

博士論文

大学男子柔道選手の競技力を担う筋力発揮特性と
そのトレーニング法に関する研究

令和2年度

筑波大学

増地 克之

関連論文

原著論文

1. 増地克之, 町田正直, 松井崇, 薬師寺巨久, 金野潤, 小山勝弘, 岡田弘隆, 金丸雄介, 小俣幸嗣, 武政徹. 柔道における持久力および筋力トレーニングとしての打ち込みの効果: 運動生理・生化学的観点からの検討. 武道学研究, 42(2):1-9, 2009.
2. 増地克之, 竹澤稔裕, 金野潤, 佐藤伸一郎, 鈴木なつ未, 衛藤友親, 春日井淳夫, 桑森真介: 男子柔道選手の等速性体幹筋力: 角速度変化に伴う発揮筋力の変化について. 武道学研究, 43(1):19-26, 2010.
3. 増地克之, 法兼真, 小倉大輝, 窪田友樹, 松井崇: 大学男子柔道選手の体力向上に向けた足技かかり練習の至適ペース探索: 代謝・内分泌指標による基礎的検討. 体育学研究, 65: 793-804, 2020.

目次

関連論文.....	i
目次	ii
List of Tables	vi
List of Figures	vii
用語定義.....	viii
第1章 緒言	1
第2章 先行研究.....	5
1. 体幹筋力に関する研究	5
1-1. 体幹筋力の重要性	5
1-2. 柔道における体幹筋力の重要性.....	6
1-3. 体幹筋力測定	7
1-4. 角速度増加に伴う発揮筋力の変化	9
1-5. 角速度増加に伴う筋力低下率の比較	10
2. 柔道における運動生理・生化学的観点からの研究	11
2-1. 運動生理・生化学的観点からみた柔道の競技特性	11
2-2. 呼吸循環器系応答からみた柔道の稽古法の運動強度について	13
2-3. 血中 La 濃度変化からみた柔道の稽古法の運動強度について	16
2-4. 内分泌系応答の変化からみた柔道の稽古法の運動強度について	17
2-5. 打ち込みの種類による運動強度の違い	19
2-6. 文献研究で得られた知見	20
第3章 研究目的および課題	22
1. 研究目的	22

2. 研究課題	22
第4章 男子柔道選手の等速性体幹筋力：角速度変化に伴う発揮筋力 の変化について (研究課題1).....	24
1. 目的.....	24
2. 方法.....	25
2-1. 被験者.....	25
2-2. 体幹筋力測定.....	26
2-2-1. 測定機器.....	26
2-2-2. 測定プロトコルと評価項目.....	26
2-2-3. 測定時の姿勢設定.....	27
2-3. その他の測定・調査項目.....	27
2-4. 統計処理.....	27
3. 結果.....	28
3-1. 体幹伸展時ピークトルク.....	28
3-2. 体幹屈曲時ピークトルク.....	31
4. 考察.....	34
5. 要約.....	37
第5章 柔道における持久力および筋力トレーニングとしての打ち 込みの効果：運動生理・生化学的観点からの検討(研究課題2-1).....	39
1. 目的.....	39
2. 方法.....	41
2-1. 被験者.....	41
2-2. 予備実験.....	41
2-3. 打ち込み実験.....	43
2-4. 測定項目.....	44
2-5. 統計処理.....	45
3. 結果.....	45

3-1. $\dot{V}O_2 \max$, および HR_{\max}	45
3-2. 打ち込み実験中の HR , RPE , および推定 $\% \dot{V}O_2 \max$ の変化	45
3-3. 打ち込み実験による乳酸, $ACTH$, および GH の血中濃度変化	45
4. 考察.....	48
4-1. 呼吸循環器系応答からみたスピード打ち込みの運動強度.....	48
4-2. 血中 La 濃度変化からみたスピード打ち込みの運動強度.....	49
4-3. 内分泌系応答からみたスピード打ち込みの運動強度.....	50
5. 要約.....	51
第6章 大学男子柔道選手の体力向上に向けた足技かかり練習の至 適ペース探索：代謝・内分泌指標による基礎的検討（研究課題2-2）	53
1. 目的.....	53
2. 方法.....	55
2-1. 被験者.....	55
2-2. トレッドミルによる最大酸素摂取量と最大心拍数の測定.....	57
2-3. 足技打ち込み実験.....	57
2-4. 打ち込み実験における測定項目.....	59
2-5. 統計処理.....	60
3. 結果.....	60
3-1. 主観的運動強度（ RPE ）.....	60
3-2. 心拍数（ HR ）.....	62
3-3. 推定酸素摂取量（ $\% \dot{V}O_2 \max$ ）.....	63
3-4. 血中乳酸濃度.....	64
3-5. 血中副腎皮質刺激ホルモン（ $ACTH$ ）濃度.....	65
4. 考察.....	66

5. 要約	71
第7章 総合討論	73
第8章 結論	79
謝辞	81
引用文献	82

List of Tables

Table 1 Characteristics of subjects	26
Table 2 被験者の身体特性	42
Table 3 被験者の身体特性と体力水準	56

List of Figures

Figure 1 Experimental design in the present study	23
Figure 2 Peak torque during trunk exetension at each angle velocity	29
Figure 3 Decreasing rate of trunk extension torque for angle velocity of 30 deg / s	30
Figure 4 Peak torque during trunk flexion at each angle velocity	32
Figure 5 Decreasing rate of trunk flexion torque for angle velocity of 30 deg / s	33
Figure 6 実験プロトコル	43
Figure 7 打ち込み実験中の平均 HR (A), 平均 RPE (B) の変化	46
Figure 8 打ち込み実験による乳酸 (A), ACTH (B), および GH (C) の血中 濃度変化	47
Figure 9 足技打ち込み	58
Figure 10 打ち込み実験における心拍測定と採血	59
Figure 11 異なるペースの打ち込み時の主観的運動強度 (RPE)	61
Figure 12 異なるペースの打ち込み時の心拍数 (HR)	62
Figure 13 異なるペースの打ち込み時の推定酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)	63
Figure 14 異なるペースの打ち込み時の血中濃度	64
Figure15 異なるペースの打ち込み時の血中副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) 濃度	65

用語定義

・体幹

体幹とは、身体四肢と頭部を除いた重量約 48%を占める部位である（藤本ほか, 2013）。体幹にはお腹を取り巻く筋である腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋、腹横筋、背骨や骨盤の動きに関係する脊柱起立筋、腰方形筋、大腰筋、呼吸筋である横隔膜も含まれ、運動については四肢間の運動連結やバランスに関して重要な役割を果たしている。近年、体幹筋の働きを重視したトレーニング法をスポーツ選手が応用している。

・体幹の伸展および屈曲

体幹の伸展とは体幹を後屈させることであり、体幹の屈曲とは体幹を前屈させることである。

・等速性（Isokinetic）体幹筋力

等速性体幹筋力とは、運動速度を規定した一定速度内における体幹の発揮筋力のことである。等速性運動は、Isokinetic machine という機器を用いて、トルクを記録することが可能であり、運動中の発揮筋力を客観的にチェックでき、そのトルクカーブからは、傷害の有無やその危険性がどの角度に潜在するのかを監視することが可能である。また、トルクカーブに囲まれた面積から仕事量を知ることができるため、ピークトルクやピークトルクの発生した時間、その時の関節角度、平均トルク、仕事量などが算出できる。さらに角速度における平均パワー（力×速度）や、高速で多数回の訓練を行わせてトルク値や仕事量の減衰率を算出することができる（仁賀定雄, 1992）。

・HR

HR とは「Heart Rate」の略で「心拍数」のことである。ランニングなどの持久性運動の場合、心拍数は運動強度（運動負荷）にほぼ比例して上昇する。トレーニングにより良好な効

果を得るためには、運動強度の設定が重要である。運動強度が適正であれば良好なトレーニング効果をもたらすが、過剰だと事故や障害などが生じる危険性があり、逆に過少であるとトレーニング効果は期待できない。トレーニングの運動強度を知ることは、トレーニングを計画する上で重要な要素である。心拍数は運動強度（運動負荷）にほぼ比例して上昇することから、持久力トレーニングの場合、心拍数が運動強度のひとつの指標となり、適切な心拍数を目安としてトレーニングを行うことで全身持久力向上につながるといわれている（日本体力医学会体力科学編集委員会，1993）。

・ RPE

RPE とは「Rating of Perceived Exertion」の略で「主観的運動強度」のことである。運動を行っている人がどの程度「きつい」と感じるかを、6～20 の数値で表す。RPE の数値を 10 倍すると、その時の心拍数に近い値になる。運動におけるエネルギー消費量や生理的負荷が増加すると、RPE の数値も増加する。例えば、RPE が 13～14 程度の場合、心拍数は 130～140 程度であり、最大心拍数の 70%程度に対応する。表現としては「ややきつい」程度となる（ジェイ・ホフマン, 2011）。

・ HRR

HRR とは「Heart Rate Reserved」の略で「予備心拍数」のことである。心拍数より運動強度を計算式で算出する。

・ Lactate

乳酸(塩)。グリコゲンやグルコースが解糖系により分解されるときに生じる中間代謝産物。古くは乳酸の増加が疲労の原因になると考えられていたが、最近では筋でも脳内のニューロンでもエネルギー基質として利用されることが明らかになってきている。

・ LT

LT とは「Lactate Threshold」の略で、「乳酸性作業閾値」のことである。漸増負荷運動時に約 50～70%VO₂ max 程度の強度から急に乳酸が増加し始める点をいい、エネルギー供給系が有氣的から無氣的な代謝に移行する閾値である。

・ OBLA

OBLA とは「Onset Blood Lactate Accumulation」の略で、「乳酸蓄積開始点」のことを言い、血中乳酸濃度が 4 mmol/l となる運動強度のことである。

・ ホルモン

ホルモンとは、微量で作用する体の中で作られる物質で体の様々な機能調節を行う。

・ 血中 La 濃度

ある一定レベルの運動強度を超えると、酸素の需要量と供給量のバランスが崩れ、酸化が追いつかなくなり血中に乳酸が溜まっていく。LT や OBLA を越える強度の運動は、持久的パフォーマンスを向上させることが知られており、持久性トレーニングを行う際の重要な指標となっている（ジェイ・ホフマン, 2011 ; Soya et al., 2007）。

・ 血中 ACTH 濃度

精神的、身体的ストレスが高まると、主に脳下垂体前葉から ACTH（副腎皮質刺激ホルモン）が分泌される。ACTH が副腎に作用すると、副腎皮質からコルチゾールが分泌される。これらのホルモンは、ストレス反応に大きく関与していることから「ストレスホルモン」と呼ばれている。ストレスホルモンの分泌量が異常値を示すと、身体の免疫機能が低下し、調節器官が乱れて様々な症状が出てくる。分泌量によっては糖尿病、高血圧、自律神経失調症、うつ病などの発症の恐れがある（日本比較内分泌学会, 2000）。

・ コルチゾール

コルチゾールとは、副腎皮質で合成・分泌されるステロイドホルモンである。ACTHにより分泌が促進される。

・オーバートレーニング

適切なトレーニングは競技力向上などの効果が得られるが、過剰なトレーニングを慢性的に行うことはコンディションを悪化させ、競技力の停滞や低下を引き起こす。この状態を「オーバートレーニング」という。これは、過度な運動強度と運動量によって十分な休養が取れなくなった場合に発症する。オーバートレーニングの特徴として、疲れやすい、全身倦怠感、睡眠障害、食欲不振、体重減少、集中力の欠如などがみられる。また症状が進行すると、うつ病に類似した兆候がみられることがある。深刻なオーバートレーニングに陥ると、長くトレーニングを休止しなければならない（根本勇，2003）。競技に対する向上心の高い選手ほど、オーバートレーニングに陥る可能性が高いといわれている（Fry et al. 1991）。このような状況を防ぐために、発症の初期段階で発見することが重要になってくる。トレーニングのやり過ぎに注意するとともに、十分な栄養を摂取し、睡眠を確保するなど指導者および選手自身がオーバートレーニングを認知し、計画的にトレーニングを進めていくことが大切である（根本勇，2003）。

第1章 緒言

スポーツ選手が良好なパフォーマンスを発揮するためには、トレーニングを通じて体力、技術、精神力および戦術を向上させる必要がある (Sterkowicz et al., 2007). 競技と体力の関係について、金原 (1976) は、陸上競技は良い成績をあげるのに技よりも体力がより重要であると述べている。高度な技術、戦術を発揮することに見合った体力がなければ、パフォーマンス発揮にはつながらないことが考えられる。対人格闘技である柔道競技のパフォーマンスも、体力が大きく影響することが知られている (Little, 1991). 柔道選手は、無酸素性能力や有酸素性能力、静的および動的な筋力、筋パワーや持久力など様々な体力を必要であり (Franchini et al., 2011), 柔道の投技を行う上で、骨格筋の収縮力すなわち筋力が重要な役割を果たす (Imamura et al., 2007).

近年、筋力の中でも体幹筋力が注目されている (Van Dieen et al., 2012). 体幹の安定が保証されることで、四肢に素早い正確な動作が期待でき、動作能力が向上することや (宮下ほか, 2012), 下半身と上半身の動きを連結させる動作は、強い体幹によって発揮されることが報告されている (Hendric, 2000). 柔道競技も例外ではなく、体幹筋力は技の成否つまり競技成績を左右する重要な要素といえるが (Iwai et al., 2008), そこで要求される動作は上肢で相手に力を加えて技を掛け、施した技が崩れないように姿勢を維持して (Van Dieen et al., 2012) 最後まで技を掛け切ることである。したがって、下肢から上肢への力の伝達および姿勢維持のために体幹筋力は重要であり (Kibler et al., 2006), 柔道の競技力と体幹筋力が関係する可能性が考えられる。

スポーツ観戦において「分かる」「楽しい」「エキサイトする」という状況へのニーズは、柔道競技にも少なからず影響を与えている。柔道の試合に求められているのは、「一本」や「ポイント」で決まる展開ということになり、その方向性へ向けて国際試合柔道審判規定に手が加えられてきた (大迫, 2018). 2018

年から男子の試合時間が 5 分間から 4 分間へ短縮され、さらに「指導」の累積が 4 つから 3 つで「反則負け」となり、試合がダイナミックかつスピーディに変化している。このような背景から、現代の柔道はルールの変更に伴いスピード化が進み、速い動きの中でいかにして強い筋力を発揮するかが重要になってきている (Mackala et al., 2019)。アスリートの競技力に影響を及ぼす 2 つの中心的な要素は、パワーと敏捷性であるため (Kawamori and Haff, 2004)、柔道の競技力向上には、特に高速度での強い体幹筋力が重要であることが推察される。近年、日本柔道界において軽量級男子選手は常に安定して世界で金メダルを獲得しているが、体重が 100 kg を超える重量級男子選手の低迷が続いている。階級制であっても、体格や体力に勝る外国人選手の方が有利な場合が多く、日本人選手が世界規模の大会で苦戦する一つの要因となっている (上水ほか, 2016)。特に重量級では、身体的不利な状態で諸外国選手と試合を行っている。重量級選手の競技力向上を促すための強化策の一つとして、軽量級選手のようなスピードを伴った筋力発揮能力を高めることが必要ではないかと考えられる。重量級と軽量級を比較すると、重量級がスピードの面で相対的に劣ることは明らかである。しかし、スピーディに体幹を屈曲・伸展する能力において、重量級と軽量級ではどのような違いがあるのかほとんど明らかにされていない。これまで柔道選手を対象とした体幹筋力の研究については、男子柔道選手と自転車選手の等速性体幹筋力を体重比で比較した結果、男子柔道選手の伸展、屈曲、回旋のピークトルクは高い値を示した (Kort and Hendriks, 1992)。国際レベルと国内レベルの男子柔道選手において体幹筋力の違いを評価した結果、国際レベルの選手の方が体幹伸展筋力で高い値を示した (Barbado et al., 2016a)。また、捨身技を掛けようとして引き込もうとする相手に対し、高い体幹伸展力によって直立姿勢を保持することで、相手に偽装的攻撃のペナルティを与える場面がある。特に高い競技レベル同士の試合では、技での決着よりもペナルティが勝利の鍵となることから、体幹伸展筋力はより重要になっている (Franchini et al.,

2000). 西林ほか(1985)は、基礎的体力測定の結果から、男子柔道選手の背筋力は競技成績と関連していることを提言している。このように、競技別や柔道競技レベル別での比較、試合における体幹筋力の重要性を示した研究は見られるものの、階級に応じた柔道選手の体幹筋力の特性については未だ詳細な解明には至っていない。

柔道は、間欠的な高強度運動であり、寝姿勢や立ち姿勢による攻防で多様な組み技を行うには、スピード、パワー、筋力が必要である(Harris et al., 2019)。すなわち、筋力とスピードの積として位置づけられるパワー(単位時間あたりの仕事量)が柔道の競技力向上に重要である。パワーを養成するためには、特にウエイトトレーニングが効果的である(射手矢, 2008)が、指導現場においては器具を使わず競技に近い形でトレーニングを行わせる場面もみられる。柔道においては、施技動作である打ち込みを用いたトレーニングが挙げられる。その動作は、素早く体幹を屈曲あるいは伸展させ、その目的は相手を鋭く、勢いよく投げる能力を強化することである。今日では、施技を早める打ち込み(以下; スピード打ち込み)は、全身持久力の向上を目的とした持久性トレーニングとして行われる。柔道の試合は、およそ 20 秒から 30 秒ほどの攻防の後、「待て」の宣告や場外に出るなどで試合が中断し、両選手が開始線に戻るまで 10 秒くらいの休息を挟み、再び攻撃と防御を繰り返す(久保, 2016)。通常、スピード打ち込みは試合を想定して行われるため、指導現場では 20~30 秒間の休息を挟む 20~30 秒間の全力打ち込みを 5 セットの頻度で行われている。さらに、スピード打ち込みは体幹筋群を中心に、四肢の様々な筋群を動員した全身運動であり、柔道競技に求められる高速度の体幹筋力発揮能力を強化する可能性がある(仲田ほか, 2017)。打ち込みの効果については、「技術快速かつ正確」や「技の掛けが強くなる」などの技術面の他に、「姿勢の堅実を致す」、「体力を増す」、「氣息長くなる」など体力面の効果を挙げており(松本, 1975a)、上述したスピード打ち込みの目的と一致する。スピード打ち込みは、体幹筋力

発揮能力や持久力を向上させるためのトレーニング法として現場応用が進むと考えられるが、スピード打ち込みの相対強度に基づいた至適条件を明らかにしない限り、その効果は不明である。加えて技の違いによっても至適強度が異なることが推察されることから、様々な技を検討することが重要である。

ここ数年、日本柔道界において軽量級男子選手は常に安定して世界で金メダルを獲得しているが、体重が 100 kg を超える重量級男子選手の低迷が続いている。その対策の一つとして、近年のスピード化に対応できる体幹筋力発揮能力を高めるトレーニングが必要と考えられる。そこで、軽量級と重量級の体幹筋力発揮能力の特徴を明らかにし、柔道の施技に重要な体幹筋力を高めるための効果的なトレーニング法であるスピード打ち込みの有効性を検討する必要がある。

以上のような背景から、大学男子柔道選手の体幹筋力発揮特性は階級差で違いがみられるなど固有の特徴を有していることが推察される。さらに、柔道の動作に必要とされる筋を総合的に動員する柔道特異的なトレーニング法の至適条件を提示することは、指導の際に役立つ知見を得ることのできる重要な研究課題である。

第2章 先行研究

1. 体幹筋力に関する研究

1-1. 体幹筋力の重要性

筋力とは、様々な運動中に筋自体が発揮する力を意味するものであり、体肢筋から発揮される力と体幹筋から発揮される力の2つから構成されている。体肢筋を構成する筋は、上肢や下肢に属する筋を総称したものである。一方、体幹筋を構成する筋は、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋といった腹部を取り巻く筋、脊柱起立筋、腰方形筋、大腰筋といった背骨や骨盤の動きに関係するものである (Iwai et al., 2008; Kubo et al., 2007)。また、呼吸筋である横隔膜も体幹筋力の機能に強く関連し (Hodges et al., 1997; Hodges et al., 2001)、これらを働かせて発揮する力が体幹筋力である。体幹筋は動作の要であり、歩行動作や座位、立位 (Moon and Kim, 2017)、ボールの投球動作 (Palmer et al., 2015) や打撃動作 (Chang et al., 2016) などの日常生活やスポーツ場面において重要である (Hibbs et al., 2008)。体幹筋と下肢運動との間には連動性があり、全ての運動には体幹の安定が不可欠であり (Willson et al., 2005)、スポーツパフォーマンスに大きく関与することから、体幹筋トレーニングがスポーツ現場で行われている。さらに体幹筋力の低下は、腰痛の重要な危険因子であると考えられている (Lee et al., 1999)。腰痛治療には体幹機能が重要であり、2017年に改訂された米国内科学会による腰痛診療ガイドラインにおいても、慢性腰痛に対して最もエビデンスのある治療法は体幹筋トレーニングであると示している (Qaseem et al., 2017)。

体幹筋トレーニングの方法については、自重を利用した自重負荷運動が広く使われている (Cook et al., 2006; Kirkesola, 2000)。自重トレーニングを使って体幹を鍛えることで、競技パフォーマンスに影響するという研究がみられる。Hagin et al. (1999) によって開発された体幹筋トレーニング (DSL テスト)

を9週間行うことによって、下肢筋力トレーニング同様に垂直跳びの初速を増加させる (Butcher et al., 2007). 一方で、器具を使った体幹トレーニングの有効性についても報告がなされている. 白井ほか (2011) は女子砲丸投げ選手を対象に、両足を地面にしっかりと固定し、腰部も動くことがないように姿勢を取り、バーベルシャフトを両肩の上に担ぎ、左右のシャフトの先端が8の字を描くように上体を回旋、回転させる体幹筋トレーニングを、投擲の前後に10回ずつ、1分間の休息を挟みながら3セット行わせた. その結果、投擲動作時間が短縮され、砲丸の初速度が増加し、平均記録、最大記録の増大を示した. このように、体幹筋トレーニングは競技のパフォーマンスを向上させるために広く行われており、先行研究からも体幹筋力の重要性が示唆される.

1-2. 柔道における体幹筋力の重要性

国際柔道連盟試合審判規定 (全日本柔道連盟, 2018) では、投技で「一本」を獲得するための基準として「スピード」、「力強さ」、「背中が着く」、「着地の終わりまでしっかりとコントロール」が挙げられており、速い動きの中で相手(外部負荷)に対して大きな力を及ぼす能力が求められている. 柔道競技では、速い動きの中で体幹を動かす筋群を協働させ、相手を強くかつ速く投げる必要があるとなり、高速度での体幹筋力発揮能力の高さが求められる. 柔道における体幹筋力の特徴を示すために、他競技と比較した報告が散見される. 柔道選手とカヤック選手、レクリエーションレベルの選手を比較した結果、柔道選手は体幹の左右への負荷に対する反応が良いことが明らかとなった (Barbado et al., 2016b). この理由として、柔道の攻撃防御技術において体幹の安定性を脅かす高い突発力に対処することが求められるためである (Perrot et al., 1998; Perrin et al., 2002). また、柔道選手とダンサーのバランスコントロールについて比較した結果、あらゆる状況において優れたバランスコントロールを維持できたのは柔道選手のみであった. 柔道は対人競技であり、常に相手か

ら予想しない動きを受けるため、どのような状況においても柔道選手は姿勢を制御する運動能力が発達していると報告されている（Perrin et al., 2002）。このように柔道競技は他競技と比べても、体のバランスを保持するために体幹筋力が重要な要素であることが示唆された。

1-3. 体幹筋力測定

体幹筋力の測定については、Graves et al. (1989) が腰痛患者に対する等尺性トレーニングマシンを用いた体幹筋力トレーニングを行い、その有用性に関し報告している。一方、等速性測定は信頼性と精度が向上したため（Karatas et al., 2002; Gruther et al., 2009）、体幹筋を含む骨格筋の動的な筋力測定に広く利用されている（Bae et al., 2012; Humer et al., 2011）。等速性体幹筋力を測定する機器として、座位で行う BIODEx やアタッチメントを接続して日常動作に近い立位で行う Cybex が代表的である。先行研究で用いられるパラメータは、ピークトルク値（以下；PT 値）、PT 値発揮角度、仕事量、仕事率（パワー）などである。これらのパラメータを使い、アスレティック・リハビリテーションやスポーツ障害予防の指導などの場面で行われている（Rogan et al., 1986）。健常者と慢性腰痛患者の等速性体幹筋力を比較した結果、健常者の伸展および屈曲トルクが高い値を示した（Reid et al., 1991）。李ほか（2001）は、腰痛のない学生を対象に体幹筋力と腰痛発生との関係を検証し、体幹伸展筋力が屈曲筋力に比して低下していることが腰痛発生の危険因子であると示唆している。柔道選手を対象とした研究では、飯田ほか（1993）が腰痛を有する高校柔道部員を対象に等速性体幹筋力装置を用い、4 週間の筋力トレーニングを行った。その結果、8 人中 7 人に腰痛の改善が認められた。このように腰痛と体幹筋力発揮との関係を明らかにするために、等速性体幹筋力装置を使用する報告が多くみられる。

スポーツ分野においては、バーベルなどのフリーウエイトを用いた従来からの等張性トレーニングが主流であった。しかし、スロースピードで最大筋力の

向上だけを目的としたウェイトトレーニングは、運動の加速度の影響により動作の後半で十分な負荷をかけることができないことや（小田，1984），関節角度により変化する最大筋力に対応できないことが報告されている（松尾，1984）．運動能力を向上させるためには，パワーの増大が不可欠な要素である（後藤，1982）．パワーとは，力と速度の積で表わされ（Cronin and Sleivert, 2005），運動における実質的な仕事量を検討する場合には，筋力だけでなく速度の要素を加える必要がある（吉野ほか，2002）．筋力と速度の関係性を定量的に測定し評価を行うために，等速性筋力測定装置を用いた報告がなされている．中西ほか（2007）は，大学女子バレーボール選手を対象に，体幹の屈曲力の発揮特性とバレーボールのスパイクスピードの関係について検討した．その結果，スパイクスピードが速い選手では，高速度での筋力発揮が可能であった．一方，スパイクスピードが遅い選手は角速度が速くなるに伴って PT 値の低下が大きくなった．すなわち，スパイクスピードを上げるためには，スピードを伴う高い筋力を追求することが重要であることが示されている．柔道選手の等速性体幹筋力に関しては，国際レベルの男子柔道選手と国内レベルの男子柔道選手の体幹筋力の違いを評価した結果，国際レベルの選手の方が体幹伸展筋力での高い値を示した（Barbado et al., 2016a）．また Helm et al.（2020）は，サブエリート男子柔道選手（平均年齢 22 ± 4 歳）を対象に，等速性体幹筋力と柔道特有の引き出し動作の関係を検討した．その結果，体幹伸展筋力および体幹回旋筋力と立位での引き出し動作との間に相関がみられたと報告している．

このように，等速性体幹筋力測定は医療現場やスポーツ現場で広く活用されている．特にスポーツ現場では技術と筋力の関係性について言及したものや，競技における体幹筋力の重要性を示した研究がみられる．

