

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：15501  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2015～2016  
 課題番号：15K20002  
 研究課題名(和文)有限要素法を用いた脊髄症の病態解明と臨床への応用  
  
 研究課題名(英文)Finite element analysis of myelopathy  
  
 研究代表者  
 西田 周泰(NISHIDA, Norihiro)  
  
 山口大学・医学部附属病院・助教  
  
 研究者番号：90535262  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：「有限要素法を用いた脊髄症の病態解明と臨床への応用」は、有限要素法ソフトを使用して作成したモデルを基に脊髄内応力解析を行っている。また、山口大学工学部機械工学科との関係も構築しており、脊髄の応力解析は円錐部及び馬尾レベルなども含めてモデル解析を行っている。ブタの神経根引張試験結果を英文として発表し、モデル作りを行い始めている。さらに、山口大学倫理委員会を通して実際の術中のヒト組織の採取、食肉用のウシ、ブタの組織の採取を行い、様々な引張試験及び圧縮試験を行っている。術中に出た不要なヒトの骨、靭帯、脊髄周囲組織を術中採取するという内容で、これを山口大学工学部に速やかに搬送し、物質特性を求めている。

研究成果の概要(英文)："Finite element analysis of myelopathy" conducts stress analysis in the spinal cord based on a model created using finite element method software. In addition, we have also established relationships with Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University, and stress analysis of the spinal cord involves model analysis including conical part and equine tail level. I announced the results of swine nerve root tensile tests in English and started making models. In addition, through the Yamaguchi University Ethics Committee, we collect actual human tissues during surgery, collect cattle and pig tissues for meat, and conduct various tensile tests and compression tests. We intentionally harvest unnecessary human bone, ligaments and spinal cord tissue which were taken intraoperatively, and we will promptly transport this to the Faculty of Engineering at Yamaguchi University for substance properties.

研究分野：整形外科、脊椎外科

キーワード：有限要素法 脊髄症

## 1. 研究開始当初の背景

日本人の頸髄症発症率は約3%であり、50歳前後で多く発症する。厚生労働省後縦靭帯骨化症研究班の全国調査では推定患者は人口100万人当たり63.3人と増加傾向である。また、脊髄症は標準化死亡比を有意に上昇させ、生命予後を短くするため、これまで様々な治療法が検証されてきた。

一方、有限要素法は航空機開発に用いられた手法で、医療面では血管ステントや人工関節の開発に応用されており、脊椎分野ではスクリューの引き抜き解析や腰椎分離症の発生メカニズム解明に使用されてきた。しかしながら、脊髄応力解析の報告としては当教室の市原、加藤ら (Kato Y; *J Neurosurg Spine* 2008, 2010, *J Spinal Cord Med* 2009) が発表した脊髄2次元モデル及び半切モデルやXin-eng らの脊髄の挙動解析のみであり (*Spine* 2009, 2010)、これは脊髄が組成の異なる組織からなる複合体なため解析を困難にさせていることが要因の一つと考えられる。加藤らの研究では、3次元脊髄半切モデルへ一方向から外力を与えるものであり、脊髄の挙動がどの程度脊髄に影響を与えているのかなどは明らかにされておらず、結果として、従来のモデルでは治療方針決定の一助は担えないと考えられた。

そこで研究代表者である西田は、半切モデルから発展させた全周性モデルを作成し、脊髄から見た圧迫物 (椎間板ヘルニア、後縦靭帯や黄色靭帯など) を設置、脊髄そのものにも挙動を加えることで、脊髄内の応力を解析し、脊髄を傷害している真の因子をより明らかにしてきた。 (Nishida et al; *J Spinal Cord Med* 2011, 2012)

