

# 種々の環境条件下で 運動時事故死の原因を考える

東京慈恵会医科大学 鈴木 政 登

(共同研究者) 同 塩 田 正 俊

同 中 嶋 孝 之

同 井 川 幸 雄

## I. はじめに

最近、ジョギングなど生活の中に運動を取り入れる者が多くなり、それにつれて、運動時の事故死も増加している。Thompson<sup>1)</sup>は、ランニング中に死亡した18例のうち、13例は冠動脈疾患により、他は原因不明であった、と報告している。また、黒田<sup>2)</sup>は、ランニング中に死亡した21~69才までの男性13例のうち、7例は外気温 28~35°C の6~8月に起こったことを報告している。これらは、いずれも心不全による死亡事故であったが、自覚症状も心疾患の診断もなされていない場合が多かった。このような運動事故に関する報告から、運動時の事故死と環境条件との関連が明らかにされた。

高温多湿環境下では、皮膚血流量が4倍以上にも増加し<sup>3)</sup>、発汗量も増す。したがって、高温多湿環境下での運動時には、発汗量や皮膚血管床などの拡大がさらに増し、その結果、循環血液量が減少し、ショックに陥る危険のあることは十分に考えられることである。

本研究は、人工気候室により種々の環境温度を設定し、その環境温度下でトレッドミル走を負荷し、心拍数、酸素摂取量、血圧、血清電解質、浸透圧および血漿アルドステロン、アンギオテンシ

ンや尿量、尿中電解質排泄量などを観察し、これらのパラメーターから、運動時の生体に及ぼす環境温度の影響を把握し、運動時の事故防止を考える際の資料を得ることを目的になされた。

## II. 研究方法

実験対象者は、高血圧症、腎疾患、循環器疾患その他の明らかな内科的疾患の病歴がない24~32歳の健康な男子5名であった。

本実験の計画を図1に示した。

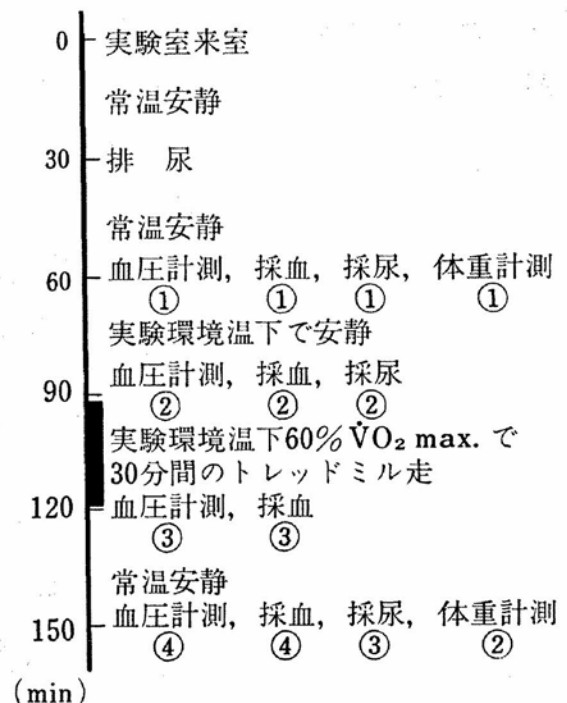


図1 実験手順

すなわち、被検者は実験室に来室後、30分間室温環境下(20~24°C)で椅座安静を保持した後排尿し、再び室温環境下で安静を保持し、安静25分後から5分間、呼気ガスをダグラスバックに採取し、30分後には血圧計測、採血、採尿および体重計測を行った。

その後、実験環境温下(寒冷環境:温度 $6.0 \pm 0.9^\circ\text{C}$ ,湿度38%,常温環境:温度 $18.6 \pm 1.3^\circ\text{C}$ ,湿度 $59.1 \pm 1.4\%$ ,高温環境:温度 $32.9 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ,湿度 $50 \pm 0.8\%$ の3条件とした)に曝露し、25分後から5分間、呼気ガスを採取し、30分後に血圧計測、採血および採尿を行った。

その後、30分間のトレッドミル走を負荷した。負荷強度は、いずれの実験環境温下でも同一とし、最大酸素摂取量の約60%相当強度であり、5名の平均走速度は $159 \pm 18\text{m/min}$ であった。

