血清および血管壁コレステロール代謝に及ぼす 身体運動のトレーニング効果

東 恵 彦* 武 井 信 子* 鈴 木 聡*
広 田 公 一** 坂 元 晃 史***

EFFECT OF PHYSICAL TRAINING ON THE METABOLISM OF SERUM AND ARTERIAL CHOLESTEROL

TOKUHIKO HIGASHI, NOBUKO TAKEI, SATOSHI SUZUKI
KOICHI HIROTA and TERUFUMI SAKAMOTO

Abstract

The effect of a treadmill running program on the metabolism of cholesterol in serum and in arterial wall was studied in male Wistar rats, aged 7 weeks and weighing about 200 g. Rats were exercised on 6 days a week for 8 week, running 1,000 m a day at 15 m/min. The trained rats gave the following evidence, as compared with the sedentary control animals:

1. Remarkably lower body weight
2. Significantly lower level of serum cholesterol—total, free, and LDL cholesterol
3. Elevated in vivo incorporation of ^{14}C -mevalonate into serum cholesterol
4. Enhancement of lecithin-cholesterol acyltransferase activity in serum
5. Decrease in the amount of cholesterol in arterial wall cells
6. Increase in in vivo incorporation of ^{14}C -mevalonate into arterial cholesterol.

The results indicate that the exercise promotes the turnover of cholesterol in serum and arterial wall, repressing the accumulation of cholesterol ester in arterial wall cells, and a prophylactic effect of the physical training for arteriosclerotic diseases has been suggested.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1987, 36 : 95~102)

key words : physical training, cholesterol, serum, artery, LCAT

I. 緒 言

広田ら¹⁰⁾¹¹⁾は、強制運動を負荷したラットのコレステロール代謝を研究し、血清や肝のコレステロール量が非運動群ラットに比して少いこと、それにもかかわらず、放射性同位元素で標識した前駆体を投与した場合に、対照群よりも速かに、肝コレステロールに取り込まれることを報告し、運動のトレーニング効果としてコレステロールの代謝が亢進される点を強調して、それが動脈硬化予

防上有効であろうと推論した。

本研究ではこの推論を更に確めるために1回の実験の動物数を運動群、対照群それぞれ15~20例に増加するとともに、実験を前後3回(表ではA, B, Cとして区別)にわたって行った。従前どおり血清総コレステロールおよび遊離コレステロールの値を測定して運動群と対照群とで比較したほか、今回は新たにLDLコレステロール量をも定量した。

^{14}C -酢酸の肝コレステロールへの取り込みが in

* 筑波大学基礎医学系
〒305 茨城県新治郡桜村

** 日本体育大学体育研究所
〒154 東京都世田谷区深沢7-1-1

*** 昭和大学薬学部生理化学教室
〒142 東京都品川区旗の台1-5-8

*Institute of Basic Medical Sciences, University of Tsukuba,
Niihari-gun, Ibaraki-ken (305)*

*Nippon College of Physical Education, Fukazawa, Setagaya-
ku, Tokyo (154)*

*School of Pharmaceutical Sciences, Showa University, Hatanodai,
Shinagawa-ku, Tokyo (142)*

vivo でも in vitro でも, 運動群で亢進することはすでに報告したが¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾, 血清コレステロールへの取りこみは測定していなかったので, 本研究では¹⁴C-メバロン酸を注射し, 血清の各コレステロール分画(総, 遊離, HDL, LDL)への取込みを運動群と対照群で測定比較した. さらに血管壁からのコレステロールの搬出に役立つ血中 lecithin : cholesterol acyltransferase (LCAT) の活性を新しく測定した.

血管壁コレステロール量に対する身体運動の影響については, Westerfield²⁸⁾が有意に低下したと報告しているのに対し, Rothfeld ら²¹⁾は非運動群との間に差を認めなかったといい, 研究例も少なく, 結論が出ていない. 著者らも前報²²⁾で運動群ラット動脈壁の遊離コレステロール量にやや低値を観察したものの総コレステロール量では非運動群ラットとの間に有意差を認めていなかった. 本研究ではその点について実験を重ねるとともに, ¹⁴C-前駆体の血管壁コレステロールへの取り込みについても検討した.

