

昭和44年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII サウナ入浴の生理学的研究 —第1報—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

サウナ入浴の生理学的研究 —第1報—

財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所

黒田 善雄, 塚越 克己, 加賀谷 潤彦
雨宮 輝也, 太田 裕造, 成沢 三雄
村松 充子

I 目 的

サウナ風呂はフィンランドで発達した入浴様式で、近年わが国でも数多く設けられ一般にもひろく利用されるようになった。

サウナ風呂を用いる目的はいろいろあるであろうが、日本古来の温水に全身を浸す風呂とはちがった効果を求めて、一般に発汗による効果をねらうというのが多いようである。特にスポーツ選手では体調の調整をするために用いている。また体重制限のあるスポーツ種目の選手は減量のために他の減量法と並用している。

サウナ入浴は身体的にも効果があり、また情緒的ストレスからの解放という心理的效果もあるといわれるが、実際にサウナ入浴は身体にどんな影響を及ぼすのかということについてはスポーツ医学の分野ではまだ明らかにされていないようである。

そこで、われわれはサウナ入浴が身体にどのような影響を及ぼすのかを解明するために以下の実験的研究をおこなった。

II 研究の方法

昭和44年11月24日から29日にわたって日本体育協会スポーツ診療所サウナ室において実験をおこなった。実験に利用したサウナ室の大きさは床面積 10.98m²(幅4.35m, 奥行2.50m), 高さ2.10mである。調節可能な温度範囲は40°C~100°Cである。休息室はサウナ室に隣り合った部屋で室温22.7°C~23.7°C, 湿度40%~53%であった。被検者はサウナに入浴する前に衣服を脱ぎ裸体で休息室に15分間椅座で安静した。そのあと15分間、

温度90°C 湿度18%のサウナに入浴した。サウナ室でも同様に椅座を保った。入浴後、休息室で30分間椅座で回復をはかった。

入浴前, 中, 後の各状態において次でのべる各種の項目についての測定をおこない, サウナ入浴が身体に及ぼす影響をしらべた。

1. 被検者について

被検者は健康な青年男子10名で、大学の運動クラブに所属しており定期的にトレーニングを実施している人達である。何れもこれまでサウナ入浴の経験はなかった。被検者の年齢, 体重, 身長, 体表面積, 皮下脂肪厚の計測値を表1に掲げた。体表面積は高比良の式より求め、皮下脂肪厚の腹部は臍右横, 胸部は乳頭上部, 背部は肩胛骨下端でそれぞれ測定した。

2. 測定項目と方法

サウナ入浴による呼吸循環機能の変化をみるために次のような項目の測定をおこなった。ガス代謝, 心拍数, 呼吸数, 血圧, 皮膚温, 筋温, 直腸温, 全血比重, 血清蛋白, ヘモグロビン, 赤血球数, 白血球数, 尿蛋白, ウロビリノーゲン, 尿pHである。

ガス代謝はダグラスバッグ法により, 呼吸の分析は労研式ガス分析器でおこなった。血圧の測定は Riva-Rocci 式水銀血圧計を用い, 心拍数は胸部双極誘導によりペンオシログラフに記録して換算した。呼吸数は呼気マスク内に装着したサーミスター温度計により, 呼気と吸気温の温度変化曲線をペンオシログラフに記録して換算した。皮膚温は直径8mm, 厚さ1mmの円形状サーミスター温度計で前頭・額中央部を測定した。筋温は左三角筋中央部に針状サーミスター温度計を深さ

表1 被検者一覽

| 氏名 | 年齢 (歳) | 体重 (kg) | 身長 (cm) | 体表面積 (m ²) | 皮下脂肪厚 (mm) | | | |
|-------|-----------|------------|------------|---------------------------|------------|-----|------|------|
| | | | | | 腹部 | 胸部 | 上腕背部 | 背部 |
| 増田 勉 | 21 | 66.9 | 178.0 | 1.861 | 8.7 | 7.2 | 5.2 | 8.1 |
| 荒井 正 | 20 | 60.8 | 158.0 | 1.641 | 7.0 | 5.3 | 3.8 | 7.5 |
| 上野 勉 | 20 | 65.6 | 167.0 | 1.746 | 10.5 | 6.0 | 7.2 | 11.7 |
| 斎藤 直樹 | 19 | 77.8 | 173.0 | 1.941 | 6.3 | 4.6 | 7.0 | 8.3 |
| 山田 雄次 | 21 | 59.2 | 168.0 | 1.690 | 7.4 | 4.5 | 3.8 | 6.5 |
| 長嶺 功 | 21 | 66.6 | 169.0 | 1.784 | 7.7 | 4.4 | 4.2 | 10.5 |
| 寺沢 直紀 | 20 | 56.5 | 167.8 | 1.652 | 4.5 | 3.0 | 3.2 | 6.5 |
| 松永 和義 | 21 | 61.1 | 164.0 | 1.685 | 5.8 | 3.2 | 3.0 | 7.0 |
| 大岩 修治 | 20 | 55.9 | 166.0 | 1.627 | 5.0 | 5.7 | 4.2 | 6.1 |
| 田中 政次 | 20 | 55.6 | 163.0 | 1.599 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 6.5 |

1.5cm 注入して測定した。直腸温は直径 8 mm, 長さ 5 cm の棒状サーミスター温度計を挿入して測定した。採血は上腕の浅静脈からおこなった。ヘモグロビンの測定にはエルマ光学製のヘモグロビンメーターを用い、血清蛋白の測定には日立製血清蛋白計を用いた。全血比重は硫酸銅法によった。尿蛋白、尿 pH は日本エームス K. K. 製コンビスティックス試験紙で定性的におこない、ウロビリノーゲンはエールリッヒアルデヒド反応でみた。入浴による減量をみるために精度 50 g の天秤式体重計で体重を測定した。

a. 入浴前の測定

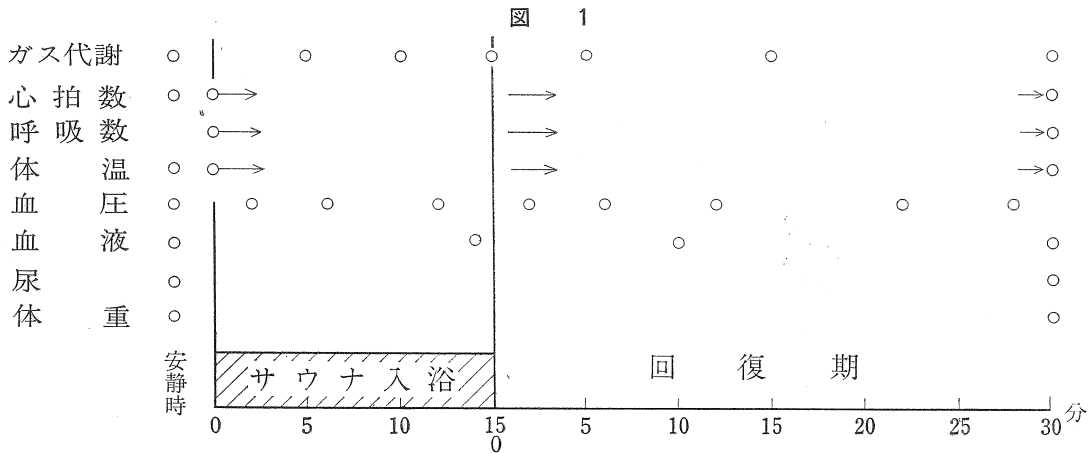
休息室で15分間、椅座安静後に入浴前の安静時の測定を上記全項目にわたっておこなった。

b. 入浴中の測定

入浴前の測定が終了してから15分間サウナ入浴した。入浴中の測定は次のようにおこなった。呼吸の採集は入浴中 5分, 10分, 15分におこない血圧は入浴中 2分, 6分, 12分に測定した。採血は入浴終了直前の14分におこなった。心拍数, 呼吸数, 直腸温, 皮膚温, 筋温はコードで休息室に誘導して連続記録した。直腸温, 皮膚温, 筋温のサーミスター温度計を高温なサウナ室の伝導熱から防ぐため、断熱材を用いて测温部及び全コードを被覆断熱した。呼吸の採血, 採血, 血圧測定は三人の検者がサウナ室に入っておこなった。

c. 入浴後の測定

15分間のサウナ入浴後、休息室に入り、30分間



椅座で回復をはかった。呼気の採集は入浴終了後5分、15分、30分におこなった。血圧は2分、6分、12分、22分、28分後に測定した。採血は10分、30分後におこなった。心拍数、呼吸数、直腸温、皮膚温、筋温は30分間連続して記録した。上記した項目の測定が終了した30分後に体重を測定し、採尿をおこなった。入浴前・中・後の実験の手続きを図1に掲げた。

