

《原著》

競技レベルの違いが同一トレーニング後の身体疲労の出現に及ぼす影響—筋逸脱酵素値及び免疫機能による検討—

谷本歩実^{1,2}、梅田孝³、古賀稔彦⁴、
野村忠宏⁵、山本洋祐⁶、小嶋新太⁶、
田辺勝⁶、沢田かほり¹、倉内静香¹、
中路重之¹

1 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座
2 コマツ
3 名城大学
4 環太平洋大学
5 ミキハウス
6 日本体育大学

キーワード

1. 女子柔道選手
2. 好中球機能
3. 競技レベル
4. 疲労
5. 筋逸脱酵素

【目的】柔道の競技レベル違いが同一トレーニング後の身体疲労の出現に及ぼす影響を筋逸脱酵素値及び好中球機能から検討した。

【方法】本対象者は社会人柔道部に所属する女子選手 8 名と大学柔道部に所属する女子選手 10 名であった。柔道の競技力は大学生選手に比べ社会人選手の方が高かった。本研究では以下の調査項目を 2 時間の稽古前後に測定した。調査項目は身体組成値、白血球数、好中球数、筋逸脱酵素値、免疫グロブリン、補体、血清 SOD 活性、血清オプソニン化活性、活性酸素種 (ROS) 産生量、食食能 (PA) であった。

【結果及び考察】競技レベルが低い柔道選手が高い選手と稽古を行った場合、低い選手で筋組織の変性、損傷が高度となり、酸化ストレス (活性酸素種) への暴露の程度と時間が強く、長くなる可能性が示唆された。

体力・栄養・免疫学雑誌 第 29 卷 第 1 号 54-62 頁 2019 年

1. 緒言

多くのスポーツ種目において競技力を向上させることを目的に様々なトレーニング方法が考案、実行されている。また、その内容には多種多様な方法が存在するが、これを大まかに区分すると、一つはその種目の競技特性に合わせた専門技術の向上を目指す技術・戦術トレーニングであるといえる。また、もう一つはそれらの基礎となる体力を向上させるための体力トレーニングであるといえる。

一方、様々なスポーツ種目共通の技術・戦術トレーニング方法の一つとして、本番の試合とほぼ同じ条件下で行う練習試合や試合形式のトレーニングが取り入れられている。また、これらは目標とする試合までの間にそれまでのトレーニングの成果を確認する、あるいは実際の試合における体力や技術、戦術に関する課題や問題点を抽出する目的で実施される。柔道競技においてはこれらの目的を達成するためにチームあるいは個人が他のチームに出向き、他チームの選手と共にトレーニングを行う「出稽古」と呼ばれる伝統的トレーニング方法が実践されている。また、この時には「乱取り」と呼ばれる試合形式の実践トレーニングが主体的に行われる。さらに、「出稽古」は上記目的以外に日常とは異なる環境でトレーニングすることに

よる適応能力の強化や気分転換を図る目的でも実施される。また、「出稽古」先の選手が当該選手に比べ体力、技術が勝る場合、「出稽古」に出向いた選手にとってはさらなる体力の強化や技術の向上に繋がることとが期待される。

一方、格闘技に分類される柔道は対戦相手と直接コンタクトしながら高度の筋力を発揮することが求められると共に、畳への打撃や転倒などの物理的衝撃も頻繁な激しいスポーツである。また、このような競技特性から柔道は様々なスポーツ種目のなかでも傷害が起り易い競技種目の一つであることが報告されている¹⁾。また、我々の研究グループは一過性の柔道の稽古が脱水や電解質の消失、エネルギー源の消耗、腎機能の低下、筋組織の変性、損傷、あるいはこれに伴うストレス反応や炎症反応の亢進、免疫機能の一部抑制をもたらすことを明らかにしている^{2,3)}。すなわち、このような競技特性から柔道選手が日々高強度、長時間の厳しいトレーニングを行いながら、コンディショニングを適切に維持、管理し目標とする試合に向けベストコンディショニングを作り上げていくことは非常に難しいと考えられる。

一方、前述した「出稽古」において体力・技術力に差のある選手が同一トレーニングを実施した場合、こ

表 1 対象者の身体的特徴と体重の変化

	社会人群 (8 名)			大学生群 (10 名)		
年齢 (歳)	23.9	±	3.2	20.1	±	1.1
身長 (cm)	163.6	±	6.7	156.6	±	4.8
稽古前の体重 (kg)	65.4	±	10.1	59.0	±	13.7
稽古後の体重 (kg)	64.2	±	10.3 **	57.9	±	13.9 **
体脂肪率 (%)	21.3	±	6.2	22.1	±	10.0
除脂肪量 (kg)	50.9	±	4.2	44.8	±	3.0

平均値±標準偏差.

**: $p<0.01$, 稽古前後の比較.

表 2 調査期間中に社会人群が実施していた 1 週間単位のトレーニングメニュー

	6:20-7:00	10:00-12:00	15:00-18:00
月曜日	休 養	トレーニング A	トレーニング D
火曜日	トレーニング B	出社・勤務	トレーニング C
水曜日	トレーニング B	出社・勤務	トレーニング C
木曜日	休 養	トレーニング A	トレーニング D
金曜日	トレーニング B	出社・勤務	トレーニング D
土曜日	休 養	トレーニング C	休 養
日曜日	休 養	休 養	休 養

トレーニング A: 外部施設でのウェイトトレーニング.

