

8. 武道（柔道・剣道）の練習が尿中および血中成分の変動に及ぼす影響

熊本大学	小澤 雄二
熊本大学	小郷 克敏
下関市立大学	小笠原正志
平成国際大学	高野 千春
福岡大学	中原 一
桐蔭横浜大学	吉鷹 幸春
桐蔭横浜大学	廣川 充志
大阪産業大学	内村 直也
筑波大学	目崎 登

8. Effects of Budo (Judo and Kendo) Practice on Changes in Urinary and Blood Substances

Yuji OZAWA	(Kumamoto University)
Katsutoshi OGO	(Kumamoto University)
Masashi OGASAWARA	(Shimonoseki City University)
Chiharu TAKANO	(Heisei International University)
Hajime NAKAHARA	(Fukuoka University)
Yukiharu YOSHITAKA	(Toin Yokohama University)
Mitsushi HIROKAWA	(Toin Yokohama University)
Naoya UCHIMURA	(Osaka Sangyo University)
Noboru MESAK	(University of Tsukuba)

Abstract

In this study, four experiments were conducted to investigate the differences between the effects of practicing different types of exercise for different lengths of time in university judo and kendo players. The effects of a 5- or 10-min exercise load (consisting of either *randori*, *uchikomi*,

jigeiko, *kakarigeiko*, or *kirikaeshi*) on the body were studied. Indices used were the amount of urine continuously collected, the creatinine content of the urine, the amounts and concentrations of ions (Na^+ and Cl^- and K^+) and hormones (antidiuretic hormone and aldosterone) discharged in the urine, and the changes in the concentrations of lactic acid and hormones (aldosterone and atrial natriuretic peptide) in the blood. The analysis showed that the *uchikomi* judo exercise and the *kakarigeiko* kendo exercise both increased the post-exercise lactic acid concentration in the blood and promoted urination and discharge of Na^+ . Both exercises involved fast movements spanning relatively long distances. On the other hand, the *randori* judo exercise and the *jigeiko* and *kirikaeshi* kendo exercises resulted in a decline in the volume of urine. These kinds of exercise involved practice with other players and did not always require fast movements. In particular, during *kirikaeshi* the players needed to make rapid, strong movements of their arm muscles but did not need to move long distances. Because two different patterns of change were observed in the volume of urine after exercise, it could be possible to estimate the characteristics and duration of various exercises in martial arts by monitoring urination. In other words, exercises that involve fast and long-distance movements (for example, *uchikomi* and *kakarigeiko*) should be practiced until urination is promoted, and other kinds of exercise should be practiced for a sufficient time and with a sufficient intensity to cause a decrease in the volume of urine.

I はじめに

一般に運動によって尿生成は減少する^{9,18,28,34,36,46,56,57,58,69,73}ことが通説となっている。例えば、Freund et al⁹⁾は自転車エルゴメーターによる25%・40%・60%・80% $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ の運動負荷を、それぞれ20分間実施した回復1時間後の尿量変動を検討した結果、60%・80% $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ では安静時に比べ尿量が有意の低下を示すと報告している。Wade⁶⁹⁾は中等度～高強度の運動負荷によって、尿量は20～60%減少すると報告している。さらに、一般的にはLamb³⁴⁾が記述している図1に示すように尿量、糸球体濾過量、腎血流量ともに運動強度の上昇に伴って減少度合も激しくなり、運動後もしばらくその影響が残り、尿量が安静値を大きく上回る現象はみられないという見解が大勢をしめている。運動に伴う尿生成の減少は、運動中の血流配分の変化による腎臓への血流減少に伴う腎機能の低下や、発汗に伴う水分喪失に対応する反応であると考えられている。

ところが、これらとは逆に陸上競技選手の200～400m走後^{20,21,22,43,44)}や、トレッドミル走による最大運動負荷試験後^{60,61,63,64)}などに一時的な尿量増加(後運動性利尿: post-exercise diuresis)^{24,64)}が報告されている。このような、乳酸性酸素負債を伴うような激運動後にみられる後運動性利尿^{24,64)}が、武道(柔道・剣道)のトレーニングにおいても、練習方法や練習の継続時間などの条件が揃えば発現すると考えた。そのきっかけは、柔道競技者であった著者の経験上、練習の中でも打込後に限って尿意を感じたことに対する疑問であった。

運動による尿中成分の変動を捉える場合、濃度だけでなく量的な変化も観察できることから生体の反応の集約が可能となる。ただし、これには正確な時間管理と定量的な採尿が不可欠な条件となる。そのため、柔道・剣道練習中の呼吸循環機能の反応や、練習前・後の血液性状の変動を指標とした報告^{7,14,15,19,25,26,38,40,41,47,54,55,68,70)}は数多くみられるものの、尿中成分の変動を指標としたものは、我々による一連の報告^{48,49,50,51,52)}を除けば少ないと思われる。

運動による抗利尿作用と利尿作用が出現する現象自体、この分野にかかわる研究者でも、多くの者が不確実な現象であるという認識をもっていると考えられる。まして、運動後の利尿現象の出現条件を運動タイプ、運動時間、ならびにエネルギー産生機構との関係を明確に示した知見はみられない。

本稿では主に尿中成分および血中成分の変動を指標とし、

一般的な大学柔道・剣道選手が行う練習方法（運動タイプ）や、練習の継続時間の違いによる影響について検討した。このことによって、一般的な大学選手による武道（柔道・剣道）のトレーニング特性を明らかにし、適切なトレーニング処方へ対応できる知見を得ることを目的とした。

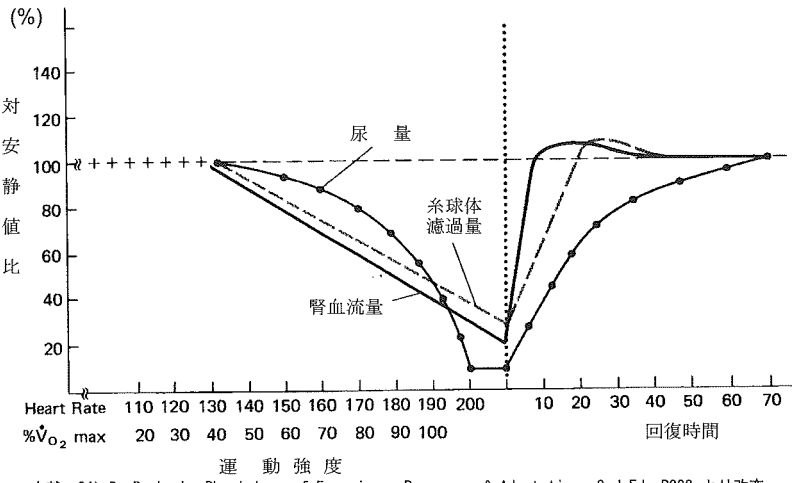


図1 運動による腎血流量, 糸球体濾過量, 尿量の変化
 Fig.1 Schematic illustration of changes in renal blood flow, glomerular filtration rate and urine volume during exercise

