

疾走負荷によるナトリウムイオン代謝変動 : 坑利尿的内部環境における後運動性利尿

著者	小郷 克敏
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	44
ページ	77-85
発行年	1995-12-15
その他の言語のタイトル	Post-Sprint Natriuresis under Antidiuretic Condition
URL	http://hdl.handle.net/2298/2298

疾走負荷によるナトリウムイオン代謝変動

抗利尿的内部環境における後運動性利尿

小郷克敏

Post-Sprint Natriuresis under Antidiuretic Condition

Katsutoshi OGO

(Received September 4, 1995)

The purpose of the present study was to investigate post-exercise diuresis by means of changes in the excretion rate of urinary sodium. The subjects were five male sprinters, aged from 19 to 25 years. The subjects performed seven distance sprints (60m, 100m, 200m, 300m, 400m, 800m, 1500m). Although the warm-up (w-up) for each sprint made an antidiuretic condition, the excretion rate of sodium and urinary volume increased significantly in the 30-minutes urine after 200m-800m sprints, and decreased to the w-up level in the 60-minutes urine. The natriuretic diuresis was observed in the 30-minutes urine following 200m, 300m and 400m sprints. These results do not indicate disappearance of the antidiuretic factors, and also suggest that the renal tubular reabsorptive activity of sodium was disturbed briefly with the lactic acid oxygen debt that accumulated during sprint bouts.

Key words : post-exercise diuresis, sodium excretion, tubular reabsorption, oxygen debt

身体運動を実行するに当たっては、そのための種々の機能を即時的に動員する。運動の種類や運動の強度によっては、その働きにともなう体内環境の変化が運動後にかなり強く残ることとなる。一般に運動によって減尿するといわれるのは、運動中のことだけではなく、運動後の時期も含んでいると考えなければならない。身体運動とホルモン応答についての系統的な報告は少なく、むしろ断片的なものが多い¹⁾。また、運動との関連で調査された血液中のホルモン濃度変化を追った知見は比較的多いが、そのホルモンの働きによる生体現象と対応して述べられたものはまれである。まして、運動後の回復期におけるそれぞれのホルモンの時間的消退パターンと、それによる現象を兼ね備えたものとなるとほとんど目につかない。これは条件をそろえた実験がいかに困難であるかを物語っている。運動による各種成分の変動をとらえる場合、血液では濃度変化でとらえるしかないが、尿中成分の場合には濃度だけではなく、量的な変化も観測できることから、生体の反応の集約が可能となる。これには正確な時間管理と、定量的な採尿が不可欠の条件となる。今回は、走運動の運動強度と、連続尿の情報による尿中ナトリウム代謝変動を主な指標として、運動後の回復過程の検討をした。

方 法

1. 被験者

被験者は研究の目的や方法について説明し、同意を得た19歳から25歳までの陸上競技男子短

Table 1. Physical characteristics and training career of subjects

subject	age(yr)	height(cm)	weight(kg)	training career
M. F	21	169	60	10(yr)
H. T	21	161	51	10
M. N	19	174	59	5
Y. T	19	171	59	7
T. I	25	176	66	13
mean	21.5	170.2	59.0	9.0
S.D.	2.6	5.8	5.3	3.1

距離走者 5 名とした。各被験者の身体特性と競技歴などは Table 1 に示すとおりである。本実験に先立ち、予備実験として各被験者には後述する採尿方法の試行を経験させ、十分に理解させた。

2. 運動負荷

疾走負荷としては、60m から 1500m までの 7 種の距離走とした。陸上競技用 300m トラックを使用し、60m から 400m までの記録はスタートラインの 5m 手前から走行を開始する加速法で、800m と 1500m 走の記録はスタンディングスタート法で計時した。また、各疾走負荷の前には、かならずウォーミングアップを実施したので、これらの 7 種の疾走負荷の他に、約 40 分間にわたるジョギングと徒手体操を中心にしたウォーミングアップだけの負荷 (W-up) を設定し、それによる変動も同時にとらえ、コントロールとした。

