熟練度の違いが払腰における軸足の膝関節角度および筋活動へ及ぼす影響

コーチング科学研究領域
5011A035-5 宍戸　清惠　　研究指導教員：岡田　純一　准教授

I.　緒言

柔道において，選手が試合に勝つためには，試合終了まで攻撃を続けることができる有酸素的能力だけでなく，効果的な投技をかけることができる筋力やパワーといった無酸素的能力も深く関係している．これまで柔道競技に関する研究では，競技力向上に効果的なトレーニングの考案を目的に，柔道競技のエネルギー代謝的特性や，力学的特性から見た運動強度を評価し，実際にトレーニングの場面で応用されている．代謝的側面からの運動強度評価は進んでいるが，運動学的および生体力学的観点における研究は十分とはいえない．トップレベルの大会でも多くかけられ，初心者へも指導される基本的な技でもある払腰では，熟練度の違いによって明らかに異なる軸足の膝関節動作が認められる．しかし，そのような違いがなぜ生じるのかについては未だ明確になっていない．従って，トレーニングや指導が不適切にされている可能性が考えられる．そこで本研究は，熟練者と未熟練者における払腰試技時の下肢筋活動を定量的に評価し，熟練者が優れた動作を生み出す要因を明らかにすることを目的とした．

II.　方法

1. 被験者　下肢に障害を有さない，健康な男性 18 名を被験者とした．被験者は以下の条件によって 2 群に振り分けた．

熟練群（t 群）：柔道において初段以上を有し，少なくとも 3 年以上継続して選手として競技に関わる者（年齢：19.7±1.0 歳，身長：170.1±1.3cm, 体重：78.26±9.11kg, 体脂肪率 16.69±8.46%）．この内，全日本学生柔道大会に出場した経験を持つ被験者は 5 名であった．

未熟練群（ut 群）：過去に柔道を経験したことがあるがその継続期間が 1 年未満の者（年齢：22.9±1.1 歳，身長：172.7±6.6cm, 体重：68.38±8.46kg，体脂肪率：15.46±5.52%）．

2. 動作課題　被験者に，動作課題として畳上で 6 回，払腰の投げ込みを実施させた．払腰の試技は山本（1993）の方法を参照し，被験者には動作課題を開始する前に十分に説明した．被験者の動作課題を，高速度ビデオカメラ 2 台を用いて 300fps で撮影した．映像の撮影の前に，被験者の軸足側の大転子，膝関節裂隙，外果に約 4ｃｍ四方の色マーカーを貼付した．

3. 測定項目　動作課題中および最大随意収縮中の表面筋電図を導出した．被験筋は，被験者の軸足の大殿筋（GMA），中殿筋（GME），大腿二頭筋（BF），半腱様筋（ST），半膜様筋（SM），大腿直筋（RF），外側広筋（VL），内側広筋（VM），前脛骨筋（TA），腓腹筋外側頭（LG），腓腹筋内側頭（LG），ヒラメ筋（SOL）の計 12 筋とした．

4. 分析　群間における各筋の筋放電量の比較には，最大随意収縮(Maximum Voluntary Contraction: MVC)発揮時の二乗平均平方根(Root Mean Square: RMS)値を基準値として，各試行の RMS 値を除すことによる相対値を用いた(%MVC)．PC 上で軸足側大転子，膝関節裂隙および外果にデジタイズを施し DLT 法（Direct Linear Transformation Method）によって各点の三次元座標を読み取った．大転子と膝関節裂隙を結ぶ線分の長軸の延長線と，膝関節裂隙と外果を結ぶ線分のなす角を，膝関節角度として算出した．また，撮影した映像をもとに局面分けを行い，軸足が地面に接地してから相手の体が浮く直前までを「かけ 1 局面」，相手の体が浮いてから相手の腰部が畳につくまでを「かけ 2 局面」とした．かけ 1 局面およびかけ 2 局面は，被験者ごとに動作時間をそれぞれ 100%に正規化した．各筋の筋放電量は 20%毎に算出し，関節角度，角速度，角加速度についてはそれぞれ，0%，20%，40%，60%，80%，100%時点の値を採用した．

5. 統計処理　平均値の差の比較には二元配置分散分析を用いた．二元配置分散分析の結果，有意な交互作用が認められた場合は，各要因の単純主効果の検討及び Bonferroni の多重比較検定を実施した．有意な交互作用が認められず，主効果が見られた場合には，Bonferroni の多重比較検定を実施した.なお，危険率 5%未満（p<0.05）をもって有意とした．

