

学位授与番号：乙3062号

氏名：長島弘泰

学位の種類：博士（医学）

学位授与日付：平成25年5月8日

学位論文名：

片開き頸椎管拡大術におけるラミナ・スペーサーの意義に関する研究-有限要素解析法による検討

主論文名：

片開き頸椎管拡大術におけるラミナ・スペーサーの意義に関する研究-有限要素解析法による検討

学位審査委員長：小川武希教授

学位審査委員：南沢享教授、丸毛啓史教授

# 論 文 要 旨

論文提出者名	長島 弘泰	指導教授名 阿部俊昭
<p data-bbox="193 349 355 383">主論文題名</p> <p data-bbox="193 389 1345 510">片開き式頸椎管拡大術におけるラミナー・スペーサーの意義に関する研究 - 有限要素解析法による検討 脊髄外科 in press</p> <p data-bbox="193 584 1410 824">【目的】 頸椎症性脊髄症に対する手術療法の一つである片開き頸椎管拡大術には、挙上した椎弓を維持する工夫が必要である。挙上椎弓の維持に用いられる主な手法には、stay suture(SS)、laminar spacer(LS)、titanium miniplate(TM)などがあるが、それらの効果を比較した基礎研究は少ない。そこで、3次元有限要素解析モデル(FEM)を用いて、椎弓やLS、TMに生じた応力分布の変化からそれぞれの構造力学的な相違を検討した。</p> <p data-bbox="193 831 1410 1070">【方法】 第5頸椎の骨モデルを用いてFEMを作成し、一側の椎弓を切離し他側の椎弓に溝を設け、片開き頸椎管拡大術の如く椎弓を挙上させた(Gモデル)。コンピュータ上で作成したSS、LS、TMをGモデルに装着し、それぞれを使用した片開き頸椎管拡大術を模倣したモデルを作成した。それらの挙上椎弓に、上下方向と斜め方向の負荷を加え、骨とLS、TMに生じた応力を解析し、応力分布の変化、最大Mises応力、並びに最大変位を評価した。</p> <p data-bbox="193 1077 1410 1272">【結果】 GモデルとSSモデルでは応力が蝶番部に集中し、LSモデルとTMモデルでは蝶番部の応力が著明に減少した。TMモデルでは挙上椎弓とTMの結合部に応力が集中し、同部のスクリューが離脱するような変位を認めた。LSモデルでは外側塊とLSの結合部に最大応力が生じた。最大Mises応力、最大変位ともにLSモデルで最小であった。</p> <p data-bbox="193 1279 1410 1406">【結論】 片開き頸椎管拡大術のFEMにおいて、LSの蝶番を安定させる効果は、SSやTMより優れており、同手術後の蝶番部における合併症を軽減する可能性が示唆された。</p>		

## 論文審査の結果の要旨

長島弘泰氏の学位審査論文は主論文1編、副論文2編よりなり、主論文は“片開き頸椎管拡大術におけるラミナ・スペーサーの意義に関する研究-有限要素解析法による検討”と題した論文で阿部俊昭教授の指導により作成され、脊髄外科誌 2013年27巻2号に掲載された。

以下、主論文の要旨と審査結果を以下、論文要旨と審査委員会の結果を報告する。

[目的] 頸椎症性脊髄症に対する手術療法の一つである片開き頸椎管拡大術には、挙上した椎弓を維持する工夫が必要である。挙上椎弓の維持に用いられる主な手法には、stay suture(SS), laminar spacer(LS), titanium miniplate(TM)などがあるが、それらの効果を比較した基礎研究は少ない。著者は3次元有限要素解析モデル(FEM)を用い、椎弓やLS, TMに生じた応力分布の変化からそれぞれの構造力学的な相違を検討した。

