

〈報告〉

力曲線と筋放電量からみた素早い力発揮の特徴について

緒方 惟真*;**・米田 継武**

Motor command variability during ballistic/fast contraction

Korenao OGATA*;** and Tsugutake YONEDA**

1. 背景および目的

日常に見られるゆっくりとした運動を遂行する際には、運動中枢では運動の結果起こる感覚情報、例えば視覚情報を伝達する視細胞や筋の伸長感覚を伝達する筋紡錘といった固有受容器からの感覚情報を利用することで、予め構築された運動指令を絶えず修正しながら運動指令を筋へ出力する⁴⁾⁵⁾。また、運動中枢から出力された運動指令そのものが、予め構築された運動指令を修飾する⁴⁾。平たく言えば、ゆっくりとした運動では、力はその終了まで絶えず調節されている。

一方、日常に見る運動の中でも素早く運動する際には、運動中枢では予め構築された運動指令をひとまとめにして、フィードフォワード的に筋へ出力する^{1)3)~5)}。つまり、素早い運動では、力は当初計画した運動指令の通りにしか発揮されない。しかし、発揮された力が時間的かつ量的に同一であっても、筋放電量の総量に変動があることが報告されている⁶⁾ことから、同じ力でも異なった中枢戦略の存在が示唆される。

この素早い力発揮では、力発揮初期における力速度・力加速度が、力のピーク値と相関すると報告されている²⁾ことから、同じ力の場合に初期の運動指令の安定性が高い可能性が考えられる。したがって、この力発揮初期の運動指令を筋放電量からみれば、素早い力発揮では、初期の筋放電量(運動指令)

の変動が低い可能性がある。そして、この素早い力発揮時の筋放電量を時系列的に解析することで、素早い力発揮時における運動指令の安定性を評価することができる。

力発揮初期に着目した場合には、「フィードバック型」のゆっくりした運動よりも「フィードフォワード型」の素早い運動で、運動指令の変動が小さい可能性がある。そこで本研究は、同じ力を発揮する運動指令が、「フィードフォワード型」と「フィードバック型」のどちらで安定しているのかを、筋電図(EMG)の時系列的な変動から検証することを目的とした。

2. 方法

表面電極を外側広筋(VL)、大腿直筋(RF)、内側広筋(VM)上に貼付した後、被験者は実験椅子上で等尺性膝関節伸展による力発揮を最大随意収縮(MVC)の30%まで行った。力の立ち上がりからピークまでの到達時間を1000 msec (slow-ramp contraction), 500 msec (fast-ramp contraction), 出来る限り素早く(ballistic contraction)の3条件を設定し、slow-ramp contraction および fast-ramp contraction を「フィードバック型制御」、ballistic contraction を「フィードフォワード型制御」として位置づけた。被験者は各条件をそれぞれ100~300回行った。複数回行った試行の内、力が時間的にも量的にも同じ(以下、「力が同じ」と称す)だった試行を5試行選出し、その際のEMGを解析対象にした。解析はEMGの立ち上がりから10 msec毎に積分し、5試行の平均値と標準偏差から変動係数(CV)を算出した。このCVは変動の指標であるが、この値から各条件におけるEMGの安定性を定

* (株)医療開発研究所

Healthcare Research & Development Inc.

** 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

Graduate School of Health and Sports Science,
Juntendo University

量化した。

3. 結果および考察

図1は各条件における力の一致度を示したものである。a)は、被験者1名で力が同じだった5試行を各条件で重ね描きしたもの、b)は全被験者の平均値とその標準偏差を示している。

ballistic contractionにおける力の立ち上がり(以下 Onset と称す)から力のピーク値までの相に着目してCVの平均値をみた場合、3条件ともにCVは4.2%以下であり、EMGのCVと比較して非常に小さかった。被験者は100~300回の力発揮を行ったが、結果として同じ力はCVで4.2%以下に収まった。この時のEMGを解析対象とした。

