0.08	4.14 ± 0.13	3.84 ± 0.27	4.68 ± 0.09	3.14 ± 0.19
補助:無	3.86 ± 0.12	2.16 ± 0.21	4.46 ± 0.21	2.95 ± 0.24	4.21 ± 0.29	2.52 ± 0.06	5.25 ± 0.02	3.92 ± 0.14	4.70 ± 0.12	3.29 ± 0.03

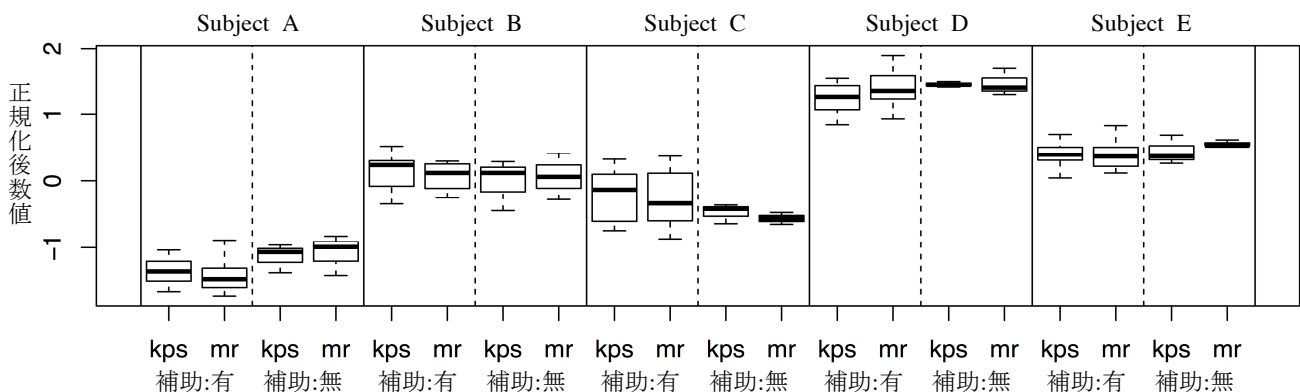


図3 姿勢補助の有無とタイプ文字数/秒 (kps)とタイプミス率 (mr) (正規化済み)

Figure 3 Normalized key-type-count per second and type-miss rate for support enabled / disabled situations

*1 EasyTyping: <http://neutralx0.net/type01.html>

の有無による大きな差は見られなかった。検定として、全ての被験者において、補助のある場合と無い場合のタイプ文字数/秒において U 検定を実施した結果、全ての組合せにおいて $p > 0.1$ となり、多群の比較を Bonferroni 法で補正するまでもなく、明確な有意差は認められなかった。タイプミス率についても同様であった。

したがって、提案システムを利用することによってタスクへの集中が阻害されることは、明確には発生していないと言える。

5. 長時間・複数日繰り返し利用による日常利用を想定した性能評価

本節では、日常利用を想定した長時間かつ複数日の繰り返し利用における提案システムの性能評価結果について述べる。また、実験終了後に実施したアンケートの結果から利用者の主観評価結果についても考察する。

5.1 被験者ならびに計測環境

被験者は日常的にデスクワークを行う大学院生 4 名 (年齢: 23.5 ± 1.29) である。連続した 4 日間において、それぞれ連続した 3 時間の計測を実施した。

装着や実施環境は前章の実験と同様である。被験者には、提案システムを装着し、普段利用しているデスクにて、システムの利用を意識することなく、デスクワークを行うように指示した。この時、作業内容は指示せず、普段通りの作業や付帯動作を行うように指示している。

また、被験者の作業内容の確認、ならびに目視評価のために、被験者の同意を得て、作業の邪魔にならない位置にカメラを設置して作業風景を記録した。なお、撮影映像から判明した作業内容は、主にコンピュータ操作、スマートフォン操作、書き物の 3 種類であった。

基準姿勢は、背筋を伸ばし、数十秒の作業を実施した後の姿勢とした。結果、ほぼ全ての被験者において、直立から 5 度ほど前傾した姿勢となった。また、基準姿勢よりいずれかの部位の角度が 10 度以上乖離した姿勢を、逸脱姿勢とした。

5.2 被験者から隠蔽した計測条件

被験者には、連続した 3 時間においてシステムが有効であると伝えており、以下の計測条件は隠蔽した。実際には、計測は 15 分を一セットとした合計 12 セットに分割されており、半数の 6 セットをシステムによる姿勢補助を有効とし、残りの 6 セットでは姿勢補助を無効とした。12 セットの内、どのセットでシステムが有効になるかは被験者に通知せず、ランダムに決定した。なお、上記条件から明確であるが、被験者は姿勢補助が無効になっている間においても提案システムを装着しており、システム装着の有無による結果への影響を排除している。