上記の各種の負荷は、1 日に 1 種目に限って、ほぼ 3 日間隔で実施した。実験日の天気は快晴から曇天の間であった。疾走時刻は、いずれも 14 時 30 分から 15 時までの間で、風速が 2m/sec 以下の時に実施した。この実験期間中の 14 時 30 分の気温は $15.5 \pm 3.6^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $46.4 \pm 13.4\%$ であった。

3. 採尿方法と尿中成分定量法

採尿は以下に示すスケジュールによって、指定の時間に必ず全尿をとるように指示して連続して行わせた。

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| (1) 排尿の後 30 分間の椅坐安静の後 | (2) ウォーミングアップ直後 |
| (3) 主運動 (各疾走) 後回復 30 分目 | (4) 同 60 分目 |
| (5) 同 90 分目 | (6) 同 120 分目 |
| (7) 同 150 分目 | |

なお、実験開始 2 時間前から、主運動負荷後 150 分までの間は、飲食物の摂取はしていない。尿量はメスシリンダーで計量し、一部をポリエチレン製容器に移し、尿中成分の定量に供した。

尿中 Na^+ と Cl^- はイオン電極法、 K^+ は炎光法を用いるフォトボルト社製の BUA-アナライザーで、クレアチニン (Creat) はアルカリ性溶液中でピクリン酸と反応させる Folin-Wu 法²⁾ で、ピルビン酸 (Pyr) は 2,4-dinitrophenylhydrazone として Xylene で抽出する方法³⁾ によった。

結 果

各距離疾走の所要時間と平均走速度の平均値と標準偏差は、Table 2 に示すとおりである。

Table 2. Means of the running time and the average speed

	Control	60m	100m	200m	300m	400m	800m	1500m
running time	warm-up 40min	6.4" ±0.2"	11.5" ±0.3"	24.1" ±0.6"	38.5" ±0.9"	54.8" ±1.4"	2'15.4" ±7.4"	4'59.9" ±24.6"
average speed (m/sec)	—	9.32 ±0.25	8.74 ±0.23	8.32 ±0.22	7.79 ±0.17	7.30 ±0.19	5.93 ±0.33	5.03 ±0.41

走速度の平均値は 60m 走で最高値を示し、距離の延長につれて有意に低下している。各種疾走ごとにみた尿中 Na⁺の時間排泄量の平均値は Table 3 に示すとおりである。

Table 3. Means of the excretion rate of urinary Na⁺

	rest	w-up	30min	60min	90min	120min	150min
Control	178.4±51.5**	87.8±32.0	132.3±78.4	132.6±58.3	164.4±60.2	211.8±59.9	222.8±56.3
60m	176.9±47.4**	87.2±38.3	95.4±37.6	141.5±57.3	190.0±99.9	232.0±88.7	253.3±82.9
100m	145.4±55.1	133.4±60.5	171.1±34.6	166.0±57.4	162.7±45.1	265.1±58.4	269.9±65.9
200m	265.3±130.7*	126.4±65.9	320.6±18.4**	122.2±25.6	191.5±64.7	219.9±79.2	248.4±59.3
300m	330.0±99.5**	129.2±46.6	373.4±142.2*	110.9±41.4	148.5±31.1	215.9±43.6	256.7±43.1
400m	240.3±87.2*	94.6±23.6	312.9±78.7**	127.2±38.4	116.8±27.7	125.9±28.6	163.9±66.2
800m	293.4±118.0*	147.4±54.2	213.5±91.1*	91.3±32.9*	112.9±38.1	137.4±46.8	127.6±57.4
1500m	286.0±72.2**	135.1±19.5	201.8±50.5	113.1±47.6	114.2±45.9	141.3±46.0	166.3±32.7

Mean±S.D.(μ mole/minute) significant difference between w-up *: p<0.05, **: P<0.01

