

氏名・(本籍)	三浦 隆徳 (秋田県)
専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	医博甲第 1090 号
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	医学系研究科医学専攻
学位論文題名	Relationship between intervertebral disc compression force and sagittal spinopelvic lower limb alignment in elderly women in standing position with patient-specific whole body musculoskeletal model (全身筋骨格モデルを用いた高齢女性における立位全脊椎, 骨盤・下肢矢状面アライメントと椎間板圧縮力の関係)
論文審査委員	(主査) 中永 士師明 教授 (副査) 沼田 朋大 教授      新山 幸俊 教授

## 学位論文内容要旨

Relationship between intervertebral disc compression force and sagittal spinopelvic lower limb alignment in elderly women in standing position with patient-specific whole body musculoskeletal model

全身筋骨格モデルを用いた高齢女性における立位全脊椎，骨盤・下肢矢状面アライメントと椎間板圧縮力の関係

申請者氏名 三浦 隆徳

### 研究目的

成人脊柱変形(ASD)は成人期に生じるあらゆる脊柱変形を含むため，病態が多様である．腰椎後弯では骨盤と下肢の代償により立位姿勢を保持するが，代償が不可能となると体幹が前傾し，水平視のために頸椎伸展位となる．このような全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメント不良は腰背部痛と関連し，腰背筋や椎体・椎間板への負荷の増加が要因と指摘されている．一方，椎間板圧縮力( $F_m$ )の増加は椎間板変性や椎間板高減少などから矢状面アライメント増悪に関与すると考えられるが，椎間板負荷の実測は侵襲が大きく，ASD患者の実測研究はない．

AnyBody Modeling Systemは献体解剖に基づく詳細な筋骨格モデルであり，逆動力学解析により非侵襲的に生体内力の推定が可能である．一方，頸椎，胸椎がそれぞれ1つの剛体であり，筋走行が人体と異なるという問題があった．そこでわれわれは理工学部との共同研究で頸椎，胸椎を分割し，体幹・下肢の筋肉を修正した精度の高いモデルを作製した．本研究の目的は，本モデルを用いて高齢女性における立位姿勢での全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメントを患者毎に再現し，全脊椎の $F_m$ と矢状面アライメントの関連について検討することである．

### 研究方法

骨粗鬆症で治療中の女性14名(平均78.8歳)を対象に，自然立位単純X線写真を撮影した．頸椎アライメント，第1胸椎傾斜角(T1 slope)，胸椎後弯角(TK)，腰椎前弯角(LL)，重心線と第1仙椎椎体後上隅角との距離(COG-SVA)，第7頸椎椎体鉛直線と第1仙椎椎体後上隅角との距離(SVA)，骨盤傾斜角(PT)，仙骨傾斜角(SS)，骨盤固有角(PI)，大腿骨傾斜角，膝関節角度を計測した．さらに第2頸椎から第1仙椎の各椎体間角度から患者毎のモデルを作製し，静止立位における $F_m$  (%BW [body weight])を算出した．ASDの診断基準であるSVA 50 mmを

カットオフとして，姿勢が前傾していないLow SVA群( $n = 7$ )と，前傾姿勢となっているHigh SVA群( $n = 7$ )の2群間で $F_m$ を比較し，アライメントパラメータとの相関をSpearmanの相関係数( $r$ )で検討した．

### 研究成績

患者背景はSVA 66.1 mm，PT 24.5°，膝関節角度 8.5°と体幹前傾し，骨盤後傾，膝関節屈曲の代償がみられた．2群比較においてHigh SVA群は高齢(74.0 vs 82.1,  $p = 0.046$ )，COG-SVA高値(45.5 vs 134.0,  $p < 0.001$ )，LL低値(50.6 vs 27.9,  $p < 0.001$ )，SS低値(32.2 vs 24.6,  $p = 0.041$ )，SVA高値(21.1 vs 109.9,  $p = 0.001$ )であり，加齢による腰椎前弯の低下，全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメント不良を呈していた． $F_m$ は頸椎と胸椎で2群間に有意差はなかったが，腰椎ではHigh SVA群で67.6%有意に増加していた(79.2 vs 132.8,  $p = 0.046$ )．

各椎間板レベルで2群間の $F_m$ を比較した結果，T4/5( $p = 0.008$ )，T6/7( $p = 0.033$ )，T12/L1( $p = 0.039$ )，L1/2( $p = 0.044$ )，L5/S1( $p = 0.039$ )においてHigh SVA群で有意に高値だった．