II 運動（練習）負荷による尿中成分ならびに血中成分変動実験（実験1～4）のプロトコール

1. 採尿法および尿中成分測定法

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採るように指示して連続して行った（図2）。

- (1) 排尿後30分間の椅座安静後（安静）
- (2) 30分間のウォーミングアップ後（W-up）
- (3) 運動負荷後回復30分目（30分）
- (4) 運動負荷後回復60分目（60分）
- (5) 運動負荷後回復90分目（90分）

採尿した全尿を計量の後、一部を分析用尿サンプルとして5℃以下で保存した。分析は化学及血清療法研究所に依頼し、クレアチニン（Creat）濃度はペルオキシダーゼ法（POD法）¹⁾、Na⁺・Cl⁻・K⁺濃度は電極法（希釈法）²⁾、抗利尿ホルモン（ADH）・アルドステロン（Aldo）濃度はRIA法^{9,33,72)}を用いた。また、採尿時期毎の尿量、および尿中Creat・Na⁺・Cl⁻・K⁺・ADH・Aldo濃度を基に、1時間あたりの排泄量として表示した。なお、被験者には実験開始2時間前から運動負荷後回復90分までの間、飲食物を摂取させなかった。

2. 採血法および血中成分測定法ならびに心拍数測定法

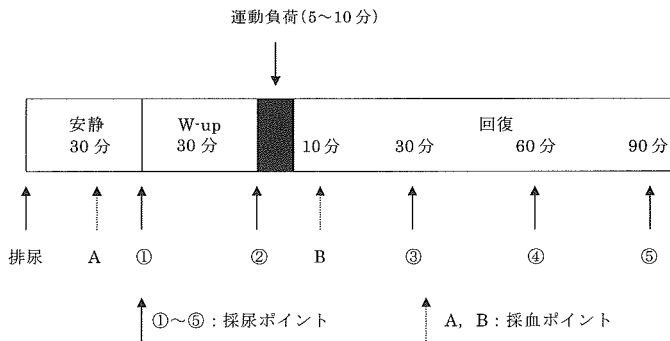


図2 採尿および採血のスケジュール

Fig.2 Schedule for exercise and urine and blood sample collection

の指先を挿入して測定した。加えて、Creat クリアランス値を、1分間あたり尿量×尿中Creat濃度/血中Creat濃度として算出⁹⁾した。

3. 統計処理

各測定値は全被験者の平均値±標準偏差で示した。各運動負荷による相違をみるために、採尿・採血・測定時期毎にくり返しのある一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合にはTukey法による多重比較検定 (post hoc test) を行った。全ての検定の有意水準を危険率5%未満とした。

Ⅲ 一般的な大学柔道選手による10分間の練習が尿量および尿中成分の変動に及ぼす影響 (実験1)

柔道の代表的な練習方法には乱取と打込がある。乱取はお互いに技を出しあって相手を投げたり、固めたり自由に攻防する練習法³²⁾である。打込は柔道の技術を習得するために行う反復練習³¹⁾であり、自分の技を正確に鋭く、しかもスピードのある技に鍛え上げることが目的³⁰⁾としている。柔道練習の特性について、これまでに主に練習中の呼吸循環機能の反応^{14,19,25,26,47,54,55)}や、練習前・後の血液性状の変動^{15,38,47,70)}を指標として検討されている。その結果、練習の方法・強度・時間・環境および練習者の年齢・性差・競技レベルなどの違いによって、練習に対する生理的機能の対応状態に相違がみられることが報告されている。したがって、柔道選手が実施する練習方法の違いによって、練習に伴う尿中成分の変動にも差異がみられることが予想される。

実験1では一般的な大学柔道選手6名を対象に10分間の練習(投技の乱取、固技の乱取、各自が自由に選んだ技による打込)が生体に及ぼす影響について検討した。指標は連続採尿による尿量、および尿中Creat・Na⁺・Cl⁻排泄量ならびに濃度の変動とした。

その結果、投技の乱取、固技の乱取、打込ともに負荷後30分尿において、尿量はW-up後尿に比し有意の減少を示した。したがって、練習実験の内いずれも後運動性利尿を示すほど無酸素的エネルギー産生系、特に乳酸性機構へ大きく依存して行っているものではなかったと考えられる。その要因として、練習時間を10分間継続するにはエギゾースティブなレベルで実施できな

採血は安静時と運動負荷後10分に被験者の肘静脈から15mlずつ採血し、分析用血液サンプルとして5℃以下で保存した。Creat、Aldoの分析は先に示したとおりであり、心房性ナトリウム利尿ペプチド(ANP)の測定にはRIA法^{9,33,72)}を用いた。乳酸はラクテイト・プロTMを用いて測定した(図2)。また、心拍数は安静時と運動負荷直後にデジタル脈拍計PU-720Sのセンサーに被験者

い可能性を示している。

IV 一般的な大学柔道選手による5分間の練習が尿量および尿中成分ならびに血中乳酸濃度の変動に及ぼす影響（実験2）

実験1の結果、3種類の全ての負荷（練習）後30分尿において後運動性利尿^{24,64}は認められず、各練習の特性がみられなかった。そこで、実験2では一般的な大学柔道選手7名を対象に5分間の練習（投技の乱取と各自が自由に選んだ技による打込）が生体に及ぼす影響について検討した。指標は連続採尿による尿量、および尿中Creat・Na⁺・Cl⁻・ADH・Aldo排泄量ならびに濃度と血中乳酸濃度の変動とした。なお、運動時の姿勢が尿量に及ぼす影響^{3,4,8}を考慮し、常に臥位姿勢もしくは膝立ちの姿勢で行われる固技の乱取を除いた。また、打込は1人が5分間継続するのではなく、「取」と「受」が20本ずつ交互に交代しながら連続して行った。つまり、打込は20～30秒程度の運動を20～30秒程度の間隔でくり返したことになる。

その結果、乱取、打込ともに負荷後30分尿において、尿中ADH・Aldo排泄量はかなり高いレベルであった。にもかかわらず、尿量はW-up後尿に比し、乱取では僅かな減尿傾向（ns）を、打込では僅かな利尿傾向（ns）を示し、統計的に有意な差があるといえないものの、尿量は相反する変動傾向がみられた。

