

尿中アドレナリンおよびノルアドレ
ナリン排泄に及ぼす運動強度，運動
時間および鍛練度の影響

体力学専修

村岡功

昭和52年3月7日

論文指導教員 石河利寛

論文審査委員

石田 殉子
南谷 和利
齋木 敏生

目次		頁
第 1 章	緒言	1
第 2 章	関連文献の考証	5
第 3 章	実験方法	17
第 1 節	被験者の選定	17
第 2 節	測定方法と測定手順	17
	(1) 最大酸素摂取量と心拍数	17
	(2) % of $\dot{V}O_{2\max}$ の負荷決定	18
	(3) 実験手順	19
	(4) 採尿と尿保存	20
	(5) CA 分析の手順	21
	(a) 精製・分離	21
	(b) 酸化	22
	(c) 螢光測定	23
	(6) CA の計算方法	24
	(7) 回収率と測定 の C. V. 値	25
第 3 節	実験期間と その間の気象 条件	25
第 4 節	統計処理	26
第 4 章	実験結果	27

第 1 節	身体特性および最大酸素	
	摂取量	27
第 2 節	安静時の CA 排泄	27
第 3 節	運動と CA 排泄	28
(1)	運動強度と CA 排泄	28
(2)	運動時間と CA 排泄	30
(3)	鍛練度と CA 排泄	32
第 5 章	考 察	33
第 1 節	安静時 (運動前) の CA 排	
	泄	33
第 2 節	運動と CA 排泄	33
(1)	運動強度と CA 排泄	33
(2)	運動時間と CA 排泄	39
(3)	鍛練度と CA 排泄	40
第 6 章	結 論	43
第 7 章	要 約	44
引用文献		46
欧文要約		52

第 1 章 緒 言

外からの刺激や内的な欲求に対して、どの
 ように反応したらよいかを身体の各部位に伝
 達し、生体を調節するものとして神経系と内
 分泌系（ホルモンによる）を考えることがで
 きる。しかしながら、従来の研究においては、
 身体活動を骨格筋系の運動に限定して、それ
 を直接支配する神経系に注目するあまり、身
 体活動と内分泌系との関係はあまり論じられ
 ていない。
(17) 35) 50)

しかし、身体活動が正常に行なわれるため
 には、それを直接支配している神経-骨格筋
 系ばかりでなく、それを支える体内諸条件を
 正常にしている内分泌系の働きも重要である
 と思われる。

身体活動と内分泌系との関連を扱った研究
 の中で、特に、本研究で取り上げたカテコー
 ルアミン（CA）は、その生理作用、すなわち、
2) 23)
 心機能に対する心拍数の増加、拍出量の増大、
 血圧の上昇、また、肝・筋グリコーゲンを分

解し、解糖過程を促進してエネルギー源である ATP (adenosine triphosphate) を増産するとき、さらに、体内に糖質が不足してきた場合の脂肪酸の動員などの他の代謝系への作用、などから、古くから身体活動との関連が研究されて^{28) 52)}いる。

身体活動とカテコールアミンとの関係を扱った、いくつかの研究によると、運動強度に関連してノルアドレナリン (NA) は増加するが、アドレナリン (A) はあまり変化しない^{20) 22) 50)}という報告が多く、また、最大酸素摂取量との関係では、その 50% ~ 75% を境にして、血中 NA が^{8) 22)}指数関数的に増加することが報告されている。さらに、トレーニングとの関連においては、規則的な身体トレーニングをしているものは、トレーニングをしていないものより、³⁴⁾運動中の血中 CA 分泌が少ないという報告もなされている。一方、これらの報告に反し^{1) 35) 4) 47)}て、⁶⁾運動によつて A も増加するという報告や、トレーニングによつて CA 分泌は変化しないと

いう異なる報告もなされている。

このような不一致の理由としては、測定法技術の困難さに加えて、CA分泌は運動以外の因子、例えば、精神的緊張、気温、食事などの影響をうけること、さらには、実験に用いられた被験者の鍛練度や運動時間などが一定でないことが関係していると思われる。

事実、従来の研究においては、鍛練度の異なる被験者を一緒にして実験したり、負荷の方法や運動時間がまちまちであって、鍛練度と運動強度および運動時間を組み合わせ、体系的にCA分泌をみた実験はあまり報告されておらず、そのために、結果の解釈に混乱が生じていると考えられる。

そこで、本研究では、尿中アドレナリンおよびノルアドレナリン排泄に及ぼす、運動強度、運動時間および鍛練度の影響を比較検討することとを目的に、日常規則的な身体トレーニングをしている有酸素的能力（最大酸素摂取量）の高い者と、日常規則的な身体トレ-

ニングをしいない者を対象として、尿中アドレナリンおよびノルアドレナリンを測定した。

第 2 章 関連文献の考証

第 1 節 CA 研究の歴史

CA 研究は、1895 年に Oliver および Schäfer が副腎髓質に血圧上昇性物質が存在することと証明し、1901 年に至って、高峰、Aldrich が結晶としてアドレナリン (A)、別名エピネフエリン (E) を抽出したことに始まる。一方、筋作業中の CA 活性の上昇は、最初 Hartman ら (1922) によって示されている。その後、副腎髓質分泌における第 2 のホルモンとして、ノルアドレナリン (NA)、別名ノルエピネフエリン (NE) の存在が確かめられ、以後 A と NA と区別して多くの研究がなされている。

第 2 節 健康者の血中および尿中 CA

Vendsalu (1960) は、男性の血漿 A は $0.07 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{l}$ 、NA は $0.35 \pm 0.01 \mu\text{g}/\text{l}$ であると報告した。Häggendal (1963) は、血漿 NA は $0.3 \pm 0.11 \mu\text{g}/\text{l}$ であり、A は検出できなかったと報告している。また、Klensch (1966) は、血漿 A は $0 \sim 0.362 \mu\text{g}/\text{l}$ (平均 $0.056 \mu\text{g}/\text{l}$)、NA は $0 \sim 0.686$

$\mu\text{g}/\text{l}$ (平均 $0.282 \mu\text{g}/\text{l}$) であるとして報告している。³⁵⁾

一方、尿中 CA について、Kärki (1956) は、
17 ~ 29 歳の青年男子の尿中 A 排泄量は 5.9 ± 0.36

$\mu\text{g}/\text{day}$, NA は $25.7 \pm 1.42 \mu\text{g}/\text{day}$ であるとして報告して

いる。Voorhess と Gardner (1961) は、A は $0.5 \sim$

$9.1 \mu\text{g}/\text{day}$, NA は $8.1 \sim 24.7 \mu\text{g}/\text{day}$ であつたと報告し

ている。宮原ら (1962) は、日本人の尿中 A,

NA について報告し、A は $10 \pm 7 \mu\text{g}/\text{day}$, NA は 41

$\pm 14 \mu\text{g}/\text{day}$ であるとしてしている。また、Ishida (

1962) は、A は $5.34 \pm 0.70 \mu\text{g}/\text{day}$, NA は $20.19 \pm$

$2.24 \mu\text{g}/\text{day}$ であつたと報告してしている。

以上のように、血中および尿中 CA 濃度は研

究者によるばらつきが著明であるが、中野ら

(1968) は、血漿中 A は $0 \sim 0.8 \mu\text{g}/\text{l}$ 血漿, NA は

$0 \sim 6 \mu\text{g}/\text{l}$ 血漿 ぐらゝを正常範囲と考へていゝる。

また、尿中について長田 (1974) は、A は 0

$\sim 8 \mu\text{g}/\text{day}$, NA は $10 \sim 60 \mu\text{g}/\text{day}$ を正常値としてい

る。

一方、血中 CA 分泌と尿中 CA 排泄の關係につ

いては、肝・腎機能に異常がないならば、尿

中 CA は血中 CA を反映すると考えられている

第 3 節 CA 分泌に及ぼす諸因子の影響

(1) 身体運動以外の因子

尿中および血中 CA 濃度に影響するものとして、年齢、体位、気温、高度、精神的ストレスおよび食事や喫煙などの影響が考えられる。

Kärki (1956)³⁵⁾ は、1.5 歳～96 歳までの人々を 5 つのグループに分けて、年齢差による尿中 CA 量を報告し、体重 1 kg あたりの NA は 7～16 歳のグループで最も高く、そして、年齢の増加とともに減少することと、A は年齢によつて変わらな⁵⁰⁾いことをみている。Vendsalu (1960)

は、17～68 歳の成人男女間の血中 CA をみて、その間に差がみられな⁵¹⁾いことを報告している。また、Voorhess と Gardner (1961) は、尿中 CA 排泄量は年齢とともに増加することと報告している。

Hickler ら (1959)²⁹⁾ は、水平位から立位に体位を変える際の血漿 CA について研究し、血漿 NA は増加するが A は変化しな⁵¹⁾いということとを

報告してゐる。

一方、Hale ら (1963)²⁴⁾ は、高温暴露により血中 CA 分泌が増加することとを報告し、また、von Euler (1964)¹⁶⁾ や Chin ら (1973)⁵⁾ は、寒冷暴露によって尿中と血中の NA および A がともに有意に上昇することとをみてゐる。

Cunningham ら (1965)⁷⁾ は、4560 m に至る種々の高度において、血漿および尿中 CA が平地での control 値に比べて上昇することとを報告してゐる。

精神的ストレスと CA 分泌について、Elmadjian ら (1957)¹²⁾ は、攻撃などの active な情緒状態で尿中 NE が増加し、緊張や心配などの passive な情緒状態では E が増加することとを報告してゐる。小川ら (1961)⁴²⁾ は、Kraepelin 内田法による精神労作負荷によって、尿中の A が 280 %、NA が 250 % として NA/A 比が 79 % 増加することとをみ、精神労作負荷の方が筋労作負荷 (往復約 2 時間、海拔 510 m の登山) よりも、CA 排泄が多くなることを報告してゐる。また、von Euler

¹⁶⁾
 (1964) は、尿中 A 量は精神労作、試験、情緒緊張を伴うような映画など、不快を感じるような精神状態で増加し、尿中 NA 量は興奮、怒り、侵略などの情緒状態でわずかに増加することと報告している。さらに、⁴³⁾ O'Hanlon (1966) は、怒り、攻撃的感情時には血中 NA が増加することと報告している。

⁵³⁾
 喫煙の影響について、Watts と Bragg (1956) は、喫煙によって尿中の A だけが増加することと報告し、¹⁹⁾ Gazes ら (1959) は、喫煙後血中 CA が増加することと報告している。また、食事やコーヒーなどの飲料も CA を増加することが知られている。⁴⁹⁾

