

〈論文〉

日常的な運動習慣の有無による主観的および生理的反応がエクササイズ後の自己効力感に及ぼす影響

松尾絵梨子 松原 茂 志賀 清悟 山中健太郎

Effects of Exercise-induced Subjective and Physiological Responses on Post-exercise Self-efficacy in Regularly Exercising and Sedentary Individuals

Eriko MATSUO, Shigeru MATSUBARA, Seigo SHIGA, Kentaro YAMANAKA

The aim of this study was to examine the effect of exercise-induced subjective responses and/or physiological responses on post-exercise self-efficacy (PESE) in both regularly exercising and sedentary individuals. Regularly exercising individuals (7 female and 6 male) and sedentary individuals (7 female and 6 male) completed a 30-min steady-state cycling exercise at a moderate intensity (115 bpm). Subjective and physiological responses were recorded before, during, and after the exercise. PESE was assessed both immediately following and 30 minutes after the exercise. Although most of the subjective and physiological responses were similar between exercise and control groups, PESE was significantly larger in the exercise group than in the control group. Moreover, stepwise multiple regression analyses showed that PESE was negatively affected by their rating of perceived exertion at the end of the exercise. These results may partly reveal the mechanism underlying difficulty in exercising regularly.

緒 言

定期的な身体活動や運動を実施することでもたらされる効果は、心血管疾患や高血圧、肥満の予防等の身体的効果のみならず、不安や抑うつ等の精神的な症状に対しても有益であることは広く知られている。アメリカスポーツ医学会とアメリカ心臓協会ではこのような疾患の罹患率を低下させ、死亡率を減少させるために必要な運動の強度や頻度等を明確にし、より適切で効果的な運動の実施に関する勧告を出している^{1,2)}。しかし、それに

もかわらず、身体不活動（座位中心の生活習慣による身体活動や運動の不足）が高血圧、喫煙、高血糖に次いで全世界の死亡者数に対する4番目のリスクファクターとして認識されており、大きな問題となっている³⁾。その理由の1つとして、運動実施の心身の健康の維持増進における重要性は認識されていても、それを習慣として実施することが困難であることが考えられる。一方で、多くのヒトにとって実施困難であろう運動を習慣的にやっているヒトがいることもまた事実である。

こうした運動や身体活動の実施には、自己効力感 (Self-efficacy: SE) が重要だとされている⁴⁾。SE とは、ある結果を生み出すために必要な行動を自分がどの程度うまく遂行できるかという個人の予測や確信⁵⁾のことである。「自分是可以る」という強い確信があるヒト、つまり SE が高いヒトほど行動を起こしやすく、継続しやすい傾向にある。運動の遂行に対する SE については、運動プログラム終了時の SE が高かった参加者は、プログラム終了から6ヵ月、18ヵ月と長期間経過した後も運動や身体活動の実施を維持できていた⁶⁾ことや、運動プログラムの終了時に評価した SE と9ヵ月後の運動の継続状態が関連する⁷⁾ことが報告されている。このように、運動の遂行に対する SE が高いヒトはその運動を実行し、習慣的に長期間継続しやすいが、SE の低いヒトは運動を遂行し継続することが難しいことが考えられる。

運動の遂行に対する SE は一般に、運動中の主観的に評価された身体的な疲労困憊感 (Rating of perceived exertion (RPE)⁸⁾) と高い関連性があることがわかっている^{9~11)}。さらに運動の遂行に対する SE は、気分・情動などの要因と関連し、ネガティブな感情や疲労が運動後に改善されたことによって SE がより大きくなる¹²⁾ことや、運動に対する肯定的な情動がその後の運動に対する SE の増加と関連があることも報告されている⁶⁾。これらのことから、運動中に主観的に評価された身体的な疲労困憊感や気分・情動などが運動の遂行に対する SE に影響を及ぼし、変容させていることが考えられる。

気分・情動もまた、発汗・心拍数増加などの身体の生理的变化の影響を大きく受けることが知られている¹³⁾。発汗や心拍数の増減には自律神経活動が深く関わり、それを評価する手法として心拍変動 (Heart rate variability: HRV) のパワー・スペクトルを用いる方法が知られている¹⁴⁾。この手法を用いて、Weinstein et al. (2007)¹⁵⁾ は

過去6ヵ月間以上の運動習慣を有している参加者に対して運動を2週間中断させた場合に、抑うつ症状が増加し、それが実験開始前の副交感神経活動と関連していたことを報告している。それとは反対に、Sakuragi et al. (2002)¹⁶⁾ は運動習慣のない参加者に運動をさせた場合には、副交感神経活動が亢進され、自覚症状や気分が改善されたことを報告している。このように、運動習慣の有無と運動の遂行に対する SE, RPE, 気分や情動、自律神経活動が相互に関連していることが考えられる。以上のことから、運動習慣があるヒトとないヒトとでは同じレベルの運動を負荷した場合にこれらの主観的・生理的反応に差があり、このことが運動の遂行に対する SE に影響を及ぼし、それが運動習慣の形成に繋がっているのかもしれない。

そこで本研究では、日常的に運動習慣のある参加者と、身長・体重がほぼ同等の運動習慣のない参加者を対象にし、自転車エルゴメーターによる30分間のエクササイズを行い、エクササイズに伴う主観的反応および生理的反応とエクササイズ後自己効力感を記録し、これらの変化と運動習慣の有無との関係を検討するとともに、エクササイズ後自己効力感に影響する要因を調べることを目的とした。

