



Title	走運動における心拍数と尿中成分の変動について
Author(s)	辻, 忠
Citation	大阪外国語大学学報. 1977, 38, p. 193-205
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/80616
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

走運動における心拍数と尿中成分の変動について

辻 忠

The Change of the Urine Composition and the Heart Rate in Running Exercise

Tadashi TSUJI

In this study, the present author applied the test of five-minute running exercise on a treadmill at an incline of 0% to 6 healthy male nonathletes aged between 20 and 23 and examined changes of their heart rates and renal functions, especially their urinary excretion of acid, in order to investigate an indicator of the work load in endurance exercise.

In this experiment, it was observed that the urinary output of titratable acidity and ammonia increased in proportion with decrease of the urine pH as the speed of running increased and that urinary output had an inverse correlation with the Na excretion in urine. It is presumed that the ammonia and acid in urine are excreted from the tubular cells in the ionic exchange for sodium ion and are controlled by the adrenal cortical hormones.

At the same time, the measured rate of titratable acidity to the ammonia in urine had an inverse correlation with the urine pH. Therefore, it is presumed that the excretion from the kidney in form of ammonium salt is partly maintained by diffusion mechanism.

And it was observed that the formation of acid urine and the excretion of ammonia were remarkable in the heart rate of over 170 beats per minute during the running exercise.

According to this results, the author concluded that the heart rate of 170 beats per minute played an important role in the work load of five-minute endurance exercise.

緒 言

呼吸及び循環系機能によって支えられている全身持久性は、健康及び体力づくりの一要素として、極めて重要である。どのような運動を、どの程度行わせるのがよいかを判定するには、年齢、性、体力水準及び何を目的にするかなど、多くの問題を含んでいる。

従来、この問題に関して、有効な指標を歩及び走運動時の最大酸素摂取量、心拍数から、安全性より血液性状、エネルギー代謝率及び血圧などから研究したものが多く、持久性運動の強度は最大摂取量に対する割合によって、ほとんど処方されているが、短時間の運動に対する腎臓機能、特に腎臓から尿中へ排泄される酸量に関して研究したものは少ない。

正常人の血液の pH は、 7.4 ± 0.1 という狭い水素イオン濃度の変動範囲に調節されているが、この調節に関して呼吸と腎臓による尿排泄機能が重要な役割をなしている。しかし運動を行うと血液の pH は、やや酸性に傾き、軽い長時間の運動では 0.05 pH、中等度の短時間の運動では 0.08 pH 低下したという報告がある。¹⁰⁾ このように体液の酸塩基平衡を乱そうとする因子が働いた場合、呼吸及び尿排泄機能の活動状況は正常状態と著しく異なり、直ちに尿中成分に影響を及ぼすものと考えられる。

この点について、吉川たち²²⁾、村上⁷⁾、荻野たちは筋運動による一過性の酸性症の結果、尿量の減少、尿 pH の低下、酸排泄の増大、尿中 Na, Cl の減少などの諸変化を認め、沢田たちは長時間の運動の影響について、同様の結果を報告している。¹⁴⁾ その他堤は運動強度と体内電解質の代謝及び運動強度と内分泌機能との関連より持久性判定の指標を推論している。¹⁸⁾

このように筋運動による代謝性 Acidosis の場合のほか、塩化アンモニウム及び塩酸投与及び内服による代謝性 Acidosis の場合についても、Sartorius¹³⁾、奥村¹¹⁾、杉本¹⁶⁾、藤本²⁾、吉村たち²⁴⁾によって研究され、筋運動の場合と同様に尿 pH の低下、酸排泄の増大の起こることを報告している。

以上のように、筋運動時及びその他の酸塩基平衡の変動時の尿成分の変化は、常にその時の諸条件、すなわち運動（負荷）強度、継続時間、運動（負荷）の種類によってさまざまである。他方、最大酸素摂取量の測定は 5 分程度で疲労困憊に至るような比較的強い負荷が与えられるために、被検者に恐怖感を与えたり、危険性も大きいと考えられる。

そこで著者は、被検者の苦痛や危険性を避けるために、手軽にできる走運動を 5 分間負荷して、間接的に循環系及び腎臓機能、特に走運動での心拍数と腎臓による酸排泄機能の変化を観察し、さらにこの時の結果から、持久性の運動処方の負荷条件を見出す手がかりを得ようとして、この実験を行った。

実験方法

A 実験計画の概要

日常スポーツ活動を行っていない健康な男子大学生（20—23才）6名を被検者に、2月から3月にわたって室温 $20.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度 $76.8 \pm 5.9\%$ に調節した実験室で走運動を行わせた。

運動は水平のトレッドミルを用いて、その速度は始め 120 m/min とし、漸次 20 m/min ずつ走行速度を高めて 300 m/min に至るまでの10種類である。継続時間は全身の器官の機能を十分に動員されるだけの制限時間は5分必要であるという見解から、^{1) 4)} 5分間とした。

しかしこの場合、運動による心拍数及び尿成分に及ぼす影響が後日の実験に起こらないように、運動の負荷は3日ないし7日間の間隔をおき、かつ食事摂取3時間後とした。但し運動開始前には簡単な体操程度の準備運動を行わせている。

一方、食事及び飲水量は尿成分の排泄量を左右することが知られているので、昼食時の食事の質量は、全実験日を通して一定とし、飲水量はコップ2杯とした。また尿中成分の排泄量は食事摂取後の時間経過によって一定の変動パターンを示し、運動の負荷によってもその排泄パターンは歪を受けることが知られている。^{15) 18)} したがって全実験日の各被検者に対して、食事時刻及び採尿時刻を一定に規制し、同時に飲水及び食べ物の摂取は食事時を除き、実験終了まで禁止したことはいうまでもない。なおそれらの詳細を図1に示す。

