

## 触覚提示による背部反射応答を利用した座位作業時の 姿勢矯正システムの構築と評価

Development and evaluation of self-posture adjustment system with haptic sensation

2151001



研究代表者

九州大学 芸術工学研究院

准教授

上岡 玲子

### [研究の目的]

我々はコンピュータにより便利で快適な生活を享受しているがその一方で長時間のデスクワークによる座り姿勢やモニターを見るための前傾姿勢から姿勢は悪化傾向にある。厚生省の国民生活基礎調査によると、有訴者の自覚症状の上位2位は「腰痛」と「肩こり」であることから、悪姿勢から生じる身体の不調を減らすために姿勢改善が急務であることが伺える。根本的な姿勢改善のためには普段から正しい姿勢を心がけ、自らの筋肉で正しい姿勢を維持することが重要である。そこで本研究では、コンピュータが人の姿勢状態を判別し悪姿勢時に背部に直線的に触覚刺激を提示することで生じる反射応答からユーザーの能動的な背筋運動を誘発し姿勢を矯正するシステムを実現することを目指す。

### [研究の内容, 成果]

姿勢矯正システムの試作の予備実験として最適な触覚刺激の提示パラメータを決定する予備実験を行った。

はじめに、背部反射応答を誘発する方法として、一般的に背中をなぞることで人がゾツとして背中を立てる行為に着目し、その様子を観察したところ、刺激物の提示速度と方向、形状、提示箇所（背骨に沿うか左右肩甲骨の下角直下

に沿うか）が誘発しやすい刺激の提示パラメータとして整理できた。

そこで速度と提示方向について予備実験としてビデオ映像から適切な反応がおきた時の速度を初速、等速、終速と分類し映像から速度を算出した。図1に速度を算出のため定義した3つのエリア領域を示す。算出結果より、Section2の等速度領域は10回の試行の平均速度から300 mm/secであり、初速、終速の加速度はほぼ同等の加速で平均800 mm/sec<sup>2</sup>となった。また刺激提示の向きについては背中下部から上部へ向かって刺激提示を行う場合に背中をたてる現象がおこることが観察から明らかとなった。

次に適切な提示刺激の端点の形状について予備実験を行った。端点形状は図2にあるように直径3 mmの円形、2 mm×4 mmの長方形、18 mm角の正方形を3Dプリンターで製作した。これを用いて3種類の刺激物と刺激提示を1もしくは2箇所とし計6種類の提示の組み合わせで背部の適切な動きを誘導する形状と刺激提示数を決定する実験を行った。

実験では被験者5名（男3、女2、平均23.4歳）に形状と刺激提示数を被験者ごとにランダムな順番で5回ずつ提示した。刺激慣れを防ぐために刺激提示ごとに1分間の間隔をあげて刺激を提示した。刺激提示した時に背部に反応があり姿勢が変化した時は1を反応がなかった場合は0とし記録を行った。記録データをBartlett検定より等分散であることを確認した

後、形状と刺激提示数の2要因の反応の平均を分散分析したところ、図3に示すように直径3mmの円形状で2本の刺激提示の刺激提示パターンが最も背部の反射応答を誘導する形状であることが明らかになった ( $F=7.86, p<0.001$ )。