1-4. 角速度増加に伴う発揮筋力の変化

筋が発揮することのできる力と、筋が収縮（短縮）する速度は負の相関関係を示すと考えられている（Cormie et al., 2011）。また、筋がある運動を行うとき、運動速度の増加に伴い発揮できる筋力は減少する傾向がある（Hill, 1938; Thorstensson et al., 1976）。大きな力を発揮するほど、筋の収縮速度は遅くなる。しかし、等速性筋力測定装置を用いることで、最大筋力の増強に効果的な等尺性運動と筋持久力の強化に効果的な等張性運動の両者の特徴を有することができ（嶋田, 1976; 犬飼・米本, 1991）、角速度別の等速性収縮の定量的な測定による評価（三浦ほか, 1992）が可能となった。したがって、等速性筋力測定装置を用いることで角速度から負荷強度を知る客観的な指標となり、角速度増加に伴う発揮筋力の変化を表す方法として有効であると考えられる。

等速性筋力測定装置を用いた角速度増加に伴う体幹筋力の変化についての報告は、回旋動作に着目した研究が散見される。健常な若年者を対象に 30 deg / s, 60 deg / s, 120 deg / s の 3 つの角速度変化における左右の回転の発揮筋力を検討した。その結果、左右ともに角速度増加に伴い体重比でのピークトルクは減少した（Jian-Zhong et al., 2014）。一流のテニス選手を対象に 60 deg / s, 120 deg / s の 2 つの角速度変化における左右の回転の体幹発揮筋力を測定した。その結果、男女ともに角速度の増加に伴い、ピークトルクは減少を示している（Ellenbecker and Roetert, 2004）。一方、角速度増加に伴う体幹の屈伸動作を検討した報告もみられる。坂本ほか（1990）は、健常な一般成人男性と女性の体幹伸展筋力および体幹屈曲筋力を測定した。その測定値を体重で除した体重比（以下%BW）を比較した結果、速度の増加に伴い男女ともに体幹伸展筋力および体幹屈曲筋力が低下した。柔道選手の体幹筋力について、斉藤ほか（1991）は相撲、アメリカンフットボールおよび柔道選手を対象に体幹筋力の PR 値を%BW によって比較した。その結果、屈曲については全グループで各速度に伴う PT 値の低下が認められた。伸展に関しては、相撲およびアメリカンフッ

トボールの選手が角速度増加に伴い減少傾向を示し、柔道選手だけが角速度増加に伴う減少傾向を示さなかった。春日井ほか（1996）は、大学柔道選手を対象に等速性体幹筋力の PT 値を%BW で検討した。その結果、伸展に関して角速度増加に伴い増加傾向を示した。ここで、坂本ほか（1990）が報告した男女の屈伸体幹筋力の変化については、Cormie et al.（2011）が明らかにした筋が発揮できる力と、筋が収縮（短縮）する速度は負の相関関係を示すという理論と一致する。一方で、斉藤ほか（1991）が示した柔道選手の体幹伸展筋力や、春日井ほか（1996）が報告した大学柔道選手の体幹伸展筋力については、異なる見解を示す結果となった。柔道選手の体幹伸展筋力に何らかの特徴があることが推察されものの、スピーディに体幹を屈曲・伸展する能力が、重量級と軽量級でどのような相違があるのかを未だ十分に検討されているとはいえない。重量級と軽量級を比較すると、重量級がスピードの面で相対的に劣ることは明らかであるが、春日井ほか（1996）の研究で対象となった被験者の身体特性で、軽量級から重量級を含めた 19 名の体幹筋力の特徴を示すまでにとどまっている。

1-5. 角速度増加に伴う筋力低下率の比較

上述したように、柔道選手の角速度増加に伴う体幹伸展筋力の変化には特徴がみられることが推察された。その特徴を明らかにするために、速度増加に伴い体幹の発揮筋力がどの程度低下しているかを検討する必要がある。角速度増加に伴う筋力の低下率とは、最も遅い角速度の PT 値を 100%（本研究では 30 deg/s）とし、角速度増加に伴いどれだけ PT 値が低下したかを示す。さらに低下率を群間で比較することで、より詳細な傾向が明らかにすることができる。角速度増加に伴う筋力低下率を比較検討した報告について、山本ほか（1989）は健常な成人 20～70 歳の男性 143 名、女性 156 名を対象に体幹の屈曲、伸展の PT 値を測定した。その結果、男女共に角速度増加に伴い、屈曲に比べて伸展での低下が顕著であり、男女で比較すると、各年代とも女性の方が低下率は

大きい。柔道選手を対象とした体幹筋力の低下率の比較については、春日井（2002）の研究が挙げられる。一般大学生および柔道選手の体幹伸展筋力および体幹屈曲筋力について検討した結果、両群間における体幹伸展筋力の低下率には有意差があり、特に 150 deg/s 時における低下率は、一般大学生よりも柔道選手の方が有意に小さかった。一方、体幹屈曲筋力の低下率については一般大学生と柔道選手共に有意差は認められなかった。仲田ほか（2017）は、女子柔道選手の軽量級、中量級、重量級の角速度増加に伴うトルク低下の程度に焦点を当てて検討を行った。その結果、女子の重量級は軽量級と比べて体幹伸展および屈曲ともに低下率は有意に大きかった。

このように、柔道選手の角速度増加に伴う体幹筋力の低下率を比較した先行研究は 2 件だけであり、さらに男子柔道選手の重量級と軽量級の低下率を比較した研究は皆無である。（問題点 1）

2. 柔道における運動生理・生化学的観点からの研究

2-1. 運動生理・生化学的観点からみた柔道の競技特性

柔道は、平均時間 15 秒から 30 秒の最大強度での活動とおおよそ 10 秒の休息が交互に行われる競技であるため、高い筋力と体力に加え、筋持久力が求められる（Sterkowich and Emerson, 2000）。試合は、数秒で終わる場合もあれば延長戦までもつれ込む場合もあり、活動時間と休息時間の割合によって試合の負荷には違いがある。また、柔道は 1 日に数試合に出場することが多く、時には短い時間間隔でも試合に出場することがある。柔道競技では攻撃と防御が瞬時に入れ替わることが多く、瞬間的に発揮する瞬発力（無酸素パワー）と同時に常にパワー発揮し続ける持久力（有酸素持久力）が必要となり（Franchini et al., 2003; Thomas et al., 1989; 大川ほか, 2018）、間欠的全身持久力が求められる（Degoutte et al., 2002 ; Franchini and Takito, 2014）。生理的特徴と技術的要素の間に大きな相関があることから、生理学的変化の改善を通して、試合中のパフ

パフォーマンスにプラスの効果をもたらす (Todorov et al., 2013) . このように、柔道は高いレベルの競技力を達成するために、様々な特性を持つ複雑なスポーツであることがわかる (Franchini et al., 2011) . 柔道における間欠的な全身持久力に関する研究として、4 週間の高強度の間欠トレーニングが柔道選手のパフォーマンスに与える影響を検討した結果、上半身の最大有酸素パワーが向上し、上半身および下半身の高強度の間欠性能を向上することが示された (Franchini et al., 2016) . 岡田ほか (1999) は、低圧・低酸素環境下において負荷 2.0 kp での 50 秒間ペダリングに続いて負荷 5.0 kp での 10 秒間全力ペダリングを連続して 5 回 (合計 5 分間) 行い、これを 5 分間の完全休息を挟んで 3 セット繰り返し行った . その結果、低圧・低酸素環境下における全力ペダリングは、柔道選手の有酸素的作業能を短期間に養成することに有用なトレーニング手段であり、かつ無酸素的作業能の向上にも有効である可能性を示唆している . 佐藤ほか (2017) は、5 秒間の全力ペダリング運動を 10 秒の休息を挟んで 10 セット反復する間欠的なペダリングテストが、柔道選手としての瞬発力および持久力の評価テストとして有用かどうか検討した . その結果、持久力の評価テストとしては有用であることが示された . このように、間欠的トレーニングは、柔道選手の全身持久力を高めるために必要な要素として示されているが、これらの研究で用いられたペダリングという運動様式は、柔道競技に必要な動きとは異なる点が多い . トレーニング負荷とパフォーマンスを効率的に管理するためには、少なくとも柔道の練習と似ている特定の状況での評価が必要である (Virus and Virus, 2003) . 仲田ほか (2017) は、柔道の練習法の一つである打ち込みは、施技のペースを速めることにより、柔道競技に求められる体力特性である高速度の体幹筋力発揮能力とハイパワーの間欠的な全身持久力を強化する可能性があるとして述べている . つまり、柔道の練習法は使い方次第で、柔道に必要なとされる体力要素の評価およびトレーニング効果を上げるための手段として有用である可能性が考えられる .

2-2. 呼吸循環器系応答からみた柔道の稽古法の運動強度について

持久的能力を最大限に引き出すためには、トレーニング強度を適切に調整しなければならない。トレーニング強度を規定する指標として、心拍数（HR）と最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）から換算された $\% \dot{V}O_{2max}$ の呼吸循環器系応答が用いられる。柔道の高い攻撃力を維持するためには高い酸素摂取量が必要であり（Calmet et al., 2010）、柔道選手のトレーニングの運動強度を測定するために推奨される要素の一つである（Robertson and LaHart, 2009）。柔道では、マラソンなどに代表される全身持久力、すなわち最大下強度での連続的な筋出力とは異なり、不完全休息を挟んだ反復的な最大強度での筋出力が求められる。柔道に限らずスポーツ競技全般において身体パフォーマンスを最大限に向上させるためには、競技特異性の適用が必要である。柔道に必要な体力を獲得するための特異性の高い動作を用いたハイパワーの間欠的全身持久力の研究がなされている。柔道における特異性の高い動作とは、柔道の2つの稽古法である「乱取」と「形」と考えられる（川村, 1982a）。「乱取」とは、正しい基本に沿った対人的基本技術（乱取技）を自由に駆使して、応用的な技の強さと巧みさを増強し、幾つかの得意技を作り上げる練習である（松本, 1975b）。乱取を用いたハイパワーの間欠的な全身持久力について、大学柔道部員5名を対象に4分間の乱取練習を5セット、セット間の休息（4分間）を挟んで間欠的に実施した乱取練習の運動強度を心拍数および酸素摂取量から検討した。その結果、5人が行った乱取練習の運動強度は $55 \sim 60\% \dot{V}O_{2max}$ の水準にあった（Kaneko et al., 1978）。11人の柔道選手を対象に、1分間の打ち込みと2分間の乱取練習を7週間行わせ、このプロトコルの有用性を検討した。1週間目（ 2.92 ± 1.44 l/min）の $\dot{V}O_{2max}$ と7週間目（ 2.30 ± 0.95 l/min）の $\dot{V}O_{2max}$ を比較した結果、7週間目で有意に低下を示した（De Meersman and Ruhling, 1977）。芳賀ほか（1974）は、女子柔道選手5名を対象に4分間の乱取後に2分間の休憩を挟む運動を1セットとし計4セット行った。その結果、4分間×4セットの乱取は

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) の 80%に相当するものであった。久永ほか (1978) は、高校生・大学生の柔道鍛錬者を対象に 4 分間の立技乱取を 8 本行い、2, 4, 6, 8 本目の心拍数を測定し、呼吸循環器応答からみた乱取の強度を検討した。その結果、高校生が 77~81% $\dot{V}O_2\text{max}$ 、大学生が 57%~63% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当の強度を示し、持久力向上を図るトレーニング強度が約 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ とされていることから (池上, 1982)、有酸素作業能を高めるために十分な強度であった。宮本ほか (1994) は、大学柔道選手 4 名を対象に 5 分 3 セットの乱取練習中の運動強度を、呼吸循環器系応答から検討を行った。その結果、4 名の平均運動強度は $70.5 \pm 11.7\%$ $\dot{V}O_2\text{max}$ を示した。乱取を用いたハイパワーの間欠的な全身持久力の問題点として、対戦した相手との競技レベル差、体重差および個人の攻撃に対する積極性などの要因が関与しその違いが生じるものと考えられる。つまり、柔道の乱取を定量的に評価することは難しいのが現状である。

一方、柔道のもう一つの稽古法である「形」とは、予め「取」と「受」が決まっており、攻撃と防御を定めた順序と方法による練習形態であり (川村, 1982a)、「形」の形式による練習法として打ち込み (かかり練習) が用いられる (松本, 1975a)。打ち込みとは、相手の体を固定、移動などと制約した条件下で技能を分析し、次第に総合して反復練習する方法である (松本, 1975a)。打ち込みの本来の目的は、「技を正確に鋭く、スピードのある技に鍛えあげるために行う」と考えられている (川村, 1982b)。その動作は、素早く体幹を屈曲あるいは伸展させ、相手を鋭く勢いよく投げる能力を強化することである。今日では施技のペースを速めることで、全身持久力の向上を目的とした持久性トレーニングとして行われる場面もある。

打ち込みを用いたハイパワーの間欠的な全身持久力について、男子柔道選手 10 名を対象に、大内刈、払腰、背負投をそれぞれ異なる時間構成とした打ち込みのプロトコルを比較検討した。その結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$ については技術間で差がないことが明らかとなった。しかし、最も短い打ち込みのプロトコル (18×10

秒/10 秒) を使用した場合, すべての技において $\dot{V}O_{2max}$ が最も高い値を示したことから, 持久力向上を目的としたプロトコルになり得る可能性が示唆された (Franchini et al., 2013). 大学柔道選手 10 名を対象に, 2.0 秒に 1 回のリズムで 2 分間技を掛けるその場打ち込みと, 2 分間の最大打ち込みを行わせた時の運動強度について, 呼吸循環器系応答から検討を行った. 打ち込みの種類については対象者の得意技とし, 大外刈 3 名, 背負投 2 名, 体落 2 名, 払腰, 内股および一本背負投が各 1 名であった. その結果, その場打ち込みが $68.5 \pm 6.8\% \dot{V}O_{2max}$, 最大打ち込みが $76.8 \pm 7.3\% \dot{V}O_{2max}$ に相当した (杉山, 1979). 以上のように打ち込みの運動強度が明らかとなったが, 測定に使用した技を 1 種類に規定せず, 大学柔道部員の得意技としたことから, この結果が 2.0 秒に 1 回のリズムで 2 分間技を掛けるその場打ち込みと, 2 分間の最大打ち込みを行わせた時の運動強度と結論づけることは難しいのではないかと考える. したがって, 被験者となる柔道部員全員に同じ技で行わせることで, 規定した実験プロトコルの運動強度を明らかにすることができる.

このように, 呼吸循環器系応答から柔道の稽古法の運動強度についての報告がいくつか見られたが, 間欠的な柔道の稽古法の運動強度を確認するために呼吸循環器系応答は使用すべきではないという報告も見られる (Franchini et al., 2014). Ahmaidi et al. (1999) は, 全力打ち込みのプロトコルが, 練習試合中に観察されたプロトコルに類似した $\dot{V}O_{2max}$ および HR 応答をもたらした. 一方, 全力打ち込みのプロトコルの血中乳酸濃度 (以下; 血中 La 濃度) は練習試合中と比較して低下した (Franchini et al., 2013; Sikorski et al., 1987). すなわち, 使用する運動強度の指標である HR と血中 La 濃度の変動が不一致なのは, HR がトレーニング指標としての有用性に乏しいことを示唆しており, 間欠的な打ち込みの運動強度を確認するために使用すべきではないことを報告している (Franchini et al., 2014).

2-3. 血中 La 濃度変化からみた柔道の稽古法の運動強度について

トレーニング強度を規定する指標として、血中 La 濃度を観察し決定された乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold ; 以下 LT) (Brooks, 1985) や血中 La 濃度 4 mmol/L に達した時点である血中乳酸蓄積開始点 (Onset Blood Lactate Accumulation; 以下 : OBLA) が用いられている (Ivy et al., 1980; Jacobs, 1986 ; Heck et al., 1985). 血中 La 濃度を指標にした柔道の稽古法の運動強度について、Degoutte et al. (2002) の研究が挙げられる。1 週間に 6 時間から 8 時間のトレーニングを行っている 16 名の男子柔道選手 (平均年齢 18.6 ± 1.6 歳) を対象に、5 分間の模擬試合を行わせた。その結果、試合終了 3 分後の血中 La 濃度が 12.3 ± 0.8 mmol/L を示した。Franchini et al. (2003) は、17 名の男子柔道選手を競技レベル別に 3 グループに分け、同じ対戦相手との柔道の模擬試合を 5 分間行い、血中 La 濃度を測定した。その結果、3 グループのそれぞれの平均血中 La 濃度のピーク値が 9 mmol/L 以上であった。柔道選手が 1 日に行う試合数 5 試合を想定し、それぞれの試合の運動強度を検討した。その結果、血中乳酸濃度は初戦直後の 11.0 mmol/L から 4 試合目の 25.1 mmol/L まで上昇し、3 時間の休憩を挟んだ 5 試合目の直後は 9.8 mmol/L であった。攻撃回数などの仕事量によって血中乳酸濃度が高まることが予想されたが、それが唯一の要因ではないことが示唆された (Laskowski et al., 2012)。また、10 名の若年柔道選手を対象に、各セット間のインターバルが異なる背負投の打ち込みや投げ込みを取り入れた 3 種類のサーキットトレーニングを 40 秒間 \times 6 セット行わせた。その結果、インターバル 200 秒で行ったトレーニングは、インターバル 40 秒とインターバル 120 秒で行ったトレーニングと比較して、3 セット目から 6 セット目まで血中 La 濃度が有意に低い値を示した (Baudry and Roux, 2009)。これらの結果から、柔道によるサーキットトレーニングは無酸素性代謝および有酸素性代謝にも大きく影響し、インターバルの期間によって相対的な寄与があることが示唆された。中嶋ほか (1999) は、大学柔道員男子 10 名を対象に、①

乱取 5 分間 3 セット（インターバル 30 秒間），②乱取 5 分間 6 セット（インターバル 15 秒間），③乱取 5 分間 12 セット（インターバル 30 秒間），④乱取 3 分間 10 セット（インターバル 30 秒間）の 4 つの条件で行い，乱取終了直後，5 分後，10 分後の静脈血を指先より採取し分析を行った．その結果，②の条件での乱取における血中 La 濃度が（ 10.9 ± 2.8 mmol/L）が他の条件の乱取に比べて有意に高い値を示し，OBLA をはるかに上回る運動強度であった．高橋ほか（1999）は，一流男子大学柔道選手 10 名を対象に，6 分間×12 本の乱取の運動強度を測定した．その結果，乱取の平均血中 La 濃度は 5.3 ± 3.0 mmol/L であり，OBLA をやや上回るレベルであることが明らかとなった．しかし，10 名の被験者の内，2 名の乱取の運動強度は OBLA を下回る（ 2.5 ± 1.2 mmol/L, 3.0 ± 1.2 mmol/L）など被験者によって運動強度が大きく異なり，乱取はトレーニング強度を規定することが困難であることが示唆された．

2-4．内分泌系応答の変化からみた柔道の稽古法の運動強度について

運動は内分泌系の分泌を促すのに十分な刺激となることが，先行研究で報告されている（Cohen et al., 1980）．内分泌とは，分泌物が直接「血液中に放出される」現象をいい，分泌物（化学物質）をホルモンと呼ぶ．運動強度，運動量，休息の期間，運動種目，筋の回復の状態など様々な要因がホルモン応答に影響を及ぼす（ジェイ・ホフマン, 2011）．運動とホルモンについて，征矢ほか（2005）は，LT を超える運動は下垂体由来の副腎皮質刺激ホルモン（adrenocorticotrophic hormone; 以下 ACTH）濃度が増加するため，運動もストレスになりうると考えられる．ACTH の反応がコルチゾールの反応に反映することから，Hill et al. (2008) は中等度（ $60\% \dot{V}O_2\max$ ）から高強度（ $80\% \dot{V}O_2\max$ ）の運動がコルチゾール濃度の上昇を引き起こし，低強度の運動（ $40\% \dot{V}O_2\max$ ）はコルチゾール濃度を大きく上げることはないと報告している．このように連続刺激であるトレーニングはストレスに適応するため，血糖の上昇や血流量

の増加などの機能獲得をより容易にするために内分泌系が大きな働きをする（田畑，1993）。このことから，内分泌系から分泌されるホルモンを運動強度の指標として用いることは妥当であると考えられる。ACTH が分泌される強度で運動を行うと，脳下垂体前葉から成長ホルモン（growth hormone；以下 GH）が分泌される（征矢，1996）。

運動と関わりの高いホルモンとして，コルチゾールなどを分泌する副腎皮質に作用する ACTH についての知見をまとめる。Tabata et al.（1984）は早朝空腹時に， $\% \dot{V}O_2\text{max}$ の 60%以下の強度で自転車運動を疲労困憊まで行くと，内分泌反応である ACTH 濃度が上昇することを示した。田畑（1993）は，片脚ペダリング運動を $\% \dot{V}O_2\text{max}$ を 65%の強度で行うと，ACTH 濃度の増加が起こることを報告した。このように，ACTH は運動強度に敏感に反応するホルモンであると考えられる（井澤，2001）。

また，内分泌系から分泌されるホルモンとして，GH も運動との関わりが高いことが報告されている。10RM 程度の中程度の負荷の運動を行い，1 分間の休息インターバルでは GH 濃度は増加したとする報告（Kraemer et al., 1990）や，疲労度を示す指標である血中 La 濃度の大きさが，GH の応答性を高めている可能性があるとし唆している（Kraemer et al., 1990; Craig and Kang, 1994）。Lugar et al.（1992）は，持続的運動よりも血中 La 濃度を上昇させる間欠的運動では，GH 濃度は僅かであるが増加したことを示した。

内分泌系応答からみた柔道の稽古法の運動強度について，大川（2011）の研究が挙げられる。男子大学生 2 名を対象に，四肢の血流を制限してトレーニングを行う加圧トレーニングの手法を用いて，1 回 30 秒の背負投の打ち込みを 30 秒間の休息を挟みながら，5 回行うことを 1 セットとして合計 5 セットを行った。その結果，ACTH については 1 人の学生のみ全てのセット時が安静時と比較して有意に増加をした。GH については，2 人の学生共に安静時と比較して 2 セット目から有意に増加した。大川（2011）の研究では，打ち込みのペー

スが統一されておらず，トレーニング効果が認められる至適ペースの打ち込みが不透明であるという問題が存在する．

以上のことから，内分泌系応答の変化からみたペースを規定した打ち込みの運動強度について検討する必要がある（問題点 2）．

2-5．打ち込みの種類による運動強度の違い

柔道の投技には，投げる際に主として働く部位の名称を取って，手技，足技，腰技，さらには体を捨てて施す真捨身技，横捨身技に分類され，その技の数は 67 本にも及ぶ（講道館技名称 1997 年制定）．

柔道の技術は，柔道に必要な基礎的体力，基本動作，基礎技術および応用技術などの要素によって構成される．個人の身体的および精神的特性を前提にした粗から密へと質的に高まり，得意技の形成へと独自の技術体系を構成するようになる（萩原と調枝，1976；杉山，1976；杉山ほか，1973）．柔道の技術は，強度を中心として発現し展開されることから，生理学的にみた技術の要素として耐久力，エネルギー代謝および身体の内的環境が重要な要因と考えられる（杉山と梶谷，1985）．

柔道の技別による運動強度については，男子柔道選手 10 名を対象に，大内刈，払腰，背負投をそれぞれ異なる時間構成の打ち込みのプロトコルを比較検討した．その結果，総エネルギー使用量について，大内刈は背負投と比較して低い値を示した（Franchini et al., 2013）．大学柔道部員 4 名を対象に，投げ打ち込みの技別生理的運動強度を呼吸循環器系応答から検証した．その結果，12 種類の技の中で背負投（ $85.2 \pm 7.5\% \dot{V}O_{2\max}$ ，HR 181.5 ± 8.4 拍/分）が最も高い強度を示し，肩車，内股，巴投，払腰の順で，最も低い運動強度を示した技は大内刈（ $62.1 \pm 9.2\% \dot{V}O_{2\max}$ ，HR 150.8 ± 23.9 拍/分）であった（杉山と梶谷，1985）．

このように，技による運動強度に違いがあることが推察される．高速度の体幹筋力発揮能力とハイパワーの間欠的全身持久力を強化する可能性のある施技

のペースを速めた打ち込みについても、技別で検証する必要が求められる（問題 3）。

2-6. 文献研究で得られた知見

以上の文献研究によって、柔道選手の競技力を担う筋力特性とそのトレーニング法について以下の知見を得ることができた。

- (1) 体幹筋と下肢運動との間には連動性があるため、全ての運動には体幹の安定が不可欠であり、スポーツパフォーマンスを向上させるために体幹筋トレーニングが現場で行われている。
- (2) 柔道は対人競技であり、相手から受ける予想しない動きから体のバランスを保持するために体幹筋力は重要な要素になる。
- (3) 腰の障害予防や競技における技術と体幹筋力の関係を明らかにするために、等速性体幹筋力測定装置は用いられている。この装置の特徴は、角速度別の等速性収縮の定量的な測定評価が可能であるため、角速度から負荷強度を知る客観的な指標となり、角速度増加に伴う発揮筋力の変化を表す方法として有効であると考えられる。
- (4) 角速度増加に伴う体幹筋力の変化について、一般成人男性や女性、アメリカンフットボールや相撲の選手の屈曲力および伸展力の PT 値は低下する傾向にあった。柔道選手については体幹伸展筋力のみ減少傾向を示さなかった。
- (5) 柔道選手の角速度増加に伴う低下率は、体幹伸展筋力が一般大学生と比較して高速度域で有意に低い値を示した。また、女子柔道選手の角速度増加に伴う体幹筋力の低下率については、伸展および屈曲ともに重量級が軽量級と比較して有意に低い値を示した。

- (6) 呼吸循環器系応答，血中 La 濃度変化，内分泌系応答それぞれの視点からみると，柔道の稽古法は間欠的全身持久力を高めるトレーニング強度として効果的である．
- (7) 柔道の稽古法である乱取において，対戦した相手との競技レベル差，体重差および個人の攻撃に対する積極性などさまざまな要因が関与するため，選手にかかるトレーニング強度に違いが生じるものと考えられる．つまり，柔道の乱取を定量的に評価することは難しいのが現状である．
- (8) 柔道の稽古法である打ち込みを用いたこれまでの報告は，各被験者が実施した異なる技の平均値を求めて強度を規定していることから，規定した打ち込みのペースそのものが，間欠的全身持久力を高める適切なトレーニング強度と結論づけることは難しい．

一方，文献研究によって明らかとなった，柔道選手の競技力を担う筋力特性とそのトレーニング法について未解決の問題は以下の通りである．

- (1) 男子柔道選手の角速度増加に伴う体幹筋力について，軽量級と重量級の体幹筋力の低下率を比較した研究は見あたらず，柔道選手の筋力発揮特性は示されていない．
- (2) 内分泌系応答の変化からみたペースを規定した打ち込みのトレーニング強度については示されていない．
- (3) 高速度の体幹筋力発揮能力とハイパワーの間欠的全身持久力を強化するための施技のペースを速めた打ち込みは，技の違いによって運動強度が異なることが予想されるため，技ごとの運動強度を検証する必要がある．

第3章 研究目的および課題

1. 研究目的

大学男子柔道選手の競技力を担う筋力発揮特性を明らかにし、そのトレーニング法の立案に役立つ知見を得ることを目的とした。

2. 研究課題

本研究の目的を達成するため、以下の研究課題を設定した (Fig. 1)。

【研究課題 1】大学男子柔道選手の体幹筋力の発揮特性とは？

研究課題 1. 男子柔道選手の等速性体幹筋力：角速度変化に伴う発揮筋力の変化について

大学男子柔道選手を対象として等速性の体幹屈曲筋力・伸展筋力を測定し、角速度増加に伴う筋力低下の程度を重量級と軽量級とで比較・検討する（第4章）。

【研究課題 2】柔道特異的動作であるスピード打ち込みが体幹筋力を高めるトレーニングとして有効であるか？

研究課題 2-1. 柔道における持久力および筋力トレーニングとしての打ち込みの効果：運動生理・生化学的観点からの検討

ペースの異なる打ち込み時の心拍数や心拍数から換算された% $\dot{V}O_{2max}$ 、主観的運動強度（RPE）、血中 La 濃度、血中 ACTH 濃度、さらに筋や骨の成長を促す GH の血中濃度を測定し、背負投のスピード打ち込みのトレーニング強度を検証する（第5章）。

研究課題 2-2. 大学男子柔道選手の体力向上に向けた足技かかり練習の至適ペ

ース探索:代謝・内分泌指標による基礎的検討

柔道競技の決まり技として多くみられ、稽古時にも高い頻度で実施される足技（内股，大外刈，大内刈）について，体力向上に資する至適ペースを検討する（第 6 章）.

