

トレーニング中止が前腕血流量および筋持久力に及ぼす影響 —交叉性トレーニング効果との関係—

The effect of detraining on forearm blood flow and muscle endurance
with cross transfer effect

油 座 信 男* 石 田 浩 司**
蛭 田 秀 一** 宮 村 實 晴**

Nobuo YUZA *, Koji ISHIDA **
Shuichi HIRUTA **, Miharu MIYAMURA **

In order to elucidate the effect of detraining on cross transfer effect, forearm circumference, grip strength, muscle endurance and blood flow of both right and left hands were determined in 17 female subjects. The subjects were trained by hand-ergometer with a work load of 1/3 of maximum grip strength of their nondominant (left) hands 5 days/week for 6 weeks. Muscular endurance tests were performed with each forearm on the same hand-ergometer prior to muscle endurance training and during 6 week training and detraining periods. In the training and testing, therefore, the subjects were asked to lift the weight 1 cm against gravity at the rate of 60 rpm controlled by metronome until exhaustion. It was found that forearm circumference, grip strength and resting blood flow of both trained and untrained hands did not change due to the muscle endurance training. However, the number of contractions and forearm peak blood flow after hyperemia and exhaustive exercise were significantly increased not only in the trained left hands but also in the untrained right hands. In addition, the improvements obtained by the training were attenuated in the trained extremity during detraining. In spite of reduction of vasodilatory capacity in the untrained hands during detraining, endurance performance did not decrease greatly as compared with vasodilatory capacity.

From these results, it was suggested that cross transfer effect, with respect to muscle endurance performance observed in the contralateral limb during detraining, could be maintained considerably due to the vasodilatory capacity or central neurological factors or both.

1 緒 言

持久性あるいはスプリントトレーニングを行うことによって、からだの形態および機能の永続的適応（トレーニング効果：training effect）が認められることはよく知られている。そしてトレーニングを中止すると身体トレーニングにより獲得されたそれぞれの効果は、時間の経過とともに次第に消失することもすでに報告されている。

ところで一側肢のトレーニングによって、トレーニング肢ばかりでなくトレーニングを行わなかった反対側肢にもトレーニング効果が認められ、これを「交叉性トレーニング効果(cross transfer effect または cross education)」と呼んでいる²¹⁾。この交叉性トレーニング効果の機構については、2、3の要因が挙げられているが未だ十分に解明されていない^{1,3,4,5,13,19,24,28,30)}。これまでヒトを対象に筋力トレーニングや持久力トレーニングを行わせ、筋力、筋持久

* 中京女子大学

** 名古屋大学

* Chukyo Women's University, Junior College

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

力、血流量などからみて交叉性トレーニング効果が認められたという研究報告^{4,5,6,12,14,15,16,22,27,28,30)}は多い。しかしながら、われわれの知る限り、トレーニングを中止した後、交叉性トレーニング効果がどのような時間的経過でもって消失するかについての研究報告は見当たらない。

そこで本研究では、健康な成人を対象に筋持久力トレーニングを行わせ、トレーニングおよびトレーニング中止がトレーニング肢および非トレーニング肢の筋力、筋持久力および血流量にどのような影響をもたらすかを明らかにすることにより、トレーニング中止が交叉性トレーニング効果に及ぼす影響を検討しようとした。

2 実験方法

1) 被検者

被検者は17名で、全員利き手に特定のラケットを握って毎日運動を行っていない女子学生である。被検者の年齢、身長、体重の平均値と標準偏差は、それぞれ、20.0 ± 1.3歳、162.1 ± 4.7cm、55.1 ± 5.7kgであった。トレーニング肢は「非利き手」としたが、それは全員「右利き」であった。したがって、以後「非利き手」を「左」または「左手」と表示する。

被検者には、あらかじめ実験の主旨を十分伝え同意を得たうえで行った。各被検者の一回目の実験は、予備実験とした。すなわち、本実験に慣れていない被検者がかなりいたことから、1回目は先ず実験室において実験全体の環境（雰囲気）に慣れさせると同時に実際の筋力測定、筋持久力トレーニングの練習を行った。そして被検者が2回目に来室した時本実験を行い、そこで得られた結果をトレーニング前（コントロール）のデータとして扱った。

2) 筋持久力トレーニング

本実験では、トレーニング期間とトレーニング中止（脱トレーニング）期間はそれぞれ6週間とした。筋持久力トレーニング (muscle endurance training) は、ハンドエルゴメータを用いて左手の掌握作業を毎回オールアウトに至る

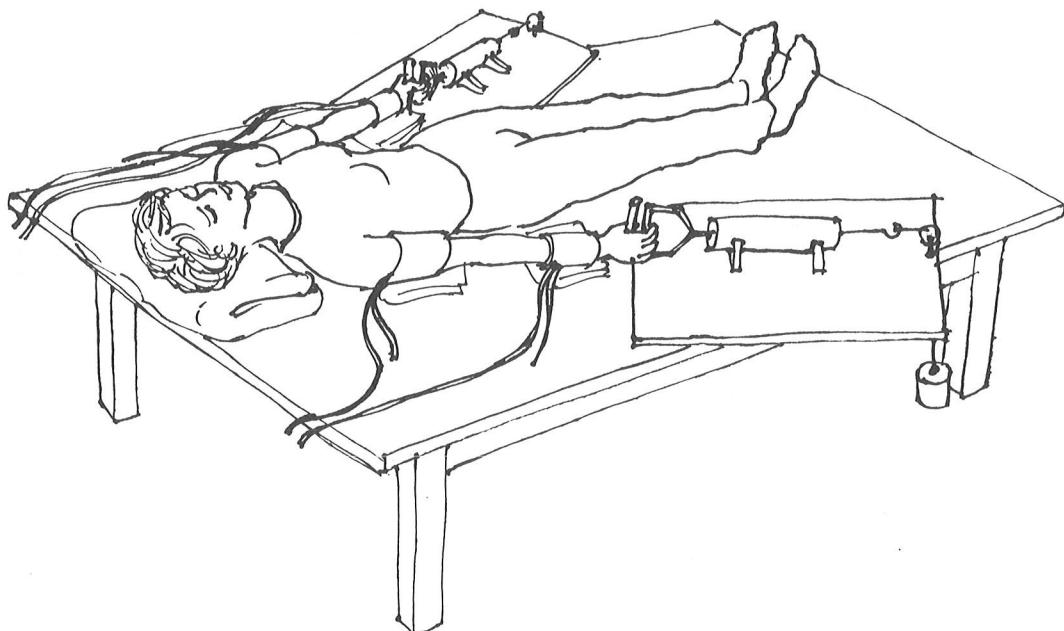


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up.