## 2. 研究の目的

本研究ではどの条件が脊髄に影響しているのかを吟味し、臨床の神経学的所見や画像所見と比較検討を非侵襲的に行うことをまず第一の目的とした。

整形外科疾患は、骨格の不整や神経の圧迫症状の増悪により、日常生活レベルを極端に落とさざるを得ないものとなる。本研究では、ウシやブタの材料定数を解析しながら、工学的手法である有限要素法を用いることで詳細なヒトモデルを作成する。そのモデルに様々な条件を加えることで、整形外科的疾患の病態を非侵襲的に物理学の角度から明らかにし、手術時期などの治療方針を決定する一助とし、患者を救う手立てとすることを目的とする。また、ヒトモデルをさらに発展させ自転車や車など安全性の高い日用品を作る一助とすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

ウシ・ブタの硬膜、くも膜、神経根及び歯状靭帯を使用し、それらの引張・圧縮特性を解明し、材料定数や破綻応力を求める。また、圧迫に応じた重力方向への髄液の流速変化や周囲組織への影響を検証する。さらに、脊髄は加齢による変化があるため、動物の年齢も考慮して実験を行っていく。

作成した引っ張り試験機、圧縮試験機で得られた組織の材料定数を、現在の有限要素法3次元脊髄モデルに加味する。また、ヒトの脊髄は各髄節レベルで灰白質や白質の形態が異なり、その材料定数も年齢により異なるため、これらを考慮し、3次元的に組み合わせたモデルを作成していく。

この手法で作成した周囲組織を付加した脊髄モデルに、さらに後縦靭帯、椎間板ヘルニア、黄色靭帯、椎弓及び椎体を付け加え、脊椎脊髄モデルを作成する。

その上で、各脊髄レベルにさまざまな条件を付加し、応力上昇範囲を解析する。

山口大学整形外科科学講座で集積された臨床症例の神経学的所見、X線、CT、MRIなどの画像所見、及び、電気生理学的検査のデータと脊髄の圧迫形態や圧迫程度を検証し、有限要素法3次元脊髄モデルによる物理学的な圧迫所見と臨床データが合致するかを臨牀的・文献的に明らかにする。

#### 4. 研究成果

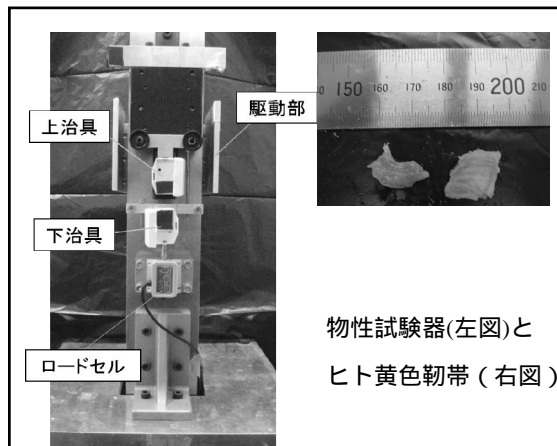
実験の一例だが、術中に採取した黄色靭帯の引張試験を行い、現在物性の解析中である。

また、ウシの馬尾と神経根枝の物性に関しては、英文にアクセプトされた。



またヒトの実際のCTから全脊椎のモデルを作成し、現在術後モデルや圧迫骨折モデルを作成中である。

また、脊髄モデルを使用して、頸椎後縦靭帯骨化症の術前・術後の解析を行い、英文にアクセプトされた。



#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Nishida N, Kanchiku T, Kato Y, Imajo Y, Suzuki H, Yoshida Y, Ohgi J, Chen X, Taguchi T. Cervical ossification of the posterior longitudinal ligament: factors affecting the effect of posterior decompression. J Spinal Cord Med. 2017 Jan;40(1):93-99. doi: 10.1080/10790268.2016.1140392. 査読有

Nishida N, Kanchiku T, Imajo Y, Suzuki H, Yoshida Y, Kato Y, Nakashima D, Taguchi T. Stress analysis of the cervical spinal cord: Impact of the morphology of spinal cord segments on stress. J Spinal Cord Med. 2016 May;39(3):327-34. doi: 10.1179/2045772315Y.0000000012. 査読有

