

人間総合研究センター・井深基金研究プロジェクト最終報告要旨**太極拳動作における運動制御・バイオメカニクス的研究**鈴木秀次¹, 関口浩文², 福岡正和³(¹人間科学学術院, ²上武大学ビジネス情報学部, ³人間総合研究センター)**【目的】**

近年、太極拳は幅広い世代に愛好されてきている。多くの健康効果に加え抗重力筋の筋力アップや姿勢保持能力の改善等様々な身体的効果が報告されている (Li et al., 2001; Wu, 2002)。しかしその一方でなぜそのような効果を太極拳がもたらすかについての科学的根拠に関しては明らかになっていない部分が多い。Wu et al. (2004)によると、太極拳の基礎は歩法にあり抗重力筋や姿勢保持能力の改善等の身体能力への効果は概ね歩法の影響によるものが大きいと考えられている。したがって、その歩法をバイオメカニクス的に解析することは太極拳の身体的効果の科学的根拠を求めるために貢献すると考えられる。また、太極拳をより安全に、より効果的に用いるためにバイオメカニクス的知見は大変重要である。

健康運動としてしばしば用いられる太極拳ではあるが、その健康効果をもたらすのに重要と考えられる歩法に関する力学的特徴については十分に明らかでない。そこで、太極拳歩法の力学的特徴を明らかにし、太極拳をより安全により効果的に用いるための指針の一助を目指すことを本研究の目的とした。

第1の実験は、太極拳歩法のキネティクス（動力学）の特徴を通常歩行と比較した。太極拳歩法は、健康運動として頻繁に用いられるウォーキング（通常歩行）と比較され、その効果について考察されることがある。しかし、それらは主にキネマティクス（運動学）的な評価に留まっている (Wu et al., 2004; Tseng et al., 2007)。筋力アップや姿勢保持能力の改善等の身体能力への効果を考慮するならば、動きを生み出す力についても検討する必要がある。

第2の実験では、太極拳歩法時の姿勢の高さ（重心高）の違いが下肢のキネティクス（動力学）にどのような影響を与えるかを検討した。太極拳の練習や指導の現場では、運動強度の調整のために身体重心の高さを変えることが頻繁に行われる。しかし、これまでの太極拳の先行研究では、専ら通常歩行との比較が行われており (Wu et al., 2004; Wu & Hitt, 2005; Tseng et al., 2007; Wu & Millon, 2008; Wu, 2008)、重心高の影響は明らかになっていない。太極拳をより安全により効果的に用いるために姿勢の高さ（重心高）の違いが下肢関節に与える影響を検討すること

は重要である。

【方法】

両実験とも、ヒトの動きはモーションキャプチャシステム (MAC3D, Motion Analysis) を用いて、各種動作解析を行った。下肢の骨特徴点に反射マーカーを貼付し、下肢の動作を計測した。同時に床反力計測装置 (AMTI) を用いて地面反力を測定した。下肢は大腿部、下腿部、足部の3セグメントからなる剛体リンクとしてモデル化した。計測によって得られた動作データと地面反力データから、1歩行周期分の下肢3関節の3次元関節トルクを算出した (Winter, 2005)。3次元関節トルクを分解するための関節座標系は国際バイオメカニクス学会推奨のものを用いた (Wu et al., 2002)。膝関節の関節座標系はAn et al. (1991) や Nunome et al. (2002) を参考に設定した。

通常歩行との比較では被験者6名を用いた。太極拳歩法、通常歩行はともに各被験者の至適速度（普段通り）で行われた。

太極拳歩法時の姿勢の高さ（重心高）の違いの検討では被験者12名を用いた。重心高は高い・中程度（普段通り）・低い（出来るだけ低く）の3種類とした。また、動作のタイミングはメトロノームを用いて、全ての被験者および試技で統一した。

【結果・考察】

太極拳歩法では通常歩行に比べて膝関節伸展、足関節内反トルクが増大し、高齢者の転倒予防の体操として有効であることが示唆された。しかし、膝関節内反・外反トルクも増大し、膝関節への機械的な負荷が懸念された（業績1）。

