

男性競泳選手の最大下運動負荷に伴う唾液中ストレスホルモンの変動

Changes in salivary stress hormone levels when male competitive swimmers swim with submaximal effort

松本高明*, 内藤祐子*, 和田壮生*, 市川大樹*
高橋雄介**, 和田匡史***, 阿部太輔****, 浅井泰詞****
篠原一之****, 土居裕和****, 井上大輔*****

Takaaki MATSUMOTO*, Yuko NAITO*, Masaki WADA*, Daiki ICHIKAWA*
Yusuke TAKAHASHI**, Tadashi WADA***, Daisuke ABE****, Taishi ASAI****
Kazuyuki SHINOHARA****, Hirokazu DOI**** and Daisuke INOUE*****

ABSTRACT

[Purpose] The purpose of this study was to determine changes in salivary cortisol and testosterone levels when athletes swam at peak performance. Salivary cortisol reflects mental and physical stress, but testosterone reflects only physical stress. Performance requirements were gradually increased until athletes reached their peak performance. A correlation between cortisol and testosterone levels and a correlation between cortisol levels in blood and testosterone levels in saliva have already been demonstrated. Only a medical professional can draw blood, but coaches can sample saliva, so salivary hormone levels can readily be measured. Cortisol and testosterone levels in saliva are reported to fluctuate as a result of stress. Thus, this study examined whether salivary cortisol and testosterone levels are an effective index for physical training. **[Methods]** Subjects were 14 male swimmers who were university students. All of the subjects had successfully participated in student swimming competitions in Japan. Subjects swam freestyle for 200 m. Subjects swam 4 times (best time +40 seconds, +30 seconds, +20 seconds, and maximal effort) and were given a rest time of 15 minutes between each attempt. Cortisol and testosterone levels in saliva were measured at rest immediately after swimming, after three attempts, after swimming with maximal effort, and 10, 20, 40, and 60 minutes after swimming. **[Results]** Salivary cortisol and testosterone levels were significantly higher 20 minutes after swimming ($1.15 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$ and $1.66 \pm 0.04 \text{pg/ml}$, respectively), and those levels were significantly lower ($p < 0.05$) during rest ($1.11 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$ and

* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 中央大学工学部 (Faculty of Science and Engineering, Chuo University)

*** 国士舘大学理工学部 (School of Science and Engineering, Kokushikan University)

**** 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科 (Nagasaki University, Graduate School of Biomedical Sciences)

***** 日本医科大学千葉北総病院 (Nippon Medical School Chiba Hokusoh Hospital)

1.70±0.03 pg/ml, respectively). **[Discussion]** Swimming with maximal effort was likely to increase salivary cortisol levels and decrease salivary testosterone levels. A study has reported that physical stress and psychological stress are associated because of the reaction in the hypothalamus. This may explain why a combination of mental and physical stress produced changes in salivary cortisol levels. Maximal physical effort affected testosterone levels. The measurement of cortisol and testosterone levels in saliva may provide a new training index for competitive swimming.

Key words; competitive swimming, salivary cortisol level, salivary testosterone level, stress hormone

I. はじめに

唾液中のコルチゾール濃度の変動は、運動選手の間でも慢性の疲労が蓄積され回復しにくくなっているオーバートレーニング症候群を見出す指標として有効だと報告がなされている¹⁾。また、唾液中のコルチゾール並びにテストステロン濃度は、血液中の濃度と相関するという報告があり²⁾、唾液採取は採血を伴う侵襲よりも低いと考えられより簡便である。コルチゾールは、急性の精神的ならびに身体的ストレスにより、テストステロンは身体的ストレスにより変動するとされている³⁾。昨年の本研究所報にて、ストレスを反映するホルモンとしての唾液中のコルチゾール値が高強度の一過性の運動負荷により変動することを報告した。唾液を練習中に採取することは、採血とことなり、比較的簡便かつほぼ非侵襲的であることから、生体試料である唾液を用いてトレーニングに対して受けている競技者のストレスの程度について評価でき、トレーニングの指標を作成できれば、有効な手段となる。唾液中には、ストレスホルモンとして、コルチゾールとテストステロンが存在する。これらホルモンが漸増負荷による運動強度の変化によりいかに変動するのかに関しては明確な結論を得た研究が我々の検索しえた範囲内では認められない。今回、我々は、テストステロンの測定をコルチゾールと同時にを行い、これら二つの

