

# Nara Women's University

## 「力の抜き」が出力調整の正確性に及ぼす影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 奈良女子大学文学部スポーツ科学教室 公開日: 2013-06-19 キーワード (Ja): 正確な出力調整, 等尺性収縮, 力の抜き キーワード (En): accurate force control, force relaxation, isometric contractions 作成者: 大高,千明, 藤原,素子 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10935/3443">http://hdl.handle.net/10935/3443</a>

## 「力の抜き」が出力調整の正確性に及ぼす影響

大高 千明<sup>1)</sup> 藤原 素子<sup>2)</sup>

The effects of “Force relaxation” on accuracy of force control

Chiaki Ohtaka<sup>1)</sup> Motoko Fujiwara<sup>2)</sup>

### Abstract

It is more difficult to control the force accurately in the case of decreasing the force than increasing the force. When decreasing the force, it may be well controlled by insert the “Force relaxation”, that is, decreasing the force over the target level. This study investigated the effects of “Force relaxation” on the control of force level accurately in isometric leg contraction tasks. Subjects increased the force from 40%MVC to 60%MVC (40-60 task) and decreased from 60%MVC to 40%MVC (60-40 task). These tasks were performed under 3 conditions; adjusting the target force directly (Direct condition), adjusting the target force after relaxing preferable amount of force (Prefer condition), adjusting the target force after relaxing completely (Cancel condition).

As a result, subjects could adjust force accurately on all conditions in the 40-60 task. In the 60-40 task, on the other hand, they could adjust force accurately on Prefer and Cancel conditions compared with Direct condition. Total adjustment time from starting of adjustment to reaching the target level became long in order of Direct, Prefer, Cancel conditions. It is concluded that the accuracy in control of force level was effected by “Force relaxation” especially in the case of decreasing the force.

(Research Journal of Sport Science in Nara Women's University, 15: 37-46, 2013)

Keyword : force relaxation, isometric contractions, accurate force control  
キーワード : 力の抜き, 等尺性収縮, 正確な出力調整

---

1) 奈良女子大学大学院人間文化研究科博士前期課程人間行動科学専攻スポーツ科学コース  
〒630-8506 奈良市北魚屋町

Nara Women's University, Graduate School of Human Culture (Master's Course),  
Kitauoyanishi-machi, Nara, 630-8506

2) 奈良女子大学文学部人間科学科  
〒630-8506 奈良市北魚屋町

Nara Women's University, Nara Women's University, Faculty of letters, Human Sciences,  
Kitauoyanishi-machi, Nara, 630-8506

## 緒言

全ての身体動作は、筋の収縮と弛緩による力発揮によって行われる。筋の収縮と弛緩を適切に調整することで、滑らかな動きとなり、より巧みな身体運動が可能となる。このような巧みな身体運動に必要なスキルについて、大築<sup>10)</sup>は、入力としての中枢神経系での状況把握能力と、出力としての正確さ、素早さ、持続性の4つに分類している。つまり、正確な出力調整を行うことは重要なスキルである。

例えば、スキーでは、雪質や斜度に合わせて加重、抜重を繰り返し出力調整することで、斜面を滑り降りる。このように、それぞれの種目や目的にかなった動作をするためには、正確な出力調整、すなわち筋の収縮と弛緩、双方の適切な制御が必要不可欠である。

筋の収縮と弛緩による力の調整は、外部刺激に応じて、中枢神経系からのインパルスが促進性あるいは抑制性に制御されることによって調整されており、これらの制御によって発揮張力が決まる。

筋収縮については、これまで収縮力の発揮戦略<sup>11)</sup>など、出力制御の研究がなされてきている。筋弛緩については筋収縮に付随する活動として捉えられていたが、近年では、筋弛緩自体のメカニズムについての研究もなされてきており、収縮と弛緩で同一運動単位の筋活動様式が異なること<sup>7)</sup>、収縮よりも弛緩の方が反応時間は遅くなること<sup>9)</sup>が報告されている。しかしながら、筋弛緩のメカニズムが筋収縮と異なる制御であるという明白な根拠はみられない。

さらに、力の調整において、筋活動や脳の活動などから、出力を減少させることは、出力を増加させることよりも難しいといわれている<sup>2)6)8)</sup>。また、運動指導場面においても、「力を抜いて」「リラックスして」などという言葉かけは、よくみられる<sup>3)4)</sup>が、力を増加させることよりも、力を減少させることを意図的に、かつ正確に行うことは難しいといえる。