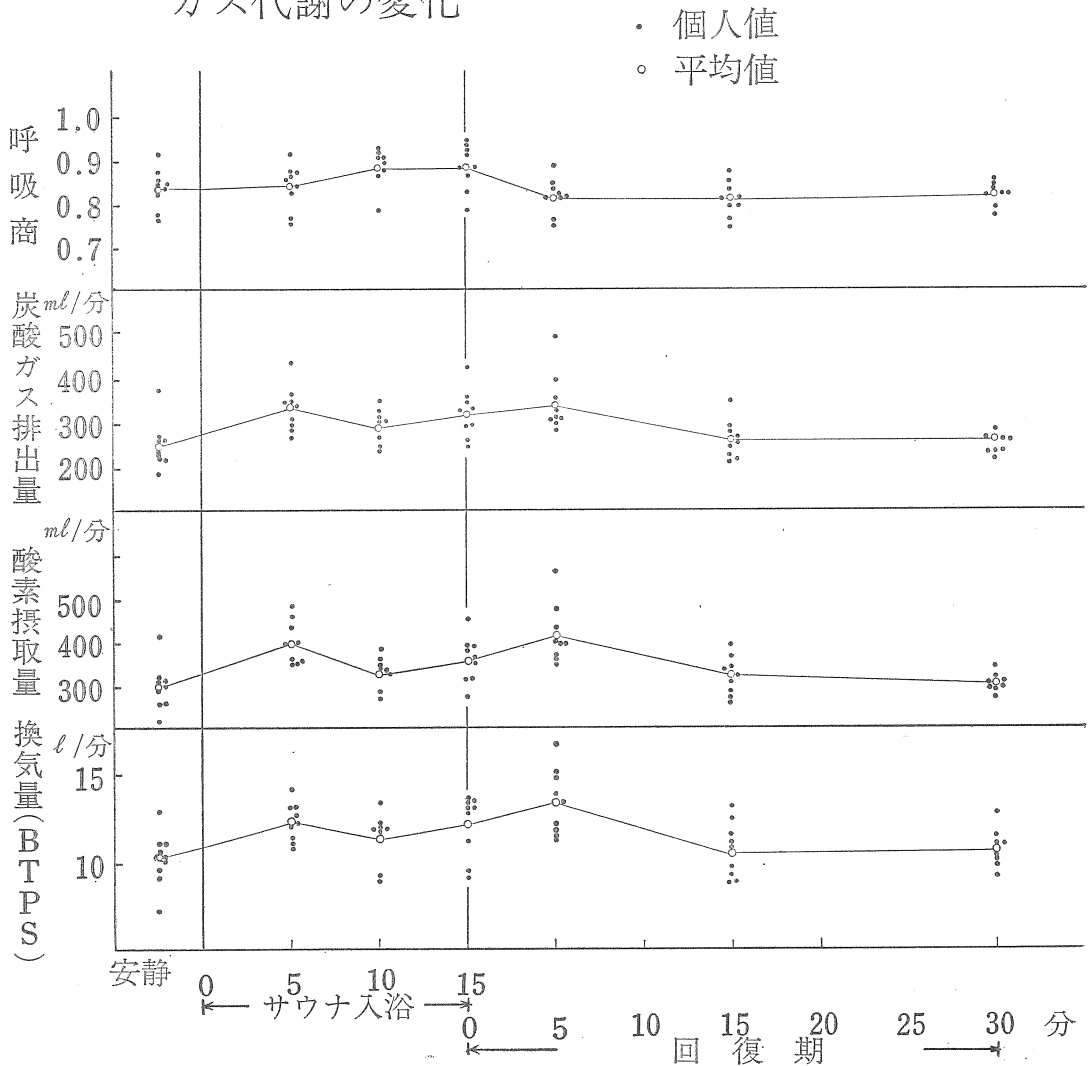
III 結果と考察

1) ガス代謝の変化について

換気量、炭酸ガス排出量、酸素摂取量、RQの

それぞれの変化を図2に示した。入浴直後と入浴終了直後のガス代謝が顕著に亢進しているのが認められる。これは入浴するために休息室で椅座安静の状態から立ちあがってサウナ室へ向う約5mの歩行とまた入浴終了後に回復をはかるため休息室へ戻るための歩行によって亢進したものが、あるいは急激な環境温度などの変化によって生じたものなのか明らかでない。しかし入浴直後と入浴終了後の値は5分間の平均値であるから約5mの歩行の影響はほとんど消去されていると考えられるので急激な環境変化によるものとみなすべきであろう。

ガス代謝の変化 図 2



換気量の変化をみると、安静 10.2l が入浴 5 分 12.2l, 10 分 11.2l, 15 分 12.0l に増加した。安静時よりもそれぞれ 19.6%, 9.8%, 17.7% の上昇である。入浴終了後 5 分で安静時の 29.4% の上昇をしますが、30 分後に 2.9% 増まで回復した。炭酸ガス排出量の変化をみると安静 245.5 ml が入浴 5 分 327.7 ml, 10 分 186.0 ml, 15 分 313.1 ml に増加した。安静時の 33.4%, 16.3%, 27.4% の上昇である。入浴終了後 5 分で 36.8% に上昇するが、30 分後に 4.5% まで回復した。酸素摂取量の変化をみると安静 294.3 ml が入浴 5 分 392.6 ml, 10 分 325.1 ml, 15 分 355.7 ml に増加した。それぞれ安静時の 33.4%, 10.5%, 20.9% の上昇である。入浴終了後 5 分で 40.1% に上昇するが、30 分後には 1.9% 増まで回復した。酸素摂取量と炭酸ガス排出量を呼吸商でみると安静 0.83 が入浴 5 分 0.84, 10 分 0.88, 15 分 0.88 に増加した。入浴終了後 5 分で 0.81, 30 分で 0.82 である。

2) 心拍数, 呼吸数の変化について

心拍数, 呼吸数の変化を表 2 に掲げた。図 3 に逐時的変化を示した。心拍数は入浴時間の経過につれて次第に増加して入浴 15 分では平均 124 拍/分

(110 拍/分~145 拍/分) まで上昇した。安静時の 77% (64%~93%) の上昇である。入浴終了後すぐに回復して 30 分後には 77 拍/分 で安静時の 10% 増まで回復した。入浴直後に一時低下がみられるが、これは椅座安静の状態からサウナ室にむかうために立ちあがって歩行したことによって一時上昇した心拍数が再び椅座姿勢をとることによって低下したものと考えられる。呼吸数は心拍数のように入浴による変化は顕著にあらわれないが、増加の傾向がみられ最高値は 26 回/分である。呼吸数の安静値に実測値がないが、一般的に 20 回前後であるので呼吸数も増加していることは確かである。

3) 体温の変化について

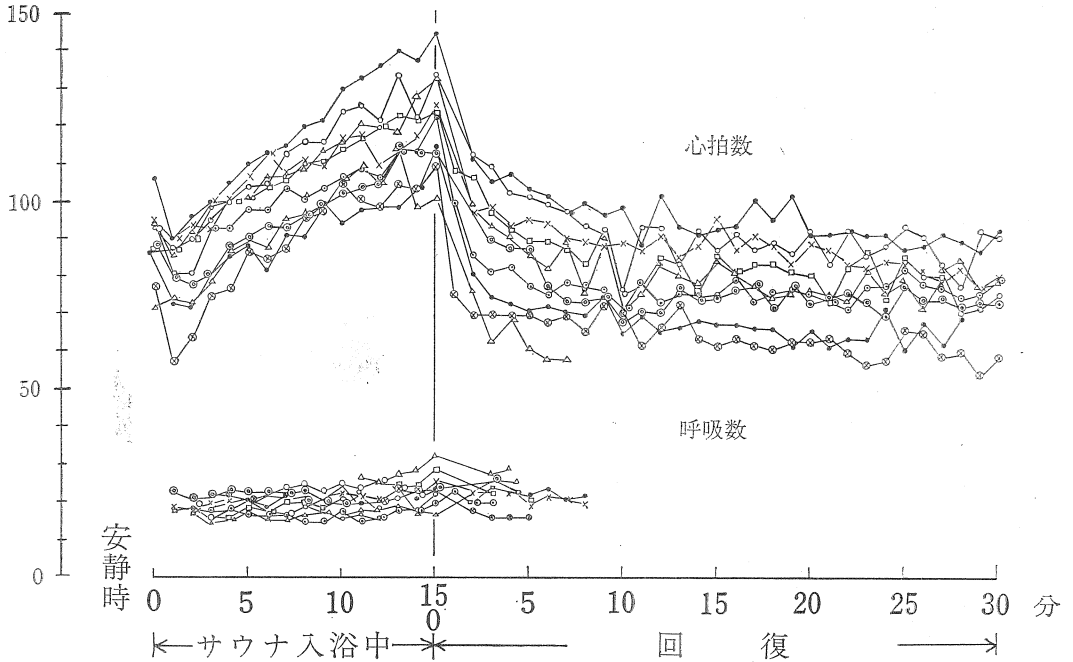
入浴前, 中, 後の筋温, 皮膚, 直腸温の値を表 2 に掲げた。また図 4 にそれぞれの逐時的変化を示した。筋温では安静値平均 35.4°C から入浴によって次第に上昇して最高値 39.1°C まで上昇した。入浴終了後に次第に回復して 30 分後に 35.5°C まで回復した。皮膚温でも同じような傾向の曲線で上昇し, 回復する。安静値平均 34.7°C が最高値 39.2°C まで上昇し, 入浴終了後 30 分では 33.9°C

