

痙性斜頸患者に対する Kinect を用いた姿勢評価システム

中村拓人^{†1} 西村奈令大^{†1} 旭雄士^{†2}
大山彦光^{†3} 佐藤未知^{†1†4} 梶本裕之^{†1†5}

頭部姿勢の異常を伴う運動障害疾患の一つとして知られる痙性斜頸の症状評価には、現在 Tsui Score や TWSTRS などいくつかの評価方法が存在する。これらは医師の目視により行われているため、評価者によって基準が異なり、評価者が同一でないデータ同士を比較することが難しいという問題がある。痙性斜頸のように現在確たる治療法がなく今後も新しい治療法開発が必要とされる疾患においてはより再現性、客観性の高い症状評価手法を確立する必要がある。そこで本研究はリアルタイムに3次元計測が可能な Kinect を用いて、斜頸疾患に対し正確で再現性のある姿勢評価を実現することを目的とする。本稿で製作したシステムは患者の顔認識、顔の角度の計測、表示を行い、Tsui Scale や TWSTRS へ適用させることが出来る。頭部の回転に対して医師の目視との精度の比較を行ったところ、本システムは得意な回転軸がなく、十分な計測精度を持つことが確認された。

Kinect-based Semi-automatic Scoring Method for Torticollis

TAKUTO NAKAMURA^{†1} NARIHIRO NISHIMURA^{†1}
TAKASHI ASAHI^{†2} GENKO OYAMA^{†3} MICHI SATO^{†1†4}
HIROYUKI KAJIMOTO^{†1†5}

Although there are conventional scoring methods such as Tsui Scale or TWSTRS for torticollis severity, the results obtained are sometimes inaccurate or non-reproducible because these tests are performed manually. The objective of our research is to increase the accuracy and reproducibility of the scoring results for torticollis so as to help developing of new treatments for torticollis. To capture patients' facial orientations in real time, we used Kinect and tracked patients' faces. The system we developed automatically detects 3D facial orientations. The system can obtain and show patients' facial direction for each axis as rotation, lateral, and tilt of Tsui Scale in real time. We also conducted an experiment, comparing accuracy of the system with medical specialist, suggests that our system has sufficient accuracy.

1. はじめに

1.1 従来の痙性斜頸患者の姿勢評価

運動障害疾患の一つに、首が意図しない方向へ曲がってしまう痙性斜頸がある。痙性斜頸は頸部に起こる持続的な異常筋緊張により捻転性あるいは反復性の運動や異常姿勢をきたす病態である (図 1) 1)。



図 1 痙性斜頸：頭部姿勢の異常を伴う運動疾患

Figure 1 Spasmodic Torticollis is characterized by involuntary rotation and shift of head.

現在のところ痙性斜頸に対しては、ボツリヌス毒素注射や選択的末梢神経切断などの対処療法が多く取られる。しかしこうした療法は金銭的、心理的コストが比較的高く、例えば発展途上国の患者が気軽に受けられるものではない。この問題を解決するために、現在例えば旭らは新たな治療法の開発を行っている 2)。

こうした治療法の開発には、治療成果の定量的評価が必要不可欠である。旭ら 2)は毎月被験者の症状の状態を痙性斜頸の代表的な症状尺度である TWSTRS³⁾と Modified Tsui Scale⁴⁾によって被験者の症状を評価した。TWSTRS では、患者の首などの姿勢を測る重症度、日常生活への影響を測る機能障害度、症状による痛みを測る疼痛度の 3 パートによって構成されている。Modified Tsui Scale は患者の首などの姿勢を測る尺度である。

これらの評価手法は一般的に医師の目視によって行われる。このために医師の技量によって評価精度が異なり、また評価する医師によって基準が異なるため、評価する医師が異なるデータ同士を比較することが不可能という問題があった 5)(図 2)。治療成果の定量的評価が必須となる痙性斜頸の治療法の開発を進めていくには、精度及び再現性の高い症状評価手法を確立する必要がある。

