

《原著》

競技ダンス選手における 40 日間のピリオダイゼーションにおける生体負担 (コンディション) に関する研究

笠井里津子^{1,2}、梅田孝³、高橋一平¹、
徳安秀正^{1,4}、樗木武治⁵、戸塚学⁶、
鷹野都^{1,7}、溝口絵里加^{1,2}、山本博^{1,2}、
瀬尾京子²、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 日本体育大学
3 名城大学
4 東京有明医療大学
5 松山大学
6 弘前大学教育学部保健体育
7 武庫川女子大学

キーワード

1. ダンス
2. ピリオダイゼーション
3. 好中球機能
4. リンパ球

【目的】大学女性ダンサーにより実施された約 40 日間のピリオダイゼーションの適正を筋疲労及び免疫機能から検討した。

【方法】対象者は大学女性ダンサー 15 名であった。ピリオダイゼーションは創作期、修練期に区分された、両期に 2 時間のトレーニングを実施させ、その前後に好中球数、リンパ球数、免疫グロブリン、補体、筋逸脱酵素、好中球 ROS 産生能、食食能、リンパ球機能を測定した。

【結果】修練期の 2 時間のトレーニング前値は創作期に比して筋逸脱酵素値が高く、好中球数、IgA、IgM、C3 が低かった。創作期の 2 時間のトレーニング後に ROS 産生能が上昇、食食能が低下したが（通常パターン）、修練期では ROS 産生能が低下、食食能が上昇した（非通常パターン）。修練期の 2 時間のトレーニング前の血清 SOD 活性は、創作期に比して低下した。修練期の 2 時間のトレーニング後の T 細胞、B 細胞数の変化率は創作期に比して小さかった。

【まとめ】本結果は本対象者で修練期に筋疲労及び免疫学機能の低下がみられたことを示唆した。適切なテーパリング期の設定が必要と考えられた。

体力・栄養・免疫学雑誌 第 24 巻 第 1 号 21-34 頁 2014 年

緒言

ダンスは、一定の時間と空間の中で個人あるいは集団の感情や意思をリズムカルな身体動作により表現、伝達するスポーツあるいは芸術である。また、ダンスは幾つかの分類方法が存在するが、主に芸術的表現を活動目的とする創作ダンスやバレエダンスなどの芸術舞踊、日本舞踊やフラメンコに代表される世界各国の民族舞踊、大衆的あるいは興行的要素を多分に含んだジャズダンスやエアロビックダンスなどの大衆舞踊に大別される。

一方、わが国では文部科学省により 2009 年に新学習指導要領が告示され、本研究対象者が日常的に行っているダンスは小学校、中学校、高等学校の全ての教育過程で実施されることとなった。また、特に中学校 1、2 年の保健体育科目の必修単元の一つとしてダンスの必修化が義務づけられ、その教育的効果が期待されて

いる。個人や集団で抱いた感情や意思を身体動作で表現する創作ダンスは、心身の発育発達が著しい青少年期のこどもたちにとって、これを効果的に促進する身体活動の一つとして期待されている。

ダンサーの体力や技術の向上、あるいは外傷、障害を予防することを目的に様々な研究がなされている。そのなかで、幾つかの研究はダンサーを対象に身体組成値や筋組織、有酸素作業能力を測定することにより、ダンサーの生理学的特性や至適な体格や体力を検討している¹⁻³⁾。また、ダンスを行うことに対する生理学的反応を有酸素作業能力やエネルギー代謝から検討している研究もみられる^{4,5)}。一方、他の研究はダンサーで月経異常、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⁶⁾。また、これら以外にも貧血が好発することも指摘されている⁷⁾。またこれに加え、多くの研究ではダンサーにおいて足や足首、腰等に整

Table1. Characteristics of study subjects and the changes in anthropometric parameters during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)	The dancing period (2012 Aug. 4)
Age (Years)	19.6 ± 1.4	—
Height (cm)	158.6 ± 5.0	—
Weight (kg)		
Pre	53.8 ± 4.6	52.8 ± 4.8††
Post	53.0 ± 4.6**	52.4 ± 4.7**
Relative body fat (%)	23.8 ± 2.9	22.4 ± 3.2†
Lean body mass (kg)	41.0 ± 3.4	40.9 ± 3.2

Subjects were 15 female dancers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

** $p < 0.01$, Significant different from the pre-value.

† $p < 0.05$, †† $p < 0.01$, Significant difference from the value of the creation period.

形外科的障害が発症しやすいことが報告されている^{8,9)}。これに関して Ryan は、ダンサーに外傷や慢性的障害を発生させる危険因子としてウォーミングアップ不足、トレーニングの特異性への配慮不足、シーズン前のコンディショニング不足、リハーサルやパフォーマンススケジュールにおける調整ミス、不適切な動きやテクニック、筋力のアンバランス、バレエトレーニングの開始年齢の遅れなどを挙げている¹⁰⁾。

一方、様々な外傷や慢性的障害の発生リスクを有するダンサーにとって、他のアスリート同様、生理学的観点に立ち適正なピリオダイゼーションを計画し、目標とする舞台やコンクールに向け強化、テーパリングを適切に実行することは重要であることは言うまでもない¹¹⁾。しかし、ダンサーには目指す舞台やコンクールまでのトレーニングスケジュールの確保やパフォーマンスの維持、あるいはトレーニングを行う施設の確保等の様々な制約が存在し、彼女達がこれを適切に計画、実行できない例が散見される¹²⁾。加えて、ダンサーの実際のピリオダイゼーションのコンディション評価を科学的に検証した研究はほとんどみられない。

アスリートにおいて長期的に実施される高強度、長時間、高頻度のトレーニングが好中球やリンパ球等の免疫機能を抑制し、上気道感染症等への易感染性を高くする可能性が示唆されている^{13,14)}。また、一過性の高強度運動が活性酸素種 (reactive oxygen species: ROS) を初めとする酸化ストレスを発現させ、運動後に免疫抑制をもたらすことを報告している^{15,16)}。我々も先行研究で、一過性の高強度トレーニングと免疫機能の関連を調査し、一過性の運動が好中球の ROS 産生能を亢進し、貪食能 (phagocytic activity: PA) を抑制することを報告している¹⁷⁻²³⁾。さらに、我々はこれを長期的に繰り返すアスリートで好中球機能が抑制されることも明らかにしている²⁴⁾。

