

生理的変動からみた柔道練習の運動強度

著者	小澤 雄二, 成松 英雄, 小郷 克敏, 錦井 利臣
雑誌名	熊本大学教育学部紀要 自然科学
巻	43
ページ	63-69
発行年	1994-09-30
その他の言語のタイトル	Physiological Evaluation of Exercise Intensity in Judo Practice
URL	http://hdl.handle.net/2298/2280

生理的変動からみた柔道練習の運動強度*

小澤雄二・成松英雄**・小郷克敏・錦井利臣

Physiological Evaluation of Exercise Intensity in Judo Practice

Yuji OZAWA, Hideo NARIMATSU*, Katsutoshi OGO and Toshiomi NISHIKII

(Received May 23, 1994)

The purpose of this study was to use the physiological changes which took place in four male university Judo practitioners to evaluate the level of exercise intensity produced by Judo practice.

The results were as follows:

- A. The mean estimated oxygen uptake level and relative heart rate were $71.6 \pm 9.2 - 85.0 \pm 10.0\% \dot{V}O_{2max}$ and $82.0 \pm 8.3 - 94.5 \pm 9.2\% HR_{max}$, respectively.
- B. The concentrations of pyruvate and lactate were significantly increased after practice ($p < 0.01$).
- C. The serum lactate dehydrogenase (LDH) and creatine phosphokinase (CPK) activities were significantly increased after practice ($p < 0.05$).
- D. Hematocrit showed a tendency to increase after practice.

It was suggested that Judo practice was a high intensity exercise, which included not only aerobic but also anaerobic exercise with significant hemoconcentration.

Key words: Judo practice, intensity of exercise

I. 緒 言

柔道は相手の襟または袖を持ち、押す、引く、回すなどの崩しの動作を行い技をかける運動様式であるが、その動きの中では下肢や上肢の筋において、等尺性筋力、筋持久力、瞬発力、あるいは全身持久力の能力と複合的に、または総合的に用いる運動であり、いろいろなスポーツ種目の中でも比較的運動強度の高い競技であると考えられている。

これまで柔道練習の運動強度について、猪飼たち¹⁾は成年男子の柔道選手を被検者に、テレメーター（無線遠隔測定器）によって柔道練習中の心拍数変動を調査し、乱取練習を重ねるにしたがって心拍数水準は漸次上昇し、ほとんどの場合最高 180beats/min 以上を示し、柔道練習は心臓機能に極めて強い負荷を与える運動であると述べている。貝瀬たち²⁾は少年男子の柔道選手を被検者に、最大負荷運動テストの結果得られた心拍数と酸素摂取量の関係式に心拍数を代入して相対的運動強度を求め、柔道練習の運動強度は平均値で最大酸素摂取量の約 83%に相当する高い強度であると述べている。芳賀たち³⁾は女子柔道選手の懸り練習と乱取練習中の酸素摂取量を実測し、最大酸素摂取量の約 80%に相当する負荷であると報告している。このように、これまで柔道練習の

* 日本武道学会第 26 回大会（平成 5 年 9 月 24 日、国際武道大学）において発表した。

** 熊本大学教育学部小学校課程（保育体育）平成 4 年度卒業

運動強度については、呼吸循環機能の反応からの検討がそのほとんどである。

そこで本研究では、柔道練習中の呼吸循環機能の反応および、練習前後の尿成分、血液性状、血液成分の変化についても調査を加え、生理機能の変動を多面的に観察することによって、柔道練習の運動強度を検討することを目的とした。

II. 研究方法

A. 被検者および実験期日

被検者は、柔道部に所属する健康な男子大学生4名である。各被検者の年齢、身体的特性、および競技歴は表1に示した。実験期日は平成4年8月、気温は27～31.6℃、湿度は65～85%の範囲にあった。

B. 酸素摂取量の測定

運動負荷試験として、トレッドミル(クイントン社製)を用いた漸増負荷法により、最大酸素摂取量を測定した。椅座位で安静時の酸素摂取量を10分間測定した後、ウォーミングアップとしてトレッドミルの速度を8.0km/h、9.0km/hにして各々2分間走行させた。その後、毎分1km/hずつ漸増し、オールアウトに達するまで増加した。その間、連続代謝測定装置(日本光電社製)により酸素摂取量を測定し、その最大値を最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)とした。なお、同時に胸部誘導法により心拍数を測定し、その最大値を最高心拍数(HRmax)とした。