トレーニング B: ランニング又は補強運動.

トレーニング C: 自社道場で柔道の稽古.

トレーニング D: 各自外部施設での柔道の稽古 (出稽古) .

れが低い選手においては通常トレーニング以上に身体的負担が生じる可能性があると考えられる。また、柔道競技において「出稽古」は伝統的トレーニング方法として確立され、長年にわたり実施されてはいるものの、これによる身体への影響を科学的に検証した研究はみられない。すなわち、伝統的なトレーニング方法として柔道競技で頻繁に実施されているこのトレーニング方法のメリット、デメリットを科学的な手法を用い明らかにしていくことは、今後の柔道界における適切な健康管理、コンディショニング方法の考究、確立に極めて重要な課題の一つになると考えられる。

我々の研究グループは、様々なスポーツ種目のアスリートを対象に通常トレーニング期、強化期、減量期等における適切な健康管理方法、コンディショニング方法を考究、提案する為の研究を数多く行ってきた。また、そのなかで我々は一過性のトレーニングにより生じるストレス反応の亢進や筋組織の変性・損傷が対象者に酸化ストレスを亢進させると共に免疫抑制をもたらすことを報告している^{2, 4, 12)}。さらに、長期的な高強度、長時間のトレーニングの繰り返しを対象者に慢性的筋疲労をもたらすと共に免疫抑制をもたらすことを明らかにしてきた^{3, 13-20)}。すなわち、我々はこれら一連の研究において筋逸脱酵素値や好中球機能を測定し、これらが一過性のトレーニングによって発現するオーバーリーチングやその繰り返しによって

生じるオーバートレーニングを評価できる重要なアイテムとなる可能性を示唆してきた^{21, 22)}。

そこで、我々は競技レベルが高い社会人チームに「出稽古」に出向きトレーニングを実施した大学女子柔道選手を対象に、これによるオーバーリーチングの出現状況を筋逸脱酵素値、好中球機能から検討した。また、この結果を元にいまだ明らかにされていない「出稽古」のメリット、デメリット、及び、この結果を元に「出稽古」後の健康管理方法、コンディショニング方法を検討した。

2. 方法

(1) 対象と調査内容

本対象者は、企業柔道部に所属する女子選手 8 名 (-48kg 級 1 名、-57kg 級 2 名、-63kg 級 3 名、-78kg 級 1 名、+78kg 級 1 名、以下、社会人群) と一流大学柔道部に所属する女子選手 10 名 (-48kg 級 3 名、-52kg 級 2 名、-57kg 級 3 名、-63kg 級 1 名、+78kg 級 1 名、以下、大学生群) であった。また、社会人群の平均年齢、身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重は 23.9±3.2 歳、163.6±6.7cm、65.4±10.1kg、21.3±6.2%、50.9±4.2kg であり、大学生群のものはそれぞれ 20.1±1.1 歳、156.6±4.8cm、59.0±13.7kg、22.1±10.0%、44.8±3.0kg であった (表 1)。また、両群の競技力を比較すると大学生群は高校・大学における国内大会出場レベルの選手た

表 3 調査期間中に大学生群が実施していた 1 週間単位のトレーニングメニュー

	6:30-7:30	9:00-11:30	17:30-20:00
月曜日	トレーニング A	休 養	トレーニング D
火曜日	トレーニング B	休 養	トレーニング D
水曜日	トレーニング C	休 養	トレーニング D
木曜日	トレーニング A	休 養	トレーニング D
金曜日	トレーニング B	休 養	トレーニング D
土曜日	トレーニング C	トレーニング D	休 養
日曜日	休 養	休 養	休 養

トレーニング A: インターバルトレーニング (800m*1 本, 400m*3 本, 200m*3 本, 100m*4 本+ジョギング) .

トレーニング B: ウェイトトレーニング.

トレーニング C: 30 分間持久走+30-50m の短距離走の繰り返し (30 分間) .

トレーニング D: 柔道の稽古.

休 養: 休養または講義への出席.

表 4 対象者の筋逸脱酵素値の変化

		社会人群 (8 名)			大学生群 (10 名)			2 元配置分散分析 (p 値)
AST (IU/l)	稽古前	27.9	±	6.8	19.8	±	3.0	0.04
	稽古後 ^a	33.1	±	7.1 *	23.7	±	5.3 **	
	変化率	20.0	±	10.7	19.0	±	15.5	
ALT (IU/l)	稽古前	21.4	±	3.1	13.8	±	3.2	0.0002
	稽古後 ^a	22.7	±	3.2 *	15.8	±	3.4 **	
	変化率	6.5	±	3.8	15.4	±	9.8 †	
LDH (IU/l)	稽古前	264.9	±	36.0	229.7	±	26.1	0.052
	稽古後 ^a	315.9	±	43.4 *	281.8	±	40.5 **	
	変化率	19.3	±	4.8	22.7	±	11.6	
CK (IU/l)	稽古前	398.8	±	142.0	173.0	±	94.5	0.002
	稽古後 ^a	482.3	±	152.3 *	249.7	±	138.9 **	
	変化率	22.7	±	9.4	45.2	±	17.5 † †	

平均値±標準偏差.

a: Plasma volume 法により脱水の影響を補正した値.

*: p<0.05, **: p<0.01, 稽古前後の比較.