5.3 姿勢補助の有無と逸脱姿勢時間

表 2 と図 4 に姿勢補助の有効時と無効時における逸脱姿

表 2 姿勢補助の有無と逸脱姿勢の総時間(秒)

Table 2 Time durations in second of incorrect posture for support enabled / disabled situations

	Subject F	Subject G	Subject H	Subject I
補助:有	23.7±27.0	106.1±146.1	71.9±57.6	16.5±28.4
補助:無	305.7±185.7	576.0±258.7	634.1±228.9	260.5±264.8

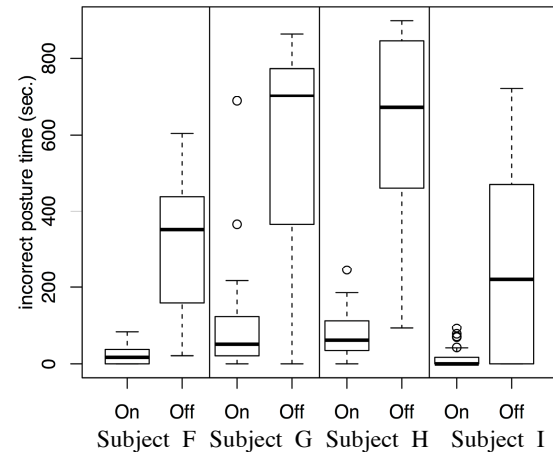


図 4 姿勢補助の有無(On / Off) と逸脱姿勢となっていた総時間(秒)

Figure 4 Time durations in second of incorrect posture for support enabled / disabled situations

勢を取っていた時間を示す。図 4 から目視で分かるとおり、逸脱姿勢となっていた時間は、4 名の被験者全てにおいて、システム有効時のほうが明らかに短い。

検定として、被験者毎に姿勢補助の有効時と無効時の時間長を U 検定したところ、全ての組合せで $p < 0.001$ となった。これは、検定総数 4 の Bonferroni 法で補正した 0.05, 0.01 の各水準である 0.0125, 0.0025 を下回っており、明らかな差が認められた。

したがって、提案システムは日常的な長期間かつ繰り返し利用においても、逸脱姿勢を取っている時間を削減できる、つまり、姿勢維持率を高められる可能性が示唆された。

5.4 繰り返し利用による逸脱姿勢時間の変動

表 3 に経過日数毎の姿勢補助の有無による逸脱姿勢時間を示す。図 5 に姿勢補助ありの場合について、表 3 を箱ひげ図化したものを、図 6 に姿勢補助無しの場合について、表 3 を箱ひげ図化したものを示す。

5.4.1 飽きや慣れによる補助効果減少の有無

図 5 に示すように、姿勢補助ありの場合の逸脱姿勢時間は、日数の経過によって大きく変化しなかった。被験者毎に Steel-Dwass の多群比較を行ったところ、被験者 F, G, H においては有意差が認められず ($p > 0.05$)、被験者 I においても 3 日目のみが他の 3 日と比較して有意差あり ($p < 0.05$) となったのみであり、他は有意差なし ($p > 0.05$) であった。この被験者 I においても、3 日目で増加した逸脱姿勢時間は 4 日目には減少しており、飽きや慣れによって、システ

ムによる姿勢補助効果が減少していくという事象とは捉えづらい。

以上のことから、連続した4日間において連続して3時間ずつ利用するという利用範囲内においては、飽きや慣れによる姿勢補助効果の減少は明確には認められなかったと言える。

5.4.2 繰り返し利用による習熟と逸脱姿勢時間減少の有無

図6に示すように、姿勢補助なしの場合の逸脱姿勢時間は日数の経過によって大きく変化しなかった。また、被験

者毎に Steel-Dwass の多群検定を行ったところ、全ての組合せで $p > 0.05$ となり、有意差は認められなかった。

以上のことから、連続した4日間において連続して3時間ずつ利用するという利用範囲内においては、姿勢の習熟による姿勢維持時間の増加は明確には認められなかったと言える。

5.5 実験後アンケートによる主観評価

実験終了後に、被験者に対して主観評価のためのアンケート調査を実施した。調査は以下の6項目の質問を設けた。

表3 経過日数毎の姿勢補助の有無による逸脱姿勢時間(秒)