II. 実験方法

A. 実験条件

生後7週, 体重約200gのWistar系雄ラットに, トレッドミルを用いて毎分15m, 1日1,000m, 1週6日間の運動を負荷し, 8週後, 測定に供した. 期間中は普通食*を自由に摂取させて飼育したが, 同条件下で飼育したほぼ同数のラットを対照群として, 同じ測定を行った. 実験は前後3回, 別々の時期に実施したので, それぞれA, B, Cとして区別する.

ラットはエーテル麻酔のもとに開腹し, 腹部大動脈の左右への分岐点を穿刺して瀉血採血する. この分岐点よりさかのぼって動脈を剥離し, 左心室の出口までの部分を切り出す. 血管の内容および付着した組織を取り除きよく洗浄した後縦に切り裂き, 水分を濾紙に吸収させてからその湿重量を測定した.

B. 測定

血清総および遊離コレステロールはZaK法の变法³¹⁾または栄研化学のキットによる酵素法で測定した. LDLは栄研化学の分離試薬で分離したのち, そのコレステロール量をZaK変法で測定した.

¹⁴C-メバロン酸の血清コレステロールへの取りこみは, 体重100g当り2 μ ciを腹腔内に注射し, 45分後または90分後に測定した. 総コレステロールはけん化後, 遊離コレステロールはそのまま有機溶媒で抽出し, ジギトナイドとして沈殿させた後, 洗浄, 溶解して, それぞれ定量と放射能測定(液体シンチレーションによる)を行い, コレステロールmg当りのcmp(すなわち比活性)で表わした. さらにHDLとLDLは栄研化学の沈殿試薬で, 前者を上清部分に後者を沈殿部分に分別分離し, それぞれをKOHでけん化した後, 有機溶媒で抽出し, ジギトニンで沈殿させた後, 定量と放射活性の測定を実施した. 結果は上記のような比活性で表わした.

血清LCATの活性は次のようにして測定した¹⁹⁾. すなわち, 血清0.5mlに基質溶液0.1ml(5mg/mlホスファチジルコリン・ジパルミトイル, 10mMメルカプトエタノールを含む10mMリン酸緩衝液, pH7.4)を加え, 37℃に3時間incubateし, 反応の前後における遊離コレステロールの量を和光純薬の測定キットを用いて定量し, 両者の差をmg/hr/100ml血清の単位で表わした.

血管壁コレステロールの定量は, 心臓から腹部大動脈分岐点までの動脈を切り出し, メタノール・クロロホルムでホモゲナイズして脂質を抽出し, 血清コレステロール定量に準じて, ZaKの変法で行った.

in vivoでのトレーサー実験は, ¹⁴C-酢酸10 μ ci/100g体重または¹⁴C-メバロン酸2 μ ci/100g体重をラット腹腔内に注射し, 45分または90分後に殺して上記のように血管壁の脂質抽出液を調製し, 血清コレステロールの場合と同様に, その比放射能を求めた.

すべて測定結果は, 特に記載しない限り, 平均

* 註) タンパク質25.0, 糖質51.8, 脂質5.0, 水分7.0, その他11.2(%)

値±標準偏差（例数）で示した。

III. 実験結果

A. 体重

測定時の両群ラットの体重 (g) は、Aでは運動群 $380 \pm 26.7(18)$ に対して対照群 $477 \pm 38.5(19)$ 、Bでは $342 \pm 14.5(19)$ 対 $421 \pm 30.0(18)$ 、Cでも $378 \pm 30.1(18)$ 対 $460 \pm 23.8(20)$ で、何れも運動群ラットの方が、対照群ラットより有意 ($p < 0.001$) に低かった。この結果は前報¹¹⁾と同じである。