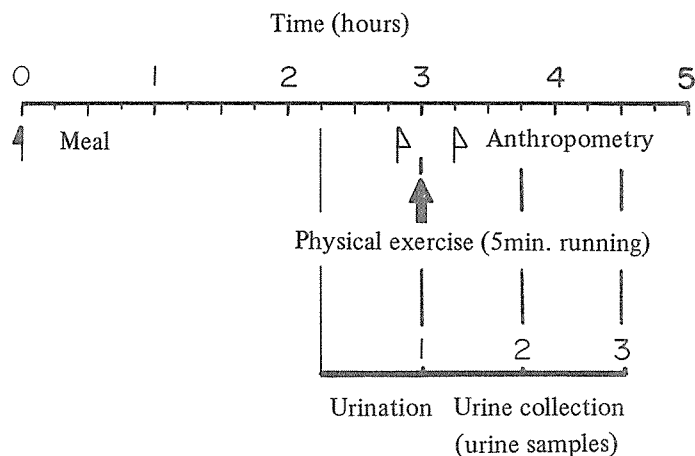


Fig. 1 Schedule of the experiment

このようにして、各種の運動を負荷した時の心拍数の変化及び尿中成分、特に腎臓からの酸の排泄量を追跡した。

B 測定項目及び測定法

被検者の実験室入室を運動開始30分前までに行わせた後、安静座位状態をとらせた。心拍数は

この状態で20分以上経過した後に、手首で触診し、同一値が求められるまで1分間測定して、それを安静時心拍数とした。運動中及び運動後の心拍数の測定は、胸部誘導による心電図をフクダ TPE-11型テレメーター及び SCC-1A 心電計に、全時間域にわたって記録し、各時間域の終了10秒間のR波間隔より所定の方法²¹⁾で心拍数を算出した。また心拍数回復率を次式²⁵⁾

$$\text{心拍数回復率 (\%)} = \frac{(\text{運動終了時の心拍数}) - (\text{運動後の心拍数})}{(\text{運動終了時の心拍数}) - (\text{安静時の心拍数})} \times 100$$

から運動後2分目について算出した。

以上の実験前後に採集した尿については、採尿後直ちに尿量を測定し、pH，滴定酸度，アンモニア，Na, K, 17-Hydroxycorticosteroids (OHCS) を定量した。これらの測定方法を簡単に述べると、pH は東亜電波製 pH メーター HM-5A 型を使用した。滴定酸度はこの pH メーターを用い、一定量の尿に NaOH 量を pH 7.40 まで滴定し、それに消費した量から算出した。

Na 及び K は I.L. 社の Flame photometer 143 型，アンモニアは Conway の微量拡散法⁵⁾により定量した。17-OHCS は Cortisol-test wako によって定量し、酸の排泄に対する副腎皮質ホルモンの変化についても検討した。その他に運動の負荷前後に体重測定を行い、運動によって生じた体重の減少量を算出し、それを総汗量とみなした。²⁰⁾

実験結果

A 心拍数に及ぼす運動の影響

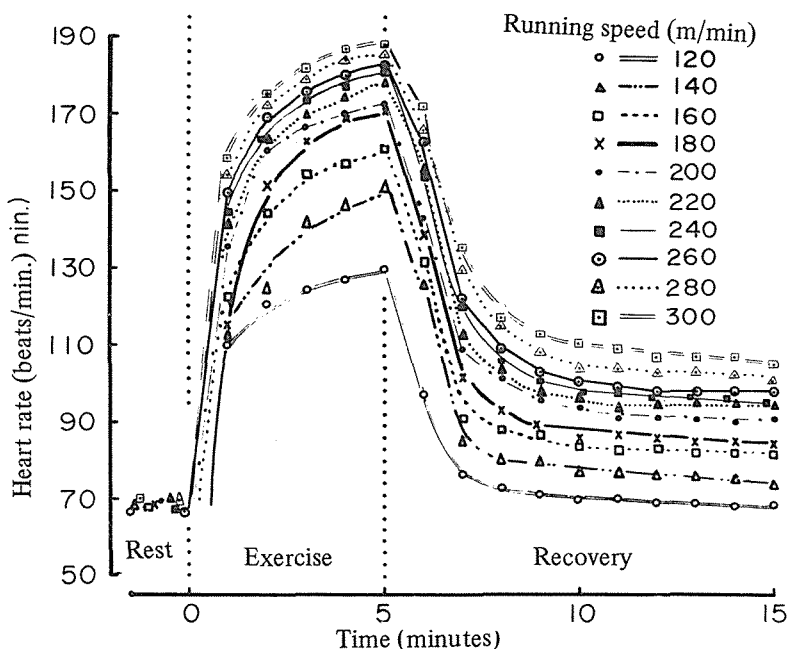


Fig. 2 Hourly change of heart rate in five-minute running on a treadmill of 0% inclination

Table 1 Change of heart rate in relation to running speed on a treadmill (Five-minute running at an incline of 0%)

	Running speed on a treadmill				
	120	140	160	180	200
Max. H. R. during exercise (beats/min.)	129.5 ±13.1	151.0 ±8.0	160.7 ±7.9	171.0 ±7.1	173.2 ±6.9
Max. H. R. (min. - max.) (beats/min.)	107 - 140	141 - 162	149 - 169	161 - 179	163 - 183
Recovery rate of H. R. in 2 min. of recovery (%)	85.7 ±8.6	80.2 ±13.4	75.7 ±13.5	67.2 ±9.8	61.2 ±8.7

	Running speed on a treadmill				
	220	240	260	280	300
Max. H. R. during exercise (beats/min.)	178.0 ±6.4	180.5 ±6.8	182.6 ±4.4	185.6 ±3.3	188.2 ±2.4
Max. H. R. (min. - max.) (beats/min.)	171 - 187	174 - 191	178 - 188	182 - 191	185 - 192
Recovery rate of H. R. in 2 min. of recovery	60.3 ±7.9	55.6 ±6.3	51.7 ±5.3	47.7 ±7.1	44.4 ±2.3

Values are the mean ± S. D. of six subjects.

