

## 運動後の回復を表す新しいストレス指標の開発： 唾液中コルチゾール濃度からみた二次元気分尺度の有用性

征矢 英昭\*・加藤 守匡\*\*・坂入 洋右\*・木塚 朝博\*・緒形ひとみ\*  
西島 壮\*・大森 武則\*・大岩 奈青\*・楯岡 卓\*・中西 康巳\*

### Availability of the two-dimensional mood scale evaluating post-exercise recovery: possible link with salivary cortisol levels

SOYA Hideaki, KATO Morimasa, SAKAIRI Yousuke, KIZUKA Tomohiro  
OGATA Hitomi, NISHIJIMA Takeshi, OMORI Takenori  
OIWA Nao, TATEOKA Masaru, NAKANISHI Yasumi

#### 1 緒言

良いトレーニングほどからだにはストレスになるといわれる。医学・生理学領域でのストレスは視床下部-下垂体-副腎軸の活性化により副腎皮質由来の糖質コルチコイド(GC、コルチゾールが代表的)の分泌が起こるかどうかで決まる<sup>2)7)</sup>。LT(乳酸閾値)を超えればどんな運動も下垂体由来の血中ACTH(副腎皮質刺激ホルモン)濃度が増加し、結果的に血中GC濃度も増加するので、運動もストレス(運動ストレス)となりうる<sup>8)9)</sup>。多くのアスリートはLTをはるかに超える強度で日々のトレーニングを行っており、トレーニングに伴う心身の疲労時には、オーバートレーニング症候群が懸念される。Yakovlevら<sup>12)</sup>が提唱した超回復理論で示唆されるように、どんなトレーニングであろうが休養なくして十分な運動効果は得られない。トレーニングが個人のからだにどの程度のストレス負荷になるかを簡便に評価できる指標があり現場で利用できれば、選手もコーチもオーバートレーニング回避が容易になる。

強い運動ストレスやトレーニングほどGCの血中濃度が高まる<sup>3)</sup>。GCはあらゆる生理機能に対して許容作用をもち、例えば、激トレーニングによる骨・筋の修復過程に関与する細胞性免疫に対しても、短期では活性化、長期では抑制といった

効果をもつ<sup>2)</sup>。血中GC動態は唾液中にも同様に反映されることが知られている<sup>10)11)</sup>。したがって、ストレスの結果として生じるGC濃度の増減を反映して変化する心身の状態を評価するための簡便な指標が開発できれば、からだに対するトレーニングの生体負担度を正當に評価できるようになるかもしれない。心理状態の自己評価指標としてPOMS(Profile of Mood States: 気分プロフィール検査)がよく用いられているが<sup>4)</sup>、質問項目数が65と多く現場では使いにくい。

最近我々は、8項目の少数質問項目からなるTMS(Two-dimensional Mood Scale、二次元気分尺度)を開発し、これが個人の覚醒度や快適度の簡便な指標となりうることを報告した<sup>5)6)</sup>。さらにTMSによって測定される心理状態は、POMSやSTAI(State Trait Anxiety Inventory)の状態不安尺度など既存の心理指標によって測定される不快感や疲労や不安の水準と高い相関( $r = -0.6 \sim -0.9$ )をもつことがわかってきた<sup>6)</sup>。本研究では、疲労困憊に至る激運動後の回復過程における生理的・心理的状态の変化を、唾液中コルチゾール濃度およびTMSの覚醒度と快適度を指標として評価するとともに、両指標の相関関係(仮説として、回復過程におけるコルチゾール濃度の低下に対応して、覚醒度が低下し快適度が上昇することが予想され

\* 筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻

\*\* 国際科学振興財団

る)を確認することにより、運動後の回復過程における唾液中コルチゾール濃度の予測指標としてTMSを活用する可能性を検討することを目的とした。唾液中GC濃度は血中とも高い相関関係が得られることから、TMSの測定結果がもし唾液中コルチゾール濃度と相関すれば、からだのストレス度を測る心理指標、すなわち、ストレス指標としての利用価値を見いだせるかもしれない。

## 2 研究方法

### 1) 被験者

被験者は健康な男子学生3名(平均年齢、25±1.2歳)であり、各被験者の身長、体重、BMIの平均と標準誤差は、各々172.7±2.4cm、70.0±3.1kg、23.5±0.6であった。全ての被験者には実験前に研究の目的、方法を十分説明し、書面により被験者