ホルモンの運動負荷による変化の特徴や違いを明らかにすることを目的とした。近年、ストレスに対する評価として唾液中のホルモンが注目されている。

II. 方法

1. 被験者

被験者を男性大学生競泳選手14名とした。選手は日本学生選手権に出場するレベルである。これら被験者に対し、研究の目的、方法、手順について十分に説明し、書面にて同意を得た。選手は、研究の参加は任意で、途中で中止することも可能であること、研究の成果を公表することに同意を得た。

参加者の身体的プロフィールを表1に示す。

2. 実験手順と測定項目

被験者に対し、運動負荷は、若吉⁴⁾らのラクトートカーブテストの実施方法に準じ、200 mを4回(1回目 個人のベストタイム+30秒、2回目 個

表1 被験者の身体的特性

(n)	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)
14	19.8±0.8	175.4±5.3	67.4±5.1	13.1±2.5
Values are mean ± S.D.				

人のベストタイム+20秒、3回目 個人のベストタイム+10秒、4回目 最大努力泳) クロール種目で泳ぎ、漸増負荷とした。一回ごとの休息時間は15分とし、テスト開始直前並びに泳いだ直後4回、泳ぎ終了20分、40分、60分後の計8回唾液採取を行った。測定のプロトコルを図1に示す。唾液採取は唾液中ストレスホルモン(コルチゾール、テストステロン)の日内変動を考慮し⁴⁾練習

開始前の正午から開始し、流延により行い、測定まで-20℃で凍結保存した。唾液はホルモン測定キット(SALIMETRICS社製)を使用し、酵素抗体法により測定した。また、唾液採取と同じタイミングで、脈拍数、血中乳酸値を測定し運動負荷強度の目安とした。また、泳ぐたびごとに主観的運動強度、並びに所要時間(タイム)を計測した。脈拍数は、頸動脈を用い6秒間の触知回数を10倍し、1分当たりの脈拍数とした。乳酸の測定は、手指の先をアルコール綿にて消毒し、十分に清潔なガーゼで拭き取ったのち、穿刺針にて血液を採取して、CDD酵素電極法にてラクタープロ®(アークレ社 京都)を用いて測定した。採血には、感染防止に十分注意し、かつ汗や消毒液の影響を考慮し、2番血を使用した。主観的運動強度は安静を6、非常にきついを19とするVASスケールを用いた(表2)。なお、測定時のプールの水温は30℃、プールサイドの室温は32℃、湿度は50%であった。プールは、公益財団法人日本水泳連盟公認競泳25mプール=FINA公認競泳25mプールを用い、水深は2.0mであった。