†1 電気通信大学
The University of Electro-communications
†2 富山大学脳神経外科
University of Toyama
†3 順天堂大学脳神経内科
Juntendo University
†4 日本学術振興会特別研究員
JSPS Research Fellow
†5 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency

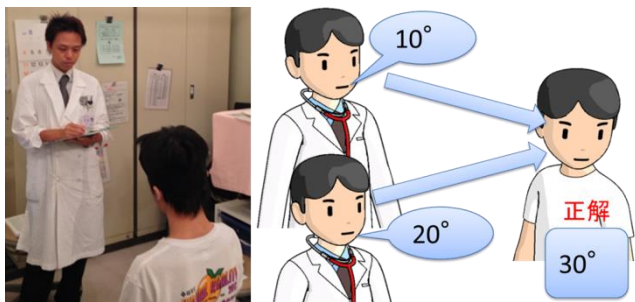


図 2 従来の症状評価：医師の目視による評価

Figure 2 Conventional scoring was primary done by visual observation

この問題に対して、これまで三次元計測機器や装着型デバイスをを用いた評価手法が提案されてきた⁶⁾。しかし設備が高価であり、また設備を使いこなすための人材が必要であるなどの問題があり、普及を妨げている。

こうした背景を踏まえ、我々は安価かつポータブルな姿勢計測装置である Microsoft 社製の Kinect for Windows を用いて、痙性斜頸患者の姿勢を測定、症状評価を自動で行うシステムを開発した。これにより再現性があり、かつ安価で操作が容易な評価手法を提供し、またこれを普及させることで、世界中で同一の評価環境を構築することを目的とする。

2. 姿勢評価システム

2.1 Kinect for Windows による顔追跡

Kinect for Windows は Microsoft 社から発売された三次元計測装置であり、Xbox360 用ゲームコントローラであった Kinect を一般の PC で利用可能としたものである。価格は 250USD と三次元計測装置としては大変安価であり、入手性も高い。

Microsoft 社は Kinect for Windows 開発者に向けて、Kinect の開発パッケージである Kinect SDK for Windows を配布している。また、それと同時に SDK を用いたサンプルプログラムとサンプルコードを Developer Toolkit Browser として配布している。本システムの評価ソフトウェアは、そこに含まれている Face Tracking Basic のコードを利用し作成した。Face Tracking Basic は Kinect で撮影された人物の顔の特徴点を三次元的に認識し、追跡するものである。

2.2 本システムの基本機能

本システムはまず基本機能として、Kinect で撮影された人物の Kinect に対する顔の角度を表示する。表示方法は角度の数値 (degree) とグラフの 2 種類で、人物の顔のヨー軸、ロール軸、ピッチ軸の 3 軸(図 3)の角度をそれぞれ表示する(図 4)。Kinect によって計測された顔の角度を既存の評価尺度である Modified Tsui Scale や TWSTRS によって採点、表示を行う。

