

赤血球性状, 特に赤血球2,3-DPG におよぼす 身体トレーニングの効果

木村 直人, 安部 孝, 趙 秋蓉
井川 正治, 堀居 昭, 広田 公一
日本体育大学

Effects of Physical Training on Red Blood Cell Properties, in particular Erythrocyte 2,3-DPG

Naoto KIMURA, Takashi ABE, Zhao Qui Rong, Shoji IGAWA
Akira HORII and Koichi HIROTA
Nippon College of Physical Education
Fukazawa, Setagaya-ku, Tokyo, 158 Japan

In order to investigate the effects of physical training on red blood cell properties, in particular erythrocyte 2,3-DPG, the present study was examined using 10 alpine skiers (Athlete) and 7 untrained persons (Control) aged from 19 to 26 years.

The results were obtained as follows:

- 1) The average $\dot{V}O_2\text{max}$ value of Athlete was significantly higher than that of the Control.
- 2) With regards to the red blood cell properties (RBC, Hb, Hct), there was no significant difference between the two groups. However MCV, MCH values of Athlete were significantly lower, and MCHC of Athlete was significantly higher in comparison with those of the Control.
- 3) The erythrocyte 2,3-DPG concentration levels were significantly higher in Athlete as compared with those of Control.
- 4) The relationship between $\dot{V}O_2\text{max}$ and erythrocyte 2,3-DPG was significantly correlated for all subjects composing the two groups. A significant correlation was also found between MCHC and erythrocyte 2,3-DPG for the group of all Subjects.

These results suggest that MCHC and erythrocyte 2,3-DPG are closely correlated. Therefore, it is conceivable that improvement of aerobic work capacity as a physical training effect is because of the simultaneous increase of both MCHC and erythrocyte 2,3-DPG and decrease in MCV.

Key words: Erythrocyte 2,3-diphosphoglycerate(2,3-DPG), Mean Corpuscular Volume(MCV), Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC), Aerobic Work Capacity

目 的

赤血球内に含まれる Hemoglobin (Hb) は, 肺胞に取り入れた酸素と化学的に結合し末梢組織への運搬および供給をつかさどり, 酸素の運搬体として重要な役割を果たしていることは周知のことである。また赤血球内の解糖中間体有機リン酸化合物のひとつである赤血球2,3-diphosphoglycerate (2,3-DPG) は酸素分圧の

低い末梢において, 酸素と解離した状態すなわち deoxy Hb と特異的に結合し酸素親和性の低下を促すことから, Hb の酸素供給機能に影響をおよぼす要因のひとつと考えられている。一般に赤血球2,3-DPG を含む赤血球は, 生体内の活動組織へ酸素を供給することから, 身体運動とは密接な関係にある。すなわち, 身体トレーニングがもたらす全身持久性の改善に対

し, 赤血球 2,3-DPG (Remes *et al.* 1979) やそれを含む赤血球性状 (蜂須賀, 山岡, 1963) が影響をおよぼすと報告されており, これらのかかわり合いについては興味深いところである. しかしながらトレーニング効果としてみられる全身持久性の改善に対し, それに関与する赤血球性状と赤血球 2,3-DPG との関係について直接論じた報告はあまり見あたらない.

そこで本研究では, 定期的な身体トレーニングの実施が赤血球性状, 特に赤血球 2,3-DPG の変化および赤血球性状と赤血球 2,3-DPG との相互関係について検討を加えた. 同時に全身持久性との関連についても検討した.

方 法

被検者は 19-21 才 (19.7 ± 0.9 才) のアルペンスキー男子選手 10 名 (Athlete 群) であり, その対照として日常定期的な運動習慣のない 20-26 才 (23.4 ± 2.1 才) の一般男子 7 名 (Control 群) を用いた. アルペンスキー選手は週 5-6 回, 1 日 1-2 時間程度の身体トレーニングを実施している者で 6 年以上の競技経験を有し, 10 名中 6 名はナショナルチームに属しており, 残り 4 名を含めて競技力は日本のトップクラスに位置している. 測定はアルペンスキー選手の身体機能が最も充実すると考えられるシーズン直前の 10 月前半に実施した.