C. 柔道練習中の心拍数および推定酸素摂取水準

柔道練習の内容は準備運動(体操、補強運動、回転運動)約10分、懸り練習(100本)約10分、乱取練習(5分×6人)30分、休憩(水分補給のため)5分、寝技の補助運動(伏臥前進、エビ、逆エビ)約10分、寝技の練習(4分×6人)24分の順に行い、総練習時間は約84分とした。心拍数の測定は実験期間中3日間、各々の練習が終了した直後に15秒間触診法により測定し、1分間値に換算した。また、上記に示した柔道練習中の酸素摂取水準を心拍数から間接的に算出するために、漸増負荷法による最大酸素摂取量の測定時において、最大下運動時の心拍数と酸素摂取水準の関係から、関係式 $r=0.577x-17.472$ に代入してその値を求めた。すなわち、この値を柔道練習中の酸素摂取水準(運動強度)とした。

D. 尿検査および血液検査

尿は実験期間中の2日間、1日の全尿を蓄尿法によって採取し、練習前後の尿中乳酸、ピルビン酸排出濃度を測定した。血液についても2日間、朝食前と練習終了3分後の2回採血を行い、ヘマトクリット(以下Hr値)、乳酸脱水素酵素(以下LDH)、クレアチンフォスフォキナーゼ(以下CPK)、クレアチニン(以下Cr)について定量した。

E. 資料処理

各項目の値は、すべて平均値と標準偏差で示した。各測定項目の練習前後の比較は対応のある平均値の差の検定法(T検定)を用い、危険率5%以下を有意とした。

表1 被検者の年齢、身体的特性および競技歴

被検者	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	競技歴 (years)
A	21	168.3	71.5	3.5
B	22	166.8	70.5	3.5
C	22	172.5	92.0	7.0
D	23	165.3	72.0	9.0
平均値	22	168.4	76.3	5.8
標準偏差	±1	±2.7	±9.1	±2.4

III. 結 果

A. 最大負荷運動時の呼吸循環機能の反応
最大負荷運動時の呼吸循環機能の反応は表2に示した。各測定値は、最大酸素摂取量 $4.07 \pm 0.24 \text{ l/min}$, $53.6 \pm 4.3 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$, 換気量 $149.2 \pm 10.9 \text{ l/min}$, 最高心拍数 $183 \pm 3 \text{ beats/min}$, 呼吸商 1.06 ± 0.06 であった。

B. 練習中の心拍数, 心拍水準 (%HRmax) および酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_2\text{max}$) の推定

各被検者の練習中の呼吸循環機能の反応は表3に示した。準備運動において心拍数は $154 \pm 16 \text{ beats/min}$, 心拍水準は $82.0 \pm 8.3\% \text{ HRmax}$, 酸素摂取水準は $71.6 \pm 9.2\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

懸り練習では心拍数は $174 \pm 16 \text{ beats/min}$, 心拍水準は $92.5 \pm 8.4\% \text{ HRmax}$, 酸素摂取水準は $82.9 \pm 9.2\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

乱取練習では心拍数は $178 \pm 17 \text{ beats/min}$, 心拍水準は $94.5 \pm 9.2\% \text{ HRmax}$, 酸素摂取水準は $85.0 \pm 10.0\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

寝技の補助運動では心拍数は $170 \pm 16 \text{ beats/min}$, 心拍水準は $90.2 \pm 8.1\% \text{ HRmax}$, 酸素摂取水準は $80.4 \pm 9.1\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

寝技の練習では心拍数は $174 \pm 22 \text{ beats/min}$, 心拍水準は $92.5 \pm 11.7\% \text{ HRmax}$, 酸素摂取水準は $82.8 \pm 12.8\% \dot{V}O_2\text{max}$ であった。

表2 最大負荷運動時の呼吸循環機能の反応

被検者	最大酸素摂取量 (l/min) (ml/kg·min)	換気量 (l/min)	最高心拍数 (beats/min)	呼吸商	
A	4.12	57.4	139.1	188	0.99
B	3.69	52.3	153.8	180	1.11
C	4.33	47.0	165.0	180	1.03
D	4.14	57.5	139.1	182	1.13
平均値	4.07	53.6	149.2	183	1.06
標準偏差	± 0.24	± 4.3	± 10.9	± 3	± 0.06