以上のように、種々の因子が CA 分泌に影響すると考えられるので、身体運動と CA の関係を調べる場合には、これらの点に十分留意しなければならない。

(2) 身体運動による CA 分泌・排泄への影響

(a) 運動と CA

筋作業中に A が増加することを見た最初の

研究は、Hartman ら (1922)²⁸⁾ によってなされた。
 その後、Wada ら (1935)⁵²⁾ は、走行後あまり疲
 勞の様子を観察されなかつた犬の A はほとん
 ど変化しな^いが、疲労困憊した犬では 2 ~ 4
 倍に増加したことをみている。von Euler と Hellner
 (1952)¹⁴⁾ は、尿中 CA は激しい筋運動により大
 幅に増加することと報告し、労作に含まれる
 ストレスの程度と相関があるのではないかと
 考えた。Kärki (1956)³⁵⁾ は、マラソンおよび 40
 Km スキーレースによって、尿中 A, NA が大幅
 に増加し、また、training practice によっても NA が
 増加することとみている。さらに、彼は wood-
 cutting 競技によっても、尿中 A および NA がと
 もに大幅に増加することと報告している。
 Gray と Beetham (1957)²⁰⁾ は、トレッドミル運
 動時の血漿 E および NE を研究し、激しい作業
 では運動後 2 分以内に著しい NE の上昇があこ
 り、運動終了後 15 ~ 30 分で control 値にもどる
 ことと、E は個人間で大きな変化パターン³⁰⁾
 が見られることを報告している。Howley ら (1970)

は、各個人の 60, 70, 80 および 90 % of $\dot{V}O_{2\max}$ の負荷でトレッドミル運動をさせ尿中 CA をみた。その結果、尿中 CA は作業強度にともなって増加すること、そして、それは絶対的な意味での $\dot{V}O_2$ ($l/min, l/kg \cdot min$) よりも、% of $\dot{V}O_{2\max}$ として示される作業強度と高い相関 ($r = 0.81$) があることを報告した。

22)

Häggendal ら (1970) は、動脈血漿中の NA レベルを調べ、最大酸素摂取量の 75 % まではゆっくり上昇するが、それ以後は指数関数的に増加することを見ている。また、A はいずれの場合にも検知できなかつたと報告している。

1)

一方、Banister と Griffiths (1972) は、4 種類の作業強度における血漿 E と NE の分泌を報告し、これらはともに運動の強さと酸素摂取量に応じて上昇することと認めている。そして、測定法や使用器具の感度をよくすれば、血漿中の E も NE 同様比較的軽い運動負荷でも上昇することが見られるであろうと言及している。

25)26)

Hartley ら (1972) は、運動による種々の血中

ホルモンの動態を研究し、その中で、血漿 NE は運動強度にともなって増加するが、E の場合には exhaustion にあつてのみ増加することを報告してゐる。

⁴⁷⁾ Sarviharju (1973) は、運動による尿中 NA, A について報告し、NA, A とともに比較的軽い負荷から上昇するが、NA/A 比は、いずれの負荷でも変化しないことを見てゐる。また、Davies

⁸⁾ ら (1974) は、片腕、両腕および脚による 3 種類の運動における血漿 CA を研究し、3 種類の運動とともに、CA が 60% の $\dot{V}_{O_2 \max}$ 以内で指数関数的に増加することを報告してゐる。これは、

Häggendal らの血漿 NA は 75% の $\dot{V}_{O_2 \max}$ ²²⁾ を境にして指数関数的に増加するといふ報告と異なるが、この点について、Davies らは被験者の鍛練度と運動タイプの違いによるものであると結論

してゐる。また、⁴¹⁾ Nilsson ら (1975) も、漸増する自転車エルゴメータ運動によつて、血漿中の NA, A がともに著しく上昇することを報告してゐる。

一方、Galbo ら (1976)¹⁸⁾ は、propranolol に よる β -adrenergic blockade に よって、60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ の exhaustion までの作業時間が control 時の 166 ± 10 分から 83 ± 9 分まで有意に減少することを報告している。これは、運動中の CA の役割を考える上での興味ある実験である。

(b) トレーニングおよび鍛練度と CA

DeSchryver ら (1967)⁹⁾ は、Wistar 系ラットを用いて、運動トレーニングの心筋 CA 含有量に及ぼす影響を研究し、トレーニングしたものは、心筋 CA 含有量が有意に減少することを報告している。この減少はスポーツ心臓にみられる徐脈の一部を説明するたると結論している。さ

らに彼ら (1969)¹⁰⁾ は、心筋と骨格筋の CA 濃度に及ぼすトレーニングの影響をラットで研究し、心筋 CA は減少するが、骨格筋 CA 濃度は変化しないことを報告している。一方、Östman と

Sjöstrand (1971)⁴⁵⁾ は、ラットを用いてトレーニングによる心筋と副腎の CA 濃度への影響を調べ、心筋 NA はトレーニングによって変化しな

II が、副腎の A 含有量は有意に増加すること
をみてゐる。さらに、⁴⁶⁾ Östman ら (1972) は、15
週間にわたる 1 日 1 ~ 2 時間の水泳によるト
レーニングをラットに行なわせ、トレーニン
グによって心筋の NA および副腎の CA 含有量が
有意に増加することを報告してゐる。また、
安静時の心筋 NA turnover はトレーニングしたラ
ットの方が遅いことと、運動後の尿中
CA は非トレーニング群の方がより増加するこ
とをみてゐる。

²⁵⁾²⁶⁾ Hartley ら (1972) は、ヒトの血漿 CA 濃度に及
ぼすトレーニングの影響を研究し、トレーニ
ングによって、血漿 NE は減少したが、E は変
化しないことを報告してゐる。

⁵⁾ Chin ら (1973) は、3 週間トレーニングし
た運動群ラットと非運動群ラットを -20°C に
3 時間寒冷暴露した時の血漿 NA, A 濃度を調
べた結果、ともに運動群の方が上昇が少なか
ったことから、身体トレーニングはラットの
耐寒性を強めると考えた。

また、Johnson ら (1974)³⁴⁾ は、非鍛練者と競輪選手に自転車エルゴメータ運動を行なわせた時の、種々の血中ホルモンの変化を報告し、その中で、NAとAは競輪選手の方が運動後の上昇が少なく、特にAにおいて著しい差がみられたことを報告している。一方、Cronan III と Howley (1974)⁶⁾ は、8週間のトレーニングによる尿中NEおよびE排泄への影響について研究し、トレーニングによって、運動後の尿中NEおよびEはともに変化しないことを報告している。さらに、Hartley (1975)²⁷⁾ は、トレーニングによって運動後の血中NE濃度が減少し、Eは変化しないことを報告している。そして、NEの減少については、トレーニングによる $\dot{V}O_2$ maxの増加によるもので、相対的作業強度(% of $\dot{V}O_2$ max)で考えるならば変化はみられないとされている。

(C) 運動時間とCA

運動時間によるCA分泌および排泄への影響をみた研究は報告されていない。ただ、Howley

30)

ら (1970) は、CA 産生の定常状態は 60, 70 および 80 % of $\dot{V}_{O_2 \max}$ テストでは、30 分の運動内に、90 % of $\dot{V}_{O_2 \max}$ テストでは 20 分程度の運動内に存在するであろうと仮定している。

以上のようにより、運動と CA に関する文献において一致している点は、運動によって NA が増加する点だけのようである。この理由としては、運動のタイプや用いた被験者の鍛練度の違い、さらには、測定法の感度の違いなどが考えられる。また、トリーニングと CA に関する不一致の理由としては、トリーニング法の違いなどが考えられる。さらに、同一負荷で運動時間を変えた場合の CA をみた報告はなされておらず、その意味でも、運動強度、運動時間および鍛練度を組み合わせた体系的な実験が望まれる。

第 3 章 実験方法

第 1 節 被験者の選定

被験者は日常規則的な身体トレーニングを行なっていて、高い有酸素的能力（最大酸素摂取量）を有する順天堂大学陸上競技部の長距離種目を専門とする選手 6 名と、日常規則的な身体トレーニングをしていない順天堂大学体育学部の学生 6 名であった。

被験者の身体特性および最大酸素摂取量を表 1 に示した。

第 2 節 測定方法と測定手順

(1) 最大酸素摂取量と心拍数

最大酸素摂取量を測定するための運動負荷は、速度漸増によるトレッドミル（8.6% 上り勾配）走によった。すなわち、鍛練者群、非鍛練者群で、それぞれ、スタートから 3 分 30 秒までは速度を 160 m/分、120 m/分とし、それから 7 分までは 180 m/分、140 m/分、そして、10 分 30 秒までは 200 m/分、160 m/分とした。それ以後は、疲労困憊に至るまで 1 分毎

に 20 m/分 ずつ 走行速度を 増加した。そして、
 走行中 3 分 から 3 分 30 秒、6 分 30 秒 から 7 分、
 10 分 から 10 分 30 秒 の間、さらに、それ以後は
 疲労困憊に 至るまで 30 秒 毎に 連続して 呼気が
 スモダグラスバックに 採集した。採集した呼
 気ガスは、直ちに 1 回転 10 l の 湿式実験用ガ
 スメーター (品川製作所製) に よって 計量し
 た。呼気ガス分析は、前もって 大型労研ガス
 分析器で 校正した O_2 分析計 (OM-11, Beckman 社
 製) および CO_2 分析計 (LB-1, Beckman 社製) に
 よって 分析し、計算に よって 最大酸素摂取量
 を 求めた。

最大酸素摂取量の criteria としては、① 酸素
 摂取量の levelling off がみられること、② 心拍
 数が 180 拍/分 以上⁵⁵⁾ であること、③ 呼吸商が 1.0
 以上⁵⁴⁾ を 越えること、に よった。また、心拍数
 は胸部双極導出による心電図の R 棘を数える
 こと に よって 求めた。

(2) % of $\dot{V}O_{2max}$ の 負荷 決定

最大酸素摂取量測定時に 求めた、最初の 3

段階における酸素摂取量の最大酸素摂取量に
対する割合(%)と、その時の走行スピード
から、直線回帰方程式を求め(図1)、最大
酸素摂取量の60%および100%のスピードを
決定した。そして、ここで求めたスピードに
よって、以後の実験を実施した。

(3) 実験手順

被験者は実験室に着くと約15分程休息して
排尿させた。排尿終了と同時にストップウォ
ッチを押し、さらに1時間以上の安静を保た
せた。この間の体位は、椅座位か仰臥位のい
ずれかとし、この姿勢は運動後の安静時にお
いても同様とした。安静時間が1時間以上過
ぎたところで、実験室横にある暗室で完全排
尿させ、水を運動前尿とした。同時にストッ
プウォッチによりそれまでの時間を計測し記
録した。なお、運動中の心拍数測定のための
電極は、排尿直前に胸部に取りつけられた。
排尿するとすぐに、あらかじめ求めておい
たそれぞれのスピードでトレッドミル運動を

行なわせた。運動の種類は60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 15分、60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 60分および100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ exhaustionまでの3種類であり、それぞれ別の日にランダムに行なわせた。

運動終了後直ちに、運動前と同様の体位で休ませ、運動終了後少なくとも1時間以上の安静を保たせた。その後、運動前と同様に排尿させ、その尿を運動尿とした。なお運動前尿を排尿してから運動尿を排尿するまでの時間も、ストップウォッチによって計測し記録した。

なお、運動以外のCA排泄への影響を少なくするため、実験中の飲食、喫煙を一切禁止した。また、実験前の激しい身体活動や実験前2時間以内の食事は出来るだけ避けるように口頭で指示した。これ以外については、特に何も規定しなかった。

(4) 採尿と尿保存

採尿はあらかじめ1~2 mlの2N HClを入れたビーカーに行なわせ、その量をメスシリン

ガーにより計量し記録した。さらに、尿保存
 のために 2N HCl で pH 3.0 近くに pH 調整を行ない、
 茶色のガラス瓶に入れて室温で保存した。こ
 の pH 調整により、CA は室温でも 2 週間⁴⁸⁾は安定
 である。