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) の測定はトレッドミルを用い, 速度漸増法を用いて行った. 換気量 ($\dot{V}_E$) は Respirometer (CR-20, フクダ産業製) を使用し, 呼気ガス濃度は Oxygen Analyzer OM-11, Medical Gas Analyzer LB-2 (いずれも Beckman 社製) を使って分析した. 心拍数 (HR) は胸部双極誘導により得られた R 波を検出し Pulse counter にて積算を行った. 以上に示された各パラメーターの測定値はコンピューターとのオンラインシステムにより, 一分間ごとに算出した.

また $\dot{V}O_2\max$ 測定の前後一週間以内に安静時の血液採取を行った. 採血は 12 時間以上の絶食後, 早朝空腹時に肘正中皮静脈より採取し直ちに赤血球性状の測定を行った. 赤血球数 (RBC), 平均赤血球容積 (MCV), Hematocrit 値 (Hct) は Coulter Counter Z B I 型 (Coulter Electronic 社製) を使用し採血後 2 時間以内に分析した. 同時に Hb 量はシアンメトヘモグ

ロビン法を利用した同社の Coulter Hemoglomino-meter を用いて測定した. また平均赤血球 Hb 量 (MCH), 平均赤血球 Hb 濃度 (MCHC) は計算式 (日野, 1984) を用いて算出した. 赤血球内の 2,3-DPG の測定は酵素反応による end-point 法を利用した (Michael, 1974) 2,3-DPG test (ペーリンガー・マンハイム社製) を使用し, 分光光度計 (日立製 100-10 型) を用いて比色定量を行った. 統計的検定は student t-test にて行った.

結 果

表 1 は Athlete 群 10 名, Control 群 7 名の身体的特徴および最大酸素摂取量の測定値を平均値と標準偏差とで示した. 身長, 体重および %Fat には両群間に有意

Table 1. Physical Characteristics of Athlete and Control Groups (mean $\pm$ S.D.)

	Athlete (n=10)	Control (n=7)
Age (years)	19.7 $\pm$ 0.9	23.4 $\pm$ 2.1
Height (cm)	170.8 $\pm$ 5.2	174.6 $\pm$ 5.3
Weight (kg)	71.0 $\pm$ 7.4	73.5 $\pm$ 7.6
%Fat $^{\Delta}$ (%)	18.1 $\pm$ 4.0	17.7 $\pm$ 3.8
HR max (beats/min)	188.5 $\pm$ 7.8	199.0 $\pm$ 13.8
$\dot{V}O_2$ max (l/min)	4.17 $\pm$ 0.42*	3.71 $\pm$ 0.34
(ml/kg/min)	58.3 $\pm$ 3.8**	50.6 $\pm$ 3.1

*p<0.05, **p<0.01; Significant difference from Control.

%Fat $^{\Delta}$ = 100(4.570/Body density - 4.142)

Body density = 1.0931 - 0.0016(Triceps + Subscapular) (Brožek, J. *et al.* 1963; Nagamine, S. *et al.* 1964)

Table 2. Red Blood Cell Properties of Athlete and Control Groups (mean $\pm$ S.D.)