一方、我々はこれらの研究結果をまとめ観察し、運

動負荷に対する好中球機能の反応が一見無秩序に挙動しながらも、そこに一定の法則性が存在することを発見した。すなわち、運動負荷に対する好中球機能の反応に2つのパターンが存在し、これがアスリートが運動を実施する際の外的因子(運動負荷強度や運動時間)及び内的因子(身体疲労や身体コンディション)のバランスに拠っている可能性を明らかにした^{25,24)}。このことは、トレーニングによって変化する好中球機能の動態を短期的あるいは長期的に観察することが、アスリートの健康、コンディション指標として有効になり得る可能性を示唆している^{24,25)}。

そこで、我々は日本で最も著名なコンクールに出場した大学女性ダンサーを対象に、彼女達によって実行された作品の創作からコンクール参加までの約 40 日間のピリオダイゼーション時の適正の検証を、各練習期ごとの身体コンディションを筋疲労及び好中球機能、リンパ球機能、抗酸化機能で評価することにより行った。本研究は、ピリオダイゼーションの適正を医科学的に検証した希少な研究である。

対象と方法

(1) 対象者および調査期間

本対象者はN大学ダンス部に所属する女性ダンサー 15 名であった。対象者の特性は、年齢 19.6 (平均値) \pm 1.4 (標準偏差) 歳、身長 158.6 \pm 5.0 cm、体重 53.8 \pm 4.6 kg、体脂肪率 23.8 \pm 2.9%、除脂肪体重 41.0 \pm 3.4 kg であった (Table1)。また、対象者は本研究期間終了直後の 2012 年 8 月 9 日に開催され、わが国でも最も著名なアマチュアダンサーのコンクールである第 25 回全日本高校・大学ダンスフェスティバル (All Japan Dance Festival-KOBE) に出場した。なお、同コンクールでは出場したダンスチームから最優秀校が 1 校選出され、文部科学大臣賞が贈られる権威あるコンクールとなっ

Table 2. The study protocol and the training schedule for the dance competition from the start of this study.

	The creation period	The first transition stage from the creation to dancing	The second transition stage from the creation to dancing	The dancing period	The dance competition
	(2012 Jun. 30- Jul. 9)	(2012 Jul. 10- Jul. 18)	(2012 Jul. 19- Jul. 27)	(2012 Jul. 28- Aug. 9)	(2012 Aug. 10)
▲ The first examination (2012 Jun. 30)			The second examination (2012 Aug. 4) ▲		
The contents of training	Warm-up (30 minutes)				Dancing the program in the competition (6 minutes)
	The creative time (75 minutes)	Dancing part of the program including the creative time ^a (75 minutes)	Dancing part of the program including the creative time ^a (45 minutes)	Dancing part of the program ^b (90 minutes)	
			Dancing part of the program ^b (60 minutes)		
	Dancing part of the program ^a (60 minutes)	Dancing part of the program ^b (45 minutes)	Dancing the entire program (45 minutes)	Dancing the entire program (60 minutes)	
	Dancing the entire program (15 minutes)	Dancing the entire program (30 minutes)			

The creative time: the subjects visualized their program mentally and thought about their movement and constitutions, directions in accord with the imaged work.

a: the subjects created their program in practice and improved the movements which matched the mental image they had created.

b: the subjects isolated those parts of their program which they felt were weak and practices them repeatedly.

Dancing the entire program: the subject danced their program for six minutes.

ている。

本研究のプロトコールを Table 2 に示した。研究期間は 2012 年 6 月 30 日から同年 8 月 4 日 までの約 40 日間であった。我々は本対象者が本調査期間中に行ったトレーニング内容から本研究期間を創作期、移行期①、移行期②、修練期に区分した。すなわち、調査期間中の本対象者の活動は大きく 2 つに区分されており、一つはコンクールで発表する作品のイメージ作りと、それに合致した動きを思考することを主体とする創作活動期であった。また、もう一つはイメージした作品をより巧緻かつ美しい身体活動で表現できるよう繰り返し踊り、その習熟度や完成度を高めていくことを主体とする修練活動期である。また、前者から後者に向かって、思考時間の割合が次第に減少し、身体活動時間の割合が増加していた。本調査ではこれを移行期と定義し、思考時間と身体活動時間の割合によりさらに移行期①、移行期②に区分した。なお、本対象者及びその指導者に確認した結果、本対象者では同コンクールに向けたテーパリングは実施されなかった。また、本ダンス部ではこれまで様々なコンクールに向けて創作期や移行期、修練期といったピリオダイゼーションは設定してきたが、テーパリングを計画、実行したこと

はなかった。今回も同様であった。さらに、多くのダンサーにみられる減量について本対象者全員にインタビューした結果、本対象者では運動に加え食事制限により減量を行っている者はいなかった。

我々は対象者が創作活動をしている同年 6 月 30 日（創作期）と同コンクール 5 日前の同年 8 月 4 日（修練期）に以下の調査項目を測定した。また、2 回の調査時に運動負荷に対する筋組織の変化や好中球及びリンパ球機能の反応を観察することを目的に、対象者に同一の 2 時間のダンストレーニング（以後 2 時間練習と略す）を実施させ (Table 3)、その前後に各調査項目を測定した。負荷したトレーニング内容は、ランニング (10 分)、ストレッチ・柔軟運動 (15 分)、腹・背筋運動 (15 分)、移動なしで行うバレエ、モダン、ジャズダンス、ヒップホップダンスに関する基本動作 (39 分)、18m をウォーキングやランニングにより移動しながら基本的なステップ運動、回転運動、緊張・解緊張運動、ジャンプ運動、曲線運動 (24 分) を行った。また、これに加え、個人あるいはグループで思考した動きを即興で行い (12 分)、最後にクールダウンを行った (5 分)。なお、これら 2 時間のトレーニング中の平均心拍数は $129.2 \pm 8.2 \text{ bpm}$ であり、対象者の最高心拍数

Table 3. The training menu and the exercise intensity carried out by subjects at the two investigation periods.