V 一般的な大学柔道選手による5分間の練習が尿量および尿中成分ならびに血中成分の変動に及ぼす影響（実験3）

実験2の結果、5分間の練習に伴い尿量の増加、つまり後運動性利尿^{24,64}の発現は認められなかったものの、尿中成分の項目では変動のしかたに違いのあるものも認められた。そこで、実験3では一般的な大学柔道選手を対象に5分間の練習（投技の乱取と背負投の打込）に伴う尿量、および尿中Creat・Na⁺・K⁺排泄変動、ならびに血中Aldo・ANP・Creat・乳酸濃度の変動について検討した。なお、打込は自らの体を180度回転させて相手を背負って投げる背負投のみによる打込とした。このことによって、一般的な大学柔道選手の練習特性を明らかにするとともに、後運動性利尿^{24,64}発現時の生理機能の変動を検討することを目的とした。

練習の影響を最も顕著に示すと考えられる負荷後30分尿量は、打込と乱取間、および打込とCont間で有意（それぞれ $p < 0.01$ 、 $p < 0.001$ ）の差が認められ、練習によって尿量変動に明確な違いがみられた（図3）。このことから、走運動以

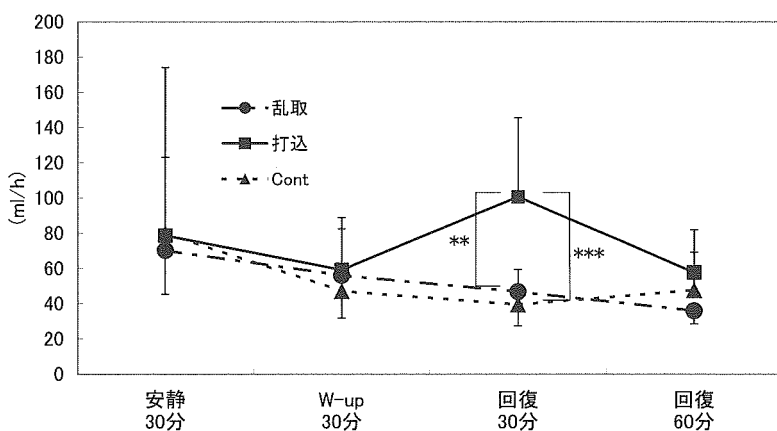


図3 尿量の変動（柔道） 練習間の有意差 *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$ (n=7)

Fig.3 Changes of urinary volume (Judo)

Significant difference between practices *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$ (n=7)

表1 クレアチンクリアランス, 血中アルドステロン・アンブ・乳酸濃度および心拍数の変動
Table 1 Changes of Creat clearance, blood Aldo, ANP, Lactic acid and HR by practices

		乱取	打込	Control	ANOVA
Creat clearance (ml/min)	〔負荷前〕	160.7±15.6	145.4±42.4	164.6±20.7	n. s
	〔負荷後〕	132.1±17.4	120.4±14.5	183.9±28.4	p<0.001
Aldo (pg/ml)	〔負荷前〕	118.0±49.7	100.6±26.5	86.9±20.6	n. s
	〔負荷後〕	222.9±84.6	164.3±36.9	107.7±21.9	p<0.01
ANP (pg/ml)	〔負荷前〕	10.0±0.0	10.9±1.9	10.0±0.0	n. s
	〔負荷後〕	13.4±2.9	19.6±10.5	10.6±1.5	p<0.05
Lactic acid (mmol/l)	〔負荷前〕	1.2±0.2	1.4±0.3	1.1±0.3	n. s
	〔負荷後〕	9.5±2.9	14.1±3.2	1.4±0.4	p<0.001
HR (beats/min)	〔負荷前〕	65.0±14.5	62.4±9.9	59.7±10.4	n. s
	〔負荷後〕	162.9±17.5	169.3±8.2	99.1±22.4	p<0.001

平均値±標準偏差 上段：〔負荷前〕 下段：〔負荷後〕 (n=7)

外の運動様式である打込後にも後運動性利尿^{24,64)}が起ることが確認された。

次に、負荷後30分尿において打込に伴い後運動性利尿^{24,64)}を示した要因を、Creatの変動から考えることとする。通常、糸球体で濾過されたCreatは尿細管では再吸収されずに排泄される性質から、内因性の指標として腎臓のクリアランス測定に用いられ、尿中Creatは、ほぼ糸球体の濾過量を示す^{5,6,27,34,44,67)}と

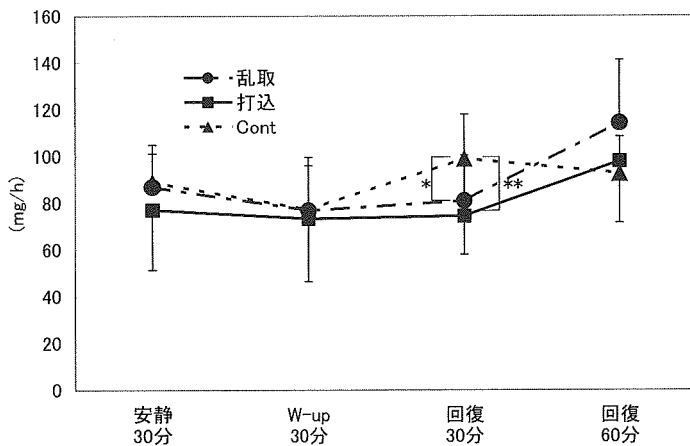


図4 尿中クレアチニン排泄量の変動(柔道)

練習間の有意差 **p<0.01,*p<0.05 (n=7)

Fig. 4 Changes of urinary creatinine excretion rate (Judo)
Significant difference between practices **p<0.01,*p<0.05 (n=7)

と考えられている。このような特性から、これまでに運動負荷による尿中成分の変動をCreat比で検討^{37,53)}した報告がある。今回、負荷後30分尿の尿中Creat濃度は打込と乱取間で有意(p<0.05)の差が認められたものの、負荷後30分尿の尿中Creat排泄量は打込と乱取間で有意の差が認められなかった。加えて、負荷後のCreatクリアランス値は打込120.4ml/min、乱取132.1ml/minであり、打込と乱取間で有意の差が認められ

なかった。これらのことから、両練習の糸球体濾過量（GFR）にあまり大きな差はないと考えられ、打込に伴う後運動性利尿^{24,64)}の要因はGFRの増加であるはずはなく、尿細管における水の再吸収減退によるものと考えられる（表1、図4・5）。

