

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号： 8 2 6 5 9

研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間： 2017～2019

課題番号： 1 6 K K 0 1 3 7

研究課題名（和文） 脊柱アライメントの男女間差異が自動車追突事故時の頸部傷害に及ぼす影響に関する研究
（国際共同研究強化）

研究課題名（英文） Influence of gender differences in whole spinal alignment patterns on neck injuries caused by vehicle crashes(Fostering Joint International Research)

研究代表者

佐藤 房子 (Sato, Fusako)

一般財団法人日本自動車研究所・安全研究部・研究員

研究者番号： 1 0 7 2 8 2 8 1

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,400,000 円

渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）： 乗車姿勢における脊柱アライメントとその男女間の差異を調査し、これらの差異が衝撃時の頸椎間の相対変位とその周辺の軟組織の変形に及ぼす影響を調査した。

基課題で構築した人体有限要素モデルに、縦型オープンMRI装置により取得した乗車姿勢における脊柱アライメントを導入し、追突時の乗員挙動再現シミュレーションを実施した。衝撃時の椎骨間の相対変位は、女性平均アライメントでは下位頸椎から上部胸椎で、男性平均アライメントでは下位胸椎から腰椎で、椎骨間の相対変位が大きくなった。頸椎に着目すると、女性平均アライメントのほうが、椎骨間の相対変位と、前縦靭帯と椎間関節包のひずみが大きくなることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車の衝突安全性能は、主に成人男性平均体型の衝突試験用人体模型を用い、男性の屍体や被験者実験より導出した傷害指標・傷害基準で評価されている。車の衝撃吸収性能やシート等の性能・寸法が、成人男性平均の耐性・体格を主に設計されるため、女性の耐性・体格に対して具体的な対応がなされていないのが現状である。本研究の成果は、これまで主に対策されてきた平均的な成人男性のみならず、あまり考慮されてこなかった交通参加者（女性等）も考慮した対策の必要性を示唆するものである。

研究成果の概要（英文）： The main aim of this study was to investigate the influence of gender differences in whole spinal alignment patterns on intervertebral kinematics and the surrounding soft tissue deformation during rear impacts.

The average gender specific spinal alignment patterns of an automotive seated posture were implemented into an occupant FE model of female average size. Reconstruction FE simulations of rear impact sled tests were carried out with those occupant FE models, respectively. In the reconstructed simulations, the female average spinal alignment pattern demonstrated larger intervertebral displacements from the lower cervical spine to the upper thoracic spine when compared to the male average spinal alignment pattern. Larger elongation of the Anterior longitudinal ligament and the Capsular ligament in the cervical spine occurred at intervertebral levels where larger intervertebral displacement was observed.

研究分野： インパクトバイオメカニクス

キーワード： 交通事故 脊柱アライメント 乗車姿勢 交通外傷 追突 後突 有限要素解析 頸部傷害

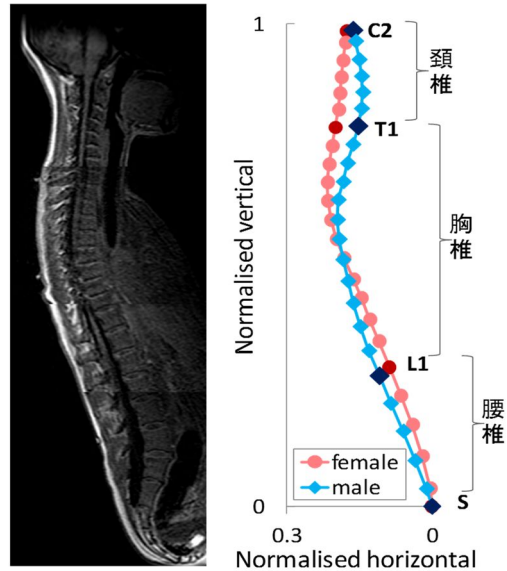
1. 研究開始当初の背景

自動車事故による頸部傷害は女性の方が受傷リスクが高く、その対策が求められている [1]。この自動車事故による頸部傷害は、過去に実施された供試体やブタを用いた実験から、衝撃時の急激な頸椎挙動に伴う頸椎間の相対変位により、頸椎周辺の軟組織が過度に変形し損傷することにより発生すると考えられている [2]。実際、研究代表者はこれまでに追突事故模擬スレッド実験による頸椎 X 線連続画像解析から、頸椎間の相対変位は女性の方が大きくなることを明らかにし、この差が頸部傷害発生の男女間差異に関与している可能性を示した [3][4]。