では、実際場面において力の抑制は、どのような目的で用いられるだろうか。一つは、目標とする出力レベルに合わせるための「力の抑制」が挙げられる。例えば、テニスやバドミントンにおけるドロップショットなどである。出力レベルの調整に関する研究では、森藤ら<sup>8)</sup>が手指の周期的な等尺性力発揮における力とタイミング制御についての研究を行っており、出力を増加させる課題と減少させる課題を用いた際、同一の目標発揮筋力でも、力の減少時は増加時より正確性の変動が大きいことを示している。また、タイミング制御については、力の増加時の間隔よりも力の減少時の間隔の方が大きいことも示唆している。

もう一つ、過剰な出力を抑制するという意味での「力の抑制」が挙げられる。スポーツ場面において、初心者と熟練者の動作を比較すると、初心者は熟練者よりも力みすぎている姿がよくみられる<sup>4)</sup>。適度に無駄な力を抜く、といった出力調整は、熟練した動作にとっては必要不可欠であると考えられるが、容易に習得できるスキルではない。練習を重ね、感覚的に、経験的に身につけていくものである。

この観点についての研究では、瀬和ら<sup>12)</sup>がサッカーのクッションコントロール時における不必要な筋活動について研究しており、パフォーマンス上位群のほうが下位群よりも筋出力レベルが低いと述べている。すなわち下位群は、力を減少しきれずに過剰に力を出し過ぎる傾向があるのである。そうであるならば、一旦目標とする力レベルを越えるレベルまで力を抜いてから再調整することで、より正確な出力が可能となるのではないだろうか。例えば、サッカーのトラッピング動作<sup>13)</sup>では、ボールをトラップして、その後にドリブルやパスを選択しようとする場面で、トラップをする際に足の力をしっかり抜かず力が入ったままボールに触れると、ボールは大きく弾かれてしまう。それに対して、トラップする際に足の力を適度に一瞬抜いてから出力の調整を行うことで、上手くボールの勢いを止め、コントロールがスムーズに出来るのではないかと考えられる。ただし、力を完全に

抜いてしまうと、再び一からの調整が求められるため、効率の悪い出力となることが予想される。

つまり、力の調整時、特に力の抑制時において、一度リラックスするためのある程度の「力の抜き」を挟んで、力を一旦目標レベルよりも減らしてから本来の目標レベルへ調整することで、正確な出力調整が可能になると考える。

さらに、力を抑制することは、スポーツ動作だけでなく日常の身体運動においても重要な制御である。力を減少させることは力を増加させることよりも難しいと言われているが、それを上手く調整できれば、力の出力にも良い影響を及ぼし、巧みな動作に繋がるだろう。

そこで本研究では、「力の調整をする際に、力の抜きを挟んで行う」という一連の動作を課題とし、「力の抜き」が出力調整に及ぼす影響を検証する。動作が巧みな人は、特に正確性を求められる場面において、力の抜きを効率的に利用しているのではないだろうか。

従って、グレーディング課題を用いて、力の増加時と減少時の両課題で、目標レベルまで直接調整する場合、任意に力を抜いてから調整する場合、完全に力を抜いてから調整する場合の3条件において、筋出力制御の結果として発現する張力の正確性について分析することにより制御方略を明らかにしていく。今回は、筋弛緩のメカニズムや、正確な出力調整のためのスキルをより広い視野から考えるための手掛かりを得るために、比較的大きな力を発揮でき、より制御が困難であろう等尺性脚伸展動作を用いることで、運動経験の有無にかかわらず、一般的な特性を検証する。

また、巧みな動作の指標となる素早さと正確さの間には、*speed-accuracy trade-off*<sup>13)</sup>という逆相関的な関係が成立すると言われている。本研究では、素早さが第一に求められる場面ではなく、サッカーのトラッピングやテニスのドロップショットなど、時間的余裕があり、タイミングよく正確な力の調整が求められる場面を想定する。そして、本研究結果がこのような実際場面に応用できる可能性を探りたい。

## 方法

### 1. 被験者

健康な女子大学生13名(年齢  $20.3 \pm 1.4$  歳、身長  $159.0 \pm 5.1$ cm、質量  $53.8 \pm 7.3$ kg)。実験に先立って、被験者に実験内容について説明し、実験参加への同意を得た。