トレッドミル走行時間と傾斜角度を一定にし、走行速度を変数とした時の心拍数の変化を示したのが図2であり、その詳細を追求したのが表1である。

この図は6名の被検者によって得られた平均値を、安静時、運動時、回復時の時間経過に対してプロットし、表は運動時の最大心拍数、最大心拍数の変動範囲及び回復2分目の心拍数回復率を算出した結果である。

運動時の心拍数が運動の負荷強度に対応して増加するという傾向はよく知られているが、図及び表のように、運動時の最大心拍数は走行速度によって増大し、回復過程における心拍数回復率は、その速度による差が認められる。すなわち走行速度に逆比例して回復が悪い傾向にある。しかし運動時の心拍数を同一スケールにプロットしているために、心拍数の変化は図に見られるように、一定のパターンをとらず、速度180m/minを界に増加曲線に差が認められる。すなわち速度が180m/min以上になれば、6名の被検者の最大心拍数は毎分約3-6心拍程度の小さな変動しか認められない。またこれを同一被検者について見ると、心拍数のレベルの違いのみでほぼ同じ変動を示し、毎分1-8心拍の変動となっている。これより遅い160m/minの速度以下では、心拍数の変化は比較的低いレベルにあるが、変動幅は大きい。これに対し、回復時の心拍数の経過は、走行速度によって系統的に下降し、その変動を回復2分目について見ると、走行速度の推移によらず約5%程度となっている。

このように、運動強度による心拍数の応答様式は著しく異なるが、心拍数の変動は系統的規則的な経過を示している。

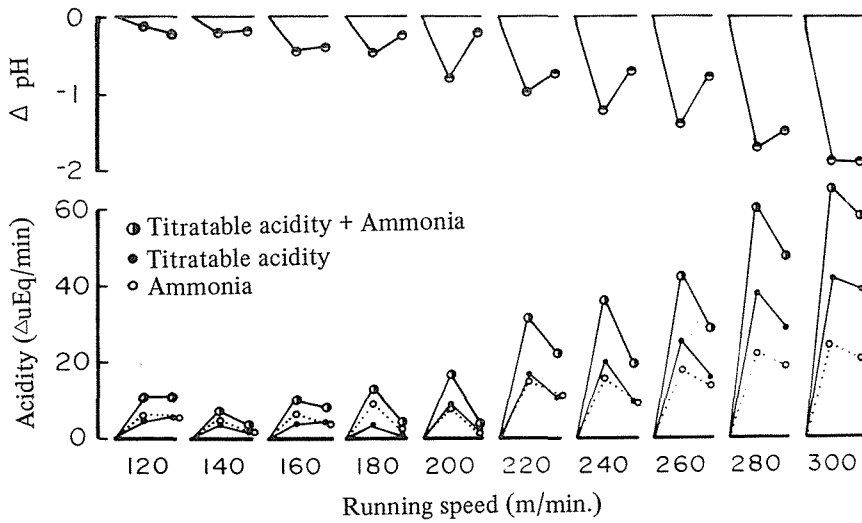


Fig. 3 Change of urinary excretion of titratable acidity, ammonia, and urine pH in running exercises with different intensities

Table 2 Change of urinary excretion of titratable acidity, ammonia, and urine pH with different intensities in running exercises