になることの同意を得た。実験はすべて筑波大学体育科学系倫理委員会の規定に基づいて行った。

### 2) 実験手順

被験者は、実験に使用する装置及びプロトコルに十分に慣れた後に実験を行った。各被験者は、サイクル型エルゴメーター(ストレンクスエルゴ240、三菱電機株式会社製)により最大漸増負荷運動を行った。運動姿勢はリカンベント姿勢(シート角度:105度、ペダル軸の高さ:地面から60cm)とし、運動開始前に大転子からペダル軸までの距離を調節し、伸展時に膝が完全に伸びないよう配慮した。運動プロトコルは、エルゴ上での安静後、60rpmのペダリング運動を0Wから開始した。運動開始後は、18分までは3分毎に25Wずつ負荷を増大させ、それ以降は1分毎に25Wずつ増大させた(図1)。60rpmが保てなくなった時点

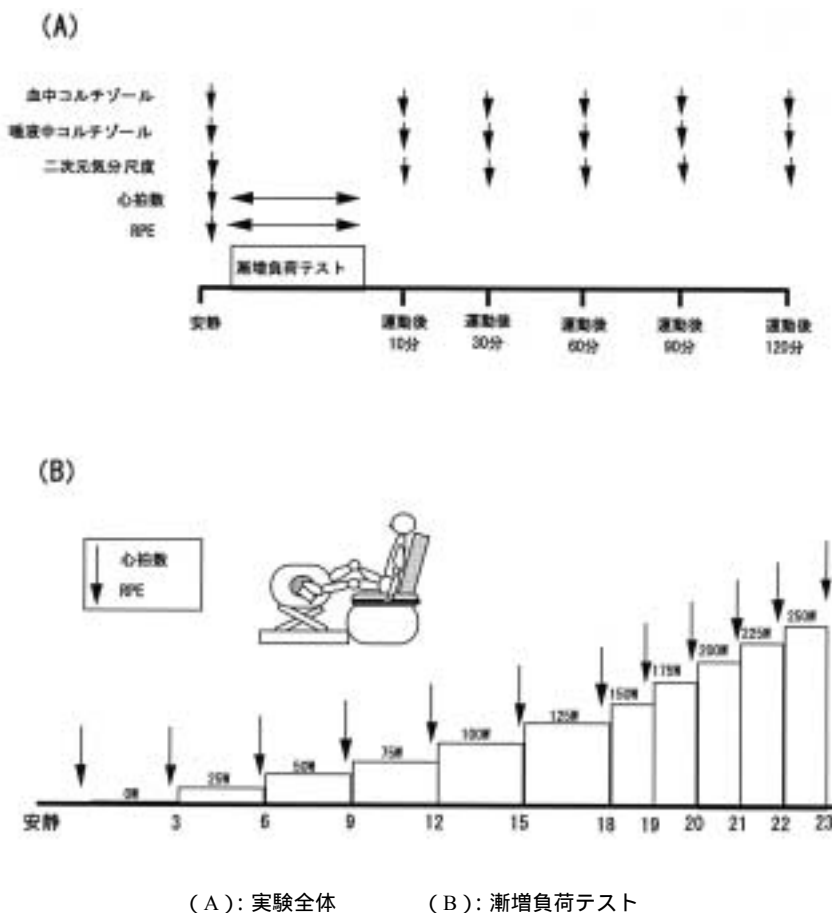


図1 実験プロトコル

オールアウトとした。運動終了後、被験者はエルゴメーターからベッドに移動し、運動終了後 120 分までリカンベント姿勢で安静にした。

測定項目は、心拍数、RPE (Ratings of Perceived Exertion: 主観的運動強度)、血中及び唾液中コルチゾール、二次元気分尺度とし、運動前、運動終了後 10 分、30 分、60 分、90 分、120 分後の時点において測定した。実験は 14 時から開始し、17 時にはすべての項目の測定を終了した。

### 3) 測定項目

心拍数、RPE

心拍数及び RPE の測定は、各運動ステージ終了 15 秒前に実施した。心拍数は 3 電極を用いた胸部誘導により導出し、心電計 (NEXT BP-88、日本コーリン株式会社製) に表示される数値を記録した。電極は右鎖骨下窩、左鎖骨下窩、左最下肋骨付近の 3 つの部位に装着した。RPE は、Borg<sup>1)</sup> が提案した指標で、運動のきつさを 6~20 の範囲で運動者自身が主観的に数値評価するものであり、運動時の疲労状態確認のために記録した。