表 2 心拍数, 呼吸数, 体温の一覧

| 被 検 者 | 安 静 時 | | | | サウナ入浴中 (最高値) | | | | | 回 復 (30分後) | | | |
|---------|------------|----------|----------|----------|--------------|------------|----------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| | 心拍数 拍/分 | 直腸温 度 | 皮膚温 度 | 筋 温 度 | 心拍数 拍/分 | 呼吸数 回/分 | 直腸温 度 | 皮膚温 度 | 筋 温 度 | 心拍数 拍/分 | 直腸温 度 | 皮膚温 度 | 筋 温 度 |
| 増 田 | 70 | 37.2 | 34.6 | 35.2 | 115 | 25 | 37.4 (37.7) | 39.2 | 40.5 | 74 | 37.4 | 34.5 | 35.0 |
| 荒 井 | 60 | 37.0 | 34.5 | 35.2 | 116 | 28 | 37.3 (37.5) | 39.4 | 38.3 | 70 | 37.3 | 34.0 | 35.7 |
| 上 野 | 70 | 36.9 | 34.4 | 35.3 | 134 | 24 | 37.7 | 39.7 | 38.8 | 91 | 37.0 | 33.7 | 35.9 |
| 斎 藤 | 84 | 37.0 | 34.6 | 35.7 | 145 | 23 | 37.5 (37.7) | 38.2 | 38.5 | 93 | 37.6 | 33.5 | 36.3 |
| 山 田 | 72 | 37.3 | 34.9 | 35.1 | 133 | 33 | 37.7 | 37.7 | 38.7 | 79 | 37.5 | 33.3 | 35.6 |
| 長 嶺 | 66 | 37.2 | 34.4 | — | 114 | 22 | 37.5 (37.7) | 39.5 | — | — | — | — | — |
| 寺 沢 | 71 | 37.3 | 35.0 | 35.9 | 124 | 29 | 37.9 (38.0) | 38.7 | 38.7 | 76 | 37.5 | 33.4 | 35.9 |
| 松 永 | 73 | 37.1 | 35.2 | 35.6 | 126 | 26 | 37.7 (38.0) | 40.0 | 40.3 | 81 | 37.3 | 34.9 | 34.0 |
| 大 岩 | 69 | 37.2 | 34.6 | 34.9 | 123 | 20 | 37.6 | 40.6 | 39.1 | 80 | 37.3 | 34.6 | 35.5 |
| 田 中 | 65 | 37.3 | 35.2 | — | 110 | 26 | 37.4 (37.7) | 38.0 | — | 59 | 37.7 | 34.3 | — |
| 平 均 | 70 | 37.2 | 34.7 | 35.4 | 124 | 26 | 37.7 | 39.1 | 39.1 | 78 | 37.4 | 34.0 | 35.5 |
| 標 準 偏 差 | 5.9 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 10.3 | 3.5 | 0.1 | 0.9 | 0.8 | 9.7 | 0.2 | 0.5 | 0.7 |

* 入浴中の直腸温 () 内は回復期に最高値があらわれたもの。

毎分心拍数
呼吸数



に回復し安静値以下になった。直腸温は安静値 37.1°C が次第に上昇して最高値 37.7°C まで上昇した。入浴終了後30分では 37.4°C に回復した。直腸温は筋温と皮膚温のように入浴中に最高値があらわれるのではなくて入浴終了後の回復中に最高値があらわれることが特徴的である。(10例中7例が回復中に最高値に達する)。これは急激な代謝活動の変化によって直腸温上昇の反応がおこれてあらわれるもので、短時間におこなわれるはげしい運動にも同じ現象がみられる。

4) 血圧の変化について

血圧の変化を表3に一覧して掲げ、図5にその変化をグラフに示した。入浴によって最大血圧は次第に高まり、安静値平均 116mmHg が入浴12分では 131mmHg に増加し13%の上昇であった。最小血圧は減少する傾向にあり、安静平均 63mmHg が入浴12分 62mmHg であった。脈圧で見ると安静値 52mmHg が入浴12分 66mmHg に増加しており、入浴によって脈圧が大きくなるということが認められた。

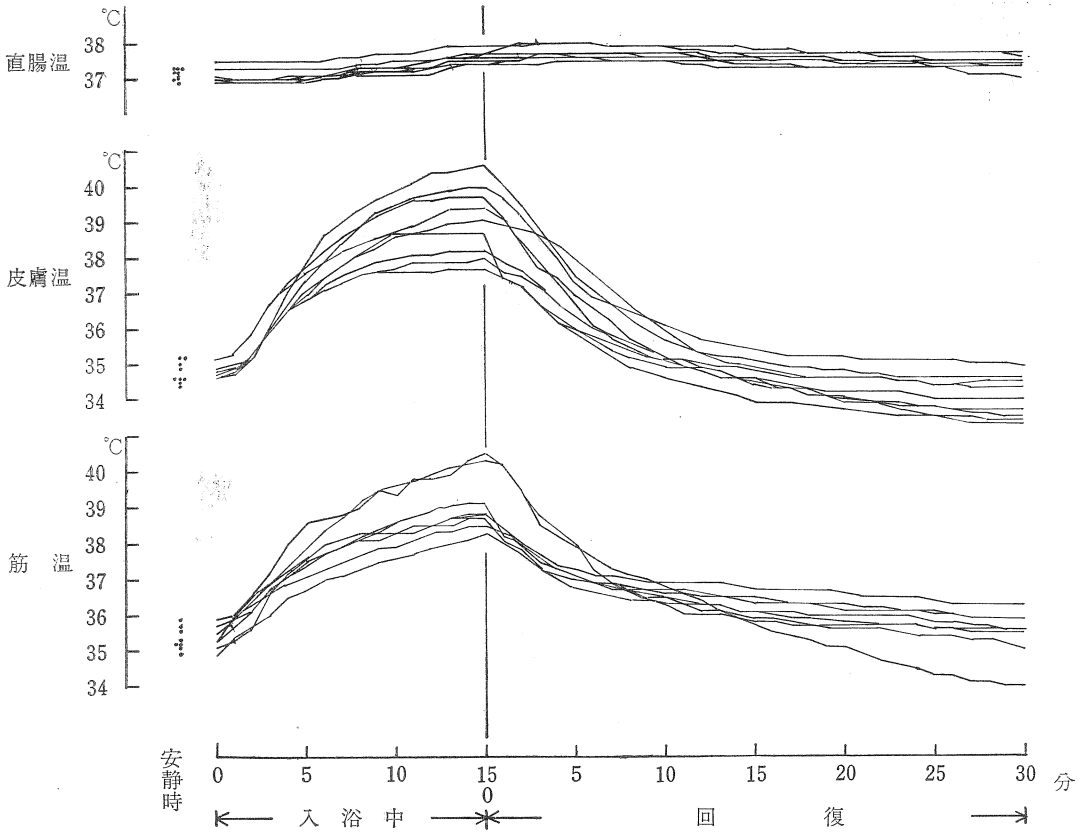
5) 発汗について

発汗の結果として体重が減少するが表4に入浴による体重の減少と発汗の始まる時間を掲げた。減量は 250g から 600g であり、 0.45% から 0.99% の減少であった。体温調節のために体表の全面から発汗が生じるが、特に顔面、背、四肢からの発汗が大である。発汗は入浴するとただちに生じるものではなく数分間の潜伏期がある。肉眼で発汗の状態を観察して粒状の発汗する時間は3分30秒から6分30秒であった。

6) 血液性状と尿の変化について

ヘモグロビン、赤血球数、白血球数、全血比重、血清蛋白の値の変化を図6に掲げた。ヘモグロビンは安静値 14.2g/dl が入浴によって 14.9g/dl に増加した。(安静値の5%の増加)。全血比重では安静値 1.058 が入浴によって 1.060 に増加した。(安静値の3%の増加)。血清蛋白は安静値 8.0g/dl が入浴によって 8.6g/dl に増加した。(安静値の7.5%の増加)。赤血球数は安静値493万が入浴によって518万に増加した。(安静値の5%増加)。白血

図 4



球数は安静値6457が入浴によって 7868 に増加した。(安静値の 22% の増加)。尿の変化を定性的に調べた結果は糖とウロビリノーゲンには変化は認められなかった。蛋白は陽性例が 1 例あり、pH は 10 例中 7 例が酸性に傾く傾向であった。

以上のようにサウナ入浴によって身体の生理機能に変化が生じるが、全測定項目の変化の 1 例を図 7 に掲げた。

室温 20°C 前後の平温では安静時の体温の調節は輻射60%、伝導(対流) 15%、蒸発25%という放熱の機序でおこなわれている。常温下では体温の方が外界温より高いので輻射と伝導が主であるが、外界温が次第に高くなれば輻射と伝導による放熱は少なくなる。外界温が皮膚温とほぼ同じになるか、またはそれ以上になると輻射と伝導は全くなくなり蒸発による放熱のみの機序で体温の調