血中Aldo濃度は安静時には練習間（乱取、打込、Cont）に有意の差は認められな

かったが、負荷後10分には練習間に有意（ $F = 9.06$ 、 $p < 0.01$ ）の差が認められた（表1）。加えて、血中Aldo濃度は乱取、打込、Contともに負荷前より後に有意（それぞれ $p < 0.01$ 、 $p < 0.001$ 、 $p < 0.01$ ）の上昇が認められた。しかし、このホルモンの期待されるべき生理作用である尿細管における Na^+ の再吸収が増加し、尿中 Na^+ 排泄量の減少が起こるわけではなく、打込後の尿でのみ他の練習と有意に異なる変動を示している（図6）。後運動性利尿^{24,64)}は運動によって分泌が増加する抗利尿ホルモンであるADHや、抗利尿作用を有するAldo、PRAなどのホルモンの血漿濃度が、運動後も安静時よりかなり高いレベルに保たれている^{5,12,35,42,46,59,62,66,69)}ことは矛盾する。その要因は、抗利尿ホルモンだけの一時的な消失によるのではなく、旧来から近位尿細管の Na^+ 能動輸送のための酸素消費量が非常に大きい^{10,61,71)}とされていることから、腎臓への血流配分量の減少や、乳酸性酸素負債によるアシドーシス⁶⁵⁾傾向の影響によって尿細管の機能低下が起こる^{17,21,50,52)}ためと推察される。このことのさらなる裏づけとして、練習に伴う尿中 K^+ 排泄量の変動を示すW-up後尿と負荷後30分尿の比（30分/W-up）の平均値を検討した。その結果、乱取は 0.67 ± 0.18 、打込は 0.81 ± 0.35 であり、両練習に伴い尿中 K^+ 排泄量が同調した変動を示したことから、打込後でのみAldo作用のエスケープ現象²⁹⁾が発現したとは考えにくい。

血中ANP濃度は安静時には練習間（乱取、打込、Cont）に有意の差は認められなかったが、負荷後10分には練習間に有意（ $F = 4.22$ 、 $p < 0.05$ ）の差が認められた（表1）。加えて、血中ANP濃度は打込、乱取ともに負荷前より後に有意（ $p < 0.05$ ）の上昇が認められた。これまでの報告によると、 Na^+ 利尿をきたすANP^{23,67,69)}の血漿濃度は比較的軽度の運動強度から、運動（下肢運動）強度に比例して上昇し、運動後も安静時よりかなり高いレベルに保たれる^{5,9,13,35,46,66,67,69)}とされている。なお、今回の負荷後30分尿の尿中 Na^+ 排泄量は練習間に有意（ $F = 22.59$ 、 $p < 0.001$ ）の差が認められ、打込において最も高値を示した（図6）。これらのことを加味すると、打込に伴う後運動性利尿^{24,64)}が、利尿作用と抗利尿を發揮するであろうホルモン類の高濃度共存状態の中で、抗利尿発現作用をもつホルモンだけが運動後に消失することによって起こったとは考えにくい。したがって、ホルモン作用（効果）の発現にはホルモンのターゲット組織側（尿

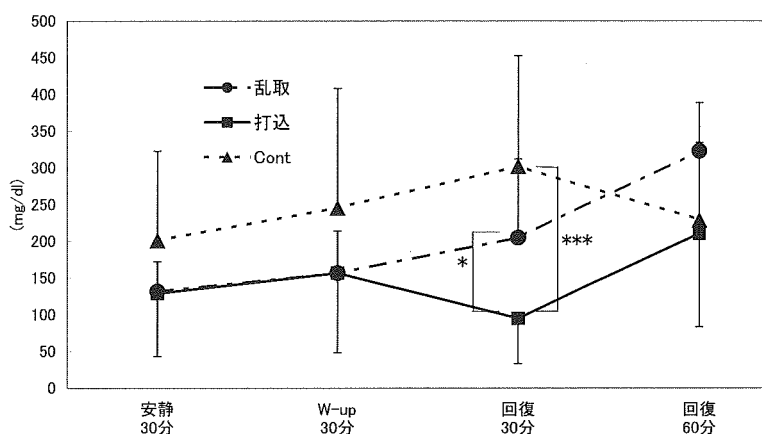


図5 尿中クレアチニン濃度の変動（柔道）
練習間の有意差 *** $p < 0.001$, * $p < 0.05$ (n=7)
Fig.5 Changes of urinary creatinine concentration (Judo)
Significant difference between practices *** $p < 0.001$, * $p < 0.05$ (n=7)

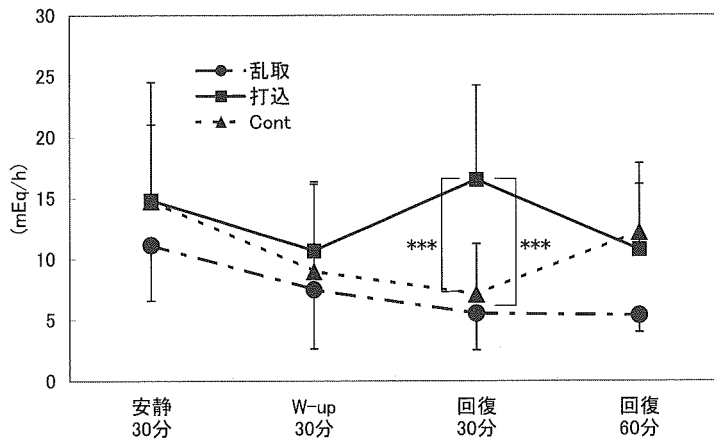


図6 尿中ナトリウム排泄量の変動(柔道)
練習間の有意差 *** P<0.001(n=7)

Fig.6 Changes of urinary sodium ion excretion rate (Judo)
Significant difference between practices*** P<0.001(n=7)

れる(表1)。つまり、背負投の打込のような下肢筋群の筋力発揮を伴う運動を、乳酸性酸素負債を伴うような強度で実施した後は、後運動性利尿^{24,64)}が認められることが示唆された。しかし、同様に各練習の運動強度を示す負荷直後の心拍数は、打込と乱取間に有意の差は認められず、はっきりとしたレベル差があるとは考えられなかった(打込169.3beats/min vs. 乱取162.9beats/min)。その要因として、打込の場合「取」と「受」が20本ずつ交互に交代しながら連続して行ったために、間欠的な運動様式に伴う心拍数の変動を示した可能性がある。間欠的な運動様式の場合、運動負荷に対する心拍数の追従が遅れて表れることが報告¹¹⁾されていることから、打込中の心拍数の上昇が抑えられたものと推察される。打込運動実施中の酸素需要量への対応が間に合わず、無酸素的代謝の動員がより多くなったことが推察される。それによって、血中乳酸濃度の大きな上昇がもたらされたものと考えられる。