表3 練習中の心拍数, 心拍水準 (%HRmax) および酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_2\text{max}$) (n=4)

測定項目	練習前	準備運動	懸り練習 (100本)	乱取練習 (5分×6人)	補助運動	寝技の練習 (4分×6人)
心拍数 (beats/min)	80 ± 10	154 ± 16	174 ± 16	178 ± 17	170 ± 16	174 ± 22
心拍水準 (%HRmax)	42.4 ± 5.2	82.0 ± 8.3	92.5 ± 8.4	94.5 ± 9.2	90.2 ± 8.1	92.5 ± 11.7
酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_2\text{max}$)	28.5 ± 6.0	71.6 ± 9.2	82.9 ± 9.2	85.0 ± 10.0	80.4 ± 9.1	82.8 ± 12.8

補助運動：寝技の補助運動（伏臥前進，エビ，逆エビ）

上段：平均値 下段：標準偏差

表4 尿中乳酸, ピルビン酸排出濃度の練習前後の変動 (n=4)

	練習前	練習後	T 検定
乳酸(mg/dl)	8.39	35.31	p<0.01
(4.0~14.2)	±1.74	±14.69	
ピルビン酸(mg/dl)	0.43	1.97	p<0.01
(0.37~1.21)	±0.17	±0.74	

() 内は正常値を示す 上段: 平均値 下段: 標準偏差

表5 血中Ht値, LDH, CPK, CrおよびLDH/Ht値比, CPK/Ht値比, Cr/Ht値比の練習前後の変動 (n=4)

	練習前	練習後	T 検定
Ht 値 (%)	41.31	43.49	n. s.
(40~48)	±1.82	±4.64	
L. DH (IU/l)	493.50	643.12	p<0.05
(200~450)	±111.75	±83.30	
CPK (IU/l)	424.38	632.50	p<0.05
(30~150)	±310.29	±221.69	
Cr (mg/dl)	1.15	1.39	p<0.05
(0.6~1.3)	±0.05	±0.28	
LDH/Ht 値	12.06	14.95	p<0.01
	±3.19	±2.48	
CPK/Ht 値	10.41	14.98	p<0.01
	±7.69	±6.35	
Cr/Ht 値	0.0280	0.0319	n. s.
	±0.0017	±0.0046	

() 内は正常値を示す 上段: 平均値 下段: 標準偏差

前の1.44倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.01)な差があることが認められた。

Cr/Ht値比は練習後に高値であり、練習前の1.14倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意な差は認められなかった。

C. 尿中乳酸およびピルビン酸排出濃度

練習前後の尿中乳酸およびピルビン酸排出濃度の平均値は表4に示した。乳酸は練習後に高値であり、練習前の4.21倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.01)な差があることが認められた。

ピルビン酸は練習後に高値であり、練習前の4.58倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.01)な差があることが認められた。

D. 血液性状および血液成分測定結果

練習前後の血中Ht値, LDH, CPK, Cr測定値およびLDH/Ht値比, CPK/Ht値比, Cr/Ht値比の平均値は表5に示した。Ht値は、練習後に高値であり、練習前の1.05倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意な差は認められなかった。

LDHは練習後に高値であり、練習前の1.30倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.05)な差があることが認められた。

CPKは練習後に高値であり、練習前の1.50倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.05)な差があることが認められた。

Crは練習後に高値であり、練習前の1.21倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.05)な差があることが認められた。

LDH/Ht値比は練習後に高値であり、練習前の1.24倍になっている。なお、練習前後でのT検定の結果、有意(p<0.01)な差があることが認められた。

CPK/Ht値比は練習後に高値であり、練習

IV. 考 察

A. 練習中の呼吸循環機能の反応からみた運動強度

運動強度が高まることにより呼吸、循環機能の活動水準は高まり、その結果、酸素摂取量が増加する。特に心拍数は、運動強度や酸素摂取量と高い相関関係を示すことが明らかにされている。

