

学 位 論 文 題 名

Biomechanical Analysis of Cervical Stabilization
Systems. An Assessment of Transpedicular
Screw Fixation in the Cervical Spine.

(頸椎内固定法に関する生体力学的研究：頸椎における
経椎弓根スクリュー固定の安定性評価)

学位論文内容の要旨

緒言

近年、不安定頸椎の治療に種々の内固定法が用いられているが、前方法および後方法の選択に関して未だ明かな適応の基準はない。固定法の選択は主に臨床上の椎間不安定性評価に基づくが、*in vivo*における椎間不安定性の多様性はこの選択を困難にする一因となっている。*in vitro*におけるこの基準を確立すべく、頸椎の損傷程度とその範囲を変化させた*in vitro model*を考案した。

腰椎における経椎弓根スクリュー固定は、固定椎間の減少と同時に、他の後方固定法に比べ優れた生体力学的固定性をもたらすと報告されている。近年、頸椎における経椎弓根スクリュー固定の報告が散見されるが、その生体力学的効果は不明であり、これを定量化した基礎的実験の報告はない。

本研究の目的は、1) 7種の頸椎内固定法がもたらす生体力学的安定性と、頸椎の損傷程度と範囲を変化させた4種の不安定性様式がこの安定性に及ぼす効果の検討、2) 頸椎経椎弓根スクリュー固定と従来の頸椎内固定法がもたらす生体力学的安定性を比較することである。

方法

24体の仔牛頸椎(C3-7)を損傷の範囲(1椎間、2椎間損傷)と程度(後方損傷、Three-column損傷)により以下の4群に分類した。Group 1: 1椎間の後方損傷、Group 2: 2椎間の後方損傷、Group 3: 1椎間のThree-column損傷、Group 4: 2椎間のThree-column損傷。1椎間損傷はC5/6、2椎間損傷はC4-6で靱帯及び椎間板を切離して作成した。Three-column損傷では前縦靱帯と前方線維輪のみ温存した。各群で以下の7種の固定法につき生体力学試験を行った。後方AO reconstruction plate: AOP、後方Bohlman 棘突起triple-wiring: TW、経椎弓根スクリュー固定(Asian VSP): TP、前方腸骨移植: BG、前方AcroMed bicortical plate: AM(1椎間損傷のみに実験)、前方AO titanium locking plate: AOA、AOAとTWの前後方固定: AOA+TW。各Spinal ConstructsはMTS試験機(MTS Systems Inc, Minneapolis, MN)を用いて、軸圧(300N)、軸回旋(10 degree)、屈曲(20 degree)、伸展(20 degree)の4種の負荷様式で非破壊試験した。得られる剛性値と、伸び計で計測した固定椎間の前方及び後方部分の転位で安定性を評価し

た。開発したModified Loading Systemは屈曲、伸展負荷における上位椎のunconstrained motionを実現した。統計処理にはOne-way ANOVA with Repeated measuresおよびStudent-Newman-Keuls Testを使用した。

結果

不安定性の増加に最も影響を受けたパラメーターはTorsional Stiffness（捻り剛性）と屈曲負荷下の前方、後方転位であった。AOAおよびAMの前方法は、各後方法より1、2椎間損傷のいずれにおいても、軸圧または軸回旋に対し不安定であった（ $P<0.05$ ）。また、これらは屈曲負荷による後方転位をIntact Spine以下に制御できなかった。1椎間の後方損傷では、AOPおよびTWの後方単独法はいずれの負荷に対してもIntact Spine以上の剛性値を示したが、TPおよびAOA+TWと比較すると低値であった。Three-columnの2椎間損傷では、これら後方法と前方単独法は軸回旋に対して不安定であった。一方、AOA+TWとTPのみがこの損傷様式に対して安定していた。TPは1椎間Three-column損傷モデルにおいてAOA+TWとほぼ同等かそれ以上の安定性を示した。TPのAOA+TWに対する優位性は、2椎間のThree-column損傷における軸回旋と伸展負荷に対して明瞭に認められた。

考察

本研究では、頸椎部における経椎弓根スクリューを含めた7種の固定法がもたらす生体力学的安定性を、臨床でみられる多様な不安定様式を考慮した4つの損傷モデルを用いて評価した。後方損傷、Three-column損傷のいずれにおいても前方プレート固定は不安定であった。1椎間損傷では、経椎弓根スクリューと前後方併用固定術の生体力学的優位性が明らかに示されたが、注目すべきは、経椎弓根スクリュー固定がAnterior and Middle Column Support（脊椎前方支持）の必要性を除外したことである。すなわち、経椎弓根スクリュー固定は後方単独固定でThree-column損傷の安定化を可能とした。