(5) CA 分析の手順⁴⁴⁾⁴⁸⁾⁵⁶⁾

(a) 精製・分離

pH 3.0 近くに調整した尿は、少なくとも 1 週
 間以内に精製・分離した。

まず、25 ml の尿をビーカーに取り、その $\frac{1}{10}$
 量の 10% エチレンジアミン四酢酸 2 ナトリウ
 ム (EDTA2Na) を加え、さらに 1.0 g の活性アル
 ミナを加えて magnetic stirrer (MH-61, Yamato 社製) でか
 く拌しながら 10% と 2% の NaOH を滴下して pH
 8.5 附近に pH 試験紙 (東洋口紙社製) でチェック
 しながら調整した。このかく拌は、時々 pH
 試験紙で pH が 8.5 附近にあることを確かめなが
 ら 5 分間おこなった。

次に、このアルミナを含む溶液を遠沈管に
 移し、高速冷凍遠心分離器 (20 PR, 日立社製)

を用いて、回転数 10000 rpm, 温度 10 °C のもとに 5 分間遠沈した。遠沈後、上澄みと静かにあて、蒸留水 20 ml を加えてかきまぜアルミナを洗った。そして、しばらく静置し、アルミナが沈んだところでは上澄みをあてた。さらに、同じ操作をもう一度くり返えし行なった。

次に、0.2 N 酢酸 5 ml を加え、時々かきまぜながら 10 分間放置した後、以前と同様の方法で遠沈し、上澄みの酢酸溶液を静かにとり、さらに、5 ml の蒸留水でアルミナを洗い、その上澄み液を先の酢酸溶液に加え、CA の分離を行なった。この溶液は、酸化して螢光を測定するまでの間、冷凍保存した。この冷凍保存に⁴⁸⁾より、CA は 1 週間^{48) 56)}は安定である。

(b) 酸化

冷凍保存しておいた酢酸溶液を解凍後、10 ml に目盛りのある試験管 6 本に 1 ml ずつ分注し、それぞれを No. 1 ~ No. 6 とした。

No. 1, 2, 4 に pH 3.5 の 1M 酢酸緩衝液 1 ml を加え、No. 3, 5, 6 に pH 6.0 の 1M 酢酸緩衝液 1

ml を加えた。次に、No. 1, 2, 4 に 0.5% $ZnSO_4$ を 0.1 ml 加え、さらに、No. 4 に A 規準液 を 0.2 μg , No. 5 に NA 規準液 を 0.2 μg 加えた。そして、No. 6 に 2% および 1% $NaOH$ を滴下して、pH 試験紙をみながら pH を 6.0 に補正し、No. 3, 5 に同じ滴数の $NaOH$ を加えて pH 調整を行なった (No. 6 はあてる)。

次に、No. 2 ~ 5 に 0.25% のフェリシアン化カリを 0.1 ml および加え酸化を行なった。正確に 4 分間酸化したところで、アルカリ性アスコルビン酸 1 ml を加え酸化を停止させた。なお、No. 1 は先にアルカリ性アスコルビン酸を加え、後からフェリシアン化カリを加えて、これをブランクとした。そして、最後に No. 1 ~ 5 に無蛍光水を加えて、全量を 10 ml にした。

(C) 蛍光測定⁴⁸⁾

酸化停止後、少なくとも 30 分以内に蛍光を測定した。すなわち、10 ml の溶液の 1 部 (約 3 ml) をキューベットに移し、励起光を 435 $m\mu$ 、蛍光を 530 $m\mu$ にセットした蛍光光度計 (204R,

日立社製)を用いて、その蛍光強度を測定した。

ここで用いたCA分析法は、pH 3.5ではAだけが酸化され、pH 6.0ではAとNAが酸化されることに利用した Euler - Lishajko 法¹⁵⁾を修正した THI⁴⁸⁾⁵⁶⁾ (trihydroxyindole) 法にもとづいてゐる。

(6) CA の計算方法

0.2 μg の A および NA 規準液を用いた場合、A、NA は次式により計算される。

$$A = \frac{F_2 - F_1}{F_4 - F_2} \times 0.2 \mu\text{g}$$

$$NA = \frac{F_3 - F_2}{F_5 - F_3} \times 0.2 \mu\text{g}$$

ただし、 $F_1 \sim F_5$ は No. 1 ~ No. 5 の試料のそれぞれの蛍光強度。

上式で得られた値を10倍することによって分析尿 (25 ml) 中の A、NA 量が求められる。

次に、その値に (排泄量/分析尿量) をかけて、総排泄 A、NA 量を求め、それを採尿時間 (分) でわることによって、1分間あたりの尿中 A、NA

排泄率 (mg/min) を求めることができる。

次に、運動 1 分間あたりの増加 A 、 NA は、運動を含む運動後の尿 (運動尿) の A 、 NA 量から、同時間内に排泄されると思われる A 、 NA 量を安静の運動前尿の A 、 NA 量から求め、それを引き、運動時間でわることにより求めた。

(7) 回収率と測定 of C. V. 値

あらかじめ含有量のわかっている規準液を用いた測定によると、本法の CA 回収率は A で 73.9%、 NA で 53.4% であり、また、測定における C. V. 値 (coefficient of variation) は、 A で 6.1%、 NA で 10.3% (10 検体) であった。

なお、本実験のデータはすべて回収率で補正されている。

第 3 節 実験期間とその間の気象条件

実験期間は、昭和 51 年 11 月 17 日から昭和 51 年 12 月 24 日までであった。その間の実験室の室温は 19.4 ± 1.58 °C、相対湿度は 56.5 ± 7.63 % および気圧は 760.6 ± 5.23 mm Hg であった。

また、鍛練者と非鍛練者群の実験時における室温、相対湿度および気圧はそれぞれ、 19.6 ± 1.62 、 19.1 ± 1.49 °C、 55.1 ± 8.40 、 59.4 ± 4.93 %、 759.1 ± 5.23 、 761.5 ± 5.65 mmHgであり、両群に差がみられないことから、比較的同様の気象条件下で両群の実験が行なわれたと思われる。

第4節 統計処理

グループ間およびグループ内の平均値を比較するために、Studentのt-テストを用いた。

第4章 実験結果

第1節 身体特性および最大酸素摂取量

鍛練者および非鍛練者の身体特性と最大酸素摂取量を表1に示した。両グループ間の年齢と身長には統計的な有意差がみられなかった。しかし、体重と最大酸素摂取量 ($\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{min}$) には、それぞれ1%水準で有意差がみられた。最大酸素摂取量の差から、両グループの有酸素的能力に差があると考えられる。

第2節 安静時のCA排泄

安静時(運動前)のA, NAおよびCA (A + NA) の尿中排泄率 (mg/min) を表3に示した。この値は、3回の実験における運動前値を平均したものである。すなわち、鍛練者および非鍛練者群のA排泄率は、それぞれ、 13 ± 4.4 , 13 ± 5.4 , NAは 34 ± 11.8 , 24 ± 9.8 , そして、CAは 48 ± 12.2 , $37 \pm 14.5 \text{ mg}/\text{min}$ ($\bar{x} \pm \text{SD}$) であった。これらすべてにおいて、両グループ間に有意差はみられなかった。また、個人間で著しい差がみられた。

第 3 節 運動と CA 排泄

(1) 運動強度と CA 排泄

60 % of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 15 分間の運動時に実際に発揮された % of $\dot{V}_{O_2 \max}$ は、鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、 55.8 ± 8.41 , 55.0 ± 3.54 % であった。

この時の A , NA および CA 排泄率を表 4 に示した。運動毎分あたりの A 排泄率は、鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ、 36 ± 6.4 , 34 ± 15.3 , NA は 163 ± 55.3 , 140 ± 44.8 , そして、CA は 199 ± 60.3 , 174 ± 55.5 であった。

この値は、運動前値に対して鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、A は 21 ± 8.1 , 19 ± 11.3 増加 (ΔA) したことになる。また、 ΔNA は両群において、それぞれ 126 ± 51.4 , 117 ± 40.1 であり、 ΔCA は、 148 ± 56.7 , 137 ± 45.4 (ng/min) であった。そして、これは鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ運動前値に対して A は 2.8 , 2.6 倍に、NA で 4.6 , 5.8 倍に、そして CA で 4.1 , 4.7 倍に増加したことになる。そして、

これらの増加はすべてにおいて統計的に有意であった(表7)。

100% of \dot{V}_{O_2max} の exhaustive time (表2) は、鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、3分23.4秒 ± 1分25.6秒、3分11.2秒 ± 45.2秒であった。実際に発揮された% of \dot{V}_{O_2max} は 93.0 ± 4.64 、 94.2 ± 4.32 % であった。

この時のA、NAおよびCA排泄率を表6に示した。すなわち、運動1分間あたりのA排泄率は、鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、 240 ± 165.5 (4A: 229 ± 164.7)、 301 ± 183.6 (4A: 288 ± 183.8) ng/min であり、運動前値に対して、それぞれ18.9、23.0倍に増加している。この増加はそれぞれ5%水準で有意であった(表7)。NA排泄率は両群でそれぞれ、 1239 ± 611.6 (4NA: 1201 ± 605.4)、 845 ± 355.8 (4NA: 821 ± 356.3) ng/min であり、これは運動前値に対して、それぞれ34.7、35.2倍に増加したことになる。そして、この増加もまた1%、5%水準で有意であった(表7)。また、

CA 排泄率も両群でそれぞれ 30.6, 30.9 倍に増加しており、この増加もそれぞれ 5%, 1% 水準で有意であった (表 7)。

100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時の A, NA および CA 排泄率はまた、60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時の排泄率に比べても増加を示した (表 7, 図 2 ~ 図 4)。すなわち、鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、A は 5.7, 8.8 倍に、NA は 7.6, 6.0 倍に、そして、CA は 7.4, 6.6 倍に増加している。これらの増加は鍛練者群における A を除いて、すべて 5% 水準で有意であった (表 7)。

これらのことから、尿中 A, NA および CA 排泄率は運動強度にともなって増加することが確かめられた。

(2) 運動時間と CA 排泄

60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 60 分間運動時の CA 排泄率を表 5 に示した。この運動において実際に発揮された % of $\dot{V}_{O_2 \max}$ は、鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ、 58.0 ± 7.64 , 54.8 ± 4.38 % であった。

60 % of $\dot{V}O_2 \max$ 15 分および 60 分間の運動中に、尿中に排泄された総 A 排泄量 (表 8, 図 5) は、鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ、 0.33 ± 0.121 , $0.29 \pm 0.169 \mu\text{g}$ から 1.21 ± 0.604 (3.6 倍), 1.40 ± 0.580 (4.8 倍) μg に増加し、総 NA 排泄量は、 1.89 ± 0.771 , $1.76 \pm 0.602 \mu\text{g}$ から 4.86 ± 1.625 (2.6 倍), 4.53 ± 2.284 (2.6 倍) μg に増加した。また、総 CA 排泄量もそれぞれ、 2.7 , 2.9 倍に増加している (表 8)。この増加は、非鍛練者群における NA を除いて、すべて 5 % 水準で有意であった。

