

原著

立位姿勢制御における脊柱の動態の解析

宮澤 拓¹⁾

要旨: [目的] 立位姿勢の制御における脊柱の寄与について検証することを目的とした。 [対象] 体格の類似した健常成人 2 名。 [方法] 三次元動作解析装置 (VICON) にて 30 秒間×3 セットの静止立位を計測した。 マーカー貼付は, Plug-in-Gait full body AI model に 8 つの脊柱マーカーを追加し, 計 10 個のマーカーから脊柱の詳細な動きを捉えられるようにした。 解析は頭部・脊柱・身体重心位置の前後方向の振幅と脊柱の分節的な動きを解析した。 [結果] 被験者 2 名とも脊柱の上位に行くほど振幅が増加したが, 倒立振り子の頂点である頭部, および身体重心の前後動揺は小さく保たれていた。 また, 脊柱の分節的な動きには個人差があったが, 両被験者ともに Th2-3 間の動きが最も大きな値を示した。 [結語] 従来立位姿勢では脊柱(体幹)は一つのセグメントとして捉えられていたが, 複数セグメントとして扱う必要があると考えられた。

キーワード: 姿勢制御, 脊柱, 振り子モデル

I. はじめに

立位姿勢は日常生活における諸動作の開始姿勢となる基本姿勢である。立位保持は一見静止しているように見えるため, 難易度の低い課題のように考えられることが多い。しかし, 他の哺乳類動物が四足での広い支持基底面を持つことに比べ, ヒトは二足の狭い支持基底面内に高い位置にある身体重心を留めることが求められる¹⁾。Loram ら²⁾は, ヒトの二足立位は受動的で静的なものではなく, 他の身体運動同様に active な制御がされていることを強調し, それゆえ発達の段階でも立位の獲得に時間を要する

ことを述べている。

二足立位の制御を考えるうえで, 足関節を支点とし, 身体重心を振り子とした倒立振り子モデルがよく用いられる³⁾⁴⁾⁵⁾。Winter⁶⁾はヒトの立位姿勢は足関節回りのみが動いて身体重心を制御し, 他の関節の動きは無視できるほど小さいとした。しかし, その後の計測精度と解析技術の進歩によって, 股関節と足関節が協調して身体重心を制御していることが明らかにされた⁷⁾⁸⁾。つまり, 足関節のみを回転中心とした単倒立振り子モデルよりも, 足関節・股関節を回転中心とした二重倒立振り子モデルが実際のヒトの動きに近いことが明らかになった。さらに,

1) 医療法人安生会 上尾二ツ宮クリニック 〒362-0017 埼玉県上尾市二ツ宮 954-1 TEL : 048-773-4994
受付日 2016年6月14日 受理日 2017年1月10日

Yamamoto ら⁹⁾は、膝関節の動きにも着目し、膝関節を含めた三重倒立振り子モデルと二重倒立振り子モデルとを検証し、膝関節を含めた三重倒立振り子モデルがより実際の身体運動に近いことを明らかにした。立位制御において動きの支点である足関節の動きが最も重要であることは共通理解であるが、それ以外の股・膝関節も姿勢制御に貢献していることが分かっている。

これまでの静止立位に関する先行研究では、骨盤より上位の脊柱・体幹は一つのセグメント（剛体）として扱われることが多かった。これは動きが微細であるため下肢関節の動きに対して過少評価されている側面と、柔軟で複雑な動きを解析しづらいという技術的な側面があると考えられる。股関節と足関節の協調性を見出した Aramaki らの研究⁸⁾では、体幹と下肢にそれぞれ板を張り付け脊柱と膝関節を動かないように固定したうえで計測している。このような特異的な設定をした理由について、脊柱の柔軟性を正確に計測することは不可能であると述べ、脊柱の計測の難しさを示唆している。

一方、最近の研究で立位制御における脊柱の動きの重要性が着目されつつある。例えば、脊柱の動きも含めた立位モデルがより安定することや¹⁰⁾、胸椎後弯増大で姿勢動揺を増すことが示されている¹¹⁾。これらの結果は脊柱が柔軟な動きをもって姿勢保持に貢献していることを示唆している。

しかしこれらの研究は脊柱が姿勢制御に影響し得ることを示したのみで、実際にどの部位が動くことで姿勢安定に寄与しているかが明らかでない。本研究では立位姿勢制御においての脊柱の詳細な動きを解析し、制御への寄与を検証することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

体格の類似した成人男性二名を対象とした。被験者 A (20 代後半, 170cm, 60kg), 被験者 B (20 代後半, 166cm, 56kg) である。被験者には事前に研究に関する十分な説明を行い、同意を得たうえで実

