

腹筋呼吸法が動画視聴によるストレス反応に およぼす影響

麓 正 樹

Effect of Voluntary Abdominal Breathing on Stress Responses Induced by Watching a Movie Clip

FUMOTO, Masaki

Abstract

Since slow breathing ranks among techniques to achieve appropriate levels of arousal prior to athletic training or competition, we evaluated how voluntary abdominal breathing (VAB) affected stress responses induced by watching a movie clip. In our earlier studies, VAB is characterized by the voluntary, prolonged contraction of abdominal muscles during expiratory phase. In this study, participants performed VAB for 15 min with an expiratory period of 9–12 s and inspiratory period of 6–8 s. Following VAB, participants watched a movie clip to stimulate stress responses, which earlier findings characterized as inducing a 10–15 mmHg increase in blood pressure. During VAB, we evaluated level of arousal with an electroencephalogram (EEG) and measured prefrontal activity in terms of total hemoglobin (tHb) level using near infrared spectroscopy (NIRS). We measured blood pressure, heart rate, level of arousal, and the visual analog scale (VAS) of perceived stress as stress-induced responses. As a result, during VAB, EEG alpha2 band power and tHb level increased compared with pre-VAB levels. By contrast, blood pressure, heart rate, and both EEG alpha and beta power while watching the clip did not change. For stress-induced responses without VAB, EEG beta power and blood pressure tended to increase in participants as they watched the clip. Lastly, the VAS of perceived stress without VAB tended to be higher than that following VAB. Altogether, considering previous findings and our results, stress responses induced by watching a movie clip without VAB occurred as previously reported, whereas the lack of change in blood pressure, heart rate, and both EEG alpha and beta power possibly resulted from the inhibition of stress responses by VAB.

Key words: voluntary abdominal breathing, stress-induced responses, electroencephalogram, near infrared spectroscopy

キーワード：腹筋呼吸法，ストレス反応，脳波，近赤外分光法

目 次

1. 緒言
2. 方法
 - 2.1 被験者
 - 2.2 脳波，眼電図，心電図および筋電図の記録
 - 2.3 脳波解析
 - 2.4 血圧
 - 2.5 脳血流量の測定と解析
 - 2.6 ストレスの主観的評価（Visual analog scale：VAS）
 - 2.7 腹筋呼吸法
 - 2.8 動画視聴
 - 2.9 実験の流れと測定および解析対象区間
 - 2.10 動画視聴のみを行った場合の実験の流れと測定および解析区間
 - 2.11 統計処理
3. 結果
 - 3.1 腹筋呼吸法に伴う脳波の変化
 - 3.2 腹筋呼吸法に伴う総ヘモグロビンレベルの変化
 - 3.3 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧と心拍数
 - 3.4 動画視聴のみの場合の血圧と心拍数および脳波の変化
 - 3.5 VASの変化
4. 考察
 - 4.1 腹筋呼吸法中の脳波パワーと総ヘモグロビンレベルの変化
 - 4.2 腹筋呼吸法中の α 波パワーの変化の背景
 - 4.3 腹筋呼吸法中の前頭前野総ヘモグロビンレベルの変化の背景
 - 4.4 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧，心拍数，脳波の変化
 - 4.5 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧，心拍数，脳波の変化の背景
5. まとめ

1. 緒 言

スポーツの試合前の高すぎる緊張は，効率的でスムーズな運動を妨げると考えられている。この緊張はストレス反応の一種と考えられ，緊張が高い状態では血圧や心拍数の増加などとともに，脳の覚醒レベルが高まっている。すなわち，ストレス刺激によって視床下部を介して交感神経系が刺激され，様々な求心性線維が活性化して覚醒レベルが上昇すると考えられる（Hebb, 1972）。覚醒レベルは，認知機能や運動遂行機能など（Polich *et al.*, 1997, Masaki *et al.*, 2000），スポーツパフォーマンスに必要となる脳機能に影響することが知られている。したがって，スポーツの試合前などでは高まりすぎた覚醒レベルを適度なレベルに戻すための，リラクセーションが重要となってくる。

高まりすぎた覚醒レベルを呼吸法が適度に低くする，というリラクセーション効果が，スポーツ心理学などにおいて提唱されているが（徳永，2005），呼吸法の効果についてのメカニズムや呼

吸法の行い方などについては説明すべき点が多い。

我々は、座禅やヨガなどで行われる腹筋を意識したゆっくりとした呼吸（腹筋呼吸法）を行うことにより、心理状態の改善と腹筋呼吸法中に脳波の α 波が増加する結果を得てきた（Fumoto *et al.*, 2004, Yu *et al.*, 2011）。すなわち、腹筋呼吸法にはリラックスして緊張や不安が少なく活気の高い状態を導く可能性が示唆された。このような腹筋呼吸法後の身体的・心理的状态は、腹筋呼吸法後には精神的もしくは肉体的なストレス刺激を受けても、ストレス反応が出現しにくい状態と考えられる。