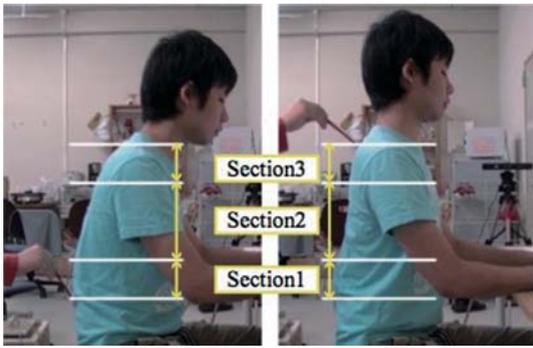


図1 刺激提示予備実験の様子

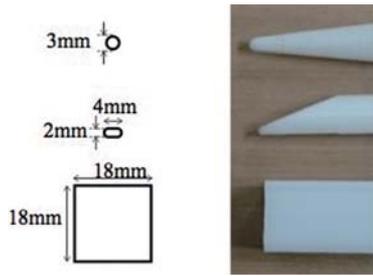


図2 3種類の先端形状

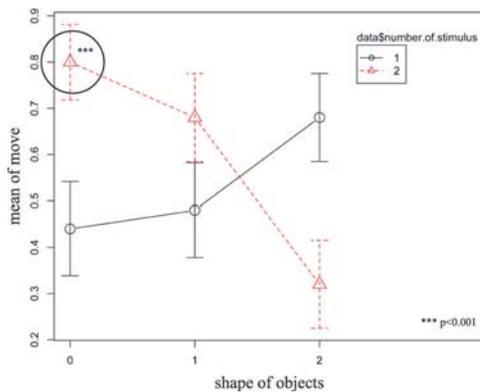


図3 形状と提示数の2要因分散分析の結果

## 2. 装置の試作

背部の姿勢を誘導する刺激の提示速度、向きと形状、刺激数を予備実験より明らかにし、その結果をもとに装置の試作を行った。図4に試

作システムを示す。悪姿勢検出時に背部へ刺激を水平移動し、身体下方向から上方向へ向かって刺激を提示することが可能な2自由度の動きを持つ装置を試作した。水平方向移動の機構はバイポーラ型ステッピングモーター (Mercury Motor ST-57BYG076-0604) を使用し、アクリル材料で製作したリンク機構により移動制御をした。具体的には悪姿勢継続時間が設定した閾値を超えた時に背部に刺激を提示するためにステッピングモーターを制御し刺激端点を背中に押し当てるところまで動かす仕組みである。背中への刺激物があたっていることを確認するためにピエゾフィルムの圧力センサー (FlexiForce A201-25) の値を50サンプルごとに平均し、事前に設定した最大と最小閾値内に算出された平均圧力値が出力されているか常時モニタリングし、閾値を外れた場合、ステッピングモーターを時計周りもしくは半時計周りに動かすことで凹凸のある背中に一定の力で刺激が提示されるよう制御した。人により刺激に対する鋭敏さが異なったため、3種類の閾値設定値を決め、被験者ごとにあてる強さを調整できるように設計した。

垂直方向の運動制御にはリニアアクチュエーター (THK, ESS-12-D) を用い臀部から背中を垂直方向に動かした。予備実験より決定した速度や加速度については THK のリニアアクチュエーターのドライバー (TSC, THK) にプリセットし、Arduino の信号出力により制御した。

悪姿勢検出に関しては過去の研究より構築した Microsoft の簡易モーションキャプチャシステムである Kinect センサーを用いてパソコン作業時に前傾姿勢による悪姿勢を検出するシステムを利用した。

