

## 事前の筋活動が反応時間に及ぼす影響について —選択反応と反応の大きさによる場合—

衣 笠 隆\*・藤 田 紀 盛\*・野 間 明 紀\*\*

### Effect of preliminary muscular activity on reaction times in conditions of varying responses and response amplitudes.

Takashi KINUGASA, Tatsumori FUJITA and Akinori NOMA

This study investigated the effects of preliminary muscular activity on reaction times with variations in number of response choices and in response magnitude.

Eighteen healthy male subjects were used for this study.

In Experiment 1, subjects reacted after 2-4 seconds of preparatory period as quickly as possible, with and without preliminary muscular activity, respectively.

Task A (SIMPLE REACTION) was to react with right plantar flexion of ankle joint after reaction signal. Task B (SIMPLE REACTION) was to react with left plantar flexion of ankle joint after the reaction signal. Task C (CHOICE REACTION) was to choose either right or left plantar flexion depending on reaction signal.

In Experiment 2, subjects performed the assigned magnitude of reaction with and without preliminary muscular activity, respectively. The levels of response magnitude required were below 50% MVC (LOW) or above 50% MVC (HIGH).

In Experiment 3, five subjects performed the same experimental conditions as Experiment 2, for five successive day.

In all experiments, subjects were asked to sit on a reclining chair. Subjects' feet rested on the force platform. The level of preliminary muscular activity was 10% of maximum amplitude of left and right gastrocnemius EMG during MVC. Each subject practiced to be able to develop 10% MVC smoothly by monitoring an oscilloscope.

The action potentials of both left and right side of lateral gastrocnemius were led through pairs of surface electrodes, and amplifiers and were stored on an FM tape recorder.

Premotor time (PT) was defined as the time interval from the reaction signal to onset of EMG. Reaction time (RT) was defined as the time interval from the reaction signal to onset of reaction force. Motor time was defined as the difference between RT and PT. Experiment 1 and 2 were conducted for two successive days to test reliability.

The results of Experiment 1 showed that in preliminary muscle activity condition mean RT shortened in SIMPLE REACTION, and that mean PT and mean RT shortened in CHOICE REACTION. DPT and DRT were defined as the difference in PT and RT respectively, between CHOICE REACTION and SIMPLE REACTION. No effect of preliminary muscular activity on DPT and DRT was seen.

The results of Experiment 3 showed that preliminary muscular activity shortened PT and RT,

\* 筑波大学体育科学系  
\*\* 足利学園

but there was no difference in PT, MT, and RT between LOW and HIGH conditions, nor was there an interaction between response magnitude and preliminary muscle activity.

## 1. はじめに

著者らは、事前の筋活動により、単純反応時間が短縮されることを報告した<sup>6,7,10</sup>。特に、反応動作の主働筋を事前に筋活動させることにより、他の筋を事前に筋活動させる場合よりも、単純反応時間を短縮させることを報告した<sup>7</sup>。

球技スポーツにおいては飛んでくるボールのコースを出来るだけ早く選択し、かつ反応する必要がある場合が多い。テニスにおけるサーブレーションはその一例である。そこで、本研究は、選択反応を要する場合における事前の筋活動の効果について検討する。

単純反応時間は一つの反応刺激に対して一つの反応がある場合であり、選択反応時間は、二つ以上の異なった反応刺激に対して、反応動作が反応刺激に対応して異なる場合である<sup>9</sup>。一般に、選択反応時間は、単純反応時間よりも延長される。その延長される主な点は、刺激の弁別と反応の選択による<sup>11</sup>。刺激の弁別とは、いくつかの反応刺激の中から一つを見分けることであり、反応の選択とは、いくつかの反応動作の中から一つを選び出すことである。刺激の弁別と反応の選択に要する時間は、選択反応時間から単純反応時間を引くことにより算出できる<sup>12</sup>。

そこで、本研究の目的は選択反応と単純反応課題における事前の筋活動の効果を比較検討することである。本研究の第二の目的は、事前の筋活動が単純反応時間に及ぼす影響を、反応の大きさより、検討する。反応の大きさは、被験者が反応刺激後、反応動作を行なう時の大きさである。従来、著者らの研究において、被験者は自由な反応の大きさであった。そこで、本研究においては、被験者は決められた反応の大きさを発揮するように求められた。反応の大きさの相違が事前の筋活動による単純反応時間に及ぼす影響について検討する。本研究の第三の目的は、事前の筋活動が、単純反応時間に及ぼす影響を反応の大きさを練習することによる影響について検討する。

