

厚生労働科学研究費補助金 難治性疾患等政策研究事業(難治性疾患政策研究事業)  
 分担研究報告書

脊柱靱帯骨化症に関する調査研究

研究分担者 氏名 西田周泰、寒竹 司、鈴木 秀典、船場 真裕、田口 敏彦  
 所属機関名 山口大学医学部附属病院

研究要旨 Cervical myelopathy of ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) に対する除圧法として、前方除圧固定術、椎弓形成術、後方除圧固定術が選択される。今回 3次元有限要素法脊髄モデルを用いて、予後の悪い山型頸椎 OPLL の圧迫に対する術前術後の応力解析を行った。椎弓、OPLL、脊髄の3つの FEM モデルを使用して、脊髄の 10、20、30%の圧迫を加えた術前圧迫モデル、椎弓を後方にシフトした後方除圧後固定モデル、脊髄を後弯方向に引き伸ばした後方除圧後後弯進行モデル、最大圧迫高位の椎間可動性が残存していると想定し OPLL 中央に不連続部を設け屈曲方向に 5、10、15° 椎体の動きに応じて可動性を持つ、後方除圧後後弯進行+椎間可動性モデルを作成した。術前圧迫モデルでは、圧迫が強くなるにつれ脊髄内応力が上昇した。後方除圧後固定モデルでは脊髄内応力は低下したが、30%の圧迫では一部脊髄内の応力が残存した。後弯進行モデルでは、再度脊髄内の応力が上昇し、前方の圧迫が大きいほど応力上昇が強かった。後弯進行+椎間可動性モデルでは、後弯進行単独よりも脊髄内の応力が上昇しており、椎間可動性が大きくなればなるほど脊髄内応力が上昇する傾向が見られた。遺残圧迫が大きい場合や、後方除圧後不安定性を有する症例では、前方除圧固定か後方除圧にインストルメントを併用した固定を考慮する必要がある。

A . 研究目的

Cervical ossification of the posterior longitudinal ligament (C-OPLL) は後縦靱帯の骨化により頸髄症をきたす疾患である。手術法としては、前方除圧固定と Laminoplasty に代表される後方除圧に大別される。前方除圧固定術は、特に多椎間では、難度が高く合併症の報告もある一方、椎弓形成術が手技が容易で良好な成績も多いため選択されることが多い。しかし、前方の遺残圧迫が大きい場合や圧迫高位での椎間可動性を有する場合、Laminoplasty 単独では術後の後弯変形などに対応できず、前方除圧固定か後方除圧にインストルメン

トを併用した固定を追加した方が成績がよいという報告も見られている。

予後の悪いとされる山型 (hill-shaped) OPLL の Finite Element Method (FEM) の 3次元脊髄モデルを作成し、C-OPLL の後方除圧術の効果、遺残圧迫・不安定性の存在が頸髄にどのような影響を及ぼすかを検証したので報告する。

B . 研究方法

The ABAQUS 6.11(Valley Street, Providence, RI, USA) finite element package を使用して、白質、灰白質、軟膜からなる3次元脊髄モデルを作成し、前方に中央に不連続部

がある山型の OPLL を置き、後方に椎弓モデルを置いた。各々の材料特性は過去の文献を参考に設定した。術前圧迫モデルとして、前方から脊髄の 10、20、30%の圧迫を加えた。後方除圧後固定モデルとして、脊髄に 10、20、30%の圧迫を前方から加えたまま、椎弓を後方にシフトし、そこから脊髄は動かないと仮定したモデルを作成した。

除圧後後弯進行モデルとして、椎弓をシフトした後、脊髄に 10、20、30%の圧迫を前方から加えたまま、各々脊髄を 10°後弯させたモデルを作成した。Henderson は脊髄の Stretch Injury として、脊髄が後弯すると引き伸ばされて損傷すると報告していることから、論文を基準に脊髄を頭側、後弯方向に 20%引き伸ばした。

さらに、除圧後後弯進行 + 椎間可動性モデルとして、椎弓を後方にシフトした後、脊髄に 10、20、30%の圧迫を前方から加えたまま、脊髄を 10°後弯させ、さらに椎体の可動性に合うように、OPLL の上縁と下縁を屈曲方向に各々 2.5° (total 5°), 5° (total 10°) and 7.5° (total 15°)動かしたモデルを作成した。

\* 人研究ではない

### C . 研究結果

術前圧迫モデルでは圧迫が増えるにつれ、脊髄内の応力が上昇した。後方除圧後固定モデルでは、術前圧迫モデルに比べ応力は低下した。しかし、脊髄の 20、30%の圧迫が残存していると脊髄の腹側背側に応力が残っていた。

除圧後後弯進行モデルでは、脊髄の 10% 圧迫を加えたモデルでは灰白質と後索に軽度応力が上昇するのみであったが、脊髄の 20% 圧迫で前索・後索の応力が上昇し、30% 圧迫ではさらに側索への応力も上昇した。

