

《原著》

男子柔道選手とトレーニングを実施した女子柔道選手の身体的負担の特性—筋逸脱酵素値及び好中球機能からの検討—

小川武志¹、梅田孝²、古賀稔彦³、野村忠宏⁴、谷本歩実^{1,5}、山本洋祐⁶、小嶋新太⁶、田辺勝⁶、高橋一平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 名城大学
3 環太平洋大学
4 ミキハウス
5 コマツ
6 日本体育大学

キーワード

1. 大学女子柔道選手
2. 稽古
3. 筋逸脱酵素
4. 好中球機能
5. 血清オプソニン化活性

女子柔道選手が男子選手と稽古をした場合の身体的負担の特性を筋組織の損傷及び好中球機能から検討した。対象者は大学柔道女子選手15名であった。対象者は女子選手と稽古を行った8名(対女子群)と男子選手と稽古を行った7名(対男子群)に区分した。2時間の稽古前後に、身体組成、白血球数、筋逸脱酵素、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)などを測定した。筋逸脱酵素値は、両群で稽古後有意に上昇し、その傾向は対男子群の方が顕著であった。ROS産生量は対男子群で稽古有意に上昇し、対女子群では不変であった。稽古による筋肉損傷は対男子群が対女子群より大きく、対男子群の運動による筋肉負担が対女子群より大きいことが示唆された。一方、稽古後のROS産生量は、対女子群で不変、対男子群では上昇していた。このことより、両群ともに運動負荷と身体機能間のバランスがとれた“通常パターン”であると考えられた。以上より、適正な健康管理下による女子選手の男子選手との稽古は、体力と技量を向上させうる有効な方法と考えられた。

体力・栄養・免疫学雑誌 第27巻 第1号 42-50頁 2017年

I. 緒言

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競技スポーツのなかでも傷害が起こ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)}。

一方、多くの研究が主に減量を行う女性アスリートで、女性特有の健康問題として月経異常、摂食障害、骨粗鬆症の「女性アスリートのトリアッド (female athletes triad)」が高頻度で発症することを報告している⁴⁾。またこれに加え、女性アスリートではスポーツ貧血が男子アスリートより発症率が高いと報告されている⁵⁾。すなわち、これらの先行研究結果は、女子柔道選手は男子選手に比べ日常の健康管理や目標とす

る試合に向けてのコンディショニングは非常に難しい状況にあると考えられる。

一方、柔道の実践現場では、女子選手が男子選手と一緒にトレーニング(主に対戦形式の稽古=乱取り)する機会が散見される。また、これを実施する目的の一つは同一チーム内に当該女子選手より競技レベルの低い選手しかおらず、当該選手の強化を図るために男子選手との稽古が実施される。また、もう一つは国際試合に出場する女子選手が、男子選手と対戦することで同じ階級であってもパワー、スピードがより高い外国人女子選手に対応していくためにこの稽古方法が用いられる。一方、女性と男性の体力要素には性差が存在し、同一トレーニングに対する生理学的反応も両者で異なることが明らかにされている^{6,7)}。また、Yaegakiらの研究は男女柔道選手が同時に同一トレーニングメニューで合宿を行った場合、男子に比べ女子で合宿後免疫抑制がより強く発現する可能性を示している⁸⁾。さらに、男女柔道選手を対象とした減量に関するYoshiokaらの研究では、男女がほぼ同程度の減量を実施した場合、男女で減量期間中の異なる時期に、

精神的ストレスが発現することが示されている⁹⁾。すなわち、これらの先行研究結果から女子柔道選手が男子選手と稽古を行った場合、女子選手と稽古を実施した以上に彼女らに身体的負担が高度に生じる可能性があると考えられる。また、この場合、これに適応する稽古後の健康管理が必要となる可能性もあると考えられる。

そこで、本研究は女子柔道選手が男子選手と共に稽古をした場合の身体的負担の特性を筋組織の変性、損傷状況及び免疫機能(好中球機能)から検討することを目的に実施した。また、本研究はこの稽古方法に対応する適切な健康管理、コンディショニング方法を考案していくための基礎研究として実施した。さらに、本研究はこれまで経験的に実践され、いまだ明らかになっていないこの稽古方法の効果や、身体的影響を客観的かつ科学的に検証することを目的に実施した。