Child *et al.*, 2014は、メンタルストレスが心筋の活動電位に及ぼす影響を調べるため被験者に動画を視聴させた。彼らの一連の研究では、動画の一部分の4分30秒間を視聴すると、ストレス反応として血圧が10～15 mmHg上昇すると報告されている。

本研究では、腹筋呼吸法がストレス反応に及ぼす影響を調べるため、被験者に対して腹筋呼吸法後に動画視聴によるメンタルストレスを与え、脳波、血圧、心拍数の変化を調べた。また、腹筋呼吸法中の脳機能の変化を調べるために、脳波に加えて前頭前野の脳血流の変化を近赤外分光法を用いて検討した。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は健常成人9名を対象とした（男2名、女7名、 23 ± 7 才）。実験に先立ち、被験者にはあらかじめ本研究の目的、方法及び実験に伴う苦痛、危険性について十分な説明を行った後、書面において本研究に参加することへの同意を得た。本研究は東京国際大学倫理委員会の承認を得た上で行われた。

2.2 脳波、眼電図、心電図および筋電図の記録

両耳朶を基準として脳波を単極導出するため、国際10-20法に従い、頭皮上12箇所（F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2）に電極を装着した。瞬きに伴う垂直眼球運動が脳波に影響するため、眼電図の記録用に、右眼窩の上縁と下縁に電極を装着した。心電図記録のために右の鎖骨、および左の第8肋骨と前液下線が交わる部分に電極を装着した。腹筋呼吸法に伴う腹筋の収縮状況を、筋電図として被験者にフィードバックするために、臍と左の上前腸骨棘の中間に3 cm間隔で電極を装着した。脳波と眼電図および心電図は時定数3.2秒、高周波フィルタ60 Hzで、筋電図は時定数0.03秒、高周波フィルタ1.5 KHzで導出した（Biotop 6R12, NEC Sanei, Japan）。データはサンプリング周波数200 HzでA/D変換し、コンピューターのハードディスク装置に記録した。なお、電極装着前には該当箇所をアルコール綿や乾いたカット綿などによって拭き、電極抵抗を十分に落とした上で電極を装着した。

2.3 脳波解析

ハードディスクに記録された脳波は、デジタルフィルター処理（バンドパス：0.5-60 Hz、減衰率：20dB、次数：250 Hz）した後に（図1）、筋電図や眼電図などによるアーチフェクトが混入している区間を視覚的に除外しながら解析した。後述するように（# 2.9）、腹筋呼吸法前、腹筋呼吸法中、動画視聴中、動画視聴後に、2分間の解析ブロックを合計6ブロック設定した。1ブロック内の解析区間は1区間2.56秒であり、高速フーリエ変換によってスペクトルパワー算出した後に、

1ブロックにおける平均を求めた。このようにして得られた平均のスペクトルパワーからそれぞれ θ 波 (4 ~ 8 Hz), $\alpha 1$ 波 (8 ~ 10 Hz), $\alpha 2$ 波 (10 ~ 13 Hz), $\beta 1$ 波 (13 ~ 20 Hz), $\beta 2$ 波 (20 ~ 30 Hz) 帯域の脳波パワーの面積を求め、4 ~ 30 Hzまでの面積に対する割合を算出した (Atamap II, Kissei Comtec, Japan)。その後、全導出部位のデータを帯域ごとに平均して、各被験者の脳波パワー値とした (Schneider *et al.*, 2009)。

2.4 血圧

血圧は、上腕にカフを装着し、自動血圧計 (EBP-330, Minato, Japan) を用いて測定した。血圧の測定と同時に脈拍数も計測された。

2.5 脳血流量の測定と解析

脳血流の測定には近赤外分光法 (near infrared spectroscopy : NIRS) (Hot121, Hitachi, Japan) を用いた。脳波電極の装着に用いられるFpzを中心として、左右の前額部に送光と受光プローブが約4 cm間隔となるように調整された、専用の装置を装着した。送光プローブから照射された近赤外光の波長は810 nmであり、左右の前額部から、2つのプローブ間隔を直径とした深さ約2 cmの深さまでの総ヘモグロビン (total Hemoglobin : tHb) レベルをサンプリング周波数10 Hzで測定した。tHbレベルにより脳神経活動の上昇にともなう脳血流の上昇を評価することが可能とされている (福田, 2009)。我々のこれまでの研究では腹筋呼吸法により、前頭前野の神経細胞の活性化を示唆する、前額部の脳血流の局所的変化が得られている (Yu *et al.*, 2011)。

NIRSによって得られたデータはtHbの絶対値ではなく、相対値であるために被験者内でのチャンネル間の違い、同じチャンネルの被験者間での違い、異なる被験者のデータを平均して群間の評価を行う、などの処理は不可能とされている (Fumoto *et al.* 2010)。そのため、測定区間全体のデータから得られた平均値と標準偏差値により、個々のデータをz変換し (図4)、z変換後のデータを用いて、腹筋呼吸法前と腹筋呼吸法中のtHbレベルの変化を比較した。

2.6 ストレスの主観的評価 (Visual analog scale : VAS)

