

追従運動による連続的筋力調節と瞬時的筋力 調節の特徴について

藤島仁兵・丸山敦夫・松永郁男・三井島智子

(1985年10月15日 受理)

Characteristics of Continuous Strength Control and Momentary Strength Control in Muscles with Pursuit Movement

Jinpei FUJISHIMA, Atsuo MARUYAMA, IKUO MATSUNAGA and TOMOKO MIJIMA

I. 緒 言

ある運動課題を合目的・合理的に遂行するためには、その課題に対してどの程度の力を発揮し、筋の緊張と弛緩をどのように調節するか (grading), また、主動筋と拮抗筋をどのように作用させるか (spacing), さらに、このような筋を課題に対してどのような順序でいつ緊張させるか (timing), このように三者にみられる筋力調節要因を目的に合わせて系統的に整合させていくことが重要である。そして、これらの整合化は neural system に深く規定されることは言うまでもない。

運動の調節や運動に対する調節力は、主に、前述した三つの要因が筋作用時において、運動の目的に対しうまく整合されていく過程や状態、或いは整合できる能力を代表する言葉として集約できる。つまり、運動に対して、特に筋力が co-ordinate され integrate された状態やその能力として調節や調節力を把握することができる。そして、いろんな調節を多様に駆使する運動スキルの形成や習熟に対して、physical resources としての筋力調節力のレベルは決定的な要因として位置づけられる。従って、筋力調節や筋力調節力の問題に関して多くの情報を得ることは、運動の発達や習熟、さらに、運動の学習という立場からみて極めて重要な問題と言える。

係る筋力に対する調節のメカニズムや調節力の検索を意図して、現在までにいくつかの研究が進められてきたが、その歴史は新しく、十分な成果を見出すことはできない。筆者等は、調節力に関する研究の一部を「追従運動による筋力調節力の特徴」と題し、本学部研究紀要35巻に報告した。

その中で用いた追従運動 (Tracking) は、目標光点 (正弦波・目標波) に対して追従光点 (追従波) を一致させる、という課題の中で、grading や spacing そして timing 等を integrate した形で調節的反応を繰り返すために、筋力調節力を総合的に検索する上において最も適切な方法と言える。

現在までに、追従運動 (tracking) の方法を駆使した筋力調節に関連する研究として、次のような研究領域や対象が散見できる。即ち、追従のための目標となる波形の型やその周波数の差異と追

従成績との関係について⁷⁾⁸⁾¹⁷⁾¹⁸⁾²²⁾²⁹⁾究明したもの、また、外部的な負荷の大きさが追従成績に与える影響について⁶⁾⁸⁾⁹⁾¹⁹⁾検討したもの、さらに、目標波を追従していく過程において、筋放電の状態を E・M・G によって¹⁾⁶⁾¹¹⁾¹⁸⁾解析したものや筋力調節力の測定器の²⁰⁾開発に関するもの等である。これらは何れも、筋力調節の特性やメカニズムを理解し、さらに、筋力調節力を育み、運動スキルを学習する上において貴重な情報を提供してくれる。

ところで、運動やスキルを時間的構造要因から分析すると次のように大別できる。①. 運動やスキルを或る時間帯の中で連続的に繰り返しながら、しかも、正確に遂行することを目的としたグループ ②. 運動やスキルを瞬時的に的確に遂行することを目的としたグループ、そして、③. ①、②を共有するグループである。運動の目的から見て、①は筋力の連続的な調節を要求するものであり、②は筋力の瞬時的な調節、そして、③は運動課題に適合する連続的、瞬時的な調節の交互作用を要求するものであり、いずれも Neural System と深い関わりを持つ。

このように異った時間的構造特性を有す運動やスキルを筋力調節という観点から分析すると、運動やスキルは一樣に Neural System に規定されるものの要求される筋力調節の内容や方法がそれぞれ異なるため、筋力の連続的な調節と瞬時的な調節の成績にどのような類似性や差違が認められるか興味あるところである。

本研究の目的は、先の追従運動に関する結果から最も妥当な周波数と考えられる 0.25HZ の正弦波（目標光点）に対して、前腕の操作によってコントロールする追従波（追従光点）でトレースさせることによって、前腕における連続的な筋力調節と瞬時的な筋力調節の特性及び両者の関連を究明することにある。また、筋力調節に対する負荷の影響を明らかにするために、各被験者の最大屈腕力の 1/10、1/3 負荷時における筋力調節力についても分析検討した。

Ⅱ. 研究の方法

1) 連続的筋力調節（連続的追従運動）に関する実験方法

Oscillo Scope 上で追従する目標波（正弦波）は、下限から上限までの距離（波高）が 3cm になるように調整し、Function Generator を介しての周波数は 0.25HZ とした。被験者は電位発生装置に連結された把手を利手で握り、上腕部を測定台に置いて、前腕との角度 110 度を起点にししながら、前後 60 度の範囲で動的収縮運動を行い、その運動によって Oscillo Scope に発生する追従光点（追従波）で目標光点（目標波）を追従させた。尚、被験者たちに追従運動を十分に練習させた後、20 秒間測定し、後半 8 秒間の追従結果をサンプリングした。

2) 瞬時的筋力調節（瞬時的追従運動及び全身・利手反応時間）に関する実験方法

① 瞬時的追従運動——瞬時的な追従運動の測定は、1)の連続的追従運動で用いた実験方法と同様な方法で行い、目標波の光点が曲線を描きながら上限から下限へ移行する瞬間、瞬間的にそれを追従光点で追跡し、両者を合致させるという事を条件として付加した。この測定においても各被験者が十分に練習した後、測定に入り、試技開始から 2 秒間を原則としてサンプリングした。また、

