

令和元年6月26日現在

機関番号：20103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12527

研究課題名(和文) 脊柱側弯症患者の呼吸動作による体幹変形への影響

研究課題名(英文) Evaluation of trunk deformation of scoliosis patients

研究代表者

加藤 浩仁 (Kato, Koji)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：30273874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本課題の目的は、呼吸運動に伴う体幹形状の変化の取得と有限要素法を用いた力学的解析である。また、そのためのシステム構築である。システム構築では、大型液晶モニターと2台の小型深度センサーを利用し、システムの小型化と広範囲から体幹の計測を可能とし、計測精度の向上を図ったものを構築した。その結果、上面から見た場合、体幹の約220度の範囲をカバーすることが可能となり、より精度よく体幹を近似することが可能となった。次に、有限要素法を用いて側弯症の患者の脊椎及び肋骨の力学的解析を行った。形状の変化が最も大きい部位である3対の肋骨と脊椎を用いて評価を行い、呼吸運動が脊柱のねじれに影響を及ぼすことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で焦点を当てている特発性脊椎側弯症の原因は、未だ不明であり、盛んにその原因に関する研究が行われている。申請者は、呼吸動作の影響を考え、その影響を有限要素法を用いて、解析を行った。さらに、呼吸動作による影響の一つとして、体幹形状の動的な変化が考えられる。その形状の変化を深度センサーを用いることで正確に評価し、脊柱側弯症のスクリーニング検査として用いることを提案した。その結果、複数の深度センサーを用いることで、体幹形状を正確に近似でき、評価が行えることを示した。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is acquisitions of human trunk shape with respiratory movement and dynamic analysis using finite element methods. This system consists of a large LCD monitor and two small depth sensors. Therefore the downsizing of the system and the measurement of the human trunk from the wide area were enabled, and this system was able to improve the measurement precision. As a result, this system could cover a range of about 220 degrees of the human trunk and approximate the shape precisely. Then, we performed the dynamic analysis of spine and ribs of the scoliosis patient using a finite element method. We evaluated the dynamic analysis using three pairs of ribs and the spine which the change of the shape had the biggest and confirmed that respiratory movement had an influence on the torsion of the spinal column.

研究分野：知能情報学

キーワード：脊柱側弯症 有限要素法 3次元形状計測

1. 研究開始当初の背景

脊柱側弯症は、原因が未だに解明されてなく、発症を予測することが不可能である。また、初期段階では痛みがなく早期発見が困難で、初期段階の発見には定期的な検査が必要がある。従来、側弯症の検査には、モアレ法や X 線によるレントゲン写真が用いられてきたが、評価の曖昧性や被曝などの問題がある。

近年、3 次元的に肺の形状や体幹の形状を抽出し、脊柱側弯症との関係性を評価する研究が行われている。これらは、左右の肺の容積比と脊椎の湾曲度合いを示す Cobb 角の関係性の評価や 3D Body Scanner を用いて、胸部と腰部の間の捻れ角を計算し、その捻れ角と脊柱側弯症の関係性の評価を行うといったものである。

これらの研究では、肺の容積比や体幹の捻れ角が、従来の側弯症の評価に用いられる Cobb 角と高い相関があることを示したが、大規模な専用の機材が必要であり、一つの検診にかかる時間的コスト、費用的なコストがかかる。そのため、定期的な検診に用いることは困難であり、早期発見には繋がりにくい。

2. 研究の目的

脊柱側弯症は、脊椎が正面から見て大きく横に湾曲した病気である。脊柱側弯症の発生時期は殆どが思春期による特発性のもので、進行すると側弯変形の影響により胸郭変形が起こり、循環器や呼吸器に影響が出ることがある。側弯症は初期段階であれば、手術などを必要とせず、体幹装具だけで進行を遅らせることができる。そのため、早期発見が課題となっている。

また、この側弯変形と胸郭変形の関係は、呼吸運動によって常に動的に変化することは臨床的に認識されているものの、その関係について解析した研究は殆ど無い。そこで、本研究では、脊柱側弯症患者の呼吸運動に着目し、呼吸運動に伴う胸郭変形と脊椎側弯症の関係性について解析する。また、この胸郭変形を検出するシステムの開発を行う。このシステムを用いることで、脊柱側弯症の早期発見が可能になると考える。