刺激を提示するために椅子の背もたれ部をフレーム型にした椅子を製作し、ユーザーの衣服と接触物との摩擦抵抗を低減するためサテン布をフレームに挟む機構とした。

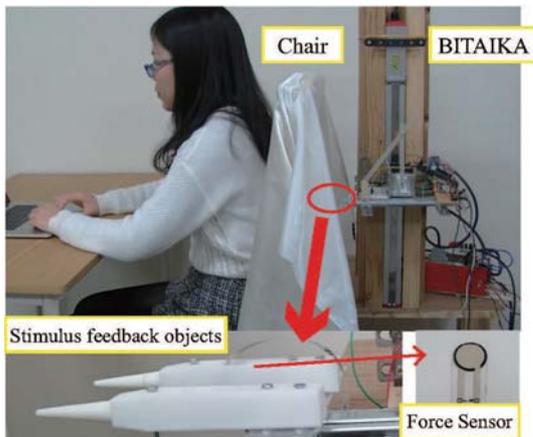


図4 姿勢矯正のための触覚提示試作システム

### 3. 視覚刺激との比較

試作システムの有効性を評価するため、悪姿勢時に作業時のパソコン画面に視覚刺激を提示する方式と本提案方式を被験者内実験により評価した。有効性評価の方法として 1. 悪姿勢時に刺激提示されることで刺激に注意が向くか 2. 刺激に気づいた場合、姿勢に変化があるか 3. 姿勢の変化により良姿勢になったかを定量評価した。図5の左が比較実験の視覚刺激提示時の画面を示す。320×240 pixelの被験者の横側からの姿勢の状態と良姿勢と悪姿勢を示す指示線が提示されており、悪姿勢を20秒以上検出した時に画面が赤く点滅し、指示線を見ながら被験者自身が姿勢を正すよう指示した。図5右が触覚刺激提示の様子を示す。視覚刺激と同様に20秒以上悪姿勢を検出した場合、背中に刺激が提示される。被験者は30分間PCを使用した作業やPC画面上で電子書籍による読書などしてもらった。システムの動作音などに意識が向かないよう、視覚、触覚の両方の実験中イヤホンで音楽を聞いてもらった。被験者は11名の大学生（男6、女5、平均22.8歳）である。被験者は両方の刺激提示実験に参加し、別日に各刺激条件の実験を行った。また、順番効果をなくすため、被験者ごとにランダムな条件で実験を行った。



図5 提示刺激（視覚（左）・触覚（右））

## 4. 結果、考察

### (1) 刺激への注意

刺激提示への注意に関しては触覚刺激に対しては刺激提示に対し100%刺激に気付いたのに対し、視覚刺激については、刺激提示に気づかなかった割合が刺激提示全体の10%あった。視覚・触覚刺激の刺激提示に気づいた割合を図6に示す。結果より作業に集中している場合、注意が作業中のPC画面の特定領域に集中するため、視覚刺激による姿勢矯正の警告サインには気づきにくい傾向にあることがわかった。

### (2) 姿勢の変化

両条件での姿勢の変化について分析するため、刺激提示後の頭部の動きを被験者の耳の位置を基準とし、図7に示すように前後での姿勢変化を耳の位置の変化とし距離と角度から分析し評価した。距離の分析では姿勢矯正前の耳の位置を中心に右方向をプラス、左方向をマイナスとして算出した。角度の分析については、姿勢矯正前を中心に耳の位置の前後に接線を引き内角を算出した。表1に各条件の距離と角度の変化の平均の結果を示す。これより両条件とも頭部は後傾にかつ前姿勢よりも上方向に頭部の位置が変化していることが明らかになった。両条件の平均に有意差は認められなかったが、視覚刺激の方が姿勢の変化がやや後傾姿勢で頭部の位置は触覚刺激よりも低い位置に姿勢が変化するという結果が得られた。

