

学 位 論 文 題 名

EXPERIMENTAL STUDY OF THORACOLUMBAR BURST FRACTURES

— A Radiographic and Biomechanical Analysis of Anterior and Posterior Instrumentation Systems —

（胸腰椎破裂骨折の実験的研究

— 前方・後方脊椎インストルメンテーションのX線学的、生体力学的検討 —）

学位論文内容の要旨

【はじめに】近年、脊柱の様々な病態に対して内固定金属（脊椎インストルメンテーション）が使用されている。脊椎インストルメンテーションは、脊柱変形の矯正と固定、損傷脊柱の整復と固定、脊柱機能障害や神経機能障害の病変除去後の脊柱機能再建などに応用される。現今、多種多様なインストルメンテーションシステムが使用されているが、脊柱の前方よりアプローチするanterior instrumentation system（前方法）と脊柱の後方よりアプローチするposterior instrumentation system（後方法）とに大別される。後方法は、前方法に比較して手技が簡単なこと、椎弓根 screw（pedicle screw）が開発され後方から強固な固定が得られるようになり、脊柱前方に不安定性を有する病態にも広く用いられるようになった。脊椎外傷では、脊柱の前方に不安定性を有し、脊柱管内陥入骨片による神経損傷をとまうことの多い破裂骨折に、posterior instrumentation を使用した間接的脊柱管内骨片整復・固定術が行われている。本研究の目的は、破裂骨折を人工的に作製したヒト胸腰椎モデルを使用し、臨床に应用されている2種類のposterior instrumentation による後方整復の効果をX線学的に検討し、固定後の力学的安定性をanterior instrumentation と比較検討することにある。

【対象と方法】新鮮ヒト屍体胸腰椎（T10-L4）を24個使用した。第1腰椎（L1）椎体と上下椎間板のみに、高速度で軸圧縮荷重が作用するように設計した治具を使用して、L1破裂骨折を作製した。破裂骨折作製後の検体に、posterior instrumentation；（1）椎弓 hook と rod を使用した Harrington distraction rod（Harrington 法、固定範囲；T11-L3, n=12）もしくは、（2）pedicle screw を使用した AO internal fixator（AO 法、固定範囲；T12-L2, n=12）による後方整復・固定を実施した。単純 X-p および C T 撮影を破裂骨折作製前、作製後、posterior instrumentation による整復後に行った。

X-pではL1椎体高と矢状面でのT12, L2椎体間の角度を, CTではデジタイザーを使用して脊柱管面積を測定した。Posterior instrumentationを試験後, 前方除圧を実施し, 前方骨欠損部をグラフトで再建後(腸骨 n=12; Ceramic prosthesis n=12), anterior instrumentation systemであるKaneda deviceによる前方固定を行った(固定範囲; T12-L2)。力学試験は, 軸圧縮, 回旋, 前・後屈の合計3種類の荷重負加試験を, 破裂骨折作製前, 作製後, 後方固定後, 前方固定後の各検体で実施した。

【結果】作製した骨折は, 臨床で見られる損傷形態に類似しており, Denis分類でtype A; 6例, B; 15例, C; 3例であった。Posterior instrumentationによる整復で, 平均14°の後弯が1°の前弯に, L1椎体後方の高さは, 76.6%が96.3%へ改善した(骨折作製前を100%とする)。脊柱管内骨片占拠率は, 骨折作製後57.7%が後方整復後42.3%となり, 骨片整復率は, Harrington法; 12.3%, AO法; 18.5%で有意にAO法が優れていた($p<0.05$)。力学試験では, Kaneda deviceが後方法に比べすべての負荷試験で安定していたが, 特に, 軸圧縮, 回旋負荷で有意差を認めた($p<0.002$)。

【考察】脊椎破裂骨折の病態は, CTの登場により詳細に把握されるようになった。Denisらは, 脊柱をthree columnに分割し, 椎体・椎間板の前方部分によって構成されるanterior columnと, 椎体・椎間板の後方部分によって構成されるmiddle columnの軸圧縮荷重による損傷を破裂骨折と定義した。破裂骨折は, 脊柱のthree columnのうち2つのcolumnが損傷するためmechanicalな不安定性が存在し, middle columnの損傷にともなう脊柱管前壁の破壊が脊柱管内へ突出した陥入骨片を生じ, 神経障害を惹起する。したがって, 胸腰椎破裂骨折の手術治療では, (1) 損傷した脊柱を正常なアライメントに再建し, 十分な力学的安定性を付加すること, (2) 脊柱管前方に存在する神経組織圧迫因子(脊柱管内陥入骨片)を除圧することが求められる。Posterior instrumentationによる間接的後方除圧の原理は, 後方より牽引力を損傷椎に加え脊柱アライメントを改善することで椎体後方の後縦靱帯を含むligamentous complexに伸張力を発生させ, 突出した陥入骨片を前方へと移動させることにある(ligamentotaxis)。本研究でposterior instrumentationはすぐれた脊柱アライメントの整復力を示し, 損傷した脊柱のアライメントは, ほゞ骨折作製前の状態まで矯正された。しかし, 矢状面を中心にした脊柱アライメントの矯正が, 十分な脊柱管内骨片整復には結び付かず, posterior instrumentationを介しての間接的除圧には一定の限界が存在した(平均脊柱管内骨片整復率15.4%)。CT所見から脊柱管内骨片は種々の程度の陥入, 転位を示しており, 特に回旋転位を伴う骨片は後方法では整復困難であった。また, 前方除圧の際, ligamentous complexと骨片の連続性が断たれている検体が多く観察され, posterior instrumentationによる間接的脊柱管内骨片整復には, 陥入骨片の転位の程度, 骨片とligamentous complexの連続性等, 術前に確定不能な要素が存在し, 常に十分な脊柱管内骨片整復を得ることは困難であると思われた。さらに力学試験の結果は, 後方法単独では, 前方に存在する不安定性を制御し強固な支持性を付加することが不可能であることを示した。後方法単独により再建された脊柱は, anteriorとmiddle columnsに広範な骨欠損を有し, 椎体を中心とした荷重支持機構は構造的に再建されず, 諸家の報告に見られる術後