## 2. 実験方法

### 被験者

被験者は、健康な青年男子18名（平均年齢21.5歳）を用いた。

### 実験手順と装置

被験者は、リクライニングシートに座り、膝関節を30度屈曲し、足関節を0度底屈し、フォースプレート上に足をのせた。反応時に膝関節、足関節が動かないように、膝関節上にバーをおき、固定した。

実験に先立ち、左右の腓腹筋における最大随意収縮が三回行なわれ、各回それぞれの最大筋電位が計測され、それらを平均した値を100%とした。事前の筋活動の大きさは最大筋電位の10%とした。被験者は事前の筋活動の大きさをオッシロスコープを見ながら十分練習した。

筋電位は、左右の外側腓腹筋より表面双極導出し（皮膚抵抗10k $\Omega$ 以下）、前置増幅器（日本光電工業社製、RB-5、時定数0.01秒）を介し、データレコーダ（ティアック社製、R-410）に収録された。

筋電位の大きさは全波整流後の筋電位より、計測された。

事前の筋活動がある条件において、各被験者は、オッシロスコープを見ながら決められた事前の筋収縮の大きさを準備期間中、維持した。

デジタルオッシロスコープ（ニコレージャパン社製、2090）上で、反応刺激から筋電位の立ち上がりまでのPREMOTOR TIME (PT)、反応刺激から足底力の立ち上がりまでのREACTION TIME (RT)、RTからPTを引いたMOTOR TIME (MT)を1 msec単位で計測した。なお、事前の筋活動がある場合におけるPTは、事前の筋活動のレベルより高くなった時点を計測し、また、反応前にSILENT PERIODが出現した場合は、SILENT PERIOD後の筋電位の立ち上がり時点を計測した。更に、反応時における最大筋電位と足底力の垂直成分の最大値を計測した。

### 実験1

単純反応と選択反応に関する実験を実験1とする。

被験者は2—4秒の準備期間後の光刺激に対して出来るだけ早く反応した。

1. 右の単純反応：右の光刺激に対して右の足関節の底屈反応を行なった。
2. 左の単純反応：左の光刺激に対して左の足関節の底屈反応を行なった。
3. 左右の選択反応：左右いずれかの光刺激に対して、その刺激と同側の足関節の底屈反応を行なった。

以上について事前の筋活動がある場合とない場合の合計6実験条件であった。各被験者は各条件を6回試行（ただし、左右の選択反応の場合は、11回であり、また最初の1回は練習）し、合計23回試行した。実験の順序は各被験者により、ランダムとした。

**実験2**

反応の大きさに関する実験を実験2とする。

被験者は2—4秒の準備期間後ヘッドフォンを介しての音刺激（800Hz、持続時間100 msec）に対して出来るだけ早く右の底屈反応を、次のように行なった。

反応の大きさは各被験者の最大筋電位より決められた。最大筋電位の50%以下で反応する場合（LOW）、最大筋電位の50%以上で反応する場合（HIGH）であった。

さらに、事前の筋活動がある場合とない場合の合計4実験条件であった。各被験者はこれらすべてを行ない、各条件を6回試行（最初の1回は練習）し、合計24回試行した。実験の順序は被験者により、ランダムとした。

**実験3**

反応の大きさに関する練習効果の実験を実験3とする。

5人の被験者は、連続5日間、実験2と同じように、事前の筋活動がある場合とない場合、また反応の大きさが、小さい場合（LOW）と大きい場合（HIGH）の4実験条件を行なった。ただし、各実験条件につき、30試行を行ない、最後の5試行を資料として収集した。また、第1日目は練習日とし、第2日目から第5日目までの資料を収集した。

**統計処理**

実験1のPT, MT, RTそれぞれにおいて、事前の筋活動の有無を検討するために分散分析が行なわれた。実験2, 3におけるPT, MT, RTそれぞれにおいて、事前の筋活動の有無と反応の大きさの相違それぞれを検討するために、分散分析とt

表1—A. 各種変数における第1日目と第2日目の相関係数（実験1）。

変数	第1日目と第2日目の相関係数
LEFT	
PT	0.655***
MT	0.675***
RT	0.683***
RIGHT	
PT	0.641***
MT	0.602***
RT	0.718***

N = 72, \*\*\* p < 0.0001

表1—B. 各種変数における第1日目と第2日目の相関係数（実験2）。

変数	第1日目と第2日目の相関係数
PT	0.684***
MT	0.565***
RT	0.718***
IEMG	0.686***

N = 72, \*\*\* p < 0.0001

テストが用いられた。いずれも有意水準は5%以下とした。

**3. 実験結果**

実験1, 実験2ともに、18人の被験者における第1日目と第2日目の各条件下における資料の再現性を検討するために、PT, MT, RTそれぞれについて、相関係数が求められた。いずれにおいても、有意な相関がみられた（表1—A, B）。よって、以下の結果は、18人の被験者に基づく第2日目の結果である。