†: p<0.05, † †: p<0.01, 社会人と大学生の値の比較.

ちであった。一方、社会人群は調査時点で全員が全日本柔道連盟の強化指定選手であると共に、国際柔道連盟ポイントランキングにおいて獲得ポイントを有し、オリンピックをはじめとする国際大会に出場するわが国のトップ選手であった。すなわち、本研究で対象となった両群では明らかに社会人群方がより高い競技レベルを有する集団であった。

また、調査日には通常実施している 2 時間の稽古 (15 分間のウォーミングアップ、20 分間の打ち込み (技をかける動作を投げる直前まで行う反復練習)、70 分間の乱取り (実際の試合形式での練習)、15 分間のクーリングダウン) を全対象者に実施させ、その直前 (以下、稽古前)、直後 (以下、稽古後) に以下に説明する調査項目を測定した。なお、この稽古では体重を軽量級 (-48kg 級・-52kg 級)、中量級 (-57kg 級・-63kg 級)、重量級 (-70kg 級以上) に区分し、この区分内で乱取り

を実施させた。

社会人群の調査実施期の週単位のトレーニングは、週 6 日 2 時間~3 時間の柔道の稽古と週 3 日 40 分のランニングまたは補強運動、週 3 日 2 時間のウェイトトレーニング、週 1 日の休養日で構成されていた (表 2)。一方、大学生群では週 6 日約 2 時間 30 分の柔道の稽古と約 1 時間のランニングもしくはウェイトトレーニング、週 1 日の休養日で構成されていた (表 3)。

なお、本調査は弘前大学医学部倫理委員会の承認を受けた上で、事前に全対象者に調査の目的と内容を説明し、調査への協力、参加の同意を得て実施した。

(2) 身体組成値の測定方法

身体組成値は身長を計測した後、(株) タニタ社製・マルチ周波数体組成計 (MC-190、東京) を用い、体重、体脂肪率、除脂肪体重を測定した。

表 5 対象者の白血球数・好中球数の変化

		社会人群 (8 名)			大学生群 (10 名)			2 元配置分散分析 (p 値)
白血球数 (μ l)	稽古前	4600.0	±	875.1	5800.0	±	2177.7	0.26
	稽古後 ^a	5938.8	±	1025.3 *	6698.9	±	2291.0 **	
	変化率	30.0	±	14.4	17.3	±	13.1	
好中球数 (μ l)	稽古前	2382.1	±	524.0	3618.1	±	1842.3	0.228
	稽古後 ^a	3887.4	±	996.6 *	4335.2	±	1752.9 **	
	変化率	63.7	±	27.9	26.1	±	22.4 † †	

平均値±標準偏差

a: Plasma volume 法により脱水の影響を補正した値

*: p<0.05, **: p<0.01, 稽古前後の比較

† †: p<0.01, 社会人と大学生の値の比較

表 6 対象者の免疫グロブリン・補体の変化

		社会人群 (8 名)			大学生群 (10 名)			2 元配置分散分析 (p 値)
IgG (mg/dl)	稽古前	1074.3	±	143.3	1007.7	±	169.7	0.351
	稽古後 ^a	1156.2	±	162.4 *	1072.6	±	183.3 **	
	変化率	7.7	±	4.7	6.5	±	5.6	
IgA (mg/dl)	稽古前	165.5	±	46.7	182.5	±	49.5	0.579
	稽古後 ^a	173.9	±	49.3 *	187.8	±	45.5	
	変化率	5.0	±	3.8	3.6	±	7.5	
IgM (mg/dl)	稽古前	144.6	±	69.6	110.1	±	38.3	0.149
	稽古後 ^a	156.8	±	70.2 *	112.7	±	39.6	
	変化率	9.7	±	4.1	2.5	±	8.6 †	
C3 (mg/dl)	稽古前	87.6	±	6.8	99.9	±	6.9	0.005
	稽古後 ^a	91.3	±	6.4 *	101.9	±	9.9	
	変化率	4.2	±	2.3	1.9	±	5.4	
C4 (mg/dl)	稽古前	16.3	±	2.8	19.7	±	4.6	0.044
	稽古後 ^a	16.0	±	2.6	20.8	±	4.8 **	
	変化率	-1.1	±	2.9	5.3	±	3.5 † †	

平均値±標準偏差

a: Plasma volume 法により脱水の影響を補正した値

*: p<0.05, **: p<0.01, 稽古前後の比較

†: p<0.05, † †: p<0.01, 社会人と大学生の値の比較

(3) 血液生化学検査値の測定方法

調査日の稽古前後に 15 ml の採血を実施した。また、採取した血液のうち末梢血 5ml は各血球成分と好中球機能の分析に用い、残りの 10ml は 3000 回/秒、10 分間遠心分離し、血清を分離・抽出した後、血清成分と血清オプソニン化活性(serum opsonic activity : SOA)の分析に用いた。

血球成分の中から免疫関連細胞として白血球数、好中球数を測定した。また、血清成分の測定項目は筋組織の変性、損傷あるいは疲労状況を把握する為に Aspartate Aminotransferase (AST)、Alanine Aminotransferase (ALT)、Lactate Dehydrogenase (LDH)、Creatine Kinase (CK)、免疫関連指標として免疫グロブ