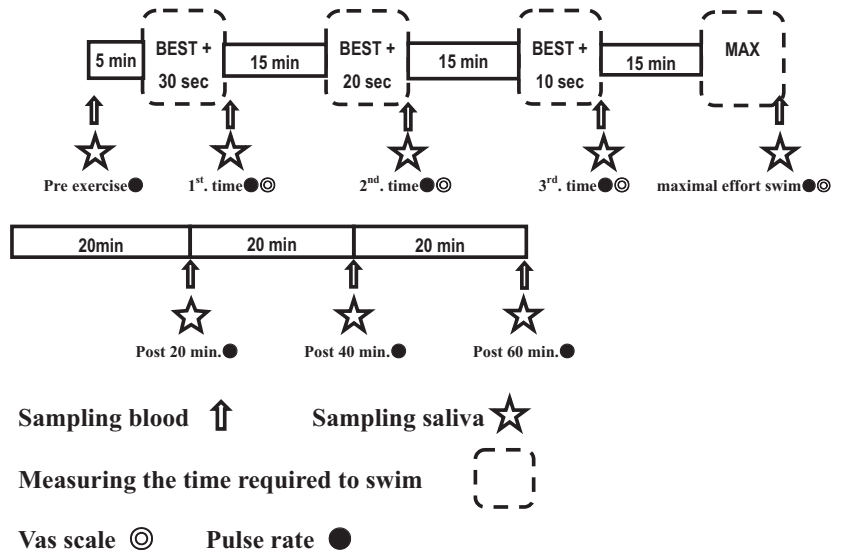


図1 今回の測定のプロトコル

表2 VAS SCALE (主観的運動強度)

表示	自覚度	対応強度(%)	対応脈拍数(回/分)
20	もうだめ	100	200
19	非常にきつい	92.9	
18		85.8	180
17	かなりきつい	78.6	
16		71.5	160
15	きつい	64.3	
14		57.2	140
13	ややきつい	50	
12		42.9	120
11	楽に感じる	35.7	
10		28.6	100
9	かなり楽に感じる	21.4	
8		14.3	80
7	非常に楽に感じる	7.1	
6	(安静)	0	60

3. 統計処理

統計学的検定は、試技ごとに測定したコルチゾール、テストステロン値について、分散分析により有意差の検定をしたのち、多重比較にはBonferroni検定をもちい評価した。統計ソフトはエクセル統計2012®(SSRI社)を用いた。

Ⅲ. 結 果

ラクテートカーブテストから見た運動負荷の程度

漸増運動負荷においては、運動前脈拍数、乳酸値（いずれも平均値±標準偏差 以下同様）は、 78 ± 15.6 bpm/min、 1.2 ± 0.2 mg/dl で、運動経過に伴い上昇し両者ともに最大努力泳時に 191.6 ± 12.6 bpm/min、 14.7 ± 2.4 mg/dl と運動前と有意 ($p < 0.01$) に高くかつ最大値を示した。また、同時に測定したタイムも一回目の試技から最大努力泳まで、 159.2 ± 5.3 秒から 122.3 ± 4.8 秒と順次早くなり、安静時 8.2 ± 1.3 点であった主観的運動強度も最大努力泳直後で 19.2 ± 0.7 点を示し両者とも有意差 ($p < 0.01$) を認めた。最大努力泳後の安静20分後には、脈拍数、乳酸値は、 97.3 ± 16.2 、 8.0 ± 2.9 であり、40分後は、 81.9 ± 14.9 、 2.4 ± 0.8 、60分後は 80.1 ± 15.6 、 1.5 ± 0.5 と順次低下し、60分後には運動前の値に回復し有意差を認めなくなった。