### 2. 実験設定

Figure1 に被験者の姿勢と実験装置の配置を示す。被験者は筋力測定器(竹井機器工業)の座面上に座り、右脚の膝関節角度が  $120^\circ$  になるよう固定された測定プレート上に右脚を乗せ、力発揮を行った。

また、発光ダイオード(LED)を埋め込んだ刺激呈示板(竹井機器工業)を被験者の前方2m、座位姿勢をとった被験者の目の高さの位置に設置した。LEDの点灯は、Time Programmer(竹井機器工業)を用いて制御した。隣に張力波形表示スクリーンを設置した。

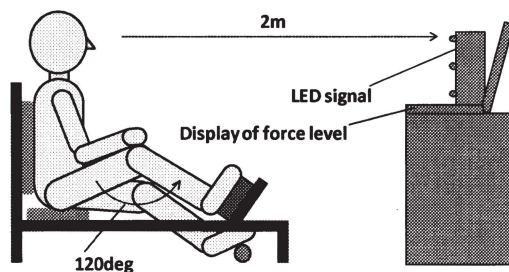


Figure 1. Experimental setup

### 3. 課題および手続き

#### 1) 課題

右脚の等尺性脚伸展動作におけるグレーディングを伴う出力調整を課題とした。各被験者の最大随意収縮力(Maximum Voluntary Contraction: MVC)の40%と60%を要求水準とし、以下の2つの課題を設けた。

- ① 40-60 課題：40%MVC から 60%MVC に出力を増加させた。
- ② 60-40 課題：60%MVC から 40%MVC に出力



を減少させた。

刺激掲示板のLEDによる反応刺激に基づき、最初の要求水準の力を波形表示スクリーンに映し出された波形を見ながら保持した後、次の反応刺激に対してできるだけ正確かつ素早く、次の要求水準の力に調整し、LEDが点灯する間、発揮した力を保持した。

## 2) 条件

それぞれの課題で以下の3つの条件を設けた。

- ① **Direct** 条件：最初の要求水準のカレベルから、直接次の要求水準のカレベルに調整した。
- ② **Prefer** 条件：最初の要求水準のカレベルから次の要求水準のカレベルに調整する際、任意に力を抜いてから調整した。
- ③ **Cancel** 条件：最初の要求水準の力から次の要求水準の力に調整する際、完全に力を抜いてから調整した。

なお、Prefer条件とCancel条件をまとめてRelax条件と定義した。

## 3) 実験手順

被験者は、まず、最大努力による等尺性脚伸展力発揮を連続して3回行い、そのうちの最大値を各被験者のMVCとした。その後、波形表示スクリーンに映し出された40%MVC、60%MVCの張力発揮目安ラインを確認しながら、それぞれの張力レベルを習得できるよう十分に練習を行った。

本試行は、2課題と3条件を組み合わせた計6種類を各5試行ずつランダムに配列したものを1セットとし、計2セット(60試行)行なった。被験者には、素早さよりも正確性をより重視して課題を行うように教示した。課題の順序は被験者ごとに入れ替え、カウンターバランスをとった。各試行間には、波形表示スクリーンによって発揮張力のフィードバックを行なった。セット間、課題間には十分な休憩を挟んだ。全ての課題終了後、再度MVCを3回計測した。

## 4. 測定項目および記録

被験者の脚伸展動作による発揮張力は、筋力測定器のプレートに取り付けられたひずみ計から測定した。発揮張力およびLED呈示シグナルは

MP150 (BIOPAC Systems, Inc.) を介して1000Hzで記録した。

## 5. 分析項目

Figure2に、40-60課題における張力変化の模式図を示す。発揮張力の波形はlow pass filterにより100Hz以上の成分を取り除き、mean value smoothing (smoothing factor 30samples) 処理を行なった。反応刺激呈示前300msの平均値を基準値とし、反応刺激後10ms区間の張力変化速度が、基準値の50%N/s以上になった値が10ms連続してみられた最初の点を調整開始点とした。また、調整開始点以降で変化速度が反応刺激前の張力平均値の40%N/s以下になった値が10ms連続してみられた最初の点を調整終了点とした。Relax条件においては、調整開始点以降で調整終了点までの間の最低値の点を脱力ピーク点とした。これらの定義に基づき、以下の2点について分析した。

