



Title	若年女性の黄体期における快適自己ペース運動は血中エストラジオール濃度を上昇させ感情を改善する
Author(s)	井瀧, 千恵子; 森谷, 紜; 小田, 史郎; 武田, 秀勝
Citation	日本運動生理学雑誌, 13(1), 19-28
Issue Date	2006-02-28
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/32861">http://hdl.handle.net/2115/32861</a>
Type	article
File Information	undo19.pdf



[Instructions for use](#)

## 若年女性の黄体期における快適自己ペース運動は 血中エストラジオール濃度を上昇させ感情を改善する

井瀧千恵子\*\*\*・森谷 梨\*・小田史郎\*\*\*・武田秀勝\*\*\*\*

### Comfortable Self-paced Exercise Elicits an Increased Blood Estradiol Concentration and Improves Emotions in Young Females During the Luteal Phase

Chieko ITAKI\*\*\*, Kiyoshi MORIYA\*, Shiro ODA\*\*\* and Hidekatu TAKEDA\*\*\*\*

#### Abstract

Although it has been reported that high intensity exercise over the AnT level or resistance exercise induced increased serum concentrations of estradiol (E2) and progesterone (P) in adult females, there has been insufficient research into the effects of mild to moderate intensity endurance exercise. Eleven young females with regular menstrual cycles provided a written informed consent and participated in this experiment as subjects. Experiments were performed while subjects were in the late luteal phase. Exercise was consisted of comfortable self-paced running (CSPR) or resting as a control experiment for 50 minutes. Since the average (SEM) percentage heart rate reserve for 50-min CSPR was  $61.3 \pm 6.7$  % and RPE was  $12.0 \pm 0.5$ , the level of CSPR was thought to range from mild to moderate. Before and after 50-min CSPR (or resting), venous blood was collected and E2, P, and catecholamine (noradrenaline, dopamine, and adrenaline) concentrations were determined. E2 significantly increased from  $67.1 \pm 9.4$  to  $84.7 \pm 9.7$  pg/ml after 50-min CSPR, but not P. All catecholamine concentrations increased after CSPR, but not after resting for 50-min. The Profile of Mood State (POMS) and Mood Check List-Short Form 1 (MCL-S.1) were used to measure subjective emotions before and after CSPR (resting). The depression-dejection scores on POMS decreased while vigor scores increased after 50-min CSPR, but not after resting for 50-min. The pleasantness scores on MCL-S.1 increased during CSPR, but not resting. Significant positive correlations were observed between changes in POMS vigor scores and MCL-S.1 pleasantness scores and the change in E2 concentration during the 50-min experiment,

- 
- \* 北海道大学大学院教育学研究科 (〒060-0811 札幌市北区北11条西7丁目)  
Graduate School of Education, Hokkaido University
  - \*\* 弘前大学医学部保健学科 (〒036-8564 弘前市本町66-1)  
School of Health Sciences, Hirosaki University
  - \*\*\* 浅井学園大学生涯学習システム学部 (〒069-8511 江別市文京台23番地)  
Lifelong Learning Research Institute, Asai Gakuen University
  - \*\*\*\* 札幌医科大学保健医療学部 (〒060-8556 札幌市中央区南1条西17丁目)  
School of Health Sciences, Sapporo Medical University

respectively. E2 has recently been reported to promote positive emotions, while, P has shown the opposite effect. So, mild to moderate CSPR during the luteal phase is recommended to increase the E2 concentration and sense of wellness in young females.

**Key words:** Comfortable self-paced exercise (CSPE), Estradiol, Emotion, Young females, Luteal phase

## 1. 緒言

成熟期の女性では、性周期に伴って女性ホルモン(卵胞ホルモン;エストロゲン, 黄体ホルモン;プロゲステロン)の分泌量に変化し, その変化は心身に様々な影響を及ぼす<sup>36,40</sup>. 女性ホルモンの合成と分泌は視床下部-下垂体前葉-卵巣系で制御されているが, 卵巣の成熟卵胞から分泌されるエストロゲンのなかで, エストラジオール (E2) は量的に最大であり, ホルモン作用も他のエストロゲンより強い. プロゲステロン (P) は排卵によって成熟卵胞から生じた黄体で合成・分泌され, 黄体期に血中濃度が高く, 黄体の退縮とともに低下する<sup>36</sup>.

女性ホルモン E2は, 生殖器官に対する作用の他にも種々の生理作用を有しているが, その一つに向精神作用があり, ネガティブな感情を低減し, ポジティブな感情を高める<sup>7,15</sup>. 10-20歳代は生涯における心身機能の基礎づくりの年代である<sup>37</sup>が, 性周期を考慮して運動負荷を行い, 女性ホルモン分泌に対する影響を検討した研究報告は多くない. また報告された殆どが, 無酸素性作業閾値 (AnT)<sup>38</sup>を超えるような高強度運動またはレジスタンス運動の効果の検討である. Bonen et al.<sup>9</sup>によると, 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) の平均74%という高強度運動を30分間実施した時, 卵胞期と黄体期で血中 E2, P 濃度が有意に上昇し, 卵胞刺激ホルモン (FSH) と黄体形成ホルモン (LH) 濃度は変化しなかった. Consitt et al.<sup>5</sup>は, 平均年齢33歳の女性対象者に, 75% HRmax で約40分間の持久的運動と下肢のレジスタンス運動を行わせた結果, 両運動の直後に血中 E2, P 濃度の上昇を観察した. Kraemer et al.<sup>20</sup>は, 低強度レジスタンス運動によって, 運動直後に血中 E2, P 濃度の上昇を観察したが, 卵胞期より黄体期に反応が大きかったと報告している. 一方, 清水ら<sup>39</sup>は, 22-24歳の女性対象者の卵胞期と黄体期に, それぞれ約70% HRmax で40分間の持久的運動を行わせて, ホルモン動態を検討した結果, 両時期とも血中 E2, P 濃度の変化を認めなかった. 運動習慣のな