**実験1の結果**

表2は、単純反応（SIMPLE）、選択反応（CHOICE）、さらに選択反応から単純反応の差異（DIFFERENCE）におけるPT, MT, RTの平均値と標準偏差を事前の筋活動がある場合とない場合それぞれを示した。Lは左に反応した場合であり、Rは右に反応した場合である。

単純反応におけるRTにおいて、事前の筋活動の条件は有意であった（F(1,17)=5.63, p<0.05）。即ち、事前の筋活動により単純反応時間は有意に短縮された。

選択反応におけるPT, RTともに、事前の筋活動の条件は有意であった（PT; F(1,17)=5.58, p<0.05, RT; F(1,17)=11.52, P<0.01）。即

ち、事前の筋活動により選択反応におけるPT, RTともに、有意に短縮された。しかし、左右それぞれの選択反応におけるPT, MT, RTから単純反

応におけるPT, MT, RTを引いた差異(DIFFERENCE)について、事前の筋活動による相違はみられなかった。

表2. 実験1における単純反応(SIMPLE), 選択反応(CHOICE)とその差異(DIFFERENCE)のPT, MT, RTの平均値, 標準偏差.

		WITHOUT PRE-ACTIVITY						WITH PRE-ACTIVITY					
		P	T	M	T	R	T	P	T	M	T	R	T
SIMPLE	R	195.3(16.7)		42.1(16.2)		237.2(27.2)		187.5(29.9)		39.9(10.5)		227.5(29.8)	
	L	204.8(21.7)		41.7(15.6)		246.6(28.2)		197.6(25.8)		40.8(12.4)		238.5(24.8)	
CHOICE	R	231.0(23.6)		41.4(14.4)		272.4(30.0)		215.3(30.3)		40.2(11.8)		255.6(33.9)	
	L	235.3(25.6)		45.9(15.3)		281.3(28.7)		234.6(24.2)		40.8(11.3)		275.4(28.9)	
DIFFERENCE	R	35.6(15.2)		- 0.7( 7.2)		34.9(13.9)		27.8(25.3)		0.2( 7.8)		28.1(26.1)	
	L	30.5(17.0)		4.1( 9.2)		34.6(16.3)		37.0(25.1)		- 0.0( 9.1)		36.9(25.2)	

n = 18, 平均値(標準偏差), 各数値の単位はミリ秒.

表3. 実験2における各実験条件下のPT, MT, RT, IEMGの平均値(M), 標準偏差(SD).

MAGNITUDE		WITHOUT PRE-ACTIVITY				WITH PRE-ACTIVITY			
		PT	MT	RT	IEMG	PT	MT	RT	IEMG
LOW	M	143.3	44.5	187.8	40.2%	135.8	40.1	175.1	43.8%
	SD	27.9	16.7	38.1	13.2	25.8	9.9	29.1	14.3
HIGH	M	146.3	41.2	187.6	70.8	137.4	40.7	178.1	78.5
	SD	22.8	13.0	28.1	12.4	26.1	10.0	28.9	12.8

n = 18, 各数値の単位はミリ秒

### 実験2の結果

表3は、各条件下におけるPT, MT, RT, IEMGそれぞれの平均値と標準偏差を示した。IEMGは実験前に行なった右の腓腹筋の最大随意収縮時における各被験者の最大筋電位を100%とした値である。

反応におけるIEMGの大きさと足底力の大きさとの間に有意な正の相関がみられた ( $r=0.765$ ,  $p<0.001$ ,  $n=119$ )。IEMGの大きさは事前の筋活動がある場合とない場合において相違はなく ( $F(1,17)=2.45$ ,  $p>0.05$ )、反応の大きさにおいて、有意な相違がみられた ( $F(1,17)=273.06$ ,  $p<0.001$ )。また、事前の筋活動と反応の大きさとの間に有意な交互作用はみられなかった。 ( $F(1,17)=0.98$ ,  $p>0.05$ )。すなわち、事前の筋活動が、特定の反応の大きさに対して効果があるとは言えなかった。

分散分析の結果、事前の筋活動の条件はPT,

MT, RTいずれにおいても、有意ではなかった (PT ;  $F=3.26$ ,  $p>0.05$ , MT ;  $F=0.93$ ,  $p>0.05$ , RT ;  $F=4.20$ ,  $p>0.05$ , いずれも,  $df=1,17$ )。また、反応の大きさの条件もPT, MT, RTいずれにおいても、有意ではなかった (PT ;  $F=0.48$ ,  $p>0.05$ , MT ;  $F=0.51$ ,  $p>0.05$ , RT ;  $F=0.08$ ,  $p>0.05$ , いずれも $df=1,17$ )。

