

尿中カルシウムとリン酸排泄変動からみた急速運動後の回復時間

| | |
|-------------|--|
| 著者 | 小郷 克敏, 錦井 利臣, 小澤 雄二 |
| 雑誌名 | 熊本大学教育学部紀要 自然科学 |
| 巻 | 50 |
| ページ | 33-40 |
| 発行年 | 2001-12-14 |
| その他の言語のタイトル | Influence of Anaerobic Exercise on Urinary Calcium and Phosphate Ion Excretion |
| URL | http://hdl.handle.net/2298/2405 |

尿中カルシウムとリン酸排泄変動からみた 急速運動後の回復時間

小郷克敏・錦井利臣・小澤雄二

Influence of Anaerobic Exercise on Urinary Calcium and Phosphate Ion Excretion

Katsutoshi OGO, Toshiomi NISHIKI and Yuji OZAWA

(Received September 1, 2001)

This study was designed to determine the influence period of the anaerobic sprint exercises on the physiological condition by means of urinary excretion changes of Calcium (Ca^{++}) and Phosphate ions. The subjects were five male sprinters, aged from 19 to 25 years. They performed seven distance sprinting events (60m~1500m), and a warming up exercise without a sprint as the Control. In each exercise, seven urine samples were collected continuously as follows: (1) after 30 minutes rest (rest), (2) immediately after warming up (w-up), and (3~7) at every 30 minutes after the sprinting events up to 150 minutes in the "rest recovery". The recovery patterns of urinary Ca^{++} excretion after sprinting events were divided into three groups. In the first group (Control and 60m-sprint), the Ca^{++} excretion rate gradually increased up to 120'-urine in low level. In the second group (200-, 300-, and 400-m sprints), there was a marked loss of Ca^{++} in 30'-urine and the high excretion rates were continuously maintained up to 120'-urine. In the third group (800-, 1500- and 100-m sprints), there were medium excretion changes in 30'-urine and then excretion rates increased gradually to high excretion level in the late recovery. All sprint exercises brought a marked loss of phosphate (phosphaturia) in 30'-urine, and the phosphate excretion quickly fell to the lower level than the rest in 60'- or 90'-urine. These results indicate that an anaerobic exercise when it is accompanied by a rapid accumulation of lactic acid brings large and prolonged aftereffects on our renal tubular function. The aftereffects include not only an energy lack for tubular active transport of ions in early recovery stage but also hormonal change up to over 2 hours.

Key words : urinary Ca^{++} and phosphate excretion, anaerobic exercise, renal tubular reabsorption of ions

身体運動によって起こる体内環境の変化は、実施した運動の種類によって異なることはよく知られている。しかし、運動の生体に与える比較的即時的な一過性の変化についてのものが多く、その変化の持続時間についてはあまり関心が払われていない場合が多い。運動によってもたらされた変化は、恒常性維持機能によって安定な状態にもどされるのであるが、それに要する時間は必ずしも明らかになっているわけではない¹⁾。運動による各種指標の変化のうち、どの範囲を運動の生体に及ぼす影響というか、はっきりしていないといわざるをえない。とくに、短時間の強い運動に伴う急激な内部環境の変化が二次的に誘発する反応も、運動の影響であるに違いないのである。例えば、運動後ある方向へ変化した指標の値が、時間経過とともに変化してきた方向とは逆に動いて運動前値へ到達し、さらに、それを凌駕する方向へ進む場合、運動の影響はなくなったとみるべきであろうか。運動の影響を考える場合、各種の外的な作業能力の推移とともに、

健康維持・増進という観点からは内的適応性がより重要なポイントとしてあげられるべきであろう。また、一般的に運動と尿中成分の変動の関係をみる場合、単に「運動」という記述の場合もあり、運動の種類と対応した多様な考察がなされていることはあまり多くないようである。