除圧後後弯進行 + 椎間可動性モデル (5°) では、脊髄の 10% 圧迫モデルで灰白質と後索に応力が上昇し、20、30% 圧迫では後弯進行モデルよりも脊髄内の応力が上昇した (Figure 8)。椎間可動性が 10°、15° と大きくなるにつれ、脊髄の遺残圧迫が 10% でも脊髄内の応力は上昇し、遺残圧迫・椎間可動性の大きさに応じて脊髄内応力は上昇した。

### D . 考察

C-OPLL に対する外科的治療として概ね前方除圧固定術、椎弓形成術、後方除圧固定術の 3 種類が主として行われている。C-OPLL の圧迫が前方の骨化巣であることから、完全な除圧を目指す前方除圧固定が理論的である。しかし、高難度で、気道浮腫や移植骨の脱転、採骨部痛などの合併症も存在するため、手技が容易な椎弓形成術が選択されることが多くなっている。しかし、椎弓形成術は後方の間接的な除圧であり、占拠率 50% 以上の OPLL が存在する場合や、最大圧迫高位での椎間可動性が大きい場合成績不良例が存在するという報告も見られる。この原因として、遺残前方圧迫が解除されない、術後可動性が残存していると脊髄への障害が繰り返される、後弯が増強することが考えられている。Fujiyoshi らは頸椎 X 線側面像にて C2-7 脊柱管中点を結んだ線を K-line と定義し、OPLL が K-line を超えた場合を K-line ( ) とした。なんらかの理由で遺残圧迫が残存、K-line ( - ) の症例や、圧迫高位で椎間可動性が残存する症例、後弯が進行する症例に後方除圧を行う場合には、後方固定を追加することで前方除圧固定には及ばないものの良好な成績が報告されている。

これらの報告を基に、我々は術前圧迫モデル、術後後方除圧固定モデル、後弯進行モデル、後弯進行に圧迫高位での椎間可動性を有するモデルの脊髄内応力解析を行った。

今回の解析で、C-OPLLによる圧迫で脊髄内応力が上昇し、後方除圧固定により応力が低下することがわかった。後方除圧固定術の有用性を証明するものであったが、遺残圧迫が大きいほど脊髄内の応力は残存していた。圧迫が強くなればさらに応力が残存する可能性が考えられ、後方除圧固定の有用性と同時に、限界を示唆するものであった。また後方除圧のみで後弯が進行した場合、また OPLL に不連続部があり圧迫高位で椎間可動性を有する場合には、脊髄内応力は再上昇した。

#### E . 結論

後方除圧後にインストルメントを併用した固定は有用であるが、遺残圧迫が大きいと脊髄への応力は残存する傾向があった。また、固定を行わず不安定性が存在すると脊髄内の応力が再上昇することが分かった。したがって、遺残圧迫が大きい場合や、後方除圧後不安定性を有する症例では、従来の報告通り前方除圧固定か後方除圧にインストルメントによる固定を考慮する必要がある。

#### F . 健康危険情報 なし

#### G . 研究発表

##### 1. 論文発表

Nishida N, Kanchiku T, Kato Y, Imajo Y, Yoshida Y, Kawano S, Taguchi T. Cervical ossification of the posterior longitudinal

ligament: Biomechanical analysis of the influence of static and dynamic factors. *J Spinal Cord Med.* Sep;38(5):593-8. 2015 .

#### 2. 学会発表

西田 周泰、寒竹 司、今城 靖明、鈴木 秀典、吉田 佑一郎、加藤 圭彦、田口 敏彦。「頸椎後縦靭帯骨化症-後方除圧後の遺残圧迫、不安定性残存による脊髄内応力変化-」第 89 回 日本整形外科学術集会 . 2016

西田 周泰、寒竹 司、今城 靖明、鈴木 秀典、吉田 佑一郎、舩場真裕、加藤 圭彦、田口 敏彦。「頸椎後縦靭帯骨化症解析術後遺残圧迫の評価」第 31 回 日本整形外科学会基礎学術集会 福岡 2016年 10月22 - 23日

西田 周泰、寒竹 司、大木順司、桜本逸男、加藤 圭彦、中島大介、田口 敏彦。2015年 東京

第 42 回 日本臨床バイオメカニクス学会 「頸椎後縦靭帯骨化症における脊髄圧迫 有限要素モデルを用いた解析」

西田 周泰、寒竹 司、今城 靖明、鈴木 秀典、吉田 佑一郎、加藤 圭彦、田口 敏彦。第 30 回 日本整形外科学会基礎学術集会 富山

「頸椎後縦靭帯骨化症の応力解析 後方除圧後の遺残圧迫と術後後弯進行による脊髄内応力変化」