素早い力発揮では、力発揮初期における力速度・力加速度が、力のピーク値と相関する²⁾と報告されていることから、同じ力の場合には、初期の運動指令の安定性が高い可能性が考えられる。したがって、EMGの初期相(特にEMGのOnsetから70 msecまで)に着目してしてみる。図2は内側広筋における3条件間のCV比較である。EMGのCVは力のCVと比較して非常に大きく、EMGはそもそも変動するものと考えられるが、ballistic contractionのCVは他の条件と比較して50%を下回る傾向を示した。EMGの立ち上がりから70 msecまでのCVを平均してみると、slow-ramp contractionで $73.9 \pm 6.9\%$ 、fast-ramp contractionで $62.7 \pm 14.0\%$ 、ballistic contractionで $41.0 \pm 5.8\%$ であったことから、ballistic contractionのCVは他の条件と比較して約0.6~0.8倍であった。つまり、ballistic contractionのEMG変動は約1.3~1.7倍の安定性を有していた。この傾向は全ての筋において観察された。

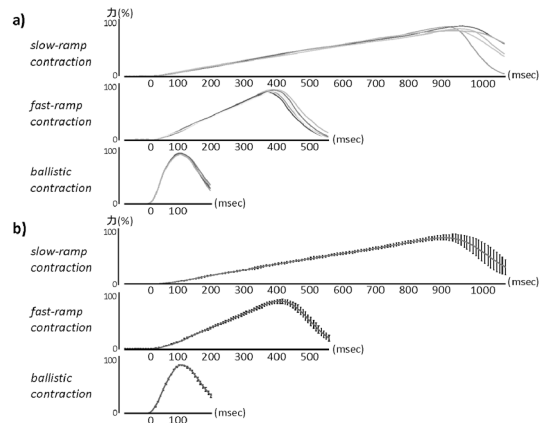
こうしたballistic contractionにおけるEMGの安定性は、力のピーク値はその力速度および力加速度が決定するというこれまでのキネマティック的観点²⁾を、生理学的観点からも証明したことになる。

4. 結 論

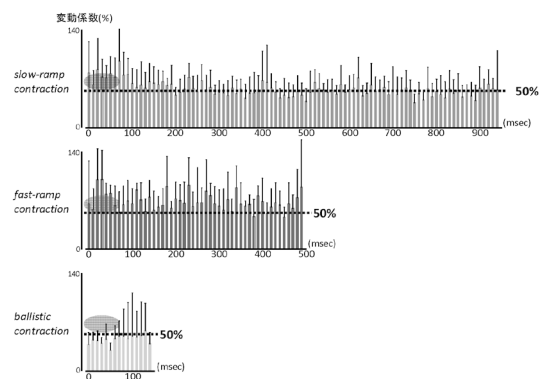
フィードフォワード型の運動指令は、その初期において変動性が低かった。

素早い力発揮では、「力発揮初期の制御が力の大きさを左右するという報告に一致して、初期の運動指令の精度が高いことが示唆された。

(当論文は、平成20年度順天堂大学大学院スポー



結果1 力の一致度 a) 1名の力 b) 全被験者の力



結果2 3条件間の変動係数比較(内側広筋)

ツ健康科学研究科の修士論文を基に作成されたものである)

参考文献

- 1) Brooks, V. B.: The neural basis of motor control., 7-8, Oxford University Press: New York (1986)
- 2) Gordon, J. and Ghez, C.: Trajectory control in targeted force impulses. II. Pulse height control., *Exp. Brain Res.*, 67, 241-52, (1987)
- 3) Hallett, M., Shahani, B. T. and Young, R. R.: EMG analysis of stereotyped voluntary movements in man., *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.*, 38, 1154-1162, (1978)
- 4) 川人光男: 脳の計算理論, 産業図書: 東京 (1996)
- 5) 大築立志: 「たくみ」の科学, 199-225, 朝倉書店: 東京 (1988)
- 6) Yoneda, T., Oishi, K. and Ishida, A.: Variation of amount of muscle discharges during ballistic isometric voluntary contraction in man., *Brain Res.*, 275, 305-309, (1983)

(平成21年3月31日 受付)
(平成21年3月31日 受理)