KYONOSUKE YABE: Maximum Strength and Fatigue

最大筋力と疲労

東京大学 矢 部 京 之 助

I 緒 言

A. Mosso⁷⁾ は、人の筋疲労を客観的な作業量の低下として測定できる装置(エルゴメーターと命名した)を考案した。彼は、指エルゴメーター作業放棄後に、皮膚の上から電気刺激を加えると、大脳の興奮水準と無関係な作業が再びつづけられることを見出した。C. Reid⁸⁾ もまた、同じ方法を用いて、A. Mossoと同様に、疲労のおこる部位は中枢であると報告している。R. S. Schwab¹⁰⁾ は、暗示を受けやすい神経症患者にコカインを嚙ませると、作業量は増大するが、電気刺激による作業ではコカインの影響を受けないことを確かめた。さらに、健康人でも動機づけの程度によつて作業量が変化することから、作業量の決定は中枢神経系にあると報告している。

Ikai & Steinhaus⁵⁾ と猪飼⁹⁾ は、解剖学的構造およびこれに由来する生理学的条件と、大脳皮質や中枢神経系の活動水準によつて規定される体力やその他の能力の上限を、それぞれ生理的限界、心理的限界となづけた。報告によれば、音や催眠によつて最大筋力が増大することを認めている。そして、最大筋力の増大は、大脳に存在する抑制を解放することによるものであらうと考察している。この研究は、心理的限界を高めることによつて、発揮される能力が生理的限界に近づくことを示唆するものである。また、猪飼・石井³⁾ は、

筋電図学的にこれを明らかにしている。

一方、P.A. Merton⁶⁾, K. Naess ら²⁾ は、最大努力による筋力と電気刺激による最大筋力とが同じ値をしめすこと、および、血流を阻止しても神経衝撃は減少しないにもかかわらず筋力が低下することなどから、疲労は末梢におこると結論づけている。彼の実験条件では、心理的限界と生理的限界が等しかつたことを意味するものである。

本研究は、電気刺激を用いることによつて意志と無関係なかたちで、筋の発生する力の最大値と、一定負荷による指エルゴメーター作業量の最大値を知り、意志による最大作業能力の構造を明らかにしようとするものであり、さらに、トレーニングによつて、両者の関係がどのように変化するかを確かめることを企てた。

II 実験方法

(1) 指エルゴメーターの設計と作成

指エルゴメーターは、第1図にしめすように、2本の木製支柱間に取りつけた滑車を介して、母指の内転運動によるおもりの持ちあげ作業を行うようにした。滑車を固定した位置は、母指を内転する方向と同一直線上に滑車の上へりがくるようにした。さらに、その直線上に筋力測定用のストレインゲージを貼布した鉄棒を支柱に取りつけた。

図 1. 測定装置

右手の母指と母指球を除いた前腕全体を石膏で固定し、右前腕を回外位にして肘掛け椅子に固定した。

E.S.: 電気刺激装置, G.E.S.: 群刺激装置
ISOL: アイソレーター, W: おもり

带状真鍮を環状にして右手母指の基節骨にはめ、その一端におもりをつるすスチールワイヤーを結びつけた。さらに、中央部に穴(直径 10mm)をあけた木製棒を支柱の被検者側に固定し、その穴にスチールワイヤーを通して母指を内転する運動の方向を規定した。したがって、被検者の姿勢あるいは、測定装置を換えることなく最大筋力測定とエルゴメーター作業量の測定を行うことができる。

本実験では、エルゴメーター作業によるおもりの持ち上げ距離を 1.5cm に規定した。また、拮抗抵抗を用いてスチールワイヤーの移動距離を指標としたおもりの持ち上げ距離と、一回の作業時間を記録できるようにした。さらに、作業休止期には、おもりが母指に対して無負荷の状態になるようにした。

(2) 最大筋力測定

皮膚の上から肘部の尺骨神経に電気刺激を加えても、右手母指を内転する筋力だけが測定できるように、母指と母指球を除いた右前腕全体を薬用焼石膏で固定した。被検者は、石膏で固定された前腕を回外位にした姿勢で肘掛け椅子にすわり、石膏全体を布製ベルトで肘掛け椅子に固定した。