目標光点と追従光点が一致した時間についても計測した。1), 2)の実験システムを図1に示す。

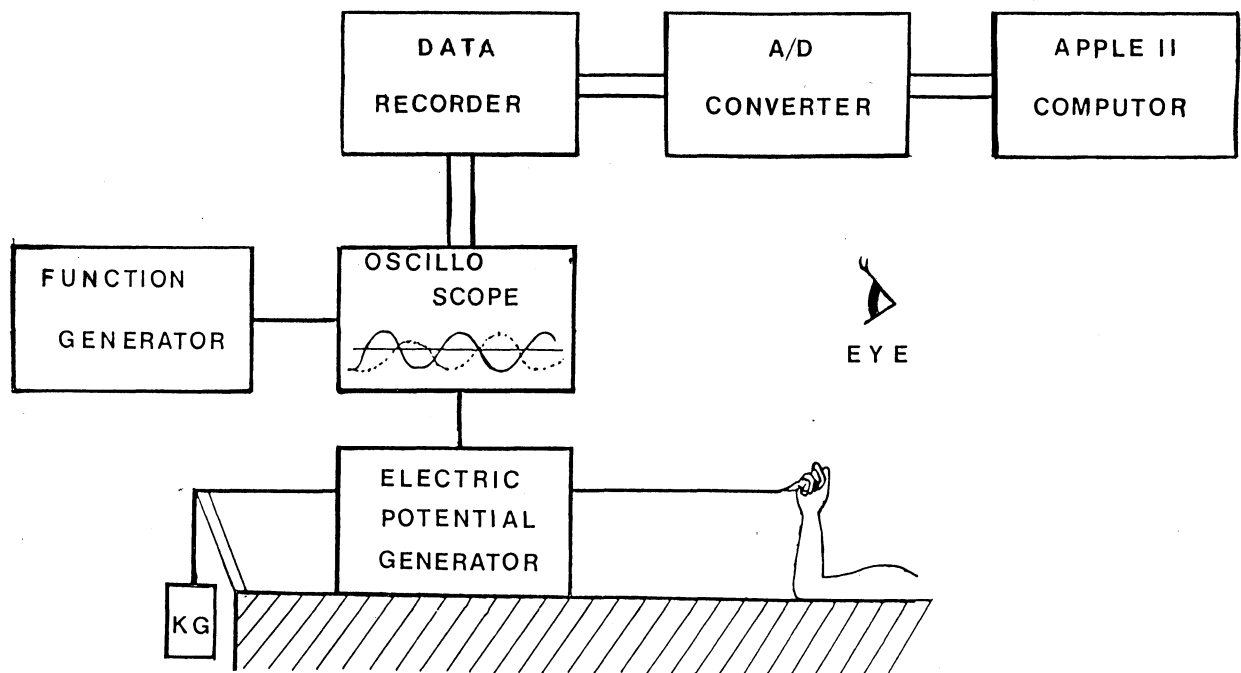


図1 実験システム

② 全身反応時間及び利手反応時間——瞬時的筋力調節を別の観点から検討するために、T・K・K 式 Whole Reaction Time Type II を用いて、光刺激に対する全身と利手の単純及び選択の反応時間を測定した。全身反応時間の測定は、被験者が測定台上で立位の姿勢をとり、刺激（ランプ）の呈示と同時に“敏速に跳び上がる”という課題を与え、刺激の呈示から被験者が測定台を離れる迄に要した時間（動作開始時と筋収縮時）を測定した。

単純反応の測定は、赤色ランプ一個の呈示に対する反応であり、各被験者共に5回の測定を行った。また、選択反応の測定は、三色（赤・青・黄）のランプをアトランダムに5回づつ、合計15回呈示し、その中で赤色ランプの呈示に対してのみ反応するよう指示し測定した。

次に、利手反応時間の測定は、全身反応時間の測定と同様な器具と方法により実施したが、この場合、被験者が測定台で立位の姿勢をとる代わりに、スイッチの部分自体側に置き、それを利手で押え、刺激の呈示と同時に“押えた手を離す”という課題を与え、刺激の呈示から手を離す迄に要した時間を測定した。

3) 連続的追従運動及び瞬時的追従運動に関するデータの処理法と成績の評価法

1), 2)で述べたような実験方法のもとで行われた目標波と追従波の両者をデータレコーダーに収録し、追従成績を評価するために、予めプログラムされた Apple II コンピューターによって、両波形間の誤差の積分値を算出した。また、追従過程における筋力発揮時と減少時における追従特性及び目標波に対する追従波の位相性を分析検討するために、両波形の差異や変化の様相を XY-Plotter によって作図した。

次に、連続的追従運動に対する成績の評価は、サンプリングした8秒間における目標波と追従波間の誤差の積分値及び誤差率から行った。また、瞬時的追従運動に対する成績の評価は、試技開始から目標波（目標光点）に対して、追従波（追従光点）が一致する迄に要した時間とその間における誤差の積分値及び試技開始から2秒間における目標波と追従波間の誤差の積分値と誤差率から行った。図2は、XY-Plotterによって描かれた目標波と追従波の関係から、追従成績の評価内容及び方法について示したものである。ここでは、 x 軸に時間、 y 軸に力を示し、一定の周期で波状に上下動する目標波と追従波の関係が理解できる。そして、両波形間に引かれた斜線部は、追従過程における追従誤差で、基線の上部曲線は誤差の絶対値を表わしている。前述した筋力の発揮、減少に伴う追従波の特性や追従過程における位相性（左右ズレ）は、この図から分析検討することができる。