施した。

2. 課題動作

課題は 30 秒間の静止立位保持とし、開眼条件にて 3 回計測した。足幅はとくに指示を与えず安楽姿勢とし、被験者の目線の高さに設定した前方の目印を注視するように指示をした。

3. 動作解析

立位保持中の身体動揺を計測するために、三次元動作解析装置 (VICON) を使用した。VICON での計測に通常用いられるマーカーセット (Plug-in-Gait full body AI model (Fig.1)) では、脊柱には C7 と T2 の 2 つにしかマーカーを貼付しないため、脊柱の詳細な動きを計測することができない。そのため、脊柱の彎曲をマーカーにて的確に計測できる方法¹²⁾を参考にし、Plug-in-Gait fullbody AI model のマーカーに加えて、8 個の脊柱マーカーを貼付した (Fig.2)。そのため、計 10 個のマーカーを脊柱上に貼付した。頭部位置に関しては頭部に貼付した 4 つのマーカーの中央点と定義した。

ヒトの立位姿勢において、身体重心 (COM; center of mass) は足関節の前方を通り、矢状面上においてその動揺量が多いとされるため¹³⁾、本研究でも矢状面上での運動に着目し、解析を行った。

頭部・各脊柱マーカー (10 個)・COM、それぞれの前後動揺を位置の標準偏差 (SD) から算出した (Fig.3 左)。

さらに、隣接するマーカー同士を結んだ線と垂直線とがなす角度 (vertical angle) を各分節で算出し (Fig.3 右, θ)、その角度変化を各分節の運動量とした。この角度変化に関しては、初期値が各分節で異なるため、その差の影響を少なくする目的で変動係数 (CV; 標準偏差を平均値で除して算出) を用いた。

III. 結果

頭部・10 個の脊柱マーカー・COM の前後動揺を

Plug-in-Gait Marker Placement

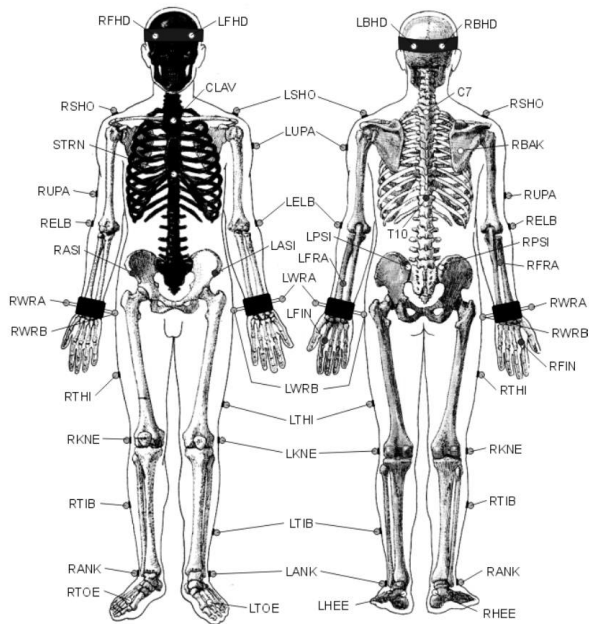


Fig.1 Plug in gait fullbody AI model
のマーカ貼付位置

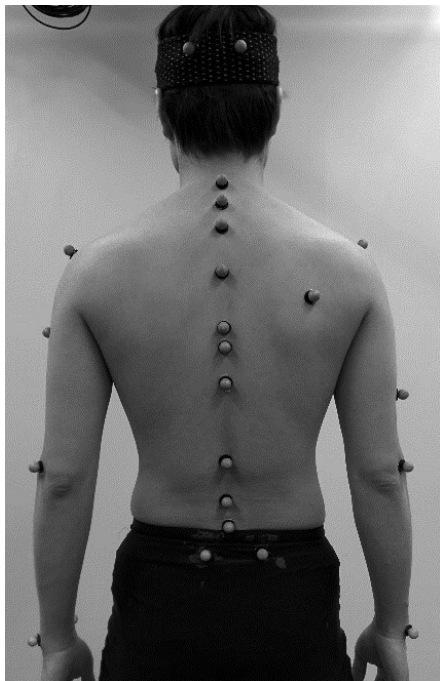


Fig.2 脊柱マーカ貼付位置
C7, T2, T3, T5, T7, T8, T10, L1, L3, L5
棘突起上に貼付した

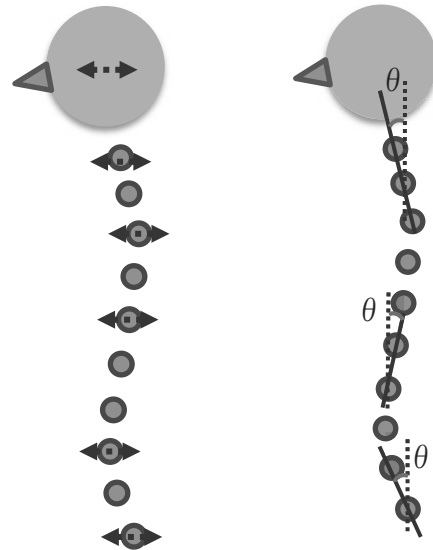


Fig.3 各マーカの前後動揺 (左)
脊柱の分節角度 (右)