母指を内転する筋力は、ストレインゲージ筋力計を用いてペン書きオシログラフに記録した。

a) 最大努力による筋力

電気刺激によっておこる母指を内転する運動と同一動作を意志によっておこない、最大努力による筋力を測定した。

b) 電気刺激による筋力

刺激用電極(直径 10mm のゴム枠銀板製)は、肘部の尺骨神経の皮膚上に心電図用電気糊をつけて置き、絆創膏とゴムバンドで接着した。不関電極(50×60mm の純銅板製)は、皮膚との接着をよくするために心電図用電気糊をしみ込ませた包帯で包み、上腕に絆創膏で接着した。刺激電極と不関電極をそれぞれ電気刺激装置の陰極側と陽極側に接続した。本実験では、三栄測器株式会社製電気刺激装置(ES-103 型)を使用した。なお、刺激の通電時間の規定には群刺激装置を用いた。

第 2 図は、刺激周波数を 50cps、持続時間を 5msec にしたまま、刺激電圧だけを変化させて得たものである。刺激電圧が高まるにしたがつて誘発された筋力も増大している。各被検者とも 50~60V で最大値をしめした。第 3 図は、刺激電圧を 50V、持続時間を 5msec にしたままで刺激周波数だけを変化させて得た値である。20cps に急激な筋力増大がみられ、40~50cps から 100cps まではほぼ同じ値をしめしている。この傾向は刺激電圧と無関係にみられた。

以上のことから、電気刺激の強さの調節には、刺激電圧を変化させることが最も容易で

図 2. 刺激電圧と電気刺激による筋力の関係
横軸は刺激電圧，縦軸は筋力，(V)は最大努力による筋力

図 3. 刺激周波数と電気刺激による筋力の関係
横軸は刺激周波数，縦軸は筋力，(V)は最大努力による筋力

あり，また，有効であることがわかった。したがって，本実験では，刺激周波数を 50cps，持続時間を 5msec に固定したまま，刺激電圧を変化させることによって筋力刺激の強弱をかえた。なお，電気刺激の通電時間は 0.5～1.0 sec にした。

(3) 筋電図

本実験を通して表面電極導出法による筋電図を記録した。皮膚の動きに同期し，シリコン棒銀板製電極を右手母指と人差し指の中間部に接着し，また，前腕を右肩で固定するときに障害にならないような円盤状銀板電極を母指球に接着して活動電位を導出した。

被検者は，23～28 才の健康な成人男子 5 名であり，そのうち 3 名について心肺モニター作業のトレーニングを行った。

III 結 果

(1) 最大筋力の上限

a) 最大筋力について

第 1 表は，最大努力による筋力と電気刺激による最大筋力の個人の平均値をしめしている。5 人の平均値は，最大努力による筋力が 12.8kg (S.D.=1.4kg)，電気刺激による最大筋力が 16.3kg (S.D.=1.2kg) である。各被検者とも電気刺激による最大筋力の方が最大努力による筋力よりも大きい値をしめた。また，各被検者とも刺激電圧を 50～60V，刺激周波数を 50cps，持続時間を 5msec にしたときに電気刺激による筋力は最大値をしめた。なお，電気刺激の通電時間は 0.5～1.0sec にした。

第 4 図は，電気刺激による最大筋力を 100%にした時の最大努力による筋力のしめる割合をしめたもので，その平均値は 78% である。

b) 最大努力中の電気刺激による収縮

最大努力による筋力発揮中 (15.6kg) に 15.6kg の筋力をひき出すように調節した電気刺激を重り合わせると，重り合つた筋力は 18.8kg に増大した (第 5 図)。さらに，最大

体 育 学 研 究

Table 1 Maximum Strength Induced by Voluntary Contraction and Electric Stimulation

	K. Asano	A. Horii	M. Miyamura	M. Shindo	S. Taguchi
	mean $\pm$ SD	mean $\pm$ SD	mean $\pm$ SD	mean $\pm$ SD	mean $\pm$ SD
Voluntary (V) contraction	kg 15.5 $\pm$ 2.1	kg 11.6 $\pm$ 1.3	kg 15.4 $\pm$ 1.3	kg 10.5 $\pm$ 1.0	kg 10.8 $\pm$ 1.1
Electric (E) stimulation	17.8 $\pm$ 1.8	15.2 $\pm$ 1.3	19.1 $\pm$ 1.5	13.3 $\pm$ 0.4	16.0 $\pm$ 0.8
E/V $\times$ 100	114%	131%	124%	127%	149%
V/E $\times$ 100	88	76	81	79	63

図 4. 最大努力による筋力と電気刺激による最大筋力との比較

横軸は被検者名、縦軸は筋力、実線は最大努力による筋力、破線は電気刺激による最大筋力、パーセントでしめす数値は電気刺激による最大筋力を100%にしたときの最大努力による筋力のしめる割合

