

三次元動作解析と筋電図計測を同期させた歩行動作解析による 高齢者の腰痛メカニズムの解明

筑波附属病院整形外科リハビリテーション
病院講師 三浦 紘世

(共同研究者)

筑波大学医学医療系整形外科	教授	山崎 正志
筑波大学システム情報系	教授	鈴木 健嗣
筑波大学医学医療系整形外科	准教授	國府田 正雄
筑波大学附属病院未来医工融合研究センター	助教	門根 秀樹

はじめに

腰痛は運動器慢性痛の中で最も頻度が高く、高齢者では移動能力の低下を招き、寝たきりのリスクとなるから社会的問題となっている。高齢化社会の進行から診療機会が急増している高齢者の腰痛症に対して、従来はレントゲンやCT、MRIなど静的な画像診断を元に病態診断や評価が行われているが、腰痛は歩行などの動作で痛みが悪化する症例が多く、従来の画像検査では、動作により悪化する際の機序の評価が十分には行えないことが病態の診断が困難な理由である。従来の画像検査で同様の脊柱変形など脊椎退行性変化を呈していても、症状は一樣とはならないことが、これを示唆している。

特に、高齢者の腰痛は青壮年で多い急性腰痛と異なり、多くは慢性腰痛であり、その要因が多因子に渡り病態の診断が青壮年に比べて困難なことが多い。高齢者の腰痛の要因としては、加齢による退行性変化（変性）を原因とした椎間板変性、骨棘形成、椎間関節の変形がもたらす腰椎局所の椎間不安定性や、変性側弯や変性後弯、または両者を合併した変性後側弯症といった脊柱変形による脊椎全体のアライメント異常（姿勢異常）、体幹の腰背筋筋力低下（サルコペニア）、骨粗鬆症などがあげられる。これらの要因による腰痛に加えて、腰部脊柱管狭窄症による下肢神経症状（下肢の痛み、痺れ、筋力低下）が加わることも病態の診断をより複雑にさせる。

また、高齢者の脊椎の変形では従来より立位全脊椎単純X線を用いた脊柱骨盤パラメータが診断や術後評価として一般的に用いられている。これまで脊柱骨盤の矢状面アライメント異常が痛みやQOLの低下を招くと報告されている⁽¹⁻⁸⁾。しかし、単純X線脊柱骨盤パラメータは姿勢によって変動し再現性が低いことが報告されている⁽⁹⁾。これは、単純X線のような静的な評価では病態を理解するのに不十分であることを示唆している。動的なアライメントの変化が臨床的に重要であると考えられる。

そこで、著者らは無線表面筋電図を同期させた三次元動作解析を用いた歩行解析を考案し

た。これまで、健常者での予備研究に加えて首下がり症候群や医原性フラットバック症候群の脊柱変形症例の三次元歩行動作解析結果について報告してきた⁽¹⁰⁻¹²⁾。今回、成人脊柱変形症例に対して無線表面筋電図を同期させた三次元動作解析を用いた歩行解析を行い脊柱骨盤のアライメントと筋活動の動的变化を評価した。

対象は腰痛と脊椎の変形を有する高齢者28例（男性8例、女性20例）とした。平均年齢は70歳であった。立位全脊椎単純X線により評価した脊柱骨盤パラメータの平均はSVA 109mm、Thoracic kyphosis 23°、Lumbar lordosis 12°、Pelvic tilt 33°、Pelvic incidence 48°であった。歩行負荷は、直線10mと半円2.5mで1周約25mのオーバル型コースを用いて疼痛により継続困難となるまで平地連続歩行を行った。三次元動作解析システムはVICON® MX system (VICON社、Oxford、UK)を用いた。16台のカメラが歩行解析室内に360°設置され、反射マーカを脊椎棘突起や骨盤に貼付した。三次元動作解析の評価項目は、脊椎棘突起上反射マーカの2点を結ぶ直線と鉛直線が成す角度で矢状面角度 (Spinal Sagittal Angle: SSA)、冠状面角度 (Spinal Coronal Angle: SCA) を脊椎の動的アライメントとして計測した。測定する棘突起のC7とT12間を胸椎、T12とS1間を腰椎とした。反射マーカを貼付した上前腸骨棘と上後腸骨棘を結ぶ直線と水平面が成す角度で矢状面角度 (Pelvic Sagittal Angle: PSA)、冠状面角度 (Pelvic Coronal Angle: PCA) を骨盤の動的アライメントとして計測した。筋電図解析には無線表面筋電計Delsys® Tringo Lab. System (Delsys、Boston、MA、USA)を用いた。筋電計を両側の広背筋、腰部脊柱起立筋、大殿筋に貼付した。筋電図は整流化して移動平均の積分筋電図を算出し左右を平均した。三次元動作解析から得られた動的アライメントと無線表面筋電図から得られた筋活動について、歩行開始時と歩行最終時の変化を比較検討した。統計学的検討には対応のあるt検定を用いて有意水準は5%未満とした。

