【原 著】

運動による自覚的疲労度とストレスホルモン・サイトカインとの関連性

Relationship Between Subjective Fatigue by Exercise and Stress Hormone and Cytokine Variables

石渡智子¹, 森藤雅史², 石島寿道², 青山友子², 菅間 薫³,
神田和江³, 鈴木克彦^{4,*}, 樋口 満⁴

Tomoko ISHIWATA¹, Masashi MORIFUJI², Toshimichi ISHIJIMA², Tomoko AOYAMA²,
Kaoru SUGAMA³, Kazue KANDA³, Katsuhiko SUZUKI^{4,*}, Mitsuru HIGUCHI⁴

¹ 早稲田大学人間科学部

² 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

³ 東京農工大学・早稲田大学大学院共同先進健康科学専攻

⁴ 早稲田大学大学院スポーツ科学学術院

【要 旨】

激運動を実験モデルとして、運動によって生じる自覚的な疲労度と、血中ストレスホルモンおよびサイトカインとの関連性を検討した。対象は運動経験のある健康な男性8名とした。実験では激運動と2時間の休息後にパフォーマンステストを実施した。運動前、運動直後、2時間の休息後、パフォーマンステスト後に計4回採血を実施した。自覚的疲労度の指標として、visual analogue scale (VAS) を測定した。VASは、激運動後、パフォーマンステスト後ともに有意に上昇し、運動による疲労度を捉えていた。血液検査では、乳酸、アドレナリン、ノルアドレナリン、成長ホルモン、interleukin (IL)-6, IL-8が、各運動後に有意に上昇し、運動による生体反応を捉えていた。自覚的疲労度との関連では、乳酸、IL-6に有意な正の相関を認め、激運動による運動モデルにおいて、乳酸、IL-6が客観的な疲労の指標になりうる可能性が示唆された。

【キーワード】

疲労, 運動, ストレスホルモン, サイトカイン

はじめに

筋グリコーゲンの著しい減少が引き起こされるような高強度かつ長時間の持久性運動を行うと、疲労感を自覚する。疲労は、身体的あるいは精神的負荷を連続して与えられたときにみられることから、一時的な身体的および精神的パフォーマンスの低下現象と定義することができ、疲労感・倦怠感は、発熱や痛みとともに、身体のホメオスタシス（恒常性）の乱れを知らせる重要なアラーム信号の一つとされている¹⁾。疲労は、①強制歩行などによる肉体疲労、②拘束や不安による精神的疲労、③暑熱曝露などによる環境疲労、④運動、感染、腫瘍、自己免疫疾患などによる免疫学的疲労に分類できるが、これらはストレスの分類でもあり、疲労とストレスは表裏一体をなすものとも考えられている²⁾。運動による疲労は肉体疲労によるものが大きい、運動時には肉体的な疲労だけではなくさまざまな精神的疲労も加わるため、一般的な疲労はこれらを複合した疲労として発現することが多い。

疲労時に特異的に変化するパラメータはまだ明確になってはいないが、高強度の運動によるIL-6の著しい上

受理日: 2011年7月11日

* 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15 早稲田大学スポーツ科学学術院 Tel: 04-2947-6898 Fax: 04-2947-6898

E-mail: katsu.suzu@waseda.jp

昇³⁻⁵⁾や持久性運動による IL-8 の上昇³⁾など、運動によるサイトカインの変動はさまざまな報告がなされている。また、持久性運動中、ストレスホルモンの濃度も変動することが一般的に知られており、血中乳酸濃度とアドレナリン・ノルアドレナリン濃度は 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動強度を境に運動強度依存的に上昇し、血中乳酸濃度とアドレナリン・ノルアドレナリン濃度は密接に関係していることが知られている⁶⁾。また先行研究においては、このような運動によるストレスホルモンの変化がサイトカインを誘導する可能性も示唆されており⁷⁾、このようなストレスホルモンなどの調整機構の乱れが、疲労とも密接に関連していることが予測される。

