

# 姿勢の加齢変化に関連する筋機能の特定

(研究助成金 50万円)

京都大学大学院 医学研究科 先端理学療法学講座  
特定助教 八木 優 英

[ 2010年 広島大学医学部保健学科 理学療法専攻卒  
2022年 京都大学大学院医学研究科 人間健康科学系専攻 博士後期課程 修了 ]

共同研究者 京都大学大学院医学研究科 市 橋 則 明  
京都大学大学院医学研究科 建 内 宏 重  
京都大学大学院医学研究科 太 田 恵

## 〔研究応募書〕

### 研究目的

本邦は世界でも有数の高齢社会であり、健康寿命の維持は喫緊の課題である。姿勢の変化は歩行速度の低下や転倒発生の増加などを来し、健康寿命の低下につながる可能性があるため、医療・介護分野において大きな関心が寄せられている。また、近年では“きれいな姿勢”が健康のパラメーターと考えられ、“きれいな姿勢”を維持する運動や健康器具への注目が集まっている。これらの背景から加齢による姿勢変化や、それに関連する要因を特定する研究が盛んに行われている (Kazman, 2012; Masaki, 2015)。

姿勢の変化を計測するために、これまでスパイナルマウスやレントゲンなどが用いられてきた (Takeda, 2009; Masaki, 2015)。スパイナルマウスを用いた方法では、体表から各部位の曲率や角度を測定でき、レントゲンをを用いた方法では脊柱の椎体間の角度や位置関係を測定できる。これらの方法でこれまでに有益な知見が明らかとなってきたが、いくつかの制限がある (Takeda, 2009; Kado, 2013)。例えば、スパイナルマウスで算出される胸椎角度・腰椎角度・骨盤傾斜角度等では各部位の大まかな変化しか捉えられず、加齢初期に生じる小さな変化を測定できない可能性がある。レントゲン画像では40-50歳代から姿勢変化が現れるが、我々がこれまでに行った研究では、20-60歳代の疾患や疼痛のない活動度が高い地域在住健常女性に限定すると、スパイナルマウスで計測した立位時の指標と年齢には関連がないことがわかった (未発表データ)。スパイナルマウスによる指標は、活動度が高い健康的な人を対象とすると、加齢による微小な変化を検出できない可能性がある。また、レントゲンをを用いた方法では、被曝の問題があり、健常者に対する測定に必ずしも適しているとは言えない。また、レントゲン計測には専門資格が必要であり、計測機会が限られる。今後、高齢化がさ

らに進行すると予想される本邦では、加齢初期の微小な変化を捉えることのできる正確性と、人体に危害のない安全性が担保され、簡易さを併せ持った姿勢計測・評価が必要である。

姿勢の変化に関連する要因として、椎体・椎間板の変性や体幹筋の筋機能低下が報告されており、とりわけ筋機能についての報告が多い。特に筋量や筋質と姿勢との関連は多く報告され (Masaki, 2015; Kazman, 2012), 筋力トレーニングが姿勢を変化させるために行われてきた。また、筋力トレーニングとともに、筋のストレッチングが姿勢を変化させるために行われる (Ruivo, 2017)。筋の硬さを改善することのできるストレッチングは、禁忌となる人が少なく安全性が高いため、自宅でも手軽に取り組みやすい運動である。しかし、筋の硬さと姿勢との関連についてはこれまでに報告が少なく、どの筋に対してストレッチングを行うべきかが明らかではない。これらのことから、被曝の恐れのない新たな方法で姿勢の加齢変化を正確に検出し、さらに筋の量、質、硬さを包括的に評価することで、姿勢に関わる筋機能を明らかにする必要がある。これらの研究により、介入すべき筋を特定することができるため、姿勢改善の一助が得られ、健康寿命の延伸に貢献できる。本研究の目的は姿勢の加齢変化の特徴を明らかにすることと、その姿勢変化と関連する筋機能を明らかにすることである。

## 研究実施計画の概要

- ・対象者：地域在住女性 100名 20歳, 30歳, 40歳, 50歳, 60歳代で20名ずつ
- ・調査方法：研究デザイン 横断的観察研究 (測定会を2022年7月頃に実施予定)

### ・測定項目

#### ①姿勢データ

- ・body scannerで立位姿勢の点群データを撮像する。
  - 姿勢の評価：body scannerのデータから、体幹の正中断のデータを抽出する。

#### ②筋機能データ

- ・超音波Bモードと超音波エラストグラフィ機能で、  
体幹および肩・股関節筋の筋量、筋質、筋の硬さを計測する。
- ・体幹の伸展、屈曲および肩関節や股関節の最大筋力を測定する。

#### ③基本情報：身長、年齢、体重

- ・統計解析
  - 姿勢の加齢変化  
点群データをプログラムソフトPythonで解析し、年代間での比較や姿勢と年齢との相関分析を行う (Pataky TC, 2021)。
  - 筋の加齢変化  
筋データを統計ソフトSPSSを使用して、筋指標と年齢との相関分析を行う。
  - 姿勢と筋機能との関連  
統計的な手法を発展させ、各点と筋機能との関連を分析する。  
現在プログラムを開発中である。

