

目標のある瞬間的な力発揮の収縮時間と筋放電時間について

木村 瑞生** 米田 継武** 北 均*

On contraction time and EMG dwell time of isometric force during ballistic matching task

Mizuo KIMURA**, Tsugutake YONEDA**, Hitoshi KITA*

1) Subjects were healthy 16 adult men in this experiment. The relationship between amplitude and contraction time, and the relationship between force amplitude and EMG dwell time during ballistic force exertion by thumb adduction were examined. The target force levels were defined at three levels, which were 10 %, 30 % and 50 % of MVC.

2) Mean values of MVC derived from all subjects before training weren't larger than those after training.

3) The contraction time and EMG dwell time increased with force increment. These two relationships, force-contraction time and force-EMG dwell time expressed as linear equations (regression equation). Contraction time and EMG dwell time decreased remarkably after training under conditions of 30 % and 50 % of MVC. Therefore, Slopes of linear equations decreased, but y-intercepts remained the same.

4) It is suggested that at a given ballistic force amplitude, the duration of neuronal output can be shortened by training. However, a certain essential unit time might be necessary to neuronal programs of ballistic contraction, because the y-intercept of the regression equation did not change after training.

諸 言

随意的に瞬間的な力発揮を遂行する際の極めて短い収縮時間は、Desmedt と Godaux (1977)³⁾により ballistic 収縮と規定された。彼らによれば前脛骨筋の場合の ballistic 収縮時間は、150 msec 以内である。このような速い収縮の神経系による制御は、遂行時間が短いのでフィードバック制御を受け難いことが知られている^{4),9),10),14),15)}。つまり、フィードフォワード型の制御機構がより大きくかかっていると考えられている。

種々の身体運動において、ballistic 収縮的な動作及び力の発現は多く見うけられる。例えば、野

球選手のバットスウィングのインパクトの瞬間とか 100 m 競争のスタート時のキックなど瞬間的な動作遂行及び力の発現の場面は、この ballistic 収縮の神経制御機構がかかわると考えられる。しかし、これまでのところ ballistic 収縮の神経制御機構は、十分解明されていない。

これまで多くの研究者は、収縮時間というよりはむしろ筋力の大きさに着目してきた。Häkkinen と Komi (1983)⁶⁾、Häkkinen ら (1985 a)⁷⁾、Komi ら (1978)¹²⁾は、筋力を増大させるための筋力トレーニングを行ない、その結果、大きな負荷を与えての筋収縮が筋力増大に効果的であることを報告している。一方、近年 Häkkinen ら (1986 b)⁸⁾は、筋収縮時間に着目し、「explosive type strength training」と称する瞬時に最大の速度で最大の力を発揮するトレーニングを積ませる

* 東京工芸大学体育研究室

** 順天堂大学体育学部生理学研究室
昭和61年10月1日受理

と、筋力の増大はさほどみられないが、筋収縮時間が著明に短縮することを報告した。しかしながら、彼らが行なってきたトレーニングは、常に最大の筋出力を目的としたものである。そのため、筋出力レベルを調節し尚かつ最大の速度で力を発揮するような動作コントロールを目的としたトレーニングが注目される。すでに、米田と木村(1984)¹⁷⁾、木村ら(1985)¹⁸⁾は、それぞれ脚と手の筋において、最大下の力目標レベルに対する ballistic 収縮のトレーニング実験をしており、トレーニング後でも目標に対する力発揮の正確さには変容はみられないが、収縮時間と筋放電時間が明らかに短縮することを見出した。しかし、収縮時間と筋放電時間が発揮した力の大きさとどのような関係にあるのかについての詳細な報告はなされていない。

そこで、本研究では、最大下の力発揮の場合に、目標力レベルに対する瞬間的な力発揮の収縮時間と筋放電時間が力の大きさとどのような関係にあるのか、従来なされていない回帰式を使って調べ、さらに、それらの関係(回帰直線式)が ballistic 収縮のトレーニング後にどのように変容するのかを明らかにした。

方法

被験者は、神経一筋系に病歴のない成人男子 16 名であった。彼らに最大下の 3 段階の力レベル(MVC 10%, 30%, 50%)を目標に、力の大きさを調節させ尚かつできる限り速い随意収縮(ballistic 収縮)を行なわせた。この際の力の大きさと収縮時間(TPF)、及び力の大きさと筋放電時間(EDT)との関係に着目し、ballistic 収縮のトレーニングを積んだ前後にそれらの関係がどのように変容するかを調べた。以下に力発揮の方法及び記録方法、筋電図記録方法、記録の解析方法、実験系列について述べる。

1. 等尺性 ballistic 収縮の力曲線記録法

力発揮は拇指内転筋を主動筋とする拇指内転動作による等尺性の随意収縮とした。Fig. 1 A に示すように、拇指の基節骨と第 1 中手骨を結ぶ直線と中指の基節骨と第 3 中手骨を結ぶ直線とのな