運動に対する血液・生化学的応答はさまざまな報告がなされているが、自覚的疲労度と血液・生化学的指標との関連性を検討した研究は少ない。運動による自覚的疲労度と血液・生化学的応答との関連性を検討することは、疲労における評価指標を探る上でも重要であり、今後の疲労に関するメカニズムの解明においても意義があると考えられる。そこで本研究では、運動によって生じる自覚的な疲労度とストレスホルモン・サイトカインとの関連性について検討した。

材料・方法

1. 被験者

本研究は早稲田大学研究倫理委員会の承認を得た上で、運動経験のある健康な成人男性（年齢 22.5 ± 2.2 歳、身長 171.8 ± 6.1 cm、体重 62.6 ± 4.8 kg）8 名を対象とし、実験の目的・内容についての十分な説明を行い、同意が得られた者を被験者とした。

2. 実験の概要

被験者は試験前日より試験実施施設へ入所し、試験責任者の管理下にて指定された食事摂取（総カロリー 2060 kcal、蛋白質 11.4%：脂質 27.1%：炭水化物 61.5%）を行った。試験当日は 6 時 30 分に起床、7 時より試験を開始した。朝食前に問診、生理学的検査、採血を実施した。朝食摂取後、運動開始まで少なくとも 1 時間は安静とし、運動開始 15 分前に安静時採血 (Pre-Ex1)、visual analogue scale (VAS) を実施した。激運動を 70 分間実施し、その直後 (Post-Ex1)、120 分後 (Pre-Ex2) に採血を行った。また、運動直後、30 分後、60 分後、90 分後に VAS を測定した。運動時は、適宜ミネラルウォーターを摂取し、運動直後、30 分後、60 分後、90 分後に糖質飲料 (5% マルトデキストリン溶液 350 ml) を摂取した。120 分間の安静後、パフォーマンステストを実施し、終了直後 (Post-Ex2)、採血と VAS を測定した (図 1)。

図1 実験プロトコル

Pre-Ex1: 運動前, Post-Ex1: 激運動後, Pre-Ex2: パフォーマンステスト前, Post-Ex2: パフォーマンステスト後
VAS: Visual Analogue Scale

3. 運動負荷

試験の1週間以上前に、各被験者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) を測定した。運動負荷では、自転車エルゴメータを用いた激運動による疲労困憊の状態による評価と、その後疲労から回復した状態を持続性運動能力として評価する目的で運動パフォーマンステストを実施した。激運動は、自転車エルゴメータのペダル回転数を 70 回転/分に固定し、68% $\dot{V}O_2\text{max}$ に相当する仕事率 (W) を 8 分間、続いて 88% $\dot{V}O_2\text{max}$ に相当する仕事率 (W) を 2 分間負荷した。この 10 分間の運動負荷を 6 回繰り返す、計 60 分間の間欠運動を実施した後、68% $\dot{V}O_2\text{max}$ に相当する運動を 10 分間行い、運動負荷を終了した。運動パフォーマンステストは、激運動終了後 2 時間の休息を挟み、自転車エルゴメータによる運動負荷を行った。運動パフォーマンステストは、各被験者の 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ で 40 分間漕いだ場合に消費されるエネルギー消費量をできる限り速く消費するタイムトライアルテストを採用した。テスト時には、自転車エルゴメータの負荷設定を回転数依存モードとし、70 回転で漕いだ場合 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当の負荷となるように設定し、回転数が上がれば上がるほど負荷が上昇するものとした。

4. 血液検査

肘静脈より採血を行い、血糖、乳酸、ミオグロビン、アドレナリン、ノルアドレナリン、成長ホルモン、白血球数、白血球像、ヘマトクリット、ヘモグロビンを、外部委託（株式会社エスアールエル、東京）にて測定した。

5. サイトカイン測定

採血後遠心分離にて EDTA 血漿を得た後、 -80°C にて凍結保存した。被験者全員の試験終了後、すべての検体を同時に解凍し、IL-6、IL-1 receptor antagonist (IL-1ra) (R & D Systems, USA)、IL-8、IL-10 (BD Biosciences, USA)、myeloperoxidase (MPO)、calprotectin (Hycult biotechnology, Netherlands) を ELISA 法により測定した。