本研究では100 mmの水平な直線において、左端が“ストレスを全く感じない”，右端が“耐えられないストレスを感じている”として、受けているストレスの度合いに応じて直線上の任意の場所に線を入れさせ、左端からの長さを測定した (McCormack *et al.*, 1988)。

2.7 腹筋呼吸法

被験者は、我々の先行研究に基づいて腹筋呼吸法を実施した (Yu *et al.*, 2011, Fumoto *et al.*, 2004)。被験者は実験用の安楽椅子に座り、呼気が9 ~ 12秒、吸気は6 ~ 8秒を目安に、苦しさを感ぜないペースでゆっくりと深い呼吸を行った。呼気における腹筋の確実な収縮を促すために、被験者の前方約1 m下方においたオシロスコープの画面上には腹筋筋電図がフィードバックされた。被験者は腹筋の収縮に伴う筋電図が呼気中に漸増するように確認しながら15分間継続した。

2.8 動画視聴

被験者の前方約1 mに置かれたモニター (37 cm × 64 cm) に動画が提示された。モニターの下方には、腹筋筋電図をフィードバックするためのオシロスコープが設置してある。被験者はイヤホンから動画の音声を聞いた。

動画は先行研究 (Child *et al.*, 2014) に基づき、パーティカル・リミットという英語字幕版の山岳映画を用いた (マーティン・キャンベル, 2000)。この中でも動画開始後59分50秒～1時間4分50秒までの5分間を被験者に視聴させた。

2.9 実験の流れと測定および解析対象区間

本実験では、測定装置の装着後に、記録が安定したことを確認したうえで測定を行った。被験者は、安静状態を5分維持し、その後15分間腹筋呼吸法を行った。腹筋呼吸法後には続けて動画視聴を5分行い、その後安静状態を5分間維持した。

血圧と心拍数測定のタイミングは、自動血圧計を用いて安静維持の開始直後と安静維持の終了直前、腹筋呼吸法開始後5分、10分、15分の時点、動画視聴開始後2分30秒、動画視聴終了直前、動画視聴終了後の安静維持終了直前の8回であった。

脳波パワーと脳血流の解析ブロックは、血圧と心拍数の測定中を除いて、腹筋呼吸法開始前の安定した2分間、腹筋呼吸法開始後の1～3分、6～8分、11～13分、動画視聴中の2分間 (動画視聴開始後3分～5分)、動画視聴終了後の安定した2分間の6ブロックであった (図3)。

動画視聴によるストレスの主観的評価は、VASを用いて動画視聴後の安静維持が終了した直後に行わせた。

2.10 動画視聴のみを行った場合の実験の流れと測定および解析区間

腹筋呼吸法と動画視聴を行った被験者の中から3名の被験者は、腹筋呼吸法を行わずに、動画視聴のみを行う実験にも参加した。解析対象となる測定項目は脳波、血圧、心電図およびVASであった。

被験者は、測定装置の装着後記録が安定した後に、安静状態を10分間維持し、その後5分間の動画視聴を行い、動画視聴終了後に安静状態を5分間維持した。

血圧と心拍数測定のタイミングは、安静維持の開始直後と安静維持開始後5分、動画視聴開始直後、動画視聴開始後2分30秒、動画視聴終了直前、動画視聴終了後の安静維持終了後の6回であった。

脳波解析は2名の被験者について行った。解析区間は安静維持開始後2～4分、5分30秒～7分30秒、動画視聴開始後30秒～2分30秒と3～5分、動画視聴終了後の3～5分であった。

ストレスの主観的評価はVASによって行った。評価のタイミングは動画視聴後の安静維持終了直後であった。

2.11 統計処理

脳波パワーについてはまず、腹筋呼吸法の脳波への影響を検討するために、先行研究 (Fumoto *et al.*, 2004, Yu *et al.*, 2009) をふまえ、腹筋呼吸法中の脳波パワーの最大値について、対応のあるt検定を用いて腹筋呼吸法前と比較した。また、腹筋呼吸法の影響を受けていると考えられる腹筋呼吸法後の動画視聴中の脳波パワーについては、腹筋呼吸法の影響を受けていない、腹筋呼吸法前の安静時とを比較するために、対応のあるt検定を用いた。tHb レベルについては、先行研究をふまえ (Yu *et al.*, 2009)、腹筋呼吸法の前頭前野への影響を確認するため、腹筋呼吸法前と腹筋呼吸法中の比較について対応のあるt検定を行った。血圧、心拍数については、腹筋呼吸法の影響を受けていると考えられる動画視聴中と、腹筋呼吸法の影響を受けていない腹筋呼吸法前を比較するために、対応のあるt検定を用いた。有意水準は5%未満とした。統計的なデータは平均値と標

準誤差で示した。

3. 結果

3.1 腹筋呼吸法に伴う脳波の変化

図1には腹筋呼吸法中の脳波と腹筋筋電図の記録例を示した。腹筋の筋電図は呼吸相において明瞭に記録され、腹筋呼吸中のどの時間帯にもほぼ同様のパターンの腹筋筋電図が出現していた。腹筋呼吸法の開始前には低振幅速波が観察されるが(図1A)、腹筋呼吸法を継続すると、周波数がより遅く、振幅のより大きい脳波が観察されるようになった(図1B)。このような脳波は腹筋呼吸法が進むにつれてより高頻度に観察されるようになった(図1C, D)。