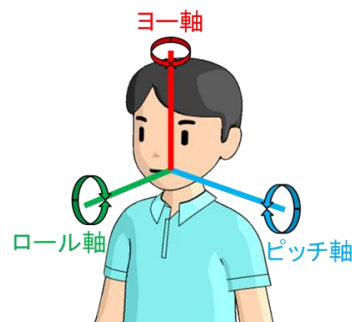


図 3 計測する 3 軸

Figure 3 Three axes to measure

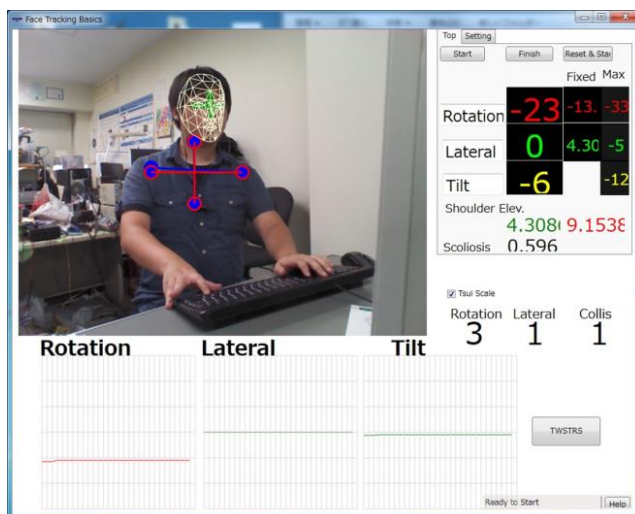


図 4 ソフトウェア外観

Figure 4 Overview of software

2.3 TWSTRS 重症度スケール

本システムにはさらに、痙性斜頸の代表的な尺度である TWSTRS の重症度スケールの評価を支援する機能を設けた。元来英語によって作成された尺度であるが、梶ら⁷⁾によって翻訳された日本語訳によると TWSTRS の重症度スケールは評価項目が 10 項目ある TWSTRS の下位尺度である。評価項目一覧と本システムの対応状況を表 1 に示す。

表 1 TWSTRS 重症度スケールの評価項目

Table 1 Items of TWSTRS-severity Scale			
症状ID	症状	配点	システム対応
A1	回旋	5	○
A2	側屈	5	○
A3	前屈 or 後屈	5	○
A4	側方偏倚	5	△
A5	前後偏倚	5	○
B	偏倚持続割合	10	○
C	感覚トリック	5	△
D	肩挙上、肩前後偏倚	5	○
E	首の可動域	5	○
F	正常姿勢保持時間	5	○

○：完全自動 ○：半自動 △：医師の目視

A1-A3 では患者の頭部が計測対象の 3 軸方向にどの程度回転しているかを計測、評価する。A4-A5 では、首の平行移動量を計測、評価を行う。

B 偏倚持続割合では一定時間内で、症状の持続度と症状の最大偏倚が起きている割合を計測、評価する。

C の感覚トリックでは手などを使って頭部を正常姿勢への程度戻すことが出来るかを計測、評価する。

D では、患者の肩の可動域に対する肩の偏倚を計測、評価する。

E の首の可動域では、患者に頭部を回旋させ、正中線より反対側へ頭部を回旋出来るかを評価する。

F の正常姿勢保持時間では、患者に正常姿勢をとってもらい、頭部が正常姿勢から 10° 以内の範囲にとどまられている時間を計測し評価する。

以上の TWSTRS 重症度スケールの評価項目には Kinect のみで計測ができるものと、従来医師の目視でスコアリングをするほうが現実的なものが混在している。以下では各項目に対するこのような判断について述べる。

2.4 TWSTRS 重症度スケール評価支援機能

本システムでは、TWSTRS 重症度スケールの評価を支援する機能を搭載している。現在、A4 側方偏倚と C 感覚トリックの項目以外は、専門的なトレーニングを受けることなく TWSTRS 重症度を評価可能となっている。ページに表示される説明に従い患者を評価していく。

D 肩挙上、肩前後偏倚、E 首の可動域の項目では、患者が適切に頭部及び肩を動かす必要があるが、図 5 のようなインストラクションを表示し、動いてもらうことで対応した。

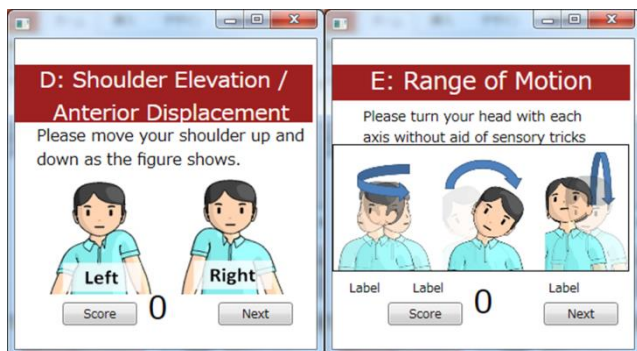


図 5 動きの説明画面
Figure 5 Instruction of assessment

2.5 TWSTRS 重症度スケール評価支援機能による計測、評価手法

はじめに Kinect を用いて 100 個の計測データ（サンプリングレート 10Hz で 10 秒間計測）を取得する。この際取得するのは、頭部の 3 軸の角度、肩の角度、首の角度である。また、A1-A5 では、取得した角度の平均値を計測角度とし、