6. VAS 検査

自覚的な疲労度を測定する指標として VAS を使用し、0 cm (疲れを全く感じない最良の感覚) から 10 cm (何もできないほど疲れきった最悪の感覚) として評価した。

7. 統計処理

統計処理は被験者 8 名について、すべて平均値±標準偏差で表した。統計処理には、一元配置分散分析反復測定で検討し、Bonferroni の基準にて各測定値間の対比較を行った。変数間の関連性については、Pearson の相関係数 (r) を求め、その有意性には無相関の検定を行った。危険率は、すべて 5%未満を有意とした。

結 果

1. 運動による自覚的疲労度の変化

VAS によって測定した疲労度は、激運動後に有意に上昇し ($p<0.01$)、休息後に有意に低下 ($p<0.01$)、パフォーマンステスト後に再度有意に上昇した ($p<0.01$)。激運動とパフォーマンステストでは、どちらも運動後に自覚的疲労度の有意な上昇が認められた (図 2)。

2. 乳酸とミオグロビン

乳酸は、激運動後に有意に上昇し ($p<0.01$)、休息後は有意に低下 ($p<0.01$)、パフォーマンステスト後に再度有意に上昇した ($p<0.01$)。ミオグロビンは、激運動後には有意な上昇はなく、遅れて休息後から有意に上昇した ($p<0.05$) (表 1)。

3. ストレスホルモン

成長ホルモン (GH) は、激運動後に 145 倍上昇し ($p<0.01$)、休息後に有意に低下 ($p<0.01$)、パフォーマンステスト後に再び有意に上昇した ($p<0.05$)。アドレナリンは激運動後に有意な上昇はなく、遅れてパフォーマンステスト後に 70 倍上昇した ($p<0.01$)。ノルアドレナリンは、激運動後に 8 倍上昇した ($p<0.01$) (表 1)。

4. 血中サイトカイン・好中球活性化マーカーの変動

IL-6 は激運動後に 28 倍上昇し ($p<0.01$)、休息後に有意に低下した ($p<0.05$)。パフォーマンステスト後は、運動

Mean±SD (n=8)

$p<0.05$: Pre-Ex1 vs. Post 90 min

$p<0.01$: Pre-Ex1 vs. Post 0 min, 30 min, 60 min, Post-Ex2

Post-Ex1 vs. Post 30 min, 60 min, 90 min, 120 min

Pre-Ex2 vs. Post 0 min, Post 30 min, Post-Ex2

Post-Ex2 vs. Post 30 min, 60 min, 90 min, 120 min

Pre-Ex1: 運動前, Post-Ex1: 激運動後, Pre-Ex2: パフォーマンステスト前, Post-Ex2: パフォーマンステスト後

表 1 運動負荷に伴う各血液データの変動

	Pre-Ex1	Post-Ex1 (0 min)	Pre-Ex2 (120 min)	Post-Ex2	ANOVA
Lactic acid (nmol/l)	1.40±0.52	5.25±1.96**	1.12±0.25 ⁺⁺	4.09±1.95**‡	$p<0.01$
Myoglobin (ng/ml)	31.63±11.64	39.13±11.67	103.1±71.74*	111.63±90.43* ⁺	$p<0.01$
Growth hormone (ng/ml)	0.24±0.21	34.80±13.70**	0.83±0.38 ⁺⁺	15.43±9.32* ⁺⁺⁺	$p<0.01$
Adrenaline (ng/ml)	0.01±0.01	0.23±0.14	0.02±0.01	0.70±0.38* ^{+++‡}	$p<0.01$
Noradrenaline (ng/ml)	0.20±0.06	1.60±0.43**	0.33±0.17 ⁺⁺	1.43±0.41* [‡]	$p<0.01$
IL-6 (pg/ml)	0.30±0.45	8.40±9.95**	1.17±2.04 ⁺	3.77±5.23	$p<0.01$
IL-8 (pg/ml)	3.01±2.03	5.69±1.98**	4.09±2.22 ⁺	6.60±3.02* [‡]	$p<0.01$
IL-10 (pg/ml)	0.45±0.65	1.86±2.17	0.80±0.98	1.82±3.86	n.s
IL-1ra (pg/ml)	22.64±5.19	38.35±13.13	247.83±178.83* ⁺⁺⁺	156.82±87.50*	$p<0.01$
MPO (ng/ml)	0.16±0.03	0.26±0.06**	0.20±0.06 ⁺	0.33±0.08* ^{+++‡}	$p<0.01$
Calprotectin (ng/ml)	0.01±0.01	0.04±0.01**	0.03±0.01**	0.05±0.02* ^{+++‡}	$p<0.01$