- ・健康との関わり：姿勢の変化に関連する筋機能を明らかにすることで、  
姿勢の変化を防ぐトレーニングやストレッチングを提案できる。  
それによって、姿勢の変化に起因する転倒や歩行能力低下を維持  
でき、健康寿命を延長できると考える。
- ・倫理面の配慮：所属する大学の倫理委員会の承認を得る。  
そして、被験者には同意を得る

## I 緒言

脊柱アライメントの加齢変化は、運動機能や生活の質を低下、死亡率の増加をもたらす<sup>1)</sup>。高齢者の20–40%で、立位での胸椎後弯角度の増加や腰椎前弯角度の減少といった脊柱アライメントに変化が生じる<sup>2, 3)</sup>。特に、加齢に伴う姿勢の変化は男性より女性では早期に生じ、さらにその程度が女性では大きいことが報告されている<sup>3)</sup>。よって、女性における脊柱アライメントの加齢変化の特徴を明らかにし、脊柱アライメントと関連する要因を解明することは重要である。

これまでの研究では、脊柱アライメントの計測に脊柱計測分析器（スパイナルマウス）やレントゲンが用いられてきた<sup>4, 5)</sup>。スパイナルマウスを用いると、体表から簡易に胸椎・腰椎全体の角度が計測できるが、胸椎内や腰椎内の細かな変化を正確に測定できない可能性がある<sup>6)</sup>。またレントゲンを用いた方法では脊柱の椎体間の角度や位置関係を計測できるが、被曝の問題があり、健常者に対する測定において最適な方法とは言えない<sup>7)</sup>。これらのことから、被曝の危険性がなく、脊柱アライメントを詳細に評価する方法が必要である。

我々は、光学3次元人体形状計測装置（ボディスキャナ）で計測した全身形状モデルと形態分析を用いることで、体表から脊柱アライメントを解析する手法を考案している。一般に形態分析では大きなサンプル数が必要とされるが、タイプIエラーとタイプIIエラーを軽減できる連続体解析という統計手法を用いることで十分な統計パワーで解析できることが明らかとなっている<sup>8, 9)</sup>。そのため、この手法を用いることで各部位の細かな変化を解明できると考える。

脊柱アライメントの加齢変化には、椎体・椎間板・靭帯などの関節構成体の変性と、筋機能の低下が関連すると考えられる<sup>4, 10)</sup>。関節構成体の変性を非観血的に改善することは難しいが、筋機能はトレーニングやストレッチングにより改善可能である<sup>11, 12, 13)</sup>。これまでの研究では、背部筋の筋力、筋持久力、筋量や筋質と脊柱アライメントとの関連が検討されてきた<sup>7, 10, 14)</sup>。ただ、脊柱や骨盤に付着する四肢の近位筋や腹筋群の機能と脊柱アライメントとの関連は不明である。また我々は、筋量や筋質に加えて、

筋の硬さが加齢により減少し、特に脊柱アライメントに大きく影響する可能性がある体幹筋や股関節周囲筋でその特徴が顕著であることを報告した<sup>15)</sup>。しかし、体幹筋や四肢の近位筋の硬さと脊柱アライメントの加齢変化との関連は不明である。

そこで本研究では、脊柱アライメントの加齢変化を統計手法で明らかにし、その加齢変化に関連する筋機能を特定することを目的とした。これらの研究により、姿勢改善のために運動介入すべき筋とその特徴を明らかにでき、姿勢改善の一助が得られ、さらには健康寿命の延伸に貢献できると考える。

## II 研究方法

### 1. 対象者

健常女性59名（年齢 $45.1 \pm 15.5$ 歳，身長 $157.8 \pm 5.3$ cm，体重 $52.3 \pm 7.4$ kg）が参加した。本研究は京都大学医学部医の倫理委員会による承認を受けて実施した（承認番号 R1674）。除外基準は、整形外科疾患・神経疾患の現病歴・既往歴があること，全身の疼痛があること，体表上から確認できる明らかな関節変形があることであった。選択基準は，学業，仕事，または家事を含む自立した日常生活が可能であることであった。対象者には事前に研究内容を説明し，本研究の参加に同意と署名を得た。

### 2. 測定

#### 1. 脊柱アライメント

3次元人体形状計測装置（VRC社製）を用いて全身形状を測定した。この装置では深度センサーを用いて，三角測量法により身体表面の50000点以上もの3次元座標データを取得でき，高精度な人体の全身形状モデルを作成可能である。被験者には締め付けの少ない下着を着用させ，頸切痕，第7頸椎，右上後腸骨棘にマークを行った。そして，頭部を正面に向け，両足を肩幅に開き，両上肢を軽度外転位とした立位姿勢で撮像を行った。