II. 方法

II-1. 対象と調査内容

本対象者は、日本体育大学柔道部に所属する女子選手15名であった。全対象者は体重階級毎に無作為に女子選手と稽古を行った対象者8名(以下、対女子群、内訳:-48kg級;1名、-52kg級;1名、-57kg級;4名、-63kg級;2名)と男子選手と稽古を行った対象者7名(以下、対男子群、内訳:-48kg級;1名、-52kg級;3名、-57kg級;1名、-63kg級;1名、+78kg級;1名)に区分した。また、対女子群の平均年齢、身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重はそれぞれ20.0±0.9歳、157.6±2.9cm、58.3±4.3kg、23.9±2.6%、44.3±2.5kgであり、対男子群のものはそれぞれ20.9±0.7歳、154.9±5.0cm、63.0±17.2kg、27.2±10.8%、44.4±4.3kgであった(表1)。

調査は減量のないオフシーズンに実施した。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、この稽古では対女子群はほぼ同一階級の女子選手と稽古を実施した。また、対男子群は-48・52kg級の選手は-60・66kg級の男子選手と、-57・63kg級の選手は-73・81kg級の男子選手と、+78kg級の女子選手は-90kg級の男子選手とそれぞれ稽古を行った。

対象者の調査実施期の週単位のトレーニングは、週6日約2時間30分の柔道練習と約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2)。

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。

II-2. 身体組成値

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1 対象者の身体的特徴と稽古前後の体重の変化

	対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)
年齢(歳)	20.0 ± 0.9	20.9 ± 0.7
身長(cm)	157.6 ± 2.9	154.9 ± 5.6
稽古前の体重(kg)	58.3 ± 4.3	63.0 ± 17.2
稽古後の体重(kg)	57.4 ± 4.5 *	62.1 ± 17.1 *
体脂肪率(%)	23.9 ± 2.6	27.2 ± 10.8
除脂肪量(kg)	44.3 ± 2.5	44.4 ± 4.3

平均値±標準偏差.

*: p<0.05, 稽古前後の比較.

表2 調査期に対象者が実施していた1週間単位のトレーニングメニュー

	午前 6:30-午前 7:30	午前 9:00-午前 11:30	午後 5:30-午後 8:00
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3 稽古前後の筋逸脱酵素値の変化

		対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)	2元配置分散分析 (p値)
AST (IU/l)	練習前	23.3 ± 4.8	22.0 ± 4.5	0.020
	練習後 ^a	26.3 ± 6.0 *	26.8 ± 5.0 *	
	変化率	12.8 ± 5.0	22.4 ± 4.4 ††	
ALT (IU/l)	練習前	14.0 ± 5.4	15.0 ± 5.2	0.289
	練習後 ^a	15.3 ± 6.6 *	16.9 ± 5.9 *	
	変化率	8.3 ± 5.1	12.6 ± 3.8	
CK (IU/l)	練習前	275.6 ± 141.7	239.7 ± 118.3	0.337
	練習後 ^a	338.7 ± 172.1 *	322.9 ± 144.9 *	
	変化率	22.7 ± 16.8	36.9 ± 14.3	
LDH (IU/l)	練習前	238.6 ± 39.5	223.6 ± 32.3	0.060
	練習後 ^a	272.6 ± 49.9 *	274.2 ± 36.3 *	
	変化率	14.2 ± 8.0	22.9 ± 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, 稽古前後の比較.

†: p<0.05, ††: p<0.01, 対女子群と対男子群間の比較.

表4 稽古前後の白血球・好中球数の変化

		対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)	2元配置分散分析 (p値)
白血球数 (μl)	練習前	6263 ± 1684	6386 ± 1289	0.778
	練習後 ^a	6379 ± 1725	6647 ± 974	
	変化率	2.9 ± 14.3	5.8 ± 15.7	
好中球数 (μl)	練習前	3605 ± 1122	3756 ± 1247	0.719
	練習後 ^a	4330 ± 1437	4300 ± 1140	
	変化率	22.2 ± 24.3	18.2 ± 25.7	

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.

