

# 身体活動時における尿中一酸化窒素化合物 (NO<sub>X</sub>) の動態とその生理的意義の解明

東京医科大学	友田 燁 夫
(共同研究者) 同	森 口 哲 史
同	小田切 優 子
同	村 瀬 訓 生
同	下 光 輝 一

## Investigation for the Physiological Significance of the Dynamic Changes in Urinary Nitric Oxide Metabolites (NO<sub>X</sub>) During Physical Activity

by

Akio Tomoda

*Department of Biochemistry,  
Tokyo Medical University*

Tetsushi Moriguchi, Yuko Odagiri,

Norio Murase, Teruichi Shimomitsu

*Department of Preventive Medicine and  
Public Health, Tokyo Medical University*

### ABSTRACT

Nitric oxide (NO) plays an important role in vascular homeostasis as a chemical mediator that leads to vasodilation. Present study aims at measuring the urinary variables such as NO<sub>X</sub> (NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and pH, in order to estimate the physiological responses to maximal loading during continuous knee extension. We recruited male volleyball athletes aged 18 or 19 yrs. (n=9) currently in good health. Subjects performed 30 % of a one repetition maximum (RM) knee extension until complete fatigue; 2 weeks later they performed

80 % of the same protocol. On the day of the experiment, the subjects' nutritional intake consisted only of water. The urine samples were collected at beginning of experiment and then three times every one hour. We measured the levels of urinary  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , creatinine and urinary pH and estimated the changes in these variables during exercise loading. The levels of urinary  $\text{HCO}_3^-$  and urinary pH decreased, 30 min after cessation of 30 % 1 RM (repetition maximum) loading, but increased significantly and continuously for 2 hours, thereafter. However, the level of  $\text{NO}_x$  was not significantly changed. When 80 % 1 RM loading was given, drastic changes in urinary  $\text{HCO}_3^-$  and pH were observed after the cessation of the loading, i.e. urinary  $\text{HCO}_3^-$  and pH increased 7 times and 1.13 times as much as those of the controls (before exercise loading), respectively, 150 min after the loading. In this case, the level of urinary  $\text{NO}_x$  was also increased by 1.19 times as much as that of the control, however with no significant differences. These results indicate that the changes in urinary  $\text{NO}_x$ , bicarbonate and pH reflect the changes in blood nitric oxide (NO), bicarbonate and pH which are important humoral factors in the blood to maintain the physiological homeostasis in the body. It was also suggested that the measurement of urinary  $\text{NO}_x$ , bicarbonate and pH may be useful for the estimation of the events in the body after the extreme exercise loading.

## 要 約

一酸化窒素 (NO) は血管拡張などの作用を示す重要な血管作用因子であることが知られている。本研究では、持続的膝伸展運動により最大負荷を与え、それに対する生体反応を評価するために、尿中の一酸化窒素代謝物 ( $\text{NO}_x$ ) と尿の pH の変動の測定を行った。本試験には 18 歳および 19 歳の 9 名の男子バレーボール選手が参加したが、彼らは 30 % および 80 % 最大 (反復) 負荷による膝伸展運動を行い、この運動を疲労困憊になるまで各々、約 110 秒、約 17 秒ほど続けた。その後、彼らは 150 分にわたり、休憩した。尿試料はこれら 9 名の被験者から運動負荷前に 1 回、運動負荷後 150 分の休息期に 4 回採取された。これらの尿試料は  $\text{NO}_x$ 、重炭酸イオン、クレアチニン、pH の測定に用いられた。その結果、30 % 1RM 負荷を受けた被験者の尿の重炭酸イオン、および pH は運動負荷中止後 30 分以内では減少したが、その