Mean±SD (n=8)

*: $p<0.05$ vs. Pre-Ex1 **: $p<0.01$ vs. Pre-Ex1

⁺: $p<0.05$ vs. Post-Ex1 ⁺⁺: $p<0.01$ vs. Post-Ex1

[†]: $p<0.05$ vs. Pre-Ex2 [‡]: $p<0.01$ vs. Pre-Ex2

Pre-Ex1: 運動前, Post-Ex1: 激運動後, Pre-Ex2: パフォーマンステスト前, Post-Ex2: パフォーマンステスト後

前と比較すると13倍上昇したが、各測定ポイント間との有意差は認められなかった。IL-8は激運動後に有意に上昇し ($p<0.01$)、休息後に低下 ($p<0.05$)、パフォーマンステスト後に有意に上昇した ($p<0.01$)。IL-10はIL-8と類似してそれぞれの運動後に上昇したが、各測定ポイント間での有意差は認められなかった。IL-1raは他の3つのサイトカインとは異なり、激運動後には有意な上昇はなく、休息後に10倍上昇し ($p<0.01$)、パフォーマンステスト後も有意に上昇した ($p<0.05$)。

好中球活性化マーカーのMPOは、激運動後に有意に上昇し ($p<0.01$)、休息後に一度低下するが、パフォーマンステスト後に再度有意に上昇した ($p<0.01$)。Calprotectinは、激運動後、休息後、パフォーマンステスト後ともに、有意に上昇した ($p<0.01$)。また、パフォーマンステスト後は、激運動後、休息後との比較においても有意に上昇していた ($p<0.01$) (表1)。

5. 血液データ間の関連性

運動負荷に伴って変動した測定変数間の相互関係性については、運動前値 (Pre 値) を基準とした変化率 (%)

として相関分析を行い、各血液データとの関連性を検討した。

乳酸は、激運動後にアドレナリン ($r=0.730$)、IL-6 ($r=0.856$) と正の相関が認められた。ミオグロビンは、激運動後にIL-1ra ($r=0.730$)、MPO ($r=0.849$) と正の相関が認められた。

成長ホルモンは、激運動後にノルアドレナリン ($r=0.936$)、IL-8 ($r=0.852$)、IL-10 ($r=0.931$)、IL-1ra ($r=0.755$) とそれぞれ正の相関が認められた。アドレナリンは、激運動後に乳酸 ($r=0.730$)、パフォーマンステスト後にIL-1ra ($r=0.827$) と正の相関が認められた。ノルアドレナリンは、激運動後に成長ホルモン ($r=0.936$)、IL-8 ($r=0.774$)、IL-10 ($r=0.948$) と正の相関が認められ、パフォーマンステスト後にIL-8 ($r=0.814$) と正の相関が認められた (表2)。

6. VASによる自覚的疲労度と血液データとの関連性

血液データ間の関連性と同様に、運動前値 (pre 値) を基準とした変化率 (%) を用いて相関分析を行い、関連性を検討した。運動によるVASの変化とIL-6は相関が高く、激運動後 ($p<0.01$) とパフォーマンステスト後 ($p<$