運動時の呼気ガス採取は、10分から13分、20分から23分、26分から29分間の3分間ずつ3回行った。心拍数は、胸部双極誘導により有線で記録した。運動直後(0~30秒後)に血圧計測を行い、3分後に採血した。

運動後の血圧計測、採血終了後、室温環境下で30分間の椅座安静を保持させ、血圧計測、採血、採尿および体重計測を行い、実験終了とした。

これら3つの異なる環境温下における運動負荷実験は、少なくとも1週間以上の間隔をおいて行われた。実験期間中の外気温の平均は、ほぼ $6^\circ\text{C}$ であった。

なお、被検者は、実験日前夜の夕食は軽食とされ、十分な睡眠をとり、さらに、実験日の朝食および一切の摂水を禁止された。

血液検査項目は、血糖、乳酸、血清尿酸、尿素窒素、クレアチニン、赤血球数、白血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット、血小板数、血液像、血清電解質(Na, K, Ca, Mg, P)、血清浸透圧、血漿アルドステロン、アンギオテンシンIIなどであった。

尿中成分の検査項目は、電解質(Na, K, Ca, Mg, P)、浸透圧、尿酸、尿素窒素、クレアチニン、および尿量であった。

なお、クレアチニンクリアランス(Ccr.)も算出した。呼気ガス分析はショランダー微量ガス分析装置によった。

### III. 結 果

運動時の心拍数変動を図2に示した。

寒冷および常温環境下における運動時平均心拍数は、それぞれ $140.9 \pm 13.9$ 拍/分、 $140.9 \pm 8.8$

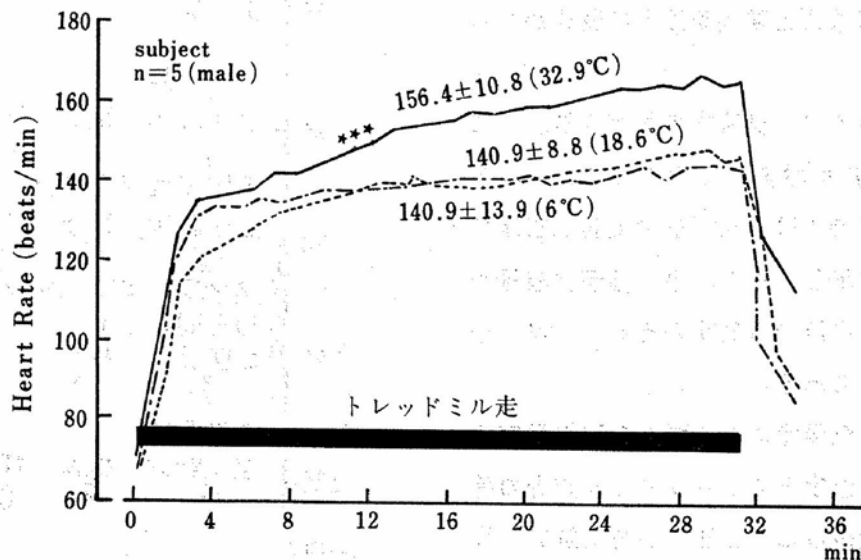


図2 種々の環境温下における運動時の心拍数変動

拍/分であったが、高温環境下では  $156 \pm 10.8$  拍/分であり、有意 ( $P < 0.001$ ) な高値を示した。

運動時の平均酸素摂取量は、寒冷環境温下では

$30.5 \pm 4.1 \text{ ml/kg/min}$ 、常温下では  $28.6 \pm 3.4 \text{ ml/kg/min}$ 、高温下では  $30.2 \pm 2.9 \text{ ml/kg/min}$  であり、常温下での運動時酸素摂取量がやや低値では