節がおこなわれる。乾温 90°C のサウナに入浴した場合、90°C の室温は皮膚温よりはるかに高いので逆に熱が外界から体内に進入することになる。従って発汗を盛んにして放熱をおこなわれなければならない。放熱をおこなうためには皮膚血管を拡張させ血流を盛んにしなければならないので循環機能が亢進する。入浴によって心拍数が増したことは循環機能の亢進によるものであり、最大血圧の上昇は心拍出量が増加していることをあらわし、また最小血圧が低下したことは末梢血管が拡張し、末梢抵抗が減少していることを表わしている。従って脈圧が増加する。

温熱による発汗は手掌と足蹠を除いた全皮膚面にみられ、このことは発汗の普通法則と言われている。(久野寧著「汗の話」)。また急激に高温にさらされてもすぐに発汗するのではなく潜伏期がみられた。

発汗によって体内水分は蒸発するので血液は濃

表3 血圧の変化

| 被検者 | 安静時 | | | サウナ入浴 | | | | | | 回復 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 2分 | | 6分 | | 12分 | | 2分 | | 6分 | | 12分 | | 22分 | | 28分 | | | | | | | | | |
| | 最 大 | 最 小 | 脈 圧 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | 最 小 | | | | | | | | |
| 増田 | 112 | 66 | 46 | 114 | 62 | 52 | 126 | 62 | 64 | 124 | 62 | 62 | / | 126 | 58 | 68 | 108 | 58 | 50 | 100 | 58 | 42 | 108 | 58 | 50 | | |
| 荒井 | 129 | 72 | 57 | 140 | 74 | 66 | 122 | 70 | 52 | 130 | 68 | 62 | 130 | 60 | 70 | 132 | 70 | 62 | 125 | 76 | 49 | 126 | 75 | 51 | 124 | 80 | 44 |
| 上野 | 116 | 66 | 50 | 126 | 68 | 58 | 132 | 67 | 65 | 140 | 62 | 78 | 135 | 52 | 83 | 127 | 56 | 71 | 127 | 68 | 59 | 122 | 74 | 48 | / | | |
| 斎藤 | 122 | 65 | 57 | 140 | 88 | 52 | 141 | 77 | 64 | 142 | 68 | 74 | 115 | 50 | 65 | 113 | 52 | 61 | 112 | 62 | 50 | 105 | 66 | 39 | 102 | 58 | 44 |
| 山田 | 112 | 58 | 54 | 113 | 62 | 51 | 120 | 63 | 57 | 127 | 67 | 60 | 114 | 58 | 56 | 109 | 68 | 41 | 108 | 68 | 40 | 107 | 65 | 42 | 108 | 68 | 40 |
| 長嶺 | 98 | 62 | 36 | 98 | 64 | 34 | 102 | 54 | 48 | 104 | 48 | 56 | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | |
| 寺沢 | 112 | 52 | 60 | 133 | 52 | 81 | 138 | 30 | 108 | 148 | 0 | 148 | 127 | 0 | 127 | 123 | 0 | 123 | 118 | 58 | 60 | 108 | 58 | 50 | 113 | 57 | 56 |
| 松永 | 127 | 58 | 69 | 114 | 74 | 40 | 143 | 64 | 79 | 156 | 49 | 107 | 133 | 42 | 91 | 128 | 64 | 64 | 125 | 62 | 63 | 126 | 63 | 63 | 126 | 72 | 54 |
| 大岩 | 112 | 76 | 36 | 119 | 78 | 41 | 115 | 77 | 38 | 122 | 62 | 60 | 114 | 64 | 50 | 109 | 78 | 31 | 112 | 79 | 33 | 109 | 78 | 31 | 104 | 76 | 28 |
| 田中 | 118 | 62 | 56 | 115 | 68 | 47 | 114 | 68 | 46 | 115 | 78 | 37 | 105 | 72 | 32 | 113 | 82 | 31 | 112 | 73 | 39 | 106 | 72 | 34 | 112 | 72 | 40 |
| 平均 | 116 | 64 | 52 | 121 | 69 | 52 | 125 | 63 | 62 | 131 | 63 | 66 | 122 | 57 | 56 | 120 | 66 | 54 | 116 | 67 | 49 | 112 | 66 | 44 | 112 | 68 | 45 |
| 標準偏差 | 8.5 | 6.6 | 9.9 | 12.7 | 9.5 | 13.0 | 12.6 | 12.9 | 18.9 | 15.0 | 10.0 | 18.0 | 10.3 | 10.0 | 19.0 | 8.5 | 9.8 | 15.0 | 7.2 | 7.3 | 9.8 | 9.3 | 7.4 | 9.2 | 8.2 | 8.4 | 8.4 |

図 5

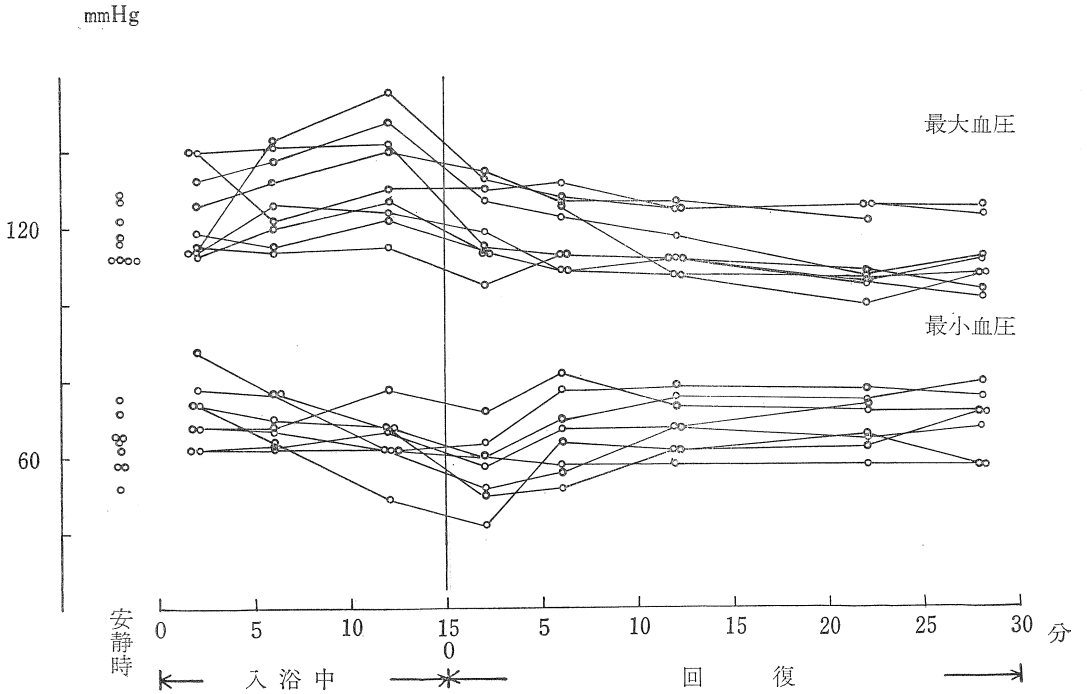


表4 体重の減少と発汗時間

| 被検者 | 入浴前 (kg) | 入浴後 (kg) | 減少 (g) | 減少 (%) | サウナ入浴後発汗時間 |
|------|----------|----------|--------|--------|------------|
| 増田 | 66.85 | 66.35 | 500 | 0.75 | 3' 30" |
| 荒井 | 60.75 | 60.30 | 450 | 0.74 | 4' 30" |
| 上野 | 65.55 | 65.15 | 400 | 0.61 | 6' 30" |
| 斎藤 | 77.75 | 77.25 | 500 | 0.64 | 4' 30" |
| 山田 | 59.15 | 58.75 | 400 | 0.68 | 4' 30" |
| 長嶺 | 66.60 | 66.00 | 600 | 0.90 | 4' 30" |
| 寺沢 | 56.50 | 56.05 | 450 | 0.80 | 4' 30" |
| 松永 | 61.10 | 60.70 | 400 | 0.65 | 4' 00" |
| 大岩 | 55.90 | 55.65 | 250 | 0.45 | 6' 00" |
| 田中 | 55.60 | 55.05 | 550 | 0.99 | 4' 00" |
| 平均 | 62.58 | 62.13 | 450 | 0.72 | 4' 57" |
| 標準偏差 | 6.5 | 6.5 | 92 | 0.14 | |