図2には1名の被験者の脳波パワーの時間経過を示した。腹筋呼吸法前と比べて θ 波帯域のパワーは腹筋呼吸法中に減少し、動画視聴中に増加する傾向があった。 $\alpha 1$ 帯域と $\alpha 2$ 帯域の脳波パワーは腹筋呼吸法前と比べて腹筋呼吸法中に増加する傾向があった。 $\beta 1$ 帯域と $\beta 2$ 帯域の脳波パワーは腹筋呼吸法前と比べて腹筋呼吸法中に減少傾向となり、動画視聴中には腹筋呼吸法前と同様であった。

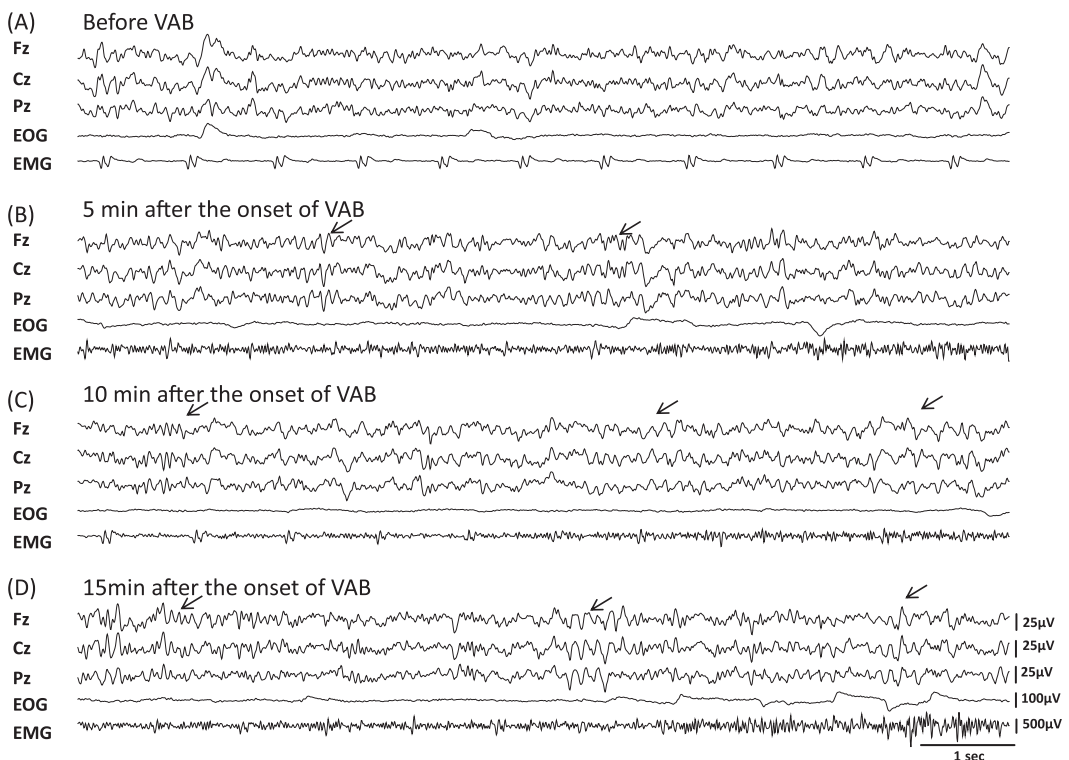


図1 腹筋呼吸法中の脳波と腹筋筋電図の記録例

腹筋を意識した呼吸法(腹筋呼吸法(Voluntary abdominal breathing: VAB))の開始前(A)、開始後5分(B)、10分(C)、15分(D)の時点での脳波、眼電図、腹筋筋電図の記録例が示されている。矢印は振幅がより高く、周波数のより低いリズムカルな脳波の出現を示している。呼吸は腹筋筋電図の持続時間から分かるように非常にゆっくりとしたペースで行われている。

