女子ハンドボール選手の12分間走による尿中有機酸排出変動

小 郷 克 敏* 新 立 義 文** 野見山 俊 一***
松 元 尚 大**** 緒 方 昇* 井 本 岳 秋***
瀬 井 起 生* 澤 田 芳 男*

THE CHANGES IN URINARY ORGANIC ACIDS OF FEMALE HANDBALL PLAYERS AFTER 12-MINUTE RUNNING

KATSUTOSHI OGO, YOSHIFUMI SHINDATE, SHUNICHI NOMIYAMA,
HISAHIRO MATSUMOTO, NOBORU OGATA, TAKEAKI INOMOTO,
KISEI SEI AND YOSHIO SAWADA

Fourteen female handball players who were candidates for Olympic representative team were asked to run 12 minutes, and the relationship between the variation of the urinary components and the variations of the running speed and the heart beats was researched.

The obtained results in short are in the following :

1) The covered distance of the 12-minute running was from 2,385 meters to 3,050 meters, and the average was $2,830 \pm 196.6$ meters.

2) The heart beat rate quickly recovered for about 5 minutes after running, and then gradually reduced ; after 30 minutes the rate was considerably higher than the level before the running in many cases.

3) The urinary volume was obviously less after the running than that before it.

4) The 1-hour after urine including the running time contained much pyruvates and lactates exhausted therein, and then the excretion amount reduced to the previous level. The ratios of Pyruvic acid/Creatinine and Lactic acid/Creatinine showed similar tendencies. The ratio of Pyruvic acid/Creatinine before the running against that after the running showed positive correlation with the running speed more than 230m/min., but showed a negative correlation clearly with the recovering rate of the heart beat after 30 minutes being higher than 60%. It suggests that the excretion of urinary pyruvate increase with more anaerobic factors for energy production under the conditions of the higher speed running and the larger oxygen debt.

5) The urinary citrate obviously decreased just after the running, but in recovered considerably in the urine obtained after 2 hours. The ratio of Citric acid/Creatinine was low just after the running. The variations appears not to be simply due to the reduction of renal clearance.

6) The urinary creatinine tended to reduce in the urine obtained 1-hour after the running, and particularly with the urinary pyruvate more than $50\mu\text{g/ml}$ there was observed clear negative correlation with creatinine which showed lower concentration with more anaerobic factors ; it suggests some reduction of renal clearance.

(J. Physical Fitness Japan 1978, 27 : 64~72)

* 熊本大学体質医学研究所

** 熊本県立教育センター

*** 熊本商科大学

**** 熊本大学教養部保健体育

Department of Morphology, Institute of Constitutional Medicine, Kumamoto University.

Kumamoto Research Center for Education.

Kumamoto University of Commerce.

Department of Health and Physical Education, Faculty of General Education, Kumamoto University.

生体に運動を負荷した場合、その運動を遂行するには個体差があるものと思われる。この差の中にはエネルギー供給の質的な差異も含まれている。つまり、有酸素的部分と無酸素的部分があり、それらが占める比率に差があることはよく知られたことである⁷⁾。一般に身体作業能力を規定するものとして最大酸素摂取量があげられており、これが、個人の持続的作業能をあらわす指標であることは常識とされている。しかし、ほとんど同程度の最大酸素摂取量を持ちながら競技記録の大きく異なることのある¹⁰⁾ことも事実であり、これは無酸素的作業能に負うところが大きいことは十分考えられることである。

そこで今回は、一流女子ハンドボール選手の作業能力を測るため12分間走を実施し、その前後の尿中ピルビン酸 (pyruvic acid ; pyruvate あるいは Pyr と略記する)、クエン酸(citric acid ; citrate あるいは Cit と略記する)、乳酸 (lactic acid ; lactate あるいは Lac と略記する) およびクレアチニン (creatinine あるいは Creat と略記する) の排出変動を調べ、走速度、脈拍変動との関係とともに、腎機能の変化状況の検討を試みた。