### 1) 正確性

張力については、各試行で調整終了点以降1000ms間の平均値を分析対象とした。発揮された張力は各被験者のMVCで相対値化し、カレベ

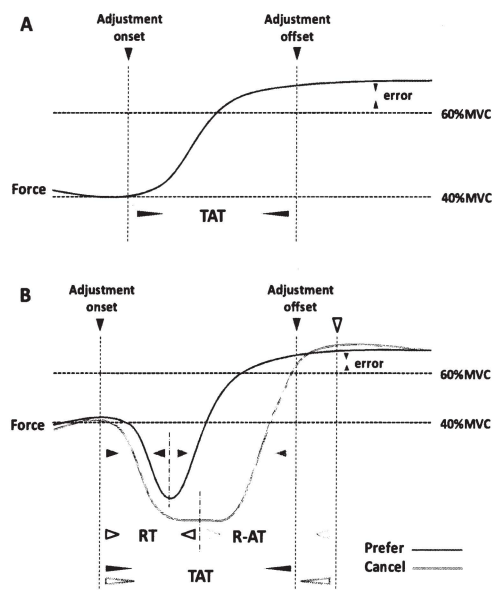


Figure2. The definition and measurement of force  
(A) Direct condition (B) Relax condition

ル (%MVC) とした。また、力レベルと要求水準との絶対誤差 (absolute error : AE), 恒常誤差 (constant error : CE), 変動誤差 (variable error : VE) をもって評価した。

## 2) 反応時間

調整開始点から調整終了点までを全体調整時間 (total adjustment time : TAT) とした。また, Relax 条件においては, 調整開始点から脱力ピーク点までを脱力時間 (relax time : RT), 脱力ピーク点から調整終了点までを再調整時間 (re-adjustment time : R-AT) とした。

## 6. 統計処理

差の検定には, t 検定, 一元配置および二元配置分散分析を用い, 下位検定として Bonferroni の多重比較を行なった。

## 結果

### 1. 最大随意収縮力

最大随意収縮力 (MVC) については, 実験前は  $1868.7 \pm 475.4N$ , 実験後は  $2147.6 \pm 513.3N$  であった。t 検定の結果, 両者に有意な差がみられなかったことから, 今回の実験では疲労の影響は認められなかったといえる。

### 2. Relax 条件における力の抜き

Figure3 に Prefer および Cancel 条件における脱力ピーク点の力レベル (%MVC) の平均値および標準偏差を示した。

Prefer 条件においては, 両課題ともに約 13% まで一度力を抜いていた (Prefer 条件:  $13.4 \pm 6.0\%$ , Cancel 条件:  $13.3 \pm 9.5\%$ )。

Cancel 条件においては, 試行時にプレート上へ足を軽く乗せ, プレートへ力を加えていない状態での値 (ほぼ 0%) まで力を抜いていた (Prefer 条件:  $1.0 \pm 4.2\%$ , Cancel 条件:  $2.0 \pm 4.8\%$ )。

### 3. 正確性

#### 1) 最終出力レベル

Figure4 に, 最終出力レベル (40-60 課題では 60%MVC, 60-40 課題では 40%MVC) の平均値および標準偏差を示した。各課題について, 条件

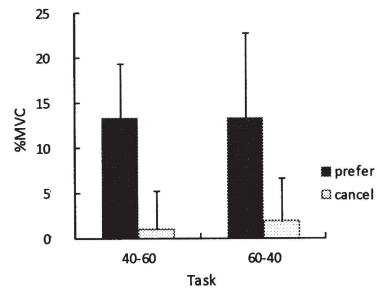


Figure3. Mean and standard deviations of the Relax level of force for all subjects.

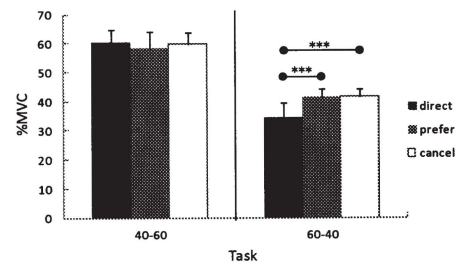


Figure4. Mean and standard deviations of the last force for all tasks. \*: a significant level of difference between conditions, \*\*\*:  $p < .001$