今回は、短時間の急速な運動（7種類の全力疾走）を負荷し、尿中カルシウム（ Ca^{++} ）とリン酸排出の変動を中心として、これらの運動の生体への影響の持続時間を考察する。

方 法

1. 被験者

あらかじめ研究の目的や方法について説明し、実験参加に同意の得られた19歳から25歳までの陸上競技男子短距離走者5名を被験者とした。被験者の身体的特性と競技歴を平均値±標準偏差で示すと、年齢 21.5 ± 2.6 歳、身長 $170.2 \pm 5.8\text{cm}$ 、体重 $59.0 \pm 5.3\text{kg}$ 、競技歴 9.0 ± 3.1 年であった。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、100m、200m、300m、400m、800m、1500mの7種とした。陸上競技用の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を設定し、コントロール（Control）とした。

上記の各種負荷は、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、快晴から曇天までの間であった。疾走負荷時刻は、いずれも14時30分から15時までの間で、風速が2m/秒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。

各種距離疾走の所用時間と平均速度の平均値と標準偏差は、Table 1に示すとおりである。走速度の平均値は60m走で最高値を示し、距離の延長に連れて有意に低下している。

Table 1. Means and standard deviations of running time

| | Control | 60m | 100m | 200m | 300m | 400m | 800m | 1500m |
|--------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Running time | warm-up | 6.4" | 11.5" | 24.1" | 38.5" | 54.8" | 2' 15.4" | 4' 59.9" |
| | 40min | $\pm 0.2"$ | $\pm 0.2"$ | $\pm 0.6"$ | $\pm 0.9"$ | $\pm 1.4"$ | $\pm 7.4"$ | $\pm 24.6"$ |

3. 採尿方法と尿中成分定量法

採尿は以下に示す連続したスケジュールによって、指定の時間に必ず全尿を取るよう指示して行わせた。

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| (1) 排尿後30分間の椅坐安静の後（rest尿） | (2) ウォーミングアップ直後（w-up尿） |
| (3) 疾走負荷後30分目（30分尿） | (4) 同60分目（60分尿） |

(5) 同 90 分目 (90 分尿)

(6) 同 120 分目 (120 分尿)

(7) 同 150 分目 (150 分尿)

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。尿は計量の後、ポリエチレン製容器に保管し、尿中成分の分析に供した。

尿中成分の測定は、Ca⁺⁺は o-Cresolphthaleincomplexone を用いる方法²⁾で、リン酸はモリブデン酸塩とアスコルビン酸を用いる方法³⁾で、クレアチニンはアルカリピクレート法 (Folin-Wu 法)⁴⁾で、ピルビン酸は 2,4-dinitrophenylhydrazine と反応させキシレンで抽出する方法⁵⁾によって行った。

結 果

各運動負荷前後の尿中 Ca⁺⁺時間排泄量 (μ mole / minute) の平均値と標準偏差ならびに繰り返しのある二元配置分散分析の結果は Table 2 に示すとおりである。