後は著しく増加した。この場合、尿の  $\text{NO}_x$  の変動は誤差の範囲内であった。また、80 % 1RM 負荷を受けた被験者の尿の重炭酸イオン濃度、pH の変動は劇的なものであった。すなわち、尿重炭酸イオンは負荷前の対照値と比べ、負荷終了後 150 分で 7 倍に増加し、尿の pH も同様に 1.13 倍になっていた。しかし尿の  $\text{NO}_x$  濃度は負荷前の対照値の 1.19 倍まで上昇していたものの誤差の範囲での変動であった。これらの結果から、尿  $\text{NO}_x$ 、重炭酸イオンおよび pH の変動は血液中の NO、重炭酸イオン、pH の状態を反映していることが考えられる。本試験で行ったような尿中の  $\text{NO}_x$ 、重炭酸イオン濃度、pH などの測定は高強度の運動負荷後におこる生体内反応を推測する場合有効な手段となりうることが示唆された。

## 緒 言

一酸化窒素 (NO) は血管弛緩作用を示すケミカルメディエーターとして血管の恒常性維持のた

めに重要な役割を担っている<sup>1)</sup>。NOは血管内皮に存在する合成酵素によりL-アルギニンがL-シトルリンに変換されるさいに産生される。またNOは化学的刺激以外にも血流量の増加に伴うシエアストレス(ずり応力)等の機械的刺激により血管内産生が高まることが明らかになっている<sup>2)</sup>。身体の活動時には、生体における血液循環量が増加し、血管拡張も著しいので、このNOがどのように変動するかについては運動生理学的に大変興味あることである。長期にわたる運動トレーニングによりNOの血管内動態がどのように変動するかについては多くの研究報告があるが、未だ意見の一致を見ていない。すなわち、Kingswellら<sup>7)</sup>は、長期の運動によりNO基礎産生量が増加し、その結果、血管拡張反応が高まることを報告している。これに対してGreenら<sup>3)</sup>は長期の運動トレーニングによってもNOの基礎産生量は増加しないということ述べている。

一方一過性の膝伸展運動においては、運動中の血流量は運動強度の増加に伴い上昇し、その間おこる筋血管拡張にNOはほとんど関与しないが、回復時、安静時の血管拡張には大きく関与することをSaltinら<sup>9)</sup>は報告している。運動中は骨格筋血流量が増加することから、運動中の血管開存度を規定するNOの作用は注目されてきた。このようなNO産生の動態が運動の種類、強度、運動時間との関係で明らかになれば、スポーツ現場での高強度トレーニング評価や、適度な運動による血管内皮由来生活習慣病の改善などが容易になるであろう。

本研究では、成年男性(学生アスリート)の協力を得て、運動強度の異なる膝伸展運動を行い、疲労困憊にならしめた後の尿中NO<sub>x</sub>、重炭酸イオン、尿pHの経時的な変動について詳しく分析を行った。それらの結果をもとに血液中のNOおよび重炭酸イオンの動態を推測するとともに、これらの液性因子のもつ生理的意義と運動医学にお

ける意義とを検討した。

## 1. 方法

### 1.1 対象

対象は、順天堂大学スポーツ健康科学部に在籍する9名の健康男子(年齢:18歳および、19歳)でバレーボール選手である。全ての対象者は大学付属の学生寮で生活を送っている。対象者の運動習慣は、2-3時間/日、5日/週を行い、バレーボールの競技成績は国内学生でもトップレベルであった。実験は、所属部長および対象者本人に対して、研究目的と内容、尿検体の採取と分析についての十分な説明を行い、了承を得た上で行われた。表1に対象者の全身状態と運動負荷量および安静時の尿中NO<sub>x</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、pHなどを示す。

### 1.2 実験

実験は、学生寮に隣接する順天堂大学スポーツ健康科学部トレーニングセンターおよびバレーボール研究室で行った。実験は2001年8月に、3日間の日程で行った。実験第1日目は身体計測、安静時血圧および心拍数の測定、両膝伸展運動(Knee Extension)の説明および1RM(Repetition Maximum 以下RMと略:1回のみ伸長することができる重量)の計測を行った。実験2,3日目を本実験日とし、運動負荷として30%1RM(2日目)、2週間の間隔をあけて80%1RM(3日目)の両膝伸展反復運動を疲労困憊まで行い、運動前後の尿検体を経時的に採取した。