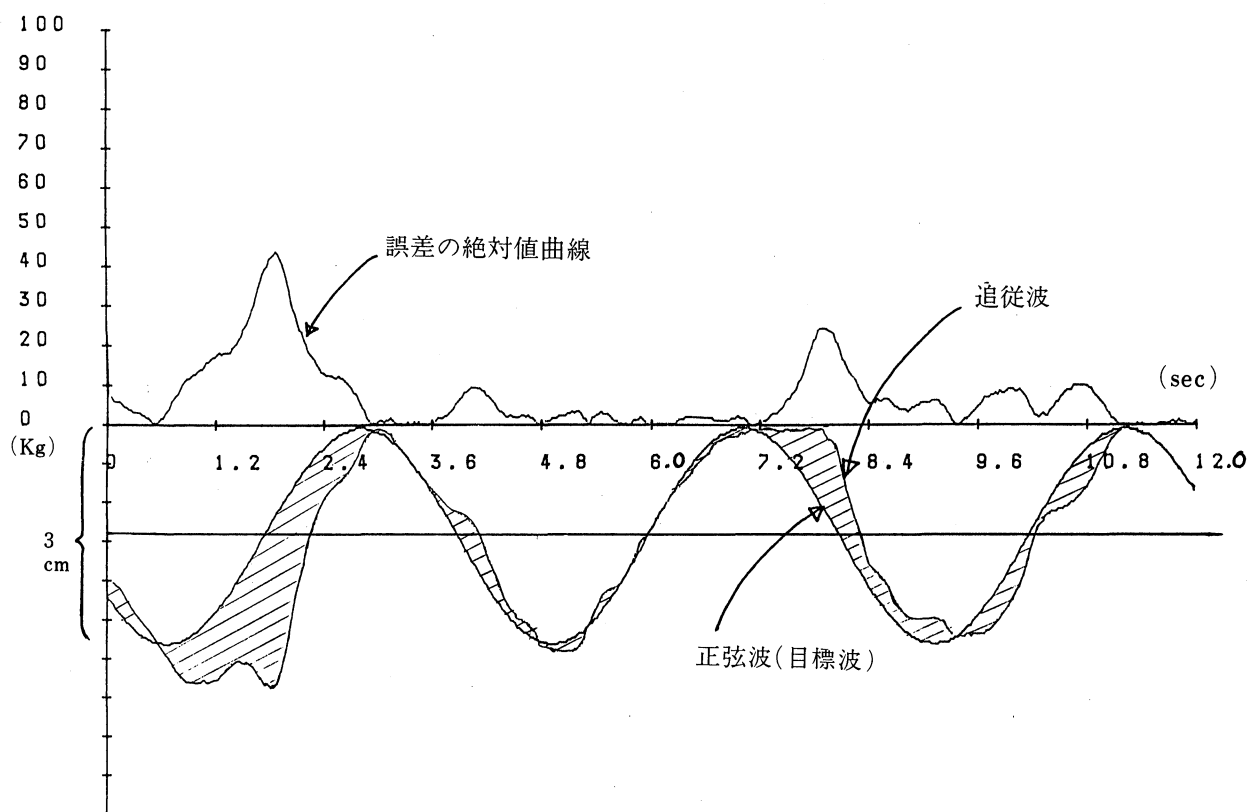


図2 XY-Plotter による目標波と追従波の関係及び分析法

4) 被験者及び実験期日

被験者は、本学部に所属する一般男子学生9名で、現在までに特定の運動クラブ所属の経験がない者を無作為に抽出した。実験期間は昭和59年6月1日から1ヶ月間

Ⅲ. 結果と考察

1) 連続的追従運動（連続的筋力調節）の特性

図3, 4は最大筋力の1/10及び1/3負荷時における被験者Kの連続的な追従運動の目標波（目標光

点)と追従波(追従光点)の軌跡を XY-Plotter によって作図した一例である。そして、表1は負荷別に全被験者の目標波に対する追従波の誤差の積分値と誤差率を表わしたものである。

図3, 4からも明らかなように、被験者Kは、目標光点に対して追従光点を微妙に調節しながらトレースしていく過程が伺えるが、二つの光点が完全に一致する回数や一致時間は極めて少く且つ短い。このことは、この種の筋力調節が複雑で難事であることを示し、その主要な原因として、目標となる光点と追従する光点の直径が2 mmという極めて小さなものであり、また、追従を操作する部位が追従運動のように極めて繊細な調節運動に対して、幾分不慣れな上腕部(調節運動に関与する筋群が複数である)を中心とすることにあると考えられる。

ところで、正弦波である目標波は、一定の周期で規則正しく波状運動を繰り返すが、より適確な追従運動のためには、この目標波に対する Feed Forward が必要である。即ち、どれ位の時間間隔と空間をもって目標波が移行し、時間の経過と共に、次にどの位置まで変化するか、目標波に対する運動軌跡の適切なる先取りが適確な追従運動のために重要である。さらに、適確な追従運動のためには、誤差発生時における追従光点の修正(Feed Back)も必要であることは言うまでもない。

このような Feed Forward 的調節や Feed back 的調節について図3, 4に見られる目標波と追従波との関連で観察すると、追従波は目標波に対して位相ズレを惹起していることが判る。このような現象は全被験者に共通する結果であり、位相ズレの特徴も、特に、位相遅れが顕著であった。

位相ズレの特徴が目標波より先行して生起する場合は、Feed Forward 的な調節誤差が大きく影響した結果であり、一方、位相遅れの場合は、Feed Back 的な調節誤差が大きく関係した結果であると考えられるが、前述したように、全体的に位相遅れが顕著であったことから、追従運動では目標波に対して Feed Back 的調節を繰り返しながら課題を遂行するものと推察される。

北本⁸⁾⁹⁾、長岡¹⁷⁾、永田¹⁸⁾等や著者の先行研究においても位相遅れによるズレ(誤差)を指摘し、それは目標波の周波数が早くなるに従って顕著であったと報告している。従って、運動に対するより早い認知と正確な運動の調節が要求されるスポーツ運動において、Feed Back 的調節能力の形成は勿論のこと、さらに、いかに Feed Forward 的調節能力を高めるかということは、単に、追従成績の問題だけに限定されず、スポーツ運動学習の方法上の問題に対して重要な示唆を与えるものである。

次に、連続的追従運動の成績を誤差の積分値と誤差率から眺めると、表1に示したように、全被験者の1/10負荷時における誤差の積分値の Max と Min は、それぞれ 152.2kg・sec と 33.1kg・sec であり、その平均値と標準偏差は 90.1 ± 43.2 kg・sec であった。また、誤差率の Max は 49%、Min は 20% であり、平均誤差率は 35% であった。一方、1/3 負荷時における誤差の積分値の Max と Min は、それぞれ 151.7kg・sec と 34.6kg・sec であり、その平均値と標準偏差は 85.4 ± 42.6 kg・sec であった。また、誤差率の Max は 47%、Min は 13% であり、平均誤差率は 31% であった。

このように、負荷の相違に基づいて追従成績を比較した場合、誤差の積分値と誤差率は1/3負荷、即ち、負荷の大きい方が微かではあるが小さく成績は良かった。しかし、予備実験の段階におい