食餌は自由摂取としたが、運動群の方が摂取量 (餌の減り方は)が多かった。しかし正確な計量はできなかった。

B. 血清総および遊離コレステロール量

第1表に示すように、B、C 2回の実験において平均値に幾分の差はあるが、ともに運動群の総コレステロール量は対照群のそれより有意に低値であった。前報¹⁰⁾¹¹⁾では5～6週では有意差がなく、10週運動群で始めて有意差が認められたが、今回8週の運動でも有意差が観察できた。

遊離コレステロールは前報でもすでに5～6週の運動群で対照群より有意に低い値がえられており、今回の8週運動群でも第1表に示されるとお

り有意差が確認された。

両者の差をエステル型コレステロールと考えると、運動群 $58.0 \pm 7.3 \text{ mg/dl}$ 、対照群 $63.5 \pm 10.3 \text{ mg/dl}$ で、前者がやはり低値を示した ($p < 0.05$)。

C. LDL コレステロール量

同じく LDL コレステロール量も、第1表に示すとおり、運動群は対照群より有意に低値を示した。

D. ^{14}C -メバロン酸の血清コレステロールへの取りこみ

第1図は、2- ^{14}C メバロン酸をラット腹腔内に $2 \mu\text{Ci}/100 \text{ g}$ 体重投与したときの、血清の総、遊離、HDL、LDL コレステロールの経時的標識曲線 (比放射) を示したものである。何れの比放射も時間とともに次第に上昇し、注射後180分まで検べた限りでは、ピークは観察されなかった。

このような ^{14}C -メバロン酸の血清コレステロールへの取りこみを、運動群と対照群とで比較した実験を第2表に示す。

45分間の取りこみ (実験C) では遊離コレステロール、HDL コレステロール、LDL コレステロール、何れも運動群の比放射活性が対照群のそれより有意に高く、その差は特に LDL コレステロールにおいて顕著であった。しかしながら90分後の放射活性は、HDL、LDL 両コレステロールについて測定したところ、両群の間に有意差を認めなかった。

E. LCAT 活性

上述のとおり、HDL コレステロールへの ^{14}C -メバロン酸の取りこみ (45分) が運動群で亢進していた知見から、血清 LCAT 活性も増加しているのではないかという予想のもとにこれを測定した。結果は第3表に示すとおりで、運動群の本酵素活性が対照群に比して有意に高いことが明らかにされた。

F. 血管壁コレステロール量

A、B 2回の実験では総コレステロール量のみを、Cの実験では遊離コレステロール量をも測定したが、第4表に示すように、運動群ラットは対照群ラットに対して有意に低値を示した。実験Cにおいて、総および遊離コレステロールの差とし

Table 1. Level of total and free cholesterol in serum (mg/100 ml)

Cholesterol	Group	B	C
Total	Exercise	$52.4 \pm 4.2(18)$	$76.7 \pm 9.8(18)$
	Control	$66.5 \pm 9.7(16)$	$89.8 \pm 15.2(20)$
	p	< 0.001	< 0.01
Free	Exercise		$19.7 \pm 2.8(17)$
	Control		$26.3 \pm 5.9(20)$
	p		< 0.001
LDL	Exercise		$28.6 \pm 6.2(18)$
	Control		$32.7 \pm 5.2(20)$
	p		< 0.05

Cholesterol was determined by the enzymatic method in Experiment B and by a modified Zak-method in Experiment C. LDL was separated by a precipitating reagent purchased from Eiken Chem. Co.

Fig. 1. Kinetics of incorporation of ^{14}C -mevalonic acid into serum cholesterol

Table 2. Incorporation of ^{14}C -mevalonate into serum cholesterol (cpm/mg cholesterol).

Ept.	Group	Total cholesterol	Free cholesterol	HDL cholesterol	LDL cholesterol
C	Exercise	$10,590 \pm 2,710$ (7)	$19,390 \pm 5,880$ (8)	$11,360 \pm 3,220$ (8)	$12,960 \pm 3,480$ (8)
	Control	$8,620 \pm 1,820$ (7)	$13,770 \pm 1,480$ (8)	$8,360 \pm 850$ (8)	$5,660 \pm 850$ (9)
	p	N. S.	<0.05	<0.05	<0.001
B	Exercise			$8,350 \pm 1,580$ (18)	$8,140 \pm 1,780$ (17)
	Control			$7,530 \pm 1,700$ (16)	$7,560 \pm 1,750$ (13)
	p			N. S.	N. S.