評価を行った。

A1-A3 では、頭部の 3 軸の角度偏倚を評価対象としている。そこで体幹と首との相対的な角度を測定し、その平均角度を TWSTRS 重症度スケールの配点に適用し、評価を行った。また、A4 側方偏倚は未対応のため、現時点では目視で偏倚の有無を判断した。A5 前後偏倚は本システムの関節追跡によって取得した頭頂の座標と頸部の根本の座標を利用し算出された首の角度（図 6）により、前後偏倚の有無を評価した。

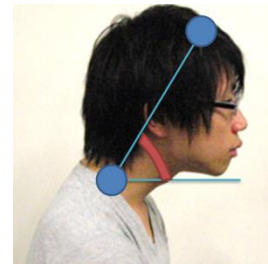


図 6 2 点がなす首の角度
Figure 6 Angle of neck estimated by the two points

B 偏倚持続割合は取得した 100 個の計測データを用いて、症状の持続度と最大偏倚が起きた割合を算出し、TWSTRS 重症度の配点へ適用した。

C 感覚トリックは未対応のため、患者に首や頭部に手を当てるなどして正常姿勢をとってもらう（図 7）。評価基準を画面上で確認しながら適切な点数を選択し、評価した。

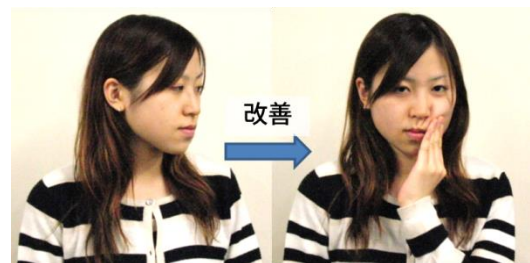


図 7 感覚トリックによる症状改善
Figure 7 Improvement caused by sensory trick

D 肩挙上、肩前後偏倚は図の様に肩を動かしてもらい、可動域を調べ、最初に取得したデータに含まれる肩の傾き図 8 を用いて TWSTRS 重症度の配点へ適用した。

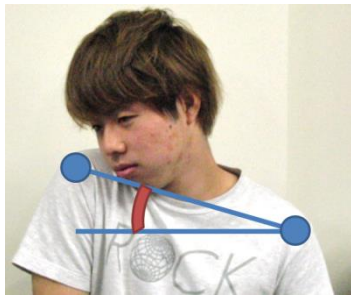


図 8 2点がなす肩挙上角度
Figure 8 Angle of shoulder elevation

E 首の可動域は図の様に症状のある角度反対方向へ動かし、首の可動域が正中線を超えるかを計測し、評価する。

F 正常姿勢保持時間は患者に正常姿勢を取らせ、正常姿勢から 10° 以内を保持できる時間を計測し、評価する。

以上をまとめると、表 1 で示したように、本システムは A1-A3 頭部の 3 軸の角度偏倚、A5 頭部の前後偏倚、B 偏倚持続割合の 10 項目中 5 項目を評価者、患者が共に動作を必要としない、評価の完全自動化を実現した。また D 肩挙上、肩前後偏倚、E 首の可動域、F 正常姿勢保持時間の 3 項目でインストラクションに従って動いてもらい評価を行う半自動化を実現した。A4 側方偏倚、C 感覚トリックの 2 項目は医師の目視によって評価を行う。