### 実験3の結果

第1日目から第5日目までの結果を図1に示した。PT, RTともに事前の筋活動がある場合に、事前の筋活動がない場合よりも有意に短縮された (PT ;  $t=3.269$ ,  $p<0.001$ , RT ;  $t=2.038$ ,  $p<0.05$ , いずれも $df=318$ )。

反応の大きさ(LOW, HIGH)はPT, MT, RTいずれにおいても、実験2と同様に、有意な相違がみられなかった (PT ;  $t=0.512$ ,  $p>0.05$ , MT ;  $t=0.506$ ,  $p>0.05$ , RT ;  $t=0.65$ ,  $p>0.05$ , いずれも $df=318$ )。

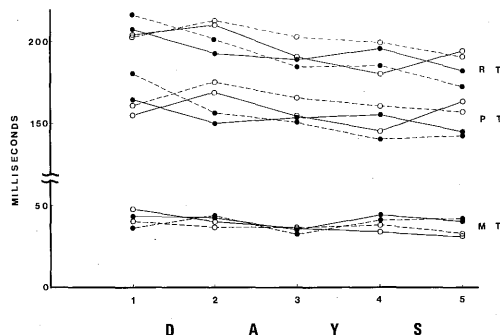


Fig. 1 実験3における各実験条件下のPT, MT, RT. 横軸は練習日あり、縦軸は、時間(msec.)である。白丸は、事前の筋活動がない場合であり、黒丸は、事前の筋活動がある場合である。点線は反応が大きい場合 (LOW) であり、実線は反応が小さい場合 (HIGH) である。

#### 4. 考 察

実験1により、単純反応におけるRTは事前の筋活動により、有意に短縮された。これは、著者が既に報告した結果<sup>6,7,10)</sup>に一致した。選択反応において、PT, RTはともに事前の筋活動において有意に短縮された。即ち、選択を要する反応課題に対して、事前の筋活動はPT, RTを短縮することが確認された。

BotwinickとThompson<sup>1)</sup>によると、反応時間は、二つの構成要素より成り立ち、中枢性と末梢性の要素に分けた。PREMOTOR TIMEは中枢における処理過程の時間を表わし、MOTOR TIMEは末梢の筋における電気活動の開始から力の立ち上がりまでの時間を表わしている。事前の筋活動による反応時間の短縮はPREMOTOR TIMEに既に出現し、MOTOR TIMEの短縮ではなかった。また、事前の筋活動による反応時間の短縮は求心性発射の増大によるものではなく、また脊髄の前角細胞の興奮性レベルに依存するものではないことを報告した<sup>6,10)</sup>。以上より、事前の筋活動による反応時間の短縮は中枢性の問題と思われる。Welford, A.<sup>11)</sup>によると選択反応時間は四つの時間に分けられる。はじめは、感覚刺激を受け取り、中枢まで伝える時間であり、2番目は刺激を同定する時間であり、3番目は、中枢において反応動作を選択する時間であり、最後は、選択された動作が組み立てられ、末梢の筋が活動するまでの反応プログラミングの時間である。これらの時間は相互に影響されない。選択反応におけるPT, RTから、単純反応におけるPT, RTそれぞれを引い

た差異(DIFFERENCE)において、事前の、筋活動の条件は有意ではなかった。これは、事前の筋活動による反応時間の短縮はWelford, A.<sup>11)</sup>の唱える反応の4段階の中で、DIFFERENCEは刺激を同定する時間と反応選択の時間を表わすと考えられるが、DIFFERENCEにおいて事前の筋活動の影響がみられなかったことにより、事前の筋活動による反応時間の短縮は、感覚刺激の伝導、伝達時間、及び反応プログラミングの時間の短縮による可能性が示唆された。

2日間の実験2において、事前の筋活動によるPT, RTを短縮する効果がみられなかった。これは、反応の大きさを規定した場合に、事前の筋活動が反応時間を短縮する効果を抑制する要因が働いたためと思われる。なぜならば、事前の筋活動による反応時間を短縮する効果が、同一被験者を用いた実験1の反応の大きさを規定しない単純反応において、認められたからである。

