

尿蛋白を指標とした運動負荷に関する研究

第 2 報

剣道における尿蛋白の変動

岡山大学医学部公衆衛生学教室（主任：緒方正名教授）

泉 武 寛

（昭和56年12月22日受稿）

Key words: 健康管理
剣道
運動負荷
運動性蛋白尿

緒 言

現在、スポーツ人口の増加はめざましく、スポーツの日常生活に占める割合は年々増加している。年齢層も幼・少年から壮・老年に至るまで幅広く、その種類も多岐に渡っている。しかし、運動の種類により運動強度、運動時間はさまざまであり、年齢により、また運動の種類によりその適正な運動量及び運動時間は異なってくる。そこで適正な運動量を求め、それによる疲労について知ることは、選手の健康管理をする上で非常に重要である。現在、運動負荷量の評価のためには、自覚症、血液生化学的方法（比重、血色素量、コレステロール、電解質等）、尿を用いた方法（蛋白、ドナジオ陽性物質、ケトン体、アドレナリン等）などが用いられている¹⁾。これらのうちから著者は被検者の侵襲がなく、定量の比較的容易な尿蛋白を負荷の指標として用いることにした。

運動負荷により尿中に蛋白が増加することは古くより知られている^{2),3)}。この機転については、①負荷により糸球体濾過値（GFR）の軽度低下、腎血漿流量（RPF）の著明低下の結果として濾過率（FF）が上昇する。FFが上昇すると糸球体血管内の血液停滞と内圧の上昇が起き、糸球体基底膜が伸展される結果、透過性が亢進し尿蛋白の増加をみる。②負荷により血中カテ

コールアミンの上昇、血漿レニン活性の上昇により①と同様の血行動態の変化が起きるとともに、直接腎糸球体の血管壁にそれらが作用することにより糸球体基底膜の透過性が亢進する。^{4),5),6),7),8)}。この①②が主たる要因であると考えられている。

本研究において著者は剣道について尿蛋白を負荷の指標として用い、運動負荷の影響と負荷後の回復過程について調べ報告する。

実験材料・実験方法

実験材料

尿：大学剣道部員（男子、18～26才）の稽古前・後（1回の稽古につき7～17名で、13回の稽古を行ない延べ115名）に採取したものをを用い、採取後直ちに測定した。

回復過程の尿：同じく大学剣道部員（男子・18～26才）7名に2時間の稽古を行ない、稽古前、直後、30分後、60分後、90分後、150分後に採取し直ちに測定した。

標準的な稽古内容：準備体操・竹刀素振り20分、基本稽古30分、地稽古（1対1で数分間の実戦に即した応用練習を行なう）30分、整理体操5分であり、稽古時間が長くなると主に地稽古の時間が長くなるか、試合稽古を行なう。

実験方法

尿の pH、蛋白の半定量：KIDSTIX（マイル

ズ・三共)を用いて判定した。

尿比重：D・Z 型蛋白計（共栄製作所）を用いて測定した。

尿微量蛋白定量法：予め KIDSTIX にて半定量し，M.A. Pesce and C.S. Strande⁹⁾の三塩化酢酸-Ponceau S.を用いた方法で測定した。