	Athlete (n=10)	Control (n=7)
RBC ($\times 10^4/\text{mm}^3$)	498.0 $\pm$ 39.4	489.3 $\pm$ 23.3
Hb (g/dl)	14.8 $\pm$ 1.0	15.2 $\pm$ 0.6
MCV (μm^3)	83.9 $\pm$ 2.2**	88.7 $\pm$ 2.9
Hct (%)	41.6 $\pm$ 2.5	43.3 $\pm$ 2.3
MCH (pg)	29.8 $\pm$ 0.8*	31.1 $\pm$ 1.1
MCHC (%)	35.8 $\pm$ 0.4**	35.0 $\pm$ 0.6
2,3-DPG $^{\circ}$ ($\mu\text{mol/g Hb}$)	14.0 $\pm$ 1.7**	10.8 $\pm$ 1.5

*p<0.05, **p<0.01; Significant difference from control. $^{\circ}$ (n=9)

な差は認められなかった。HRmax は Athlete 群が Control 群に比べ低い値を示したが有意差は認められなかった。 $\dot{V}O_2\text{max}$ と $\dot{V}O_2\text{max}/w$ では Control 群に比べ Athlete 群がそれぞれ 0.46 l/min , 7.7 ml/kg/min 高値を示し統計的に有意な差 ($P<0.05$, $P<0.01$) が認められた。

表 2 には両群の赤血球性状を示した。Control 群に比べ Athlete 群は RBC で高値を、Htc および Hb では低値を示したがいずれも両群間に有意な差は認められなかった。MCV では Athlete 群が Control 群に比べ平均 $4.8\mu\text{ m}^3$ 低い値を示しその差は有意であった ($P<0.01$)。両群の MCH, MCHC について見ると、Athlete 群が MCH では有意に低値を示し ($P<0.05$)、MCHC においては有意に高い値を示した ($P<0.01$)。また赤血球 2,3-DPG ($\mu\text{mol/g Hb}$) では、Athlete 群

が高値を示し Control 群との間に有意な差 ($P<0.01$) が認められた。

両群の赤血球 2,3-DPG 量と $\dot{V}O_2\text{max}$ および MCHC との関係を示したものが図 1, 2 である。なお有意差検定は両群の相関係数の平均値 (Z 変換) を用いて行った。赤血球 2,3-DPG と $\dot{V}O_2\text{max}$ との間には正の有意な相関関係 ($r=0.675$, $P<0.01$) が得られ、赤血球 2,3-DPG の増加に伴う $\dot{V}O_2\text{max}$ の上昇が認められた。また赤血球 2,3-DPG と MCHC との間にも有意な相関関係 ($r=0.558$, $P<0.05$) が認められ、MCHC が高値を示すほど赤血球 2,3-DPG も高い値であった。

考 察

アルペンスキー競技 (回転, 大回転, 滑降) においては、その競技時間が 30 秒から 1 分 30 秒程度であることからミドルパワーの運動種目 (宮下, 1983) であり、特にアルペンスキー選手は高い脚筋力と有酸素的および無酸素的作業能力が必要であるといわれている (Heymes, Dickinson, 1983)。Rusko ら (1978) はフィンランドのオリンピック代表選手の有酸素的作業能力を測定したところ、アルペンスキー選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は平均 63.8 ml/kg/min であった。また Broun と Wilkinson (1983) はカナダナショナルチーム 10 名, クラブチーム 22 名を対象として $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定を実施し、それぞれ 63.1 , 61.6 ml/kg/min の値を得ている。本研究におけるアルペンスキー選手 (Athlete 群) の $\dot{V}O_2\text{max}$ は $58.3\pm 3.8\text{ ml/kg/min}$ であり、上記の値に比べわずかながら低い値を示している。しかし Control 群のそれ ($50.6\pm 3.1\text{ ml/kg/min}$) と比べると有意に高値であった。

一方、酸素運搬に関与する因子として、Hb と RBC が挙げられている。これについては、身体トレーニングを積んだ鍛錬者の赤血球数や Hb 濃度が一般人と比較した場合高値を示す報告 (吉村, 山田, 1956; 蜂須賀, 山岡, 1963), 他方変化が見られない報告 (Åstrand, 1956), あるいは単位量あたりの RBC, Hb 濃度は低値を示す報告 (東, 佐藤, 1984) があり、必ずしもその結果は一様でない。本研究においては、Hb および RBC には両群間に統計的な差は認められなかった。