II-3. 血液生化学値

15mlの採血は朝食後約1時間経過した稽古前と2時間の稽古後に行った。採血した末梢血のうち5mlはそのまま血球成分と好中球機能の分析に用いた。残り10mlは3000回/秒、10分間遠心分離し血清を分離・抽出し、各種血清成分及び血清オプソニン化活性(serum opsonic activity: SOA)活性の分析に用いた。

血球成分から免疫関連指標として白血球数、好中球数を測定した。また、血清成分からは筋組織の変性や損傷、筋疲労の蓄積状況を把握する目的で筋逸脱酵素(AST、ALT、CK、LDH)、免疫関連指標として免疫グロブリン(IgA、IgG、IgM)、補体(C3、C4)を測定した。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(SysmeXE-2100 and SE - 9000, Kobe, Japan)を用い測定した。また、各血清成分の測定方法は、それぞれ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。

また、稽古後の体重の減少、ヘモグロビン、ヘマトクリット値の変化から本対象者に体水分の明らかな減少が認められたため、本結果におけるこれらの項目の稽古後の値はPlasma volume法により脱水補正を行った値を用いた¹⁰⁾。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LSIメディエンス(株)に委託、測定した。

II-4. SOAの測定方法

化学発光法(chemiluminescence: CL)は好中球活性酸素種(reactive oxygen species: ROS)を感度よく検出するために有効である^{11,12)}。本研究では基準好中球が各対象者の血清によってオプソニン化されたザイモザンを貪食する際に産生するROS量をCLを用い測定し、これをSOAとして評価した。また、この時、化学発光剤としてルシゲニン(Lucigenin、bis-N-methylacridinum nitrate (Sigma,USA))とルミノール(Luminol、5-amino-2,3-dihydro-1,4-phthalazinedion

表5 稽古前後の免疫グロブリン・補体の変化

		対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)	2元配置分散分析 (p値)
IgA (mg/dl)	練習前	201.8 ± 59.4	162.4 ± 35.0	0.197
	練習後 ^a	207.2 ± 63.6 *	173.0 ± 41.4 *	
	変化率	2.4 ± 2.2	6.0 ± 4.4	
IgG (mg/dl)	練習前	985 ± 199	1113 ± 158	0.355
	練習後 ^a	1012 ± 231	1160 ± 155	
	変化率	2.4 ± 4.6	4.3 ± 1.7	
IgM (mg/dl)	練習前	111.9 ± 52.7	117.3 ± 21.0	0.493
	練習後 ^a	116.7 ± 56.4 *	124.3 ± 24.2 *	
	変化率	4.1 ± 5.1	5.8 ± 3.2	
C3 (mg/dl)	練習前	101.1 ± 5.4	103.3 ± 10.4	0.338
	練習後 ^a	102.7 ± 8.1	107.3 ± 10.7 *	
	変化率	1.6 ± 6.0	3.9 ± 2.4	
C4 (mg/dl)	練習前	20.8 ± 2.2	23.7 ± 6.0	0.403
	練習後 ^a	21.3 ± 2.8	24.7 ± 5.9 *	
	変化率	2.6 ± 4.2	4.7 ± 4.6	

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, 練習前後の比較.

表6 稽古前後の血清オプソニン化活性の変化

		対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)	2元配置分散分析 (p値)
LgCL・PH (cpm)	練習前	22.1 ± 3.1	25.7 ± 5.3	0.250
	練習後	24.3 ± 3.5	24.9 ± 3.8	
	変化率	12.5 ± 25.8	-1.0 ± 15.8	
LgCL・AUC (cpm*sec)	練習前	665.3 ± 109.0	788.0 ± 167.2	0.228
	練習後	735.6 ± 105.8	752.7 ± 115.2	
	変化率	14.2 ± 28.7	-2.0 ± 17.7	
LmCL・PH (cpm)	練習前	153.9 ± 10.3	148.5 ± 20.6	0.395
	練習後	146.7 ± 17.7	151.5 ± 13.9	
	変化率	-3.9 ± 15.5	3.5 ± 15.1	
LmCL・AUC (cpm*sec)	練習前	3941 ± 314	3762 ± 514	0.528
	練習後	3644 ± 540	3639 ± 556	
	変化率	-6.8 ± 16.1	-2.7 ± 12.9	

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.