Cholesterol was labeled by an injected ^{14}C -mevalonolactone for 45 minutes in Experiment C and by ^{14}C -mevalonic acid for 90 minutes in Experiment B.

Table 3. Activity of lecithin-cholesterol acyltransferase in serum.

Group	A	C
Exercise	3.78±1.75 (18)	4.49±0.94 (15)
Control	2.19±1.18 (19)	3.55±1.08 (17)
p	<0.01	<0.05

Activities were expressed as mg of free cholesterol transferred to lecithin/hr/100 ml serum.

Table 4. Amount of total and free cholesterol in arterial wall (ug/g tissue)

Cholesterol	Group	A	B	C
Total	Exercise	1,890±390 (16)	1,360±130 (18)	2,030±220 (17)
	Control	2,480±540 (17)	1,630±220 (17)	2,460±180 (20)
	p	<0.05	<0.01	<0.001
Free	Exercise			1,460±240 (17)
	Control			1,700±130 (20)
	p			<0.001
Ester	Exercise			587±185 (16)
	Control			789±183 (19)
	p			<0.01

て計算したエステル型コレステロール量は危険率1%で運動群が対照群より少なかった。

G. 放射性前駆体の血管壁コレステロールへの取りこみ

¹⁴C-酢酸注射後45分の血管壁コレステロールの比放射能(cpm/mg コレステロール)は、運動群で124±25(9), 対照群で109±27(10)と有意差が認められなかった。

IV. 考 察

両群の体重がほぼ等しくなるように2分して実験をはじめたが、A, B, C 3回とも運動群は常に対照群よりも体重が少なかった。前回¹¹⁾(運動6週間), および今回(運動8週間)の実験結果から、長期トレーニングによって体重の増加が抑制されるものと考えられる。

血清の総コレステロール値は今回の8週運動ラットに於て対照群より有意に低かった。前報¹¹⁾では運動6週ラットで有意差がなく、10週運動群で、

始めて有意差が現われている(p<0.001)。また遊離コレステロールにも同様の現象がみられた。したがって、トレーニングが長期にわたれば血清コレステロール低下効果が判然するという結論が得られた。Gollnick および Simons⁸⁾によれば、遊泳トレーニングを12~22週間課した Spragne-Dowley ラットで血漿コレステロールの減少が認められているが、同様に実験動物に運動を負荷し、血漿コレステロールが低下したという報告は少ない、¹⁾⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹³⁾²⁵⁾³⁰⁾。しかし一方、Deshanies ら²⁾が Wistar 系雌ラットに1日2時間、週5回の遊泳トレーニングを4週間実施した実験では血清総コレステロールは不変であった。Link ら¹⁶⁾や Kenealy ら¹⁴⁾の報告も同様である。ヒトについての研究でも、運動が血清コレステロール値の低下を招来するという例が多いが、他方不変があったという報告もみられる¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。

今回著者らとしては始めて測定した LDL コレステロール量は、運動群で明らかに対照群より少

なかった。トレーニング効果として LDL コレステロール量が減少するという報告は、ヒトでは比較的多いが、一方変化がないという例もみられている³⁾²⁰⁾²⁷⁾。

LCAT 活性が運動群ラットにおいて対照群ラットよりも有意に高値であったことは、細胞内にコレステロールエステルが貯留する危険が前者においてより少ないことを示唆している。Simko²³⁾²⁴⁾もすでに遊泳トレーニングのラットで本酵素活性が高くなることを認めており、他にも同様の知見が報告されている¹³⁾³⁰⁾。しかし、Forsythe⁴⁾の実験では、運動群と非運動群との間にこれとは逆の関係が観察されている。一方ヒトでも運動によって有意に増加しているという報告がみられる¹⁷⁾¹⁸⁾。