尿中 Na⁺排泄量平均値は安静時ではかなり高値を示す種目が多く、しかも、実験日(種目)によってかなり大きな開きがある。これに比べ w-up 直後尿では全種目で大幅に減少し、その平均値はかなり狭い範囲に集中している。安静時尿と w-up 直後尿の Na⁺排泄量の平均値の間には 100m を除き、有意の差があると認められる(p<0.05, p<0.01)。つぎに、時間的には w-up 直後から各種疾走運動時を含んでいる回復 30 分尿では、各種目の平均値とも w-up 時より高値を示しており、種目によって増加の仕方はかなり違っている。100m から 400m までの種目では、安静時尿の平均値よりも高値になっている。これらの内 200m, 300m, 400m および 800m 走においては、かなり高値を示し、w-up 直後尿の平均値と有意の差があると認められる(p<0.05, p<0.01)。しかし、負荷後 30 分～60 分尿(60 分尿)になると再び急激に低下し、ほぼ w-up 直後尿と同レベルとなり、ほとんどの場合 w-up 直後尿の平均値と有意の差は認められなくなる。とくに、800m 走では w-up 直後尿より低い平均値となり、有意の差が認められる(p<0.05)。全体的な回復状況を見ると、Control と 60m 走では負荷後 30 分尿からは回復時間が進むと排泄量は漸増するが、他の種目では 60 分尿以後時間の経過とともに漸増している。なお、疾走距離の長い種目では平均値の上昇が緩やかであり、120～150 分尿では安静時尿のレベルに達していない場合が多い。

尿の時間排泄量の平均値の推移は Table 4. に示すとおりである。

Table 4. Means of the excretion rate of urinary volume

	rest	w-up	30min	60min	90min	120min	150min
Control	0.81±0.29*	0.57±0.25	0.63±0.33	0.62±0.31	0.71±0.28	0.86±0.21	0.86±0.19
60m	0.71±0.14*	0.50±0.19	0.51±0.15	0.80±0.44	0.93±0.39	0.95±0.30	1.04±0.12
100m	0.98±0.44*	0.62±0.26	0.87±0.20**	0.77±0.40	0.92±0.26	1.36±0.64	1.18±0.45
200m	1.24±0.44*	0.71±0.19	1.80±0.36*	0.67±0.16	1.05±0.33	1.09±0.19	1.23±0.24
300m	1.24±0.44**	0.61±0.22	1.98±0.62*	0.61±0.24	1.10±0.39	1.42±0.29	1.52±0.28
400m	1.02±0.29**	0.49±0.09	1.69±0.37**	0.63±0.19	0.60±0.12	0.74±0.07	0.82±0.17
800m	1.20±0.40*	0.66±0.18	1.14±0.37*	0.47±0.12*	0.60±0.10	0.76±0.11	0.64±0.12
1500m	1.24±0.33*	0.66±0.11	1.13±0.26*	0.56±0.19	0.56±0.20	0.65±0.20	0.75±0.09

Mean±S. D. (ml/minute) significant difference between w-up * : p<0.05, ** : p<0.01

尿量は Na⁺と同様、w-up 直後尿では全種目で安静時尿より大幅に減少し、その平均値はかなり狭い範囲に集中している。安静時尿と w-up 直後尿の尿排泄量の平均値の間には全種目とも有意の差があると認められる (p<0.05, p<0.01)。つぎに、時間的には w-up 直後から各種疾走運動時を含んでいる回復 30 分尿では、各種目の平均値とも w-up 時より高値を示しており、種目によって増加の仕方はかなり違っている。200m から 400m までの種目では、安静時尿の平均値よりも高値になっている。なお、100m 走から 1500m 走において w-up 直後尿の平均値と有意の差があると認められる (p<0.05, p<0.01)。しかし、負荷後 60 分尿になると再び急激に減少し、ほぼ w-up 直後尿と同レベルとなり、ほとんどの場合 w-up 直後尿の平均値と有意の差は認められなくなる。とくに、800m や 1500m 走では w-up 直後尿より低い平均値となり、800m 走では有意の差が認められる (p<0.05)。全体的な回復状況を見ると、Control と 60m 走では負荷後 30 分尿から後回復が進むと排泄量は漸増するが、他の種目では 60 分尿以後時間の経過とともに漸増している。なお、疾走距離の長い種目 (800m, 1500m) では平均値の上昇が緩やかであり、120~150 分尿では安静時尿のレベルに達していない場合が多い。