[方法] 第5頸椎の骨モデルを用いてFEMを作成し、一側の椎弓を切離し他側の椎弓に溝を設け、片開き頸椎管拡大術の如く椎弓を挙上させた(Gモデル)。コンピュータ上で作成したSS, LS, TMをGモデルに装着し、それぞれを使用した片開き頸椎管拡大術を模倣したモデルを作成した。それらの挙上椎弓に、上下方向と斜め方向の負荷を加え、骨とLS, TMに生じた応力を解析し、応力分布の変化、最大Mises応力、並びに最大変位を評価した。

[結果] GモデルとSSモデルでは応力が蝶番部に集中し、LSモデルとTMモデルでは蝶番部の応力が著明に減少した。TMモデルでは挙上椎弓とTMの結合部に応力が集中し、同部のスクリューが離脱するような変位を認めた。LSモデルでは外側塊とLSの結合部に最大応力が生じた。最大Mises応力、最大変位ともにLSモデルで最小であった。

[結論] 片開き頸椎管拡大術のFEMにおいて、LSの蝶番を安定させる効果は、SSやTMより優れており、同手術後の蝶番部における合併症を軽減する可能性が示唆された。

以上の内容に対し、平成25年4月22日、南沢享教授、丸毛啓史教授の御臨席のもと、公開学位論文審査委員会を開催した。長島氏による研究概要の発表に続いて口頭試問を実施した。席上、以下のような質疑がなされて回答した。

Q1:第5頸椎をモデルとして選択した理由について。

A:多くの変形性頸椎症は、第三頸椎以下の中下位頸椎に脊柱管狭窄を生じる。第5頸椎は中下位頸椎において最も大きな可動域を持ち、骨棘形成などの骨変形を生じやすいため、第5頸椎を選択した。

Q2:骨や縫合糸、TM, LMでの有限要素数や形状について。また、骨と材料の

結合部分の計算要素について。

A:CATIA というコンピューターソフトウェアを使用し、成蹊大学理工学部教室で解析した。要素数は椎体 28200, プレート 2186, スペーサー2984 である。骨と金属プレートの拘束条件は、一致と面接触, 軸一致とボルト締め付け結合(締め付け力 15N), バスケット型スペーサーの一部には一致と剛体拘束を用いた。

Q3.骨の材料特性は何によって決めたか。

A:健全者の骨の特性を文献的に調べた。

Q4.高齢者における骨密度の低下が解析結果に影響を及ぼす可能性について。スクリュー固定部位の骨の脆弱性により縫合糸使用モデルが優位となる可能性はないか。

A:今回使用した手法は線形解析であり、全体として変位が大きくなることが予想されるが、各モデル間の応力分布の相違には大きな影響を及ぼさないと考える。

Q5.生体内では、より複雑な荷重が生じていることが予想される。本研究で多様な荷重を負荷しなかった理由、また今後の実験系についての展望。

A:挙上椎弓が生体内で受ける荷重負荷は明らかではないので、今回の解析では挙上椎弓の再開鎖に関わる荷重を想定した。多椎体のモデルに筋、靭帯などの要素を加え、頸椎の運動負荷を加えれば、実際に生体内で生じている状況に近似させることが可能と考える。

Q6.今研究の移植材料をチタンに統一しているが、実際の手術において、他の材質が使用されることはあるか?他の材質が解析結果に及ぼす影響について。

A:スペーサーの材質は、ハイドロキシアパタイトなどセラミック素材が多い。今後、セラミックスペーサーとチタン製スペーサーを比較する実験を予定している。

(COMMENT. 実際の手術では、一椎弓のみの椎弓形成術を行うことは少なく、多椎弓を一塊として挙上する。そのような実験系における解析結果に興味がある。)

Q7.荷重条件の決定についての根拠。

A:荷重の大きさに医学的根拠はない。今回の FEM では解析対象の線形性を前提としており、荷重に比例して変位や応力も大きくなる。今回の研究は種々の手術法によって生じる応力の相違を相対的に比較することが目的であり、荷重の大きさに医学的根拠を要するとは考えていない。

その後、南沢享教授、丸毛啓史教授両教授と慎重に審議し、本論文は学位論文として十分価値あるものと認定した。