の強さの電気刺激を加えた場合にも筋力増大はみられた。

・(2) 最大筋作業量の上限

- a) 筋持久力——最大筋力による作業
1秒に1回の割合で、最大努力による筋力

図 5. 最大努力中の電気刺激による収縮

最大努力による筋力(V)と同じ値をひき出すように調節した電気刺激(E)(38V, 50cps, 5msec.)を最大努力中に重り合わせた。

上から順に筋力曲線、筋電図、通電時間、時標(0.1sec)

を発揮すると、筋力は次第に低下し、M.M.では78~113回で作業放棄をした。作業放棄をした直後から電気刺激を加えると、電気刺激による筋力が得られた。M.M.では、作業放棄直後の電気刺激による筋力は、作業開始前の電気刺激による筋力の44~51%の値であった。

第6図は、M.M.の実験例である。最大努力による筋力は、作業開始前が16.2kg、112回の作業放棄時が0.3kgであり、作業開始前の1.9%に減少した。作業放棄直後の電気刺激による筋力は、作業開始前の51%の値をしめし

図 6. 最大筋力による作業

1秒に1回の割合で、最大努力による筋力を作業放棄するまで發揮し、作業放棄直後からは電気刺激による筋力
上から順に、筋力曲線、筋電図、通電時間、時標 (1sec)

図 7. 最大下筋力による作業 (一定負荷による),

1秒に1回の割合で、最大努力による筋力の1/3のおもりを1.5cm持ちあげる作業を行い、作業放棄直後から同じリズムで電気刺激による作業を行う。
上から順に、おもりの持ちあがった距離、作業時間とその作業回数、筋電図、通電時間、時標 (0.1sec)

た。

b) 筋持久力——最大下筋力による作業 (一定負荷による)

1秒に1回の割合で、最大努力による筋力の1/3のおもりを負荷としたエルゴメーター作業を行つた。作業回数は、S.T. が69回、A.H.

が86回でそれぞれ作業放棄をした。作業放棄直後から同じリズムで電気刺激を加えると、意志とは無関係に S.T. が20回、A.H. が24回の電気刺激によるエルゴメーター作業を行うことができた。

第7図は A.H. の実験例であり、随意的作業回数が93回、作業放棄後の電気刺激による作業回数が25回であつた。

c) 筋持久力のトレーニング (一定負荷による)

1秒に1回の割合で、最大努力による筋力の1/3を負荷とする指エルゴメーター作業のトレーニングを9~12週間、日曜日を除いて毎日行つた。トレーニングによる随意的作業回数は、S.T. が242%, A.H. が192%, M.S. が173%に増大した。

作業放棄をした直後からの電気刺激による作業回数は、トレーニング開始前に S.T. が20回、A.H. が24回であつたのが、S.T. がトレーニング第2週で13回、A.H. が第3週で7回に減少した。そして、S.T. は第6, 9, 11週で24回、A.H. は第10週で25回に増大した。しかし、両者ともトレーニング第5~6週目からはあまり大きな変動をしめていない (第8図)。

1回のおもりの持ち上げ作業時の平均放電量 (1回作業の総放電量を1回作業に要した時間で割つたもの) は、作業が進むにしたがつて増

大し、作業放棄直前で最大に達した。作業放棄時の平均放電量は、トレーニング回数の増加とともに増大した (第9図)。

V 考 察

(1) 筋力発現の限界

体 育 学 研 究

図 8. 一定負荷による筋作業のトレーニング効果
横軸はトレーニング期間、縦軸は作業回数と最大努力による筋力、実線は随意的作業回数、破線は作業放棄後の電気刺激による作業回数、点破線は最大努力による筋力

図 9. 筋電図からみたトレーニング効果
横軸は作業回数、縦軸は1回作業の筋放電量を1回作業に要した時間で割った値、上から順に、トレーニング開始前、第5週、第9週、第12週

人が随意的に筋力を発揮する場合には、大脳の興奮水準と筋自体の生理的状态が重要な要因になっている。しかし、末梢神経に電気刺激を加えることによつて、大脳の興奮水準と無関係な筋収縮をおこすことができる。それ故、刺激が最も有効で、適当であるならば、筋のもつ最大能力（生理的限界）をひき出すことができると思われる。

手の母指を内転する筋力を最大努力によるものと電気刺激によるものとで比較すると、平均値で最大努力による筋力が $12.8 \pm 1.4 \text{ kg}$ ($M \pm S.D.$)、電気刺激による最大筋力が $16.3 \pm 1.2 \text{ kg}$ であった。この差は、い

