

「動作前 Silent Period の出現率について」

-第5報 男女差について-

The Rate of Appearance in Silent Period Observed Just before a Rapid Voluntary Movement.

5. Sex Difference in the Rate of Appearance in Premotion Silent Period.

脇田 裕久 (三重大学教育学部)

Hirohisa WAKITA *

八木 規夫 (三重大学教育学部)

Norio YAGI *

長井 健二 (三重大学教育学部)

Kenji NAGAI *

水谷 四郎 (三重大学教育学部)

Shiro MIZUTANI *

矢部 京之助 (名古屋大学総合保健体育科学センター)

Kyonosuke YABE **

Abstract

Some reports on sex difference in physical fitness have been published by many investigators. These reports have pointed out that sex difference were found on some factors of physical fitness, but rarely on the function of nervous system. The purpose of this study is to investigate sex difference in the rate of appearance in premotion silent period (p. s. p.) which appears just before a rapid voluntary movement. Sixty-six healthy males and females ages 18-25 years were subjected to a series of experiment. Subjects were asked to exert muscle strength at 15 to 20% of their maximum elbow extension strength for two to five seconds. Then they were requested to extend their elbow joint responding to a flashing lamp as quickly as possible.

The EMG activities of triceps brachii and biceps brachii were recorded by bipolar surface electrodes. The three conditions of "complete p. s. p.", "incomplete p. s. p." and "without p. s. p." were identified from the EMG recordings. The force curve of elbow extension was simultaneously recorded using a resistance strain gauge transducer, and the mechanogram was analyzed on the following items: A) The time from the signal to the onset of force curve (premotor time), B) The time from the onset to the peak of force curve (motor time)

The following results were obtained:

- 1) The mean values of the rate of appearance in complete p. s. p. were 37.7% in male and 31.7% in female on the right elbow extension, and 32.4% and 28.0% on the left elbow extension, respectively. No significant sex difference was found.
- 2) The mean values of the rate of appearance in total p. s. p. (complete p. s. p. + incomplete p. s. p.) were 57.4% in male and 51.8% in female on the right elbow extension, and 52.3% and 51.2% on the left elbow extension, respectively. No significant sex difference was

found.

- 3) The mean values of the premotor time were 199msec in male and 200msec in female on the right elbow extension, and 203msec and 208msec on the left elbow extension, respectively. No significant sex difference was found.
- 4) The mean values of the motor time were 107msec in male and 125msec in female on the right elbow extension, and 110msec and 134msec on the left elbow extension, respectively. Significant sex difference was found at a level of 1% on each elbow extension.

The fact that no sex difference was observed on the rate of appearance in premotion silent period and on the premotor time would suggest that there are no sex difference on such a function of the nervous system.

※ Faculty of Education, Mie University

※※ Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

研究目的

近年、女性のスポーツを実施する機会は、著しく増加する傾向にある。しかし、男性の体力は女性のそれよりも勝れており、一般的には男女差があるものと認識されている。まず、形態についてみると、女性の身長は、男性の約90%であるが、身長に対する上肢長・下肢長の相対的比率には男女差のないことが明らかにされている¹⁷⁾。また、機能面について観察すると、最大筋力では女性は男性の50~60%であるが¹⁰⁾¹¹⁾¹⁶⁾、単位筋断面積当りの筋力は性に関係なく約6.4kg/cm²であることが報告されている⁷⁾。腕屈曲運動の最大パワーでは、女性は男性の42.9%であるが、無負荷条件下での腕屈曲の最大短縮速度は、筋長あたりに換算すると殆んど性差がなくなることが知られている¹²⁾。筋持久力の絶対負荷では、最大筋力との間に有意な相関があることから、男女差のあることが推察される¹⁹⁾。しかし、最大筋力の1/2の負荷で60回/分のテンポを用いた上腕の動的筋持久力は、性に関係なくほぼ60回であり、性差が認められないとしている⁸⁾。呼吸・循環器系の指標となる最大酸素摂取量の性比は約60%、体重当りに換算しても65~70%の性差があるが²⁷⁾、除脂肪体重当りの最大酸素摂取量では成人男女の値はほぼ等しくなるといわれている⁵⁾。さらに、神経系の指標である全身反応時間では、高校2年生頃から女性が遅延する傾向のあることが指摘されている²⁷⁾。しかし、体重を用いない単純反応時間については性差のないことが報告されている¹⁾。このように一般的には男女差があると考えられている行動体力の各要素は、種々の条件を除去し、詳細な検討を加えると、男女差の消失するものが多い。