図 6

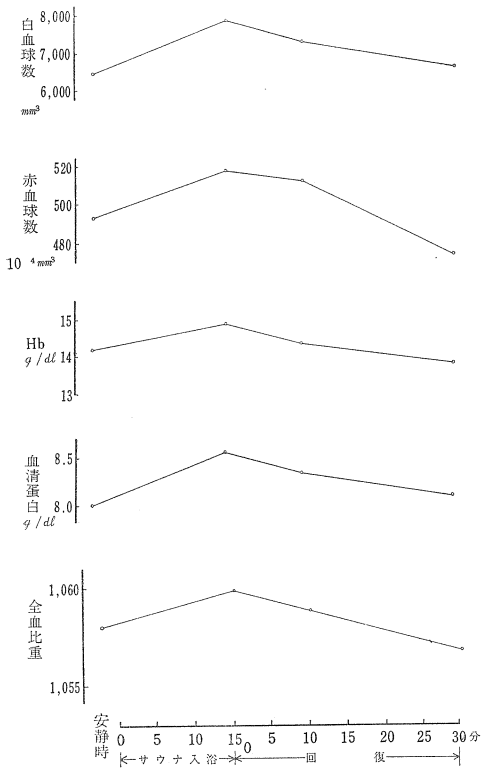
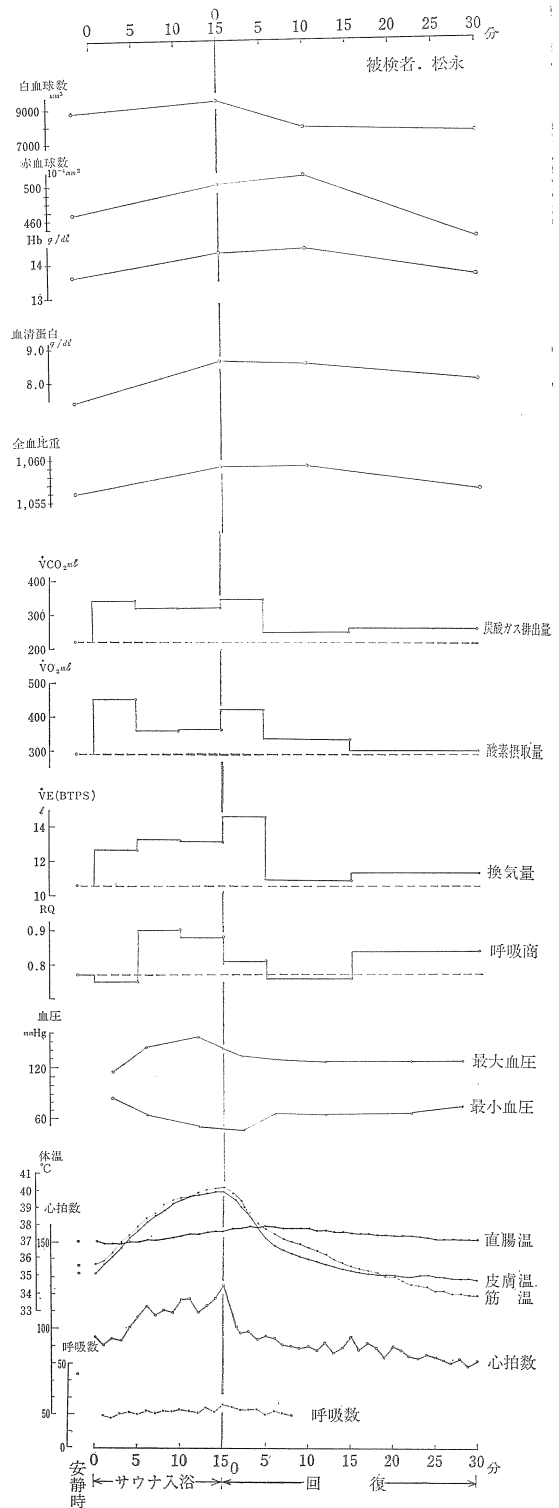


図 7



縮される。ヘモグロビン、全血比重、血清蛋白濃度の上昇などから血液水分量の減少による血液濃縮がうかがわれる。白血球の増加が赤血球に比し著しいのはストレスによる変化をしめすものであろう。細胞外液から失なう水分量は塩分の減少にくらべてはるかに多いので細胞外液は高張になり、血漿蛋白濃度が上昇する。発汗による水分蒸発によって抗利尿ホルモン（ADH）の分泌がさかんになる。ADHは腎臓による水の排出を著明に減少させ、尿は濃縮されその結果酸性化する。

IV 要 約

通常、サウナ入浴は乾温と湿温を交互させる入浴様式であるが、我々は基礎的な段階で温度90°C湿度18%のサウナに15分間入浴したときに身体の生理機能にどんな変化が生じるのか実験をおこな

った。その結果を要約すると、

1. ガス代謝の亢進は安静時の20%であった。
2. 心拍数は124拍/分まで増加し、安静時の77%の上昇であった。
3. 筋温は 35.4°C から 39.1°C に、皮膚温は 34.7°C から 39.2°C に、直腸温は 37.1°C から 37.7°C に上昇した。筋温と皮膚温は入浴中に最高に達するが、直腸温は入浴終了後に最高に達する。
4. 最大血圧は 116 mmHg から 131 mmHg に高まり、最小血圧は低下する傾向があった。
5. 体重の減少は 250 g から 600 g であった。
6. ヘモグロビン、全血比重、血清蛋白は増加し血液の濃縮がみられ、血球数も増加した。
7. 尿 pH は酸性化した。

昭和44年度 日本体育協会・スポーツ科学研究報告

No. VIII ビタミンC代謝の研究

- (1) 低酸素耐性に及ぼすビタミンCの効果
- (2) 筋運動が組織内ビタミンCに及ぼす影響

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

ビタミンC代謝の研究

I 低酸素耐性に及ぼすビタミンC投与の効果

II 筋運動の組織内ビタミンCに及ぼす影響

研究報告者 ドーピング研究小委員会

委員 朝比奈一男

研究協力者 浅野 勝己(東邦大学医学部第一生理)

I 低酸素耐性に及ぼすビタミンC投与の効果

(目的)

ビタミンCは筋運動や異常環境のストレスと深い関係にあるという。古く航海や探険でビタミンCの不足から壊血病にかかったさいでも最も活動的なヒトに発病率が大きであったといわれる。Hamel¹⁾は、激しい筋運動でビタミンCの消費量が増大するとし、新津²⁾は、低温環境において臓器内ビタミンC量の減少することを認め、ビタミンCが耐寒性や寒冷順化に有効であると報告している。

さらに Shieldsら³⁾は高温高湿環境では尿中ビタミンC排泄量が著増し臓器内C濃度の減少が認められるとしビタミンCが耐暑力増強に有効であるという。

いわゆるビタミンC(総アスコルビン酸:T-AsA)は、還元型アスコルビン酸($C_6H_8O_6$:AsA)と酸化型アスコルビン酸($C_6H_6O_6$:DHA)とから成りこの両者間には可逆性の酸化還元反応がみられる。このため酸素運搬作用として組織に酸素を供給することができ、筋運動や異常環境のストレスによって生体内代謝が亢進するさいにこのビタミンCの消費が増加するのではないかと考えられている。

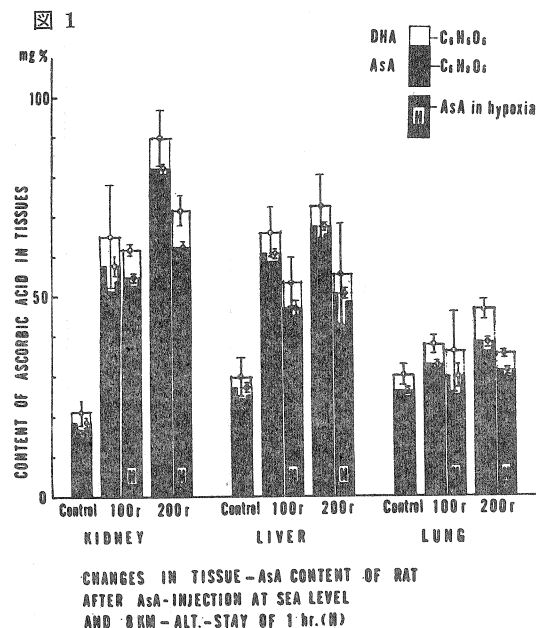
そこでまず異常環境の一つとして生体の組織が低酸素状態におちいった場合に臓器内ビタミンCがいかなる変動を示すかを明らかにし、さらにビタミンCを大量投与した場合の低酸素耐性に及ぼす影響を追求してみたい。

(実験方法)

ラット(150—200g, 雄性)140匹を10日間以上ビタミンCを含みぬ一定の食餌を与えた後に実験に供した。低酸素負荷のためには容積 $2m^3$ の動物用低圧タンクを使用し、低圧時のタンク内はほぼ気温 $20\sim 24^\circ C$, 気湿50%の環境にあった。また投与したビタミンCは国立衛生試験所製標準品を用い、臓器内アスコルビン酸量の定量はDinitrophenyl hydrazine法により行なった。

(結果)

1) $100\gamma/g$ および $200\gamma/g$ のビタミンCを腹腔注射により投与後1時間目に断頭致死させ



(対照群, 投与群各6匹の平均値と標準偏差)

て腎、肝、肺の各臓器内アスコルビン酸量 (AsAおよびDHA)を測定した。この結果は図(1)に示す通りである。すなわちビタミンC投与による臓器内の総アルコールビンの増加量は腎臓が最大であり対照値の3.05倍(100 γ /g), 4.22倍(200 γ /g)である。これに次いで肝臓が2.19倍(100 γ /g), 2.23倍(200 γ /g)を示し、次に肺が1.25倍(100 γ /g), 1.55倍(200 γ /g)になっている。