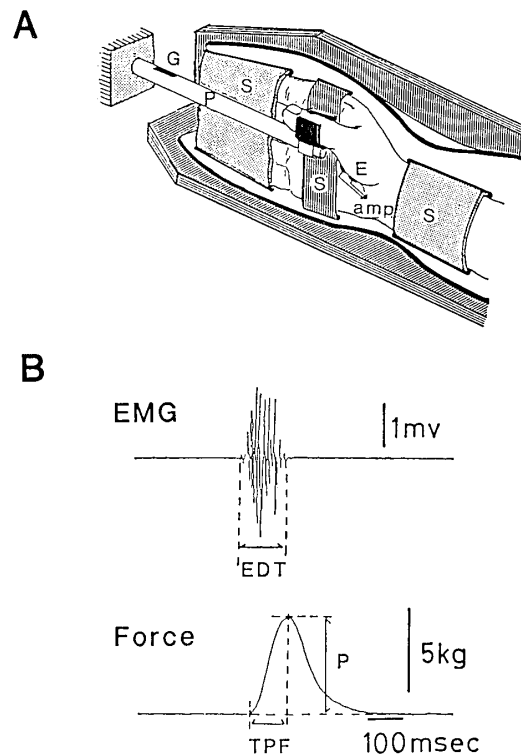


Fig. 1 A: Fixation of arm and hand. Subject exerted isometric force by thumb adduction. G; strain gauge, S; supporter, P; stainless steel pole.

B: Instantaneous recording ballistic contraction. EDT; EMG dwell time; TPF; time to peak force, P; peak force.

す角度を 20 度として、右手前腕部及び手掌部を固定した。拇指指節間関節を直径 12 mm のステンレス棒に取り付けられたホルダー上に置き拇指を内転させることにより力が発揮された。発揮された力は、ステンレス棒の固定端近くに貼付されたストレングージ (Fig. 1, G) によりひずみ量として検出され、この信号を動ひずみ測定器(共和 DPM-110 A)で増幅しデータレコーダー(共和 RTP-501 A)によって後述の EMG と同時に磁気テープに記録した。又、力の信号は、同時に被験者の眼前約 1.5 m に置かれたモニタースクリーン上に視覚的情報として示された。被験者は、これを見ながら、あらかじめ画面上に水平掃引で設定された力の目標レベルを知るとともに、力発揮試行の結果生じた力の誤差及び時間経過をも知ることができた。本実験は、最大下の力目標レベルに対してできる限り速い瞬間的な力発揮を研究対象としたので、力発揮試行前、及びその最

中に「す速く目標レベルに合う力を発揮せよ」という指示を口頭で頻繁に与えた。

2. EMG の記録

EMG は、拇指内転筋より表面電極 (Fig. 1 A, E) を用いて導出した。直径 6 mm のコロジオン電極 (日本光電社製) は、被験者の拇指内転筋の筋腹中央に中心距離 2.5 cm で貼付された。導出された EMG は、生体電気用前置増幅器 (RB-5, 日本光電社製) を用いて、時定数 0.003 sec の条件で記録された。

3. 記録の解析方法

磁気テープに同時記録された力と EMG は、ペンレコーダーを用いて記録紙に再生描記した。Fig. 1, B には、EMG と力曲線の同時記録を示し、さらに、それらの計測箇所も示した。力曲線からは、力の立ち上がりからピークまでの所要時間、すなわち収縮時間 (Fig. 1 B, TPF; time to

peak force) と発揮された力の大きさ (Fig. 1 B, P), EMG からは、EMG 出現から消失まで、すなわち筋放電時間 (Fig. 1 B, EDT; EMG dwell time) を計測した。

4. 力発揮試行の実験系列

Fig. 2 A に示すように、本研究における実験系列は、トレーニング前 4 回のコントロール実験とそれに引き続くトレーニング実験から成っている。このうち、4 回のコントロール実験 (C-1~C-4) とトレーニング実験の 10 日目 (T-10), 20 日目 (T-20), 27 日目 (T-27), はテスト実験とし、トレーニング前後の結果を比較するためにすべての力発揮試行についての力と EMG を記録した。

a) テスト実験

前述したようにトレーニング前後の結果を比較するために、3 段階の力の目標レベル (MVC 10%, 30%, 50%) それぞれに対して連続して 30 回、合計 90 回の力発揮を行なう。この際の試行のリズムは、MVC 10% と 30% 目標では 2~3 秒に 1 回、MVC 50% 目標では 4~5 秒に 1 回とした。これら 90 回の力発揮試行を 1 セットとしてテスト実験とした。

b) コントロール実験

コントロール実験とは、トレーニング前の ballistic 収縮の力と収縮時間の関係及び力と筋放電時間の関係それぞれの一般傾向を知るために、週 1 回の頻度で 4 回 (Fig. 2 A, C-1~C-4) 実施したテスト実験である。

c) トレーニング実験

トレーニング実験には、トレーニング期間とトレーニング中及び終了後の 3 回のテスト実験 (Fig. 2 A, T-10, T-20, T-27) が含まれる。これら 3 回のテスト実験の結果とコントロール実験の結果を比較した。Fig. 2 A に示したようにトレーニングは連日行ない、最高で 26 日間続いた。しかしながら、16 名すべての被験者が 26 日間のトレーニングを行なったわけではなく、9 日間の者が 5 名、19 日間の者が 7 名、26 日間の者が 4 名であった。1 日のトレーニング内容は、テスト実験と同じ様式で 90 回の力発揮試行を 2 セ