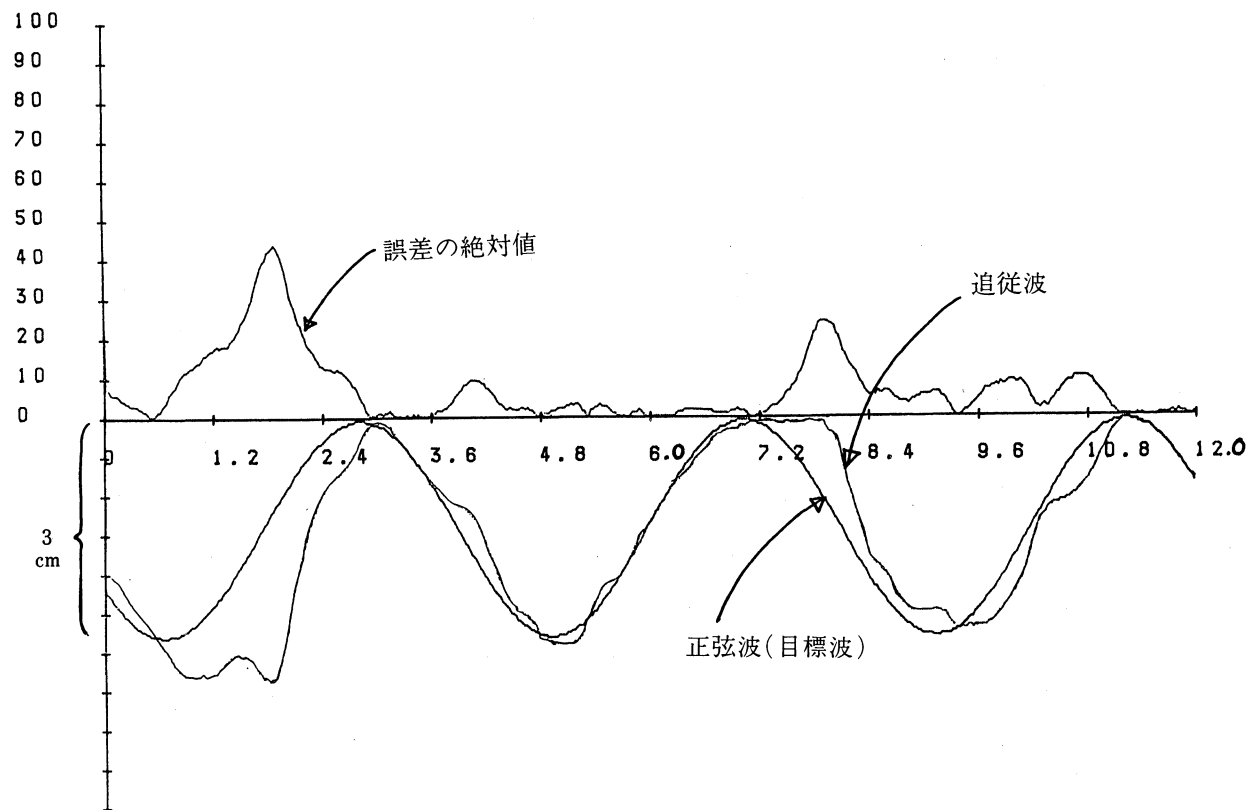


図3 1/10負荷に対する被験者Kの追従結果

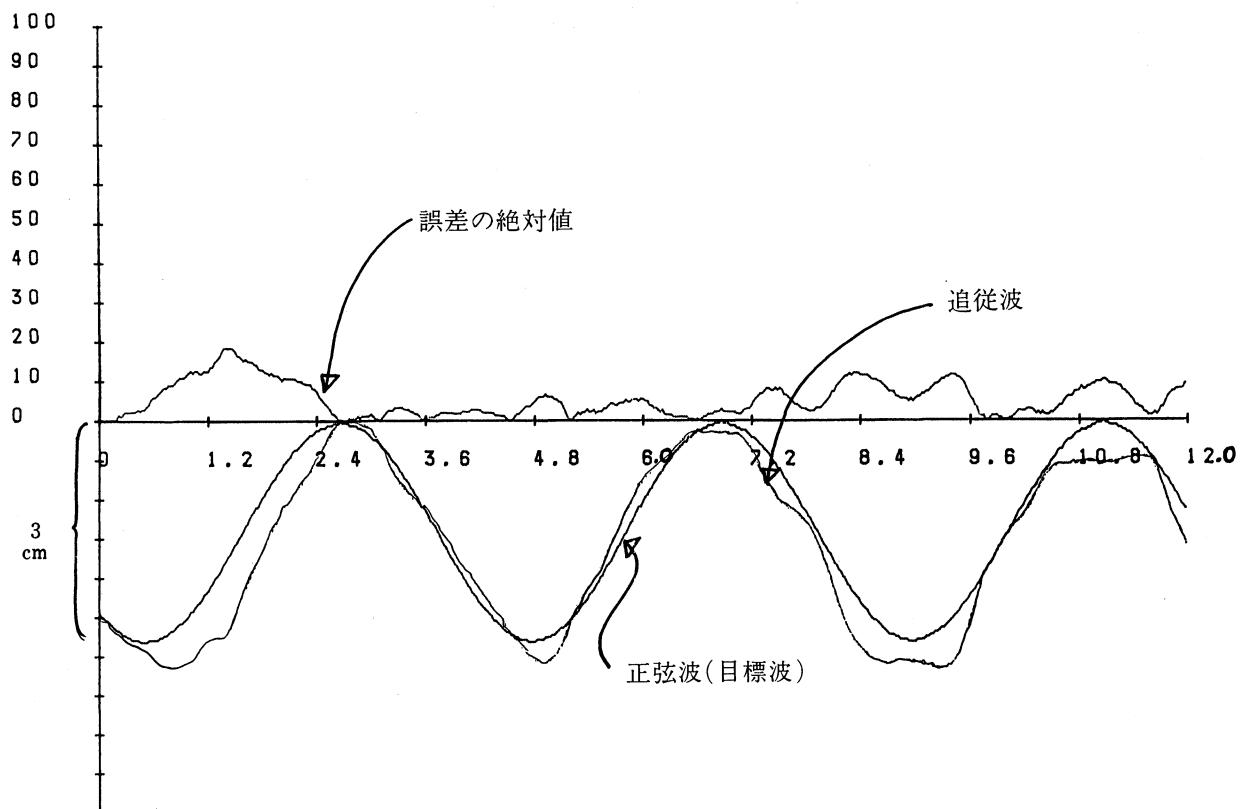


図4 1/3負荷に対する被験者Kの追従結果

て、1/2 負荷に対しても同じ条件で追従運動を行わせ、その結果を検討したが、このレベルの負荷では20秒間筋力を発揮し調節的運動を維持し続けることは困難であり、追従成績に一貫した傾向を見出す事はできなかった。従って、この種の筋力調節においては、最大筋力の 1/3 程度の比較的軽負荷のレベルに臨界運動負荷が存在するものと推察される。