本研究における練習中の心拍数は、 $154 \pm 16 - 178 \pm 17$ beats/min であり、大学柔道部選手の練習2時間の間、心拍数は $130 - 190$ beats/min に分布するという報告⁴⁾ からみるとやや高い水準にある。乱取練習では心拍数は、 178 ± 17 beats/min であったが、猪飼たち¹⁾ による、乱取練習の心拍数は 180 beats/min をこえる選手もみられるという報告に近いものであった。

練習中の心拍水準は、 $82.0 \pm 8.3 - 94.5 \pm 9.2\%$ HRmax を示し、フォックス⁵⁾ が持久性トレーニングの至適強度としてあげている各競技者の $85 - 90\%$ HRmax よりも高い水準にあることから柔道練習が極めて高い心拍水準で推移し、強い刺激を心臓に与える高強度運動であると考えられる。

練習中の酸素摂取水準は、 $71.6 \pm 9.2 - 85.0 \pm 10.0\%$ $\dot{V}O_2$ max を示し、貝瀬たち²⁾、芳賀たち³⁾ の報告よりもやや高値を示した。また、今回の練習時間は約 84 分程ではあるが、マラソン選手のレース中の酸素摂取水準 $70 - 80\%$ $\dot{V}O_2$ max⁶⁾ よりも高値を示した。これらのことから、呼吸循環機能の反応からみて柔道練習は高強度で持久的なものであると考えられる。

B. 練習が尿中乳酸およびピルビン酸排出濃度に及ぼす影響

運動中に起こる筋肉疲労の発生には種々の原因がからんでいるが、最大の原因は運動のためのエネルギー (ATP) をつくる過程で生成される乳酸が蓄積されることである。また、ピルビン酸は糖代謝の中間的物質として存在し、急激なエネルギー需要に際して乳酸と同時に一時的な血中濃度の上昇となって現れ、さらに尿中排出量も増加する⁷⁾。つまり尿の生成過程については、糸球体における濾過量の変動と尿細管における再吸収および分泌の各機構とが密接に関係しあっており、尿中に現れる乳酸、ピルビン酸は無酸素性運動の指標⁸⁾⁹⁾ と考えることができる。しかし、練習が非常に高い酸素摂取水準レベルの運動であった割には尿中乳酸、ピルビン酸排出濃度は低い傾向を示した。このことに関して、運動による酸素負債が増大すれば、安静時より運動後に尿量が増加するという報告⁸⁾ があり、練習による尿量の増加傾向が影響したものと考えられる。つまり運動後の尿中水分の増加傾向により、乳酸やピルビン酸の濃度の上昇がおさえられた可能性がある。

本研究において尿中乳酸、ピルビン酸排出濃度は練習前と比較して練習後に高値を示し、T 検定でも有意差 ($p < 0.01$) が認められた。このことから、柔道練習が有酸素系エネルギー供給のみならず、無酸素系エネルギー供給によっても遂行されたものと考えられる。

C. 練習が血液性状および血液成分に及ぼす影響

Ht 値は、血液全容積中の赤血球容積の占める割合であり、運動による Ht 値の増加の要因は、血中水分量の影響であるといわれている。本研究において Ht 値は、練習後に増加傾向を示した。これは、練習による発汗に伴う血中水分の損失によって、血液が濃縮されたことによるものと考えられる。

LDH はピルビン酸と乳酸の反応を触媒する酵素であり、代謝経路のなかで無氣的解糖の最終段階でピルビン酸を利用するが ATP 産生上必須の酵素である。その働きは、エネルギーを解糖に依存するような数分間の激しい運動の際に重要となる¹⁰⁾。本研究において LDH は、正常値をこえる高値を示し、練習後に有意 ($p < 0.05$) な増加傾向を示した。また、LDH/Ht 値比 (血液の濃縮

による変動をある程度補正)も練習後に有意 ($p < 0.01$) な増加傾向を示した。このことは、練習における無酸素系エネルギーの発揮による細胞膜の透過性の変動など、内部環境の変化を裏づけるものであると考えられる。