乗車姿勢における頸椎の配列・弯曲状態 (アライメント) は、衝撃時の初期位置となることから、また男女間で差異があるとの報告があることから、頸椎間の相対変位に影響を与える因子の一つとして考えられてきた [5]。ラグビー等のスポーツの分野では、頸椎アライメントが衝撃時の頸椎の動きに影響を与えていることが報告されている [6]。しかしながら、自動車事故においては、頸椎アライメントと衝撃時の頸椎挙動やその相対変位との関係性は明らかになっていない。

また、人体有限要素モデルを用いた事故再現シミュレーションより、衝撃時における頸椎挙動は、シートから直接衝撃を受ける腰椎や胸椎の初期位置からも影響を受けることが示唆されている [7]。このため、衝撃時の頸椎挙動を調査するためには、頸椎アライメントだけではなく胸椎や腰椎のアライメントも考慮する必要がある。しかし、乗車姿勢における頸椎、胸椎、腰椎を含む脊柱全体のアライメントは、これまで男性に対して調査されているが、女性に対しては調査されてこなかった。

そこで基課題では、乗車姿勢のまま撮影可能な縦型オープン MRI 装置を用いて脊柱アライメントの男女差を分析し、その差が頸椎間の相対変位に及ぼす影響を、基課題で構築した人体有限要素モデルによる追突シミュレーションから調査した。その結果、男性に対し女性の方が、i) 乗車姿勢における脊柱アライメントは直線的な傾向を示し (図 1) [8], ii) 衝撃時における頸椎間の相対回転角は大きくなることが明らかになった [9]。



(a) MRI 画像 (b) 脊柱アライメント
図 1 乗車姿勢における MRI 画像と男女の平均脊柱アライメント

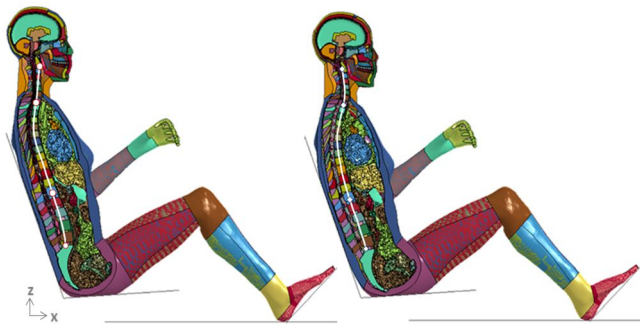
2. 研究の目的

本研究では上記の基課題を発展させ、衝撃時における脊柱全体の各椎骨の挙動のほか、その周辺の軟組織の挙動を分析し、脊柱アライメントの違いが椎骨間の相対変位とその周辺の軟組織の変形に及ぼす影響について調査した。また、基課題では調査した脊柱アライメントの姿勢が乗車姿勢 1 種類のみであったことを踏まえ、i) シートバックの傾きの変化による脊柱アライメントの変化、ii) 乗車姿勢と仰臥位・立位における脊柱アライメントの差異を分析することにより、乗車姿勢における脊柱アライメントの特徴を調査した。

3. 研究の方法

(1) 脊柱アライメントの違いが椎骨間の相対変位と軟組織の変形に及ぼす影響の調査

基課題で構築した女性平均体型人体有限要素モデル (THUMS (Total HUMAN Model for Safety) ver 4 AF05 乗員モデル (トヨタ自動車株式会社) をベースに構築) に、図 1 に示す乗車姿勢における脊柱アライメントを導入した (図 2)。これらのモデルに対し、追突事故模擬スレッド志願者実験 [3][4] を実施し、追突時の乗員挙動の脊椎挙動を再現した。この結果から、椎骨とその周辺の軟組織の挙動を分析し、脊柱アライメントの違いが、衝撃時における椎骨間の相対変



(a) 女性平均アライメント (b) 男性平均アライメント

図 2 人体有限要素モデルへの男女平均脊柱アライメントの導入と追突再現シミュレーション

位とその周辺の軟組織の変形に及ぼす影響について調査した。

(2) 乗車姿勢における脊柱アライメントの特徴の調査

脊柱アライメントは、着座のまま撮影可能な縦型オープン MRI 装置を用いて撮影した画像データより抽出した(図3)。実際の乗車時の状況を考慮し、シートバック角度を通常の使用範囲である $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 間で変化させ、シートバック角度の変化に伴う脊柱アライメントの変化と、その男女間の差異を調査した。また、乗車姿勢における脊柱アライメントの特徴を把握するため、一般的に取得しやすい仰臥位および立位における脊柱アライメントのパターンを分析し、これまでに取得した乗車姿勢における脊柱アライメントと比較した。なお、本研究で用いた画像データは、撮影を実施した Hospital Universitario HM Montepri ncipe と一般財団法人日本自動車研究所の倫理審査実施の上、医師の立会いのもと、インフォームドコンセント等を行い、安全を確保した環境で取得したものである。

