

採血後に自己血を再注入した場合の  
持久性の変化に関する研究

所属学科：コ-ナ学

著者：沢木啓祐

論文指導教員：石河利寛

昭和50年3月10日

中込 延 寛 章  
栗本 潤 夫  
青木 純 一郎

	目次	
第1章	緒言	1
第2章	関連文献の考証	5
第3章	研究方法	12
第1節	被験者	12
第2節	実験日程	12
第3節	採血, 保存, 再注入	13
第4節	長距離走の タイムトライアル	14
第5節	トレーニング	15
第6節	負荷テスト	16
第7節	血液性状の測定	17
1)	赤血球数の算定	17
2)	血色素定量	18
3)	血球容積	19
4)	血中乳酸濃度	19
第4章	実験結果	21
第1節	performance	21



## 第1章 緒言

スポーツにおけるトレーニング方法の向上や技術の進歩は、めざましいものがあるが、陸上競技の長距離走も、トレーニング方法に科学的研究成果を導入して競技力の急速な進歩がめられるようになった。

持久性トレーニングの主要な目的は多量の酸素を組織に効率よく供給する能力の獲得、すなわち、酸素摂取量の増大にある。そして、この酸素摂取量の増大に血液中のヘモグロビンが重要な役割を演じている。

このことは、採血および再注入によって、持久的作業能力が影響を受けるか否かに関心を持たせる。Karpovich と Millman (1942) は 500cc の採血によって自転車エルゴメーターの performance が低下したことを報告している。また、Balke ら (1954) は 500ml の採血によってトレッドミルでの至適作業能力 (optimal work capacity) が減少し、Gullbring ら (1960) は全血液量の 10% の採血によって PWC<sub>170</sub> が低下し、Spealman ら

(1948)は500ccの採血によつて、高温環境下で身体活動を行なう能力が低下したことを報告している。

採血後の再注入については、Gullbring<sup>7)</sup>らの報告がある。彼らは前述の採血7日後に再注入を行なつて、 $PWC_{170}$ がやや上昇したことを認め、またRobinson<sup>18)</sup>ら(1966)は、1000~1200mlの血液を採血後2週間して再注入して、ヘマトクリットの上昇、安静時の心拍出量の上昇、安静時の拍動量の上昇、安静時の静脈圧の上昇を認めながら、最大酸素摂取量が変化しなかったことを報告している。

1972年、スウェーデンのEkblom<sup>6)</sup>らは体育学部学生の血液を一部採取し、貧血状態が回復した4週間後に赤血球のみを再注入するという実験により、持久性能力が20%以上も増加したと報告している。自己血再注入という考え方は余りにも奇抜なため、“blood doping”という名で報道<sup>22)</sup>され、選手およびコーチ達の間で大きな反響を呼んだ。

これに対して、アメリカの Williams<sup>23)</sup>ら(1973)は、Ekblomらと同種の実験を行ない、持久力の向上はみられなかったと報告している。

このように、採血が作業能力を低下させることは研究者のほぼ一致した意見であるが、再注入については、必ずしも意見の一致を見えていない。

現在までの自己血再注入実験における血液保存法は、抗凝固剤を用いて4℃に保存するものであるが、このような血液保存法によると、赤血球は3週間しか保存できない。すなわち、4℃での保存では赤血球の代謝を完全に停止させることができず、赤血球内のブドウ糖は解糖されて乳酸と、焦性ブドウ酸が増加する。そして、赤血球膜のATPレベルが低下すると共に血球内の $K^+$ が流出し、赤血球は変形して溶血し易くなる。これに対して、赤血球を超低温に凍結すると、赤血球の代謝作用は完全に停止し、赤血球は生きてまま数年にわたって保存することが可能であり、解凍赤

血球は新鮮血に等しいと報告されて<sup>29 30)</sup>いる。

よこぶ、本研究は、Williamsらと同量の500ccの血液を採血し、3週間後に再注入したが、保存法に冷凍保存法を採用し、陸上競技長距離選手を用いて血液再注入による効果を自転車エルゴメーターによる実験的測定および公式競技会でのレースの記録による検討を試みた。

## 第二章 関連文献の考証

血液は酸素運搬の媒体として、運動には欠くことの出来ないものである。

激しいトレーニングを、ある期間続けると軽度な貧血状態が起ることはよく知られてゐる。山田<sup>24)25)26)</sup>(1958)は、未熟練者にはそれが多く見られ、運動を中止させると正常になり、熟練者においては貧血を示さず逆に正常値よりも赤血球が多くなるという報告を行なった。

猪飼<sup>11)</sup>ら(1965)は、活動筋への酸素供給および筋からの代謝物の除去を速やかに、かつ能率的に行なうために、主として活動筋への血液供給がさかんになるであろうと推定し、持久的な運動の場合には、血流量がその運動に影響する重要な因子となつてゐると推測してゐる。

Karporich と Millman<sup>13)</sup>(1942)は運動選手における500ccの供血は、スプリント型のスポーツには、それほど影響を及ぼさないが、持久型のスポ



一つでは、供血当日および翌日の記録が一般的に正常時よりも低下するところである。しかし、時には逆にむしろかによくある場合があるが、この原因は動機づけなどによる。そして、正常な状態に戻るまでには10~20日間かかる。そこで、KarpovichとMillmanは、緊急の場合を除いては、スポーツ選手の供血は望ましくないと報告している。

Spealmanら(1948)<sup>19)</sup>は、室温28°C~33°Cの環境下での500ccの採血は、運動能力に直ちにかつ著しい減少をもたらした。平常時ではほとんど影響を持たないような量の血液を採取しても、呼吸循環機能を酷便するような場合には、運動能力が低下させる。また、performanceはヘモグロビン濃度とは関係がなく、血液量と関係が深いと報告している。

Balkeら(1954)<sup>20)</sup>は、500ccの供血からその後1時間以内に行なわれた運動においては、最大作業能力に有意な減少をもたらしたが、2, 3日後には平常状態に復帰し、8, 10日後には作