リン (IgG、IgA、IgM)、補体 (C3、C4) も測定した。また、血清中の抗酸化機能をみる目的で superoxide dismutase (SOD) 活性も測定した。

血球成分の全ての項目はシスメックス社の自動血球測定装置 (System XE-2100 and SE-9000, Kobe, Japan) を用い測定した。AST、ALT、LDH、CK は JSCC 標準化対応法 (JSCC standardized method) により測定した。免疫グロブリン、補体の測定は免疫比濁法 (Turbidimetric Immunoassay : TIA) を用いた。SOD 活性は NBT 還元法にて測定した。なお、本研究におけるこれらの血液生化学検査の項目の全ては三菱メディエンス (株) に委託、測定した。

表 7 対象者の好中球機能・血清 SOD 活性の変化

		社会人群 (8 名)		大学生群 (10 名)		2 元配置分散分析 (p 値)
好中球 1 個あたりの 活性酸素種産生量 (FI)	稽古前	1530.8	± 737.9	1490.6	± 701.2	0.771
	稽古後	1178.6	± 521.5 *	1393.3	± 673.4	
	変化率	-18.3	± 20.7	3.8	± 42.1	
好中球 1 個あたりの 食食量 (FI)	稽古前	5162.4	± 565.5	4930.0	± 630.7	0.482
	稽古後	4622.1	± 371.6 *	4525.5	± 493.0 **	
	変化率	-9.7	± 11.1	-7.8	± 5.8	
血清 SOD 活性 (%)	稽古前	8.3	± 1.3	8.1	± 1.1	0.872
	稽古後 a	9.6	± 2.0	10.0	± 1.6 *	
	変化率	1.3	± 2.3	1.8	± 1.5	

平均値±標準偏差

FI: the mean channel number of fluorescence intensity of activated neutrophils.

SOD: superoxide dismutase.

*: p<0.05, **: p<0.01, 稽古前後の比較.

(4) 好中球機能の測定方法

好中球の活性酸素種 (reactive oxygen species: ROS) 産生能と食食能 (phagocytic activity: PA) を FACSCantoII (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA) を用いて two-color 法により測定した。ROS 産生能は蛍光指示剤 Hydroethidine (HE; 44.4 μ mol/L, Polyscience Inc., Warrington, PA, USA) を用いて測定した。食食能は蛍光色素 fluorescein isothiocyanate (FITC; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) で標識したオプソニン化ザイモザン (FITC-OZ) を用いて測定した。具体的には、ヘパリンにて凝固抑制した全血 100 μ l に HE 22 μ l を加えた (最終濃度 8 μ M) 後 37°C で 5 分間インキュベートを行った。食食能測定用のサンプルにはさらに FITC-OZ 25 μ l を加え (最終濃度 5mg/ml)、37°C で 35 分間インキュベートした。ROS 産生能に関しては FITC-OZ を添加していない HE 標識全血 100 μ l をコントロールとした (basal state)。インキュベート終了後、各サンプルは溶血固定試薬 Lyse and Fix (IMMUNOTECH, Marseille, France) により赤血球を溶血し固定した。アジ化ナトリウム加 PBS にて 2 回遠心洗浄した後、FACSCantoII にて蛍光強度を測定した。食食能に関しては測定する直前に Fluorescence Quenching Method に従ってトリパンブルー 30 μ l (0.25mg/ml, pH4.5) を加えることにより、表面に付着しているだけで好中球に取り込まれていない FITC-OZ を除外し測定した^{23, 24)}。

以上の手順に従い最終的に FACSCantoII により、好中球 1 個あたりの平均蛍光強度 (fluorescence intensity: FI) と蛍光陽性細胞率 (%) を検出した。また、本研究では FI より ROS 産生能、PA を評価した。

(5) 統計解析

結果は全て平均値±標準偏差で示した。また、群内における各測定項目の稽古前後の平均値の違いは

Wilcoxon signed-rank test を用い統計学的に検討した。

また 2 群間の各測定項目の平均値 (変化量) の違いは Two-way ANOVA で検討した。さらに、2 群間の各測定項目の稽古前後の変化率の違いは One-way ANOVA で検討した。なお、いずれの検定も危険率は 5%未満をもって有意とした。

3. 結果

表 1 に対象者の身体的特徴と稽古前後の体重の変化を示した。両群で稽古後体重が有意に低下した (ともに p<0.01)。

表 4 に稽古前後の筋逸脱酵素値の変化を示した。両群で全ての筋逸脱酵素値が稽古後有意に上昇した (社会人群: 全て p<0.05, 大学生群: すべて p<0.01)。また、稽古後の AST、ALT、CK の上昇は社会人群に比べ大学生群で有意に大きくなっていた (p<0.05, p<0.01, p<0.01)。さらに、稽古後の ALT、CK の上昇率は社会人群に比べ大学生群で有意に高くなっていた (p<0.05, p<0.01)。

表 5 は稽古前後の白血球数・好中球数の変化を示している。両群とも稽古後白血球数、好中球数が有意に上昇した (社会人群: ともに p<0.05, 大学生群: ともに p<0.01)。また、稽古後の好中球数の上昇率が大学生群に比べ社会人群で有意に高くなっていた (p<0.01)。