研究方法

参加者

参加者は、日常的に運動習慣のある大学生13名 (女性7名、男性6名) をエクササイズ群として募り、次に体格による影響を除くためエクササイズ群とはほぼ同等の体格の日常的に運動習慣のない大学生13名 (女性7名、男性6名) を対照群として募った。参加者には、生活活動とは別に日常的に行っているエクササイズや競技スポーツ、肉体労働等を把握するため、質問紙による調査を行った。2つの参加者群ともに服薬や治療、喫煙を行

っている者は予め除外した。

参加の前日からは生活活動以外のエクササイズや競技スポーツ、肉体労働等に参加しないように、また、アルコールやカフェインを摂取しないように指示した。実施に際しては、参加者の人権への倫理的配慮に基づき、一人一人に対してインフォームド・コンセントを実施した。インフォームド・コンセントは参加者に対して説明文書を補助資料として配布し、十分な理解が得られた者に対して書面での同意を得た。なお、本研究は昭和女子大学倫理委員会（承認番号：13-07）および日本大学薬学部倫理審査委員会（承認番号：12-007）の承認を得て行われた。

手順

開始前に身長・体成分分析装置（In Body J10, (株) インボディ）を用いて身長と体重を測定し、Body mass index (BMI) を算出した。次に、各参加者の運動強度を決定する予備実験として運動負荷試験を行い、その後、決定した強度で30分間のエクササイズと前後の安静時での主観的・生理的指標の計測を含む本実験を行った。予備実験と本実験は別日に行うか、あるいは同じ日に行う場合には3時間以上の間隔をあけてから行った。

運動負荷試験による運動強度の設定

エクササイズ試験の運動強度を設定するため、全参加者に対して漸増負荷による運動負荷試験を行った。参加者は、初めに心電図測定用の電極および呼吸採取用マスクを装着し、自転車エルゴメーター（エアロバイク 75XLⅢ, (株) コナミスポーツ & ライフ）に乗車した。その状態で2分間安静を保持し、その後、10 W の負荷で2分間のウォーム・アップを行った。参加者には1分間当たり60回転（60 rpm）で漕ぐように指示した。運動負荷試験は10 W/分（1分間当たりの負荷）の漸増負荷で行い、心拍数（Heart rate: HR）が150 拍/分

（beat/min: bpm）を超えた時点で終了とした。運動負荷試験中は、肺運動負荷モニタリングシステム AE-310（ミナト医科学（株））を用いて、HR、酸素摂取量（ VO_2 ）、二酸化炭素排出量（ VCO_2 ）を breath-by-breath で連続的に計測した。

計測したデータから、負荷—HR の関係の一次式を算出し、HR が 115 bpm 程度になる負荷強度を決定した。同様に、この一次式から参加者ごとに最大 HR（220—年齢）における最大負荷を算出し、負荷— VO_2 の関係の一次式に最大負荷を代入して、最大酸素摂取量（ $\text{VO}_2 \text{ max}$ ）を推定した。

エクササイズ後自己効力感

本実験において、エクササイズ後自己効力感（Post-Exercise Self-Efficacy: PESE）は、Matsuo et al. (2015)¹⁷⁾ の PESE 尺度（クロンバックの α ¹⁸⁾ = 0.92）を参考に作成し、30 分間のエクササイズ終了後に評価した。これは、“今、実施した 30 分間のエクササイズを今後、日常的に実施できるか”ということに対する確信の尺度であり、(1) 今、実際に行った強度の +10% の運動を、今後日常的に週に 3～5 回継続して 30 分間行えるか、(2) 今、実際に行った強度の運動を、今後日常的に週に 3～5 回継続して 30 分間行えるか、(3) 今、実際に行った強度の -10% の運動を、今後日常的に週に 3～5 回継続して 30 分間行えるか、について 0～100% で評価する尺度であった。これらを記した質問紙を参加者に表示し、最も当てはまる数値を指で示してもらい記録した。ここでは、(1) から (3) の PESE の平均値をその参加者のその時点での PESE として算出した。

主観的反応の記録

本実験では主観的反応として2種類の尺度を記録した。RPE[®]は、主観的運動強度として一般的なものであり、自分自身が運動をする中で感じて

いる身体的な疲労困憊感を6（非常に楽である）から20（非常にきつい）までの15段階から構成される尺度で評価するものであった。

Feeling Scale (FS)¹⁹⁾ は、快感情の主観的評価であり、運動中の「心地よさ」を-5（とても悪い）から+5（とても良い）までの11段階から構成された尺度で評価するものであった。これらの質問紙を参加者に表示し、その時点で最も当てはまるものを指で示してもらい、記録した。

本実験のプロトコル

本実験のプロトコルを図1に示した。参加者は心電図測定用電極と呼吸採取用マスクを装着し、椅座位にてエクササイズ前の安静状態を22分間保った。20分が経過した時点でRPEとFSを記録した後、エクササイズ開始1分前に自転車エルゴメーターに移動し、実験開始から22分が経過した時点で30分間のエクササイズを開始した。エクササイズ中は60 rpmでペダルを漕いだ。自転車エルゴメーターの負荷は、最初の4分間は1分毎に各参加者の設定負荷の20%・40%・60%・80%で、残りの26分間は設定した負荷（100%）でエクササイズを実施した。エクササイズ終了直後に自転車エルゴメーターに乗車した状態でRPE、FS、PESEを記録した。その後、再び移動し、椅座位にてエクササイズ後の安静状態を30分間