III.　結果および考察

本研究は，熟練者と未熟練者における払腰の投げ込み練習時の下肢筋活動を定量的に評価し，異なる動作を生み出す要因を明らかにすることを目的とした．

かけ 1 局面において，膝関節角度の変化は t 群 61.7±3.8°から 44.2±7.6°，ut 群 51.4±6.1°から 37.5±7.6°であり，両群ともに屈曲位から伸展位へ変化した．しかし，t 群の膝関節角度は ut 群に対し有意に大きな値であった（p<0.05）．つまり，軸足が地面に接地してから相手を刈足で払う局面において，t 群は膝関節を ut 群より屈曲位で軸足を着地させたのち，膝関節を伸展させた．一方, かけ 2 局面の膝関節角度の変化は, t 群 44.0±7.6°から 16.6±6.6°，ut 群 37.1±7.6°から 23.8±7.0°であり，この角度変化には有意な交互作用が認められた（図 1）．すなわち，かけ 2 局面の膝関節は両群で異なる角度変化があり，刈足で相手の両足を払うことで相手の体が完全に浮いた時の両群の膝関節角度は同程度であるが，その後，t 群の膝関節は伸展位へ大きく変化し，相手の体が前方へ移動し始めてから相手の腰部が地面に接地した時の t 群の膝関節は未熟練者より有意に伸展位であった．以上のように，熟練度の異なる t 群と ut 群には膝関節伸展動作に違いが認められた．この動作の違いには以下のような筋活動が影響したと考えられる

t 群の大腿二頭筋の筋放電量は, かけ 1 および 2 局面ともに有意な交互作用が認められ, かけ 1 局面 60%-100%において t 群は 60.6±35.2%MVC と 65.2±34.0%MVC であり，ut 群の 33.3±

10.0%MVC と 36.7±24.7%MVC に対し有意に高い値を示した(図2)．これは，膝関節伸展動作において t 群の大腿二頭筋が伸張性収縮をした結果，得られた値だと考えられる．スクワットのような立位の膝関節伸展運動において，「大腿二頭筋のより強い伸張性収縮は脛骨の前方移動および膝関節の外反を抑制し，膝関節の安定性に貢献する」ことや，膝関節の伸展屈曲運動において，「伸展筋群に対する屈曲筋群の活動比率が大きいほど膝関節の安定性は高まる」ことが明らかにされている．本研究においてかけ 1, 2 局面では軸足の片脚立位において膝関節の伸展動作が観察された．このことから，かけ 1, 2 局面において熟練度が異なる t 群と ut 群において膝関節角度の変化に違いが認められたのは，t 群におけるかけ 1 局面 60-100%のより強い大腿二頭筋の伸張性収縮が，膝関節が伸展した際に膝関節の安定性を保つような補助的な効果を発揮し，それに伴い膝関節伸展筋群すなわち大腿直筋，外側広筋および内側広筋の張力が効率的に膝関節角度変化へ反映されたと示唆される．

膝関節伸展筋群における両群の筋放電量はかけ 1 および 2 局面において，大腿直筋は約 10-65%,外側広筋は約 20-110%，内側広筋は約 15-100%の範囲であった．立位で膝関節伸展運動を行う様々なエクササイズにおいて膝関節周囲筋の筋放電量を定量的に評価した研究では，大腿直筋，外側広筋および内側広筋は他の筋に比べて高い筋放電量を示すことが報告されている．従って，本研究においても，これら 3 筋の筋放電量は膝関節伸展動作へ主体的に働くために張力を発揮した結果得られた値だと考えられるが，両群で筋放電量に差がなかったことから，これら 3 筋の筋活動が熟練度の異なる 2 群の膝関節伸展動作の違いへは影響していないと考えられる．