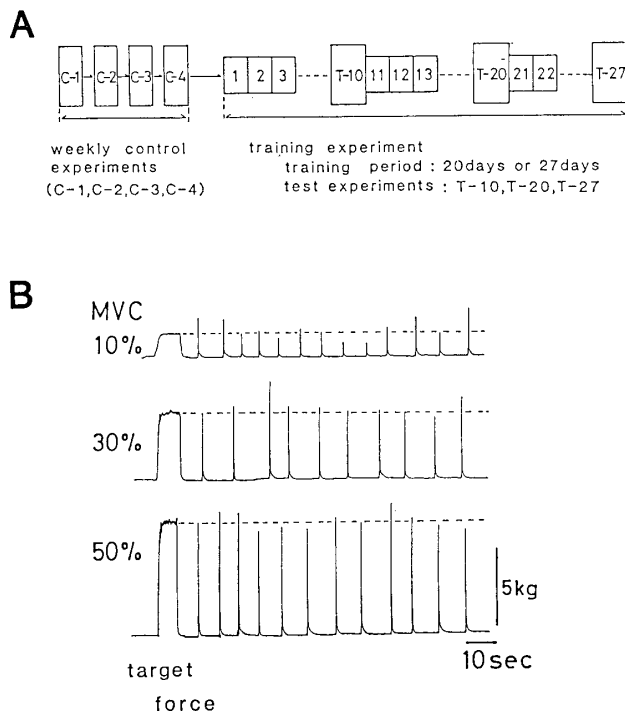


Fig. 2 A: The process of the experiment. It consisted of weekly control experiments (C-1, C-2, C-3, C-4) before training and training experiment which consisted of training period and test experiments (T-10, T-20, T-27).

B: An example recording of training contractions at three target force levels (10%, 30%, 50% of MVC)

ット、合計 180 回の力発揮試行である。この期間中は、EMG の記録はせず、力曲線のみペンコーダーで記録した。Fig. 2 B には、各力目標レベルに対する ballistic 収縮の練習試行の 1 例を示してある。

結果

1. 練習前後の随意的最大筋力 (MVC) について

神経一筋系の出力としてもたらされる要素の 1 つである随意的最大筋力 (MVC) は、負荷を与えた筋収縮トレーニングによって増大することが知られている^{6),7),11),12)}。Hettinger (1961)¹¹⁾は、週 1 回の頻度で MVC 40%~50% の負荷の筋力トレーニングでも MVC が増大することを報告している。そのため、本実験で行なった ballistic 収縮のトレーニングにおいても MVC 50% 前後の力を発揮しており MVC 増大に関連する可能性があるため、トレーニング前後の MVC を比較した。Fig. 3 には、トレーニング前 (C-1~C-4) と後 (T-10, T-20, T-27) の各テスト実験

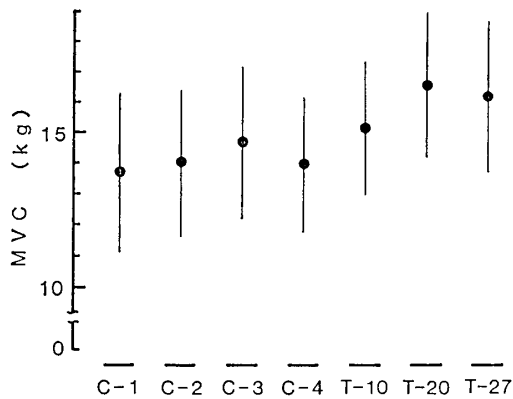


Fig. 3 Mean values of MVC before and after training. Mean values of MVC were calculated from values of MVC of 16 subjects in C-1, C-2, C-3, C-4, T-10, from 11 subjects in T-20 and from 4 subjects in T-27.

におけるすべての被験者の MVC の平均値 (mean \pm SD) を示した。求めた平均 MVC の値は、C-1 から T-10 までは 16 名の被験者から、T-20 では 11 名、T-27 では 4 名から得られたものである。図に示されるようにトレーニング前後の MVC

は、トレーニング後に値がわずかに大となる傾向を示した。しかし、トレーニング前においても C-3 のようにわずかに上昇する場合もある。そこで、トレーニング前で最大の平均 MVC を示した C-3 の値とトレーニング後に最大となった T-20 の値を比較するとその差は、統計的有意ではなかった。従って、本実験で実施したトレーニング条件では、MVC に著しい変化をもたらしたとは結論できない。