図1に示すように、本実験日(2・3日目)には、対象者は全員8時に集合し、30分間の安静後、8時30分に第1回目の安静時採尿(負荷前採尿)を行った。9時に負荷運動を開始したが、約2分以内に疲労困憊となった時点で、運動負荷を中止し、その後は椅座位にて休憩させた。9時30分に2回目採尿(運動後採尿)を行った。10時30分に3回目の採尿(回復期)、11時30分に4回目の採

表1 安静時における被験者の全身状態, 尿中NO<sub>x</sub>および重炭酸イオン濃度, 尿pHおよび与えられる運動負荷量

		mean ± SD.
Physical characteristics		
	Age(yrs.)	18.2 ± 0.44
	Height(cm)	178.4 ± 7.17
	Weight(kg)	69.7 ± 4.43
	Lean body mass(kg)	60.85 ± 3.97
	% FAT(%)	12.7 ± 2.80
	Body Surface Area(m <sup>2</sup> )	1.87 ± 0.09
	Heart rate(beats/min)	55.1 ± 7.07
	Systolic blood pressure(mmHg)	103.8 ± 7.42
	Diastolic blood pressure(mmHg)	65.3 ± 10.81
Exercise		
	1RM -Leg Extension-(kg)	149.8 ± 13.51
	30 % 1RM(kg)	44.9 ± 4.05
	80 % 1RM(kg)	119.8 ± 10.81
Urine component		
	NO <sub>x</sub> -Resting Period-(g/g·Cr)	0.066 ± 0.035*
		0.044 ± 0.010**
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Resting Period-(g/g·Cr)	0.101 ± 0.138*
		0.127 ± 0.231**
	pH -Resting Period-	5.964 ± 0.363*
		5.980 ± 0.619**

\* : 実験日2日目 (30 % 1RM 負荷日)  
 \*\* : 実験日3日目 (80 % 1RM 負荷日)

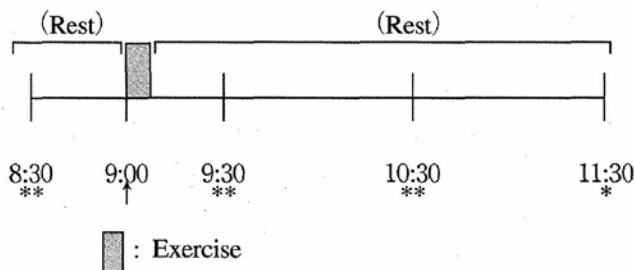


図1 運動負荷および尿採取に関するプロトコール  
 \*\* : 採尿および200ml 水分摂取 \* : 採尿

尿(回復期)を行い, 実験を終了した. なお, 被験者は, 実験前日の21時以降からは水以外の飲食を避け, 実験当日は絶食, 水分はコントロールして与えられた. 脱水への配慮と尿量を得るために, 被験者は1-3回目の採尿時にそれぞれ200mlの水を経口摂取した. 運動負荷時以外は, 座位安静を保った.

### 1. 3 運動負荷試験

運動はトレーニングセンター内の Knee Extension Machine (ノーチラス社; 東京) を用い, 両膝伸展反復運動を行った(図2). 1 Repetition Maximum