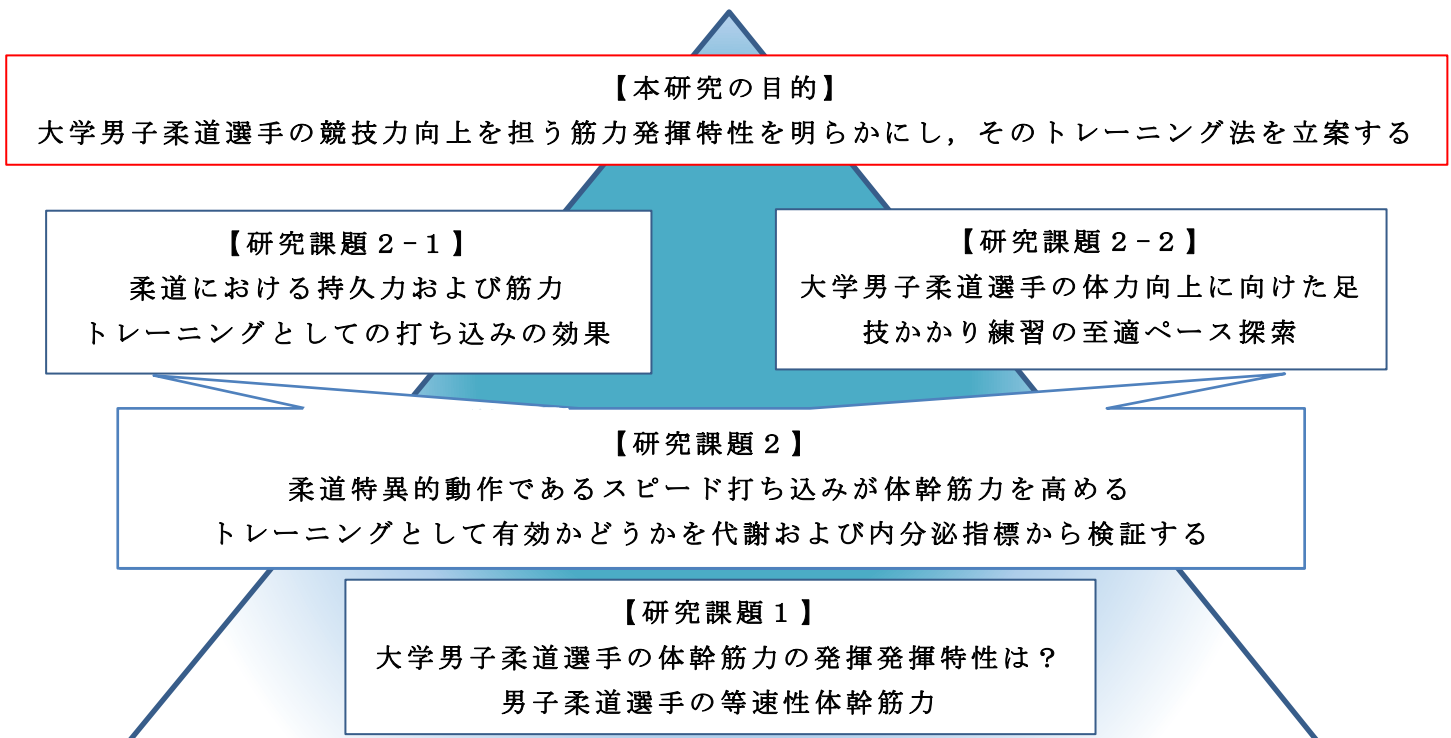


Fig. 1 Experimental design in the present study.

第4章 男子柔道選手の等速性体幹筋力：角速度変化に伴う発揮筋力の変化について

(研究課題1)

1. 目的

筋力の中でも体幹筋力は、あらゆるスポーツ競技においてパフォーマンスの向上に直結する重要な体力の一つである(春日井ほか, 1999; 春日井ほか, 1997). スポーツ競技では、上肢から外部に力を発揮するという場面が多く見られるが、体幹は下肢が発揮した力を上肢に伝えるという重要な役割を担っている(Kibler et al., 2006; 岡田, 2007). 柔道競技も例外ではなく、体幹筋力は技の成否、つまり競技成績を左右する重要な要素といえる(Iwai et al., 2008; 春日井ほか, 1997). 柔道競技では、上肢で相手に力を加えて技を掛け、施した技が崩れないように姿勢を維持して最後まで技を掛け切ることが必要である(春日井, 2002). 下肢から上肢への力の伝達および姿勢維持のために、体幹筋力は重要といえる. また、柔道の「攻め」の局面で、体幹筋力は技の成否を左右する可能性がある. 例えば、大外刈においては相手を刈り倒す時、スピーディに体幹を屈曲する動作が見られ、その能力が重要な役割を果たすと考えられる. 柔道競技では、相手の攻撃に対して自らの姿勢やバランスを維持し、投げられないようにすることも必要であり、「受」の局面では相手の技に対して素早く反応し、体幹を伸展する能力が重要になる.

近年、日本柔道界において軽量級男子選手は常に安定して世界で金メダルを獲得しているが、体重が 100 kg を超える重量級男子選手の低迷が続いている. 重量級では、体格や体力面で勝る外国人選手の方が有利な場合が多く、日本人選手が苦戦する一つの要因となっている(上水ほか, 2016). 特に現代の柔道競技は、ルールの変更に伴いスピード化が進み、速い動きの中でいかにして強い筋力を発揮できるかが重要になってきている(Mackala et al., 2019; 今泉ほか, 1997). 重量級と軽量級を比較すると、重量級がスピードの面で相対的

に劣ることは明らかである．したがって，スピーディに体幹を屈曲・伸展する能力は，重量級と軽量級とで差があるのではないかと考えている．重量級選手の競技力向上には，軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要ではないかと推察される．

これまでの研究では，体幹筋力の角速度増加に伴う筋力低下の度合いを，重量級と軽量級で比較したものは報告されていない．そこで本研究では，柔道選手を対象として等速性の体幹屈曲筋力・伸展筋力を測定し，角速度増加に伴う筋力低下の程度を重量級と軽量級とで比較・検討することを目的とした．

2．方法

2-1．被験者

被験者は，男子柔道選手 33 名，および特に運動習慣のない一般大学生（以下一般学生）17 名とした．柔道選手の内訳は，軽量級選手（60～80 kg；以下軽量級）16 名，重量級選手（110～140 kg；以下重量級）17 名であり，これらの選手はいずれも 2008 年度全日本学生柔道優勝大会において一部校と認定された大学柔道部の部員であった．

なお被験者は，腰痛の既往症がなく等速性体幹筋力測定に支障なく参加できる者のみを対象とした．被験者全員に本研究の趣旨を説明し，賛同・承諾を得た．被験者の身体特性を Table 1 に示した．被験者とした柔道選手の段位は，軽量級 2 段～3 段，重量級初段～4 段，経験年数は軽量級 12.2 ± 2.7 年，重量級 11.7 ± 3.7 年であった．

Table 1. Characteristics of subjects.

Variable	Light class	Heavy class	Control
Age (years)	18.4 \pm 0.8	20.1 \pm 1.6	19.4 \pm 0.5
Height (cm)	167.2 \pm 3.1	179.9 \pm 6.5	171.1 \pm 6.3
Weight (kg)	70.2 \pm 3.0	124.5 \pm 9.8	63.8 \pm 9.5
Body fat (%)	15.0 \pm 1.6	26.5 \pm 2.3	16.6 \pm 5.3

Values are average \pm SD.

2 - 2 . 体幹筋力測定

2 - 2 - 1 . 測定機器

測定機器は、等速性筋力測定装置（CYBEX 770-Norm システム）に Trunk Extension/Flexion Unit (TEF)をアタッチメントとして接続したものをを用いた。

2 - 2 - 2 . 測定プロトコルと評価項目

測定は、CYBEX TEF 標準プロトコルに従い行った。測定角速度は、30, 60, 90, 120, 150 deg/s の 5 速度とした。各被験者には、それぞれの角速度で体幹屈伸反復運動を 2 回練習した後、3 回の最大努力運動を行わせ、得られたピークトルク (Nm) の最大値を記録し評価した。一人の被験者が 5 角速度の測定を続けて行った。疲労の影響を軽減するために、それぞれの角速度における測定のために、30 秒の休息を設けた。

全ての被験者が、体幹伸展・屈曲のいずれ動作においても、また高角速度条件においても、設定された速度に遅れることなく筋力を発揮することができた。

2-2-3. 測定時の姿勢設定

被験者に、高さの調節可能な足板上で立位姿勢をとらせ、上前腸骨棘の上部に骨盤用ベルトを通して体幹を固定した。膝関節を約 15 度の屈曲位とした状態で、両下肢は膝蓋骨上部を大腿パッド、膝窩部を膝窩用パッドで固定した。腰背部については、被検者を盤用シートパッドにもたれさせ、胸部は前方から胸部パッド、背部は後方から肩甲骨パッドで固定した。肩の位置は股関節の直上にくるように調節し、背中が床に対して垂直とした。運動の回転軸は、第 5 腰椎-第 1 仙椎 (L5/S1) に設定した。測定時は、被験者に胸部パッドのグリップを持たせ、0~90 度（直立位を 0 度）の範囲で屈曲・伸展する反復運動を最大努力で行わせた。

2-3. その他の測定・調査項目

身長、体重、体脂肪率（インピーダンス法）を測定した。柔道選手については、段位と経験年数を記録した。

2-4. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。

体幹の屈曲時および伸展時におけるピークトルクについて、最初に分散の差を Bartlett 法により検定した。次に、分散の同質性が確認された場合（分散に有意差なし）は反復測定 2 要因分散分析 (2-ways ANOVA) を用い、分散の同質性が確認されなかった場合（分散に有意差あり）には多変量分散分析 (MANOVA) を用いて分析した。さらに、2-ways ANOVA または MANOVA で 3 群間に有意差が認められた場合には、どの群間に差があるのかをみるために Fisher's PLSD を用いて多重比較を行った。

2-ways ANOVA または MANOVA の交互作用が有意であった場合には、角速度増加に伴う筋力低下の程度を 3 群間で比較することを試みた。30 deg / s で

のピークトルクに対して、60, 90, 120, 150 deg / s それぞれにおけるピークトルクがどの程度低下しているか（低下率）を算出した．この低下率をデータとして、1 要因分散分析（1-way ANOVA）を施し、3 群間に有意差が確認された場合には Fisher's PLSD を用いて多重比較を試みた．有意水準はいずれも危険率 5%未満（ $P < 0.05$ ）とした．

3．結果

3-1．体幹伸展時ピークトルク

各群における体幹伸展時ピークトルクの角速度増加に伴う変化を Fig. 2 に示した．

体幹伸展時におけるピークトルクについては、分散の同質性が確認されたため、2-ways ANOVA によって解析した．その結果、3 群間において有意差（ $F = 58.4$, $P < 0.01$ ）が認められた．ピークトルクの平均値は、重量級、軽量級、一般学生の順で大きく、多重比較を施したところ、各群間全てにおいて有意差（ $P < 0.01$ ）が認められた．また、ピークトルクはどの群においても角速度増加に伴い低下する傾向があり（Fig. 2）、2-ways ANOVA の結果、角速度増加に伴う変化に有意性（ $F = 188.9$, $P < 0.01$ ）が認められた．さらに、群と角速度の交互作用に有意性（ $F = 9.36$, $P < 0.01$ ）が確認された．角速度増加に伴うピークトルクの低下の程度は、Fig. 2 で示すように群間で異なる傾向が認められた．

30 deg / s のピークトルクを基準とした他の 4 角速度の低下率を、Fig. 3 に示した．体幹伸展時ピークトルクの低下率は、60 deg / s の場合を除いて、どの角速度でも一般学生、重量級、軽量級の順で高値を示す傾向が認められた．中でも 150 deg / s では、軽量級と重量級、および軽量級と一般学生の間で有意差（ $F = 4.09$, $P < 0.05$ ）が確認された．

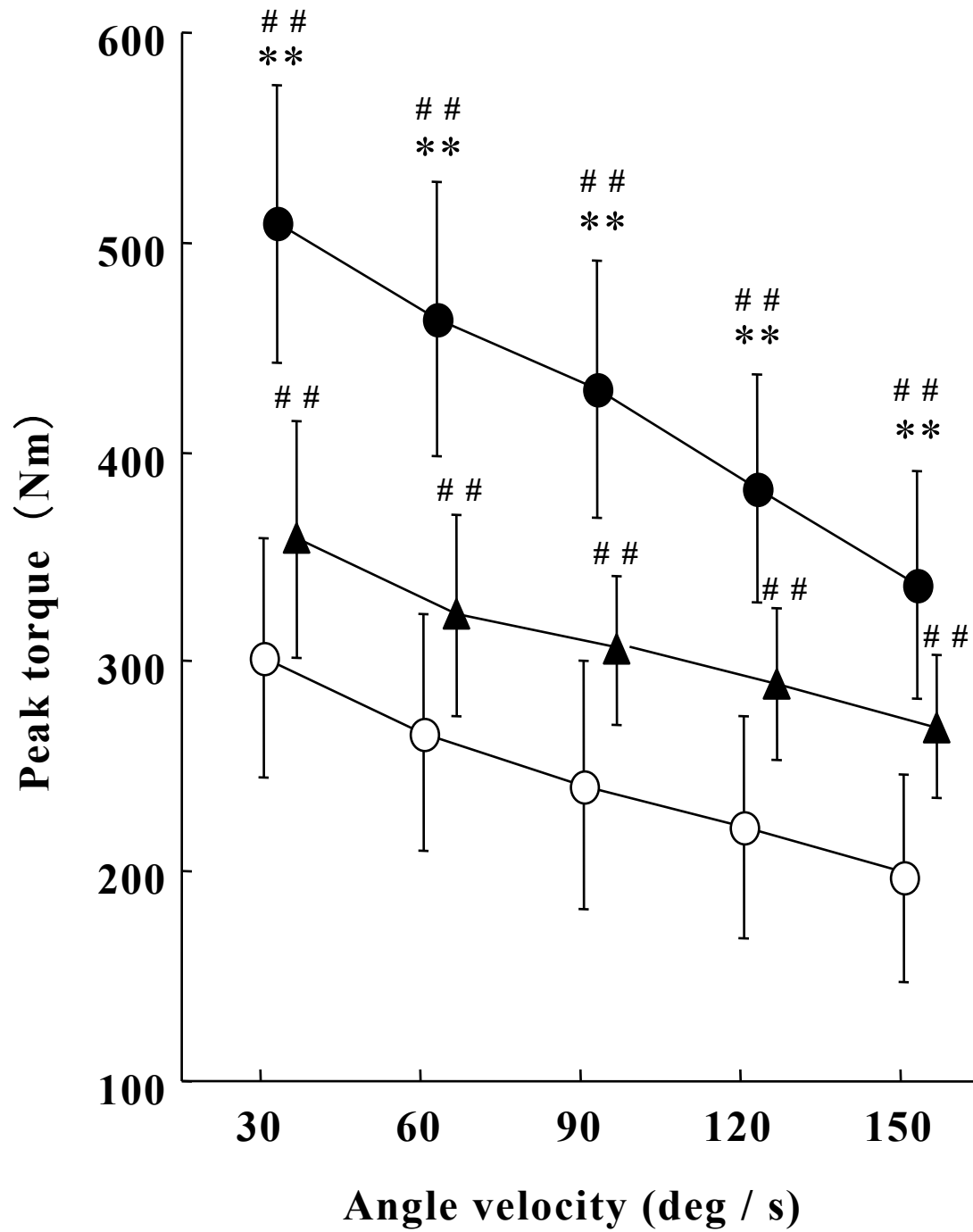


Fig. 2 Peak torque during trunk extension at each angle velocity. Values are mean \pm SD.

****P < 0.01 vs Light class, ##P < 0.01 vs Control.**

●: Heavy class, ▲: Light class, ○: Control.

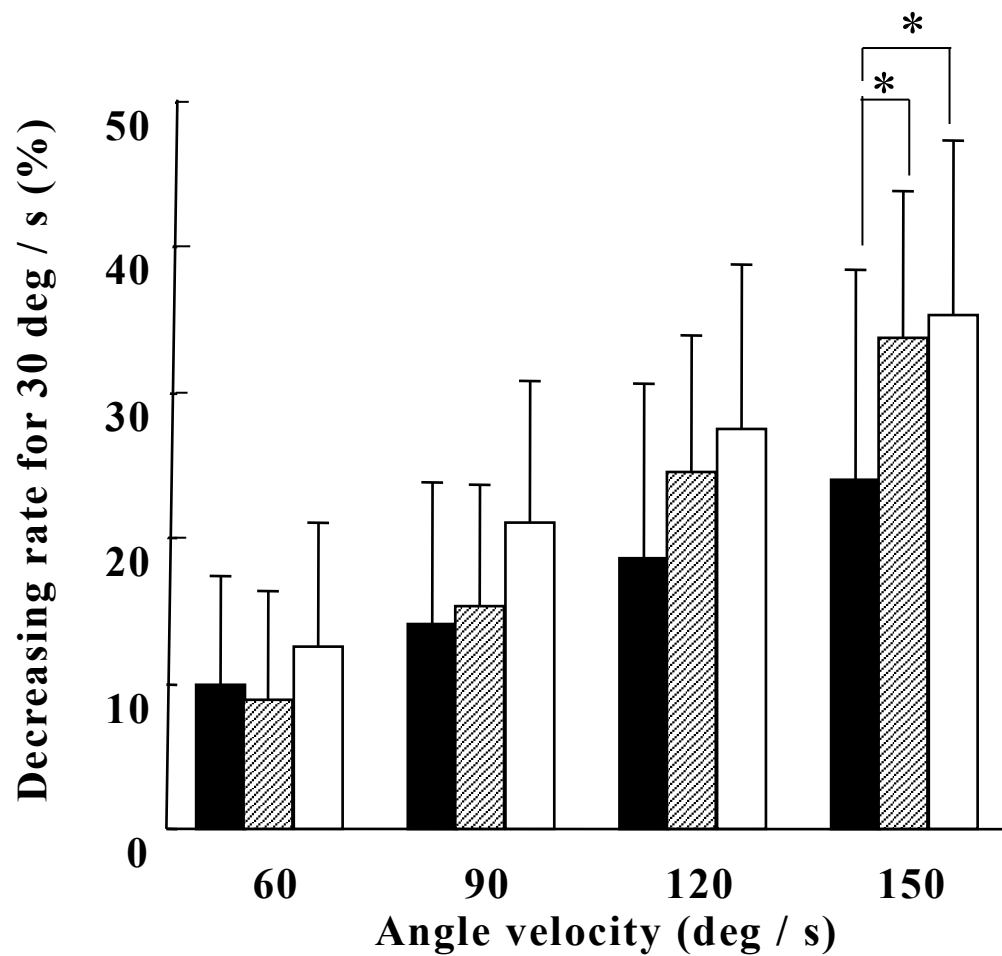


Fig. 3 Decreasing rate of trunk extension torque for angle velocity of 30 deg / s.

Values are average \pm SD. *P < 0.05 vs Light class

■:Light class, ▨:Heavy class, □:Control.

3-2. 体幹屈曲時ピークトルク

各群における体幹屈曲時ピークトルクの角速度増加に伴う変化を Fig. 4 に示した。体幹屈曲筋力の平均ピークトルク値については、分散の同質性が認められなかった[誤差分散： $\chi^2 = 53.9$ ($P < 0.01$), 個人差分散： $\chi^2 = 7.06$ ($P < 0.05$)] ため, MANOVA によって解析した。その結果, 3 群間において有意差 ($F = 110.2$, $P < 0.01$) がみられ, 重量級, 軽量級, 一般学生の順で大きな値を示す傾向が認められた。多重比較では, 各群間全てにおいて有意差 ($P < 0.01$) が認められた。

体幹屈曲時のピークトルクは, どの群においても角速度増加に伴い低下する傾向があり (Fig. 4), MANOVA の結果, 角速度増加に伴う変化に有意性 ($F = 9.56$, $P < 0.01$) が認められた。

30 deg/s のピークトルクを基準とした他の 4 角速度の低下率を, Fig. 5 に示した。群と角速度の交互作用については, MANOVA の結果, 有意性が認められなかった。

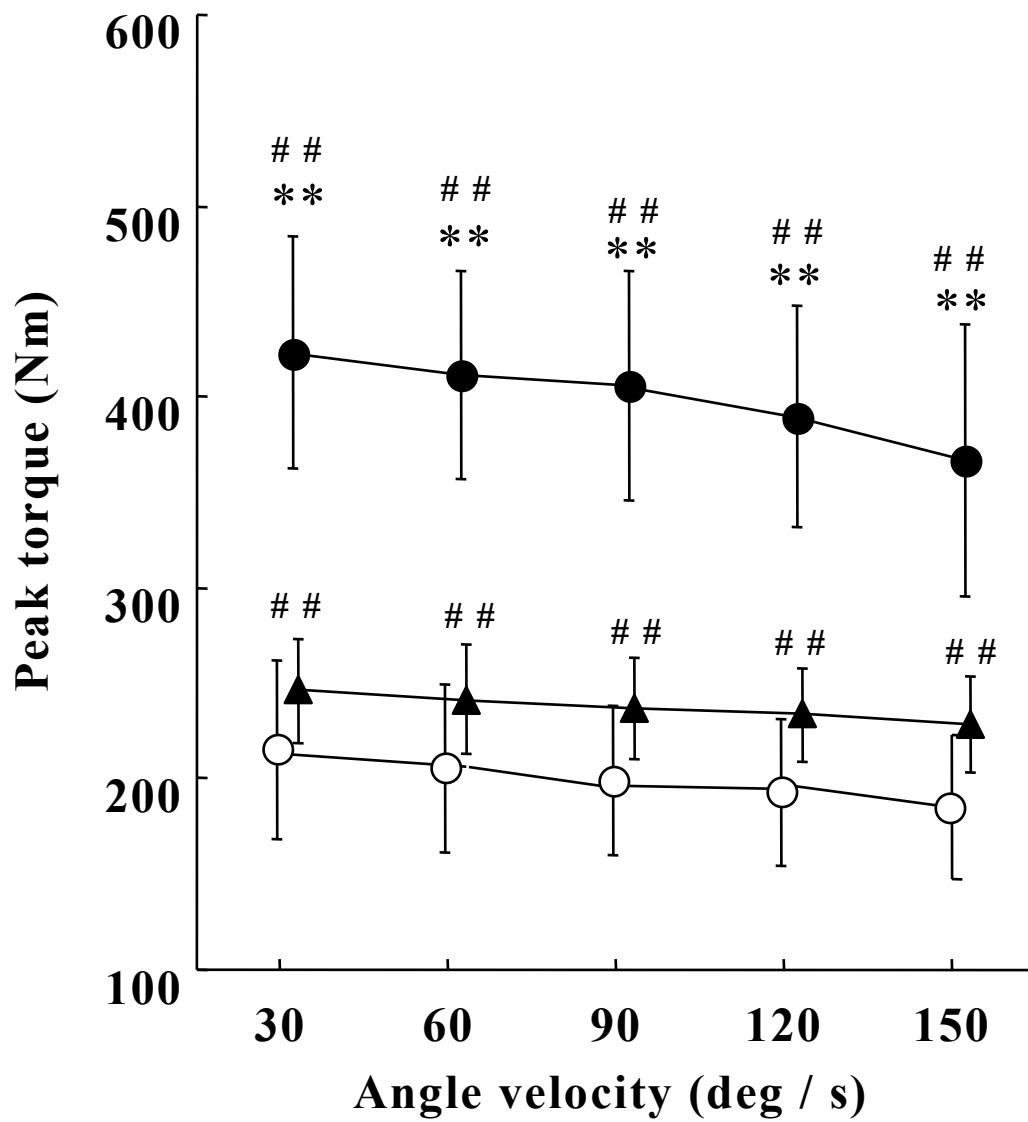


Fig. 4 Peak torque during trunk flexion at each angle velocity. Values are mean \pm SD.
****P < 0.01 vs Light class, ##P < 0.01 vs Control.**
●: Heavy class, ▲: Light class, ○: Control.

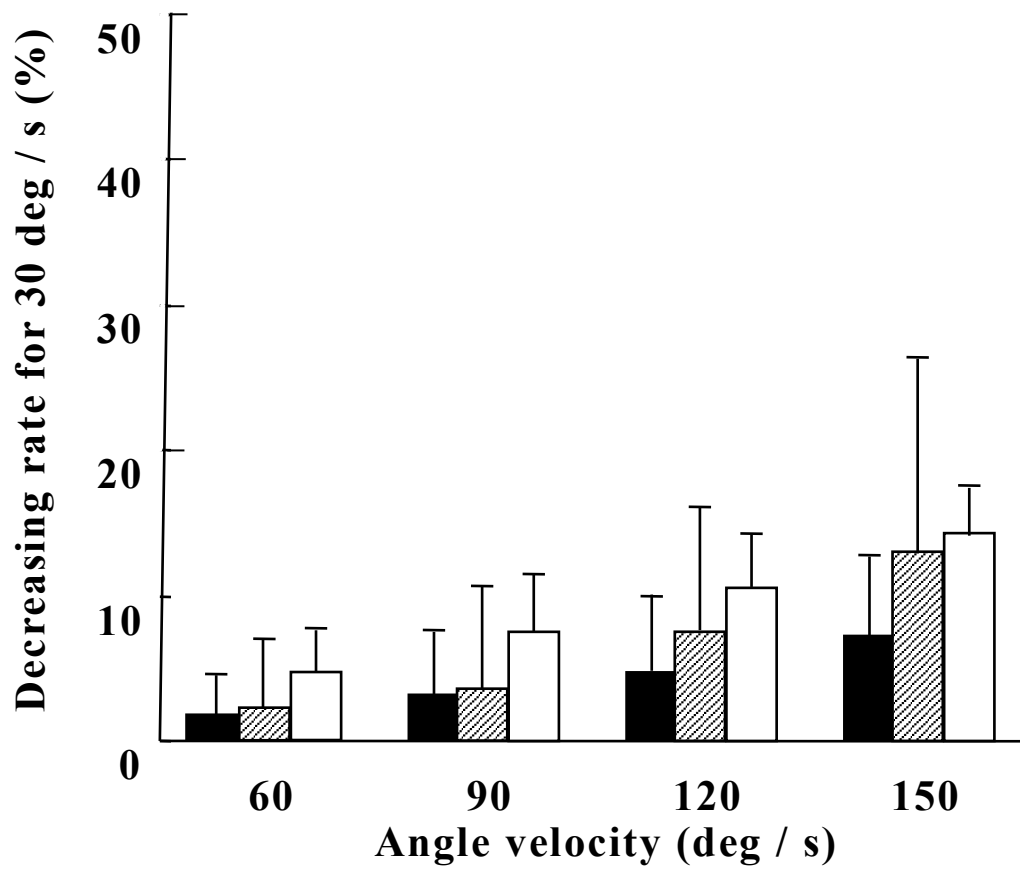


Fig. 5 Decreasing rate of trunk flexion torque for angle velocity of 30 deg / s.