実験結果

Fig. 1 に 1 回当たりの剣道稽古時間と稽古時間中に尿中に排泄された総蛋白量の関係を示す。

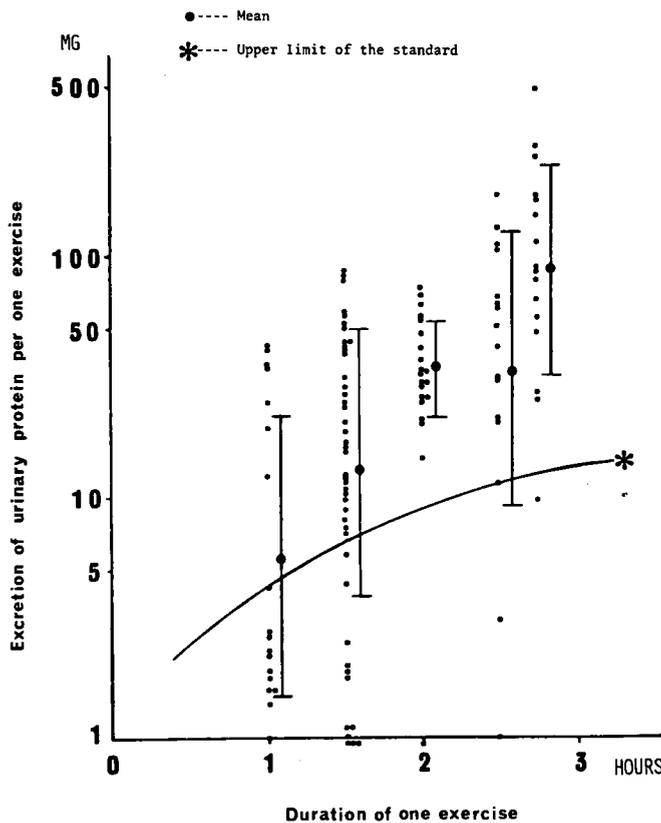


Fig. 1: Relationship between the duration of one exercise and the excretion of urinary protein.

1 回当たりの稽古時間が長くなるほど稽古中の尿蛋白総排泄量は増加し，日常生活における健康人の標準尿蛋白排泄量 34.3~108.0mg/day (生化学データブック¹⁰⁾より，以下標準値と略)を用いて算出した数値と比較すると，1 時間の稽古では約半数 (18 名中 7 名) が標準値の上限を越えるが，1.5 時間を越えると標準値の上限を越える割合が更に増加し (44 名中 32 名)，2 時間

に達するとほぼ全員 (21 名中 20 名) に標準値の上限を越える尿蛋白排泄が観察された。

この結果を尿蛋白の単位時間当たりの排泄量で表わすと，Fig. 2 に示す様に対数目盛りに対し傾きを持つ増加を示し，稽古時間に対して指数関数的な排泄増加が起きることが推定された。(対数変換後の一次回帰を求めると，相関係数：0.397，回帰係数：0.347，y 切片：0.456，標本数：109 であった。)

一日の総稽古時間と稽古中の総蛋白排泄量の関係では，Fig. 3 に示す様に通常の稽古時間の 1.5 時間では 73% (44 名中 32 名) が標準値の上限を越えるが，その後総稽古時間が長くなるに従い標準値上限を越える割合が高くなり，合宿の様に 1 日 5 時間に渡る稽古では全員が標準値上限をはるかに越えていた。

本研究に用いた尿では，稽古中の尿量，尿比重，尿 pH には，いずれも稽古時間による有意の差はみられなかった。

稽古後の回復過程での尿比重，尿 pH についても同様に，休養時間による有意の差はみられなかった。しかし，尿量については Table 1 に示す様に稽古中に比べて稽古後の時間経過に従い単位時間当たりの尿量は増加し，60—90 分では一度有意に減少 ($P < 0.05$) し，90—150 分では再び増加した。

次に，稽古 (2 時間) 後に休息をとった場合の尿蛋白排泄の変化をみると，Table 2 及び Fig. 4 に示す様に尿蛋白濃度では直後で著明な増加をきたし，30 分を経過してもあまり低下せず，反対に増加している者もある。1 時間後には全員の尿蛋白濃度は低下 ($P < 0.01$) し，早いものでは標準値の範囲内にもどっている ($P > 0.1$)