業能力の増加が見られると報告してゐる。

Gullbring<sup>(7)</sup>ら(1960)は、血液量の変化が仰臥位、立位および運動時の脈拍数におよぼす影響を明らかにするため、年齢が26~51才で平均体重74kgの被験者6名より、全血液量の10%を採血し、4℃でその保存を行ない、7日後に再注入し、採血後1時間以内に行なわれた自転車エルゴメーター運動テストにおける $PWC_{170}$ は約9%減少したが、その後の2, 3日あるいは6日後には、 $PWC_{170}$ は1~5%採血前より高く、ヘモグロビン濃度は5.14%減少してゐた。その後7日目に自己血液を再注入して1時間以内にテストをしたところ、 $PWC_{170}$ は9%、ヘモグロビン濃度は94%それ以前の採血前より高くなつてゐたと報告してゐる。

Robinson<sup>(8)</sup>ら(1966)は、19~36才の6名の被験者(5人は心収縮期雑音を有する者、1人は心中隔欠損手術後の者)より1,000cc~1,200ccの血液を採血した。採血後、ヘモグロビン増量の補助手段として鉄分を与え、2週間後に

再注入し、その1時間後にトレッドミル走による負荷テストを行なった。その結果、安静時の心拍出量および拍動量は増加したが、最大酸素摂取量( $V_{O_2max}$ )および運動時の心拍出量(Q)には影響がなく、ヘマトクリット値は81%から427%に増加したと報告している。

Ekblomら(1972)<sup>6)</sup>は、第1グループを平均年齢25才で平均体重76kg、第2グループは平均年齢25才で平均体重68kgの運動選手でない学生を被験者として用いた。第1グループは被験者3名で1回の採血を800cc、第2グループは被験者4名で4日間のインターバルを置いて400ccの採血を3回行なった。血液の保存は4℃の通常保存であった。再注入は4週間後に行ない、赤血球のみ注入した。このような経過を追って、トレッドミル走による最大運動、自転車負荷運動による最大下運動、血液性状の変化等を測定し、その結果以下のような知見をえられた。

採血後のヘモグロビン(Hb)濃度はグループ

1 およびグループ2でそれぞれ13%および18%減少した。最大作業時間は両グループともほぼ30%減少した。また、最大酸素摂取量はグループ1で13%、グループ2で18%それぞれ減少した。再注入後、グループ1のHb濃度は、注入前日にくらべて13%増加した。これと並行して最大作業時間(23%)および $V_{O_2max}$ (9%)の増加が翌日までもみとめられた。両グループで採血および再注入後の $V_{O_2max}$ の変化はHb濃度の変化と $r=0.97$ の相関であった。最大換気量は最大酸素摂取量が17%変化したにもかかわらず不変であった。

この報告に対してWilliamsら(1973)<sup>23)</sup>は同種実験を行ない、Ekblomらとは異なる結果を報告している。被験者は、全血再注入グループ(平均年齢19才、平均体重67kg)、赤血球再注入グループ(平均年齢24才、平均体重73kg)、血漿再注入グループ(平均年齢20才、平均体重67kg)および対照グループ(平均年齢22才、平均体重70kg)の4群に分けられた。各グループはそれぞれ

それら名からなり、被験者は主として大学の運動選手であった。採血量は500ccで、保存は40の通常保存であった。再注入は21日後に最初の3つのグループについては全血、赤血球、血漿がそれぞれ注入された。しかし、対照グループには擬似的な行為だけで、何も注入されなかった。

このような手続きに従ってトレッドミル走による最大運動と、自転車エルゴメーターによる最大下運動が行なわれた。

その結果、全血500cc、赤血球275cc、血漿225ccの再注入は、持久性能力および安静時、最大下および最大運動時、それぞれ心拍数はグループ間に変化をもちなかつた。そして対照グループを含む全てのグループにみられた最大下運動中の心拍数の減少は、再注入による効果ではなく、トレーニング効果であるとしてゐる。

このように、自己血再注入が持久性におよぼす影響については相反する知見がみられる。

自己血再注入には酸素輸送系の重要な担い手としての血液と全身持久性との関係を明らかにしようとする生理学的関心と、血液ドーピングという競技能力向上の手段としての効果に対する関心とがある。

したがって、自己血再注入の研究をさらに進めることが必要であるか、それには採血量、保存期間、保存方法、注入する成分、注入から運動までの時間、被験者の鍛練度および負荷運動の種類など解決されなければならない多くの問題を抱えている。

## 第3章 研究方法

### 第一節 被験者

被験者は本学体育学部生で、陸上競技部長距離ブロックに所属する10名の学生であつた。この10名をそれぞれ5名ずつ実験群と対照群とに分けた。彼らの身体特性をTable 1に示した。

### 第二節 実験日程

本実験は昭和49年9月8日より10月13日までの5週間にわたつてFig. 1に示すようなスケジュールで各種の測定を行なつた。すなわち9月8日から18日の間に採血前の5000mおよび10.000m走のテスト、自転車エルゴメーターにおける負荷運動とそれに付随する血液性状および呼吸循環系の測定を行なつた。採血は9月18日、19日の両日に分けて行なつた。この結果以後の各測定は2日間に分けて行なつた。採血翌日には5000m 10.000m走のテスト

以外のすべての測定を行なった。そして採血  
2日後の10月8日、9日に順天堂大学付属医  
院にて赤血球のみの再注入を行なった。再注  
入の翌日、自転車エルゴメーターにおける負  
荷テストを行ない、5000m、10,000m走のテス  
トは再注入4日後にあたる10月12日、13日に  
行なった。

### 第三節 採血、保存、再注入

採血は順天堂大学付属医院輸血室において  
実験群の5名の肘静脈よりそれぞれ500ccを  
所要時間約10分で採血した。採血に先立ち、  
血圧、脈搏、赤血球数(RBC)、ヘモグロビン濃  
度(Hb)およびヘマトクリット値(Hct)を測定し  
て採血の可否をあらかじめチェックした。対  
照群の5名も同様な手順で静脈穿刺のみを行  
なった(擬似採血)。

採血された赤血球は、遠心分離され凍害防  
止剤(Huggins液)を等量<sup>29)</sup><sub>30)</sub>混ぜ、 $-85^{\circ}\text{C}$ にて凍結さ  
せる赤血球緩速冷凍法による冷凍液として同



医院輸血室の冷凍庫に保存された。

再注入は冷凍された赤血球を45℃の温水にて解凍し、果糖液にて3度洗浄し、その後遠心分離された赤血球を、約1時間かけて実験群の5名に肘静脈より再注入を行なった。対照群の5名も同様に静脈穿刺のみを1時間行なった(擬似再注入)。採血および再注入時には、両群とも全員に目隠しを使用した。なお、採血および再注入の有無については、被験者はもちろん、検者もすべての測定項目の分析が終了するまで、知らされなかった。すなわち、二重盲検法を用いた。