まで行わせた。すなわち、各週のトレーニングに先立って週の第1日のはじめに各被検者の握力を測定し、その握力の1/3の負荷で1秒1回のメトロノームのテンポに合わせ、ハンドエルゴメータのハンドルを1cm掌握する作業を疲労困憊に至るまで行わせた。なおトレーニングの頻度は、1日1回、週5回、6週間としたが、脱トレーニング期間では、毎週1回だけこのオールアウト掌握作業を左右交互に行った。

3) 測定項目

(1) 前腕周径囲と握力

トレーニング及び脱トレーニング期間中の前腕周径囲 (forearm circumference) と握力 (grip strength) は、週の第1日目に巻尺と握力計を用いて測定した。すなわち、左右の前腕最大周径囲と握力は、それぞれ布製の巻尺と握力計(竹井機器社製)により2回ずつ測定した。

(2) 掌握作業回数と総仕事量

各被検者の左右の掌握作業回数と総仕事量は、先に述べた筋持久力トレーニングと同様の要領で掌握作業を右手および左手で疲労困憊に至るまで行わせ、オールアウトまでの回数を数え、その作業回数 (number of contraction) と負荷から総仕事量 (total work) を求めた。

(3) 前腕血流量

A) 前腕血流量の測定法

トレーニング期間および脱トレーニング期間における左右の前腕血流量測定は、毎週1回週のはじめに行った。まず、被検者の握力を測定した後、その日の体調に関するアンケート調査用紙に記入させ、風邪など罹患していないことを確認した。その後掌握作業と血流量測定兼用の特製のベットの上で仰臥姿勢で20分間安静にさせた。

前腕血流量は、Whitney²⁹⁾の水銀封入ラバーストレインゲージプレチスモグラフを用いて静脈阻止法を適用して測定した。すなわち、図1に示したように、被検者を仰臥位姿勢でベッドに寝かせ、左右の腕を体側に沿って約30度ほど開いた状態にし、被検者毎に腕を心臓の高さで水平に保持できるようにタオルを肩甲骨、肘、手首の下に入れて調節した。次に血流量測定用

のラバーストレインゲージを左右前腕の最大膨大部（肘から手首までの距離の約25%程の位置）に張力20gで装着した。なお水銀封入ラバーストレインゲージの較正は、実験前にマイクロメータを用いて行った。

B) 安静時における前腕血流量の測定

安静時における前腕血流量の測定は、常に左右同時に行った。まず被検者を20分間ベットで安静にさせた後、左右の上腕に巻き付けた血圧測定用のカフに瞬間血流阻止装置(明興社製)により60mmHg加圧して静脈を阻止し、両前腕の容積変化を2チャンネルのペンレコーダに記録した。これを約15秒間隔で7回繰り返し、各容積変化の記録よりWhitney²⁹⁾の方法にならい前腕血流量を算出した。そして7回の測定のうち、最大と最小の値をそれぞれ削除して、残り5回の平均値を各被検者の安静時前腕血流量 (resting blood flow)とした。

安静時前腕血流量を測定した後、反応性充血における最高血流量と血流負債を測定した。すなわち、各被検者の左右の手首と上腕に取り付けたカフに瞬間血流阻止装置により200mmHgの張力で3分間血流を阻止した。3分後上腕のカフのみ手動でできるだけ迅速に(約1-2秒かけて)200mmHgから60mmHgにし、その時点から15秒間隔で3分間血流量を測定し、その最高値をもって反応性充血における最高血流量 (resting posthyperemia peak blood flow)とした。また安静時前腕血流量の水準に戻るまでの血流負債を算出し、これを反応性充血における血流負債 (resting posthyperemia blood flow debt)とした。

C) 最大運動終了時における前腕血流量の測定

安静時における前腕血流量、反応性充血における最高血流量および血流負債を測定した後、被検者の半数は右手から、残り半数は左手からそれぞれの握力の1/3の負荷で、毎分60回のテンポでオールアウトに至るまで掌握作業を行わせた。疲労困憊に至った直後から3分間は15秒間隔、以後5分目まで30秒間隔、さらに5分から8分まで1分間隔でそれぞれ前腕血流

量を測定した。最大掌握運動終了後に得られた血流量のうち最大値を運動終了時における最高血流量 (postexercise peak blood flow)、さらに運動後 8 分間の血流量から血流負債 (postexercise peak blood flow debt) を求めた。

なお左手あるいは右手の安静時および運動終了時血流量の測定がすべて完了した 10 分後に同じ要領で逆の右手あるいは左手の測定を行った。

4) 統計処理

本実験で得られた各パラメータの平均値 (mean) と標準偏差 (standard deviation: SD) を求めた。また右手と左手あるいはトレーニング前後のデータを student t-test または ANOVA により統計的有意差を検定した。

3 結 果

1) 前腕周径囲

トレーニング前 (コントロール、0 week ; 以下 0W とする)、トレーニング期間 (1-6 week ; 以下 1-6W とする) およびトレーニング終了 (脱トレーニング期間 (7-12 week ; 以下 7-12W とする) における前腕周径囲の結果を図 2 に示した。トレーニング前 (0W) のトレーニング肢 (trained limb ; 以下 T 肢と呼ぶ) やび非トレーニング肢 (untrained limb ; 以下 U 肢と呼ぶ) の前腕周径囲は、225.5 ± 11.8mm (平均 ± 標準偏差、以下同じ) やび 231.1 ± 12.3mm で、右手 (U 肢) の方が左手 (T 肢) より有意 ($P < 0.05$) に大きかった。

トレーニング開始 6 週間後 (6W) における T 肢および U 肢の前腕周径囲は、それぞれ 227.9 ± 10.6mm と 231.7 ± 11.3mm であり、トレーニングによって左右の前腕周径囲に有意な増加は認められなかった。またトレーニング中止 6 週間後 (12W) における T 肢および U 肢の前腕周径囲は、226.8 ± 11.3mm と 231.8 ± 11.0mm であり、トレーニング前と比べ脱トレーニングにおいても有意の変化は認められなかった。

2) 握力

図 3 に筋力の指標として握力の結果を示し

た。トレーニング前、トレーニング終了時および脱トレーニングにおける T 肢および U 肢の握力は、0W (T 肢 : 31.8 ± 3.9kg, U 肢 : 34.2 ± 4.7kg)、6W (T 肢 : 32.7 ± 4.5kg, U 肢 : 35.2 ± 5.0kg)、12W (T 肢 : 32.6 ± 4.2kg, U 肢 : 34.3 ± 4.6kg) で、U 肢 (右手) は T 肢 (左手) に比べて有意 ($P < 0.01$) に大きかった。また、T 肢、U 肢いずれにおいても、それぞれの 0W と 6W あるいは 6W と 12W との間に有意な変化は認められなかった。すなわち、本トレーニングによって左手および右手の握力の増大は認められなかった。

3) 掌握作業回数

筋持久力の指標として掌握作業回数の変化を図 4 に示した。トレーニング期間中、T 肢の作業回数はトレーニング前 (0W : 81.0 ± 17.3 times) と比べて 1W 目 (99.1 ± 24.1 times) においてすでに有意 ($P < 0.01$) の増大であった。また U 肢 (0W : 84.6 ± 18.1 times) においても 2W (115.4 ± 46.0 times) から有意 ($P < 0.01$) に増大した。図 4 で示したように、両肢の作業回数はその後も増加し、6W で T 肢 (301.6 ± 123.5 times)、U 肢 (193.5 ± 49.6 times) いずれもトレーニング前に比べて有意 ($P < 0.001$) の増加であった。なお増加量からみた場合、T 肢に対する U 肢の割合は、48% であった。