そして、表 1 から明らかなように、誤差の積分値や誤差率において大きな個人差が認められ、また、両負荷の追従成績間に有意な差が認められなかった事などから見て、筋力調節力に負荷の大きさがどの程度影響を及ぼし、臨界運動負荷はどれ位か等については今後さらに研究をすすめる必要があろう。

表 1. 連続的追従運動における誤差の積分値と誤差率

項目 被験者	$\frac{1}{10}$ 負 荷			$\frac{1}{3}$ 負 荷			$\frac{1}{10}$ 負 荷 V.S $\frac{1}{3}$ 負 荷	
	サンプリング タイム	誤 差 の 積 分 値 (kg·sec)	誤 差 率 %	サンプリング タイム	誤 差 の 積 分 値 (kg·sec)	誤 差 率 %	誤差の積分 値の t 値	誤差率の t 値
Y・K	8.21	71.9	32	8.29	49.7	22	$t=0.392$ none	$t=1.414$ none
T・T	8.36	129.8	46	8.39	128.3	44		
A・S	8.21	152.2	49	8.48	89.4	32		
M・S	8.40	86.2	37	8.35	57.3	22		
Y・I	8.26	33.1	20	8.42	61.1	22		
K・A	8.40	50.1	30	8.44	151.7	40		
K・K	8.41	40.2	21	8.41	34.6	13		
T・N	8.40	123.8	38	8.44	134.3	47		
M・I	8.36	143.1	44	8.24	61.4	34		
\bar{X}	8.33	90.1	35	8.38	85.4	31		
S・D	0.08	43.2	10	0.08	42.6	11		

表 2 は、目標波を追従していく過程における筋力発揮時（目標波が上限へ移行する際、前腕を屈曲し筋力を発揮しながら目標波を追跡する）と筋力減少時（目標波が下限へ移行する際、前腕を伸展させ筋力を減少しながら目標波を追跡する）の誤差の差違について分析した結果である。

1/10負荷における筋力発揮時の誤差積分値の Max と Min は、それぞれ 80.7kg·sec と 22.0kg·sec であり、その積分値の平均値と標準偏差は 50.2 ± 20.0 kg·sec であった。また、誤差率の Max と Min は、それぞれ56%と22%であり、平均誤差率は39%であった。次に、筋力減少時における誤差積分値の Max と Min は、それぞれ 76.0kg·sec と 11.1kg·sec であり、その積分値の平均値と標準偏差は 42.0 ± 24.4 kg·sec であった。そして、誤差率の Max と Min は、それぞれ52%と9%であり、平均誤差率は26%であった。一方、1/3負荷における筋力発揮時の誤差積分値の Max と Min は、それぞれ 85.8kg·sec と 17.1kg·sec であり、その積分値の平均値と標準偏差は 43.6 ± 21.6 kg·sec であった。また、誤差率の Max と Min は、それぞれ49%と15%であり、平均誤差率は37%であった。次に、筋力減少時の誤差積分値の Max と Min は、それぞれ 74.1kg·sec と 17.4kg·sec であり、その積分値の平均値と標準偏差は 41.5 ± 20.7 kg·sec であった。そして、誤差

率の Max と Min は、それぞれ42%と13%であり、平均誤差率は27%であった。1/10負荷と1/3負荷における筋力発揮時と筋力減少時との追従成績を有意差検定した結果、第3表からも明らかなように、両負荷の誤差率の間において5%の危険率で有意差が認められた。

以上のように、追従運動においては筋力を発揮しながら調節するよりも減少させながら調節する時に成績は良い傾向にある。このことは、追従運動における調節誤差は筋力発揮レベルが大きくなるに従って顕著になるという北本⁸⁾⁹⁾や長岡¹⁷⁾らの報告と一致する。

一般に、いろいろなスポーツ運動の中で正確性が要求される場合、その遂行過程においては身体の Relaxation が何よりも重要であると言われる。身体の Relaxation (緊張の緩和、筋の弛緩)は、当面の運動課題に必要な最小限の筋の緊張を提供し、運動に対する余分な力や不必要な筋の関与をコントロールする。また、Relaxation は、単に身体的側面に対する問題に留らず精神的側面、特に、

表 2. 連続的追従運動における筋力発揮時と減少時の誤差の積分値と誤差率

項目 被験者	$\frac{1}{10}$ 負 荷				$\frac{1}{3}$ 負 荷			
	筋力発揮時の 積分値 (kg·sec)	誤差率 (%)	筋力減少時の 積分値 (kg·sec)	誤差率 (%)	筋力発揮時の 積分値 (kg·sec)	誤差率 (%)	筋力減少時の 積分値 (kg·sec)	誤差率 (%)
Y・K	45.4	55	26.6	18	25.5	24	24.7	17
T・T	60.0	46	70.0	52	56.6	46	71.7	49
A・S	80.7	45	71.3	42	58.4	45	31.0	21
M・S	53.0	56	32.6	22	28.1	32	29.3	23
Y・I	22.0	22	11.1	9	26.4	28	34.7	20
K・A	28.5	24	21.8	16	85.8	42	63.8	34
K・K	25.1	22	15.2	11	17.1	15	17.4	13
T・N	69.9	38	53.8	32	60.2	48	74.1	42
M・I	67.0	42	76.0	29	34.2	49	27.1	20
\bar{X}	50.2	39	42.0	26	43.6	37	41.5	27
S D	20.0	13	24.4	14	21.3	12	20.7	12