PH: Peak height. AUC: Area under the curve for 45 min.

LgCL: Lucigenin-dependent chemiluminescence response.

LmCL: Luminol-dependent chemiluminescence response.

(Sigma,USA) の2種を発光指示剤として用いた。また、本研究ではルシゲニンにより検出された化学発光をルシゲニン依存性化学発光 (Lucigenin-dependent chemiluminescence response : LgCL)、ルミノールにより検出された化学発光をルミノール依存性化学発光 (Luminol-dependent chemiluminescence response : LmCL) として評価した。

測定手順として、まずLg, LmをNaOHにて溶解し、HCl、NaCl、Hank's balanced salt solution (HBSS) を加

え、最終的に0.5mM/L (pH 7.4) になるように調節した。次にオプソニン化ザイモザン (OZ) を作成した。すなわち、Zymosan A (Sigma, USA) を5mg/mlの濃度でHBSSに懸濁し、塊を攪拌するために超音波処理を加えた。ザイモザン懸濁液(5mg/ml)に対し、速やかに融解した対象者の血清を加え、37°Cの温浴槽にて30分間振とうし、オプソニン化を行った。基準となる好中球は1人の健常男性から採血し、MONO-POLY RESOLVING MEDIUM (Dainippon Pharmaceutical, Japan)

表7 稽古前後の好中球機能・血清 SOD 活性の変化

		対女子群 (n=8)	対男子群 (n=7)	2元配置分散分析 (p 値)
ROS 産生量 (FI) ^b	練習前	138.7 ± 70.5	91.8 ± 30.3	0.470
	練習後	142.4 ± 33.4	114.4 ± 35.3 *	
	変化率	16.6 ± 40.0	28.5 ± 37.8	
貪食量 (FI) ^b	練習前	538.8 ± 143.3	475.2 ± 61.8	0.032
	練習後	404.5 ± 84.1 *	486.9 ± 124.5	
	変化率	-22.3 ± 16.0	2.5 ± 21.6 †	
血清 SOD 活性 (%) ^a	練習前	10.0 ± 2.3	10.3 ± 1.7	0.490
	練習後 ^a	9.8 ± 2.7	10.8 ± 1.0	
	変化率	-1.0 ± 17.1	7.0 ± 20.6	

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.

b: 好中球 1 個あたりの値.

ROS: reactive oxygen species.

FI: fluorescence intensity.

SOD: superoxide dismutase.

*: p<0.05, 練習前後の比較.

†: p<0.05, 対女子群と対男子群間の比較.

によって好中球を分離し 3.0×10^3 cells/ μ l になるように HBSS に浮遊させた。CL の測定は 96 穴マイクロプレート (well capacity 400 μ l, Greiner Japan, Tokyo, Japan) を用い、この好中球浮遊液 50 μ l に対し、刺激物質としてオプソニン化ザイモザンを 50 μ l、さらに化学発光剤を 50 μ l 加え、HBSS を 100 μ l 加えた。最終濃度を 0.1mM、総量 250 μ l にして自動化学発光計測器 (Auto Luminescence Analyzer, Alfa system (Tokken, Funabashi, Japan)) にて測定した¹³⁾。全ての測定は 37°C の環境下で実施された。SOA の評価は、発光曲線の最大値 (Peak height : PH) と 45 分間の発光曲線下面積を積分した Area under the curve (AUC) により行った^{14,15)}。すなわち、本研究では LgCL・PH、LgCL・AUC、LmCL・PH、LmCL・AUC を SOA の測定結果として評価した。