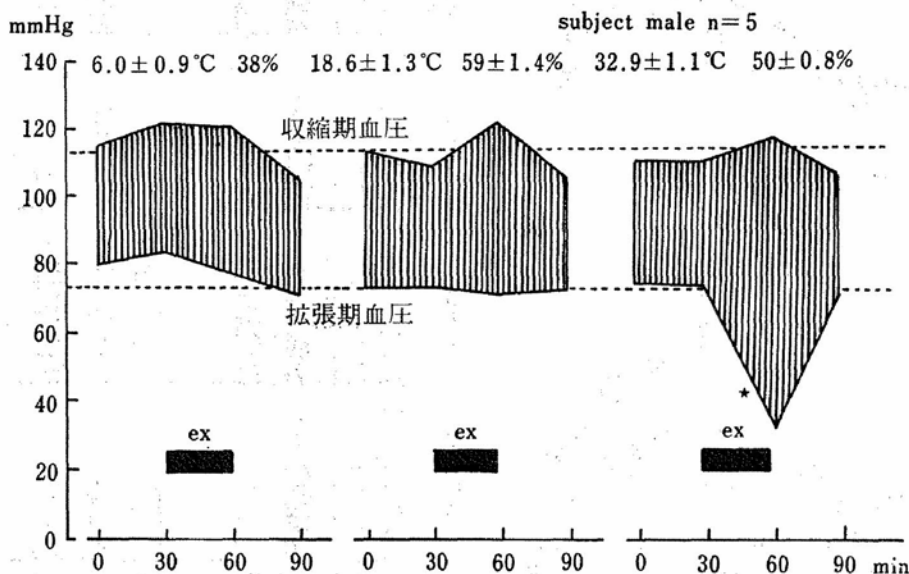


図3 種々の環境温下における安静時および運動後の血圧値 \* :  $p < 0.05$

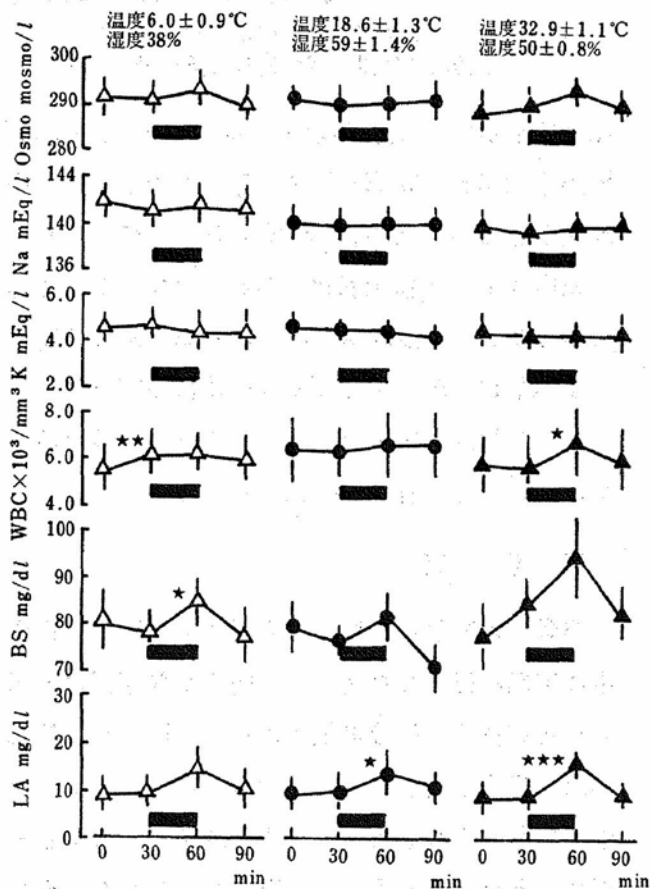


図4 種々の環境温下でのトレッドミル走による血清浸透圧，電解質，白血球数，血糖および乳酸値の変動

あったが、有意な差ではなかった。

種々の環境下で運動した際の血圧の変化を図3に示した。

寒冷および常温環境下における運動後の血圧には著変を認めなかったが、高温環境下では拡張期血圧が著しく低下した ( $P < 0.05$ )。

図4には、血清浸透圧および血中成分の動態を示した。

血清電解質濃度 (Na, K) は、いずれの環境下での運動後でも、ほとんど変化しなかった。Ca, Mg, Pなども同様であった。血清浸透圧は、運動後にやや上昇するが、有意な上昇ではなかった。その他の血中成分も、運動後に上昇するが、高温環境下での白血球数、血糖および乳酸濃度の上昇が著明であった。