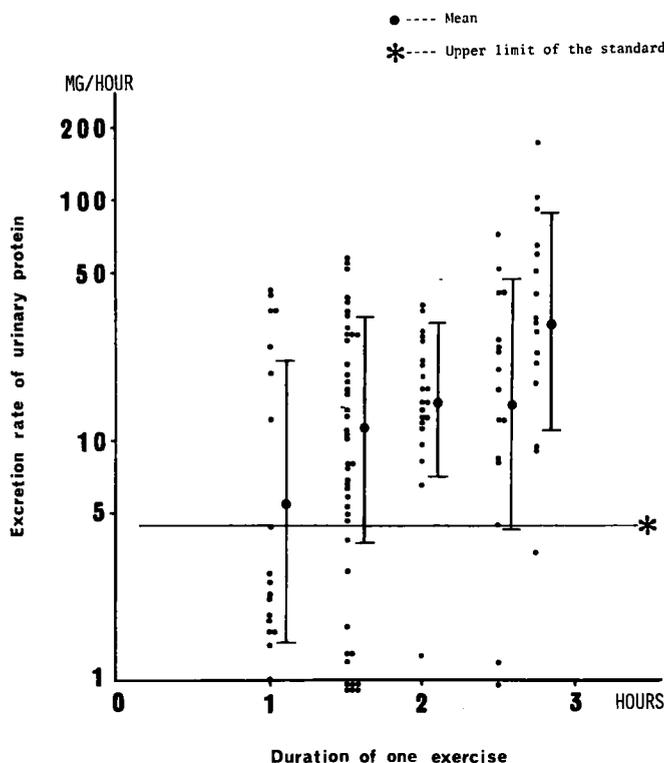


Fig. 2: Relationship between the duration of one exercise and the excretion rate of urinary protein.

単位時間当たりの尿蛋白排泄量では、Table 3 及び Fig. 5 に示す様に直後30分で不変もしくは少し増加しているものもある。1時間を経過しても依然として標準値の上限以上に止どまっているものが多く、1.5時間を経過するとほぼ全員が標準値に復し、2.5時間後では全員が標準値

の上限を下まわった。

尚、標本の分布を調べたところ対数正規に近い分布を示したため、幾何平均として求めた。

考 察

運動負荷(稽古)時間が長くなるに従い尿蛋白は指数関数的に増加する。この主たる原因は、前述の如く GFR の減少・RPF の著明減少及び血中カテコールアミン上昇、血漿レニン活性上昇により腎糸球体基底膜の透過性の亢進と^{4),5),6),7),8)} β_2 -ミクログロブリンなどの低分子蛋白の排泄増加に見られるように、尿細管の蛋白再吸収能の低下^{9),11)}によるものである。剣道はcontact sport の1つであり、身体を互いに衝突させる機会が多い。そのため腎盂・腎杯の変形をきたす¹²⁾可能性が高いことも

1つの要因であろう。又、剣道は長距離持久走などとは異なり、稽古中の動作にかかり稽古に代表される、短距離走におけるグッシュに類似した運動が多く含まれ、無呼吸-酸素負債を要求する性格の種目と考えられ、負荷時間が長くなるにつれて酸素負債が蓄積・増大する¹³⁾ため、

Table 1: Change in the excretion rate of urine (ml/hr.) during and after Kendo exercise for 2 hours. (n=7)

		Excretion rate of urine (ml/hr.)		
		Mean	S.D.	C.V.(%)
During the exercise		10.9	4.5	41.3
After the exercise	0-30 (min.)	18.4	5.3	28.8
	30-60	37.7	10.3	27.3
	60-90	28.3	4.2	14.8
	90-150	39.1	9.2	23.5

