腰部脊椎症の高齢者への局所振動刺激による 固有受容加重比率の性差

Gender Differences in the Relative Proprioceptive Weighting Ratio during Local Vibratory Stimulation of Older Persons with Lumbar Spondylosis

伊藤 忠^{1,2)} 酒井 義人³⁾ 山崎 一徳⁴⁾ 中村 英士⁵⁾
山田 彩加⁵⁾ 佐藤 徳孝⁵⁾ 森田 良文⁵⁾

TADASHI ITO, PT, MSc^{1,2)}, YOSHIHITO SAKAI, MD, PhD³⁾, KAZUNORI YAMAZAKI, PhD⁴⁾, EISHI NAKAMURA, MSc⁵⁾,
AYAKA YAMADA, BSc⁵⁾, NORITAKA SATO, PhD⁵⁾, YOSHIFUMI MORITA, PhD⁵⁾

¹⁾ Division of Physical Therapy, Department of Health Science, Graduate School of International University of Health and Welfare: 2600-1 Kitakanemaru, Otawara-shi, Tochigi 324-8501, Japan. TEL+81 287-24-3200 E-mail: tada-ito@ncgg.go.jp

²⁾ Department of Functioning Activation, National Center for Geriatrics and Gerontology

³⁾ Spinal Surgery, National Center for Geriatrics and Gerontology

⁴⁾ Faculty of Clinical Engineering, School of Health Sciences, Fujita Health University

⁵⁾ Nagoya Institute of Technology

Rigakuryoho Kagaku 30(4): 533-537, 2015. Submitted Feb. 3, 2015. Accepted Mar. 14, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] To investigate gender differences in the relative proprioceptive weighting ratio (RPW) during application of vibration to the triceps surae and lumbar muscles of elderly persons. [Subjects] The subjects were 54 elderly inpatients (30 men, 24 women; average age, 74.7 ± 4.8 years) being treated for lumbar spondylosis. [Methods] A 60 Hz vibration was applied alternately to subjects' triceps surae and lumbar spine muscles while they stood with their eyes closed. Subjects were divided by gender, and the results of age, height, weight, BMI, duration of disease, RPW, cross-sectional area of the lumbar muscles, lumbar lordosis angle, spinal muscle strength, and pain measured on a visual analogue scale (VAS) were compared. [Results] The elderly women's RPW showed a predominantly lower leg reaction. [Conclusion] At the same time as providing pain control, a functional improvement program for both trunk muscle function and proprioception is also needed for elderly women.

Key words: relative proprioceptive weighting ratio, older women, muscle spindles

要旨:〔目的〕高齢者での下腿三頭筋と腰背筋への振動刺激時の固有受容加重比率（RPW）の性差を検証した。〔対象〕腰部脊椎症と診断され入院中の54名（男性30名、女性24名、年齢の平均 $\pm$ 標準偏差 74.7 ± 4.8 歳）とした。〔方法〕下腿三頭筋および腰背筋に閉眼立位で交互に60 Hzの振動刺激を与えた。男性と女性の2群間で、年齢、身長、体重、BMI、罹病期間、RPW、腰背筋断面積、腰椎前弯角度、背筋力、Visual Analogue Scale（VAS）を比較した。〔結果〕女性高齢者のRPWは、下腿優位の反応を示した。〔結語〕女性高齢者は、疼痛コントロールと同時に、体幹の固有感覚と筋機能の両方に対する機能向上プログラムを実施する必要がある。