2. 練習前後の収縮時間 (TPF) について

Fig. 4 A には、任意に選んだ 1 人の被験者 (YK) のトレーニング前 (黒丸) 後 (白丸) の力の大きさに対する収縮時間 (TPF) の関係を示した。図からわかるように力の増加に従い TPF も直線的に増加した。この力と TPF の直線的関係は、トレーニング前後ともに示された。このような両者の明らかな直線的関係は、すべての被験者についてみられた。さらに、トレーニング前後の TPF の値を比較すると、トレーニング前より後の方が明らかな TPF の短縮を示した。このことは、Fig. 4 A に示したトレーニング後の力と TPF の関係から求めた回帰直線 (破線) がトレーニング前のそれ (実線) より下方に移行する様子で示された。

3. 練習前後の力と収縮時間 (TPF) の回帰直線について

Fig. 4 A に示したように力と TPF の関係は、直線的関係を示した。そこで、すべての被験者について力と TPF の関係をトレーニング前後で検討するために、各被験者についてテスト実験毎に回帰直線式を求め、その“傾き”と“y-切片”の値をそれぞれ全被験者について集計し平均して得た平均的回帰直線を Fig. 4 B に示した。Fig. 4 B においても Fig. 4 A と同様にトレーニング前 (実線) の回帰直線に比してトレーニング後 (破線) のそれが明らかに下方に移行した。すなわち、ballistic 収縮の TPF がトレーニング後に短縮したことが明らかである。さらに、トレーニング後の回帰直線 (Fig. 4 B, 破線) の下方への移行は、“y-切片”の減少よりはむしろ“傾き”の減少が主な要因となっているのがうかがわれる。こ

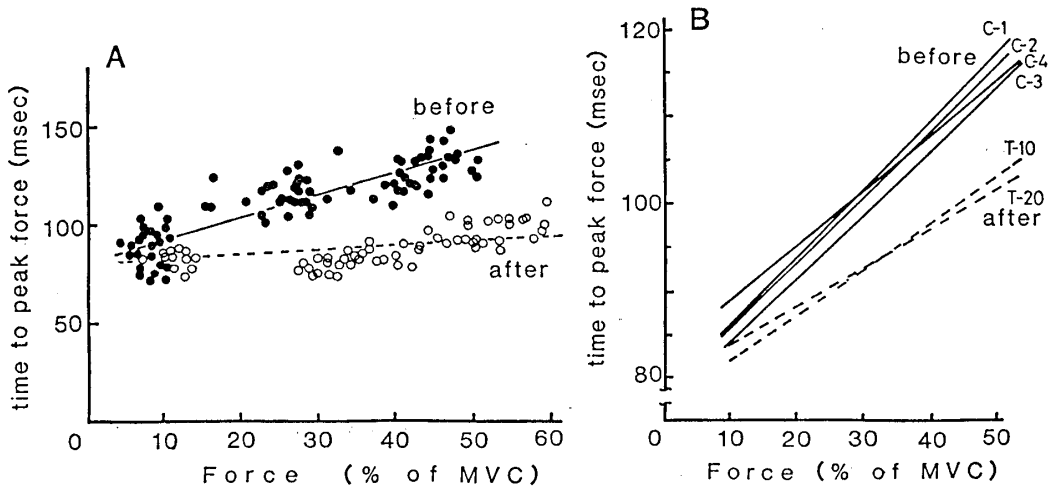


Fig.4 A: Comparison between contraction time before and after training on any one of 16 subjects. Filled circles; before training(C-1), open circles;after training (T-10). The regression equations were $Y=0.17X+80.28(r=0.884)$ before training and $Y=0.278 X+79.14(r=0.542)$ after training.
 B: Relationship between force amplitude and contraction time. The regression lines of each test experiment were calculated from data of all subjects. Solid lines; before training, dotted lines;after training.