C.V.: coefficient of variation

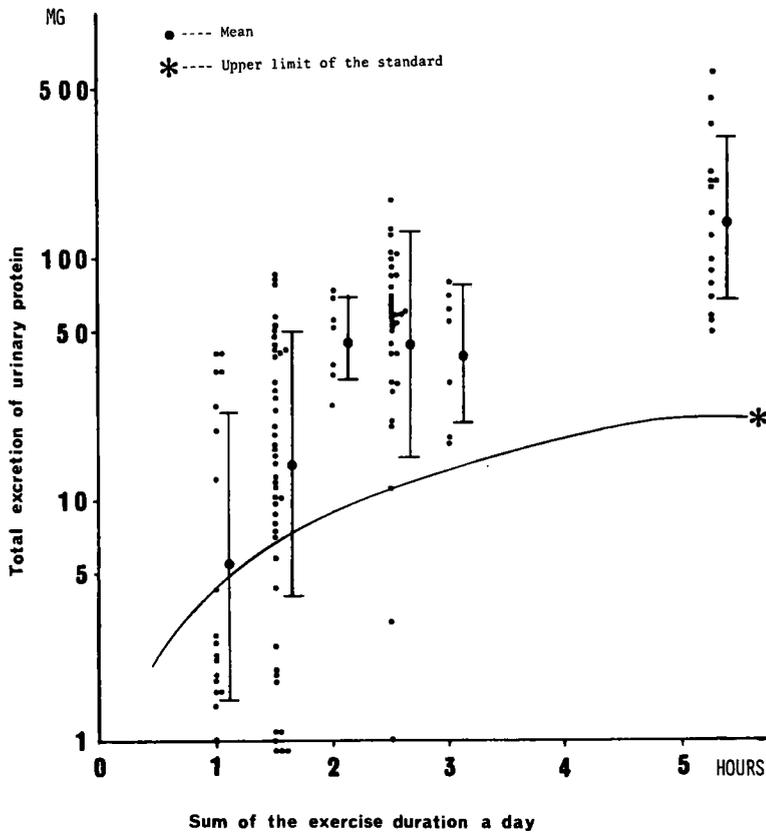


Fig. 3: Relationship between the sum of the exercise duration a day and the total excretion of urinary protein.

腎血流量の低下と相まって腎糸球体及び尿細管に及ぼす影響は直線的に増大するのではなく、稽古時間に対してより指数関数的に増大することが推定される。この点については、代謝率、酸素消費量の測定を行ない、他種目と比較し

る。これは、剣道が静から動・動から静への変化が激しく、更に熟練するほど無駄な動き・力が少なくなるため、同じ稽古時間でも個体によって運動量が異なり、個体による酸素負債に対する capacity の差も大きく影響するために生

つより詳細に検討する必要があると考える。

1日の全稽古時間中の総尿蛋白排泄量については、1~2時間では Fig. 1, Fig. 2 と同様に稽古時間が長くなるにつれて指数関数的な尿蛋白の排泄増加をきたしている。しかし、1時間あるいは1.5時間程度の短い稽古においては尿蛋白排泄量の個人差が大きく、標準値の範囲にとどまっている例も多い。以後、2~3時間と負荷時間が長くなるほど標準値上限を越える割合が増加し、5時間に及ぶと全員が標準値上限をはるかに越えてい

Table 2: Change in the level of urinary protein (mg/dl) after Kendo exercise. (n=7)

		Geometric mean*	S.D.	C.V.** (%)
During the exercise		0.544	0.231	42.4
After the exercise	0 (min.)	2.362	0.259	11.0
	30	2.118	0.605	28.6
	60	1.354	0.746	55.1
	90	0.818	0.260	31.8
	150	0.700	0.222	31.7

* Observed levels of urinary protein (mg/dl) were converted to logarithm.
 C.V.**: coefficient of variation of geometric mean for convenience