キーワード: 固有受容加重比率、女性高齢者、筋紡錘

¹⁾ 国際医療福祉大学大学院 保健医療学専攻 理学療法学分野: 栃木県大田原市北金丸2600-1 (〒324-8501)
TEL 0287-24-3200

²⁾ 国立長寿医療研究センター 生活機能賦活研究部

³⁾ 国立長寿医療研究センター 先端診療部 脊椎外科

⁴⁾ 藤田保健衛生大学 医療科学部 臨床工学科

⁵⁾ 名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

I. はじめに

これまで、腰痛を有する高齢者において、バランス機能や固有感覚が低下することが報告されている¹⁻³⁾。このうち固有感覚は、腰痛患者で悪化するといわれ、関節位置覚・運動覚・筋収縮・知覚などを含む姿勢制御において重要な感覚である^{4,5)}。固有感覚を提供する器官は固有受容器と呼ばれ、筋や腱に多数存在しており、代表的な固有受容器のひとつに筋紡錘がある。固有受容器は、応答周波数に応じた外部からの振動刺激に対して高い反応を示すことが知られている⁶⁾。過去の研究によれば、腰痛患者と健常者での比較対照試験では、腰痛患者では腰背筋でのバランス制御機能が低下し、腰背筋に対して下腿三頭筋優位の姿勢制御をしているとされている^{7,8)}。

高齢者の、これらバランス能力と下肢筋力との関連性には性差があるという報告がある⁹⁾。しかし、それにもかかわらず、腰痛患者の局所振動刺激に対する姿勢バランスの変化に性差があるといった報告は、ほぼ見当たらない。さらに、胸椎後彎角が大きい女性高齢者は、立位バランス機能が低下するといわれ¹⁰⁾、このことから、固有感覚の低下による、局所振動刺激に対する姿勢バランスの変化を性差の視点から比較検証することは、性に対応するバランス機能改善の一助となるかもしれない。また、固有感覚の低下が性によって異なることを示すことができれば、固有感覚の低下に着目したバランス機能評価が重要になると思われる。

そこで、本研究の目的は、固有感覚が低下している可能性があり、腰部疾患を有する高齢者を対象とし、下腿三頭筋および腰背筋に対する局所振動刺激時の重心動揺を男性と女性に群分けして比較検証することにより、性差の有無およびその傾向を明らかにすることとした。

II. 対象と方法

1. 対象

腰部脊椎症を有し、腰部脊柱管狭窄症および変形性脊椎症と診断され入院中の65歳以上の高齢者54名（男性30名、女性24名、年齢 $\pm$ 標準偏差、 74.7 ± 4.8 歳）を対象とした。進行性の重篤な麻痺のため早急に手術が必要な者、疼痛または神経障害により起立保持不可能および歩行困難な者、重篤な筋疾患を伴う者、糖尿病を伴う者、過去に骨折歴のある者、意思疎通に難渋し疼痛評価が困難な者は分析対象から除外した。すべての対象者に対して事前に調査内容を説明し、書面による同意を得た。また、国立長寿医療研究センター倫理・利益相反委員会と国際医療福祉大学倫理審査委員会の承認を受けて実施した。

2. 方法

対象者には、我々が製作した振動変位固定・周波数可変型の振動デバイス（以下、単に振動デバイス）を用いて、左右の下腿三頭筋、もしくは腰背筋に対して機械的振動刺激を与えた。振動刺激の周波数は筋紡錘が反応する60 Hzとした。振動子の振動刺激は前後方向のみであり、その振動刺激が重心動揺計の波形に影響を与えないことを周波数解析で確認した。振動子部分は、人体に直接ゴムバンドで取り付け、下腿と腹囲の周径から、振動デバイスの着用バンドの長さを調整し、振動刺激の強さを対象者間で一定となるようにした。重心動揺計は、Wii Balance Board（任天堂）を用いた¹¹⁻¹⁴⁾。Wii Balance BoardにBluetooth規格で無線接続されたコンピュータで、我々が製作した専用のソフトウェアを使用し、重心動揺計のデータを取得した。このソフトウェアは、足圧中心（CoP）の座標の時系列データ100 Hzのサンプリング周波数で取得できる。専用のソフトウェアを用いることで、時系列上連続した計測データを複数区間に分割して解析することを可能とした。