一方、主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から急速に反応動作をおこすと、動作に先行して主動筋に一過性の筋放電の休止期が出現する²¹⁾⁴⁾⁹⁾¹⁴⁾²⁰⁾²²⁾²³⁾²⁶⁾。筆者ら²⁰⁾は、動作前 silent period 出現率と運動部経験年数との関係について観察し、運動部経験年数が長期化するに従って、動作前 silent period 出現率が増加することを報告してきた。しかし、この動作前 silent period 出現率における男女差をとり扱った報告は、これまでにみうけられていない。

そこで本研究は、光刺激に対して肘関節を伸展させる単純反応動作を用いて、動作開始時間、動作時間および動作前 silent period 出現率を手掛りとして、単純反応動作時における神経系の機能における男女差を比較・検討することをその目的とした。

実験方法

実験方法ならびに実験手順については、前報告に準じて実施した²⁰⁾²¹⁾。

筋電図の分析は、これまで報告されているように、肘関節伸展動作時の同期性放電 (phasic discharge) に先行して①持続的な筋放電 (tonic discharge) が一定期間完全に消失するもの (complete premotion silent period 以下 complete p. s. p. と略す)、②持続的な筋放電が消失に至らないまでも減少傾向にあるもの (incomplete premotion silent period 以下 incomplete p. s. p. と略す)、③持続的な筋放電から直ちに同期性放電へ移行し、切り換え時に何の変化も観察されないもの (without premotion silent period 以下 without p. s. p. と略す) に分類した²⁴⁾²⁵⁾。結果の処理にあたっては、各被検者の20試行中に出現する complete p. s. p., incomplete p. s. p. および両者を加えた total p. s. p. の出現率

を算出した。

力曲線の分析は、①光刺激から力曲線の立ち上がりまでの時間（動作開始時間）と、②力曲線の立ち上がりからその頂点までの時間（動作時間）にかけて分析した²¹⁾。

被検者は、18～25才までの右利きの健康な男女大学生、各々33名、合計66名である。なお、運動部所属年数によって動作前 silent period 出現率が異なることから²⁰⁾、男女とも非運動部所属者4名、中学校・高等学校・大学のいずれかで運動部に所属していた者4名、中学校と高等学校・中学校と大学・高等学校と大学のいずれかで運動部に所属していた者8名、中学から大学まで連続して運動部に所属していた者17名を抽出し、各運動部所属者群における男女の被検者数を同数にした。

実験結果

1. 動作前 silent period の出現率について

右肘関節伸展動作時の動作前 silent period 出現率の平均値を図1に示した。各出現率の平均値は、complete p. s. p. 試行で男子37.7% (S. D. 27.93%)、女子31.7% (S. D. 29.01%)、incomplete p. s. p. 試行で男子19.5% (S. D. 10.26%)、女子21.5% (S. D. 12.34%)、total p. s. p. 試行で男子57.4% (S. D. 27.59%)、女子51.8% (S. D. 30.20%)であった。男女間の p. s. p. 出現率を比較すると、いずれの試行においても有意な差はみとめられなかった。

右肘関節伸展動作時の p. s. p. 出現率の分布を図

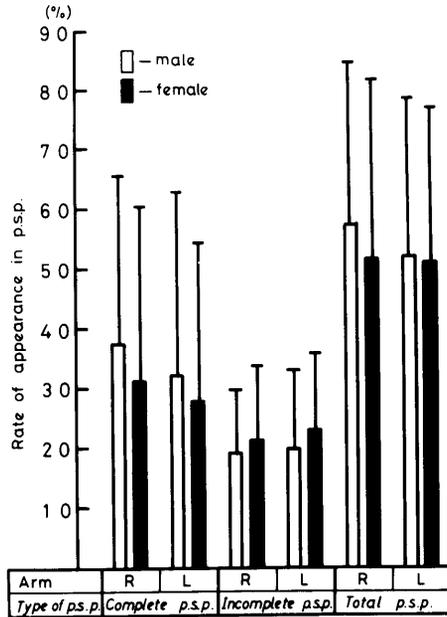


Fig. 1 The rate of appearance in p.s.p. for male and female.

