

# 柔道競技者におけるロープトレーニングの生理学的反応

小菅 亨<sup>1, 2)</sup>, 岡田 隆<sup>1, 2)</sup>, 増田 敦子<sup>3)</sup>, 石井 孝法<sup>2, 4)</sup>, 山田 利彦<sup>4)</sup>, 金丸 雄介<sup>4)</sup>, 菅波 盛雄<sup>5)</sup>

了徳寺大学・健康科学部整復医療・トレーナー学科<sup>1)</sup>

了徳寺大学・ウェルネストレーニングセンター<sup>2)</sup>

了徳寺大学・健康科学部医学教育センター<sup>3)</sup>

了徳寺大学・教養部<sup>4)</sup>

順天堂大学・スポーツ健康科学研究科<sup>5)</sup>

## 要旨

柔道の競技力強化の現場で行われている「ロープトレーニング」とは上肢と体幹を主に用いて局所筋持久力と全身持久力の向上を目的に行われるものである。この方法が柔道競技において普及しているのは柔道には上肢と体幹を多く用いるという競技特性があるためである。本研究ではロープトレーニングの生理学的反応を明らかにし、ロープトレーニングのトレーニング効果に関する知見を得ることを目的とした。

大学男子柔道部員10名を対象とし、ロープトレーニングをTabata protocolに模倣したロープトレーニングで行わせた。測定項目は酸素摂取量、血中乳酸濃度、心拍数とした。また、自転車ペダリング運動によって測定される仮定最大値 ( $\dot{V}O_{2max}$ ,  $Lamax$ ,  $HRmax$ ) との相対値を算出した。

結果は $\dot{V}O_{2max}$  に対してロープトレーニング中の $peak\dot{V}O_2$ は有意に低く、 $Lamax$ に対し、ロープトレーニング中の $peakLa$ は有意に高かった。 $peakHR$ はロープトレーニング中ほぼ $HRmax$ に近い値で推移し、有意差はなかった。

上記によりロープトレーニングは解糖系に最大の負荷をかけるが、酸化機構には最大の半分程度の負荷しかけることができないということになる。これは、上肢などの局所筋における解糖系に大きな負荷がかかることで酸化機構への負荷が十分に高まる前にオールアウトしたことが原因であると考えられる。

今後は、ロープトレーニングで負荷をかけることができなかった酸化機構に最大負荷をかけることができるプロトコルを探索していくことが課題の1つである。

キーワード：柔道、ロープトレーニング、呼気ガス分析、血中乳酸濃度

## Physiological Reaction of Judo Athletes to Rope Training

Toru Kosuge<sup>1,2)</sup>, Takashi Okada<sup>1,2)</sup>, Atsuko Masuda<sup>3)</sup>, Takanori Ishii<sup>2,4)</sup>

Toshihiko Yamada<sup>4)</sup>, Yusuke Kanamaru<sup>4)</sup>, Morio Suganami<sup>5)</sup>

Department of Judotherapy and Sports Medicine, Faculty of Health sciences, Ryotokuji University<sup>1)</sup>

Wellness Training Center, Ryotokuji University<sup>2)</sup>

Center of Medical Education, Faculty of Health Sciences, Ryotokuji University<sup>3)</sup>

Center of Liberal Arts Education, Ryotokuji University<sup>4)</sup>

School of Health and Sports Science Juntendo University<sup>5)</sup>

## Abstract

Many Judo athletes workout waving a thick rope to improve their upper extremity, trunk muscular endurance and cardiopulmonary function. This method is popular among judo athletes because the upper body works harder in judo competition. The purpose of this study is to clarify the physiological response to rope training.

The subjects were 10 male university judo athletes. We used a form of rope training named the Tabata protocol at maximum effort. Measured items during this form of rope training were oxygen consumption (VO<sub>2</sub>), blood Lactate (La), and the heart rate (HR). To compare with maximum value and calculated relative values (%VO<sub>2</sub>, %La, %HR), we measured assumed maximum values using a stationary bike pedaling exercise at a base value.

