

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01292

研究課題名(和文) 漏斗胸患者に対して、最適な手術計画を「オーダーメイド」するシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Prediction System for Spine Morphology in Treatment of Pectus Excavatum

研究代表者

永竿 智久 (Nagasao, Tomohisa)

香川大学・医学部・教授

研究者番号：20245541

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：胸郭の陥没を主徴とする先天性疾患である漏斗胸に対しては、金属バーを装着して陥没部分を挙上する手術が行われている。胸郭の形態は個体差が存在する。ゆえに良好な形態を得るためには単純にバーを装着するのみでは不十分であり、個々の胸郭の形態を観察しながら、一部の骨を離断したり、バーを装着する位置を変化したりする工夫が必要である。このように個々の患者の胸郭の特性にかんがみ、異なった手術計画をとる必要がある。そこで本研究においては、それぞれの患者について最良の結果を得るためには、どの肋間にバーを装着し、どの部分を離断すれば良いのかについての具体的な手術計画を立てるシステムを開発することを目的として行われた。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed at developing a simulation system that enables pre-operative planning of the most appropriate operative strategy for pectus excavatum. Though correction of the deformed chest is mainly conducted with the placement of correction bars to the thorax, this method doesn't necessarily guarantee optimal results, because the thoraxes present anatomical variation. To achieve optimal results, it is essential to predict the effect of the bar-placement taking into consideration the individual variation of patients, which we set as the goal of the present study.

We first developed a system to produce three-dimensional graphic models referring to patients' data. Then we found a method to assign appropriate material properties to each component of the models. These systems enables surgeons to predict transformation patterns thoraxes would take through operation and select the best operative strategy among the possible ones.

研究分野：形成外科学

キーワード：バイオメカニクス シミュレーション外科 先天変形 漏斗胸 有限要素法 構造解析 画像診断

1. 研究開始当初の背景

20 世紀末に米国で開発されたナス法は、簡便かつ効率的な手術法として全世界に広がり、2010 年頃には漏斗胸に対する標準的な治療法としてほぼ定着した。しかし欠点も指摘されはじめ、改良を求める声も大きくなっている。ナス法における最大の問題点のひとつは、全く同じ手術を行っても、得られる結果が患者により大きく異なる点である。これは胸郭の形態と硬度に個人差が存在するためである。

たとえば胸骨が硬いの肋軟骨が軟らかい症例に対してナス手術を原法通りに行うと、中央部は挙上されるものの、肋軟骨が取り残されてしまう。

この原法通りナス手術を行うと、下部の反り返りが一層強調されることになる。こうした失敗を避けるためには、ナス法の現法を修飾して一部に骨切を加えるなどの補助操作を行う必要がある。

2. 研究の目的

前段で述べたように、漏斗胸に対する治療において真の意味で良好な結果を出すためには、個別の患者につき異なる治療計画を立てる必要がある。

このためには「手術を行うとどのような形となるか」を正確に予測する技術を開発しなくてはならない。本研究にはこれを目的として行った。

具体的には、患者の CT データを基礎とした力学シミュレーションを行うシステムを構築した。

漏斗胸の術前にあっては、心肺の状態をチェックする必要性から CT 検査をほぼ全員の患者に対して施行する。得られた CT データを基にして胸郭の 3 次元シミュレーションモデルを作成し、これを用いて術後の形態を予測するシステムを開発した。

3. 研究の方法

正確に予測を行うためには、個々の患者における胸郭の形態と柔軟性を忠実に反映したシミュレーションを行う必要がある。これについては、まず患者 CT データから胸郭の骨および軟骨の形状データを抽出したのち、画像処理ソフトウェア (+CAD) に移行し 3D モデルとして再構築した。組織の硬軟に応じて 3D モデルを区分した後(図 1) 構造解析ソフト(Simpleware)を用いてメッシュ分割を行い、有限要素モデルに変換した。実際の手術におけるバーの装着を模擬するために、モデルの中央部に前方に向かう負荷を加える力学条件を設定した(図 2)。この条件下において力学解析を行うことで、元の胸郭に対しナス原法を行うと、術後どのような形になるのかを予測することができるようになった。