R: right elbow extension
L: left elbow extension

2に示した。complete p. s. p. 出現率の分布は、男女とも全く出現しない者（男子2名、女子4名）から全試行に出現する者（男子1名、女子0名）まで幅広く分布しており、その出現率の最頻値は、男子で21～30%、女子で1～10%であり、出現率が高くなるに従って被検者数は減少する傾向を示した。

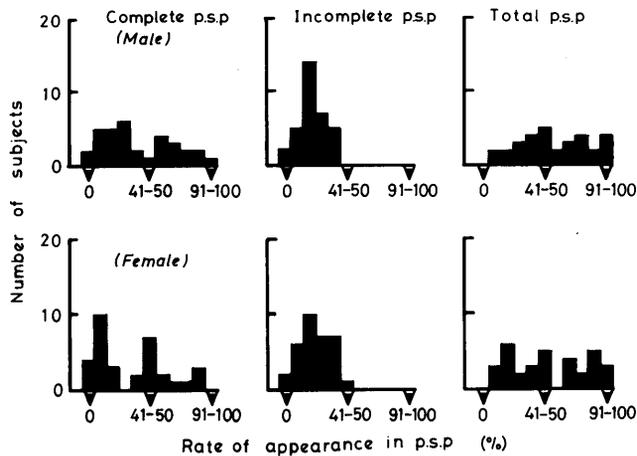


Fig. 2 Distribution of the rate of appearance in p.s.p. prior to right elbow extension.

一方、incomplete p. s. p. 出現率の分布は、男子で0~40%、女子で0~50%の範囲に存在し、その出現率の最頻値は、男女とも11~20%であった。さらに、total p. s. p. 出現率の分布は、全く出現しない者が男女とも存在せず、それぞれ1~100%の範囲に分布しており、その出現率の最頻値は、男子で41~50%、女子で11~20%であった。

一方、左肘関節伸展動作時に出現する p. s. p. 出

現率の平均値は、complete p. s. p. 試行で男子32.4% (S. D. 30.34%)、女子28.0% (S. D. 26.10%)、incomplete p. s. p. 試行で男子20.0% (S. D. 13.05%)、女子23.2% (S. D. 12.80%)、total p. s. p. 試行で男子52.3% (S. D. 26.49%)、女子51.2% (S. D. 26.13%)であった(図1)。男女間の p. s. p. 出現率を比較すると、いずれの試行においても有意な差はみとめられなかった。

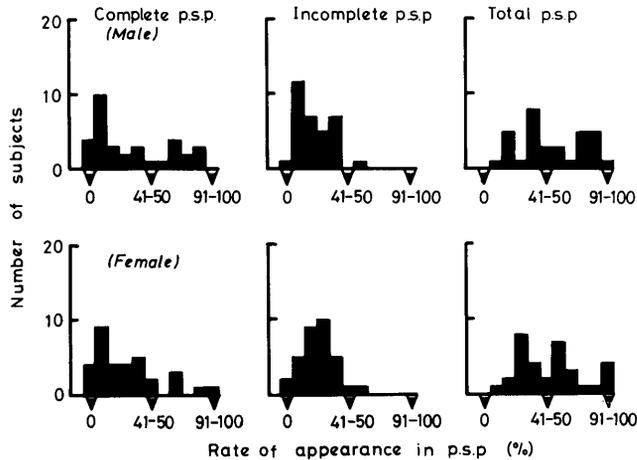


Fig. 3 Distribution of the rate of appearance in p.s.p. prior to left elbow extension.