表 6 に稽古前後の免疫グロブリン・補体の変化を示した。社会人群では IgG、IgA、IgM、C3 が稽古後有意に上昇した (すべて p<0.05)。大学生群では稽古後 IgG、C4 が有意に上昇した (ともに p<0.01)。一方、IgM の稽古後の上昇率は大学生群に比べ社会人群で有意に高かった (p<0.05)。また、C4 の稽古後の上昇率は社会人群に比べ大学生群で有意に高くなっていた (p<0.01)。

表 7 は稽古前後の好中球機能・血清 SOD 活性の変化を示している。社会人群では稽古後好中球 1 個あた

りの ROS 産生量と食食量が有意に低下した (ともに $p<0.05$)。一方、大学生群では稽古後好中球 1 個あたりの食食量のみが有意に低下した ($p<0.01$)。また、大学生群では稽古後血清 SOD 活性が有意に上昇した ($p<0.05$)。

4. 考察

アスリートで実施される高強度運動が筋組織にダメージを与えることが既に多くの研究で明らかにされている^{25, 26)}。またこの時、筋組織に内在する筋逸脱酵素が血中に湧出し、これを観察することが運動によって生じる筋組織の変性・損傷状況の評価に有効となることも報告されている。すなわち、本結果において両群で観察された稽古後の筋逸脱酵素値の有意な上昇は、本対象者で実施した稽古が彼らの筋組織に変性・損傷をもたらすレベルの運動負荷であったことを示唆していた。一方、本結果では稽古前後の変化量及び変化率 (上昇率) が社会人群に比して大学生群で有意に大きくなっていた。すなわち、本研究では稽古の実施状況 (畳への打撃や転倒の回数や稽古中の筋力発揮レベルなど) に関する詳細なデータは把握できてはいないが、これをもたらす要因の一つは、競技レベルの低い大学生群では社会人群に比して投げられることによる畳への打撃や転倒の頻度が多かったことが考えられた。また、大学生群はこれを防ぎ、投げられまいとすることから社会人群よりも激しい筋力発揮が必要となったことがもう一つの要因となったと推察された。したがって、相対的に競技レベルが低い柔道選手が高い選手と稽古を行った場合、筋組織に対する負担は競技レベルの低い選手でより大きくなる可能性があると考えられた。なお、両群の選手では、体重の平均値に差がみられたが、今回の出稽古においては、日常の稽古と同様に軽量級、中量級、重量級の区分内で乱取りを行わせており、体重差の影響が大きく働いたとは考え難い。

白血球やその分画である好中球は免疫機能を司る最も重要な血中成分である²⁷⁾。また、好中球は免疫グロブリンや補体が体内に侵入あるいは体内で発生した異物にオプソニン化し、これを効率良く貪食、殺菌処理するという役割を果たしている²⁸⁾。またこの時、好中球は ROS を産生することによりオプソニン化された異物を処理する。一方、好中球は ROS により異物を処理する反面、ROS が過剰に産生された場合、これがさらなる筋組織の酸化的障害の増大や筋肉痛の発生、免疫機能の低下をもたらす可能性があることも指摘されている^{29, 30)}。

運動と白血球及びその分画との関連を調査した研究は、運動後これらが一応に上昇することを明らかに

している。また、そのメカニズムの一つとして運動を行うことそのものがストレスとなり、ストレスホルモンを介してこれらが上昇することを示唆している^{27, 31)}。さらに、もう一つのメカニズムとして、運動により変性・損傷した筋組織を抗原として炎症性サイトカインが分泌され炎症反応が亢進し、これらが増員され、上昇する可能性が示されている³²⁾。

一方、オプソニン物質である免疫グロブリンや補体は運動により上昇あるいは低下、変化しないという報告がみられ、必ずしも一致した見解は得られていない³³⁻³⁵⁾。そのなかで、Dufaux らは 2 時間半のランニング後に C3、C4 が上昇することを示し、これが高強度運動に起因する筋損傷が引き金となり補体系が活性化することによってもたらされる可能性があることを示唆している³⁶⁾。また、これらの体内での活性化は白血球及びその分画と同様にストレスホルモンや炎症性サイトカインの働きを介して発現することが明らかとなっている^{27, 31, 32)}。

すなわち、本結果において白血球数、好中球数と免疫グロブリン濃度が両群で稽古後有意に上昇したことは、本対象者で稽古によりストレス反応、炎症反応が亢進していたことを示唆していた。また、これらの稽古前後の変化を両群で比較した場合、両群で明確な違いはみられないと考えられた。

一過性の運動と好中球機能の関連を調査した研究は、急性運動負荷後に ROS 産生能が上昇する^{37, 38)}、あるいは減少する可能性を示唆している^{39, 40)}。また、運動と PA の関連を調査した幾つかの研究は、一過性の運動後 PA が亢進する、あるいは不変であることを報告している^{37, 39, 41)}。また、これに関する他の研究は激しい運動の実施後に好中球 1 個あたりの PA が低下することを示唆している⁴²⁾。さらに、同様にこの関連を調査した我々の研究は、一過性の運動負荷後に ROS 産生能が上昇、PA が低下することを示している^{2, 4-12)}。一方、我々は運動とこれらの関連を観察し、一過性の高強度運動負荷に対するこれらの反応に 2 つのパターンが存在する可能性を示唆している^{21, 22)}。すなわち、身体コンディションが良好な状況で通常レベルの強度で運動を負荷した場合、ROS 産生能が上昇、PA が低下、あるいは両者が上昇する (：通常パターン)。また、同様のコンディションで通常レベル以上の強度で運動を負荷した場合、両者が低下する (：非通常パターン)。また、身体コンディションが不良あるいは疲労が蓄積した状況で通常レベルの強度で運動を負荷した場合、両者が低下する (：非通常パターン)。すなわち、これらの結果は好中球機能が負荷される運動強度や運動を負荷される際の身体コンディションによって影響を受けることを示唆していた。また、特に非通