Åstrand (1952), 堀居と猪飼 (1971) は Hb 濃度の他に人体総 Hb 量, 循環血液量の比較検討を行った。Hb 濃度においては一般人が高値を示したが、人体総

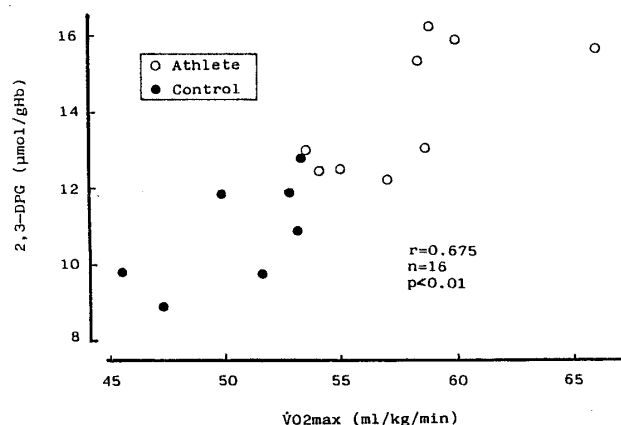


Fig. 1. Relationship between erythrocyte 2,3-DPG and maximal oxygen uptake in athlete and control groups.

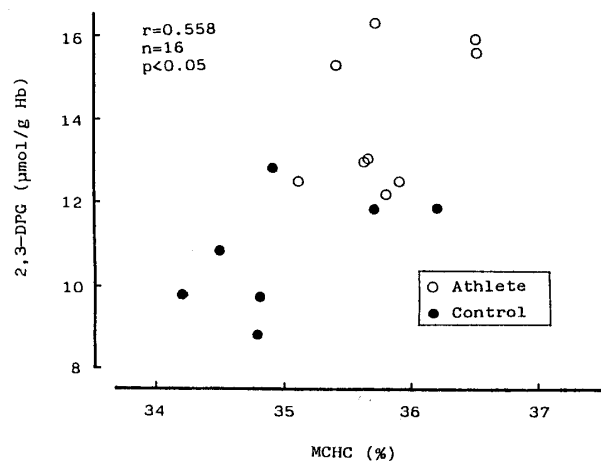


Fig. 2. Relationship between erythrocyte 2,3-DPG and MCHC in athlete and control groups.

Hb 量, 循環血液量は運動競技者が有意に高値を示したと報告している. そして特に人体総 Hb 量と $\dot{V}O_2$ max との間には有意な高い相関関係があることを指摘し, 人体総 Hb 量は全身持久性を規定する重要な因子の一つであると結論している. また Holmgren (1960) も生体内の酸素運搬能力を規定する要因として最大心拍出量のほかに総 Hb 量をあげている. 本研究では両群の RBC および Hb に差は認められなかったが, Åstrand (1960), Holmgren (1960) および堀居と猪飼 (1971) の報告に沿って検討すると, Control 群に比べ Athlete 群には多量の循環血液量, 総 Hb 量が存在し, 生体内の酸素運搬能力は高い水準にあると推察される. さらにこのことが Athlete 群の $\dot{V}O_2$ max を向上させている理由であろうと思われる.

また, 単位容積あたりの赤血球数は酸素運搬能力に影響をおよぼす. ところがその限界を越えると血液の粘性が増加し, 血流の減少をうながすと考えられる (Edington, Edgerton, 1983). Guyton と Rechardson (1961) は静脈環流量と血液の粘性との関係において, Hct は約 40% 程度の時が血液の循環効率の点で最適であり, Hct の上昇は Venus Return を減少させ酸素運搬能力を低下させると述べている. さらに Crowell と Smith (1967) も組織への酸素運搬には Hct 40% が最も適しており, これ以上の Hct の上昇は心拍出量の低下をもたらすと報告している. 本研究においても, Control 群に比べ Athlete 群の Hct は低値を示している. しかし統計的に有意差は得られなかった.