2) 次に1)と同様に100 γ /gおよび200 γ /gのビタミンCを腹腔投与後、直ちに8 km 相当高度に1時間滞留させ滞留後直ちに復圧して断頭致死して臓器内アスコルビン酸量を測定した。各臓器とも低圧負荷により総アルコールビンの酸量は減少傾向を示している。(図1のH記入の棒グラフ)すなわち、1)において示した平圧時の投与後1時間目の値に対して、腎臓が5.1%(100 γ /g), 20.9%(200 γ /g)の減少を示し肝臓は18.4%(100 γ /g) 17.3%(200 γ /g)の減少を示している。さらに、肺では3.0%(100 γ /g), 23.3%(200 γ /g)の減少である。とくに100 γ /g投与群では肝臓の減少が

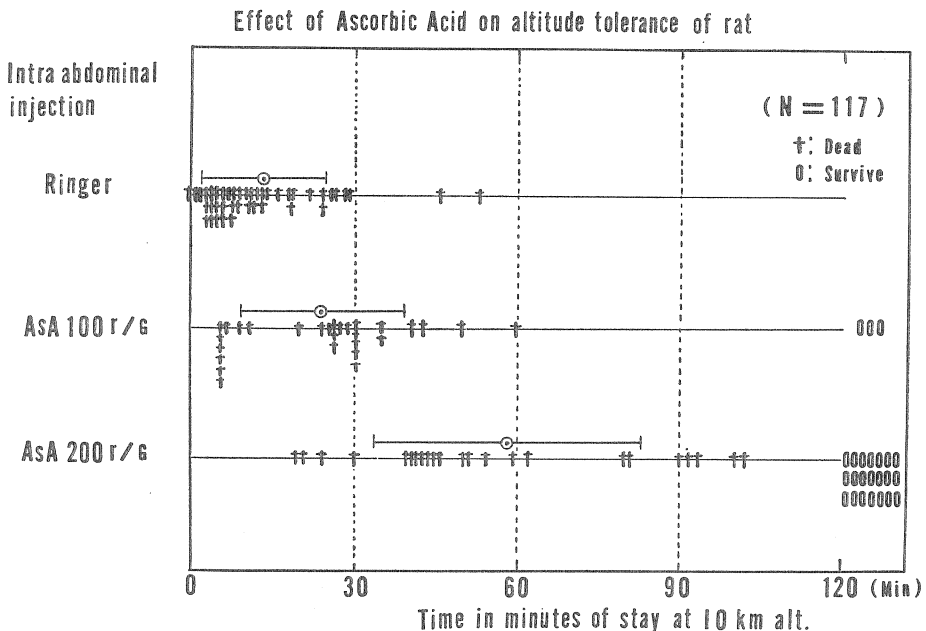
顕著であり、200 γ /g投与群では肺と腎臓が著減し一般に100 γ /gに比べてその減少度が一層明らかになっている。この減少度はビタミンCの利用度を示していると考えられる。

3) 2)の実験から1時間の急性低圧負荷によっても臓器内アスコルビン酸が明らかに消費されていることが確かめられたので、ビタミンCを大量投与して臓器内のビタミンC代謝を亢進させその利用度を高めることができれば低酸素耐性の向上に資するのではないかと考え次の実験を試みた。

すなわち、100 γ /gおよび200 γ /gのビタミンCを腹腔注射により投与し1時間後に、10km相当高度の低酸素環境に曝露し2時間以内に死亡するまでの耐性時間を測定し、生理的食塩水を同時に与えた対照群と比較を行なった。

この結果は図(2)に示す通りである。すなわち200 γ /g投与群では2時間以上の生存数が被検数の50%に及び、また2時間以内の平均致死時間と対照群との間には統計的に有意の差が認められ、

図 2



| | N | Tolerance (Time in min) | | | | Survive |
|---------|----|-------------------------|------|-------------|-----------------|---------|
| | | Max | Min | M ± SD | T-Test | |
| Ringer | 42 | 53.0 | 0 | 13.1 ± 12.0 | | 0 |
| 100 r/G | 31 | 59.0 | 5.0 | 23.7 ± 14.8 | P > 0.05 | 3 |
| 200 r/G | 44 | 102.0 | 20.5 | 57.6 ± 25.9 | 0.05 > P > 0.01 | 21 |

明らかに 200 γ /g 投与群において 10km 相当高度の低酸素環境での耐性能力に向上が確認された。すなわち致死時間では対照群で13.1分に対し 200 γ /g 投与群では57.6分であり約4.5倍の増大である。

(考察)

1) 2) の実験から低酸素負荷により生体内にビタミンC代謝が亢進されその利用度が高まるが、とくにビタミンCの投与量が大きいとその利用度が顕著になることが確かめられた。さらに 3) の実験により事実200 γ /g の大量投与において低酸素耐性の向上が明らかとなった。この原因の一つは肝臓、肺におけるビタミンCの貯留とその酸素供給としての遊出という代謝過程の増進が、大量のビタミンC投与によって一層高められたことが考えられる。しかもその効果が 100 γ /g 投与群よりも 200 γ /g 投与群において顕著であったことは、臓器内総アスコルビン酸量の減少度(あるいは利用度)が 100 γ /g 投与群よりも 200 γ /g 投与群の方が大であったことと相応している。

この成績は Stewartら⁴⁾ のアスコルビン酸静注により出血ネコの致死時間延長をみた報告とも、アスコルビン酸の酸素供給能を確めた点で一致するものである。

II 筋運動の組織内ビタミンCに及ぼす影響

(目的)

筋運動により組織内総・還元型アスコルビン酸(T-AsA, AsA) が著しく減少する一方、酸化型(DHA)は増加することが、Schroll⁵⁾ によって指摘されたが、その機序については未だ明らかでない。

そこで筋運動により組織内ビタミンCがいかなる変動を示すかについて、平圧下と低圧下においてラットに強制遊泳を行なわせ、心筋・骨格筋(腓腹筋)および副腎内ビタミンCの変化を検討したい。

(実験方法)

1群5~9匹で4群を作り、次のように急性運動とトレーニングを平圧、低圧について行なった。

A群: 平圧下で急性のオールアウト運動

B群: 6km相当高度で急性のオールアウト運動

C群: 平圧下でトレーニング(オールアウト運動10日間連続)

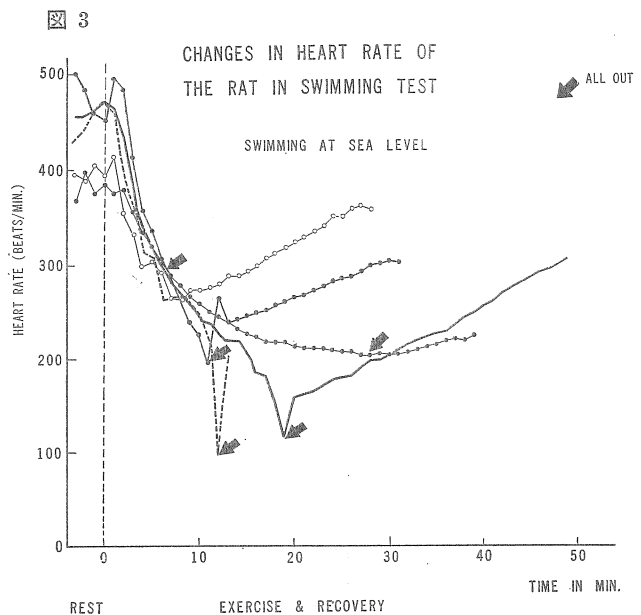
D群: 6km相当高度でトレーニング(オールアウト運動10日間連続)

A, B群ではオールアウト直後, C, D群ではトレーニング終了後, 断頭致死して臓器内アスコルビン酸量を Dinitrophenyl hydrazine 法により測定した。

水温は常に 22°C に保ち, ラットの尾には体重の約6~7%の錘(12~15g)をつるして運動を強制させた。

(結果および考察)

図(3), (4)はA群, C群の遊泳中の心拍変化を示したもので, 運動開始後1分近くまでは心拍亢進を示すがその後次第に減少し, 400~500/分の安静値は200~100/分近くまで低下してオールアウトに至る傾向を示している。