3. 研究の方法

体幹形状獲得システムを構築する。本システムの流れは、以下のようになる。

被験者を前後 2 方向から撮影し、体幹形状を獲得する。

この体幹形状から、肩から腰の部分に向かって、スライス状に断面のデータを作成する。断面のデータより、体幹を楕円と見立て、楕円で近似する。従来の研究より、この捻れ角と側弯症に関係性があることが確認されている。そこで、本研究においても、同様に楕円で体幹を近似する手法を用いる。

ここで、近似された楕円の式より、楕円の長径と短径を用い、捻れ角を計算する。

この処理を、呼吸動作を行っている間、逐次計算する。

次に、呼吸動作に伴う、脊椎と肋骨の力学的解析を行う。患者の 3D モデルより、有限要素法を用いることで、呼吸動作をシミュレートし、力学的解析を試みる。呼吸動作に伴う、捻れの大きな場所と実際に脊椎の捻れの大きな場所の相関を検証し、呼吸動作がどのように側弯症の進行に影響しているかを検証する。

そこで、

旭川医科大学において、患者の協力の下に、体幹の CT 画像を獲得する。

CT 画像より、脊椎と肋骨の 3D モデルの構築を行う。

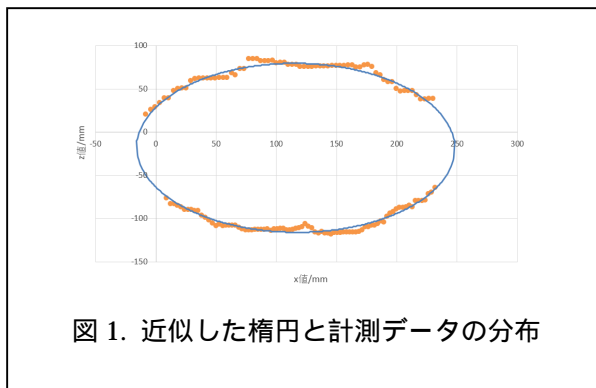
獲得された 3D モデルに対し、呼吸動作をシミュレートした力を加え、有限要素法を用いて応力分布を求め、骨の変形を検証する。

研究協力者である医師に、ここで得られた結果の評価を行ってもらう。

といった流れで、実験及び評価を行う。健常者の場合、肋骨及び脊椎に対し、ほぼ左右均等に力がかかっており、呼吸運動が捻れを起こすことは考えにくい。

3. 研究成果

本提案では、前後 2 方向に深度センサを配置し、体幹形状の獲得を行った。そこで、獲得された体幹の断面を図 1 に示す。ここで、点で表示されたものがセンサ情報であり、そのセンサ情報を用いて近似された楕円を実線で示している。



この獲得された楕円を利用し、呼吸動作とともに体幹がどのように振れるかを評価したものを図2に示す。実践で表示された部分が、平均値であり、静止状態においても体幹が振れているのがわかる。また、黒い線で表されているのが、呼吸動作に伴う振れの範囲を表している。次に、健常者のものを図3に示す。これらの図より、側弯症患者の体幹の振れは静止状態のみならず、呼吸動作においては、体幹全体が振れており、その幅も大きいことがわかる。他の例をスケールを合わせて表示したものを図4に示す。

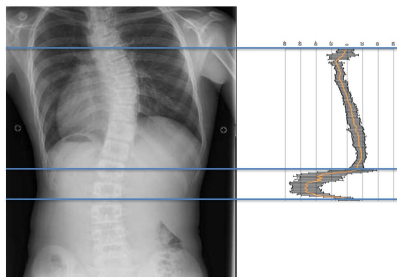


図2 呼吸動作に伴う体幹の振れ

次に、図5に示す側弯症患者のCTデータをもとに行った力学的解析について述べる。本提案では、この肋骨及び脊柱より、最も変形の大きな3対の肋骨及び脊柱を取り出し、評価を行った。従来は、一对の肋骨と脊柱のみで行っていたが、振れの方向に力が働いていることは確認できたが、三次元的な変形の評価が困難であり、このように3対用いることで、より正確な変形を検証することが可能となる。抽出した肋骨と脊柱に対し、外肋間筋を仮定し、収縮運動をさせることで呼吸動作をシミュレートした。その際の、応力分布と歪を検証した。その結果を図6に示す。用いたパラメータは、以下の通りである。