血中コルチゾール値の測定

被験者は、実験室入室後、正中静脈にカニューラ (サーフロー留置針 22G×1・1/4 テルモ社製) を留置した。採血は留置したカニューラを延長チューブを介して三方活栓に連結させ、ツベルクリン用シリンジ (テルモ社製) を用いて行った。血液は、EDTA-2Na 入りのベノジェクト真空採血管 (テルモ社製) に採取され、直ちに遠心分離 (3000rpm×15 分) して血漿を分離した。採取した検体は -20 以下で凍結保存し、測定はエスアールエル株式会社 (本社、東京) に依頼し、試験管固相法による RIA (Radioimmunoassay: 放射性免疫測定法) を用いて行った。

唾液中コルチゾールの測定

唾液の採取は、蒸留水で口腔内を十分にゆすいだ後、実施した。無味の滅菌綿 (SALIVETTE: SARSREDT 製) を 2 個、2 分間咀嚼させ分泌された唾液を綿に吸い取らせた。唾液を吸収した滅菌綿は、回収後直ちに遠心分離 (3000rpm×10 分) にかけて、唾液を分離させた後 -20 以下で凍結保存した。コルチゾールの測定は血中コルチゾールと同様、エスアールエル株式会社 に依頼し、試験管固相法による RIA を用いて行った。

二次元気分尺度による気分測定

二次元気分尺度は、坂入ら<sup>5)6)</sup> により作成され

た心理指標であり、8 項目の質問からエネルギー覚醒、緊張覚醒、覚醒度、快適度の 4 つの心理状態を測定することができる。本研究では、この指標により、覚醒度及び快適度を評価した。

### 4) 統計処理

結果は平均値と標準誤差で表した。血中コルチゾール及び唾液中コルチゾールは、各測定ポイントでの相関を求めた。また、運動後の生理・心理的变化を評価するために、血中コルチゾール値と二次元気分尺度による覚醒度、快適度の相関を求めた。

## 3 結果

### 1) 最大漸増負荷テスト終了時の心拍数と RPE

最大漸増負荷テスト終了時の心拍数は平均 170.3 ± 11.29 拍/分 (No.1: 154 拍/分、No.2: 165 拍/分、No.3: 192 拍/分) であり、RPE は平均 17.0 ± 1.00 (No.1: 19、No.2: 16、No.3: 16) であった。

### 2) 血中コルチゾール値と唾液中コルチゾール値の相関

血中コルチゾールと唾液中コルチゾールの絶対値は大きく異なるも、両者は同様の変動を示し、血中コルチゾールと唾液中コルチゾールとの間に有意な正の相関関係 ( $r=0.849$ ) が認められた (図 2)。

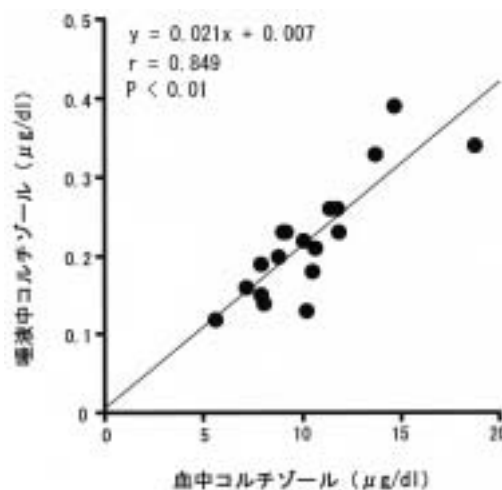


図 2 血中コルチゾールと唾液中コルチゾールとの相関

3) 唾液中コルチゾール値と二次元気分尺度の関係

唾液中コルチゾール値は、安静時は平均  $0.22 \pm 0.02 \mu\text{g/dl}$  であり、運動終了 10 分後は  $0.30 \pm 0.04 \mu\text{g/dl}$ 、30 分後は  $0.29 \pm 0.05 \mu\text{g/dl}$ 、60 分後は  $0.22 \pm 0.01 \mu\text{g/dl}$ 、90 分後は  $0.15 \pm 0.01 \mu\text{g/dl}$ 、120 分後は  $0.15 \pm 0.02 \mu\text{g/dl}$  であった(図 3)。二次元気分尺度より求められた覚醒度は、安静時は平均  $37.7 \pm 1.5$  であり、運動終了 10 分後は  $40.0 \pm 3.1$ 、30 分後は  $38.0 \pm 4.2$ 、60 分後は  $33.3 \pm 3.0$ 、90 分後は  $38.7 \pm 3.4$ 、120 分後は  $33.7 \pm 3.4$  であった(図 3)。