図5には、血漿アルドステロン (Ald.) およびアンギオテンシンII (Ang. II) の動態を示した。

外部環境温度は、椅座安静時の血漿 Ald. および Ang. II濃度にはほとんど影響を及ぼさな

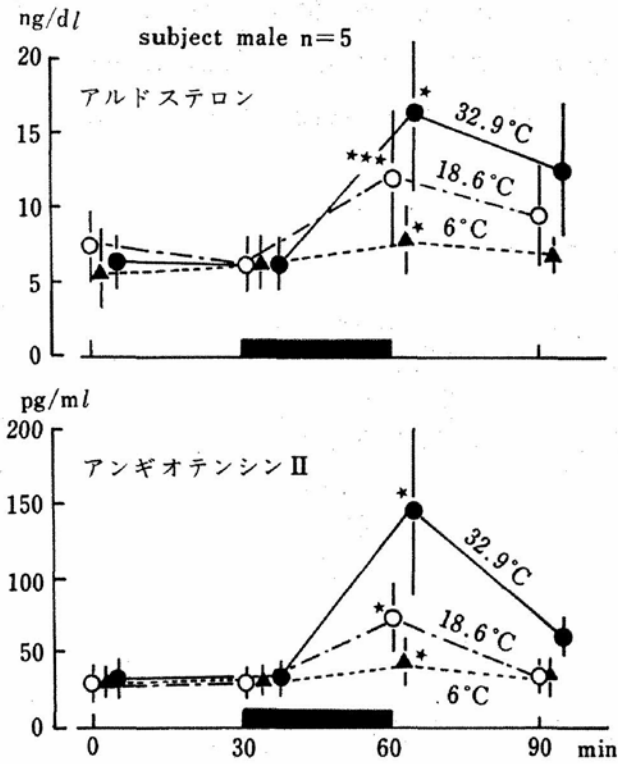


図5 種々の環境温下でのトレッドミル走による血中アルドステロン，アンギオテンシンIIの変動

かったが，運動時には著明に影響をした。すなわち，高温環境下における運動後に，Ald., Ang. II が著しく上昇し，運動前値のほぼ3倍の高値を示した。また，Ald. と Ang. II の変動には互いに関連が認められ，相関係数  $r=0.668$  ( $P<0.001$ ,  $n=60$ ) であった。

安静時および運動後の尿量，尿中電解質排泄量を図6に示した。

本実験の環境温度は，安静時の尿量，尿中電解質排泄量および Na, K 排泄比 (Na/K) には影響を及ぼさなかったが，運動後には尿量，尿中 Na 排泄量の減少が観察された。とくに，高温環境下での運動後の減少は著しく，運動前の尿量は  $1.16 \pm 0.44 \text{ ml/min}$  であったが，運動後には  $0.38 \pm 0.15 \text{ ml/min}$  に著減した。Na 排泄量も， $12.4 \pm 4.7 \text{ mEq/h}$  から  $2.2 \pm 0.8 \text{ mEq/h}$  の著しい減少を示した。