Fig.4,5 に示す. 被験者 A, B 間で前後動揺の振幅には差があったが, グラフの全体像は類似していた. すなわち, 脊柱の下位に行くほど前後動揺は小さくなり, とくに身体重心の動揺性は全体の中でも小さく留められていた. また, C7 が最も大きな値を示し, 上位の頭部の動揺性は C7 よりも小さかった.

次に, 脊柱の分節的な動きの結果を Fig6,7 に示す. グラフの全体像は被験者間で相違があり, 被験者 A は脊柱が全体的に動いていたのに対し, 被験者 B は Th2-3, Th3-5 の動きが突出しており, そのほかの分節間の動きは小さかった. 両被験者ともに, Th2-3 間の動きが最大であった.

IV. 考察

本研究では静止立位中の身体動揺における脊柱の動態について解析した. その結果, 上半身の前後動揺は脊柱の上位に行くほどその振幅は大きくなり, C7 が最も大きな値を示した. しかし倒立振り子の頂点である頭部の動揺は脊柱に比べると小さく留められていた. 例えば体幹と頭部が一つのセグメントであるとするれば, 上半身の動きは, 回転中心である股関節から最も遠い点である頭部の前後動揺が最大と

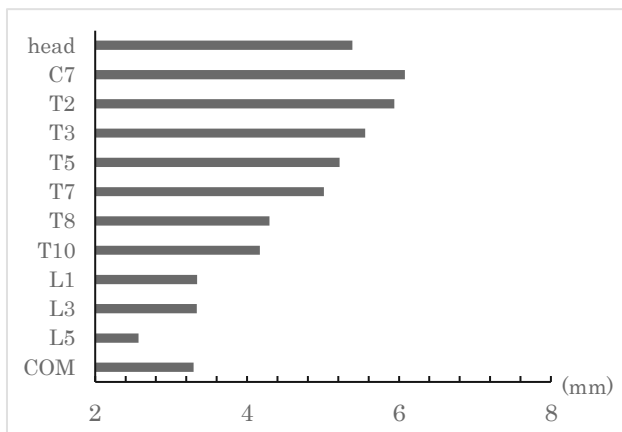


Fig.4 被験者 A : 各指標の前後動揺

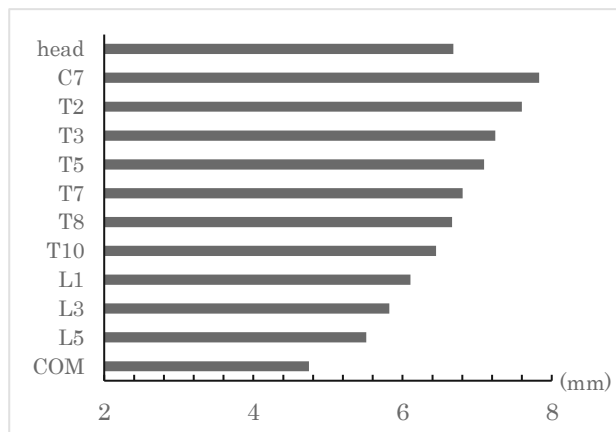


Fig.5 被験者 B ; 各指標の前後動揺

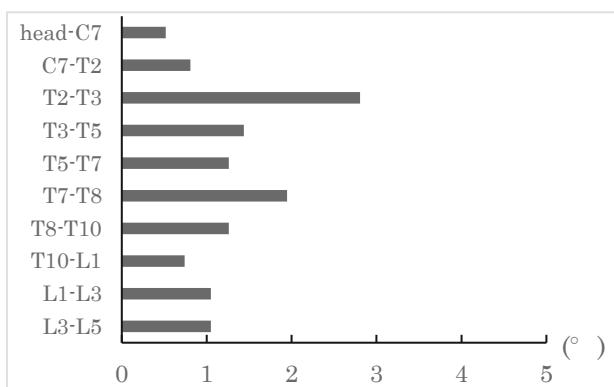


Fig.6 被験者 A の各分節間の動き

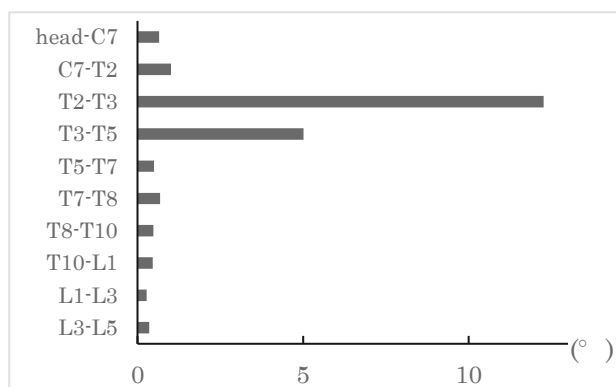


Fig.7 被験者 B の各分節間の動き

なるはずである。しかし C7 よりも頭部の前後動揺が小さい結果であったことから、脊柱が多関節リンクモデルとして動くことで、頭部の動揺が小さく留められていると考えられた。

ヒトの姿勢制御における最大のタスクは身体重心を支持基底面内に留めながら、その動揺量を減らすことであるが、そのためには身体を定位するための適切な感覚情報を得る必要がある。主な感覚入力には視覚・前庭覚・固有感覚であり、それらの感覚情報を統合することで適切な姿勢制御が行われる¹⁴⁾。このうち、視覚と前庭覚は頭部に受容器が内在し、その位置を定位することは安定した姿勢制御への基盤となる。脊柱が1セグメントでなく多関節リンクモデルとして動くことで、頭部動揺が軽減し、姿勢制御のための適切な感覚入力を得ることに寄与している可能性がある。実際に高齢者では頭部の動揺量が大きくなり¹⁵⁾、それが姿勢の不安定性の一因であるとされているが、同時に加齢による脊柱の変性や変