#### 第四節 長距離走のタイムトライアル

本実験の効果判定のために、採血前と再注入後に被験者全員に長距離走のタイムトライアルを行なった。9月8日と16日に行なわれた関東学生公式記録会の5000m走および10,000m走の記録を、それぞれ採血前のタイムとした。

再注入後のタイムトライアルの成績は再注入後4日目にあたる10月12日, 13日に行なわれた全日本学生選手権と学内記録会との記録を採用した。

### 第五節 トレーニング

実験中のトレーニングは, 実験群および対照群ともに順天堂大学陸上競技部長距離プロジェクトの鍛練期, 調整期および試合期からなる年間スケジュールにしたがい, 試合期のトレーニングを行なった。すなわち週単位では, 合同練習によって200m×30(30±1秒)あるいは400m×15(66±2秒)と1,000m×8~10(2分52秒±3秒)あるいは2,000m×4~5(5分56秒±4秒)のインターバルトレーニングを2日間, 個人別の調整トレーニングを2日間行なった。なお, この他に朝食前に5,000m~6,000mのジョックを行なった。1日の走行距離は約15~20kmであった。

## 第六節 負荷テスト

自転車エルゴメーター (Monark社製) による負荷テストは、採血前日と採血の翌日、再注入後の翌日の計3回行なった。負荷テストは PWC<sub>170</sub> の測定法を修正して行なった。<sup>10) 14)</sup> すなわち、メトロノームによつてペダリング頻度を 50rpm に保ち、心拍数が約 120, 140 および 160 beats/min になるような3段階の負荷で各4分間ずつ、さらにその後 exhaustion に至るまで1分ごとに 150kpm/min ずつ負荷を漸増した。exhaustion の判定は被験者がメトロノームのテンポについていけなくなることによつた。呼気の採集は、蛇管 (口径35mm) によつてつながれた採気マスクとガラスバックを用い、椅座位安静5分間、運動中3~4分、7~8分および11~12分の各1分間さらに12以後は、1分間ごとに exhaustion まで連続して行なった。採集された呼気はただちに1回転10Lの湿式実験用精密カスメーター (品川製作所製) によつて計量し、その一部をサンブ

ルとして酸素濃度を酸素分析器OM-11にて、炭酸ガス濃度を医用ガス分析器LB-1(共に東芝ベックマン製)にてそれぞれ分析した。安静時、運動時を通じて胸部導出心電図を連続記録し、30秒間隔でR棘の数をかかえて、その値を2倍して心拍数の1分間値を求めた。

### 第七節 血液性状の測定

安静時および負荷テスト終了5分後に肘静脈より血液をそれぞれ15mlずつ採集した。

#### 1) 赤血球数の算定

清浄にしたメランジュール(Thoma-Zeiss型)で0.5の目盛まで血液を吸い、直ちに希釈液(Hayem)を10まで吸う。メランジュールの両端を指頭にてふさぎ、約30秒間、回数にして100回強力に振った後、小滴を2滴かーせで吸いとり、さらに30秒強力に振り内容を平等に混合させた。次に清拭した計算盤(Thoma-Zeiss型)に被いガラスを載せNewton Ringを作り、再びメランジュールを30秒間振とうさせ

た後に、最初の2滴を棄て、次の小滴を計算室に入れ、水平に約2分間静置させた後拡大率400倍の顕微鏡で検鏡し、Thomaの計算室の小分割の5カ所を選びその総数を積算計にて算定した<sup>12)</sup>。算定は1検体につき2度行ないその平均値を採用したが、著しく数値の異なる場合は、さらにもう一度検鏡し数値の近い2回の測定値の平均を採用した。

## 2) 血色素定量 (ヘモグロビン濃度)

シアニメトヘモグロビン法<sup>5)</sup>にて測定した。希釈液としては血色素測定用ヘモアンフル(フェリシアニ化カリウム 1mg, アジ化ナトリウム 0.15mg, トリスアミノメタン 5mg, クエン酸一水加物 2.5mg および日本薬局方精製水を加えて 5mg/l - 日本臨床器械工業製)を使用した。Sahli用セペットにあらかじめアニトロット/ET (日本商事社) にて凝固阻止された 20mm<sup>3</sup> の血液を採取し、希釈液中に吹き込み 2~3 回液を吸ってセペット内を洗い十分に混和させた。その状態で 20分間放置後、光路 1cm の

キュベットを用いて分光電光度計(日立製作所101)を用いて波長540m $\mu$ にて吸光度を求めた。そして、あらかじめ作製したアキュクロビンによる検量線よりヘモグロビン濃度を求めた。

### 3) 血球容積(ヘマトクリット値)

Wintrobe法にて測定した。採取した血液を毛細ピペットにてWintrobe管の10の目盛りまで正確に入れ、3,000回転、30分の遠心を行った。遠心後血球層の高さを読み、凝固阻止剤の混入による希釈度を補正しヘマトクリット値を算出した。補正は凝固阻止溶液が血液に対して9:1の割合であることに従って行なった。

### 4) 血中乳酸濃度

採取した血液は酵素的<sup>15)</sup>血中乳酸濃度測定法により分析した。すなわち、採取した血液はただちに3,000回転で10分間遠心分離し、上清0.5mlに0.6N過塩素酸溶液1mlを加え除蛋白を

行ない、再び3000回転で遠心分離する。その上澄液0.2mlにヒドラジングリシン緩衝液2ml、NAD溶液0.2mlおよびLDH溶液0.02mlを加え混和した後、25°Cの循環式電子冷熱装置(Sharp社製TE12K:TEW-12K)にて1時間加温する。その後、光路1cmのガラス製キュベットに移し、分光光度計を用いて、波長340nmにて被検液の吸光度(ES)および除蛋白時に別に調製した盲検液の吸光度(EB)を測定した。次に、 $ES - EB = \Delta E$ を求める。そしてあらかじめ1N乳酸標準液にて作成した検量線より血中乳酸濃度(mg/dl)を求めた。

## 第4章 実験結果

### 第一節 Performance

採血および自己血再注入後における長距離走のタイムトライアルの結果と、採血前後および再注入後における自転車エルゴメーターによる、オールアウトタイムのそれぞれの変化の平均値と標準偏差をTable 2 および3 に示した。