を要因とした一元配置分散分析を行った。

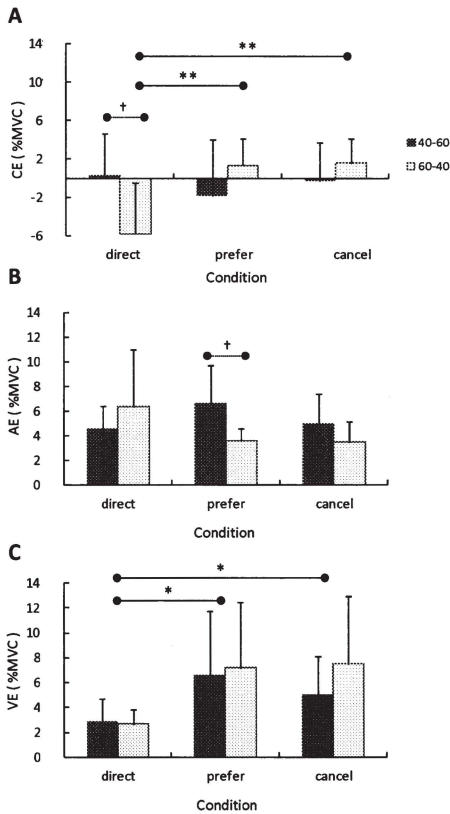
40-60 課題については, 主効果が有意ではなかった。一方, 60-40 課題については, 主効果が有意であった ( $F_{(2,20)}=15.836, p < .001$ )。多重比較の結果, Direct 条件が他の 2 条件より有意に小さかった (いずれも  $p < .001$ )。

以上の結果をまとめると, 60-40 課題, すなわち力を減少させる場合においては, Relax 条件が Direct 条件よりも 40%MVC への出力調整が正確であった。

#### 2) 最終出力の誤差

Figure5 に要求水準レベルと実際に発揮した最終出力レベルとの恒常誤差 (CE), 絶対誤差 (AE), 変動誤差 (VE) を示す。それぞれ, 課題 (40-60, 60-40) と条件 (Direct, Prefer, Cancel) を要因とした二元配置分散分析を行なった。

CE については, 条件 ( $F_{(1,10)}=8.946, p < .05$ ) の主効果および課題と条件の交互作用が有意であつ



**Figure 5.** Mean and standard deviations of constant error of force (A), those of absolute error of force (B), and those of variable error of force (C) for all tasks. \*: a significant level of difference between conditions, \*\*:  $p < .01$ , \*:  $p < .05$ . †: a significant level of difference between tasks, †:  $p < .05$ .

た。そこで、各要因の単純主効果を検討した結果、Direct 条件において、課題の主効果が有意であり ( $F_{(1,10)}=6.555$ ,  $p < .05$ )、60-40 課題において、条件の主効果が有意であった ( $F_{(2,9)}=8.612$ ,  $p < .001$ )。多重比較の結果、Direct 条件では、40-60 課題が 60-40 課題より有意に大きく ( $p < .05$ )、60-40 課題では、Direct 条件が他の 2 条件より有意に小さかった (いずれも  $p < .01$ )。

AE については、両要因の主効果は有意ではなく、課題と条件の交互作用のみ有意であった。各要因の単純主効果を検討した結果、Prefer 条件において、課題の主効果が有意であった ( $F_{(1,10)}=7.956$ ,

$p < .05$ )。多重比較の結果、40-60 課題が 60-40 課題より有意に大きかった ( $p < .05$ )。

VE については、条件の主効果のみ有意であり ( $F_{(2,20)}=9.808$ ,  $p < .001$ )、課題の主効果および交互作用は有意ではなかった。多重比較の結果、Direct 条件が Prefer, Cancel 条件より有意に小さかった (いずれも  $p < .05$ )。

以上の結果をまとめると、40-60 課題では、CE および AE においては条件間の差はみられず、VE においてのみ、Direct 条件が Relax 条件より小さかった。また 60-40 課題では、CE においては、Direct 条件が Relax 条件より大きく、VE においては、Direct 条件が Relax 条件より小さかった。

#### 4. 動作時間

Figure 6A に両条件における全体調整時間 (TAT) の平均値および標準偏差、Figure 6B に Relax 条件における脱力時間 (RT) と再調整時間 (R-AT) の平均値および標準偏差を示した。それぞれ課題と条件を要因とした二元配置分散分析を行なった。