わば「筋力予備」(Strength reserve) というべきものである。本実験と同様な母指を内転する筋力測定を行つた研究に P.A. Merton⁸⁾, K. Naess⁹⁾ らがある。最大努力による筋力についてみると、P.A. Mertonが約8kg, K. Naessらが10.5kgであり、本実験で得た12.8kgよりも低い値をしめしている。電気刺激による最大筋力についてみると、P.A. Mertonは約8kg, K. Naessらは最大努力によるよりも強い収縮を得ることができなかつたと、報告しているがどちらも本実験で得た16.3kgより低い値である。実験条件について本実験と P.A. Merton, K. Naess らとを比較してみると、電気刺激を加える部位に相違がみられる。すなわち、本実験では電気刺激を肘部の尺骨神経から加えたのに対して、P.A. Merton, K. Naess らは手首の尺骨神経から加えていることである。

本実験の電気刺激による最大筋力は、最大努力によるものの29%増大であり、意志による最大努力によるものでは、筋のもつている最大能力を発揮し得ないことになる。しかしながら、A. Mosso, C. Reid, P.A. Merton, K. Naess らの結果は、最大努力によつても筋

の最大能力を発揮することが可能であることを意味するものである。

しかし、最大努力によつて発揮された筋力が必ずしも、筋のもつ最大能力をしめすのではないことは Ikai & Steinhaus³¹⁾と猪飼・石井³²⁾の研究によつて確かめられている。Ikai & Steinhaus の報告によれば、催眠によつて 26.5% の筋力増大がみられたと述べている。これは、本実験で得た結果と比較して非常に近い値をしめすものである。また、猪飼・石井は、上腕屈曲筋の最大筋力を 2 秒に 1 回の割合で発揮させ、約 600 回で力尽きる作業を行なわせたとき、200 回、300 回で shout によつて最大筋力の増大したことを認めている。しかも、その値は、作業初期の水準を上回る値であると報告している。この最大筋力の増大について Ikai らは、大脳に存在する内制止を外制止によつて脱制止すること、いわば、心理的限界の上昇によるものであると考察している。本実験の成績は、最大努力による筋力が、大脳の興奮水準によつて規定され、筋のもつ最大能力はそれを上回るものという猪飼と Steinhaus の考えかたを支持するものである。

本実験では、皮膚の上から運動神経に電気刺激を加えて、電気刺激による筋収縮をおこした。皮膚の上から、運動神経に対して遠心性衝撃となる人工的衝撃を加えることは、同時に、知覚神経に対しても求心性衝撃を加える結果ともなる。本実験の電気刺激による筋収縮は、この両者によつて誘発された筋収縮を観察したものと考えることができる。

一般的に、筋力発揮の増大は、筋収縮に参加する運動単位の数の増加と、運動単位への神経衝撃頻度の増加によるとされている¹⁾。すでに実験方法のところでも述べたように、人の筋力を大きく増大させるためには、刺激周波数が 40~50cps 以上の場合にはその増加よりも、むしろ刺激電圧の増加による方が有効であつた。このことは、最大筋力の増大が神経衝撃の増加よりも、むしろ筋収縮に参加する運動

単位数の増加によるものであると考えることができる。最大努力によつて、すべての運動単位が筋収縮に参加しているならば、電気刺激を重ねても、あらたに筋収縮に参加する運動単位はないものと考えられる。しかし、第 5 図にみられるように、最大努力中に電気刺激を重り合わせると、重り合っている時だけに筋力増大がみられた。すなわち、最大努力による場合、すべての運動単位が筋収縮に参加するのではなく、参加数に余裕を残しているものと考えることができる。

(2) トレーニングによる最大筋作業能力の変化

指エルゴメーター作業で、作業放棄をした直後から電気刺激を加えることによつて、作業放棄時の筋にまだ残されている作業能力はほぼ完全に発揮されることができると考えることができる。したがつて、随意的作業回数と作業放棄後の電気刺激による作業回数の総数は、筋作業の生理的限界をしめすことになる。このような観点からトレーニング結果をみると、S.T., A.H. の作業回数の総数は、トレーニング第 3~4 週まで著しい増加をしめしている。しかし、その後第 12 週までの増加はそれに比較してゆるやかであり、A.H. ではほとんど増加をしめしていない。したがつて、筋作業に対する筋の生理的限界は、トレーニング第 3~4 週までに著しく増加し、それ以後はあまり増加しないものと考えることができる。