Contents	Time	Heart rate (bpm)	%HRmax (%)
1. Jogging	10 minutes	136.4 ±11.1	68.2
2. Stretching and calisthenics	15 minutes	95.0 ±8.1	47.5
3. Reinforcement exercise (Training with sit-ups and the back, etc.)	15 minutes	108.6 ±10.1	54.3
4. Practice of the basic technique in a fixed position			
(1) Technical ballet technique practice	15 minutes	112.5 ±10.4	56.3
(2) Technical modern dance practice	8 minutes	149.9 ±11.5	75.0
(3) Technical jazz dance practice	8 minutes	126.2 ±10.1	63.1
(4) Technical hip-hop dance practice	8 minutes	134.3 ±11.3	67.1
5. Technical practice with displacement (Displacement distance: 18 m)			
(1) Walking to the forwards and backwards while performing certain step movements			
(2) Walking with movements which tense and relax the body			
(3) Walking with the turn movements	24 minutes	150.1 ±9.5	75.1
(4) Walking with wave- and snake-like motion			
(5) Running with jump movements			
(6) Running with curvilinear motions			
6. The creative time	12 minutes	144.5 ±9.8	72.3
7. Cooling down	5 minutes	117.6 ±9.2	58.8
Total	120 minutes	129.2 ±8.2	64.6

The creative time: the subjects visualized their program mentally and thought about their movements to bring their mental images into practice

The values of %HRmax were calculated at a maximum heart rate of 200 bpm.

を 200bpm とした場合の HRmax は 64.6%であった。

なお、本研究は弘前大学倫理委員会の承認を受け、調査開始以前に調査の目的、内容を被験者に十分に説明し、全対象者より書面で同意を得たうえで実施した。

(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。

(3) 血液生化学検査値の測定方法

15ml の採血は各調査日の 2 時間練習前後に実施した。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、リンパ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、その分析に用いた。

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、リンパ球数を測定した。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ために 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血清 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。血清 SOD 活性は NBT 還元法にて測定した。

さらに、練習後のこれらの値は練習前後の体重及び Hct、Hb の変化から脱水の影響を受けていることが明らかとなったことから、練習前後の Hct 及び Hb を用いた Plasma volume 法による脱水補正を行なった²⁶⁾。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。

(4) 好中球機能の測定方法

好中球の ROS 産生能 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; 44.4µmol/L, Polyscience Inc., Warrington, PA, USA) を用いて、貪食能は蛍光色素 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 100µl に HE22µl を加えた (最終濃度 8µmol/L) 後 37°C で 5 分間インキュベートを行った。貪食能測定用のサンプルにはさらに FITC-OZ 25µl 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

Table 4. Changes in serum myogenic enzymes during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)			The dancing period (2012 Aug. 4)	
AST(IU/l)					
Pre	17.3	± 2.6		22.3	± 3.7
Post ^a	19.5	± 2.0	**	25.2	± 4.3
Change ratio (%)	13.6	± 13.4		13.5	± 8.1
ALT(IU/l)					
Pre	11.3	± 2.8		14.2	± 3.1
Post ^a	11.8	± 2.6	**	15.6	± 3.2
Change ratio (%)	6.2	± 13.4		10.4	± 7.9
CK(IU/l)					
Pre	124.3	± 33.6		295.5	± 117.3
Post ^a	165.1	± 38.4	**	350.0	± 134.4
Change ratio (%)	37.2	± 32.1		19.3	± 8.8
LDH(IU/l)					
Pre	210.8	± 25.0		242.1	± 38.0
Post ^a	224.4	± 27.6	*	265.7	± 40.6
Change ratio (%)	7.0	± 13.0		10.0	± 5.3

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

a: Values after the training were adjusted for dehydration by plasma volume.

Change ratio= (pre-value - post-value)/the pre-value*100.

*: p<0.05, **: p<0.01, Significant different from the pre-value.

†: p<0.05, ††: p<0.01, Significant difference from the value of the creation period.

産生能に関しては FITC-OZ を添加していない HE 標識全血 100μl 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 30μl (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^{27,28)}。

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。なお、本研究では FI による好中球 1 個当りの ROS 産生能、PA を好中球機能として評価した。

(5) リンパ球機能の測定方法

① 6 カラー法

BD Multitest 6-color TBNK reagent(CD3-FITC/ CD16-PE+CD56-PE/CD45-PerCPCy5.5/CD4PE-Cy7/ CD19-APC/CD8-APC-Cy7) (BD Biosciences) によりリンパ球細胞表面抗原の分析ならびに T 細胞、T 細胞サブセット、B 細胞及び natural killer (NK) 細胞の測定をおこなった。

6 カラー法による測定手順は、まず 20-25℃ に戻した

試薬を試験管に 20μl 加えた。この試験管に抗凝固された全血 50μl を分注し、穏やかに攪拌した。その後、室温(15~25℃)暗所で 15 分間インキュベートした。次に 20-25℃ に暖めた 10 倍希釈した FACS Lysing Solution (BD Biosciences, San Jose, CA, USA) 450μl を加え、穏やかに攪拌した。その後、これを室温 (15~25℃) 暗所で 15 分間インキュベートした。なお、サンプルは通常インキュベート後直ぐにフローサイトメーターにより測定するが、本調査では測定室と採血した場所が離れていた為、調整したサンプルは一旦冷蔵 (4℃)、暗所で保管し、24 時間以内に FACSCantoII を用いたフローサイトメトリー法により測定した。また、この方法により T 細胞 (CD3+), B 細胞 (CD19+), T helper (ヘルパー) 細胞 (CD3+CD4+), T cytotoxic (キラー) 細胞 (CD3+CD8+), NK 細胞 (CD3+CD16+CD56+) の 10000 個のリンパ球中の抗原陽性数を測定した。

② 3 カラー法

3 カラー法による手順はまず 20-25℃ に戻した 3 種類の試薬 (Pacific Blue TM Mouse Anti-human CD4, Alexa Fluor®488 Mouse Anti-Human CD183 (CXCR3), PE Mouse Anti-Human CCR4) (BD Biosciences, San Jose, CA, USA) を各々 5μl 試験管に加えた。これに続き、この試験管に抗凝固された全血 100μl を分注し、穏やかに攪拌した。また、これを室温 (15~25℃) 暗所で 30 分間インキュベートした。一方、コントロールとして 20-

Table 5. Changes in blood leukocytes, neutrophils and lymphocytes during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)			The dancing period (2012 Aug. 4)		
Blood leukocyte cell counts (/μl)						
Pre	5367	± 1397		5113	± 962	
Post ^a	6284	± 1602	**	5512	± 1099	*
Change ratio (%)	18.8	± 19.4		8.4	± 14.6	
Blood neutrophil cell counts (/μl)						
Pre	3277	± 1414		2800	± 912	†
Post ^a	4028	± 1743	*	3363	± 1027	**
Change ratio (%)	28.1	± 34.2		22.9	± 26.8	
Blood lymphocyte cell counts (/μl)						
Pre	1681	± 340		1869	± 449	
Post ^a	1855	± 484		1840	± 450	
Change ratio (%)	10.7	± 20.7		-3.1	± 20.1	†

Subjects were 15 female dancers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

a: Values after the training were adjusted for dehydration by plasma volume.

