

初動負荷トレーニングでのかわし動作における筋活動様式と 肩甲骨キネマティクス

Scapular Kinematics and EMG Activity of the Dodge Movement at the Beginning Movement Load Exercise

小山 裕史 (Yasushi Koyama) 指導：鈴木 秀次教授

身体運動には、神経筋制御とバイオメカニクスの視座から考察する時「不合理」な要素がある。著者は、その改善を目的として初動負荷トレーニングを創案した。従来のSSC、つまり「筋の予備活動を伴う伸張－短縮」とは異なり、本トレーニングは著者が開発したマシンを使用するが、動作初期の与負荷により筋を弛緩させ、伸張－短縮を促す。運動中の強制的な血圧・心拍上昇が起こらず筋痛も殆ど伴わず、神経・筋肉・関節へのストレスが解除され柔軟性が高まる。糖尿病・心血管障害改善、高齢者トレーニングとしての有効・有益性も検証され採用されている。また本トレーニングはスポーツ活動での競技力向上や、日常生活におけるストレス解消、介護予防に有効であることが示されている。しかし、その裏づけとなる科学的根拠、特に、動作特性を神経筋制御とバイオメカニクスから調べた報告は少ない。よって、本論文では初動負荷トレーニングの一つの特徴である「かわし動作」をラットプルダウン動作中に取り入れたときの肩甲骨と胸鎖関節を中心とする上肢帯の神経筋制御とバイオメカニクスを調べ検討した。

実験の結果、かわし動作採用時ではかわし動作を採用しなかった場合に比べ、キネマティクスでは1) 肩甲骨の上角、下角のROMが有意に拡大。2) 一動作サイクル中の肩関節と肘関節の角運動に時空間的位相のずれ。3) 肩外転、肘伸展の加速度が高まる時に下角が顕著に外転・挙上。マシンに掛かるフォースとパワーでは、4) 動作開始のフォースはゼロ。フォース曲線が比較的急峻に立ち上がり、ピーク値が大きくそこまでの到達時間が短い。5) 動作切り換えしからのパワー曲線の傾斜が急峻で大きくピーク値到達時間が短い。頸部、体幹、および上肢筋のEMG活動では、6) それぞれのEMG活動の位相が重なりはするが体幹の下部筋から上部筋へ、近位筋から遠位筋へと時系列的ずれを持つ。7) 動作開始後まもなく一時の活動休止（サイレント）相の出現。8) ハンドルの挙上－下制の逆転位相期に大きなバースト活動。9) 胸鎖乳突筋と上腕二頭筋及び腹直筋はサイクル中殆ど活動しない。10) 僧帽筋上部と下部における活動様式は相反的で中部はその両者の中間あるいは両方に跨るように活動。11) 上腕三頭筋が肘関節伸展筋として機能し、上腕二頭筋活動は抑制される。

これらの結果から、初動負荷トレーニングでかわし動作

を取り入れると筋活動に無駄がなく近位筋から遠位筋へと流れるように活動し、肩甲骨ROMが増大する。本動作はハンドル保持により閉鎖性運動連鎖的動作となり、挙上時には体幹の僧帽筋、上腕三頭筋、上腕二頭筋の停止部が固定されることにより筋の起始部が遠位端の方へ引き寄せられながら伸ばされ肩甲骨は外転、挙上し、下制時もハンドル保持による閉鎖運動連鎖的動作ではあるがカムに連結したハンドルの自由回旋により開放運動連鎖的機能となり、筋の起始部が固定され遠位端が起始部の方へ引き寄せられながら伸張される。本運動は1セット平均10から15サイクルで弛緩－伸張－短縮を約1.6秒/1周期で繰り返す。筋は遠位端・近位端が相動的に引寄せられ揺さぶられHagbarthが唱えたthixotropic効果が高まり筋を柔軟にさせる。このために肩甲骨のROMが拡大したと解釈できる。

神経制御機序を考察すると、フォース曲線が比較的急峻に立ち上がりピーク値が大きくピーク値到達の時間が短い。動作切り換えしからのパワー曲線の傾斜が急峻で大きくピーク値到達への時間が短い。随意運動を有効に遂行するための一つの因子として末梢からのフィードバックが役立つことが知られている。本動作における神経機序はその特性からEvartsらが報告したtranscortical reflex機能が有効に働いたと解釈できる。その理由を運動制御とバイオメカニクスの視点から考える。本動作1サイクル中、被験者は「与負荷による筋の弛緩」という特性を得た後、挙上運動を始めカム特性により軽負荷がハンドル挙上に伴い漸増し筋は伸ばされる。負荷が漸増すると骨格筋受容器の筋紡錘は強く刺激され求心性の情報を誘発し中枢へ伝え伸張反射を誘発する。負荷が大きく伸張速度が高まるほど運動ニューロン活動も漸増し筋活動も増大する。筋活動増大は動作の加速度を増し力を増強させる ($F = ma$)。力が増大しスピードが加わればパワーが増大する ($F \times \text{speed} = \text{Power}$)。動作逆転時にカム特性により負荷は漸減し加速的に筋が短縮し下制運動が起こる。本動作は弛緩－伸張－短縮の中で、筋伸張による感覚性入力が感覚中枢から運動野へ送られその部のニューロンの下行性の指令によって大きく速い応答を生じたと解釈できる。このため、麻痺患者のリハビリテーションのトレーニングとしても有効であることが示唆できる。