3. 評価システムの妥当性の検証

本システムが痙性斜頸患者の姿勢評価に使用可能であることを確認する為に実験を行った。今回は特に正確な数値が求められる A1-A3 項目、すなわち顔の傾斜角度を、医師の目視、並びに本システムを用いて計測した。これらの計測精度を比較することで、本システムの痙性斜頸患者の姿勢評価への使用の妥当性を検証した。

3.1 実験概要

本実験では、被験者の顔の傾斜角度を各手法によって計測し、計測精度を比較した。計測は Kinect システム、医師の目視、基準角度を計測する基準センサによって行われた。計測対象は、痙性斜頸の評価基準に基づき、顔のヨー軸、ロール軸、ピッチ軸の 3 軸の計測角度とした(図 3)。ここでは基準センサと Kinect システム、基準センサと医師の目視の組み合わせで、同時に被験者の顔の傾斜角度を計測した。これらの両手法を基準角度と比較し、間接的に Kinect システムと医師の目視の精度を比較した。

3.2 計測手法

医師の目視による計測は痙性斜頸を含む不随意運動疾患を専門とする医師によって行われた。

Kinect システムによる計測は、Kinect を被験者の目線の高さに合わせ、被験者から 1.0m 地点に設置し、10 秒間計測(サンプリングレート: 10Hz)を行った。その後、その平

均角度を計測角度とした。

基準センサはスマートフォンに搭載されている加速度センサと地磁気センサを用い、ヘッドバンドを用いて被験者の額に装着させた。計測にはコンパスアプリ(8)を用い、初期位置と顔を傾けた時の位置での、角度の変位を求めることで計測角度とした。このスマートフォンによる計測手段の精度については事前に既知の傾き角度の板に沿わせることで評価しており、誤差がロール軸とピッチ軸で $\pm 2^\circ$ 以下、ヨー軸で $\pm 4^\circ$ 以下であることは確認している。

なおスマートフォンによる計測の精度が高いことから、Kinect ではなくスマートフォンを実際の症状評価に使うことも当然考えられる。しかし実際の症状評価には体幹と首との相対的な姿勢を測定する必要があり、このため頭にスマートフォンを装着する手法は最終的には取れないと判断した。さらに既に述べたように痙性斜頸の症状評価には肩の傾きや頭部の平行移動量等の計測も多数含まれており、これらも含めた計測システムを最も簡単に構築するにはスマートフォンを使うことは考えにくい。

3.3 実験条件

被験者は Kinect システムでの計測において 21~25 歳の 10 名(男性 7 名、女性 3 名)、医師の目視での計測において 21 歳~26 歳の 5 名(男性 5 名、女性 0 名)で、全員健常者であった。今回は、健常者に顔を傾けさせることで、擬似的に痙性斜頸患者の状態とした。

3.4 実験手続き

被験者が椅子に座った状態で計測を行った。

計測開始前に被験者には再現すべき顔の姿勢を確認させた。その後、被験者の顔の傾斜角度を 0° にするために、できるだけ体の正面を見るように指示し、この状態を初期位置として基準センサにて初期位置の計測を行った。

初期位置計測が終わると、実験者によって確認した姿勢を再現させ、基準センサによる計測と、Kinect システムあるいは医師の目視による計測を行った。被験者一人につき違う姿勢で 10 回計測を行った(図 9)。



図 9 基準センサと Kinect システムによる計測の様子(左)
基準センサと医師の目視による計測の様子(右)

Figure 9 The view of measuring using Sensors and Kinect System (left), the view of measuring by Sensors and visual

observation by a doctor (right)

3.5 実験結果

Kinect システムによって行った実験結果を軸ごとに図 10、図 11、図 12 に示す。横軸は基準センサによる計測結果ではほぼ真値を表すと考えられ、縦軸は Kinect システムによる計測結果を表す。グラフには全被験者の計測結果がプロットされている。

ここで横軸の値を x 、縦軸の値を y とすると、理想的にはすべての値は $y=x$ の直線に乗るはずである。誤差 $\pm 10^\circ$ の範囲(図中赤帯)に、ヨー軸では 71%、ロール軸では 76%、ピッチ軸では 84%のデータが分布した。