なお、Na⁺と尿量の排泄量はよく似た変動を示しており、高い正の相関が認められた (r=0.83, p<0.001)。

つぎに、Crea.排泄量をみると、安静時尿では 100m 走を除いて平均値が 1.8mg/min 前後に集中している。さらに、w-up によって平均値は 1.5mg/min 前後から 1.7mg/min と少なくなり、安静時尿の平均値と 300m 走と 400m 走では有意の差は認められる (p<0.05) が、他の場合は認められない。疾走負荷後 30 分尿ではその平均値は、1.36mg/min から 1.99mg/min までの広い範囲に分布するようになり、負荷距離の違いによる差が大きくなっている。100m 走と 300m 走では疾走後に大きく増加し、w-up 直後尿の平均値との間に有意の差が認められる。しかし、30 分を過ぎると、各種目ともすでに 60 分尿以後ではほとんど安静時尿レベルに戻り、ほとんど定常的な推移を示している。

尿中 pyr 排泄量は control を除いて、疾走負荷後 30 分尿で非常に大きく増加している。とくに、200m から 400m までの疾走では劇的に著しい増加を示し、排泄量平均値は安静時尿や w-up 直後尿との間に有意の差が認められる (p<0.05, p<0.01)。その後 60 分尿では全種目とも大幅に減少し、Control, 60m 走および 100m 走ではほぼ安静時レベルに近づいているが、その他の種目では少し高いレベルにとどまっている。その後の pyr 排出量平均値は全種目で安静レベルに回復している。尿中 pyr 排泄は無酸素的代謝の中でも乳酸性機構の動員状態を反映していることから、

今回の測定でも、とくに 200m~400m 走でこの機構の動員の多いことを示している。

考 察

身体運動による生理機能の変動について検討する場合、運動の種類のみならず運動強度を考慮しなければならない。走運動にしても、競技としてみると 60 ヤードダッシュからマラソンまであり、運動強度はかなり違っており、これらの運動遂行に対応する生理機能の変動も単純なものではない。ところが、一般に運動と尿排泄についての教科書的な表現をみると⁴⁾運動によって尿生成が減少するという記述が多くみられる。この場合、その理由の主なものとして運動中の血流配分の変化による腎臓への血流の減少や、発汗による水分喪失に対応する反応であることをあげている。このような表現によく合うこともあるが、矛盾する場合もよく経験する。そこで、今回は瞬間的に終了する 60m 走から、かなりハイレベルの運動が持続される 1500m 走までの運動負荷に対する生理機能の対応状態を、尿中 Na⁺排泄量の変動を中心にして検討した。なお、前にも示したが、尿量の変化は Na⁺の変化と高い相関を示しているので、Na⁺の変化を知ることで理解できると考える。

運動負荷に当たっては、とくに、全力疾走のような最高能力を発揮する運動のためには、あらかじめウォーミングアップすることを考慮すべきである。今回の実験では、すべての全力疾走の前にウォーミングアップを実施した。そのほかにウォーミングアップだけを実施するものも設定し、Control とした。これはウォーミングアップによって整えられる体内環境を把握し、主たる各種走による影響をはっきりさせるとともに、運動強度が中等度以下の場合の典型例として設定したものである。