結 果

脊椎矢状面角度SSAは胸椎で歩行開始時26.5°/歩行最終時30.2°、腰椎は7.16°/9.48°であった。脊椎冠状面角度SCAは胸椎で2.5°/2.9°、腰椎は3.0°/3.0°であった。(表1)脊椎の

表1. 脊椎の動的アライメント変化

		歩行開始	歩行終了
矢状面	胸椎	26.5°	30.2° **
	腰椎	7.16°	9.48° **
冠状面	胸椎	2.5°	2.9°
	腰椎	3.0°	3.0°
			** p<0.01

矢状面角度は有意に後弯が連続歩行により増大した。骨盤矢状面角度PSAは2.9°/4.4°、骨盤冠状面角度PCAは1.6°/2.0°であった。骨盤矢状面角度で連続歩行により有意に骨盤が前傾した。(表2)

表2. 骨盤の動的アライメント変化

	歩行開始	歩行終了
矢状面	2.9°	4.4° *
冠状面	1.6°	2.0°
* p<0.05		

筋活動では、広背筋1.42/1.52 (x10⁻⁵)、腰部脊柱起立筋1.40/1.55 (x10⁻⁵)、大殿筋8.32/1.29 (x10⁻⁶)であった。連続歩行により有意に大殿筋の筋活動が増加した。(表3)

表3. 筋活動の動的変化

	歩行開始	歩行終了
広背筋	1.42 x10 ⁻⁵	1.52 x10 ⁻⁵
腰部脊柱起立筋	1.40 x10 ⁻⁵	1.55 x10 ⁻⁵
大殿筋	8.32 x10 ⁻⁶	1.29** x10 ⁻⁶
* p<0.01		

考 察

本研究より、連続歩行により脊柱骨盤の動的なアライメント変化が矢状面でのみ生じた。冠状面では変化がなかった。立位単純X線における脊柱骨盤パラメータの静的な評価でも冠状面のアライメント異常よりも矢状面アライメント異常の方がQOLとの関わりが強く臨床的に重要であると報告されており^(2, 4)、本研究の動的変化の検討でもそれを裏付ける結果となった。立位での全脊椎単純X線では、一時の静的な評価にすぎない。そのため、一時の立位での単純X線撮影時には、腰椎前弯減少を主とする脊椎矢状面アライメント異常に対して胸椎後弯が減少して骨盤が後傾する代償が機能してバランスが維持しようとするものが報告されている⁽¹³⁾。本研究では、連続歩行により脊柱後弯と骨盤の前傾が有意に増加した。立位で機能している代償が歩行により破綻したことが明らかである。脊椎矢状面バランス障害では歩行時に腰痛や姿勢障害が悪化することから、一時の立位の評価である立位単純X線では動的なバランスについては過小評価している可能性がある⁽¹⁴⁾。

また、筋活動からは連続歩行により大殿筋の筋活動が有意に増加したことが明らかとなっ

た。大殿筋は股関節伸展筋であり、大腿に対して骨盤を後傾させる。腰椎が後弯変形をきたすと、骨盤を後傾させることは鉛直に対して脊柱を後傾させ矢状面バランスを維持しようとする代償となる。このことから、本研究では連続歩行により脊柱後弯と骨盤前傾が増大したのに対し、矢状面バランスをなるべく維持しようとする大殿筋は持続的な筋緊張から筋活動が増加したと考えられる。