Lampman¹⁵⁾は、ランニングを12週課した Sprague-Dowley ラットで、腹腔内に注射した ¹⁴C-酢酸の種々の組織(血液を含む)のコレステロールへの取りこみを5~20分にわたって測定し、血清、肝、筋(triceps)の総コレステロールおよび遊離コレステロールの比放射能が、非運動対照群のそれに比して高いことを報告した。著者らもすでに肝コレステロールへの ¹⁴C-酢酸の取りこみが、invivo でも¹⁰⁾¹²⁾、in vitro¹¹⁾でも運動の効果として亢進することを報告しているが、今回の実験は、¹⁴C-メバロン酸の血清コレステロールへの取りこみが運動群で亢進することを観察した。HDL コレステロール、LDL コレステロールとも、45分では有意差を示し(表2:C)、90分では差がなかった(同:B)ことから、現在この標識の時間曲線を運動群と対照群の両者について詳細に実験中である。

Westerfield²⁸⁾は、60日令の Lewis strain 雄ラットを2%コレステロール添加食で44日間飼育した後に、14週間の運動を負荷して、大動脈壁の総コレステロール量が非運動群に比し有意に低いことをみたが、その差は遊離コレステロールに起因し、エステル型コレステロールはほぼ同量であったという。また Rothfeld²¹⁾は、3週令の Sprague-Dowley ラットを高脂食で飼育した例で、3週間運動を負荷したが大動脈コレステロー

ル量には非運動ラットとの間に有意差を認めなかった。本研究では、遊離およびエステル型両コレステロールの量が運動群では低値を示したが、とくに後者の意義は注目に値する。また Hasler⁸⁾は Fisclur 344 幼若雄ラットを hyperlipemic diet で飼育しながら走行実験を9週間行った結果、同条件飼育の非運動群ラットすべてに、大動脈の内膜の肥厚や脂質の沈着を観察したのに対し、運動群でそれが認められたのは、10例中2例にすぎなかったと報告している。

血管壁コレステロールの代謝回転が、運動のトレーニング効果として促進されている可能性は示唆されたものの、本研究の結果からだけではそう結論することは尚早である。現在のところ放射性同位元素によるトレーサー実験の例も他にはほとんど見当らない。これに関連して、Wolinsky²⁹⁾が遊泳実験ラットで動脈壁の acid cholesteryl esterase 活性が上昇しているとした報告がある。また、血管壁のコレステロールエステル合成酵素の活性は、運動群、対照群各5例で著者らが測定した限りでは、平均値で前者がやや低いものの、両者の間に有意差は認められなかった。(データは省略)

以上、著者らの従来の、および今回の実験結果から、運動群ラットにおいて血清コレステロールの代謝回転が対照群よりも亢進していることが推論される。このような代謝回転の亢進は、肝コレステロールについても、著者ら¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾²²⁾²⁶⁾および他家⁵⁾⁹⁾によって証明されており、運動のトレーニング効果は、身体のコレステロール代謝を亢進させ、血管壁へのコレステロールエステルの沈着を抑制する効果をもつものと考ええる。

V. 結 論

Wistar 系雄ラットに長期にわたる運動トレーニングを負荷した場合、対照群に比較して、血清コレステロールの代謝が亢進していることを示唆する知見がえられた。すなわち、血清コレステロール量が減少するとともに、¹⁴C-メバロン酸の取りこみが亢進することが観察された。また、運動群では血管壁のコレステロール量が対照群より有

意に少なかった。

VI. 要 約

Wistar 系雄ラット (7 週齢, 体重 200 g 前後) にトレッドミルを用いて 8 週間の運動を負荷し, それが血清および血管壁コレステロールの代謝に如何なる影響を及ぼすかについて検討した。運動の条件は 15 m/分, 1,000 m/日, 6 日/週であった。運動群ラットは, 同週齢の非運動群対照ラットに比較して, 次のような知見を与えた。