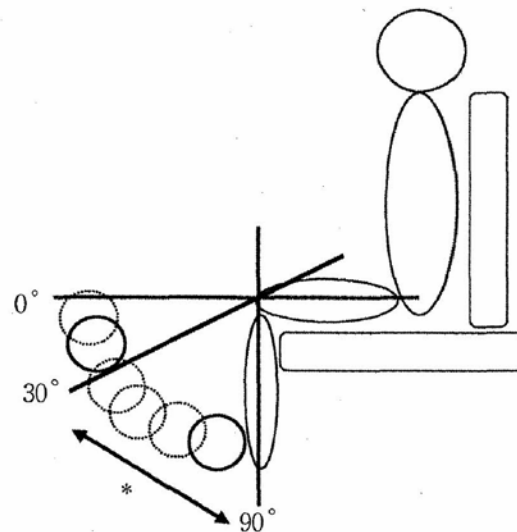


図2 膝伸展運動の概略図  
 \* : 両膝伸展範囲

測定日(実験1日目)に, まず, 被験者の通常のトレーニングデータをもとに膝伸展可能な最大重量を推測し, 開始重量を設定した. その値から2.5kg 単位で微調整を行いながら, 被験者に最大努力を行わせ膝90度屈曲位から30度の位置まで伸展できなくなる直前の最大重量を実測し, これを1RMとした. 2日目の運動負荷は30 % 1RMの

重量 (kg), 3日目は80% 1RMの重量 (kg) を行い, 屈曲位90度から30度の位置まで伸展できなくなった時点で疲労困憊 (伸展不可) とした. 伸展の速度は, 1伸展/秒で行った. 運動負荷試験は両日とも前述のように9:00に開始した.

#### 1. 4 尿検体の測定

尿は一定時間ごとに真空採尿管に採取し, 翌日以降の分析まで密封のまま4℃にて保存した. 開封後すぐに尿のNO<sub>X</sub> (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), pH, 重炭酸イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), およびクレアチニン (以下Cr) の測定を行った. NO<sub>X</sub>は, NO<sub>X</sub> analyzer (FIA 機器; 東京) を用いてグリース法により測定した<sup>4)</sup>. 尿のpHとHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の測定は, Blood gas electrolyte analyzer 8800 (日立計測器; 東京) を用いて行った<sup>10,11)</sup>. CrはJaffe法に従って分光学的に測定した<sup>5)</sup>. Crは尿量に関係なくほぼ一定量が尿中に排泄されるため, Cr比による尿濃縮, 希釈の補正に用いた. 尿NO<sub>X</sub>濃度, および重炭酸イオン濃度はCr濃度をベースにして表示した.

#### 1. 5 大気中CO<sub>2</sub>の測定

実験施設内のCO<sub>2</sub>濃度はCO<sub>2</sub> analyzer (FUJI 電気; 東京) を用いて, 実験当日の2日間, 実験開始から1時間ごとに測定した<sup>10,11)</sup>.

#### 1. 6 統計

30% 1RMと80% 1RMの膝伸展運動を行ったときに得られる尿中成分の濃度比較を行う場合は,

対応する成分についてt-検定を行い, 統計処理を行った. また, 運動負荷前と運動負荷後の尿中成分の濃度の比較には, t-検定と順位検定を行い, 統計処理した. また, 尿中各成分 (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH, NO<sub>X</sub>) の間の相関性を検討する場合には回帰分析を用いた.

## 2. 結果

表1に被験者の身体特性, 安静時血圧・心拍数および, 膝伸展運動結果などを示した. 膝伸展運動1RMは, 除脂肪体重と有意な相関が見られ, 除脂肪体重が多いほど, 1RMの値は高値を示した ( $p < 0.02$ ). 本実験2日間の安静時 (8:30) における尿中NO<sub>X</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度および尿pHの平均値は, 次の通りであった. 2日目 (30% 1RM 負荷日) は, NO<sub>X</sub>:  $0.066 \pm 0.035$  (g/g·Cr); HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>:  $0.101 \pm 0.138$  (g/g·Cr), 尿pH:  $5.964 \pm 0.363$ であり, 3日目 (80% 1RM 負荷日) は, NO<sub>X</sub>:  $0.044 \pm 0.010$  (g/g·Cr), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>:  $0.127 \pm 0.231$  (g/g·Cr), 尿pH:  $5.980 \pm 0.619$ であった. これらの値と被験者の身体特性, 安静時血圧との間で, 有意な関連性は見られなかった.