運動負荷に伴う、脈拍数の変動（図2）並びに、血中乳酸値の変動（図3）を示す。

運動負荷に対する唾液中ホルモン濃度の変動

各計測時点におけるコルチゾールの変化を表3に示す。

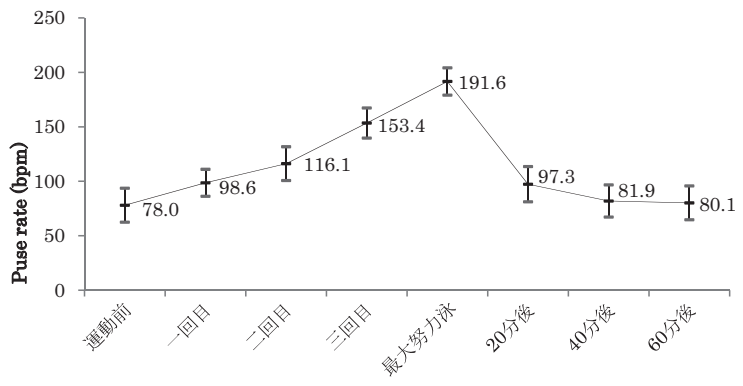


図2 脈拍数の経時的変化

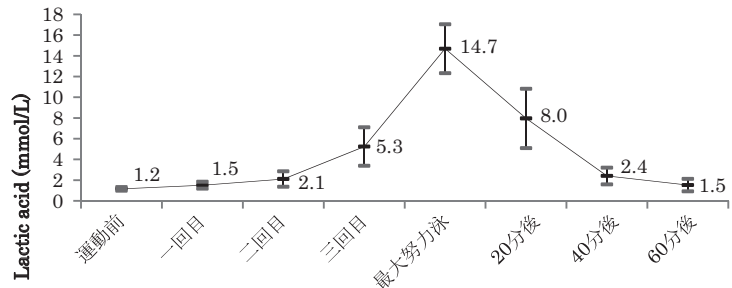


図3 経時的な血中乳酸値の変化

表3 コルチゾール (μ g/dl) の測定結果並びに有意差 (平均値±標準偏差) * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

	運動前	一回目	二回目	三回目	最大努力泳	post20分	post40分	post60分
	1.11 ± 0.01	1.11 ± 0.01	1.12 ± 0.01	1.12 ± 0.01	1.13 ± 0.01	1.15 ± 0.01	1.14 ± 0.01	1.13 ± 0.01
一回目	N. S.							
二回目	N. S.	N. S.						
三回目	N. S.	N. S.	N. S.					
最大努力泳	**	**	**	*				
post20分	**	**	**	**	**			
post40分	**	**	**	**	N. S.	**		
post60分	**	**	**	*	N. S.	**	N. S.	

表4 テストステロン値 (pg/ml) の測定結果並びに有意差 (平均値±標準偏差) *p<0.05, **p<0.01

	運動前	一回目	二回目	三回目	最大努力泳	post20分	post40分	post60分
	1.70±0.03	1.72±0.03	1.72±0.03	1.70±0.02	1.69±0.02	1.66±0.04	1.69±0.03	1.70±0.03
一回目	N.S.							
二回目	N.S.	N.S.						
三回目	N.S.	N.S.	N.S.					
最大努力泳	N.S.	**	*	N.S.				
post20分	**	**	**	**	**			
post40分	N.S.	**	*	N.S.	N.S.	*		
post60分	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**	N.S.	

唾液中のコルチゾール濃度は、運動前から運動負荷に伴い徐々に上昇し、運動終了後安静20分の時点で最大値を示し、その後緩やかに低下したものの運動終了後安静60分の時点でも運動前の値と有意差を示し高かった。また、運動前の値に対して、最大努力泳、運動後20、40、60分後のすべての時点の値とで有意差を認めた。

各計測時点におけるテストステロンの変化を表4に示す。

唾液中テストステロン値の変動は、運動前に比べ、一旦軽い運動負荷では上昇する傾向を示し、試技3回目の乳酸値の $5.3 \pm 1.9 \text{ mg/dl}$ とOBLAを超える運動強度から下降に転じる傾向を示し、最大努力泳の時点で運動前と有意に低い値を示し、最大努力泳後20分後で最低の値を示した。また、最大努力泳40分後、60分後の時点では、すでに運動前の時点の値に戻り、有意差を認めなかった。

IV. 考 察

本研究にて、運動前の状態からラクトエターブテスト施行による運動負荷によって、脈拍数は徐々に増加し、最大努力泳の時点でピークを迎え、運動後40分で運動前の状態に回復した。また、

乳酸値はOBLA⁹⁾を超える三回目の試技の時点で運動前と有意差を示し、のち最大努力泳の時点でピーク値を示し、運動後には下降し、運動後40分、60分後には運動前の時点に戻った。運動負荷について、タイムが試技ごとに全員が低下していたこと並びに主観的運動強度の平均値から最大努力泳時の運動負荷は最大下負荷と考えられ、運動によるストレスが、かかっていると推測できる。