作成した全身形状モデルから，頸切痕，第7頸椎，および股下を通る断面図を切り出し（図1-A, B），その正中断面図より第7頸椎から右上後腸骨棘の高さまでの背部の座標を抽出した（図1-C）。そして，切り出した各被験者の背部の座標を50点に補完した（図1-D）。本研究では，第7頸椎から上後腸骨棘の高さまでの背部座標を脊柱アライメントとした。

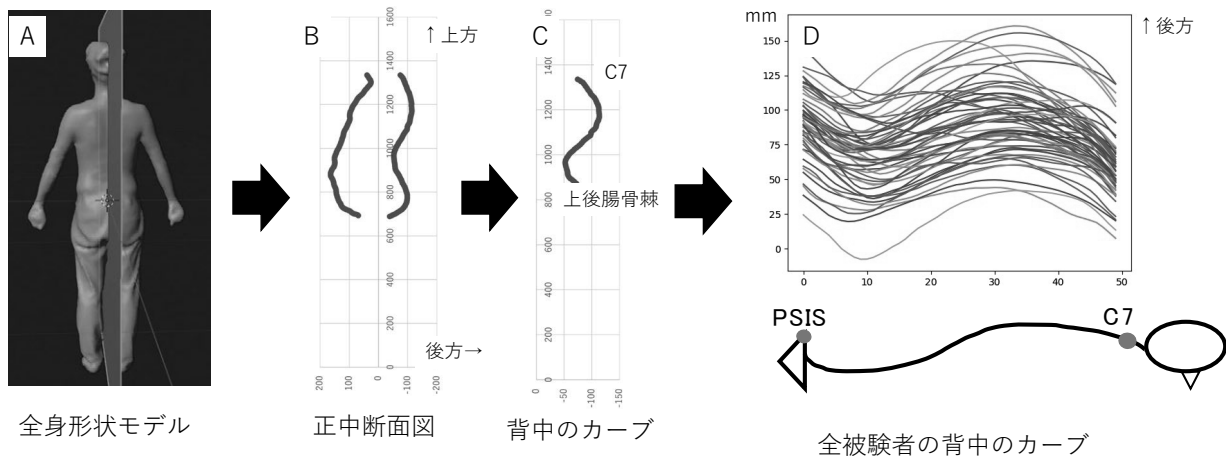


図1 脊柱アライメントの抽出手順

## 2. 脊柱角度

スパイナルマウス (Index 社製, Tokyo, Japan) を用いて、立位での胸椎後弯角度・腰椎前弯角度を計測した。スパイナルマウスでは非侵襲的かつ簡便に、セグメント間の角度を測定することができ、妥当性や被験者内の信頼性が報告されている<sup>16, 17)</sup>。被験者は頭部を正面に向け、両足を肩幅に開き、両上肢を自然に下垂した立位で、スパイナルマウスを第7頸椎から第3仙椎までの脊柱の正中線に沿って動かした。スパイナルマウスの計測は3回行い、平均値を解析に使用した。3回の測定値から級内相関係数 (intraclass correlation: ICC)<sup>1, 3)</sup> を算出したところ、胸椎後弯角度は0.92、腰椎後弯角度は0.99であり、高い再現性が確認された。

## 3. 弾性率・筋厚・輝度の計測

弾性率・筋厚・輝度は、超音波診断装置とリニアプローブSL10-2 (Aixplorer, Supersonic Imagine 社製, Aix-en-provence, France) を用いて測定した。測定は右側で行い、エラストグラフィ画像の撮像は2回ずつ、Bモード画像の撮像は1回ずつ行った。

測定肢位は次の3つであった：1. 下垂位：座位で肩関節屈曲0°、肩関節内外旋中間位および肘関節伸展位、2. 背臥位：股関節内外旋中間位、3. 腹臥位：肩関節90°外転位・頸椎90°左回旋位。まず、下垂位で僧帽筋上部・大胸筋鎖骨部のBモード画像を撮像した。次に、背臥位で大胸筋鎖骨部のエラストグラフィ画像、腸骨筋・大腿直筋・腹直筋・外腹斜筋・内腹斜筋・腹横筋のBモード画像とエラストグラフィ画像を撮像した。最後に、腹臥位で僧帽筋上部のエラストグラフィ画像、大殿筋・大腿二頭筋・胸脊柱起立筋・腰脊柱起立筋・腰多裂筋のBモード画像とエラストグラフィ画像を撮像した。それぞれの筋の計測部位を、表1に示す<sup>15)</sup>。計測部位にマーキングを行い、超音波画像上で筋腹を同定してから計測を行った。

表 1 各筋の超音波測定部位

筋	測定部位
僧帽筋上部	肩峰と第 7 頸椎棘突起を結ぶ線の中点
大胸筋鎖骨部	上腕骨大結節と胸鎖関節を結ぶ線の中点
腸骨筋	上前腸骨棘の 4 cm 下方
大腿直筋	上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中点
大殿筋	上後腸骨棘と大転子を結んだ線の近位 30%
大腿二頭筋	大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線の中点
腹直筋	臍から 3cm 外側
外腹斜筋	
内腹斜筋	肋骨下部と腸骨稜の中点の腋窩線の 2.5cm 前方
腹横筋	
胸部脊柱起立筋	第 9 胸椎棘突起から 4cm 外側
腰部脊柱起立筋	第 3 腰椎棘突起から 7cm 外側
腰多裂筋	第 4 腰椎棘突起から 2cm 外側