1. 体重が著しく少ない。
2. 血清コレステロール値 (総-, 遊離-, LDL-コレステロール値) が有意に低い。
3. ^{14}C -メバロン酸の血清コレステロールへの取りこみが高い。
4. 血清 LCAT 活性が高い。
5. 血管壁コレステロール量が少ない。
6. ^{14}C -メバロン酸の血管壁コレステロールへの取りこみが高い。

以上のような実験結果は, 運動のトレーニング効果として, 血清および血管壁におけるコレステロールの代謝回転が亢進され, 血管壁へのコレステロールの沈着が抑制されることを示すもので, 身体運動は動脈硬化の予防上有効であることが示唆された。

本研究は昭和57, 58, 59年度文部省科学研究補助金 (総合研究 A) によって行われたものである。

本研究にあたり, 研究のための便益を提供され, かつ研究遂行上多大の御援助を賜った昭和大学薬学部富田基郎教授と, 実験を手伝って下さった 佐藤 隆, 外園祥子, 小林佐江, 斎藤敏樹, 山村淑子の諸氏に深く感謝いたします。

(受付 昭和61年4月25日)

文 献

- 1) Applegate, E. A., Upton, D. E. and Stern, J. S. (1982): Food intake, body composition and blood lipids following treadmill exercise in male and female rats, *Physiol. Behav.*, **28**, 917-920
- 2) Deshanoes, V., Leblanc, J. and Richard, D. (1983): Influence of a palatable, high-fat diet, and exercise training on the high-density lipoprotein to total cholesterol ratio in the rat, *Metabolism*, **32**, 62-65
- 3) Dufaux, B., Assmann, G. and Holtmann, W. (1982): Plasma lipoproteins and physical activity: a review, *Int. J. Sports Med.*, **3**, 123-136
- 4) Forsythe, W. A., Miller, E. R., Curry, B. and Bennink, M. R. (1981): Aerobic exercise effects on lipoproteins and tissue lipids in young pigs, *Atherosclerosis*, **38**, 327-337
- 5) Fukuda, N., Ide, T., Kida, Y., Takamine, K. and Sugano, M. (1979): Effects of exercise on plasma and liver lipids of rats. IV. Effects of exercise on hepatic cholesterogenesis and fecal steroid excretion in rats, *Nutri. Metabolism*, **23**, 256-265
- 6) Gollnick, P. D. and Simmons, S. W. (1967): Physical activity and liver cholesterol, *Intern. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.*, **23**, 322-330
- 7) Gommers, A., Dehez-Delhay, M. and Caucheteux, D. (1981): Prolonged effects of training on adipose tissue glucose metabolism and insulin responsiveness in adult rats, *Diabet. Metab.*, **7**, 121-126
- 8) Hasler, C. M., Rothenbacher, H., Mela, D. J. and Kris-Etherton, P. M. (1984): The effect of exercise and hyperlipemic diet on aortic histopathology in the rat, *Atherosclerosis*, **52**, 279-286
- 9) Hebbelnick, M. and Casier, H. (1966): Effect of muscular exercise on the metabolism of 4- ^{14}C labelled cholesterol in mice, *Intern. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.*, **22**, 185-189
- 10) 広田公一, 東 恵彦, 新木敏正, 北 博正, 井川正治 (1980): コレステロール代謝に及ぼす身体運動のトレーニング効果, *体育学研究*, **24**, 325-332
- 11) 広田公一, 坂元晃史, 武井信子, 東 恵彦 (1986): コレステロール代謝に及ぼすトレーニング期間の影響, *体育学研究*, **30**, 273-279
- 12) 広田公一, 東 恵彦, 浜登道子, 池原政博, 新木敏正, 井川正治 (1984) コレステロール代謝に及ぼす身体運動のトレーニング効果—高脂食投与—, *Annals Physiol. Anthropol.*, **3**, 103-109
- 13) Hostmark, A. T. (1982): Physical activity and plasma lipids, *Scand. J. Soc. Med. (Suppl)*, **29**, 83-91
- 14) Kenealy, M. D., Jacobson, N. L. and Wiggers, K.