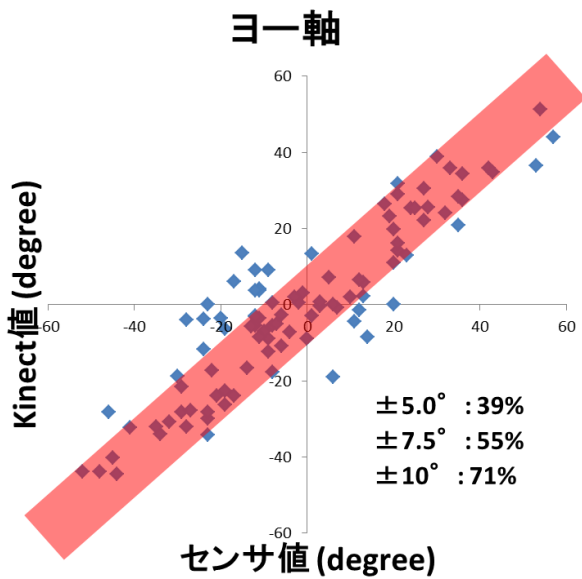


図 10 Kinect システムによるヨー軸の計測結果
Figure 10 Result of yaw axis measured by Kinect System

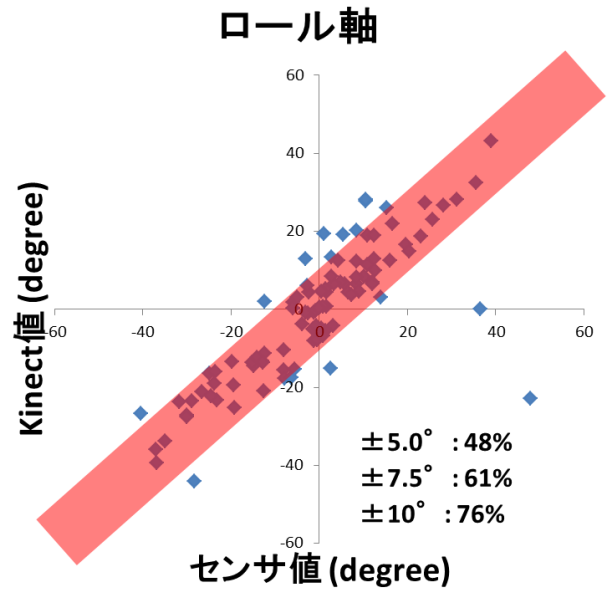


図 11 Kinect システムによるロール軸の計測結果
Figure 11 Result of roll axis measured by Kinect System

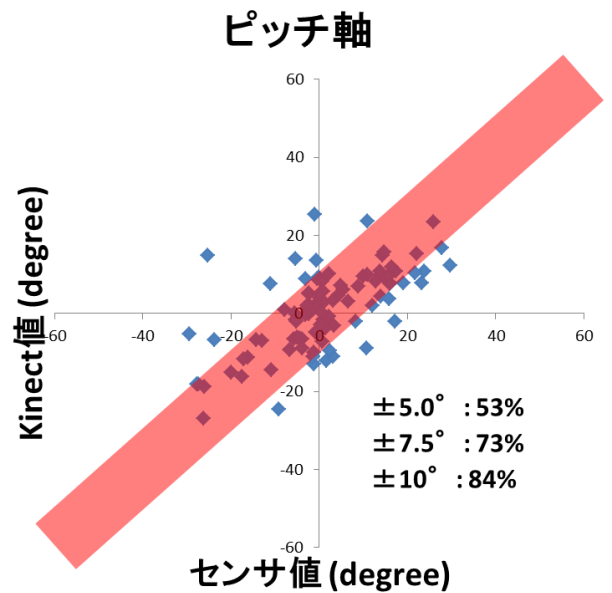


図 12 Kinect システムによるピッチ軸の計測結果
Figure 12 Result of pitch axis measured by Kinect System