Change ratio= (pre-value - post-value)/the pre-value*100.

*: p<0.05, **: p<0.01, Significant different from the pre-value.

†: p<0.05, Significant difference from the value of the creation period.

25℃に戻した Alexa Fluor®488 Mouse IgG1 K Isotype control 5μl と PE Mouse IgG1 K Isotype control 20μl (共に BD Bioscience) を試験管に加えた。この試験管に抗凝固された全血 100μl を分注し、穏やかに攪拌した。また、これを室温(15~25℃)暗所で 30 分間インキュベートした。この両方の試験管に 20-25℃に暖めた 10 倍希釈した FACS Lysing Solution (BD Biosciences) 450μl を加え、穏やかに攪拌した。また、これを室温(15~25℃)暗所で 15 分間インキュベートした。その後、遠心分離 (2000rpm, 5 分) し、およそ 50μl を残して上清を吸引した。これに 0.1% アジ化ナトリウム含 PBS を 2ml 加え、沈殿を再懸濁した。次に、これを穏やかに攪拌した後、遠心分離 (2000rpm, 5 分) して上清を除去した。さらに、これに 5% パラホルムアルデヒド溶液 50μl を加えて攪拌し、固定した。調整したサンプルは 6 カラー法と同様の理由から、一旦、冷蔵 (4℃)、暗所で保管し、24 時間以内に FACSCantoII を用いたフローサイトメトリー法により測定した。なお、この方法により T helper 1 (Th1) 細胞 (CD4+CD183+)、T helper 2 (Th2) 細胞 (CD4+CCR4+) のリンパ球 5000 個中の抗原陽性数を測定した。

(6) 統計解析

結果は、すべて平均値±標準偏差で示した。また、各調査時の 2 時間練習前後の平均値の差は Wilcoxon t-test、各調査間の平均値の差は One-Way Repeated-Measures ANOVA 及び Bonferroni 法を用い統計学的検討を行なった。また、これら平均値の差は p<0.05 をも

って統計学的に有意差ありとした。

結果

Table 1 に調査期間中の身体組成値の変化を示した。創作期、修練期共に 2 時間練習後の体重は、2 時間練習前値に比べて有意に低下した (ともに p<0.01)。体重、体脂肪率は創作期に比べ修練期で有意に低下した (各々 p<0.01, p<0.05)。

Table 4 は調査期間中の筋逸脱酵素値の変化を示している。創作期及び修練期の全ての筋逸脱酵素値は、2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に上昇した (創作期の LDH のみ p<0.05、その他はすべて p<0.01)。また、修練期における 2 時間練習前のすべての筋逸脱酵素値は、創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に上昇した (すべて p<0.01)。

Table5 は調査期間中の白血球数、好中球数、リンパ球数の変化を示している。創作期及び修練期の白血球数は、2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後に有意に上昇した (白血球数は各々 p<0.01, p<0.05、好中球数は各々 p<0.05, p<0.01)。修練期の 2 時間練習前の好中球数は、創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に低下した (p<0.05)。修練期のリンパ球数の変化率は、創作期の値に比べ有意に低下した (p<0.05)。

Table6 は調査期間中の免疫グロブリン、補体の変化を示している。修練期の IgG は、2 時間練習で有意に上昇した (p<0.05)。修練期の 2 時間練習前の IgA、IgM、C3 が創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に低下した

Table 6. Changes in serum immunoglobulins and complements during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)	The dancing period (2012 Aug. 4)	
IgG (mg/dl)			
Pre	1100 ± 131	1075 ± 126	
Post ^a	1128 ± 173	1110 ± 153	*
Change ratio (%)	2.5 ± 8.3	3.0 ± 3.8	
IgA (mg/dl)			
Pre	165.9 ± 46.3	156.5 ± 42.8	†
Post ^a	171.3 ± 53.5	159.1 ± 43.1	
Change ratio (%)	6.3 ± 34.2	1.7 ± 3.6	
IgM (mg/dl)			
Pre	156.9 ± 46.4	146.9 ± 40.3	†
Post ^a	161.5 ± 45.9	148.6 ± 41.3	
Change ratio (%)	4.5 ± 18.2	1.2 ± 4.3	
C3 (mg/dl)			
Pre	91.4 ± 17.2	82.9 ± 12.9	†
Post ^a	89.2 ± 18.5	84.6 ± 14.4	
Change ratio (%)	-2.4 ± 9.1	1.9 ± 5.3	
C4 (mg/dl)			
Pre	19.5 ± 5.2	18.9 ± 4.7	
Post ^a	19.7 ± 5.1	19.3 ± 4.9	
Change ratio (%)	2.0 ± 11.5	1.6 ± 4.8	

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

a: Values after the training were adjusted for dehydration by plasma volume.

Change ratio=(pre-value - post-value)/the pre-value*100.

*: p<0.05, Significant different from the pre-value.

†: p<0.05, Significant difference from the value of the creation period.