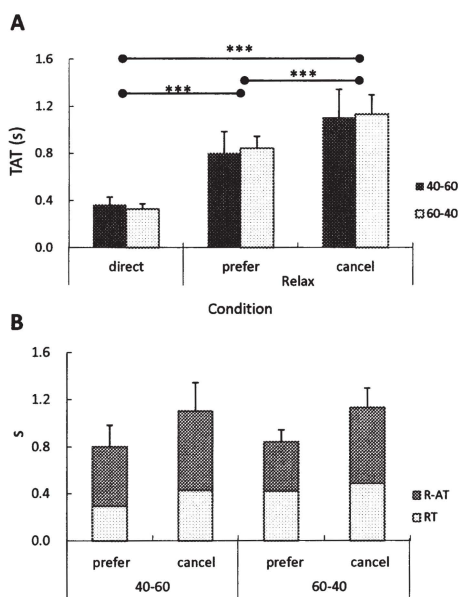
TAT については、条件の主効果が有意であり ( $F_{(2,20)}=169.914$ ,  $p < .001$ )、課題の主効果および交互作用は有意ではなかった。条件については多重比較を行った結果、全ての組み合わせにおいて差が有意であり、Cancel 条件が最も長く、次いで Prefer 条件、Direct 条件の順に長かった。

RT については、課題 ( $F_{(1,10)}=48.041$ ,  $p < .001$ ) と条件 ( $F_{(1,10)}=57.368$ ,  $p < .001$ ) の主効果が有意であった。多重比較の結果、60-40 課題が 40-60 課題より有意に大きく、Cancel 条件が Prefer 条件より有意に大きかった (いずれも  $p < .01$ )。

R-AT については、条件の主効果が有意であり ( $F_{(1,10)}=41.042$ ,  $p < .001$ )、課題の主効果および交互作用は有意ではなかった。多重比較の結果、Cancel 条件が Prefer 条件より有意に大きかった ( $p < .001$ )。

以上の結果をまとめると、全体調整時間は、最初のカレベルから脱力ピーク点までの抜く量、脱力ピーク点からの出力量である調整時の変化量に影響を受け、Direct 条件、Prefer 条件、Cancel 条件の順に長かった。また、Relax 条件において





**Figure 6.** Mean and standard deviations of Total adjustment time (A), and ratio of Relax time and Re-adjustment time (B) for all tasks. \*: a significant level of difference between conditions, \*\*\*:  $p < .001$ .

は、脱力時間は最初の力レベルから抜く量に影響を受けたが、再調整時間は脱力ピーク点からの出力量にかかわらず、Cancel 条件が Prefer 条件より長かった。

## 考察

### 1. 正確性について

本研究では、要求水準レベルに対する被験者の最終出力レベルの誤差を正確性の指標とした。

#### 1) 最終出力レベル

最終出力レベルについては、40-60 課題、すなわち力を増加させる場合において、いずれの条件でも差はみられず、全ての条件で正確に 60%MVC の出力が行われていたといえる。それに対して、60-40 課題、すなわち力を減少させる場合においては、Direct 条件よりも Relax 条件のほうがより正確に 40%MVC の出力が行われていた。ただし、Relax 条件における Prefer, Cancel 条件間に、差

はみられなかったことから、最初の力レベルからの抜く量にかかわらず、「力の抜き」を挟むことで正確な力発揮が可能であったといえる。

#### 2) 最終出力の誤差からみた正確性

40-60 課題、すなわち力を増加させる場合において、変動誤差については、Direct 条件が Relax 条件よりも小さかったことから、直接調整した場合に、力の抜きを挟んだ場合よりも小さい変動で出力調整が行われていたが、恒常誤差と変動誤差については、全ての条件で誤差は小さく、どの条件でも目標レベルに対して正確に出力調整が行われていたと考えられる。

一方、60-40 課題、すなわち力を減少させる場合において、恒常誤差については、Direct 条件が Relax 条件よりも誤差が大きく、目標レベルよりも小さい出力となり、力を減少しすぎていた。つまり、60%MVC から 40%MVC へ 20%減少させる調整は難しく、Direct 条件では被験者は自らの出力を過少評価していた傾向がみられる。一方で Relax 条件では、力を一度抜く過程を挟んだことで過少評価は起こらなかったと考えられる。変動誤差については、Direct 条件が Relax 条件よりも小さかったことから、Direct 条件に比べ、Relax 条件は試行ごとの変動が大きかったと考えられる。