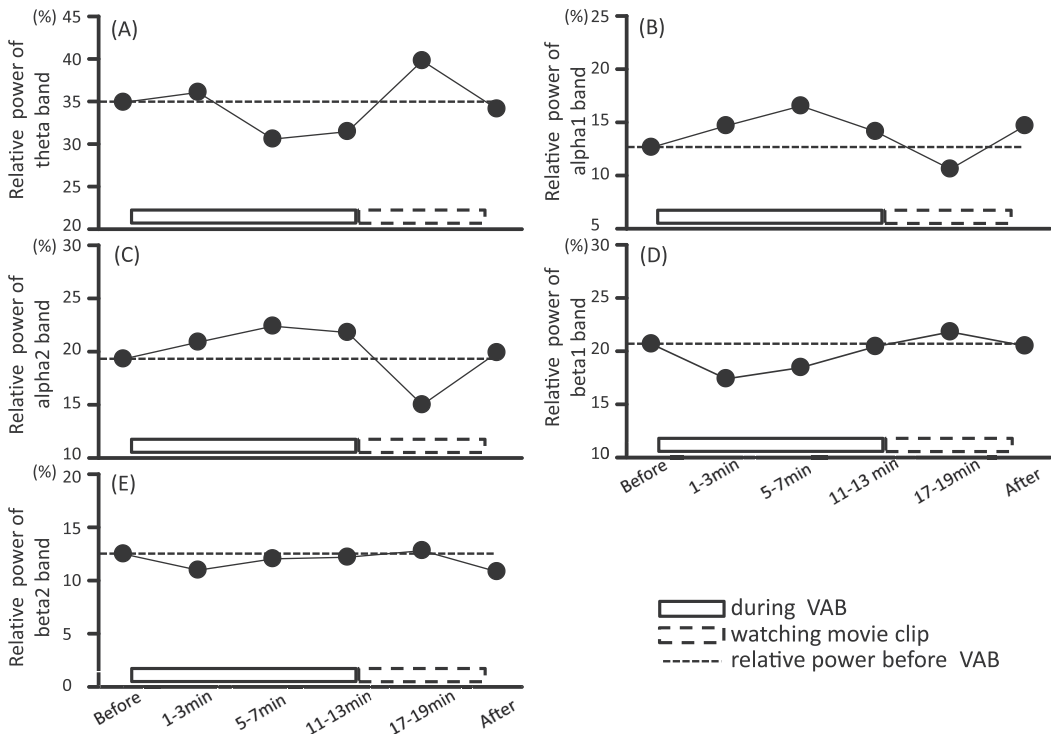


図2 一人の被験者の脳波パワーの時間経過

実線の四角は腹筋呼吸法が行われている時間帯、点線の四角は動画を視聴している時間帯である。点線は呼吸法を行う前の脳波パワーのレベルである。(A)、(B)、(C)、(D)、(E)はそれぞれ、 θ 波帯域、 $\alpha 1$ 波帯域、 $\alpha 2$ 波帯域、 $\beta 1$ 波帯域、 $\beta 2$ 波帯域のパワーの時間経過である。

図3には、腹筋呼吸法前と腹筋呼吸法中の脳波パワーの統計的な解析結果を示した。 θ 波帯域 ($t(8) = -0.16, p = 0.88$) と $\alpha 1$ 波帯域 ($t(8) = -1.46, p = 0.18$) では腹筋呼吸法前と最中に変化はなかった。 $\alpha 2$ 波帯域については腹筋呼吸法前と比べて腹筋呼吸法中に増加した ($t(8) = -6.98, p < 0.01$)。 $\beta 1$ 波帯域 ($t(8) = 5.31, p < 0.01$) と $\beta 2$ 波帯域 ($t(8) = 3.62, p < 0.01$) については腹筋呼吸法前と比べて腹筋呼吸法中に減少した。

腹筋呼吸法後の動画視聴中の脳波パワーの統計的な解析結果については、腹筋呼吸法開始前と比べて θ 波帯域が増加 ($t(8) = -3.5, p < 0.01$) したものの、 $\alpha 1$ 波帯域 ($t(8) = 1.1, p = 0.31$)、 $\alpha 2$ 波帯域 ($t(8) = 1.8, p = 0.12$)、 $\beta 1$ 波帯域 ($t(8) = 0.58, p = 0.58$) と $\beta 2$ 波帯域 ($t(8) = -0.02, p = 0.98$) に変化はなかった。

3.2 腹筋呼吸法に伴う総ヘモグロビンレベルの変化

図4には一人の被験者の腹筋呼吸法中に前額部から得られたtHbレベルの変化を示した。左右の前額部とも、tHbレベルは腹筋呼吸法開始後ゆっくりと増加し、腹筋呼吸法開始後5～10分でピークとなり、その後減少傾向にあるものの15分まで高いレベルを維持した。tHbレベルは腹筋呼吸法終了後に漸減し動画視聴後には元のレベルに回復した。