結論として、今回のような実施方法による背負投の打込でも、腎臓の尿細管の機能を低下させ、かつAldoやADH(抗利尿ホルモン)などの作用発現を低下させるほど、乳酸性酸素負債の大きい運動であったと考えられる。したがって、背負投の打込では無酸素的エネルギー産生系の動員が多く、立技の乱取ではその要因は少ないと推察され、練習方法によってエネルギー供給機構が異なり、練習に対する生理的機能の対応状態にも相違がみられると考えられる。

VI 一般的な大学剣道選手による5分間の練習が尿量および尿中成分ならびに血中乳酸濃度の変動に及ぼす影響(実験4)

実験1~3では一般的な大学柔道選手が行う練習方法(運動タイプ)や、5分間もしくは10分間の継続時間の違いが、尿中成分および血中成分の変動に及ぼす影響について検討した。その結果、5分間の背負投の打込後30分尿でのみ後運動性利尿^{24,64)}とNa⁺利尿が認められた。つまり、柔道の練習方法(運動タイプ)や練習の継続時間の違いによって、尿量および尿中成分の変動に相違がみられた。

そこで、実験4では同じ武道系種目である剣道練習の特性について検討した。剣道の主な練習

細管)の状態も大いに影響すると思われる。極めて高強度の急速な運動によってもたらされた血中ホルモン濃度上昇状態において、基本的には抗利尿の状態から利尿傾向へと移行する閾値の存在がうかがえる。

各練習の運動強度を示す負荷後10分の血中乳酸濃度も、打込14.1mmol/l、乱取9.5mmol/lであり、打込と乱取間に有意(p<0.01)の差が認められ、両練習の尿量変動の相違を裏づけるものと考えら

方法には地稽古、掛稽古、切り返しがある。地稽古は全力で打ち合い、かわし合い、応じあうものであり、総合練習としてお互いに自分の技を試しあう場⁴⁵⁾である。掛稽古は敏速に判断して、自分の思った隙に向かって、捨て身で気力・体力・技能の限りをつくして打ち込む練習³⁹⁾である。また、切り返しは技能的な要素ばかりでなく、体力養成法として活用⁴⁵⁾される。これまでに剣道練習の特性として、丹羽ら⁴¹⁾は掛稽古中の呼吸循環機能の変動を検討し、掛稽古中の最高心拍数は185beats/min前後まで高まり、各被験者の最高心拍数に近い値にまで上昇すると述べている。さらに、丹羽⁴⁰⁾は青少年の剣道練習のエネルギー代謝を測定した結果、掛稽古が最も高く、続いて切り返し、地稽古の順に高かったことを示唆している。また、巽と吉村⁶⁸⁾は剣道練習中の最高心拍数は掛稽古中に認められたと報告し、恵土と堀田⁷⁾は剣道練習中のRPE、%HRmax、打突本数、移動距離からみて練習の中で、掛稽古は最も運動強度が高いと述べている。

このように、剣道の練習方法(運動タイプ)の違いによって、練習に対する生理的機能の対応状態に相違がみられることが報告されている。

実験4では一般的な大学剣道選手6名を対象に5分間の練習(地稽古、掛稽古、切り返し)が生体に及ぼす影響について検討した。指標は連続採尿による尿量、および尿中Creat・Na⁺・Cl⁻

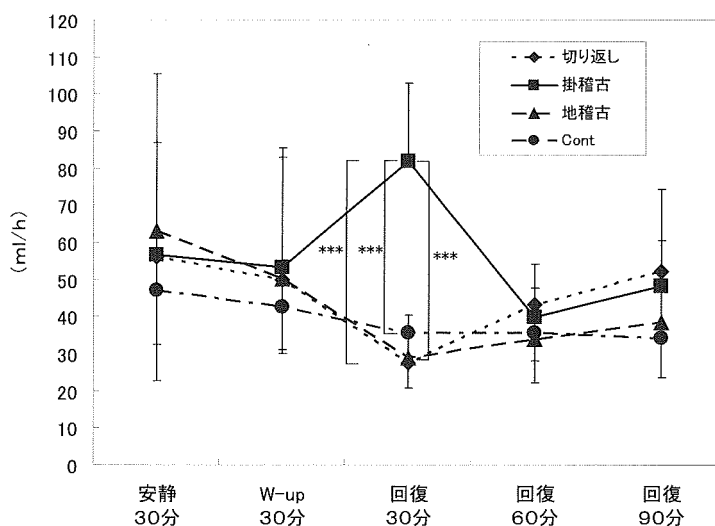


図7 尿量の変動(剣道)

練習間の有意差 ***P<0.001(n=6)

Fig.7 Changes of urinary volume (Kendo)

Significant difference between practices ***P<0.001 (n=6)

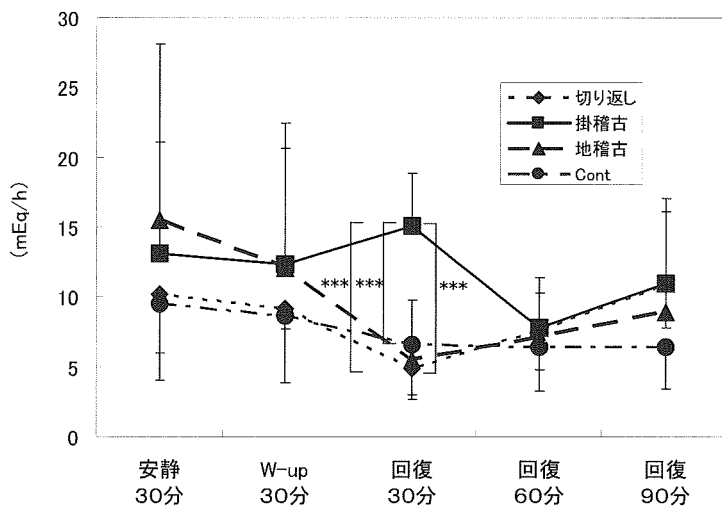


図8 尿中ナトリウム排泄量の変動(剣道)

練習間の有意差 ***P<0.001(n=6)

Fig.8 Changes of urinary sodium ion excretion rate(Kendo)

Significant difference between practices ***P<0.001 (n=6)