研究 方 法

1. 被験者および測定時期

被験者は全日本ハンドボールチームに所属する20歳から25歳までの女子選手14名で、1976年モントリオール・オリンピックに出場する日本代表チームの候補選手のうち12分間走テストを実施した者である。12分間走テストは1976年4月15日の午前中に熊本県山鹿市熊本県立教育センター内のアスファルト舗装された200mコースで行なった。

Table 1. The physical profiles of subjects

Subject	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
1. S.W.	24	167.6	73.8
2. H.K.	25	151.6	49.8
3. N.S.	25	162.5	56.7
4. A.K.	25	162.0	56.5
5. M.K.	21	163.1	64.0
6. E.Y.	23	159.7	60.1
7. H.M.	21	162.8	62.4
8. E.K.	20	167.3	72.5
9. N.K.	23	161.3	60.0
10. N.K.	20	165.2	65.1
11. H.O.	21	163.8	63.5
12. H.W.	23	159.9	64.1
13. H.S.	23	170.1	68.2
14. K.K.	21	165.6	65.9

各被験者の身長、体重および年齢は表1に示すとおりである。

2. 脈拍数測定

脈拍数は安静時および走後各時期とも各被験者ごとに用手法で測定した。

3. 採尿時期および尿中成分測定

被験尿は図1に示すとおり、12分間走テスト前に安静時尿を、回復時尿としてはテスト後1時間目と2時間目にそれぞれ採取した。

尿中 pyruvate は 2, 4-dinitrophenylhydrazone とし, xylene で抽出を行う方法⁵⁾で測定した。

尿中 citrate は G.B. Jones¹⁾の方法を若干改変した方法⁶⁾で測定した。

尿中 lactate は乳酸脱水素酵素と β -NAD を用い紫外部吸収の変化による方法によって測定した。

Fig. 1 Time schedule for collection of urine

尿中 creatinine はピクリン酸を用いる方法によって測定した。

成 績

1. 12分間走距離について

各被験者の12分間の走距離および平均速度は表2に示すとおりである。被験者番号12, 13および14はひざや腰に若干の故障を訴えている。故障のない11名については Cooper⁷⁾ の体力区分でVのランクにあり, そのうち9名は男性の体力区分でみてVのランクに入っていて, かなり速いスピードで走っている。

Table 2. Distance in meter covered in 12 minutes

Subject	Distance (m)	Average speed (m/min)	Rank by Cooper ⁷⁾	
1. S.W.	2885	240.4	V* ^{1, a)}	V* ²
2. H.K.	2932	244.3	V	V
3. N.S.	3050	254.2	V	V
4. A.K.	3000	250.0	V	V
5. M.K.	2870	239.2	V	V
6. E.Y.	3000	250.0	V	V
7. H.M.	3027	252.3	V	V
8. E.K.	2840	236.7	V	V
9. N.K.	2970	247.5	V	V
10. N.K.	2790	232.5	V	IV
11. H.O.	2780	231.7	V	IV
12. H.W.	2548	212.3	IV ^{b)}	IV
13. H.S.	2548	213.3	IV	IV
14. K.K.	2385	198.8	IV	III ^{c)}
Mean ± S.D.	2830.4 ± 196.6	235.87 ± 16.38	V	V

*¹: Fitness category for women (under 30 years of age)

*²: Fitness category for men (under 30 years of age)

^{a)}: Excellent, ^{b)}: Good, ^{c)}: Fair

2. 脈拍の変化について

12分間走後の脈拍数の変化は回復率として図2に示す。回復率は{(走後1分目脈拍数-走後各時期脈拍数)/(走後1分目脈拍数-走前安静時脈拍数)}×100で求めたものであり, 30分後では91%から57.9%の間にあり, 回復状態に大きな差がみられる。