Table 2. Urinary Ca⁺⁺ excretion rate

| | Rest | w-up | 30' | 60' | 90' | 120' | 150' |
|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Control | 5.39 | 3.51 | 5.19 | 6.01 | 6.78 | 8.01 | 5.84 |
| | 2.60 | 1.89 | 4.30 | 3.49 | 3.07 | 2.73 | 3.25 |
| 60m | 5.23 | 2.49 | 5.45 | 7.05 | 9.83 | 9.32 | 6.99 |
| | 2.81 | 1.06 | 4.40 | 5.67 | 6.25 | 6.18 | 4.25 |
| 100m | 4.85 | 3.14 | 9.81 | 12.33 | 11.08 | 10.63 | 6.29 |
| | 2.14 | 1.13 | 4.88 | 5.78 | 5.36 | 2.85 | 2.45 |
| 200m | 5.48 | 3.54 | 13.29 | 11.23 | 12.89 | 10.78 | 8.49 |
| | 1.48 | 1.26 | 4.74 | 8.75 | 4.10 | 3.03 | 2.61 |
| 300m | 7.25 | 2.96 | 14.10 | 7.43 | 11.80 | 13.29 | 10.73 |
| | 2.85 | 1.17 | 6.85 | 5.01 | 4.86 | 4.41 | 3.39 |
| 400m | 6.24 | 2.86 | 13.08 | 13.33 | 13.40 | 12.79 | 11.07 |
| | 2.76 | 0.91 | 4.49 | 9.16 | 6.05 | 2.79 | 3.39 |
| 800m | 7.10 | 3.53 | 8.10 | 11.52 | 11.30 | 12.64 | 8.85 |
| | 1.63 | 1.76 | 3.87 | 6.69 | 4.57 | 2.88 | 2.43 |
| 1500m | 6.02 | 3.27 | 7.90 | 8.78 | 10.03 | 9.58 | 7.49 |
| | 1.56 | 0.78 | 3.50 | 4.27 | 3.71 | 3.86 | 2.59 |

Upper: Mean (n = 5)
Bottom: S.D. (μ mole/min)

ANOVA

| Source of Variance | ss | df | MS | F | P-value | F crit |
|--------------------|-----------|-----|----------|---------|-----------|--------|
| Sample | 607.9794 | 7 | 86.8542 | 5.1757 | 1.759E-05 | 2.0506 |
| Column | 1959.5958 | 6 | 326.5993 | 19.4624 | 3.054E-18 | 2.1392 |
| Interaction | 531.9696 | 42 | 12.6659 | 0.7548 | 0.8617268 | 1.4392 |
| Within | 3758.9476 | 224 | 16.7810 | | | |
| Total | 6858.4924 | 279 | | | | |

尿中 Ca⁺⁺排泄量平均値は w-up 尿では全種目で rest 尿より低値で、100m を除く種目で有意な差があると認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。30 分尿では全種目で w-up 尿や rest 尿より高値を示しており、特に 200m ~ 400m では非常に高値になっている。この時間以後 120 分尿までは排泄量平均値は高いレベルで推移し、減少する傾向は見られない。ところが、150 分尿ではどの種目でも大きく減少し rest 尿に近づく傾向が見られる。なお、尿中 Ca⁺⁺排泄量の繰り返しのある二元配置分散分析の結果は、時間帯間、種目間ともに有意の差がある ($p < 0.001$) と認められた。

つぎに、各運動負荷前後の尿中リン酸の排泄量 (μ mole / minute) の平均値と標準偏差ならびに繰り返しのある二元配置分散分析の結果は Table 3 に示すとおりである。

Table 3. Urinary phosphate excretion rate

| | Rest | w-up | 30' | 60' | 90' | 120' | 150' |
|---------|------------------------------|---------------|-------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Control | 7.91 8.68 | 9.65 7.28 | 12.29 11.85 | 4.71 3.64 | 5.55 4.17 | 6.47 4.06 | 7.64 1.83 |
| 60m | 8.17 4.64 | 9.51 6.18 | 17.27 7.83 | 7.66 5.21 | 6.81 3.23 | 8.25 3.15 | 8.93 1.46 |
| 100m | 7.30 6.97 | 8.79 5.48 | 20.77 10.39 | 4.00 3.34 | 3.88 3.92 | 5.71 8.86 | 7.82 11.92 |
| 200m | 9.48 5.18 | 11.01 5.41 | 25.42 7.55 | 6.37 3.90 | 5.00 3.60 | 4.77 4.24 | 6.47 5.13 |
| 300m | 12.40 8.80 | 10.41 5.12 | 34.11 15.50 | 14.54 10.27 | 7.91 4.04 | 6.93 2.54 | 8.37 3.59 |
| 400m | 6.35 6.45 | 5.63 4.16 | 23.42 10.35 | 9.64 9.16 | 3.37 3.64 | 3.90 4.58 | 3.96 4.81 |
| 800m | 9.31 4.82 | 9.62 6.58 | 21.92 11.09 | 13.49 8.73 | 10.03 4.46 | 13.15 5.25 | 10.83 5.95 |
| 1500m | 8.68 7.98 | 6.18 5.51 | 20.59 9.77 | 11.42 6.55 | 5.10 3.95 | 4.69 4.04 | 6.07 3.43 |
| | Upper: Mean Bottom: S. D. | | (n=5) μ mole/min | | | | |