この運動負荷様式に伴う唾液中ストレスホルモンの変動では、コルチゾール、テストステロンとは別の変動を示した。コルチゾールは、運動負荷により、上昇傾向を示し、最大努力泳の時点で運動前と有意差を示し、運動後20分の時点でピーク値を示す。その後、運動後40分、60分後と徐々に低下傾向を認めるものの、この時点でも運動前の値より有意に高い値を示していた。一方、テストステロン値は、運動時に比べ一回目、二回目では上昇傾向を示し、三回目から下降し、最大努力泳において下降し続けるものの運動前の時点との有意差は示さなかった。一方、運動20分後の時点で最低値を示しかつ運動前に比べ唯一有意差を示した。この時点以後は上昇したが、運動前の値とは有意差を示さなかった。

先行文献によると、唾液中のコルチゾール、テストステロン濃度は、日内変動を示し早朝が最も

高く漸減して深夜まで低下していくことが知られている⁴⁾。今回の測定時間は、この日内変動を避けるため、正午の時間を中心に行った。また、コルチゾールは心理的・身体的な急性のストレスに対して増加を示し、慢性のストレスでも増加することが報告されている⁵⁾。心理的な急性ストレスの負荷を与えられると、唾液中コルチゾール濃度は約50~100%の上昇を示し、上昇のピークはストレス終了後の20分から30分後にみられる⁶⁾。また、身体的ストレスでは、比較的強度が高く、持続的な運動負荷でコルチゾール濃度が上昇することが報告されている^{7) 8)}。本研究での運動20分後に見られたコルチゾール値は、運動前に比べ48%の上昇にとどまった。しかしながら、この数字からでは心理的ストレスの要素を否定することは難しいと考えられる。また、最大努力泳では、すでにこの時点で運動前と有意なコルチゾール値の変化を生じており、コルチゾールの変動に運動負荷が要因として考えられる。しかしながら、運動負荷安静60分後でも運動前と有意なコルチゾール値の上昇が維持されており、身体的負荷を反映する脈拍数、乳酸値の変動パターンとは異なっていた。このことから考えると、漸増運動負荷に伴う唾液中コルチゾールの変動は、急性の心理的ストレス並びに比較的強度が高く、持続的な運動負荷による身体的ストレスの両者が関与していると考えられる。ストレスの生理学的な評価のための視床下部-下垂体-副腎系(Hypothalamic-Pituitary-Adrenal: HPA)指標の一つとしてコルチゾールが注目されている¹⁰⁾。そのため、唾液中のコルチゾール濃度は、最大努力泳という競泳における身体に対する運動負荷が脳内の視床下部-下垂体-副腎系(Hypothalamic-Pituitary-Adrenal: HPA)を刺激して起こる新たな指標となりうる可能性がある。一方、唾液中のテストステロンは身体的ストレスを反映し低下する⁵⁾とされる。本研究において身体的ストレスがかかってテストステロンが低下するのは三回目の試技でこの時点で乳酸値が4ml(OBLA)を超えており、低下が認められな

い一回目、二回目の試技とは異なる身体的負荷即ち身体的ストレスが明らかに変化して低下が始まったと考えられる。また、低下したテストステロンが、最大努力泳の時点でも下がり続け、運動前の時運動後安静20分の時点で有意な最低値を示し、以後40分で運動前の値にまで回復していた。この変動は、身体的負荷を反映する脈拍数、乳酸値と同様の動態を示していた。この漸増運動負荷様式と同様にテストステロンが低下し、運動後40分という早い時間に回復するのを見ると、唾液中テストステロン値は心理的ストレスが関与する視床下部を介さない身体的ストレスの変動を現す指標になりうると考えられる。運動強度を上げるトレーニングは、心理的ストレスと身体的ストレスの両者を選手に与えることになる。選手には心理的ストレス耐性を培うとともに、身体的ストレスも乗り越えるトレーニングが求められる。今後、急性心理的ストレスと比較的強度が高く、持続的な運動負荷による身体的ストレスにより影響を受ける唾液中コルチゾールと視床下部を介した心理的ストレスの関与を受けない身体的ストレスを反映する可能性のある唾液中テストステロン両者を測定して、各々の特性からスポーツ選手の心理的、身体的ストレスについてさらに研究を進めていきたい。