(すべて p<0.05)。

Table 7 は、調査期間中の好中球機能、血清 SOD 活性の変化を示している。創作期の PA は、2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に低下した (p<0.01)。修練期の PA は 2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に上昇した (p<0.01)。創作期及び修練期の血清 SOD 活性は、2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に低下した (ともに p<0.05)。修練期の 2 時間練習前の ROS、

PA は、創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に上昇した (各々 p<0.05、p<0.01)。ROS の変化率は、創作期の値に比べ有意に低下した (p<0.05)。修練期の 2 時間練習前の血清 SOD 活性は、創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に低下した (p<0.05)。

Table 8 は、調査期間中のリンパ球機能の変化を示している。創作期の T 細胞数、キラー T 細胞数、Th1 細胞数、Th2 細胞数、B 細胞数は、2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に上昇した (各々 p<0.01、p<0.05、p<0.01、p<0.05、p<0.05)。ヘルパー T 細胞は有意に低下した (p<0.01)。修練期では NK 細胞数のみが 2 時間練習前値に比べ 2 時間練習後有意に上昇した (p<0.05)。修練期の 2 時間練習前の T 細胞数、キラー T 細胞数、Th1 細胞数、B 細胞数は創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に上昇した (各々 p<0.05、p<0.01、p<0.05、p<0.01)。

修練期の 2 時間練習前のヘルパー T 細胞数、Th2 細胞数は創作期の 2 時間練習前値に比べ有意に低下した (ともに p<0.01)。修練期の T 細胞数、キラー T 細胞数、ヘルパー T 細胞数、Th1 細胞数、B 細胞数の変化率は、創作期の値に比べ有意に低下した (各々 p<0.01、p<0.01、p<0.01、p<0.05、p<0.01)。

考察

本結果ではいずれの調査時においても 2 時間練習後体重が有意に減少し、本対象者で運動実施に伴い発汗が亢進し、体水分が消失したことが示唆された²⁹⁾。また、修練期に体重、体脂肪率が有意に減少したことは、創作期から移行期を経て修練期に至る過程で身体活動量が増加することによるものと考えられた³⁰⁾。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、損傷や、筋膜透過性の亢進により血中に湧出し、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^{31,32)}。この性質を利用して、筋逸脱酵素値を観察することで、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の把握が行われている^{31,32)}。すなわち、本結果で両調査時の練習後に筋逸脱酵素値の上昇が観察されたことは、創作期、修練期ともに本対象者によ

Table7. Changes in ROS production, PA and serum SOD activity during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)			The dancing period (2012 Aug. 4)		
ROS production per cell (FI)						
Pre	1287	± 239		1604	± 468	†
Post	1399	± 421		1427	± 305	
Change ratio (%)	11.4	± 38.5		-7.3	± 20.6	†
PA per cell (FI)						
Pre	6007	± 1100		6957	± 1563	††
Post	5392	± 507	**	8725	± 2109	**
Change ratio (%)	-8.6	± 11.6		27.4	± 21.5	††
Serum SOD (%)						
Pre	10.9	± 1.3		9.9	± 1.2	†
Post ^a	9.9	± 1.4	*	8.5	± 1.5	*
Change ratio (%)	-1.0	± 1.6		-1.4	± 1.6	

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

ROS production: reactive oxygen species production in neutrophils.

PA: phagocytic activity in neutrophils.

FI: fluorescence intensity.

SOD: Superoxide dismutase.

Change ratio= (pre-value - post-value)/the pre-value*100.

*: p<0.05, **: p<0.01, Significant different from the pre-value.

†: p<0.05, ††: p<0.01, Significant difference from the value of the creation period.

り実施された 2 時間のダンストレーニングが筋組織を変性、損傷させるレベルの運動強度であったことを示唆していた。また、修練期の 2 時間練習前の筋逸脱酵素値が創作期のものに比べ上昇したことは、創作期以降の身体活動量の増加とその繰り返し、本対象者に慢性的筋疲労を発現、蓄積させていたことを示唆していた。

ROS の 2 時間練習後の変化は、創作期で上昇し、鍛錬期で低下していた (いずれも有意差なし)。修練期の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、リンパ球であるといわれている³³⁾。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³⁴⁾。また、好中球はこの過程でオプソニン化された異物を ROS 産生することにより処理する。しかし一方、この ROS が過剰に生成された場合、正常な細胞までも傷害 (酸化組織傷害) する可能性も示唆されている^{35,36)}。一方、リンパ球は抗体 (免疫グロブリン) などを使ってあらゆる異物に対して攻撃を行うが、特にウイルスなどの小さな異物や腫瘍細胞に対しては、好中球 (顆粒球) ではなくリンパ球が中心となって対応する。また、異物に対する生体防御反応は自然免疫に位置づけられる好中球が一次的に働き、獲得免疫に位置づけられるリンパ球が二次的に作用するといわれている³³⁾。さらに、リンパ球は大きくは T 細胞、B 細胞、NK 細胞の 3 つに分類さ

れ、T 細胞はさらに幾つかのサブセットに分類される。このうち NK 細胞だけは自然免疫細胞と位置付けられ、ウイルスに感染した細胞や腫瘍細胞表面上マーカーを認識して攻撃する。また、免疫応答の調節や感染細胞の破壊を行う T 細胞は、主に免疫の調節機能を有するヘルパー T 細胞と、ウイルス感染細胞などを排除する機能を有するキラー T 細胞に区分される。さらに、ヘルパー T 細胞は炎症性サイトカインを分泌する Th1 と、抗体産生誘導に関与するサイトカインを分泌する Th2 に分類される。一方、B 細胞は抗原刺激により活性化され幼若化-増殖-成熟し、抗原と対応する抗体 (免疫グロブリン) 産生を行う。また、白血球や好中球、リンパ球の血中動態には幾つかの炎症性サイトカインやカテコールアミンやコルチゾールなどのストレスホルモンが深く関与していることが示唆されている^{33,37,38)}。

運動と好中球、リンパ球との関連を調査した研究では、アスリートが長期的に高強度運動を実施しオーバートレーニング症候群を発症した場合、白血球数、リンパ球数が減少することが報告されている³⁹⁾。また、長期的な高強度トレーニングが好中球数だけでなく好中球機能そのものを抑制することが示唆されている^{24,39-41)}。一方、長期的トレーニングとリンパ球機能の関連を調べた研究は、リンパ球の活性化及び増殖が高強度の長期的トレーニングにより惹起されるとする報告も³⁹⁾ あるが、変化しない⁴¹⁾、あるいは低下するという報告もみられ⁴²⁾、必ずしも一致した見解は得られていない。さらに、長期的トレーニングによる好中球

Table 8. Changes in subpopulations of lymphocytes during the study period.