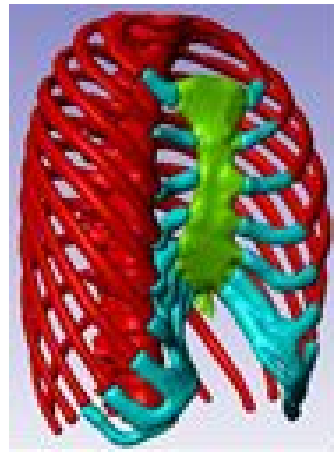


図 1 : CT から作成した胸郭 CAD モデル

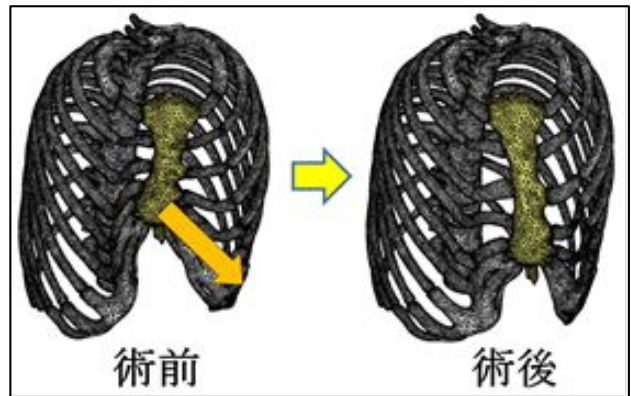


図 2 : 術後形態を予測するシステムを開発した

4. 研究成果

構築した術後形態の予測システムを用いて、手術における最適戦略が立てられるようになった。

たとえばある症例を手術するに先立ち、左右の肋軟骨を切除する戦略(図 17 のプラン A)と、中央部の骨を離断する 2 種類の計画(同図のプラン B)が考えられる場合、双方のプランにのっとったモデルにおけるシミュレーションを行い、予測される結果が美しい方の計画を採用すれば、良好な結果を得ることができる(この場合にはプラン A が採用になる)。

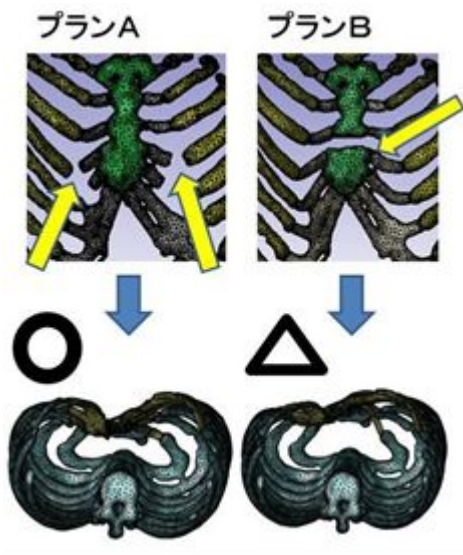


図3：手術計画の一例

(今後の課題について)

上述のごとく単純なナス法、ならびに個別の患者における胸郭の特性に応じて修飾した治療を行った際に、胸郭がどのような形態になるかについてはある程度の予測ができるようになった。しかし図1で示した3次元CADモデルを作成する操作には手作業が必要で、一人の患者について予測を行うために2～3時間程度の時間が必要とされる。この主たる理由はCTデータから軟骨領域を抽出するのが自動判別では困難であるからである。今後はこの時間を短縮するために、人工知能を用いてパターン認識による軟骨域の抽出に取り組み、シミュレーションシステムを自動構築する技術の開発を目指す。

(派生した研究)