- D.(1977) : The effect of supplemental dietary cholesterol and exercise on blood cholesterol and atherosclerosis in the goat, *Atherosclerosis* **27**, 65-69
- 15) Lampman, R. M., Foss, M. L., Block, W. D. and Flora, J. D. (1976) : Metabolic adaptation with physical training : ^{14}C -acetate incorporation into tissue lipids, *Metabolism*, **25**, 1601-1609
 - 16) Link, W. P., Pedersoli, W. M. and Safanie, A. H. (1972) : Effect of exercise on development of atherosclerosis in swine, *Atherosclerosis*, **15**, 107-122
 - 17) Lopez, S. A., Vial, R., Balart, L. and Arroyave, G. (1974) : Effect of exercise and physical fitness on serum lipids and lipoproteins, *Atherosclerosis*, **20**, 1-9
 - 18) Marniemi, J., Dahlstrom, S., Kvist, M., Seppanen, A. and Hietanen, E. (1982) : Dependence of serum lipid and lecithin : cholesterol acyltransferase levels on physical training in young men, *Eur. J. Applied Physiol.*, **49**, 25-35
 - 19) Nagasaki, T. and Akanuma, Y. (1977) : A new colorimetric method for the determination of plasma lecithin-cholesterol acyltransferase activity, *Clin. Chim. Acta*, **75**, 317-375
 - 20) Rigotti, N. A., Thomsa, G. S. and Leaf, A. (1983) : Exercise and coronary heart disease, *Ann. Rev. Med.*, **34**, 391-412
 - 21) Rothfeld, B., Levine, A., Varady, A., Loken, S. and Karmen, A. (1977) : The effect of exercise on lipid deposition in the rat, *Biochem. Med.*, **18**, 206-209
 - 22) 坂元晃史, 広田公一, 東 恵彦, 安部 孝(1984) : コレステロール代謝に及ぼす身体運動のトレーニング効果, 日本体育学会第35回大会号, P. 237
 - 23) Simko, V. and Kelley, R. E. (1976) : Increase of plasma lecithin-cholesterol acyltransferase and decrease of red blood cell lipids by physical exercise in rats, *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**, 482
 - 24) Simko, V. and Kelley, R. E. (1979) : Physical exercise modifies the effect of high cholesterol-sucrose feeding in the rat, *Eur. J. Applied Physiol.*, **40**, 145-153
 - 25) Suzuki, M., Satoh, Y. and Hashiba, N. (1983) : Effect of voluntary running exercise on hypertriglycerolemic effect of sucrose in relation to its feeding timing in rats, *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, **29**, 663-670
 - 26) 鈴木 聡, 武井信子, 東 恵彦, 広田公一, 坂元晃史(1985) : 肝コレステロール代謝に及ぼす身体運動のトレーニング効果, 体力科学, **34**, 269-275
 - 27) Tran, Z. V., Weltman, A., Glass, G. V. and Mood, D. P. (1983) : The effects of exercise on blood lipids and lipoproteins : A meta-analysis of studies, *Med Sci. Sports Exercise*, **15**, 393-402
 - 28) Westerfield, R. C. (1983) : The effect of vasectomy and exercise on cholesterol levels in rat aortas, *Atherosclerosis*, **49**, 319-324
 - 29) Wolinsky, H., Goldfischer, S., Katz, D. and Markle, R. (1979) : Hydrolase activities in the rat aorta III. Effects of regular swimming activity and its cessation, *Circ. Res.*, **45**, 546-553
 - 30) Yashiro, M. and Kimura, S. (1980) : Effect of voluntary exercise and dietary protein levels on serum lipoprotein distributions and lecithin : cholesterol acyltransferase activity of mice, *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, **26**, 59-69
 - 31) Zlatkis, A., Zak, B., Boyle, A. J. and Mich D. (1953) : A new method for direct determination of serum cholesterol, *J. Lab. Clin. Med.*, **41**, 486-492