保ち、30分が経過した時点でRPE、FS、PESEを参加者に指で示してもらい、数値を記録した。

生理的反応の記録

エクササイズ試験中の生理的反応を運動負荷試験と同じシステムで測定した。HRは記録した心電図データのR-R interval (RRI) から算出した。参加者の主観的反應の記録のための動作や椅子と自転車エルゴメーター間の移動に伴う動作の影響が入らない区間として、エクササイズ前安静 (Pre)、エクササイズ中 (Ex)、エクササイズ後安静 (Post) 各20分間のデータを取り出して平均HR (HR_{mean}) を算出した。実験終了後、安静時のHRと最大HR ($220 - \text{年齢}$) との差である予備心拍数 (Heart rate reserve: HRR) に基づくエクササイズ中の運動強度 (%HRR) を求めた。

次に、この安定した20分間のHRVのパワー・スペクトルの低周波成分 (Low-frequency: LF: 0.04-0.15 Hz)、高周波成分 (High-frequency: HF: 0.15-0.4 Hz)、LFとHFを合わせた全体のパワー (total: 0.04-0.4 Hz) を算出し、HF/totalを副交感神経の活動指標、LF/HFを交感神経の活動指標とした¹⁴⁾。なお、エクササイズ中のHF/totalおよびLF/HFが安静時と同様に副交感神経および交感神経の活動指標として用いることが可能であるかどうかは議論の別れるところである²⁰⁾た

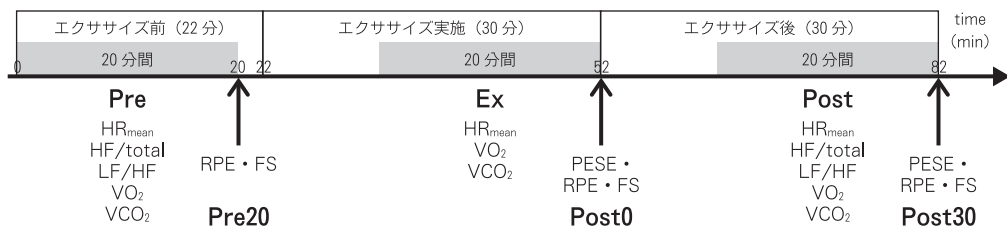


図1 エクササイズ試験のプロトコル

本実験はエクササイズ前安静 (Pre)、エクササイズ実施 (Ex)、エクササイズ後安静 (Post) の3つのセッションからなる。

Pre 20: エクササイズ前安静開始から20分後, Post 0: エクササイズ終了直後, Post 30: エクササイズ終了30分後, HR_{mean} : 心拍数 (Heart rate) の平均値, HF/total: High-frequency/total power (副交感神経活動指標), LF/HF: Low-frequency/High-frequency (交感神経活動指標), VO_2 : 酸素摂取量, VCO₂: 二酸化炭素排出量, RPE: Rating of perceived exertion, FS: Feeling Scale

め、本研究では Pre と Post の安静 20 分間のデータのみを算出し、検討した。

一呼吸ごとの VO_2 と VCO_2 については、まず 1 分間当たりの値を算出した。その後、 HR_{mean} と同様に移動等が影響しない安定した 20 分間のデータから Pre, Ex, Post における VO_2 と VCO_2 それぞれの平均値を算出した。さらに、 VCO_2/VO_2 によって評価される呼吸商 (Respiratory quotient: RQ) も算出した。

統計解析

参加者の特性は、運動習慣 (エクササイズ群, 対照群) および性別 (女性, 男性) を要因とした二元配置分散分析 (two-way ANOVA) を用いて比較した。エクササイズ試験中の運動負荷 (W), 運動強度 (%HRR) および体重あたりの VO_{2max} の群間比較には、独立 2 群の t 検定を行った。また、PESE, 主観的・生理的反応については、時間 (PESE; Post0, Post30, 主観的反応; Pre20, Post0, Post30, 生理的反応; Pre, Ex, Post) と運動習慣 (エクササイズ群, 対照群) を要因とした反復測定の一

元配置分散分析 (repeated measures two-way ANOVA) を行った。多重比較が必要な場合は Bonferroni の補正をした対応のある t 検定で評価した。

さらに、PESE に影響する要因を、ステップワイズ法を用いた重回帰分析 (stepwise multiple regression analysis) により検討した。従属変数は PESE at Post0 と PESE at Post30 とした。説明変数としては、測定した主観的反応 (RPE, FS), 生理的反応 (HF/total, LF/HF, VO_2 , VCO_2 , RQ), 参加者の特性 (BMI, HR_{rest}), 実験設定上の値 (自転車エルゴメーターの運動負荷, %HRR) のうち、2 つの従属変数 (PESE at Post0 と PESE at Post30) それぞれに影響し得る (時間的に先行する) 全ての指標を用いた。

結 果

参加者の特性の比較

表 1 に参加者の特性を示した。身長と体重、体重あたりの VO_{2max} において、性別による有意な影響が示された (身長: $F_{1,22}=13.64$; 体重: $F_{1,22}$

表 1 参加者の特性

Group	Exercise (n=13)		Control (n=13)		Statistics
	Female (n=7)	Male (n=6)	Female (n=7)	Male (n=6)	
Age (yrs)	21.2±1.0		21.2±1.4		NS
	21.4±0.8	21.0±1.3	21.7±0.5	20.7±1.9	NS
Height (cm)	165.5±9.0		164.6±6.2		NS
	160.6±5.4	171.1±9.5	160.9±5.0	168.8±4.6	p<0.05
Weight (kg)	57.7±8.8		56.3±8.3		NS
	53.1±6.9	62.9±8.1	51.9±6.6	61.4±7.5	p<0.05
BMI	21.0±2.2		20.7±2.2		NS
	20.6±2.3	21.5±2.1	20.0±2.0	20.7±2.2	NS
VO_{2max} (ml/kg/min)	44.3±52.5		40.2±62.6		NS
	39.8±5.1	49.5±5.8	34.5±2.9	46.9±6.4	p<0.05
Exercise (METS/wk)	30.6±19.3		5.0±6.5		p<0.05
	23.6±11.4	38.7±24.3	3.6±4.7	6.6±8.2	NS

Mean±SD.