本歩行解析の手法により、症例毎の代償の破綻の程度を定量的に捉えることができた。高齢者の腰痛が連続歩行により動的に症状が悪化することを、脊椎骨盤の動作解析と体幹股関節の筋電図学的解析により運動学的に捉えることができた。これらの症例毎の動的な差異を明らかにすることが従来の単純X線やCT、MRIなどの静的な検査に加えて、治療方法や術式などの適切な手術方法を考慮する一助になると考えられる。

脊椎変形による腰痛をきたした高齢者に無線表面筋電図計測を同期させた三次元歩行動作解析により平地連続歩行における脊柱骨盤のアライメントと筋活動の動的変化を評価した。連続歩行により脊柱と骨盤の前傾が増加し、大殿筋の筋活動が有意に増加した。立位で機能している脊椎変形に対する代償が連続歩行により破綻した状態を定量的に評価が可能であった。

要 約

腰痛は運動器慢性痛の中で最も頻度が高く、高齢者では移動能力の低下を招き、寝たきりのリスクとなる。高齢化社会の進行から診療機会が増している高齢者の腰痛症に対して、従来はレントゲンやCT、MRIなど静的な画像診断を元に病態診断や評価が行われているが、腰痛は歩行などの動作で痛みが悪化する症例が多く、静的な評価だけでは十分ではない。

著者らは三次元動作解析と筋電図計測を同期させる新たな三次元歩行動作解析システムを開発して、脊椎骨盤の姿勢変化と体幹股関節の筋活動について連続歩行中の動的な変化を計測可能とした。本研究では、脊椎の変形を有する高齢者で腰痛を愁訴とする28例に三次元歩行動作解析を行った。脊椎の矢状面角度は有意に後弯が連続歩行により増大した。骨盤矢状面角度は連続歩行により有意に骨盤が前傾した。冠状面では脊椎、骨盤ともに変化がなかった。筋活動では連続歩行により有意に大殿筋の筋活動が増加した。本歩行解析の手法により、高齢者の腰痛が連続歩行により脊椎の変形が進行して動的に症状が悪化することを、脊椎骨盤の動作解析と体幹股関節の筋電図学的解析により運動学的に捉えることができた。これらの症例毎の動的な差異を明らかにすることが従来の単純X線やCT、MRIなどの静的な検査に加えて、治療方法や術式などの適切な手術方法を考慮する一助になると考えられる。

文 献

1. Glassman SD et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. Spine (Phila Pa 1976) 30 : 2024–2029, 2005

2. Glassman SD et al: Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 30 : 682–688, 2005
3. Lafage V et al: Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 34 : E599– E606, 2009
4. Mac-Thiong JM et al: Can c7 plumbline and gravity line predict health related quality of life in adult scoliosis? *Spine (Phila Pa 1976)* 34 : E519–E527, 2009
5. Schwab F B et al: Adult spinal deformity postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 35 : 2224–2231, 2010
6. Schwab F et al: Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 37 : 1077–1082, 2012
7. Lamartina C et al: Criteria to restore the sagittal balance in deformity and degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 21 : S27–S31, 2012
8. Hasegawa K et al: Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age, and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects. *Eur Spine J* 25 : 3675–3686, 2016
9. Obeid I et al: Global tilt: a single parameter incorporating spinal and pelvic sagittal parameters and least affected by patient positioning. *Eur Spine J* 25 : 3644–3649, 2016
10. Miura K et al: Visualization of walking speed variation-induced synchronized dynamic changes in lower limb joint angles and activity of trunk and lower limb muscles with a newly developed gait analysis system. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 26 : 2309499018806688, 2018
11. Miura K et al: Three-dimensional gait analysis reveals dynamic alignment change in a patient with dropped head syndrome: a case report. *J Clin Neurosci* 48 : 106– 108, 2018
12. Miura K et al: Successful detection of postoperative improvement of dynamic sagittal balance with a newly developed three-dimensional gait motion analysis system in a patient with iatrogenic flatback syndrome: a case report. *J Clin Neurosci* 53 : 241–243, 2018
13. Lamartina C et al: Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms. *Eur Spine J* 23 : 1177–1189, 2014
14. Shiba Y et al: Dynamic global sagittal alignment evaluated by three-dimensional gait analysis in patients with degenerative lumbar kyphoscoliosis. *Eur Spine J* 25 : 2572–2579, 2016