以上のことから、力の増加時は、全条件で正確な出力を行っていたために「力の抜き」による効果はみられなかったが、力の減少時は、「力の抜き」によって、目標レベルに対してより正確な出力調整が可能となったことが示唆された。

さらに、出力の増加時と減少時の比較では、Direct 条件において、40-60 課題よりも 60-40 課題で誤差が大きかったことから、20%の変化量を増加または減少させる調整として、力を増やす調整よりも、減らす調整のほうが難しく、調整方略が異なることが推測された。

### 2. 調整時間について

#### 1) Direct 条件における出力増加および減少による影響

まず、本研究における Direct 条件において、全体調整時間に課題間の差はみられなかった。永見



9)の研究によると、肘関節における等尺性力発揮の課題を用いた反応時間および反応時間を含む調整時間の比較では、出力を増加させる場合よりも減少させる場合で遅延が起こっていたことから、出力の増加時と減少時では異なる運動プログラムが用いられている可能性が示唆されていた。本研究は、素早さを検討した実験ではないため、反応時間には着目せず、張力の変化開始からの調整時間について分析したが、調整時間は増加時と減少時で差はみられなかった。この結果から、本研究は永見<sup>9)</sup>の研究結果を支持し、同じ変化量の出力調整においては、運動プログラムは異なっても調整時間には影響しないことが示唆された。永見<sup>9)</sup>の結果と本研究の結果より、出力調整の際、力の増加時よりも力の減少時で調整が難しいことの一つの要因として、調整開始の前段階で運動プログラムを構成する時間が影響する可能性が示唆された。

## 2) 全体調整時間における条件間の比較

次に両課題の全体調整時間における条件間の比較から、Direct 条件が最も短く、Prefer, Cancel 条件の順に長くなった。つまり、出力調整の際に「力の抜き」を挟むことで、全体調整時間は必然的に長くなるが、同じ「力の抜き」を挟む条件においては、任意のレベルまで力を抜いた場合よりも、完全に力を抜いた場合に、より調整時間を要したといえる。このことより、直接出力調整した場合よりも、一旦力を抜くことで、また、その量が多いほど全体調整時間は長くなると考えられる。

さらに、Relax 条件での全体調整時間における脱力時間と再調整時間それぞれについて検討していく。脱力時間については、課題間、条件間ともに差がみられ、課題の差は、最初のカレベルの違いによるものであり、条件の差は、最初のカレベルから抜く量の違いによるものであることから、それらの違い、すなわち最初のカレベルから脱力ピーク点までの抜く量の違いが、脱力ピーク点に達する時間に影響したのである。

再調整時間は、脱力ピーク点からの出力量の違いにかかわらず、完全に0%まで力を抜いた場合に長くなったことから、僅かな出力が保持された状

態から出力する場合よりも完全に力を抜いてから出力する場合の再調整の方が難しく、両条件における方略は異なっていたことが推察される。

## 3. 「力の抜き」のメカニズム

本研究で用いた 40-60 課題、すなわち力を増加させる場合においては、目標レベルまで直接調整する場合でも正確な出力調整を行っていたことから、Direct 条件の調整は容易であったため、「力の抜き」を挟むことによる効果はみられなかったといえる。

一方で、60-40 課題、すなわち力を減少させる場合においては、「力の抜き」を挟むことで、正確な出力調整が可能であった。このメカニズムについて検討すると、まず、筋力発生の主要なメカニズムである、運動単位の動員数と発火頻度の変化が挙げられる。Henneman のサイズの原理<sup>10)</sup>によると、筋を収縮させる場合、1 つの筋内の運動単位は小さい運動単位から大きい運動単位の順序で動員されるが、筋を弛緩させる場合にはこの順序が逆になる。これにより、一説として、筋力を増加させる際は小さな運動単位によって調整するが、筋力を減少させる際は大きな運動単位によって調整するために、力を抜くことのほうが難しいと考えられている。すなわち大きな運動単位を調整することは、小さい運動単位よりも微調整が効かず、正確性が低くなる可能性が示唆される。本研究での Prefer 条件における出力調整過程を、この原理に当てはめると、一度任意に目標カレベルよりも力を抜いてから調整することで、より小さな運動単位から再調整することとなり、調整しやすくなっていたと考えられる。つまり、Relax 条件では、サイズの原理を上手く利用できたのではないだろうか。