被験者の30% 1RMは平均 $44.9 \pm 1.43$ kgであり, 平均伸展回数54.4, 運動継続時間約110秒で疲労困憊に至った. 30% 1RM負荷時の尿成分の変動を図3に示した. 運動負荷前から運動終了後約30分で尿NO<sub>X</sub>濃度は約20%減少したが (9人中8人減少,  $p < 0.02$ ), 60分後に増加に転じ (9人中8人増加,  $p < 0.01$ ), 150分後には運動負荷前の値

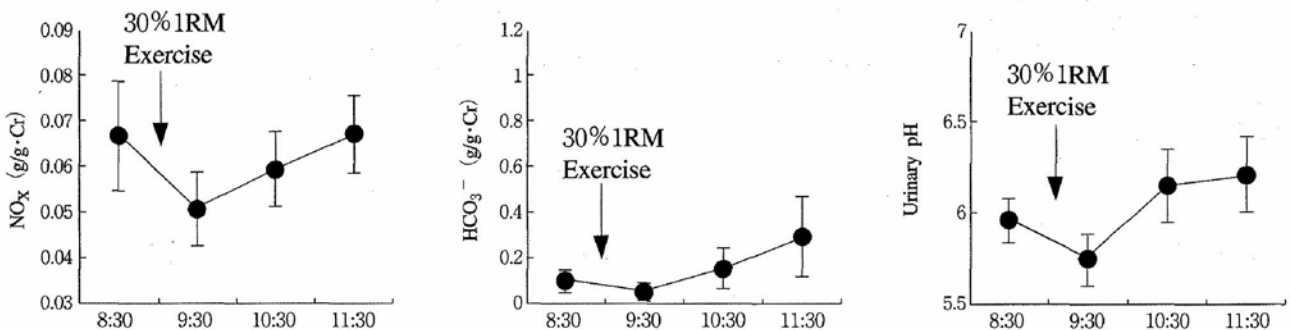


図3 30% 1RM膝伸展運動の負荷前および負荷後の尿中NO<sub>X</sub>濃度, 重炭酸イオン濃度, pHの経時的変動

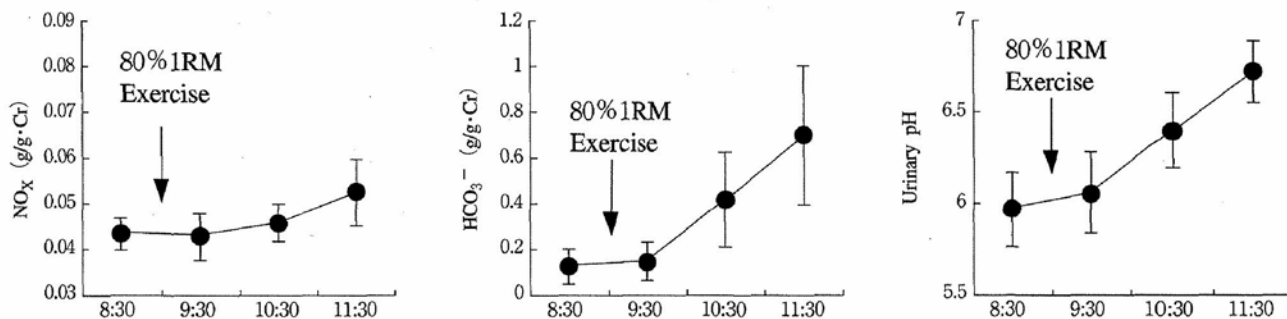


図4 80% 1RM膝伸展運動の負荷前および負荷後の尿中NO<sub>x</sub>濃度、重炭酸イオン濃度、pHの経時的変動

から10%の増加を示した。これらの変動は絶対値では有意の差はなかった。尿重炭酸イオン濃度は、運動負荷前から運動後30分で44%の減少傾向が見られたが(9人中8人減少,  $p < 0.09$ )、その60分後には全被験者が有意に運動負荷前の値の150%にまで増加し( $p < 0.01$ )、150分後には300%にまで増加した。また、尿pHは運動後30分で有意に3.5%低下し( $p < 0.05$ )、運動終了後150分には負荷前より4%も有意に上昇した( $p < 0.01$ )。