トレーニング終了後では、T 肢は、徐々に掌握回数が減少する傾向を示した。特に 11W および 12W で有意 ($P < 0.05$, $P < 0.01$) に減少したが、U 肢では、トレーニング終了時の水準を維持し有意な減少はなかった。

両肢間の作業回数を比較してみると、0W (T 肢 : 81.0 ± 17.3 times, U 肢 : 84.6 ± 18.1 times)、1W (T 肢 : 99.1 ± 24.1 times, U 肢 : 97.0 ± 50.0 times) では両肢間に有意差は認められなかった。しかしながら、2W (T 肢 : 132.6 ± 52.9 times, U 肢 : 115.4 ± 46.0 times) において T 肢が有意 ($P < 0.05$) に多くなった。さらに 6W (T 肢 : 301.6 ± 123.5 times, U 肢 : 193.5 ± 49.6 times) でも、T 肢の方が U 肢に比べ有意 ($P < 0.01$) に作業回数は多かった。

トレーニング中止後の交叉性トレーニング効果

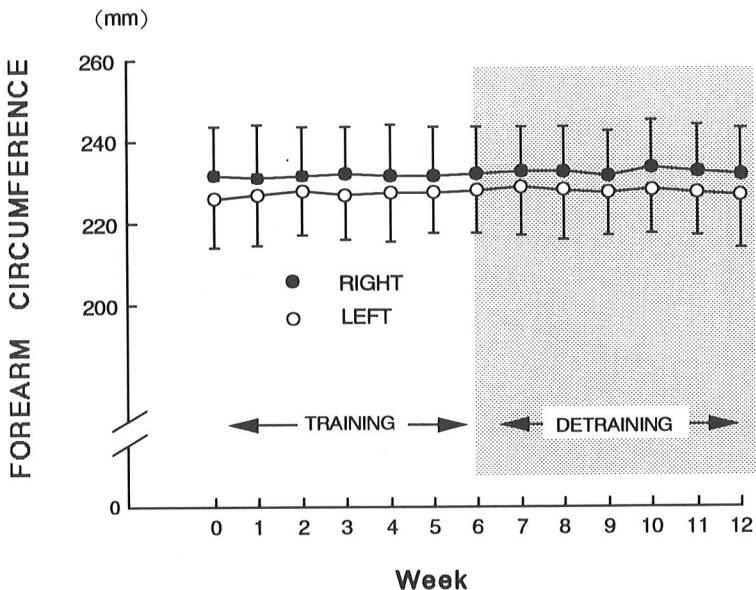


Fig. 2 Time course of mean forearm circumference of both right (●) and left (○) hands during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

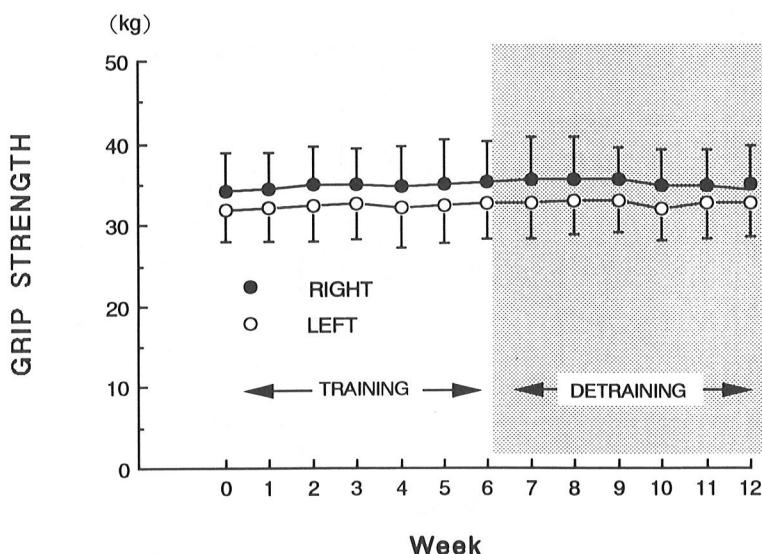


Fig. 3 Time course of mean grip strength of both right (●) and left (○) hands during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

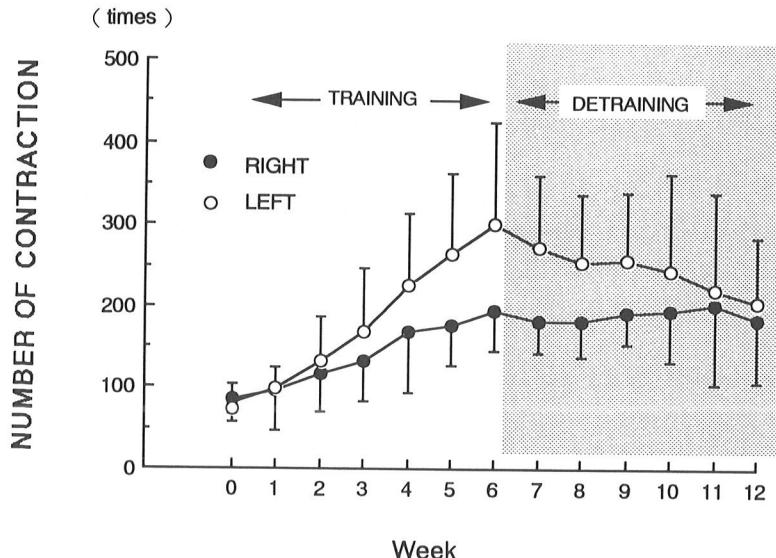


Fig. 4 Time course of mean number of contraction of both right (●) and left (○) hands during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

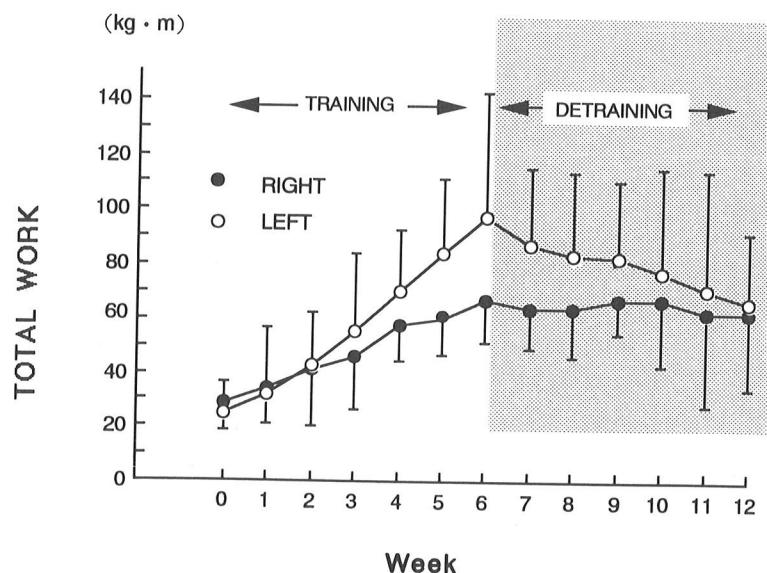


Fig. 5 Time course of mean total work of both right (●) and left (○) hands during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