BMI: Body mass index.

運動習慣 (エクササイズ群 vs 対照群 [各項目上段]) および性別 (女性 vs 男性 [各項目下段]) を要因とした二元配置分散分析 (p<0.05)。

表 2 エクササイズ試験における運動負荷および % 予備心拍数

Group	Exercise (n=13)	Control (n=13)	Statistics
Load (W)	84.5±26.5	67.1±13.5	p<0.05
%HRR	46.0±7.6	44.6±8.7	NS

Mean±SD.

%HRR: %Heart rate reserve.

=11.37; VO_2 max: $F_{1,22}=29.98$; $ps<0.05$)。また、実験開始前に質問紙によって調査した 1 週間当たりの運動量は参加者群間に有意な影響が示された ($F_{1,22}=22.93$, $p<0.05$)。表 2 に、エクササイズ群と対照群における 30 分間のエクササイズ中の運動負荷と %HRR を示した。運動負荷はエクササイズ群が対照群よりも有意に高値を示した ($t_{24}=2.11$, $p<0.05$) が、%HRR には参加者群間に有意な差は示されなかった。

エクササイズ後自己効力感および主観的反応の比較

図 2 に PESE および主観的反応として RPE と FS の変化を示した。PESE は Post0 と Post30 において参加者群による有意な影響が示され ($F_{1,24}=8.01$, $p<0.01$)、どちらの時点においてもエクササイズ群が対照群に比べて有意に高値であった

(Post0: $t_{24}=2.62$; Post30: $t_{24}=2.95$; $ps<0.05$)。PESE には時間による有意な影響と、時間と参加者群による有意な交互作用は示されなかった。

RPE と FS はともに、時間による有意な影響が示された (RPE: $F_{2,24}=105.38$, $p<0.001$; FS: $F_{2,24}=3.56$, $p<0.05$) が、参加者群による有意な影響と、時間と参加者群による有意な交互作用は示されなかった。多重比較の結果、RPE は Post0 において Pre20 ($t_{25}=-13.06$) と Post30 ($t_{25}=10.74$) よりも有意に高く ($ps<0.001$)、Pre20 よりも Post30 において有意に高かった ($t_{25}=-2.70$, $p<0.05$)。FS は、Post30 において Pre20 よりも有意に高値であった ($t_{25}=-2.73$, $p<0.05$)。

生理的反応の比較

図 3 に生理的反応として HR, HF/total, LF/HF および VO_2 , VCO_2 , RQ の変化を示した。

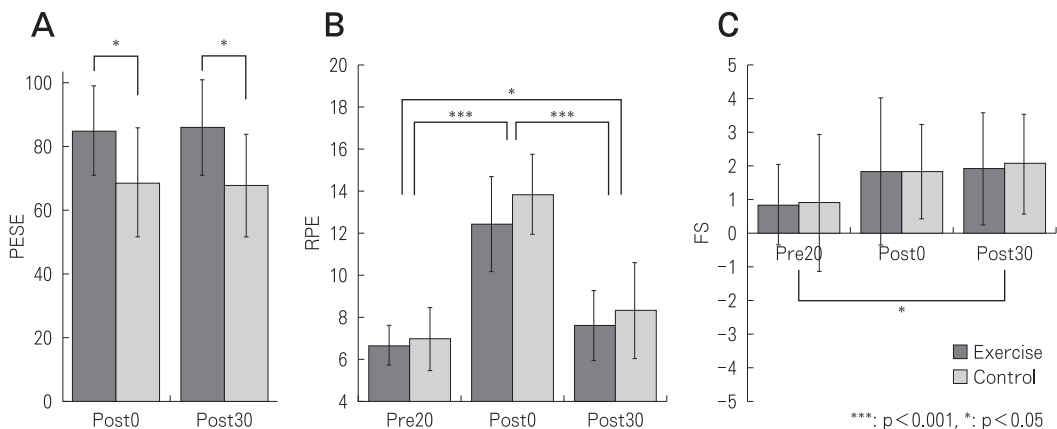


図 2 PESE (Post-Exercise Self-Efficacy) および主観的反応の変化

A. エクササイズ直後 (Post0) および 30 分後 (Post30) の PESE の変化, B. エクササイズ直前 (Pre20), エクササイズ直後および 30 分後の RPE (Rating of perceived exertion) の変化, C. エクササイズ直前, エクササイズ直後および 30 分後の FS (Feeling Scale) の変化を示す。