しかしながら、これらとそれぞれ運動 1 分間あたりの排泄率 (ng/min) としてみれば、15 分と 60 分の運動において、A は鍛練者群でそれぞれ 36 ± 6.4 , 33 ± 11.4 、非鍛練者群で 34 ± 15.3 , $36 \pm 9.0 \text{ ng}/\text{min}$ となり、両群ともに有意差はみられなかった (表 9, 図 6)。同様に NA においても、鍛練者群でそれぞれ 163 ± 55.3 , 117 ± 27.7 、非鍛練者群で 140 ± 44.8 , $100 \pm 34.1 \text{ ng}/\text{min}$ となり、有意差はみられなかった。また、

CA においても、両運動間の排泄率に有意差はみられなかった(表 9, 図 6)。

このように、尿中の A, NA および CA の総排泄量は、同一負荷に対して運動時間とともに増加するこゝろがみられたが、運動 1 分間あたりの排泄率においては、15 分と 60 分の運動においてその差はみられず、非鍛練者群の A を除いて、むしろ後者の運動の方が減少傾向にあるこゝろがうかがわれた。

(3) 鍛練度と CA 排泄

鍛練者群と非鍛練者群の間には、尿中 A, NA および CA 排泄において、いずれの運動においても有意な差はみられなかった(表 4 ~ 表 6)。

第 5 章 考 察

第 1 節 安 静 時 (運 動 前) の CA 排 泄

安 静 時 の CA 値 に つ い て は 、 研 究 者 に よ っ て 大 幅 な 変 動 が み ら れ る (本 文 5 ~ 6 頁 参 照) 。
 こ の 点 に つ い て 、 長 田 (1974)⁴⁴⁾ は 、 「 カ テ コ
 ー ル ア ミ ン の 測 定 に つ い て は 、 原 則 的 に は 各
 測 定 者 の 手 技 に 従 っ て 、 お の お の の 正 常 値 を
 決 め る の が 望 ま し い 」 と 言 及 し て い る 。

本 研 究 で 得 ら れ た 運 動 前 時 の A お よ び NA 排
 泄 率 (表 3) は 、 Cronan III と Howley (1974)⁶⁾ の 報
 告 (A : 12 ± 1 , NA : 37 ± 2 ng/min , $\bar{x} \pm SE$)³¹⁾⁴¹⁾
 と ほ ぼ 同 様 の 値 を 示 し た 。 し か し 、 他 の 報 告
 に 比 べ て や や 高 い 値 を 示 し て い る 。 こ の 理 由
 と し て は 、 実 験 前 の 被 験 者 の 生 活 状 態 を 完 全
 に 規 定 す る こ と が で き な か っ た た め と 思 わ れ
 る 。

第 2 節 運 動 と CA 排 泄

(1) 運 動 強 度 と CA 排 泄

運 動 に よ っ て 血 中 お よ び 尿 中 の NA , CA が 増
 加 す る こ と は 、 多 く の 研 究 に お い て 一 致 し て

1) 4) 6) 8) 14) 20) 22) 25) 26) 30) 34) 35) 37) 47)

い
る。

本研究においても、60% of $\dot{V}O_{2max}$ の運動負荷によつて、鍛練者および非鍛練者群でそれぞれ、尿中 NA 排泄率が運動前値の 4.6, 5.8 倍に、CA 排泄率が 4.1, 4.7 倍に有意に増加すること³⁰⁾が確かめられた。この結果は、Howley ら (1970) の 60% of $\dot{V}O_{2max}$ のトレッドミル運動によつて CA 排泄率¹⁾が 3.4 倍に増加したという報告や、Banister⁴⁷⁾ と Griffiths (1972) および Sarviharju (1973) の血漿および尿中の NA は比較的軽い運動負荷で上昇する¹⁾という報告とよく一致していると思われる。

また、100% of $\dot{V}O_{2max}$ での運動時における NA および CA 排泄率は、運動前値に対して、鍛練者群でそれぞれ、34.7, 30.6 倍に増加し、非鍛練者群でそれぞれ、35.2, 30.9 倍に増加した。そして、この増加は 60% of $\dot{V}O_{2max}$ の運動時の NA および CA 排泄率¹⁾に対して、鍛練者群でそれぞれ 7.6, 7.4 倍に、非鍛練者群で 6.0, 6.6 倍に増加している (表 7, 図 3, 図 4)。これらの

ことから、尿中の NA および CA 排泄率は運動強度に對して、指数関数的に増加すると思われた。この結果は、血中の NA および CA レベルは、運動強度にともなうて指数関数的に増加する²²⁾ことをみたと Häggendal ら (1970) の研究や、Davies ら (1974)⁸⁾ の報告と一致している。このように、尿中の NA および CA 排泄率は、運動強度に對して血中レベルと同様の傾向を示すことがみられた。

運動中の NA 上昇については、一般に副腎髓質から由来するものではなく、交感神経末端から由来するものであると考えられている。⁵⁰⁾ Vendsalu (1960) は、腎静脈にカテーテルを挿入することによって、NA 上昇は副腎髓質からのものではないことを報告している。また、Carlsson ら (1964)³⁾ は、ネコを用いた実験で、交感神経刺激 (4 ~ 6 impulse/分) は、血管収縮にともなう血流の減少を引き起こし、血中の NA レベルが上昇することを見ている。そして、もし、血管収縮が運動性充血によつて妨げら

れて血流が持続されるならば、交感神経刺激は NA レベルおよび NA 分泌率の著しい上昇を引きおこすであろうと結論してゐる。また、

Häggendal ²²⁾ は (1970) および Häggendal ²³⁾ (1971) は、

運動中の NA 上昇は、①運動による交感神経系の impulse flow の増加、②循環 NA の不活性の減少および③神経 impulse による神経ターミナルからの NA 遊離の増加によるものと仮定してゐる。

この仮説は、運動強度にともなつて尿中 NA 排泄率が増加するという本研究の結果を十分説明しうるものと考えられる。

一方、運動による A については一致した見解が得られておらず、増加するという報告や、^{1)354D47}

変わらないという報告、さらには減少するという報告さえ存在する。そして、ある研究者²⁰⁾²²⁾

達は、循環血漿 A は運動によつてほとんど⁵⁰⁾あるいは全く増加しないという Vendsalu によつてなされた説明について言及し、それを立証し

ようとしてゐる。しかしながら、Banister と Griffiths ¹⁾ (1972) は、この点について、測定法を使用

器具の面から疑問を投げかけ、測定法や器具の感度をよくすることによって、血漿Aも作業率に応じて漸増的に増加することを見て³⁵⁾いる。また、尿中Aについても、Kärki (1956) は、マラソンや40 km スキーレースによって、大幅に⁴⁷⁾増加することとを報告し、さらに Sarviharju (1973) は、尿中A排泄率は比較的軽い運動負荷によっても増加することとを報告している。

本研究の結果は、これらの報告とよく一致しており、60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ のような中等度の運動によつて、尿中A排泄率が増加することとがみられた(鍛練者群: 運動前値の2.8倍, 非鍛練者群, 2.6倍)。さらに、100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ の運動においては、鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ運動前の18.9, 23.0倍に増加することとがみられ(表7, 図2)、これらのことから、尿中A排泄率もまた運動強度に対して、指数関数的に増加することとが確かめられた。

運動中のA上昇については、2つのことが考えられる。すなわち、第1に、Aの増加が

(2)16)A2)

精神的ストレスと関係するといふ報告を考えた場合に、運動そのものが（特に 100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ のような激しい運動）、心配あるいは不安なほどの精神的ストレスを引き起こし、そのために、尿中および血中の A が増加すると考えられる。このことは、本研究の 100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ の運動において、このような激しい運動を普通あまり経験しないと思われる非鍛練者群において高い傾向にあったことと関係していると思われる。

第 2 に、急激な身体作業に伴う代謝上昇のために、基質を供給するといふことにおいて関係すると思われる。すなわち、A の効果は作業中に、肝臓や骨格筋のサイクリック AMP を増加し、そして、このサイクリック AMP が glycolysis (解糖作用), lipolysis (脂肪分解) および gluconeogenesis (ブドウ糖新生) に対して、¹²⁾ 正の効果を持つことが知られている。そして、A の作用を遮断する β -adrenergic blockade が運動に対して悪影響を及ぼすといふことを考えた場

¹³⁾¹⁸⁾

合に、運動中の A 上昇は重要であり、運動によつて尿中 A 排泄率が増加したという本研究の結果は当然起こり得ると考えられる。

(2) 運動時間と CA 排泄

同一負荷で運動時間を変えた場合の CA 分泌や CA 排泄をみた研究は報告されていない。本研究では、60% の $\dot{V}_{O_2 \max}$ の運動を 15 分および 60 分おこなわせ、その時の尿中 CA を観察した。その結果、運動時間の延長とともに、尿中 A, NA および CA の総排泄量は増加することがみられた(表 8, 図 5)。この増加は、非鍛練者群の NA を除き、すべて 5% 水準で有意であった。

しかしながら、これらそれぞれ運動 1 分間あたりの排泄率としてみると、A, NA および CA 排泄率はすべて両運動間において有意差がみられなくなり、むしろ、60 分運動の排泄率の方が 15 分の運動にくらべて減少傾向にあることがみられた(表 9, 図 6)。

両運動間に有意差がみられなかった理由と

しては、60% of V_{O_2max} 60分の運動中では、生体
 はほぼ定常状態が成立しているためと考えら
 れる。このことは、Howleyら(1970)³⁰⁾の、60、
 70および80% of V_{O_2max} 時のCA産生の定常状態は、
 30分間の運動中に成立するという仮説と一致
 するものと思われる。また、60分運動時の減
 少傾向の理由としては、運動中はCA不活性が
 減少すること²³⁾が知られており、そのために、
 CA分泌が運動初期に比べて少量に抑えられ、
 その結果、尿中への排泄率が減少するものと思
 われる。

しかし、もし、この運動が2~3時間と続
 けられて被験者がall-out状態に存するような場合、
 あるいは、80~90% of V_{O_2max} の運動のよう³¹⁾に定
 常状態が長続きしないうような運動を15分およ
 び30分おこなわせただけの場合に、運動1分間あた
 りのCA排泄率が本研究と同様の傾向を示すか
 どうかは明らかではなく、今後実験すべき興
 味ある問題である。

(3) 鍛練度とCA排泄

本研究において、鍛練者と非鍛練者の運動による尿中A, NAおよびCA排泄において、いずれの場合にも有意な差は得られなかった。この理由として、第1に非鍛練者として用いた被験者が体育学を専攻する学生であり、日常規則的なトレーニングをしていないとは³¹⁾、之、一般人に比較して有酸素的能力も高く、運動にも相当熟練しているためと考えられる。従って、もしも身体運動をあまり経験したことの無いような一般学生を用いたならば、本研究と異なる結果が得られるかもしれない。

第2の理由としては、運動負荷が個人の% of \dot{V}_{O_2max} として表わされる相対的負荷を用いたためと考えられる。このことは、CA排泄は絶対的な意味での \dot{V}_{O_2} (l/min) あるいは \dot{V}_{O_2} (ml/kg.min) よりも、% of \dot{V}_{O_2max} として表わされる作業強度と最も高い相関³⁰⁾ (r = 0.81) を示した²⁹⁾ という Howley ら (1970) の報告や、Hartley (1975) の相対的作業強度で考えるならば、トレーニングによって血中A, NAは変化しないという報告