計測の手順を以下に示す。計測時間を30秒とする1セットの計測では振動刺激を下腿三頭筋と腰背筋のどちらか一方に与える。振動刺激を下腿三頭筋と腰背筋に交互に与えるため、1人の対象者に対して2セットの計測を行った。計測条件は閉足、閉眼とし、計測時間（1回30秒間）を、15秒ごとの2区間に分けた。区間に対する振動刺激の条件を前半の15秒は振動刺激なし（Pre）、後半の15秒はあり（During）と設定し、PreおよびDuringでの重心動揺を計測した。各セット間に、60秒間の座位休息を設けた。

以下、本研究で用いた比較指標の計測・算出方法について述べる。第一に、振動刺激による前後方向の重心動揺の平均位置の変化量を算出した。この変化量を dy とし、 $dy = Y(-)d - Y(-)p$ により求めた。ここで $Y(-)d$ はDuringにおける、 $Y(-)p$ はPre間のCoPy前後方向（以下CoPy）の平均位置を表す。振動刺激を与える際に、 dy が正であればCoPが前方に移動、負であれば後方に移動したことを示している。

第二に、固有受容優位に関する追加情報を得るために、相対的な固有受容加重比率（relative proprioceptive weighting ratio : RPW）を次の式により計算した¹⁵⁾。

$$RPW = \frac{(\text{abs } dy \text{ GS})}{(\text{abs } dy \text{ GS}) + (\text{abs } dy \text{ LM})} \times 100 [\%]$$

abs dy GS、abs dy LMは、それぞれ下腿三頭筋刺激、腰背筋刺激時の平均CoPyの偏位（ dy ）の絶対値である。この計算式によって、下腿三頭筋と腰背筋のどちらを優位にして姿勢制御を行っているかを算出した。RPWが100%に近づくほど下腿三頭筋の、0%に近づくほど腰背筋の固有受容優位の姿勢制御に相当する¹⁶⁾。

第三に、画像による評価としてMRIでL1/L2およびL4/L5高位での両側の脊柱起立筋と腰部多裂筋を合わせた筋断面積（腰背筋断面積）の計測を面積計算ソフトウェア（SYNAPSE[®]、富士フイルムメディカル）を用いて行った。また、X線撮影（据置型デジタル式汎用X線診断装置、デジタル式X線一般撮影システムRAD speed safire、島津製作所）から得られるX線画像を基に、第1腰椎上縁と第5腰椎上縁とのなす角を脊椎外科専門医が測定した。最後に、筋力評価として、背筋力は端坐位で腰椎を後方に30°伸展させ、ハンドヘルドダイナモメーター（Isoforce GT-300, 310、オージー技研社）を使用して等尺性最大筋力を測定した。痛みの評価にはVisual Analogue Scale（VAS）を用いて主観的な腰痛の程度を測定した。

男性高齢者群と女性高齢者群に対象者を分類し、RPW、腰背筋断面積、背筋力、VASについて群間比較を行った。また、これらの群間の差が年齢や体格、罹病期間、腰椎の変形によるものでないかを確認するために年齢、身長、体重、BMI、罹病期間、腰椎前弯角度についても群間比較を行った。群間比較は、対応のないt検定を用いた。RPWの結果と、腰背筋断面積、腰椎前弯角度、背筋力、VASとの関連性とVASの結果と、L1/L2、L4/L5高位での両側の脊柱起立筋および腰部多裂筋の筋断面積との関連性を検証するためにPearson相関係数を用いた。解析にはIBM SPSS statistics ver. 20（日本アイ・ビー・エム）を用い有意水準は5%とした。

III. 結 果

RPWを男性高齢者と女性高齢者と比較したところ、女性高齢者の値が高く（男性高齢者で $48.1 \pm 24.1\%$ 、女性高齢者で $66.3 \pm 21.3\%$ ； $p<0.05$ ）、したがって下腿優位の姿勢制御を示すことが認められた（表1）。腰背