表2 血液データ間の相関係数

	LA Post I	LA Post II	MB Post I	MB Post II	GH Post I	GH Post II	AD Post I	AD Post II	NAD Post I	NAD Post II
LA Post I	1.000	0.151	-0.197	0.034	0.051	-0.067	0.730*	0.501	0.274	-0.157
LA Post II	0.151	1.000	-0.310	0.047	-0.229	0.248	-0.041	0.266	-0.315	-0.010
MB Post I	-0.197	-0.310	1.000	0.159	0.566	0.343	-0.064	-0.085	0.619	0.698
MB Post II	0.034	0.047	0.159	1.000	-0.310	-0.223	-0.218	-0.359	-0.342	-0.279
GH Post I	0.051	-0.229	0.566	-0.310	1.000	0.510	-0.144	-0.240	0.936**	0.897**
GH Post II	-0.067	0.248	0.343	-0.223	0.510	1.000	-0.178	0.152	0.471	0.508
AD Post I	0.730*	-0.041	-0.064	-0.218	-0.144	-0.178	1.000	0.857**	0.163	-0.272
AD Post II	0.501	0.266	-0.085	-0.359	-0.240	0.152	0.857**	1.000	0.025	-0.237
NAD Post I	0.274	-0.315	0.619	-0.342	0.936**	0.471	0.163	0.025	1.000	0.806*
NAD Post II	-0.157	-0.010	0.698	-0.279	0.897**	0.508	-0.272	-0.237	0.806*	1.000
IL-6 Post I	0.856**	0.170	-0.532	-0.091	-0.322	-0.308	0.658	0.495	-0.101	-0.470
IL-6 Post II	0.848**	0.389	-0.478	0.002	-0.276	-0.351	0.584	0.426	-0.109	-0.334
IL-8 Post I	-0.073	-0.341	0.432	-0.396	0.852**	0.229	0.000	-0.158	0.774*	0.714*
IL-8 Post II	0.060	-0.045	0.587	-0.118	0.884**	0.455	-0.026	-0.112	0.807*	0.814*
IL-10 Post I	0.223	-0.110	0.670	-0.245	0.931**	0.466	0.126	0.023	0.948**	0.879**
IL-10 Post II	0.330	-0.633	0.008	0.034	0.274	0.056	0.004	-0.257	0.371	-0.037
IL-1ra Post I	-0.194	-0.593	0.730*	0.165	0.755*	0.297	-0.249	-0.445	0.696	0.618
IL-1ra Post II	0.363	-0.098	0.016	-0.445	0.052	0.384	0.728*	0.827*	0.273	-0.125
MPO Post I	-0.069	-0.637	0.849**	0.203	0.655	0.150	-0.005	-0.248	0.698	0.567
MPO Post II	0.584	-0.005	0.281	0.577	0.091	-0.394	0.285	-0.076	0.203	0.086
Calprotectin Post I	-0.187	0.266	-0.456	-0.157	0.196	0.339	-0.665	-0.524	-0.053	0.114
Calprotectin Post II	0.291	0.246	-0.710*	-0.106	0.053	0.111	-0.232	-0.263	-0.082	-0.186

Percent change vs. Pre (n=8) * $p<0.05$ ** $p<0.01$

Post I: 激運動後-運動前の変化率, Post II: パフォーマンステスト後-運動前の変化率

LA: Lactic acid, MB: Myoglobin, GH: Growth hormone, AD: Adrenaline, NAD: Noradrenaline

表3 自覚的疲労度 (VAS) と血液データ間の相関係数

	VAS Post I	VAS Post II
LA Post I	0.840**	0.840**
LA Post II	0.153	0.155
MB Post I	-0.357	-0.356
MB Post II	0.116	0.113
GH Post I	-0.284	-0.286
GH Post II	-0.406	-0.406
AD Post I	0.561	0.564
AD Post II	0.458	0.458
NAD Post I	-0.073	-0.074
NAD Post II	-0.367	-0.368
IL-6 Post I	0.946**	0.946**
IL-6 Post II	0.947**	0.948**
IL-8 Post I	-0.438	-0.439
IL-8 Post II	-0.375	-0.376
IL-10 Post I	-0.153	-0.153
IL-10 Post II	0.316	0.312
IL-1ra Post I	-0.484	-0.487
IL-1ra Post II	0.009	0.120
MPO Post I	-0.314	-0.316
MPO Post II	0.617	0.615
Calprotection Post I	-0.162	-0.165
Calprotection Post II	0.254	-0.251

