

2012年 7月 4日

博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学
研究科名 人間科学研究科
申請者氏名 楊 雅婷
学位の種類 博士 (人間科学)
論文題目 The effect of walking speed on thorax, lumbar and pelvis movements during gait in women
健全女性の歩行速度に対応する胸郭、腰椎および骨盤の協調運動

論文審査員 主査 早稲田大学教授 鈴木秀次 医学博士 (千葉大学)
副査 早稲田大学教授 藤本浩志 博士(工学)(早稲田大)
副査 早稲田大学教授 矢内利政 Ph.D. (アイオワ大学)
副査 フローニンゲン大学教授 ホルトバギー ティボー Ph. D. (マサチューセッツ大学)

一般に、ヒトの歩行は下肢の周期的な前後の運動が大きく寄与し、下肢と直接繋がる体幹部(骨盤、腰椎、胸郭)の機能も重要な役割を担っている。このうちヒトの歩行における体幹部の機能的役割については体幹全体や骨盤の回転が歩行時のバランス維持に重要な役割を担っているとされているが、身体の横断面からの体幹の動きについては解析例が少ない。また、歩行速度を変えた際の骨盤と胸郭の協調性についてもまだ十分明らかにされていない。この不明な点を明確にすることは、ヒトの歩行動作の本態を神経制御論やバイオメカニクスの観点から理解する上できわめて重要である。

以上の背景より、本研究では、ヒトの歩行の際には胸郭、腰椎、骨盤が相互にどのような空間的・時間的な協調関係にあるかを明らかにするため、健全な女性被験者を対象として、身体横断面から歩行時のそれぞれの体幹部の動きを詳細に検討したものである。

健全女性9名(年齢=24.6±2.4歳, 身長=158±5cm, 体重=47.9±3.6kg)には、胸骨、第1胸椎、左右上前腸骨棘、第2仙椎棘突起上に反射マーカを装着し、第1腰椎、第3腰椎、第5腰椎の棘突起上にマーカセット(リグ)をそれぞれ装着した。その後、被験者にはトレッドミル上(速度=0.40, 0.93, 1.47 m/s)にて10歩行(右踵接地から次の右踵接地までを1歩行周期とする)の運動を実施するよう依頼し、その歩行動作時の三次元動作を測定・解析した。併せて、歩行時の被験者の胸郭、腰椎および骨盤のキネマティクス(回旋角度変位、最大回旋角度(ピークタイミング)、セグメント間の協調性)について検討した。

その結果、歩行速度が増加すると、ストライド長は91±4cmから155±2cmに伸び、歩行周期は1.72±0.07秒から0.95±0.01秒に有意に短縮した。同時に、歩行速度の増加に伴って各部位の身体横断面がそれぞれどのように変化するかをしらべた。その結果、

歩行速度の増加により骨盤と第5腰椎 (L5) の角度変位は増加したが、第1腰椎 (L1) と胸郭は明らかに小さくなった。このため、胸郭と L1、L3 および骨盤と L3、L5 の間の最大ねじれ角度が増加した。特に胸郭と骨盤の間では 5.4 ± 0.5 度から 10.6 ± 0.6 度まで有意に増加した。1 歩行周期中の各セグメントの動きの特徴を解析した結果、右足接地時には骨盤が他の部位に先行して右回旋し、速度 0.40 m/s では接地時から $22 \pm 6\%$ の時点で右回旋のピークに達すること、引き続き、L5、L3、L1 そして最後に胸郭の順に位相をずらしながら右回旋ピークに達することが明確となった。左回旋でも同じ様相を呈することが明確となった。

一方、歩行速度の増加に伴って回旋ピークの位相順は変わらなかったが、胸郭を除く全てのセグメントの回旋・回転のピークタイミングが有意に早まることが明らかにされた。これらの結果より、2つのセグメントが同じ方向に回旋する位相 (in-phase) あるいは双方が反対方向に回旋する位相 (out-of-phase) のパターンは、胸郭と L1、L3 では in-phase の区間が短いこと、特に胸郭と骨盤では $74 \pm 7\%$ から $43 \pm 14\%$ へと顕著に低下した。それに対し、out-of-phase の区間は増加することが明らかにされた。

本研究では、歩行速度の増加に伴って胸郭と骨盤の回旋の out-of-phase の割合が増加する理由についてさらに解析している。その結果、歩行中の胸郭以外の各セグメントは歩行速度の増大とともに回旋・回転の位相が前方に移動すること、一周期中でのピークタイミングが早まったのに対し、胸郭のそれが変わらいことが主要な要因であることを示した。

本論文は、健常女性の歩行において脚の運びに対して体幹の回旋運動がどのように協調するかを明らかにしたものである。本研究の作業仮説についてはきわめて斬新であり、検証する方法についても高度の技術を駆使している。このようにして得られた結果は妥当であると判断された。本論文の重要な新知見は、ヒトの歩行運動における体幹の各セグメント間での in-phase と out-of-phase の関係の意義について明らかにしたことである。この知見は本研究における重要な研究成果であると位置付けられている。

以上より、本審査委員会では本研究で得られた成果が運動制御論やバイオメカニクスの立場から見て極めて有用であること、さらに本研究の実験データは以下の権威ある国際誌に掲載されていることから、質の高い論文であることが確認された。

【掲載論文】 : Yang YT, Yoshida Y, Hortobágyi T and Suzuki S: Interaction between thorax, lumbar, and pelvis movements in the transverse plane during gait at three velocities. *Journal of Applied Biomechanics*, in press (2012).

以上より、本論文が優れた学術的価値を有するものであると判断し、博士 (人間科学) の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上