常パターンを示した場合、好中球機能が抑制あるいは破綻した状況であると判定できる可能性を示唆している。すなわち、これらの先行研究から本結果を考察すると、両者が稽古後有意に低下した社会人群では好中球機能が低下し、免疫抑制が生じていた可能性が示唆された。また、大学生群においてもほぼ同様の傾向がみられたと考えられた。また、これをもたらし要因として、稽古により身体疲労（: オーバーリーチング）が発現し、この機能を調節するカテコールアミンとコルチゾールをそれぞれ低下、上昇させたことによりもたらされた可能性があると考えられた^{27, 32)}。

一方、運動と免疫機能の関連を調査した研究は、免疫機能は一過性の運動により亢進し、運動終了後は運動前よりも抑制した状態になることを明らかにしている²⁷⁾。この観点から本結果をみると、筋組織の変性・損傷が大学生群よりも低かった社会人群で稽古後好中球 1 個あたりの ROS 産生量と食食量が明らかに低下し、より早期に好中球機能が抑制していた可能性が示唆された。また、逆に、より筋組織の変性・損傷の程度が高度となった大学生群では、この機能の終息が遅れ、酸化ストレスの暴露時間がより長くなった可能性があると考えられた。さらに、大学生群ではこれに対応する抗酸化機能もより強く亢進し、稽古後の血清 SOD 活性が有意に上昇した可能性もあると考えられた^{43, 44)}。

以上より競技レベルが低い柔道選手が高い選手と稽古を行った場合、低い選手で筋組織の変性、損傷が高度となり、酸化ストレス（活性酸素種）への暴露の程度と時間が強く、長くなる可能性が示唆された。したがって、この稽古方法を実践した後の健康管理方法の一つとして、その効果が既に実証されているストレッチやアイシング、マッサージ等を積極的に導入し、稽古により変性、損傷した筋組織の炎症を速やかに回復させる必要があると考えられた⁴⁵⁻⁴⁷⁾。また、稽古後に観察される筋組織の炎症の予防、改善並びに免疫機能の維持、回復を図るために、稽古前または後にその摂取効果が科学的に証明されているグルタミンをはじめとするアミノ酸を積極的に摂取すべきと考えられた^{19, 48-51)}。さらに、本結果で観察された酸化ストレスの暴露時間の延長に対する健康管理策の一つとして、稽古後にビタミン類をはじめとする抗酸化物質を積極的に摂取すると同時に、これらを事前に摂取し血中濃度を高めておく必要もあると考えられた^{52, 53)}。

5. 謝辞

本研究を実施するにあたり研究対象としてご協力、ご参加頂いたコマツ女子柔道部並びに日本体育大学女子柔道部員の関係者、選手の皆様に感謝致します。

また、本研究の調査にご協力、ご支援頂いた弘前大学大学院医学研究科社会医学講座の皆様にも深く感謝致します。

(受稿 2018/12/1 受理 2018/12/28)

【参考文献】

- 1) Kujala UM, Taimela S, Antti-Poika I, Orava S, Tuominen R, Myllynen P: Acute injuries in soccer, ice hockey, volleyball, basketball, judo, and karate: analysis of national registry data. *BMJ* 1995;311:1465-8.
- 2) Chinda D, Umeda T, Shimoyama T, Kojima A, Tanabe M, Nakaji S, Sugawara K: The acute response of neutrophil function to a bout of judo training. *Luminescence* 2003;18:278-82.
- 3) Umeda T, Suzukawa K, Takahashi I, Yamamoto Y, Tanabe M, Kojima A, Katagiri T, et al: Effects of intense exercise on the physiological and mental condition of female university judoists during a training camp. *J Sports Sci* 2008;26:897-904.
- 4) Kowatari K, Umeda T, Shimoyama T, Nakaji S, Yamamoto Y, Sugawara K: Exercise training and energy restriction decrease neutrophil phagocytic activity in judoists. *Med Sci Sports Exer* 2001;33:519-24.
- 5) Saito D, Nakaji S, Umeda T, Kurakake S, Danjo K, Shimoyama T, Sugawara K: Effects of long-distance running on serum opsonic activity measured by chemiluminescence. *Luminescence* 2003;17:122-4.
- 6) Chinda D, Nakaji S, Umeda T, Shimoyama T, Kurakake S, Okamura N, Kumae T, et al: A competitive marathon race decreases neutrophil functions in athletes. *Luminescence* 2003;18:324-9.
- 7) Suzuki M, Umeda T, Nakaji S, Shimoyama T, Mashiko T, Sugawara K: Effect of incorporating low intensity exercise into the recovery period after a rugby match. *Br J Sports Med* 2004;38:436-40.
- 8) Mashiko T, Umeda T, Nakaji S, Sugawara K: Position-related analysis of the appearance of and relationship between post-match physical and mental fatigue in university rugby football players. *Br J Sports Med* 2004;38:617-21.
- 9) Takahashi I, Umeda T, Mashiko T, Chinda D, Oyama T, Sugawara K, Nakaji S: Effects of rugby sevens matches on human neutrophil-related nonspecific immunity. *Br J Sports Med* 2007;41:13-8.
- 10) Umeda T, Saito K, Matsuzaka M, Nakaji S, Totsuka M, Okumura T, Tsukamoto T, et al: Effects of a bout of traditional and original sumo training on neutrophil immune function in amateur university sumo wrestlers. *Luminescence* 2008;23:115-20.
- 11) Kojima A, Umeda T, Saito K, Ookubo Y, Sato J, Nakaji S, Matsuzaka M, et al: Effects of 2.5 hour sumo training on serum opsonic activity. *Luminescence* 2009;24:224-9.
- 12) Tsubakihara T, Umeda T, Takahashi I, Matsuzaka M, Iwane K, Tanaka M, Matsuda M, et al: Effects of soccer matches on neutrophil and lymphocyte functions in