い正常な性周期の青年女性を対象にして, 70%  $\dot{V}O_{2max}$  のスピードで2時間走らせたとき, 血中 E2, P 濃度は有意に減少し, これらホルモンの体内からの除去速度が有意に上昇したという報告<sup>20</sup>もある. 上述したように, 運動負荷による血中女性ホルモン濃度の動態は, 高い運動強度による検討が多く, その結果も一致していない. しかし, 高強度の持久的運動やレジスタンス運動負荷によって, 血中 E2, P 濃度が高くなるという報告が多い傾向にあり, 一方非常に過重な運動負荷では血中女性ホルモン濃度の低下する可能性がある<sup>9</sup>と推察される.

近年, 健康づくりのために推奨される運動強度は低下する傾向にある. 厚生省の「健康づくりのための運動所要量」<sup>17</sup>では, 50%  $\dot{V}O_{2max}$  相当の強度で10分間継続し, 1日に20分以上行うことを奨めている. このような低-中等度強度の持久的運動実施による女性ホルモン濃度の変化を検討した報告は極めて少ない<sup>10</sup>.

運動の感情改善効果は, 運動を決められた強度でやらされているときではなく, 自分の意思でやっているときに大きく現れる<sup>19</sup>ことに基づいて, 橋本と徳永<sup>10</sup>は「快適自己ペース運動 (Comfortable Self-Paced Exercise: CSPE)」を提唱した. 個々人の体力には差違があり, 快適と感じる運動強度にも個人差があるため, 体力水準の高い人は高強度の運動で快適に感じる傾向が知られている. それ故に運動を行う際に一定の運動強度を強制せず, 個人が「快」と感じる至適運動強度を取り入れることにより, 「抑うつ」, 「不安」の低減を図ると同時に, 陽性感情である「快感」や「リラックス感」を亢進させることができる<sup>10</sup>.

本研究では, CSPEの中から走運動 (Comfortable Self-Paced Running: CSPR) を選び, 若年女性の CSPR 実施が血中女性ホルモン濃度と感情にどのような影響をもたらすかを明らかにすることを目的とした. その際, 性周期の違いによって生じる女性ホルモン濃度の影響を可及的に一定にする

ため、黄体期後期を対象とした。排卵前の E2濃度は高く P 濃度の低い卵胞期では身体の調子がよく、穏やかな感情を抱く人が多いのに対して、E2, P 濃度が高く変動も大きい黄体期、特に黄体期後期には両ホルモン比が変化しやすく、疲労感・不安や抑うつなどの自律神経症状、精神症状を呈するなどコンディションの悪い女性の多いことが知られている<sup>31,36)</sup>。そこで、黄体期後期にある若年女性の心身機能改善策として、CSPR 実施が女性ホルモン濃度、感情と血中カテコールアミン濃度に及ぼす効果を検討し、あわせて相互の連関を考察した。血漿カテコールアミン {ノルアドレナリン (NA), ドーパミン (DA), アドレナリン (A)} 濃度は、CSPR によって上昇し<sup>32)</sup>、運動のエネルギー源を供給すると同時に多様な生理作用を有していることが知られている<sup>30)</sup>。

## II. 実験方法

### A. 対象者

対象者は月経周期が安定している20歳代の健常な女性11名(平均年齢 $21.4 \pm 0.2$  (SEM) 歳, 身長 $161.6 \pm 1.6$ cm, 体重 $52.4 \pm 1.9$ kg, BMI  $20.1 \pm 0.7$ )である。実験に先立つ1ヶ月以上に渡って、対象者に基礎体温をデジタル電子体温計(MC-108L: OMRON 社)を用いて測定させ、明瞭な性周期の存在を確認した上で、次回以降の黄体期後期に実験を行った。

### B. 快適自己ペース走

対象者がCSPRを体得するための練習日を1日設け、実験日と同様のタイムスケジュールで、斜度0度のトレッドミル(Star Trac/TR 3420)を合計50分間走行させた。走行にあたって、①快適と感じる自由なペースで走る、②歩いても良い、③走行中のトレッドミルの速度を自由に覚えてよい、④最初の10分間と最後の10分間はそれぞれウォームアップ、クールダウンにあてる、と口頭で指示した。練習日から2日以上経過した黄体期に、対照安静実験日とCSPR実験日を1日ずつ設定した。対照日とCSPR日は可及的に同様の生活をするように口頭で指示し、生活活動日誌を記録させた。図1に示すように、午後6時30分に実験を開始し、坐位安静を15分とった後、質問紙の記入を行い、実験開始後30分からCSPRあるいは対照安静を50分間実施させた。

CSPR(対照安静)の終了後質問紙の記入を行った後、再び坐位安静を30分間とらせた。対照安静実験はCSPRの代わりに、椅子座位安静で刺激の少ない写真集をながめて過ごさせた。

### C. 心拍数の測定

アクティブトレーサー(AC-301: GMS 社)を用い、心電図R-R間隔を胸部誘導法で全実験時間を通じて測定し、MemCalc解析(解析ソフトTARAWA: 諏訪トラスト社)を行って心拍数を求めた。運動強度の指標として、心拍予備率%  $HRR = \{(\text{運動時心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最高心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times 100\}$ 、最高心拍数 $=220 - \text{年齢}$ をCSPR時に計算した。