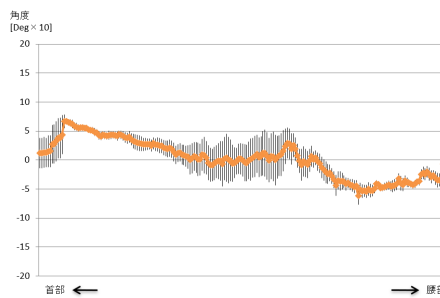


図3 健常者の体幹の振れ

- ヤング率 12GPa
- ポアソン比 0.30
- 収縮させた力 100KPa
- メッシュ数 約20000

となっている。

図6(b)より、集中的に力が脊柱にかかっており、背面から見て右下方向に脊柱が押されるように変形していることがわかる。また、(a)の上面図から、左右で比較して、より脊柱の根本の辺に力が働いており、(a)(b)をあわせて評価すると、上面図上で時計方向と反対方向に脊柱が振れることがわかる。

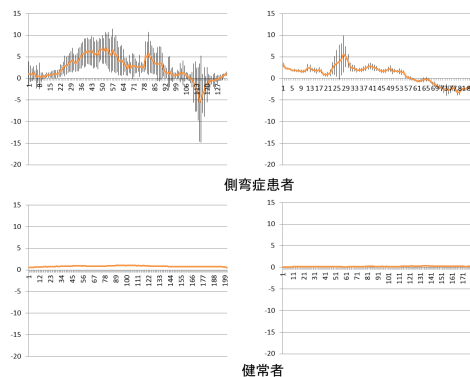


図4 側弯症患者と健常者の比較

次に、歪の結果を図7に示す。初期状態を薄い緑色で表示している。また、最大に変形した状態を濃い色で表紙している。この図では、図の右側は変形により左右方向に広がった形をしているが、さらに呼吸動作により広がった形になっていることがわかる。また左側は、前後方向に広がっていることがわかる。この結果からも、脊柱は右側の肋骨が横方向に変形することで、図の左側に押され、変形を進行させていることがわかる。この変形は、実際の側弯症患者の変形の進行と同じであり、呼吸動作により、変形を進行させているのではないかと考えられる。

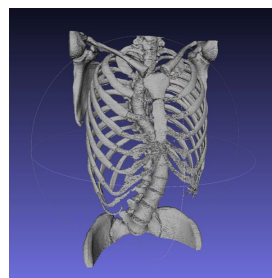


図5 力学的解析に用いた側弯症患者

最後に、3対の肋骨の一番上部の肋骨における各点での変形を評価したものを図8に示す。図のR1からR8、L1からL8までの各点でのx,y,z各軸での変化をグラフにしたものが、それぞれ(a)(b)(c)となっている。これらのグラフより、L1の部分では、x軸方向に約22m広がり、y軸方向に25m広がり、z軸方向に上方に40m移動していることがわかる。また、R1においては、x軸方

