

脊椎固定術器具の操作性評価システムの開発

Maneuverability evaluation system of spinal fusion devices

○ 柴田彩, 石坂要磨, 小林詩織, 山内康司 (東洋大)

金子しのぶ, 金井克也 (㈱田中医科器械製作所)

Aya SHIBATA, Yoma ISHIZAKA, Shiori KOBAYASHI and Yasushi YAMAUCHI
Toyo University
Shinobu KANEKO, Katsuya KANAI
Tanaka Medical Instruments Co.,Ltd

Abstract: In recent years, a minimally invasive procedure, percutaneous pedicle screw (PPS) fixation, has been introduced for the treatment of degenerative spinal disorders. However, the torque driver used for PPS fixation requires surgeons to raise their arm when operating on patients, which increases the muscular workload. Our system visualizes the force and torque required for tightening the plug as well as the subject's wrist angles during the tightening motion. A screw was set on a 6-axis force sensor to measure the force and torque in three dimensions. A goniometer was used to measure wrist angles in two dimensions, and a video camera to capture the status of the whole arm. Four different postures were tested for tightening the screw. In the future, muscle fatigue and a comparative study of different forms of PPS devices will lead to the development of a comprehensive evaluation system for surgical instrumentation.

Key Words: Spinal fusion, Torque driver, Goniometer, Force sensor

1. 背景

脊椎外科手術では、脊椎の変性疾患を治療するために器具を用いた脊椎固定術が広く普及している。脊椎固定術では、脊椎の切除部分の補填として骨移植がなされた後に、インプラントによる固定が行なわれるが、この方法では、100~150mmの大きな切開が必要であり侵襲が大きく患者には長期入院が必要である。これを解決するために、近年では経皮的椎弓根スクリュー(PPS)という、より低侵襲の方法が実用化されている。PPSとは、数十mmの切開から経皮的にドライバーを挿入し、椎弓根スクリューを連結する手法である。

しかしながら現在のPPS器具は術者にとって操作性が必ずしも良くなく、使いやすいとは言えない。一例としてPPS手技に使用するドライバーは長さが約300mmあり、手術台にいる患者に使用するには術者は腕を高く上げている必要がある。この姿勢では、筋肉に負担がかかるほか、安定した保持が難しい。

2. 目的

これまで我々は、手術器具の操作性の評価指標の一つとして、ゴニオメーターを用いた手首の角度計測を試みた⁽¹⁾。このような姿勢データに加え、操作に要する力を計測することが操作性の評価につながるのではないかと考えている。その第1歩として、PPSにおいて、ドライバーでスクリュー頭部のプラグを締めきる時の力とトルク、およびそのときの手首の角度をリアルタイムで計測する試みについて報告する。

3. システム構成

操作性評価システムは、6軸力覚センサ、ゴニオメーター、昇降台、およびビデオカメラよりなる。6軸力覚センサ(共和電業 LFM-A-1KN)の上部には、プラグを模した六角穴付ボルトを固定してドライバーをあて、締結時の力とトルクを各3軸方向に計測する(Fig.1)。また、センサは昇降台に固定し、被験者の身長に応じて高さを変える。ゴニオ

メーターは、手首の角度を計測できる手首内側(利き手)に装着し、2軸方向(手首の垂直回転をX軸、水平回転をY軸)の角度を計測する(Fig.2)。計測したデータは、専用の計測ソフトウェアでA/D変換し記録と解析を行なう。さらにビデオカメラで計測時の被験者の様子と手首の様子も記録する。

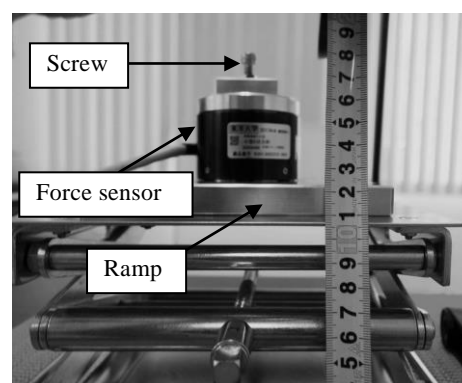


Fig.1 A screw fixed on 6-DOF force sensor.

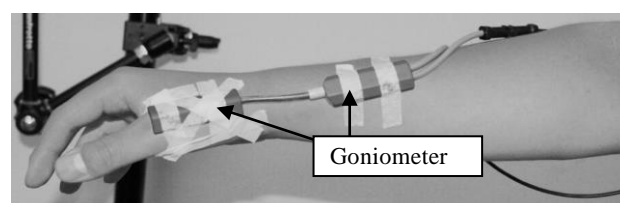


Fig.2 Wrist angle measurement with goniometer.