作業放棄後の電気刺激による作業回数は、いわば「筋力予備」というべきものであり、筋作業の心理的限界の水準、いかえれば、作業放棄時の筋における生理的狀態を推定するものである。作業放棄後の電気刺激による作業回数は、S.T., A.H. とともにトレーニング第 3~4 週まで、徐々に減少をしめし、それ以後はトレーニング開始前とほぼ同じ回数をしめしている。この作業回数の減少は、いわゆる「がんばり」をきかせて筋作業を行つたために作業放棄時の「筋力予備」の余裕が少な

くなつたものであると考えられる。すなわち、心理的限界の上昇をしめすものである。

作業回数の総数を100として、随意的作業回数のしめる割合をみると、トレーニング開始前、S.T.、A.H. はともに78%で最も低く、トレーニング第3～4週でS.T. が91%、A.H. が95%に上昇している。しかし、それ以後トレーニングをつづけても、両者ともに86～87%に減少したままであつた。

以上のことから、トレーニング第3～4週までに筋作業の生理的限界、心理的限界の上昇がみられ、その後12週間のトレーニングをつづけても、両者の上昇は少ないものとみることができる。

トレーニングによる筋持久力の増加のメカニズムについて、猪飼・石井・中村⁴⁾は、血流量が重要な要因であるとしている。報告によれば、12才男子で前腕の筋持久力のトレーニングをした場合、3週間で血流量の増加がみられ、その後も増加すると述べている。トレーニングによる血流量の増加は、筋の生理的限界を高める一つの重要な要因である。したがって、血流量がトレーニング初期に著しく増加し、やがてプラトーになるという猪飼らの結果は、本研究の生理的限界の上昇を説明する一つの手がかりになると考えられる。

トレーニングによる心理的限界の変化については、猪飼・石井・中村⁴⁾の筋電図やG.S.R.を用いた結果が報告されている。それによると、12週間のトレーニングを通して、いわゆる「がんばり」による作業回数の増加は6週間後に著しいと述べている。本実験でも、心理的限界の上昇はみられたが、それはトレーニング初期にだけ著明であつた。

VI 要 約

1) 同一装置で右手母指を内転する筋力測定と、おもりの持ち上げ作業を行えるエルゴメーターを作成した。

2) 最大努力による筋力の平均値 (N=5)

は $12.8 \pm 14. \text{kg}$ (M $\pm$ S.D.)、電気刺激による最大筋力は $16.3 \pm 1.2 \text{kg}$ であつた。この差を「筋力予備」となづけた。

3) 最大努力による筋力を発揮する場合に、すべての運動単位は筋収縮に参加していない。

4) 1秒に1回の割合で、最大努力による筋力を発揮し、作業放棄をした後から電気刺激を加えると、作業開始前の44～51%の筋力が得られた。すなわち、生理的にはこれだけの余裕を残して作業放棄をしていることである。

5) 一定負荷による指エルゴメーター作業を意志によつて作業放棄をするまで行い、さらに、作業放棄をした直後から電気刺激を加えると、電気刺激による作業を行うことができた。

6) 23～27才の男子3名について、9～12週間の指エルゴメーター作業のトレーニングを行つた結果、随意的作業回数は173～242%に増大した。S.T. と A.H. の作業放棄後の電気刺激による作業回数は、トレーニング第5～6週以後から著しい変動をしめしていない。

7) トレーニング第3～4週までに、筋作業の生理的限界と心理的限界は上昇をしめすが、それ以後の上昇は少ない。

本研究は、猪飼道夫教授の懇切な御指導、御校閲と、石井喜八、中村淳子両氏をはじめとする東大体育学研究室諸氏の御助力によつて行なわれたものです。ここに記して深く感謝いたします。

文 献

- 1) Adrian, E. D. & Bronk, D. W.: The discharge of impulses in motor nerve fibres, J. Physiol., **67**: 119-151 (1929)
- 2) 猪飼道夫: 体力の生理的限界と心理的限界に関する実験的研究 東京大学教育学部紀要 第5巻, 1—18 (1960)
- 3) 猪飼道夫, 石井喜八: 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究, 体育学研究, 第5巻, 第4号, 154—165 (1961)
- 4) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子: 筋持久力のトレーニング効果について, 体育学研究,