図5には左右の前額部から得られたtHbレベルについて、腹筋呼吸法前と最中を統計的に比較し

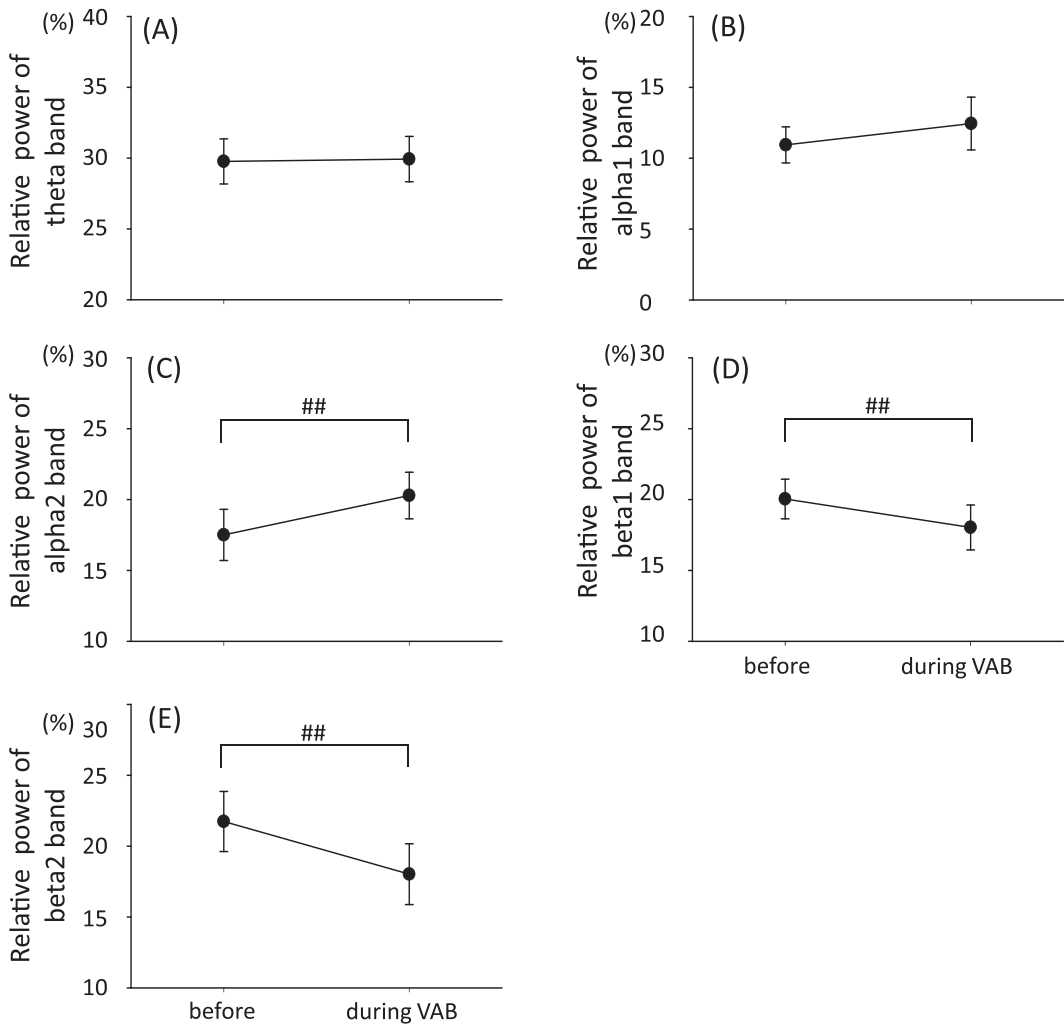


図3 腹筋呼吸法前と腹筋呼吸法中の脳波パワーの比較

(A), (B), (C), (D), (E) はそれぞれ, θ 波帯域, α_1 波帯域, α_2 波帯域, β_1 波帯域, β_2 波帯域のパワーの比較である. ## : $p < 0.01$

た結果を示した。左の前額部 ($t(8) = -3.11, p < 0.05$) と右の前額部 ($t(8) = -3.23, p < 0.05$) から得られたtHbレベルは両者ともに腹筋呼吸法中の方が大きかった。

3.3 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧と心拍数

図6には血圧(収縮期血圧と拡張期血圧)と心拍数について腹筋呼吸法前と動画視聴中を統計的に比較した結果を示した。血圧については収縮期血圧 ($t(8) = 0.56, p = 0.59$) と拡張期血圧 ($t(8) = -1.68, p = 0.74$) ともに腹筋呼吸法前と動画視聴中に変化はなかった。心拍数についても腹筋呼吸法前と動画視聴中に差は得られなかった ($t(8) = 0.74, p = 0.48$)。