Values are average \pm SD.

■:Light class, ▨:Heavy class, □:Control.

4. 考察

柔道競技は、双方の選手が有する身体能力と技を駆使して、激しい動きの中で攻撃防御を繰り返すスポーツ種目である（松本，1975c）．柔道競技で必要とされる体力は、静的な筋力のみならず、スピーディな動きのなかでいかに強い力を発揮することができるか、すなわち動的な筋力発揮能力が重要である．これまで柔道選手の動的筋力に関する研究は、上肢（木村ほか，1991）や下肢（北田ほか，1994）など多岐にわたって報告されている．しかし、体幹筋力についての報告は散見されるものの、角速度増加に伴う筋力低下の程度を重量級と軽量級で比較した報告は見られない．さらに近年、日本柔道界において体重が 100 kg を超える重量級男子選手の低迷が続いており、重量級選手の競技力向上には、軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要ではないかと推察される．そこで本研究では、柔道選手を対象として等速性の体幹屈曲筋力・伸展筋力を測定し、角速度増加に伴う筋力低下の程度を重量級と軽量級とで比較・検討することを試みた．

本研究において体幹伸展時のピークトルクを測定した結果、どの角速度においても重量級、軽量級、一般学生の順で高値を示した．北田ほか（1994）は、男子柔道選手の等速性脚筋力のピークトルクは、階級が上がるにつれて高値を示した．今回の結果は、彼らの報告と測定部位が異なるものの類似したものである．

次に、角速度変化に伴う発揮筋力の動態については、体幹伸展時ピークトルクは角速度が増加するにつれて有意に低下し、3 群とも 30 deg / s で最大値を示した．この結果は、先行研究（春日井ほか，1996；春日井ほか，1997；高木ほか，1991）と共通していた．体幹伸展時ピークトルクの群と角速度の交互作用は有意であった．これらの結果は、群の違いが角速度による測定値の変化に影響を及ぼす、あるいは角速度の違いが群間差に影響を及ぼすことを示してい

る．これは，体幹伸展時ピークトルクの角速度増加に伴う低下の程度に群間差がある，あるいは群間差の程度は角速度により異なることを示唆している．

本研究では，角速度の増加に伴うピークトルクの低下の程度を各群で比較することを試みた．その評価の際には，角速度 30 deg / s のピークトルクから角速度増加に伴い，どれだけ低下したかをみる必要がある．その基準となる角速度 30 deg / s のピークトルクに大きな群間差がみられた (Fig.2)．さらに，角速度 30 deg / s に対する他の 4 角速度のピークトルク低下率を算出した結果，Fig. 3 に示すように，体幹伸展時ピークトルクの角速度増加に伴う低下率は，90，120 および 150 deg / s それぞれにおいて，一般学生，重量級，軽量級の順で高値を示し，最大角速度 (150 deg / s) 時において，軽量級が重量級および一般学生の両群に比べ，有意に低い値を示した．これは，軽量級では重量級や一般学生に比べ高速度条件になっても体幹伸展力が低下しにくいことを示している．

当初，重量級も軽量級同様に体幹伸展時の低下率はさほど低くないと考えていた．しかし，最大角速度時における体幹伸展時ピークトルクの低下率が軽量級では重量級に比べより低かったが，その原因としては柔道スタイルの違いが考えられる．軽量級では低い前屈みの姿勢から素速く上体を起こして技を掛ける動作がよくみられるが，重量級ではそのような動作は比較的少ない．このような柔道スタイルの階級による違いが，今回の結果に影響を及ぼしている可能性がある．また「受」の局面では，相手の施技に対して素速く体幹を伸展し，姿勢・バランスを保ちながら相手の技に対応しなければならないが，体重の軽い軽量級選手ではその重要性がより高く，そのことが一因となっている可能性も考えられる．

一方，重量級については，最大角速度時における体幹伸展時ピークトルクの低下率が軽量級に比し有意に高い値を示した．このことは，重量級では軽量級に比べ，高速度になると体幹伸展力がより低下することを示している．この結

果は、低速度条件での筋発揮がより重要であることや、重量級では筋力トレーニングが重要視されている（清野ほか，2003）ことと関連する．通常，柔道の練習では重量級も軽量級も階級に関係なく，内容・時間とも同等の練習メニューが組まれている．柔道の練習の絶対的運動強度が重量級と軽量級で同じであるとする，全身持久力がより低い重量級では（山路，1992）身体への負荷がより大きくなる．重量級では個々人が，これを調整するために実際の練習でスピードを犠牲にして運動強度を抑え，このことが高速度での筋力低下に繋がっている可能性がある．

また，重量級では特に，自分より重い練習相手は限られており，柔道の練習の中で筋力を高めるのに十分な負荷を獲得するのが難しいことから，筋力トレーニングが重要視されている．重量級では体重増加を前提とした筋肥大を目的とした負荷設定となり筋パワー発揮の代償につながっている．このことは，重量級の高速度での筋力低下率がより大きかったことと関連していると考えられる．

ここ数年，日本柔道界において体重が 100 kg を超える重量級の低迷が続き，国際試合での活躍が期待されているが，重量級でも軽量級のように高速度条件において筋力を低下することなく発揮することができれば，さらなる競技力向上に繋がるものと考えられる．そのためには，練習やトレーニングの内容のさらなる工夫が必要となるであろう．

一方，体幹屈曲時のピークトルクも，体幹伸展時ピークトルクと同様，どの角速度においても重量級，軽量級，一般学生の順で高値を示した．また，角速度変化に伴う発揮筋力の変化については，体幹屈曲時ピークトルクは 3 群とも 30 deg/s で最大値を示し，角速度が増加するにつれて有意に低下した．これらの結果は，先行研究（春日ほか，1996；春日ほか，1997；高木ほか，1991）と共通していた．体幹屈曲時ピークトルクの交互作用は，有意ではなかった．こ

のことは、体幹屈曲時ピークトルクの角速度増加に伴う低下の程度に群間差がないことを示している。

本研究により、体幹伸展筋力では高速度での低下率に群間差がみられたが、体幹屈曲筋力ではそのような結果は得られなかった。当初の予想では、体幹の屈曲筋力において、軽量級では高速度になっても筋力を低下させることなく発揮できるのではないかと考えていた。軽量級は、背負投に代表される担ぎ技を得意とするケースが多く、相手を背負った状態から腹筋群が高速度で力を発揮し、体幹をスピーディに屈曲する能力が重要と考えていたが、今回の結果より体幹屈曲筋力の角速度増加に伴う低下率に軽量級の明らかな特徴を見い出すことはできなかった。この原因については不明であり、今後さらに検討する必要がある。

柔道の日本人男子トップ選手の体幹筋群である脊柱起立筋や側腹筋群、腰方形筋の横断面積が他競技のトップ選手と比較して大きく、さらに重量級柔道選手は軽量級柔道選手よりも大きい傾向がみられる（松林，2020）。筋横断面積は筋力と比例することが知られており（福永，1978），柔道において体幹筋力はパフォーマンス発揮に重要である。本研究では角速度増加に伴う体幹伸展時ピークトルクは、軽量級では低下が認められなかったが、重量級では有意な低下を示したことから、重量級における体幹伸展筋の発揮するスピードが不足している可能性が考えられる。すなわち重量級選手の競技力向上には、軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要であると考えられる。

5. 要約

本研究の目的は、柔道選手の体幹筋力の角速度増加に伴う変化について検討した。体幹の屈曲時および伸展時のピークトルクは、全ての角速度において、重量級、軽量級、一般学生の順で高値（ $P < 0.01$ ）を示した。また、体幹の屈曲

時および伸展筋力のピークトルクは、全てのグループにおいて 30 deg / s で最大値を示し、角速度の増加に伴い有意 ($P < 0.01$) に低下した。

体幹伸展時ピークトルクについては、群と角速度の交互作用に有意性 ($P < 0.01$) が認められた。また、体幹伸展時ピークトルクの角速度増加に伴う筋力低下率は、軽量級、重量級、一般学生の順で低値を示した。最大角速度 (150 deg / s) 時において、軽量級が他の 2 群に比し有意 ($P < 0.05$) に低い値を示した。

以上の結果から、重量級では軽量級に比べ、体幹伸展筋の発揮能力が高速度になるとより低下することが明らかとなった。重量級選手の競技力向上には、軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要であると考えられる。

第5章 柔道における持久力および筋力トレーニングとしての打ち込みの効果：運動生理・

生化学的観点からの検討(研究課題2-1)

1. 目的

前章の研究課題1では、大学男子柔道選手の筋力発揮特性について体幹伸展筋の発揮能力は軽量級にのみ高速度条件になっても低下率が抑制されることが明らかとなった。すなわち、重量級における体幹伸展筋の発揮するスピードが不足している可能性が明らかとなり、重量級選手の競技力向上には、軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要であると考えられる。つまり、柔道において体幹筋力はパフォーマンス発揮に必要であり、高速度での筋力発揮は階級に関わらず柔道選手にとって重要である可能性がある。しかし、体幹だけが強いことが柔道の競技力向上に直結するかは必ずしもそうではない。対人競技である柔道の特性上、相手とコンタクトするのは腕や手、足や脚などの末梢部であり、高速度域での高い筋出力を発揮する特性は、体幹筋力だけでなく全身の筋群の動きに対しても求められる。木村ほか(2018)は、柔道競技は全身的運動と局所的作業の両方が複雑に関連しており、体幹も含めた全身を同時に使う高速度域での筋出力が必要であると述べている。

今回、柔道の指導現場において頻用される稽古法の一つである打ち込みに焦点を当てた。打ち込みの本来の目的は「技を正確に鋭く、さらにスピードを増すことである」と考えられている(川村, 1982b)。このような打ち込みは、技術向上を目的としており、設定時間内に取と受を交互に交代しながら自分のペースで行う方法やあらかじめ回数を決めて行っている。今日では、施技のペースを速めることで、全身持久力の向上を目的とした持久性トレーニングとして行われる場合もある。この施技のペースを速めた打ち込み(以下、スピード打ち込み)は、ランニングや自転車エルゴメーターなどとは異なり、柔道特有の

動作によるトレーニングであるため、柔道の動作に必要とされる筋を総合的に動員することが可能である。つまり、スピード打ち込みは柔道における高速度域での筋力発揮を要求する手段になるのではないかと考えられる。

柔道を行うことによって、研究課題 1 で示した高速度での体幹伸展筋の発揮能力の低下が抑えられるという柔道選手の特徴が身につく、打ち込みを高速度で全身を同時に操作して行うことに意味があるのではないかと仮説が立てられる。しかし、単位時間当たりの打ち込みの反復回数を最大化するといった練習方法は柔道界に伝統的に存在しているが、前述した仮説を支持するように、打ち込みの速度を変えることで生理学的意義を研究したものは皆無である。したがって、打ち込みをどのペースの速度で行うことがどういう効果があるのかを明らかにすることは、選手や指導者にとっても競技力向上に資する重要な知見になると考える。

近年、興味深いことに、血中の乳酸やコルチゾールが従来から知られている全身持久力への効果だけでなく、骨格筋の成長や肥大に関与する代謝・内分泌機構として注目されている。

乳酸は、一般的に持久性トレーニングの運動強度を評価する糖代謝指標であるが、運動による筋肥大への関与も示唆されている (Dankel et al., 2017)。そのメカニズムは、乳酸が直接的に筋肥大を引き起こすのか、活動筋の動きをエネルギーとして支援することで結果的に筋肥大に貢献するのかははっきりしていないのが現状だが、乳酸受容体 GPR81 を介して細胞内シグナル伝達因子 Erk1/2 を活性化し、筋細胞数を増やすことで骨格筋肥大に寄与する可能性が示唆されている (大野ほか, 2019)。一方、内分泌系のストレス指標として副腎皮質から分泌されるコルチゾールは、脳下垂体から分泌される副腎皮質刺激ホルモン (adrenocorticotrophic hormone; 以下 ACTH) により血中で増加し、短期的には骨格筋で異化的に作用する。しかしながら、コルチゾールは運動中の短期的な異化作用だけでなく、運動後のポストエフェクトにより

Orosomucoid1, Na⁺-K⁺ pump, Kruppel-like factor 15, Period1 などの遺伝子発現を誘導することで、骨格筋の脂質利用能の向上、疲労耐性の増加、筋肥大に関連する時計遺伝子の同調などのポジティブなトレーニング効果を引き出す可能性も報告されている (Steiner et al., 2020)。したがって、スピード打ち込みが柔道動作による筋力トレーニングとして有用かどうかを検討するには、血中の乳酸と ACTH が重要な指標となると考えられる。

そこで本研究では、ペースの異なる打ち込みによる効果を生理・生化学的観点から明らかにし、どのような生体刺激となっているかを理解した上で、競技力向上に資する手段の一つとして再評価することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、事前の健康診断により健康状態に異常の認められなかった健常な男子大学生で、背負投を得意技とする柔道鍛錬者 12 名とした。研究趣旨、研究の具体的内容、研究に伴う利益とリスク、および参加の拒否・随時撤回の自由を口頭、書面にて十分に説明し、インフォームド・コンセントが得られた者を被験者に選定した。全被験者の年齢や身体的特徴に関して Table 2 に示した。体格指標は体内脂肪計 (TBF-026, TANITA 社製) を用いて測定した。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得た上で、行われた (承認番号は平成 19 年 8 月 21 日付け「427 号」)。

2-2. 予備実験

各被験者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2 \text{ max}$)、および最大心拍数 (HR max) を決定する目的で、打ち込み実験に先立ち、トレッドミルを用いた運動負荷実験を実施した。運動負荷試験前にトレッドミル上での 5 分間の座位安静後、ウォーミ

Table 2 被験者の身体特性

Variables	n=12
Age (years-old)	20.2 \pm 2.4
Height (cm)	169.6 \pm 3.1
Weight (kg)	74.2 \pm 10.9
Body fat (%)	20.0 \pm 4.9
Body mass (kg)	15.2 \pm 6.3
Lean body mass (kg)	59.0 \pm 5.6
Body water content (kg)	43.2 \pm 4.1
BMI	25.7 \pm 3.2

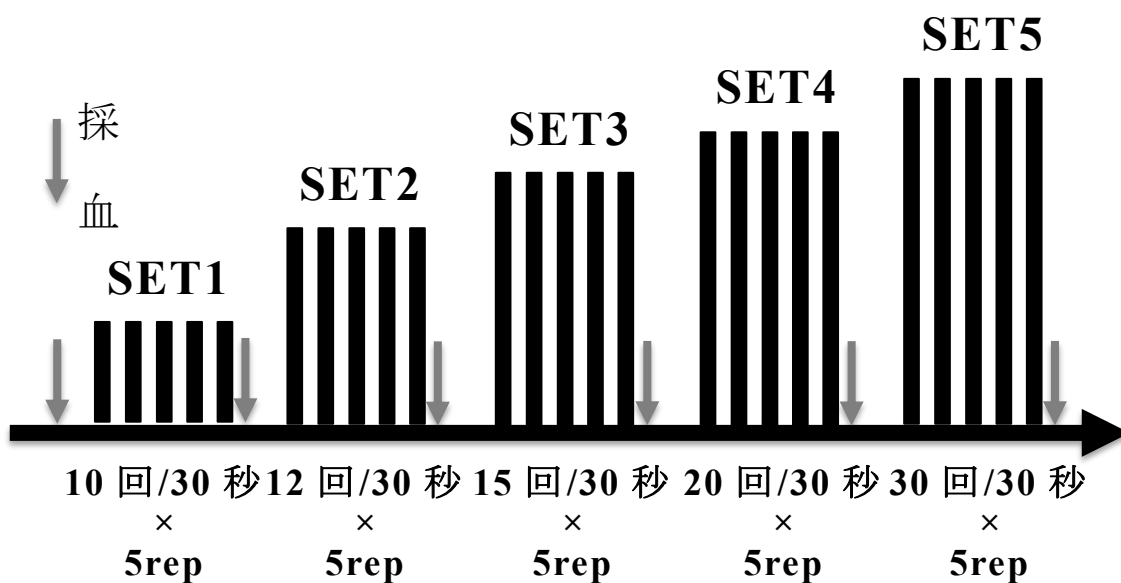
Values are average \pm SD.

ングアップとして 5 分間の走運動 (140-200 m/min) を実施した。その後、5 分以上の座位安静を挟み、心拍数が安静時と同程度まで低下したことを確認後、運動負荷実験を開始した。トレッドミルには 1.7° の登り勾配を付け、速度は 120 m/min から開始し、1 分間毎に 10 m/min ずつ漸増させた。10 分経過後からはスピードは維持したまま (220 m/min)、1 分毎に傾斜を 1.7° ずつ増加させた。また、運動負荷試験の中止条項は以下の 6 点とし、いずれかに該当した場合は即時運動を中止した：1) 息切れ、呼吸困難、足の痙攣、又は跛行、2) 血流不

全徴候（頭痛，錯乱状態，運動失調，顔面蒼白，チアノーゼ，吐き気，冷や汗），
3) 運動強度の増加に伴う心拍数の増加がみられない場合，4) 被験者が運動中止を訴えた場合，5) 酸素摂取量の増加がみられなくなった場合，6) 被験者がトレッドミルの速度についていけなくなった場合．

2－3．打ち込み実験

ペースを規定した打ち込み実験を，Fig.6 に示すようなスケジュールで実施した．打ち込みは，ペースの異なる 5 種類（5 set）を，set 間の休息（10 分間）を挟んで間欠的に実施した．1 set から 5 set までの打ち込みリズムは，それぞれ 3.0 秒に 1 回（10 回/30 秒），2.5 秒に 1 回（12 回/30 秒），2.0 秒に 1 回（15 回/30 秒），1.5 秒に 1 回（20 回/30 秒），1.0 秒に 1 回（30 回/30 秒）と規定し



各 rep 間のインターバルは 30 秒

各 SET 間のインターバルは 10 分間（採血含む）

Fig. 6 実験プロトコル

ペースの異なる 30 秒間の休息を挟む 30 秒間のスピード打ち込みを 5 rep 行うことを 1 SET として，合計 5SET 行う．図の縦軸は予想される運動強度の相対値，横軸は時間経過を示す．矢印は，採血の時間を示す．

た．また set 内では，各ペースでの 30 秒間の打ち込みを，30 秒間のインターバルを挟んで 5 rep 繰り返すものとした．これらの打ち込みペースは，武道卓上タイマー（早川繊維工業株式会社，日本）のメトロノーム機能を用いて管理した．また打ち込み実験に用いる技は全て背負投とし，施技は全力で行うように指示を徹底した．背負投は「受」を真前または前隅に崩し，肘を「受」の腋下に入れて，「受」の体を背後に背負い上げ，肩越しに投げる技である．背負投を施技するためには，相手と向き合った状態から体を反転させる動作（回り捌き）が必要となる．施技の方法について，被験者は自然本体から始動させ，回り捌きによって体を反転させ後，再び自然本体で「受」と向き合うまでを 1 回と規定した．できるだけ普段の打ち込みに近づけるために，移動に制限を設けず実施し，「受」は被験者が技を掛けやすいように自然本体で対応させた．

2-4. 測定項目

本実験で用いる血液サンプルは，医師の管理の下，看護師や臨床検査技師により，打ち込み実験前と各 set 終了後に，前腕の静脈より採血を行った．全ての血液サンプルは，分析項目毎に適切な処理後，分析を三菱化学メディエンス株式会社に委託した．測定項目は乳酸，ACTH，および GH とし，GH に関しては打ち込み実験前後（実験前と 5 set 終了直後）のサンプルのみを解析対象とした．

また各 set 終了時には，Borg スケールによる主観的運動強度（RPE）を評価し，打ち込み実験中はダイナスコープ（フクダ電子株式会社，DS-7520，日本）を用いて心拍数（HR）を継続的にモニターし，各 rep 終了直後の HR（10 秒間）を平均し，各 set の心拍数とした．また，本実験においても，予備検討と同様の症状や被験者からの中止希望の意思表示があった場合は，速やかに実験を中止した．

2-5. 統計処理

測定結果は、全て平均値±標準誤差で表した。各値に対して一元配置分散分析を行った後、有意差が確認された場合は、多重比較（Tukey post-hoc test）を行い、群間における有意差を確認した。また、2群間の有意差検定には paired *t*-test を用いた（GH の変化）。なお、有意水準は 5 %未満とした。

3. 結果

3-1. $\dot{V}O_2$ max, および HRmax

打ち込み実験に先立って行われた、トレッドミルを用いた最大運動負荷テストの結果、被験者の平均 $\dot{V}O_2$ max は 66.8 ± 6.0 ml/kg/min であった。また平均 HR max は 194.1 ± 6.9 bpm であった。

3-2. 打ち込み実験中の HR, RPE, および推定% $\dot{V}O_2$ max の変化

Fig.7 は、各 set における平均 HR と平均 PRE の変化を示している。打ち込み中の平均 HR は、安静時の 64.9 ± 2.7 bpm から set を重ねる毎に、90.0%, 7.8%, 9.1%, 12.1%, 13.9% ずつ増大した。打ち込み中の RPE は 1 set から 5 set にかけて 22.2%, 13.0%, 17.2%, 30.3%, 43.8% ずつ増大した。特に 4 set 以降、急激に増大する傾向が示された。

予備実験で得られた HR と $\dot{V}O_2$ の関係から、打ち込み中の HR を元にして各 set の推定% $\dot{V}O_2$ max を算出した。1 set から 5 set の推定% $\dot{V}O_2$ max はそれぞれ、 39.0 ± 3.5 , 46.4 ± 3.5 , 56.3 ± 3.5 , 70.7 ± 2.9 , および $89.0 \pm 1.9\%$ $\dot{V}O_2$ max であった。

3-3. 打ち込み実験による乳酸, ACTH, および GH の血中濃度変化

Fig.8 では、各 set 終了後の血中における平均 La 濃度および平均 ACTH 濃度と、打ち込み実験前後の血中平均 GH 濃度の変化を示した。血中 La 濃度は、安静時から 2 set 目までほとんど変化しなかったが、3 set 目でやや増加した後（ 1.9 ± 0.4 mmol/L）、4 set 目（ 4.3 ± 0.4 mmol/L, $P < 0.01$ ）5 set 目（ 13.8 ± 0.6 mmol/L,

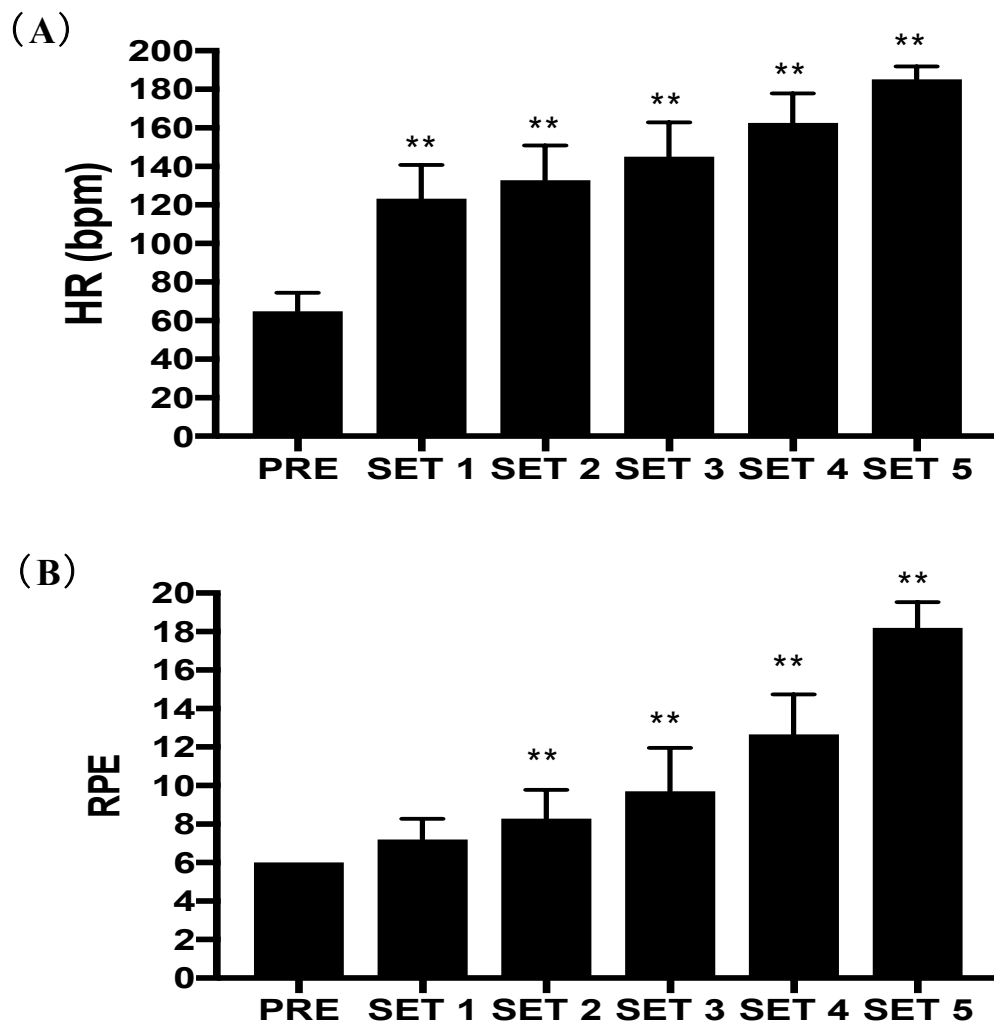


Fig. 7 打ち込み実験中の平均 HR (A), 平均 RPE (B)

HR と RPE の変化を平均値 \pm 平均誤差として図に示す. **: P<0.01 vs PRE.

P<0.01) に急増した. 4 set, および 5 set 目の値は, 他 set における値と比較し有意な高値を示した (P<0.01).

血中 ACTH 濃度は, 安静時から 3 set 目までほとんど変化しなかった. その後 4 set 目でやや増加し, 5 set 目の値は他 set における値と比較して有意な高値を示した (P<0.01).

血中 GH 濃度は, 安静時が 2.9 ± 0.8 ng/ml であるのに対し, 全 set 終了直後では, 7.4 ± 1.5 ng/ml に増加し, 安静時と比較して有意な高値を示した (p=0.018).