-
- 第9巻, 第1号, 125 (1964)
- 5) **Ikai, M. & Steinhaus, A. H.:** Some factors modifying the expression of human strength, *J. Appl. Physiol.*, **16**: 157-163(1961)
- 6) **Merton, P. A.:** Voluntary strength and fatigue, *J. Physiol.*, **123**: 553-564 (1954)
- 7) **Mosso, A.:** Über die Gesetze der Ermüdung. Untersuchungen an Muskeln des Menschen, *Arch. f. Physiol.*, 89-168 (1890)
- 8) **Naess, K. & Storm-Mathisen, A.:** Fatigue of sustained tetanic contractions, *Acta. Physiol. Scand.*, **34**: 351-366 (1955)
- 9) **Reid, C.:** The mechanism of voluntary muscular fatigue, *Quart. J. Exp. Physiol.*, **19**: 17-42 (1928)
- 10) **Schwab, R. S.:** Motivation in measurements of fatigue, In: *Symposium on Fatigue*, edited by W. F. Floyd and A. T. Welford. London: Lewis (1953)
-

A Study on Endurance with Respect to Cardiac Output

M. Miyamura. School of Education, University of Tokyo

The purpose of this study was to analyze how cardiac output varies in exercise. The experiment was conducted to reveal the relationship between physical endurance running time measured by treadmill and the cardiac output by acethylene method. Heart rate, oxygen consumption and cardiac output were observed at the point of 1, 2, 3, 4, ... minutes until the exhaustion during the running on the treadmill with slope of 8.6% and speed of 180m/min. For analysis of sample gas, a modified Haldane gas analyzer was used.

It was found that cardiac output per minute per unit body surface of 8 normal subjects at rest was 2.30l/min/m² in average. This value is in close agreement with data observed by Grollman and Katsuki, while it is lower than those by Asmussen, Åstrand Mitchell. It is found that the heart rate is increased to the same highest level in all subjects during the maximal work, while the cardiac output or stroke volume per body weight is greater in the subjects whose endurance running time is longer. It is suggested from these results that cardiac output was considered one of the most important factors of maximal working capacity of aerobic nature.

Maximum Strength and Fatigue

K. Yabe. University of Tokyo

The maximum strength of the thumb adductor was produced by voluntary contraction with maximum effort and by electric stimulation. The electric stimulation was applied through the electrodes attached on the skin of the upper arm near the elbow joint over the ulnar nerve trunk. For the maximum strength of the adductor muscle of the finger, rectangular current with the intensity of 50 to 60volt, the duration of 5msec and the frequency of 50cps was applied for 0.5 to 1.0 second. To measure the muscular strength of the thumb adductor, an isometric finger ergograph with strain gauge was used. The hand and four fingers except the thumb of the subject was fixed with plaster on the table. To measure the work output of the thumb finger, an isotonic finger ergograph against the load was used. The results are as follows:

1) The maximum strength induced by electric stimulation is always higher than by maximum voluntary effort. The average of the 5 subjects was $16.3 \pm 1.2\text{kg}$ ($M \pm S.D.$) in the former, and $12.8 \pm 1.4\text{kg}$ in the latter corresponding to 80 per cent of the former.

2) After the subject gave up his work on the ergometer by voluntary effort, the electric stimulation could add the number of contractions to some extent. The number of contractions in one subject was 93 by voluntary effort and the addition number of contractions was 25 by electric stimulation.

3) After the training on the finger ergometer using the load of $1/3$ of the maximum strength for 9 to 12 weeks, both the number of contractions induced by voluntary effort as well as by electric stimulation was increased significantly to the same extent.

A Study on the Relationship of Exercise to Reaction Time

M. Higashi and T. Yasuda. Kanazawa University

A study was conducted to reveal the relationship between hand and leg reaction time. The variation of reaction time was compared before and after exercise during training camps. In order to measure the reaction time, a newly devised instrument was connected with pendulum chronoscope.

1) Hand and leg reaction time. The test consisted of four different procedures. The hand and leg reaction time was measured to visual stimulation by means of falling ball and lamp. It was found that hand reaction time to lamp was faster (223 msec.) than to falling ball (279 msec.), the leg reaction time was almost same as 453 msec. to lamp and to falling ball.

2) Reaction time during basketball and swimming training. The reaction time, pulse, body temperature, blood pressure, weight and grip strength were measured during camp of basketball and swimming of training of one week. It was found that the reaction time to the lamp became longer on 3rd day and the 6th day during the basketball training, and on 3rd day of swimming training. On the other hand, reaction time to touch was almost constant over the training period.

It is suggested from these results that change of reaction time to visual stimulus must be useful to detect fatigue of individuals during sports training.