と一致すると思われる。

だから、もし両グループに対して絶対的強度としての、同一の物理的な負荷をかけたならば、従来の報告と同様に、鍛練者群においてより低い尿中AおよびNA排泄率が期待されるものと思われる。

第 6 章 結 論

尿中の A および NA 排泄率は、同一負荷（% of $\dot{V}O_{2\max}$ ）の場合には運動時間や鍛練度によって変化しないが、運動強度に対しては、A および NA 排泄率はともに指数関数的に増加する。

第 7 章 要 約

1) 本研究の目的は、尿中 A および NA 排泄に及ぼす運動強度、運動時間および鍛練度の影響を検討することであった。

2) 被験者は鍛練者 6 名 ($\dot{V}_{O_2 \max}$ 72.9 ± 4.85 ml/kg.min) と非鍛練者 6 名 ($\dot{V}_{O_2 \max}$ 57.8 ± 3.26 ml/kg.min) であった。

3) 用いた運動は ① 100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ を exhaustion まで、② 60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ × 15 分 および ③ 60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ × 60 分、の 3 種類であった。

4) 尿中 A および NA の分析は、Euler-Lishajko 法を改良した THI 法によって蛍光法的に行なった。

5) 60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時の A 排泄率 (ng/min) は、運動前値にくらべて鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ 2.8, 2.6 倍に増加し、100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時で 18.9, 23.0 倍に増加した。この増加はいずれも統計的に有意であった。

6) 60% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時の NA 排泄率は、運動前値にくらべて鍛練者および非鍛練者群で、それぞれ 4.6, 5.8 倍に増加し、100% of $\dot{V}_{O_2 \max}$ 時で、34.7,

35.2 倍に増加した。この増加もすべて統計的に有意であった。

7) 60% of $\dot{V}O_{2max}$ 15分と60分の運動において、尿中のAおよびNA総排泄量は非鍛練者群のNAを除いて有意に増加したが、運動1分間あたりの排泄率には有意な差がみられなかった。

8) 相対的同一負荷(% of $\dot{V}O_{2max}$) 時における尿中AおよびNA排泄において、鍛練者と非鍛練者間に有意な差はみられなかった。

9) 以上のことから、尿中AおよびNAの排泄率は運動強度にとってもなって指数関数的に増加するが、運動時間や鍛練度によっては変化しないことが確かめられた。

引 用 文 献

- 1) Banister, E.W. and J. Griffiths: Blood levels of adrenergic amines during exercise. J. Appl. Physiol., 33 674-676 (1972)
- 2) Brody, T.M. and J.H. McNeill: Adrenergic receptors for metabolic responses in skeletal and smooth muscles. Federation Proc., 29 1375-1377 (1970)
- 3) Carlsson, A., B. Folkow and J. Häggendal: Some factors influencing the release of noradrenaline into the blood following sympathetic stimulation. Life Sci., 3 1335-1341 (1964)
- 4) Chin, A.K. and E. Evonuk: Changes in plasma catecholamine and corticosterone levels after muscular exercise. J. Appl. Physiol., 30 205-207 (1971)
- 5) Chin, A.K., R. Seaman and M. Kapileshwarker: Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation. J. Appl. Physiol., 34 409-412 (1973)
- 6) Cronan III, T.L. and E.T. Howley: The effect of training on epinephrine and norepinephrine excretion. Med. Sci. in Sports, 6 122-125 (1974)
- 7) Cunningham, W.L., E.J. Becker and F. Krenzer: Catecholamines in plasma and urine at high altitude. J. Appl. Physiol., 20 607-610 (1965)
- 8) Davies, C.T.M., J. Few, K.G. Foster and A.J. Sargeant: Plasma catecholamine concentration during dynamic exercise involving different muscle groups. Europ. J. appl. Physiol., 32 195-206 (1974)
- 9) De Schryver, C., P. De Herdt and J. Lammerant: Effect of physical training on cardiac catecholamine concentrations. Nature, 214 907-908 (1967)

- 10) De Schryver, C., J.M-Strythagen, I.Becsei and J.Lammerant: Effect of training on heart and skeletal muscle catecholamine concentration in rats. Am.J.Physiol., 217 1589-1592 (1969)
- 11) Ekblom, B.: Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta physiol.scand., Suppl. 328 1-45 (1969)
- 12) Elmadjian, F., J.M.Hope and E.T.Lamson: Excretion of epinephrine and norepinephrine in various emotional states. J.clin.Endocr., 17 608-620 (1957)
- 13) Epstein, S.E., B.F.Robinson, R.L.Kahler and E.Braunwald: Effects of beta-adrenergic blockade on the cardiac response to maximal and submaximal exercise in man. J.clin.Invest., 44 1745-1753 (1965)
- 14) Euler, U.S.v. and S.Hellner: Excretion of noradrenaline and adrenaline in muscular work. Acta physiol.scand., 26 183-191 (1952)
- 15) Euler, U.S.v. and F.Lishajko: The estimation of catecholamines in urine. Acta physiol.scand., 45 122-132 (1959)
- 16) Euler, U.S.v.: Quantitation of stress by catecholamine analysis. Clin.Parmacol.Therap., 5 398-404 (1964)
- 17) Euler, U.S.v.: Sympatho-adrenal activity in physical exercise. Med.Sci.in Sports, 6 165-173 (1974)
- 18) Galbo, H., J.J.Holst, N.J.Christensen and J.Hilsted: Glucagon and plasma catecholamines during beta-receptor blockade in exercising man. J.Appl.Physiol., 40 855-863 (1976)
- 19) Gazes, P.C., J.A.Richardson and E.F.Woods: Plasma catecholamine concentration in myocardial infarction and angina pectoris. Circulation, 19 657-661 (1959)
- 20) Gray, I. and W.P.Beetham, Jr.: Changes in plasma concentration of epinephrine and norepinephrine with muscular work. Proc.Soc.Exp.Biol.Med., 96 636-638 (1957)

- 21) Häggendal, J.: An improved method for fluorimetric determination of small amounts of adrenaline and noradrenaline in plasma and tissues. Acta physiol.scand., 59 242-254 (1963)
- 22) Häggendal, J., L.H.Hartley and B.Saltin: Arterial noradrenaline concentration during exercise in relation to the relative work levels. Scand.J.clin.Lab.Invest., 26 337-342 (1970)
- 23) Häggendal, J.: Role of circulating noradrenaline and adrenaline. In Pernow, B. and B.Saltin, ed. Muscle metabolism during exercise, 1st ed. 119-125, Plenum: New York (1971)
- 24) Hale, H.B., E.W.Williams and J.P.Ellis: Catecholamine excretion during heat deacclimatization. J.Appl.Physiol., 18 1206-1208 (1963)
- 25) Hartley, L.H., J.W.Mason, R.P.Hogan, J.G.Jones, T.A.Kotchen, E.H.Mougey, F.E.Wherry, L.L.Pennington and P.T.Ricketts: Multiple hormonal responses to graded exercise in relation to physical training. J.Appl.Physiol., 33 602-606 (1972)
- 26) Hartley, L.H., J.W.Mason, R.P.Hogan, J.G.Jones, T.A.Kotchen, E.H.Mougey, F.E.Wherry, L.L.Pennington and P.T.Ricketts: Multiple hormonal responses to prolonged exercise in relation to physical training. J.Appl.Physiol., 33 607-610 (1972)
- 27) Hartley, L.H.: Growth hormone and catecholamine response to exercise in relation to physical training. Med.Sci.in Sports, 7 34-36 (1975)
- 28) Hartman, F.A., R.H.Waite and H.A.McCordock: The liberation of epinephrine during muscular exercise. Am.J.Physiol., 62 225-241 (1922)
- 29) Hickler, P.B., J.T.Hamlin and R.E.Wells: Plasma norepinephrine response to tilting in essential hypertension. Circulation, 20 422-426 (1959)

- 30) Howley, E.T., J.S. Skinner, J. Mendez and E.R. Buskirk: Effect of different intensities of exercise on catecholamine excretion. Med. Sci. in Sports, 2 193-196 (1970)
- 31) Ikai, M., M. Shindo and M. Miyamura: Aerobic work capacity of Japanese people. Res. J. Physical Educ., 14 137-142 (1970)
- 32) 今泉礼治: カテコールアミン研究の歴史と展望. 今泉礼治編 カテコールアミン. 第1版. 1-10, 医学書院: 東京 (1968)
- 33) Ishida, N.: Metabolism of catecholamines in hyper- and hypothyroid patients. Tohoku J. Exper. Med., 78 228-242 (1962)
- 34) Johnson, R.H., D.M. Park, M.J. Rennie and W.R. Sulaiman: Hormonal response to exercise in racing cyclists. J. Physiol., 241 23P-25P (1974)
- 35) Kärki, N.T.: The urinary excretion of noradrenaline and adrenaline in different age groups, its diurnal variation and the effect of muscular work on it. Acta physiol. scand., 39 (Suppl. 132) 7-96 (1956)
- 36) Klensch, H.: Der basale Noradrenalin Spiegel im peripheren venösen Blut des Menschen. Pflügers Archiv., 290 218-224 (1966)
- 37) Kotchen, T.A., L.H. Hartley, T.W. Rice, E.H. Mougcy, L.G. Jones and J.W. Mason: Renin, norepinephrine and epinephrine responses to graded exercise. J. Appl. Physiol., 31 178-184 (1971)
- 38) 宮原光夫, 伊藤武時, 飯村 攻, 上田 侃, 杉田 順一: 高血圧症におけるノルアドレナリンの意義. 高血圧症患者のノルアドレナリン分泌(尿中排泄)ならびにノルアドレナリン感性について. 日内会誌, 51 388-389 (1962)
- 39) 中野 裕, 菅野泰, 江崎正, 新保慎一郎, 永山洋一, 真鍋 茂: カテコールアミン. 総合臨牀, 17 2315-2327 (1968)
- 40) 中野 裕: カテコールアミン. 井村裕夫ほか著 人体成分のサンプリング—ホルモン—. 第1版. 228-230, 講談社: 東京 (1974)

- 41) Nilsson, K.O., L.G. Heding and B. Hokfelt: The influence of short term submaximal work on the plasma concentration of catecholamines, pancreatic glucagon and growth hormone in man. Acta Endocr., 79 286-294 (1975)
- 42) 小川玄一, 松田正二, 原 昭彦: 女子における肉体的並みに精神的労作負荷後の尿中アドレナリン, ノルアドレナリンに及ぼす影響. 体力科学, 10 179 (1961)
- 43) O'Hanlon, J.F. Jr.: Catecholamines in human plasma. Science, 151 710 (1966)
- 44) 長田洋文: カテコールアミン. 丹羽正治, 北村元仕, 斎藤正行編 臨床化学分析Ⅵ - ホルモン -, 第1版. 202-224, 東京化学同人: 東京 (1974)
- 45) Östman, I. and N.O. Sjöstrand: Effect of prolonged training on the catecholamine levels of the heart and the adrenals of the rat. Acta physiol. scand., 82 202-208 (1971)
- 46) Östman, I., N.O. Sjöstrand and G. Swedin: Cardiac noradrenaline turnover and urinary catecholamine excretion in trained and untrained rats during rest and exercise. Acta physiol. scand., 86 299-308 (1972)
- 47) Sarviharju, P.J.: Effect of physical exercise on the urinary excretion of catecholamines and 17-hydroxycorticosteroids in young healthy men. J. Sports Med., 13 171-176 (1973)
- 48) 佐藤辰男: カテコールアミン測定法. 臨床病理, 19 333-336 (1970)
- 49) 須藤綾子: カテコールアミンの自動分析. 井村裕夫ほか著 人体成分のサンプリング - ホルモン -, 第1版. 267, 講談社: 東京 (1974)
- 50) Vendsalu, A.: A studies on adrenaline and noradrenaline in human plasma. Acta physiol. scand., 49 7-123 (1960)
- 51) Voorhess, M.L. and L.I. Gardner: Urinary excretion of nor-epinephrine, epinephrine and 3-methoxy-4-hydroxymandelic acid by children with neuro blastoma. J. clin. Endocr., 21 321-335 (1961)