快適度は、安静時は平均  $15.0 \pm 5.6$  であり、運動終了 10 分後は  $6.0 \pm 5.0$ 、30 分後は  $10.0 \pm 6.4$ 、60 分後は  $11.3 \pm 3.8$ 、90 分後は  $12.7 \pm 4.9$ 、120 分後は  $13.0 \pm 5.2$  であった(図 3)。

最大運動後の唾液中コルチゾール値と覚醒度及び快適度の相関について、覚醒度と唾液中コルチゾール値との相関関係 ( $r=0.480$ ) は有意ではなかったが、唾液中コルチゾール値と快適度との間に有意な負の相関関係 ( $r=-0.879$ ) が認められた(図 4)。

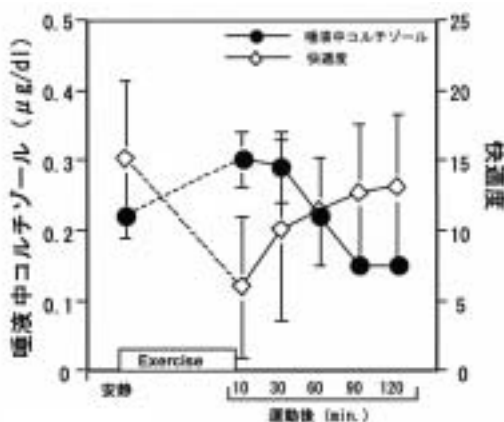
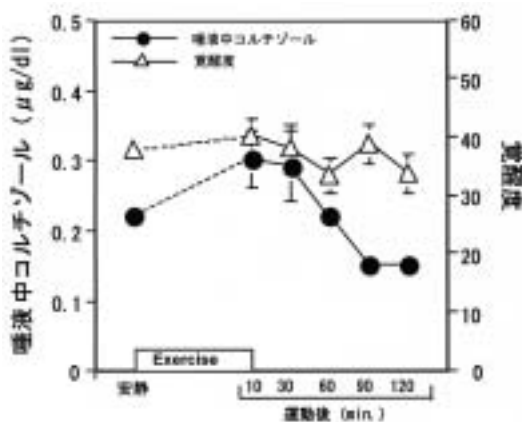


図 3 最大運動による唾液中コルチゾールと覚醒度及び快適度の変化

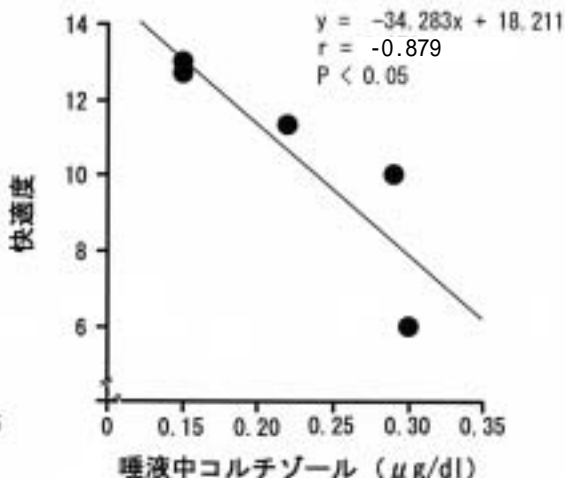
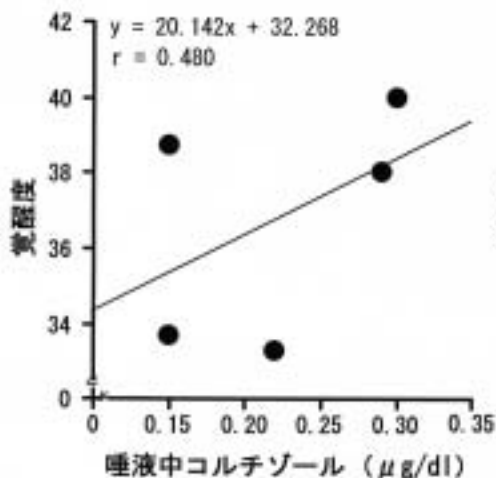


図 4 最大運動による唾液中コルチゾールと覚醒度及び快適度の相関

#### 4 考察

本研究では血中コルチゾールと唾液中コルチゾールとの間に相関関係が見られるかを確認すると共に、生理（身体）面および心理面の時系列的变化をそれぞれ、唾液中コルチゾールと二次元気分尺度から検討した。その結果、運動後唾液中コルチゾール濃度は、運動終了後 10 分でピークとなり、その後、漸減し運動終了後 120 分で最低値を示した。一方、心理的变化について二次元気分尺度から求めた覚醒度は、運動終了後 10 分で最高値を示し、その後は低下する傾向を示した。快適度は、運動終了後 10 分で最低値を示し、その後は回復し運動終了後 120 分で最高値を示した。唾液中コルチゾールと快適度の変化には極めて高い相関関係が認められ、激運動後の唾液中コルチゾールのクリアランスと特定の心理状態（快適度）が関係することが示唆された。