#### 1) 弾性率

弾性率は、せん断波エラストグラフィモードを用いて筋の縦断像もしくは線維に平行な向きで測定した (図2-A)。超音波の設定は、musculoskeletal presetのpenetrationモードとし、persistenceはhigh, smoothingレベルは5, opacityは100%, gainは90%とした。画像解析では、1 cm× 1 cmの関心領域 (Region of interest: ROI) を筋腹の中央部に設定した。骨や筋膜のアーチファクトを含まないように最大関心領域をトレースして弾性率を算出した。内外腹斜筋、腹横筋では縦 2.5cm×横 1 cmのROIを使用し、1枚の画像から3筋それぞれの弾性率を算出した。弾性率Gは、その物質に伝わるせん断速度  $v$  と、その物質の密度  $\rho$  を用いた次の式で表すことができる<sup>18)</sup>。



$$G = \rho v^2$$

筋の密度は  $1 \text{ g/cm}^3$  と仮定し、平均せん断波伝播速度から弾性率を算出した。2回の平均値を解析に使用した。

## 2) 筋厚

筋厚は、Bモードを用いて筋の横断像から測定した(図2-B)。超音波設定は、musculoskeletal presetのpenetrationモードとし、frequencyは36MHz、gainは70%、dynamic focus depthは0cmとした。撮像したBモード画像をDICOM形式で画像解析ソフトOsiriX MD (version 9.0; OsiriX, Geneva, Switzerland) に読み込み、筋膜間の距離を計測し、筋厚とした。

## 3) 輝度

輝度は、Bモードを用いて筋の横断像から測定した(図2-B)。超音波設定は、筋厚の測定と同じであった。筋厚と同じBモード画像をOsiriX MDに読み込み、OsiriX MDの標準ヒストグラム関数8ビットグレースケールを用いて、骨や筋膜を含まない最大の関心領域をトレースし、関心領域の平均輝度を、0(黒)から255(白)の値として算出した。輝度の増加は、筋内脂肪と線維組織の割合が増加していることを表し、筋質が悪いことを意味する<sup>19)</sup>。

我々は、これらの超音波指標の被験者内および日間再現性を高いことを先行研究で報告をしている<sup>15)</sup>。

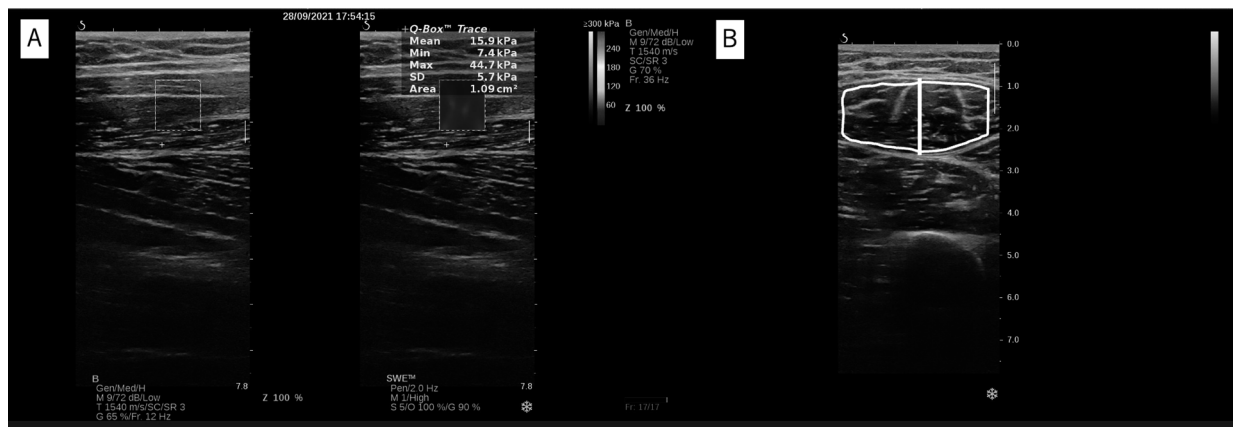


図2. 超音波画像の一例。せん断波エラストグラフィモードでは筋の縦断像もしくは線維に平行な向きでカラーマップを撮像し (A), Bモード画像は筋の横断画像を撮像した (B)。

## 4. 統計解析

姿勢の加齢変化を調べるために、Python 3.9 と Anaconda 4.10.3 (Anaconda, Austin, TX, USA) を使用し、脊柱アライメントと年齢との相関分析を spm1d (v.0.5, <http://www.spm1d.org>) の相関モデルで分析した<sup>20)</sup>。そして、脊柱アライメントと筋指標との関連を spm1d の相関モデルを使用して分析した。加えて、スパイナルマウスで算出した胸椎後弯および腰椎前弯角度と年齢との相関分析を IBM SPSS Statistics 27 (IBM SPSS) で行った。なお、有意水準は5%とした。