### D. 主観的運動強度の測定

Borg<sup>33)</sup>によって考案されたrating of perceived exertion (RPE: 自覚的運動強度)を、CSPR時に10分毎に合計5回測定した(図1)。

### E. 血中女性ホルモンとカテコールアミン濃度の測定

50分間のCSPR(対照安静)の前後に肘静脈から採血した。採取した血液サンプルは遠心分離によって血清および血漿を分離し、 $-80^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存後、分析を行った。血清E2, Pの測定はRIA(radioimmunoassay)チューブ固相法<sup>34)</sup>、血漿カテコールアミン3分画(NA, DA, A)濃度の測定は、HPLC(high performance liquid-chromatography)法<sup>35)</sup>によった。

### F. 感情尺度による感情の測定

感情尺度Profile of Mood State (POMS)はMcNair & Lorr<sup>36)</sup>によって開発され、世界的に汎用されている質問紙である。本研究では、横山ら<sup>37)</sup>が日本語訳とその標準化を行ったものを使用した。6つの下位尺度(①不安-緊張/②抑うつ-落ち込み/③怒り-敵意/④活気/⑤疲労/⑥混乱)から構成される。①②③⑤⑥のネガティブな感情尺度得点は低いほど、④は得点の高いほど感情の良好なことを示すと考えられる。CSPR(対照安静)の前後に2回、自記式で回答させた(図1)。

標準化された感情尺度Mood Check List-Short Form 1(MCL-S.1)<sup>38)</sup>は、運動に伴う感情の変化を捉えることを目的として使用した。MCL-S.1は「快感

情」「リラックス感」「不安感」の下位尺度から構成されているが、本研究では CSPR が主観的「快」で実施されたか否かを知るために「快感情」のみを測定した。MCL-S.1は質問数10項目と少なく、各質問に7段階（-3から+3）リカート式選択肢に回答するもので、運動中の感情を比較的簡便に測定できる特徴もっている。快感情得点は-12点から+12点の範囲で変化し、高得点ほど「快」であることを意味する。CSPR（対照安静）の前に1回、開始後は10分間隔で5回、終了30分後の合計7回測定した。CSPR中はパネルを表示し口頭で回答を求め、対照安静実験では自記式で回答させた（図1）。

G. 統計処理

CSPR と対照安静実験日に反復測定した各測定項目について、実験条件ごとに、測定数が2点の場合には関連2群のt検定、3点以上の場合には1元配置分散分析を行った。1元配置分散分析で有意差が認められた時に多重比較検定（Bonferroni法）を行った。実験条件間の比較には反復測定2元配置分散分析（条件×時間）を行い、条件の主効果と交互作用の有意差を検定した。交互作用に有意差が認められた場合に、関連2群のt検定で下位検定を行った。有意水準を危険率5%とした。

結果は平均値 ±SEM で記述した。

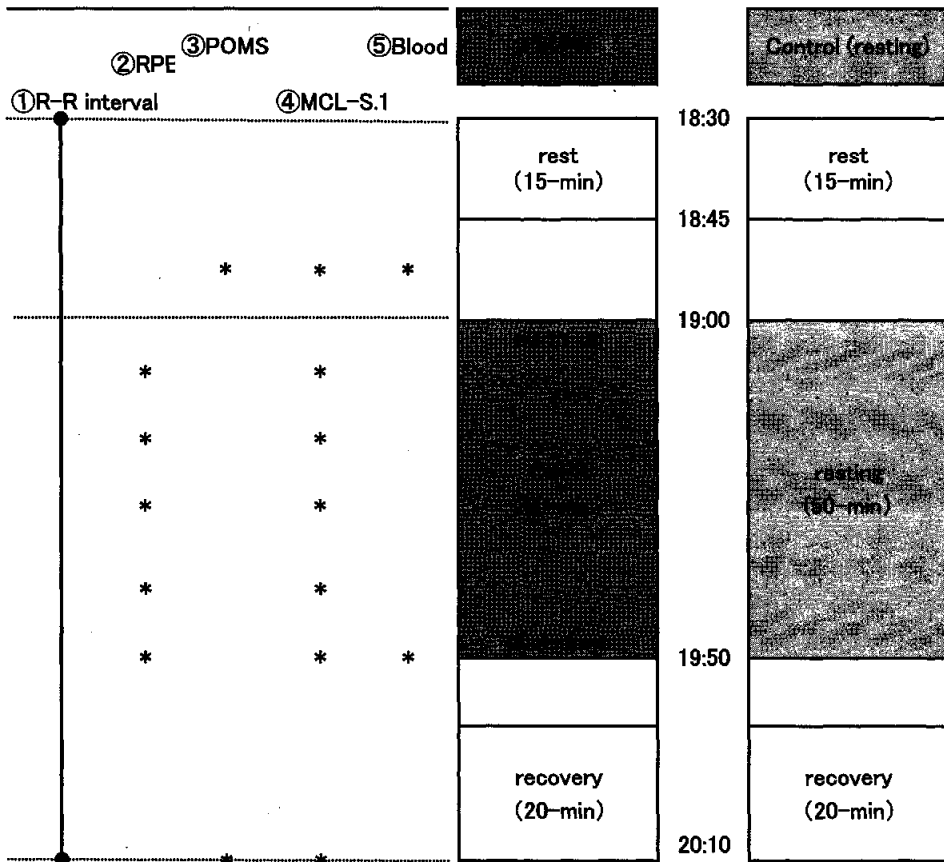


Fig. 1 Time schedule and measured items on both experiment days  
 The R-R interval was continuously measured by an Active-tracer during each experiment.  
 RPE: Rating of perceived exertion  
 POMS: Profile of mood state  
 MCL-S.1: Mood Check List-Short Form 1  
 CSPR: Comfortable Self-Paced Running