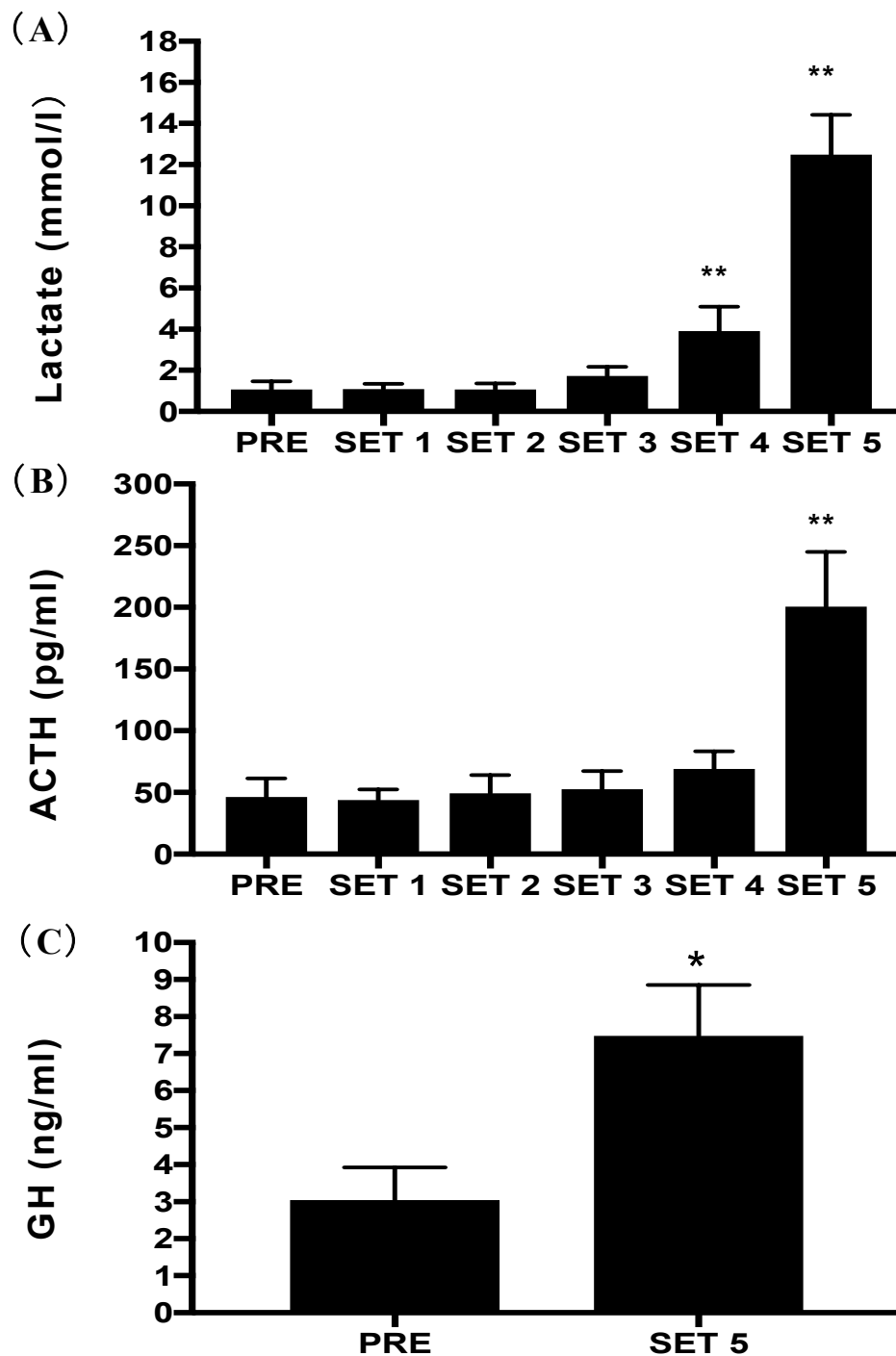


Fig. 8 打ち込み実験による乳酸(A), ACTH(B),
および GH(C)の血中濃度変化

血中乳酸, ACTH, GH 濃度を平均値±平均誤差として図に示す.

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ vs PRE.

4. 考察

柔道の稽古法の一つである打ち込みは、技を正確に鋭く、さらにスピードあるものに鍛え上げることを目的として行われている（川村，1982b）．また，打ち込みは体力トレーニングとしての要素をも含んでいることが経験的に知られているものの，その意義を運動生理・生化学的観点から検討したものはない．そこで本研究は，異なるペースの打ち込みの運動強度を詳細に検討し，スピード打ち込みの体力トレーニングとしての有用性について推考することを目的とした．

4-1. 呼吸循環器系応答からみたスピード打ち込みの運動強度

男子大学生を被験者として，得意技打ち込みの運動強度を HR と $\% \dot{V}O_2 \max$ で示した先行研究（杉山，1979）では，打ち込みを 2.0 秒に 1 回のペースで 2 分間実施した際に（60 回/2 分），HR は 154 ± 8 bpm となり， $68.5 \pm 6.8 \%$ $\dot{V}O_2 \max$ に相当する強度となると報告している．また 4 秒に 1 回のペースで，6 種類の技を 1 分間ずつ行う条件の打ち込み（90 回/6 分）を男子大学生に行わせた場合には，平均 HR から推定される運動強度は 47.2% $\dot{V}O_2 \max$ 程度であり（久永ほか，1978），持久力向上を図るトレーニング強度が約 70% $\dot{V}O_2 \max$ とされていることから判断すると（池上，1982），やや不十分な印象がある．そこで本研究では，最も遅いペースとして 3.0 秒に 1 回のペースを採用し，最大速度は 1.0 秒に 1 回と規定して検討を加えた．大学における柔道稽古では，約 10 分間で 100 本程度の打ち込みが行われることは一般的で（小澤ほか，1994），「受」と「取」が交互に施技することを考慮すると，3.0 秒に 1 回のペースとなり，本研究の実験条件の妥当性は担保されるものと考えられる．

予備実験で確認した HR と酸素摂取量の関係から，スピード打ち込み実験時の運動強度を推定すると，3.0 秒に 1 回，2.5 秒に 1 回，2.0 秒に 1 回，1.5 秒に 1 回，1.0 秒に 1 回の異なるペースで行うと，それぞれ 39.0 ± 3.5 ， 46.4 ± 3.5 ，

56.3±3.5, 70.7±2.9, および 89.0±1.9% $\dot{V}O_2$ max となる．これらの結果, 2.0 秒に 1 回のペースで行った際の運動強度は約 56%であり, 上述の杉山ほかの報告と一致しない．この結果の相違は, 被験者の絶対的な有酸素能力の違いに起因するものと考えられる．本研究の被験者の $\dot{V}O_2$ max は平均 66.8 ml/kg/min であるのに対し, 杉山ほかの先行研究における被験者の $\dot{V}O_2$ max は平均 50.0 ml/kg/min と, 元々の有酸素能力に大きな差が存在することが原因と思われる．本研究の被験者である大学生は 10 年以上の柔道経験者で, 1 日 2 時間以上の柔道の稽古を週 6 回行っている者であり, 70% $\dot{V}O_2$ max を超える強度となるスピード打ち込みのペースは, 2.0 秒に 1 回ではなく 1.5 秒に 1 回以上の速さとなることが確認される．

4-2. 血中 La 濃度変化からみたスピード打ち込みの運動強度

血中 La 濃度が増加する運動強度は LT といわれ, 骨格筋では ATP の再合成が解糖系優位になり, 筋線維からの La の放出が行われる．LT 以上の運動強度でのトレーニングは, 筋細胞に La の蓄積により pH が低下することで酸化ストレスが高まり, 酸化系の ATP 再合成能力の向上を惹起する一因になると考えられる．本研究の血中 La 濃度の変化から, 3 set 目 (2.0 秒に 1 回) までは, 血中 La 濃度は安静時と比べて有意な変化は確認されなかったが, 4 set 目 (1.5 秒に 1 回) における血中 La 濃度は約 4 mmol/L であり, 安静時と比べて有意に増加することが確認された．また, 5 set 目では 13.8±0.6 mmol/L まで増加し, 4 set 目と比較しても有意に増加することが確認された．このことから, 1.5 秒に 1 回以上のペースでのスピード打ち込みは, LT 強度以上の運動強度で, OBLA に相当する強度であると推察される．LT や OBLA を越える強度の運動は, 持続的パフォーマンスを向上させることが知られており (Kinderman et al., 1979), 1.5 秒に 1 回以上のペースでのスピード打ち込みは, エネルギー代謝動態から判断して, 持久力向上のための体力トレーニングとして有用であると思われる．

加えて、乳酸は骨格筋の活性化を促進し、筋組織の成長を促すことが報告されていることから (Dankel et al., 2017), 1.5 秒に 1 回以上のペースでのスピード打ち込みは、骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を高める強度である可能性が示唆された。

4-3. 内分泌系応答からみたスピード打ち込みの運動強度

ACTH は精神的、身体的ストレスに反応し脳下垂体前葉から分泌され、主に副腎皮質に作用することにより、コルチゾールやデヒドロエピアンドロステロンの合成を促進するホルモンである。また、ACTH は運動強度に敏感に反応するホルモンである (井澤, 2001)。運動による ACTH の分泌は、コルチゾールによる糖新生や血圧の上昇などの循環器系を介して運動の継続を支えるだけでなく、デヒドロエピアンドロステロン分泌を介して筋タンパク質の合成を促進することに繋がると考えられる。本研究の結果、血中 ACTH 濃度は 4 set 目 (1.5 秒に 1 回) までは、安静時と比べて有意差は確認されなかったものの、5 set 目 (1.0 秒に 1 回) では、安静時と比べて有意に増加することが確認された (Fig. 8)。つまり、柔道の基本練習である打ち込みであっても、施技のペースを変更することにより十分な生体刺激となり、脳下垂体前葉からの内分泌動態にも影響を及ぼすことが推察される。加えて、内分泌指標である血中 ACTH 骨格筋の成長と肥大に影響を与える可能性が指摘されているため (Steiner et al., 2020), 1.0 秒に 1 回以上のペースでのスピード打ち込みは、骨格筋の肥大に有効な強度である可能性が示唆された。

レジスタンストレーニングによる筋肥大の一つの機序として、レジスタンストレーニング後の GH 分泌が挙げられており、運動後に生じる血中 GH 濃度の変動をみることで、その運動が筋や骨の成長を促すトレーニングであるかの指標になると考えられる (跡見, 1986)。本研究では、運動前後の比較のみだが、安静時と比べて 5 set 目終了後に GH 濃度は有意に増加した。つまり、スピー

ド打ち込みのみでも GH 分泌が促進され、打ち込みの実施方法を工夫することで筋タンパクの合成などのアナボリック効果を引き出す可能性がある。本研究における内分泌の動態から、1.0 秒に 1 回以上のペースが筋タンパク合成を促進する可能性が示唆された。しかし、1.0 秒に 1 回というペースは約 $90\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ に相当すると共に、ACTH も高濃度で分泌されることから、過剰なストレスが身体に影響を及ぼしていると考えられる。この高強度トレーニングを繰り返し行うことは、免疫機能を抑制したり、脳内における海馬の神経を萎縮させるなどオーバートレーニングの一因となる可能性があることを考慮する必要がある。

本実験の計画は、5 種の異なるペースの打ち込みを、休息（10 分間）を挟みながら繰り返し行わせるものであった。したがって各 set 終了直後に血液サンプルを採取したが、血中指標が直前 set の影響だけを真に反映しているとはいえない。すなわち先行する set の影響が、次 set 以降に持ち越されて加算効果が働いた可能性を否定できない。この点は、本研究で実験開始前と 5set 終了後の 2 ポイントでのみ評価を行った GH の変化にも当てはまり、GH の有意な増加が最終 set の影響だけを受けて確認されたものか、打ち込み実験全体の影響を表しているのかを弁別することはできない。これらは、さらに十分な休息時間を設けた実験デザインなどにより、今後検証されるべき課題である。

5. 要約

本研究では、スピード打ち込みの体力トレーニングとしての生理学的意義について明らかにすることを目的に、背負投打ち込みのトレーニング強度を呼吸循環器系応答、血中乳酸濃度変化および内分泌系応答から検討した。

スピード打ち込みを呼吸循環器系応答からみると、1.5 秒に 1 回以上のペースで $70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ を超えることが示唆された。つまり持久性トレーニングとし

て打ち込みを行う場合、1.5 秒に 1 回以上のペースで行った際に効果が期待できる。

血中 La 濃度変化からみると、1.5 秒に 1 回以上のペースでのスピード打ち込みは LT や OBLA を越える強度となり、エネルギー代謝動態から判断して、持久力向上のための体力トレーニングとして有用であると思われる。さらに、このペースでのスピード打ち込みは、骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を高めるトレーニング内容としても有益であると考えられる。

内分泌系応答からみると、1.0 秒に 1 回でのスピード打ち込みにおいて血中 ACTH 濃度が安静時と比べて有意に増加した。つまり、柔道の基本練習である打ち込みであっても内分泌動態にも有意な影響をもたらすことが推察される。

安静時と比べて、1.0 秒に 1 回のスピード打ち込み終了後に GH 濃度は有意に増加した。つまり、スピード打ち込みにより GH 分泌が促進され、打ち込みの実施方法を工夫することでアナボリック効果を引き出すことができる可能性が示唆された。しかし、1.0 秒に 1 回のペースは、持久性トレーニングとして 1.5 秒に 1 回のペースよりもさらなる効果が期待できるものの、このペースでの無計画なトレーニングはオーバートレーニングを引き起こす危険性がある。

第6章 大学男子柔道選手の体力向上に向けた足技かかり練習の至適ペース探索：代謝・内分泌指標による基礎的検討（研究課題2-2）

1. 目的

研究課題2-1では、高速度条件になっても体幹伸展力の発揮が低下しにくい軽量級が得意とすることが多い背負投を対象とし、筋力向上に有効な可能性のある打ち込みペースを検討した。その結果、1.5秒に1回のペースが背負投打ち込みのLTに当たり、それ以上のペースでは過剰なストレスが生じることから、1.5秒に1回以上のペースが全身持久性能力を高め、なおかつ筋タンパク合成を促進する背負投打ち込みとして至適である可能性を明らかにした。一方、体幹伸展筋の発揮するスピードに課題があった重量級選手が得意とすることが多い足技についても検討が必要である。なぜなら、足技（内股、大外刈、大内刈など）は、柔道競技の決まり技として多く見られ、稽古時にも高い頻度で実施され、足技の打ち込みについては、全身持久性および筋力向上に資する至適ペースを未検討であり、競技現場への応用は進んでいない。

柔道の稽古で行われる複雑な各動作の相対強度に基づいた至適条件を明らかにしようとする際、最も単純な動作としてのかかり練習（打ち込み：技の反復練習）が最初の対象となりうる。打ち込みの目的は「技を正確に鋭く、さらにスピードを増すことである」とされ（川村，1982b），初心者から熟練者までそれぞれ適した方法によって実施される（川村，1972）。種々ある打ち込みの中でも、施技のペースを速めたスピード打ち込みは「技の精度，速度および強度を基盤とし，リズムカルでバランスを維持しながら力動的に技を発揮する」ことを目的とした技術・体力トレーニングである（嘉納ほか，1999；川村，1982b）。これまで柔道の競技現場における打ち込みのペース設定は，経験則に基づいて行われてきたが，持久性および筋力向上に向けた打ち込みの運動強度に基づく

至適ペースを明らかにできれば、柔道特異的な動作の持久性強化に向けた稽古計画の立案に寄与するものと考えられる。

持久力を含む体力向上を目指したトレーニングや稽古を構成する運動条件は、運動の様式、強度、時間、頻度で定義されるが、最も重要な基礎として運動強度の設定がある (Garber et al., 2011)。しかしながら、柔道の運動強度を明らかにする生理学的取り組みは、柔道動作の複雑さが一因となり未発達なのが現状である。実際、一度の稽古や模擬試合が選手の心拍数 (HR) や血中乳酸濃度を非常に高いレベルまで上昇させることが知られるが (Franchini et al., 2013; 小澤ほか, 1994; 久永ほか, 1978; 芳賀ほか, 1974)、稽古における各動作の運動強度は不明であるため、至適稽古条件を生理・生化学的に定義するには至っていない。

運動強度は、絶対的運動強度と相対的運動強度に分けられる。絶対的運動強度は走速度や自転車運動など個人の体力を考慮しないで設定した負荷のことで、比較的簡単に運動強度を設定できるが、同一の強度でも個人によって負担度が異なるため普遍的な指標とはならない。その点を解決するのが相対的運動強度であり、運動時の心理指標 (主観的運動強度 (RPE) など)、生理指標 (心拍数 (HR)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) など)、代謝・内分泌指標 (血中乳酸濃度、血中ストレスホルモン濃度 (副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) など)) によって定義される。例えば、漸増負荷運動時には、RPE, HR, $\dot{V}O_2$ は走速度に比例して上昇し、限界まで速度を上げることで各個人の最高値 (最大心拍数 (HRmax)、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)) を測定できる。それらを個人の有酸素能力の 100% とすることで、種々の運動の相対強度を超低強度 (37% $\dot{V}O_{2max}$ 未満)、低強度 (37-45% $\dot{V}O_{2max}$)、中強度 (46-63% $\dot{V}O_{2max}$)、高強度 (64-90% $\dot{V}O_{2max}$)、最大付近 (90% $\dot{V}O_{2max}$ 超) に分類できる (Garber et al., 2011)。

一方、血中乳酸やストレスホルモン濃度などの代謝・内分泌指標は、低強度では安静時と比較して変化しないが、中強度にあたる 60% $\dot{V}O_{2max}$ 付近を境に

して急激に増加し始める (von Duvillard, 2001 ; Wasserman et al., 1973). この強度は乳酸性閾値 (lactate threshold, LT) と呼ばれ, 視床下部-下垂体-副腎 (HPA) 軸を含む内分泌系の活性化 (以下, ストレス) を通じて, 全身のエネルギー代謝が有酸素性から無酸素性に転換する点を意味する (Galbo, 1992 ; Farrell et al., 1983). LT よりも強度を高めると, ストレスと乳酸上昇が更に加速する血中乳酸蓄積開始点 (onset of blood lactate accumulation, OBLA) が出現し, トレーニングを積むと LT や OBLA が出現する絶対的運動強度が高まることから, これらは最大および最大下有酸素能力を高める持久性トレーニングの目標強度や効果検証指標として頻繁に用いられる (Franchini et al., 2016).

さらに, 本研究では, 足技のスピード打ち込みが柔道動作による筋力トレーニングとしての有用性を検討するため, 研究課題 2-1 同様, 骨格筋の成長や肥大に有効である運動条件を検討する際の重要な指標である血中の乳酸と副腎皮質刺激ホルモン (adrenocorticotrophic hormone ; 以下 ACTH) に焦点を当てた.

そこで本研究では, 柔道選手における全身持久性能力および筋力の向上に資する足技打ち込みの至適ペースを明らかにすることを目的とし, 足技のなかでも特に得意とする競技者の多い内股, 大外刈, 大内刈を選定することで (三宅ほか, 2014 ; 中村, 2011 ; 坂本, 2006 ; 村山ほか, 2006 ; 中村ほか, 2002a ; 中村ほか, 2002b ; 松本ほか, 1973), それらの打ち込みの運動強度について RPE, HR, 推定 $\dot{V}O_2\max$, 血中乳酸濃度, 血中 ACTH 濃度から検討した.

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は健常な男子大学生で, 大内刈を得意技とする柔道鍛錬者 14 名 (大内刈条件), 大外刈を得意技とする柔道鍛錬者 14 名 (大外刈条件), 内股を得意技とする柔道鍛錬者 10 名 (内股条件) とした. 研究趣旨, 研究の具体的内

容，研究に伴う利益とリスク，および参加の拒否・随時撤回の自由を口頭，書面にて十分に説明し，実験に参加する同意を得た．事前に体内脂肪計（TBF-026，TANITA，東京）により体格指標を，トレッドミルを用いた漸増負荷運動により有酸素能力（ $\dot{V}O_{2\max}$ と HRmax）を測定し，被験者の年齢や身長，体重，体脂肪率， $\dot{V}O_{2\max}$ などの体格・体力レベルに条件間で差はないことを確認した（Table 3）．なお，本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認の下で行われた（体 24-59 号）．

Table 3 被験者の身体特性と体力水準

Variables	大内刈（n=14）	大外刈（n=14）	内股（n=10）
Age (years-old)	19.4 ± 0.6	19.6 ± 0.2	19.6 ± 1.7
Height (cm)	178.0 ± 8.8	177.0 ± 1.5	176.8 ± 6.7
Weight (kg)	86.0 ± 17.8	89.0 ± 5.3	89.8 ± 17.5
BMI	28.3 ± 3.5	28.3 ± 1.5	28.6 ± 4.4
Body fat (%)	16.7 ± 5.8	17.9 ± 1.8	17.4 ± 6.8
Body mass (kg)	15.2 ± 8.7	17.1 ± 2.9	16.7 ± 10.1
Lean body mass (kg)	70.8 ± 9.8	71.8 ± 2.5	73.1 ± 8.0
HRmax (bpm) *	190.2 ± 2.5	188.1 ± 2.5	181.0 ± 11.8
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg/分) *	49.5 ± 6.1	52.3 ± 2.5	52.4 ± 7.0

Values are average ± SD.

*トレッドミルを用いた最大運動試験による実測値．

2-2. トレッドミルによる最大酸素摂取量と最大心拍数の測定

$\dot{V}O_{2\max}$ と HR_{\max} の測定は、吉岡ほか（2009）の方法に準じて実施された。各被験者に対し漸増負荷ランニングによる最大運動負荷テストを行い、 $\dot{V}O_{2\max}$ と HR_{\max} を決定した。テストにはトレッドミル（西川鉄工製、京都）を用いた。運動中の呼気ガスは Mijnhardt 社製呼気ガス分析器（Oxycon Alpha）を用いて、breath-by-breath 法により $\dot{V}O_2$ 、二酸化炭素排出量（ $\dot{V}CO_2$ ）、呼吸交換比（RER）を測定した。また、運動中の HR は HR モニタ（Polar 社製、S610i）を用いて記録した。

運動負荷テストは、任意のランニングおよびストレッチング等の準備体操を行わせた後に開始した。走速度は 120 m/min から開始し、1 分毎に 10 m/min を漸増させた。10 分経過後からはスピードを維持したまま（220 m/min）、1 分毎に傾斜を 1.7° ずつ増加させた。設定速度での走行が不可能になった時点で運動を終了させた。測定によって得られた $\dot{V}O_2$ は 30 秒平均で出力し、漸増負荷テストにおける最も高い $\dot{V}O_2$ を除脂肪体重で除した値を $\dot{V}O_{2\max}$ とした。 $\dot{V}O_{2\max}$ は、1) $\dot{V}O_2$ の leveling-off（前の負荷段階と比較した $\dot{V}O_2$ の上昇が 150 ml/min 以下）、2) RER が 1.1 以上、3) 運動時の HR が予測 HR（220-年齢）の 90% 以上、の 3 つの判断基準のうち 2 つ以上を満たすことを条件として求めた（Tanaka et al., 1990）。

2-3. 足技打ち込み実験

足技（大内刈、大外刈、内股）の打ち込みを Fig.9 に示した。武道卓上タイマー（早川繊維工業、大阪）のメトロノーム機能を用いてペースを規定した。30 秒間それぞれの足技打ち込みを 30 秒間の休息を挟んで 5 セット行わせ、10 分間の休息を挟みながらペースを漸増した。打ち込みペースは、大内刈では 2.0 秒に 1 回（15 回／30 秒）、1.5 秒に 1 回（20 回／30 秒）、1.0 秒に 1 回（30 回

／30 秒), 0.85 秒に 1 回 (35 回／30 秒), 最大努力とし, 大外刈と内股では 2.0 秒に 1 回 (15 回／30 秒), 1.5 秒に 1 回 (20 回／30 秒), 1.25 秒に 1 回 (24 回／30 秒), 1.0 秒に 1 回 (30 回／30 秒), 最大努力とし, 全ての技において 5 段階に設定した. 大内刈, 大外刈, 内股の全ての打ち込みでは, 「崩し」から「作り」までの動作を上述のペースに合わせて全力で行うこと, 並びに各施技前に腕を伸ばし, 「取」の体と足が「受」のそれらと平行になる位置に戻ることには指示をした. 施技の方法については, 内股は相手と向き合った状態から体を 90 度回転させた後, 再び自然本体で「受」と向き合うまでを 1 回と規定した. 大外刈は自然本体から始動させ, 無回転で胸と胸を強く当て, 足を大きく振り上げた後, 自然本体で「受」と向き合うまでを 1 回と規定した. 大内刈は自然本体から始動させ, 無回転で胸と胸を強く当て, 両腕・両膝で相手の重心を真下に崩した後, 再び自然本体で「受」と向き合うまでを 1 回と規定した. また, 実際の稽古での打ち込みに近づけるために, 移動に制限を設けず, 「受」は被験者とはほぼ同程度の身長・体重のものとし, 被験者が技を掛けやすいように自然本体で対応させた.

A 大内刈



B 大外刈



C 内股



Fig. 9 足技打ち込み

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み.

2-4. 打ち込み実験における測定項目

RPE は、打ち込み前と各ペースの 5 セット目終了直後 10 秒以内に Borg スケールにより評価した。HR は打ち込み時に「受」と胸を合わせる際、センサーが干渉し痛みが生じるのを最小限にするため、ダイナスコープ（フクダ電子，DS-7520，東京）を用いて測定した（Fig.10A, B）。ダイナスコープにおける打ち込み動作中のノイズの影響を除去するため、打ち込み終了直後 10 秒間に測定した値の平均を算出することで定量した。

打ち込み時の推定 $\dot{V}O_2$ は、佐藤ほか（1977）の方法に準じて算出した。事前に行ったトレッドミル走による漸増負荷運動中の $\dot{V}O_2$ と HR の関係を示す回帰直線の式を作成し、その式に各ペースの 5 セット目の打ち込み終了直後の HR を代入することで推定 $\dot{V}O_2$ を算出した。打ち込み時の推定 $\% \dot{V}O_{2max}$ は、打ち込み時の推定 $\dot{V}O_2$ をトレッドミル走運動で実測した $\dot{V}O_{2max}$ の値で除し、100 を乗じた値とした。

また、医師の管理のもと、看護師により打ち込み前と各ペースの 5 セット目の打ち込み終了直後 1 分間以内に前腕静脈からマルチプル翼状針と真空採血

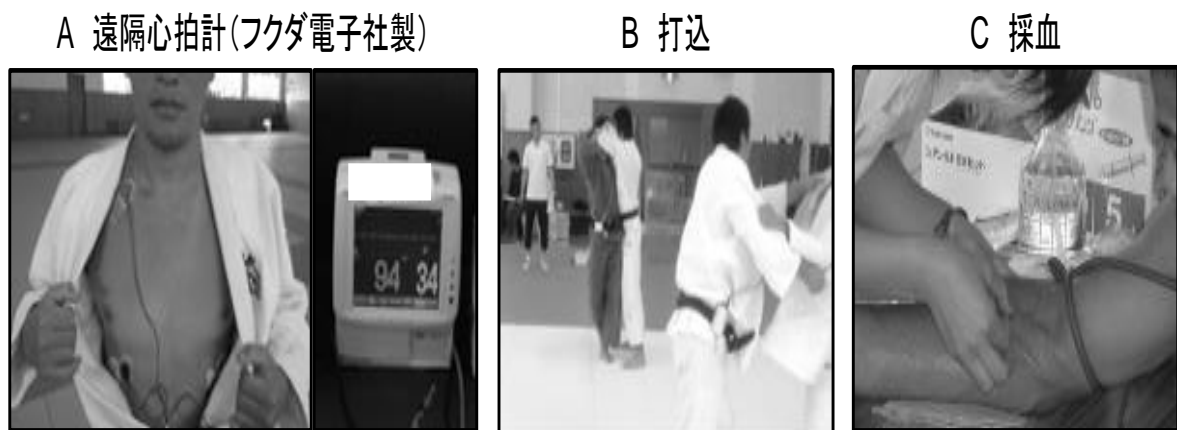


Fig. 10 打ち込み実験における心拍測定と採血

A, 遠隔心拍計を装着した様子。B, 心拍計を装着した打ち込みの様子。C, 採血の様子。

管により採血し (Fig.10C), 血中乳酸と ACTH の定量をそれぞれ三菱化学メディアエンス (東京) に委託した.

2 - 5 . 統計処理

データは全て平均値 \pm 標準偏差で示し, プリズム9 (エムデーエフ, 東京) を利用して統計解析を実施した. 各項目の解析には一元配置分散分析を用い, 主効果が確認された場合には多重比較検定 (Tukey's post-hoc test) を実施した. 有意水準は, 危険率5%未満とした.