トレーニング中止後の交叉性トレーニング効果

また、その作業回数において脱トレーニング期間中でも 11W を除き有意に T 肢の方が多かった。

4) 総仕事量

図 5 は、掌握作業回数と運動負荷から求めたトレーニングおよび脱トレーニング期間中の総仕事量を示したものである。図 5 に示したように、0W (T 肢 : $25.2 \pm 6.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 、 U 肢 : $28.8 \pm 7.8 \text{ kg} \cdot \text{m}$) での U 肢の総仕事量は、T 肢のそれと比べ有意 ($p < 0.01$) に大きかった。そして、1W (T 肢 : $31.7 \pm 10.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 、 U 肢 : $34.1 \pm 22.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$) および 2W (T 肢 : $42.4 \pm 19.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 、 U 肢 : $40.9 \pm 20.8 \text{ kg} \cdot \text{m}$) における総仕事量は、トレーニング前と比べて、両肢とも増大した。しかし T 肢の増大が大きく両肢の間に有意差がなくなった。さらに 3W (T 肢 : $55.1 \pm 28.7 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 、 U 肢 : $46.0 \pm 19.3 \text{ kg} \cdot \text{m}$) になると逆に T 肢の方が有意 ($P < 0.05$) に大きくなっ

きくなった。その後、T 肢および U 肢ともに増大したが、T 肢の増大が大きく 6W (T 肢 : $97.5 \pm 44.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 、 U 肢 : $66.9 \pm 15.7 \text{ kg} \cdot \text{m}$) で、T 肢の方が U 肢と比べ有意 ($P < 0.01$) に大きかった。

トレーニング終了後 (7 ~ 12W) のいわゆる脱トレーニング期間では、U 肢の総仕事量は 12W ($62.1 \pm 27.9 \text{ kg} \cdot \text{m}$) で、トレーニング終了時の 6W とほぼ同じ水準を維持していたが、T 肢の総仕事量は 10W ($76.7 \pm 38.1 \text{ kg} \cdot \text{m}$) で減少し、11W ($71.0 \pm 42.9 \text{ kg} \cdot \text{m}$)、12W ($65.7 \pm 25.8 \text{ kg} \cdot \text{m}$) では、6W と比べて有意 ($P < 0.05$ 、 $P < 0.01$) な減少であった。その結果、10W から以後両肢間の総仕事量には有意差が認められなかった。

5) 血流量

(1) 安静時前腕血流量

図 6 は安静時前腕血流量の結果を示したもの

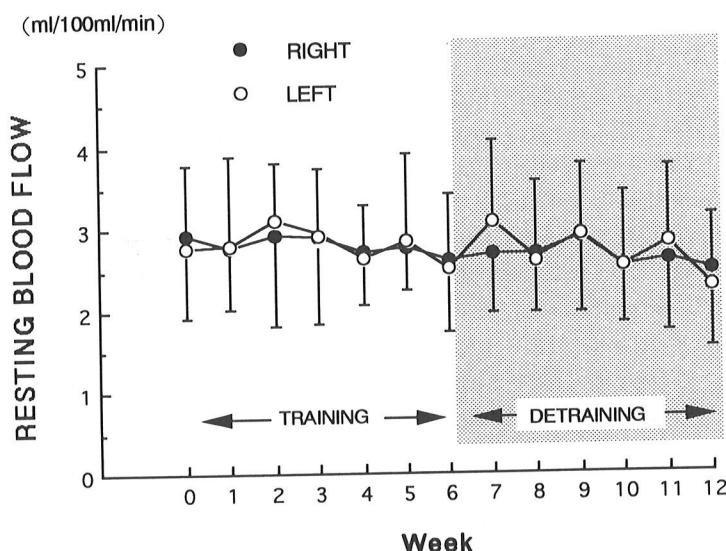


Fig. 6 Time course of mean resting blood flow of both right (●) and left (○) hands during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

である。安静時の前腕血流量は、0W (T 肢 : $2.8 \pm 0.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $2.9 \pm 0.9 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、6W (T 肢 : $2.5 \pm 0.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $2.6 \pm 0.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、12W (T 肢 : $2.3 \pm 0.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $2.5 \pm 0.7 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) で、両肢間および各肢のトレーニングおよび脱トレーニングによる有意な変化は認められなかった。

(2) 安静時反応性充血最高血流量

図7 (上部) に安静時反応性充血最高血流量の結果を示した。安静時で求めた反応性充血時の最高血流量は、0W (T 肢 : $13.7 \pm 1.6 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $13.8 \pm 1.9 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、6W (T 肢 : $17.8 \pm 2.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $19.6 \pm 3.6 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) で、一側 (左手) のトレーニングによって他側 (右手) も有意 (T 肢 : $P < 0.01$ 、U 肢 : $P < 0.001$) に増大した。脱トレーニングでは、両肢ともに12W (T 肢 : $14.9 \pm 2.1 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $15.3 \pm 2.0 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) で、トレーニング終了時点より有意 (T 肢 : $P < 0.01$ 、U 肢 : $P < 0.01$) に減少した。しかし、トレーニング開始前 (0W) と比べるとなお0Wより両肢とも有意 (T 肢 : $P < 0.05$ 、U 肢 : $P < 0.05$) に大きかった。

(3) 運動終了後最高血流量

図7 (下部) に運動終了後最高血流量の結果を示した。最大掌握作業終了後に得られた最高血流量は、0W (T 肢 : $13.4 \pm 2.3 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $14.3 \pm 2.0 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、1W (T 肢 : $15.0 \pm 2.7 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $15.5 \pm 2.4 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、2W (T 肢 : $16.4 \pm 2.4 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $16.8 \pm 2.2 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、3W (T 肢 : $17.3 \pm 2.7 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $17.4 \pm 2.3 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、4W (T 肢 : $18.0 \pm 2.9 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $18.6 \pm 3.0 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、5W (T 肢 : $18.9 \pm 2.6 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $19.3 \pm 2.2 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$)、6W (T 肢 : $19.8 \pm 2.6 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $19.8 \pm 2.0 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) と、両肢それぞれトレーニング第1週目からトレーニング前と比べて有意 ($P < 0.01$) に増加した。しかし、トレーニングを中心とした第1週目すなわち7W (T 肢 : $18.6 \pm$

$2.4 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $18.6 \pm 3.1 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) における運動終了後最高血流量は、6W と比べて両肢それぞれ有意 ($P < 0.05$) に減少した。その後 (脱トレーニング期間中) T 肢は有意な減少が認められた。U 肢は 8、9、10、11W の期間、6W と比べて統計的に有意な減少ではなかったが、12W (T 肢 : $18.0 \pm 3.3 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$ 、U 肢 : $17.1 \pm 2.8 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) で両肢ともに有意 ($P < 0.05$) な減少が認められた。