一般に, Hct は赤血球一個の大きさを表わす MCV と赤血球数との積と考えられている. したがって Hct の減少は MCV が小さくなるかまたは RBC が減少するかのどちらかであるが, 血液粘性の減少という点においてはいずれも有益なことであり, 赤血球の大きさ (MCV) は循環効率に影響をおよぼすと考えられる.

弘, 堀居 (1984) は 19-22 才の長距離選手を対象として一ヵ月間の身体トレーニングを実施した結果, MCV はトレーニング前に比べ有意に低下しさらに赤血球の分布曲線からも赤血球が全体的に小さくなる (小型化) ことを報告し, Radomski ら (1980) も 6 週間の身体トレーニングを行った結果, MCV は低下し赤血球全体に占める小赤血球の割合が増加したことを報告している. 本研究においても Athlete 群の MCV は平均 $83.9 \pm 2.2 \mu m^3$ であり, Control 群の $88.7 \pm 2.9 \mu m^3$

m^3 に比べ有意に低い値が得られた. このことは, 血液の粘性抵抗の低下と流動性の向上につながり, さらには $\dot{V}O_2$ max の向上をうながすと考えられる. したがって本研究における Athlete 群は日常のトレーニングにより組織への酸素運搬に最も効率的な血液の粘性度を調節しているものと推察される.

末梢組織への酸素運搬機能を調節している因子として赤血球内 2,3-DPG があげられている. 赤血球 2,3-DPG は Hb と酸素との親和性を調節する一要因とされており, 赤血球 2,3-DPG の増加は Hb の酸素解離曲線を右方向へ移行 (Hb の酸素親和性減少) させ, 結果として組織への酸素供給を容易にすると報告されている (Bensch, Bensch, 1967; Chanutin, Curntsh, 1967). Böning ら (1975) や Braumann ら (1979) は日常定期的に身体トレーニングを行っている鍛練者と非鍛練者とを比較したところ, 安静時鍛練者の赤血球 2,3-DPG は非鍛練者のそれよりも高値を示した. さらに Hb の酸素解離曲線の指標とされる P_{50} 値 (Hb が 50% 酸素飽和時に必要な酸素分圧) にも上昇を認め, 酸素解離曲線は右方向へ移行することが報告され, 鍛練者の酸素供給能を高水準にもたらしと説明している. また Remes ら (1979) も 29 名の成人男子に対して 6 ヶ月間の身体トレーニングを実施し, 赤血球 2,3-DPG の増加に伴う $\dot{V}O_2$ max の上昇を認めている. 本研究においても高い $\dot{V}O_2$ max を有する Athlete 群の赤血球 2,3-DPG は Control 群に比べ有意に高値を示し, さらに両群の赤血球 2,3-DPG と $\dot{V}O_2$ max との間に正の相関関係が認められた. このことは上述した報告 (Böning *et al*, 1975; Braumann *et al*, 1979) と一致しており, 身体トレーニングの実施に伴う $\dot{V}O_2$ max の向上は赤血球 2,3-DPG の増加現象により, Hb の酸素放出を容易にし組織への酸素供給を促進しているものと考えられる. したがって赤血球 2,3-DPG は $\dot{V}O_2$ max を規定する因子の一つと推察される.

赤血球恒数 (MCH, MCHC) については, 両群間に差異が認められ, 血球容積あたりの Hb 濃度を示す MCHC は Athlete 群が有意に高い値を示した. MCHC の上昇から Athlete 群には血球成分に対し血漿量が多く, Hct に対する Hb の多い赤血球性状であると考えられる. 身体トレーニングの実施に伴い MCH, MCHC は増加し, 赤血球恒数の高い血液性状により, 組織への高い酸素輸送能力を獲得しているこ

とが報告されている(弘, 堀居, 1983; 藤牧ら, 1983).
したがって, 本研究においても Athlete 群の酸素運搬能力は高い水準にあると考えられ, MCHC の上昇は $\dot{V}O_2\max$ に影響を及ぼすものと思われる.