左肘関節伸展動作時の p. s. p. 出現率の分布は、図3に示したように右肘関節伸展動作時と類似した分布傾向にあった。complete p. s. p. 出現率の分布は、男女とも全く出現しない者(男子4名、女子4名)まで幅広く分布しており、その出現率の最頻値は、男女とも1~10%であり、出現率が高くなるに従って被検者数は減少する傾向を示した。一方、incomplete p. s. p. 出現率の分布は、男女とも0~60%の範囲に存在し、その出現率の最頻値は、男子で1~10%、女子で21~30%であった。さらに、total p. s. p. 出現率の分布は、全く出現しない者が男女とも存在せず、それぞれ1~100%の範囲に分布しており、その出現率の最頻値は、男子で31~40%、女子で21~30%であった。

2. 動作開始時間について

右肘関節伸展動作時の動作開始時間の平均値についてみると(図4)、complete p. s. p. 試行では、男子216msec (S. D. 48.7msec)、女子213msec (S. D. 56.0msec)、incomplete p. s. p. 試行では男子

195msec (S. D. 43.3msec)、女子195msec (S. D. 43.0msec)、without p. s. p. 試行では男子188msec (S. D. 42.1msec)、女子203msec (S. D. 62.1msec)、全試行の平均値では、男子199msec (S. D. 45.3msec)、女子200msec (S. D. 43.5msec)であった。それぞれの動作開始時間について男女間の比較をみると、いずれの試行においても有意な差は認められなかった。

一方、左肘関節伸展動作時の動作開始時間の平均値についてみると(図4)、complete p. s. p. 試行では男子230msec (S. D. 67.3msec)、女子217msec (S. D. 57.9msec)、incomplete p. s. p. 試行では男子202msec (S. D. 54.7msec)、女子207msec (S. D. 57.8msec)、without p. s. p. 試行では男子201msec (S. D. 81.8msec)、女子207msec (S. D. 75.2msec)、全試行では男子203msec (S. D. 53.2msec)、女子208msec (S. D. 47.5msec)であった。それぞれの動作開始時間について男女間の比較をみると、いずれの試行においても有意な差は認められなかった。

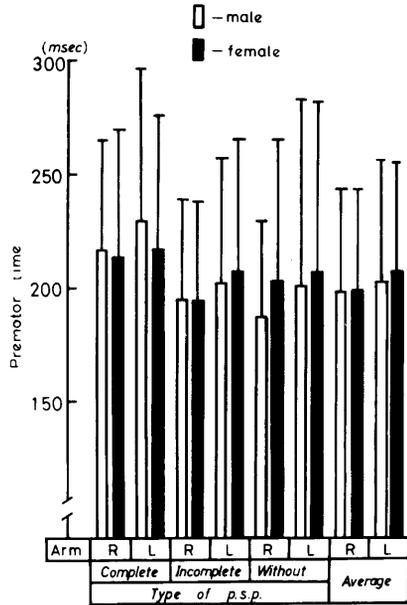


Fig. 4 Premotor time for male and female
R: right elbow extension
L: left elbow extension

3. 動作時間について

右肘関節伸展動作時の動作時間の平均値についてみると(図5)、complete p. s. p. 試行では、男子108msec (S. D. 34.1msec)、女子114msec (S. D. 28.0msec)、incomplete p. s. p. 試行では男子107 msec (S. D. 23.9msec)、女子128msec (S. D. 29.7msec)、without p. s. p. 試行では男子114msec (S. D. 31.0msec)、女子129msec (S. D. 28.7msec)、全試行では男子107msec (S. D. 26.7msec)、女子125 msec (S. D. 26.0msec) であり、いずれの試行においても男子よりも女子の方が遅延した。それぞれの動作時間について男女間の比較をすると、incomplete p. s. p. 試行と全試行の平均値において1%水準で有意な差がみとめられた。

一方、左肘関節伸展動作時の動作時間の平均値についてみると(図5)、complete p. s. p. 試行では男子111msec (S. D. 28.4msec)、女子130msec (S. D. 30.0msec)、incomplete p. s. p. 試行では男子112msec (S. D. 27.1msec)、女子134msec (S. D. 30.4msec)、without p. s. p. 試行では男子114msec (S. D. 29.4msec)、女子145msec (S. D. 45.5msec)、全試行では男子110msec (S. D. 25.3msec)、女子134 msec (S. D. 32.5msec) であり、右肘関節伸展動作と同様、いずれの試行においても男子よりも女子の