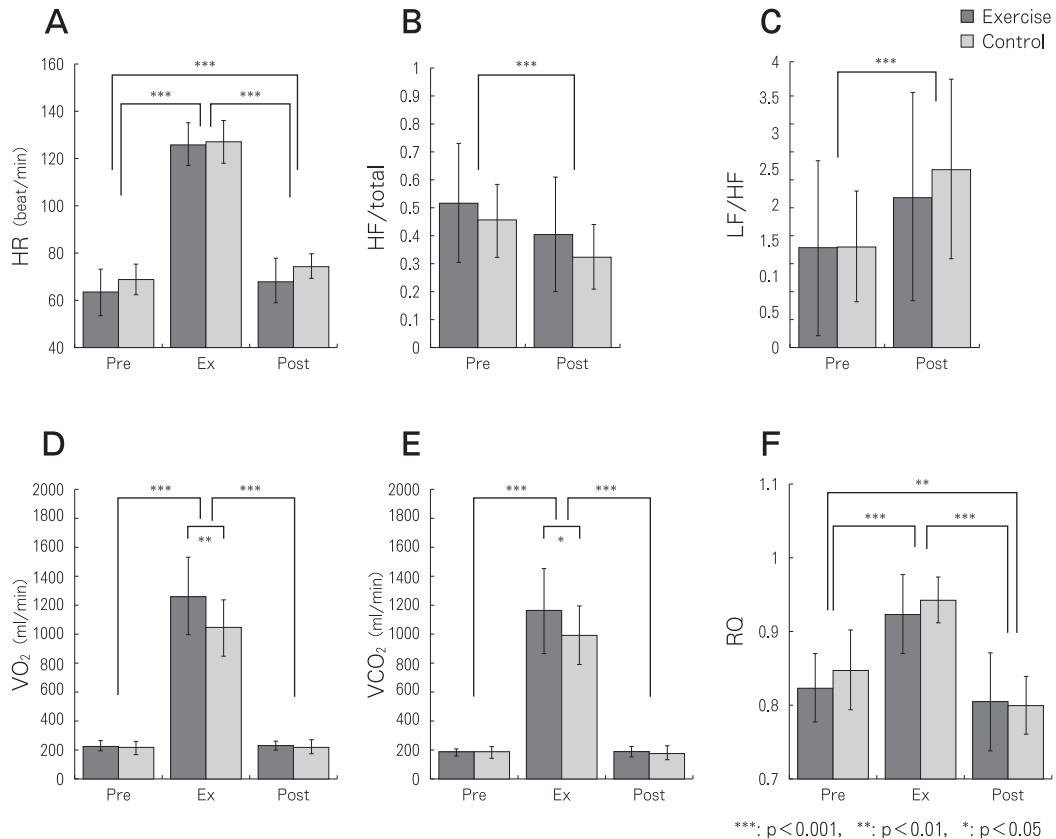


図3 生理的反応の変化

A. エクササイズ前安静 (Pre), エクササイズ中 (Ex), エクササイズ後安静 (Post) の心拍数 (HR: Heart rate) の変化, B. エクササイズ前後の副交感神経活動指標 (HF/total: High-frequency/total power) の変化, C. 同, 交感神経活動指標 (LF/HF: Low-frequency/High-frequency) の変化, D. Pre, Ex, Post の酸素摂取量 (VO₂) の変化, E. 同, 二酸化炭素排出量 (VCO₂) の変化, F. 同, 呼吸商 (RQ: Respiratory quotient) の変化を示す。

HR, HF/total および LF/HF は, ともに時間による有意な影響が示された (HR: $F_{1,26,24}=531.47$; HF/total: $F_{1,24}=23.08$; LF/HF: $F_{1,24}=16.53$; $ps<0.001$) が, 参加者群による有意な影響と, 時間と参加者群による有意な交互作用は示されなかった。多重比較の結果, HR は Ex において Pre ($t_{25}=-23.13$) と Post ($t_{25}=26.10$) よりも有意に高く ($ps<0.001$), また Pre よりも Post において有意に高かった ($t_{25}=-4.57$, $p<0.001$)。HF/total は Post において Pre よりも有意に低く ($t_{25}=4.89$, $p<0.001$), LF/HF は Post において Pre よりも有意に高値であった ($t_{25}=-4.09$, $p<0.001$)。

VO₂ と VCO₂ はともに, 時間による有意な影

響 (VO₂: $F_{1,01,24}=502.64$; VCO₂: $F_{1,01,24}=401.55$; $ps<0.001$) と, 時間と参加者群による有意な交互作用が示された (VO₂: $F_{2,24}=6.23$, $p<0.01$; VCO₂: $F_{2,24}=3.41$, $p<0.05$) が, 参加者群による有意な影響は示されなかった。多重比較の結果, VO₂ と VCO₂ ともに, Ex において Pre (VO₂: $t_{25}=-20.26$; VCO₂: $t_{25}=-18.97$) と Post (VO₂: $t_{25}=20.57$; VCO₂: $t_{25}=19.35$) よりも有意に高値を示した ($ps<0.001$)。さらに, VO₂ は Ex においてエクササイズ群が対照群よりも有意に高値であった ($t_{24}=2.34$, $p<0.05$)。

RQ は時間による有意な影響のみ示され (RQ: $F_{1,24}=130.77$, $p<0.001$), 参加者群による有意な影響と, 時間と参加者群による有意な交互作用は示

されなかった。多重比較の結果、RQ は Ex において Pre ($t_{25} = -13.58$) と Post ($t_{25} = 15.91$) よりも有意に高く ($p < 0.001$)、また Pre よりも Post において有意に高かった ($t_{25} = 3.35$, $p < 0.01$)。

エクササイズ後の自己効力感に影響する要因の検討

表 3A にエクササイズ直後の自己効力感 (PESE at Post0) を従属変数とした重回帰分析の結果を示した。重回帰分析の結果、PESE at Post0 にはエクササイズ直後の主観的運動強度 (RPE at Post0) が負に (標準偏回帰係数 (β) = -0.707 , $p < 0.001$) 影響するモデルが示された。決定係数 (R^2) は 0.479 であり、このモデルでデータの 47.9% を説明していた。

表 3B にエクササイズ 30 分後の自己効力感 (PESE at Post30) を従属変数とした重回帰分析の結果を示した。重回帰分析の結果、PESE at

Post30 にはエクササイズ直後の主観的運動強度 (RPE at Post0) が負に ($\beta = -0.618$, $p < 0.001$)、エクササイズ後の交感神経活動指標 (LF/HF (Post)) が負に ($\beta = -0.508$, $p < 0.001$)、エクササイズ中の酸素摂取量 (VO_2 (Ex)) が正に ($\beta = 0.417$, $p < 0.01$) 影響するモデルが示された。決定係数 (R^2) は 0.635 であり、このモデルでデータの 63.5% を説明していた。