After the rope training, the value of the peak VO<sub>2</sub> was significantly lower compared with the assumed VO<sub>2</sub> max (26.5±4.5 vs 45.7±7.7 ml/kg/min, P<0.01). The peak La was significantly higher than that of the assumed maximum value (7.8±0.8 vs 9.9±2.1 mmol/l, P<0.05). The peak HR was close to the HRmax, and there was no significant difference (188.9±37.4 vs 200.4±1.0 b/min).

Rope training loaded enough energy on the glycolytic pathway to enhance its capacity, but it loaded energy to the degree of only half of the maximum capacity of the oxidation mechanism. We consider that maximum effort rope induces fatigue on the glycolytic pathway to the topmost extremity before the oxidation mechanism reaches maximum capacity. Therefore, the rope training protocol used in the present study is effective to enhance the upper body muscular endurance. For judo athletes needing whole body endurance, it is necessary to devise a rope training protocol to enhance the maximum load cardiopulmonary function for the muscle oxidation mechanism.

Keyword : judo, rope training, analysis of expired gas, blood lactate concentration

## I. はじめに

柔道の競技力強化の現場では「トレーニング（バトル、パワー）ロープ」という長さ12-15m、重量7-10kgのロープを主に上肢と体幹を用いて様々に動作すること（以下ロープトレーニング）を体カトレーニングの方法の一つとして行っている。この方法が柔道競技において普及しているのは柔道には上肢を多く用いるという競技特性があるためである。ロープトレーニングは田畑らが提案した有酸素性および無酸素性エネルギー供給系の両方を同時に強化できる高強度間欠性トレーニング<sup>1, 2, 3, 4)</sup> (Tabata protocol) を模倣した方法で実施されている。それにより柔道競技者は全身持久力や無酸素性持久力等を向上させ、競技力強化を目指している。

先行研究では柔道<sup>5, 6)</sup> のほかにカヌー<sup>7, 8, 9)</sup>、水球<sup>10, 11)</sup> の競技者において上肢無酸素性パワー発揮を評価するために上肢クランキング運動を用いた研究が行われている。高木ら<sup>10)</sup> の報告によると水球競技者の上肢クランキング運動によって測定された上肢無酸素性パワーとスカーリングによる水中浮上能力に有意な相関関係があるとしている。これは上肢無酸素性パワーを向上させることは水球競技者の競技力向上に大きく貢献する可能性があるといえよう。

さらに、進行性筋ジストロフィー<sup>12)</sup> や慢性閉塞性肺疾患<sup>13, 14, 15)</sup> という有疾患に対する上肢運動を用いての全身持久力評価やその向上への有用性も報告されている。しかし、柔道競技者が行っているロープ

トレーニングのトレーニング効果を検証した研究はなく、その生理学的反応は明らかではない。

そこで、本研究は柔道選手が行っているロープトレーニングを強化の現場と同じプロトコルで柔道競技者に行わせその生理学的反応を明らかにし、トレーニング効果に関する知見を得ることを目的とした。

## II. 対象と方法

大学柔道部に所属する男子選手10名とし、年齢 $19.6 \pm 1.0$ 歳、体重 $75.3 \pm 6.3$ kgであった（平均値 $\pm$ 標準偏差）。また、実験参加に関しては書面で同意を得た。（平成26年度了徳寺大学生命倫理委員会の承認を得て実施した。承認番号：2640）実験にはトレーニングロープ（ジムロープ、Fitness Shop、日本）を使用し、トレーニングプロトコルはTabata protocol<sup>1, 2, 3, 4)</sup>を参考にしたトレーニング方法（運動20秒、休憩10秒を8セット）で行った。ロープトレーニングは両手で把持したトレーニングロープを大きく縦に交互に振る動作で行った。プロトコル中、疲労困憊になるように最大努力で実施させ、力発揮の部位が上肢体幹に限定するよう椅子に座らせて行わせた。