- 52) Wada, M., M. Seo and K. Abe: Effect of muscular exercise upon the epinephrine secretion from the suprarenal glands. Tohoku J. Exp. Med., 27 65-86 (1935)
- 53) Watts, D. T. and A. D. Bragg: Effect of smoking on the urinary output of epinephrine and norepinephrine in man. J. Appl. Physiol., 9 275-278 (1956)
- 54) Wilmore, J. H. and P. O. Sigereth: Physical work capacity of young girls, 7-13 years of age. J. Appl. Physiol., 22 923-928 (1967)
- 55) Wyndham, C. H., N. B. Strydom, J. S. Maritz, J. F. Morrison, J. Peter and Z. U. Potgieter: Maximum oxygen intake and maximum heart rate during work. J. Appl. Physiol., 14 927-936 (1959)
- 56) 吉永馨: 臨床検査としての尿中catecholamine定量法について. 日新医学, 47 775-783 (1960)

Effects of work intensity, duration and training level on urinary adrenaline and noradrenaline excretion.

Isao MURAOKA

- 1) The purpose of this study was to ascertain the effects of work intensity, duration and training level on urinary adrenaline and noradrenaline excretion.
- 2) Subjects were six trained ($\dot{V}O_2\text{max}$ 72.9 ± 4.85 ml/kg.min) and six untrained ($\dot{V}O_2\text{max}$ 57.8 ± 3.26 ml/kg.min) young healthy men.
- 3) They were completed three running tests (60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ for 15min, 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ for 60min and 100% of $\dot{V}O_2\text{max}$ to exhaustion) on different occasions.
- 4) Urinary adrenaline and noradrenaline were analyzed fluorometrically by THI method, a slight modification of Euler-Lishajko technique.
- 5) Adrenaline excretion rate at 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ significantly increased from pre-exercise values (trained and untrained groups were 2.8 and 2.6 folds, respectively). The excretion rate at 100% of $\dot{V}O_2\text{max}$ also showed significant increase in both groups (trained 18.9 folds and untrained 23.0 folds).
- 6) Noradrenaline excretion rate at 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ significantly increased from pre-exercise values (trained and untrained groups were 4.6 and 5.8 folds, respectively). The excretion rate at 100% of $\dot{V}O_2\text{max}$ also showed significant increase in both groups (trained 34.7 folds and untrained 35.2 folds).
- 7) Total adrenaline and noradrenaline excretion values (except untrained NA) at 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ for 60min significantly exceeded the values at 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ for 15min. But excretion rate in both exercises did not show significant difference.
- 8) There was no significant difference in adrenaline and noradrenaline excretion between trained and untrained groups at relatively same work loads (% of $\dot{V}O_2\text{max}$).
- 9) From the observations above, it was ascertained that urinary adrenaline and noradrenaline excretion rate progressively increased in relation to the intensity of work load, but the excretion was not changed by duration and training level.

Table 1. Physical characteristics and $\dot{V}O_2\max$.

| Group | Subject | Age
yr | Stature
cm | Weight**
kg | $\dot{V}O_2\max$ **
ml/kg.min |
|-----------|---------|-----------|---------------|----------------|----------------------------------|
| Trained | J.S. | 22 | 161.5 | 51.05 | 76.0 |
| | T.T. | 23 | 167.4 | 53.15 | 63.9 |
| | Y.S. | 21 | 172.2 | 57.55 | 73.6 |
| | M.S. | 19 | 163.9 | 51.10 | 75.4 |
| | K.S. | 20 | 165.8 | 55.65 | 71.5 |
| | S.S. | 20 | 166.0 | 54.05 | 77.2 |
| | Mean | 20.8 | 166.1 | 53.76 | 72.9 |
| S D | 1.47 | 3.61 | 2.56 | 4.85 | |
| Untrained | N.H. | 22 | 162.0 | 64.65 | 59.2 |
| | I.I. | 20 | 163.3 | 61.60 | 53.4 |
| | S.M. | 22 | 177.5 | 68.50 | 60.1 |
| | M.O. | 21 | 165.0 | 64.05 | 55.8 |
| | H.K. | 20 | 169.3 | 58.55 | 56.7 |
| | T.M. | 22 | 169.8 | 60.65 | 62.2 |
| | Mean | 21.2 | 167.8 | 63.00 | 57.8 |
| S D | 0.98 | 5.69 | 3.50 | 3.26 | |

** The difference between trained and untrained was significant (P < 0.01).

Table 2. Exhaustive time at 100% of Vo₂max.

| Group | Subject | Exhaustive time | |
|-----------|---------|-----------------|-------|
| | | min | sec |
| Trained | J.S. | 1' | 40" 0 |
| | T.T. | 4' | 01" 4 |
| | Y.S. | 5' | 37" 0 |
| | M.S. | 3' | 34" 0 |
| | K.S. | 2' | 02" 8 |
| | S.S. | 3' | 25" 0 |
| | Mean | 3' | 23" 4 |
| S D | 1' | 25" 6 | |
| Untrained | N.H. | 3' | 50" 0 |
| | I.I. | 4' | 03" 2 |
| | S.M. | 3' | 06" 4 |
| | M.O. | 2' | 26" 1 |
| | H.K. | 2' | 11" 2 |
| | T.M. | 3' | 30" 0 |
| | Mean | 3' | 11" 2 |
| S D | | 45" 2 | |

There was no significant difference in both groups.

Table 3. Excretion rate of adrenaline(A),noradrenaline(NA) and catecholamine(CA) at pre-exercise(Average of three experiments).

| Group | Subject | A
ng/min | NA
ng/min | CA
ng/min |
|-----------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| Trained | J.S. | 10.5 | 35.3 | 45.8 |
| | T.T. | 14.5 | 57.0 | 71.5 |
| | Y.S. | 8.3 | 27.4 | 35.7 |
| | M.S. | 19.6 | 26.5 | 46.1 |
| | K.S. | 8.6 | 40.5 | 49.1 |
| | S.S. | 14.9 | 27.4 | 42.3 |
| | Mean
S D | 12.7
4.40 | 35.7
11.83 | 48.4
12.20 |
| Untrained | N.H. | 17.5 | 24.3 | 41.8 |
| | I.I. | 14.9 | 31.2 | 46.1 |
| | S.M. | 6.6 | 8.4 | 15.0 |
| | M.O. | 19.8 | 37.0 | 56.8 |
| | H.K. | 7.3 | 21.6 | 28.9 |
| | T.M. | 12.6 | 21.5 | 34.1 |
| | Mean
S D | 13.1
5.36 | 24.0
9.76 | 37.1
14.53 |

There was no significant difference in both groups.

Table 4. Excretion rate of A, NA and CA at 60% of $\dot{V}O_2\text{max}$ for 15min.

| Group | Subject | A
ng/min | NA
ng/min | CA
ng/min |
|-----------|---------|-------------|--------------|--------------|
| Trained | J.S. | 30.8 | 171.8 | 202.6 |
| | T.T. | 45.4 | 208.7 | 254.1 |
| | Y.S. | | | |
| | M.S. | 29.4 | 81.4 | 110.8 |
| | K.S. | 35.7 | 138.8 | 174.5 |
| | S.S. | 38.3 | 216.3 | 254.6 |
| | Mean | 35.9 | 163.4 | 199.3 |
| | S D | 6.41 | 55.34 | 60.25 |
| Untrained | N.H. | 51.1 | 169.3 | 220.4 |
| | I.I. | | | |
| | S.M. | 11.3 | 81.7 | 93.0 |
| | M.O. | 44.4 | 150.5 | 194.9 |
| | H.K. | 34.7 | 107.4 | 142.1 |
| | T.M. | 29.1 | 191.1 | 220.2 |
| | Mean | 34.1 | 140.0 | 174.1 |
| | S D | 15.33 | 44.84 | 55.46 |

There was no significant difference in both groups.

Table 5. Excretion rate of A, NA and CA at 60% of $\dot{V}O_{2max}$ for 60min.

| Group | Subject | A
ng/min | NA
ng/min | CA
ng/min |
|-----------|---------|-------------|--------------|--------------|
| Trained | J.S. | 34.9 | 86.4 | 121.3 |
| | T.T. | 22.6 | 132.6 | 155.2 |
| | Y.S. | 22.4 | 76.8 | 99.2 |
| | M.S. | 37.6 | 141.8 | 179.4 |
| | K.S. | 27.8 | 134.8 | 162.6 |
| | S.S. | 52.4 | 128.0 | 180.4 |
| | Mean | 33.0 | 116.7 | 149.7 |
| S D | 11.39 | 27.74 | 32.80 | |
| Untrained | N.H. | 26.9 | 146.7 | 173.6 |
| | I.I. | 50.9 | 72.3 | 123.2 |
| | S.M. | 34.4 | 132.2 | 166.6 |
| | M.O. | 36.0 | 105.1 | 141.1 |
| | H.K. | 28.2 | 75.2 | 103.4 |
| | T.M. | 42.0 | 65.5 | 107.5 |
| | Mean | 36.4 | 99.5 | 135.9 |
| S D | 8.98 | 34.10 | 29.72 | |

There was no significant difference in both groups.

Table 6. Excretion rate of A, NA and CA at 100% of $\dot{V}O_{2max}$.

| Group | Subject | A
ng/min | NA
ng/min | CA
ng/min |
|-----------|---------|-------------|--------------|--------------|
| Trained | J.S. | 262.4 | 2007.3 | 2269.7 |
| | T.T. | 466.1 | 1792.5 | 2258.6 |
| | Y.S. | 56.5 | 855.9 | 912.4 |
| | M.S. | | | |
| | K.S. | 313.8 | 692.7 | 1006.5 |
| | S.S. | 102.6 | 846.2 | 948.8 |
| | Mean | 240.3 | 1238.9 | 1479.2 |
| S D | 165.54 | 611.59 | 717.35 | |
| Untrained | N.H. | 367.3 | 892.3 | 1259.5 |
| | I.I. | 96.7 | 305.4 | 402.1 |
| | S.M. | 568.6 | 1038.2 | 1606.8 |
| | M.O. | 431.1 | 1301.9 | 1733.0 |
| | H.K. | 170.2 | 966.2 | 1136.4 |
| | T.M. | 171.8 | 564.2 | 736.0 |
| | Mean | 301.0 | 844.7 | 1145.6 |
| S D | 183.56 | 355.82 | 508.21 | |

There was no significant difference in both groups.