尿中 Na⁺排泄量は、w-up 直後尿では対安静時比の平均値でみると、100m 走では 0.93 であるが、他の 8 種目では 0.39~0.54 とかなり狭い範囲に減少している。また、尿量も全種目で w-up によって減少しているが、対安静時比としてみた場合、0.49~0.78 とかなり大幅な減少を示している場合もある。なお、尿中 Crea. 排泄量は対安静時比の平均値として 100m 走を除く他の種目では、0.83~0.98 とわずかな変化を示すだけであり、分散分析（二元配置分散分析⁵⁾）の結果種目間の差は認められない。

ここに示したように w-up によって尿中 Na⁺も尿量も Crea も全種目でかなり狭い範囲に分布し、いわゆる中等度以下の運動による減尿といわれる傾向を示している。これは、いろいろな種目に対応する w-up であるので内容的には必ずしも同一の運動であるとはいえないながら、体内環境がかなり類似した状態になったことを物語っている。そこで、以後の検討を各被験者の w-up 直後尿を基準として、各種疾走負荷による変化を検討することとする。

尿中 Na⁺排泄量の w-up 直後尿を基準としてみた時間帯別平均値の推移は Fig. 1 に示すとおりである。

この Fig. 1 によると、各種疾走負荷 (Control を含めて) 後の変動状況から 3 つのタイプに分けられる。

まず、負荷後早い時期から Na⁺排泄量が時間経過とともに増加し続け、90 分尿以降では安静時レベルを超える回復過程を示すタイプ (P タイプとする) である。これには Control と 60m 走とが入り、100m 走がそれに近いものである。

つぎに、疾走負荷後 30 分尿に Na⁺が著しく多量排泄され、負荷後 30 分-60 分尿では、w-up 直

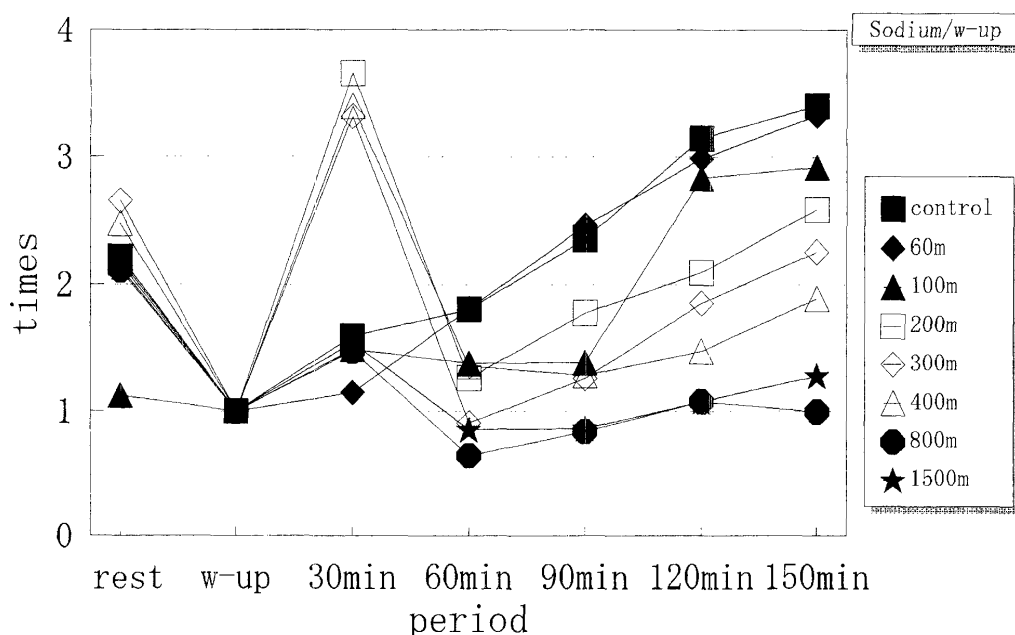


Fig. 1 Fluctuation of urinary sodium

後尿のレベルまで急激に減少し、以後回復時間の進行にともなって漸増し安静レベルに近づくタイプ (Lタイプとする) である。これには 200m, 300m, 400m が入る。