表 3. 筋力発揮時と減少時における誤差の積分値と誤差率の有意差検定

比 較 項 目	比較グループ	t 値
筋力発揮時の誤差の積分値と 筋力減少時の誤差の積分値	$\frac{1}{10}$ 負 荷	2.229 none
	$\frac{1}{3}$ 負 荷	0.419 none
筋力発揮時の誤差率と筋力減少時の誤差率	$\frac{1}{10}$ 負 荷	2.773 ※
	$\frac{1}{3}$ 負 荷	3.004 ※
筋力発揮時の誤差の積分値	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$ 負荷	0.748 none
筋力発揮時の誤差率	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$ 負荷	0.404 none
筋力減少時の誤差の積分値	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$ 負荷	0.051 none
筋力減少時の誤差率	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$ 負荷	0.201 none

※印5%の有意水準

心理的安定性や集中力を高めることになる。これらは、正確な運動を遂行するための基本的事項であり、筋の緊張を解し、無駄な力を抜く事が正確性を保障するのにいかに重要であるか、本研究の結果と合わせて十分納得いくものである。

2) 瞬時的追従運動（瞬時的筋力調節）の特性

表4は、1/10、1/3負荷の瞬時的追従運動において、追従波（追従光点）が目標波（目標光点）に対して合致する迄に要した時間、合致迄の誤差の積分値、誤差率及びスタートから2秒間の追従過程における誤差の積分値とその誤差率を分析した結果である。

1/10負荷時において、追従波が目標波に対して合致する迄に要した時間のMaxとMinは、それぞれ1.28秒と0.44秒であり、その合致時間の平均値と標準偏差は 0.79 ± 0.26 秒であった。また、合致に至る迄に生じた誤差の積分値のMaxとMinは、それぞれ44.8kg・secと4.8kg・secであり、その積分値の平均値と標準偏差は 15.9 ± 12.3 kg・secであった。次に、合致までの誤差率のMaxとMinは、それぞれ94%と27%であり、その誤差率の平均値と標準偏差は、 $63 \pm 20\%$ であった。一方、1/3負荷時において、追従波が目標波に対して合致する迄に要した時間のMaxとMinは、それぞれ1.50秒と0.40秒であり、その合致時間の平均値と標準偏差は 0.85 ± 0.35 秒であった。また、合致に至る迄に生じた誤差の積分値のMaxとMinは、それぞれ21.2kg・secと4.4kg・secであり、その積分値の平均値と標準偏差は 12.0 ± 6.0 kg・secであった。次に、合致する迄の誤差率のMaxとMinは、それぞれ63%と25%であり、その誤差率の平均値と標準偏差は $40 \pm 14\%$ であった。

瞬時的追従運動（瞬時的筋力調節）における追従成績は、追従波が目標波に合致する早さとその間における誤差の積分値や誤差率の大きさ等で評価される。このような観点から、1/10、1/3負荷時におけるそれぞれの分析項目を眺めると、合致時間の平均は、1/10負荷時で0.79秒、1/3負荷時で0.85秒であり、1/10負荷時において早くなる傾向にある。しかし、有意差検定の結果、両者の間に有意な差は認められなかった。次に、両負荷時における誤差の積分値の平均は、1/10負荷時において15.9kg・secであり、1/3負荷時には12.0kg・secであった。また、誤差率の平均は1/10、1/3負荷時において、それぞれ63%と40%であった。このように、誤差の積分値と誤差率においても、1/3負荷時で小さく成績は良かった。しかし、有意差検定の結果、両者共に、1/10負荷時と1/3負荷時との間に有意な差は認められなかった。

一方、瞬時的追従運動における2秒間の誤差の積分値と誤差率を眺めると、1/10負荷時における誤差の積分値のMaxとMinは、それぞれ50.0kg・secと13.4kg・secであり、その平均値と標準偏差は 26.7 ± 12.5 kg・secであった。また、誤差率のMaxとMinは、それぞれ61%と19%であり、平均誤差率は43%であった。次に、1/3負荷時における誤差の積分値のMaxとMinは、それぞれ39.4kg・secと11.6kg・secであり、その平均値と標準偏差は 22.4 ± 8.6 kg・secであった。また、誤差率のMaxとMinはそれぞれ51%と11%であり、平均誤差率は28%であった。

2秒間における誤差の積分値と誤差率は、前の合致迄に生じた誤差の積分値と誤差率の結果と同様に1/3負荷時において小さく成績は良かった。

瞬時的追従運動の測定や評価で問題となるのは追従が極めて短時間で終了するため被験者の随意的調節以外に偶然性の関与率が高くなるという事である。測定結果が個人の調節力を代表するものとして位置づけるためには、測定法や評価法を十分に吟味する必要がある。

表 4. 瞬時的追従運動における誤差の積分値と誤差率

項目 被験者	$\frac{1}{10}$ 負 荷					$\frac{1}{3}$ 負 荷				
	合致に要した時間	合致までの誤差の積分値 (kg·sec)	誤差率 %	2秒間の誤差の積分値 (kg·sec)	誤差率 %	合致に要した時間	合致までの誤差の積分値 (kg·sec)	誤差率 %	2秒間の誤差の積分値 (kg·sec)	誤差率 %
Y・K	1.16	18.7	78	25.8	61	0.42	5.0	27	11.6	11
T・T	0.71	9.3	66	20.7	44	0.40	4.4	37	39.4	42
A・S	0.88	11.3	57	22.5	40	1.19	9.9	39	20.8	33
M・S	0.61	4.8	44	36.7	53	0.60	7.5	61	17.4	39
Y・I	0.67	5.4	27	13.4	19	1.50	20.6	26	22.8	21
K・A	0.44	5.4	45	17.9	22	1.13	15.7	36	17.7	14
K・K	0.78	6.4	84	41.2	58	0.92	21.2	49	24.9	28
T・N	1.28	44.8	67	50.0	41	0.85	14.6	63	33.8	51
M・I	0.55	17.3	94	22.5	53	0.60	9.2	25	13.5	13
\bar{X}	0.79	15.9	63	26.7	43	0.85	12.0	40	22.4	28
S D	0.26	12.3	20	12.5	14	0.35	6.0	14	8.6	13