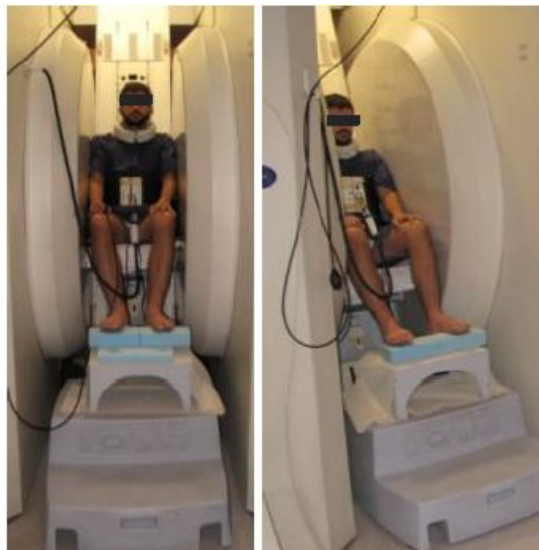


図3 縦型オープン MRI による乗車姿勢での撮影

4. 研究成果

(1) 脊柱アライメントの違いが椎骨間の相対変位と軟組織の変形に及ぼす影響

典型的な脊柱アライメント 2 パターン (パターン 1 - 頸椎が後弯/ストレートで、胸椎の後弯が軽微なアライメント (女性平均アライメント), パターン 2 - 頸椎が前弯で、胸椎の後弯が顕著なアライメント (男性平均アライメント)) において、衝撃時の椎骨間の相対変位を比較したところ、パターン 1 では下位頸椎から上部胸椎で、パターン 2 では下位胸椎から腰椎で、椎骨間の相対変位が大きくなった。また、脊柱周辺の軟組織は、椎骨間の相対変位が大きくなる箇所では、ひずみが大きくなる傾向にあった。頸椎に着目すると、パターン 1 のほうが、特に C5/C6, C6/C7 において、椎骨間の相対変位と、前縦靭帯と椎間関節包のひずみが大きくなることがわかった(図4)。

(2) 乗車姿勢における脊柱アライメントの特徴

シートバック角度 20° および 25° の両条件において、頸椎では、女性は比較的后弯またはストレート、男性は前弯の傾向を示した。胸椎は、女性よりも男性において顕著な後弯を示す傾向にあった。またシートバック角度の違いによる影響は、特に第 1 胸椎の傾き、および胸椎アライメントに現れることがわかった。

乗車姿勢における脊柱アライメントは、1) 仰臥位と比較して腰椎前弯角がおよそ $1/2$ 以下となること、2) 立位と比較して胸椎後弯角、特に下位胸椎の後弯角が小さくなる傾向を示すこと、腰椎前弯角がおよそ $1/3$ 程度になることがわかった。

乗車姿勢における脊柱アライメントの特

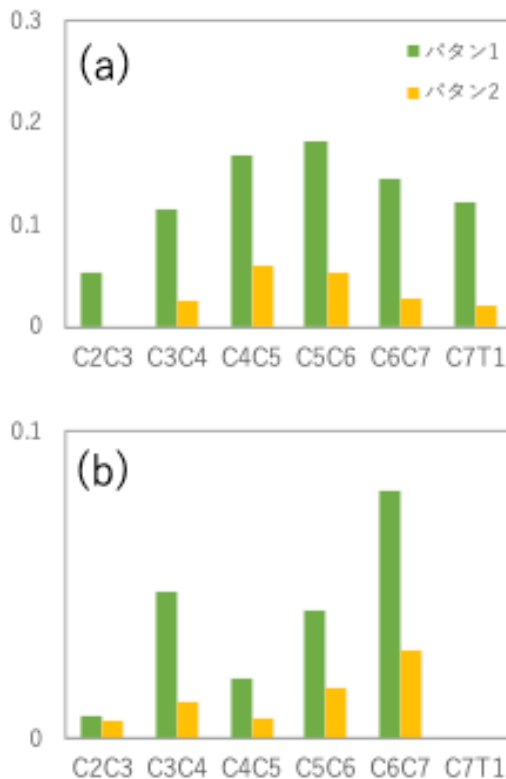


図4 前縦靭帯(a)と椎間関節包(b)の最大伸び (sub-catastrophic failure elongation [10] に対する比)