Table 7. Excretion rate of A, NA and CA at pre-exercise, 60% of $\dot{V}O_{2max}$ for 15min and 100% of $\dot{V}O_{2max}$ to exhaustion.

| Group | | pre-exercise (ng/min) | | | 60% 15min (ng/min) | | | 100% (ng/min) | | |
|-----------|------|-----------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|---------------|---------|---------|
| | | A | NA | CA | A ** | NA ** | CA ** | A * | NA ** @ | CA * @ |
| Trained | Mean | 12.7 | 35.7 | 48.4 | 35.9 | 163.4 | 199.3 | 240.3 | 1238.9 | 1479.2 |
| | S D | 4.40 | 11.83 | 12.20 | 6.41 | 55.34 | 60.25 | 165.54 | 611.59 | 717.35 |
| Untrained | | pre-exercise (ng/min) | | | 60% 15min (ng/min) | | | 100% (ng/min) | | |
| | | A | NA | CA | A * | NA ** | CA ** | A * @ | NA * @ | CA ** @ |
| Untrained | Mean | 13.1 | 24.0 | 37.1 | 34.1 | 140.0 | 174.1 | 301.0 | 844.7 | 1145.6 |
| | S D | 5.36 | 9.76 | 14.53 | 15.33 | 44.84 | 55.46 | 183.56 | 355.82 | 508.21 |

- * The difference between pre-exercise and exercise was significant ($P < 0.05$).
- ** The difference between pre-exercise and exercise was significant ($P < 0.01$).
- @ The difference between 60% and 100% of $\dot{V}O_{2max}$ was significant ($P < 0.05$).

Table 8. Total excretion values(μg) of A,NA and CA at different duration of 60% of $\dot{V}o_2\text{max}$.

| Group | | 60% 15min | | | 60% 60min | | |
|---------|------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | | A | NA | CA | A* | NA* | CA* |
| Trained | Mean | 0.334 | 1.891 | 2.225 | 1.213 | 4.864 | 6.077 |
| | S D | 0.1205 | 0.7705 | 0.8506 | 0.6037 | 1.6246 | 1.8850 |

| Group | | 60% 15min | | | 60% 60min | | |
|-----------|------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | | A | NA | CA | A* | NA | CA* |
| Untrained | Mean | 0.290 | 1.761 | 2.051 | 1.397 | 4.530 | 5.927 |
| | S D | 0.1686 | 0.6021 | 0.6810 | 0.5803 | 2.2837 | 2.0427 |

(μg)

* The difference of total A,NA and CA excretion values between 15min and 60min exercise at 60% $\dot{V}o_2\text{max}$ was significant($P < 0.05$)

Table 9. Excretion rate (ng/min) of A, NA and CA at different duration of 60% max $\dot{V}O_2$.

| Group | | 60% 15min | | | 60% 60min | | |
|---------|------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | | A | NA | CA | A | NA | CA |
| Trained | Mean | 35.9 | 163.4 | 199.3 | 33.0 | 116.7 | 149.7 |
| | S D | 6.41 | 55.34 | 60.25 | 11.39 | 27.74 | 32.80 |

| Group | | 60% 15min | | | 60% 60min | | |
|-----------|------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | | A | NA | CA | A | NA | CA |
| Untrained | Mean | 34.1 | 140.0 | 174.1 | 36.4 | 99.5 | 135.9 |
| | S D | 15.33 | 44.84 | 55.46 | 8.98 | 34.10 | 29.72 |

(ng/min)

There was no significant difference between 15min and 60min exercise at 60% max $\dot{V}O_2$ on excretion rate of A, NA and CA.

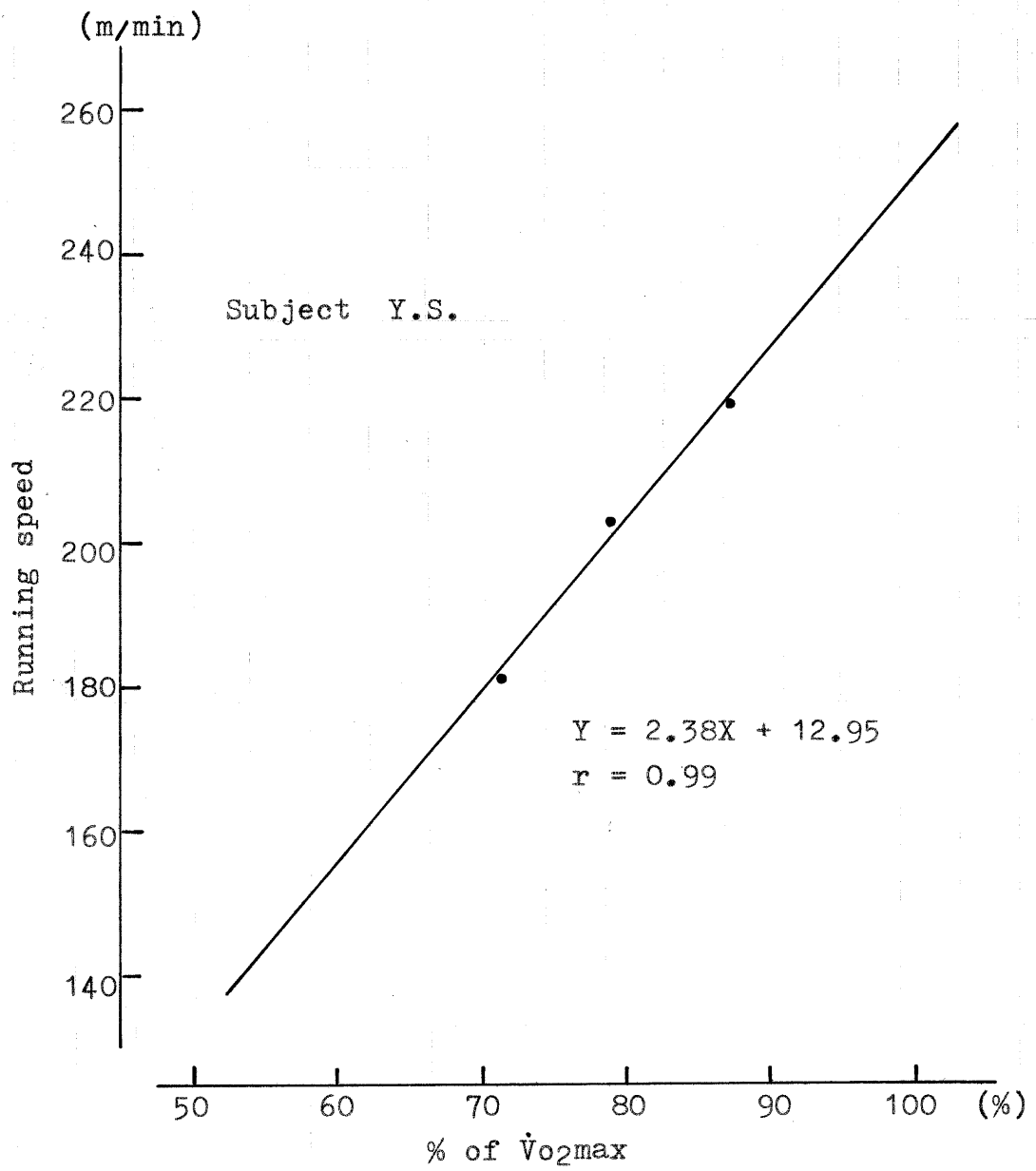


Fig. 1. Regression line of running speed on % of $\dot{V}O_2\text{max}$.

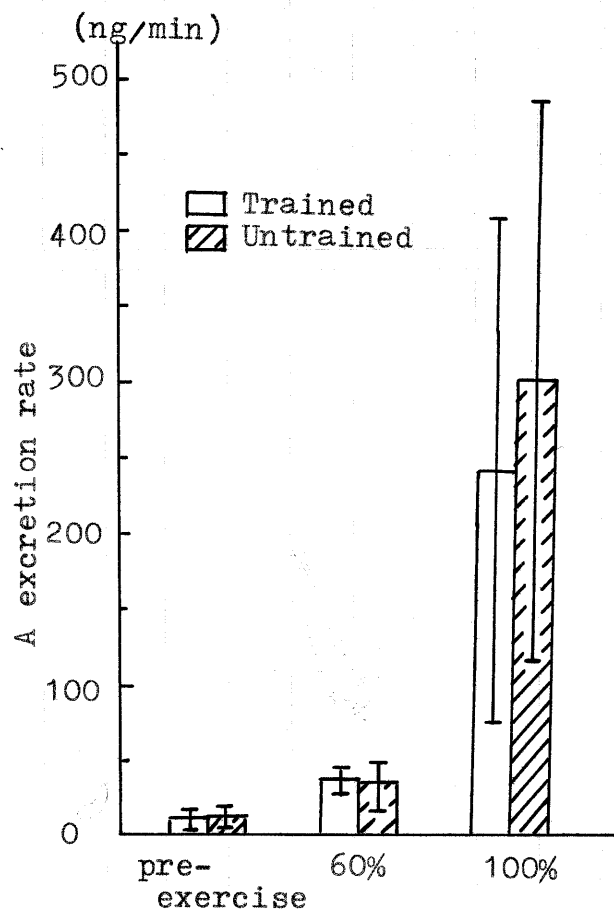


Fig. 2. Adrenaline(A) excretion rate at pre-exercise, 60% and 100% of $\dot{V}O_2\text{max}$.

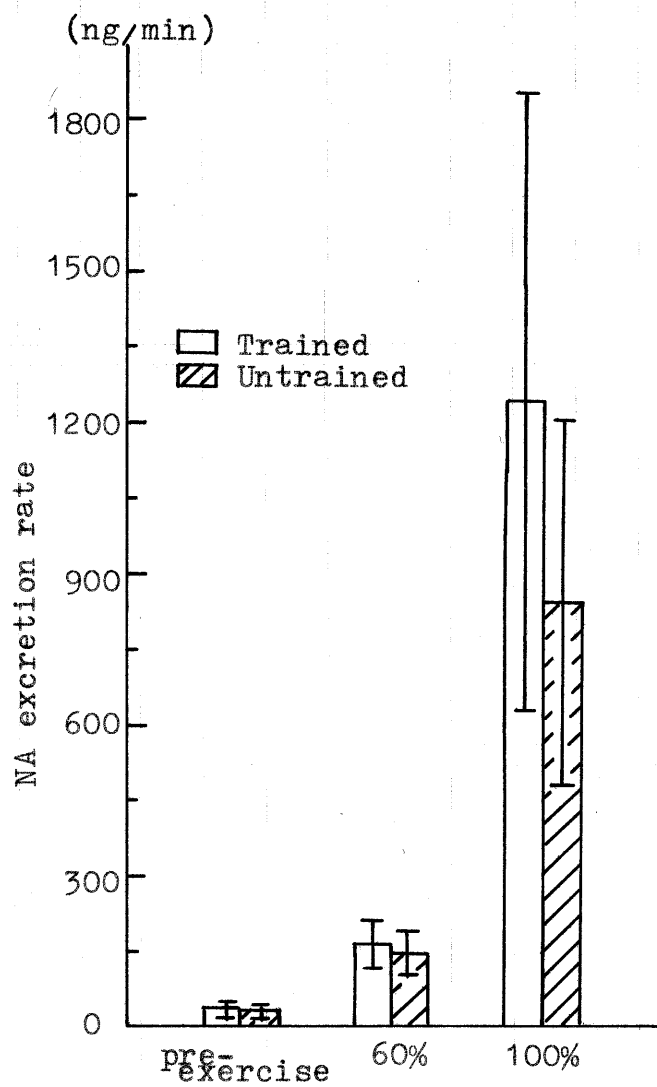


Fig. 3. Noradrenaline (NA) excretion rate at pre-exercise, 60% and 100% of $\dot{V}O_{2max}$.