次に、太極拳の運動強度は主に動作時の身体重心の高さが重要な要素となる。そこで、異なる重心高における太極拳歩法による下肢への力学的な影響を検討した。その結果、重心高が低くなるに従って、股関節伸展、膝関節伸展、膝関節外反、足関節外旋トルクが増大した。一方で、股関節外転トルクは減少し、足関節内反トルクは変化しなかった。これらの結果より、太極拳歩法を低い姿勢で行うと、主に抗重力筋への負荷と膝関節・足関節への機械的な負荷が増大することが示唆された。また、姿勢保持能力の改善に大きなトルク発揮が必要ならば、低い重心高は有効ではないことが示唆された（業績2, 5）。

これら2つの研究により、先行研究による太極拳のトレーニング効果の力学的裏付けが強化された。また、太極拳を練習するに当たり、けがのリスクについて新しい知見が得られた。

実験研究3：

太極拳の動作はゆったりとした動きと激しい動きのコンビネーションが特徴の一つである。このとき筋は短縮性筋活動、等尺性筋活動に加え、各セグメントの自重を利用した伸張性筋活動を行い、丹田から発する気に合わせて動作を行なう。このような太極拳を習得したものが一般のヒトと同じ皮質脊髄路興奮性の調節を行なっているか否かは興味のあるところである。したがって、まず一般のヒトがとりわけ動的取縮である短縮性及び伸張性筋活動時に、どのような皮質脊髄路興奮性の調節を行なっているか基礎的知見を得ることを目的とした。太極拳は全身すべて、すなわち指の先まで気をめぐらせて行なわれること、さらに一般的に指は特異的な制御がなされていると言われていることから、本研究では、これまでのヒラメ筋や肘屈筋群に関する知見に加え、指の筋に着目して調べた。その結果、一般的のヒトにおいても指の筋では、ヒラメ筋や肘屈筋群と異なる皮質脊髄路興奮性の調節がなされていることが明らかとなった（業績3）。

実験研究4：

触診に近い原理、即ち指で物体を押す方式を真似て、皮膚のように非常に柔らかい素材の弾性を計測する装置を開発した。本装置では弾性特性を得るために、 μm レベルで検出可能な差動トランス式位置センサと弾性係数が既知のコイルばねを用いて、物体に加わる力とそれによる物体の変位を求めた。本装置を用いて様々な硬さのエラストマー素材の弾力モデルについて人の触感評価と比較した結果、従来の心理物理学で確認してきたWeber-Fechnerの法則に則り、両者は対数関数を介して非常に良い相関を示した ($r=0.994$)。これにより、指の触診による硬さの大小関係は、皮膚のような比較的柔らかい物に対しても十分精度を有することが明らかになった（業績4）。本実験成果によって今後太極拳熟練者および非熟練者を対象に知覚弁別課題の研究が可能となった。

以上、太極拳を運動制御・バイオメカニクスの領域からしらべた。意識と呼吸と動作が一体となり、緩やかに捻る動作が主となっている太極拳の動作そのものを詳細に検討することが今後の課題である。

【業績】

学会発表

- Inoue K, Kobayashi H, Uematsu A and Suzuki S: Lower extremity joint torque of Tai Chi gait – a pilot study. The XXVI International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, Korea, July 2008.
- Inoue K, Kobayashi H, Uematsu A and Suzuki S: Changes of joint torque during Tai Chi gait in different heights of center of body mass. The 4th Asia-Pacific Congress on Sports Technology, Hawaii, USA, September 2009.

論文

- Sekiguchi H, Kohno Y, Hirano T, Akai M, Nakajima Y, Nakazawa K. Modulation of corticospinal excitability during lengthening and shortening contractions in the first dorsal interosseous muscle of humans. *Exp Brain Res.* 178: 374–84, 2007
- Fukuoka M, Suzuki S: Tactile sensing of stiffness with fingers corresponds well with the objective elasticity evaluation. *人間科学研究* 21: 97–104, 2008
- Inoue K, Kobayashi H, Uematsu A, Suzuki S: Changes of joint torque during Tai Chi gait at different heights of center of body mass. The Impact of Technology on Sport III: 489–492, 2009