II-5. 好中球機能の測定方法

本研究では好中球機能として好中球 ROS 産生能、貪食能 (phagocytic activity: PA) を FACSCanto II (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA) を用い 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、PA 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。PA 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、FACSCanto II にて蛍光強度を測定した。PA 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^{16,17)}。以上の手順に従い最終的に FACSCanto II により、好中球 1 個あたりの平均蛍光強度 (fluorescence intensity: FI) と好中球 1 万個の蛍光陽性細胞率 (%) を検出した。なお、本研究では好中球 1 個あたりの平均蛍光強度により ROS 産生量、PA を評価した。

II-6. 統計処理

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 t-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。

III. 結果

表 1 は対象者の身体的特徴と稽古前後の体重の変化を示している。両群共に稽古前値に比べ稽古後体重が有意に低下した (p<0.05)。

表 3 は稽古前後の筋逸脱酵素値の変化を示している。両群において全ての筋逸脱酵素値が稽古前値に比べ稽古後有意に上昇した (全て p<0.05)。また、ALT においては対女子群に比べ対男子群で稽古後の上昇量

が有意に大きくなっていった ($p<0.05$)。また、ALT の稽古後の上昇率は対女子群に比べ対男子群で有意に大きくなっていった ($p<0.01$)。さらに、LDH の稽古後の上昇率は対女子群に比べ対男子群で有意に大きくなっていった ($p<0.05$)。

表4は稽古前後の白血球・好中球数の変化を示している。両群共に稽古前後で白血球・好中球数に有意な変化はみられなかった。

表5は稽古前後の免疫グロブリン・補体の変化を示している。IgA、IgM は両群で稽古前値に比べ稽古後有意に上昇した (共に $p<0.05$)。また、C3、C4 は対男子群のみで稽古前値に比べ稽古後有意に上昇していた (共に $p<0.05$)。

表6は稽古前後のSOAの変化を示している。両群共に稽古前後でSOAに有意な変化はみられなかった。

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。ROS産生量は対男子群のみで稽古前値に比べ、稽古後有意に上昇した ($p<0.05$)。一方、PAは対女子群のみで稽古前値に比べ稽古後有意に低下した ($p<0.05$)。また、PAにおいては対男子群に比べ対女子群で稽古後の低下量が有意に大きくなっていった ($p<0.05$)。さらに、PAの稽古後の低下率は、対男子群に比べ対女子群で有意に大きくなっていった ($p<0.05$)。

IV. 考察

スポーツ医科学領域の研究では運動により発現する筋組織の変性、損傷状況や、この繰り返しにより蓄積する筋疲労状況を把握する目的で筋逸脱酵素値を観察することが有効であることが明らかにされている^{18,19}。また、筋組織中に内在する筋逸脱酵素は運動実施に伴う筋組織の変性、損傷、筋膜透過性の亢進により血中に流出し、運動強度やその実施時間により依存的に上昇するといわれている^{18,19}。本結果では両群共に全ての筋逸脱酵素値が稽古後有意に上昇し、本研究で実施した2時間の稽古により本対象者で筋組織が変性、損傷したことが示唆された。一方、稽古前後のALT及びLDHの上昇率が対女子群に比べ対男子群で有意に大きくなっていったことは、稽古後の筋組織の変性、損傷が対男子群でより高度になっていたことを示唆していた。すなわち、これは体格的には同じであっても、より筋力が強い男子柔道選手と稽古を行った女子選手の方が、女子選手同士で稽古を行うよりも筋組織に対する負担がより大きくなっていったことを示唆していた。一方、この結果をトレーニングの効果、すなわちトレーニングによる筋へのダメージとその後の修復、筋組織、筋力の強化というメカニズムとトレーニングに関する過負荷の原則の観点からみると^{20,22}、女子柔道選手が男子選手と稽古を行うことが、女子選手と稽古を行うよりもスピード、パワーの強化に、より効果的に働くという本稽古方法の目的に合致したものとされている可能性もあると考えられた。