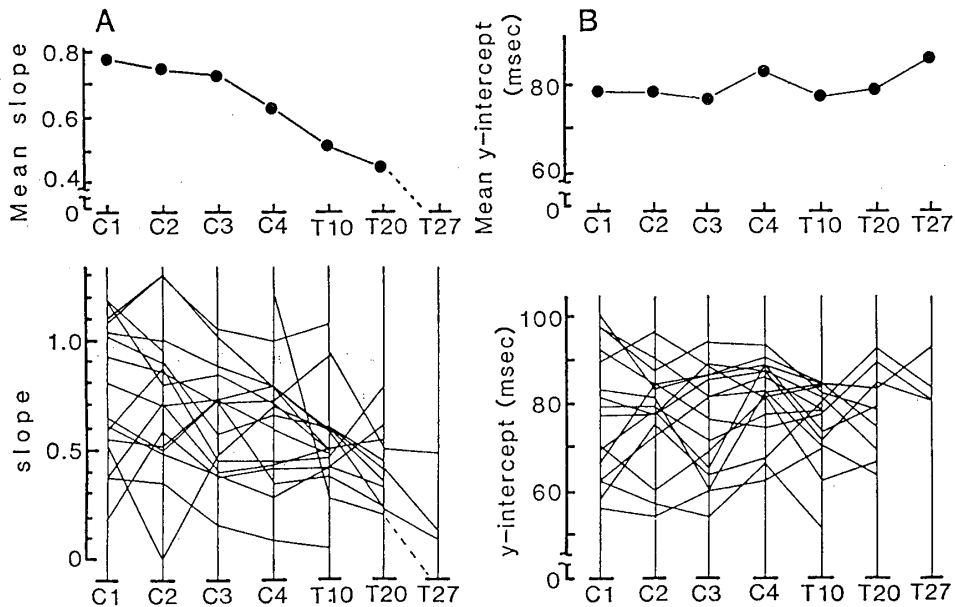


Fig.5 Relationship between slope(A) and y-intercept(B) of regression equation related to force amplitude and contraction time. A:Slopes of regression equation for each subject (under) and those mean slopes(upper) are shown. B:y-intercepts of regression equation for each subject (under) and those mean y-intercepts (upper) are shown.

のことをさらに明確にするために Fig.5 A, B を作成した. Fig.5 A には, 各被験者の力と TPF の回帰直線式の“傾き”を示し, Fig.5 B には, “y-切片”の値をそれぞれ示した. Fig.5 A, B それぞれの下段には, 各被験者の値の推移を示し上段には全被験者の平均値を示した. Fig.5 A の下段の図からわかるように, 力と TPF の回帰直線

式の“傾き”には個人差が明らかに認められた. しかしながら, その個人差の幅は, トレーニング前より後の方が小となった. この個人差の減少に伴い Fig.5 A の上段に示した平均の“傾き”の値もテスト実験の進行に伴って減し, 特に C-4あたりから著しい減少が認められた. 次に各被験者別に“傾き”の値の推移を調べると, 2つの異

なる傾向のグループが認められた。つまり、C-1において“傾き”が1.0近傍の比較的大きな値を有する者は、減少の幅が大きく、C-1において、“傾き”が0.5近傍と小さめの値を有する者は、トレーニング後においてもさほどの減少を示さなかった。これに対して、“y-切片”の値は、全体的にみると (Fig. 5 B, 上段), トレーニング前後を通してその値はほぼ一定であった。つまり、各被験者の値 (Fig. 5 B, 下段) にも認められるように“y-切片”の値の個人差の幅がトレーニング後になっても大きな差のままであった。このように力と TPF の回帰直線式は, ballistic 収縮のトレーニング後にその“y-切片”の値が減少するのではなくむしろ“傾き”の値が減少するという事実が示された。

4. 練習前後の筋放電時間 (EDT) について

Fig. 6 A に Fig. 4 A と同一の被験者のトレーニング前後における力と筋放電時間 (EDT) の関係を示した。力と EDT の関係も力と TPF の関係と同様に力の増加に伴い EDT の値も直線的な増加を示した。この力と EDT の直線的関係

は、すべての被験者について認められた。トレーニング前 (黒丸) と後 (白丸) の EDT を比較するとトレーニング後の EDT がトレーニング前のそれより明らかに短縮しており、TPF の場合と同様の傾向となった。この EDT の短縮は、力と EDT から求めた回帰直線式がトレーニング後 (破線) に下方に移行する様子で示された (Fig. 6 A)。

5. 練習前後の力と筋放電時間 (EDT) の回帰直線について

Fig. 4 B の場合と同様に全被験者から求めた力と EDT の平均的回帰直線を Fig. 6 B に示した。TPF (Fig. 4 B) の場合と同様に EDT の場合もトレーニング後の短縮がみられ、トレーニング前の回帰直線 (Fig. 6 B, 実線) に比してトレーニング後 (破線) のそれが明らかに下方に移行した。この場合の下方への移行も“y-切片”の減少よりむしろ“傾き”の減少に依存しているように思われる。Fig. 7 A には、各被験者の力と EDT の回帰直線式の“傾き”の値を示し、Fig. 7 B には“y-切片”の値を示した。回帰直線式の平均的“傾き”