筋断面積（男性高齢者で $6,627.7 \pm 1,321.4 \text{ mm}^2$ 、女性高齢者で $4,915.9 \pm 934.3 \text{ mm}^2$ ）、背筋力（男性高齢者で $190.2 \pm 47.9 \text{ N}$ 、女性高齢者で $156.1 \pm 34.4 \text{ N}$ ）は女性高齢者が男性高齢者よりも有意に低下していた（いずれも $p<0.01$ ）（表1）。身長（男性高齢者で $162.2 \pm 6.9 \text{ cm}$ 、女性高齢者で $148.7 \pm 4.1 \text{ cm}$ ）と体重（男性高齢者で $63.8 \pm 10.8 \text{ kg}$ 、女性高齢者で $52.5 \pm 9.3 \text{ kg}$ ）は、男性高齢者が女性高齢者よりも有意に高値であった（いずれも $p<0.01$ ）（表1）。VAS（男性高齢者で $4.0 \pm 2.7 \text{ cm}$ 、女性高齢者で $5.8 \pm 2.1 \text{ cm}$ ）は女性高齢者が男性高齢者よりも有意に高値を示した（ $p<0.05$ ）（表1）。また、RPWと腰背筋断面積との間に有意な負の相関関係が認められた（表2）。VASとL4/5腰部多裂筋との間に有意な負の相関関係が認められた（表3）。年齢、BMI、罹病期間、腰椎前弯角度に有意差は認められなかった（表1）。

IV. 考 察

本研究の結果より、RPWは女性高齢者で腰背筋の固有感覚の低下から下腿優位の姿勢制御を示した。このことから、女性高齢者において下腿三頭筋が腰背筋よりも振動刺激の影響を受けることが示された。Brumagneら¹⁷⁾は、CoPの平均変位は、下腿三頭筋への振動刺激で後方に変化すると報告している。これは性差とは関係のない知見であるが、今回の実験によって、男性高齢者よりも女性高齢者の下腿三頭筋の方が振動刺激の影響をより大きく受けることが分かった。この結果をRPWの定義から逆にみると、女性高齢者の腰背筋の固有感覚は男性高齢者と比較して低下しているといえる。すなわち、女性高齢者の姿勢制御は下腿の筋紡錘に依存しているといえる。Capicikováら¹⁸⁾は、下腿三頭筋に対して60 Hzの振動刺激を与えると後方へCoPの変動が起きると

表1 腰部脊椎症の男性および女性高齢者のRPWおよびその他の測定項目（n=54）

	男性高齢者群 (n=30)	女性高齢者群 (n=24)
年齢 (歳)	74.7 ± 5.1	74.7 ± 4.4
身長 (cm)	$162.2 \pm 6.9^{**}$	148.7 ± 4.1
体重 (kg)	$63.8 \pm 10.8^{**}$	52.5 ± 9.3
BMI (kg/m^2)	24.1 ± 3.2	23.7 ± 3.9
罹病期間 (ヵ月)	51.9 ± 69.9	45.6 ± 100.4
RPW (%)	48.1 ± 24.1	$66.3 \pm 21.3^{**}$
腰背筋断面積 (mm^2)	$6627.7 \pm 1321.4^{**}$	4915.9 ± 934.3
腰椎前弯角度 (°)	33.2 ± 8.2	34.6 ± 11.1
背筋力 (N)	$190.2 \pm 47.9^{**}$	156.1 ± 34.4
VAS (cm)	4.0 ± 2.7	$5.7 \pm 2.1^{**}$

平均値 $\pm$ 標準偏差。男性高齢者群・女性高齢者群 * ($p<0.05$) ** ($p<0.01$)。BMI : Body mass index, RPW : Relative Proprioceptive Weighting ratio (固有受容加重比率), VAS : Visual Analogue Scale. 対応のないt検定

表2 RPW と、腰背筋断面積およびその他の各測定項目との相関 (n=54)

	相関係数 (r)
腰背筋断面積	-0.29*
腰椎前弯角度	0.09
背筋力	-0.25
VAS	0.06

Pearson の相関係数 *($p<0.05$). RPW : Relative Proprioceptive Weighting ratio (固有受容加重比率), VAS : Visual Analogue Scale