### Ⅲ 研究結果

#### 1) 脊柱アライメント

まず全身形状モデルから抽出した脊柱アライメントを上後腸骨棘の位置座標を被験者間で統一することで、レジストレーションを行った (図3-A)。次にspm1dを使用して、各点の座標と年齢との相関分析を行った。その結果、高齢の被験者ほど第7頸椎に近い上部胸椎が前方に位置することが示された (図3-B)。

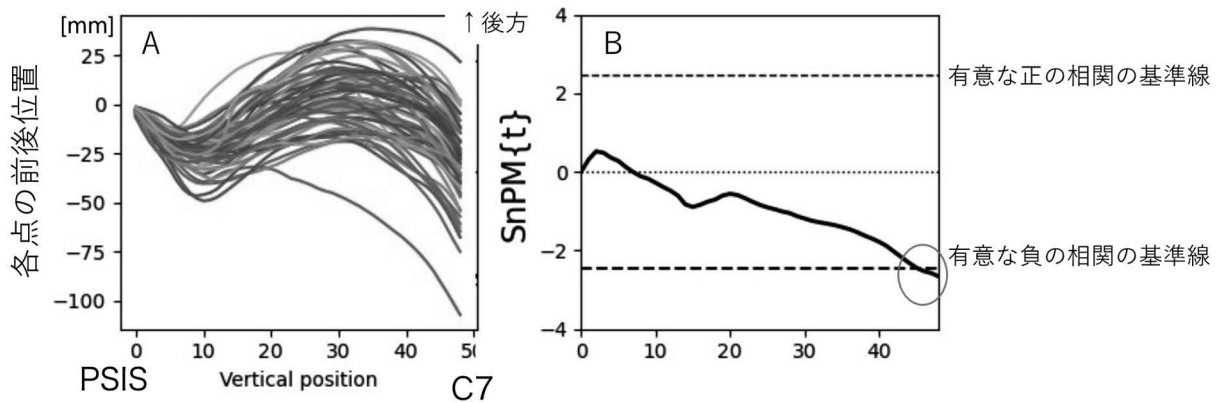


図3. 脊柱アライメントと年齢との関連. A, Bともに横軸の0が上後腸骨棘 (PSIS) の高さ, 50が第7頸椎 (C7) の高さであり, 縦軸はspm1dの統計量を表す。全例の脊柱アライメントを上後腸骨棘の座標でレジストレーションし (A), 年齢との相関分析を行った (B)。Bのグラフ中の点線は相関分析が有意となる基準で, 正の基準線より大きな統計量を示す領域では年齢と正の相関, 負の基準線より小さな統計量を示す領域では年齢と負の相関が認められる。本研究ではBの赤丸付近で年齢との負の相関が認められた。

#### 2) 脊柱アライメントと筋との関連

図4は腸骨筋の筋指標と脊柱アライメントとの相関分析の結果を示す。腸骨筋では, 脊柱アライメントと弾性率, 筋厚, 筋輝度との有意な関連が認められなかった。腸骨筋と同様に, 他の筋でも筋指標と脊柱アライメントには有意な関連は認められなかった。

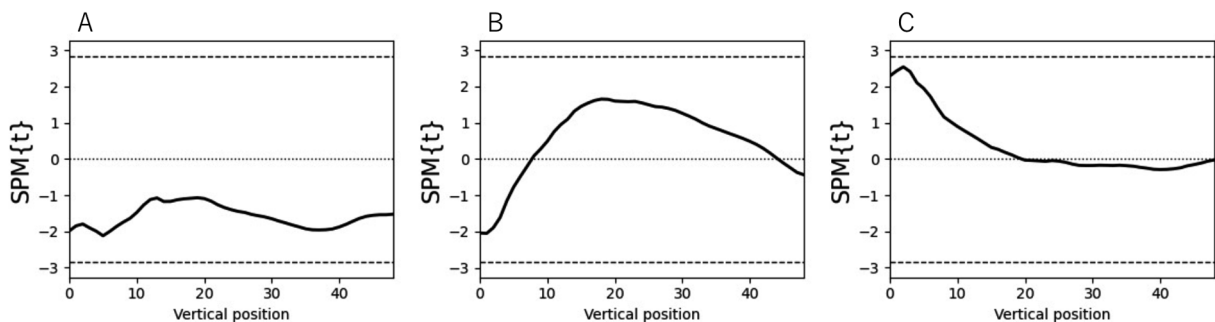


図4. 筋指標と脊柱アライメントとの相関分析の一例. 脊柱アライメントと腸骨筋の弾性率 (A), 筋厚



(B), 筋輝度 (C) との相関分析の結果を示す。A, B, C ともに横軸の 0 が上後腸骨棘の高さ, 50 が第 7 頸椎の高さであり, 縦軸は spm1d の統計量を表す。グラフには脊柱アライメントの各点と筋機能との相関分析の統計量がプロットされているグラフ中の点線は相関分析が有意となる基準で, 正の基準線より大きな統計量を示す領域では筋指標と正の相関, 負の基準線より小さな統計量を示す領域では筋指標と負の相関が認められる。A, B, C ともに有意となる基準線を超えた領域がなく, 脊柱アライメントと腸骨筋の筋指標には関連が認められなかった。