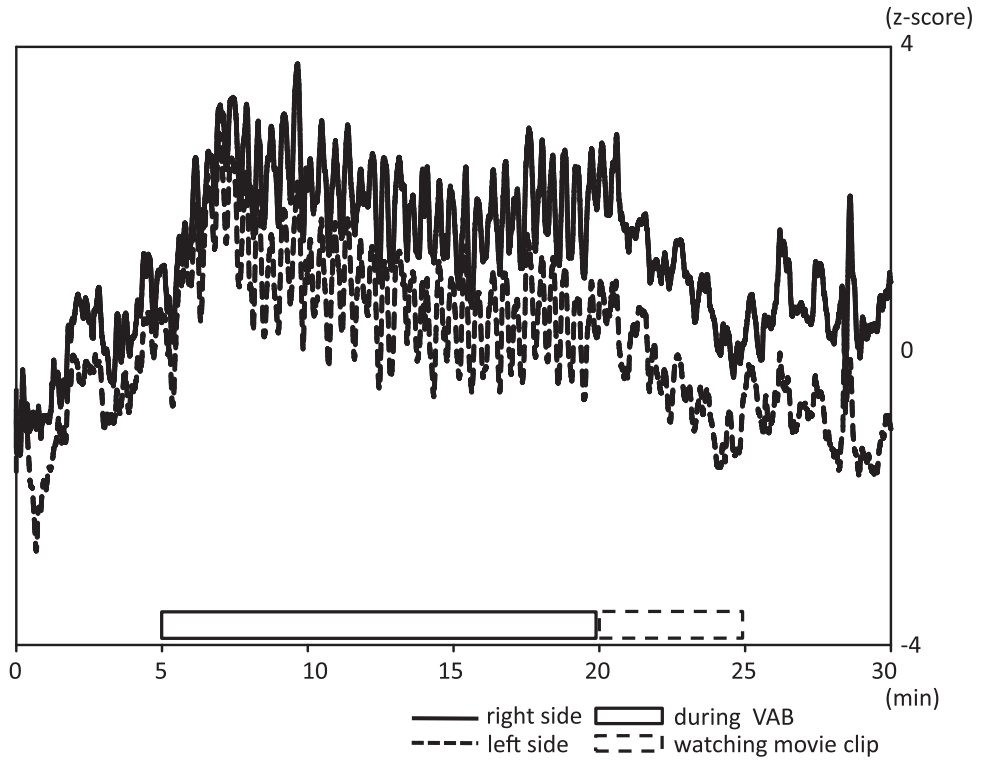


図4 腹筋呼吸法に伴う総ヘモグロビンレベルの記録例

実線の四角は腹筋呼吸法が行われている時間帯，点線の四角は動画を視聴している時間帯である。グラフの実線は右，点線は左の前額部から記録された総ヘモグロビンレベルの時間経過である。

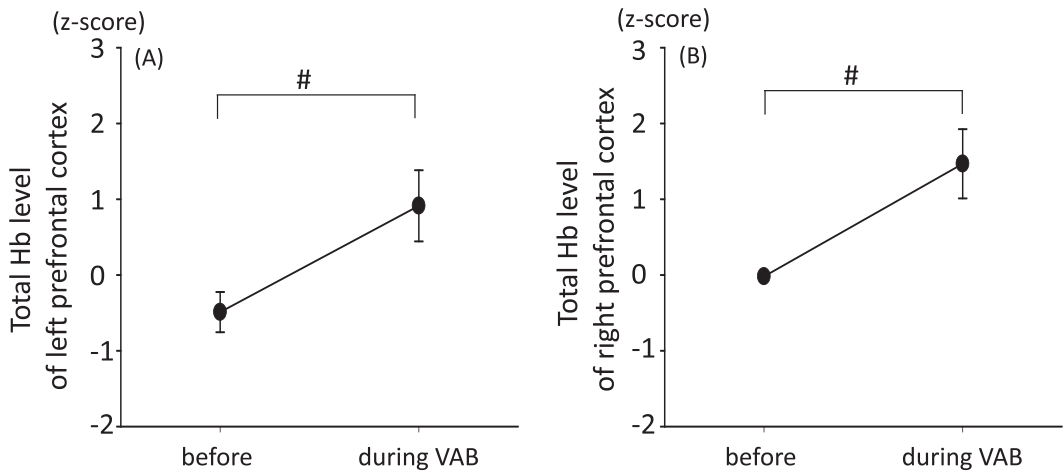


図5 腹筋呼吸法前と腹筋呼吸法中の総ヘモグロビンレベルの比較

(A), (B) はそれぞれ，左と右の前額部からの測定された総ヘモグロビンレベルを解析したものである。# : $p < 0.05$

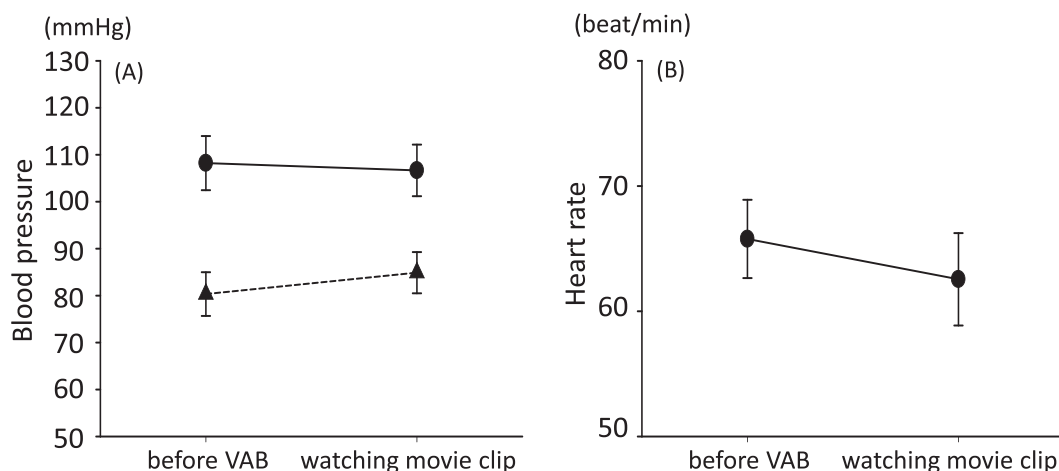


図6 腹筋呼吸法前と動画視聴中の血圧と心拍数の比較

(A) は血圧の比較であり、丸が収縮期血圧を、三角が拡張期血圧を表す。(B) は心拍数の比較である。

3.4 動画視聴のみの場合の血圧と心拍数および脳波の変化

3名の被験者について、腹筋呼吸法を行わずに動画視聴のみを実施し、血圧と心拍数を測定した結果、収縮期血圧については動画視聴前 (108.3 ± 11.1 mmHg) と比べて動画視聴中 (124.0 ± 12.9 mmHg) に高くなる傾向があり、拡張期血圧についても動画視聴前 (77.3 ± 7.6 mmHg) と比べて動画視聴中 (92.7 ± 11.1 mmHg) に高くなる傾向があった。