	The creation period (2012 Jun. 30)			The dancing period (2012 Aug. 4)		
T cell (CD3+) ^b						
Pre	1239	±	270	1423	±	376
Post	1478	±	362	1362	±	359
Change ratio (%)	19.8	±	20.3	-1.6	±	24.4
Killer T cell (CD3+CD8+) ^b						
Pre	690.1	±	168.7	828.5	±	269
Post	818.1	±	238.7	752.4	±	207
Change ratio (%)	20.4	±	31.7	-5.5	±	25.5
Helper T cell (CD3+CD4+) ^b						
Pre	443.3	±	91.7	247.0	±	124.4
Post	229.7	±	108.6	234.6	±	121.2
Change ratio (%)	-19.0	±	22.1	-0.1	±	23.5
Th1 cell (CD4+CD183+) ^c						
Pre	264.0	±	92.0	321.6	±	76.9
Post	355.7	±	131.9	358.8	±	111
Change ratio (%)	38.9	±	41.7	11.9	±	23.6
Th2 cell (CD4+CCR4+) ^c						
Pre	300.7	±	73.5	247.7	±	50.3
Post	346.4	±	81.9	279.9	±	67.1
Change ratio (%)	17.3	±	22.7	14.8	±	25.3
B cell (CD19+) ^b						
Pre	192.9	±	91.7	247.0	±	124.4
Post	229.7	±	108.6	234.6	±	121.2
Change ratio (%)	22.6	±	26.3	-2.7	±	24.1
NK cell (CD3+CD16+CD56+) ^b						
Pre	224.3	±	126.5	173.0	±	93.4
Post	215.2	±	62.9	220.6	±	103.2
Change ratio (%)	-11.9	±	37.2	41.2	±	58.4

Values are shown as the mean ± standard deviation.

Pre: pre-training. Post: post-training.

b: For phenotypical analyses per 10000 lymphocytes.

c: For phenotypical analyses per 5000 lymphocytes.

Change ratio= (pre-value - post-value)/the pre-value*100.

*: p<0.05, **: p<0.01, Significant different from the pre-value.

†: p<0.05, ††: p<0.01, Significant difference from the value of the creation period.

数やリンパ球数の減少やこれらの機能低下は、長期的な激しい運動がアドレナリンやノルアドレナリン等のカテコールアミンの分泌を低下させることが影響している可能性があると考えられている^{43,44)}。また、これに加え、長期的な高強度トレーニングがオーバートレーニング症候群を発症させ、ストレスホルモンの一つであるコルチゾールを上昇させ、これらの血液循環量や機能を低下させる要因となる可能性も報告されている⁴⁵⁾。

一方、前述したように我々はこれまで様々な運動実施条件下における ROS 産生能などの好中球機能の動態を調査し、その特徴を検討してきた。その結果、負荷される運動強度が好中球機能の許容範囲にある場合には、運動後に ROS 産生能が上昇し(通常パターン)、運動負荷がその許容範囲を超える場合には ROS 産生

能が低下すること(非通常パターン)を指摘した。さらに、負荷される運動負荷が好中球機能の許容範囲のものであっても、身体的疲労の出現が顕著な場合、ROS 産生能、食食能がともに低下する非通常パターンを示す場合もある^{17-25,46-50)}。

本結果では創作期及び修練期の 2 時間練習後に白血球数、好中球数ともに上昇する傾向が示された。すなわち、この結果は本対象者において 2 時間練習後、運動由来あるは筋の変性、損傷由来のストレス反応、炎症反応が亢進したことを示唆していた。一方、修練期の 2 時間練習前の好中球数が低下を示したことは、創作期から修練期までの間に身体活動強度及びその量の増加が、修練期の本対象者にオーバートレーニング症候群を発症させ、カテコールアミンの分泌低下やコルチゾール分泌の亢進を惹起した影響であると考えられ

た。また、創作期に比して修練期で全体のリンパ球の変化率が低下したことは、運動負荷に対するリンパ球の血液循環に関する反応がオーバートレーニング症候群の発症により抑制した可能性を示唆していた。

運動負荷に対する好中球機能の反応をみると、有意差はないものの創作期で ROS 産生能が上昇し (通常パターンに近い)、修練期で低下していた (非通常パターンに近い)。これは、修練期の生体負担の相対的大きさを表している可能性がある。

リンパ球機能に関して本結果をみると、創作期の 2 時間練習後に T 細胞数、キラー T 細胞数、Th1 細胞数、Th2 細胞数、B 細胞数が有意に上昇したのに対して、修練期ではこれが認められなかった。また、修練期の T 細胞数、キラー T 細胞数、ヘルパー T 細胞数、Th1 細胞数、B 細胞数の変化率は、創作期の値に比べ有意に低下した。修練期におけるこのような所見がどのような意味を持つのか不明であるが、創作期より明らかに運動負荷の多いこの時期のこのような変化がみられたことは、修練期に運動負荷に対するリンパ球機能の反応が低下したことを示唆していた。

免疫グロブリン、補体は免疫を担当する重要な血液成分であり、白血球や好中球と同様に、運動そのものに対するストレス反応や、運動により生じる筋組織の変性、損傷に対応する炎症反応を担う働きを有している^{33,37)}。また、これらの体内での活性化は各種ストレスホルモンや炎症性サイトカインが関与していることが明らかとなっている^{33,37)}。一方、これらの運動との関連はいまだ一致した見解が得られておらず、運動により上昇あるいは低下、変化しない等の報告がみられる⁵¹⁻⁵⁵⁾。本結果では、IgG においてのみ修練期の運動後に有意な上昇が観察された。また、有意ではないが、他の免疫グロブリン、補体も調査時の 2 時間練習後に一様に上昇する傾向を示した。すなわち、これらの結果は運動実施由来のストレス反応、炎症反応の亢進がこれらを活性化させた可能性を示唆していた。一方、修練期の 2 時間練習前の IgA、IgM、C3 が創作期より有意に低下したことは、好中球やリンパ球機能の結果同様、修練期における炎症・ストレス反応としての免疫グロブリン、補体の予備力の低下を示していた。

血中に存在する SOD は ROS に対するスカベンジャー機能を有し、体内で ROS が過剰に産生された場合、サイトカインなどを介して ROS に反応し、これを消去する^{56,57)}。また、ROS 産生により生じる酸化ストレスは SOD を初めとする抗酸化物質の働きにより還元、抑制される。一方、一過性の運動により ROS 産生が亢進し、これに対する抗酸化反応として血清 SOD 活性が上昇することも明らかにされている^{58,59)}。また、長期的なトレーニングと SOD 活性の関連を調査した研