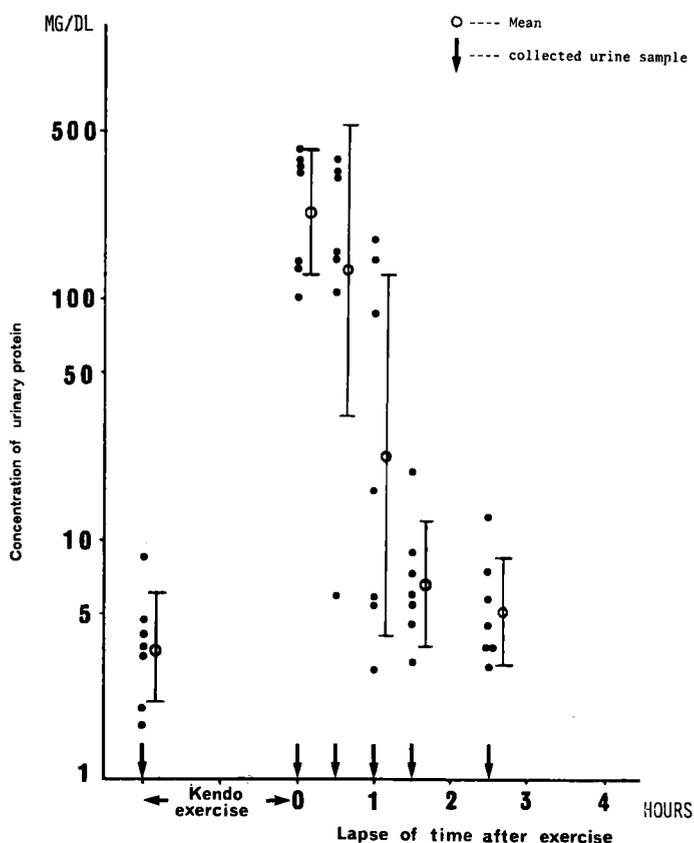


Fig. 4: Changes in the concentration of urinary protein after Kendo exercise for 2 hours.

じるものと考えられる。又、尿蛋白排泄量の平均値でみると、1～2時間の稽古では稽古時間に対して指数関数的な増加をしているのに、2～3時間ではあまり変化していない。これは、1～2時間の比較的短い稽古では、練習回数が

1回であり途中で休憩がなく、一気に練習するため、Fig. 1, Fig. 2と同様に稽古時間に対して指数関数的な増加をし、2時間以上になると練習回数も2回以上となるので途中回復の余地があり、同じ時間を一気に稽古した場合の様には尿蛋白排泄量が増加しないためであろうと考えられる。又、稽古時間・稽古回数が増えると稽古内容（基本稽古、地稽古、試合稽古など）に変化があり、選手が稽古中に順番を待つなど動かない時間も増え、各人がその疲労感によってある程度練習強度を調節できることも要因の1つであろう。しかし、更に合宿の様な長時間になると、いかに前記の様な要因が働こうとも休憩中に疲労は十分に回復せず、著者自身の経験からも一日中剣道のために時間を費やす感じとなり、負荷は最大限にまで

達して尿蛋白排泄量も著明に増加したものと考えられる。

回復過程を尿蛋白よりみると、尿蛋白濃度は0～30分では稽古中のそれと比べて著明な変化はないものの、30～60分以後減少しており、単

Table 3: Change in the excretion rate of urinary protein (mg/hr.) after Kendo exercise. (n=7)

		Geometric mean*	S.D.	C.V.**(%)
During the exercise		1.363	0.175	12.8
After the exercise	60-30 (min.)	1.370	0.559	40.8
	30-60	0.935	0.616	65.9
	60-90	0.264	0.262	99.2
	90-150	0.282	0.182	64.5

* Observed excretion rates of urinary protein (mg/hr.) were converted to logarithm.