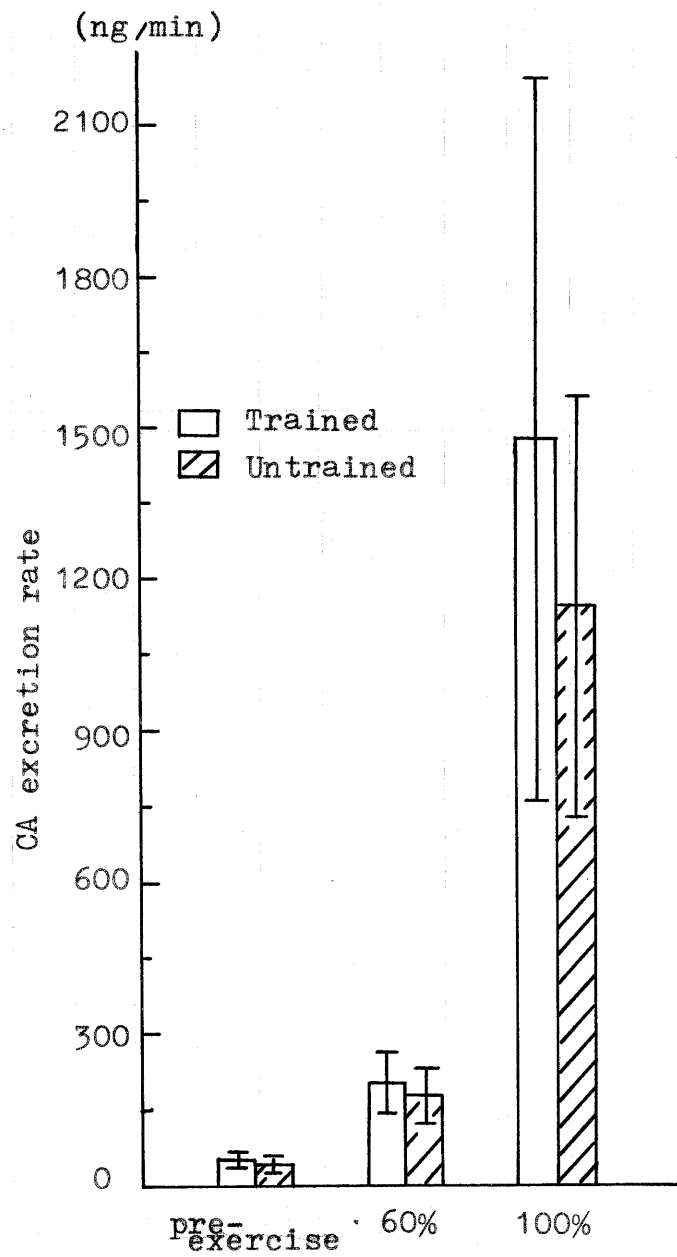


Fig. 4. Catecholamine(CA) excretion rate at pre-exercise, 60% and 100% of $\dot{V}O_2\text{max}$.

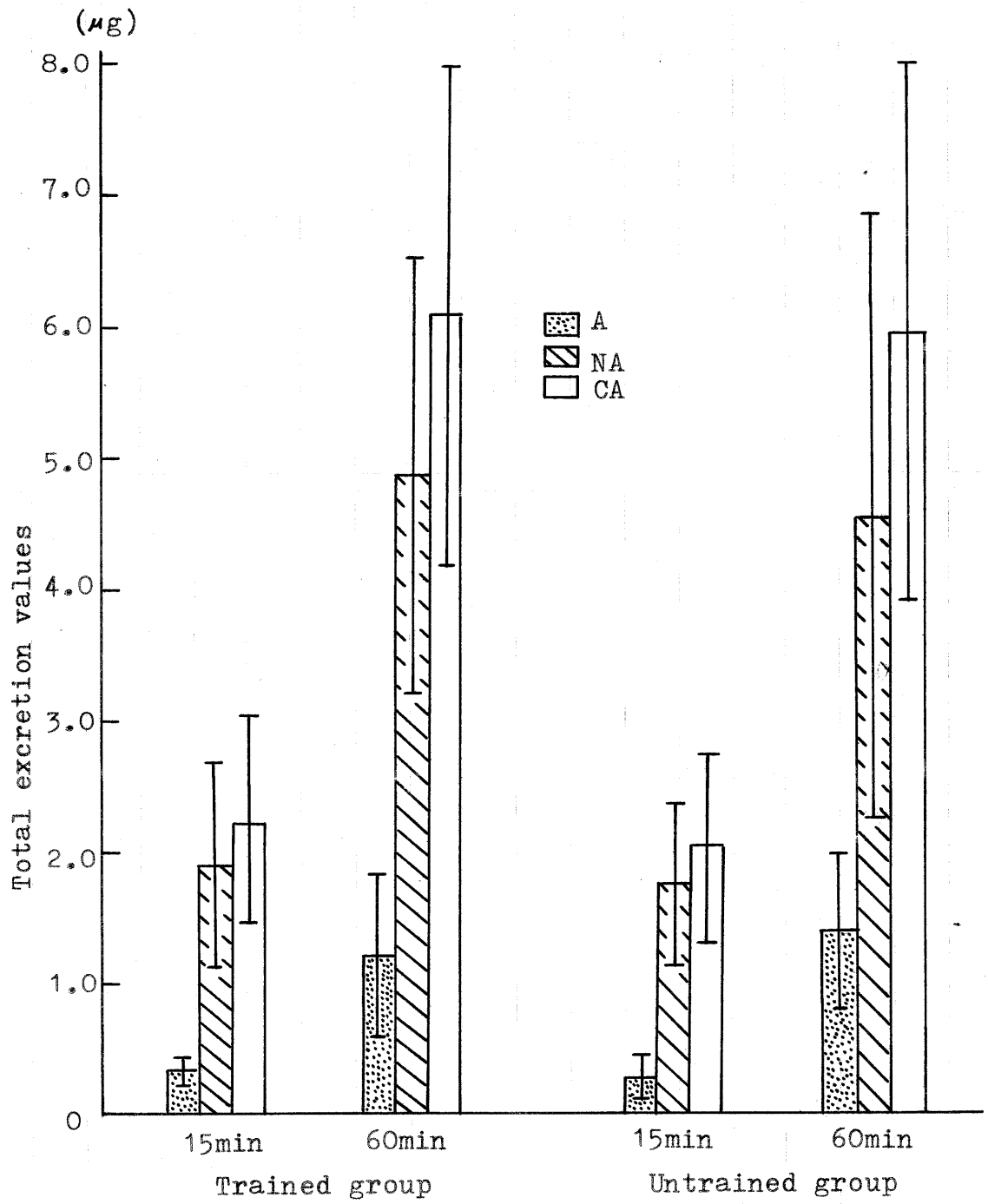


Fig. 5. Total excretion of A, NA and CA in trained and untrained groups at different durations of 60% max $\dot{V}O_2$.

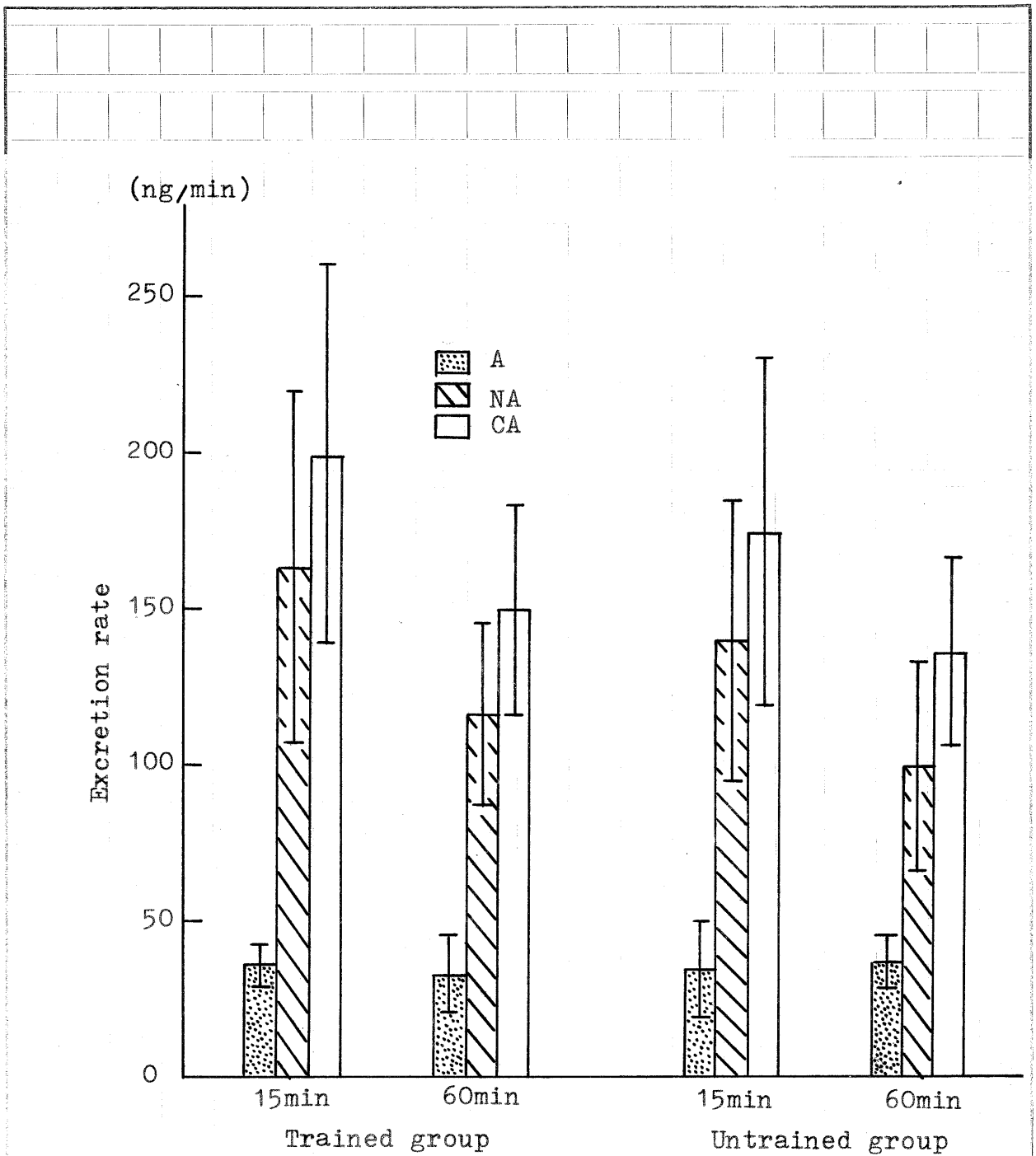


Fig. 6. Excretion rate of A,NA and CA in trained and untrained groups at different durations of 60% max $\dot{V}O_2$.