#### 長距離走のタイムトライアル

実験群における5000m走は、採血前および再注入後にはそれぞれ15分22秒±39.9秒および14分58.2秒±37.5秒であり、両者の間に統計的な有意差はみられなかった。対照群は、1名のみ5000m走を行ない、その記録は15分48秒から15分33秒となり、10,000m走を行なった他の4名の記録は、31分16.8秒±18.6秒から31分02秒±28.7秒であった。対照群の10,000mの結果にも有意差はみられなかった。

#### 自転車エルゴメーター負荷テスト

実験群のオールアウトタイムは、採血前か



ら採血後は、15分27.0秒 $\pm$ 45.5秒から16分12.0秒 $\pm$ 85.4秒となり統計的には有意な差はみられなかった。しかしながら、再注入後の記録(16分52.0秒 $\pm$ 55.5秒)は採血前の値と比較して、5%水準で有意な増加が認められた。なお、対照群には、採血前、採血後、再注入後のいずれの場合の間にも有意な差はみられなかった。

## 第二節 赤血球数、ヘモグロビン濃度およびヘマトクリット値

RBC, Hb濃度, Ht値の安静時と、運動後における、採血前、採血後、再注入後のそれぞれの平均値と標準偏差をTable 4に示した。

### 赤血球数(RBC)

安静時のRBCは、実験群において採血前、採血後、再注入後にそれぞれ $385 \pm 50.1^{10^4}/\text{mm}^3$ 、 $398 \pm 92.2^{10^4}/\text{mm}^3$ および $441 \pm 32.8^{10^4}/\text{mm}^3$ の値を示した。また運動後のRBCは実験群において採血前、採血後および再注入後にそれぞれ $388 \pm 95.8^{10^4}/\text{mm}^3$

$429 \pm 82.5^{10\%} / \text{mm}^3$  および  $480 \pm 37.1^{10\%} / \text{mm}^3$  であった。

### ヘモグロビン濃度 (Hb)

安静時のHbは実験群の採血前, 採血後, および再注入後では, それぞれ  $14.6 \pm 1.3 \text{ g/dl}$ ,  $14.4 \pm 1.3 \text{ g/dl}$  および  $15.7 \pm 0.6 \text{ g/dl}$  の値を示した。

運動後のHbは, 実験群において採血前  $15.2 \pm 2.1 \text{ g/dl}$  から採血後  $16.1 \pm 2.2 \text{ g/dl}$  となり, 再注入後  $18.8 \pm 2.8 \text{ g/dl}$  となった。

### ヘマトクリット値 (Ht)

安静時のHtは, 実験群において採血前, 採血後, 再注入後にそれぞれ  $41.2 \pm 4.2\%$ ,  $37.9 \pm 5.9\%$  および  $43.9 \pm 1.9\%$  の値を示した。

運動後のHtは, 実験群において採血前, 採血後, 再注入後にそれぞれ  $42.3 \pm 3.03\%$ ,  $42.2 \pm 3.4\%$  および  $48.7 \pm 1.9\%$  の値を示した。採血後は採血前と比較して有意な増加を示さなかったが, 再注入後は採血前よりも有意な増加がみられた。

以上のような実験群における安静時および運動後のRBC, Hb, Htは運動後のHtの再注入の場合を除き, 何れも採血および再注入後に

採血前と比較して有意な変化を起さなかった。また対照群は擬似的行為によって、これらの測定値に有意な変化を起さなかった。

### 第三節 最大酸素摂取量, 最大換気量, 心拍数および血中乳酸濃度

最大酸素摂取量, 最大換気量および血中乳酸濃度の平均値と標準偏差をTable 5に示した。

#### 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_2 \max}$ )

$\dot{V}_{O_2 \max}$ は, 実験群において採血前から採血後に $51.6 \pm 4.4 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  および $51.7 \pm 2.8 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  であり, 統計的な有意差はみられず, 採血前から再注入後 ( $57.5 \pm 3.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ ) の間にも有意な差をみることはできなかった。

#### 最大換気量 ( $\dot{V}_{E \max}$ )

$\dot{V}_{E \max}$ は, 実験群において採血前から採血後は $121.2 \pm 19.2 \text{ l/min}$  および $120.8 \pm 14.3 \text{ l/min}$  となり, この差は統計的に有意ではなかった。採血前から再注入後 ( $127.9 \pm 17.0 \text{ l/min}$ ) にも統計的な有意差はみられなかった。

### 血中乳酸濃度 (LA)

安静時の LA は実験群において採血前から採血後に  $19.6 \pm 5.5 \text{ mg/dl}$  から  $14.0 \pm 1.7 \text{ mg/dl}$  となり、これは統計的に有意な差ではなかった。採血前から再注入後 ( $14.2 \pm 2.3 \text{ mg/dl}$ ) の間にも統計的な有意差はなかった。

運動後の LA は実験群において採血前から採血後は  $61.6 \pm 13.3 \text{ mg/dl}$  から  $73.9 \pm 16.5 \text{ mg/dl}$  となり、統計的に有意な差はみられなかった。しかし再注入後 ( $87.8 \pm 9.4 \text{ mg/dl}$ ) には、採血前と比較して 5% 水準にて有意な増加を示した。

### 心拍数 (HR)

安静時およびオールアウト時の HR の平均値と標準偏差を Table 6 に示した。そして PWG170 テスト時の 3 段階の最大下負荷中の HR の平均値と標準偏差を Table 7 に示した。

安静時およびオールアウト時の HR は、実験群において採血前の  $61.8 \pm 16.3 \text{ beats/min}$ ,  $162.4 \pm 11.2 \text{ beats/min}$  から採血後の  $59.4 \pm 18.3 \text{ beats/min}$ ,  $163.8 \pm 16.2 \text{ beats/min}$  となった。これは有意な差ではなかった。再

注入後にこれらの値は $17.62.6 \pm 17.3 \text{ beats/min}$ および $172.8 \pm 5.9 \text{ beats/min}$ となり、この値は採血前と比較して統計的な有意差はみられなかった。