### 3) 脊柱角度

スパイナルマウスで計測した胸椎後弯角度は $38.7 \pm 9.1^\circ$ , 腰椎前弯角度は $21.3 \pm 8.7^\circ$ であった。相関分析の結果, 胸椎後弯角度, 腰椎後弯角度に年齢との有意な関連は見られなかった (図 5)。

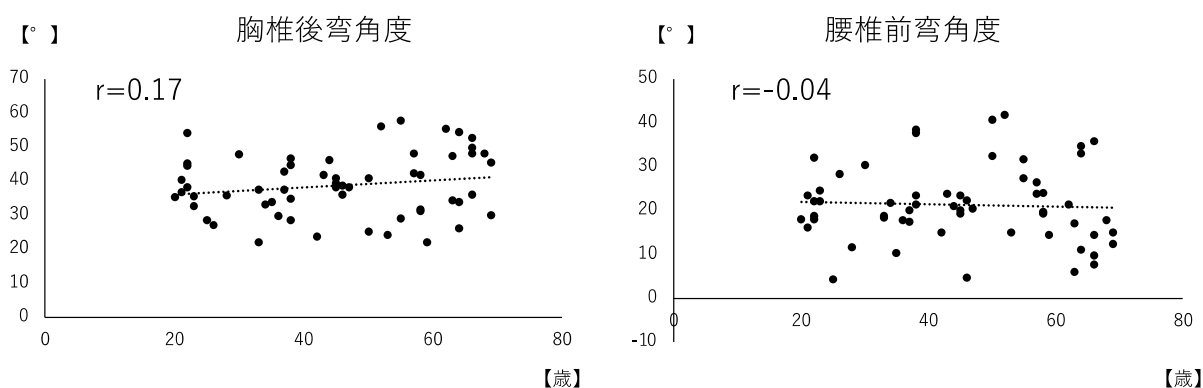


図 5 脊柱角度と年齢との相関分析

## IV 考 察

本研究では, 統計的な手法で姿勢の加齢変化を検討すること, 姿勢の加齢変化に関連する筋機能を特定することを目的とした。その結果, 上部胸椎が加齢とともに前方に位置するという特徴を明らかにした。しかしながら, 脊柱アライメントといずれの筋機能にも関連が見られず, 脊柱アライメントに関連する筋機能の特定には至らなかった。

姿勢と年齢には我々が考案した脊柱アライメントの解析方法でのみ有意な関連が見られ, 第 7 頸椎に近い上位胸椎が高齢な被験者ほど前方に位置していた。6 歳から 75 歳を対象とし, レントゲンで脊柱アライメントの加齢変化を調べた先行研究では, 40 代以上の女性で胸椎後弯角度が増加することが報告されており<sup>21)</sup>, 本研究の結果と類似していると考えられる。一方で, スパイナルマウスによる従来の脊柱角度の評価方法では年齢との関連がみられなかった。50 代から 80 代の 320 名の女性を対象にスパイナルマウスで脊柱角度を調べた研究では, 胸椎後弯角度に加齢変化がなく, 腰椎前弯角度が減少することを報告しており<sup>22)</sup>, 本研究でのスパイナルマウスの結果は先行研究の結果と一部異なる。その理由として, 本研究では 70 歳以上の被験者が含まれず, 被験者数が 59 名であり, 先行研究より被験者が比較的若く,

被験者数が少なかったことが考えられる。このような被験者においても、全身形状モデルと統計手法を組み合わせることで、レントゲンを使用した先行研究と類似した姿勢の加齢変化を捉えることができた。本研究で用いた方法は被曝の危険性がなく人体に安全で、簡易に姿勢を評価可能なため、今後大規模かつ幅広い年齢での研究での応用が期待できる。

姿勢の加齢変化を特定できたにも関わらず、この変化に関連する筋機能の特定には至らなかった。先行研究では、胸椎後弯角度増加に背筋の筋力低下<sup>23)</sup>や持久力低下<sup>24)</sup>、腰脊柱起立筋の筋厚低下<sup>4)</sup>、筋質低下<sup>25)</sup>が関連すると報告されている。これらの結果と矛盾した理由には2つのことが考えられる。1つ目は、比較的若く、全身に痛みがなく、明らかな関節変形がない被験者を対象としたことである。先行研究では関節痛や関節変形は脊柱アライメントや筋機能を変化させることが報告されている<sup>26, 27, 28)</sup>。これらの影響のない被験者では、姿勢の変化が小さく、また筋の変性も軽度であったと考えられ、本研究では姿勢と筋機能に関連が見られなかったと可能性がある。2つ目は、脊柱アライメントと筋機能との関連に影響する他の要因を計測できていないことが挙げられる。例えば、先行研究では姿勢と肥満との関連が報告されており<sup>29)</sup>、また肥満は筋指標にも影響を及ぼすことが報告されている<sup>30, 31)</sup>。ただし、Body mass indexのような全身的な指標と姿勢との関連は強くないとの報告があるため<sup>32)</sup>、今後は身体各部位の体脂肪量などを詳細に計測し、その影響を統計的に調整した上で脊柱アライメントと筋機能との関連を検討する必要がある。