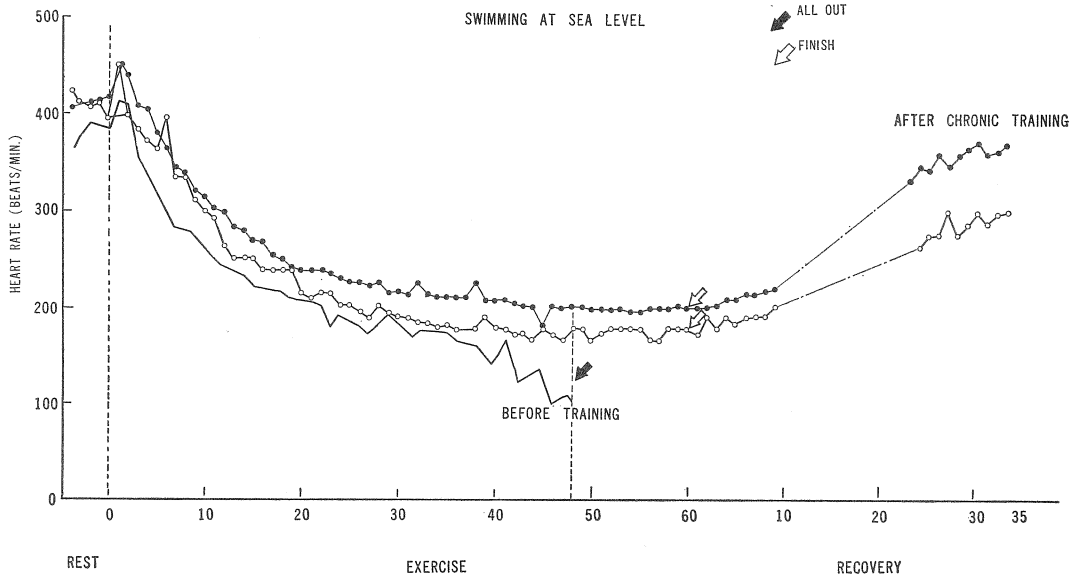


またトレーニングにより遊泳時間が延長すると同時に遊泳中の心拍数がトレーニング前に比べ低下しない傾向がみられた。

図(5)は各群について体重比副腎, 心筋重量の変化を示したもので, 副腎ではC, D群, 心筋重量では, A, C群において有意の増加が認められた。さらにこの心筋および副腎内に含有する総ア

☒ 4

CHANGES IN HEART RATE OF THE RAT IN SWIMMING TEST



☒ 5

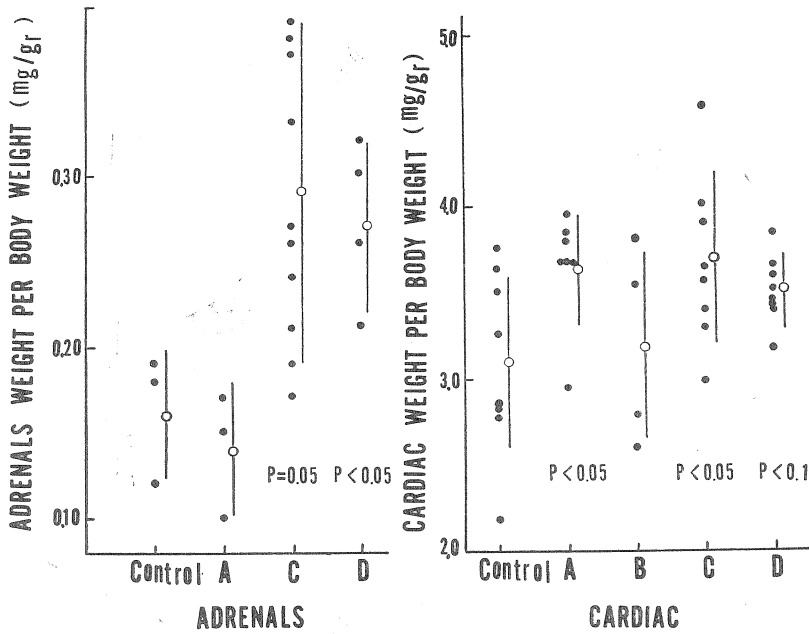


図 6

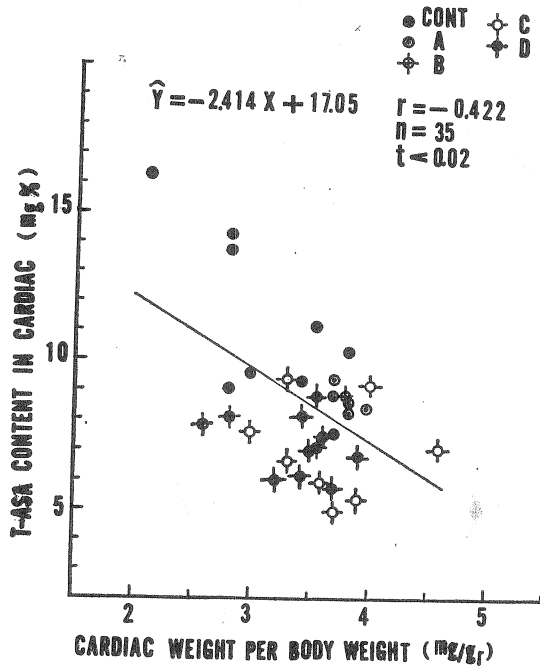


図 7

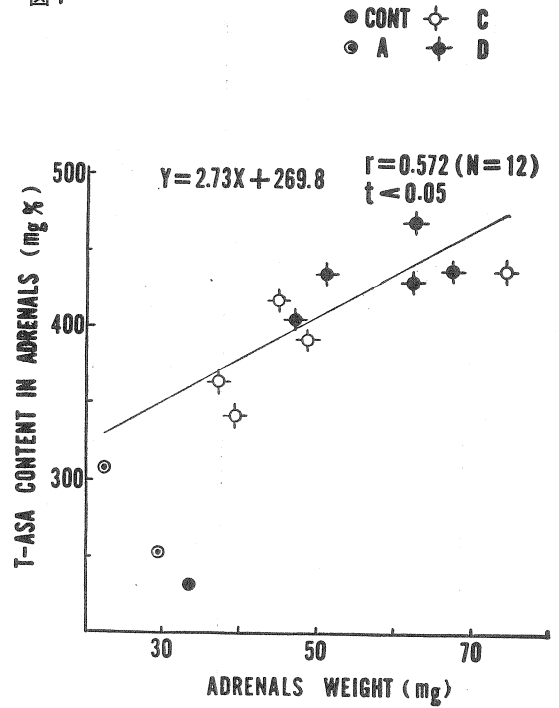
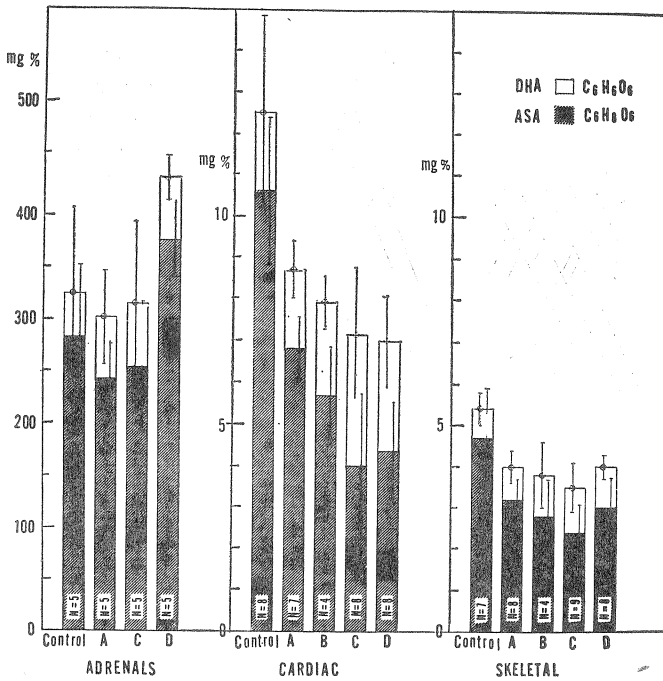


図 8

CHANGES IN ASA CONTENT OF THE RAT AFTER ACUTE (A,B) AND CHRONIC C,D EXERCISE IN SEA LEVEL AND 6KM-ALT-STAY OF 1hr.



スコルビン酸 (T-AsA) とこれらの重量との相関を示したのが図(6), (7)である。

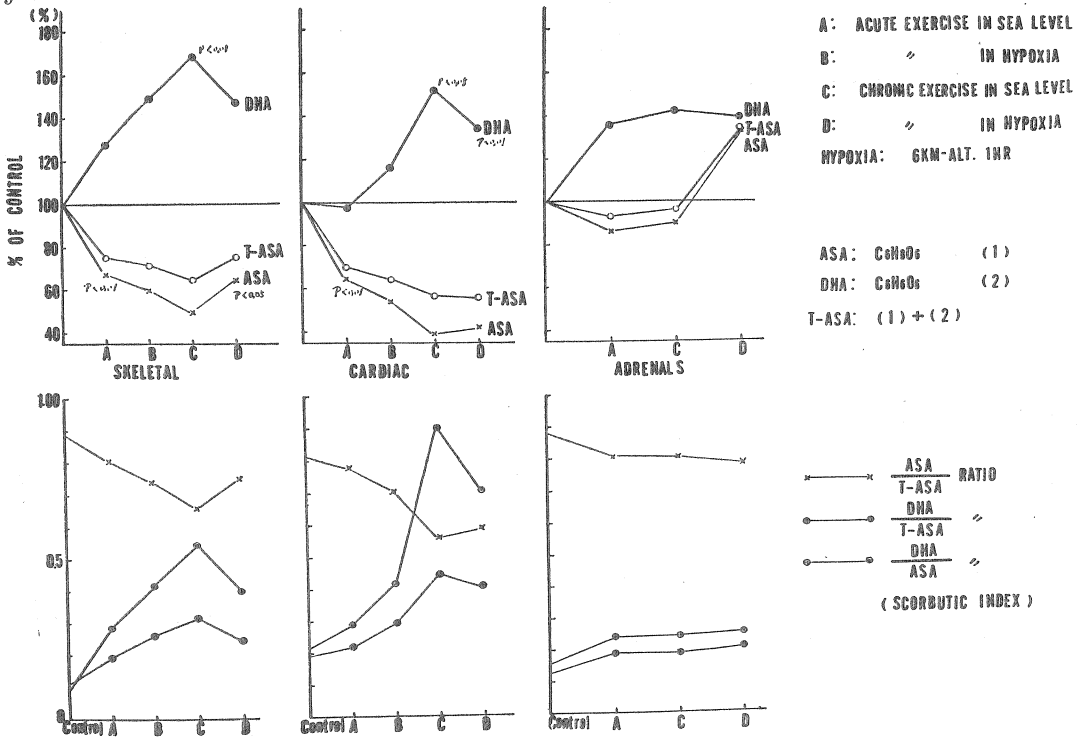
すなわち、心筋重量の増加にともない総アスコルビン酸の減少する傾向が認められ、一方、副腎では逆に重量の増加にともない総アスコルビン酸の増加する傾向にある。