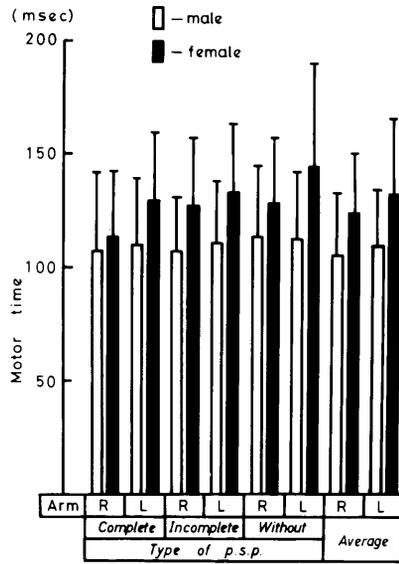


Fig. 5 Motor time for male and female.
R: right elbow extension
L: left elbow extension

方が遅延した。それぞれの動作時間について男女間の比較をすると、complete p. s. p. 試行では5%水準、他の試行ではいずれも1%水準で有意な差が認められた。

論 議

体力に関する男女差についての報告は、これまでに数多くなされてきている。筋力・筋パワー、筋持久力、全身持久力、敏捷性などの行動体力の諸機能は、絶対値を比較した場合、いずれも男性の方が女性よりもすぐれた結果を示している²⁷⁾。しかし、このような男女差の認められる行動体力の各要素も種々の条件を除去し、相対的な観点から詳細に検討を加えてみると、男女差の消失するものが多い²⁷⁾。従って、これらの性差は、質的な差異に基くものではなく、主として量的な要因に依存するものといえよう。

本実験は、光刺激に対して肘関節を伸展させる単純反応動作を用いて、動作開始時間、動作時間、および動作前 silent period 出現率を手掛りとして、神経系の機能における男女差を比較・検討しようとした。

本実験の時間的要因である動作開始時間についてみると、いずれの試行条件においても有意な男女差は認められなかった。これに関して、藤本²⁾は、刺激に対して電鍵を押すという殆んど筋力を必要としな

い単純反応時間では男女差のないことを明らかにしている。本実験も先の報告と同様体重移動をとまわらない肘関節伸展動作を用いた単純反応時間であることから、一致した結果を得たものと思われる。なお、このことは、刺激が中枢神経系を介して末梢神経に伝わる刺激伝達時間に性差のないことを示唆している。

一方、本実験の動作時間は、いずれの試行条件においても男性は女性より短縮する傾向にあり、統計的に有意な差の認められる試行条件が多くなった。このことについて、猪飼⁶⁾らは、全身反応時間を反応開始時間と筋収縮時間に分離して測定した結果、高校2年生からは両所要時間ともに女性の遅延傾向がみられ、全身反応時間に男女差の出現することを報告している²⁷⁾。また、全身反応時間の遅延は、神経系の機能を示す動作開始時間よりも筋の収縮能力をあらわす筋収縮時間に主たる要因があるとしている⁶⁾。本実験の動作時間は、先の報告の筋収縮時間に相当していることから、一致した結果を示したものと思われる。さらに、腕屈曲動作時の女性の筋パワーは、男性の42.9%であると報告されている¹²⁾。本実験で用いた反応動作は、isometricによる肘関節伸展動作であり、この報告とは筋収縮様式、動作とも異なっているが、筋パワーの男女差が動作時間の遅延に大きく影響していることが推察できる。