表 5. 瞬時的追従運動における誤差の積分値と誤差率の有意差検定

比較項目	比較グループ	t 値
合致に要した時間	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$	0.346 none
合致までの誤差の積分値	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$	0.885 none
合致までの誤差率	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$	2.470 ※
2秒間の誤差の積分値	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$	0.832 none
2秒間の誤差率	$\frac{1}{10}$ V.S $\frac{1}{3}$	2.267 none

※印 5%の有意水準

3) 全身及び利手の反応時間について

表 6 は、光刺激に対する全身と利手の反応時間の測定結果を単純及び選択反応別に示したものである。反応時間は課題（本研究においては刺激として光が呈示された瞬間に指示された反応を起すこと）に対して迅速にしかも正確に反応することが要求されるが、これを筋力調節力という観点から眺めれば、必要な身体部位の筋力を瞬時的に調節し反応するという点で、運動形態や運動部位は異なるが、本研究の瞬時的追従運動（瞬時的筋力調節）で要求される調節要因や調節作用と基本的に類似するものである。従って、連続的筋力調節と瞬時的筋力調節の関連性を検索するための後者に関わる検査内容として妥当且つ有効と考えられる。

ところで、表 6 から明らかなように、利手単純反応時の Max と Min は、それぞれ 0.412 秒と

0.321秒であり、その平均値と標準偏差は 0.358 ± 0.027 秒であった。また、利手選択反応時における Max と Min は、それぞれ0.489秒と0.324秒であり、その平均値と標準偏差は 0.408 ± 0.049 秒であった。このように、単純反応に対比し選択反応における反応時間は長くなるが、これは、選択反応において、反応のための指定刺激（ランプ）を弁別するのに要した時間と考えられる。

一方、全身の単純反応時の Max と Min は、それぞれ0.491秒と0.360秒であり、その平均値と標準偏差は 0.402 ± 0.038 秒であった。また、全身の選択反応時の Max と Min は、それぞれ0.570秒と0.399秒であり、その平均値と標準偏差は 0.451 ± 0.060 秒であった。全身反応時においても利手の反応時と同様に、単純反応における反応時間が早かった。

そして、利手反応時と全身反応時を比較した場合、単純及び選択反応ともに利手反応時の方が早くて成績が良かった。これは、感覚系や運動系が測定結果に及ぼした影響よりも、全身反応時の測定上における負荷（体重）的問題が成績に影響したものと推察される。

表 6. 光刺激に対する利手及び全身の単純・選択反応時

被験者	$\frac{1}{1000} \text{ sec}$			
	光 刺 激			
	利手単純反応	利手選択反応	全身単純反応	全身選択反応
Y・K	340	422	391	404
T・T	321	324	407	399
A・S	334	387	491	509
M・S	374	489	387	412
Y・I	350	418	416	570
K・A	412	367	377	404
K・K	362	394	383	430
T・N	367	410	402	495
M・I	367	461	360	439
\bar{X}	358	408	402	451
S・D	27	49	38	60

表 7. 単純、選択反応時間及び利手、全身反応時間の有意差検定

項 目	利 手	利 手	全 身	全 身
項 目	単 純 反 応	選 択 反 応	単 純 反 応	選 択 反 応
利 手 単 純 反 応		3.034 ※	2.286	3.964 ※※
利 手 選 択 反 応			0.276	1.766
全 身 単 純 反 応				2.955 ※
全 身 選 択 反 応				

※ 5%

※※ 1%の有意水準

4) 連続的筋力調節(連続的追従運動)と瞬時的筋力調節(瞬時的追従運動, 全身・利手反応時)との関連について

既に, 表1で明らかにしたように, 連続的追従運動の目標波に対する追従波の誤差率の Max と Min は, 1/10負荷時において, それぞれ49%と20%であり, 平均誤差率は35%であった。また, 1/3負荷時においては, Max が 47%, Min は13%であり, 平均誤差率は31%であった。

一方, 瞬時的追従運動において, 追従波が目標波に合致する迄の間に生じた誤差率は, 1/10負荷時において, Max 94%, Min 27%であり, 平均誤差率は63%であった。また, 1/3負荷時においては, Max 63%, Min 25%であり, 平均誤差率は40%であった。さらに, 瞬時的追従運動におけるスタートから2秒の間に生じた誤差率は, 1/10負荷時において Max 61%, Min 19%であり, 平均誤差率は43%であった。また, 1/3負荷時における誤差率の Max は51%, Min 11%であり, 平均誤差率は28%であった。

以上のように, 瞬時的追従運動の1/3負荷時における2秒間の誤差率を除き, 連続的追従運動の平均誤差率が全て小さく, また, 誤差率の Max と Min の差に関しても連続的追従運動の方が小さかった。このような結果から, 瞬時的追従運動(瞬時的筋力調節)は, 一定の周期を持った連続的追従運動(連続的筋力調節)よりも調節が困難であるということが理解できる。

このことは, 連続的追従運動における目標波が, 正弦波という一定した周期的動きの中で追従波に対して一定の運動リズムを形成し, この運動リズムが何らかの形で連続的追従という筋力調節に大きく関与した結果であると推察される。

表8は, 連続的筋力調節(連続的追従運動)と瞬時的筋力調節(瞬時的追従運動, 全身・利手反応時)における成績間の相関係数を示したものである。表からも明らかなように, 比較的高い相関係数を示したのは, 1/3負荷における連続的追従運動の誤差の積分値と瞬時的追従運動における2秒間の積分値及び利手の選択反応時間との間で, 相関係数は, それぞれ0.56と0.59であった。しかし, 相関係数の有意差検定の結果, 全ての項目に有意な相関は認められなかった。以上の結果から, 今回取扱った連続的追従運動と瞬時的追従運動及び利手・全身反応時間との間には関係が認められず, 両者は全く独立した存在であると言えよう。

結果は予想を覆すものであり, 連続的な追従運動と瞬時的な追従運動との筋力調節に対する方法上の差異から生起した結果と考えられるので, 調節力を検索し, 調節力の発達やトレーニング等を