これまで、血中コルチゾールと唾液中コルチゾールとの関係について、Stupnicki ら<sup>10)</sup>は 78 名の運動選手を対象に最大運動による変化を検討しており、両者の間に相関があることを示している。本研究においても、血中コルチゾールと唾液中コルチゾールとの間に高い相関関係が認められたことから、本研究で用いた測定法の妥当性が確認されたと考えられる。唾液採取によるコルチゾール濃度の評価は、非観血的であり簡便に実施することが可能なことから、コンディショニングを評価する生化学的指標の一つとしてトレーニング現場の有用な手法に成り得ることが期待される。

また、本研究では最大運動後の唾液中コルチゾールの変化と快適度の変化との間に高い負の相関関係を認めた。これは、二次元気分尺度が生理的なストレス状態を反映した心理状態の指標として利用可能であることを示している。生理・心理的反応は個体差が大きいため結果の一般化は難しいが、トレーニングの現場における活用の際には、一定期間両指標を併用して実施し相関関係を確認した上で、簡便な心理指標のみを継続して用いることが考えられる。

これまで運動による心理的变化を生化学的指標との関連で検討した報告は、オーバートレーニング予防を目的としたコンディショニングに関する研究で多いが<sup>4)</sup>、一過性の最大運動については不明であった。本研究で用いた二次元気分尺度は分刻みで継続的に測定・数量化することが可能なこ

とから、一過性の運動においても生理・生化学的指標との関連性を検討することが可能である。今後は、様々な運動強度及び運動時間を設定しその生理・心理的变化を総合的評価することにより、ストレス負荷時の生理的反応を反映した心理状態を測定する簡便なストレス指標としての二次元気分尺度の有効性を確立していく。

本研究は、学系内プロジェクト「運動後の回復を表す新しいストレス指標の開発」の成果の一部を成している。二次元気分尺度の生理的基盤の一端を見いだすことができ、今後の研究に役立つものとなった。学系（高松薫教授他）に対し、心からお礼申し上げたい。

#### 研究成果の発表

二次元指標特許公開（坂入洋右・征矢英昭、特許公開、2003-83156）

#### 引用文献

- 1) Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on history and methods. *Med Sci Sports Exerc* 5: 90-93.
- 2) ハンス・セリエ, 杉靖三郎他訳 (1988) 現代社会とストレス. 法政大学出版, 東京.
- 3) Kawashima H, Saito T, Yoshizato H, Fujikawa T, Sato Y, McEwen BS, Soya H. (2004) Endurance treadmill training in rats alters CRH activity in the hypothalamic paraventricular nucleus at rest and during acute running according to its period. *Life Sci*. 76, 763-74.
- 4) Kreider, R.B., Fly, A.C., O' Toole, M.L. (1998) Overtraining in sport. Human Kinetics Publishers, Inc.
- 5) 坂入洋右, 徳田英次, 川原正人, 谷木龍男, 征矢英昭 (2003) 心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発, 筑波大学体育科学系紀要, 26:7-36.
- 6) 坂入洋右, 征矢英昭 (2003) 新しい感性指標: 運動時の気分測定, 体育の科学, 53 巻, 845-850.
- 7) 征矢英昭 (2000) ストレスと運動 日本比較内分秘学会 (編). からだの中からストレスをみる 学会出版センター, 137-167.
- 8) Soya H. (2001) Stress response to exercise and its hypothalamic regulation: role of arginine-vasopressin. In: *Exercise, Nutrition and Environmental Stress*, edited by Nose H, Gisolfi CV, and Imaizumi K. Traverse City, MI: Cooper, 21-37.
- 9) 征矢英昭, 本山貢, 石井好二郎 (2002) 使えるス

ポーツサイエンス，講談社。

10 ) Stupnicki R, Obminski Z. (1992) Glucocorticoid response to exercise as measured by serum and salivary cortisol. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 65, 546-549.

11 ) Vining RF, McGinley RA. (1987) The measurement

of hormones in saliva: possibilities and pitfalls. *J Steroid Biochem.* 27, 81-94.

12 ) Yakovlev, N.N. (1967) *Sports Biochemistry*. Leipzig: Deutsche Hochschule für Körperkultur (German Institute for Physical Culture).