C.V.**: coefficient of variation of geometric mean for convenience

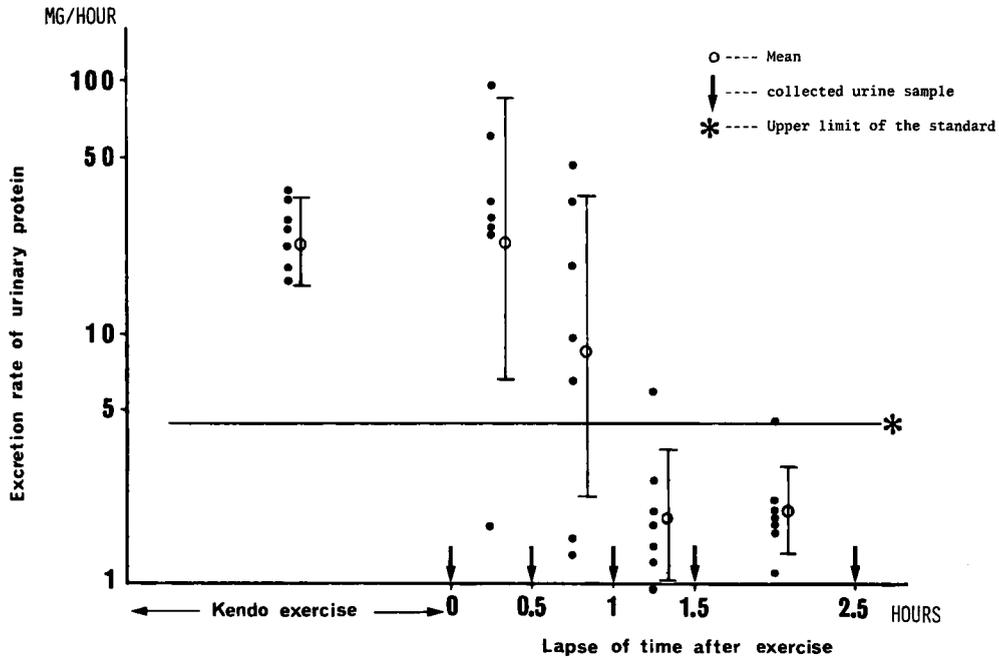


Fig. 5: Changes in the excretion rate of urinary protein after Kendo exercise for 2 hours.

位時間当たりの尿蛋白排泄量では60—90分に著明に減少している。尿蛋白濃度に比べて単位時間当たりの尿蛋白排泄量が遅れて減少するのは、負荷中は単位時間当たりの尿量が減少しているが、負荷終了後に尿量は増加して尿蛋白が稀釈された形で排泄されるからと考えられる。小郷ら¹⁴⁾は、長距離走において30—60分後に一過性の利尿現象があると報告し、井本ら¹⁵⁾も短・中距離走後30分に一過性の尿排泄増加を認めており、本研究においても同様の結果が得られている。従って、尿蛋白濃度よりも単位時間当たりの尿蛋白排泄量の方が、回復過程での腎動態をより反映していると考えられる。又、小郷ら¹⁴⁾は、長距離走において走後30—60分尿で最も高い尿蛋白濃度を示す例が多く、120—150分尿でも負荷前の値に戻らないと報告しているが、本研究で行なった2時間の剣道の稽古では、尿蛋白濃度でみる限りは、0—30分尿で負荷終了直後と変わらないかもしくは増加している者もあるもののそれ以後は漸減しており、90—150分尿ではほぼ全員が負荷前の値に戻っていた。この様

に長距離走後に尿蛋白濃度の増加が続き、負荷前の値に戻るのが剣道より遅れるのは、負荷の種類（長距離走の場合、比較的一定の強度の持続的な負荷である）と強度の違いによると考えられ、負荷の種類により回復のパターンは少しずつ異なるであろうと推測される。剣道以外のスポーツについては、今後検討を行なう予定である。

ま と め

剣道の1回の稽古時間が長くなるに従い、尿蛋白排泄量は稽古時間に対して指数関数に近い増加の傾向を認めた。

1日の総稽古時間との関係をみれば、総尿蛋白排泄量は1—2時間では指数関数的な増加をするが、2—3時間では幾何平均が40—44mgであり、あまり変化しなかった。そして、5時間を越えると再び著明（幾何平均：142mg）に増加した。

2時間の剣道の稽古後の、尿蛋白排泄よりみた回復過程は、0—30分後ではほとんど回復は認められなかった（濃度の平均：206.8mg/dl、

単位時間当たりの排泄量の平均：37.1mg/h).
その後、30-60分以降には、濃度の平均が61.8
mg/dl(30-60分), 7.7mg/dl(60-90分), 5.7
mg/dl(90-150分)となり、単位時間当たりの
排泄量の平均は、16.9mg/h(30-60分), 2.2mg
/h(60-90分), 2.1mg/h(90-150分)と時間経
過とともに減少した。更に90-150分後に排泄
された尿では、全員が稽古前の尿蛋白濃度(平
均：5.7mg/dl)にもどっていた。

運動負荷の影響と負荷後の回復過程を推測す

る指標としては、尿蛋白濃度よりも単位時間当
たりの尿蛋白排泄量の方が尿量の変化による影
響が少ないという理由から適していると考えら
れる。

尚、本研究の一部は、第40回日本公衆衛生学
会総会(名古屋)にて発表した。

稿を終えるに当たり、直接懇切なご指導、ご校
閲をいただきました緒方正名教授、吉良尚平講師、
ならびに尿採取にご協力いただいた岡山大学剣道
部の諸君に厚くお礼申し上げます。