3段階の最大下運動中のHRは運動群における採血前の第1, 第2 および第3段階でそれぞれ $102.4 \pm 11.3$ ,  $120.2 \pm 9.0$  および  $137.4 \pm 5.3 \text{ beats/min}$ であった。そして採血後はそれぞれ $97.0 \pm 7.0$ ,  $114.8 \pm 8.5$  および  $138.4 \pm 10.9 \text{ beats/min}$ であり、この差は有意な差ではなかった。また再注入後はそれぞれ $106.2 \pm 4.6$ ,  $123.0 \pm 3.9$ , および  $140.8 \pm 7.5 \text{ beats/min}$ であり、採血前との間に有意な差は存在しなかった。

以上の  $V_{O_2 \text{ max}}$ ,  $V_{E \text{ max}}$ , 安静時および運動後LA, 安静時およびオールアウト時HRは対照群の擬似的採血および再注入によって採血前の値と有意な差を示さなかった。

## 第5章 考察および結論

持久性能力と密接な関係をもつ酸素摂取量は酸素輸送系によつて規定されている。すなわち、酸素摂取量は血液量およびヘモグロビン濃度と相関が高い<sup>1)</sup>。トレーニングにより、 $V_{O_2max}$ あるいは作業能力が向上するとともに血液量ならびに総ヘモグロビン量が増大する<sup>8) 16)</sup>という報告もみられる。

そこで、本実験は500ccの血液を採取し、 $-85^{\circ}C$ にて凍結保存し、貧血状態が十分改善される3週間後に赤血球のみ(205cc)を再注入し、持久性能力の向上を意図した。

この結果、採血前にくらべて再注入後に有意な増加を示したものは、実験群の自転車エルゴメーターによる最大運動の際の Exhaustive time, ヘマトクリット値および血中乳酸濃度であった( $P < .05 \sim .01$ )。

Eklom<sup>6)</sup>ら(1972)はヘモグロビン濃度と総ヘモグロビン量および全血量において採血前よ

り再注入後に有意な増加がみられ、これとともに作業能力ならかに  $V_{O_2 \max}$  の向上を観察している。

本文究で500ccの血液を採血した結果、赤血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値に有意な変化を示さなかった理由としては、Eklomと比較して、採血量が少なかったこと、および採血の翌日血液検査を行なったことが考えられる。山田(1958)<sup>20,25,26)</sup>は、負血状態の回復期に生まれる新生赤血球は、血球直径が大きく血流量が多くなると報告している。また血液の貯蔵所である脾臓から循環血液中に動員される血液は、普通の血液よりも40%も赤血球の含有量が多いという報告もある。

205ccの赤血球再注入によって増加した血球量が、有意な変化として表われなかった系因は明らかでないが、循環血液量調節のための複雑なメカニズムが働いているものと考えられる。すなわち、脾臓および肝臓などへの貯血、あるいは蓄血による血流量の調節、お

よび運動時にみられるような血球破壊の促進<sup>28)</sup>が本実験の被験者に起こっていることが考えられる。

本実験における血液性状の変化に個人差が大きく、一定の傾向を示さなかった理由の一つとしては、被験者のトレーニング内容、食生活、睡眠等の個人差も影響を及ぼすと考えられる。

Statlandら(1973)<sup>20)21)</sup>は食内容や日差変動により血液は大きく変動すると報告している。また山田<sup>22)</sup>(1951)も食蛋白量によって労作時の血液性状が異なると報告している。

以上の種々の理由により本実験における血液性状には、採血および自己血再注入の効果は得られなかったと考えられる。すなわち、赤血球数およびヘモグロビン濃度は安静および運動後の値について再注入により、いずれも増加を示しているものの、統計的には有意な変化ではなかった。血液性状の中で唯一の有意な増加を示したヘマトクリット値の再注



入による影響であつた。

800ccの血液を再注入したEklblom<sup>6)</sup>らは $\dot{V}_{O_2max}$ が採血前値より9%増加したと報告してゐる。しかし、1,000~2,000ccの血液再注入を行なつたRobinson<sup>7)</sup>らの場合は $\dot{V}_{O_2max}$ になんらの変化が認められなかつたと報告されてゐる。

血液と $\dot{V}_{O_2max}$ は非常に関係が深く、特に総ヘモグロビン量と高い相関がある<sup>8)</sup>と報告されてゐる。血液に関する本実験結果は上記のごとく有意差がみられなかつた。それゆゑ、ヘモグロビン量と関係が深い $\dot{V}_{O_2max}$ においても有意差がみられなかつたものと思われる。

再注入による $\dot{V}_{Emax}$ にも有意な差は認められなかつた。Eklblomらは、 $\dot{V}_{O_2max}$ が変化してゐるにもかかわらず $\dot{V}_{Emax}$ は不変であつたと報告してゐる。

オールアウト時における心拍数および三段階の負荷による最大下運動時の心拍数は、いずれも両群間に有意差は認められなかつた。Eklblomら、Williamsらは共に心拍数においても、

最大および最大下運動時に有意差が認められなかつたが、たと報告している。

実験群における採血前と再注入後における安静時の血中乳酸濃度には有意差がみられなかつたが、運動後の血中乳酸濃度は5%水準で有意な増加を示した。このことは自転車エルゴメーターでの最大運動の Exhaustive time の有意な増加を裏付けるものである。すなわち、採取された血液により、程度の差はあれ、多少の貧血状態に陥っている。そこは平常通りの激しいトレーニング（1日約15～25km）を積んでいたため、この採血が負荷となり、トレーニング刺激となり、血液および  $\dot{V}O_2\text{max}$  との間で有意な向上がみられなかつたという結果にかわって、無気的エネルギー発生過程の動員が増大したと考えられる。

長距離走のタイムトライアルは、公式競技会の日程上再注入4日目に行なつた。記録の向上率は実験群25%、対照群0%の増加であった。実験群は全員採血前の記録を上回り、

之名の者が自己新記録であった。対照群は擬似採血前の記録を4名が上回り、1名が自己新記録であり、1名に記録の低下がみられた。しかしながら、これらの変化はいずれも統計的な有意差はなかった。このような動機づけの高いと思われる公式競技会のレースぶさえ、再注入によつてタイムトライアルに有意な変化がみられなか、其原因として考えられることは、生理的にも安全である500ccという血液量の変化では、競技記録に有意な向上をもたらしに至らなかつたのはないかと考えられる。

本実験の血液再注入には、冷凍血液を使用したのであるが、湯浅、横田<sup>29)</sup>らによると解凍血液は新鮮血と同様であると報告している。Williamsらの500ccの血液再注入の血液と比較するならば、本実験の解凍血液は、酸素の親和性が大であるので、血液性状の変化、もしくは運動能力の変化を期待したのであるが、これを裏付ける結果は得られなかつた。