3. 尿中成分排出量について

Fig. 2 Change in recovery rate of heart beat

Table 3. Changes of urinary substances before and after 12-minute running

(n=14)

collection period substances	Before running	After running	
		~1hr	1 ~ 2 hr
Urine volume (ml/hr)	57.66** ±19.49	32.34** ±11.97	41.14** ±13.46
Pyruvate (mg/hr)	1.01** ±0.25	**5.74* ±4.60	2.09* ±2.22
Citrate (mg/hr)	76.34*** ±34.71	***34.29*** ±22.10	62.05*** ±23.09
Lactate (mg/hr)	3.71** ±1.29	**87±53** ±83.36	7.51** ±10.00
Creatinine (mg/hr)	49.30** ±13.78	44.82*** ±16.09	**63.87*** ±13.15

Mean ± S.D.

*...P<0.05, **...P<0.01

, *...P<0.001 between same marks

尿中各成分の平均値と標準偏差は表3および図3に示すとおりである。

尿量は走前で最も多く, 走後各時期尿量との間にそれぞれ1%の危険率で有意の差が認められる。とくに走後1時間尿で大きく低下している。

Pyruvate は走後1時間尿で非常に多量排出され, 2時間後尿ではかなり回復している。走後1時間尿と走前尿では1%, 走後1時間尿と2時間尿との間には5%の危険率で有意の差が認められる。

Citrate は走後1時間尿で排出量は減少し2時

Fig. 3 Changes in excretion of pyruvate, citrate, lactate and creatinine in urine before and after 12-minute running test

間尿では回復している。走後1時間尿と他の2時期の尿との間にそれぞれ0.1%の危険率で有意の差が認められ、12分間走によって尿中 citrate は明らかに減少することが認められる。

Lactate は走後1時間尿で非常に多量排出されるが、2時間後尿ではほとんど走前レベルに回復している。走後1時間尿と他の2時期尿との間に1%の危険率で有意の差が認めらる。

Creatinine 排出量は走後1時間尿では走前尿よりわずかに減少する傾向がみられるが有意の差があるとは認められない。しかし、走後尿ではかなり多量の排出がみられる。走後2時間と走前尿との間には1%の危険率で、走後1時間尿と走後2時間尿との間には0.1%の危険率で有意の差が認められる。

4. 尿中成分の比について

各尿中成分比の平均値と標準偏差は表4および

Table 4. Changes of ratios before and after 12-minute running (n=14)

Collection period Ratios	Before running	After running	
		~1hr	1 ~ 2 hr
Pyr/Creat ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	***20.91 ± 2.94	***146.06 ^{...} ± 102.61	30.87 ^{...} ± 24.85
Cit/Creat	***1.599 ^{...} ± 0.375	***0.735 ^{ooo} ± 0.316	^{...} 0.921 ^{ooo} ± 0.368
Lac/Creat	0.087 ^{**} ± 0.068	^{**} 2.233 ^{..} ± 1.767	0.106 ^{..} ± 0.117
Lac/Pyr	***4.15 ^o ± 3.00	***13.23 ^{...} ± 5.45	^o 3.29 ^{...} ± 2.27

Mean $\pm$ S.D.

^o... $P < 0.05$, ^{**}, ^{...} $P < 0.01$,

^{***}, ^{...}, ^{ooo}... $P < 0.001$ between same marks

図4に示すとおりである。

Pyr/Creat は走後1時間尿では非常な高値を示

Fig. 4 Changes in ratios before and after 12-minute running test

しており、走後2時間尿では回復の傾向を示している。走前尿と走後2時間尿ならびに走後1時間尿の間にはそれぞれ0.1%の危険率で有意の差が認められる。

Cit/Creat は走後1時間尿で最も低値であり、他の2時期尿との間に0.1%の危険率で有意の差が認められ、また、走後2時間尿も走前尿より低値で、この間にも0.1%の危険率で有意の差が認められる。

Lac/Creat は走後1時間尿で非常に高い平均値を示しているが、分散もかなり大きい。しかし、他の2時期との間に1%の危険率で有意の差が認められる。走後2時間尿では走前レベルに回復している。