同様に医師の目視によって行った実験結果を図 13、図 14、図 15 に示す。横軸は基準センサによる計測結果、縦軸は医師の目視による計測結果を表す。理想式である $y=x$ と比較して、誤差 $\pm 10^\circ$ の範囲 (図中赤帯) の中にヨー軸では 44%、ロール軸では 90%、ピッチ軸では 72%のデータが分布した。

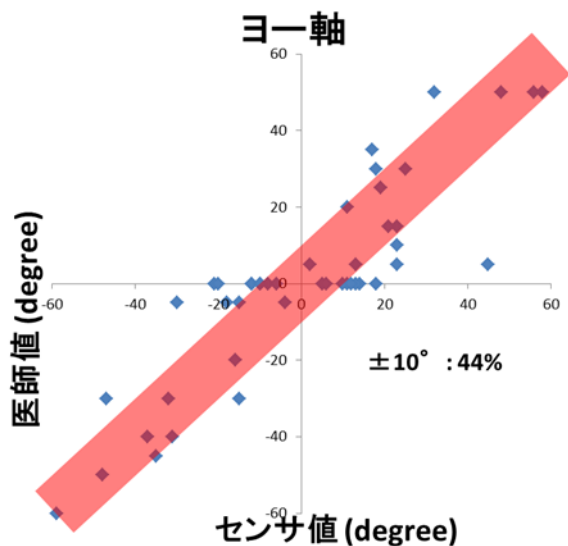


図 13 医師の目視によるヨー軸の計測結果
Figure 13 Result of yaw axis measured by a doctor

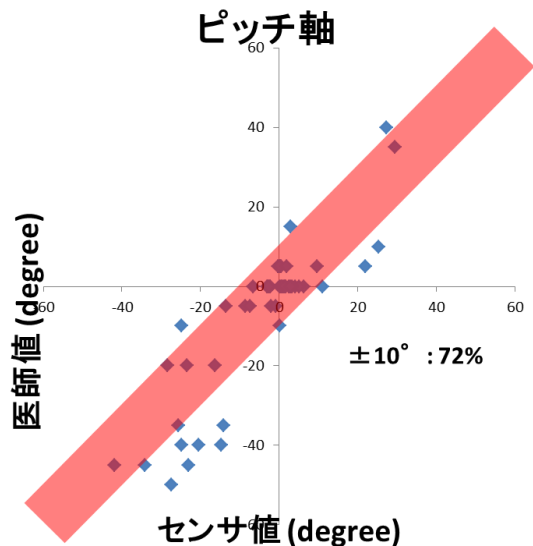


図 15 医師の目視によるピッチ軸の計測結果
Figure 15 Result of pitch axis measured by a doctor

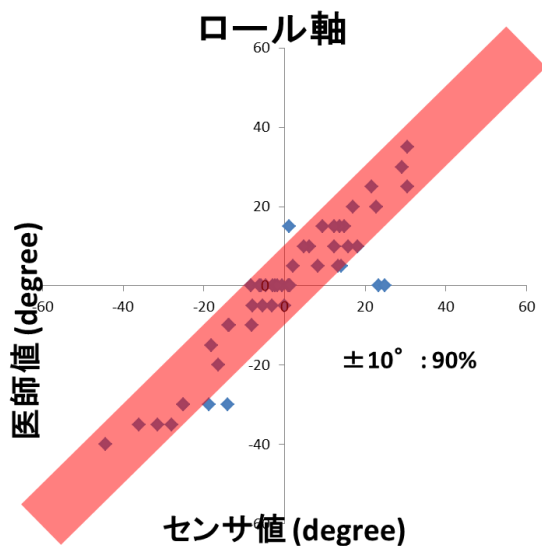


図 14 医師の目視によるロール軸の計測結果
Figure 14 Result of roll axis measured by a doctor

2つの計測結果を表 2 にまとめる。本システムによる計測では、すべての軸において誤差 $\pm 10^\circ$ の範囲に 70% 以上のデータが分布した。一方で医師の目視による計測ではロール軸、ピッチ軸においてはそれぞれ 70% 以上のデータが分布したが、ヨー軸において誤差範囲 $\pm 10^\circ$ に分布したデータは 44% であった。