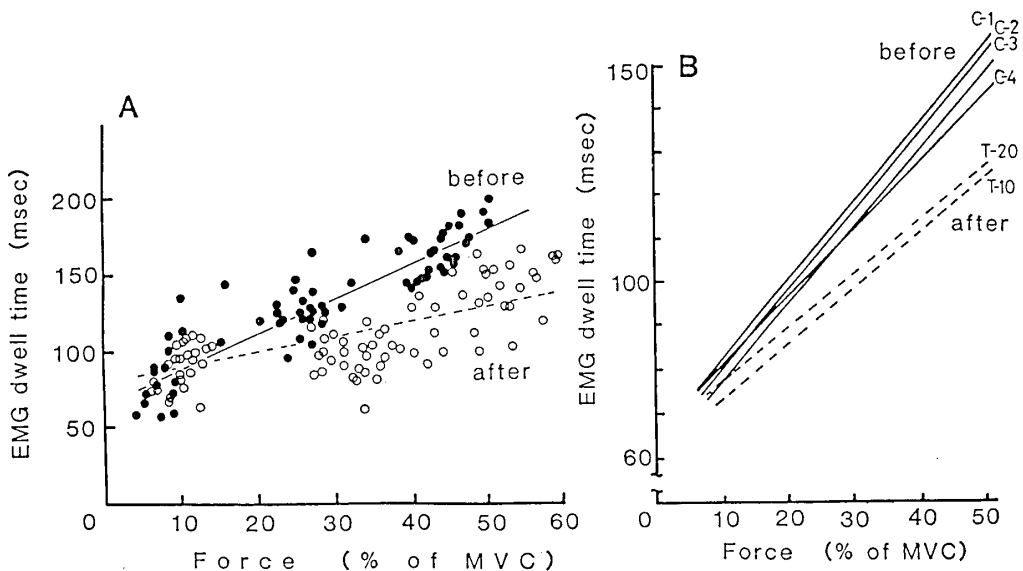


Fig. 6 A: Comparison between EMG dwell time before and after training on any one of 16 subjects. Filled circle; before training (C-1), open circle; after training (T-10). The regression equation were $Y=2.315 X+62.86$ ($r=0.878$) before training and $Y=1.014 X+78.98$ ($r=0.648$) after training.
 B: Relationship between force amplitude and EMG dwell time. The regression lines of each test experiment were calculated from data of all subjects. Solid lines; before training, dotted lines; after training.

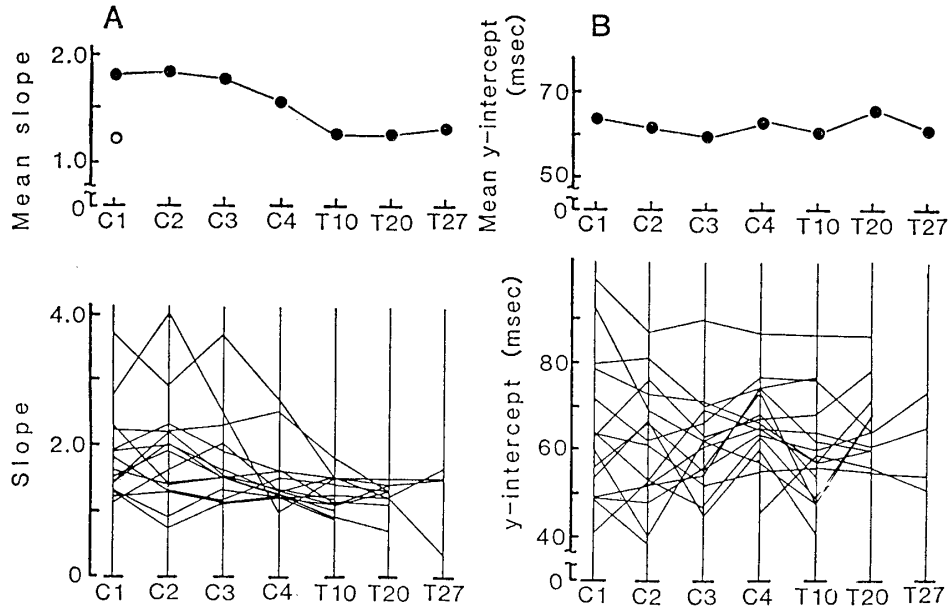


Fig. 7 Relationship between slope (A) and y-intercept (B) of regression equation related to force amplitude and EMG dwell time. A: Slopes of regression equation for each subject (under) and those mean slopes (upper) are shown. B. y-intercepts of regression equation for each subject (under) and those mean y-intercepts (upper) are shown.

(Fig. 7 A, 上段) と “y-切片” (Fig. 7 B, 上段) から明らかなように、トレーニング後における力と EDT の回帰直線の下方への移行は、“y-切片”の値の減少ではなく“傾き”の値の減少に依存するという事実が認められた。つまり、EDT の場合も、力と TPF の回帰直線式の場合 (Fig. 5A, B) と同じ傾向となった。次に、各被験者の回帰直線式の“傾き”の値の推移 (Fig. 7 A, 下段) を観察すると、TPF (Fig. 5 A, 下段) の場合と同様 2 つの異なるグループがみられた。すなわち、C-1 での“傾き”が比較的小きな者 (2.0~4.0) は、トレーニング後に大きな減少を示し、C-1 での傾きが小さな者 (1.0~1.5) は、トレーニング後も明確な減少傾向を示さなかった。その結果、トレーニング前に示された“傾き”の個人差が、トレーニング後に明らかに小となる傾向を示した。つまり、“傾き”の大きな者は、ballistic 収縮の経験を積んだ後で“傾き”の小さい者の値の範囲に含まれるようになった。これに対して、各被験者の“y-切片”の値 (Fig. 7 B, 下段) は、トレーニング前後を通して、個人差が大きく、“傾き”の場合とは異なる傾向を示した。