Lac/Pyr は走後1時間尿で他の2時期尿よりはるかに高値を示し、いずれとも0.1%の危険率で有意の差が認められる。また、走後2時間尿と走

前尿との間には5%の危険率で有意の差が認められ、走後2時間尿では走前尿レベルより低い値を示している。

考 察

Cooper³⁾により提唱され、いわゆる Endurance performance の指標として広く行われている12分間走を全日本ハンドボール女子チームの各被験者に負荷し、各人がどのような作業の質で遂行しているかを尿中成分の排出変動からとらえてみた。嫌氣的代謝の終末産物である pyruvate および lactate と、好氣的代謝の過程である TCA サイクル(クエン酸回路)の文字通りの基質である citrate の増減と、さらには腎クリアランスの内因性指標として利用され、しかも、筋活動に関連性の深い creatinine の尿中への排出変動を調べ検討した。

表3および図3に示すように、pyruvate は走後

1時間尿では大きく上昇を示しているが、その増加程度の分布は非常に広く、同じ12分間走を完成するにも、いわゆる酸素負債の占める比率は広い範囲に分布していることがうかがえる。

これらとは対照的に citrate は走後1時間尿で急激な減少がみられ、12分間走運動に対するエネルギー供給が有酸素的なものに大きく依存していることからみても、血中 citrate は pyruvate や lactate のように蓄積しているとは考えられない。

また、creatinine の排出も走後1時間尿で減少する傾向があるが、この creatinine の排出減少はわずかなものであり、citrate の減少程度よりはるかに小さな変化である。これは尿中 citrate の変化が単に腎のクリアランスの低下だけによるものではないことを示唆している。さらに、表4および図4に示す Cit/Creat の変化をみても走後1時間尿では他の時期より明らかに低いことが認められることから、citrate は体内にあまり多量に蓄積されるものではなく、さらに酸塩基平衡との関係¹¹⁾から尿への排出の減少となって現れていることを示唆している。

尿中 pyruvate や lactate 排出量は腎のクリアランス能が低下しているにもかかわらず大きく増加しており、体内の蓄積が非常に多いことがうかがえる。また、急激な運動によって血中 Lac/Pyr は上昇するとされている⁹⁾が、12分間走によって尿中 Lac/Pyr は明らかに上昇しており生体内の嫌気の状態をあらわしているもののようである。

尿中 pyruvate および lactate の排出量、ならびに、それぞれの creatinine との濃度比が走後に広い範囲に分布しているのであるが、それらの代表的な指標として Pyr/Creat の上昇程度(走後1時間/走前)と走スピードの関係をもとに図5に示すとおりである。230m/分以上のスピードでは Pyr/Creat はかなり高値を示しているが、230m/分以下では比較的低値を示すようである。しかし、さらに遅いスピードではかえって比の上昇する可能性もみられる。これは男子の10マイルロードレース時にみられる運動強度[m/sec]・[kg]と Pyr/Creat の変化は変曲点をもつ2相性を示すという関係⁴⁾とよく似たものである。

なお、230m/分以上のスピードでは走スピード(X)と Pyr/Creat の前後比(Y)の相関係数は $r =$

Fig. 5 Relation between running speed and increment (After/Before ratio) of Pyr/Creat

Fig. 6 Relation between recovery rate of heart beat and increment times of Pyr/Creat

0.6295 ($P < 0.05$), 回帰式は $Y = 0.463X - 105.157$ で示される。

また、12分間走後30分の脈拍回復率と Pyr/Creat の前後比との関係は図6に示すとおりである。これから、心拍の回復の悪いほうに Pyr/Creat の大きな上昇を示す者と小さな変化しか示さない者とのはっきりした二つのグループのあることがわかる。回復率が60%以下の3例を除くと、回復率の高い者はほど Pyr/Creat の走前後における変化は小さく、無酸素的作業の占める比率は少なくなるものようである。回復率が60%を越える11例についての脈拍回復率(X)と Pyr/Creat 前後比(Y)の相関係数は $r = -0.8527$ ($P < 0.001$), 回帰式は $Y = -0.43X + 41.09$ で示される。