測定項目は酸素摂取量（ $\text{VO}_2$ ）、心拍数（HR）、血中乳酸濃度（La）とした。酸素摂取量は体格の影響が出ないように測定値を体重で割った値（ $\text{mmol/kg/min}$ ）を算出した。また、自転車ペダリング運動によって測定される、仮定された最大酸素摂取量（ $\text{VO}_{2\text{max}}$ ）、最大心拍数（HRmax）、最大血中乳酸濃度（Lamax）から相対値を算出した。酸素摂取量は体格の影響が出ないように測定値を体重で割った値（ $\text{mmol /kg/min}$ ）を算出した。

酸素摂取量（ $\text{ml/min}$ ）と心拍数（ $\text{b/min}$ ）はエアロモニタ（AE300S、MINATO、日本）で経時的にモニタリングし、10秒ごとに平均値を算出した。血中乳酸濃度（ $\text{mmol/l}$ ）は簡易的血中乳酸濃度計（ラクテートプロ<sup>TM</sup>2 LT-1730、アークレイ、日本）でプロトコル開始前、2セット終了後、4セット終了後、6セット終了後、プロトコル終了後において耳朶から計5回測定した。

最大酸素摂取量は自転車エルゴメータ（AEROBIKE 75XL II、コンビウエルネス社、日本）を用いて運動させ、運動負荷は安静1分間、w-upを15Wで1分間行わせた後、毎分15Wのランプ負荷にて自覚的症候限界域まで行わせて算出した。最大血中乳酸値は解糖系に最大の負荷がかかるとされる30秒 - 3分<sup>16)</sup>の間にオールアウトするように自転車エルゴメータ（POWERMAX V III、コンビウエルネス社、日本）を用いてTabata protocolを模倣し、最大努力で疲労困憊になるように実施した。プロトコル終了後において耳朶から測定した血中乳酸濃度を最大血中乳酸濃度とした。最大心拍数はAPMHR（Age-predicted maximum heart rate）<sup>16)</sup>を用いて年齢から推定した。

各生理学的指標の最大値に対してロープトレーニング中の生理学的反応はどの程度となるのか明らかにするために、各生理学的指標の最大値とロープトレーニング中のそれぞれの最大値（ $\text{peakVO}_2$ 、 $\text{peakHR}$ 、 $\text{peakLa}$ ）を比較した。統計的検定には対応のあるt検定を用い、有意水準は5%未満とした。

## III. 結果

### 1. 最大酸素摂取量、最大心拍数、最大血中乳酸濃度

$\text{VO}_{2\text{max}}$ 、HRmax、Lamaxの平均値 $\pm$ 標準偏差は以下の表1のような結果となった。

### 2. ロープトレーニング中の生理学的反応

ロープトレーニング中の $\text{VO}_2$ 、HR、Laの平均値 $\pm$ 標準偏差は以下の表2のような結果となった。

表1と表2をもとに各生理学的指標の最大値とロープトレーニング中における最大値を比較するため、

表1. 最大酸素摂取量, 最大心拍数, 最大血中乳酸濃度

VO <sub>2</sub> max (mmol/kg/min)	HRmax (b/min)	Lamax (mmol/l)
45.7±7.7	200.4±1.0	7.8±0.8

