

氏名（本籍）	鈴木正隆（愛知県）
学位の種類	博士（医学）
学位授与番号	乙第 928 号
学位授与日付	平成 6 年 10 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Relationship between force and electromyographic activity during rapid isometric contraction in power grip
審査委員	（主査）教授 松波 謙一 （副査）教授 恵良 聖一 教授 松永 隆信

論文内容の要旨

目的

ヒトが比較的素早く動作を遂行する時、主動筋張力は釣鐘状の円滑なパルスを描く。Ghezらはネコ及びヒトの等尺性肘関節屈曲動作を用いて、早くからこのパルス生成の仕組みを検討した結果、種々の大きさの target に向けて発せられたパルスの立上り時間（rise time）はほぼ一定であり、かつ、立上りの平均速度はピーク張力に対して直線的に増大することを見いだした。この張力生成の定型化は、張力生成上制御されるべき変数の数を抑え、ピーク張力制御を単純化する一つの運動制御戦略（control strategy）の一つ（pulse height control theory）として注目されてきた。

しかしながら、pulse height control に注目した先行研究はいずれも肘関節の屈曲／伸展、あるいは母指外転／内転等の一関節動作を用いており、多関節動作において同様のパルス生成がみられるか否かは明らかにされていない。また、指標とされた張力（target force）は、いずれもおよそ最大随意筋張力（Maximum Voluntary Contraction : MVC）の50%以下の範囲内で設定され、それを越えたレベルを含む検討はなされていない。

本研究では、多関節動作として手の「握り」（power grip）動作を用い、発揮される力をMVCのより広範な範囲（target force : 16.7-100%MVC）で発生させ、この条件下で、pulse height control にしたがる張力生成が確認され得るのかを検討することを目的とした。併せて、前腕の種々の筋より筋電図活動を記録し、power grip 動作による張力生成の仕組みを神経機構の面から検討した。

方法

被験者〔計6名（18-31才）〕は座位で、利き腕（いずれも右利き）の肘関節を90度、上腕を体幹外側に20度外転させた位置で、前腕を水平固定板の上に置いた。前腕は回内／回外位中間位とした。固定板前方の垂直レバーを4指（4指MP関節は約40度、PIP関節は約90度）で「かぎさげ」させる一方、母指の中手骨掌側に垂直棒を固定（母指CM関節は橈側外転約55度、掌側外転約30度）した。power grip 動作による張力は、母指と対立する他の4指の間で発揮される力として、レバー前方に取り付けたトランスデューサにより記録増幅された。

試行は眼前の dual-beam オシロスコープ上の1本目のbeamに呈示された力（target force）に対して、2本目のそれを出来るだけ素早く立ちあげ、かつ、そのピークを正確に target force に合致させるというものであった。いったん立ち上がった張力を途中で修正することは禁じた。target はMVC を6段階に等分割（MVC16.7, 33.3, 50.0, 66.7, 83.3, 100%）して用いた。各 target で15試行を記録した〔各 target 1回の試行（計6試行）を1ブロック（ブロック内 target 呈示はランダム、試行間隔3秒）とし、全15ブロック（ブロック間休息2分）〕。

前腕筋〔浅指屈筋（FDS）、指伸筋（ED）、橈側手根屈筋（FCR）、尺側手根伸筋（ECU）〕より表面筋電図活動を双局誘導（電極間距離約2cm）により記録（bandpass : 16-1000Hz）した。さらに、2名の被験者に対して、前4筋に加えて3筋（尺側手根屈筋、短橈側手根伸筋、長橈側手根伸筋）にタングステン微少針電極（電極抵抗1kHzで3-5M Ω ）を埋入させ筋電図活動を同時記録した。これにより、個々の筋で記録された表面筋電図活動に対する近位筋からの電流滑走の影響が調べられた。

張力と筋電図信号はA/D変換（sampling rate : 1KHz）後、マイクロコンピュータを用いて各試行ごとに同

時にファイルされた。張力特性は主に立上り開始からピークに到るまでの時間 (TPF: time to peak force) 及びピーク値とTPFの比 (RFR: rate of force rise) の2点から解析された。表面筋電図活動は全波整流後加算処理され、張力曲線との対比から、その波形特性が検討された。