H. 倫理的配慮

本実験は、「北海道大学大学院教育学研究科における人間を対象とする研究審査委員会」の承認を得た。対象者に対して、研究目的と研究方法の概要を説明し、研究結果は全て統計的に処理し、個人が特定される資料は公表しないことを約束し、文書で承諾を得た。

III. 結果

A. CSPR 中の心拍予備率と RPE

CSPR 開始後20分まで RPE は上昇したが、それ以降は対象者によって個別的に変化した。CSPR 中の平均心拍予備率は61.3±6.7%で、平均 RPE は12.0±0.5であり、「11: 楽である」と「13: ややきつい」の間を示した。

B. 血中ホルモン濃度

CSPR (対照安静) 50分間前後の血清女性ホルモン濃度の変化を表1に、血漿カテコールアミン濃度の変化を表2に示した。E2濃度は CSPR 実験日に67.1±9.4pg/ml 血清から84.7±9.7へと有意に上昇したが、P 濃度に変化はなかった(表1)。対照安静実験では女性ホルモン (E2, P) 濃度に有意な変化は認められなかった(表1)。

カテコールアミン濃度は、CSPR 実験日に NA, DA, A のいずれも CSPR 後に有意に上昇したが、対照安静実験で有意な変化は認められなかった(表2)。CSPR 実験日の E2濃度前値は67.1±9.4 pg/ml で、対照安静実験日の前値95.4±10.1との間に有意差が認められた (t = 2.822, p = 0.018)。それ以外の P, カテコールアミン (NA, DA, A) 濃度の両実

Table 1 Changes in the concentrations of estradiol (E2) and progesterone (P) for this experiment of Comfortable Self-Paced Running (CSPR) or resting of young females during their late luteal phase

Measured item	Group	PRE	POST	Repeated measure ANOVA p-value		
				CSPR vs. Control	Time	Interaction
Estradiol (E2) (pg/ml)	CSPR	67.1(9.4)*	84.7(9.7)*	0.139	0.006	0.008
	Control	95.4(10.1)	95.7(7.7)			
Progesterone (P) (ng/ml)	CSPR	4.45(1.25)	4.33(1.09)	0.864	0.615	0.745
	Control	4.69(1.16)	4.66(1.18)			

Mean (SEM), n = 11

\*: p < 0.05 (vs. Control) by paired t-test

\*: p < 0.05 (vs. PRE) by paired t-test

CSPR: Comfortable Self-Paced Running

PRE: previous CSPR (resting) for 50 min POST: after CSPR (resting) for 50 min

Other abbreviations are the same as in Fig. 1. Details are shown in the text.

Table 2 Changes in the catecholamine concentrations between 50 min of Comfortable Self-Paced Running (CSPR) or resting of young females during their late luteal phase

Measured item	Group	PRE	POST	Repeated measure ANOVA p-value		
				CSPR vs. Control	PRE vs. POST	Interaction
NA (pg/ml)	CSPR	346(34.7)	500(68.9)**	0.139	0.140	0.017
	Control	361(37.8)	321(37.8)			
DA (pg/ml)	CSPR	10.5(1.7)	24.4(5.8)**	0.005	0.068	0.033
	Control	8.6(1.1)	7.5(1.0)			
A (pg/ml)	CSPR	13.4(1.9)	36.7(12.7)*	0.251	0.048	0.075
	Control	15.5(2.7)	16.9(2.8)			

Mean (SEM), n = 11

\*: p < 0.05 (vs. Control) by paired t-test

\*: p < 0.05 (vs. PRE) by paired t-test

NA: noradrenaline, DA: dopamine, A: adrenaline

CSPR: Comfortable Self-Paced Running

PRE: previous 50 min of CSPR (Rest) POST: after 50 min of CSPR (Rest)

Other abbreviations are the same as in Fig. 1. Details are shown in the text.

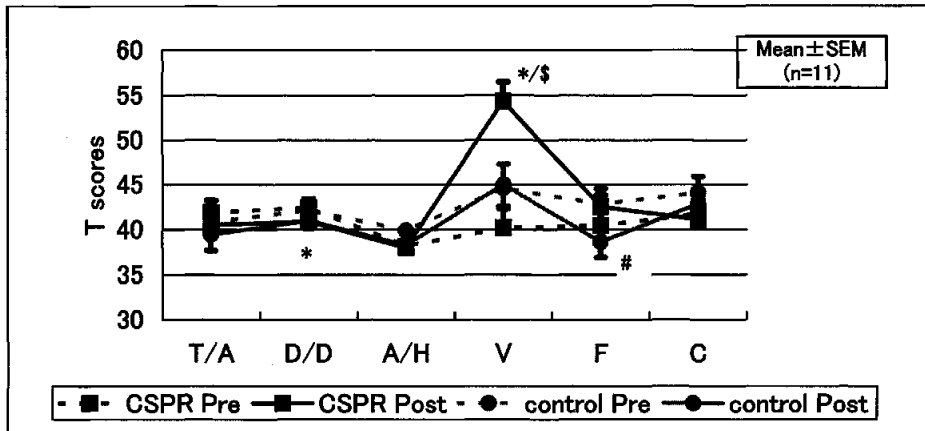


Fig. 2 Changes in POMS scores for this experiment of CSPPR or resting of young females of their late luteal phase

\*:  $p < 0.05$  vs. CSPPR Pre #:  $p < 0.005$  vs. Control Pre \$:  $p < 0.005$  vs. Control Post

POMS: Profile of mood state

CSPPR: Comfortable Self-Paced Running

T/A: Tension/Anxiety D/D: Depression/Dejection A/H: Anger/Hostility

V: Vigour F: Fatigue C: Confusion

Other abbreviations are the same as in Fig. 1. Details are shown in the text.