以上の結果から, MCV の低下, MCHC の上昇さらに赤血球2,3-DPG の増加などがトレーニング効果として示される $\dot{V}O_2\max$ の向への誘因となることが推測される.

さて, 本研究の目的は全身持久性の改善をもたらす MCV や MCHC などの赤血球性状と赤血球2,3-DPG との相互関係ということになるが, 一般に身体運動の実施により, 赤血球の破壊及び新生, 浸透圧抵抗の低下等など血液性状に変化が生じることはよく知られている. さらに身体トレーニングの継続により骨髓の造血作用が亢進し, 赤血球新生が増加することや一種のスポーツ適性として新生の赤血球は小型化することが示唆されている(山田, 1958a 1958b; 弘, 1984). Mairbäural ら(1983)は mean red cell density と $\dot{V}O_2\max$ との間に高い負の相関関係が認められたことを報告し, 血液中の数多くの若い赤血球の存在は多量の赤血球2,3-DPG と Hb と酸素との親和性の減少の両方を有していると説明している. 本研究では身体トレーニングの効果が最も向上するとされる時期を選び測定した結果, MCV は Control 群に比べ Athlete 群が低値を示し赤血球2,3-DPG においては高値を示したことから, 上述の報告(山田, 1985a 1985b; Mairbäural, 1983; 弘, 1984)をふまえて推察すると Athlete 群には比較的に数多くの小型の若い赤血球が存在すると思われる. このことは高値を示した赤血球2,3-DPG とともに末梢においてよりいっそう Hb と酸素との親和性の減少をうながし, さらに物理的な面からも血液の流動性を高めるものと推測される. また本研究では両群の MCHC と赤血球2,3-DPG との間に正の相関関係が認められたことから, 血球容積に対する Hb の上昇は多くの酸素を効率良く組織へ輸送し, さらにそれに伴う赤血球2,3-DPG の増加は Hb の酸素親和性を減少させ, 生体全体の酸素需要状態に応じて酸素供給を調節していると推測される.

以上のごとく, 身体トレーニングの効果として示される全身持久性の向上には, MCV の低下による流動性の向上と, 赤血球2,3-DPG およびこれに伴う MCHC の上昇が寄与していると推察される.

まとめ

本研究は鍛練者と一般男子とを対象として, 規則的な身体運動の実施が赤血球性状, 特に赤血球2,3-DPG の変化および赤血球性状と赤血球2,3-DPG との相互関係について検討を加えた. さらに全身持久性との関連についても検討した.

- 1) $\dot{V}O_2\max$ においては, Athlete 群(58.3ml/kg)が Control 群(50.6ml/kg)に比べ有意に高い値を示した.
- 2) 赤血球性状では, Control 群に比べ Athlete 群の MCV は低値を, また MCHC では高値を示した. 赤血球2,3-DPG では, Athlete 群が高値を示し, Control 群との間に顕著な差が認められた.
- 3) 赤血球2,3-DPG と $\dot{V}O_2\max$ および MCHC との間にそれぞれ正の相関関係が認められた.

本研究により得られた結果から, 身体トレーニングの効果として示される全身持久性の向上は, MCV の低下による流動性の向上と, MCHC および赤血球2,3-DPG レベルの上昇が寄与していると推察した.

