



|                     |                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 高生体適合性インプラントを用いた脊柱側弯症手術の有限要素解析を用いた矯正予測に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]                                              |
| Author(s)           | 館, 弘之                                                                                                   |
| Description         | 配架番号 : 2837                                                                                             |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                   |
| Degree Name         | 博士(医学)                                                                                                  |
| Dissertation Number | 甲第15903号                                                                                                |
| Issue Date          | 2024-03-25                                                                                              |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/92116">https://hdl.handle.net/2115/92116</a>                       |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a> |
| Type                | doctoral thesis                                                                                         |
| File Information    | TACHI_Hiroyuki_review.pdf, 審査の要旨                                                                        |



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称      博士（医 学）      氏 名   舘   弘之

|       |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|
|       | 主査 | 教授 | 向野 | 雅彦 |
| 審査担当者 | 副査 | 教授 | 田中 | 真樹 |
|       | 副査 | 教授 | 矢部 | 一郎 |

### 学 位 論 文 題 名

高生体適合性インプラントを用いた脊柱側弯症手術の有限要素解析を用いた矯正予測に関する研究

(A study on surgical outcome prediction of scoliosis surgery using anatomically pre-bent rods using a surgical simulation system with finite element analysis)

申請者は、特発性側弯症に対するプリベントロッドを用いた手術の結果を予測するシミュレーションモデルの開発とその精度の検証について報告を行った。本研究では、47 名の特発性側弯症患者を対象に、手術前に解析ソフトウェア ANSYS 上に患者ごとの DICOM データから作成された椎体モデルから脊椎の有限要素モデルを構築し、プリベントロッドを用いた手術のシミュレーションを実施した。そして実際にプリベントロッドを用いた手術を実施したのち、CT で評価した実際の矯正の結果と術前のシミュレーションの結果とを比較し、その精度を検証した。この検討の結果、シミュレーションによって得られた予測結果と術後の CT で得られた値との間には冠状面、矢状面の計測角および頂椎回旋角において有意な相関を認め、さらに平均絶対誤差および平均平方二乗誤差ともに 5 度以内と、高い精度でシミュレーションによる予測が可能であることが示された。

審査では、まず田中教授からモデル構築の独自性について質問がなされた。申請者は、このモデルがシミュレーションソフトウェアの ANSYS 上でプリベントロッドを用いた手術のために独自に構築されたものであることを説明した。また、矯正する際に背筋群を考慮せず、骨とスクリューのみの条件で矯正を行うことはシミュレーションとして適切かとの質問があった。申請者は、手術手技の中で背筋群等は展開して手術を行っているため矯正そのものへの影響は少なく、シミュレーションの条件としては妥当であると考えていると回答した。また、肋骨や肩甲骨等他の要素の影響も考慮されるべきではないかとの質問に対し、現在はモデルを単純化するために胸椎と腰椎にしぼって解析を行っており、さらに実際の肩甲骨バランス等も考慮に入れるとモデルの精度が上がる可能性があるが、モデルの構造を複雑にすることで演算量が増えて計算が収束しない可能性もあり、今後の検討課題であると回答した。

次に、矢部教授より、ロッドに対する内部応力に関して実際のロッド変位量から計算できると考えられているが、過去の報告と比較した新規性はあるか、との質問があった。申請者は、ロッドに関しては変異からどこに応力が集中するかは計算することは可能であり、過去にも報告されているが、矯正の際に椎体やスクリュー等から得られる反力としての応力を反映しているモデルは存在せず、リアルタイムで矯正の際に力がかかっていることを

示している点での新規性があるとの回答があった。また、椎間関節を切除して矯正を行うのであればロッドの種類やカーブの形状にばらつきがないのが正常であり、長さのみで分類されたロッドが作成されるのではないかと質問があった。申請者は、側弯による変形には様々なバリエーションがあり、その中で実際の手術で用いたロッドの形状を元にプリベントロッドを作成しているため、長さのみが異なる画一的なロッド形状にはならないと考えられると回答した。

最後に向野教授より、解析手法について精度評価には方向性の情報を含まない平均絶対誤差と平均平方二乗誤差をみるだけでなく、そのばらつきの範囲や、固定誤差や比例誤差の検討も必要ではないかとの指摘がなされた。申請者は、今回はシミュレーションモデルに絶対的な精度があるかを評価するために今回の評価手法を用いており、今後次のステップとしてその誤差の特性の評価のために比例誤差等の評価を行うことも考えられる旨、回答があった。また今回は手術の結果について動的なシミュレーションをしているが、手術後にインプラントにかかる力について動作時のシミュレーションも可能かとの質問があった。申請者は、理論的には可能であるが、術後は骨癒合等により応力分布が矯正の際と変化するために解析ははるかに複雑になるとの回答があった。

この研究は、側弯症に対してプリベントロッドを用いた手術を実施する上で、矯正結果についての精度の高い予測が可能となるシミュレーションモデルを作成し、実際の手術例において術前のシミュレーションと術後 CT による評価とを比較することによりその高い精度を直接示したもので、側弯症の治療の進展に大きく貢献する可能性がある。

審査員一同はこれらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。