考 察

運動習慣の有無による主観的および生理的反応

エクササイズ群と対照群は体格の類似した参加者を募ったため、参加者群間ではほぼ同じ体格であった。一方、参加者群間では運動習慣に顕著な差が認められた。これらのことから、2つの参加者群は本研究において適切な集団であったことが示された。また、この2つの参加者群において、

表 3 ステップワイズ法による重回帰分析の結果

A Stepwise multiple regression analysis dependent variable=PESE at Post0

Explanatory variable	Partial regression coefficient (B)	Standard partial regression coefficient (β)	R^2
RPE at Post0	151.929 -5.692	-0.707	0.479

$$\text{PESE at Post0} = 151.929 - 5.692 \times \text{RPE at Post0}$$

B Stepwise multiple regression analysis dependent variable=PESE at Post30

Explanatory variable	Partial regression coefficient (B)	Standard partial regression coefficient (β)	R^2
RPE at Post0	126.157 -5.132	-0.618	0.635
LF/HF (Post)	-6.799	-0.508	
VO_2 (Ex)	0.030	0.417	

$$\text{PESE at Post30} = 126.157 - 5.132 \times \text{RPE at Post0} - 6.799 \times \text{LF/HF (Post)} - 0.030 \times \text{VO}_2 \text{ (Ex)}$$

A. エクササイズ直後の自己効力感 (PESE at Post0) を従属変数とした重回帰分析の結果、

B. エクササイズ 30 分後の自己効力感 (PESE at Post30) を従属変数とした重回帰分析の結果を示す。

HR を用いて運動強度が同等になるように設定したため、エクササイズ中の %HRR は参加者群間でほぼ同じであった。一方でそれに相当する運動負荷はエクササイズ群が対照群よりも高値であった。ここには、日常的に運動習慣のあるヒトは運動習慣のないヒトよりも筋量が多く、脚筋力が優れていることが反映されていると考えられる。

主観的反応においては、RPE と FS はともに参加者群の有意な影響は示されなかった。このことから、同程度の運動強度でエクササイズを行った場合の身体的な疲労困憊感や快感情の評価には、運動習慣の有無による違いはないことが考えられた。その一方で、PESE には参加者群による有意な影響が示され、エクササイズ群が対照群よりも有意に高かった。これらの結果は、エクササイズに伴う主観的反応は同等であるにも係わらず、エクササイズ後の自己効力感が対照群よりもエクササイズ群で明らかに高いことを示しており、日常的に運動習慣のあるヒトは遂行したエクササイズに対する自己効力感が高く、遂行したばかりのエクササイズを再度遂行できるという、“より強い確信や予測”を持っていることが先行研究^{6,7)}からも考えられる。しかしながら、エクササイズ群と対照群の PESE の顕著な違いには、主観的反応以外の別の背景が存在する可能性が考えられる。そこで、運動習慣の有無と PESE との関係性や背景をさらに調べるために、生理的反応に着目した。

HR に参加者群による有意な影響が示されなかったことは、上述したように、HR を用いて参加者全員のエクササイズ試験の運動強度が同等になるように設定したためであり、本研究における運動強度の設定が適切であったことを示していた。一方、 VO_2 と VCO_2 は時間と参加者群との有意な交互作用が認められた。これは、エクササイズ中の VO_2 と VCO_2 がエクササイズ群において高い傾向にあったことを示している。さらに、本研

究における体重あたりの $\text{VO}_2 \text{ max}$ はエクササイズ群が対照群よりも高い傾向にあった。このことから、エクササイズ群が対照群よりも心肺持久力が優れていることが推察される。心肺持久力は有酸素性運動の能力と密接な関係があり、トレーニングを積むことで心肺機能が強化され、酸素運搬能力が高まる²¹⁾。つまり、エクササイズ群は習慣的に行っている運動によって呼吸循環器系が鍛えられ、肺の容量や1回拍出量が多くなり、エクササイズ中の酸素の取り込みと二酸化炭素の排出が効率よく行っていたことが考えられる。同程度の HR で運動強度を設定したエクササイズを行った際、日常的に運動習慣のあるヒトは運動習慣のないヒトに比べてガス交換が効率良く行っていたことが、エクササイズを継続する意欲に繋がる、あるいはそのような能力を有しているヒトのほうが運動を習慣化しやすいことが示唆された。

また、LF/HF と HF/total には参加者群による有意な影響は示されなかった。しかし、エクササイズ群は対照群に比べて副交感神経活動が強く、エクササイズ前の安静時の HR も低いという傾向が示された。これは、運動習慣によって副交感神経活動水準が亢進され、HF パワーが上昇し、安静時の HR が低下するという先行研究^{16, 22)}と一致する。ただし、この安静時 HR の上昇と下降および、交感神経活動と副交感神経活動との関係には個人間や個人内での変動が大きいとされており²³⁾、本研究は同一の個人内でのトレーニング効果を調べたものではなく、別の個人間による比較を行ったものであったため、有意な差が認められなかったのかもしれない。

RQ は参加者群による有意な影響は示されなかった。RQ は安静時や低強度の運動では 0.75~0.8 となり、高強度の運動では 1.0 に近づく²¹⁾。このとき、体内では運動強度が高くなるにつれて主に利用されるエネルギー源が脂肪から糖質に切り替わり、筋肉に蓄えられた糖の一種である筋グリコ