寒冷および常温環境下における運動後の尿中 K 排泄量の変化は認められず，したがって，Na/K

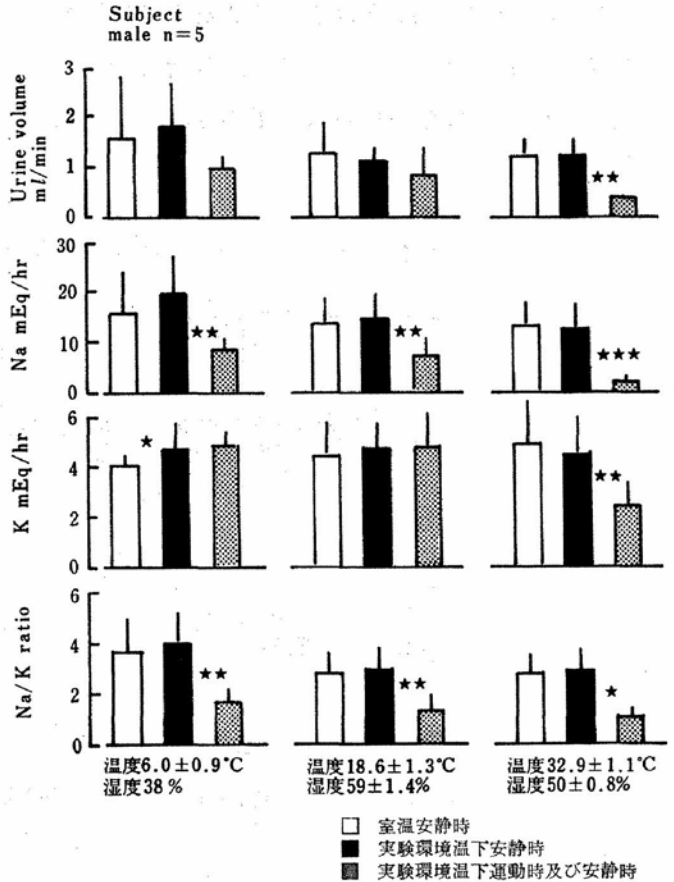


図6 種々の環境温下における運動時および安静時の尿量，尿中電解質排泄量

比は低下した。高温環境下では， $4.5 \pm 1.5 \text{ mEq/h}$  から  $2.4 \pm 1.0 \text{ mEq/h}$  に低下はしたが，Na 排泄量が著減したため，Na/K も著しく低下した。

尿中 Ca, Cl 排泄量は，Na と同様の変動傾向を示したが，高温環境下における運動後の Mg, P 排泄量は，Na, Cl, Ca 等に比較して僅少であった。運動後の尿浸透圧は，いずれの実験環境温下においても，有意な変化を示さなかった。

#### IV. 考 察

運動時の事故は，種々の原因による<sup>4)</sup>が，運動中に突然に死亡した例では，明らかな原因は不明のことが多く，死後剖検により胸腺肥大や副腎低形成を認める場合もある<sup>4)</sup>が，Thompson の報告<sup>1)</sup>にもみられるように，運動時突然死のほとんどが心不全による死亡と診断され，しかも，それに該当する日常の自覚症状がなく，心疾患と診断されていた者もほとんどなく，日常健常な者が突

然、事故死に遭遇する例もまれではない。また、黒田<sup>2)</sup>は、運動時突然死の多くは、高温多湿な6～8月に多発していることを報告している。黒田の報告からも明らかなように、運動時突然死の原因に、気温、湿度など運動時の環境条件が関与している、と思われるが、環境条件と運動時の生体機能について、事故防止という観点から、しかも、血液および尿中生化学成分をパラメーターとして調べた知見は見当たらないようである。

本研究では、寒冷(6.0°C, 湿度38%), 常温(18.6°C, 湿度59%)および高温(32.9°C, 湿度50%)の3つの実験環境を人為的に設定し、その3つの実験環境温下で60%  $\dot{V}O_2$  max 相当強度のトレッドミル走を30分間負荷し、運動中の心拍数、酸素摂取量および運動前後の血圧、血中および尿中生化学成分などの動態を観察し、それらをパラメーターとして、環境条件と生体負担との関連を調べた。

運動時の酸素摂取量には、3つの実験環境下で有意な差異を認めなかったが、心拍数は高温環境下で、平均15拍/分の有意な高値を示した。酸素摂取量に有意な差異を認めなかったのは、いずれの環境下でも、運動量がほぼ近似していたことを反映するものであろう。高温下における運動時心拍数の上昇は、黒田らも<sup>2)</sup>認めているところであり、酸素摂取量に差のないことから、1回拍出量の低下、または、組織におけるHbO<sub>2</sub>解離の低下などに起因しているのではないかと思われる。

運動後の血中成分のうち、血清電解質(Na, K, P その他)はほとんど変動を示さなかった。血中乳酸や血糖は、いずれの環境下でも運動直後に上昇したが、高温環境下での上昇が著しかった。血清浸透圧もわずかではあるが、上昇した。運動後の血漿Ald.やAng. IIの上昇は、運動環境温が高温になるほど著しかった。とくに、温度32.9°C下でのAld., Ang. IIの上昇は、それぞ