験日の前値に有意差は認められなかった。

#### C. 感情尺度得点

POMSの結果を図2に示した。抑うつ-落ち込み得点がCSPPR前にくらべて終了後に有意に低下し、活気得点が有意に上昇した。CSPPR後のPOMS得点パターンは典型的な水山型を示した。対照安静実験ではそのような変化は認められなかったが、疲労得点が実験終了時に有意に低下した。

MCL-S.1の快感情得点は、CSPPR前 ( $-1.3 \pm 0.9$ ) に比べ、CSPPR10分 ( $+3.3 \pm 0.7$ ) に有意に上昇し、20分 ( $+4.5 \pm 0.7$ )、30分 ( $+4.9 \pm 0.7$ )、40分 ( $+5.3 \pm 0.8$ )、50分後 ( $+7.2 \pm 0.7$ )、CSPPR終了30分後 ( $+4.6 \pm 0.72$ ) まで有意に高く維持された。対照安静実験の快感情得点は開始前 ( $-0.1 \pm 1.1$ ) から、全実験時間において有意な変動は見られず、50分後 ( $-0.3 \pm 1.7$ )、安静終了30分後 ( $-0.3 \pm 1.5$ ) であった。

#### D. 血中ホルモン濃度と感情尺度得点の相関

CSPPR前後と対照実験前後におけるE2濃度の変化量とPOMS活気得点変化量間に、有意な正の相関が認められた。同様にE2濃度の変化量と実験開始前

と50分後のMCL-S.1快感情得点変化量間に有意な正の相関がみられた(表3)。その他の感情得点とE2濃度の変化量間、またはカテコールアミン(NA, DA, A)濃度の変化量との間に有意な相関は認められなかった。

#### IV. 考察

本研究のCSPPR50分間の平均RPEは $12.0 \pm 0.5$  (SEM)であり、「11:楽である」と「13:ややきつい」の間であった。平均心拍予備率は $61.3 \pm 6.7\%$ であり、中等度強度の運動とみなされる。中等度強度の身体運動を遂行するためにもエネルギー供給の増加が必要で、NA, Aなどのホルモン分泌が増えて賄う<sup>19)</sup>。本研究でも、表2に示すように血漿NA, A濃度が有意に上昇したことから、CSPPRを遂行するエネルギー代謝を増加させたと考えられる。

E2の性器外作用として、骨形成作用<sup>20)</sup>、脂質代謝を高める作用<sup>21)</sup>、ストレス抵抗性を高める作用<sup>22)</sup>、血管抵抗を低下させる作用<sup>23)</sup>、感情をネガティブなものからポジティブにする作用<sup>7,15)</sup>などが報告されてきた。本研究では、主観的「快」に基づいて運動強度を自由に変えることのできる50分間のCSPPRを実施した。MCL-S.1快感情得点が、CSPPRによって顕

Table 3 Correlations between the changes of estradiol concentration and scores of MCL-S.1 for this experiment of Comfortable Self-Paced Running (CSPR) or resting of young females in their late luteal phase

X	Y	Correlation Equation (Correlation coefficient)	p
Change of Estradiol concentration (pg/ml)	Changes of Vigour scores of POMS (points)	$Y = 0.249X + 5.029$ (0.423)	0.025
	Changes of Pleasantness scores of MCL-S.1 (points)	$Y = 0.219X + 2.141$ (0.546)	0.004

n = 22

MCL-S.1: Mood Check List-Short Form 1

POMS: Profile of mood state

CSPR: Comfortable Self-Paced Running

Other abbreviations are the same as in Fig. 1. Details are shown in the text.

著に上昇したことから、主観的「快」が裏付けられたと言えよう。このような CSPR によって E2 血中濃度の上昇が認められた。性周期に伴う性ホルモン環境の変化から CSPR の効果も異なることが予測される若年女性で、性周期を黄体期に揃えて E2 濃度の上昇が示されたことになる (表 1)。黄体期における E2 濃度の正常範囲目安は 30-370pg/ml、卵胞期のそれは 35-370pg/ml と同一周期でも 10 倍までも範囲の広いことに注意が必要である<sup>30</sup>。黄体期 P 濃度も正常範囲の目安は 9.6-21.5ng/ml、卵胞期 0.5-1.5ng/ml と正常域の幅が 2-3 倍程度と広い<sup>19</sup>。そのため、表 1 に示す CSPR 実験日と安静対照日の E2 前値の有意差は起こりうる可能性が高いものと考えられる。CSPR 実験日の E2 濃度前値は 67.1±9.4 (SEM) pg/ml であり、対照安静実験日の前値 (95.4±10.1) との間に有意差があった。CSPR 実験日の E2 前値が低いために後値が高くなりやすかった可能性があるとはいえ、正常範囲が 370pg/ml までとされている<sup>30</sup>中で、対照安静実験日の前値 (95.4±10.1) が高いために対照日に上昇が生じなかったとは考えにくい。従って、CSPR 実験日の E2 濃度上昇は、50 分間の CSPE によるものと推察される。