排泄量ならびに濃度と血中乳酸濃度の変動とした。その結果、練習の影響を最も顕著に示すと考えられる負荷後30分の尿量は練習間に有意 ($F = 31.23, p < 0.001$) の差が認められ、掛稽古と切り返し間、掛稽古と地稽古間、および掛稽古とCont間で有意の差が認められた (図7)。同じく、負荷後30分の尿中 Na^+ 排泄量は練習間に有意 ($F = 18.04, p < 0.001$) の差が認められ、掛稽古と切り返し間、掛稽古と地稽古間、および掛稽古とCont間で有意の差が認められた (図8)。したがって、5分間の掛稽古後30分尿において、乳酸性酸素負債を伴うような激運動後にみられる後運動性利尿^{24,64)}と Na^+ 利尿が認められた。その要因として、練習時間を5分間とした時間的な点が挙げられる。また、切り返しは15~20秒間隔、掛稽古は10秒間隔で「掛かり手」と「受け手」が交互に交代しながら連続して行った。つまり、切り返しは15~20秒程度の運動を15~20秒程度の間隔で、掛稽古は10秒程度の運動を10秒程度の間隔でくり返したことになる。掛稽古の場合、10秒程度の運動でありながら、実験2・3(柔道)の打込に比べ運動時の移動距離が長いことや、発声を伴うといった特徴も後運動性利尿^{24,64)}と Na^+ 利尿の要因と考えられる。

VII 総合討論

1. 武道(柔道・剣道)の練習に伴う後運動性利尿の発現とその機序

実験1~4では一般的な大学柔道・剣道選手が行う練習方法(運動タイプ)や、5分間もしくは10分間の継続時間の違いが、尿中成分および血中成分の変動に及ぼす影響について検討した。その結果、5分間の背負投の打込(柔道)および掛稽古(剣道)後30分尿でのみ、乳酸性酸素負債を伴うような激運動後にみられる後運動性利尿^{24,64)}と Na^+ 利尿が認められた。つまり、柔道・剣道の練習方法(運動タイプ)や練習の継続時間の違いによって、尿量および尿中成分の変動に相違がみられた。

後運動性利尿^{24,64)}の機序は、抗利尿作用を有する血漿ホルモンだけの一時的な消失ではなく、腎臓への血流配分量の減少や乳酸性酸素負債によるアシドーシス⁶⁵⁾傾向の影響によって、尿細管の機能低下^{17,21,50,52)}が起こるためと推察される。ホルモン作用(効果)の発現には、ホルモンのターゲット組織側(尿細管)の状態も大いに影響すると考えられる。したがって、武道(柔道・剣道)の練習であっても目的の違う練習ではエネルギー供給機構が異なり、練習に対する生理的機能の対応状態にも相違がみられると考えられる。

動作的にも、自らの体を素早く180度回転させて相手を背負って投げる技である柔道の背負投の打込において、動作を反復するためには上肢だけでなく、特に下肢筋群の急速な筋力発揮が必要となる。また、敏速に判断して、自分の思った隙に向かって全力で打ち込む剣道の掛稽古において、踏み込んで相手との間合い(距離)をつめる動作を反復するためには上肢だけでなく、特に下肢筋群の急速な筋力発揮が必要となる。したがって、後運動性利尿^{24,64)}の発現が主に陸上競技選手の200~400m走後^{20,21,22,43,44)}や、トレッドミル走による最大運動負荷試験後^{60,61,63,64)}で報告されていることから、下肢筋群の急速な筋力発揮と後運動性利尿^{24,64)}の発現には関連性があると考えられる。

これらの結果を踏まえ、実際の柔道や剣道の練習場面においても各練習の特性が反映されるようなレベルや動作で練習を実施することが、的確な練習効果をあげる上で重要であろう。さらに、たとえ短時間の運動であっても、乳酸性酸素負債が大きく後運動性利尿^{24,64)}を伴うような高強度の運動を行った場合には、運動後の生体の水分やイオンバランスが崩れる可能性があり、運動

中や運動後の水分、電解質などの適切な補給を考慮しながらトレーニングを行うことが重要であると考えられる。

2. 武道(柔道・剣道)の練習に伴う後運動性利尿の発現ポイントと血中乳酸濃度の関係

ここでは、運動負荷(練習)を5分間とした実験2・3(柔道)・4(剣道)について、各練習後の血中乳酸濃度と負荷後30分尿量の平均値の関係を検討した。図9に示すとおり血中乳酸濃度が7mmol/l以下では、負荷後30分尿量(y : ml/h)と血中乳酸濃度(x : mmol/l)の平均値の間にはかなり高い負の相関傾向($r = -0.747$)を示し、その回帰式は $y = -4.0166x + 50.132$ となっている。この範囲では、柔道・剣道にかかわらず練習負荷の強度の上昇に伴って抗利尿作用も強くなる傾向を示している。ところが、血中乳酸濃度が5 mmol/l以上の範囲では、血中乳酸濃度の上昇に伴って尿量の平均値は高値化しており、非常に高い相関を示している($r = 0.906$, $p < 0.05$; $y = 7.3441x - 11.838$)。これは、血中乳酸濃度の比較的低い範囲の尿量変動とは全く逆の傾向であり、柔道や剣道の練習負荷によって減尿(抗利尿)だけが起こるのではなく、利尿現象の起こることを如実に示している。柔道や剣道の練習によっては、Creatクリアランスなどの変化からみると、内部環境は基本的には抗利尿性となることは明らかなことであるが、運動強度や運動様式によっては、その抗利尿環境を越えた現象が起こることが明らかとなった。

以上のことから、運動負荷によって抗利尿的内部環境下で利尿的要因が働き始める変曲点が存在するはずである。これを今回の血中乳酸濃度と負荷後30分尿量の平均値との回帰2直線の交点から求めると、血中乳酸濃度5.5mmol/l、尿量28.2ml/hとなる。この交点は血中乳酸濃度の増加開始点であるOBLA(4mmol/l)¹⁶⁾を超えたレベルに存在している。この交点である血中乳酸濃度5.5mmol/l付近では抗利尿・利尿両要因が混在していると考えられるべきである。しかし、血中乳酸濃度がより高くなると、血中ホルモンなどの抗利尿的環境が解消するわけではなく、腎の再吸収機能の減退が起こり利尿現象が表面化するものと考えられる。つまり、運動強度が比較的低い有酸素運動や無酸素運動でもさほど酸素負債の大きくない場合には抗利尿作用が強く表れ、急速高強度運動で大きな酸素負債が残るような場合には利尿現象が起こる可能性のあることを物語っている。

ここで、運動後に血中乳酸濃度が高く利尿傾向を示す練習内容は、柔道では打込であり、剣道では掛稽古である。いずれも急速で、移動距離の比較的大きな運動様式である。こ

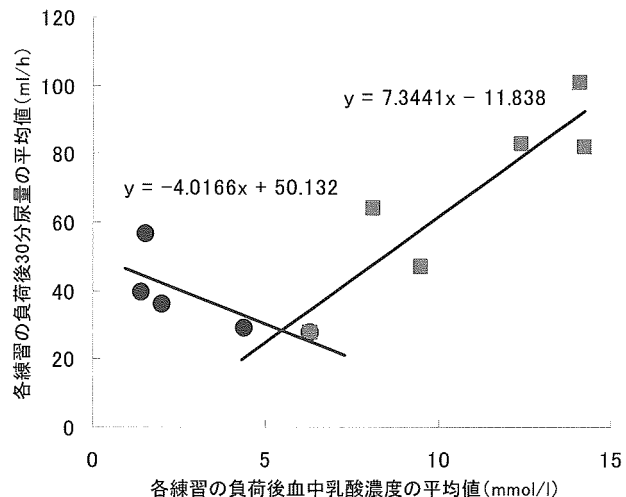


図9 実験2～4における各練習の負荷後血中乳酸濃度と負荷後30分尿量の関係

Fig.9 Relationship between exercise post-30minute urinary volume and exercise post-30minute blood lactate concentration at experiment 2-4