結果

target 高の増大に伴い、張力曲線の開始からピーク値に到る過程には、target force 50%MVCを境に以下の2点において特徴的な変化がみられた。1: target force 16.7%から50.0%MVCまでは、TPFはほぼ一定値 (16.7%MVC: 77 ± 4 msec, 33.3%MVC: 79 ± 2 msec, 50.0%MVC: 79 ± 4 msec) を維持し、target force 50.0%MVCを越えると徐々に増大 (66.7%MVC: 95 ± 8 msec, 83.3%MVC: 110 ± 11 msec, 100.0%MVC: 126 ± 9 msec) した。2: target force 16.7%から50.0%MVCまでは、RFRはピーク値に対してほぼ直線的に増大 (16.7%-50.0%MVC: $r=0.99$, $P<0.001$) し、target force 50.0%MVCを境にこの増大は著しく低下 (66.7%-100.0%MVC: $r=0.67$, $p<0.001$) し、RFRの伸びは頭打ちになった。

同時に記録された主動筋表面筋電図活動には波形特性の異なる2つのburst成分が記録され、それぞれtarget force 50%MVCを境に特異的に変化した。target force 16.7%から50.0%MVCまでは主動筋群 (FDS, FCR) に低周波数の2相性 (negative/positive) のslow wave burst (第1成分) がその波長 (63msec) を変化させることなく、波高のみを増大させた。target force 50.0%MVCを越えると、第一成分の活動量は頭打ちになり、高周波数の第二成分が現れ、波高、波長をともに著明に増大させた。拮抗筋群 (ED, ECU) はいずれのtargetでも主動筋と同時に活動を開始したが、その活動は主動筋活動後に著明に増大した。同時に記録された針電極筋電図活動により、両筋群の表面筋電図活動に観察されたburstは、その筋自体の活動に由来するものと確認された。

考察

target force 16.7%から50.0%MVCまでの、TPFの一定値性及びRFRのピーク値に対する直線的増大はpower grip動作による等尺性筋収縮条件下でのピーク張力制御がpulse height controlに従っていることを示す。運動制御系は多関節筋参加による多関節動作においても、このtheoryに従う形で張力の生成をprogramしていることが示唆された。一方、target force 50.0%MVCを越えるとTPFの一定値性及びRFRのピーク値に対する直線的増大は認められず、この間のピーク張力制御はpulse heightのみではなく、同時にpulse widthの増大を伴っていることが解った。このような、ピーク張力制御に対する2つの相 (phase) の存在はこれまで報告されておらず、新しい所見であった。

targetの大きさに伴う張力構成上の2つの相 (phase) は、同時に記録された主動筋表面筋電図活動の2つのburst成分の生成と相関して発生した。このことは、2つの相の張力を制御する主動筋への神経入力情報が、別々の神経機構によりprogramされたものであることを示唆する。2相性制御の存在理由を明らかにすることは今後の主要な研究課題である。

先行研究は一関節動作を用い、かつ、target force 50%MVCまでのピーク張力制御を検討の対象としたことから、本実験で得られた所見との比較はできない。本実験の条件で一関節動作において同様の所見が得られるか否かはさしあたっての研究課題である。

論文審査の結果の要旨

申請者鈴木正隆は、ヒトのpower grip動作によりパルス張力を発生させ、その張力生成の仕組みを検討した。その結果、最大随意収縮の50%までのピーク張力制御は従来より報告されているpulse height controlに従ったが、それ以上のピーク張力制御は、これに加え、pulse width controlが伴っていることを発見した。加えて、筋電図法によりこれら2つの制御形態は、別々の神経入力情報によることを示唆した。本研究の所見は随意運動制御理論の発展に少なからず寄与するものと認める。

(主要論文公表誌)

Relationship between force and electromyographic activity during rapid isometric contraction in power grip

Electroencephalography and clinical Neurophysiology 93 (3): 218-224