免疫機能を司る血中成分の中で、最も重要な細胞の一つが白血球とその分画である好中球であるといわれている²³。また、好中球は免疫グロブリンや補体などのオプソニン物質が体内に侵入あるいは体内で発生した異物に接着(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免疫機能を有している²⁴。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²⁵⁻²⁷。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²⁸。また、これらの体内での活性化はカテコールアミンやコルチゾールといったストレスホルモンや炎症性サイトカインの働きによることが明らかとなっている^{23,29,30}。すなわち、本結果ではSOAの有意な上昇は観察されなかったが、両群でIgA、IgMが稽古後有意に上昇、対男子群のみでC3、C4が稽古後有意に上昇したことは、稽古により変性、損傷した筋組織を抗原とし、オプソニン化が亢進した可能性を示唆していた。また、これらの項目に両群間で統計学上有意な差は観察されなかったが、IgA、IgMだけでなく、対男子群のみでC3、C4も稽古後有意に上昇したことは、対女子群に比して稽古による筋組織の変性、損傷がより強くなった対男子群で、この反応がより顕著となった可能性を示唆していると考えられた。また同様に有意ではないが、これら全ての項目において稽古後の上昇率は対女子群に比べ男子群で高く、この傾向もこれを支持する可能性があると考えられた。

幾つかの先行研究は、好中球が自ら産生するROSで体内に侵入あるいは体内で生じた異物に対して殺菌能を発揮する反面、ROSが過剰に生成された場合、これが正常な細胞までも傷つけ酸化組織傷害をもたらす可能性を示唆している^{31,32}。運動と好中球機能の関連を調査した過去の研究では、急性運動負荷後にROS産生能が上昇する^{33,34}、あるいは減少するという報告^{35,36}がみられる。一方、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^{33,35,37}。また、Gabrielらは激しい運動の実施後に好中球1個あたりのPAが低下することを報告している³⁸。さらに、運動実施前後のROS産生能とPAの動態を同時に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^{3,39,40}。また、これら好中球機能はカテコールアミンやコルチゾールといったストレスホルモン、炎症性サイトカインの働きにより調整されることが明らかとなっている^{23,29,30}。すなわち、本結果でROS産生量が対男子群のみで稽古後有意に上昇したことは、対男子群で稽古後ROSによる酸化ストレスが亢進していたことを示唆していた。また、このことは対女子群に比して稽古による筋組織

の変性、損傷が著しい対男子群でこの反応が顕著となったことを示唆していた。一方、対女子群のみで PA が稽古後有意に低下したことは、稽古により身体疲労が発現し、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^{23,30)}。また、このことは稽古によるストレス反応、炎症反応に対して動員、消費された好中球が骨髄から新に増員、補充された反面、これそのものが未熟であるため、その機能が脆弱となったことが影響している可能性もあると考えられた^{49,50)}。

一方、稽古後の ROS 産性能と PA の反応パターンを両群で比較した場合、有意差はないものの対女子群の反応パターンは、我々の先行研究結果と一致した傾向を示していた^{3, 39-48)}。すなわち、本対女子群は先行研究と同様に体調が良好な状態で通常レベルの運動負荷でトレーニングをした場合、好中球機能においてトレーニング後 ROS 産性能が上昇、PA が低下するという正常な反応パターンを示した可能性があると考えられた。我々はこの反応パターンの発現がトレーニングによる筋組織の変性、損傷の発現に伴い先に PA の活性化、続いて ROS 産性能の活性化が引き起こされ、約 2 時間のトレーニング終了後には先に活性化した PA が終息し、ROS 産性能の活性化が持続した状態といったタイムラグによる影響である可能性を示唆している^{3, 39-48)}。したがって、本対女子群では稽古によるストレス、炎症反応として発現した好中球機能が、稽古終了時点で既に終息に向かっていった可能性があると考えられた。これに対して、対男子群では稽古終了後も両者が上昇し、稽古により変性、損傷した筋組織の好中球による貪食、殺菌が亢進し、これに伴う酸化ストレスの発現が持続した状態であったと考えられた。すなわち、これはより筋組織の変性、損傷が著しかった対男子群で対女子群に比べ酸化ストレスに対する暴露時間が長くなった可能性があると考えられた。