	Running speed on a teadmill									
	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Urine flow (ml/min.)										
1	1.17 ±0.44	0.79 ±0.21	1.08 ±0.54	0.99 ±0.65	0.97 ±0.27	1.00 ±0.34	1.09 ±0.45	0.81 ±0.10	0.61 ±0.09	1.26 ±0.66
2	1.23 ±0.28	0.92 ±0.21	1.35 ±0.84	0.93 ±0.57	0.78 ±0.17	1.48 ±1.05	1.01 ±0.21	1.27 ±0.62	1.34 ±0.56	1.53 ±0.62
3	0.91 ±0.22	0.74 ±0.13	0.98 ±0.22	0.76 ±0.21	0.84 ±0.16	1.17 ±0.62	0.84 ±0.34	0.58 ±0.09	0.52 ±0.01	0.78 ±0.23
Urine pH										
1	6.96 ±2.03	6.61 ±0.50	6.92 ±1.05	6.96 ±0.74	6.89 ±0.80	7.07 ±0.52	6.85 ±0.86	6.76 ±0.69	6.84 ±0.29	6.98 ±0.73
2	6.85 ±0.61	6.41 ±0.53	6.48 ±0.79	6.50 ±0.77	6.08 ±0.61	6.10 ±0.10	5.60 ^{***} ±0.43	5.38 ^{***} ±0.18	5.15 ^{***} ±0.15	5.10 ^{***} ±0.12
3	6.73 ±0.70	6.79 ±0.43	6.50 ±0.71	6.95 ±0.85	6.70 ±0.72	6.33 [*] ±0.47	6.15 ^{***} ±0.61	6.00 [*] ±0.70	5.36 ^{***} ±0.14	5.10 ^{***} ±0.07
Titratable acidity (uEq/min.)										
1	0.8 ±1.9	5.9 ±4.5	8.2 ±9.5	6.3 ±5.4	5.4 ±8.2	2.5 ±2.3	6.3 ±7.8	7.3 ±7.6	16.9 ±1.9	4.8 ±6.7
2	5.7 ±4.0	9.4 ±9.5	10.4 ±6.1	10.5 ±8.1	13.2 ±10.7	16.7 ±7.7	24.8 ^{***} ±13.1	32.2 ^{***} ±18.0	54.9 ^{**} ±18.0	46.1 ^{***} ±12.7
3	6.4 ±6.2	7.7 ±9.6	10.7 ±9.6	9.1 ±8.4	9.1 ±9.8	10.9 ±5.8	16.0 [*] ±9.6	22.7 [*] ±16.9	45.5 ^{**} ±11.6	43.3 ^{***} ±9.0
Ammonia (uEq/min.)										
1	16.0 ±5.8	24.9 ±6.8	24.7 ±10.3	32.1 ±3.3	24.3 ±12.1	18.9 ±4.3	22.2 ±5.1	21.9 ±6.0	19.5 ±4.1	27.3 ±10.4
2	22.1 ±5.9	28.1 ±6.3	32.0 ±7.6	31.1 ±4.9	34.2 ±7.2	36.4 ^{**} ±7.4	39.1 ^{**} ±7.6	39.6 [*] ±16.7	40.9 ^{***} ±4.5	52.6 ^{***} ±13.7
3	21.4 ±5.8	25.7 ±6.6	29.5 ±6.9	22.5 ±7.8	27.4 ±9.2	31.5 ^{***} ±5.5	32.6 ^{**} ±7.6	35.3 [*] ±13.1	37.5 [*] ±6.5	48.3 ^{***} ±12.9

Values are the mean ± S. D. of six subjects. Numbers indicate urine sample of three consecutive collection period of 45 min. duration *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.0001$

B 尿中成分に及ぼす運動の影響

運動強度による尿 pH 及び単位時間に排泄される滴定酸度, アンモニア, 総酸量に及ぼす影響を観察した. その成績は表 2 に示し, また対照値を基準にして, 運動負荷後におけるそれらの増減の平均値を示したのが図 3 である.

これらの成績から, まず尿量について見ると, 共通した傾向は明らかでない. ただ運動前の対照値に比べて, 運動後の45分目にやや増加し, 90分目で減少している. また90分目の尿量は一般に対照値より低い傾向にある. 次に尿 pH は, 何れも走運動時に低下し, その傾向は運動後の45分経過した時に低く, それ以後上昇の過程を示している. また尿 pH 低下の度合は速度に対して大きな変動幅を示し, 走行速度 200m/min を起点に, それ以上の速度において pH の低下度が著しい. したがってこの時の平均値を対照値に比較すると 220m/min 以上の速度において統計学上何れにも有意性が認められる. すなわち運動強度を増大することによって尿 pH の低下度は次第に大きくなる. この尿 pH の低下に応じ, 滴定酸度及びアンモニアの排泄量の増加が認められ, この両者の排泄と尿 pH の経過は酷似している. このように滴定酸度及びアンモニアの排泄は走運動によって増加することになるが, この両者の排泄経過は必ずしも同じとはいえない. なぜなら, 前者の排泄速度は走行速度 120m/min から 180m/min に至るまでは, 後者よりも少ない傾向にあるが, これが 200m/min から 220m/min に達すると, 両者はほとんど近い値を示している. さらに 240m/min 以上となると前者は後者よりも著しく排泄を増大しているからである. 一方滴定酸度とアンモニアの和, すなわち腎臓によって処理された酸量は, 尿 pH の経過と向きが逆と

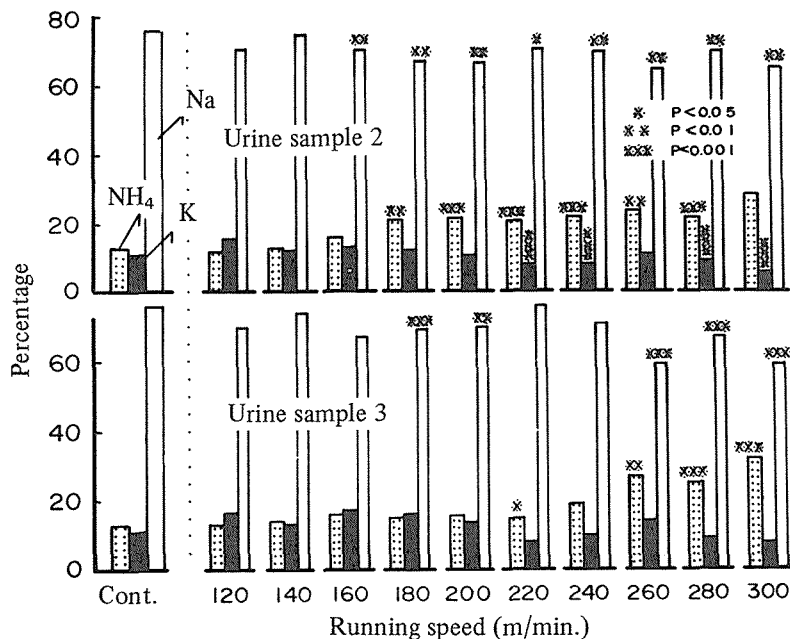


Fig. 4 Rate of urinary excretion of sodium, potassium, and ammonia in running exercises with different intensities