CPK は主として骨格筋に由来し、生理的変動として、運動により高値を示す¹¹⁾。CPK の働きは、運動の開始時や数~10 秒程度で終るような運動の際に重要となる¹⁰⁾。本研究において CPK は正常値をこえる高値を示し、練習後に有意 ($p < 0.05$) な増加傾向を示した。また、CPK/Ht 値比(血液の濃縮による変動をある程度補正)も練習後に有意 ($p < 0.01$) な増加傾向を示した。これは、練習によって骨格筋群を多大に使用したことにより、筋肉から逸脱し血中に流失されたことによるものと考えられる。

クレアチニンは、筋肉内でクレアチンおよびクレアチリン酸より産生され、血液中に放出される。この産生は、一日のうちでも 15 時~19 時に最高値を示すという日内変動を除けば、各個人ではほぼ一定で、筋肉量に比例し、食事量、運動、タンパク異化などによってほとんど影響されないという報告¹²⁾がある。本研究においてクレアチニンは練習後に有意 ($p < 0.05$) な増加傾向を示した。しかし、クレアチニン/Ht 値比(血液の濃縮による変動をある程度補正)は増加傾向を示したものの、練習前後での有意差は認められなかった。加えて、一過性の運動により筋肉量が大きく増加することは考えにくく、この変動は血液濃縮の影響によるものであると考えられる。

本研究の結果から、柔道練習は有酸素性かつ無酸素性の要素を含んだ運動であり、さらに血中成分の濃縮が顕著であり、高強度の運動であると結論づけられた。

V. 総 括

柔道練習の運動強度を検討するため、大学柔道部に所属する 4 名の被検者を対象に、練習中の心拍数、心拍水準 (%HRmax)、酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_2$ max) を調査した。さらに、練習前後の尿中乳酸、ピルビン酸排出濃度、血液性状および血液成分の変動を調査した。

結果は以下のとおりである。

- A. 練習中の呼吸循環機能の反応からみた運動強度は、 $71.6 \pm 9.2 - 85.0 \pm 10.0\% \dot{V}O_2$ max, $82.0 \pm 8.3 - 94.5 \pm 9.2\% HR$ max と高値を示した。
- B. 練習前後での尿中乳酸およびピルビン酸排出濃度は、練習後に有意 ($p < 0.01$) な増加を示した。
- C. 練習前後での血清 LDH および CPK 活性は、練習後に有意 ($p < 0.05$) な増加を示した。
- D. 練習前後での血中 Ht 値は、練習後に増加傾向を示した。

以上の結果から、柔道練習は有酸素性かつ無酸素性の要素を含んだ運動であり、さらに血中成分の濃縮が顕著であり、高強度の運動であることが示唆された。

謝辞：本研究を実施するにあたり、教育学部安武律先生並びに松田芳子先生に全面的な御協力を頂き、また血液、尿成分の測定は、医療技術短期大学部甲木孝人先生によるものです。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 猪飼道夫, 金子公有: 柔道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, III, 63-68, 1969.
- 2) 貝瀬輝夫, 渡辺雅之, 小野三嗣, 浅野哲男, 久永哲男, 長津平二, 小野寺昇, 菅原正明: 少年期の柔道が身体に及ぼす影響に関する研究 (第二報), 講道館柔道科学研究会紀要, VI, 83-89, 1984.
- 3) 芳賀脩光, 浅見高明, 小野沢弘史: 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, 1974.
- 4) 全日本柔道連盟強化委員会科学研究部: 柔道の競技力向上に関する研究, 68-71, 1988.
- 5) フォックス: 渡部和彦 訳 選手とコーチのためのスポーツ生理学, 大修館書店, 第11版, pp. 191-238, 1988.
- 6) 宮下充正, 石井喜八 編著: 新訂運動生理学概論, 第1版, 大修館書店, pp. 124-139, 1983.
- 7) 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.
- 8) 小郷克敏, 井本岳秋, 池田一徳: 酸素負債と尿濃縮機構の関係, 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 29, 41-48, 1980.
- 9) 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: 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, 体力科学, 27, 64-72, 1978.
- 10) 伊藤朗 編著: 図解・運動生化学入門, 医歯薬出版, 第1版, pp. 131-146, 1988.
- 11) 菅野剛史: クレアチンキナーゼ (CK), 臨床雑誌内科, 南江堂, 61 (6), 1012-1014, 1989.
- 12) 清水倉一, 安藤稔: 血清クレアチニン, 臨床雑誌内科, 南江堂, 61 (6), 1092-1095, 1989.