3 . 結果

3 - 1 . 主観的運動強度 (RPE)

打ち込みは全て規定通りのペースで行われ, 最大努力時にはそれぞれ大内刈が 46.8 ± 2.7 回, 大外刈が 35.6 ± 3.4 回, 内股が 38.4 ± 4.2 回まで実施された (Table 3). 打ち込み時の RPE は, 大内刈, 大外刈, 内股の全ての条件において, 打ち込み前と比較して 20 回/30 秒のペースから上昇し始め, 最大努力時には全ての技において最大値である 20 付近に達した ($p < 0.05$) (Fig.11A~C). 最大努力時の RPE には, 条件間で差は認められなかった (Fig.11D).

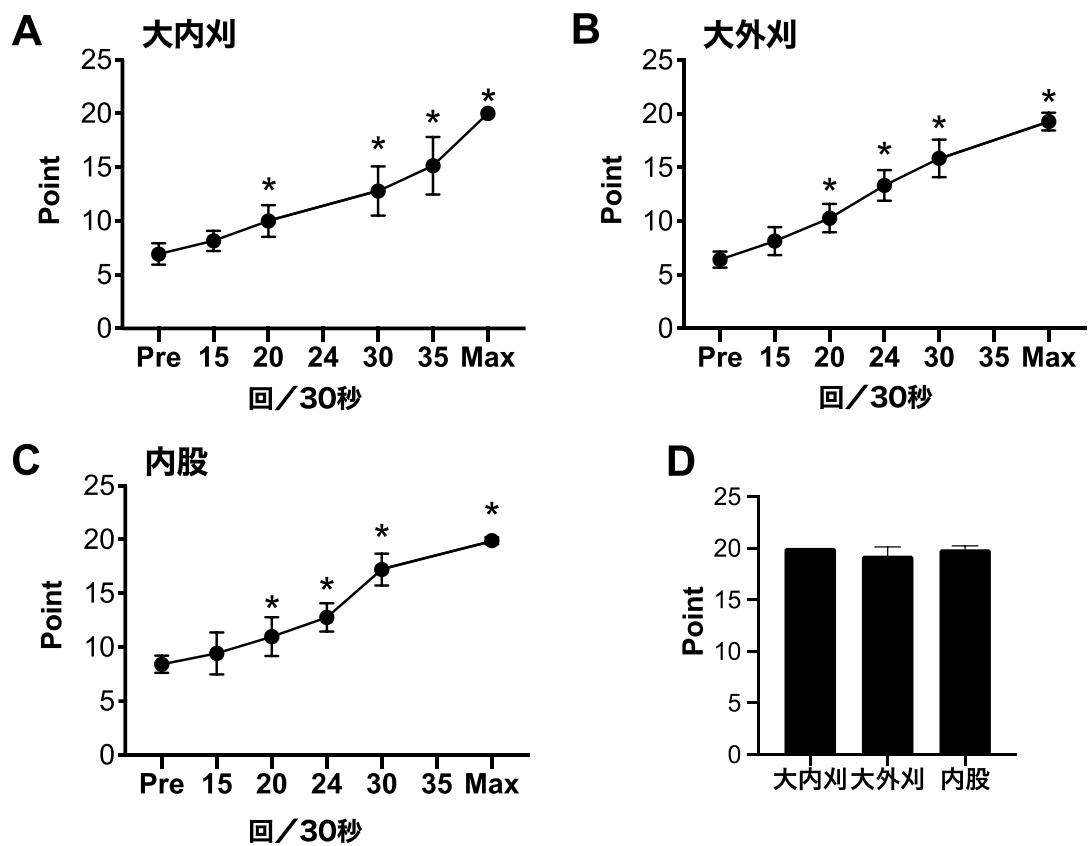


Fig. 11 異なるペースの打ち込み時の主観的運動強度（RPE）

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み.

D, 最大努力のペース時のRPE. *: $P < 0.05$ vs. Pre.

3 - 2 . 心拍数 (HR)

打ち込み時の心拍数は全ての技で打ち込み前と比較して 15 回/30 秒のペースから上昇し始め, 最大努力時には大内刈条件で 178.9 ± 7.3 bpm, 大外刈条件で 182.1 ± 6.5 bpm, 内股条件で 173.9 ± 18.1 bpm に達した ($p < 0.05$) (Fig.12A~C). 最大努力時の HR には, 条件間に差は認められなかった (Fig.12D).

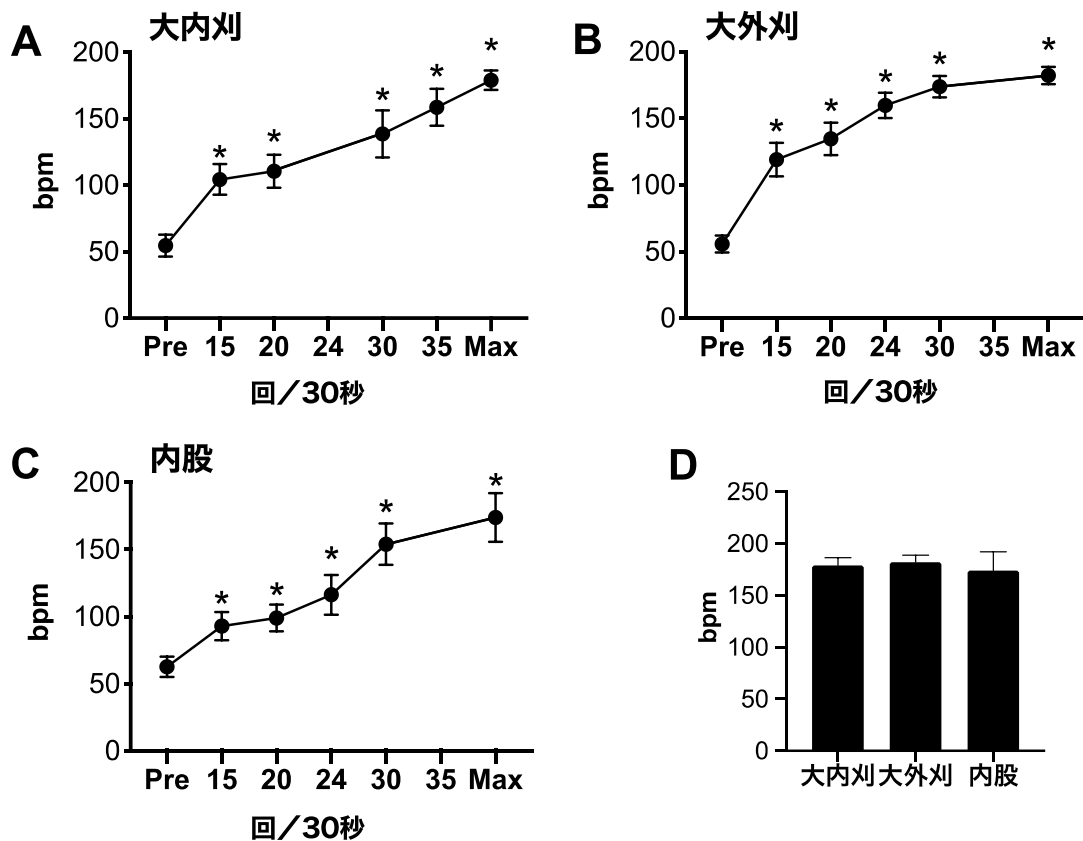


Fig. 12 異なるペースの打ち込み時の心拍数 (HR)

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み,

D, 最大努力のペース時のHR. *: $P < 0.05$ vs. Pre.

3-3. 推定酸素摂取量 ($\% \dot{V}O_{2\max}$)

トレッドミルを用いた漸増負荷運動により得られた HR と $\dot{V}O_2$ の関係から、打ち込み時の推定 $\% \dot{V}O_{2\max}$ を算出した。 $\% \dot{V}O_{2\max}$ は、大内刈と内股で 30 回/30 秒のペースで、大外刈については 20 回/30 秒のペースから打ち込み前と比較して上昇し、最大努力時には大内刈条件では $84.5 \pm 5.1 \% \dot{V}O_{2\max}$ 、大外刈条件では $90.1 \pm 7.8 \% \dot{V}O_{2\max}$ 、内股条件では $94.3 \pm 13.6 \% \dot{V}O_{2\max}$ まで上昇した ($p < 0.05$) (Fig.13A~C)。最大努力時の $\% \dot{V}O_{2\max}$ には、条件間に差は認められなかった (Fig.13D)。

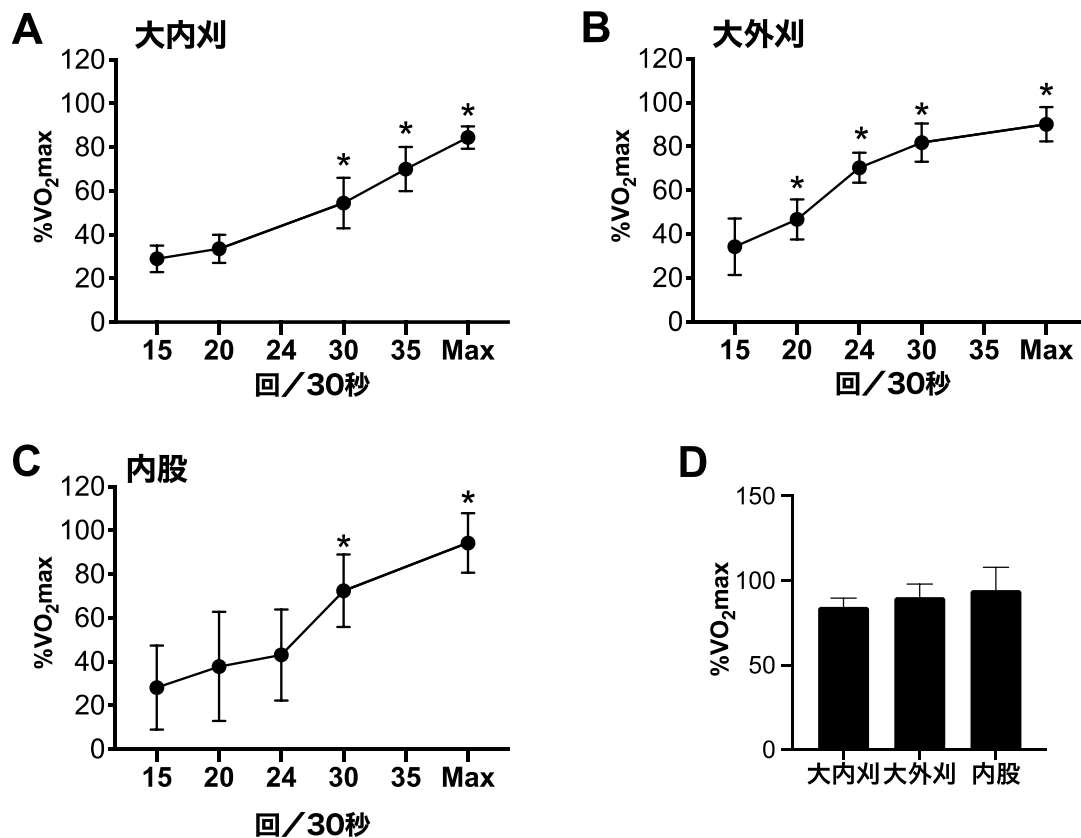


Fig. 13 異なるペースの打ち込み時の推定酸素摂取量 ($\% \dot{V}O_{2\max}$)

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み,

D, 最大努力のペース時の $\% \dot{V}O_{2\max}$. *: $P < 0.05$ vs. Pre.

3-4. 血中乳酸濃度

打ち込み時の血中乳酸濃度は、全ての技で打ち込み前から 20 回/30 秒のペースまでほとんど変化しなかったが、大内刈条件では 35 回/30 秒、大外刈条件では 24 回/30 秒、内股条件では 30 回/30 秒のペースでそれぞれ上昇し始めた ($P < 0.05$) (Fig.14A~C). 最大努力時の血中乳酸濃度は、大内刈では 8.9 ± 2.1 mmol/L, 大外刈では 15.5 ± 3.6 mmol/L, 内股では 16.8 ± 4.6 mmol/L にそれぞれ達し、大外刈と内股の最大努力時の血中乳酸濃度は大内刈と比較して有意な高値を示した ($P < 0.05$) (Fig.14D).

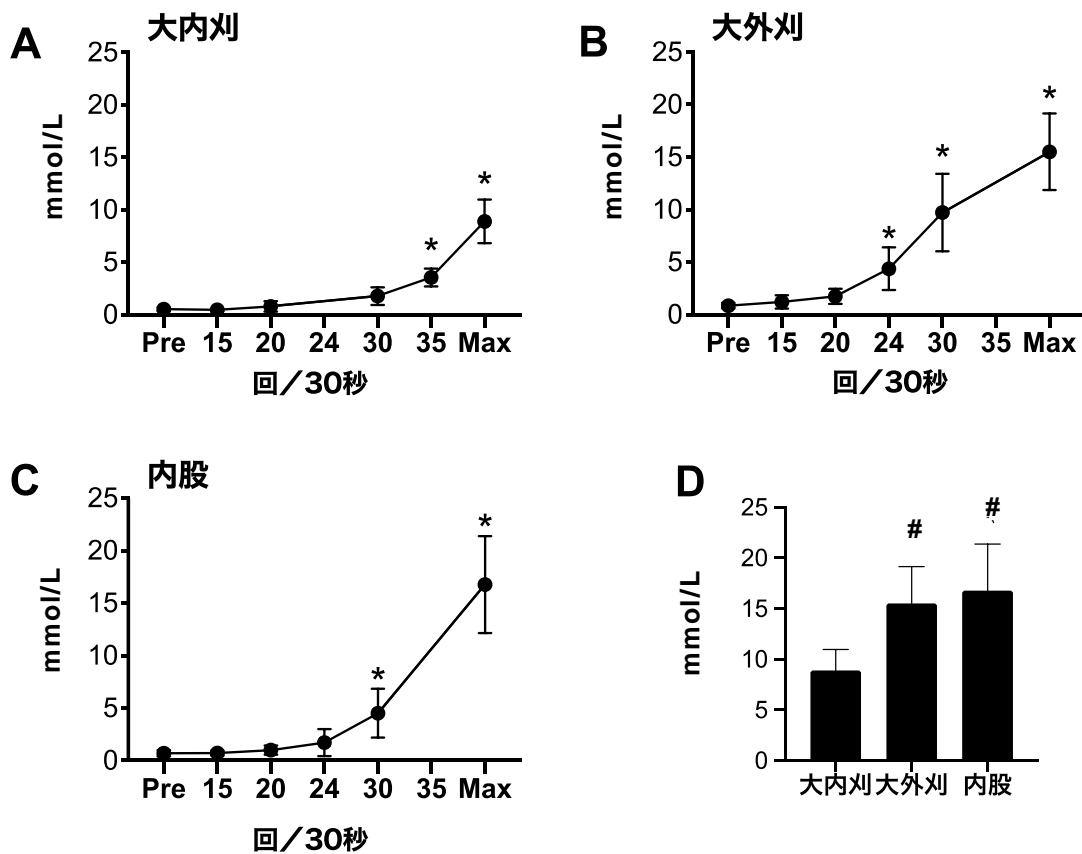


Fig. 14 異なるペースの打ち込み時の血中乳酸濃度

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み,

D, 最大努力のペース時の血中乳酸濃度. *: $P < 0.05$ vs.Pre. #: $P < 0.05$

vs. 大内刈.

3-5. 血中副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) 濃度

血中 ACTH 濃度は、全ての技で最大努力でのみ、打ち込み前の値と比較して有意な高値を示した ($p < 0.05$) (Fig.15A~C). 最大努力時の血中 ACTH 濃度は、条件間に差は認められなかった (大内刈条件: 73.7 ± 52.6 pg/ml, 大外刈条件: 107.8 ± 54.5 pg/ml, 内股条件: 81.7 ± 53.2 pg/ml) (Fig.15D).

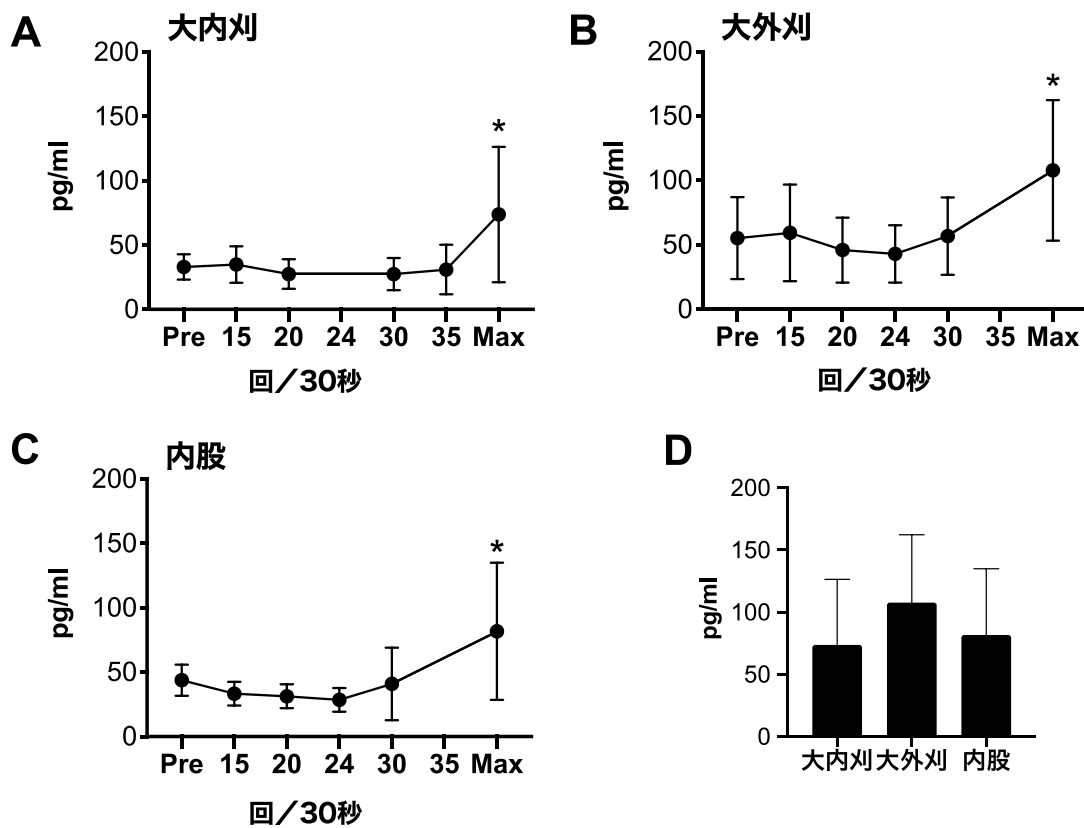


Fig. 15 異なるペースの打ち込み時の血中副腎皮質刺激
ホルモン (ACTH) 濃度

A, 大内刈打ち込み. B, 大外刈打ち込み. C, 内股打ち込み, D, 最大努力のペース時の血中 ACTH 濃度. *: $P < 0.05$ vs. Pre.

4. 考察

本研究では、体幹伸展筋の発揮するスピードに課題があった重量級選手が得意とすることが多い足技（大内刈、大外刈、内股）に焦点を当て、柔道選手における全身持久性および筋力向上に向けた足技（大内刈、大外刈、内股）の打ち込み至適ペースを明らかにすることを目的とし、男子大学柔道選手における異なるペースの各足技打ち込み時の代謝・内分泌指標を測定した。その結果、RPE, HR, 推定%VO₂ max は、全ての技において打ち込みのペース依存的に上昇した (Fig.11~13)。血中乳酸濃度は遅いペースでは打ち込み前と比較して変化しなかったが、大内刈では 0.85 秒に 1 回 (35 回/30 秒)、大外刈では 1.25 秒に 1 回 (24 回/30 秒)、内股では 1.0 秒に 1 回 (30 回/30 秒) でそれぞれ上昇し始め、最大ペースの打ち込み時には、血中乳酸濃度が大内刈で 10 mmol/L 付近、大外刈と内股では 15 mmol/L 付近にまで達した (Fig.14)。ストレス指標である血中 ACTH 濃度は全ての技において最大努力のペースでのみ増加した (Fig.15)。これらの結果は、足技打ち込みの相対強度に関する初めての代謝・内分泌的根拠を示し、持久性強化に資する足技打ち込みの至適ペースが大内刈では 35 回/30 秒以上、大外刈では 24 回/30 秒以上、内股では 30 回/30 秒以上であることを示唆する。

以上の結果から、重量級の体幹筋力に課題があるのは、足技打ち込みの有効なペースが背負投よりも速いため、現場での稽古時に十分なペースに達していないことが多いのかもしれない。

本研究では、Fig.9 に示した異なる足技打ち込みに着目し、運動強度の心理指標である RPE、および呼吸循環器指標である HR と推定%VO₂ max が、全ての技において打ち込みペースの増加に応じて上昇し、最大努力のペースにおいてピークに達することを確認した (Fig.11~13)。これらの指標の水準や動態は、走運動や自転車運動を用いてよく実施される漸増負荷試験でみられる結果と

一致し (Ide et al., 2000), 柔道における打ち込みの運動強度を検討した先行研究とも同様である (曾我部, 2017; Franchini et al., 2013; Baudry and Roux, 2009; Houvenaeghel et al., 2005; 杉山ほか, 1979). したがって, 本研究における異なるペースの打ち込みを用いた実験デザインは, 柔道特異的動作である打ち込みの相対的運動強度を, 代謝・内分泌指標から評価する漸増負荷打ち込み試験として妥当であるといえる.

運動強度を評価する糖代謝指標の代表である血中乳酸濃度は, 全ての足技打ち込みにおいて遅いペースでは打ち込み前と比較して変化しなかったが, 大内刈では 0.85 秒に 1 回 (35 回/30 秒), 大外刈では 1.25 秒に 1 回 (24 回/30 秒), 内股では 1.0 秒に 1 回 (30 回/30 秒) でそれぞれ上昇し始め, 最大ペースの打ち込み時には, 全ての技で血中乳酸濃度が 10 mmol/L 付近もしくはそれ以上にまで達した (Fig.14). このような漸増負荷運動時の血中乳酸のカーブ状の上昇は, 走運動や自転車運動でもみられる普遍的な生理現象であることから (Faude et al., 2009), 柔道の複雑な動作においてもより単純な運動と同様に血中乳酸濃度を用いた相対強度の決定が可能であることを示唆する. さらに, 漸増負荷運動時に乳酸が上昇し始める点が LT や OBLA として知られる (Chwalbinska-Moneta et al., 1985). 持久性を高めるトレーニングには, LT や OBLA 付近の持続的な中強度運動, もしくはそれらを上回る短時間の高強度運動を繰り返すインターバル運動が用いられることから (MacInnis and Gibala, 2017; Garber et al., 2011), 本研究における各足技打ち込みのペースは競技現場における柔道特異的な動作の持久性向上に至適なものであると考えられる.

加えて, 一般的に持久性トレーニングの運動強度を評価する糖代謝指標である乳酸は, 乳酸受容体 GPR81 を介して細胞内シグナル伝達因子 Erk1/2 を活性化し, 筋細胞数を増やすことで骨格筋肥大に寄与する可能性が示唆されている (大野ほか, 2019). 従って, 本研究で血中乳酸濃度が増加することが確認されたペース (大内刈: 0.85 秒に 1 回 (35 回/30 秒), 大外刈: 1.25 秒に 1 回 (24

回／30 秒)，内股：1.0 秒に 1 回（30 回／30 秒）が，骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を促進するトレーニング内容として有益であると考えられる．

ストレス反応の代表的な指標である血中 ACTH 濃度は，全ての足技打ち込みにおいて，最大努力以外のペースでは変化せず，最大努力のペースでのみ増加した（Fig.15）．これらの結果は，今回実施した足技の最大努力ペースで行うスピード打ち込みのような激しい柔道動作は，ストレスを惹起する高強度運動であることを示唆する．ストレスは脳下垂体から分泌される ACTH の増加により定義され，ACTH が副腎皮質に作用することで放出されるコルチゾールは血圧の増加，皮膚の血管収縮（出血予防），貯蔵エネルギー（グリコーゲンや脂肪）の分解，脳への作用による覚醒レベル上昇などを引き起こす（Galbo, 1992）．これらは，野生動物における食料探索のための移動，外敵に襲われた際の闘争や逃走に必要な生理機能であることから，“闘争-逃走反応（Fight-or-flight response）”とも呼ばれる（Cannon, 1927）．人間にも進化の過程でこれら仕組みが備わっており，短期的には身心を運動に適した状態に導くことから，パフォーマンス発揮に必要な生理反応であるといえる．実際，副腎摘出マウスでは，急性運動時に放出されるコルチコステロンと同量のコルチコステロンを単回投与すると，水泳テストで疲労困憊までの時間が延長される（Jiang et al., 2014）．同様に，急性トレッドミル運動の 21 時間前に酢酸コルチゾールを単回投与すると，ラットの疲労困憊までの運動時間が増加した（Gorostiaga et al., 1988）．ヒトでは，合成コルチゾールであるデキサメタゾンを 5 日間投与すると，シャトルランテスト中の動的膝外転筋疲労時間と総走行距離が増加する（Casuso et al., 2014）．柔道のスピード打ち込みは模擬試合と同等の運動強度であることから（Franchini et al., 2013），ストレスは柔道における激しい動作を基盤とした競技パフォーマンスに重要な役割を担う可能性がある．

急性運動によって短期的に増加するコルチゾールは，Orosomucoid1, $\text{Na}^+\text{-K}^+$ pump, Kruppel-like factor 15, Period1 などの遺伝子発現を介して，骨格筋にお

いて脂質利用能の向上，疲労耐性の増加，筋肥大に関連しうる時計遺伝子の同調などのポジティブなトレーニング適応を引き出す可能性がある（Steiner et al., 2020）。また，骨格筋で異化的に作用するグルココルチコイド受容体は，コルチゾール分泌を高めるレジスタンス運動によりその発現量を低下させることで，筋の成長と肥大に一役買う可能性が指摘されている（Steiner et al., 2020）。本研究では打ち込み時のコルチゾール濃度を実測していないが，ACTH は副腎皮質のコルチゾール分泌を促すことから，ACTH 分泌を高める最大ペースの足技打ち込みは，全身持久性能力を高めるだけでなく，骨格筋の肥大を通じた筋力向上のためのトレーニング内容として有益であると考えられる。

一方，長期にわたるストレス（コルチゾール濃度の増加）は，胃潰瘍を形成し（Gray et al., 1951），骨格筋の糖取り込みやタンパク質合成を低下させ（Kang et al., 2020; Kuo et al., 2013），脳でも記憶の座である海馬や意欲とより高次な認知機能（注意集中，判断など）を司る前頭前野の神経にダメージを与え，それらの脳部位を疲弊・萎縮させることで（Hu et al., 2016; Walesiuk et al., 2006; Watanabe et al., 1992），意欲やパフォーマンスを低下させるうつ病やオーバートレーニング症候群の原因になる（松井・征矢，2007; Kawashima et al., 2004）。実際，オーバートレーニングを発症したアスリートでは，コルチゾール濃度が高い場合があることが知られる（Lakier et al., 2003）。したがって，最大努力の足技打ち込みのようなストレスを惹起する激しい柔道動作を長期に渡って無計画に実施することは，オーバートレーニングを発症するリスクを高めるかもしれない。運動強度は単なる高低を示す直線的なものではなく，LT を境にしてストレスを伴わない低強度運動からストレスを惹起する高強度運動へ質的に変化するものであることを認識し，トレーニングや稽古内容，コンディショニング計画に応用していくことが望まれる。

興味深いことに，足技打ち込み時の血中乳酸濃度は，大内刈条件では 35 回／30 秒，大外刈条件では 24 回／30 秒，内股条件では 30 回／30 秒のペースで

それぞれ上昇し始めたが (Fig.14A~C), ストレス指標である血中 ACTH 濃度は全ての条件において最大努力のペースでのみ増加した (Fig.15A~C). ランニングや自転車の漸増負荷運動では, 血中の乳酸と ACTH の濃度の上昇は同期することが知られ (Roelfsema et al., 2017; Farrell et al., 1983; Soya et al., 2007), 本研究の結果とは一致しない. 最近, 身体接触を伴う柔術の稽古が抗ストレス作用を有するオキシトシンの分泌を促すことが報告された (Rassovsky et al., 2019). 本研究で確認された打ち込み時の血中乳酸と ACTH 濃度上昇タイミングの不一致は, 脳下垂体後葉から分泌されるオキシトシンが, 副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモン (corticotropin-releasing hormone; 以下 CRH) の発現と視床下部-脳下垂体-副腎の反応系列 (HPA 軸) の活性を抑制する抗ストレス作用によって生じる可能性が考えられる (Windle et al., 2004).