- female university soccer players. *Luminescence* 2013;28:129-35.
- 13) Mashiko T, Umeda T, Nakaji S, Sugawara K: Effects of exercise on the physical condition of college rugby players during summer training camp. *Br J Sports Med* 2004;38:186-90.
- 14) Mochida N, Umeda T, Yamamoto Y, Tanabe M, Kojima A, Sugawara K, Nakaji S: The main neutrophil and neutrophil-related functions may compensate for each other following exercise-a finding from training in university judoists. *Luminescence* 2007;22:20-8.
- 15) Yamamoto Y, Nakaji S, Umeda T, Matsuzaka M, Takahashi I, Tanabe M, Danjo K, et al: Effects of long-term training on neutrophil function in male university judoists. *Br J Sports Med* 2008;42:255-9.
- 16) Suda Y, Umeda T, Watanabe K, Kuroiwa J, Sasaki E, Tsukamoto T, Takahashi I, et al: Changes in neutrophil functions during a 10-month soccer season and their effects on the physical condition of professional Japanese soccer players. *Luminescence* 2013;28:121-8.
- 17) Koga T, Umeda T, Kojima A, Tanabe M, Yamamoto Y, Takahashi I, Iwasaki H, et al: Influence of a 3-month training program on muscular damage and neutrophil function in male university freshman judoists. *Luminescence* 2013;28:136-42.
- 18) Ueno Y, Umeda T, Takahashi I, Iwane K, Okubo N, Kuroiwa J, Miyazawa M, et al: Changes in immune functions during a peaking period in male university soccer players. *Luminescence* 2013;28:574-81.
- 19) Nomura T, Umeda T, Takahashi I, Iwane K, Okubo N, Chiba Y, Miyake R, et al: Effects of L-glutamine intake on muscle fatigue and neutrophil functions during a judo training camp. *Hiroshima Med J* 2014;64:144-57.
- 20) Chiba Y, Umeda T, Takahashi I, Iwane K, Okubo N, Koeda S, Hirakawa Y, et al: Evaluation of 6-month periodisation in male Ekiden runners by assessment of muscle fatigue and immune function. *Hiroshima Med J* 2014;65:1-11.
- 21) Yaegaki M, Umeda T, Takahashi I, Yamamoto Y, Kojima A, Tanabe M, Yamai K, et al: Measuring neutrophil functions might be a good predictive marker of overtraining in athletes. *Luminescence* 2008;23:281-6.
- 22) 梅田孝, 高橋一平, 檀上和真, 松坂方士, 中路重之: 各種運動環境下における好中球・免疫機能動態の検討. *日本衛生学雑誌* 2011;66:533-42.
- 23) Hed J: The extinction of fluorescence by crystal violet and its use to differentiate between attached and ingested micro-organisms in phagocytosis. *FEBS Lett* 1977;1:357-61.
- 24) Sahlin S, Hed J, Rundquist I: Differentiation between attached and ingested immune complexes by a fluorescence quenching cytofluorometric assay. *J Immunol Methods* 1983;60:115-24.
- 25) Flynn MG, Pizza FX, Boone JB Jr, Andres FF, Michaud TA, Rodriguez-Zayas JR: Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med* 1994;15:21-6.
- 26) Koutedakis Y, Raafat A, Sharp NC, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW: Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 1993;33:252-7.
- 27) Pedersen BK, Nielsen HB: Acute exercise and immune system. Pedersen BK. (eds). *Exercise and immunology*, New York: Springer, 1997:5-38.
- 28) Silva MT: Neutrophils and macrophages work in concert as inducers and effectors of adaptive immunity against extracellular and intracellular microbial pathogens. *J Leukoc Biol* 2010;87:805-13.
- 29) Pyne DB: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 1994;26:49-58.
- 30) Duarte JA, Appell HJ, Carvalho F, Bastos ML, Soares JM: Endothelium-derived oxidative stress may contribute to exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1993;14:440-3.
- 31) Pedersen BK, Kappel M, Klokke M: Possible role of stress hormones in exercise-induced immunomodulation. Pedersen BK. (eds): *Exercise and immunology*, New York: Springer, 1997:39-60.
- 32) Pedersen BK, Rohde T, Bruunsgaard H: Exercise and cytokines. Pedersen BK. (eds): *Exercise and immunology*, New York: Springer, 1997:89-111.
- 33) MacKinnon LT, Jenkins DG: Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. *Med Sci Sports Exerc* 1993;27:678-83.
- 34) Nieman DC, Tan SA, Lee JW, Berk LS: Complement and immunoglobulin levels in athletes and sedentary controls. *Int J Sports Med* 1989;10:124-8.
- 35) Thomsen BS, Rødgård A, Tvede N, Hansen FR, Steensberg J, Halkjaer Kristensen J, Pedersen BK: Levels of complement receptor type one (CR1,CD35) on erythrocytes, circulating immune complexes and complement C3 split products C3d and C3c are not changed by short-term physical exercise or training. *Int J Sports Med* 1992;13:172-5.
- 36) Dufaux B, Order U: Complement activation after prolonged exercise. *Clinica Chimica Acta* 1989;179:45-50.
- 37) Pyne DB: Regulation of neutrophil function during exercise. *Sports Med* 1994;17:245-58.
- 38) Singh A, Failla ML, Deuster PA: Exercise-induced changes in immune function: effects of zinc supplementation. *Appl Physiol* 1994;76:2298-303.
- 39) Smith JA, Telford RD, Mason IB, Weidemann MJ: Exercise, training and neutrophil microbicidal activity. *Int J Sports Med* 1990; 11:179-87.
- 40) Hack V, Strobel G, Weiss M, Weicker H: PMN cell counts and phagocytic activity of highly trained athletes depend on training period. *J Appl Physiol* 1994;77:1731-5.
- 41) Ortega Rincon E: Physiology and biochemistry: influence of exercise on phagocytosis. *Int J Sports Med* 1994;15 Suppl 3:S172-8.
- 42) Gabriel H, Muller HJ, Kettler K, Brechtel L, Urhausen