文 献

- Åstrand, P. O., 1952: Experimental studies of physical working in relation to sex and age. *Ejnar munksgaard*, Copenhagen.
- Åstrand, P. O., 1956: Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiol. Rev.* 30, 307-335.
- 東隆鳴, 佐藤尚武, 1984: 運動選手の血液性状に関する研究—長距離ランナーの赤血球性状とその生理的意義について—, *J. J. SPORT SCI* 3(12) 996-1001.
- Benesch, R and R. E. Benesch, 1967: The effect of organic phosphates from the human erythrocyte on the allosteric properties of hemoglobin, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 26, 162-167.
- Böning, D., U. Schweigart, U. Tibes, and B. Hemmer, 1975: Influences of exercise and endurance training on the oxygen dissociation curve of blood under in vivo and in vitro conditions. *Europ. J. Appl. Physiol.* 34, 1-10.
- Braumann, K. M., D. Böning, and F. Trost, 1979: Oxygen dissociation curve in trained and untrained subjects. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42, 51-60.

- Broun, S. L. and J. G. Wilkinson, 1983: Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15(6) 491-495.
- Brožek, J., F. Grande, J. T. and Erson, A. Keys, 1963: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110, 113-140.
- Chanutin, A., and R. R. Curnish, 1967: Effect of organic and inorganic phosphates on the oxygen equilibrium of human erythrocytes. *Arch. Biochem. Biophys.* 121, 96-102.
- Crowell, J. W. and E. E. Smith, 1967: Determinant of the optimal hematocrit. *J. Appl. Physiol.* 22(3), 501-504.
- Edington, D. W. and V. R. Edierton, 1983: The biology of physical activity, ベースボールマガジン社, 東京, P156.
- Guyton, A.C. and Recharadson, T.Q, 1961: Effect of hematocrit on venous return. *Circulation Research.* 9, 157-164.
- Haymes, E.M. and Dickinson, A.L., 1980: Characteristics of elite male and female ski racers. *Med. Sci. Sports Exercise* 12 (3), 153-158.
- 蜂須賀弘久, 山岡誠一, 1963: スポーツ選手の血液性状と運動能力, 体力科学 11 (4), 15.
- 日野志郎, 1983: 臨床検査講座 15 血液学, 医科薬出版東京, 147-150.
- 弘卓三, 堀居昭, 1984: 身体トレーニングに伴う赤血球分布曲線の研究, 体力科学 33, 1-7.
- 藤牧利昭, 小川新吉, 浅野勝巳, 吉田善伯 富原正二, 矢野徳郎, 小原達郎, 1983: 中高年長距離走者の生理的特性, 体力科学 32, 269-277.
- 堀居昭, 猪飼道夫, 1971 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 6 (4), 215-222.
- Holmgren, A., Mossfeldt, T., Sjostrand and Strom, G, 1960: 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.
- Mairbäurl, H., Humpeler, E., Schwabberger, G. and Pessenhofer, H, 1983: Training-dependent changes of red cell density and erythrocytic oxygen transport. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise.* 55 (5), 1403-1407.
- Michal, G. 1974: In methods of enzymatic analysis (Bergmeyer, H. U., ed). Verlage Chemie, Weinheim and Academic Press, New York. 1433-1438.
- Nagamine, S. and Suzuki, S, 1974: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human boil.* 36, 8-15.
- Radomski, M. W., Sabiston, B. H. and Isoard, P. 1980: Development of sports anemia in physically fit men after daily sustained submaximal exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* 51 (1), 41-45.
- Remes, K., Vuopio, P. and Harkonen, M, 1979: Effect of long term training and acute physical exercise on red cell 2, 3-diphosphoglycerate. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42, 199-207.
- Rusko, H., Have, M. and Karvonen, E. 1978: Aerobic performance capacity in athletes. *Europ. J. Appl. Physiol.* 38, 151-159.
- 山田敏夫, 1958a: 運動鍛練時の赤血球性状に関する研究, 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 (5), 231-241.
- 山田敏夫, 1958b: 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 (5), 242-251.
- 吉村寿人, 山田敏夫, 1956: 運動選手の血液性状, 特に赤血球性状に就て, 体力科学 6 (3), P103.

(1984年, 5月7日受付)