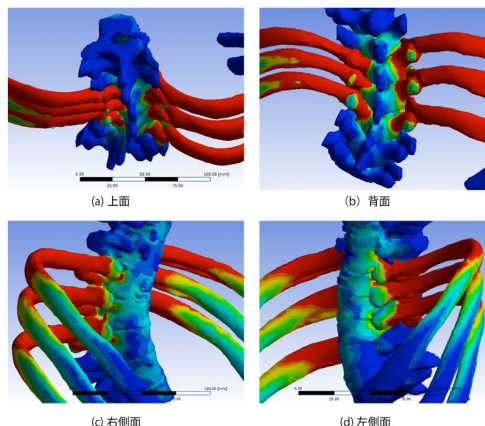
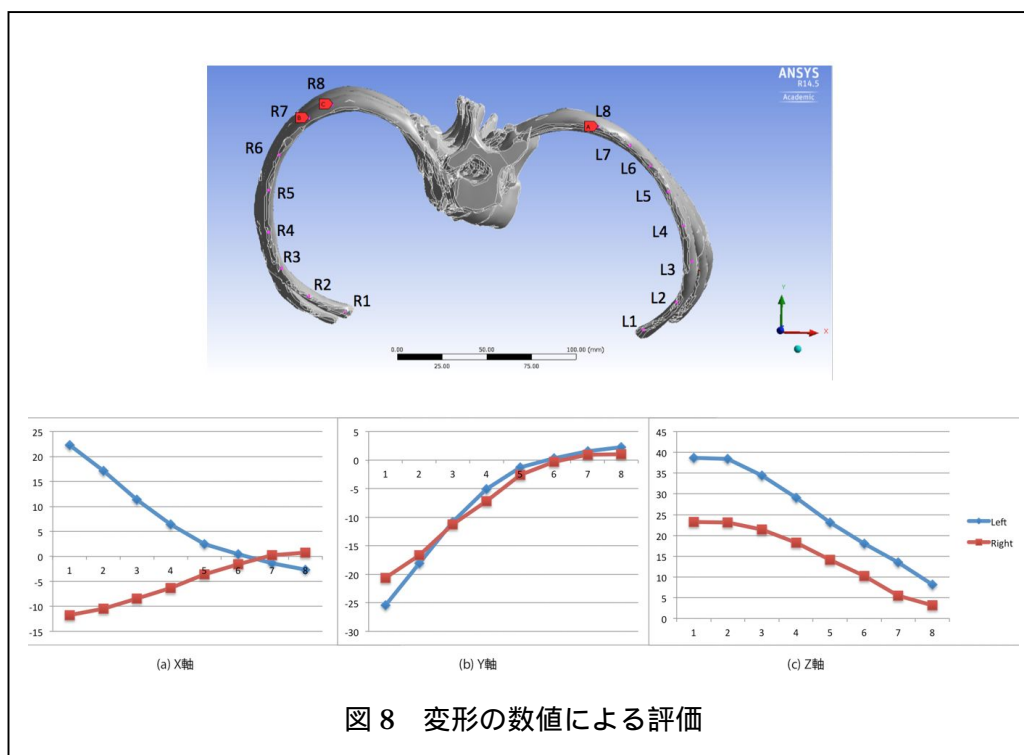
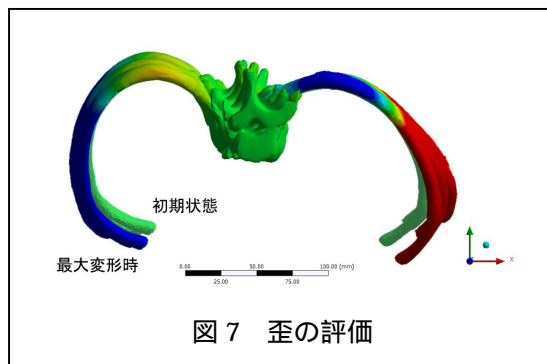


図6 応力分布

向に、12m 広がり、y 軸方向には 20m、z 軸方向には、24m 上方に移動していることがわかる。また、付け根部分である L8 の部分においては、x 軸のグラフより、脊柱を押し出す力により、図の左側に移動していることがわかる。これらのことから、呼吸動作により、脊柱側弯症を進行させる方向に変形していることがわかった。よって、呼吸動作による応力は小さいものであるが、これを繰り返すことで、変形を進行させる要因の一つになるのではないかと考えられる。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

K. Kato, Y. Atsuta, Evaluation of trunk deformation of scoliosis Patients, Int. J. Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読あり, vol. 11, pp. S173, 2016.

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：熱田裕司
ローマ字氏名：Yuji Atsuta
研究協力者氏名：須藤英毅
ローマ字氏名：Hideki Sudo
研究協力者氏名：安倍 雄一郎
ローマ字氏名：Yuichirou Abe

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。