一方、主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から急速に反応動作をおこすと、動作に先行して主動筋に一過性の筋放電の休止期が出現する²¹⁾⁴⁾⁹⁾¹⁴⁾²⁰⁾²²⁾²³⁾²⁶⁾。この動作前 silent period 出現率の男女差に注目した報告は、これまでにみつけられていない。本実験は、動作前 silent period 出現率を手掛りとして、神経系の関与する空間的要因の男女差を比較しようとした。この結果、いずれの試行条件においても男女とも類似した分布傾向を示し、両者の間には統計的に有意な差がなく、動作前 silent period 出現率における男女差は認められなかった。この点について、河崎¹³⁾は、10秒間の母指のタッピング回数が各年齢を通じて性差が認められないと報告しており、これは、筋収縮の切り換え時間に男女差のないことを示唆している。一方、動作前 silent period の発現機構は、alpha-gamma linkage で行われている静的な準備姿勢から急激に alpha 運動経路のみの筋収縮に移行する神経系の切り換えに関与するものであり³⁾、このような切り換え動作は、本来男女差の出現しないもののように思われる。また、調整力について、小野¹⁸⁾は、握力計を用いて最大筋力の $\frac{1}{2}$ の筋力を発揮させる正

確度には、20才以前では男女差がなく、21~24才では男性の方が正確であり、その性比は80%であると報告している。宮原¹⁵⁾は、4種のテンポの再生能力を比較した結果、性差のないことを報告している。乳幼児の上肢屈伸動作を対象とした Gatev²⁾の報告によると、発育とともに動作に先行する silent period の出現がみられることから、彼は、動作における抑制現象が、動作の発達過程の協調性を知る手掛りになると結論づけている。筆者ら²⁰⁾は、動作前 silent period 出現率が運動部経験が長期化するに従って増加することを報告し、Gatev²⁾の結果を支持している。従ってこのような調整力・協調性などの神経系の関与する機能については、筋系、呼吸器系、循環器系などの機能に比較して、特に男女差が少なく²⁷⁾、動作前 silent period の出現率についても男女差がみとめられなかったものと考えられる。

要 約

主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から急速に反応動作をおこすと、動作に先行して主動筋に silent period が出現する。本実験は、肘関節伸展動作を用いて、この動作前 silent period 出現率および動作開始時間・動作時間における男女差の有無を究明しようとした。被検者は、健康な18~25才までの男女大学生、各々33名、合計66名である。本実験結果は、次のようである。

1) P. S. P. 出現率について

a. 右肘関節伸展動作時に出現する p. s. p. 出現率は、complete p. s. p. 試行で男子37.7% (S. D. 27.93%)、女子31.7% (S. D. 29.01%)、incomplete p. s. p. 試行で男子19.5% (S. D. 10.26%)、女子21.5% (S. D. 12.34%)、total p. s. p. 試行で男子57.4% (S. D. 27.59%)、女子51.8% (S. D. 30.20%)であり、いずれの試行においても男女間に有意な差はみとめられなかった。

b. 左肘関節伸展動作時に出現する p. s. p. 出現率は、complete p. s. p. 試行で男子32.4% (S. D. 30.34%)、女子28.0% (S. D. 26.10%)、incomplete p. s. p. 試行で男子20.0% (S. D. 13.05%)、女子23.2% (S. D. 12.80%)、total p. s. p. 試行で男子52.3% (S. D. 26.49%)、女子51.2% (S. D. 26.13%)であり、いずれの試行においても男女間に有意な差はみとめられなかった。

2) 出現率の分布について

a. complete p. s. p. 出現率は、男女とも0~100%まで幅広く分布し、出現率が高くなるにしたがっ

て被検者数が減少する傾向を示した。

b. incomplete p. s. p. 出現率は、男女とも0～60%の範囲に分布していた。

c. total p. s. p. 出現率は、男女とも1～100%の範囲に分布し、最頻値はcomplete p. s. p. に比較して高くなった。

3) 右肘関節伸展動作時における全試行の動作開始時間の平均値は、男子199msec (S. D. 45.3msec)、女子200msec (S. D. 43.5msec) であり、左肘関節伸展動作時のそれは、男子203msec (S. D. 53.2msec)、女子208msec (S. D. 47.5msec) であり、男女間にはいずれも有意な差は認められなかった。

4) 右肘関節伸展動作時における全試行の動作時間の平均値は、男子107msec (S. D. 26.7msec)、女子125msec (S. D. 26.0msec) であり、左肘関節伸展動作時のそれは、男子110msec (S. D. 25.3msec)、女子134msec (S. D. 32.5msec) であり、男女間にはいずれも1%水準で有意な差が認められた。