平均値±標準偏差

表2. ロープトレーニング中の生理学的反応

	経過時間 (sec)	VO <sub>2</sub> (mmol /kg/min)	HR (b/min)	La (mmol/l)
開始前	0	6.8±1.9	82.2±11.8	1.74±0.4
1セット	10	10.1±4.0	160.2±31.7	
	20	18.5±4.3	162.8±22.7	
休憩1	30	22.0±4.2	171.8±20.2	
2セット	40	23.2±4.3	179.2±27.7	
	50	24.9±3.1	165.9±24.5	
休憩2	60	26.5±4.5	166.0±24.0	3.14±1.0
3セット	70	22.8±4.1	169.2±28.2	
	80	25.8±4.5	162.3±26.1	
休憩3	90	26.3±3.6	174.0±27.0	
4セット	100	22.1±5.5	173.3±14.8	
	110	25.0±5.4	174.9±20.0	
休憩4	120	25.8±3.7	182.3±15.7	7.62±1.7
5セット	130	22.4±4.6	170.8±22.0	
	140	25.7±4.2	181.3±20.4	
休憩5	150	24.9±3.1	174.3±19.3	
6セット	160	21.5±5.2	175.0±23.9	
	170	25.6±5.7	179.1±17.9	
休憩6	180	24.1±3.8	186.8±18.8	9.91±2.1
7セット	190	22.0±5.2	181.4±16.6	
	200	25.4±5.4	178.9±29.6	
休憩7	210	24.2±4.1	182.5±30.9	
8セット	220	22.0±4.6	188.9±37.4	
	230	25.5±5.6	174.3±20.4	
終了後				6.39±1.6

平均値±標準偏差

対応のあるt検定で比較したところVO<sub>2</sub> (p<0.01) とLa (p<0.05) にて統計学的な有意差が認められた。(表3)

さらに、各測定値の最大値に対するロープトレーニング中測定値の割合(%VO<sub>2</sub>max, %HRmax, %Lamax)を算出した。(表4, 図1, 2, 3)

表4より、%VO<sub>2</sub>maxは22.1%から2セット目終了時点で最大の57.9%となり、その後はほぼ変動がなくプロトコル終了時では55.7%となった。%HRmaxは開始直後の79.9%から多少増減しながらも漸増していき、8セットの94.3%を最大とした。%Lamaxは22.3%から4セット終了後にはほぼ最大値の97.5%となり、6セット終了時点には最大値を超える126.8%となった。そして、終了後には81.8%に低下した。

表3. 各生理学的指標の最大値とロープトレーニング中における最大値の比較

VO <sub>2</sub> max (mmol/kg/min)	HRmax (b/min)	Lamax (mmol/l)
45.7±7.7	200.4±1.0	7.8±0.8

平均値±標準偏差

表4. 各測定値の最大値に対するロープトレーニング中測定値の割合

	経過時間 (sec)	%VO <sub>2</sub> max	%HRmax	%Lamax
開始前	0	14.8	41.0	22.3
1セット	10	22.1	79.9	
	20	40.4	81.2	
休憩1	30	48.1	85.7	
2セット	40	50.7	89.4	
	50	54.5	82.8	
休憩2	60	57.9	82.8	40.2
3セット	70	49.9	84.4	
	80	56.3	81.0	
休憩3	90	57.6	86.8	
4セット	100	48.4	86.5	
	110	54.8	87.3	
休憩4	120	56.3	91.0	97.5
5セット	130	48.9	85.2	
	140	56.2	90.5	
休憩5	150	54.6	87.0	
6セット	160	47.1	87.3	
	170	55.9	89.4	
休憩6	180	52.7	93.2	126.8
7セット	190	48.2	90.5	
	200	55.6	89.3	
休憩7	210	53.0	91.1	
8セット	220	48.0	94.3	
	230	55.7	87.0	
終了後				81.8