本研究の CSPR (対照安静) 前値と後値を比べた E2 濃度変化量と、標準化された質問紙 POMS で測定した活気得点変化量の間に正の相関が見られた (表 3) こと、MCL-S.1 快感情得点変化量との間にも正の相関が見られた (表 3) ことから、E2 にポジティブ感情を強め、ネガティブ感情を低減させる効果があるという従来の報告<sup>7,19</sup>に矛盾しない結果と言えよう。

Kraemer et al.<sup>20</sup>は、低強度レジスタンス運動に

よって、運動直後に血中 E2、P 濃度の上昇を観察したが、卵胞期より黄体期に反応が大きかったと報告している。本研究は黄体期のみを検討であるが、E2 濃度の上昇は観察されたものの、P 濃度に有意な変化は認められなかった。このような結果の違いは運動強度や運動の種類による効果の差違による可能性があり、今後の検討に残された課題である。しかし、E2 の生理作用に比べて P の生理作用は異なると推測されている。E2 が脳内でセロトニンレベルを上昇させる<sup>40</sup>のに対し、P はセロトニンレベルを低下させる<sup>30</sup>。脳内セロトニンと DA がポジティブな感情に関係すると考えられている<sup>20</sup>ことから、感情の改善という立場でみると、E2 と P の両者が増大する AnT を越えるような高強度運動よりも、E2 のみを上昇させる CSPR のような低-中等度強度の運動の方が心身にとって健康的な効果を与えるのではないかと考えられるが、今後の検討が待たれる課題である。

主観的「快」に基づいて運動強度を選択し、結果として平均心拍予備率が 61.3±6.7% を示した 50 分間の CSPR 実施によって、E2 の血中濃度は上昇した。運動による性ホルモン分泌の増加は、視床下部で合成・分泌される性腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) - 下垂体前葉で合成・分泌される性腺刺激ホルモン (FSH と LH) - 性腺系の中で、視床下部や下垂体前葉の機能亢進を反映している<sup>30</sup>可能性と同時に、カテコールアミン血中濃度の増加に刺激されて E2 合成・分泌が性腺で増加する可能性がある<sup>40</sup>。運動時に下垂体前葉で合成・分泌される β-エンドルフィン は下垂体前葉の LH 分泌を抑制し、その結果として性腺の性ホルモン合成・分泌を抑える可能性が報告されている<sup>27,30</sup>。一方、β-エンドル



フィンが卵巣に直接作用して、エストロゲンの合成と分泌を促進する可能性も示唆されている<sup>12)</sup>ので、 $\beta$ -エンドルフィンを介するメカニズムについては今後の検討課題として残る。性ホルモン血中濃度の増大はネガティブフィードバックによって、視床下部 GnRH や下垂体前葉 FSH, LH の合成・分泌を抑制するため、運動の中核性影響を評価するためには、運動開始直後から連続的に視床下部 GnRH, 下垂体前葉 FSH と LH, 卵巣 E2 の血中濃度を測定することが必要であり今後の検討課題である。一方、本実験の50分間の CSPR 後にカテコールアミン血中濃度は有意に上昇した(表2)。NA と DA が成人女性の卵巣顆粒膜細胞に作用して、P 合成を抑えると同時に E2 合成・分泌を増加させることが報告されている<sup>13)</sup>ことから、CSPR によって観察された E2 血中濃度の上昇は、カテコールアミン血中濃度の上昇が関係している可能性が推察される。

本研究で実施した50分間の CSPR によって、血漿カテコールアミン濃度が有意に上昇した(表2)ことから、このような CSPR 運動負荷は心身にとってストレスとみなされる。E2 は NA の  $\beta$  レセプター感受性を低下させることによって、血圧上昇、心拍数増大などの作用を和らげるストレス緩和作用が知られている<sup>14)</sup>ので、CSPR による E2 血中濃度の増加は心身にとって利点の多い生体现象であると考えられる。

性ホルモン血中濃度には日内変動のある<sup>15)</sup>ことが知られている。本研究では、実験時間を夕方6時30分開始に統一し、1日に2回、約60分の間において採血して E2 と P 濃度を測定した。本結果に対する日内変動の影響は極めて小さいと考えられる。

E2 は、タンパク同化作用や骨芽細胞の活性化に関与する。また陸上競技での垂直運動や、短時間の高強度運動は、骨量増加につながることから、10-20歳代に運動を行い、運動によって E2 分泌が上昇することが確実であれば、骨量が最も発育する年代において効果的であり、将来的な骨粗鬆症の予防につながると考えられる。そのためにも、継続する動機を高めるような運動強度で実施するのが望ましい。快感情を重視して至適運動量を決める CSPE は、運動習慣の少ない体力水準の高くない人たちにとって無理のない低-中等度強度の運動実施になり、運動を習慣化するうえで有用であると考えられる。従来報告されてきた70-75%  $\dot{V}O_{2max}$  (= HRR)

の運動強度は AnT を越えており、自覚的には「きつい」と感じる人が多いため、運動習慣のない低体力者が運動を継続していくことに困難の多い運動強度と推察される。また高強度運動を継続した競技選手などで、オーバートレーニング症候群と呼ばれる抑うつ症状が知られている<sup>16)</sup>。レクリエーション活動や健康づくりのための運動プログラムに参加する人たちが増加してきたが、半数近い人が開始後の早い時期に中止していることも報告されている<sup>17)</sup>。それ故、運動実施者の気分・体調・体力などにあわせて無理なくできる CSPE が、運動継続に有用な役割を果たす可能性が推察される。