本実験結果から、Ekblomらの結果とWilliamsらの結果を比較してみると、Williamsらの実験手順は、本実験と同様に500ccの採血量により、コントロールグループを含む4グループを作り、二重盲検法で実験を行なった結果、血液性状の変化は検査してはいないが、持久能力に変化を生じなかつたと報告している。

Ekblomらの実験は、800ccと1200ccの採血量の異なる、2グループによつて出された結果、血液性状が変化し、持久能力が向上したと報告している。

採血量の異なる2つの相反する実験結果を比較するのは困難であるが、被験者のテスト時における動機づけ<sup>13)</sup>(motivation)が問題になるとも考えられる。それゆえWilliamsらの実験結果と本実験結果は実験群と対照群に動機づけの差を生じない結果であり、信頼できるものと判断する。

本実験結果とWilliamsらの結果は、一致している。しかしながらEkblomらの結果を否定す

るものではない。血液成分の複雑さ、生体における循環機能の生理および適応機能などを考えると、必ずしも血液再注入が効果のないものとは、言いきれない。

以上により500ccの血液を採血し、コントロールグループを作り、二重盲検法により、冷凍保存された血液を3週間後に再注入した結果、次のような結論を得た。

実験室内における自転車エルゴメーターのExhaustive timeは採血前にくらべ再注入後は有意な増加がみられなかったが、動機づけの高い公式競技会におけるタイムトライアルの結果は有意な向上を示さなかった。持久性能力増加を立証するための血液性状変化の大部分と、 $V_{O_2max}$ に再注入後有意な増加がみられなかった。

したがって本研究で得られた結果から持久性を改善する手段として、自己血再注入の効果立証することはできなかった。

## 第6章 要約

500ccの自己血再注入が持久性能力におよぼす影響を明らかにするために、陸上競技長距離選手10名(実験群5名および対照群5名)を対象に500ccの採血を行ない、この血液を $-85^{\circ}\text{C}$ で赤血球緩速冷凍法を用いて凍結保存、3週間後に赤血球(205cc)のみを再注入した。対照群には同様の手続きのみを行なった(擬似採血および再注入)。採血前および再注入後に自転車エルゴメーター負荷漸増による最大運動および5,000mあるいは10,000mのタイムトライアルを行ない効果判定の資料とし、得られた結果を要約すると以下の通りである。

1) 自転車エルゴメーターのExhaustive timeは採血前にくらべて自己血再注入後有意な増加がみられた。

2) 公式競技会および記録会のレースによる5,000mおよび10,000mのタイムトライアルの結果は有意な向上は示さなかった。

3) 安静時および運動後ともに赤血球数、ヘモグロビン濃度には自己血再注入による有意な変化がみられなかった。

4) 運動後のヘマトクリット値が自己血再注入後、採血前とくらべて有意な増加を示した。

5) 血中乳酸濃度もヘマトクリット値と同様に自己血再注入後に有意な増加を示した。

以上の結果、自転車エルゴメーターの Exhaustive time の有意な増加は、同時に起こった血中乳酸濃度の有意な増加によってもたらされたと考えられる。これは自己血再注入の効果とは考えられず、採血後のトレーニングによる影響と考えられる。

この本研究で得られた結果から持久性を改善する手段として、自己血再注入の効果を実証することはできなかった。

## 謝 辞

本研究完成の爲めに多大の御協力を下さり  
ました順天堂医院輸血室の湯浅晋治講師に感  
謝の意を表するとともに、献身的な努力を惜  
しまなかつた被験者の学生諸君、測定および  
データ処理に協力してく下さつた体力学教室  
の諸先生方、ならびに、大学院生の諸君に感  
謝致します。

最後に本論/作成にあたり、全面的な御教  
授、御助力を頂いた石河利寛教授に衷心より  
感謝の意を表します。



## 文 献

- 1) Åstrand, P.-O.: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Ejnar Munksgaard: Copenhagen (1952)
- 2) 東健彦: 腹部内臓循環. 松田幸次郎編  
生理学大系Ⅲ 循環の生理学. 第1版  
874-937. 医学書院: 東京(1969)
- 3) Balke, B., G.P.Grillo, E.B.Konecci and U.C.Luft: Work capacity after blood donation. J.Appl.Physiol., 7 231-238 (1954)
- 4) Csik, L and J. Benssik: Versuche die wirkung von B-Vitamin auf die arbeitsleistung des menschen festzustellen. Klin. Wchnschr., 6 2275 (1927)  
Karpovich, P.V 著 猪飼道石河利寛訳 運動の生理学  
再版 175 ベースボールマガジン: 東京(1963) 引引用
- 5) Drabkin, D.L.: The standardization of hemoglobin measurement. Am.J.Med.Sci., 215 110-111(1948)
- 6) Eklom, B., A.N.Goldbarg and B.Gullbring: Response to exercise after blood loss and reinfusion. J.Appl.Physiol., 33 175-180 (1972)
- 7) Gullbring, A., A.Holmgren, T.Sjostrand and T. Strandell: The effect of blood volume variations on the pulse rate in supine and upright positions and during exercise. Acta physiol. scand., 50 62-71 (1960)
- 8) Holmgren, A., F.Mossfeldt, T.Sjostrand and G.Strom: Effect of training on work capacity, total hemoglobin, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright positions. Acta physiol.scand., 50 72-83 (1960)

- 9) 堀居昭, 猪飼道夫: 人体総ヘモグロビン量からみた全身持久性の研究. 体育学研究, 16(4)215-222 (1972)
- 10) 石河利寛, 清水達雄, 佐藤佑: 勤労青少年の作業能力向上のための至適運動強度について 体育科学 1 73-80 (1973)
- 11) 猪飼道夫, 中村淳子, 石井喜八  
血流量からみた筋持久力 I  
体育の科学 15 201-206 (1965)
- 12) 金井泉: 臨床検査法提要 第24版 Ⅶ 9-Ⅶ 23  
金原出版 東京: (1966)
- 13) Karpovich, P.V. and N. Millman: Athletes as blood donors. Res. Quart., 13 166-168 (1942)
- 14) Macnab, R.B.J., P.R. Conger and P.S. Taylor: Differences in maximal and submaximal work capacity in men and women. J. Appl. Physiol., 27 644-648 (1969)
- 15) 水上茂樹, 鈴木子ヨ: 乳酸の酵素的測定法 LDHにより触媒される反応を用いて  
臨床検査, 10 631-634 (1966)
- 16) Oscari, L.B., B.T. Williams and B.A. Hetig: Effect of exercise on blood volume. J. Appl. Physiol., 24 622-624 (1968)
- 17) Quercetani, R.L.: A world history of track and field athletics 1864-1964 1st ed. Oxyford University Press: London (1964)