究は、長期的な有酸素運動の継続が血清 SOD 活性を上昇させると報告している⁵⁶⁾。しかし一方、我々は 5 日間の強化合宿を行った大学サッカー選手で、合宿後血清 SOD 活性が低下することを報告している。また、これが合宿中の高強度トレーニングにより高度に活性化し、この繰り返しにより血清 SOD が消耗、低下した可能性を示唆した⁶⁰⁾。本結果では、安静時の血清 SOD 活性を示す 2 時間練習前値が創作期に比べ修練期で有意に低下していたが、この現象が“消耗理論”に拠っていた可能性がある。

以上より、テーパリング期が設定されず、創作期、修練期＝強化のみによって構成されたピリオダイゼーションは、本対象者にとって筋疲労及び免疫学的観点から不適切なものであったと考えられた。すなわち、本結果では創作期から修練期にかけてトレーニング強度、時間増大し、これが本対象者に慢性的筋疲労の発現、蓄積と好中球機能及びリンパ球機能、抗酸化機能の抑制をもたらしていたことを示唆していた。一方、本対象者はこのような身体コンディションのなか本調査終了 4 日後まで同様のトレーニングを行い、コンクール前日にコンクール開催地に移動し、翌日コンクールに参加した。すなわち、このスケジュールは本対象者が調査終了時に発現していた慢性疲労を回復することなく、コンクールに臨んだことを示唆している。

一方、前述のようにダンサーにおける研究領域において強化だけでなく、テーパリングを含む適切なピリオダイゼーションを計画、実行すべきであることが指摘されている¹²⁾。しかしながら、ダンスの実践現場ではトレーニングスケジュール等の様々な制約や、舞台やコンクールまでのパフォーマンスの維持の観点から、テーパリング期をピリオダイゼーションに設定できない、あるいはあえて設定しない傾向がみられる。本対象者が所属するダンス部も、これまでピリオダイゼーションにピーキング期を設定してこなかった。したがって、我々は今後、本結果を踏まえダンサーにおけるテーパリングの重要性を指導者に普及、周知させていく必要がある。

最後に本研究で修練期に観察された好中球機能及びリンパ球機能、抗酸化機能の抑制は、前述したようにオーバートレーニング症候群の一部、あるいはこれに起因して発現した兆候であると考えられる。したがって、これらがオーバートレーニング症候群の発症に起因していたことを明らかにするためには、その指標として有効とされるカテコールアミンやコルチゾール等のストレスホルモンの発現状況も把握するべきであると考えている。(受稿 2013/11/7 受理 2013/12/13)

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費助成事業（課題番号：25670292）の助成を受け実施した。

文献

- 1) Dolgener FA, Spasoff TC, St John WE: Body build and body composition of high ability female dancers. *Res Q Exerc Sport* 1980;51:599-607.
- 2) Dahlström M, Esbjörnsson M, Jansson E, Kaijser L: Muscle fiber characteristics in female dancers during an active and an inactive period. *Int J Sports Med* 1987;8:84-7.
- 3) Novak LP, Magill LA, Schutte JE: Maximal oxygen intake and body composition of female dancers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1978;39:277-82.
- 4) Cohen JL, Segal KR, Witriol I, McArdle WD: Cardiorespiratory responses to ballet exercise and the VO₂max of elite ballet dancers. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:212-7.
- 5) Jetté M, Inglis H: Energy cost of square dancing. *J Appl Physiol* 1975;38:44-5.
- 6) Koutedakis Y, Jamurtas A: The dancer as a performing athlete: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34:651-61.
- 7) Mahlamäki E, Mahlamäki S: Iron deficiency in adolescent female dancers. *Br J Sports Med* 1988;22:55-6.
- 8) Werber B: Dance medicine of the foot and ankle: a review. *Clin Podiatr Med Surg* 2011;28:137-54.
- 9) Gottschlich LM, Young CC: Spine injuries in dancers. *Curr Sports Med Rep* 2011;10:40-4.
- 10) Ryan AJ: Early History of Dance Medicine. *J Dance Med Sci* 1997; 1:30-4.
- 11) Issurin VB: New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 2010;40:189-206.
- 12) Wyon M: Preparing to perform: periodization and dance. *J Dance Med Sci* 2010;14:67-72.
- 13) Shinkai S, Konish M, Shephard RJ: Aging, exercise, training, and the immune system. *Exerc Immunol Rev* 1997;3:68-95.
- 14) Nieman DC: Exercise immunology: future directions for research related to athletes, nutrition, and the elderly. *Int J Sports Med* 2000;21 Suppl 1:61-6.
- 15) Nieman DC, Pedersen BK: Exercise and immune function. Recent developments. *Sports Med* 1999;27:73-80.
- 16) König D, Wagner KH, Elmadfa I, Berg A: Exercise and oxidative stress: significance of antioxidants with reference to inflammatory, muscular, and systemic stress. *Exerc Immunol Rev* 2001;7:108-33.
- 17) 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.
- 18) Umeda T, Yamai K, Takahashi I, Yamamoto Y, Tanabe M, Kojima A, Katagiri T, et al: The effects of a two-hour judo training session on the neutrophil immune functions in university judoists. *Luminescence* 2008;23: 49-53.
- 19) 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.
- 20) Kojima A, Umeda T, Saito K, Ookubo Y, Sato J, Matsuzaka M, Yaegaki M, et al: Effects of 2.5 hour sumo training on serum opsonic activity. *Luminescence* 2009;24: 224-9.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) Takahashi I, Umeda T, Mashiko T, Chinda D, Oyama T, Sugawara K, Nakaji S: Effects rugby sevens matches on human neutrophil-related non-specific immunity. *Br J Sports Med* 2007; 41:13-8.
- 24) Suda Y, Umeda T, Watanebe 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.
- 25) 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.
- 26) Elkinton JR, Danowski TS, Winkler AW: Hemodynamic changes in salt depletion and in dehydration. *J Clin Invest* 1946;25:120-9.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC Jr, Sherman WM: American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28:i-vii.
- 30) Durstine JL, Grandjean PW, Davis PG, Ferguson MA, Alderson NL, DuBose KD: Blood lipid and lipoprotein adaptations to exercise: a quantitative analysis. *Sports Med* 2001;31(15):1033-62.
- 31) Flynn MG, Pizza FX, Boone Jr JB, 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.
- 32) Koutedakis Y, Raafat A, Sharp, 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.
- 33) Pedersen BK, Nielsen HB: Acute exercise and immune system. Pedersen BK, ed. *Exercise and immunology*. New York: Springer 1997:5-38.
- 34) 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.
- 35) Pyne DB: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 1994;26:49-58.
- 36) 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.
- 37) Pedersen BK, Rohde T, Bruunsgaard H: Exercise and cytokines. Pedersen BK, ed. *Exercise and immunology*. New York: Springer 1997:89-111.
- 38) Pedersen BK, Kappel M, Klokke M: Possible role of stress hormones in exercise-induced immune-modulation. Pedersen BK, ed. *Exercise and immunology*. New York: Springer 1997:39-60.
- 39) MacKinnon LT: Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol* 2000;78:502-9.
- 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) Baj Z, Kantorski J, Majewska E, Zeman K, Pokoca L, Fornalczyk E, Tchórzewski H, et al: Immunological status of competitive cyclists before and after the training season. *Int J Sports Med* 1994;15:319-24.
- 42) Tvede N, Steensberg J, Baslund B, Halkjaer-Kristensen J, Pedersen BK: Cellular immunity in highly trained elite racing cyclists during periods of training with high and low intensity. *Scand J Med Sci Sports* 1991;1:163-6.
- 43) Lehmann M, Schnee W, Scheu R, Stockhausen W, Bachl N: Decreased nocturnal catecholamine excretion: parameter for an overtraining syndrome in athletes? *Int J Sports Med* 1992;13:236-42.
- 44) Schaller K, Mechau D, Scharmann HG, Weiss M, Baum M, Liesen H: Increased training load and the beta-adrenergic-receptor system on human lymphocytes. *J Appl Physiol* 1999;87:317-24.
- 45) Peijie C, Hongwu L, Fengpeng X, Jie R, Jie Z: Heavy load exercise induced dysfunction of immunity and neuroendocrine responses in rats. *Life Sci* 2003;72:2255-62.
- 46) 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.
- 47) Yaegaki M, Umeda T, Takahashi I, Matsuzaka M, Sugawara N, Shimaya S, Tanabe M, et al: Change in the capability of reactive oxygen species production by neutrophils following weight reduction in female judoists. *Br J Sports Med* 2007;41:322-7.
- 48) 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.
- 49) 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 Sport Sci* 2008;26:897-904.
- 50) 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* 2007.1-2;22:20-8.