本研究には限界がある。まず、姿勢を脊柱アライメントのみで捉えており、全身的な姿勢や体型の加齢変化を明らかにできていない点である。また、被験者が70歳以下の女性のみ限定されている。今後、さらに広い年代を対象として測定を行い、解析手法の改良を重ねて、全身的な姿勢や体型の加齢変化とそれに関わる筋機能の特定を目指す。

## V 結 語

本研究では、地域在住の若年から中高齢女性を対象として、姿勢の加齢変化とそれに関連する筋機能を検討した。新たな方法を用いることで、従来の方法では見られなかった脊柱アライメントの変化を検出でき、年齢が高い被験者ほど第7頸椎に近い上部胸椎が前方に位置することが示された。しかし、この変化に関連する筋機能の特定に至らず、今後、姿勢の解析手法の改良や筋機能以外の影響を調整した分析が必要である。

## VI 謝 辞

本研究への助成を賜りました公益財団法人総合健康推進財団ならびに関係者の皆様、本研究にご協力いただきました被験者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 【参考文献】

- 1) Roghani T, Zavieh MK, Manshadi FD, King N, Katzman W. Age-related hyperkyphosis: update of its potential causes and clinical impacts-narrative review. *Aging Clin Exp Res.* 2017; 29(4): 567–77.
- 2) Yukawa Y, Kato F, Suda K, Yamagata M, Ueta T, Yoshida M. Normative data for parameters of sagittal spinal alignment in healthy subjects: an analysis of gender specific differences and changes with aging in 626 asymptomatic individuals. *Eur Spine J.* 2018; 27(2): 426–32.
- 3) Oe S, Yamato Y, Hasegawa T, Yoshida G, Kobayashi S, Yasuda T, et al. Deterioration of sagittal spinal alignment with age originates from the pelvis not the lumbar spine: a 4-year longitudinal cohort study. *Eur Spine J.* 2020; 29(9): 2329–39.
- 4) Masaki M, Ikezoe T, Fukumoto Y, Minami S, Tsukagoshi R, Sakuma K, et al. Association of sagittal spinal alignment with thickness and echo intensity of lumbar back muscles in middle-aged and elderly women. *Arch Gerontol Geriatr.* 2015; 61(2): 197–201.
- 5) Hasegawa K, Okamoto M, Hatsushikano S, Shimoda H, Ono M, Homma T, et al. Standing sagittal alignment of the whole axial skeleton with reference to the gravity line in humans. *J Anat.* 2017; 230(5): 619–30.
- 6) Mannion AF, Knecht K, Balaban G, Dvorak J, Grob D. A new skin-surface device for measuring the curvature and global and segmental ranges of motion of the spine: reliability of measurements and comparison with data reviewed from the literature. *Eur Spine J.* 2004; 13(2): 122–36.
- 7) Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000; 25(16): 2052–63.
- 8) Pataky TC, Yagi M, Ichihashi N, Cox PG. Landmark-free, parametric hypothesis tests regarding two-dimensional contour shapes using coherent point drift registration and statistical parametric mapping. *PeerJ Comput Sci.* 2021; 7: e542.
- 9) Pataky TC, Robinson MA, Vanrenterghem J. Vector field statistical analysis of kinematic and force trajectories. *J Biomech.* 2013; 46(14): 2394–401.
- 10) Takeda N, Kobayashi T, Atsuta Y, Matsuno T, Shirado O, Minami A. Changes in the sagittal spinal alignment of the elderly without vertebral fractures: a minimum 10-year longitudinal study. *J Orthop Sci.* 2009; 14(6): 748–53.
- 11) Hirono T, Ikezoe T, Taniguchi M, Tanaka H, Saeki J, Yagi M, et al. Relationship Between Muscle Swelling and Hypertrophy Induced by Resistance Training. *J Strength Cond Res.* 2022; 36(2): 359–64.
- 12) Umehara J, Nakamura M, Saeki J, Tanaka H, Yanase K, Fujita K, et al. Acute and Prolonged Effects of Stretching on Shear Modulus of the Pectoralis Minor Muscle. *J Sports Sci Med.* 2021; 20(1): 17–25.
- 13) Ruivo RM, Pezarat-Correia P, Carita AI. Effects of a Resistance and Stretching Training Program on Forward Head and Protracted Shoulder Posture in Adolescents. *J Manipulative Physiol Ther.* 2017; 40(1): 1–10.
- 14) Katzman W, Cawthon P, Hicks GE, Vittinghoff E, Shepherd J, Cauley JA, et al. Association of spinal muscle composition and prevalence of hyperkyphosis in healthy community-dwelling older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2012; 67(2): 191–5.
- 15) Kobayashi K, Yagi M, Tateuchi H, Ota M, Umehara J, Sakata H, et al. Effect of age on shear modulus, muscle thickness, echo intensity of the upper limb, lower limb, and trunk muscles in healthy women. *Eur J Appl Physiol.* 2022.
- 16) Kellis E, Adamou G, Tziliou G, Emmanouilidou M. Reliability of spinal range of motion in healthy boys using a skin-surface device. *J Manipulative Physiol Ther.* 2008; 31(8): 570–6.
- 17) Guermazi M, Ghroubi S, Kassis M, Jaziri O, Keskes H, Kessomtini W, et al. [Validity and reliability of Spinal Mouse to assess lumbar flexion]. *Ann Readapt Med Phys.* 2006; 49(4): 172–7.
- 18) Nordez A, Gennisson JL, Casari P, Catheline S, Cornu C. Characterization of muscle belly elastic properties during passive stretching using transient elastography. *J Biomech.* 2008; 41(10): 2305–11.
- 19) Fukumoto Y, Ikezoe T, Tateuchi H, Tsukagoshi R, Akiyama H, So K, et al. Muscle mass and composition of the hip, thigh and abdominal muscles in women with and without hip osteoarthritis. *Ultrasound Med Biol.* 2012; 38(9): 1540–5.
- 20) Pataky TC. One-dimensional statistical parametric mapping in Python. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2012; 15(3): 295–301.
- 21) Fon GT, Pitt MJ, Thies AC, Jr. Thoracic kyphosis: range in normal subjects. *AJR Am J Roentgenol.* 1980; 134(5): 979–83.
- 22) Kasukawa Y, Miyakoshi N, Hongo M, Ishikawa Y, Kudo D, Suzuki M, et al. Age-related changes in muscle strength and spinal kyphosis angles in an elderly Japanese population. *Clin Interv Aging.* 2017; 12: 413–20.
- 23) Sinaki M, Itoi E, Rogers JW, Bergstralh EJ, Wahner HW. Correlation of back extensor strength with thoracic kyphosis and lumbar lordosis in estrogen-deficient women. *Am J Phys Med Rehabil.* 1996; 75(5): 370–4.
- 24) Roghani T, Khalkhali Zavieh M, Talebian S, Akbarzadeh Baghban A, Katzman W. Back Muscle Function in Older Women With Age-Related Hyperkyphosis: A Comparative Study. *J Manipulative Physiol Ther.* 2019; 42(4): 284–94.