- 18) Robinson, B.F., S.E. Espstein, R.L. Kahler and E. Braunwald: Circulatory effects of acute expansion of blood volume: studies during maximal exercise and at rest. Circulation Res., 19 26-32 (1966)
- 19) Spealman, C.R., E.W. Bixby, J.L. Wiley and M. Newton: Influence of hemorrhage, albumin infusion, bed rest and exposure to cold on performance in the heat. J. Appl. Physiol., 1 242-253 (1948)
- 20) Statland, B.E., P. Winkel and H. Bokelund: Factors contributing to intra-individual variation of serum constituents: 1 within-day variation of serum constituents in healthy subjects. Clin. Chem., 19 1374-1379 (1973)
- 21) Statland, B.E., P. Winkel and H. Bokelund: Factors contributing to intra-individual variation of serum constituents: 2 Effects of exercise and diet on variation of serum constituents in healthy subjects. Clin. Chem., 19 1380-1383 (1973)
- 22) Track and Field Nes: Blood doping 'Miracle' results through undetectable method? Oct 16-17 (1971)
- 23) Williams, M.H., A.R. Goodwin, R. Perkins and J. Bocrie: Effect of blood reinjection upon endurance capacity and heart rate. Med. Sci. in Sports, 5 181-186 (1973)
- 24) 山田敏男: 運動鍛練時の赤血球の性状に関する研究, 第1報 赤血球新生破壊に及ぼす運動鍛練の影響.  
体力科学 7 231-240 (1958)

- 25) 山田敏男：運動鍛練時の赤血球の性状に関する研究，第2報 運動鍛練時の赤血球の抵抗性に就いて，体力科学 7 242-251 (1958)
- 26) 山田敏男：運動鍛練時の赤血球の性状に関する研究，第3報 運動鍛練時における赤血球燐の代謝に就いて 体力科学 8 81-91 (1958)
- 27) 山地廉平：筋労作事の蛋白代謝に関する研究(第2報) 労作訓練時の血液性状。  
日本生理学雑誌 13 483-489 (1951)
- 28) 吉村寿人：運動鍛練時の貧血に関する研究  
体力科学 7 学167-168 (1954)
- 29) 湯浅晋治，横田広夫：冷凍血液輸血  
順天堂医学 19 152-161 (1973)
- 30) 湯浅晋治：血液の凍血保存。  
最新医学 27 637-644 (1972)

The effects of venesection and reinfusion  
on endurance capacity.

Keisuke SAWAKI

The purpose of this investigation was to evaluate effect of reinfusion on endurance capacity. Ten university distance runners participated in this study. Five hundred ml of blood was withdrawn from antecubital vein of the five subjects (experimental group) and only red blood cells 205 ml was stored in  $-85^{\circ}\text{c}$ . Another five subjects (control group) were only punctured without withdrawing any blood. Double blind method was utilized. Three standardized submaximal works followed by exhaustion on a Monark bicycle ergometer were carried out before and after venesection, and after reinfusion. Trials of 5,000m and 10,000m were carried out in official competition before venesection and after reinfusion. Observed results were as follows:

- 1) Exhaustive time on bicycle ergometer riding increased significantly ( $P < 0.05$ ) after reinfusion compared with before venesection.
- 2) Running performance of 5,000m and 10,000m did not significantly increase.
- 3) No significant changes were observed in both red blood cells and hemoglobin concentration.
- 4) Hematocrit after bicycle ergometer riding was significantly increased ( $P < 0.01$ ) after reinfusion compared with before venesection.
- 5) Blood lactic acid concentration was increased significantly after reinfusion compared with before venesection.

It seems that an increase in performance (exhaustive time) was induced by increased anaerobic energy release. From the results, the author could not prove the effect of reinfusion on endurance capacity.