ANOVA

| Source of Variance | ss | df | MS | F | P-value | F crit |
|--------------------|------------|-----|-----------|---------|-------------|--------|
| Sample | 1123.4635 | 7 | 160.4948 | 3.5577 | 0.001198564 | 2.0506 |
| Column | 7215.0466 | 6 | 1202.5078 | 26.6562 | 7.07489E-24 | 2.1392 |
| Interaction | 1693.3237 | 42 | 40.3172 | 0.8937 | 0.659440641 | 1.4392 |
| Within | 10105.0254 | 224 | 45.1117 | | | |
| Total | 20136.8592 | 279 | | | | |

各種目のw-up尿の平均値はrest尿の平均値より高値を示す場合と、低値の場合があるがその変化はわずかでほとんど変動はない。しかし、30分尿の平均値は、Controlを除く種目でrest尿やw-up尿よりかなり大きく上昇しており、中でも200m～400m走ではとくに高値となっており、他の時間帯の平均値との間に有意の差が認められる。60分尿の平均値は急激に低値になっており、90分尿以後はさらに少ない排泄量のまま推移するか、時間経過につれ安静値周辺へ漸増している。なお、尿中リン酸の時間排泄量についての繰り返しのある二元配置分散分析の結果は、時間帯間、種目間ともに有意の差がある ($p < 0.01$, $p < 0.001$) と認められた。

各運動負荷前後の尿中クレアチニン時間排泄量 (mg / minute) の変動は Table 4 に示すとおりである。

Table 4. Means of excretion rate of urinary Creatinine

| | rest | w-up | 30' | 60' | 90' | 120' | 150' |
|---------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Control | 1.78±0.16 | 1.50±0.42 | 1.90±0.14 | 1.89±0.23 | 1.83±0.22 | 1.95±0.17* | 1.83±0.20 |
| 60m | 1.83±0.40 | 1.68±0.22 | 1.78±0.14 | 1.95±0.06 | 1.94±0.26 | 1.86±0.13 | 1.78±0.18 |
| 100m | 1.57±0.65 | 1.63±0.14 | 1.20±0.17 | 1.78±0.23 | 1.80±0.30 | 1.84±0.22 | 1.70±0.31 |
| 200m | 1.82±0.27 | 1.61±0.21 | 1.75±0.23 | 1.72±0.23 | 1.87±0.11 | 1.69±0.16 | 1.86±0.16 |
| 300m | 1.80±0.28 | 1.46±0.12* | 1.91±0.22 | 1.70±0.16 | 1.94±0.43 | 1.97±0.28 | 1.88±0.13 |
| 400m | 1.82±0.29 | 1.57±0.17* | 1.65±0.15 | 1.83±0.41 | 1.87±0.26 | 1.90±0.18 | 1.87±0.14 |
| 800m | 1.83±0.21 | 1.68±0.34 | 1.37±0.27* | 1.81±0.14 | 1.68±0.20 | 1.90±0.26 | 1.76±0.14 |
| 1500m | 1.62±0.23 | 1.60±0.33 | 1.53±0.30 | 1.79±0.23 | 1.66±0.32 | 1.74±0.35 | 1.85±0.12* |

Mean ± S.D (mg / min)

Significant different compared to the rest -value; * $p < 0.05$.