被験者の80% 1RMは平均 $119.8 \pm 3.82\text{kg}$ で、疲労困憊までは、伸展回数8.5、運動継続時間約17秒であった。尿成分の変動を図4に示した。尿中NO<sub>x</sub>濃度は、運動負荷前から運動負荷中止後約30分で有意な変動はなかった。尿重炭酸イオン濃度は、運動直後から顕著な増加傾向を示し、運動90分後には400%にまで増加し、150分後は運動負荷前の値の700%にまで有意な増加を示した(全被験者増加,  $p < 0.01$ )。この場合、著しい例では1200%までも増加がみられている。また、尿pHについては運動直後から増加傾向が見られ、負荷前の値から150分までに全被験者が有意な上昇(12.7%増)を示した。

実験施設内の炭酸ガス濃度は、両実験日とも650ppm - 800ppmの間で変動したが、実験開始から終了まで有意な上昇は見られなかった。

### 3. 考察

本研究では9名の男子バレーボール選手を被験

者として、異なる強度の負荷(44.9kgおよび119.8kg)を足関節部分にかけ、両膝伸展運動を極限まで行わせた場合にいかなる生体反応がおこるかを、重炭酸イオン、NO<sub>x</sub>(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)などの尿成分を中心に分析して検討を行った。尿のNO<sub>x</sub>濃度は血液中に生産された一酸化窒素(NO)の量を反映すると考えられ、また尿の重炭酸イオン濃度は血液中の重炭酸イオン濃度、血液pH、あるいは末梢組織から血液中に排出される炭酸ガス量などを反映すると考えられる<sup>8,10,11</sup>。それ故、これら尿のNO<sub>x</sub>や重炭酸イオン濃度の変動の測定は、生体反応に由来する血液中の液性因子の変動を推定するのに有効な手段であるといえる。

9名のバレーボール選手に30% 1RM(平均44.9kg)および80% 1RM(平均119.8kg)の負荷を足首にかけ、両足膝伸展運動を疲労極限まで行わせると、負荷前に比べ尿中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度および尿pHは大きく変動した。30% 1RMの場合では、重炭酸イオン濃度は負荷終了後30分以内では、負荷前(0.101g/gCr)と比べいくぶん減少するが、その後120分で約3倍の0.3g/gCrまで上昇している(図3)。このような尿中の重炭酸イオン濃度の上昇は、80% 1RM負荷では、さらに著しく見られた(図4)。すなわち、負荷後30分以内では、ほとんど変動がなかったが、その後60分で4倍に、120分後では7倍(0.77g/gCr)まで上昇した。一方、尿のpHの変動も重炭酸イオン濃度の変動と完全に並行しており、尿pHの上昇は急激である。

尿の重炭酸イオンは通常は微量しか存在しない、とくに30年以前の報告ではその濃度はゼロであると考えられていた<sup>8,10,11</sup>). それは、血液から尿へ排泄された重炭酸イオンは腎臓近位尿細管でほとんどが再吸収されるためである。重曹などを経口的に多量に摂取した場合のみ、尿中に重炭酸イオンが高濃度に排泄されることがPitts<sup>8)</sup>により報告されている。最近Tomodaら<sup>10)</sup>は高炭酸ガス環境下では尿中に重炭酸イオンがかなり高濃度まで検出されることを報告した。これは呼吸により吸入された大気中の炭酸ガスが、血液中で赤血球カーボニックアンヒドラーゼの作用により $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ の反応が右へ進行し、血液中に重炭酸イオンが増える結果、尿中に重炭酸イオンが増加するということが説明できる。しかしながら、本実験が行われた体育館での大気中の炭酸ガス濃度は約600ppmであり、尿中への重炭酸イオン濃度を上昇させるほどの炭酸ガス濃度ではない<sup>10,11</sup>). 実際、運動負荷前での尿の重炭酸イオン濃度は0.114g/g・Crであった。運動負荷後、30分以降、150分までにおこる尿中重炭酸イオンの上昇の原因として、一番考えられるものは、負荷がかかった身体部位の組織での化学的燃焼である。負荷を中止したのち、これらの組織細胞におけるミトコンドリア内で好氣的酸化反応が急激に進行すれば、炭酸ガスが大量に血液に放出される。通常の運動では、血液に排泄された炭酸ガスはいったん重炭酸に変化するものの肺で再び炭酸ガスに代謝され次々と大気中へ排泄されるはずである。ところが、1分程度の局所的な運動負荷では他のスポーツ競技とは異なり、呼吸速度の変化は見られていない。このことは、呼吸による肺からの炭酸ガスの排泄量は、運動前と比べほとんど変化していないことを意味する。その結果、組織より多量に放出された炭酸ガスは血液内でいったん重炭酸イオンに変化されるものの、尿中へと排泄されるしか行場がないと考えられる。