最後に疾走負荷後 30 分尿では Na^+ 排泄量は w-up 直後尿よりわずかに増加し、60 分尿では w-up 直後尿より減少し、しかも、回復時間が進んでもほとんど増加せず、安静レベルよりはるかに少ない排泄量であるタイプ (Mタイプとする) である。これには 800m 走と 1500m 走が入る。

これらは疾走負荷後の尿中 Na^+ の回復パターンによって分類したのであるが、それぞれのタイプに分類されたものをみると、その運動を遂行するに当たってのエネルギー供給の類別とかなりよく合致している。つまり、Pタイプは無酸素的な中でも非乳酸性機構によってなされる短時間の運動であり、あまり大きな酸素負債は残らないものである。Lタイプは無酸素的な中でも、主として乳酸性機構によっており、酸素負債をほぼ最大に利用する運動である。Mタイプは乳酸性機構と有酸素性機構によっており、酸素負債もかなり多い運動である⁶⁾。今回の尿中 Na^+ の時間排泄量 ($\mu\text{mole}/\text{min}$) を安静時と運動後 (w-up 直後尿から 150 分尿までの平均) の間で比較すると、以下のようなになる。100m 走では運動後に高値となり、Control, 60m 走、および 400m 走運動後の平均値が少し低下する傾向にあるが、いずれも有意の差は認められない。300m 走, 800m 走, 1500m 走では、運動後の平均値が低値であり、有意の差が認められる ($p < 0.05$)。確実に減少する w-up 直後尿を含んでいてさえもこの結果であることから、運動によって尿中 Na^+ 排泄量はかならずしも減少するとはいえない。このようにみた場合、一般的に「運動」と表現してあるのは、今回のすべての走負荷の前と Control で行った w-up のような中等度以下の運動強度で、有酸素的にかなり長時間継続された場合と、乳酸性機構を動員して 2-3 分以上持続されるかなり強い運動の後を指していると考えられる。CASTENFORS は激しい運動は尿中への Na^+ の排泄を減少させるとし、その減少は糸球体から濾過される NaCl 量の減少と相関することを示している⁷⁾。WADE らは、尿中への Na^+ 排泄減少は尿管管における Na^+ の再吸収の増加も関与しており、その再吸収は血中 aldosterone 濃度と逆相関することを示している⁸⁾。さらに、運動による腎クリアランスの変化をみる

Table 5. Means of urinary Na⁺ change (30min/w-up ratio) and analysis of variance

	Control	60m	100m	200m	300m	400m	800m	1500m
Mean	1.59	1.15	1.49	3.66	3.32	3.40	1.47	1.54
(S.D.)	(0.807)	(0.255)	(0.497)	(2.231)	(1.462)	(0.747)	(0.294)	(0.477)
Source	SS	df	MS	F	P			
Between sub.	7.3237	4	1.831	1.370	0.269			
With sub.	76.1788	35						
Condition	38.7567	7	5.537	4.143	0.003			
Error	37.4221	28	1.337					

と、50% $\dot{V}O_2$ max 以下の比較的低い運動強度で糸球体濾過量の減少が始まり、運動強度の上昇にもなってその程度が強くなることもわかっている⁹⁾。また、運動によるホルモン環境の変化を示したものをみると、運動中血中レニン濃度が上昇し、アンジオテンシン産生を増加させ、さらに、アンジオテンシンはアルドステロンの分泌を促進し、そして、おそらくは ADH (Antidiuretic hormone: 抗利尿ホルモン) の分泌も促進すると考えられている^{10,11,12,13,14)}。