本研究の施行により、生体のコンピューターモデリングの技術を開発し、さらにそれを用いた力学シミュレーションができるようになった。この技術を用いて、派生的に顔面骨骨折の発生メカニズムについて研究するに至った。図4のごとく顔面骨ならびに顔面部軟部組織を3次元モデルに変換し、これを用いて有限要素計算を行えば衝撃の負荷と、それによる骨の破壊パターンとの関係性を評価することができる(図5)。



図4：顔面への衝撃シミュレーション

この関係を解明することにより、顔面骨骨

折がいかなる状況の時に発生するのかを解明する研究を2017年より行っている。

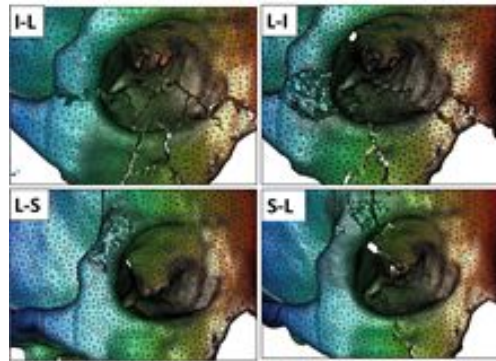


図5：衝撃シミュレーションによる骨折の発生メカニズムの解明

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

1. Nagasao T, Morotomi T, Kuriyama M, Tamai M, Sakamoto Y, Takano N. Biomechanical Analysis of Likelihood of Optic Canal Damage in Peri-Orbital Fracture. Computer Assisted Surgery. 2018 (in press) (査読あり)

2. Nagasao T, Morotomi T, Kuriyama M, Kogure T, Kudo H, Hamamoto Y, Tamai M. Thoracic Outlet Syndrome after the Nuss Procedure for Pectus Excavatum Is it A Rare Complication? J Plast Reconstr Aesthet Surg. 70:1433-1439, 2017. (査読あり)

3. Nagasao T, Kasai S, Shimizu Y, Sakamoto Y, Hatano A, Morotomi T, Ogata H, Kishi K. A Biomechanical Study of Relationship between Sternum Defect Patterns and Thoracic Respiration. Computer-Assisted-Surgery 21:1-8, 2016. (査読あり)

4. Nagasao T, Hamamoto Y, Tamai K, Kogure T, Takano N, Tanaka Y. Scoring of Deformed Costal Cartilages Reduces Postoperative Pain after Nuss Procedure for Pectus Excavatum. Thoracic Cardiovascular Surgeon. 64:62-69, 2016. (査読あり)

5. Nagasao T, Hamamoto Y, Tamai M, Kudo H, Ensako T, Kogure T, Takano N, Tanaka Y. The “Sea” Should Not Be Operated on in Scar Revision for “Island-Like” Scars. Medical Hypotheses. 85:215-218, 2015. (査読あり)

〔学会発表〕(計5件)

①第59回日本形成外科学会
永竿智久「肋軟骨の切開はナス手術後の疼痛を減弱させる」2016年

②第25回形成外科基礎学術集会
永竿智久「大学病院における3次元プリンターの臨床および教育への応用」2016年

③第17回漏斗胸手術手技研究会
永竿智久「漏斗胸の治療に関する最先端」

第60回日本形成外科学会
永竿智久「形成外科研究のブレイクスルー」

第26回形成外科基礎学術集会
永竿智久「顔面骨骨折の発生メカニズム」

〔図書〕(計1件)

漏斗胸の治療：永竿智久・野口昌彦 著
克誠堂出版 2016. 1-200.

〔その他〕

ホームページ等

①「むねのかたち」研究室
<https://www.med.kagawa-u.ac.jp/~keisei/routo/>

②香川大学医学一工学研究室
<http://biomedical-engineering-research.org/>

③香川大学医学部 形成外科学教室ホームページ
<http://www.kms.ac.jp/~keisei/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

永竿 智久(NAGASAO Tomohisa) (49)
香川大学・医学部・教授
研究者番号：20245541

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

高野 直樹(TAKAN0 Naoki) (50)
慶應義塾大学理工学部・機械工学科・教授
研究者番号：10206782