図(8)に副腎、心筋および腓腹筋について、それらに含有する総アスコルビン酸 (T-AsA)、還元型 (AsA)、酸化型 (DHA) の両アスコルビン酸を各群と比較して示した。

心筋と腓腹筋については各群について急性運動およびトレーニングにより対照に比し明らかに還元型 (AsA) アスコルビン酸量の減少が認められる。しかも平圧よりは低圧下の運動群 (B群) において、さらに急性運動群よりはトレーニング群 (C, D群) においてその減少傾向が強くなっている。

すなわち、心筋では A群, 30.5%, B群, 36.5%, C群, 43.6%, D群, 43.9% とそれぞれ有意の減少を示し、腓

図9



腹筋でも A 群, 25.4%, B 群, 29.4%, C 群, 35.7%, D 群, 26.1%と減少傾向にある。一方, 酸化型 (DHA) アスコルビン酸量は各群ともに増加する傾向にある。しかもこの傾向は還元型アスコルビン酸と同様に, 平圧よりは低圧下の運動群に, また急性運動群よりはトレーニング群に顕著に示されている。すなわち, 心筋では B 群, 15.9%, C 群, 51.8%, D 群, 34.4%, とそれぞれ増加を示し, 腓腹筋ではさらにこの傾向が強く A 群, 27.3%, B 群, 48.5%, C 群, 68.2%, D 群, 47.0%と有意の増加を示している。

ただ心筋, 腓腹筋ともに低圧下のトレーニング群である D 群において還元型 (AsA) アスコルビン酸の減少の低下すなわち回復傾向が, また酸化型 (DHA) の増加度の低下すなわち回復傾向が両者共に同期して見られる。しかもこの傾向は心筋よりも骨格筋である腓腹筋に顕著に認められる。

<図(9)><表 1>

一方副腎では A, C 群では還元型 (AsA) の減少と酸化型 (DHA) の増加傾向を示すが D 群に至ると, 還元型が増大し, 総アスコルビン酸が著しい増加を示した。

図(9)に各臓器内の還元型, 酸化型および総アスコルビン酸量の各群についての変動率 (%) を示した。運動が平圧よりも低圧下においてまた急性運動よりはトレーニングにおいて, 総アスコルビン酸に占める酸化型アスコルビン酸の割合が増加し, 逆に還元型アスコルビン酸が減少する。しかも全体としても総アスコルビン酸量の減少する傾向が認められた。とくにこの傾向は腓腹筋よりも心筋において顕著に現われ総アスコルビン酸中の酸化型の増加度は C, D 群においてとくに著しく, 逆に還元型の減少度も著しい。

一方 D 群における酸化型, 還元型の回復傾向は, 明らかに心筋よりも腓腹筋の方に顕著に現われている。

この結果から, 低酸素環境でのトレーニングによって筋組織のビタミン C 代謝の順化 (増加傾向の酸化型が低下し, 減少傾向の還元型が回復する) が起りつつあることを示唆しているとも考えられよう⁹⁾。

筋運動により総・還元型アスコルビン酸 (T-AsA, AsA) が著しく減少し, 逆に酸化型 (DHA) の増加する傾向が明らかになったが, これは筋組

表 1 運動の臓器内ビタミンCに及ぼす影響
(平均値±標準偏差, mg%)

| 対 照 群 | | | 急性運動群 | | | | トレーニング群 | | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------|-----------|---------|--------------|--------|--------------|-------|
| | | | A (平圧) | | B (低圧) | | C (平圧) | | D (低圧) | | |
| N | 8 | % | 7 | % | 4 | % | 8 | % | 8 | % | |
| 心 筋 | T-AsA | 12.51±2.88 | 100 | 8.70±0.71 | 69.5 | 7.94±0.65 | 63.5 | 7.05±1.63 | 56.4 | 7.02±1.07 | 56.1 |
| | AsA | 10.56±1.38 | 100 | 6.80±0.75 | 64.4 | 5.68±1.20 | 53.8 | 4.09±1.85 | 38.7 | 4.40±1.25 | 41.7 |
| | DHA | 1.95±0.30 | 100 | 1.91±0.61 | 97.9 | 2.26±0.84 | 115.9 | 2.96±0.68 | 151.8 | 2.62±0.57 | 134.4 |
| | AsA/T-AsA | 0.82 | | 0.78 | | 0.71 | | 0.56 | | 0.59 | |
| | DHA/T-AsA (%) | 0.18 | | 0.22 | | 0.29 | | 0.44 | | 0.41 | |
| 肺 腹 筋 | N | 7 | % | 8 | % | 4 | % | 9 | % | 8 | % |
| | T-AsA | 5.40±0.39 | 100 | 4.03±0.35 | 74.6 | 3.81±0.80 | 70.6 | 3.47±0.62 | 64.3 | 3.99±0.28 | 73.9 |
| | AsA | 4.74±1.17 | 100 | 3.19±0.48 | 67.3 | 2.83±0.92 | 59.7 | 2.36±0.74 | 49.8 | 3.02±0.75 | 63.7 |
| | DHA | 0.66±0.16 | 100 | 0.84±0.43 | 127.3 | 0.98±0.53 | 148.5 | 1.11±0.30 | 168.2 | 0.97±0.19 | 147.0 |
| | AsA/T-AsA | 0.88 | | 0.81 | | 0.74 | | 0.67 | | 0.75 | |
| DHA/T-AsA (%) | 0.12 | | 0.19 | | 0.26 | | 0.33 | | 0.25 | | |
| 副 腎 | N | 5 | | 5 | | — | | 5 | | 5 | |
| | T-AsA | 324.15±81.60 | 100 | 301.29±45.11 | 92.9 | — | | 314.05±80.85 | 96.9 | 434.82±21.97 | 134.1 |
| | AsA | 281.79±71.37 | 100 | 243.50±34.12 | 86.4 | — | | 253.74±62.20 | 90.0 | 376.06±36.20 | 133.5 |
| | DHA | 42.36±16.60 | 100 | 57.79±24.73 | 136.4 | — | | 60.31±22.40 | 142.4 | 58.76±30.52 | 138.7 |
| | AsA/T-AsA | 0.87 | | 0.81 | | — | | 0.81 | | 0.79 | |
| DHA/T-AsA (%) | 0.13 | | 0.19 | | — | | 0.19 | | 0.21 | | |

織内のビタミンC代謝が運動によって亢進し、酸素供給の機能を営み、これによって組織細胞の酸化が促進されていることを意味するものであろう。したがって運動にさいしてビタミンCを補給することによって筋組織内酸化をより一層亢進させることができよう。また筋運動のトレーニングを低酸素環境で行なう（高地トレーニングなど）ことによって心筋や骨格筋内に酸化還元反応水準での馴化を得ることができると思われる。

今回のD群の低酸素下トレーニングによって酸化、還元の両型に次第に回復傾向がみられ、しかも心筋と骨格筋の間に異なった傾向があり、とくに骨格筋にその馴化傾向の大きいことが認められたが、この特異性を明らかにするために、今後心筋と骨格筋についてその筋組織内の生化学的な検討を行ないたい。

(文 献)

- 1) Hamel, P. : Über die Vitamin C-bilanz des Menschen, Klin, Wschr. 16 (32) 1105-1110, (1937)
- 2) 新津正己: 低温の生体に及ぼす影響, 「ビタミンCの変遷」北海道医学会雑誌, 16 (6), 1581-1598 (1938)
- 3) Shields, J. B et al : The excretion of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in sweat and urine under different environmental conditions. J. Biol. chem., 161, 351-356 (1945)
- 4) Stewart, C. P et al : Intravenous ascorbic acid in experimental acute hemorrhage. The Lancet, 818-820 June 28. (1941)
- 5) Schroll, W : Über Veränderungen der Fähigkeit, Ascorbinsäure zu oxydieren und Dehydroascorbinsäure zur reduzieren im Training. Pflügers, Arch. 240, 642-646, (1938)
- 6) 朝比奈一男・浅野勝己: 低酸素耐性とビタミンC 日本生理学雑誌, 31 (7), 477. (1969)