西田 周泰、寒竹 司、市原 和彦、大木 順司、陳 献、田口 敏彦. 脊髄の有限要素法解析. 整形外科 Vol 67. NO 8. 724-729, 2016. 査読無

Nishida N, Kanchiku T, Ohgi J, Ichihara K, Chen X, Taguchi T. Mechanical properties of nerve roots and rami radicales isolated from fresh pig spinal cords. Neural Regen Res. 2015 Nov;10(11):1869-73. doi: 10.4103/1673-5374. 査読有

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. 2015 Sep;38(5):593-8. doi: 10.1179/2045772314Y.0000000221. 査読有

〔学会発表〕(計 10 件)

西田周泰、寒竹司、今城靖明、鈴木秀典、吉田佑一郎、船場真裕、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 2016 年 10 月 13 - 14 日 福岡県福岡市 (福岡国際会議場)

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。「脊髄と関内のバイオメカニクスの融合を目指して」第 43 回 日本臨床バイオメカニクス学会 2016 年 10 月 8 - 9 日 北海道札幌市 (北海道立道民活動センター)

西田周泰、寒竹司、大木順司、伊藤早紀、中島大介、今城靖明、鈴木秀典、船場真裕、陳献、田口敏彦。「胸腰椎移行部圧迫骨折有限要素法解析」第 24 回 日本腰痛治療学会 2016 年 9 月 2 - 3 日 山梨県甲府市 (甲府富士屋ホテル)

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 日本整形外科学会学術総会 2016 年 5 月 12 - 15 日 神奈川県横浜市 (パシフィコ横浜)

Nishida N, Kanchiku T, Kato Y, Imajo Y, Taguchi T. Stress analysis of the cervical spinal cord: effect of the morphology of spinal cord segments on stress. CSRS-AP, Seoul, Korea. April 21-23. 2016.

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。「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」第 42 回 日本臨床バイオメカニクス学会 2015 年 11 月 13 - 14 日 東京

都千代田区 (ソラシティカンファレンスセンター)

西田周泰、大木順司。「脊椎脊髄疾患のオーダーメイド解析にむけて ヒト組織材料試験による加齢変性を考慮した解析とその展望」LS-DYNA & JSTAMP フォーラム .2015 年 11 月 5 - 6 日 .招待講演 .東京都江東区 (東京コンファレンスセンター)

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」第 30 回 日本整形外科学会基礎学術集会 2015 年 10 月 22 - 23 日 富山県富山市 (富山国際会議場)

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。「有限要素法を用いた脊髄内応力解析 シミュレーションによる病態解明は可能か」第 44 回 日本脊椎脊髄病学会 2015 年 4 月 16 - 18 日 福岡県福岡市 (福岡国際会議場)

西田周泰、寒竹司、今城靖明、鈴木秀典、吉田佑一郎、田口敏彦。「髄節の形態が応力に及ぼす影響」第 141 回 山口県整形外科医会 2015 年 2 月 28 日 山口県岩国市 (岩国市医療センター医師会病院)

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://cae.jsol.co.jp/product/tool/simpleware/cases/case101/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

西田 周泰 (NISHIDA, Norihiro)  
山口大学・医学部附属病院・助教  
研究者番号：9 0 5 3 5 2 6 2

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

田口 敏彦 (TAGUCHI, Toshihiko)  
山口大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号：4 0 1 7 9 5 9 4

寒竹 司 (KANCHIKU, Tsukasa)  
山口大学・大学院医学系研究科・准教授  
研究者番号：3 0 4 6 4 3 2 4

陳 献 (XIAN, Chen)  
山口大学・大学院創成科学研究科・教授  
研究者番号：7 0 3 1 3 0 1 2

大木 順司(OHGI, Junji)  
山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  
研究者番号：8 0 2 2 3 9 6 5