これらのことを考慮に入れて今回の w-up 直後尿から 60 分後尿までの Na⁺排泄量の推移 (Table 3 および Fig. 1) をみると、w-up や各種の疾走負荷によってもたらされた体内環境は基本的には抗利尿的で、少なくとも 60 分間はその状態が続いていると考えるのが妥当である。ところが、そのような抗利尿的な内部環境にありながら、30 分尿では Na⁺排泄量は各走負荷とも w-up 直後尿より増加しており、とくに 200m から 400m 走では著しい。ここで、30 分尿の Na⁺排泄量の対 w-up 比の平均値の二元配置分散分析の結果を示すと、Table 5 のとおりとなり、種目間に有意の差が認められる。体内環境は抗利尿的であるにもかかわらず、200m から 400m の全力疾走では他より強く利尿が起こっていることになる。

通常、利尿の直接的原因は糸球体濾過量の増加や、尿の濃縮を含めた再吸収の減少が考えられる。今回の疾走 30 分後尿の利尿的現象は Crea. の排泄変化が Na⁺や尿量の変化と同調していないことから、糸球体濾過量の増加のみによって起こったこととは考えにくい。再吸収の減退がその原因とすると、再吸収促進によって抗利尿作用を発現していたホルモン環境が一時的に、消失したこととなり、妥当ではない。これは、運動強度とその継続時間に関係があり、運動のエネルギーが無酸素的供給の量的および速度的許容限界近くで使われることによって起こっていることである。腎の尿細管の Na⁺能動輸送のための酸素消費量は非常に大きいことから¹⁵⁾、酸素負債が著しく大きく、その解消にかなり時間を要するような運動では、アルドステロンや ADH の作用すべきレセプター側の尿細管または集合管細胞の一過性の機能低下が疑われる。つぎに、利尿活性のきわめて強い心房性ナトリウム利尿ペプチド (Atrial Natriuretic Peptide: ANP) による変化も考えられる。この物質の分泌を促すもとは基本的には心房の拡張であり、還流血流量の増加がその刺激となっていると考えられ、運動によって血中濃度が上昇するといわれており、運動時間の延長によってその濃度は次第に高くなるといわれている¹⁶⁾。この物質の作用によるとすると、運動時間の長い 800m 走や 1500m 走后より 200m 走から 400m 走のほうにはるかに強い利尿が起こっていることは矛盾する。この物質によるとした場合でも、作用する背景との関わりを無視できない。

今回は、尿中 Na⁺排泄変動を調べ、運動による抗利尿的状态で起こる一過性のナトリウム排泄増加をともなう利尿現象について考察し、その出現には乳酸性酸素負債による、ホルモンなどの

標的側の機能低下が寄与している可能性を示した。また、 Na^+ 排泄の回復状況から、運動による抗利尿的環境からの脱却は、無酸素的代謝の動員時間が短い 60m 走, 100m 走では早く、酸素負債が大きいがあまり長くない 200m 走から 400m 走の場合、かなり遅くなり、疾走時間の長い 800m 走や 1500m 走では非常に長時間を要することを示した。

要 約

運動による抗利尿的状态で起こる一過性の利尿現象の発現について、尿中 Na^+ 排出変動を中心に考察した。被験者は 19 歳から 25 歳までの男子陸上競技短距離走者 5 名である。運動負荷は 60m から 1500m までの 7 種の疾走とウォーミングアップのみのコントロールの 8 種とした。全種目のためのウォーミングアップ (w-up) によって抗利尿環境が形成された。疾走負荷時を含む 30 分後尿で 200m 走, 300m 走, 400m 走では安静時尿よりも Na^+ 排泄が多くなる強い利尿現象が発現した。これは抗利尿的ホルモン類の一時的な消失によるのではなく、乳酸性酸素負債の影響による腎の尿細管側の機能低下によると考えた。60 分後尿では w-up 直後尿と同様な抗利尿状態にもどった。 Na^+ 代謝を指標としてみた場合、運動によって変化した生理状態からの回復に要する時間の長さには、乳酸性酸素負債量よりその発生時間の方がより強い影響を及ぼしていると考えた。