表 8. 連続的追従運動と瞬時的追従運動及び利手・全身反応時間との相関

連続的調節	瞬時的調節	合致まで	2秒間の	合致まで	2秒間の	利手単純	利手選択	全身単純	全身選択
		の積分	積分	の誤差率	誤差値	反応	反応	反応	反応
連続的追従運動 の誤差の積分	1/10負荷	0.204	0.005	—	—	-0.388	-0.318	0.355	-0.217
	1/3負荷	0.090	0.560	—	—	0.254	0.595	0.106	-0.085
連続的追従運動 の誤差率	1/10負荷	—	—	0.267	0.212	-0.336	-0.098	0.367	-0.190
	1/3負荷	—	—	0.020	0.390	0.069	-0.429	0.067	-0.047

考える場合、十分に本研究の結果を踏まえる必要がある。

Ⅳ. 要 約

周波数 0.25HZ の正弦波（目標光点）を前腕の操作によってコントロールできる追従波（追従光点）でトレースさせることによって、前腕における連続的な筋力調節と瞬時的な筋力調節の特性及び両者の関連を追求した結果、次のようなことが明らかになった。

1. 1/10負荷と1/3負荷における連続的な追従運動（連続的筋力調節）の成績は、誤差の積分値及び誤差率ともに1/3負荷時で小さく、成績は良かった。
2. 連続的追従運動の過程で、筋力を発揮しながら追従するよりも筋力を減少させながら追従する方が、誤差の積分値及び誤差率は小さく成績は良かった。
3. 連続的な追従運動の過程で位相ズレが生じるが、その大半は位相遅れによるものであった。
4. 瞬時的追従運動（瞬時的筋力調節）における追従成績は、1/10負荷よりも1/3負荷において誤差の積分値及び誤差率は小さく成績は良かった。
5. 光刺激に対する反応時間は全身反応より利手による反応が早く、選択反応より単純反応が早かった。
6. 連続的追従運動の成績と瞬時的追従運動の成績との間には有意な相関を見い出すことはできなかった。また、連続的追従運動の成績と反応時間との間においても有意な相関は見い出せなかった。

参 考 文 献

- 1) 入川松博他：EMG からみた筋出力の制御。日本体育学会第34回大会号， p. 352, 1983
- 2) 小野三嗣他：Training の女子体格及び筋力調節能力に及ぼす影響について。体力科学，1966
- 3) 小野三嗣他：筋力調節能力に関する研究。体力科学，16-1, p. 113-19, 1967
- 4) 小野三嗣：随意運動における筋力調節能力。体育学研究，Vol. 11-5, p. 85, 1967
- 5) 小野三嗣：筋力調整力についての研究。体育学研究，Vol. 13-5, p. 125, 1969
- 6) 北本 拓他：追跡運動中の外乱予測能力について。日本体育学会第25回大会号， p. 519, 1974
- 7) 北本 拓他：左右筋力の応答特性について。日本体育学会第28回大会号， p. 367, 1977
- 8) 北本 拓他：中高年者の運動調節能力一脚の追跡運動の場合。体力科学，30: 231-239, 1981
- 9) 北本 拓他：等尺性収縮における筋運動調節について。日本体育学会第34回大会号， p. 363, 1983
- 10) 倉田 博他：筋力の調節能力について。体力科学，19: 36-46, 1970
- 11) 倉田 博他：筋力調節における運動単位の活動特性の2, 3の検討。体力科学，21:4, 183-87, 1972.
- 12) キネシオロジー研究会編：身体運動の科学Ⅱ。身体運動のスキル 杏林書院， p. 84-95, 1976
- 13) 佐久間敏行：追跡動作と目の動き。日本体育学会第27回大会号， p. 247, 1976
- 14) 関 智美他：等尺性筋力の Grading と reproduction の正確性。日本体育学会第33回大会号， p. 360, 1982
- 15) 関 智美他：等尺性筋力の Grading と reproduction の正確性（第二報）。日本体育学会第34回大会号， p. 226, 1983
- 16) 豊田一成他：狩野，Oseretzky-Test による調整力への接近（その一）。日本体育学会第33回大会号， p. 206, 1982
- 17) 長岡良治他：肘関節屈筋群による追従運動の特性。鹿児島大学教養部紀要（体育科報告）第13号，1980

- 18) 永田 晟他：脚筋力による持続追従運動の解析。体力科学, 23-24, 134-43, 1974
- 19) 永田 晟：追跡運動のシステムの研究—各種負荷による運動調節の変化について—。体育学研究, 13-3, p.137-45, 1974
- 20) 永田 晟他：運動調整力の基礎概念と測定器の開発について。日本体育学会第28回大会号, p. 368, 1977
- 21) 永田 晟：筋電信号トラッキングによる運動制御機構の解析。日本体育学会第30回大会号, p. 334, 1979
- 22) 永田 晟：追従補償システムにおける筋力調節能の解析。東京都立大体育学研究, 第2巻2号, p. 85-94, 1979
- 23) 永田 晟：身体運動工学。杏林書院, 1981
- 24) 信本照彦：筋出力過程におけるフィードバック情報の種類—動作遂行前の運動計画の効果。日本体育学会第30回大会号, p. 421, 1979
- 25) 藤島仁兵：調整力に関する基礎的研究 第一報。九州体育学会誌, 3-3, 24-26, 1976
- 26) 藤島仁兵他：調整力に関する基礎的研究 第二報, 身体各部位の調整能力について。九州体育学会誌, 3-4, p.10-11, 1977
- 27) 藤島仁兵他：調整力に関する基礎的研究 第3報, いくつかの Laboratory Test からみた各運動サークル間の調整力の検討。九州体育学会誌, 4-1, p.17-19, 1978
- 28) 藤島仁兵他：調整力に関する基礎的研究 第四報, 調整力の発達の特徴について, 鹿児島大学教育学部紀要 (自然科学編), 第31巻, p. 41-52, 1980
- 29) 藤島仁兵他：追従運動による筋力調節力の特性, 鹿児島大学教育学部紀要 (自然科学編), 第35巻, p. 73-85, 1984.