後弯変形の増大やimplant failureの発生を惹起する危険性がある。前方法では、直視下に完全な脊柱管内除圧が可能であり、脊柱アライメント矯正後の骨欠損を腸骨等により構造的に再建しanterior instrumentationを設置するため、強固な固定性を獲得可能である。

【結語】前方脊柱管内骨片による神経組織の圧迫を有し、anterior・middle spinal columnに不安定性を有する破裂骨折の治療において、anterior instrumentationを応用した前方再建法は、固定力・除圧効果両面においてすぐれた方法であると考ええる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 田 清 志

副 査 教 授 阿 部 和 厚

副 査 教 授 寺 沢 浩 一

学 位 論 文 題 名

EXPERIMENTAL STUDY OF THORACOLUMBAR BURST FRACTURES

— A Radiographic and Biomechanical Analysis
of Anterior and Posterior Instrumentation Systems —

(胸腰椎破裂骨折の実験的研究)

— 前方・後方脊椎インストルメンテーションのX線学的、生体力学的検討 —

【研究目的】

脊柱の様々な病態に対して内固定金属（脊椎インストルメンテーション）が使用されている。脊椎外傷では、脊柱の前方に不安定性を有し、脊柱管内陥入骨片による神経損傷をともなうことの多い破裂骨折に posterior instrumentation を使用した間接的脊柱管内骨片整復・固定術が行われている。しかし、posterior instrumentation の力学的安定性および脊柱管内骨片整復効果については不明の点も多い。そこで本研究では、破裂骨折を人工的に作製したヒト胸腰椎モデルを使用し、2種類の posterior instrumentation による後方整復の効果をX線学的に検討し、固定後の力学的安定性をanterior instrumentationと比較検討することを目的とした。

【材料と方法】

新鮮ヒト屍体胸腰椎（T10-L4）を24個使用した。高速度で軸圧縮荷重が作用するように設計した治具を使用して、L1破裂骨折を作製した。破裂骨折後の検体に、後方整復・固定を以下のposterior instrumentationを使用し実施した：（1）椎弓hookとrodを使用したHarrington distraction rod（Harrington法、固定範囲；T11-L3, n=12）、（2）pedicle screwを使用したAO internal fixator（AO法、固定範囲；T12-L2, n=12）。単純X-pおよびCT撮影を破裂骨折前・後、posterior instrumentationによる整復後に行った。X-pではL1椎体高と矢状面でのT12、L2椎体間の角度を、CTではデジ

タイザーを使用して脊柱管面積を測定した。Posterior instrumentation を試験後、前方除圧を実施し、骨欠損部をグラフトで再建後に（腸骨 n=12；Ceramic prosthesis n=12）anterior instrumentation systemである Kaneda device による前方固定を行った（固定範囲；T12-L2）。力学試験は、軸圧縮、回旋、前・後屈の合計3種類の荷重負加試験を、破裂骨折前・後、後方固定後、前方固定後の各検体で実施した。

【結果】

Posterior instrumentation による整復で、平均 14° の後弯が 1° の前弯に、L1 椎体後方の高さは、76.6% が 96.3% へ改善した（骨折前を100%とする）。脊柱管内骨片占拠率は、骨折作製後 57.7% が後方整復後 42.3% となり、骨片整復率は、Harrington 法；12.3%，AO 法；18.5% で有意に AO 法が優れていた（ $p<0.05$ ）。力学試験では、Kaneda device が後方法に比べすべての負荷試験で安定していたが、特に、軸圧縮、回旋負荷で有意差を認めた（ $p<0.002$ ）。

【考察】

本研究で得られた新しい知見は、胸腰椎破裂骨折の観血的治療において、第一に、脊柱アライメントの矯正が必ずしも十分な脊柱管内骨片整復には結び付かないこと、第二に、後方法単独では脊柱前方に存在する不安定性を制御し、強固な支持性を付加することが困難なことである。本研究で posterior instrumentation はすぐれた脊柱アライメントの整復力を示し、損傷した脊柱アライメントはほぼ損傷前まで矯正されたが、平均脊柱管内骨片整復率は15.4%にとどまった。回旋転位やligamentous complex との連続性が断たれている脊柱管内陥入骨片は整復が困難であり、陥入骨片の転位の程度、ligamentous complex との連続性等、術前に確定不能な要素が存在することが明らかにされた。また、後方法単独により再建された脊柱は、anterior と middle columns に広範な骨欠損を有し、椎体を中心にした荷重支持機構は構造的に再建されないため、各種の荷重負荷にたいして極めて不安定であり、臨床的に見られる術後の後弯変形の増大や、implant failure との関連が指摘された。前方法では、直視下に完全な脊柱管内除圧が可能であり、脊柱アライメント矯正後の骨欠損を腸骨等により構造的に再建し anterior instrumentation を設置するため、強固な固定性を獲得可能である。

以上、本研究は脊椎破裂骨折治療における posterior instrumentation の間接的脊柱管内骨片整復効果および固定後の脊柱安定性を anterior instrumentation との比較において明らかにしたものであり、博士（医学）の学位を授与するに値するものと認定された。