なっているが、pHと同様に著しい変動を示している。

以上は運動強度によって尿pHは次第に低下して尿の酸性化を示し、これに対し滴定酸度及びアンモニアは逆比例して増加している。またこの傾向は運動後の45分目に著しくあらわれ、90分目においても酸性尿の生成とアンモニア分泌が続いていることになる。さらにこれを走行速度について見ると220m/min以上の速度条件において著しいことが認められる。

一方、腎臓より酸排泄が増すと、アルカリの回収を行う仕組みになっているために、尿中Na、K及びアンモニアの排泄量の総和からそれぞれの占める割合を算出した。そして運動前後の関係を走行速度について棒グラフにあらわしたのが図4であり、図の上は運動後の45分目、図の下は90分目の結果である。

図のように、尿中Na排泄量の占める領域は、走行速度の増大によって次第に低下し、特に160m/min以上の速度において認められる。このように運動時の尿中Naの減少は多くの報告と一致しているが、運動による発汗の影響もまた無視できなかも知れない。ここに表示していないが、運動前後の体重差を総汗量とみなした本実験では、220m/min以上の運動強度の発汗量は約12g/m²/min—25g/m²/minとなり、その強度によって漸次増高する傾向にあった。したがって運動時の発汗によってNaが体外へ排泄されたために、尿中Na排泄量への影響も考えられる。しかしそればかりでなく、アンモニアの排泄量の占める領域は、尿中Naの低下に応じて増加していることである。すなわちNaの減少分はアンモニアの排泄増加によって補われていることになる。したがって運動強度が増す程、この傾向が強くあらわれており、これはNa⁺とNH₄⁺のイオン交換の可能性を示しているようにも考えられる。

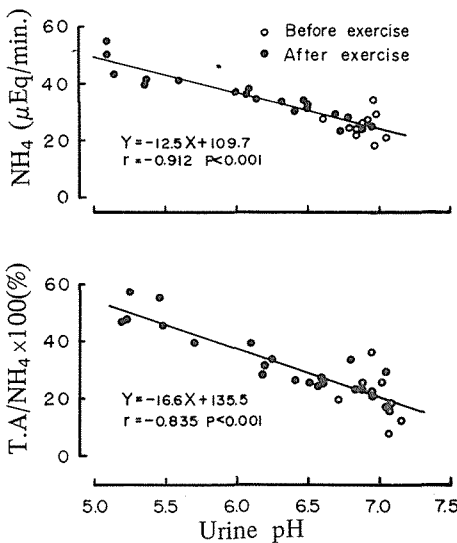


Fig. 5 Relation between urine pH, urinary excretion of ammonia, and the measured ratio of titratable acidity to ammonia in urine

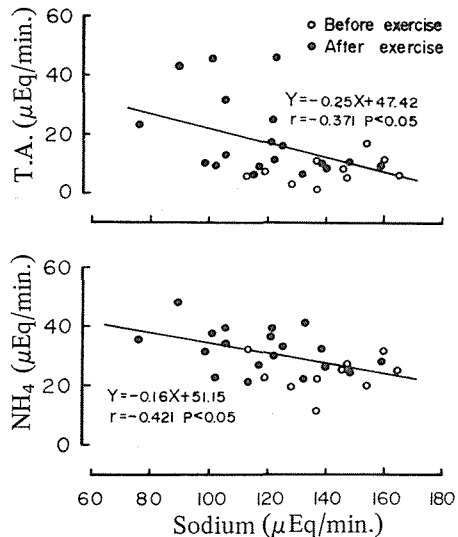


Fig. 6 Relation of urinary excretion between sodium and titratable acidity and ammonia

これまでは6名の被検者について、走行速度を種々変えた場合、その速度が増す程尿 pH の低下、酸排泄の増加及び尿中 Na の低下が認められた。図5及び6は、これらの著者の成績をまとめたものである。

図5は尿 pH とアンモニア排泄量及び滴定酸度とアンモニア排泄量の比率との関係を見たものであって、図の上は尿 pH とアンモニア排泄量との相関図である。この両者の間には密接な逆相関が見られ、その回帰直線は $Y = -12.5X + 109.7$ である。すなわち尿の酸性化が強い程アンモニアの分泌が著しく増加する。また図の下にあらわした尿 pH と滴定酸度とアンモニア排泄量の比率の相関図では、同様にこの両者の間にも逆相関が見られた。その回帰直線は $Y = -16.6X + 135.5$ である。これは尿 pH が小さい程、この両者の比率が大きくなる。すなわち腎臓から排泄される酸量は、一部は遊離酸として、残部はアンモニウム塩の形で尿にあらわれるが、特に尿の酸性化が強い程、遊離酸として排泄される割合が大きくなる。したがって酸性尿の生成が促進された場合、滴定酸度は体液の酸塩基平衡に左右されることが強くあらわれるが、これに対してアンモニアの排泄は主として尿の性状によって規定されているように考えられる。

図6は、尿中 Na 排泄量と滴定酸度及びアンモニア排泄量との関係である。図の上には尿中 Na 排泄量と滴定酸との相関図であり、この両者の間に有意な逆相関が得られた。すなわちこれは、運動強度によって酸性尿の生成の促進に対し、尿細管細胞の Na^+ と H^+ 交換の調節機構の変化が有力に働いていたものと考えられる。また図の下の尿中 Na とアンモニア排泄量との関係においても、アンモニア排泄量が増加する時、Na は減少しているから、 Na^+ を吸収して NH_4^+ が分泌されていると考えられる。