Table 3 Time durations in second of incorrect posture with support enabled / disabled for each day

	Subject F		Subject G		Subject H		Subject I	
	補助: 有	補助: 無	補助: 有	補助: 無	補助: 有	補助: 無	補助: 有	補助: 無
1日目	21.9±27.7	358.2±198.7	67.2±69.3	406.3±323.8	88.7±69.5	595.2±191.5	0.0±0.0	225.0±320.7
2日目	25.8±39.4	401.8±207.1	76.4±142.3	440.4±238.0	58.0±65.4	529.7±298.7	2.2±5.9	89.0±129.1
3日目	17.3±14.4	254.9±194.9	102.7±65.2	679.9±193.6	67.2±42.3	633.0±198.4	59.1±26.5	564.8±186.5
4日目	29.9±31.6	207.9±181.7	192.3±254.3	777.3±66.2	73.5±56.9	778.2±229.0	5.5±14.5	134.1±268.2

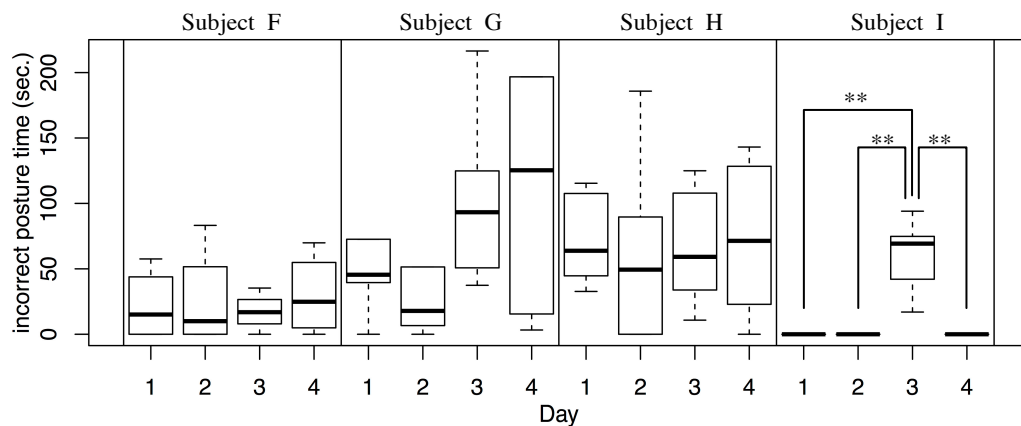


図5 姿勢補助の有効時の逸脱姿勢となっていた総時間(秒)と経過日数

Figure 3 Time durations in second of incorrect posture with support enabled for each day

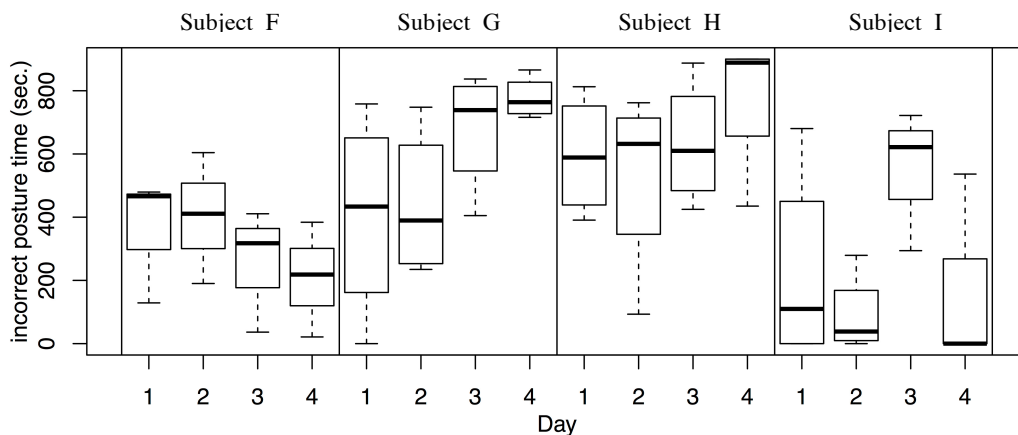


図6 姿勢補助の無効時の逸脱姿勢となっていた総時間(秒)と経過日数

Figure 3 Time durations in second of incorrect posture with support disabled for each day

- 姿勢悪化の気付きやすさ
- 音声の聞き取りやすさ
- 修正指示の妥当性
- 作業の集中度への無影響
- 固定器具装着後の動きやすさ
- 日常での姿勢への意識向上