本研究における各足技の打ち込みの施技は 6 種のペースで行われ, そのペースは 10 分間の休憩を挟んでいるものの連続的に漸増された. したがって, 高速ペースの打ち込み時の運動強度は, それ以前の施技の影響を全く受けていないとはいえない. 例えば, 内股の 30 回/30 秒ペースで乳酸濃度が初期値に比べて有意に上昇したが, 被験者は 10 分前に 24 回/30 秒ペースでの打ち込みを 5 セット行っていることから, 単に 30 回/30 秒ペースの打ち込みを行った場合には乳酸濃度が同じように変化するかどうかは不明である.

また, 本研究では異なるペースの打ち込みが ACTH 分泌に及ぼす影響を明らかにすることに主眼を置いたことから, 同一ペースの打ち込みのセット数が ACTH 分泌に及ぼす影響は不明である. ACTH 分泌を高めない低~中強度の運動においても, 持続時間が長時間になると ACTH 分泌が惹起される (Inder et al., 1998). したがって, 同一強度の打ち込み時に ACTH 分泌が促されるセット数について明らかにすることは, 競技現場での稽古内容の設定に寄与する重要な検討課題となるだろう.

最大努力時の血中乳酸濃度は、大内刈条件において、大外刈や内股条件と比較して低かった (Fig.14D)。したがって、最大限の負荷をかけながら柔道動作の持久性能力を養成するのには大内刈打ち込みは不向きであると考えられる。また、大内刈打ち込み時の血中乳酸濃度の低値については、大内刈は、大外刈で必要となる足の振り上げが無く、内股で必要とされる体の回転も無いため、打ち込み時に要する動作量が少ないことが影響していると考えられる。本研究の被験者は、各足技を得意技とする柔道選手であり、得意技としない技の打ち込みを行った場合には、動作の熟練度の違いがどのような結果が生むのかは不明である。各投技の打ち込みに至適なペースを探索してそれを広く一般化するには、対象者をさらに広げた検討が求められる。これらの点は、今後バイオメカニクスを導入して検討することが課題解決の糸口となると思われる。

5. 要約

本研究では、体幹伸展筋の発揮するスピードに課題があった重量級選手が得意とすることが多い足技（大内刈，大外刈，内股）に焦点を当て、柔道選手における全身持久性および筋力向上に向けた足技（大内刈，大外刈，内股）の打ち込み至適ペースを明らかにすることを目的とし、それらの打ち込みの運動強度を代謝・内分泌系指標から検討した。その結果、運動強度の心理および呼吸循環器指標は、検討した全ての技においてペースに応じて直線的に上昇するが、血中乳酸濃度は内股では 1.0 秒に 1 回（30 回／30 秒）、大外刈では 1.25 秒に 1 回（24 回／30 秒）以上のペースで急激に増加し、最大努力のペース（内股： 38.4 ± 4.2 回／30 秒，大外刈： 35.6 ± 3.4 回／30 秒）では、15 mmol/L 付近まで上昇した。運動量が他の足技と比べて少ないとされる大内刈では、他の技よりも速い 0.85 秒に 1 回のペースで血中乳酸が上昇し始め、最大努力のペース（ 46.8 ± 2.72 回／30 秒）で 10 mmol/L に達した。これらの結果は、持久性能力

の強化に資する足技打ち込みの至適ペースが大内刈では 35 回／30 秒以上，大外刈では 24 回／30 秒以上，内股では 30 回／30 秒以上であることを示唆する．

加えて，大内刈では 35 回／30 秒以上，大外刈では 24 回／30 秒以上，内股では 30 回／30 秒以上でのスピード打ち込みは，筋タンパクを合成する促進するためのトレーニング内容としても有益であると考えられる．血中 ACTH 濃度は，全ての技で最大努力のペースでのみ増加した．3 つの足技全てにおいて最大努力のペースでスピード打ち込みを行うことは，より骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を促進するトレーニング内容として有益であると考えられる．

こうした柔道動作の代謝・内分泌反応に関連する運動強度の解明は，柔道特異的な持久性能力の養成に資するより良いトレーニングやコンディショニングの立案に役立つものであると考えられる．

第7章 総合討論

対人格闘技である柔道競技は、投技を行う上で、上肢で相手に力を加えて技を掛け、施した技が崩れないように姿勢を維持して（Van Dieen et al., 2012）最後まで技を掛け切ることが求められるため、下肢から上肢への力の伝達および姿勢維持に体幹筋力は重要である（Kibler et al., 2006）。さらに、現代の柔道競技はルールの変更に伴いスピード化が進み、速い動きの中でいかにして強い筋力を発揮するかが求められる（Mackala et al., 2019）。柔道の競技力向上には、特に高速度での強い体幹筋力が重要であることが推察されるが、これまで柔道選手の体幹筋力特性は明らかにされていない。さらに、柔道選手の競技力を向上させるトレーニング法になりうるスピード打ち込みは、体幹筋群を中心に、四肢の様々な筋群を動員した全身運動であり、その至適条件を検討する必要がある。これらを明らかにすることで、柔道の競技力向上に資するより良いトレーニングやコンディショニングの立案に役立つものであると考えられる。そこで総合討論では、研究課題1は大学男子柔道選手に必要な体幹筋力の特性を示し、次に研究課題2-1および2-2は高速度で打ち込みを行うことの意義および各種打ち込みにおける至適条件の違いを論じる。最後に、柔道特異的な動作をトレーニング現場に応用するための提言を行う。

研究課題1では、角速度増加に伴う体幹筋力の低下について、階級間の違いをみるために重量級と軽量級の特徴を明らかにすることを試みた。その結果、体幹伸展筋力においては、軽量級は重量級および一般学生に比べ角速度増加に伴う筋力低下の程度が小さいことが明らかとなったが、重量級は一般学生との間には有意差が認められなかった。すなわち、軽量級で示した高速度での体幹伸展筋力の低下率が抑制されるという特徴は、重量級においては示すことが出来なかった。近年、日本柔道界において軽量級男子選手は常に安定して好成績を残しているが、体重が100 kgを超える重量級男子選手の低迷が続いている。

階級制であっても体格や体力面で勝る外国人選手の方が有利なことが多く、日本人選手が世界規模の大会で苦戦する一つの要因と考えられる（上水ほか，2016）。特に重量級選手のような体が大きくなるほど，身体的な優劣が試合の勝敗に影響する可能性がある。

さらに，柔道の日本人男子トップ選手の体幹筋群である脊柱起立筋や側腹筋群，腰方形筋の横断面積が他競技のトップ選手と比較して大きく（松林，2020），筋横断面積は筋力と比例することから（福永，1978），柔道において体幹筋力はパフォーマンス発揮に重要である。本研究では角速度増加に伴う体幹伸展時ピークトルクは，軽量級では低下が認められなかったが，重量級では有意な低下を示したことから，重量級における体幹伸展筋の発揮するスピードが不足している可能性が考えられる。すなわち重量級選手の競技力向上には，軽量級選手のようなスピードを伴った体幹筋力を発揮できるように強化することが必要であると考えられる。

さらに先行研究では，体幹筋力の大きさを比較する場合，絶対値（Nm）ではなく，体重当たりの相対値（%BW）を用いていることが多い。しかし，本研究では筋力を群間で比較するというのではなく，角速度増加に伴う筋力低下の程度の推移をみることに焦点を当てたことから，体重当たりの値で評価しても絶対値で評価しても結果は同様であると考えられる。柔道選手の体幹筋力の特徴を示す場合には，同じ体格の者同士を比較することが先行研究から示されている。斎藤ほか（1991）は，一般健常者とスポーツ選手（大相撲，柔道，アメリカンフットボール，その他）の体重で除した体重比（%BW）を比較した結果，スポーツ選手の屈曲筋力は一般健常者よりも高い値を示し，伸展筋力では角速度の増加に伴い，柔道選手だけが他のスポーツ選手や一般健常者と異なり負の相関関係を示さなかった。つまり柔道選手は，他の競技者よりも角速度増加に伴う伸展筋力の減少が抑制されることを示している。この研究で注目すべきは，大相撲群は平均体重が 138kg と他のスポーツ群より重いためか，伸展筋

力は角速度増加に伴い顕著に減少し、 150 deg / s では一般健常者と同じ値を示している点である。つまり、体重という要素が角速度増加に伴う筋力低下率に大きく影響を及ぼす可能性を否定できない。本研究において柔道選手の特徴をみるためには、体重が同程度である男子大学柔道選手の軽量級 ($70.2 \pm 3.0 \text{ kg}$, 16名) と一般学生 ($63.8 \pm 9.5 \text{ kg}$, 17名) を比較した。軽量級選手の角速度増加に伴う筋力低下率が有意に低い値を示した研究課題1の結果より、柔道選手は高速度での体幹伸展筋力の低下が抑えられていることが示唆される。以上のことから、柔道選手の特徴として全ての角速度において体幹筋力が高く、かつ高速度での伸展の発揮筋力が高いことから、柔道の競技力を高めるためには体幹の動的筋力は重要であると考えられる。今後の課題として、体重で割った補正值から算出した体幹筋力の低下率を比較し検証することが必要である。

柔道の競技力を高めていく視点に立った時には、体幹における高速度域での筋力発揮が重要であることが、研究課題1より明らかとなった。しかし、体幹だけが強いことが柔道の競技力向上に直結するかどうか必ずしもそうではない。対人競技である柔道は、全身的運動と局所的作業の両方が複雑に関連しており（木村ほか，2018）、高速度域での高い筋力発揮の特性は、体幹筋力だけでなく全身の筋群の連動性が求められる。しかし、サイベックスを用いたトレーニングでは、パーツごとの筋力強化に過ぎず、筋群の連動性に対する効果は限定的である。すなわち、柔道の動きに類似し、体幹を含めた全身の筋群が連動した高速度域での筋力発揮を高める稽古法を明らかにすることが、柔道の競技力向上の視点から重要である。

このような視点から考えた場合、柔道の稽古法の一つである打ち込みは、人と組み合いながら連続的に仕掛ける自分の技を受けてもらう行為であり、全身の筋群を連動させて高速度域での筋力発揮を高めることが可能になる。これまで柔道界では、打ち込みのペースを早く行うことを歴史的に行ってきたが、スピード打ち込みが柔道における高速度域での筋力発揮を可能にし、さらには高

速度域で筋力発揮が落ちないという特性が身につくのに有効な稽古方法になるのではないかと考えられる。打ち込みを高速度で全身を同時に操作していくこと自体に意義があり、また速度を加減して行うことで選手のコンディション面を考慮したトレーニングを行うことが可能となり、選手や指導者にとっても新たな意味を付与した稽古方法として見直すことに繋がると考えられる。

これまでスピード打ち込みは、持久的運動能力を向上させる稽古法として先行研究から明らかにされている。一方でスピード打ち込みの動きに着目すると、相手と組み合った状態から柔道の動きでなおかつ高速度で動かすため、相手の重みを一瞬で動かす能力が求められ、パワーを上げる必要がある。そこで、スピード打ち込みがどんな意味があるか改めて問う必要があると考えられる。

研究課題 2-1 では、背負投のスピード打ち込みを呼吸循環器系応答、血中乳酸濃度変化および内分泌系応答から、体力トレーニングとしての生理学的意義について明らかにし、競技力向上に資する手段の一つとして再評価することを目的とした。背負投打ち込みについては、1.5 秒に 1 回（20 回／30 秒）のペースを上回る速度において、呼吸循環器系応答およびエネルギー代謝動態から判断して、持久力向上のための体力トレーニングとして有用であることが示唆された。

研究課題 2-2 では、柔道競技の決まり技として特に重量級で多くみられ、稽古時にも高い頻度で実施される足技（内股、大外刈、大内刈）について研究課題 2-1 と同様に検討した。内股では 1.0 秒に 1 回（30 回／30 秒）、大外刈では 1.25 秒に 1 回（24 回／30 秒）、大内刈では、他の技よりも速い 0.85 秒に 1 回（35 回／30 秒）以上のペースでのスピード打ち込みは、エネルギー代謝動態から判断して、持久力向上のための体力トレーニングとして有用であることが示唆された。

持久性能を高めるトレーニングには、LT や OBLA 付近の持続的な中強度運動、もしくはそれらを上回る短時間の高強度運動を繰り返すインターバル運

動が用いられることから (MacInnis and Gibala, 2017; Garber et al., 2011), 上述の背負投および各足技打ち込みのペースは競技現場における柔道特異的な動作の持久性向上に至適なものであると考えられる。加えて、全身持久力の運動強度を評価する指標である乳酸が (ジェイ・ホフマン, 2011), シグナルとして直接的に、もしくは、エネルギー基質として間接的に筋肥大に貢献する可能性が報告されている (Dankel et al., 2017)。したがって、すなわち、背負投は 1.5 秒に 1 回 (20 回/30 秒) 以上、大内刈は 0.85 秒に 1 回 (35 回/30 秒) 以上、大外刈は 1.25 秒に 1 回 (24 回/30 秒) 以上、内股は 1.0 秒に 1 回 (30 回/30 秒) 以上のペースが全身持久性能力を高めるだけでなく、筋タンパク合成を促進する可能性が示唆される。

また、内分泌系のストレス指標である血中 ACTH は副腎皮質のコルチゾール分泌を促し、骨格筋で異化的に作用する。急性運動によって短期的に増加するコルチゾールは、Orosomucoid1, $\text{Na}^+\text{-K}^+$ pump, Kruppel-like factor 15, Period1 などの遺伝子発現を介して、骨格筋において脂質利用能の向上、疲労耐性の増加、筋肥大に関連する時計遺伝子の同調などのポジティブなトレーニング適応を引き出す可能性がある (Steiner et al., 2020)。また、骨格筋で異化的に作用するグルココルチコイド受容体は、コルチゾール分泌を高めるレジスタンス運動によりその発現量を低下させることで、骨格筋の成長と肥大に役立つ (Steiner et al., 2020)。すなわち、本研究において 4 つの技における ACTH の分泌が開始されるペースは、背負投が 1.0 秒に 1 回 (30 回/30 秒)、3 つの足技打ち込みは最大努力であることから、これらのペースで実施する足技打ち込みは乳酸とコルチゾールの相加相乗効果を生むことで、骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を最大化するトレーニング内容となるかもしれない。

このように、スピード打ち込みが身体機能にどのような影響を与えるのかを明らかにすることは、選手や指導者にとって有効な練習を行う上で重要な知見となり得る。もう一つの柔道の練習法である乱取は、技術や駆け引きをドリル

している側面が強いため、高速度域でも筋力発揮が落ちないという能力を高める稽古法としては、この意図的に高速度で行うスピード打ち込みが適していると考えられる。また、本研究は一過性のトレーニングであり、今後は長期間スピード打ち込みを行うことで柔道競技に必要な高速度域で筋力発揮が維持できるかどうかを、サイベックスを用いて検証することも必要と考えられる。さらに本研究では大学男子柔道選手を対象としており、競技レベルや性別さらには階級毎に分けて検討することも必要である。

昔から柔道では、根性論に基づき、倒れるまで追い込むことが美德とされるような練習が主流であった。しかし、そこに稽古法の意義について理解させるような指導は伴っていない。科学的な知見に基づくトレーニングが推奨されつつある近年のスポーツ界において、稽古法の意義を理解することは非常に重要である。柔道の打ち込みを行う目的は、ピリオダイゼーションによっても変わってくる。例えば、準備期においては、形を重視する一本一本区切った打ち込みであったり、形を身に付けるための反復練習であったりする。試合期であれば、体力の向上や維持を目的としたスピード打ち込みがある。そのスピード打ち込みにおいて、ひたすら早く行うことだけ目的に行った場合や技の形が崩れた状態で続ける場合には、傷害やオーバートレーニングに繋がる危険性が考えられる。このようなことから、ピリオダイゼーションとなるそれぞれの技の至適ペースを明確にすることは非常に有用な知見となり得るであろう。

第8章 結論

本研究では、大学男子柔道選手の競技力を担う筋力発揮特性を明らかにし、そのトレーニング法の立案に役立つ知見を得ることを目的とした。

【研究課題 1】

大学男子柔道選手の体幹筋力の発揮特性について検討した。その結果、柔道選手は一般学生と比較して、全ての角速度において体幹筋力が高く、かつ軽量級は高速度での伸展の筋力発揮が高いことが明らかとなった。つまり柔道の競技力を高めるためには、体幹の動的筋力は重要であると考えられる。

【研究課題 2 - 1】

柔道において体幹筋力はパフォーマンス発揮に必要であることから、体幹筋力を高めるトレーニング法を明らかにするためにペースの異なる打ち込みによる効果を生理・生化学的観点から検討した。その結果、高速度域での体幹筋力発揮を高めることが可能であるスピード打ち込みは、背負投では、1.5 秒に 1 回（20 回／30 秒）のペースを上回る速度において、呼吸循環器系応答およびエネルギー代謝動態から判断して、持久力向上および筋タンパク合成を促進するための体力トレーニングとして有用であることが示された。また、1.0 秒に 1 回（30 回／30 秒）以上のペースでの打ち込みは、内分泌動態にも有意な影響をもたらすことが示された。

【研究課題 2 - 2】

軽量級選手が得意とすることが多い背負投について、高速度域での体幹筋力発揮を高めるスピード打ち込みのペースが明らかとなった。一方、試合の決まり技として多くみられ、体幹伸展筋の発揮するスピードに課題があった重量級

選手が得意とすることが多い足技（大内刈，大外刈，内股）に焦点を当て，柔道選手における筋力向上に向けた足技（大内刈，大外刈，内股）の打ち込み至適ペースについて検討した．その結果，筋力向上の可能性に資する足技打ち込みの至適ペースが大内刈では 0.85 秒に 1 回（35 回／30 秒）以上，大外刈では 1.25 秒に 1 回（24 回／30 秒）以上，内股では 1.0 秒に 1 回（30 回／30 秒）以上であることが示された．また，内分泌系応答から判断して 3 つの足技全てにおいて最大努力のペースで行うと代謝エネルギー動態から示したペースと比べて，より骨格筋の肥大を生じる筋タンパク合成を高めるトレーニング内容として有益であると考えられる．こうした柔道動作の代謝・内分泌反応に関連する運動強度の解明は，柔道特異的な持久性能力の養成さらにはに資するより良いトレーニングやコンディショニングの立案に役立つものであると考えられる．

以上の結果から，大学男子柔道選手の競技力を担う筋力発揮特性は高速度域での体幹伸展筋力の発揮が高いことであり，それを向上させるトレーニング法としてスピード打ち込みが体幹も含めた全身運動の高速度域での筋力発揮を高めることを可能にする一つの稽古法であると考えられる．さらに，柔道特異的なトレーニング法であるスピード打ち込みの技の違いによる至適条件を提示することは，指導の際に役立つ知見となると考えられる．

謝辞

本稿を終えるにあたり，終始懇篤なご指導とご高閲を賜りました，筑波大学体育系・高橋英幸教授に対し深謝いたします．また，ご多忙の中，副査を引き受けて頂いた同系・前田清司教授，福田崇准教授には，貴重なご指導とご助言を賜りました．諸先生方に深く感謝致します．さらに，本研究に際し，専攻外副査を引き受けて頂いた同系・酒井利信教授に心からお礼を申し上げます．そして，本研究に際し適宜ご助言と実験にご協力くださった松井崇助教、木村文律氏に深くお礼申し上げます．

引用文献

- 上水研一朗，位高駿夫，廣川彰信，有賀誠司，町田修一(2016)男子大学柔道トップアスリートにおけるミドルパワーと ACT3 及び ACE 遺伝子多型との関連性．武道学研究，49(1):29-38.
- Ahmaidi, S., Portero, P., Calmet, M., Lantz, D., Vat, W., Libert, J.P. (1999) Oxygen uptake and cardiorespiratory responses during selected fighting techniques in judo and kendo. *Sports Med Training Rehab.*, 9: 129–139.
- 跡見順子(1986) 体力トレーニング-運動生理学的基礎と応用-. 真興交易医書出版部，171-197.
- Bae, J. H., Kim, D. K., Seo, K. M., Kang, S. H., Hwang, J. (2012) Asymmetry of the isokinetic trunk rotation strength of Korean male professional golf players. *Ann Phys Rehabil Med.*, 36(6): 821–827.
- Barbado, D., Lopez-Valenciano, A., Juan-Recio, C., Montero-Carretero, C., van Dieen, H., Vera-Garcia, J. (2016a) Trunk Stability, Trunk Strength and Sport Performance Level in Judo. *PLoS ONE* 11(5): 1-12.
- Barbado, D., Barbado, L, C., Elvira, J, L. L., Van Dieen, J, H., Vera-Garcia, F, J. (2016b) Sports-related testing protocols are required to reveal trunk stability adaptations in high-Level athletes. *Gait & Posture.*, 49: 90-96.
- Baudry, S.and Roux, P. (2009) Specific circuit training in young judokas: effects of rest duration. *Res Q Exerc Sport.*, Jun; 80(2): 146-52.
- Brooks, GA. (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.*, 17: 22–34.
- Butcher, SJ., Craven, BR., Chilibeck, P.D., Spink, K.S., Grona, S.L., Sprigings, E.J. (2007) The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 37(5): 223-231.

- Calmet, M., Miarka, B., Franchini, E. (2010) Modeling of grasps in judo contests. *Int J Perf Anal Spor.*, 10: 229-240.
- Cannon, W.B. (1927) *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage*. D. Appleton And Company, New York.
- Casuso, R.A., Melskens, L., Bruhn, T., Secher, N.H., Nordsborg, N.B. (2014) Glucocorticoids improve high-intensity exercise performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 114: 419-424.
- Chang, E.S., Bishop, M.E., Baker, D., West, RV. (2016) Interval Throwing and Hitting Programs in Baseball: Biomechanics and Rehabilitation. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).*, Mar-Apr; 45(3): 157-62.
- Chwalbinska-Moneta, J., Robergs, R.A., Costill, D.L., Fink, W.J. (1985) Threshold for muscle lactate accumulation during progressive exercise. *J. Appl. Physiol.*, 66: 2710-2716.
- Cohen, J.L., May, P.B., Kim, C.S., Das, B., Austin, S.M., and Ertel, N.H. (1980) Graded exercise induced changes in pituitary hormones. *Clin. Res.*, 28: 257A.
- Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. (2006) Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function. Part 1. *N Am J Sports Phys Ther.*, 1(2):62-72.
- Cormie, P., McGuigan, M.R., Newton, R.U. (2011) Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *Sports Med.*, 41: 17–38.
- Craig, B.W., and Kang, H.Y. (1994) Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: Total work versus power. *Journal of Strength and Conditioning Research.*, 8: 270-275.

- Cronin, J. and Sleivert, G. (2005) Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med.*, 35(3): 213-234.
- Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Jessee, M.B., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Loenneke, J.P. (2017) Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 117(11):2125-2135.
- Degoutte, F., Jouanel, P., Filaire, E. (2002) Energy demands during a judo match and recovery. *Br. J. Sports Med.*, 37:245-249.
- De Meersman, R.E., and Ruhling, R.O (1977) Effects of judo instruction on cardiorespiratory parameters. *J Sports Med Phys Fitness.*, 17:169–172.
- Ellenbecker, T, S., and Roetert, E, P. (2004) An Isokinetic Profile of Trunk Rotation Strength in Elite Tennis Players. *Med Sci Sports Exerc.*, 36: 1959-1963.
- Farrell, P.A., Garthwaite, T.L., Gustafson, A.B. (1983) Plasma adrenocortico-tropin and cortisol responses to submaximal and exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol.*, 55: 1441-1444.
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009) Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med.*, 39: 469-490.
- Franchini, E., Julio, U.F., Panissa, V.L., Lira, F.S., Gerosa-neto J., Branco, B.H. (2016) High-intensity intermittent training positively affects aerobic and anaerobic performance in judo athletes independently of exercise mode. *Front physiol.*, 7:268.
- Franchini, E., Panissa, V.L., Julio, U.F. (2013) Physiological and performance responses to intermittent Uchi-komi in Judo. *J Strength Cond Res.*, Apr; 27(4): 1147-55.
- Franchini, E. and Sterkowicz, S. (2000) Techniques used by judoists during the World and Olympic tournaments 1995–1999. *Human Movement.*, 2(2):23–33.

- Franchini, E., Brito, C. J., Fukuda, D. H., Artioli, G. G. (2014) The physiology of judo-specific training modalities. *J Strength Cond Res.*, May; 28(5):1474-1481.
- Franchini, E. and Takito, M.Y. (2014) Olympic preparation in Brazilian judo athletes: description and perceived relevance of training practices. *J Strength Cond Res.*, Jun; 28(6):1606-1612.
- Franchini, E., Takito, M.Y., Nakamura, F.Y., Matsucigue, K.A., Peduti dal'Molin Kiss, M.A. (2003) Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 43:424-431.
- Franchini, E., Del Vecchio, F.B., Matsushigue, K.A., Artioli, G.G. (2011) Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Med.*, 41: 147-166.
- Fry, R. W., Morton, A.R., Keast, D. (1991) Overtraining in athletes. *Sports Med.*, 12: 32-65.
- 藤本鎮也, 吉田一也, 佐藤慎一郎, 秋山純和(2013) 体幹と理学療法. 理学療法-臨床・研究・教育 20 : 7-14.
- 福永哲夫(1978)ヒトの絶対筋力-超音波による体肢組成・筋力の分析-. 杏林書院 : 75-105.
- Galbo, H. (1992) Exercise physiology: humoral function. *Sport Sci. Rev.*, 1: 65-93.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P., American College of Sports Medicine. (2011) American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43: 1334-1359.