れ、運動前値の2.7, 4.6倍であった。

運動後の尿中成分の変動は、血中成分のそれと比較して著明であった。とくに、高温環境下では、尿量の著減、尿中Na, Ca, Clなどの排泄量の著しい低下、糸球体濾過量(Ccr.)の半減などが特徴的であった。

上述した個々の検査結果を模式化し、表1に示した。

高温環境下の運動が、生体に対して最も大きな影響を及ぼしていることが、この表から明らかである。酸素摂取量を指標とするかぎり、mildな運動である60%  $\dot{V}O_2$  max 相当強度の運動でも、高温環境下では、生体に対して相当大きな負担となっていることがわかる。すなわち、高温環境下での運動時には、発汗量が増大(寒冷および常温環境下の運動後の体重減少は300～400gであったが、高温環境下では平均750gであった)し、さらに末梢血管や皮膚血管床の拡張が高進していると思われる。その結果、循環血液量が減少し、血圧降下に陥ることが予想されるが、血漿Ang. IIやAld.などの上昇から、腎臓は血圧降下防止、循環血液量保持および血液性状の恒常的維持に積極的に機能していることが推定される。それは、血漿Ang. II, Ald.濃度の上昇とともに、尿量、尿中Na排泄量の著減など多くの検査結果から実証され、その機序は次のように考えられる。

すなわち、高温環境下での運動時には、糸球体濾過量(Ccr.)の著明な低下、拡張期血圧降下、さらには尿中Na排泄量の激減から、体内Na貯量の不足が予測され、それらの変化が刺激<sup>6-8)</sup>となって、腎の傍糸球体細胞(juxtaglomerular cell, JG cell)からのレニンの分泌が高進し、Ang. Iを介してAng. II濃度が上昇する。Ang. IIは、末梢血管に作用し、血管収縮を起こし、血圧降下を抑制する。さらに、Ang. IIは副腎皮質にも作用し、Ald.の分泌を促進する。Ald.は遠

表1 運動時生体反応に及ぼす環境温度の影響 (模式)

検査項目	低温	常温	高温	検査項目	低温	常温	高温
心拍数	—	—	↑	血糖値	—	—	↑
酸素摂取量	—	—	—	乳酸値	—	—	↑
血圧	—	—	↓	血清尿酸値	—	—	—
体重	—	—	↓	白血球数	—	—	↑
尿量	—	—	↓	血清浸透圧	—	—	—
尿中電解質排泄量				血清電解質			
Na	—	—	↓	Na	—	—	—
K	—	—	↓	K	—	—	—
Na/K	—	—	↓	アルドステロン	↓	—	↑
糸球体濾過量				アンギオテンシンII	↓	—	↑
Ccr.	—	—	↓				

低温：温度 $6.0 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$   
湿度38%

常温：温度 $18.6 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$   
湿度 $59 \pm 1.4\%$

高温：温度 $32.9 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$   
湿度 $50 \pm 0.8\%$

(常温環境下における運動後の変化を基準に、それよりも上昇した場合は↑、同等の場合は—、減少した場合は↓とした。)

位尿管に作用し、Na およびそれに付随して水分の再吸収を増し、循環血液量を保持し、血圧降下を防いでいると考えられる。

Ald. の分泌調節因子として、血清K濃度も知られている<sup>9)</sup>が、本実験では、血清K濃度の変化は認められず、高温環境下での運動後には尿中K排泄量はむしろ減少したので、ここでは、血漿Ald. 濃度の上昇は、血清K濃度に起因したものとは考え難い。

血漿 Ang. II 濃度や Ald. の分泌調節には、交感神経系や血中カテコールアミンの関与も知られている<sup>10)</sup>が、本実験ではカテコールアミンの動態を把握しなかったため、推定の域を出ないが、 $60\% \dot{V}O_2 \text{ max}$  程度の強度では、血中で確認し得るカテコールアミン濃度の上昇は僅少であり、高温環境下での運動時心拍数は、常温下のそれよりも有意に上昇はしたが、血中カテコールアミン濃度の上昇は軽度であったろうと思われる。血中カテコールアミン濃度が安静値の6倍以上にも上昇する<sup>11)</sup> exhaustive exercise ( $100\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ ) 後の血漿 Ang. II., Ald. 濃度は、それぞれ、安静値から  $85\text{pg/ml}$  および  $7.5\text{ng/dl}$  だけ上昇したにすぎなかったが、 $60\% \dot{V}O_2 \text{ max}$  強度の mild