形がバランス能力にも影響を与えることが明らかになっている¹¹⁾¹⁷⁾。このことは、脊柱形態や立位保持中の脊柱の動きが姿勢安定性に影響を与える可能性を含んでいるが、今回の結果は健康成人のみを対象にしているため、今後は高齢者や脊柱の柔軟性が低下した症例などと比較・検討していく必要がある。

次に脊柱のどの分節が主に動いているのかを明らかにするために脊柱の分節的な動きを解析した。結果、全体的な脊柱の動きには被験者間での違いがみられたが、両被験者ともに Th2-3 間の動きが最も大きな値を示した。本来胸椎は椎間関節の関節面が水平面に近く、また肋骨との連続性もあるために可動性に乏しい関節であり、頸椎・腰椎に比べると屈伸の可動性は小さい¹⁸⁾。一方、頭頸部は脊柱骨格内で最も大きな3次元運動が可能であり、この大きな運動により視覚や前庭覚などの姿勢制御に重要な感覚器の空間的位置付けを最適化しているとされる¹⁹⁾。今回のマーカーセットでは、環椎後頭関節や環軸関



節の微細な運動を計測できず、上位・下位頸椎が反対方向に動いたようなときには、頸椎が動いていないと識別される可能性がある。そのため本研究結果のみでTh2-3の動きが大きく、頸椎の動きはそれに比べて少ないと断定することはできず、今後、より頸椎の動きに着目した計測が必要となる。一方でそのほかの分節の動きに関しては、被験者間での相違がみられた。被験者数を増やすとともに、初期の立位アライメントや脊柱の柔軟性を同時に評価し、その結果と合わせることで、静止立位中の脊柱の動きに与える影響を精査していく必要がある。

加齢による姿勢変化は胸椎後弯の増大に特徴づけられ²⁰⁾、また若年者においても不良姿勢に起因する胸椎後弯者は非常に多く見受けられる。前述の通り、胸椎は解剖学的にも可動性が小さく、加齢や生活習慣による影響も受けやすい部位である。本研究結果より立位姿勢においても動きがあり、姿勢制御に寄与している可能性が考えられた。一方で、変化としてはアライメント不良と柔軟性の低下の両面が起こり得るため、そのどちらがより姿勢の安定性に貢献しているかはさらなる検討が必要である。これらの結果は、マルアライメントの改善、または脊柱の柔軟性の向上が、姿勢バランスの改善につながる可能性を示唆し、理学療法におけるアプローチ対象となり得ると考えられた。