本研究では，t 群の大腿二頭筋の筋放電量はかけ 1 局面 60-100%において，大殿筋の筋放電量はかけ 2 局面 0-40%において，またヒラメ筋の筋放電量はかけ 2 局面全体において，ut 群より有意に高い値が認められた．これら 3 筋は解剖学的観点からみれば膝関節を伸展する機能は持たない．しかし，実際のヒトの動きの中で膝関節伸展動作が見られた場合，その伸展動作に貢献する可能性がある．ヒトの歩行における膝関節の動きに対する下肢の各筋の機能を評価した研究では，片脚立位姿勢になる遊脚期において，大殿筋，ハムストリングスおよびヒラメ筋が収縮することで発生する関節トルクは膝関節伸展角加速度へ貢献することが明らかにされている．特に，大殿筋は膝関節伸展角加速度へ関係する筋の中でも，最も貢献度の高い筋であると報告されている．払腰と歩行は異なる動作ではあるが，片脚立位姿勢において膝関節を伸展させるという点では類似した動作である．従って，本研究においても大殿筋，ハムストリングスおよびヒラメ筋の筋活動は膝関節伸展動作へ貢献した可能性が考えられる．すなわち，熟練度の違いによって異なる膝関節伸展動作が認められたのは，t 群の大殿筋，大腿二頭筋，およびヒラメ筋の 3 筋が ut 群の 3 筋より強く収縮したことで，より大きな膝関節伸展角加速度が生まれ，t 群の膝関節が伸展位へ ut 群より大きく変化したと推察される．

以上のことから，払腰のかけ局面における軸足支持にともなう熟練者の筋活動パターンは以下のように要約される．かけ局面において軸足の膝関節は約 60° 屈曲位から伸展するが，この動きには大腿四頭筋の活動に加えて，ハムストリングス，特に大腿二頭筋がともに収縮することで脛骨の前方動揺および膝の外反を抑制し膝関節を安定させる．また，かけ局面は軸足のみで立つ片脚立位姿勢になるため，軸足に自重や受の体重などが荷重されている間は骨盤の安定性を保持するために中殿筋が終始活動する．かけ 1 局面後半からかけ 2 局面の中盤にかけて，受の体重が荷重され膝関節や股関節への負荷がさらに増すが，この時，大殿筋および大腿二頭筋が顕著に活動することで姿勢の維持や膝関節の伸展動作を助ける可能性がある．足関節に関しては，底屈位になることが観察されているため下腿三頭筋，特にヒラメ筋が主体的に活動することで足関節の底屈位が保たれる．このような各筋の筋活動は，かけ 2 局面 40-50%において受の身体が下降し下肢への負荷が減少するので，これを境に徐々に弱まるような変化がある．

IV. 結論

払腰における，軸足の膝関節伸展動作は熟練度によって異なり，熟練者はかけ 1 局面では未熟練者より屈曲位であるが，かけ 2 局面では伸展位へ大きく変化し，かけ 2 局面後半には未熟練者より伸展位になる．このような群間の膝関節伸展動作の相違に影響を及ぼしているのは，膝関節伸展筋群である大腿直筋，外側広筋および内側広筋の筋活動ではないことが示唆された．

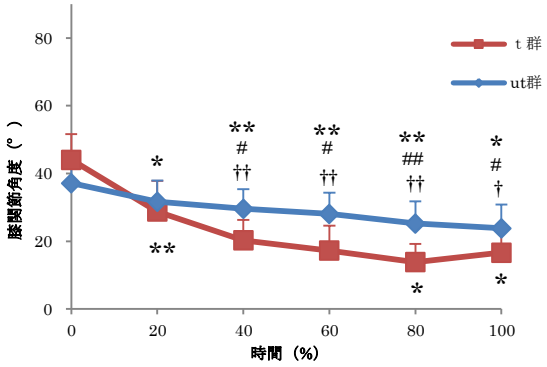

図 1　かけ 2 局面における膝関節の変化

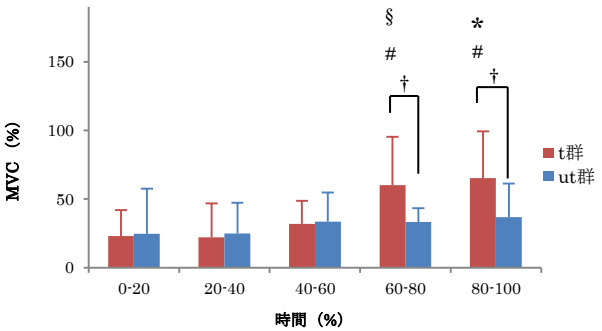

図 2　かけ 1 局面における BF の筋放電量

†　：群間における単純主効果　$p<0.05$
††　：群間における単純主効果　$p<0.01$
*　：0%に対する有意差　$p<0.05$
**　：0%に対する有意差　$p<0.01$
#　：20%に対する有意差　$p<0.05$
##　：20%に対する有意差　$p<0.01$
§　：40%に対する有意差　$p<0.05$