(4) 安静時反応性充血血流負債

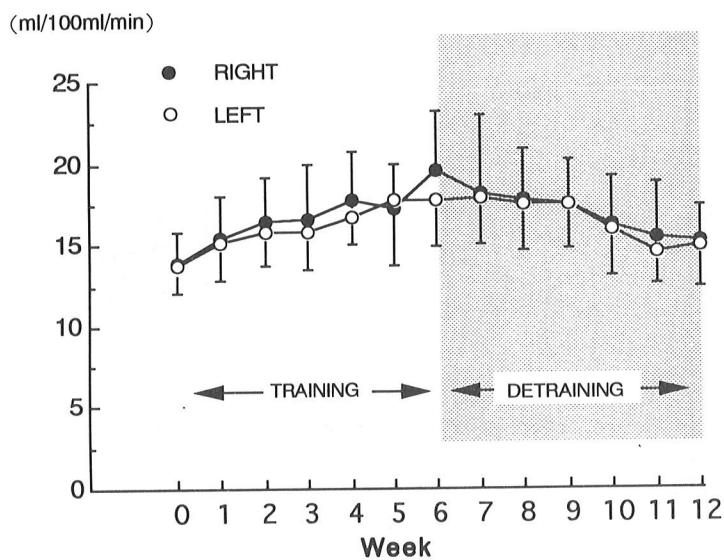
図8 (上部) に安静時で求めた反応性充血血流負債の結果を示した。トレーニング前の反応性充血血流負債は、両肢 (T 肢 : $5.2 \pm 1.4 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $5.3 \pm 1.3 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) の間で差は認められなかった。トレーニング開始1週間 (T 肢 : $5.9 \pm 1.7 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $5.7 \pm 1.6 \text{ml}/100\text{ml}$) では、両肢それぞれにトレーニング効果を観察することはできなかった。しかし、2W (T 肢 : $6.6 \pm 1.4 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $6.6 \pm 1.4 \text{ml}/100\text{ml}$) から両肢とも 0W より有意 (T 肢および U 肢とも $P < 0.01$) に増大した。その後 6W (T 肢 : $8.5 \pm 1.6 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $8.7 \pm 0.9 \text{ml}/100\text{ml}$) において、両肢間に有意差は生じなかった。

トレーニング終了後の1週すなわち7W (T 肢 : $8.0 \pm 1.6 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $7.7 \pm 1.2 \text{ml}/100\text{ml}$) で U 肢が、そして 8W (T 肢 : $7.3 \pm 1.3 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $7.4 \pm 1.2 \text{ml}/100\text{ml}$) で両肢がトレーニング終了時点の 6W より有意に減少した。さらに両肢の血流負債は、12W (T 肢 : $6.0 \pm 1.1 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $6.7 \pm 0.9 \text{ml}/100\text{ml}$) まで漸減傾向を示した。ただし、その漸減傾向は、T 肢の方が U 肢より相対的に大きかった。

(5) 運動終了時血流負債

図8 (下部) は掌握作業オールアウト後8分間の前腕血流測定から算出した運動終了後血流負債の結果を示したものである。運動終了後血流負債は、トレーニング開始前 0W (T 肢 : $24.2 \pm 8.0 \text{ml}/100\text{ml}$ 、U 肢 : $25.0 \pm 5.6 \text{ml}/100\text{ml}/\text{min}$) で、両肢の間には差は認められな

PEAK BLOOD FLOW - R.H. -



PEAK BLOOD FLOW - EXERCISE -

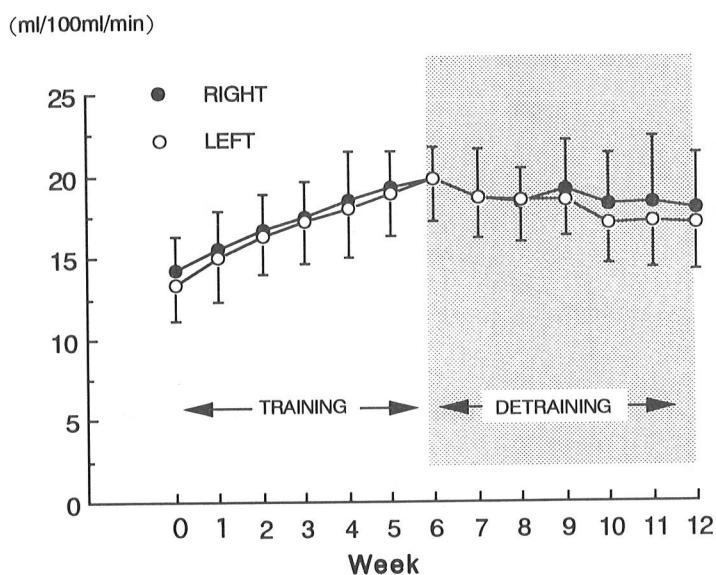


Fig. 7 Time course of mean peak blood flow of both right (●) and left (○) hands of reactive hyperemia (upper panel) and after exercise (lower panel) during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

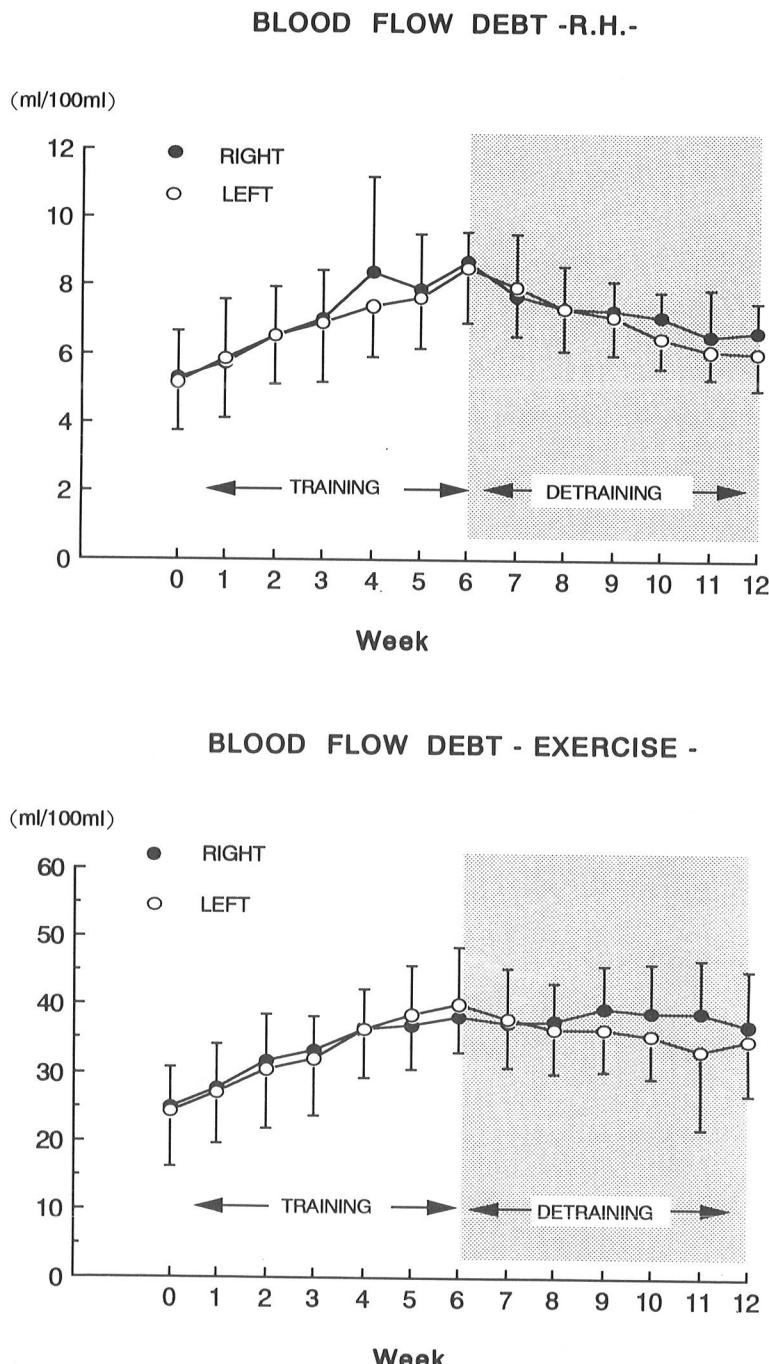


Fig. 8 Time course of mean blood flow debt of both right (●) and left (○) hands of reactive hyperemia (upper panel) and after exercise (lower panel) during a 6-wk training with exhaustive hand-grip exercise with left hand and a 6-wk detraining. Vertical bars represent standard deviation.