要するに激しい運動時に、酸性尿の生成、アンモニア分泌の増加に伴ったアルカリの回収は、腎臓機能によって調節されていると考えて良いのであろう。

考 察

以上著者はトレッドミルの走行時間を一定にし、走行速度を変数とした時、心拍数の応答様式は運動の負荷強度に対応して、運動時の心拍数の変化に系統的な規則性を示すことが認められた。一方尿中成分については、特に走行速度 220m/min より尿 pH の低下が著しく、これに相應して滴定酸度及びアンモニア排泄量の増加が認められ、これらに対して尿中 Na 排泄量は減少している。またこの Na 排泄量の減少分はアンモニア排泄量の増加によって補われていることが考えられる(図4参照)。

しかし、Na、Cl などは水分代謝と密接な関係にあり、労働時、精神緊張時及び発汗などのために尿量の減少によって大部分代償されるが、⁹⁾¹⁵⁾¹⁸⁾尿量には著明な変動パターンが認められない。

ヒトの発汗時の Na 及び Cl 代謝の Homeostasis の維持は、中等度の発汗が行われる場合、腎臓の水分損失に対する代償力はわずかであるが、Na 及び Cl などのそれは腎臓によって充分

代償される機能があり、その時の発汗量は $217\text{g}/\text{m}^2$ であったという³⁾、本実験では5分当りの発汗量は、走行速度 $220\text{m}/\text{min}$ — $300\text{m}/\text{min}$ の範囲において、 $60\text{g}/\text{m}^2$ — $125\text{g}/\text{m}^2$ であるから、発汗量のために尿への塩分排泄量は低下しているかも知れぬ。しかし運動と採尿との時間的条件に相殺して汗と尿への水分損失量と変化量は、はるかに少なく、塩分及び水分平衡に対する影響はごくわずかであろう。したがって図6に明らかなように、尿中 Na 排泄量は滴定酸度及びアンモニア排泄量との間に有意な相関が得られている事実から、滴定酸度及びアンモニアの排泄によって間接的に Na 排泄量の節減に役立たせているのだといえよう。また尿細管細胞において Na^+ と H^+ の交換が継続すると、いつかは尿 pH が最低の限界に達し、それ以上 H^+ を排泄し得ないようになる。しかしアンモニアが排泄されると、次々に H^+ を緩衝して尿 pH が低下するのを防ぎ、こうして尿 pH が限界に達するのを極力防いでいるものと考えることができる。他方図5のように、アンモニア排泄量が尿 pH と密接な逆相関を示している事より、 NH_3 は尿中に拡散し、そこで H^+ と結合して NH_4^+ として排泄されていることにもなる。

しかしこの場合、杉本¹⁶⁾、藤本²⁾、吉村²⁴⁾たちは Acidosis になると滴定酸度及びアンモニア排泄量は対照値に比べて増加するが、副腎摘出犬において、尿 pH に対応した滴定酸度及びアンモニア排泄量は非摘出犬に比べて明らかに低下する。また副腎摘出犬に Desoxycorticosterone acetate (DCA) を注射しておいてから酸注入を行うと滴定酸度及びアンモニア排泄量は、正常犬とほとんど同程度の値を示すことを認め、副腎皮質ホルモンの Mineral corticoid 及び DCA 注入の働きによって、尿細管細胞において Na^+ の再吸収が促進するといわれ¹²⁾²³⁾、 Na^+ の再吸収の促進に伴って H^+ の交換が促されて、ここに酸性尿の生成及びアンモニア排泄量が増すと考えられる。副腎機能を示す秀れた指標として 17-OHCS がとりあげられており¹⁵⁾、堤¹⁹⁾たちは Noradrenaline 注入時に、副腎皮質ホルモンの分泌は互に関連しあっていることを証明している。したがって尿中 17-OHCS が尿の酸排泄量に及ぼす影響について観察したのが図7である。

図に見られるように、17-OHCS は尿中 Na 排泄量との間に逆相関が得られ、滴定酸度及びアンモニア排泄量との間にも、それぞれ密接な順相関が認められた。17-OHCS の排泄増加、すなわち副腎皮質機能が促進され、腎臓における Na^+ の再吸収とそれに伴う H^+ の排泄が盛んになるにしたがって、尿への滴定酸度及びアンモニア排泄量は著明に増加していることになる。ところが、17-OHCS は副腎皮質のたん白代謝に関する異化作用をあらゆるホルモンとされているために、17-OHCS 分泌の促進は主として運動強度に関与したことになる。しかし、副腎皮質ホルモンの分泌は相互に影響しあっていることが知られていることから¹⁹⁾、酸性尿の生成及びアンモニアの分泌機転に、副腎皮質ホルモンの働きが極めて大きい役割を演じているように想像される。

一方、生体の過剰酸の処理に関して、奥村¹¹⁾は細胞外液による緩衝作用、細胞内液による緩衝作用、腎臓による尿排泄作用の3つの経過は、時間的にも量的にも一定の順序によって行われると報告している。したがって酸注入の過程においては、その酸のほとんど100%が細胞内液によって中和された場合、尿中への過剰酸の排泄はその間起らないことになる。この点、本実験におい