以上より女子柔道選手が男子選手と稽古を行った場合、女子同士で稽古を行うよりも筋組織の変性、損傷が高度となり、これに由来し酸化ストレスの暴露時間が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⁵¹⁻⁵³⁾。一方、対男子群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^{54,55)}。

(受稿 2016/12/2 受理 2017/1/4)

【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) 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.
- 3) 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.
- 4) Koutedakis Y, Jamurtas A: The dancer as a performing athlete: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34:651-61.
- 5) Suedekum NA, Dimeff RJ: Iron and the athlete. *Curr Sports Med Rep* 2005;4:199-202.
- 6) Ruby BC, Robergs RA: Gender differences in substrate utilisation during exercise. *Sports Med* 1994;17:393-410.
- 7) Lewis DA, Kamon E, Hodgson JL: Physiological differences between genders. Implications for sports conditioning. *Sports Med* 1986;3: 357-69.
- 8) 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.
- 9) Yoshioka Y, Umeda T, Nakaji S, Kojima A, Tanabe M, Mochida N, Sugawara K: Gender differences in the psychological response to weight reduction in judoists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006;16: 187-98.
- 10) Elkinton JR, Danowski TS, Winkler AW: Hemodynamic changes in salt depletion and in dehydration. *J Clin Invest* 1946;25: 120-9.
- 11) Suzuki K, Sato H, Kikuchi T, Abe T, Nakaji S, Sugawara K, Totsuka M et al: Capacity of circulating neutrophils to produce reactive oxygen species after exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 1996;81:1213-22.
- 12) Kikuchi T, Suzuki K, Abe T, Satoh H, Endoh T, Hasegawa H, Nakaji S et al: Measurement of chemiluminescence from neutrophils in a 96-well microplate using Lumi Box U-800 II. *J Biolumin Chemilumin* 1997;12:149-53.
- 13) Kumae T: A study of fluorescence measurement using a 96-well microplate by a remodeled parallel luminescent measuring system. *Luminescence* 1999;14:375-81.
- 14) Kumae T: A study of fluorescence measurement using a 96-well microplate by a remodeled parallel luminescent measuring system. *Luminescence* 1999;14:375-81.
- 15) Hasegawa H, Suzuki K, Nakaji S, Sugawara K: Analysis and assessment of the capacity of neutrophils to produce reactive oxygen species in a 96-well microplate format using lucigenin- and

- luminol-dependent chemiluminescence. *J Immunol Methods* 1997;210:1-10.
- 16) 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.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) 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.
 - 20) Lüthi JM, Howald H, Claassen H, Rösler K, Vock P, Hoppeler H: Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int J Sports Med* 1986;7:123-7.
 - 21) McDonagh MJ, Davies CT: Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984;52:139-55.
 - 22) Fitts RH, Widrick JJ: Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc Sport Sci Rev* 1996;24:427-73.
 - 23) Pedersen BK, Nielsen HB: Acute exercise and immune system. Pedersen BK (ed): *Exercise and immunology*, New York: Springer, 1997:5-38.
 - 24) 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.
 - 25) MacKinon LT, Jenkins DG: Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. *Med Sci Sports Exerc* 1993;27:678-83.
 - 26) 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.
 - 27) Thomsen BS, Rødgaard 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.
 - 28) Dufaux B, Order U: Complement activation after prolonged exercise. *Clinica Chimica Acta* 1989;179:45-50.
 - 29) Pedersen BK, Rohde T, Bruunsgaard H: Exercise and cytokines. Pedersen BK (ed): *Exercise Immunology*, New York: Springer, 1997:89-111.
 - 30) Pedersen BK, Kappel M, Klokke M: Possible role of stress hormones in exercise-induced immunomodulation. Pedersen BK (ed). *Exercise Immunology*, New York: Springer, 1997:39-60.
 - 31) Pyne DB: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 1994;26:49-58.
 - 32) 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.
 - 33) Pyne DB: Regulation of neutrophil function during exercise. *Sports Med* 1994;17:245-58.
 - 34) Singh A, Failla ML, Deuster PA: Exercise-induced changes in immune function: effects of zinc supplementation. *Appl Physiol* 1994;76: 2298-303.
 - 35) Smith JA, Telford RD, Mason IB, Weidemann MJ: Exercise, training and neutrophil microbicidal activity. *Int J Sports Med* 1990; 11:179-87.
 - 36) 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.
 - 37) Ortega Rincon E: Physiology and biochemistry: influence of exercise on phagocytosis. *Int J Sports Med* 1994;15S:S172-8. 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.
 - 38) 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.
 - 39) 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.
 - 40) 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.
 - 41) 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.
 - 42) 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.
 - 43) Umeda T, Yamai K, Takahashi I, Kojima A, Yamamoto Y, Tanabe M, Totsuka M et al: The effects of a two-hour judo training session on the neutrophil immune functions in university judoists. *Luminescence* 2008;23:49-53.
 - 44) 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.