かった。トレーニング開始 1W (T 肢 : 27.1 ± 7.4ml/100ml、U 肢 : 27.6 ± 6.7ml/100ml) で、両肢それぞれ 0W と比べ有意 (T 肢 : P < 0.05、U 肢 : P < 0.01) に増大した。その後漸増し 6W (T 肢 : 40.0 ± 8.6ml/100ml、U 肢 : 38.3 ± 5.4ml/100ml) で、両肢とも 0W と比べ有意 (P < 0.01) に増大した。またトレーニング期間中いずれの週も両肢間には有意差は認められなかった。

トレーニング終了後、運動終了後血流負債は 7W (T 肢 : 37.8 ± 7.5ml/100ml、U 肢 : 37.3 ± 6.6ml/100ml)、8W (T 肢 : 36.5 ± 6.5ml/100ml、U 肢 : 37.6 ± 5.7ml/100ml)、9W (T 肢 : 36.5 ± 6.3ml/100ml、U 肢 : 39.3 ± 6.2 ml/100ml)、10W (T 肢 : 35.4 ± 6.5ml/100ml、U 肢 : 38.7 ± 7.4ml/100ml)、11W (T 肢 : 33.2 ± 11.3ml/100ml、U 肢 : 38.8 ± 8.0 ml/100ml)、12W (T 肢 : 34.7 ± 7.8ml/100ml、U 肢 : 37.1 ± 8.1ml/100ml) と、U 肢ではトレーニング終了後血流負債の有意な減少は認められなかつたが、T 肢ではトレーニング終了後の 1 週目 (7W) から継続して有意な減少を示した。しかしトレーニング終了後いずれの週においても両肢間に統計的有意差は認められなかつた。

4. 考 察

身体トレーニングを中止すると、トレーニングによって獲得されたいわゆる “トレーニング効果” は時間の経過とともに漸減することはよく知られている。一方、一側肢のトレーニングによってトレーニング肢ばかりでなく、非トレーニング肢にもトレーニング効果が認められ、これを “交叉性トレーニング効果” とよんでいる。これまで筋力や筋持久力トレーニングにおける交叉性トレーニング効果に関する研究報告は古くから Slater-Hammel (1950)²⁷⁾、Mathews ら (1956)¹⁵⁾、Meyers (1967)¹⁶⁾、Shaver (1970)²²⁾ によってなされているが、その成因については、未だ十分明らかにされていない。またトレーニングを中止すると交叉性トレーニング効果がどのような時間経過をたどり

減衰するかについては、これまで報告がない。本研究では、特にトレーニング中止後の交叉性トレーニング効果に着目し、その推移を明らかにするとともに、交叉性トレーニング効果の機構についても検討することを狙いとした。

まず本実験では、トレーニング肢を「非利き手」とした。その理由は、1) 一般に日常生活において利き手は、動作の「主」となり、非利き手は「従あるいは補助」として使用されることから、あらためてトレーニングされる可能性が少ないと想定され、2) 日常生活の力の発揮という観点からみて、トレーニング肢である非利き手がトレーニング負荷 (握力の 1 / 3) 以上の力を発揮し、しかも疲労困憊に至る機会は非常に少ないと推測されたためである。したがって、本実験で行ったトレーニング以外の日常生活における非利き手の筋活動がいわゆるトレーニング効果として影響することは量的質的にみても少ないと考えられる。他方、非トレーニング肢である「利き手」は、日常生活において相対的に「非利き手」より使用する頻度が多いことが予想されることから、被検者に対し実験期間中「利き手」は通常通りとし、特に「利き手」のトレーニングになるようなことはできるだけ避けるよう依頼した。

一般に、筋力あるいは筋持久力トレーニングの効果は、負荷強度によって大きく異なることが知られている。これまで一側肢のみのトレーニングによって交叉性トレーニング効果として反対側肢の筋力も増大したという報告はある^{15,16)}。本実験では最大筋力 (握力) の 1 / 3 の負荷強度で筋持久力トレーニングを行わせた。しかしながら、本実験では 6 週間のトレーニングによって、T 肢ばかりでなく U 肢における握力の有意な増加は認められなかつた (図 3)。また図 2 で示したように、前腕周径囲もトレーニング前後で有意な変化は認められなかつた。これら、特に筋力に関する結果の違いについては、トレーニング方法 (負荷、頻度、期間など) が異なることが考えられるが、その理由については今後研究を待たねばならないだろう。

一方、猪飼等⁹⁾によれば、最大筋力の1/3の負荷強度のトレーニングでは、筋力よりも筋持久力の増加が認められたと述べている。事実、本研究の結果でもトレーニングによって筋力の増加は認められなかったが、掌握作業回数からみた筋持久力は有意に増大した(図4)。すなわち、T肢ではコントロール(0W)の掌握回数を100%とした場合、トレーニング開始1Wで122%、6Wで372%に達した。他方、U肢においてもコントロール(0W)の掌握作業回数を100%とした場合、トレーニング開始1W(115%)すでに筋持久力の増大が認められ、2Wで136%、6Wで229%となり、U肢に明かな交叉性トレーニング効果が認められた。さらに、トレーニング終了後(6W)のT肢における掌握回数を100%とすると、脱トレーニング期間中のT肢の掌握作業回数は徐々に減少し、11W(73%)および12W(68%)では、それぞれ有意($P < 0.05$)の減少であった。これに対し脱トレーニング期間におけるU肢の掌握作業回数の減少の割合は極めて小さかった。つまり、先にも述べたように脱トレーニング期間中のU肢における作業回数は、トレーニング終了時(6W)を100%とした場合7W、8W、9W、10W、11Wおよび12Wでは94%、94%、99%、101%、104%および95%であった。

ところで、交叉性トレーニング効果を疑問視する意見²⁶⁾がないわけではない。つまり、一侧肢のトレーニングを行っている時、他側肢は机など把握するあるいは無意識のうちにトレーニングに該当するような動作をする可能性があるという立場である。事実、Sinoway(1987)ら²⁶⁾は、交叉性トレーニング効果は確認できなかつたと報告している。しかしながら、本実験では掌握作業回数からみた筋持久力の交叉性トレーニング効果が認められた。本実験はHodgkins(1961)⁷⁾、Yasuda & Miyamura(1983)²⁸⁾等の報告と一致するものである。この交叉性トレーニング効果の機序については、従来から神経支配の面からいくつかの考えが提示されている。例えば、Wisslerら(1900)³⁰⁾や