報告している。また、Brumagne らによって、腰背筋の振動に対する感度の低下は、腰背筋の筋紡錘の求心性情報の感受性が低下していることによることが示唆されている¹⁹⁾。このことから、女性高齢者は男性高齢者よりも下腿優位となる姿勢制御の戦略を利用し、不安定な場所での活動時に腰部の固有感覚の入力が弱いため、下腿に依存しやすくなるといえる。

また、女性高齢者において筋紡錘の固有感覚入力の低下が、姿勢安定性の低下の原因になる可能性がある。腰痛患者における感覚障害は病理学的因子および正常な加齢によって生じる²⁰⁾といわれている。本研究の対象となる女性高齢者は、腰部脊椎症に罹患したことによる腰痛の主観的な VAS の値も男性高齢者よりも高いため、感覚情報を用いて姿勢制御を行うことが困難になっている可能性もある。過去の研究では、腰痛を再発させた若年者と健常若年者において 60 Hz の振動刺激を下腿三頭筋、前脛骨筋、腰背筋に与えたとき、腰痛を再発させた若年者は、腰背筋ではなく足関節筋群の固有受容コントロール優位の姿勢制御戦略を利用することが示されている²¹⁾。一方、高齢者は下腿に振動刺激を与えられると感覚入力を再度行うことが上手くできず、急速な姿勢制御ができないともいわれている²²⁾。このことから女性高齢者は、下腿優位の姿勢制御を示すが、固有感覚入力の低下により急速な姿勢制御はできない可能性が考えられるため、バランス機能低下に繋がっていると推察される。一方で、年齢や BMI、罹病期間、腰椎前弯角度に有意な差が認められないことから、腰部脊椎症に罹患した高齢者のバランス機能低下には、性差によるこれらの影響は小さいことが示唆される。したがって、これらの固有感覚入力の低下を代償とし、姿勢制御を適切に維持するために、腰背筋と下腿三頭筋へ振動刺激を与え、筋紡錘の固有感覚に刺激入力をさせながら姿勢制御を調節するバランス練習も有効だろう。

本研究では、女性高齢者は男性高齢者と比べて腰背筋断面積や背筋力が有意に低下しており、VAS も高値を示した。一方で、VAS と両側 L4/5 の腰部多裂筋との相関関係および RPW と腰背筋断面積との相関関係が認め

表3 VAS と、腰背筋断面積 (L1/2, L4/5 脊柱起立筋と腰部多裂筋) との相関 (n=54)

	相関係数 (r)
L1/2 脊柱起立筋	-0.16
L4/5 脊柱起立筋	-0.12
L1/2 腰部多裂筋	-0.1
L4/5 腰部多裂筋	-0.34*

Pearson の相関係数 *($p<0.05$). Visual Analogue Scale : VAS

られた。このことから、女性高齢者の場合、主観的な痛みの訴えが強い者は、特に両側 L4/5 の腰部多裂筋が萎縮しやすく、その一方で、体幹の筋機能も固有感覚と同様に低下していく可能性がある。また、腰背筋断面積の減少のなかでも特に、両側 L4/5 の腰部多裂筋が萎縮していることから、主観的な痛みの訴えが強くなっている可能性も考えられる。したがって、腰部脊椎症の女性高齢者におけるバランス機能改善には、疼痛コントロールと同時に、体幹の固有感覚と筋機能の両方に対する機能向上プログラムを実施することが必要であるといえるだろう。ただし、固有感覚の低下と主観的な痛みの関係は不明であるため、この解明は今後の課題といえる。

本研究にはいくつかの限界が含まれている。本研究では腰部脊柱管狭窄症および変形性脊椎症と診断された高齢者のみを対象としており、地域在住の健常高齢者や健常若年者での比較対象試験を行っていないため、これらの対象者における局所振動刺激の固有感覚評価を今後検討しなければならない。また、縦断データによる妥当性の検証が必要である。このような制約はあるものの、重心動揺計で測定される筋紡錘への局所振動刺激による RPW を性差での視点で比較した今回の結果が、健常者も含めたバランス機能の性差による違いを検証する指標のひとつとして活用できると考える。