文 献

1. 緒方正名：公衆衛生学入門，朝倉書店，東京，pp. 205-208，1978.
2. Leube, W.: Uber auscheidung von Eiweiss im Harn des gesunden Menschen, *Virchows Arch.* 72, 145-147, 1878.
3. 緒方正名，望月義夫：濾紙電気泳動法による尿蛋白質および Donaggio 反応，赤松・神明反応陽性物質に関する研究，日本衛生学雑誌，13，181-187，1958.
4. 藤原芳廣：運動性尿蛋白，尿蛋白・その基礎と臨床的意義，臨床病理，27巻，特集第36号，75-84，1979.
5. 石本二見男，児玉和也，秋葉尚美：運動負荷による正常人尿蛋白構成々分の変動，医学のあゆみ，76，895-897，1981.
6. Poortmans, J.P. and Vancalck, B.: Renal glomerular and tubular impairment during strenuous exercise in young women, *Eur. J. Clin. Invest.* 8, 175-178, 1978.
7. Poortmans, J.P. and Jeanloz, R.W.: Quantitative Immunological determination of 12 plasma proteins excreted in human urine collected before and after exercise. *J. Clin. Invest.* 47, 386-393, 1968.
8. Alyea, E.P. and Parish, H.H.: Renal response to exercise-urinary findings, *JAMA (J. Am. Med. Assoc.)*, 167, 807-813, 1958.
9. Pesce, M.A. and Strande, C.S.: A new micromethod for determination of protein in cerebrospinal fluid and urine, *Clin. Chem.* 19, 1265-1267, 1973.
10. 日本生化学会：生化学データブック，I，東京化学同人，東京，p. 1599，1979.
11. Peterson, P.A., Evrin, P.-E. and Berggard, I.: Differentiation of glomerular, tubular and normal proteinuria; Determination of urinary excretion of β_2 -microglobulin, albumin and total protein. *J. Clin. Invest.* 48, 1189-1198, 1969.
12. Kleiman, A.H.: Athlete's Kidney *J. Urol.* 83, 321-329, 1960.
13. 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，労働科学叢書 37，労働科学研究所，川崎，pp.61-81，1974.
14. 小郷克敏，沢田芳男，野見山俊一：長距離走によるタンパク尿，医学と生物学，96，131-135，1978.
15. 井本岳秋，小郷克敏，澤田芳男，野見山俊一：運動性利尿の発現と走負荷強度との関係，医学と生物学，97，435-439，1978.

A study on urinary protein excretion as an index of physical exertion

**Part 2 : Changes in the excretion of urinary protein
during and after Kendo exercise**

Takehiro IZUMI

Department of Public Health, Okayama University Medical School

(Director : Prof. M. Ogata)

In the present study, the author selected Kendo among many sports because of the lack of information on the health administration of the Kendo athlete, in spite of the increase in this sport. The present study is specifically concerned with the changes in the excretion of urinary protein as an index of physical exertion during and after Kendo exercise.

(1) The longer the duration of exercise was, the more urinary protein that was excreted. The increase was logarithmic against the duration.

(2) When the total exercise duration in a day was from 1 to 2 hours, the excretion of urinary protein increased logarithmically, but from 2 to 3 hours it did not change significantly. Over 5 hours it increased again remarkably.

(3) In the recovery process after Kendo exercise for 2 hours, an excess amount of urinary protein excretion was observed within 0-30 minutes after stopping exercise. After 30-60 minutes although the tendency of recovery was observed, the individual variation was high in this period. After 150 minutes, the urinary protein excretion of all specimens returned to the level which was observed before the exercise.

(4) In conclusion, the excretion rate of urinary protein per unit time seemed to be a more suitable index of the severity of the exercise and the restoration from exertion of Kendo athlete than the level of urinary protein easily affected by condensation of excreted urine.