

健身養生術としての太極拳動作の運動制御・バイオメカニクスの解析

鈴木 秀次¹, 矢内 利政², 関口 浩文³, 福岡 正和⁴

(¹早稲田大学人間科学学術院, ²早稲田大学スポーツ科学学術院, ³上武大学, ⁴人間総合研究センター)

太極拳は1644年前後に中国で生まれた拳法と呼吸法を統合した格闘技として編み出された(李天驥, 1992)。その熟練者は身体バランスや筋力の維持・向上のみでなく、高次認知機能においても優れていることが近年明らかになってきた。身体機能と認知機能の両方に効果があることは、従来のリハビリテーション法やスポーツとは異なる太極拳の大きな特徴であり、今後、高齢者や認知症患者の機能回復や運動機能維持・向上への応用が期待できる。しかし、太極拳の認知機能への効果がどのような神経基盤に基づくのかが不明である。

そこで本研究では、①太極拳特有の緩急ある動作特性を運動制御とバイオメカニクスの見地から検討すること、②太極拳熟練者の神経系調節機構、特に認知機能への効果について脳波解析によって解析、検討した。

2010年度は、伝統的に格闘の技が残る陳式太極拳のうち「金剛搗碓」と呼ばれる動作について、熟練者(達人)と未熟練者の比較、検討を行なった。その結果、熟練者では、一端動きが始まると両膝を曲げ腰を落とした姿勢から、重心位置を左右・前後へ円滑に移動させた。次に片脚軸回転から片脚立ちとなり、対側脚へ重心を移動させるときから最後の震脚に至るまで、膝を幾分曲げた状態で中腰を保った。このため、身体重心の上下動幅は少なかった。特に片脚立ちから対側脚への重心移動のときも、片脚のみでバランスを保ちつつ重心を落としながら、対側脚に円滑な体重移動を行っていた。呼吸運動については、熟練者は最大-最小値の差が未熟練者に比べ2.3倍大きく、メリハリが顕著に現れた。なお、震脚時での息は接地寸前に一気に吐き出していた。地面反力は、震脚時にFz最大値8.3kNを示し(未経験者では4.4kN)、弛緩させた全身の筋を瞬時に同期的に活動させた結果と解釈した。

2011年度は、特に金剛搗碓の終了間際の震脚動作における瞬時に大きな力を発揮する技に注目した。被験者は陳式太極拳の熟練者5名と初心者4名であった。熟練者の内、1名は中国全国武術選手権大会太極拳部門準優勝者(達人)である。結果、熟練者は初心者に比べ、地面反力(鉛直方向成分)および片脚つま先の床面に到達するまでの最大加速度が顕著に大であった。特に達人においては自体重の15倍を超える衝撃的な力が発揮されていた。

また、熟練者-初心者間にみられた呼吸運動の違いによる影響を力学的に解析するため、身体重心位置と体積中心

位置を高い精度で測定する計測手法を構築し、その精度を検証した。

2012年度は、引き続き太極拳の緩急のある動作解析を、被験者数を増やしてまとめ、原著論文を作成、投稿するまでに至った。その論文の骨子は以下の通りである。

太極拳動作の緩急の「緩」の部分の解析: 動作の代表例として「単鞭」(手で一本の鞭を持ち上げる動作)における動きの滑らかさ度を検討した。結果、熟練者の動作には、軸脚が安定し身体重心がバランス良く低く保たれており、全身が調和し柔らかくゆったりびやかに円滑な動きを生み出していることを明らかにした。また、呼吸運動と身体重心位置の関係を調べた結果、同一姿勢を維持した場合においても、呼吸様式(腹式呼吸、胸式呼吸)や吸気量によって身体重心および体積中心の高さが変化することが明らかとなった。身体重心の高さは身体の力学的安定性を決定する一因であることから、熟練者は腹式呼吸を活用することで、身体の安定性を向上させ、巧みで滑らかな身体運動を生み出していることが示唆された。

太極拳動作の緩急の「急」の部分の解析: 金剛搗碓の震脚動作、すなわちヒトが立った状態から左足に体重を移動し、反対側の右脚を持ち上げ、その姿勢から一気に右脚を床面に向かって伸展した時の地面反力を調べた。被験者は健常男性15名とし、8名が陳式太極拳熟練者(1名の達人を含む)、残り7名が初心者であった。結果、右脚震脚時の最大地面反力(Z軸)は熟練者群($7.8 \pm 0.6 \text{ kN}$)が初心者群($4.5 \pm 0.5 \text{ kN}$)と比べて有意に大であった。特に達人は10.7 kNで、自体重の15.5倍を記録した。軸足(左)地面反力における圧力中心の移動距離は、熟練者群が有意に短かった。そのキネマティクスは、先ず軸(左)脚に注目すると、初心者では右脚の動きに同調するかのように膝が幾分伸展し、身体重心が鉛直上方向に $0.26 \pm 0.11 \text{ m}$ と、熟練者の $0.16 \pm 0.03 \text{ m}$ よりも有意に大きく上昇した。右脚の最上段から床面衝撃に至るまでに注目すると、その間の各セグメント重心(身体、胴体、右大腿、右下腿、右足)移動時間は、初心者群で有意に長かった。さらに、初心者群では接地後も動きが収まらず、身体重心の沈み込みが有意に大であった。しかし、熟練者群では右足接地後の身体重心の沈み込みの距離、胴体の鉛直加速度が両方とも有意に小であった。興味ある動きは熟練者、特に達人は右足接地までの間に骨盤の多角的な回旋運動が、右膝伸展の前に見られた。地面反