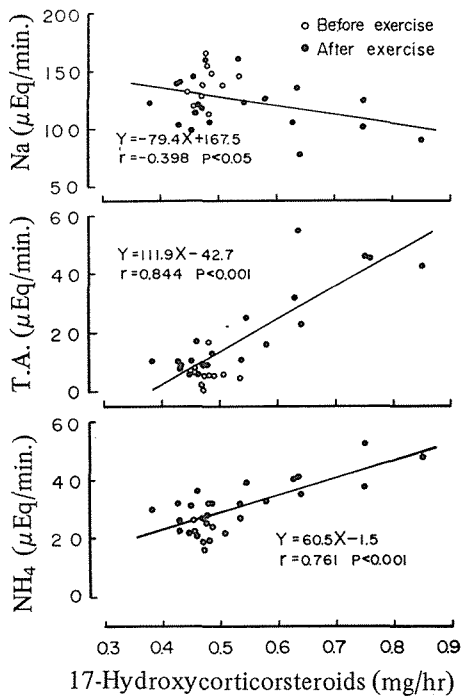


Fig. 7 Relation of urinary excretion between 17-hydroxycorticosteroids; sodium and titratable acidity and ammonia in running exercises with different intensities

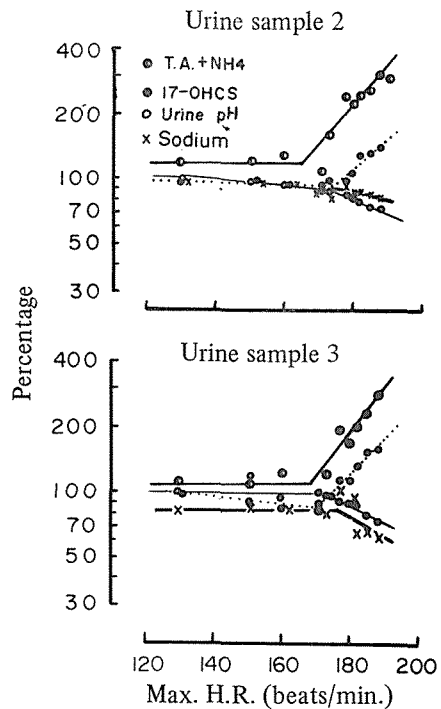


Fig. 8 Relation of maximum heart rate in five-minute running at different speeds to urinary excretion of titratable acidity plus ammonia, 17-hydroxycorticosteroids, sodium, and urine pH

ても走運動の負荷程度に関して符合する成績がある。

図8はこれらの成績を運動強度、すなわち運動時の最大心拍数に対してまとめたものである。図のように、運動時の最大心拍数が1分当り170心拍(bpm)以上になると、副腎皮質ホルモンの分泌が増し、腎臓において処理される酸排泄量は増大している。またこれに相応して尿中Na排泄量は減少していることが明らかである。他方呼吸機能から、歩及び走運動によって最大酸素摂取量を測定して、その割合から運動の負荷条件とした指標がほとんどで、生理学的にもっともすぐれたものとされている。しかし手軽にでき、安全な方法として、5分間走テストの平均スピードを求めて、その割合⁶⁾あるいは心拍数⁸⁾¹⁷⁾などで、その処方ができることを示唆したものもある。

しかし、生体の Homeostasis 維持のために、生体には数多くの防衛手段をもっているが、特に腎臓機能の働きによって、ダイナミックな調節が行われていることも事実である。また体力増強のためのトレーニングとして効果をあげるためには、副腎皮質ホルモンの分泌機能の活性化も指摘されている¹⁹⁾。したがって健康及び体力づくりのために全身持久性の効果をあげるには、体力の一つをなす生体の防衛機構に対する何らかの影響を及ぼすことが必要であろう。またそれには

ある程度の急激な運動負荷が重要な役割を果すことにもなる。

以上の結果から、5分間の走運動を実験的に行わせて、酸塩基平衡の変化を起こさせた場合、腎臓による酸排泄作用は、運動時の心拍数170bpm以上において促進することが認められた。したがってこの両者の変動から、全身持久性のトレーニング時の負荷条件として、運動時の心拍数を170bpmまで高めることが必要と考えられる。

なお、運動の時間的条件によって、腎臓の調節がどうなるか、注目すべき問題であるが、これは今後の研究によるほかない。

要 約

健康な男子大学生(20—23才)2名に、走行速度を120m/minから300m/minに至るまで、漸次20m/minづつ負荷を高めた走運動を5分間行わせ、心拍数及び尿成分に対する影響を観察し、それらから全身持久性トレーニングへの負荷条件について考察した結果、次の成績を得た。

1) 運動時及び回復時の心拍数は、走行速度すなわち運動強度に伴った系統的な変動経過を示す。これを運動時の増加曲線について見ると、180m/min以上の速度において毎分3—6心拍程度の小さな変動幅となる。また心拍数回復率の変動は、運動強度に関係することなく、約5%程度に推移した。

2) 尿pHは運動強度によって著しく低下することが認められ、これに相応して滴定酸度及びアンモニア排泄量が著明に増加している。この場合尿pHは滴定酸度及び滴定酸度とアンモニア排泄比と密接に関係し、それぞれ逆相関が見られた。これは尿の酸性比が高まる程、滴定酸度が増加することになるが、同様に腎臓より排泄される酸量のうち、遊離酸として排泄される割合も大きい。したがって一部は NH_3 の形で自由拡散によって、尿細管内の尿中 H^+ と結合し、 NH_4^+ として排泄されることも考えられる。

3) 尿中Naの排泄量は、運動負荷の強い時に少く、このNa排泄の減少分に相当して、アンモニア排泄量が増している。これは尿中 H^+ 排泄と滴定酸度及びアンモニア排泄量との間に逆相関が成立し、滴定酸度及びアンモニアの分泌は、尿細管細胞において Na^+ と H^+ 及び Na^+ と NH_4^+ とのイオン交換によって行われたものと考えられる。