- Gorostiaga, E.M., Czerwinski, S.M., Hickson, R.C. (1988) Acute glucocorticoid effects on glycogen utilization, O₂ uptake, and endurance. *J. Appl. Physiol.* (1985), 64: 1098-1106.
- 後藤民男(1982)Isokinetics とサイベックス. 体育の科学 32 : 715-719.
- Gray, S. J., A. Benson., R. W. Reifenstein. (1951) Chronic stress and peptic ulcer. I. Effect of corticotropin (ACTH) and corticosterone on gastric secretion. *JAMA* 147: 1529–1537.
- Graves, J.E., Pollock, M.L., Jones, A.E., Colvin, A.B., Leggett, S.H. (1989) Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Med Sci Sports Exerc.*, 21: 84-89.
- Gruther, W., Wick, F., Paul, B., Leitner, C., Posch, M., Matzner, M., Crevenna, R., Ebenbichler, G. (2009) Diagnostic accuracy and reliability of muscle strength and endurance measurements in patients with chronic low back pain. *J Rehabil Med.*, 41(8):613–619.
- 芳賀脩光，浅見高明，小野沢弘史(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.
- 萩原仁，調枝孝治(1976)知覚-運動行動のシステム分析. 不昧堂, 209-225.
- Hagins, M., Adler, K., Cash M., Daugherty J., Mitrani, G. (1999) Effects of Practice on the Ability to Perform Lumbar Stabilization Exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 29: 546–555.
- Harris, D. M., Foulds, S., Latella, C. (2019) Evidence-Based training Recommendations for the Elite Judoka. *Strength Cond J.*, 41(2):108-118.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R., Hollmann, W. (1985) Justification of the 4mmol/L lactate threshold. *Int J Sports Med.*, 6:117-130.
- Hedrick, A. (2000) Training the trunk for improved athletic performance. *Strength Cond J.*, 22(3):50–61.

- Helm, N., Prieske, O., Muehlbauer, T., Krüger, T., Retzlaff, M., Granacher, U. (2020) Associations between trunk muscle strength and judo-specific pulling performances in judoathletes. *Sportverietz Sportschanden.*, Mar;34(1):18-27.
- Hibbs, A.E., Thompson, K.G., French, D., Wrigley, A., Spears, I. (2008) Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med.*, 38:995-1008.
- Hill, V. A. (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. Lon. Ser. B.*, 126:136–195.
- Hill, E. E., Zack, E., Battaglini, C., Viru, M., Viru, A., Hackney, A. C. (2008) Exercise and circulating cortisol levels: The intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest.*, Jul; 31(7): 587-591.
- 久永哲雄, 貝瀬輝夫, 佐藤幸夫(1978)高校生・大学生の柔道鍛錬者における呼吸循環機能及び練習強度について. *武道学研究*, 11 (2) : 56-58.
- Hodges, P.W., Butler, J.E., McKenzie, D., Gandevia, S.C. (1997) Contraction of the human diaphragm during postural adjustments. *J Physiol.*, 505: 239–248.
- Hodges, P.W., Heijnen, I., Gandevia, S.C. (2011) Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol.*, 53(3):999–1008.
- ジェイ・ホフマン：福林徹ほか訳(2011)スポーツ生理学からみたスポーツトレーニング.大修館書店, pp.19,2011. 〈Hoffman Jay. R. (2002) Physiological Aspects of Sport Training and Performance. Human Kinetics.〉
- Houvenaeghel, M., Bizzari, C., Giallurachis, D., Demelas, J. M. (2005) Continuous recording of heart rate during specific exercises of judo. *Sci. Sports*, 20: 27-32.
- Hu, W., Zhang, Y., Wu, W., Yin, Y., Huang, D., Wang, Y., Li, W., Li, W. (2016) Chronic glucocorticoids exposure enhances neurodegeneration in the frontal cortex

- and hippocampus via NLRP-1 inflammasome activation in male mice. *Brain Behav. Immun.*, 52: 58-70.
- Humer, M., Kusters, A., Muller, E. (2011) Dynamic and static maximum strength in the closed chain during trunk flexion/extension and trunk rotation. *Sportverletzung-Sportschaden.*, 25(1):13-21.
- Ide, K., Schmalbruch, I.K., Quistorff, B., Horn, A., Secher, N.H. (2000) Lactate, glucose and O₂ uptake in human brain during recovery from maximal exercise. *J. Physiol.*, 522: 159-164.
- 飯田惣授, 加藤浩, 立花陽明, 東博彦, 斉藤隆夫(1993)柔道選手の腰痛に対する Cybex back system を用いた等運動性体幹筋力トレーニングの効果判定. *臨床スポーツ医学* 10 別冊 : 313-15.
- 池上晴夫(1982)運動処方-理論と実際-. 206-207.
- 今泉哲雄, 野瀬清喜, 有賀誠司, 高橋進, 三宅仁, 射手矢岬, 高野裕光, 山下泰裕, 西田孝宏, 斉藤仁, 細川伸二(1997)女子柔道選手における体幹屈曲筋力の重要性 : 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 1997 (2) : 178-182.
- Imamura, R.T., Iteya, M., Hreljac, A., Escamilla, R.F. (2007) A kinematic comparison of the judo throw Harai-goshi during competitive and noncompetitive conditions. *J Sports Sci Med.*, 6:15-22.
- Inder, W.J., Hellemans, J., Swanney, M.P., Prickett, T.C., Donald, R.A. (1998) Prolonged exercise increases peripheral plasma ACTH, CRH, and AVP in male athletes. *J. Appl. Physiol.* (1985), 85: 835-841.
- 猪飼哲夫, 米本恭三(1991)筋力増強の理論, *PT ジャーナル* 25 : 146-148.
- 石井直方(2013)体幹トレーニング再考. *コーチング・クリニック* 1 : 8-11.
- 射手矢岬(2008)柔道選手の体力トレーニング法. *ジュニア選手育成のための柔道コーチング論*, 137-149.

- Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Handel, P.J., Elger, Dave. (1980) Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol.*, 48:523-527.
- Iwai, K., Okada, T., Nakazato, K., Fujimoto, H., Yamamoto, Y., Nakajima, H. (2008) Sport-specific characteristics of trunk muscles in collegiate wrestlers and judokas. *J strength cond res.*, 22(2):350-8.
- 井澤鉄也 (2001) 運動とホルモン-液性因子による調節と適応-, 36.
- Jacobs, I. (1986) Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Med.*, 3:10-25.
- Jian-Zhong, Fan., Xia, Liu., Guo-Xin, Ni. (2014) Angular Velocity Affects Trunk Muscle Strength and EMG Activation during Isokinetic Axial Rotation. *BioMed Res Int.*, 1-8.
- Jiang, C.L., Liu, L., Tasker, J.G. (2014) Why do we need nongenomic glucocorticoid mechanisms?. *Front. Neuroendocrinol.*, 35: 72-75.
- Kaneko, M., Iwata, M., Tomioka, S. (1978) Studies on the oxygen uptake and heart rate during judo practice. *Bull Assoc Scientific Stud Judo Kodokan.*, 5:19-38.
- 金原勇, 宮丸凱史 (1976) 「陸上競技のコーチング」 (1) 総論・トラック編大修館.
- Kang, W., Tong, T., Park, T. (2020) Corticotropin releasing factor-overexpressing mouse is a model of chronic stress-induced muscle atrophy. *PLoS One*, 15: e0229048.
- 嘉納行光・醍醐敏郎・川村善徳・中村良三・佐藤宣践 (1999) 柔道大辞典:スピード打込. アテネ書房, 225.
- Karatas, G. K., Gogus, F., Meray, J. (2002) Reliability of isokinetic trunk muscle strength measurement. *Am J Phys Med Rehabil.*, 81(2):79-85.
- 春日井淳夫 (2002) 柔道選手の体幹パワーに関する基礎研究. 明治大学人文科学研究紀要, 50 : 65-82.

春日井淳夫，小山勝弘，賀屋光晴，山崎俊輔，高橋邦郎，手塚政孝(1999)柔道選手のパワー養成のためのトレーニング処方確立に関する基礎研究-等速性筋力絡みた柔道選手の筋力特性について-。講道館柔道科学研究紀要第八輯：71-100.

春日井淳夫，手塚政孝，高橋邦郎，岡本悌三，山崎俊輔，小山勝弘，賀屋光晴(1996)大学柔道選手における体幹力（腹筋・背筋）の等速性筋力について。柔道 5：94-98.

春日井淳夫，手塚政孝，高橋邦郎，岡本悌三，山崎俊輔，小山勝弘，賀屋光晴(1997)高校柔道選手における体幹力（腹筋・背筋）の等速性筋力について。柔道 5：94-98.

Kawamori, N. and Haff, G.G. (2004) The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res.*, 18:675–684.

川村禎三(1972)柔道. ベースボールマガジン社出版, pp105-110.

川村貞三(1982a)写真で学ぶ柔道技の練習法. ベースボールマガジン社, pp2-3.

川村貞三(1982b)写真で学ぶ柔道技の練習法. ベースボールマガジン社, pp17.

Kawashima, H., Saito, T., Yoshizato, H., Fujikawa, T., Sato, Y., McEwen, B. S., Soya, H. (2004) Endurance treadmill training in rats alters CRH activity in the hypothalamic paraventricular nucleus at rest and during acute running according to its period. *Life Sci.*, 76: 763-774.

Kibler, W.B., Press, J., Sciascia, A. (2006) The role of core stability in athletic function. *Sports Med.*, 36(3):189–198.

木村昌彦，石井孝法，岡田隆(2018)柔道現場に活かす競技者の把握筋持久力評価のための基礎的研究. *Strength & Cond J Jap.*, 25(4)2-8.

木村昌彦，田島東海男，中村一成，野瀬清喜，田中昌也，佐藤宣践，白瀬英春，山崎俊輔，高橋進(1991)等速性筋出力絡みた柔道選手の体力特性について. 武道学研究 24(2): 165.

- Kinderman, W., Simon, G., Keul, J (1979) The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42: 25-34.
- Kirkesola, G. (2000) Sling Exercise Therapy -SIEIT- A concept for exercise and active treatment of musculoskeletal disorders, SET seminars in Norway.
- 北田晃三, 古谷嘉邦, 佐藤宣践, 小河原慶太, 有賀誠司(1994)男子柔道選手の等速性筋力に関する研究-膝伸展力及び屈曲力について-. 東海大学スポーツ医学雑誌 8 : 41-46.
- Kort, H.D. and Hendriks, E.R. (1992) A Comparison of Selected Isokinetic Trunk Strength Parameters of Elite Male Judo Competitors and Cyclists. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 16(2):92-96.
- Kraemer, W.J., Marchitelli, L., Gordon, S.E., Harmon, E., Dziados, J., Mello, R. Frykman, P., McCurry, D., Fleck, S. (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol.*, 69:142-1450.
- Kubo, J., Ohta, A., Takahashi, H., Kukidome, T., Funato, K. (2007) The development of trunk muscles in male wrestlers assessed by magnetic resonance imaging. *J Strength Cond Res.*, 21:1251-1254.
- 久保潤二郎 (2016) 私の考えるコーチング論：学生柔道選手のコーチング．*コーチング学研究* 29 : 103-108.
- Kuo, T., Harris, C.A., Wang, J.C. (2013) Metabolic functions of glucocorticoid receptor in skeletal muscle. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 380: 79-88.
- Lakier, S.L. (2003) Overtraining, excessive exercise, and altered immunity: is this a T helper-1 versus T helper-2 lymphocyte response? *Sports Med.*, 33: 347-364.
- Laskowski, R., Kujach, S., Smaruj, M., Grzywacz, T., Łuszczuk, M, Marcin. A., Ziemann, E. (2012) Lactate concentration during one-day male judo competition: A case study. *Archives of Budo.*, 8(1):51-57.

- Lee, J.H., Hoshino, Y., Nakamura, K., Kariya, Y., Saita, K., Ito, K (1999) Trunk muscle weakness as a risk factor for low back pain: a 5-year prospective study. *Spine.*, 24(1):54-57.
- Little, N.G. (1991) Physical performance attributes of Junior and Senior women, Juvenile, Junior and Senior men judokas. *J. Sports Med.Phys. Fitness.*, 31:510-520.
- Lugar, A., Watschinger, B., Duester, P., Svoboda, T., Clodi, M., Chrousos, G.P. (1992) Plasma growth hormone and prolactin responses to graded levels of acute exercise and to a lactate infusion. *Neuroendocrinology.*, 56:112-7.
- MacInnis, M.J. and Gibala, M.J. (2017) Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol.*, 595: 2915-2930.
- Mackala, K., Witkowski, K., Vodicar, J., Simenko, J., Stodolka, J. (2019) Acute effects of speed-jumping intervention training on selected motor ability determinants: judo vs. soccer. *Archives of Budo.*, 15:311-320.
- 松林武生(2020)フィットネスチェックハンドブック-体力測定に基づいたアスリートへの科学的支援-. パイパフォーマンススポーツセンター 国立スポーツ科学センター監修. 大修館書店.
- 松井崇, 征矢英昭(2007)新版これであつとく使えるスポーツサイエンス: ストレスと運動適応. 講談社サイエンティフィク, 175-179.
- 松本芳三(1975a)柔道のコーチング, 大修館書店: pp225-226.
- 松本芳三(1975b)柔道のコーチング, 大修館書店: pp232.
- 松本芳三(1975c)柔道のコーチング, 大修館書店: pp379-399.
- 松本芳三・竹内善徳・中村良三(1973)全日本学生柔道選手権大会における競技内容の分析. 武道学研究, 6: 31-35.
- 松尾昌文(1984)アイソメトリックスとウェイトトレーニング. 現代体育・スポーツ体系第8巻, トレーニングの科学, 講談社: 148-172.
- 三浦敦, 大井淑雄(1992)等運動性訓練(Cybex など).総合リハ 20: 940-944.

- 三宅恵介, 松井崇, 佐藤武尊, 横山喬之, 竹澤稔裕, 川端健司, 秋本啓之(2014) 全日本柔道選手権大会における国際柔道連盟試合審判規定の導入が競技内容及ばす影響:ダイナミック柔道の観点から. 武道学研究, 47: 19-27.
- 宮本忠吉, 大島秀武, 重松良祐, Yubal Bar-Or, 三村寛一(1994)柔道選手の Anaerobic Threshold からみた乱取り練習中の運動強度に関する検討. 大阪教育大学紀要, 第IV部門 43(1) : 91-100.
- 宮下智, 和田良広, 鈴木正則(2012)効果的な体幹筋トレーニング方法の検討 - 異なる運動における腹横筋と内腹斜筋の収縮厚から - 日本橋学館大学紀要 第 11 号.
- Moon, S.J. and Kim, T.H. (2017) Effect of three-dimensional spine stabilization exercise on trunk muscle strength and gait ability in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. Neuro Rehabil., 41(1):151-159.
- 村山晴夫, 小俣幸嗣, 中村勇, 清野哲也, 小山勝弘, 林弘典, 久保田浩史, 村田正夫(2006)中学柔道選手における得意技に関する研究. 武道学研究, 39: 29.
- 中村勇, 村山晴夫, 若山英央, 奥超雄, 中島裕幸, 正木嘉美, 重岡孝文, 濱田初幸 (2002a)2001 年世界柔道選手権大会の競技分析. 武道学研究, 35: 14.
- 中村勇, 田辺陽子, 南条充寿, 檜崎教子, 重岡孝文(2002b)1995~1999 年世界柔道選手権大会の競技内容分析. 武道学研究, 35 : 15-23.
- 中村勇(2011)ポイント獲得技の上位ベスト 10. 近代柔道 2011, 11: 40-41.
- 中西康己, 都澤凡夫(2007)バレーボールのスパイクスピードと体幹屈曲力との関係. バレーボール研究 9(1) : 5-10.
- 仲田直樹, 桑森真介, 増地克之, 金丸雄介, 竹澤稔裕, 福見友子, 春日井淳夫 (2017)女子柔道選手の等速性体幹筋力:角速度増加にともなうトルク低下の程度からみた軽・中・重量級選手の特徴. 武道学研究 50(1) : 39-49.
- 中嶋宣夫, 近藤照彦, 塚越和巳, 碓田智也(1999)血中乳酸濃度からみた本学柔道選手の稽古における運動強度. 上武大学創立 30 周年記念論集 : 55-62.

- 根本勇(2003)勝ちに行くスポーツ生理学, 山海堂 : 134-135.
- 仁賀定雄(1992)膝関節の筋力-アイソキネティックマシンの利用-. スポーツのための計測, 計測と制御 31(3) : 383-390.
- 日本比較内分泌学会(2000)からだの中のストレスをみる. 学会出版センター : 1-37, 137-162.
- 日本体力医学会体力科学編集委員会 (1993) 運動処方指針-運動負荷試験と運動プログラム-原著第 4 版. 南江堂 : 19-21, 97-99.
- 西林賢武, 佐藤行那, 中村良三, 高橋邦郎, 竹内善徳, 手塚政孝(1985)全日本柔道強化選手の体力に関する研究. 武道学研究, 17(2) : 21-29.
- 小田伸午(1984)アイソメトリック, アイソトローニック, アイソキネティック・トレーニングの特徴. 体育の科学 34 : 204-209.
- 岡田弘隆, 春日井淳夫, 小山勝弘, 射手矢岬, 佐藤伸一郎, 竹内善徳(1999)低圧・低酸素環境下での間欠的全力運動トレーニングが柔道選手の有酸素および無酸素のパフォーマンスに及ぼす影響. 武道学研究 32(1):70-81.
- 岡田隆(2007)競技力向上と腰痛対策のための体幹筋力強化トレーニング. コーチング・クリニック 6 : 28-31.
- 大川康隆(2011)柔道での血流制限下における打ち込みの効果. 東海大学総合経営学部紀要 4 : 41-45.
- 大川康隆, 小川孟志, 小山加楠, 塚田真希, 豊崎倫代, 宮崎誠司(2018)女子柔道選手の無酸素パワーおよび有酸素持久力の評価基準表の作成. 東海大学スポーツ医学雑誌 31 : 49-55.
- 大野善隆, 横山真吾, 後藤勝正(2017)乳酸刺激による Erk1/2 の活性化が骨格筋肥大に及ぼす影響. 第 52 回日本理学療法学術大会抄録集 44(2).
- 大迫明伸(2018)2018 年～2020 年国際柔道連盟試合審判規定. 公益財団法人全日本柔道連盟.

- 小澤雄二, 成松英雄, 小郷克敏, 錦井利臣 (1994) 生理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, 自然科学 43: 63-69.
- Palmer, T., Uhl, T.L., Howell, D., Hewett, T.E., Viele, K., Mattacola, C.G. (2015) Sport-Specific Training Targeting the Proximal Segments and Throwing Velocity in Collegiate Throwing Athletes. *J Athl Train.*, Jun; 50(6):567-77.
- Perrin, P., Deviterne, D., Hugel, F., Perrot, C. (2002) Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture.*, 15:187-194.
- Perrot, C., Deviterne, D., Perrin, P. (1998) Influence of training on postural and motor control in a combative sport. *J. Hum. Mov. Stud.*, 35(3):119-136.
- Qaseem, A., Wilt, T.J., McLean, R.M., Forciea, M.A. (2017) Clinical Guidelines Committee of the American College of Physicians. Noninvasive Treatments for Acute, Subacute, and Chronic Low Back Pain: A Clinical Practice Guideline from the American College of Physicians. *Ann Intern Med.*, 166 (7):514-530.
- Rassovsky, Y., Harwood, A., Zagoory-Sharon, O., Feldman, R. (2019) Martial arts increase oxytocin production. *Sci. Rep.*, 9: 12980.
- Reid, S., Hazard, R.G., Fenwick, J.W. (1991) Isokinetic trunk-strength deficits in people with and without low-back pain: a comparative study with consideration of effort. *J Spinal Disord.*, 4(1):68-72.
- 李俊熙, 星野雄一 (2001) 腰痛予防の見地からみた体幹筋力測定の今後の展望. 日本腰痛会誌 7(1):45-48.
- Robertson, P. and LaHart, I. (2009) The design of a judo-specific strength and conditioning programme. *J Sports Ther.*, 3:1-5.
- Roelfsema, F., Yang, R., Olson, T., Joyner, M., Takahashi, P., Veldhuis, J. (2017) Enhanced Coupling Within Gonadotropic and Adrenocorticotrophic Axes by Moderate Exercise in Healthy Men. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 102: 2482-2490.

Rogan, L., James, Taylor., Casey, J. (1986) Quadriceps Torque Production on the CybexII Dynamometer as related to Changes in Lever Arm Length. Orthop Sports Phys Ther., 8(3):147-152.

斉藤明義, 金沢伸彦, 大城博, 佐藤勤也, 坂本雅昭, 高木武二(1991)等速性運動における角速度と体幹筋力の関係. 理学診療 2 : 96-100.

坂本雅昭, 渡辺純, 高木武二, 斉藤明義(1990)角速度変化が等速性体幹筋力に与える影響. 運動生理 5(4):187-190.

坂本道人(2006)オリンピック柔道競技の競技分析-1992 から 2000 年大会を対象として-. 大学体育研究, 28: 15-22.

佐藤方彦, 佐藤陽彦, 勝浦哲夫, 津田隆志, 原田一, 山崎和彦, 安河内朗(1977)心拍数による酸素摂取量の推定. 人類誌 85: 23-28.

佐藤雄太, 森寿仁, 奥島大, 小山田和行, 藤田英二, 山本正嘉(2017)間欠的な全力ペダリングテスト時の発揮パワーによる柔道選手の瞬発力および持久力の評価. スポーツパフォーマンス研究 9 : 227-237.

清野哲也, 小山勝弘, 曾我部晋哉, 小澤雄二, 春日井敦夫(2003)柔道選手において 6RM ベンチプレス・トレーニングを実施した場合の最大筋力推定法についての検討. 武道学研究 36(2) : 1-11.

Sikorski, W., Mickiewicz, G., Majle, B., Laksa, C. (1987) Structure of the contest and work capacity of the judoist. Proceedings of the International Congress on Judo: Contemporary Problems of Training and Judo Contest., Warsaw, Poland: Spala-Poland:58-65.

嶋田智明(1976)大腿四頭筋筋力増強における Isokinetic Exercise と Isometric Exercise との効果の実験的比較, 理・作・療法 10 : 228-232.

白井裕紀子, 上村孝司, 岡田雅次, 角田直也, 青山利春(2011)砲丸投げ選手における体幹トレーニングが投擲記録に及ぼす影響. 国士舘大学体育研究所報 30 : 135-139.

- 曾我部晋哉 (2017) 全日本女子柔道選手のトレーニングからみる柔道に必要なスタミナの評価. 実践柔道論 (小俣幸嗣編), 株式会社メディアパル, 141-152.
- 征矢英昭 (1996) 運動とホルモン. 真興交易医書出版部, 297-321.
- 征矢英昭, 加藤守匡, 坂入洋右, 木塚朝博, 緒形ひとみ, 西島壮, 大森武則, 大岩奈青, 盾岡卓, 中西康巳 (2005) 運動後の回復を表す新しいストレス指標の開発: 唾液中コルチゾール濃度からみた二次元気分尺度の有用性. 筑波大学体育科学系紀要 28 : 181-186.
- Soya, H., Mukai, A., Deocaris, C.C., Ohiwa, N., Chang, H., Nishijima, T., Fujikawa, T., Togashi, K., Saito, T. (2007) Threshold-like pattern of neuronal activation in the hypothalamus during treadmill running: establishment of a minimum running stress (MRS) rat model. *Neurosci. Res.*, 58: 341–348.
- Steiner, J.L., Johnson, B.R., Hickner, R.C., Ormsbee, M.J., Williamson, D.L., Gordon, B.S. (2020) Adrenal stress hormone action in skeletal muscle during exercise training: An old dog with new tricks?. *Acta. Physiol. (Oxf.)*, e13522.
- Sterkowicz, S. and Emerson, F. (2000) A comparison of techniques used by lightweight and heavyweight judoist during the World and Olympic tournaments (1995–1999). *IJF World Judo Conference Research Paper.*, International Judo Federation.
- Sterkowicz, S., Garcià, J.M. Garcià., i Lerma F.S. (2007) The importance of judo trainers' professional activities. *Arch Budo.*, 3:57–61.
- 杉山允宏 (1979) 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, 第 1 部教育科学 26 : 207-220.
- 杉山允宏 (1973) 柔道のゲーム分析-年齢別・層別試合を中心として-, *Memoirs of the Faculty of General Education, Hiroshima University, III, Studies in Natural sciences* 7:45-54.

杉山允宏(1976)柔道の動作分析-投技における微細動作分析-. 武道学研究, 8(3): 20-32.

杉山允宏, 梶谷宗範(1985)スポーツ活動・身体運動の運動強度, 第Ⅲ報柔道の技別比較. 愛媛大学教育学部紀要, 教育科学 41(2):97-10.

田畑泉(1993)運動およびトレーニングに対する内分泌反応:視床下部-脳下垂体-副腎皮質系を中心に. 東京大学教育学研究科学位論文.

Tabata, I., Atomi, Y., Miyashita, M. (1984) Blood glucose concentration dependent ACTH and cortisol responses to prolonged exercise. Clin Physiol., 4:29-307.

高木武二, 坂本雅昭, 斉藤明義, 本多久賀子(1991)健常者の体幹屈筋・伸筋力について-等速度測定による-. 理学療法学 18(5): 481-485.

高橋宗良, 岩原文彦, 斉藤仁, 森脇保彦, 山内直人, 下川哲徳, 松本高明 (1999) 一流男子柔道選手の乱取り練習の運動強度. Annual reports health phys edu sport sci., 18:93-101.

Tanaka, K., Takeshima, N., Kato, T., Niihata, S., Ueda, K. (1990) Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 59: 443-449.

Thomas, S.G., Cox, M.H., Legal, Y.M., Verde, T.J., Smith, H.K. (1989) Physiological profile of the Canadian national judo team. Can. J. Spt. Sci., 14:142-147.

Thorstenssonm, A., Hulton, B., Von Döbeln, W., Karlsson, J. (1976) Effect of strength training on enzyme activities and fiber characteristics in human skeletal muscle. Acta Physiol. Scand., 96:392-398.

Todorov, I., Bratić, M., Nurkić, M., Radovanović, D. (2013) The influence of physiological characteristics on the competitive success of judo athletes. Facta universitatis physical education and sport., 11(3):317-323.

- Van Dieen, J.H., Luger, T., Van der Eb, J. (2012) Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *Eur J Appl Physiol.*, 112(4):1307-1313.
- Viru, A., Viru, M. (2003) Analysis and control of Sports performance. Editorial Paidotribo, Barcelona.
- von Duvillard, S.P. (2001) Exercise lactate levels: simulation and reality of aerobic metabolism. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86: 3-5.
- Walesiuk, A., Trofimiuk, E., Braszko, J.J. (2006) Ginkgo biloba normalizes stress- and corticosterone-induced impairment of recall in rats. *Pharmacol. Res.*, 53: 123–128.
- Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., Beaver, W.L. (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35: 236–243.
- Watanabe, Y., Gould, E., McEwen, B.S. (1992) Stress induces atrophy of apical dendrites of hippocampal CA3 pyramidal neurons. *Brain Res.*, 588: 341–344.
- Willson, D.J., Dougherty, P.C., Ireland, M.L., Davis, I.M. (2005) Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *J acad Orthop Surg.*, 13(5):316-325.
- Windle, R.J., Kershaw, Y, M., Shanks, N., Wood, S, A., Lightman, S, L., Ingram, C, D(2004)Oxytocin Attenuates Stress-induced c-fos mRNA Expression in Specific Forebrain Regions Associated with Modulation of Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Activity. *J. Neuro.Sci.*,24(12):2974-2982.
- 山路啓司(1992)最大酸素摂取量の科学. 杏林書院 : 65.
- 山本正都, 中田正敏, 丹羽滋郎, 下野俊哉, 古河良三(1989)等速性体幹筋力の検討. 生理学IV : 597.
- 吉野直美, 三和真人, 鈴木克彦, 宮崎純弥, 小野武也, 百瀬公人, 伊藤光二(2002)等速性筋力測定装置 Cybex の運動角速度の検証. 山形保健医療研究 5 : 51-56.

吉岡利貢，中垣浩平，向井直樹，鍋倉賢治 (2009) 筋の形態的特徴が長距離走パフォーマンスに及ぼす影響．体育学研究，54: 89-98.

全日本柔道連盟(2018)国際柔道連盟試合審判規定，第二版，24.