文献

- 1) 長谷公隆：立位姿勢の制御，リハビリテーション医学，2006，43：542-553.
- 2) I. D. Loram, C. N. Maganaris, and M. Lakie : Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius., J. Physiol., 2005, 564: 295-311.
- 3) I. D. Loram, H. Gollee, M. Lakie, et al. : Human control of an inverted pendulum : Is continuous control necessary ? Is intermittent control effective ? Is intermittent control physiological ? , 2011, 589(2) : 307-324
- 4) K. Masani : Importance of Body Sway Velocity Information in Controlling Ankle Extensor Activities During Quiet Stance, J. Neurophysiol., 2003, 90(6): 3774-3782.
- 5) P. Gatev, S. Thomas, T. Kepple, et al. : Feedforward ankle strategy of balance during quiet stance in adults, J. Physiol., 1999, 514(3): 915-928.
- 6) D. Winter : Human balance and posture control during standing and walking, Gait Posture, 1995, 3(4): 193-214.
- 7) S. Sasagawa, J. Ushiyama, M. Kouzaki, et al. : Effect of the hip motion on the body kinematics in the sagittal plane during human quiet standing, Neurosci. Lett., 2009, 450(1): 27-31.
- 8) Y. Aramaki, D. Nozaki, K. Masani, et al. : Reciprocal angular acceleration of the ankle and hip joints during quiet standing in humans., Exp. Brain Res., 2001,136: 463-473.
- 9) A. Yamamoto, S. Sasagawa, N. Oba, et al. : Behavioral effect of knee joint motion on body's center of mass during human quiet standing, Gait Posture, 2015, 41(1): 291-294.
- 10) W.-L. Hsu, J. P. Scholz, G. Schöner, et al. : Control and estimation of posture during quiet stance depends on multijoint coordination, J. Neurophysiol., 2007, 97(4): 3024-3035.
- 11) 竹内弥彦，下村義弘，大谷拓哉・他：高齢者の脊柱形態と静止立位中の体節別および全身重心動揺との関係，日本生理人類学雑誌：1-6.
- 12) A. Ranavolo, R. Don, F. Draicchio, et al. : Modelling the spine as a deformable body: Feasibility of reconstruction using an optoelectronic system, Appl. Ergon., 2013, 44(2): 192-199.
- 13) I. D. Loram and M. Lakie : Direct

- measurement of human ankle stiffness during quiet standing: the intrinsic mechanical stiffness is insufficient for stability, *J. Physiol.*, 2002, 545(3): 1041-1053.
- 14) 長谷公隆: 立位・歩行の機能再建, *Jpn Rehabil Med*, 2015, 52: 181-184.
- 15) 竹内弥彦, 大谷拓哉, 雄賀多聡: 身体分節別の質量中心動揺からみた高齢者の静止立位制御特性, *千葉県立保健医療大学紀要*, 2012, 3: 21-27.
- 16) 竹内弥彦, 下村義弘, 大谷拓哉・他.: 高齢者の脊柱形態と静止立位中の体節および全身重心動揺との関係, *日本生理人類学会誌*, 2014, 19(1): 1-6.
- 17) K. W. Lyles, D. T. Gold, K. M. Shipp, et al. : Association of osteoporotic vertebral compression fractures with impaired functional status, *Am J Med*, 1993, 94(6): 595-601.
- 18) 佐藤公昭, 永田見生, 志波直人: 胸郭, *J. Clin. Rehabil.*, 2006, 15(1): 1-4.
- 19) 嶋田智明, 平田総一郎 (監訳): 筋骨格のキネシオロジー, 医歯薬出版, 東京, 2006: 353-360.
- 20) 原田孝, 茂手木三男: 高齢者の姿勢—脊柱変形と重心線の位置—, *総合リハ*, 1994, 22: 133-136.

The flexible behavior of spine in standing postural control

Taku MIYAZAWA¹⁾

Abstract

[Purpose] To examine a contribution of spine to standing postural control and to get a hint for balance rehabilitation program. [Subjects] Two healthy adults with similar physique [Method] Subjects kept static standing, 30sec×3sets. Movements measured 3D motion capture system(VICON). We added 8 reflective marker on spine in Plug-In-Gait model to measure spine movements in detail. The amplitude of head, each spine marker and center of mass and segmental movements of spine were calculated. [Results] The amplitudes of spine was more increased as higher spine marker. However, head at which top of the inverted pendulum and center of mass were less amplitude compared to upper spine. The segmental movements of spine were different among subjects, however, Th2-3 movements were largest in two subjects. [Conclusions] The spine was regarded as one segment in standing postural control, the present study implied as a possibility that the spine(trunk) contribute postural control with flexible behavior.

Key Words : postural control, spine, inverted pendulum

1) Ageo Futastumiya Clinic : 954-1 Futatsumiya, Ageo City, Saitama, 362-0017 Japan. TEL: +81 48-773-4994