本研究の実施にあたり、ご協力いただいた国立長寿医療研究センター整形外科病棟と関係各位に感謝する。本研究は、平成 26 年度長寿医療研究開発費 (研究代表者：酒井義人) による研究の一部である。

引用文献

- 1) Pyykko I, Jantti P, Aaito H: Postural control in elderly subjects. Age Ageing, 1990, 19(3): 215-221.
- 2) Parkhurst T, Burnett C: Injury and proprioception in the lower back. J Orthop Sports Phys Ther, 1994, 19(5): 282-295.
- 3) Quoniariu C, Hay L, Roll JP, et al.: Age effects on reflex and postural responses to proprioceptive inputs generated by tendon vibration. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1995, 50(3): 155-165.

- 4) Radebolt A, Cholewicki J, Polzhofer GK, et al.: Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine*, 2001, 26(7): 724-730.
- 5) Luoto S, Aalto H, Taimela S, et al.: One-footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. A controlled study with follow-up. *Spine*, 1998, 23(19): 2081-2089.
- 6) 松丸隆文：生体機能工学。東京電機大学出版局，東京，2008，p29.
- 7) Claeys K, Brumagne S, Dankaerts W, et al.: Decreased variability in postural control strategies in young people with non-specific low back pain is associated with altered proprioceptive reweighting. *Eur J Appl Physiol*, 2011, 111(1): 115-123.
- 8) Johanson E, Brumagne S, Janssens L, et al.: The effect of acute back muscle fatigue on postural control strategy on people with and without recurrent low back pain. *Eur Spine J*, 2011, 20(12): 2152-2159.
- 9) 平瀬達哉，井口 茂，塩塚 順・他：高齢者におけるバランス能力と下肢筋力との関連性について 性差・年齢・老研式活動能力指標別での検討。理学療法科学，2008，23(5): 641-646.
- 10) 村田 伸，村田 潤，津田 彰：地域在住女性高齢者の足把持力と胸椎後彎角との関係。理学療法科学，2008，23(5): 601-607.
- 11) Clark RA, Bryant AL, Pua Y, et al.: Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance. Board for assessment of standing balance. *Gait Posture*, 2010, 31(3): 307-310.
- 12) Young W, Ferguson S, Brault S, et al.: Assessing and training standing balance in older adults: a novel approach using the 'Nintendo Wii' Balance Board. *Gait Posture*, 2011, 33(2): 303-305.
- 13) Bartlett H, Bingham J, Ting LH: Validation and calibration of the Wii Balance Board as an inexpensive force plate. *American Society of Biomechanics*, 2012, 1(2): 3-4.
- 14) Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, et al.: Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease. *Clin Rehabil*, 2013, 27(4): 361-366.
- 15) Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al.: Proprioceptive changes impair balance control in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS ONE*, 2013, 8(3): e57949.
- 16) 伊藤 忠，酒井義人，久保 晃・他：転倒歴の有る腰部脊椎疾患後期高齢者への筋紡錘に対する局所振動刺激による固有受容加重比率。理学療法科学，2014，29(4): 633-638.
- 17) Brumagne S, Cordo P, Verschueren S: "Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing". *Neurosci Lett*, 2004, 366(1): 63-66.
- 18) Capiciková N, Rocchi L, Hlavacka F, et al.: Human postural response to lower leg muscle vibration of different duration. *Physiol Res*, 2006, 55(1): S129-S134.
- 19) Brumagne S, Cordo P, Lysens R, et al.: The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain. *Spine*, 2000, 25 (8): 989-994.
- 20) Pyykko I, Aalto H, Seidel H, et al.: Hierarchy of different muscles in postural control. *Acta Otolaryngol Suppl*, 1989, 468(15): 175-180.
- 21) Brumagne S, Janssens L, Knapen S, et al.: Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy. *Eur Spine J*, 2008, 17(9): 1177-1184.
- 22) Hay L, Bard C, Fleury M, et al.: Availability of visual and proprioceptive afferent messages and postural control in elderly adults. *Exp Brain Res*, 1996, 108(1): 129-139.