- 45) 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.
- 46) 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.
- 47) 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.
- 48) McCarthy DA, Dale MM: The leucocytosis of exercise. *Sports Med* 1988;6:333-63.
- 49) Pyne DB, Baker MS, Fricker PA, McDonald WA, Telford RD, Weidemann MJ: Effects of an intensive 12-wk training program by elite swimmers on neutrophil oxidative activity. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:536-42.
- 50) Witvrouw E, Mahieu N, Danneels L, McNair P: Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med* 2004; 34:443-9.
- 51) Sterling JC, Edelman DW, Calvo RD, Webb R 2nd: Stress fractures in the athlete. Diagnosis and management. *Sports Med* 1992;14:336-46.
- 52) 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.
- 53) Bishop NC, Blannin AK, Walsh NP, Robson PJ, Gleeson M: Nutritional aspects of immunosuppression in athletes. *Sports Med* 1999;28:151-76.
- 54) Sen CK: Antioxidants in exercise nutrition. *Sports Med* 2001;31:891-908.

Characteristic of the Physical Load on Female Judoists Trained with Male Judoists. - Examination by the Values of Serum Myogenic Enzymes and the Neutrophil Functions -

Takeshi OGAWA¹, Takashi UMEDA², Toshihiko KOGA³, Tadahiro NOMURA⁴, Ayumi TANIMOTO^{1,5},
Arata KOJIMA⁶, Masaru TANABE⁶, Ippei TAKAHASHI¹, Shigeyuki NAKAJI¹

1 Department of Social Medicine, Hirosaki University Graduate School of Medicine

2 Meijo University

3 International Pacific University

4 MIKI SHOKO Co., Ltd.

5 Komatsu Ltd.

6 Nippon Sport Science University

The characteristics of the physical burden when a female judo player practiced with a male player was examined from muscle and neutrophil function. The subjects were 15 university judo female athletes. The subjects were divided into 8 (Female group) who practiced with female players and 7 (Male group) who practiced with male players. We measured body composition, white blood cell count, muscle enzyme, serum SOD activity, serum opsonic activity, reactive oxygen species (ROS) production amount, phagocytic ability (PA) etc before and after 2 hours of practice. The muscle enzyme values rose significantly after training in both groups, and this tendency was noted in the male group. The amount of ROS production was significantly elevated in practice in the male group and remained unchanged in the girls group. It was suggested that the muscle injury due to practice was larger in the male group than in the female group, and the muscle load due to the male group's exercise was larger than the male group. On the other hand, the amount of ROS production after training was unchanged in the female group and increased in the male group. From this, both groups were considered to be a "normal pattern" that balanced exercise load and physical function. In conclusion, it was considered that it would be an effective way for female athletes to practice with male athletes by careful health management.

Key words: female university judoists, training with male judoists, denaturation and damage of the muscular tissue, neutrophil function

別刷請求先：高橋一平

〒036-8562 青森県弘前市在府町5 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座

TEL: 0172-39-5041

FAX: 0172-39-5038

e-mail: ippei@hirosaki-u.ac.jp