Percent change vs. Pre (n=8) *p<0.05 **p<0.01

Post I: 激運動後—運動前の変化率, Post II: パフォーマンステスト後—運動前の変化率

LA: Lactic acid, MB: Myoglobin, GH: Growth hormone, AD: Adrenaline, NAD: Noradrenaline

0.01) に正の相関が認められた。また、激運動後の VAS の変化と乳酸にも正の相関 ($p<0.01$) が認められた (表 3)。

考 察

本研究では、激運動と 2 時間休息後のパフォーマンステストを運動モデルとして、生体のストレス反応をどのような指標が的確に捉えているか、また激運動によって生じる自覚的な疲労度とストレスホルモン・サイトカインとの関連性について検討した。

今回の運動モデルにおいて、激運動後、パフォーマンステスト後ともに、運動前と比較し VAS による自覚的疲労度は有意に上昇しており、自覚的な疲労度を伴う強度の運動であったことが示された。運動による自覚的疲労度との関連性については、IL-6 が激運動後とパフォーマンステスト後の自覚的疲労度 (VAS) と相関が強く、激運動後の自覚的疲労度 (VAS) と乳酸にも相関が認められており、エネルギー枯渇による疲労の出現を IL-6 および乳酸が反映していることが示唆された。

サイトカインの変化においては、日常生活レベルで行われるような運動では、血中濃度はほとんど変化しない。しかし、心拍数が 200 に至るような運動強度の高い場合や、マラソンやトライアスロンのような生体負担が大きい持久性運動の場合には変動が生じることが報告されている⁸⁾。特に IL-6 は、サイトカインの中でも運動と密接に関連していることが先行研究でも明らかになっている^{4,5,9,10)}。鈴木ら (2002) の研究においても、マラソンレースなどの持久性運動では IL-6 の血中濃度は 100 倍もの上昇がみられたと報告されている¹¹⁾。本研究においても運動によって血中 IL-6 レベルは平均で 28 倍、最大で 100 倍以上の上昇が認められ、運動と IL-6 の関連性について先行研究とも一致した結果が得られた。先行研究において IL-6 と乳酸の関連性を検討したものはなく、その関連性は不明である。しかし、IL-6 はグリコーゲンが減少した状態で特に産生されやすく、肝臓での糖新生を促進する働きを有することを考慮すると、IL-6 が代謝ホルモン様の働きをしている可能性も指摘されており¹²⁾、エネルギーの枯渇による糖の分解の過程で産生される乳酸と関連している可能性は十分に考えられる。

高強度運動時にはエネルギー枯渇のような緊急時の生体応答を可能にするため、乳酸性作業閾値を上回る運動強度では、交感神経系・内分泌系の反応が亢進する。交感神経系と副腎髄質からノルアドレナリンやアドレナリンなどが急性のストレスに応じて血中に分泌され、血糖の増加、遊離脂肪酸の動員、心拍数増加や血管収縮による血圧上昇、脳の興奮などを同時に引き起こす¹³⁾。本研究では、運動によってノルアドレナリンは 8 倍の上昇、アドレナリンは 70 倍の上昇、成長ホルモンでは 145 倍の上昇がみられており、激運動によるエネルギー枯渇によって生体が受けたストレスの影響は大きく、その影響を的確に捉えていたといえる。また、成長ホルモンはノルアドレナリンと相関が強く、IL-8, IL-10, IL-1ra と相関が認められ、ノルアドレナリンは、IL-8, IL-10 と相関が認められた。先行研究においても、これらのストレスホルモンがサイトカインを誘導する可能性が報告されており¹⁴⁾、本研究においてもその関連性を認める結果が得られた。

結 論

本研究で用いた運動モデルにおいて、乳酸、アドレナリン、ノルアドレナリン、成長ホルモン、IL-6, IL-8 が運動後に有意に上昇し、運動後の生体反応をよく捉えていた。また、VAS による自覚的疲労度と各データの関連性においては、IL-6、乳酸に相関が認められ、運動による