徴として得られた上記の成果の詳細は、今後学術雑誌や国際学会で公表していく予定である。

<引用文献>

- [1] Carlsson et al., IRCOBI 2010, 29-40.
- [2] Deng et al., Stapp Car Crash Conference, 2000-01-SC13, 2000.
- [3] Sato et al., IRCOBI 2014, 227-249.
- [4] Sato et al., IRCOBI 2015, 261-277.
- [5] Stemper B. et al., J Biomech, 38(6):1313-1323, 2005.
- [6] 佐藤ら, 自動車研究, 第 32 巻第 9 号, 541-546, 2010.
- [7] Sato et al., IRCOBI 2010, pp.163-175.
- [8] Sato et al., IRCOBI 2016,
- [9] Sato et al., Traffic Inj Prev, 18(2):199-206, 2017.
- [10] Mattucci & Cronin, J Mech Behav Biomed Mater, 41, pp. 251-260.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sato Fusako, Miyazaki Yusuke, Morikawa Shigehiro, Perez Antonio Ferreiro, Schick Sylvia, Yamazaki Kunio, Brolin Karin, Svensson Mats Y.	4. 巻 141
2. 論文標題 Relationship Between Cervical, Thoracic, and Lumbar Spinal Alignments in Automotive Seated Posture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Engineering	6. 最初と最後の頁 121006
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/1.4045111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fusako Sato, Karin Brolin, Mats Svensson, Astrid Linder	4. 巻 975
2. 論文標題 Towards Occupant Protections for Both Men and Women	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 603-615
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-20216-3_56	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 I Putu A Putra, Johan Iraeus, Robert Thomson, Mats Y Svensson, Astrid Linder, Fusako Sato	4. 巻 20
2. 論文標題 Comparison of control strategies for the cervical muscles of an average female head-neck finite element model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Traffic Injury Prevention	6. 最初と最後の頁 S116-S122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/15389588.2019.1670818	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 I Putu A. Putra, Johan Iraeus, Fusako Sato, Mats Y. Svensson, Astrid Linder & Robert Thomson	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimization of Female Head-Neck Model with Active Reflexive Cervical Muscles in Low Severity Rear Impact Collisions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10439-020-02512-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Fusako Sato, Karin Brolin, Mats Svensson, Astrid Linder
2. 発表標題 Towards Occupant Protections for Both Men and Women
3. 学会等名 International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I Putu A Putra, Johan Iraeus, Robert Thomson, Mats Y Svensson, Astrid Linder, Fusako Sato
2. 発表標題 Comparison of control strategies for the cervical muscles of an average female head-neck finite element model
3. 学会等名 Annual Scientific Conference of the Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fusako Sato, Yusuke Miyazaki, Atsuhiko Konosu, Kunio Yamazaki, Mats Svensson, Karin Brolin, Shigehiro Morikawa, Antonio Ferreiro-Perez
2. 発表標題 Investigating representative whole spinal alignments in a car occupant posture
3. 学会等名 World Congress of Biomechanics 2018 (WCB2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fusako Sato, Yusuke Miyazaki, Mats Svensson, Karin Brolin, Atsuhiko Konosu, Kunio Yamazaki, Shigehiro Morikawa, Antonio Ferreiro-Perez
2. 発表標題 The effect of seat back inclination on spinal segmental angles in automotive seated posture
3. 学会等名 International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fusako Sato, Astrid Linder, Mats Svensson, Karin Brolin, Kunio Yamazaki
2. 発表標題 Towards whiplash injury protection for both men and women
3. 学会等名 Gender Summit 10 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fusako Sato, Kristian Holmqvist, Astrid Linder, Mats Svensson, Anders Kullgren, Jinichi Tanabe, Kunio Yamazaki
2. 発表標題 Average-sized male and female rear-impact dummy models in simulations of real world cases addressing sensitivity in whiplash associated disorder assessment
3. 学会等名 International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fusako Sato, YusukeMiyazaki, Kunio Yamazaki, Mats Svensson, Karin Brolin
2. 発表標題 Whole spinal alignment patterns for female and male car occupants
3. 学会等名 International Course on Transportation Planning and Road Safety
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	スベンソン マツ (Svensson Mats)	チャルマース工科大学 (スウェーデン)・Department of Mechanics and Maritime Sciences, Division of Vehicle Safety・Professor	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
その他の研究協力者	ブロリン カリン (Brolin Karin)	チャルマース工科大学（スウェーデン）・Department of Mechanics and Maritime Sciences, Division of Vehicle Safety・Professor	