運動負荷終了後30分以内では、尿中の重炭酸イオン濃度は減少するか(30% 1RM時)、ほとんど変化がなかった(80% 1RM時)。この現象の説明としては次のことが考えられる。運動負荷終了直後では、本試験に加わったすべての被験者において局所的な疲労が極大となっている。この状況下では、エネルギー産生系においてはグルコース代謝が優勢であり、代謝産物として乳酸が多量に血液中へ放出され、血液は酸性へと傾く。水素イオンが血液中へ増え、血液が酸性化するのを緩衝するために、重炭酸イオンは尿へは排泄されずに、血液中で増加していると考えられる。運動負荷30分を過ぎると、血液中の乳酸は肝臓や筋肉で代謝され、減少する結果、乳酸を緩衝するための重炭酸イオンは必要としなくなると考えられる。また乳酸は肝臓や筋肉などの組織においてクエン酸サイクルで燃焼され、持続的に多量の炭酸ガスが放出されると考えられる。その結果、負荷30分以降では血液中に高濃度の重炭酸イオンが生成され、それが血液中での閾値(Pitts<sup>8)</sup>によると23ミリモル濃度といわれている)を越えて尿中へ排泄されると考えられる。この考えをさらに明らかにするには血液中の乳酸の測定が必要であり、現在準備中である。

一方、尿中の $\text{NO}_x$ 濃度については、本試験の運動負荷によっては大きな変動は見られなかった。30% 1RMの負荷時では、負荷終了30分以内に尿中 $\text{NO}_x$ 濃度は減少するが、運動終了後150分では減少時から比べると1.2倍まで増加するものの誤差の範囲での変動であった。80% 1RMの負荷時では、負荷終了30分以内でも尿中 $\text{NO}_x$ 濃度は変化しなかったが、その後2時間以内に約1.2倍まで増加した。このような尿中の $\text{NO}_x$ 濃度は血液中のNO濃度の変動と強く相関していると考えられる。身体活動時には、血液量が増加し、血管内でのシェアストレスが増加する。その結果、血管内皮細胞の細胞膜の脱分極、カルモジュリンの

活性化, eNOS (内因性NO合成酵素)の発現増加などが誘導され, NOの産生が高まると推定されている<sup>2)</sup>. Wangら<sup>12)</sup>は2ヵ月間の50%  $VO_{2max}$ の持久的トレーニングによって $NO_x$ が増加し, トレーニングをとめるとそれが減少すると報告している. また榎村ら<sup>7)</sup>は, 短期的な持久的運動トレーニングは, 長期的なものとは比べ血管に対するずり応力の刺激が大きく, 肺血管においてもNOの産生放出が促進されることを示唆した. これらの報告では主として持久的運動によりNO産生は増加する傾向を示し, 血管拡張反応も増加するという結論づけている. 一方Saltinら<sup>9)</sup>は, 動的膝伸展運動においては, 筋力の出力の増大に伴って血流量は直線的に増加することを明らかにしており, 血流は心筋ポンプの働きにより数十秒で定常状態に達することが示された. この結果は急激な筋肉血管の拡張時にはNOが作用する以上に, 自律神経系の働きや心臓のポンプの力のほうが強く影響していることを示唆している. また, NOのみがこのような血管拡張に作用するためには, 相当量のNOの血管内放出が必要となるであろう. 膝伸展運動負荷後30分以内では尿中 $NO_x$ 濃度は増加していない(図3, 図4)という私達の結果はこのことを支持している.