以上のことから12分間走でも走スピードが速く、走後心拍の回復が遅い場合に尿中へ pyruvate や lactate の排出が増加している者があるようにみられる。しかし、走スピードとの関係図(図5)からみられるとおり速度の上昇と直線的な関係にあるのではなく、ある閾値をこえると急激に上昇する傾向が認められ、無酸素的代謝値の高い者が12分間走で好成績をあげているようである。

生体の無酸素的代謝の指標としての pyruvate と、これと腎機能の一端を表わしている creatinine との関係は図7に示すとおりである。

Fig. 7 Relation between pyruvate and creatinine concentration in urine before and after running

安静時および走後1～2時間尿では、ほとんど pyruvate 濃度は $50\mu\text{g/ml}$ 以下であり、この範囲内では pyruvate 濃度(X)と creatinine 濃度(Y)は相関係数 $r=0.912$ ($P<0.001$)で、回帰式は $Y=0.031X+0.338$ で示される強い正の相関関係が認められる。これらの時期では、両指標の関係は単純な尿の濃縮度によって規定されているようである。しかし、走後1時間尿では pyruvate 濃度はほとんど $50\mu\text{g/ml}$ 以上であり、上記各時期とは逆に pyruvate 濃度(X)が上昇するにつれて creatinine 濃度(Y)は低下する傾向がみられる。pyruvate 濃度が $50\mu\text{g/ml}$ 以上の15例では相関係数は $r=-0.699$ ($P<0.005$)、回帰式は $Y=-0.002X+1.868$ で示される負の相関関係にあることが認められる。運動によって高度に酸素不足の状態

Fig. 8 Relation between urinary pyruvate and citrate

になった場合には腎の creatinine クリアランスが抑圧されることを示唆しているようである。

つぎに、好氣的代謝の代表的なもので、生体の活動エネルギーの大きな部分を供給している TCA 回路の直接の基質である citrate の尿中濃度と pyruvate 濃度の関係を調べた結果は図8に示すとおりである。

走前安静時尿では pyruvate 濃度の上昇とともに citrate 濃度も上昇するような傾向がみられる。しかし、12分間走後1時間尿では pyruvate 濃度が上昇するにつれて citrate 濃度は低下する傾向がみられる。前に述べた pyruvate と creatinine の関係と似ているが、creatinine は走後尿のほうが走前尿より高濃度であることから、citrate 濃度が走前より走後に低下しており、単にクリアランスの変化によるものだけではなく、明らかに運動によるエネルギー代謝系物質の変動の差や酸塩基平衡の影響を受けているようである。

ここで、先に述べた pyruvate と creatinine の関係と同様に pyruvate 濃度によって2群に分けて pyruvate (X)と citrate (Y)の関係をみると、まず、pyruvate が $50\mu\text{g/ml}$ 未満の場合の相関係数は $r=0.376$ ($P<0.1$)、回帰式は $Y=14.220X+1170.151$ で示され、正相関の傾向がみられる。ま

た, pyruvate が $50\mu\text{g/ml}$ 以上の場合の相関係数は $r = -0.701$ ($P < 0.005$), 回帰式は $Y = -2.244X + 1269.930$ で示され, 明らかな負の相関関係が認められる。

加賀谷²⁾によると, 酸素摂取量占有率が $\frac{2}{3}$ 以上のランニングは約6分以上持続されるもので, 陸上競技の5,000m 競走からマラソンまで含まれるとしているが, これは男子のトップランナーのものであり, 今回の女子ハンドボール選手では, これらより短い距離走に匹敵するものと考えられる。また, 表2に示したとおり, 平均速度はほとんどの者が約 14km/時 から 15.2km/時 の間にあり, これは Margaria⁹⁾が示した乳酸性酸素負債の急激に増加する範囲にある。このようなことから, 体内の有酸素代謝の基質である citrate にあまり大きな蓄積がなく無酸素代謝の終末産物である pyruvate の増加していることが尿中排出変動としてあらわれていることは合理的であるように考えらる。