各項目は 5 段階 (5. 当てはまる, 4. どちらかと言えば当てはまる, 3. どちらとも言えない, 2. どちらかと言えば当てはまらない, 1. 当てはまらない) 評点である。

アンケート結果を図 7 に示す。姿勢悪化の気付きやすさや音声の聞き取りやすさ、修正指示の妥当性の評価値は 4 から 5 と高い評価を得た。システムによる姿勢維持補助が一助になったという結果である。

一方でシステム無効時と比較した作業への集中度の主観的な評価値は 2 から 3 の間で推移しており、3 章のタイピングタスクを用いた実験においては、システム利用時と非利用時においてミスタイプ率や単位時間入力文字数は同等であったにもかかわらず、低い値を示している。たとえ作業結果の数値に出てこない程度であっても、利用者の不満が溜まることは、システムの利用拒否などに繋がるため要改善事項と言える。したがって、集中阻害要因の分析は、今後の課題とする。

固定器具装着後の動きやすさは、2 から 5 と評価が分かれた。もともと現在の実装は仮のものであり、特段に取り上げるべき要素ではないが、普及を目指すのであれば改善の余地がある事が示唆されている。

日常での姿勢への意識が向上したかどうかは、概ね 3 から 4 という評価となり、多少ながら意識を向上させることに成功したと考えられる。一方で、5.4.2 節で議論したように、計測値ベースでの分析では、利用期間における姿勢維持時間は明確には向上していない。より強固な意識向上や習熟速度の増加が今後の課題として判明したものと言える。

6. まとめ

本稿では、音声通知型姿勢維持補助システムにおいて、日常利用を想定した長時間かつ繰り返し利用時の、作業集中度への影響、飽きや慣れによる補助効果減少、習熟によるシステムを利用しない場合の姿勢維持率の向上、などについて検証した。

1 時間程度の利用においては、作業結果から見た集中度の低下は見受けられなかったが、一方で、作業後のアンケートからは集中力の低下を感じるという意見が得られた。例え作業結果の数値に出てこない程度であっても、利用者の不満が溜まることは、システムの利用拒否などに繋がるため要改善事項と言える。

飽きや慣れによる補助効果の減少は、4 日間、各 3 時間の利用の範囲においては見受けられなかった。一方で、習

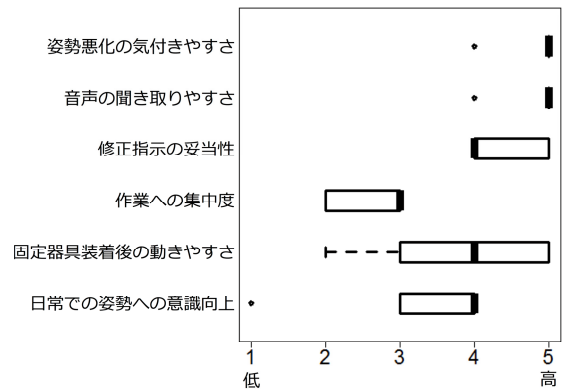


図 7 実験後アンケート結果
 Figure 7 Questionnaire result for system

熟によるシステムを利用しない場合の姿勢維持率の向上も同様に明確には見受けられなかった。

今後はより長期間の利用による影響について調査を進める。

謝辞 本研究の一部は、「知の拠点」あいち重点研究プロジェクトの支援、ならびに JSPS 科研費 26280074 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) NACHEMSON, ALF L. "The Lumbar Spine An Orthopaedic Challenge." spine 1.1 (1976): 59-71.
- 2) HANSRAJ, KENNETH K. "Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head." Surgical technology international 25 (2014): 277-279.
- 3) 森祐馬, 榎堀優, 間瀬健二, "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", DICOMO2014 (2014):126-130
- 4) 宮寄朋浩, 片岡正登. "イチゴ栽培システムにおける作業姿勢に基づく農作業の労働負荷測定および評価法の確立". 2004.
- 5) 伊丹君和, 久留島美紀子, "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 33.2 (2010): 95-102.
- 6) Mutlu, B., Krause, A., Forlizzi, J., Guestrin, C., and Hodgins, J. "Robust, low-cost, non-intrusive sensing and recognition of seated postures." Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, 2007.
- 7) 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", Interaction 2012 (2012):696-700.
- 8) Ishimatsu, Haruna, and Ryoko Ueoka. "BITAIKA: development of self posture adjustment system." Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference. ACM, 2014.
- 9) 鷺澤史歩, 中田康之, 猪又明大, 柳沼義典. "小型のウェアラブルセンサを用いた姿勢計測", DICOMO2014 (2014):401-408.