クレアチニン排泄量は w-up 尿では 100m を除く種目で rest 尿より低い平均値を示しているが、300m と 400m で有意の差 ($p < 0.05$) が見られるだけである。スプリント負荷後 30 分尿では、800m だけでかなり低い値を示し有意の差が見られるが、その他の場合は rest 尿平均値とほとんど差は見られない。また、その後の回復過程においても、多くの種目で有意の差こそみられないものの、rest 尿平均値より大きな平均値を示し、イオン類の示すスプリント距離の違いによる回復パターンの差もみられない。

尿中ピルビン酸排泄量の推移は、各スプリント後 30 分尿ではほぼ一過性に排泄量は増加し、とくに、200m ~ 400m の場合極端な排泄量増加が見られる。また、回復状態をみると、Control, 60m, 100m, 800m, 1500m では 60 分尿以後で、200 ~ 400m では 90 分尿以後で rest 尿レベルへ回復している。これはスプリント負荷時のエネルギー供給が無酸素的代謝、とくに乳酸性機構への依存度の大きさを示している。

考 察

運動を実行する場合、その強度によって、エネルギー産生能力との関係で、有酸素的に定常状態を保ちながら長時間にわたって継続できる場合と、定常状態を形成できない無酸素的エネルギーによる運動がある。どちらの場合にも、運動中または運動後に、通常の内部環境とは異なる状態がもたらされ、それに対応した生理的反応がおこる。エアロビックな運動を長時間持続する場合、その運動を継続するための体内環境の適応的变化が起こりつつ実行されている部分もあると考えられるが、短時間のアネロビック運動の場合には、生理的各種機能がほとんど追従できないまま運動は終了することになる場合が多い。そのため、急激なアネロビック運動負荷後には内部環境の大きな乱れが残るはずであり、それによってもたらされるであろう生理的現象とその状態からの脱却過程については、かならずしも明らかにされているわけではない。そこで、今回は 60m から 1500m までのスプリント負荷前後の尿中 Ca^{++} ならびにリン酸排泄変動を中心に観察し、運動負荷による生体への影響の持続時間を検討した。

1. スプリント負荷後の Ca^{++} 排泄変動

今回の尿中 Ca^{++} 平均値の運動負荷による変動をみると (Table 2)、スプリント負荷にさきだって行った w-up によって全体的に Rest 尿より減少しており、100m を除く各種目で Rest 尿平均値との間に有意の差が認められた ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。これは、12 分間走テスト後にみられる尿中への Ca^{++} 排出減少⁶⁾ と同様な結果であり、有酸素運動後に起こる現象ととらえる事ができる。しかも、たとえ w-up 程度の運動であっても安静時レベルに回復するのにかなり時間がかかるようである。

つぎに、スプリント負荷後 30 分尿では Control と 60m 走では緩やかに、他の種目ではかなり大きく増加しており、とくに 200m ~ 400m スプリント後では急激に増加し、Rest 尿レベルをはるかに超えた高排出量のまま 120 分尿まで続いている。回復 30 分尿ではあまり高排出量を示さなかった種目でも 90 分尿か 120 分尿でかなり多くの排泄量を示し、負荷後 2 時間以上経つと減少し始め、安静値へ回復する傾向を示している。回復初期に高排泄量を示す種目の場合、先述したウォーミングアップなどのようなエアロビックな運動後の変動とは全く逆の変化であり、「運動負荷」の尿中 Ca^{++} 排泄への影響は単純なものではなく、運動の強度や運動継続時間の違いによっては生体の反応は全く異なることを示している。スプリント負荷が無酸素的エネルギーに

大きく依存して実行されていることから、ほぼ5分間以内のアネロビックな運動後の初期回復時には Ca^{++} の尿中排出は増加することを示している。尿中 Ca^{++} 排泄に影響する物理的な要因には、一般的に①GFRの変化による Ca^{++} 負荷量の増大、②細胞外液量の増大、③血漿 Ca^{++} 濃度、④酸・塩基平衡、⑤食物からの摂取量、⑥マグネシウムやリン酸との相互作用等があげられる⁷⁾。