力の大きさとその時間との相関では、各セグメントのすべてに負の相関 ($r=-0.61 \sim -0.50$) が見られ、筋活動では、全体的に熟練者の活動時間が短く、特に達人ではそれが顕著であった。筋活動は最初に左外側広筋、次に左大腿直筋、左脊柱起立筋、そして右脊柱起立筋、左外側広筋、左大腿直筋の順に、右足接地前に現れた。このような筋活動に沿った運動エネルギーの流れが、短時間に円滑に左下肢から右下肢へと移ったことが明らかとなり、達人が体重の15倍もの衝撃力を生み出した理由が垣間見えた。

次に、なぜ太極拳達人が人並み外れた技を発揮できるのか、長年の太極拳修練者の脳波を太極拳未実践者と比較し、検討した。

知覚・注意・記憶能力の発達と加齢変化は、人間の生涯に渡る認知行動機能を考えるうえで非常に重要である。太極拳の長期実践者では触覚、注意・記憶機能への効果などが報告されているが脳事象関連電位 (ERP) を用いた検討は少ない。そこで、本研究では太極拳の長期実践が知覚－注意－記憶処理といった認知過程に与える影響を、聴覚オドボール課題を用いたERPを記録し、検討した。

被験者は太極拳未経験の健常成人男性6名と、太極拳を実践している健常成人男性3名 (太極拳経験年数: 22.3 ± 10.0 年) であった。聴覚オドボール課題は、標準刺激とオドボール刺激 (トーン音: 1000Hz, 2000Hz)、外乱刺激 (ホワイトノイズ) とし、トーン音はブロック間でカウンターバランスをとった。刺激間間隔は1000ms、総試行数は1200回とし、オドボール刺激と外乱刺激の頻度は各10%とした。また、本研究で注目したERP成分は聴覚刺激後100ms付近で陰性電位方向に出現するN1、200ms付近の陰性電位であるN2、300ms付近の陽性電位であるP3aとそれに続く陽性の緩電位であるP3bとした。

その結果、N2、P3aには未経験者との差異は認められな

かった。しかし、P3bの頂点潜時に太極拳実践者と未実践者の差異が示唆され ($p<0.10$)、太極拳未実践者に比べ、実践者で頂点潜時が早まる傾向が認められた。また、オドボール刺激に対するP3bの頂点振幅が、未実践者に比べて低かった ($p<0.05$)。このほか、太極拳実践者では、外乱刺激に対するN1の頂点振幅がオドボール刺激、標準刺激に比べ増大する傾向が認められた ($p<0.10$)。

以上、P3bは、対象に向けられた注意に基づいて行われる記憶処理の負荷と、それに伴う覚醒に関係し、潜時とともに反応時間が変化することが報告されており、今回行った太極拳実践者では頂点潜時が早まる傾向が認められたことから、音刺激に対する記憶処理判断が速いことが示唆される。また、P3bが低振幅であったことは記憶処理判断が低負荷、かつ低い覚醒で処理されたと考えられる。その一方で太極拳実践者での外乱刺激に対するN1の高い振幅傾向は、知覚した感覚刺激の定位と自動的な注意切り替え処理を反映すると考えられており反応性の高さを示している。よって、太極拳を長期に渡って実践することで、①特異な刺激に対する応答性の向上、②反応・対処すべき事象に対する記憶判断処理の向上、が示唆された。

以上、拳法と呼吸法を統合した格闘技として発展した太極拳は健康を促進し健康長寿と若々しさをもたらすための良い運動であることが、神経系、骨格筋系、心肺系の身体機能面の解析から伺えた。動きは柔らかで強靱性に富んでいることから外見は穏やかであっても、内面では精神的な集中が保たれている。動作の多くは弧形・螺旋形であり、回転は円滑に連結している。これを可能にするには、頭、眼、手、足、身体は互いに協調しなければならず、全身が調和を保ち、一つのものとなって動き、太極拳の東洋的な奥深さを感じさせる結果が得られた。