結語

- 1、頸椎損傷の程度と範囲を変化させたin vitro実験モデルは、種々の頸椎内固定法の生体力学的評価に有用であり、その結果はin vitroにおける内固定使用の1つの基準を示した。
- 2、屈曲負荷で認めた後方転位の増大と、軸圧及び軸回旋下の低い安定性は、後方損傷、Three-column損傷のいずれにおいても、前方プレート単独固定の使用を支持しなかった。
- 3、Bohlman棘突起wiringとAO reconstruction plate固定は、1椎間固定ではIntact Spine以上の安定性を示したが、2椎間固定で脊椎前方要素が破壊されると捻り剛性を保持し得なかった。
- 4、前方プレートと後方棘突起wiringの併用、および経椎弓根スクリュー固定は、他の固定法に比べ、生体力学的に優れた安定性を示したが、後者の安定性は多椎間固定で前者を凌駕していた。経椎弓根スクリュー固定によるThree-column固定は、極めて不安定な頸椎に対しても、従来の頸椎固定法では得られなかった後方単独手術による安定性をもたらす。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 田 清 志

副 査 教 授 大 浦 武 彦

副 査 教 授 大 河 原 章

学 位 論 文 題 名

Biomechanical Analysis of Cervical Stabilization Systems. An Assessment of Transpedicular Screw Fixation in the Cervical Spine.

(頸椎内固定法に関する生体力学的研究：頸椎における
経椎弓根スクリュー固定の安定性評価)

本研究の目的は、1) 7種の頸椎内固定法がもたらす生体力学的安定性と、頸椎の損傷程度と範囲を変化させた4種の不安定性様式がこの安定性に及ぼす効果の検討、2) 頸椎経椎弓根スクリュー固定と従来の頸椎内固定法がもたらす生体力学的安定性を比較することである。

方法

24体の仔牛頸椎(C3-7)を損傷の範囲と程度により以下の4群に分類した。
Group 1: 1椎間の後方損傷、Group 2: 2椎間の後方損傷、Group 3: 1椎間のThree-column損傷、Group 4: 2椎間のThree-column損傷。各群で以下の7種の固定法につき生体力学試験を行った。後方AO reconstruction plate: AOP、後方Bohlman 棘突起triple-wiring: TW、経椎弓根スクリュー固定 (Asian VSP): TP、前方腸骨移植: BG、前方AcroMed bicortical plate: AM (1椎間損傷のみに実験)、前方AO titanium locking plate: AOA、AOAとTWの前後方固定: AOA+TW。各Spinal Constructsは力学試験機を用いて、軸圧(300N)、軸回旋(10 degree)、屈曲(20 degree)、伸展(20 degree)の4種の負荷様式で非破壊試験した。

結果

AOAおよびAMの前方法は、各後方法より1、2椎間損傷のいずれにおいても、軸圧または軸回旋に対し不安定であった。1椎間の後方損傷では、AOPおよび

TWの後方単独法はいずれの負荷に対してもIntact Spine以上の剛性値を示したが、TPおよびAOA+TWと比較すると低値であった。Three-columnの2椎間損傷では、これら後方法と前方単独法は軸回旋に対して不安定であった。一方、AOA+TWとTPのみがこの損傷様式に対して安定していた。TPは1椎間Three-column損傷モデルにおいてAOA+TWとほぼ同等かそれ以上の安定性を示した。TPのAOA+TWに対する優位性は、2椎間のThree-column損傷における軸回旋と伸展負荷に対して明瞭に認められた。

考察及び結論

本研究では、頸椎部における経椎弓根スクリューを含めた7種の固定法がもたらす生体力学的安定性を、臨床でみられる多様な不安定様式を考慮した4つの損傷モデルを用いて評価した。後方損傷、Three-column損傷のいずれにおいても前方プレート固定は不安定であった。1椎間損傷では、経椎弓根スクリューと前後方併用固定術の生体力学的優位性が明らかに示されたが、注目すべきは、経椎弓根スクリュー固定が脊椎前方支持の必要性を除外したことである。すなわち、経椎弓根スクリュー固定は後方単独固定でThree-column損傷の安定化を可能とした。

口頭発表にあたり、大浦教授より使用動物の種類とその解剖学的相違、および内固定器具のサイズについて質問があった。申請者は概ね妥当な回答を行った。

また、申請者は大浦教授、大河原教授より個別に審査を受け、合格とのご返事を戴いている。

本論文は頸椎内固定法使用の新しい基準を示すと同時に、頸椎椎弓根スクリューの安定性を初めて定量化した。よって、本論文は博士（医学）に相当するものと認めた。