文 献

- 1) GALBO H. : 7. Summary : The control of the hormonal response to exercise in Hormonal and metabolic adaptation to exercise, (1983), Georg Thieme, Stuttgart pp. 62-63.
- 2) 金井 泉, 金井正光 : 臨床検査法提要 第 28 版, (1978), 金原出版, 東京, VII-38~VII-42.
- 3) 小郷克敏, 有江醇子, 長尾愛彦, 天本宏太郎, 林 宏, 沢田芳男 : 尿中ビルビン酸の定量法, 体質医研報. **22**, 77-82, 1971.
- 4) 折田義正, 上田尚彦, 藤原芳広 : 腎・泌尿器, 最新スポーツ医学 (黒田芳雄, 井川幸雄, 高沢晴夫, 中嶋寛之, 村山正博 編), (1990), 文光堂, 東京, pp. 163-173.
- 5) 篠原弘章 : 関連のある 3 個以上の平均値間の差の検定 (SPF 1. Q), 行動科学の BASIC 第 1 巻 統計解析, (1984), ナカニシヤ出版, 京都, pp. 113-121.
- 6) FOX, E. L. : Sports activities and the energy continuum in Sports Physiology, (1979), Saunders college, Philadelphia, pp. 18-33.
- 7) CASTENFORS, J. : Renal function during exercise, *Acta Physiol. Scand.* **70** (suppl. 293), 1, 1967.
- 8) WADE, C. E., CLAYBAUGH, J. R. : Plasma renin activity, vasopressin concentration, and urinary excretory responses to exercise in men, *J. Appl. Physiol.* **49**, 930-936, 1980.
- 9) 藤井宣晴, 鍋倉賢治, 権 五晟, 山崎文夫, 本間幸子, 池上晴夫 : 運動強度の増大による心拍数および血漿カテコールアミンの応答, 体力科学 **41**, 313-321, 1992.
- 10) MAHER, J. T., JONES, L. G., HARTLEY, L. H., WILLIAMS, G. H., ROSE, L.I. : Aldosterone dynamics, during graded exercise at sea level and high altitude, *J. Appl. Physiol.* **39**, 18-29, 1975.
- 11) MELIN, B., ECLACHE, J. P., GEELLEN, G., ANNAT, G., ALLEVARD, A. M., JARSAILLON, E., ZEBIDI, A., LEGROS, J. J., GHARIB, C. : Plasma AVP, neurophysin, renin activity, and aldosterone during submaximal exercise performed until exhaustion in trained and untrained men, *Eur. J. Appl. Physiol.* **44**, 141-151, 1980.
- 12) CONVERTINO, V. A., BROCK, P. J., KEIL, L. C., BERNAUER, E. M., GREENLEAF, J. E. : Exercise training-induced hypervolemia : role of plasma albumin, renin, and vasopressin, *J. Appl. Physiol.* **48**, 665-669,

1980.

- 13) CONVERTINO, V. A., KEIL, L. C., BERNAUER, E. M., GREENLEAF, J.E. : Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man, *J. Appl. Physiol.* **50**, 123-128, 1981.
- 14) COSTILL, D. L., BRANAM, G., FINK, W., NELSON, R. : Exercise induced sodium conservation: changes in plasma renin and aldosterone, *Med. Sci. Sports* **8**, 209-213, 1976.
- 15) FUJIMOTO, M., NASH, F.D., and KESSLER, R. H.: Effects of cyanide, Q_{O_2} , and dinitrophenol on renal sodium reabsorption and oxygen consumption, *Am. J. Physiol.* **206**, 1327-1332, 1964.
- 16) GOODMAN, J. M., LOGAN, A. G., MCLAUGHLIN, P. R., LAPRADE, A., LIU, P. P. : Atrial natriuretic peptide during acute and prolonged exercise in well-trained men, *Int. J. Sports Med.* **14**, 185-190, 1993.