摘 要

オリンピック出場候補女子ハンドボール選手14名の12分間走前後における尿中成分の変動と走速度, 脈拍数変動との関係などを検索し, つぎのような結論を得た。

1) 12分間の走行距離は2385m から3050m までの範囲にあり, 平均値は $2830.4 \pm 196.6\text{m}$ である。

2) 走後の脈拍数の回復は5分頃までは速いが, 以後は緩やかに低下し, 30分後でも走前レベルよりかなり高い例が多い。

3) 尿量は走前より走後に明らかな減少を示している。

4) 尿中 pyruvate および lactate は走行中を含む1時間後尿で非常に多量排出され, 以後回復している。Pyr/Creat および Lac/Creat でみても同様な傾向を示している。

尿中 Pyr/Creat の走前後比は走速度が 230m/分 以上では走速度と正の相関関係を示し, 30分後の脈拍数回復率が60%以上では明らかな負の相関関係が認められ, 走速度が速く酸素負債が大きくてエネルギー産生に無酸素代謝の要素が多いほど尿中 pyruvate の排出が多くなることを示唆している。

5) 尿中 citrate は走直後明らかな減少を示し, 2時間後尿ではかなり回復している。

Cit/Creat でも走直後に低値を示しており, 単純な腎クリアランスの低下による変化ではなさそうである。

6) 尿中 creatinine は走後1時間尿では減少する傾向があり, とくに尿中 pyruvate が $50\mu\text{g/ml}$ 以上では無酸素代謝の要素が多くなるにつれて creatinine は低濃度を示す明らかな負の相関関係が認められ, この状態においては腎のクリアランスの低下があるものようである。

(受付 昭和53年3月30日)

文 献

- 1) G.B. Jones (1967) : Estimation of microgram quantities of citrate in biological fluids. Anal. Biochem., **21**, 286-292
- 2) 加賀谷熙彦 (1978) : エネルギー需給からみた running の特性. 体育の科学, **28**(1), 28-33
- 3) Kenneth H. Cooper (1970) : The new aerobics, M. Evans and Company, New York
- 4) 野見山俊一, 小郷克敏, 沢田芳男 (1975) : 長距離走における尿中成分変動の運動強度との関連性について. 九州体育学会抄録, **3**(2), 1-2
- 5) 小郷克敏, 有江醇子, 長尾愛彦, 天本宏太郎, 林 宏, 沢田芳男 (1971) : ビルビン酸代謝に関する研究 第1報 尿中ビルビン酸の定量法. 体質医研報, **22**, 77-82
- 6) 小郷克敏, 有江醇子, 長尾愛彦, 林 宏, 緒方 昇, 沢田芳男 (1975) : ビルビン酸代謝に関する研究 第4報 自転車エルゴメーター負荷による尿中ビルビン酸とクエン酸の関係について. 体質医研報, **25**, 99-104
- 7) Philip D. Gollnick and Lars Hermansen (1973) : Biochemical adaptation to exercise : Anaerobic metabolism in exercise and sport sciences reviews Vol. 1 Ed. Jack H. Wilmore, Academic Press, New York and London. p. 1-43
- 8) R. Margaria, H.T. Edward and D.B. Dill (1933) : The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. Amr. J. Physiol. **106**, 689-715
- 9) T.E. Friedemann, C.J. Barborka (1941) : The

- significance of the ratio of lactic to pyruvic acid in the blood after exercise. J. Biol. Chem., **141**, 993-994
- 10) 山崎省一, 青木純一郎(1977): 長距離走者の競技記録と無酸素的能力. 体力科学, **26**, 87-95
- 11) Adrian C. Kuyper and H.A. Mattill (1933): Some aspects of citric acid metabolism. J. Biol. Chem., **103**, 51-60