ーゲンを分解する際に乳酸が生成される。その乳酸が水と CO_2 に分解されることで VO_2 よりも VCO_2 が多くなる。さらに運動強度が増加し激運動となると、 CO_2 への分解が亢進し、その結果 RQ は 1.0 を超える²⁴⁾。本研究では 2 つの参加者群ともにエクササイズ中の RQ が 1.0 を超えていなかった。このことから、運動習慣の有無によってエネルギーの代謝には大きな差はなく、また、2 つの参加者群ともに RQ が 1.0 を超えない程度の中程度の運動強度であったことが示された。

エクササイズ後の自己効力感に及ぼす要因

次に、PESE に影響を及ぼす要因を検討した。その結果、エクササイズ直後とエクササイズ 30 分後の両方の PESE に、エクササイズ直後の RPE が最も強く負に影響していた。先行研究では、RPE と自己効力感には高い関連性がある⁹⁾ことや運動前の自己効力感が運動中の RPE に影響を及ぼす¹⁰⁾ことが報告されている。本研究においても、エクササイズ直後の RPE が同じ時点の PESE だけではなく、エクササイズから 30 分経過しても PESE に影響を及ぼしていたことから、RPE が自己効力感に対して大きな影響を与えていることは明らかな結果となった。しかし、本研究の RPE に参加者群間の差は示されなかった。生理的な指標を用いて同レベルの強度の運動を実施した場合でも、その運動に対する RPE は個人によって異なることが報告されている¹¹⁾ため、RPE は運動習慣の有無だけではなく、個人内の属性的・状況的要因などの影響を大きく受けるのかもしれない。また、低強度の運動では RPE と自己効力感との相関があるものの、高強度の運動ではその関連性は示されないといった報告²⁵⁾もあるため、実施する運動強度によってはその関係性が弱くなることも考えられる。これらをまとめると、エクササイズ直後の身体的な疲労困憊感が大きい場合に、その運動を再度遂行したいとは思わなくなり、こ

れが運動を定期的に実施することを難しくする一つの要因となっていることが示唆された。

エクササイズ 30 分後の PESE にはさらに、エクササイズ後の LF/HF が負に、エクササイズ中の VO_2 が正に影響していた。一般に安静時には副交感神経が、運動中は交感神経が優位となって HR を制御している。その後、運動終了後からは交感神経優位から副交感神経優位へと迅速に変換することによって増加した HR は減少し安静時レベルに戻るが、その回復時間は非鍛錬者よりも鍛錬者のほうが速いとされる²³⁾。本研究の参加者の HR と交感神経活動はエクササイズ終了後もエクササイズ前の値まで戻らず、特に対照群で高い状態であったことから、エクササイズ後の自律神経変換が迅速に行われず、交感神経活動が優位な状態であることによって自己効力感が低くなることが考えられた。また、上述したように、本研究のエクササイズ群においては、習慣的な運動の実施によって心肺持久力が高まる²¹⁾ことでエクササイズ中の VO_2 と VCO_2 が大きくなり、ガス交換が効率よく行っていたことが推察された。このことが背景となり、エクササイズ中の VO_2 が大きいことによって自己効力感が高くなるのかもしれない。これらのことから、エクササイズ直後の身体的な疲労困憊感が大きく、交感神経活動が優位な状態のままであるヒトほど、その運動を再度遂行することが難しいことが示唆された。さらに、エクササイズ中の VO_2 が大きいヒトほど、その運動を再度遂行することが可能であることが示唆された。

研究上の限界点

本研究にはいくつかの限界や考慮しなければならない点もある。まず、エクササイズ群と対照群の参加者数がそれぞれ 13 名ずつと少なく、参加者の年齢幅も狭いことである。現時点では本研究における運動の影響が普遍的なものであるかどうか

かの妥当性は低く、この結果を一般化することは難しいことが考えられる。また、本研究では性差についての詳細な検討は行っていない。本研究結果の妥当性を高めるためには、さらに参加者数を増やし、年齢や性別などの様々な属性の参加者を用いて、同様の研究を進めていく必要がある。次に、本研究におけるエクササイズ群・対照群の分類を実測ではなく質問紙で行ったことが限界点として挙げられる。2つの参加者群を分類する際には、日常の身体活動を活動量計などで実際に記録することにより、さらに正確な身体活動の評価が可能となるかもしれない。さらに、本研究のエクササイズ群はある特定のエクササイズやスポーツ種目ではなく、多種多様なエクササイズやスポーツを日常生活の中で習慣的に行っている参加者を募った。このことが研究結果に影響を与えている可能性もあるため、エクササイズ群の参加者を特定のエクササイズやスポーツ種目に統一して募った場合には、研究結果において、より顕著な違いや本研究とは異なる結果が示された可能性もあるだろう。次に、本研究の HF/total および LF/HF の自律神経活動指標を心拍変動のパワー・スペクトル解析を用いて評価したことが限界点として挙げられる。この解析方法による運動中の HRV 指標の算出は議論の分かれるところである²⁰⁾ため、本研究ではエクササイズ中の HRV 指標の算出は行わなかった。他の分析方法を用いてエクササイズ中の HRV 指標を算出することによって、より詳細な自律神経活動の変化過程を確認することができるのかもしれない。また、運動に対する自己効力感は参加者を励まし、褒めて成功体験を経験させ、ポジティブな情動を抱かせることによって高めることができる^{26, 27)}ため、運動習慣のないヒトの自己効力感を高めることが可能かどうか、そしてその適した手法は何かについても今後検討が必要であろう。

まとめ

運動習慣の有無によってエクササイズ後の自己効力感およびエクササイズ中の酸素摂取量と二酸化炭素排出量に顕著な違いが示された。また、エクササイズ直後と 30 分後の自己効力感の両方に、エクササイズ直後の主観的に評価された身体的な疲労困憊感が最も強く、負に影響していた。さらに、エクササイズ 30 分後の自己効力感には、エクササイズ後の交感神経活動が負に、エクササイズ中の酸素摂取量が正に影響していた。