今回のスプリント負荷後の Ca^{++} 排泄量増加要因は単一なものではなく複数のものによりもたらされていると考えられる。スプリント負荷後には Ca^{++} の排泄は増加しているが、これが上記要因①による変化であるかということ、尿中Creatと Ca^{++} の相関係数が $r = 0.253$ ($n = 280$, $p < 0.01$)と低い相関でしかないこと、さらに、 $\text{Ca}^{++}/\text{Creat}$ 比の平均値の推移も Ca^{++} 排泄量のパターンとよく相似しており、スプリント負荷後の Ca^{++} 排泄の増加がGFRの増加によっているとは考えにくい。

回復初期(30分尿)の Ca^{++} 排出量増加は、尿細管におけるエネルギー依存性の高いナトリウムイオンの能動輸送の減退^{8,9)}に連携した Ca^{++} の輸送(再吸収)減少が大きく寄与している¹⁰⁾と考えられる。さらに、この時期にピルビン酸排泄が異常に多いことからスプリント負荷後の乳酸性酸素負債の消却が進んでいない時期でもあり、アシドシスによる Ca^{++} の再吸収減退が重なった結果であると考えられる。また、今回のスプリント運動負荷による回復初期にかなり強い利尿を呈していることから、重量物リフティング運動負荷による尿中 Ca^{++} 排泄増加¹¹⁾とは同一のメカニズムであるとは考えにくい点もある。呼吸法やガス濃度コントロールによるHypoxiaによる利尿¹²⁾との類似性は否定できないが、スプリント負荷後にナトリウム尿を呈する点で異なっている。

つぎに、スプリント負荷後2時間以上にわたって持続する高 Ca^{++} 排泄は、前記の一過性の尿細管における能動輸送の減退による現象とは違っていると考える。つまり、Controlと60m走を除いて、60分尿では Ca^{++} 濃度が安静レベルをはるかに超えて急上昇し60分尿または90分尿でピークをなしていることから、運動後のPTH(副甲状腺ホルモン)レベルの低下にともなうリン酸減少によって、尿細管の Ca^{++} 輸送が阻害されることが関わっていると考えられる。Control、60m、100mでは主運動負荷後2時間以上経つと Ca^{++} 排泄量は安静レベルへ回復しているが、とくに、200m~800mのスプリント負荷後には150分経過しても安静レベルへ回復しているとはいえない。数分以内のアネロビック運動でもその乳酸性酸素負債の発生が大きくなる場合には、カルシウム代謝に与える影響は酸素負債消却に要する時間以上に長時間後遺的に続くといえる。

2. スプリント負荷後のリン酸排泄変動

全ての種目に対応するw-up尿中リン酸排泄は糸球体濾過量の減少傾向があるにもかかわらず、rest尿とほとんど同レベルに保たれている。これは12分間走テスト後に見られる現象⁶⁾とよく似ており、無酸素的要素がさほど強くない運動後の特徴であると考えられる。しかし、全てのスプリント負荷後30分尿のリン酸排泄量は一過性に急激に増加し、60分ないし90分以後ではrest尿レベルより少ない排泄量になっている。この回復初期の30分尿に現れるリン酸排泄の増加は、走行距離によってその程度が違っていることや、先述したとおりCreatの排泄量やリン酸/Creat比の推移から糸球体濾過量の急増によるとは考えられず、スプリント負荷後の尿細管における Na^{+} 能動輸送のためのエネルギー供給不足にともなう再吸収減退によるナトリウム利尿^{8,9)}との関連性が考えられる。さらに、リン酸排泄量とピルビン酸排泄量との間に有意の相関が認められ($r = 0.394$, $n = 280$, $p < 0.001$)、アネロビック運動負荷による血液酸性化、 PCO_2 の上昇や尿細管内 HCO_3^- 濃度の増加によるリン酸再吸収の直接的な阻害⁷⁾も要因となっていると考えられる。また、急激な運動負荷に対する腎の反応が、運動強度と負荷時間の長さによっても差がでる