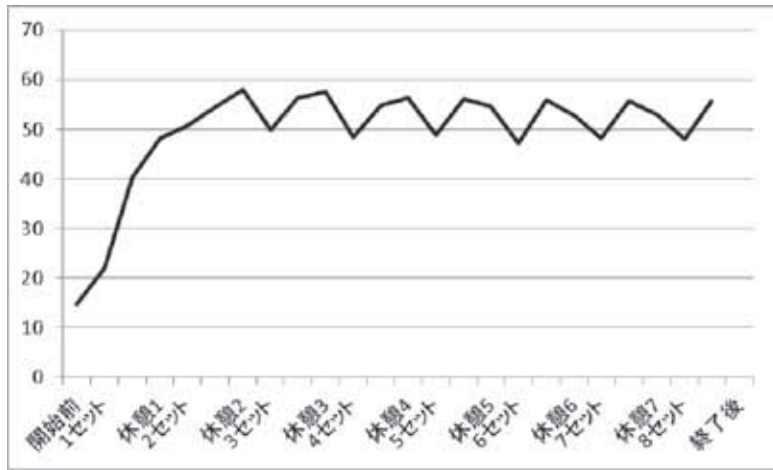


図1. %VO<sub>2</sub>maxの経時的変化

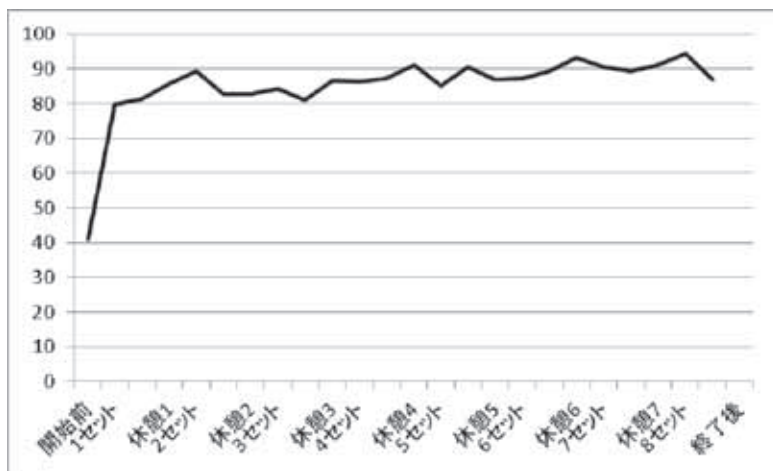


図2. %HRmaxの経時的変化

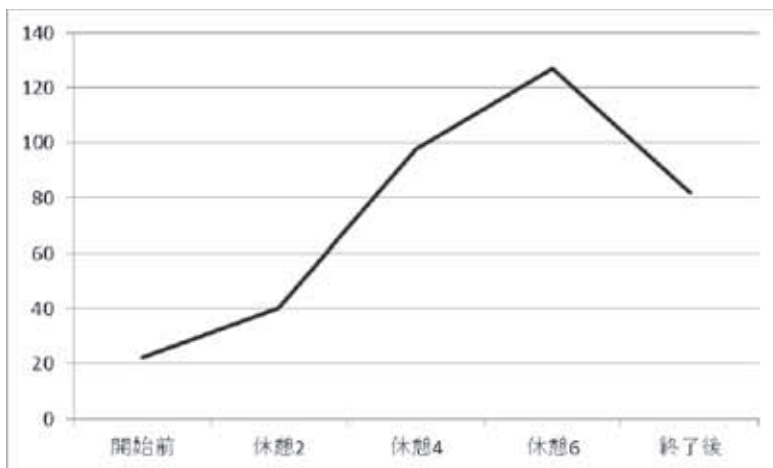


図3. %Lamaxの経時的変化

#### IV. 考察

結果より $VO_2\max$ に対してロープトレーニングの $\text{peak}VO_2$ は有意に低いことが明らかとなった(表3)。また、 $\%VO_2\max$ の最大値は2セット目終了後の57.9%であった(表4)。有酸素持久能力向上プログラムでは70 $\%VO_2\max$ 程度の運動負荷で実施されている<sup>16)</sup>ことや、小澤ら<sup>17)</sup>が柔道競技の練習強度を $\%VO_2\max$ で測定し85%と報告していることから、ロープトレーニングはエネルギー供給機構の1つである酸化機構にトレーニング効果を発揮するのに十分な負荷はかけられていないと考えられる。