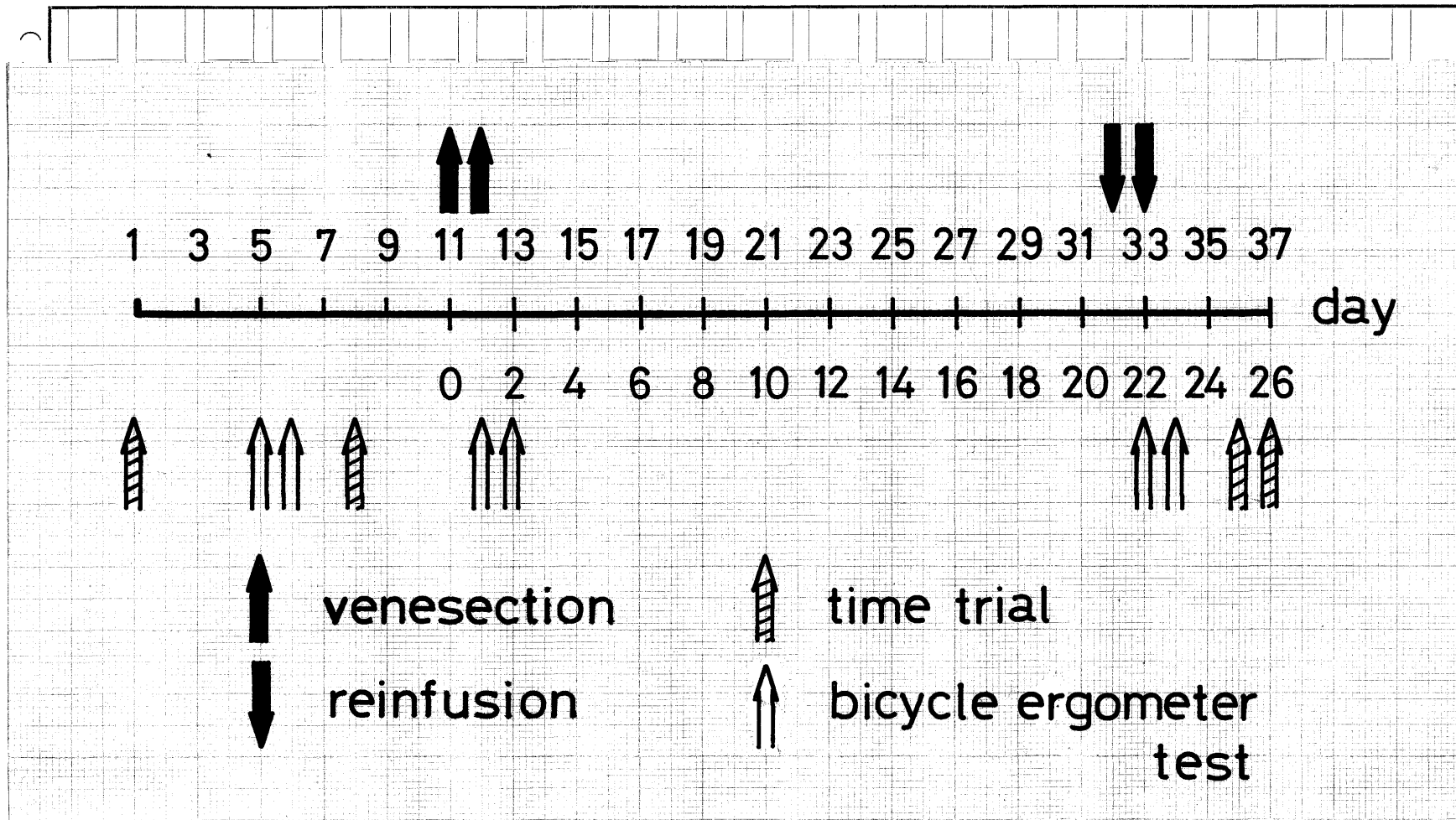


Fig. 1. General schedule

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Group subject	Age yr	Stature cm	Weight kg	5000m best performance	
				min	sec
Experimental					
A	22	172	58.0	14	'22"0
B	22	167	57.5	14	'42"0
C	20	177	64.0	14	'31"0
D	20	180	63.0	15	'07"0
E	19	166	58.5	15	'54"0
$\bar{X}$	21	172	60.2	14	'55"2
SD	1.3	6.1	3.05		36"9
Control					
F	22	163	53.0	14	'44"0
G	22	173	58.5	15	'46"0
H	21	170	54.5	14	'42"0
I	20	168	58.0	15	'10"0
J	19	162	53.0	15	'02"0
$\bar{X}$	21	167	55.4	15	'04"8
SD	1.3	4.7	2.68		25"9

Table 2. Changes in 5000m best performance (I: before venesection, III: after reinfusion).

		Performance (time in min.)		
Group	n		I	III
Experimental	5	5000m	15'22"0±39"9	14'58"2±37"5
Control	1	5000m	15'48"0	15'33"0
	4	10000m	31'16"0±18"6	31'02"0±28"7



Table 3. Changes in exhaustive time on bicycle ergometer test (I: before venesection, II: after venesection, III: after re-infusion)

Group	exhaustive time		
	I	II	III
Experimental	15'27"0±45"5	16'12"0±85"4	16'52"0±55"5*
Control	15'02"0±56"0	14'37"0±68"5	15'26"0±77"9

\* indicates  $p < 0.05$  between I and III

Table 4. Changes in Red Blood Cell (RBC:10<sup>4</sup>/mm<sup>3</sup>), Hemoglobin (Hb:g/dl) and hematocrit (Ht:%) at rest and after bicycle ergometer test.

at Rest										
Group	RBC (10 <sup>4</sup> /mm <sup>3</sup> )			Hb (g/dl)			Ht (%)			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Experimental	385±50.1	398±92.2	441±32.8	14.6±1.3	14.4±1.3	15.7±0.6	41.2±4.2	37.9±5.9	43.9±1.9	
Control	384±32.9	368±28.2	435±36.7	14.6±0.9	13.8±2.4	15.3±1.5	39.8±4.8	42.3±3.8	43.5±1.7	
after Work										
Experimental	388±95.8	429±82.5	480±37.1	15.2±2.1	16.1±2.2	18.8±2.8	42.3±3.0	42.2±3.4	48.7±1.9	**
Control	446±30.8	422±43.1	483±46.0	15.9±1.4	15.0±1.5	18.0±1.5	43.9±5.0	45.6±5.8	47.0±2.8	

\*\* indicates p<0.01 between I and III

Table 5. Changes in  $\dot{V}O_2$  max. (ml/kg·min:STPD),  $\dot{V}_E$  max. (l/min:BTPS) and Blood lactic acid concentration (LA:mg/dl) after bicycle ergometer test.

Group	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg.min · STPD)			$\dot{V}_E$ max (l/min · BTPS)			LA (mg/dl)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Experimental	51.6±4.4	51.7±2.8	57.5±3.9	121.2±19.2	120.8±14.3	127.9±17.0	61.6±13.3	73.9±16.5	87.8±9.4
Control	50.4±4.7	55.2±9.2	57.3±6.9	118.0±10.0	110.6±15.0	122.9±18.3	80.4±18.5	85.4±15.6	95.6±19.

\* indicates  $p < 0.05$  between I and III

Table 6. Changes in heart rate during bicycle ergometer test at rest and after bicycle ergometer test.

Group	Heart Rate (beats/min.)					
	I		II		III	
	at rest	max.	at rest	max.	at rest	max.
Experimental	61.8±16.3	162.4±11.2	59.4±18.3	163.8±16.1	62.6±17.3	172.8±5.9
Control	60.0±7.6	155.0±11.8	59.4±8.0	151.4±12.9	59.8±8.2	161.4±8.3

Table 7. Changes in heart rate during 3 submaximal work loads of PWC<sub>170</sub> test.

PWC<sub>170</sub> Test Heart Rate (beats/min.)

Group	I			II			III		
	3 - 4'	7 - 8'	11 - 12'	3 - 4'	7 - 8'	11 - 12'	3 - 4'	7 - 8'	11 - 12'
Experimental	102.8±16.3	120.2±9.0	137.4±5.3	97.0±7.0	114.8±8.5	138.4±10.9	106.2±6.2	123.0±3.9	140.8±7.5
Control	100.4±9.2	119.4±7.6	140.4±7.2	93.6±9.8	111.4±8.0	145.6±7.8	99.4±13.3	118.0±10.6	142.0±7.6