といわれる運動でも、高温環境下では、血漿 Ang. II は安静値より  $112.4\text{pg/ml}$ 、血漿 Ald. は  $10\text{ng/dl}$  も上昇し、exhaustive exercise 後の上昇を凌駕した。したがって、高温環境下での運動後の血漿 Ang. II., Ald. 濃度の上昇には、拡張期血圧の降下、GFR の半減、体内 Na 量の減少および循環血液量の低下などが直接刺激として関与したものと思われる。

高温環境下での運動時には、上述した機序によって、循環血液量の減少や血圧降下など、ショックへの危険を回避しているものと思われる。したがって、高温多湿な環境下で、腎機能が損なわれるような激しい運動は危険であるのは言うまでもない。また、本実験の結果から、高温環境下での運動に際し、水分摂取なども運動時の生体負担を軽減するのに有効であろうと思われるが、摂取する水分の質、摂取時期および摂取量などは今後の課題である。

### V. 結 論

健康な男子 (24~32歳) 5名を対象に、寒冷 (温度 $6.0 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ , 湿度38%), 常温 (温度 $18.6 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ , 湿度 $59.0 \pm 1.4\%$ ) および高温 (温度



32.9±1.1°C, 湿度50±0.8%)の3つの実験環境下で, 60%  $\dot{V}O_2$  max 相当強度のトレッドミル走を30分間負荷し, 運動時心拍数, 酸素摂取量および運動前後の血圧, 血中, 尿中生化学成分の動態を観察し, 種々の環境下における運動時生体負担を調べた.

高温環境下での運動時には, 酸素摂取量には有意な差異を認めなかったが, 心拍数は, 寒冷および常温環境下でのそれに比較し, 平均で15拍/分の高値を示した. また, 運動直後の拡張期血圧の降下, 尿量および尿中 Na 排泄量の著しい減少が観察された. 運動後に血漿 Ang. II., Ald. が著しく上昇し, 高温環境下での運動時には著しく生体負担が増すことが示された.

本研究を遂行するにあたり, 日本体育協会スポーツ科学研究所所員の皆様に多大な御援助と示唆を得ました, 記して感謝致します.

また, 血中ホルモンの定量に際しては, 三菱メディカル・サイエンスの桜井兵一郎氏の御援助を得ました, ここに記して深謝致します.

## 文 献

- 1) Paul D. Thompson, et al. (西山敬二訳); Death During Jogging or Running. A Study of 18 Cases, *JAMA* (日本語版), Vol. 242, 12, 31—35 (1980)
- 2) 黒田善雄; XXI World congress in sports medicine, Brasilia, Brazil, September, 7—12, 1978 にて口頭発表
- 3) Williams, C.G., et al.; Circulatory and Metabolic Reactions to Work in Heart, *J. Appl. Physiol.*, 17, 625 (1962)
- 4) 井関敏之, 他; 運動中の事故防止, デサントスポーツ科学, Vol. 1, 5—19 (1981)
- 5) 黒田善雄, 他; 3温度 (10°, 20°, 30°C) 条件下における運動中の心拍数と%  $\dot{V}O_2$  max との関係, 昭和48年日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. VII, 27—46 (1973)
- 6) 屋形 稔; レニン・アンジオテンシン・アルドステロン, *Medicina*, Vol. 17, 4, 602—604 (1980)
- 7) 吉永 馨; 腎と内分泌系, 臨床科学, Vol. 12, 12, 1441—1445 (1976)
- 8) 高折益彦; ショック時の体液バランス, 臨床科学, Vol. 16, 6, 663—668 (1980)
- 9) 鈴木泰三, 他; 生理学通論Ⅲ, 167—176, 共立出版, 東京 (1979)
- 10) 山田律爾; 腎疾患とカテコラミン代謝, 臨床科学, Vol. 12, 12, 1464—1469 (1976)
- 11) Ikawa, S., et al.; Catecholamines metabolism during physical exercise (3), *J. Physiol. Soc. Japan*, 41, 418 (1979)