Sills(1958)²⁴⁾は、対側肢への神経衝撃の拡散により非活動肢の筋放電量が増加したことによるものであろうと述べている。Hellebrandら(1951)⁶⁾は、神経衝撃の拡散ばかりでなく、緊張性反射が四肢に起こるため、それが非活動肢にも影響した結果であろうと推測している。また運動神経の反復刺激によって新しいニューロンが興奮し、運動領野からの神経衝撃の効率がよくなるという「神経筋促通論」(theory of neuromuscular facilitation)の考え方^{1,3,13)}もある。さらに暗示によって等尺性筋力の増大が認められたことから「モチベーション(意欲)」が関与するという説⁸⁾もある。

交叉性トレーニング効果は、これら神経的要因ばかりでなく筋持久力の要因のひとつである血流量⁹⁾を挙げることができる。まず安静時前腕血流量は、一側肢で長期間にわたりトレーニングを行っても両肢の安静時血流量には有意差がないことが報告²⁵⁾されている。本実験でもトレーニングおよび脱トレーニング期間において両肢の安静時前腕血流量の間に有意の差は認められなかつた。しかし、本実験では図7で示したように、6週間の筋持久力トレーニングによりT肢およびU肢における反応性充血時および最大運動時で得られた最高前腕血流量は、筋持久力の増大とほぼ平行して増加した。これらの結果は基本的に先の我々の報告²⁸⁾と一致するものであり、交叉性トレーニング効果の背景には、血管拡張能あるいは血流量の増加も関与することを示唆するものである。

一方、本実験ではトレーニング終了後(6W)のT肢における掌握作業回数を100%とすると、脱トレーニング期間中のT肢の掌握作業回数は徐々に減少し、11W(73%)および12W(68%)では有意($p < 0.01-0.05$)の減少であった。これに対しトレーニング終了後(6W)におけるU肢の掌握作業回数は前述したとおりほとんど維持され、T肢と比べその減少の程度は極めて緩慢であった。これらの結果は、トレーニングによって獲得されたいわゆる“交叉性トレーニング効果”は、トレーニングを中止した後もかなりの期間維持されることを意味するも

のである。しかしながら、ここで重要な問題は、果たして本実験で得られた脱トレーニング期間のU肢筋持久力の結果が1) 一側(T)肢のトレーニングが反対側(U)肢に移行(交叉)した効果によるものか? または2) U肢あるいはT肢における週1回の筋持久力測定実験の効果によるものであるか? であろう。

もし後者であると仮定すれば、脱トレーニング期間におけるT肢の掌握作業回数や総仕事量の減少は大きくないものと考えられる。しかしながら、図4および5で示したように、T肢の掌握作業回数や総仕事量の減少は、U肢のそれと比べ大きい。したがって、脱トレーニング期間中のU肢の筋持久力は、学習効果曲線の高原状態であるとも考えられるかもしれない。ただし、本研究では、週1回の疲労困憊に至るような筋持久力測定が交叉性トレーニング効果にどのように影響するかについて確かめていないことから、この点については今後の検討課題であろう。

他方、T肢のトレーニング効果がU肢にも移行したという前者の考えに従えば、その生理学的背景には先に述べた神経的要因¹³⁾と循環^{2,7,22)}を挙げることができよう。特に本実験では、神経衝撃の指標となる筋電図²⁴⁾などの測定を行わなかったが、前腕血流量に関する興味ある結果が得られた。すなわち、T肢とU肢の安静時反応性充血時最高前腕血流量は、トレーニングによって有意の増加が認められ、トレーニングを中止することにより両肢とも漸減し、12Wにおける反応性充血時最高前腕血流量は6Wそれと比べ有意の減少であった(図7)。トレーニング期間中の反応性充血最高血流量と掌握作業回数(筋持久力)との間には、0-6WでT肢($r = 0.949, p < 0.01$) U肢($r = 0.932, p < 0.01$)共に有意の相関関係が認められた。しかし、脱トレーニング期間では、T肢には両者の間に有意の相関関係($r = 0.888, p < 0.05$)が認められるが、U肢では相関関係($r = -0.261, NS$)が認められなかつた。これと同様の結果が掌握作業回数と反応性充血時の血流負債あるいは運動終了後の最高血

流量との間でも認められた。特に、0-6Wでの運動終了後の最高血流量と作業回数との間にT肢($r = 0.966, p < 0.05$)とU肢($r = 0.983, p < 0.01$)で有意の相関関係が認められたが、6-12WではT肢には有意な相関関係($r = 0.919, p < 0.01$)が認められたが、U肢には認められなかつた($r = 0.248, NS$)。

加賀谷¹⁰⁾は、運動終了直後の最高血流量は運動中の血流量の指標となり得ると報告している。本実験では、脱トレーニング期間における筋持久力のパフォーマンスにはほとんど変化が認められないが、運動終了後最高血流量は漸減し、また掌握回数と最高血流量との間に有意の相関関係が認められなかつた。これらの結果は、脱トレーニング期間における筋持久力の交叉性トレーニング効果は、血流量のみによって決定されるものではなく、トレーニング期間中に獲得された筋神経支配機構の変容¹⁸⁾がトレーニングを中止した後も維持されることを示唆するものである。言い換えれば、筋のパフォーマンスからみた脱トレーニング期間における交叉性トレーニング効果は、運動時最高血流量ばかりでなく中枢あるいは末梢の筋神経支配機構に左右される可能性が考えられる。しかしながら、この可能性については今後さらに検討しなければならないだろう。

5. 要 約

本研究では、17名の健康な成人を対象に筋持久力トレーニングを行わせ、トレーニングおよびトレーニング中止がトレーニング(T)肢および非トレーニング(U)肢の筋力、筋持久力および血流量にどのような変化をもたらすかを明らかにすることによりトレーニング中止が交叉性トレーニング効果に及ぼす影響を検討しようとした。

1. 6週間(6W)の筋持久力トレーニングによって、両肢の前腕周径、握力および前腕の安静時血流量は、トレーニング前(0W)と比べて両肢ともに有意な変化は認められなかつた。またトレーニング中止後6週間においても有

意の変化は認められなかった。

2. 掌握作業回数は、トレーニング前と比べ6W (0Wを100%とするとT肢：372%、U肢：229%)で、それぞれ有意($P < 0.01$)に増加した。またトレーニング中止後6週間(12W)では、トレーニング終了時(6W)を100%とするとT肢では68%と有意の減少が認められるが、U肢(95%)では、有意な減少は認められなかつた。総仕事量は、掌握作業回数の結果と同じ傾向を示した。

3. 安静時反応性充血最高血流量は、トレーニングによって6W (0Wを100%とすると、T肢：130%、U肢：142%)で、トレーニング前より両肢ともに有意な増大が認められた。またトレーニング中止後12W (6Wを100%とすると、T肢：83%、U肢：78%)では、6Wに比べて有意な減少であった。