- 51) Mackinnon LT, Jenkins DG: Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:678-83.
- 52) Nieman DC1, Tan SA, Lee JW, Berk LS: Complement and immunoglobulin levels in athletes and sedentary controls. *Int J Sports Med* 1989; 10:124-8.
- 53) Dufaux B, Order U, Liesen H: Effect of a short maximal physical exercise coagulation, fibrinolysis, and complement system. *Int J Sports Med* 1991;12:S38-42.
- 54) Thomsen BS1, 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 C3s are not changed by short-term physical exercise or training. *Int J Sports Med* 1992;13:172-5.
- 55) Dufaux B, Order U: Complement activation after prolonged exercise. *Clinica Chimica Acta* 1989;179:45-50.
- 56) Powers SK, Ji LL, Leeuwenburgh C: Exercise training-induced alterations in skeletal muscle antioxidant capacity: a brief review. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:987-97.
- 57) Ji LL: Antioxidant enzyme response to exercise and aging. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:225-31.
- 58) Buczynski A, Kedziora J, Tkaczewski W, Wachowicz B: Effect of submaximal physical exercise on antioxidative protection of human blood platelets. *Int J Sports Med* 1991;12:52-4.
- 59) Mena P, Maynar M, Gutierrez JM, Maynar J, Timon J, Campillo JE: Erythrocyte free radical scavenger enzymes in bicycle professional racers. Adaptation to training. *Int J Sports Med* 1991;12:563-6.
- 60) Ueno Y, Umeda T, Takahashi I, Iwane K, Okubo N, Kuroiwa J, Miyazawa M, Osato R, et al: Changes in immune functions during a peaking period in male university soccer players. *Luminescence* 2013;28:574-81.

Physical Condition in Periodization for 40 Days in Female Athletic Dancers

Ritsuko KASAI^{1,2}, Takashi UMEDA³, Ippei TAKAHASHI¹, Hidemasa TOKUYASU^{1,4},
Takeharu CHISHAKI⁵, Manabu TOTSUKA⁶, Miyako TAKANO^{1,7}, Erika MIZOGUCHI^{1,2},
Hiroshi YAMAMOTO^{1,2}, Kyoko SEO², Shigeyuki NAKAJI¹

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

2 Nippon Sport Science University

3 Meijo University

4 Tokyo Ariake University of Medical and Health Sciences

5 Matsuyama University

6 Department of Health and Physical Education, Faculty of Education, Hirosaki University

7 Mukogawa Women's University

In order to assess the appropriateness of 40 days periodization for university female athletic dancers, the changes in muscle fatigue and immune function were investigated in each training phase. The subjects were 15 university student athletic dancers who trained for 40 days to participate in the 25th All Japan Dance Festival including the creation period and the dancing period. All subjects performed dance training of 2 hours in each periodization, and measured the following items before and after the session: neutrophil and lymphocyte counts, immunoglobulins, complements, myogenic enzymes, neutrophil function including reactive oxygen species (ROS) production capability and phagocytic capacity (PA), and the lymphocyte subpopulation. As for the pre 2-hour training session values, all myogenic enzymes were significantly higher in the dancing period than in the creation period (all $p < 0.01$), and neutrophil counts, IgA, IgM, and C3 were significantly lower in the dancing period than in the creation period. In the case of neutrophil function, although the normal pattern (ROS increase and PA decrease associated with the 2-hour training session) was shown in the creation period, an abnormal pattern (ROS decrease with PA increase) was shown in the dancing period. The serum SOD activity before practice was significantly lower in the dancing period than in the creation period. The change rate of T-cell and B-cell counts with the 2-hour training were smaller in the dancing period than in the creation period. This periodization program was therefore considered to have been unsuitable from the muscle fatigue and immunological viewpoint. A tapering period is required after the dancing period.

Keywords: dance, periodization, neutrophil function, lymphocyte

別刷請求先：笠井里津子

〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1

日本体育大学

TEL: +81-03-5706-1092

E-mail: kasai_r@nittai.ac.jp