これらの結果は、tonic discharge から phasic discharge へ移行する切り換え機構である動作前silent period 出現率や刺激伝達時間である動作開始時間のような神経系の機能においては男女差のないことを示唆している。

引用・参考文献

- 1) 藤本佐賀枝「日本人諸機能の発育に関する研究」民族衛生, 22: 6-29, 1955.
- 2) Gatev, V., "Role of inhibition in the development of motor co-ordination in early childhood," Med. Child Neurol., 14: 336-41, 1972.
- 3) Granit, R., The basis of motor control, Academic Press: London, 1970. Pp. 346.
- 4) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理誌, 17: 292-98, 1955.
- 5) 猪飼道夫「日本人の有酸素的作業能力に関する研究」JIBP/HA-Working Capacity, 1-9, 1969.
- 6) 猪飼道夫・浅見高明・芝山秀太郎「全身反応時間の測定とその応用」OLYMPIA, 7: 154-65, 1961.
- 7) Ikai, M. and Fukunaga, T. "Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement." Int. z. angew. Physiol. einsch. Arbeits Physiol., 26: 26-32, 1968.
- 8) 猪飼道夫・石井喜八・中村淳子「血流量から見た筋持久力 その2筋持久力の測定」体育の科学, 15: 281-87, 1965.
- 9) 猪飼道夫・矢部京之助・山本高志・川初清典・渡部和彦・手塚政孝「随意動作に先行する Silent period の発現機構」体育学研究, 18: 127-33, 1974.
- 10) 石河利寛「腕立伏臥腕屈伸運動の研究」体育学研究, 509-15, 1954.
- 11) Kaneko, M. "The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle." Res. J. Phys. Ed., 14: 143-47, 1970.
- 12) 金子公宥, 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミックス, 杏林書院, 1974. Pp. 169.
- 13) 河崎英武「成長期に於ける急速反復運動能力に関する調査研究」民族衛生, 12: 290-302, 1944.
- 14) 三田勝己・青木久・矢部京之助「随意動作に先行する Silent period の出現と静的準備状態との関係」医用電子と生体工学, 16: 390-95, 1978.
- 15) 宮原富喜子「リズム感覚の研究」日本女子体育大学紀要, II: 65-72, 1969.
- 16) 水谷四郎・奥田博・脇田裕久「日本人の肘関節屈筋力の発達」体育学研究, 17: 277-86, 1973.
- 17) 西成甫「日本人標準体格調査報告」解剖学雑誌, 27: 53-63, 1952.
- 18) 小野三嗣, 女子の運動生理学的特性, トレーナー一教本1級, 日本体育協会, 1970, p. 64
- 19) Start, K. B. and Graham, J. S. "Relationship between the relative and absolute isometric endurance of an isolated muscle group." Res. Quart., 35: 193-204, 1964.
- 20) 脇田裕久・水谷四郎・東海政義・三田勝己・青木久・矢部京之助「随意動作に先行する Silent period の出現率について」体育学研究, 24: 227-36, 1979.
- 21) 脇田裕久・長井健二・八木規夫・矢部京之助「反応動作におよぼす動作前 Silent period の影響」体育学研究, 26: 119-28, 1981.
- 22) Yabe, K., "Premotion silent period in rapid voluntary movement," J. Appl. Physiol., 41: 470-73, 1976.
- 23) Yabe, K., "Electromyographic silent period preceding a rapid voluntary movement," in Komi, P. V. (Ed.), Biomechanics V-A, Univ. Park Press: Baltimore, 1976, pp. 75-81
- 24) 矢部京之助・三田勝己・青木久「筋電図の定量化への試み(1) 筋電図信号処理方法の概要」体育の科学, 26: 264-69, 1976.
- 25) 矢部京之助・三田勝己・青木久「筋電図の定量化への試み(2) 移動平均法, 零交叉法による筋電図信号の解析」体育の科学26: 454-60, 1976.
- 26) 矢部京之助・村地俊二「随意動作に先行する

Silent period の役割」日本生理誌, 37: 91-98,
1975。

- 27) 山川純「女性の体力」, 石河利寛・松井秀治(編),
スポーツ医学, 杏林書院, 1978, pp. 163-75。