今後、若年女性の運動習慣者と非習慣者について、E2 と感情に対する CSPE の効果を性周期の各期で比較検討することが重要と考えられる。

## V. 要約

成年女性を対象に、無酸素性作業域値を越えているとみなされる高強度の持久性運動やレジスタンス運動負荷によって、血中女性ホルモン(エストロゲン; E2 とプロゲステロン; P) 濃度が高くなるという報告は多いが、低-中等度強度の有酸素性運動が血中 E2 と P 濃度に及ぼす効果の検討は極めて少ない。月経周期が安定している20歳代(平均年齢21歳)の若年女性11名を対象にして、彼女たちの黄体期後期に、対照安静実験日と快適自己ペース走(CSPR)実験日を1日ずつ設定した。50分間の CSPR は、平均心拍予備率が  $61.3 \pm 6.7$  (SEM) %、平均 RPE は  $12.0 \pm 0.5$  で中等度強度と考えられた。対照日には、CSPR の代わりに椅子座位安静で刺激の少ない写真集を見させた。50分間の CSPR (対照安静)前後に肘静脈から採血し、E2 と P 濃度、カテコールアミン濃度を測定した。E2 濃度は CSPR によって  $67.1 \pm 9.4$  から  $84.7 \pm 9.7$  pg/ml まで有意に上昇したが、対照安静では変化しなかった。P 濃度は両実験において変化が認められなかった。カテコールアミン3分濃度はいずれも CSPR によって有意に高まり、対照では変化は認められなかった。CSPR (対照安静)時の感情の変化を、感情評価尺度 Profile of Mood State (POMS) 並びに Mood Check List-Short Form 1 (MCL-S.1) によって測定した。CSPR によって、POMS の抑うつ-落ち込み得点が低下し活気得点が上昇した。同様に MCL-S.1 快感情得点も CSPR によって上昇した。50分間の

CSPR (対照安静) による POMS 活気得点並びに MCL-S.1 快感情得点の変化量と E2 濃度変化量の間にそれぞれ正の相関が認められた。E2 は感情をポジティブにし、P は逆むきの作用をもつとされるので、CSPR による E2 濃度上昇作用は心身にとって有用な効果を持つと考えられる。

#### 引用文献

- 1) Bodis J, Tinneberg H R, Torok A, Cleon P, Hanf V, and Papenfuss F (1993) Effect of noradrenaline and dopamine on progesterone and estradiol secretion of human granulosa cells. *Acta Endocrinologica*. 129: 165-168
- 2) Bonen A, Ling W Y, MacIntyre K P, Neil R, McGrail J C and Belcastro A N (1979) Effects of exercise on the serum concentrations of FSH, LH, Progesterone, and Estradiol. *Eur J Appl Physiol* 42: 15-23
- 3) Borg G A V (1973) Perceived exertion, a note on history and methods. *Med Sci Sports Exerc* 5: 104-109
- 4) Chakravorty S G and Halbreich U (1997) The influence of estrogen on monoamine oxidase activity. *Psychopharmacol Bull* 33: 229-233
- 5) Consitt L A, Copeland J L and Tremblay M S (2001) Hormone responses to resistance vs. endurance exercise in premenopausal females. *Can J Appl Physiol* 26: 574-587
- 6) Cumming D C, Brunsting L A 3<sup>rd</sup>, Strich G, Ries A L and Rebar R W (1986) Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med Sci Sports Exerc* 18: 369-373
- 7) Dalla C, Antoniou K, Papadoulou-Daifoti Z, Balthazart J and Bakker J (2004) Oestrogen-deficient female aromatase knockout (ArKO) mice exhibit depressive-like symptomatology. *Eur J Neurosci* 20: 217-228
- 8) D'Eon T M, Sharoff C, Chipkin S R, Grow D, Ruby B C and Braun B (2002) Regulation of exercise carbohydrate metabolism by estrogen and progesterone in women. *Am J Physiol Endocrinol Metabolism* 283: E1046-E1055
- 9) Farhat M Y, Lavigne M C and Ramwell P W (1996) The vascular protective effects of estrogen. *FASEB J* 10: 615-624
- 10) Fujimoto V Y, Clifton D K, Cohen N L and Soules M R (1990) Variability of serum prolactin and progesterone levels in normal women: the relevance of single hormone measurements in the clinical setting. *Obstetrics & Gynecology* 76: 71-78
- 11) Galbo H (1982) Hormonal and metabolic adaptation to exercise. 1-116 Thieme Medical Publishers, New York
- 12) Harber V J and Sutton J R (1984) Endorphins and exercise. *Sports Medicine* 1: 154-171
- 13) 橋本公雄, 斎藤篤司, 徳永幹雄, 磯貝浩久, 高柳茂美 (1991) 運動によるストレス低減効果に関する研究 (2) 適正の快適自己ペース走による感情の変化. *健康科学* 13: 1-7
- 14) 橋本公雄, 徳永幹雄 (1996) 運動中の感情状態を測定する尺度 (短縮版) 作成の試み MCL-S.1 尺度の信頼性と妥当性. *健康科学* 18: 109-114
- 15) Herzog A G (1999) Psychoneuroendocrine aspects of temporolimbic epilepsy. Part 1. Brain, reproductive steroids, and emotions. *Psychosomatics* 40: 95-101
- 16) 井瀧千恵子, 森谷 梨, 小田史郎, 大塚吉則, 武田秀勝 (2003) 若年女性の快適自己ペース走が感情と血中ホルモン濃度に及ぼす影響. *体力科学* 52: 330
- 17) 健康づくりのための運動所要量検討会 (1989) 健康づくりのための運動所要量策定検討会報告書. 第六次改訂日本人のための栄養所要量 (1999), 193-198 第一出版, 東京
- 18) Khatri P and Blumenthal J A (2000) Exercise. Ed. Fink G *Encyclopedia of Stress* (vol 2), 98-102 Academic Press, San Diego
- 19) 小松崎一則, 矢内原巧 (2001) プロジェステロン, 17 $\alpha$ -ヒドロキシプロジェステロン, プレグナンジオール, プレグナントリオール. *Medical Practice 編集委員会 臨床検査ガイド2001~2002*, 534-540 文光堂, 東京
- 20) Kraemer R R, Heleniak R J, Tryniecki J L, Kraemer G R, Okazaki N J and Castracane V D (1995) Follicular and luteal phase hormonal response to low-volume resistive exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27: 809-817
- 21) Liechti M E, Saur M R, Gamma A, Hell D and Vollenweider F X (2000) Psychological and physiological effects of MDMA ("Ecstasy") after pretreatment with the 5-HT(2) antagonist ketanserin in healthy humans. *Neuropsychopharmacology* 23: 396-404
- 22) Lunga P and Herbert J (2004) 17Beta-oestradiol modulates glucocorticoid, neural and behavioural