れに対して、減尿傾向を示す練習は柔道では乱取であり、剣道では地稽古や切り返しである。乱取や地稽古は相手との状況の中での練習であり、常に急速な動作のみを継続するとは限らない。切り返しは主に上肢筋群の急速な筋力発揮を伴うものの、移動距離はそれほど大きくない。

このように運動後に、尿量に大きく違った2様の変動が発現することから、これを武道における練習の特性ならびに遂行レベルを推定することに利用可能であると考えられる。つまり、より急速で運動量を多く行うべき練習の場合（少なくとも柔道の打込や剣道の掛稽古）には、利尿現象を招来するレベルで行うべきであろうし、また、その他の練習の場合にも、その目的に沿った動きで、少なくともかなりの減尿をきたす程度の強度を保って実施すべきである。

参考文献

- 1) 安部彰 a (1998) 非蛋白性窒素化合物. 菅野剛史, 松田信義編 臨床検査技術学 (第2版) 医学書院: 東京, pp.250-256.
- 2) 安部彰 b (1998) 電解質ならびに微量元素. 菅野剛史, 松田信義編 臨床検査技術学 (第2版) 医学書院: 東京, pp.237-242.
- 3) Aronson, P. S. (1990) Distribution of sodium chloride across cell membranes. In: Seldin, D. W. and Giebisch, G. (Eds.) The Regulation of Sodium and Chloride Balance. Raven Press: New York, pp.3-21.
- 4) Bakris, G. L. et al. (1986) The renal, forearm, and hormonal responses to standing in the presence and absence of propranolol. *Circulation*. 74:106-1065.
- 5) Convertino, V. A. et al. (1981) Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 50:123-128.
- 6) Duarte, C. G. et al. (1980) Creatinine. In: Duarte, C. G. (Ed.) Renal Function Tests. Little, Brown and Company: Boston, pp.1-28.
- 7) 恵土孝吉, 堀田陽子 (1984) 剣道の運動強度. 金沢大学教育学部紀要 (自然科学編) 36: 57-71.
- 8) Epstein, M. (1992) Renal effects of head-out water immersion in humans. a 15 year update. *Physiol. Rev.* 72:563-621.
- 9) Freund, B. J. et al. (1991) Hormonal, electrolyte, and renal responses to exercise are intensity dependent. *J. Appl. Physiol.* 70(2):900-906.
- 10) 藤本守 (1972) 腎循環. 吉村寿人, 緒方維弘編 生理学大系IV-2 代謝の生理学II. 医学書院: 東京, pp.343-359.
- 11) Fukuoka, Y. et al. (2002) Dynamics of the heart rate response to sinusoidal work in humans: influence of physical activity and age. *Clinical Science* 102:31-38.
- 12) Galbo, H. and Gollnik, P. D. (1984) Hormonal Changes during and after Exercise. *Medicine Sport Sci* 17:97-110.
- 13) Geny, B. et al. (2001) Cardiac natriuretic peptides during exercise and training after heart transplantation. *Cardiovascular Research* 51:521-528.
- 14) 芳賀脩光他 (1974) 女子柔道における練習中の酸素摂取量と心拍数変動について. *武道学研究* 7 (2): 27-33.
- 15) 芳賀脩光他 (1984) 一流女子柔道選手の合宿練習が生理機能に及ぼす影響について—特に血液生化学からの検討—. *講道館柔道科学研究会紀要* 6: 131-137.