表 2 誤差範囲別データ分布

Table 2 Data distribution with error ranges

	ヨー軸		ロール軸		ピッチ軸	
	Kinect	医師	Kinect	医師	Kinect	医師
$\pm 5.0^\circ$	39%	18%	48%	64%	53%	56%
$\pm 7.5^\circ$	55%	32%	61%	81%	73%	66%
$\pm 10.0^\circ$	71%	44%	76%	90%	84%	72%

3.6 考察

従来の代表的な症状評価手法である TWSTRS では、首の姿勢に関してヨー軸、ロール軸、ピッチ軸の 3 軸において 20° 毎に点数が一点加算される 3)。このため真値に対して $\pm 10^\circ$ の範囲内に収まる計測ができれば、TWSTRS のために利用可能であることを示せたといえる。実験の結果、本システムは $\pm 10^\circ$ の誤差範囲内にヨー軸で 71%、ロール軸で 76%、ピッチ軸で 84% のデータが含まれていることが確認された。一方医師の目視では $\pm 10^\circ$ の誤差範囲に対して、ロール軸では本システムよりも高い 90% のデータが含まれていたが、逆にヨー軸においては 44% となった。

以上の結果から、本システムは医師の目視と比較して各軸の計測精度に偏りが少なく、痙性斜頸患者の姿勢評価に使用するには妥当な精度を持つ可能性があると言える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、痙性斜頸の正確な症状評価を目的として Kinect を用いたシステムを制作した。計測精度を検証した結果、実際の患者の姿勢評価に適用できる可能性が示唆された。

今後はソフトウェアで評価可能な症状の種類を増やしていく。具体的には、痙性斜頸の症状である頭部の振戦や平行移動量などがある。また本稿では痙性斜頸患者の姿勢評価のみに焦点を当てたが、パーキンソン病など他の運動障害患者の姿勢評価への応用も検討する。

参考文献

- 1) 平孝臣, 堀智勝: ジストニアに対する脳神経外科治療, 脳神経外科ジャーナル, Vol.13, No.5, pp. 353-362 (2004).
- 2) 旭ら: ハンガー反射を利用した痙性斜頸の治療の臨床応用, UMIN CTR 臨床試験, UMIN000007772 (2012).
- 3) CONSKY, E. S., et al.: The Toronto Western Spasmodic Torticollis Rating Scale (TWSTRS): assessment of validity and inter-rater reliability, Neurology, Vol.40, No.1, pp. 445 (1990).
- 4) Tsui, Joseph K C., et al.: Double-blind study of botulinum toxin in spasmodic torticollis, The Lancet, Vol.328.8501, pp. 245-247 (1986.)
- 5) Jost, Wolfgang H., et al.: Rating scales for cervical dystonia: a critical evaluation of tools for outcome assessment of botulinum toxin therapy, Journal of Neural Transmission, Vol.120, No.3, pp. 487-496 (2013).
- 6) Sommer S, Viga R, Petersen H, Koletzki E, Jost W, Zervitov: a new tool to measure head position in patients with cervical dystonia: preliminary results, Mov Disord, 24.Suppl 1, pp. 117-118 (2009)
- 7) 梶龍兒, 大澤美貴雄, 柳澤信夫: 痙性斜頸患者における Toronto Western Spasmodic Torticollis Rating Scale (TWSTRS) の評価者間信頼性の検討, Brain and nerve, Vol.61, No.1, pp. 65-71 (2009)
- 8) Smart Tools co., Smart Compass (2013)
<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.compass&hl=ja>