HRmaxとロープトレーニング中の $\text{peak}HR$ には有意差はなかった(表3)。また、 $\%HR\max$ は開始直後の79.9%から8セットの94.3%と増加し、トレーニング中を通して常に最大に近い値で推移した(表4)。さらに、先行研究によると<sup>17)</sup>柔道競技の練習中は94.5%HRmaxに達したとし、ロープトレーニングには循環器系に柔道競技中と同程度の負荷をかけることができると考えられる。

Lamax に対し、ロープトレーニング中の $\text{peak}La$ は有意に高いことが明らかとなった(表3)。また、 $\%Lamax$ は4セット終了後に97.5%、6セット終了後に仮定された最大値を超える9.9 mmol/lとなり、126.8%となった。松坂ら<sup>18)</sup>は女子柔道選手が4分間以上試合を行った場合における試合終了後の血中乳酸濃度は8.6 mmol/lと報告している。高橋ら<sup>19)</sup>は乱取練習中の血中乳酸濃度を5.3 mmol/lとし、OBLAをやや上回るレベルであると述べている。OBLAは血中乳酸の産生と除去のバランスが崩れて継続的な乳酸の蓄積が始まる強度とされている<sup>16)</sup>。したがって、ロープトレーニングは解糖系に大きな負荷をかけていると推測され、さらに、柔道競技者が最高のパフォーマンス発揮を目指す「試合」を上回る血中乳酸濃度であることからロープトレーニングは柔道競技者の試合を超える負荷をあたえるトレーニングとして有効であると考えられる。

本研究において自転車エルゴメータで測定した血中乳酸濃度に比べ、ロープトレーニングで測定した血中乳酸濃度の値が有意に大きくなった。これは、自転車エルゴメータで使用される下肢筋群より、ロープトレーニングで用いられる上肢筋群及び体幹筋群の方が筋量が多いことや本動作方法のロープトレーニングでは下肢筋群もプロトコル中に多少使用されていることが原因であると推測される。つまり、最大血中乳酸濃度を測定する場合、一般的である自転車ペダリング運動を用いるよりもロープトレーニングの方が適正であると考えられる。少なくとも、柔道競技者では競技中に上肢を多く用いるという競技特性によって測定はロープトレーニングの方が適正だと本研究の結果から推測される。本研究で最大値と仮定したペダリング運動による $\text{peak}La$ を超える値が柔道競技の試合後<sup>18)</sup>に報告されていることもこれに裏付けされる。

本研究で模倣した Tabata Protocolは厳密な最大酸素摂取量測定から推定される170%  $VO_2\max$ 時の負荷で行われ段階的に酸素摂取量を最大値に達せしめる事が可能である<sup>1)</sup>。しかし、ロープトレーニングでは初期の負荷設定が困難であるため、競技力強化の現場としてはその場の最大努力で行わせる方法がほとんどである。そのため実際の結果としても $\text{peak}VO_2$ は50%  $VO_2\max$ 程度と少なかった。しかし、乳酸に関しては仮定した最大値を超える126.8%  $Lamax$ もの高い値を記録した。つまり、ロープトレーニングは解糖系に最大の負荷をかけているにもかかわらず、酸化機構には最大の半分程度の負荷しかけることができないということになる。これは、上肢などの局所筋に乳酸などの代謝産物が増加し、筋小胞体から $Ca^{2+}$ の放出や取り込みが抑制され筋疲労が惹起されることで酸化機構への負荷が十分に高まる前にオールアウトしたことが原因であると考えられる。

今回の研究により、試合中に上肢が疲労困憊になり、それが原因でパフォーマンスが低下してしまうような選手には局所筋の解糖系能力向上を目的にロープトレーニングを行うことは有効である可能性が示唆

された。

今後は、本研究で用いたプロトコルでのロープトレーニングでは大きく負荷をかけられなかった酸化機構に最大の負荷をかけられるようなトレーニングプロトコルを探索していくことも1つの課題である。