5日間の実験3の結果において、事前の筋活動によるPT, RTを短縮する効果がみられた。実験2よりもさらに練習を重ねることにより事前の筋活動が反応時間を短縮させる効果が出現した。しかし、事前の筋活動による反応時間を短縮させる効果は反応の大きさに依存しなかった。換言すると、特定の反応の大きさに対して、事前の筋活動の効果が表われるとは言えなかった。これに関して、Klemmer<sup>9)</sup>は、音刺激後、力の立ち上がりまでの時間を測定した結果、1オンスの力を発揮した場合の平均値は、20オンスの力を発揮した場合の平均値と同じ168 msecであり、これらの平均値間に有

意な相違がみられないことを報告した。また、本研究における反応の大きさに関連する他の研究の中に、反応の運動距離がある。反応する運動距離が長くなれば、反応に要する力が増大する。そこで、運動距離は目標が十分に大きく、見やすい場合、反応時間に影響しないことが報告されている<sup>2,4,8)</sup>。

これらの報告より、反応の大きさは、反応時間に影響しないことが示唆された。この点について、Henryのメモリードラム理論<sup>9)</sup>と関連づけることができる。Henryのメモリードラム理論とは、反応する運動が複雑になる程、反応時間が遅延した結果、運動が複雑になる程、“運動プログラム”も複雑になり、より多くの時間が記憶からその運動プログラムを呼び出すために必要とされる、とするものである。もしもこのメモリードラム理論が正しければ、反応の大きさが変化しても、運動プログラムを記憶から呼び出す時間は変化しない可能性を示した。

## 5. 要 約

1. 事前の筋活動が反応時間に及ぼす影響を選択反応を要する場合と反応の大きさを規定した場合について、検討した。
2. 実験1において、18人の被験者は、左右それぞれの単純反応と左右の選択反応を行なった。いずれも、反応動作は、足関節の底屈であった。事前の筋活動がある場合とない場合の合計6実験条件であった。
3. 実験2において、18人の被験者は、反応刺激後、できるだけ早く右の底屈反応を最大筋力の50%以下 (LOW) と最大筋力の50%以上 (HIGH) それぞれで行なった。事前の筋活動がある場合とない場合の4実験条件であった。
4. 実験3において、5人の被験者は、実験2と同じ方法で、連続5日間行なった。
5. 反応刺激から筋電図の立ち上がりまでのPREMOTOR TIME (PT), 足底力の立ち上がりまでのREACTION TIME (RT), またRTからPTを引いたMOTOR TIME (MT)を計測した。さらに、反応時における最大筋電位、最大足底力を計測した。
6. 単純反応において、事前の筋活動により、RTは、有意に短縮された。選択反応において、事前の筋活動により、PT, RTともに有意に短縮され

た。しかし、選択反応におけるPT, RTから単純反応におけるPT, RTを引いた差異において、事前の筋活動の影響がみられなかった。

7. 2日間行なわれた実験2において、PT, MT, RTいずれも事前の筋活動による影響がみられなかった。しかし、5日間行なわれた実験3において、事前の筋活動は、LOW, HIGHともにPT, RTともに有意に短縮した。

反応の大きさは、PT, RTともに変化させなかった。

## 引用, 参考文献

- 1) Botwinick, J. and Thompson, L.W.: Premotor time and motor components of reaction time. *J. Ex. Psychol.* 71, 9-15. 1966.
- 2) Brown, J.S., and Slater-Hammel, A.T.: The discrete movements in the horizontal plane as a function of their length and direction. *Ex. Psychol.* 39, 84-95. 1949.
- 3) Donders, F.C.: On the speed of mental processes. In *Attention and performance II*. 1969.
- 4) Fitts, P.M. and Peterson, J.R.: Information capacity of discrete motor responses. *Ex. Psychol.* 67, 103-112. 1964.
- 5) Henry, F.M. and Rogers, D.E.: Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*. 31, 448-458. 1960.
- 6) Kinugasa, T.: Effect of preliminary conditions (No-EMG, EMG, TVR) on voluntary response. *Biomechanics IX-A*. 377-382. 1985.
- 7) 衣笠隆, 野間明紀, 藤田紀盛: 事前の筋活動の相違が反応時間に及ぼす影響について, 筑波大学体育科学系紀要, 8, 243-249, 1985.
- 8) Klapp, S.T.: Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *Ex. Psychol. Human Percept. and Perform.* 104, 147-153. 1975.
- 9) Klemmer, E.T.: Rate of force application in a simple reaction time test. *Appl. Psychol.* 41, 329-332. 1957.
- 10) 野間明紀: 予備筋活動の相違による反応時間の差について, 筑波大学体育研究科修士論文抄録, 6, 229-232. 1984.
- 11) Welford, A.T.: *Reaction Times*. 73-128, 1980.
- 12) Schmidt, R.A.: *Motor control and learning. A behavioral emphasis*. 93-113. 1982.