- A, Kindermann W: Increased phagocytic capacity of the blood, but decreased phagocytic activity per individual circulating neutrophil after an ultradistance run. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71:281-4.
- 43) Vesovic D, Borjanovic S, Markovic S, Vidakovic A: Strenuous exercise and action of antioxidant enzymes. *Med Lav* 2002;93:540-50.
- 44) Hatao H, Oh-ishi S, Itoh M, Leeuwenburgh C, Ohno H, Ookawara T, Kishi K, et al: Effects of acute exercise on lung antioxidant enzymes in young and old rats. *Mech Ageing Dev* 2006;127:384-90.
- 45) Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P: Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med* 2004;34:443-9.
- 46) Sterling JC, Edelstein DW, Calvo RD, Webb R 2nd: Stress fractures in the athlete. Diagnosis and management. *Sports Med* 1992;14:336-46.
- 47) Weerapong P, Hume PA, Kolt GS: The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med* 2005;35:235-56.
- 48) Pedersen BK, Rohde Thomas: Exercise, glutamine and immune system. In: Pedersen BK. editor. *Exercise and immunology*. New York: Springer; 1997. p.75-87.
- 49) Castell LM, Newsholme EA: Glutamine and the effects of exhaustive exercise upon the immune response. *Can J Physiol Pharmacol* 1998;76:524-32.
- 50) Fang YZ, Yang S, Wu G: Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 2002;18:872-9.
- 51) Li P, Yin YL, Li D, Kim SW, Wu G: Amino acids and immune function. *Br J Nutr* 2007;98:237-52.
- 52) Bishop NC, Blannin AK, Walsh NP, Robson PJ, Gleeson M: Nutritional aspects of immunosuppression in athletes. *Sports Med* 1999;28:151-76.
- 53) Sen CK: Antioxidants in exercise nutrition. *Sports Med* 2001;31:891-908.

The Effects of the Differences in the Competition Level on the Appearance of Physical Fatigues after the Same Training – Investigation by the Myogenic Enzymes and the Neutrophil Functions

Ayumi TANIMOTO^{1,2}, Takashi UMEDA³, Toshihiko KOGA⁴, Tadahiro NOMURA⁵, Arata KOJOIMA⁶, Masaru TANABE⁶, Kori SAWADA¹, Shizuka KURAUCHI¹, Shigeyuki NAKAJI¹

- 1 Department of Social Medicine, Hirosaki University Graduate School of Medicine
- 2 Komatsu Ltd.
- 3 Meijo University
- 4 International Pacific University
- 5 MIKI HOUSE Co., Ltd.
- 6 Nippon Sport Science University

We investigated the effects of the differences in the competition level on the appearance of physical fatigues after the same training. We used the muscle enzymes, neutrophil functions to clarify these effects.

The subjects were 8 female athletes belonging to the judo club of social workers and 10 female athletes belonging to the university judo club. The competitive skill of judo was higher for social athletes than for university athletes. In this study, the following survey items were measured before and after 2 hours of judo training. The survey items were body composition, white blood cell counts, neutrophil counts, serum myogenic enzymes, immunoglobulins, complements, serum SOD activity, serum opsonic activity, reactive oxygen species (ROS) production amounts, phagocytic ability (PA).

When judo players with low competition level performed the same training as high players, it was suggested that muscle tissue degeneration and damage become severe with low players. In addition, it was suggested that the degree and duration of exposure to oxidative stress (reactive oxygen species) may be strong and prolonged.

Keywords; female judoist, neutrophil function, competitive level, fatigue, muscle enzyme

別刷請求先：谷本歩実

コマツ

〒107-8414 東京都港区赤坂 2-3-6

メールアドレス：ayumi_tanimoto@global.komatsu