## V. 結論

本研究で用いたプロトコルでのロープトレーニングは酸化機構には半分程度の負荷しかかけることができなかったが、エネルギー供給系では解糖系に、心拍数を主要とした循環器系には最大の負荷で行えることが明らかとなった。以上によりロープトレーニングは上肢無酸素性パワーが重要な柔道競技に有効なトレーニング方法であることが示唆された。

## VI. 謝辞

本研究の被験者として協力を快諾くださった了徳寺大学柔道部の方々に深謝致します。

## 文献

- 1) 田畑泉 (2009) 無酸素性トレーニング? Tabata Protocolとは. 体育の科学. 59-3, 168-176.
- 2) 田畑泉 (2013) 高強度間欠的トレーニング (HIT) の理論的背景. 体育の科学. 63-9, 683-688.
- 3) Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M et al (1996) Effects of moderate intensity endurance and high intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. Med Sci Sports Exerc. 28, 1327-1330.
- 4) Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M et al (1997) Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. Med Sci Sports Exerc. 29, 390-395.
- 5) 中道泰宏, 岡田弘隆, 林弘典ほか (2001) 柔道競技者における間欠的な筋力発揮能力に関する研究. Research of Budo. 34, 42.
- 6) 檜崎教子, 高松薫, 中村勇 (2001) 女子柔道競技者における上肢の間欠的な無氣的パワーの発揮特性. Research of Budo. 34, 17.
- 7) 橋本亜季, 中村夏実, 高井洋平ほか (2011) 大学カヌースプリント競技・カヤック選手の形態的特徴および力発揮能力と競漕タイムとの関係. スポーツトレーニング科学12, 1-8.
- 8) 平山祐, 山本正嘉 (2003) 日本における男子一流カナディアンレーシングカヌー選手の体力特性. スポーツトレーニング科学. 4, 39-46.
- 9) 岩本はるみ, 山本正嘉 (2005) カヌー競技における高校生期の競技力向上の問題点とその解決策. スポーツトレーニング科学6, 60-64.
- 10) 高木英樹 (2008) 水球競技の体力化学. 筑波大学体育科学系紀要. 31, 27-41.
- 11) 原朗 (1993) 日本代表水球選手の脚および腕の無酸素性パワー. 経営情報科学. 6-2, 163-166.
- 12) 東章弘, 川上英樹, 前澤勝之 (2000) 車椅子を使用している進行性筋ジストロフィー患者に対する肥満解消を目的とした運動指導の一例: 腕エルゴメータ作業による有酸素性トレーニングの実践. 体育学研究. 45, 739-745.
- 13) 高橋哲也, Sue J, 安達仁ら (2013) 肺気腫患者のための上肢運動負荷試験. THE LUNG-perspectives. 9巻 (1), 166-170.



- 14) 高橋哲也, Sue J, Geoff Sら (1999) 慢性閉塞性肺疾患患者のための上肢運動負荷試験の開発. 理学療法学. 26 (1), 1-8.
- 15) 藤本繁夫, 前田如矢, 栗原直嗣 (1993) 肺気腫患者の総合体力に及ぼす上肢運動訓練の検討. 体力科学. 42 (6), 651.
- 16) Thomas R, Baechle R, Earle W (2010) NSCA決定版ストレングストレーニング&コンディショニング第3版, 有限会社ブックハウス・エイチデイ. 35-544.
- 17) 小澤雄二, 成松英雄, 小郷克敏ほか (1994) 生理学的変動からみた柔道練習の運動強度. 熊本大学教育学部紀要. 43, 63-69.
- 18) 松坂晃, 尾形敬史 (1997) 女子柔道選手の試合後の血中乳酸濃度について. 日本体育学会大会号. 48, 520.
- 19) 高橋宗良, 岩原文彦, 斉藤仁ら (1999) 一流男子柔道選手の乱取り練習の運動強度. THE ANNUAL REPORTS OF HEALTH PHYSICAL EDUCATION AND SPORT SCIENCE. 18, 93-101.

(平成26年11月30日稿)

査読終了年月日 平成26年12月22日