考 察

最大下の力目標レベルに対してできる限り速く瞬間的に力を発揮させた際の収縮時間及び筋放電時間については、すでに脚筋 (前脛骨筋)¹⁷⁾ と本実験と同様の手の筋 (拇指内転筋)¹⁸⁾ で研究が行なわれている。それによると、脚筋でも手の筋でも力目標に対する力発揮の正確さにはトレーニング効果は認められなかったが、収縮時間と筋放電時間がトレーニング後に短縮することが見出された。本研究では、力と収縮時間及び力と筋放電時間の関係を回帰直線式で示し、回帰直線式のどの要素 (“傾き”, “y-切片”) がトレーニングによって変化するかを調べた。

本実験において行なわれた ballistic 収縮のトレーニング、すなわち瞬間的力発揮のトレーニングが、これまで知られている負荷を与えての筋力トレーニング^{6), 7), 11), 12)} と同様に MVC の増加をもたらすかどうかという観点から、トレーニング前後の MVC の値を比較した (Fig. 3)。その結果、MVC の著明な増加は得られなかった。Häkkinen と Komi (1983)⁶⁾, Häkkinen ら (1985 a)⁷⁾, Komi ら (1978)¹²⁾ は、強度の負荷を与えた筋

カトレーニングにおいて著明な増加を示している。一方、近年 Häkkinen ら (1985 b)⁸⁾は、「explosive type strength training」と称する瞬間的に最大の収縮スピードで最大の力を発揮するようなトレーニングを 24 週間継続しても MVC の著明な増加は得られず、収縮時間が著しく減少することを報告した。本実験で用いたトレーニングタイプは、どちらかと言えば Häkkinen ら (1985 b)⁷⁾の「explosive type strength training」に属すると考えられる。このように速い筋力発揮の機構は、その大きさ（筋力）に関しては経験を積むことによる変容を受け難い性質であることを示すものかもしれない。しかし、後述するように力発揮の時間的要素は、変容を受けることから経験を重ねる方法や量的条件を改めた実験を行わなければ、この特性について結論できない。

本実験において得られたトレーニング効果とみられる事実は、収縮時間と筋放電時間の短縮であった。研究対象とした瞬間的な力発揮、すなわち、ballistic 収縮は、フィードバック制御を受け難いことが知られている^{4),9),10),14),15)}。すなわち、ballistic 収縮の神経制御機構は、あらかじめ運動中枢で設定されたプログラムに強く依存するフィードフォワード制御であると考えられる。そのため、いったん力発揮を開始すれば、その途中で大きさや速度を変えることができない様式の力発揮と思われる。このような力発揮様式において、本実験では、力と収縮時間、及び力と筋放電時間との間に明らかな直線的関係を見出した (Fig. 4, Fig. 6)。すなわち、本実験で設定した力の範囲内 (MVC 10%~50%) では、ballistic 収縮の力の増減に関する神経機構は、力の増加に対して一定の割合で活動時間を付加する機構であると考えられる。さらに、力と収縮時間及び力と筋放電時間の直線的関係がトレーニング後に下方に移行し、その移行が回帰直線式の“y-切片”の減少ではなく“傾き”の減少であることが認められた (Fig. 5, Fig. 7)。この事実は、収縮時間と筋放電時間の短縮幅が ballistic 収縮の力の増加とともに大なることを意味している。このことを説明するもの 1 つとして以下のことが推測され

る。極めて小さな瞬間的な力発揮の収縮時間や筋放電時間は、速い力発揮の場合に必要なとする基本的時間幅を意味しているように考えられる。そして、以前、木村ら (1985)¹⁸⁾が示したトレーニング後の筋放電時間の短縮が力発揮開始前の EMG の短縮ではなく力発揮開始後の EMG の短縮に依存した事実から推測されるように、大きな力発揮の場合に当初要した付加的時間が ballistic 収縮のトレーニングにより削減され、小さな力発揮時の基本的時間幅に収束する方向で神経機構が変容されるものかもしれない。すでに、ballistic 収縮のトレーニングによる収縮時間と筋放電時間の短縮は、米田と木村 (1984)¹⁷⁾、木村ら (1985)¹⁸⁾によって報告されており、その両方の時間の短縮が運動単位の活動様式の変容によるものとして推測した。力と両者の時間的関係を回帰直線式を用いて調べた本実験結果も筋放電時間がトレーニング後に明らかに短縮したことから前者の考えを支持できるものとする。

力の増減を調節する運動単位の活動様式には、recruitment と rate coding があることは既に知られている^{1),2),5),13),16)}。Kukulka と Clamann (1981)¹³⁾は、本実験で用いた同じ被験筋（拇指内転筋）の motor unit の活動様式を調べ、拇指内転筋では MVC 30% までにほぼすべての motor unit が動員されることを報告した。この事実と照し合せると、本実験での MVC 30% 以上の力発揮では、rate coding が主に力の増減に関与していると思われるが、トレーニング後の収縮時間と筋放電時間の両方の減少を説明する場合、rate coding 機構の変容だけでは説明し難い。なぜなら、両者の時間の短縮は、力発揮開始時の立ち上り速度もさることながら力発揮を速やかに終了させるという要素も関与してくるために、motor unit の recruitment や decruitment が rate coding に加えて複雑に関与してくるからである。