自覚的疲労度の指標になりうる可能性が示唆された。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、多大なる協力を頂いた沢謙太郎氏、駒場優太氏に深謝する。また、本研究は明治製菓株式会社の補助を受けて実施された。

参 考 文 献

- 1) 渡辺恭良. 疲労の科学と疲労克服. *Medical Bio* 2008; 7: 30–35.
- 2) 片岡俊彦, 武 幸子. 疲労と脳内サイトカイン. *心身医学*. 2005; 45(4): 265–273.
- 3) Stallknecht B, Lorentsen J, Enevoldsen LH, et al. Role of the sympathoadrenergic system in adipose tissue metabolism during exercise in humans. *J Physiol* 2001; 536: 283–294.
- 4) Bruunsgaard H, Galbo H, Halkjaer J, et al. Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. *J Physiol* 1997; 499(3): 833–841.
- 5) Steensberg A, Hall G, Osada T, et al. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *J Physiology* 2000; 529(1): 237–242.
- 6) 村岡 功, 富田寿人, 玉木啓一ら. 漸増運動中の血中乳酸濃度とアドレナリンおよびノルアドレナリン濃度との関係. *体力科学*. 1989; 38(6): 287.
- 7) Suzuki K, Yamada M, Kurakake S, et al. Circulating cytokines and hormones with immunosuppressive but neutrophil-priming potentials rise after endurance exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81(4): 281–287.
- 8) 鈴木克彦, 菅原和夫. メカニズムをさぐる IV サイトカイン. *臨床スポーツ医学*. 2002; 19(11): 1311–1318.
- 9) 中谷 昭, 頼野有香子, 山崎真里ら. 持続的運動が血中 IL-6 濃度に及ぼす影響. *奈良教育大学紀要*. 2004; 53(2): 61–65.
- 10) Suzuki K, Nakaji S, Yamada M, et al. Impact of a competitive marathon race on systemic cytokine and neutrophil responses. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 348–355.
- 11) Suzuki K, Nakaji S, Yamada M, et al. Systemic inflammatory response to exhaustive exercise Cytokine kinetics. *Exerc Immunol Rev* 2002; 8: 6–48.
- 12) Pedersen BK, Akerstrom TC, Nielsen AR, et al. Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol* 2007; 103(3): 1093–1098.
- 13) 斉藤 剛, 征矢英昭. 運動とストレスホルモン. *体育の科学*. 2005; 55(5): 353–358.
- 14) Suzuki K, Nakaji S, Kurakake S, et al. Exhaustive exercise and type-1/type-2 cytokine balance with special focus on interleukin-12 p40/p70. *Exerc Immunol Rev* 2003; 9: 48–57.

ABSTRACT

Relationship Between Subjective Fatigue by Exercise and Stress Hormone and Cytokine Variables

Tomoko ISHIWATA¹, Masashi MORIFUJI², Toshimichi ISHIJIMA², Tomoko AOYAMA², Kaoru SUGAMA³,
Kazue KANDA³, Katsuhiko SUZUKI⁴, Mitsuru HIGUCHI⁴

¹ *School of Human Sciences, Waseda University*

² *Graduate School of Sport Sciences, Waseda University*

³ *Cooperative Major in Advanced Health Science, Tokyo University of Agriculture and Technology/Waseda University*

⁴ *Faculty of Sport Sciences, Waseda University*

We analyzed the relation between subjective fatigue by hard exercise and stress hormone and cytokine data. The subjects are eight healthy men who had exercise experience. In this experiment, hard exercise was carried out in the first place. After two-hour rest, a performance test was carried out. The blood test was conducted 4 times (before exercise, after exercise, rest, and a performance test). Subjective fatigue was indicated using visual analogue scale (VAS). After the hard exercise and performance test, VAS increased and showed the significant difference. Lactic acid, adrenaline, noradrenaline, growth hormone, IL-6, and IL-8 increased after each exercise and showed the significant difference. Subjective fatigue and the value of lactic acid, and IL-6 showed significant positive correlations. These results suggest that lactic acid, and IL-6 may become an index of fatigue in this exertion model.

Key words: fatigue, exercise, stress hormone, cytokine