4. 運動終了後最高血流量は、トレーニングによって漸増し、6W (0Wを100%とすると、T肢：148%、U肢：139%)で、両肢ともにトレーニング前と比べ有意な増大であった。トレーニング期間では、筋持久力と運動終了時最高血流量との間に有意な相関関係を認めた。一方トレーニング中止後のU肢の筋持久力と運動終了時最高血流量との間には、有意な相関関係は認められなかつたが、トレーニングを実施したT肢は有意な相関関係が認められた。

5. 安静時反応性充血血流負債および運動終了後血流負債は、トレーニングによって、両肢ともにトレーニング前より有意に増大した。トレーニング期間中筋持久力と安静時反応性充血血流負債および運動終了後血流負債との間には、それぞれ有意な相関関係が認められた。しかしトレーニング中止後両肢とも反応性充血血流負債は有意に減少した。運動終了後血流負債において、脱トレーニング期間中T肢は7Wから有意に減少したが、U肢は有意な減少はなかつた。

以上の結果から、筋持久性トレーニングによる交叉性トレーニング効果は、そのトレーニングを中止後もかなり維持されることが示唆された。またその交叉性トレーニング効果には、末

梢の血管拡張反応ばかりでなく中枢性あるいは末梢性神経支配が関与しているのではないかと推察された。

謝 辞

本研究は、中京女子大学体育学部ゼミ学生西村栄美、福司香織、松島和美、渡辺敏子、岩田佳奈子、小池香代、金谷志織、河野純子、前村史および被検者として参加してくれた学生諸君の協力によって行われた。この紙面をかりて深甚の謝意を表すものである。

参 考 文 献

- Coyle, E. F., D. C. Feiring, T. C. Rotkis, R. W. Cote III, F. B. Roby, W. Lee, and J. H. Wilmore: Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 51 (6): 1437-1442, 1981.
- Eklund, B., L. Kaijser and E. Knutsson: Blood flow in resting (contralateral) arm and leg during isometric contraction. *J. Physiol.* 240: 111-124, 1974.
- Häkkinen, K.: Neuromuscular and hormonal adaptation during strength and power training. *J. Sports Med.* 29: 9-26, 1989.
- Hardman, A. E., C. Williams and L. H. Boobis: Influence of single-leg training on muscle metabolism and endurance during exercise with the trained limb and the untrained limb. *J. Sports Science*, 5: 105-116, 1987.
- Hellebrandt, F. A., A. M. Parrish, and S. J. Houtz: Cross education: The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 28: 76-85, 1947.
- Hellebrandt, F. A.: Cross education; Ipsilateral and contralateral effects of unimanual training. *J. Appl. Physiol.* 4: 136-144, 1951.
- Hodgkins, J.: Influence of unilateral endurance training on contralateral effects of unilateral training. *J. Appl. Physiol.* 16 (6): 991-993, 1961.
- Ikai, M., and A. H. Steinhaus: Some factors modifying the expression of human strength. *J. Appl. Physiol.* 16: 157-163, 1961.
- 猪飼道夫、石井喜八、中村淳子：血流量からみた筋持久力、*体育の科学*、15: 201-206, 281-287, 334-340, 404-410, 1965.
- 加賀谷淳子：Exhaustion 作業時の下腿血流量、日本女子体育大学紀要、12: 57-64, 1982.

トレーニング中止後の交叉性トレーニング効果

- 11) Kannus, P. and M. Järvinen: Nonoperative treatment of acute knee ligament injuries. A review with special reference to indication and methods. *Sports Med.* 9: 244-260, 1990.
- 12) Kannus, P., A. C. Cook, R. J. Johnson, P. Renstrom, M. Pope, B. Beynnon, K. Yasuda, C. Nichols, and M. Kaplan: Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg-a randomized, controlled study using isometric and concentric isokinetic training-. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 117-126, 1992.
- 13) Komi, P. V., J. T. Viitasalo, R. Rauramaa, and V. Vihko: Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40: 45-55, 1978.
- 14) Lewis, S., P. Thompson, N.-H. Areskog, P. Vodak, M. Marconyak, R. DeBusk, S. Mellen, and W. Haskell: Transfer effects of endurance training to exercise with untrained limbs. *Eur. J. Appl. Physiol.* 44: 25-34, 1980.
- 15) Mathews, D. K., C. T. Shay, F. Godin, and R. Hogdon: Cross transfer effects of training on strength and endurance. *Res. Quart.* 27: 206-212, 1956.
- 16) Meyers, C. R.: Effects of two isometric routines on strength, size, and endurance in exercised and nonexercised arms. *Res. Quart.* 38 (3): 430-440, 1967.
- 17) Minotti, J. R., E. C. Johnson, T. L. Hudson, G. Zuroske, E. Fukushima, G. Murata, L. E. Wise, T. W. Chick, and M. V. Icenogle: Training-induced skeletal muscle adaptations are independent of systemic adaptations. *J. Appl. Physiol.* 68 (1): 289-294, 1990.
- 18) Moritani, T., and H. A. de Vries: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* 58 (3): 115-130, 1979.
- 19) Rosler, K., H. Hoppeler, K. E. Conley, H. Claassen, P. Gehr, and H. Howald: Transfer effects in endurance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54: 355-362, 1985.
- 20) Sale, D. G.: Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exercise Sport Sci. Rev.* 15: 95-151, 1987.
- 21) Scripture, E. W., T. L. Smith and E. M. Brown: On the education of muscular control and power. *Stud. Yale Psychol. Lab.* 2: 114-119, 1894.
- 22) Shaver, L. G.: Effects of training on relative muscular endurance in ipsilateral and contralateral arms. *Med. Sci. Sports.* 2 (3): 165-171, 1970.
- 23) Silber, D., D. McLaughlin, and L. Sinoway: Leg exercise conditioning increases peak forearm blood flow. *J. Appl. Physiol.* 71 (4): 1568-1573, 1991.
- 24) Sills, F. D. and A. L. Olson: Action potentials in unexercised arm when opposite arm is exercised. *Res. Quart.* 29 (2): 213-221, 1958.
- 25) Sinoway, L. I., T. I. Musch, J. R. Minotti, and R. Zelis: Enhanced maximal metabolic vasodilatation in the dominant forearms of tennis players. *J. Appl. Physiol.* 61 (2): 673-678, 1986.
- 26) Sinoway, L. I., J. Shenberger, J. Wilson, D. McLaughlin, T. Musch, and R. Zelis: A 30-day forearm work protocol increases maximal forearm blood flow. *J. Appl. Physiol.* 62 (3): 1063-1067, 1987.
- 27) Slater-Hammel, A. T.: Bilateral effects of muscle activity. *Res. Quart.* 21: 203-209, 1950.
- 28) Yasuda, Y. and M. Miyamura: Cross transfer effects of muscular training on blood flow in the ipsilateral and contralateral forearms. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51: 321-329, 1983.
- 29) Whitney, R. J.: The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.* 121: 1-27, 1953.
- 30) Wissler, C. and WM. W. Richardson: Diffusion of the motor impulse. *Psychol. Rev.* 7: 29-38, 1900.

(1994年12月5日受付)