4. 方法

被験者は20代男性(右利き)である。ドライバーの握り方は、ドライバーを上から握る「水道握り」と外側から握る

「側面握り」の2種類とし、肘の高さは肘を45°開いた時の肘の状態を「低い」、肘を肩の位置に上げた状態を「高い」とした2種類の計4条件での締結操作を行なってもらった。これらの条件は、実際の臨床での締結操作時の姿勢を参考とした。

操作はドライバーでボルトを水道の蛇口を締めきる程度の力で時計回り(右方向)に締結させた。記録はボルトを回した時の手首の角度変化を計測するため、計測開始直後はドライバーを構えさせ、その3秒後ボルトを回させた。そして、締めきれたと被験者が感じた所で元の位置にドライバーを回した時点(トルクが0Nmを示した時点)で記録を終了した。

5. 結果

紙面の都合上、側面握りの結果のみを示す(Fig.3,4,5,6)。力(Fig.3)・トルク(Fig.4)共にセンサに対して上方が正のため、締結により値は負になっている。

力については締結時に常に負の値を示し、ボルトを下向きに押し下げることが確認できた。肘が低い場合では力を約-10N加えているが、高い場合では力がほとんど加わっていないことが明らかになった。

トルクについては、肘が低い場合は約-2Nmあるが加わっているが、高い場合は約-1.4Nmであり、低い場合より小さかった。

手首角度の結果を Fig.5, Fig.6 に示す。垂直方向(Fig.5)の手首の角度は、肘が低い場合は締結する時に手首を約5°変化していたが、高い場合は約3°であった。水平方向(Fig.6)については肘が低い場合は約13°の角度変化がみられ、高い場合は約4°の変化があった。

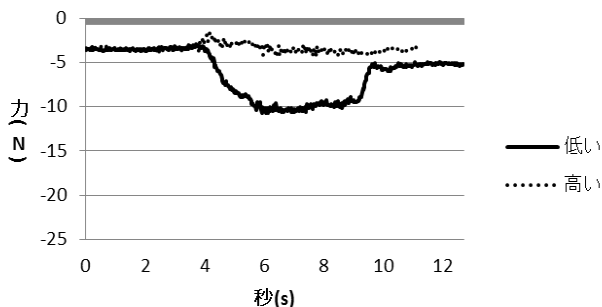


Fig.3 Tightening forces in vertical gripping.

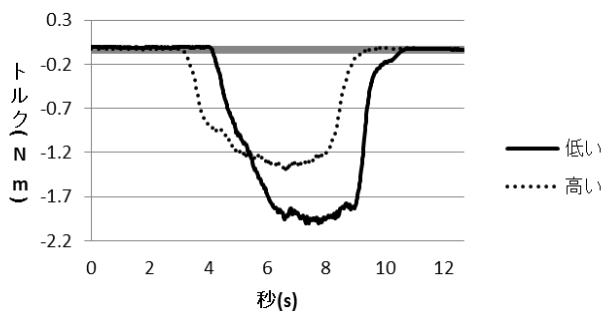


Fig.4 Tightening torques in vertical gripping.

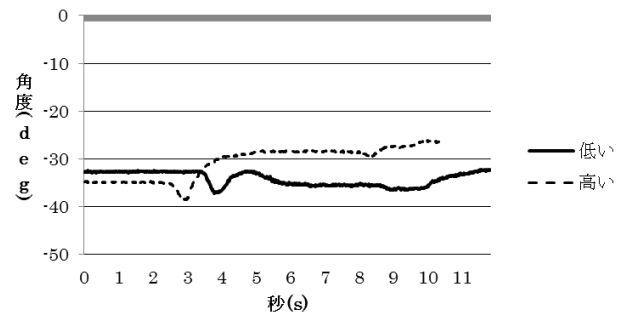


Fig.5 Right wrist angle in Y-axis direction.

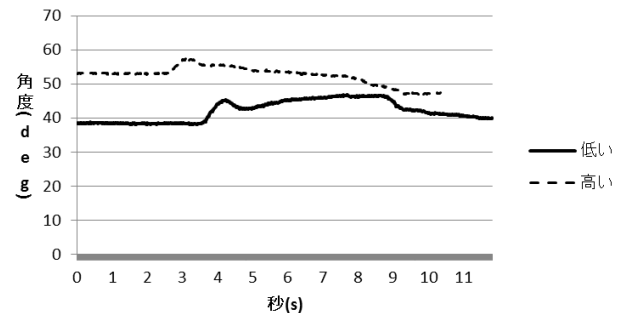


Fig.6 Right wrist angle in X-axis direction.

6. まとめ

以上の結果から、ドライバー操作時の力とトルク、および手首の角度変化を計測できることが示された。

側面握りでの締結操作において、肘の高さを変えて比較した場合、力・トルクともに肘が低い場合の方が大きかった。これは肘を高く上げたことによって力が入りにくくなったため、思うように締結操作を行うことができなかったのではないかと考えられる。手首の角度に関しては、ボルトを回す方向に角度変化があり、肘が低い場合は高い場合より角度変化が大きいことが確認できたことから、肘が低い位置にあると手首を大きく動かすことができると考えられる。よってドライバーを側面から握り締結操作をする場合は、肘を45°に開き肘の向きを低い位置から操作を行なうと力が加わりやすくなり、安定的に締結できることが推測される。

今後は筋疲労を計測するための筋電計なども併用すると共に、形状や寸法が異なるドライバーの比較実験等を検討し、総合的な手術器具操作性評価システムへとつないでいきたい。

7. 謝辞

本研究の一部は、平成25年度ふくしま医療福祉機器開発事業費補助金「日本人医師に適した低侵襲脊椎固定用手術器械(経皮的脊椎スクリューシステム)の開発」事業の支援を受けて行われました。

参考文献

- (1) 柴田彩, 山内康司, ゴニオメーターを用いた鉗子操作時の手首運動の計測
- (2) 人間特性データベース 独立行政法人製品評価技術基盤機構 <http://www.tech.nite.go.jp/human>