- 25) Balzini L, Vannucchi L, Benvenuti F, Benucci M, Monni M, Cappozzo A, et al. Clinical characteristics of flexed posture in elderly women. *J Am Geriatr Soc.* 2003; 51(10): 1419–26.
- 26) Hunter DJ, Rivett DA, McKeirnan S, Smith L, Snodgrass SJ. Relationship Between Shoulder Impingement Syndrome and Thoracic Posture. *Physical Therapy.* 2020; 100(4): 677–86.
- 27) Murata Y, Takahashi K, Yamagata M, Hanaoka E, Moriya H. The knee-spine syndrome. Association between lumbar lordosis and extension of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2003; 85(1): 95–9.
- 28) Taniguchi M, Fukumoto Y, Kobayashi M, Kawasaki T, Maegawa S, Ibuki S, et al. Quantity and Quality of the Lower Extremity Muscles in Women with Knee Osteoarthritis. *Ultrasound Med Biol.* 2015; 41(10): 2567–74.
- 29) Shaghayegh Fard B, Ahmadi A, Maroufi N, Sarrafzadeh J. Evaluation of forward head posture in sitting and standing positions. *Eur Spine J.* 2016; 25(11): 3577–82.
- 30) Piccolo G, Cortese A, Tavazzi E, Piccolo L, Sassone J, Ciammola A, et al. Late onset oculopharyngeal muscular dystrophy with prominent neurogenic features and short GCG trinucleotide expansion. *Muscle Nerve.* 2011; 43(1): 141–2.
- 31) Giuliani HK, Shea NW, Gerstner GR, Mota JA, Blackburn JT, Ryan ED. The Influence of Age and Obesity-Altered Muscle Tissue Composition on Muscular Dimensional Changes: Impact on Strength and Function. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2020; 75(12): 2286–94.
- 32) Romero-Vargas S, Zarate-Kalfopulos B, Otero-Camara E, Rosales-Olivarez L, Alpizar-Aguirre A, Morales-Hernandez E, et al. The impact of body mass index and central obesity on the spino-pelvic parameters: a correlation study. *Eur Spine J.* 2013; 22(4): 878–82.