以上述べたように, 尿中の $NO_x$ や重炭酸イオン, pHなどの変動を測定することにより, 身体活動時における血液中のこれら液性因子の動態の予測が可能である. 膝伸展運動負荷後に尿中の重炭酸イオン濃度が劇的に増加したことは, 本試験における運動負荷が身体の局所に強い代謝刺激を与え, 血液中の恒常性保持にも強い影響を与えていることを示している. 今後, 運動負荷条件を変えながら, 尿中の重炭酸イオンや $NO_x$ などの濃度を測定するとともに血中の乳酸値も測定を行い運動能力の向上に役立てたい.

## 謝 辞

この研究を遂行するにあたり, 多大なご協力とご示唆を戴いた順天堂大学スポーツ健康科学部, 川合武司教授, 濱野光之助教授に心から謝意を表します. また, 本研究に快く参加協力された順天堂大学スポーツ健康科学部, バレーボール部部員にも感謝いたします.

本研究に対して助成を戴いた財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚くお礼申し上げます.

## 文 献

- 1) Griscavage J.M., Hobbs, A.J. Ignarro, L.J.; Negative modulation of nitric oxide synthase by nitric oxide and nitroso compounds. *Adv. Pharmacol.* 34, 215-234 (1995)
- 2) Bevan J. A., Laher I.; Pressure and flow dependent vascular tone. *FASEB J.*, 5, 2267-2273 (1991)
- 3) Green D.J., Fowler D.T., O'Driscoll J.G., Blanksby B.A., Taylor R.R.; Endothelium-derived nitric oxide activity in forearm vessels of tennis players. *J. Appl. Physiol.*, 81, 943-948 (1996)
- 4) Higuchi K., Motomizu S.; Flow-injection spectrophotometric determination of nitrite and nitrate in biological samples. *Analytical Sciences*, 15, 129-134 (1999)
- 5) Husdan H., Rapoport A.; Estimation of creatinine by Jaffe reaction. A comparison of three methods. *Clin. Chem.*, 14, 222-238 (1968)
- 6) 榎村修生, 酒井秋男; 持久的運動トレーニングにおける低酸素性肺血管収縮に一酸化窒素合成酵素阻害剤が与える影響. *体力医学*, 47, 573-580 (1998)
- 7) Kingwell B.A., Sherrard B., Jennings G.L., Dart A.M.; Four weeks of cycle training increase basal production of nitric oxide from the forearm. *Am. J. Physiol.*, 272, H1070-1077 (1997)
- 8) Pitts R.F., Ayer J.L., Schiess W.A.; The renal regulation of acid-base balance in man. III. The reabsorption and excretion of bicarbonate. *J. Clin. Invest.*, 28, 35-43 (1949)
- 9) Saltin B., Radegran G., Koskolou M.D., Roach



- R.C.; Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **162**, 421-436 (1998)
- 10) Tomoda A., Kazuka M., Yashima K., Niiyama K., Muro D.; Significance of rises in urinary bicarbonate contents and pH related with increased atmospheric carbon dioxide in Tokyo. *Tohoku J. Exp. Med.*, **183**, 67-73 (1997)
- 11) Tomoda A., Yamanaka S., Kawai H., Ito H., Katsumata M., Minami M., Hashimoto T., Tanii H., Hashimoto K.; Variation of urinary pH and bicarbonate concentrations of students in metropolitan and rural areas of Japan. *Arch. Environ. Health.*, **50**, 457-461 (1995)
- 12) Wang J.S., Jen C.J., Chen H.I.; Effects of chronic exercise and deconditioning on platelet function in women. *J. Appl. Physiol.*, Dec;83 (6) 2080-2085 (1997)