- 16) 八田秀雄(2001) OBLA. 大野秀樹他編 運動生理・生化学辞典. 大修館書店:東京, pp.92-93.
- 17) 林石松他(1991) 水中ランニングが腎機能に及ぼす影響. 体力科学40(1):48-59.
- 18) 井川幸雄(1977) 身体運動と腎臓および消化器のはたらき. 新体育47:622-625.
- 19) 猪飼道夫, 金子公宥(1969) 柔道の練習中の心拍数変動—テレメトリー(無線遠隔測定)による—. 講道館柔道科学研究会紀要3:63-68.
- 20) 井本岳秋他(1980) 走運動による運動性高利尿現象と尿中クレアチニン排出量との関係. 医学と生物学101(2):121-125.
- 21) 井本岳秋他(1985) 疾走負荷による運動性利尿の発現. 体力科学34(5):247-258.
- 22) 井本岳秋他(1980) 運動性高利尿現象と乳酸性酸素負債の関係. 医学と生物学101(2):135-138.
- 23) Inoue, I. et al. (2001) Physiological effects of vasopressin and atrial natriuretic peptide in the collecting duct. Cardiovascular Research 51:470-480.
- 24) 伊藤朗(1990) 図説・運動生理学入門. 医歯薬出版:東京, pp.85-92.
- 25) 貝瀬輝夫他(1984) 少年期の柔道が身体に及ぼす影響に関する研究第二報少年柔道における呼吸循環機能と練習強度について. 講道館柔道科学研究会紀要6:83-89.
- 26) 金子公宥他(1978) 柔道練習中の酸素摂取量と心拍数. 講道館柔道科学研究会紀要5:19-30.
- 27) Kapit, W. et al. (1987) The Physiology Coloring Book. Harper Collins Publishers:New York, pp.57.
- 28) カルポビッチ, P. V., シニング, W. E. (石河利寛訳)(1976) 新版・運動の生理学. ベースボールマガジン社:東京, pp.284-293.
- 29) 川原克雅, 安岡有紀子(2004) アルドステロンエスケープ現象. 腎と透析57(5):583-586.
- 30) 川村禎三(1982) 柔道技の練習法. ベースボールマガジン社:東京, pp.11-27.
- 31) 川村禎三, 醍醐敏郎a(2000) 和英対照柔道用語小辞典. 講道館:東京, pp.12.
- 32) 川村禎三, 醍醐敏郎b(2000) 和英対照柔道用語小辞典. 講道館:東京, pp.50.
- 33) 近藤国和他(1989) 随時尿中バゾプレシンを指標とした中枢性尿崩症スクリーニング法の検討. 日本内分泌学会誌65:537-548.
- 34) Lamb, D. R. (1984) Physiology of Exercise Responses & Adaptations(2nd. ed.). Macmillan Publishing Company:New York, pp.329-341.
- 35) 前田清司(2001) 循環調節と液性因子. 井澤鉄也編 運動とホルモン—液性因子による調節と適応—. ナップ:東京, pp.116-142.
- 36) Mallié, J-P. et al. (2002) Renal handling of salt and water in humans during exercise with or without hydration. Eur. J. Appl. Physiol. 86:196-202.
- 37) Matsushita, M. et al. (1996) Urinary microalbumin as a marker for intermittent claudication. Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. 11:421-424.
- 38) 水田拓道他(1984) 女子柔道の練習に対する血液生化学からの検討. 講道館柔道科学研究会紀要6:119-125.
- 39) 中野八十二, 坪井三郎(1970) 図説剣道事典. 講談社:東京, pp.276-282.
- 40) 丹羽昇(1974) 青少年の剣道のエネルギー代謝. 武道学研究6(2):25-29.
- 41) 丹羽昇他(1972) 剣道の掛かり稽古時の呼吸循環機能の変動. 東京学芸大学教育学部紀要(体育学研究)15:81-85.
- 42) 能勢博, 森本武利(1990) 水分代謝とホルモン. 臨床スポーツ医学7(12):1417-1422.
- 43) 小郷克敏(1995) 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(自然科学) 44: 77-85.
- 44) 小郷克敏他(1985) 疾走時間と運動後尿量変動の關係. 熊本大学教育学部紀要(自然科学) 34: 95-103.
- 45) 岡村忠典(1992) 技能の指導の要点と練習法. 杉山重利編 中学校体育実践指導全集7 武道. 日本教育図書センター: 埼玉, pp.160-202.
- 46) 折田義正他(1990) 腎・泌尿器. 黒田善雄他編著 最新スポーツ医学(第2版). 文光堂: 東京, pp.163-173.
- 47) 小澤雄二他(1994) 柔道の夏季練習が呼吸循環機能および血液性状に及ぼす影響. 武道学研究27(1): 20-26.
- 48) 小澤雄二他(2001) 柔道の練習が尿量, 尿中クレアチニン濃度および尿中クレアチニン排泄量に及ぼす影響. 武道学研究34(2): 23-30.
- 49) 小澤雄二他(2002) 柔道の練習が尿中イオン排泄変動に及ぼす影響. 武道学研究35(2): 19-28.
- 50) 小澤雄二, 小郷克敏(2003) 尿量および尿中クレアチニン変動からみた剣道練習の特性. 体力科学52(2): 131-140.
- 51) 小澤雄二他(2000) 柔道選手の打込練習が尿排泄量に及ぼす影響. 柔道71(4): 78-82.
- 52) Ozawa, Y. et al. (2005) Effect of Judo Practice on Changes in Urinary Substances and Blood Hormones. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 11 (2):77-82.
- 53) Rodriguez-Plaza, L. G. et al. (1997) Urinary excretion of nitric oxide metabolites in runners, sedentary individuals and patients with coronary artery disease: effects of 42km marathon, 15km race and a cardiac rehabilitation program. *J. Cardiovasc. Risk.* 4:367-372.
- 54) 杉山允宏(1980) 柔道における打ち込みの運動強度. 愛媛大学教育学部紀要26: 207-220.
- 55) 杉山允宏(1985) 柔道の運動強度に関する研究(2) 連続打ち込みと交互打ち込みの比較. 愛媛大学教育学部紀要31: 147-156.
- 56) 鈴木久雄(1995) 運動強度と腎血行動態. 日本腎臓学会誌37: 534-542.
- 57) 鈴木政登(1984) 運動とレニン・アンギオテンシン・アルドステロン系. *J. J. Sports Sci.* 3(6):443-449.
- 58) 鈴木政登(1987) 運動負荷時の腎機能判定法—とくに健常成人における腎濃縮能と運動強度との関連—. 慈恵医大誌102:89-105.
- 59) 鈴木政登(1990) 運動とアルドステロン. 臨床スポーツ医学7(12): 1385-1389.
- 60) Suzuki, M. (1996) Exercise and Renal Function. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 2(2):45-56.
- 61) 鈴木政登(1999) 腎臓の働き. 中野昭一編 スポーツ医科学. 杏林書院: 東京, pp.207-221.
- 62) 鈴木政登(2000) 運動と腎機能. 日本体育大学体育研究所雑誌25: 1-10.
- 63) 鈴木政登, 井川幸雄(1991) 運動性蛋白尿出現機序—激運動後の尿蛋白と尿中乳酸排泄との関連—. 日本腎臓学会誌33: 357-364.
- 64) 鈴木政登, 伊藤朗(1987) 運動による尿性状の変化. 伊藤朗編著 図説・運動生化学入門. 医歯薬出版: 東京, pp.100-110.
- 65) 鈴木政登, 駒林隆夫(2001) アシドーシス. 大野秀樹他編 運動生理・生化学辞典. 大修館書店: 東京, pp.8-9.
- 66) 鷹股亮(2004) 運動・ホルモンと水分代謝. 体育の科学54(1): 43-47.
- 67) Takamata, A. et al. (2000) Effect of acute hypoxia on vasopressin release and intravascular fluid

- during dynamic exercise in humans. *Am. J. Physiol. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 279:R161-R168.
- 68) 巽申直, 吉村雅道 (1980) 心拍数からみた剣道練習中の運動強度. *武道学研究*, 12 (2): 44-49.
- 69) Wade, C. E. (2000) Hormonal Regulation of Fluid Homeostasis During and Following Exercise. In: Warren, M. P. and Constantini, N. W. (Eds.) *Sports Endocrinology*. Humana Press: New Jersey, pp.207-225.
- 70) 渡辺雅之他 (1984) 少年期の柔道が身体に及ぼす影響に関する研究第三報少年柔道鍛錬者の練習前後における血中諸成分の変動について. *講道館柔道科学研究会紀要* 6: 91-97.
- 71) Windhager, E. E. (1974) Mechanisms of Reabsorption and Excretion of Ions and Water. In: Pitts, R. F. (Ed.) *Physiology of the Kidney and Body Fluids* (3rd. ed.). Year Book Medical: Chicago, pp.99-139.
- 72) 山本英明他 (1989) 尿中バゾプレシン測定の研究. *ホルモンと臨床* 37: 791-796.
- 73) 芳田哲也他 (1992) スポーツ選手のトレーニング時における尿中Creatinine, 3-Methylhistidine, Urea-Nitrogen排泄量. *体育学研究* 37 (2): 159-171.