また頸椎 $F_m$ とT1 slopeに負の相関( $r = -0.589$ ,  $p = 0.034$ )，腰椎 $F_m$ とCOG-SVA( $r = 0.615$ ,  $p = 0.029$ )，T1 slope( $r = 0.613$ ,  $p = 0.026$ )，SVA( $r = 0.612$ ,  $p = 0.020$ )に正の相関があり，LL( $r = -0.566$ ,  $p = 0.035$ )と負の相関があった．

### 結論

ASDによる全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメント不良は胸腰椎の椎間板への負荷を増大させ，さらなる変形をもたらす可能性がある．またT1 slopeと頸椎 $F_m$ との相関から脊柱変形が頸椎の椎間板負荷にも関連することを示した．

## 学位（博士一甲）論文審査結果の要旨

主 査： 中永士師明

申請者： 三浦隆徳

論文題名：Relationship between intervertebral disc compression force and sagittal spinopelvic lower limb alignment in elderly women in standing position with patient-specific whole body musculoskeletal model

(和訳) 全身筋骨格モデルを用いた高齢女性における立位全脊椎、骨盤・下肢矢状面アライメントと椎間板圧縮力の関係

### 要旨

著者の研究は、新たに頸椎、胸椎を分割し、体幹・下肢の筋肉を修正した精度の高いモデルを作製し、本モデルを用いて高齢女性における立位姿勢での全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメントを患者毎に再現し、全脊椎の Fm（椎間板圧縮力）と矢状面アライメントの関連について検討したものである。

本論文の斬新さ、重要性、研究方法の正確性、表現の明瞭さは以下の通りである。

#### 1) 斬新さ

腰椎後弯などの成人脊柱変形では体幹が前傾することによる椎体や椎間板の負荷増加、それによる変性の進行が指摘されていたが、詳細は未解明であった。また近年では頸椎アライメントも重要視されてきているものの、椎間板負荷の実測は健常者の下位胸椎以遠の報告のみであり、筋骨格モデルを用いた研究においても頸椎アライメントを含めて成人脊柱変形患者を解析したものはなかった。本研究の斬新さは世界で初めて理工学部と共同で作製した精度の高い筋骨格モデルを用いて、高齢女性の立位姿勢における全脊椎の椎間板圧縮力を算出したことにある。

#### 2) 重要性

脊柱変形による矢状面アライメント不良は胸腰椎と下位腰椎の椎間板への負荷を増大させ、さらなる変形をもたらす可能性があること、さらに頸椎の椎間板負荷にも影響を及ぼす可能性があることを示したことは、今後の治療法、予防法を考える上で重要である。また、本モデルが様々な病態解明に応用できる将来性もある。

#### 3) 研究方法の正確性

自然立位単純 X 線像から頸椎アライメント、第 1 胸椎傾斜角(T1 slope)、胸椎後弯角(TK)、腰椎前弯角(LL)、重心線と第 1 仙椎椎体後上隅角との距離(COG-SVA)、第 7 頸椎椎体鉛直線と第 1 仙椎椎体後上隅角との距離(SVA)、骨盤傾斜角(PT)、仙骨傾斜角(SS)、骨盤固有角(PI)、大腿骨傾斜角、膝関節角度を計測している。さらに第 2 頸椎から第 1 仙椎の各椎体間角度から患者毎のモデルを作製し、静止立位にお

ける Fm (%BW [body weight])を算出している。成人脊椎変形の診断基準である SVA50 mm をカットオフとして、姿勢が前傾していない Low SVA 群(n = 7)と、前傾姿勢となっている High SVA 群(n = 7)の 2 群間で Fm を比較し、アライメントパラメータとの相関を Spearman の相関係数(r)で検討しており、客観的な評価法で、正確性があると考えられる。

#### 4) 表現の明瞭さ

これまでの問題点の解決、すなわち、骨粗鬆症の高齢女性における立位姿勢での全脊椎から骨盤・下肢の矢状面アライメントを患者毎に再現し、全脊椎の Fm と矢状面アライメントの関連について明らかにするための研究目的、方法、研究結果、考察を簡潔かつ明瞭に記載していると考ええる。

以上述べたように、本論文は学位を授与するに十分値する研究と判定された。