4) 尿中17-OHCSすなわち副腎皮質ホルモンの分泌は、運動強度によって増加するが、このホルモンは、尿中Na排泄、滴定酸度及びアンモニア排泄と密接に関係しているために、恐らく副腎皮質ホルモンの分泌が増して、 Na^+ と H^+ 及び Na^+ と H^+ が交換されて、滴定酸度及びアンモニアの分泌が起るものと理解される。

5) このように、5分間の走運動から生体の酸塩基平衡の変動を見た場合、運動時の心拍数が170bpm以上となった時に、腎臓の酸排泄作用及び副腎皮質機能は促進される。

6) 以上の結果から、体力づくりが生体の防衛機構の強化の一端をなすならば、走行時間5分

の全身持久性の負荷条件は、心拍数を指標に少なくとも、170bpm まで高めることが必要と考えられる。

最後に本研究のために、御支援と御協力をいただいた鳴川六司教授に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Åstrand, P.O. and Saltin, B. (1961) Oxygen uptake during the firsts minutes of heavy muscular exercise. *J.Appl.Physiol.*,16,971-976
- 2) 藤本守 (1961) 酸性尿生成機転に関する研究, 日本生理誌, 23, 293-306
- 3) 堀清紀, 山田敏男 (1974) 発汗時における汗および尿への水分, 塩分の排泄と血液性状の変化, 日本生理誌, 36, 463-468
- 4) 猪飼道夫, 進藤宗洋 (1967) トレッドミルによる作業能力の研究,〔II〕負荷条件の設定, 体育の科学, 17, 456-462
- 5) 金井泉 (1966) 臨床検査法提要第24版, VII血液定量的検査法, 金原出版, 35-37
- 6) 金子公有, 豊岡朗朗, 宮側敏明 (1973) 運動処方作成〔II〕—フィールド走による負荷強度の設定—, 体育の科学, 23, 157-159
- 7) 村上長雄 (1953) 運動の尿中諸物質排泄に及ぼす影響 (第1報), 日本生理誌, 15 (4), 52
- 8) Morehouse,R.E., 石河利寛訳 (1975) トータル・フィットネス, 奇跡の健康体操, いつでもどこでも週30分, 徳間書店
- 9) 大原重信 (1953) 労働時の塩分代謝に関する研究, I 労働時の塩分代謝とその訓練効果, II 労働時の体内塩分の働きについて, 生化学, 25, 283-306
- 10) 荻野修 (1957) 筋作業時及び体液酸塩基平衡変動時における尿所見について, 十全医学会誌, 59, 230-247
- 11) 奥村修 (1958) 生体酸塩基平衡調節の生理的諸相, 特に酸負荷時の調節について, 日本生理誌, 20, 966-987
- 12) 小田立男, 鈴木英生, 田平宏, 本多正信, 白上寿晨 (1971) アルドステロンおよびステロイドの水電解質代謝, モルモンと臨床, 19, 263-270
- 13) Sartorius,O.W., Woemmelt,J.C. and Pitts,R.E. (1949). The renal regulation of acid-base balance in man. The nature of the renal compensation in ammonia chloride acidosis. *J.Clin. Invest.*,28,423-439.
- 14) 沢田芳男, 杉本精二, 西尾達也, 森内馨 (1951) 運動会の尿成分に及ぼす影響, 体質医研報, 1, 300-306
- 15) 斉藤一 (1959) 電解質代謝 (労働衛生方面), 第15回医学会総会, 186-187
- 16) 杉本順一 (1961) 腎臓のアンモニア分泌に対する副腎皮質の働らきについて (腎臓のアンモニア分泌機転に関する研究第2報), 日本生理誌, 23, 61-70
- 17) 芝山秀太郎, 江橋博, 西島洋子 (1975) 心拍数変動からみたトレーニング効果, 体力科学, 24, 72-73
- 18) 堤達也 (1964) 運動負荷時の電解質代謝, 体力研究, 3, 82-95
- 19) 堤達也, 後藤芳雄, 青木和江 (1970) Noradrenaline (NAd) 注入による尿中 17-KS,17-KGS,17-OHCS 値及び血中, 尿中電解質の変動, 体力研究, 19, 11-18
- 20) 辻 忠 (1973) 循環機能及び尿中電解質排泄量に対するトレーニングの影響, 第1報生体の生理的諸反応のアンバランスについて, 大外大学報, 389-402
- 21) 和田敬 (1966) 心電図とその解説, 南山堂, 17-19
- 22) 吉川春寿, 福山富太郎 (1940) 筋労作時における尿成分変化について, 厚生科学, 1, 261-277
- 23) 吉村寿人, 森隆之助, 大原重信, 田中光雄, 川田輝夫, 浅田照夫, 塩見竜寿, 松田太郎, 福田正弘, 井上太郎, 平松代辰, 波多聞幸信, 浦上芳達, 豊木実 (1952) 副腎皮質ホルモンの人体生理作用についての知見補遺, 京都府医大誌, 305-313
- 24) 吉村寿人, 藤本守 (1964) 生理面からみた尿細管機能 (3), 酸性尿とアンモニア生成, 最新医学, 19, 3115-3136
- 25) 吉村寿人, 高木健太郎, 猪飼道夫編 (1970) 生理学大系, IX 適応協同の生理学, 第4編運動の生理学, 医学書院, 772-773