こと^{9,13)}と関連している。

スプリント負荷後 60 分以上経った回復期後半の尿中リン酸排泄量の減少は、尿量が安静時と同等かそれ以下で推移している状態にもかかわらずリン酸濃度が負荷後 90 分尿を境に急に低下していることや、PTH レベル低下による低リン酸血傾向にともなう尿細管へのリン酸負荷量減少と、アシドシスからの脱却によるリン酸再吸収増加が要因となっている。

3. 総括

尿中成分排泄量の変動は、糸球体濾過量と尿細管等による再吸収量や分泌量によって決まることはいままでの間もない。かなり長時間の運動中には糸球体濾過量の減少している時間も長く、その結果単位時間当たりの尿量や尿中成分排出量も減少するという一般的な説明は理解しやすい場合もある。ところで、一過性の急速運動負荷による尿量・尿中成分排泄量の変動に関する知見はまれであり^{9,11,13)}、この種の運動による糸球体濾過量や尿細管における再吸収機能に対する直接的な影響と、その持続時間となるとほとんど知られていないようである。もっとも、運動の生体を与える影響という場合、短時間の運動であれば運動中のリアクションだけではなく、運動後に後遺的にもたらされる現象を含めて考えるべきであり、時間的な持続性からいえば運動後の変化をこそ確実に調べる事が重要である。

今回は一過性のアネロビック運動負荷の影響時間について、スプリント負荷後の椅座安静中の尿中 Ca^{++} とリン酸排泄変動を調べた。これらのイオン排泄は今回の Control として示した定常状態を保ってなされるような運動後⁶⁾とは明らかに異なり、回復初期にかなり大きく増加している。スプリント負荷後回復初期の Ca^{++} 排泄増加や、一過性の phosphaturia は PTH レベル上昇等のホルモン環境変化によっているとするより、尿細管におけるこれらのイオンの再吸収がナトリウムとの Co-transport 機構による部分もあることから、エネルギー依存度の高いナトリウムイオン能動輸送減退による部分も多分に含まれていると考えられる。また、 Ca^{++} の場合はその後回復時間が進んでも、平常レベルをはるかに超えた高排泄量が長時間続いていることは、サイクリング運動による脱水時の回復初期の 2 時間で水分補充をする飲料に Ca や Mg イオン含有濃度が低い場合、尿からの損失を補いきれないという Brouns F. 達¹⁴⁾の知見をみるまでもなく、生体にとって有利であるとは考えにくい。

高強度のアネロビック運動の生体におよぼす影響は、尿中カルシウムとリン酸排泄変動からみた場合、エネルギー系の指標である酸素負債の消却に要する時間よりはるかに長く、負荷後 2 時間以上経っても持続しているとみるべきである。内部環境の急激な混乱の解消とともに、この時期に二次的に蒙ったであろう負の要因に対応する各種機能の増強刺激となることが考えられる。

結 論

一過性の無酸素的（アネロビック）運動負荷の生体への影響時間を、尿中カルシウム (Ca^{++}) とリン酸排泄変動を指標として考察した。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, 100m, 200m, 300m, 400m, 800m, 1500m の 7 種の疾走とウォーミングアップのみを行う Control の 8 種とした。全種目のウォーミングアップ (w-up) によって Ca^{++} 排泄が安静時より減少したがリン酸排泄はほとんど変化しなかった。疾走後 30 分尿（時間的には疾走負荷時間を含む）では全種目で両イオンとも増加する傾向を示したが、種目間に大きな差がみられた。とくに、乳酸性酸素負債の占める割合の大きい種目（200～400m）で Ca^{++} は