- adaptations to repeated restraint stress in female rats. *J Neuroendocrinol* 16: 776-785
- 23) 牧野恒久, 岡 親弘, 原 利夫, 元山鎮雄, 田淵土志夫, 原 崇文, 飯塚理八, 西江晴男 (1988) 新しいチューブ固相法 RIA キットによるヒト血中の Estradiol, Progesterone の動態の研究. *ホルモンと臨床* 36: 975-979
- 24) 真島英信 (1976) 生殖 (B) 女性. *生理学*, 493-501 文光堂, 東京
- 25) McNair D M and Lorr M (1964) An analysis of mood in neurotics. *J Abnorm Soc Psychol* 69: 620-662
- 26) Miller S B, Sita A (2000) Estrogen. Ed. Fink G *Encyclopedia of Stress* (vol 2), 71-74 Academic Press, San Diego
- 27) 宮地幸隆 (1992) 運動とホルモン. *からだの科学* 163: 70-75
- 28) 宮村実晴 (1996) 無酸素性作業閾値. 宮村実晴編著 *最新運動生理学*, 214-217 真興交易医書出版部, 東京
- 29) Montagnani C F, Arena B and Maffulli N (1992) Estradiol and progesterone during exercise in healthy untrained women. *Med Sci Sports Exerc* 24: 764-768
- 30) 森谷 黎 (1997) スポーツと情動. 伊藤眞次他編 *情動とホルモン*, 295-310 中山書店, 東京
- 31) 森谷 黎 (1998) 女性の防衛体力の特性-健康づくりの観点から-. *北海道大学教育学部紀要* 75: 121-138
- 32) Oinonen K A and Mazmanian D (2002) To what extent do oral contraceptives influence mood and affect? *Journal of Affective Disorders* 70: 229-240
- 33) 岡田弘二, 山本 宝 (2001) エストラジオール (E2), エストリオール (E3). *Medical Practice* 編集委員会 *臨床検査ガイド2001~2002*, 509-514 文光堂, 東京
- 34) 太田博明 (2002) 骨粗鬆症の治療「薬物療法/エストロゲン」. *日本臨床*, 60 (増刊3): 329-339
- 35) Pearlstein T and Stone A B (1998) Premenstrual syndromes. *Psychiatr Clin North Am* 21: 577-590
- 36) Puder, J J, Wardlaw, S L (2000) Beta-Endorphin. Ed. Fink G *Encyclopedia of Stress* (vol 1), 321-324 Academic Press, San Diego
- 37) 定本朋子, 久楚真由美, 藤山文乃 (1995) 女性のライフステージからみた身体運動と健康. 宮下充正 (監) *女性の成熟と老化*, 120-151 杏林書院, 東京
- 38) Sherwin B (1996) Hormones, mood, and cognitive functioning in postmenopausal women. *Obstet Gynecol* 82 (suppl): 20s-26s
- 39) 清水扶美, 小宮秀一, 大柿哲朗, 藤野武彦 (2001) 卵胞期と黄体期における有酸素性運動中の代謝・ホルモン動態の特徴. *健康科学* 23: 65-73
- 40) 品川信良 (1994) 女性の健康のためのエコロジー. 現代女性の健康の増進と病気の予防のために. *からだの科学 (増刊)「女性の病気」*, 2-10
- 41) 白山正人 (1996) オーバートレーニング症候群. *体力科学* 45: 395-398
- 42) 佐美 靖, 小田史郎, 渡辺明日香, 菅原 誠, 森谷 黎 (2001) 50分間の快適自己ペース走による心臓自律神経と血中ノルアドレナリン濃度の変動. *体力科学* 50: 947
- 43) 辻 潮, 中西豊文, 中井一吉, 塩見寿太郎, 船橋修之 (1988) 全自動カテコールアミン分析計 (HLC-8030) による血中, 尿中カテコールアミンの分画測定. *臨床検査機器・試薬*, 11: 635-641
- 44) 渡辺明日香, 小田史郎, 佐美 靖, 森谷 黎 (2001) 50分間の快適自己ペース走時の気分変化. *北海道体育学研究* 36: 70
- 45) 横山和人, 荒記俊一, 川上憲人, 竹下達也 (1990) POMS (感情プロフィール調査) 日本語版の作成と信頼性および妥当性の検討. *日本公衆衛生雑誌* 37: 913-918  
(平成17年6月29日受付, 平成17年10月21日訂正, 平成17年12月8日受理)