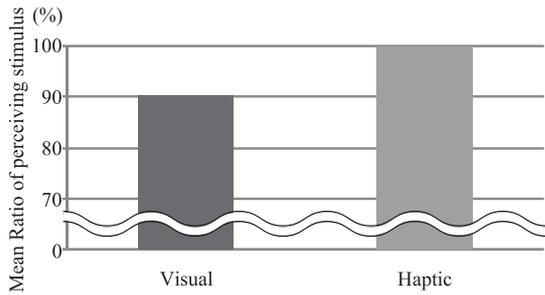


図6 視覚・触覚刺激に気づいた割合

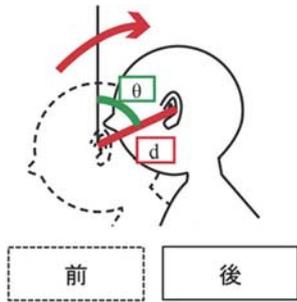


図7 姿勢の変化の定量化指標

表1 各刺激の姿勢変化の結果

	Distance (mm)	Angle (°)
視覚刺激	24.6	65
触覚刺激	17.4	45.8

### (3) 良姿勢への変化

両刺激ともそれらを提示することにより頭部の位置の変化から姿勢が変化することが定量的に評価できた。そこで、各刺激で姿勢の変化で良姿勢に変化するかを評価するため記録ビデオから各刺激で身体の動かし方に特徴が異なるかを観察した。図8(上)に赤線で示すように視覚刺激の場合、提示画像にある指示線を見ながら自身の姿勢を修正する行動を首から肩甲骨にかかる身体上部を後方へ移動させて姿勢を直し、身体下部の骨盤付近の位置に変化が見受けられないことが観察された。2で分析した姿勢変化の結果からもうかがえるように、上半身を中心とした姿勢変化のため、頭部の位置の変化は触覚刺激提示よりも大きく、下半身の変化が少ない。それに反して触覚刺激の場合、図8(下)の赤線で示す通り、背骨下部の骨盤付近が刺激提示によりが立ち上がり、姿勢が変化している。

正しい座位姿勢を獲得するためには骨盤がしっかりと起きその結果、背中がまっすぐに伸びることが重要である。触覚刺激の場合前かがみ姿勢により骨盤が後ろに倒れがちなPC作業中の悪姿勢を骨盤の矯正から働きかけ背中への刺激を与えることから正しい良姿勢に誘導できていると考えられる。そこで全被験者の記録データからシステム提示刺激による姿勢変化が骨盤から起き上がる下からの向き(1)からおこっているか、肩から背中を後方に移動する上からの向き(-1)からおこっているかを得点化し平均した。結果を図9に示す。視覚刺激の場合は平均-0.3で肩から後方に背中を移動する動きになりやすく、触覚刺激の場合は平均0.2であったことから骨盤から姿勢を変える傾向があった。t検定より条件間の平均の結果の違いの有意差を検定したところ有意差が認められた(F=21.6, p<0.001)。

### [今後の研究の方向, 課題]

本研究でははじめに背部触覚刺激を引き起こしやすい要素を導き出し姿勢矯正の装置を試作



図8 姿勢変化の動きの違い(視覚(上)・触覚(下))

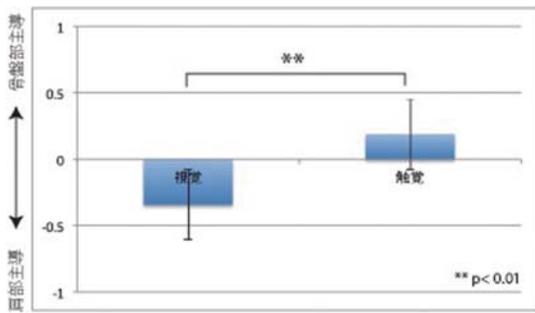


図9 各刺激の姿勢変化時の動きの向き

した。姿勢矯正の効果を検証するため30分間のPC作業を行う実験を視覚刺激提示の手法と比較した。実験の結果から刺激の提示方法により姿勢の正し方に違いがあり、触覚刺激提示の場合、正しい姿勢の正し方を誘導する可能性が

示唆された。

今後は振動触覚などを他の触覚刺激との効果の違いを視覚刺激とあわせ比較し評価することで、本提案システムの刺激の提示手法の有効性を検討するとともに、長期実験による姿勢矯正の効果を実証実験により明らかにしたい。

[成果の発表, 論文等]

1. 石松, 上岡, 美体化装置のための効果的な触覚刺激の検討, 第20回バーチャルリアリティ学会大会, pp. 106-109, 2015. 9.
2. H. Ishimatsu, R. Ueoka, Finding the right feedback for self-posture adjustment system for "BITAIKA", Article No. 26, Siggraph Asia 2015 Posters, 2015, 11.