V. ま と め

漸増的運動負荷による競泳のラクテートカーブテストにおいて、最大下運動負荷と考えられる最大努力泳をきっかけに唾液中コルチゾール並びにテストステロン値は運動前に比べ有意な変動を示した。しかしながら、コルチゾールは、身体的負荷を反映する脈拍数、乳酸値の回復後も高値を継続していたのに対し、テストステロンは脈拍数、乳酸値と同様に回復した。

よって、唾液中コルチゾール並びにテストステロン値は、運動負荷ストレスに対するマーカーになる可能性を有すると考えられた。

しかしながら、身体的運動負荷に対する唾液中コルチゾール並びにテストステロン値の変動様式の違いから、唾液中コルチゾール値は心理的ならびに身体的ストレスの両方を反映する指標として、唾液中テストステロン値は、視床下部を介さない身体的ストレスを反映する指標として用いることができる可能性が示唆された。

本研究は、平成27年度国士舘大学体育研究所研究補助金にて行われた。また、本研究において利益相反の関係はない。また、本研究は国士舘大学体育学部倫理委員会の承認を得た。

引用・参考文献

- 1) F Maso, G Lac, E Filaire, O Michaux, A Robert (2004) Salivary testosterone and cortisol in rugby players : correlation with psychological overtraining items. *British Journal of Sports Medicine* 38 : 260-263.
- 2) 井澤修平・鈴木克彦 (2007) 唾液中コルチゾールの測定キットの比較—唾液中・血漿中コルチゾールの相関ならびに測定法間の比較—. *日本補完代替医療学会誌* 4 (3) : 113-118
- 3) 衛藤謙・豊島裕子・飯田直子・大熊誠尚 (2011) ストレスホルモン測定に基づく手術における外科医の精神的ストレス評価の試み. *慈恵医大誌* 126 : 135-142.
- 4) 若吉浩二 (2008) 水泳のトレーニングにおける血中乳酸濃度の活用 乳酸をどう活かすか 八田秀雄編著 杏林書院 135-148.
- 5) Abbass Rahimi, Seyed Morteza Tayebi (2013) The Effect of a Single Session of Moderate and Heavy Intensity Weight-lifting Exercise on Plasma Testosterone and Cortisol in Elite Male Weight-lifters. *Annals of Applied Sport Science* 1 (1) : 1-5.
- 6) B.M. Kudielka, A. Buske-Kirschbaum, D.H. Hellhammer, C. Kirschba (2004) HPA axis responses to laboratory psychosocial stress in healthy elderly adults, younger adults, and children : impact of age and gender. *Psychoneuroendocrinology* 29 : 83-98.
- 7) William J. Kraemer, Nicholas A. Ratamess (2005) Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Med* 35 (4) : 339-361.
- 8) J. A. Nunes, B. T. Crewther, L. Viveiros, D. De Rose Jr, M. S. Aoki (2011) Effects of resistance training periodization on performance and salivary immune-endocrine responses of elite female basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 51 : 676-682.
- 9) 岩原文彦、松本高明、浅見俊雄 (2000) 4mMOBLAを基準としたクーリングダウン泳について *トレーニング科学*, 12 (1), 1-8.
- 10) 井澤修平・小川奈美子・原谷隆史 (2010) 唾液中コルチゾールによるストレス評価と唾液採取手順. *労働安全衛生研究* 3 (2) : 199-124.