参考文献

- 1) Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P. American College of Sports Medicine Position Stand: Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011, **43**, 1334-1359.
- 2) Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D., Bauman, A. Physical Activity and Public Health: Updated Recommendation for Adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007, **39**, 1423-1434.
- 3) World Health Organization. Global Recommendations on Physical Activity for Health. 2010, http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf
- 4) Bandura, A. Self-efficacy: The Exercise of Control, New York, Freeman, 1997.
- 5) Bandura, A. Self-efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. *Psychol Rev.* 1977, **84**, 191-215.
- 6) McAuley, E., Jerome, G. J., Elavsky, S.,

- Marquez, D. X., Ramsey, S. N. Predicting Long-term Maintenance of Physical Activity in Older Adults. *Prev Med.* 2003, **37**, 110-118.
- 7) McAuley, E., Lox, C., and Duncan, T. E. Long-term Maintenance of Exercise, Self-efficacy, and Physiological Change in Older Adults. *J Gerontol*, 1993, **48**, 218-224.
- 8) Borg, G. A. Psychophysiological Bases of Perceived Exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982, **14**, 377-381.
- 9) Ekkekakis, P., Petruzzello, S. J. Acute Aerobic Exercise and Affect: Current Status, Problems and Prospects Regarding Dose-response. *Sports Med.* 1999, **28**, 337-374.
- 10) Pender, N. J., Bar-Or, O., Wilk, B., Mitchell, S. Self-efficacy and Perceived Exertion of Girls during Exercise. *Nurs Res.* 2002, **51**, 86-91.
- 11) Ekkekakis, P., Lind, E., Vazou, S. Affective Responses to Increasing Levels of Exercise Intensity in Normal-weight, Overweight, and Obese Middle-aged Women. *Obesity.* 2010, **18**, 79-85.
- 12) Kwan, B. M., Bryan, A. D. Affective Response to Exercise as a Component of Exercise Motivation: Attitudes, Norms, Self-efficacy, and Temporal Stability of Intentions. *Psychol Sport Exerc.* 2010, **11**, 71-79.
- 13) Montano, N., Porta, A., Cogliati, C., Costantino, G., Tobaldini, E., Casali, K. R., Iellamo, F. Heart Rate Variability Explored in the Frequency Domain: A Tool to Investigate the Link between Heart and Behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009, **33**, 71-80.
- 14) Task Force. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation.* 1996, **93**, 1043-1065.
- 15) Weinstein, A. A., Deuster, P. A., Kop, W. J. Heart Rate Variability as a Predictor of Negative Mood Symptoms Induced by Exercise Withdrawal. *Med Sci Sports Exerc.* 2007, **39**, 735-741.
- 16) Sakuragi, S., Sugiyama, Y., Takeuchi, K. Effects of Laughing and Weeping on Mood and Heart Rate Variability. *J Physiol Anthropol.* 2002, **21**, 159-165.
- 17) Matsuo, E., Matsubara, S., Shiga, S., Yamanaka, K. Relationships between Psychophysiological Responses to Cycling Exercise and Post-exercise Self-efficacy. *Front. Psychol.* **6**, 1775.
- 18) Cronbach, L. J. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika.* 1951, **16**, 297-334.
- 19) Hardy, C. J., Rejeski, W. J. Not What, but How One Feels: The Measurement of Affect during Exercise. *J Sport Exerc Psychol.* 1989, **11**, 304-317.
- 20) Sandercock, G. R. H., Brodie, D. A. The Use of Heart Rate Variability Measures to Assess Autonomic Control during Exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2006, **16**, 302-313.
- 21) 勝田茂, 和田正信, 松永智. 入門運動生理学. 勝田茂. 第3版, 東京, 杏林書院, 2007.
- 22) Melanson, E. L. Resting Heart Rate Variability in Men Varying in Habitual Physical Activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2000, **32**, 1894-1901.
- 23) 山路啓司. こころとからだを知る心拍数. 東京, 杏林書院, 2013.
- 24) 八田秀雄. 乳酸と運動生理・生化学: エネルギー代謝の仕組み. 東京, 市村出版, 2009.
- 25) Hall, E. E., Ekkekakis, P., Petruzzello, S. J. Is the Relationship of RPE to Psychological Factors Intensity-dependent? *Med. Sci. Sports Exerc.* 2005, **37**, 1365-1373.
- 26) Jerome, G. J., Marquez, D. X., McAuley, E., Canaklisova, S., Snook, E., Vickers, M. Self-efficacy Effects on Feeling States in Women. *Int J Behav Med.* 2002, **9**, 139-154.
- 27) McAuley, E., Talbot, H. M., Martinez, S.

Manipulating Self-efficacy in the Exercise Environment in Women: Influences on Affective Responses. *Health Psychol.* 1999, **18**, 288-294.

謝辞

本研究の遂行にあたり、実験の補助をして下さった

昭和女子大学生生活科学部健康デザイン学科平成 25 年度卒業生の野原水紀さん，星野結貴子さん，平成 26 年度卒業生の宇波真歩さん，岡田郁恵さんに心より感謝申し上げます。

また，参加者としてご協力頂きました皆様に厚く御礼申し上げます。

(まつお えりこ 日本大学薬学部 助教)

(まつばら しげる 日本大学薬学部 教授)

(しが せいご 元 生活機構学専攻 教授)

(やまなか けんたろう 生活科学研究専攻 准教授)

受理年月日 平成 27 年 10 月 2 日

審査終了日 平成 27 年 12 月 2 日