さらに、任意に力を抜くよう指示したところ、各被験者とも約 10%まで力を抜いていたことから、小さな運動単位での調整によって正確な出力ができるように、サイズの原理を効率的に利用するための基準となるカレベルが 10%程度であると推察される。しかしながら、完全に力を抜いてしまうと次の出力を調整することに時間が多くかかって

しまうことから、ある程度力を残した状態を保つことで、要求された力レベルまで微調整することができ、より効率的に調整することが可能となったのであろう。

以上のことから、正確に出力を減少させるための調整を行う場合、完全に力を抜かずに、任意に力を抜くことにより、正確、かつ効率よく出力することができるといえる。

本研究で得られた結果は、より素早く反応することよりも、正確性をより重視した課題であったことから、素早さよりも正確さが求められる場面に還元できると考えられる。サッカーのトラッピングや、テニスのドロップショットなど、ボールの運動量を減じるときに、ある程度時間的に余裕のある場面で、タイミングを見計らい、最終出力のために前もって力を抜き、出力調整を行うことが、正確な力発揮につながるのではないだろうか。今後、単関節運動時など、より実動作に近づけた課題を用いて検討することで、このような実際場面で応用することが可能となるだろう。今回は、筋発揮の結果として現れた張力の特徴から考察したメカニズムであるが、さらに、筋活動や脳の活動といった中枢レベルの活動との対応から、出力調整、力の抑制時のメカニズムについて追究していくことも必要であると考えられる。

## まとめ

本研究の目的は、力の抜きがグレーディング時の出力調整に及ぼす影響について、筋力発揮の結果としての張力の変化様式より検討することであった。課題は、力を増加させる 40-60 課題と、力を減少させる 60-40 課題を用い、直接調整する Direct 条件、任意に力を抜いてから調整する Prefer 条件、完全に力を抜いてから調整する Cancel 条件の 3 つの条件を設けて行った。その結果、40-60 課題においては、いずれの条件でも正確に調整できていたが、60-40 課題においては力の抜きを挟んだ Relax 条件の方が Direct 条件よりも正確な調整が行われていた。全体調整時間は、

最初の力レベルから脱力ピーク点までの抜く量、脱力ピーク点からの出力量である調整時の変化量に影響され、変化量が大きいほど長くなった。

以上のことから、出力を減少させるときには力の抜きを挟むことで、直接調整した場合より正確な出力調整が可能となること、さらに同じ力の抜きを挟む場合においては、完全に力を抜いてから調整するより、任意に力を抜いてから調整する方が効率的であることが明らかになった。

## 文献

- 1) 浅井武 (2002) サッカーファンタジスタの科学. 光文社: 東京, pp.38-42.
- 2) 乾信之・桂由美 (2001) “力を抜く” カパタンにおける相対的力の保持と適応制御. 鳴門教育大学研究紀要 16: 15-21.
- 3) 木塚朝博 (2008) 力の抜きどころと身体のコントロール. 体育の科学 58: 43-48.
- 4) 木塚朝博 (2009) トップアスリートでも難しい力の抜き方. Training Journal 362: 24-30.
- 5) Latash, M. L. (2002) 運動神経生理学講義. 大修館書店: 東京, pp.59-60.
- 6) Matthew, B. S., Daniel, M. C., and David, E. V. (2009) Cortical and subcortical mechanisms for precisely controlled force generation and force relaxation. Cerebral Cortex 19: 2640-2650.
- 7) 森本茂・大森俊夫・長谷川豪志・倉田博・増田充 (1977) 筋弛緩における単一運動単位の活動様式の特性. 体力科学 26: 59-63.
- 8) 森藤隆文・乾信之・升本絢也 (2009) 手指の周期的な等尺性力発揮における力とタイミングの制御. 体育学研究 54: 67-76.
- 9) 永見邦篤 (1974) 収縮動作と弛緩動作の反応時について. 体力科学 23: 1-11.
- 10) 大築立志 (1992) 「たくみ」の科学. 朝倉書店: 東京, pp.193-196.
- 11) 小野誠司・岡田彦彦・木塚朝博・谷井克則 (1997) すばやい等尺性筋収縮における力レベルと発揮戦略. 体力科学 46: 289-296.

- 12) 瀬和真一郎・木塚朝博 (2006) 正確なボールコントロール技術を妨げる過剰な筋活動量の定量化. 身体運動文化研究 12: 13-20.
- 13) Shmidt, R. A. (1982) Motor control and learning. Human Kinetics and Publishers Champaign III : 159-165.