安静時値の2倍程度、リン酸も非常に多い6~7倍の一過性の Phosphaturia とみられる高排出量を示した。リン酸排泄はこれらの種目も他の種目も60分尿以後では急激に減少し、回復後期では安静時より低いレベルで推移しているが、 Ca^{++} は200~400mでは高排泄量を保ったまま、その他の種目では90分ないし120分尿でピークをなして、以後減少傾向を示し回復に向かっている。これらの変化は、糸球体濾液量の増減によっているというような単一の要因ではなく、まず、回復初期(30分尿)の Ca^{++} とリン酸の排泄増加は、ナトリウムイオンとの cotransport 機構へのエネルギー供給不足による尿細管の能動輸送減退に連携している部分がある。つぎに、長時間続く Ca^{++} 排泄増加の要因はアシドシスによる尿細管の直接的な再吸収阻害と、PTH(Parathormone)レベル低下に伴う低リン酸血傾向による Ca^{++} 再吸収減退が考えられる。これらのことから、乳酸性酸素負債への依存度の高いアネロビック運動負荷後では、たとえ負荷時間が短くても、負荷後2時間以上その影響が続いている。

文 献

- 1) Merle L. Foss and Steven J. Keteyian, Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport Sixth Edition, pp48-71 (1998), WCB/McGraw-Hill, Boston.
- 2) Sarkar B. C. and Chauhan U.P.S., A new method for calcium in biological materials. *Anal. Biochem.* **20**, 155-166 (1967).
- 3) 吉川春寿, 高橋泰常, 燐酸代謝実験法, pp77-82 (1958), 廣川書店, 東京.
- 4) 金井 泉, 金井正光, 臨床検査法提要 第28版, ppVII-38~VII-42 (1978), 金原出版, 東京.
- 5) 小郷克敏, 有江醇子, 長尾愛彦, 天本宏太郎, 林 宏, 澤田芳男, ピルビン酸代謝に関する研究 第1報 尿中ピルビン酸の定量法. 体質医研報 **22**, 77-82 (1971).
- 6) 小郷克敏, 新立義文, 松元尚大, 井本岳秋, 林 宏, 瀬井起生, 澤田芳男, 女子ハンドボール選手の12分間走による尿中カルシウムならびにリン酸の変動. 体質医研報 **33**, 233-241 (1983).
- 7) Donald J. Marsh, Renal Physiology, pp138-150 (1983), Raven Press, New York.
- 8) Fujimoto M., Nash F. D. and Kessler R.H., Effects of cyanide, Q_0 , and dinitrophenol on renal sodium reabsorption and oxygen consumption. *Am. J. Physiol.*, **206**, 1327-1332 (1964).
- 9) 小郷克敏, 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. 熊本大学教育学部紀要 **44**, 77-85 (1995).
- 10) 小郷克敏, 井本岳秋, 新立義文, 松元尚大, 瀬井起生, 野見山俊一, 澤田芳男, 走運動による尿中カルシウムならびにリン酸排出の変動. 体力科学, **27**, 187-188 (1978).
- 11) Noriko Ashizawa, Rei Fujimura, Kumpei Tikuyama, and Masashige Suzuki, A bout of resistance exercise increases urinary calcium independently of osteoclastic activation in men. *J. Appl. Physiol.*, **83**, 1159-1163 (1997).
- 12) Wulf Hildebrandt, Andy Ottenbacher, Markus Schuster, Erik R. Swenson, and Peter Bärtsh, Diuretic effect of hypoxia, hypocapnia, and hyperpnea in humans: relation to hormones and O_2 chemosensitivity. *J. Appl. Physiol.*, **88**, 599-610 (2000).
- 13) 小郷克敏, 古財宏昭, 井本岳秋, 疾走時間と運動後尿量変動の関係. 熊本大学教育学部紀要, **34**, 95-103 (1985).
- 14) Brouns F., Kavacs E.M.R., Senden J.M.G., The effect of different rehydration drinks on post-exercise electrolyte excretion in trained athletes. *Int. J. Sports Med.*, **19**, 56-60 (1998).