本実験では、特に ballistic 収縮のトレーニング後の収縮時間と筋放電時間の短縮を明らかにした。このことは、力発揮の終了時点が早められたものと理解できる。筋への中枢司令が終了するた

めの機構というのは、現在のところ明らかにされていない。実際、この筋放電時間の短縮を生理学的に説明するには ballistic 収縮中の motor unit 活動の記録とともに運動中枢細胞の活動を運動の終了と関連づけた解析実験が必要となるように思われる。

最後に本論文作成にあたり御校閲を賜った順天堂大学育体学部生理学研究室石田絢子教授に深く感謝の意を表します。

本論文の要旨は、日本体育学会 37 回大会(1986)において発表した。

要 約

1. 随意的な ballistic 収縮による力発揮の場合に、ある一定のトレーニングを行なわせた前後において、力と収縮時間 (TPF) 及び力と筋放電時間 (EDT) との関係重回帰直線式を用いて解析を行い、トレーニング後の変容を検討した。

本実験における被験者は、健常な成人男子 16 名で、彼らに最大下の力目標レベル (MVC 10%, 30%, 50%) に対して拇指内転動作による等尺性の瞬間的な発揮 (ballistic 収縮) を行なわせた。

2. 全被験者から求めたトレーニング前の平均 MVC の値は、トレーニング後においても増大しなかった。

3. 収縮時間 (TPF) も筋放電時間 (EDT) も力の増加とともに直線的に増大した。さらに収縮時間も筋放電時間もトレーニング後に明らかに短縮し、特に MVC 30%, 50% と力が大なるほど著明な短縮を示した。これら重回帰直線式を用いて解析すると、トレーニング後の重回帰直線式の“傾き”の値が明らかに減少したが、“y-切片”の値はトレーニング前後においてほぼ同じ値であった。

4. 本実験結果に示されたトレーニング後の時間短縮は、あるレベルに対して発揮された ballistic 収縮時の神経系出力に要する時間が、トレーニングによって短縮されることを示したと推測でき、このような観点より考察を試みた。

参 考 文 献

- 1) Bigland, B & Lippold, O. C. J.: The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J. Physiol.* 123: 214-224(1954).
- 2) DeLuca, C. D., LeFever, R. S., McCur, M. P. & Xenakis, A. P.: Behavior of human motor units in defferent muscles during linearly varying contraction. *J. Physiol.* 329:113-128(1982).
- 3) Desmedt, J. E. & Godaux, E.: Ballistic contraction in man, characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J. Physiol.* 264:673-693(1977).
- 4) Desmedt, J. E. & Godaux, E.: Voluntary motor commands in human ballistic movements. *Ann. Neurol.* 5:415-421(1979).
- 5) Freund, H.-J., Büdingen, H. J. & Diets, V.: Activity of single motor units from human forearm muscles during voluntary isometric contraction. *J. Neurophysiol.* 38:933-946(1975)
- 6) Häkkinen, K. & Komi, P. V.: Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exer.* 15(b): 455-460(1983).
- 7) Häkkinen, K., Alen, M. & Komi, P. V.: Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta physiol. Scand.* 125: 573-585(1985 a).
- 8) Häkkinen, K., Komi, P. V. & Alen, M.: Effect of explosive type strength training on isometric force-and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscle. *Acta Physiol. Scand.* 125:587-600(1985 b).
- 9) Hallett, M., Shahani, B. T. & Young, R. R.: EMG analysis of stereotyped movements in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 38:1154-1162(1975).
- 10) Hallett, M. & Marsden, C. D.: Ballistic flexion movements of the human thumb. *J. Physiol.* 294:33-55(1979).
- 11) Hettinger, T.: *Physiology of strength.* Charles C. Thomas. Publisher. (1961).
- 12) Komi, P. V., Viitasalo, J. T., Rauramaa, R. & Vihko, V.: Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of function. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40: 45-55

- (1978).
- 13) Kukulka, C. G. & Clamann, H. P.: Comparison of the recruitment and discharge properties of motor units in brachial biceps and adductor pollicis during isometric contraction. *Brain Res.* 219:45-55(1981).
- 14) Marsden, C. D., Merton, P. A. & Morton, H. B.: Servo action in human movement. *Nature* 238:140-143(1972).
- 15) Marsden, C. D., Merton, P. A. & Morton, H. B.: Servo action in human thumb. *J. Physiol.* 257:1-44(1976).
- 16) Milner-Brown, H. S. & Stein, R. B.: Change in firing rate of motor units linealy voluntary contraction. *J. Physiol.* 20:371-391(1973).
- 17) 米田継武, 木村瑞生: 速い力発揮の目標レベル到達度と練習効果. 順大保体紀要, 27号, 7-15(1984).
- 18) 木村瑞生, 米田継武, 美里英治, 石田絢子: 速い正確な力発揮の練習効果—収縮時間と筋放電時間について—. 順大保体紀要, 28号, 29-38(1985).