心拍数については、動画視聴前 (63 beat/min) と動画視聴中 (64.7 beat/min) に変化の傾向はなかった。

2名の被験者から得られた脳波パワーについては、 θ 波帯域 (動画視聴前 ($30.6 \pm 5.9\%$), 動画視聴中 ($31.3 \pm 6.3\%$)) に動画視聴前と比べて動画視聴中に変化の傾向はなく、 $\alpha 1$ 波帯域 (動画視聴前 ($15.3 \pm 0.8\%$), 動画視聴中 ($11.0 \pm 1.5\%$)) と $\alpha 2$ 波帯域 (動画視聴前 ($21.0 \pm 1.3\%$), 動画視聴中 ($19.9 \pm 0.2\%$)) については動画視聴前と比べて動画視聴中に減少傾向があり、 $\beta 1$ 波帯域 (動画視聴前 ($20.7 \pm 3.9\%$), 動画視聴中 ($23.7 \pm 5.3\%$)) と $\beta 2$ 波帯域 (動画視聴前 ($12.4 \pm 0.1\%$), 動画視聴中 ($14.1 \pm 0.3\%$)) については、動画視聴前と比べて動画視聴中に増加する傾向があった。

3.5 VASの変化

腹筋呼吸法を行った後のストレスの主観的評価は 52 ± 7 mm、腹筋呼吸法を行わなかった場合は 66 ± 7 mmであり、ストレスの主観的評価は腹筋呼吸法を行った後の方が低い傾向にあった。

4. 考 察

本研究では、我々の先行研究に基づく腹筋呼吸法が、腹筋呼吸法後の動画視聴によるストレス刺激に対するストレス反応におよぼす影響について検討した。腹筋呼吸法中には腹筋呼吸法前と比べて $\alpha 2$ 帯域の脳波パワーが増加し、前額部の総ヘモグロビンレベルが増加した。一方、腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧、心拍数は変化しなかった。腹筋呼吸法後の動画視聴中の脳波パワーについても α 波帯域と β 波帯域については腹筋呼吸法前と比べて変化はなかった。腹筋呼吸法を実

施せずに動画のみを視聴させた場合、脳波の α 波パワーの減少傾向と β 波パワーの上昇傾向および血圧の上昇傾向があった。また、腹筋呼吸法を実施せずに動画のみを視聴させた場合のストレスの主観的評価（VAS）は、腹筋呼吸法を実施した場合よりも上昇する傾向があった。

4.1 腹筋呼吸法中の脳波パワーと総ヘモグロビンレベルの変化

本研究では、腹筋呼吸法中には $\alpha 2$ 帯域の脳波パワーが増加した。我々の先行研究（Fumoto *et al.*, 2004）では、開眼状態で行われる腹筋呼吸法中にはlow-frequency α 波（本研究の $\alpha 1$ 波）帯域とhigh-frequency α 波（本研究の $\alpha 2$ 波）帯域の脳波パワーの両者が増加するが、閉眼状態で行われる腹筋呼吸法の最中には、low-frequency α 波帯域の脳波パワーはむしろ減少し、high-frequency α 波帯域のみが増加することを報告している。本研究でも、 $\alpha 1$ 波帯域の脳波パワーは増加傾向ではあったが、 $\alpha 2$ 波帯域の増加が統計的に有意であったことから、腹筋呼吸法に特徴的な脳波の変化は $\alpha 2$ 波帯域のパワーの増加として特徴付けられると考えられた。

本研究の腹筋呼吸法中には前額部のtHbレベルが増加した。Yu *et al.*, 2011は腹筋呼吸法中には前額部腹側の酸素化ヘモグロビン（oxyHb）レベルが局所的に増加する結果を得た。この結果は、腹筋呼吸法により前頭前野が活性化して血流が増加したため、oxyHbレベルが増加したと解釈された。神経活動増加に伴う大脳皮質の血流増加は、NIRSを用いた場合、oxyHbとtHbレベルの増加および脱酸素化ヘモグロビンレベルの減少として観察される（Hoshi *et al.*, 2011, Fumoto *et al.*, 2010）。したがって、脳血流の変化の統計的な評価に際してはoxyHbとtHbレベルが用いられることが多い。本研究では、tHbレベルを測定して腹筋呼吸法中に増加する結果を得た。プローブを装着した場所は、先行研究（Yu *et al.*, 2011）において局所的にoxyHbレベルが増加した腹側前頭前野に含まれる場所であった。したがって、本研究におけるtHbの腹筋呼吸法中の増加は、腹筋呼吸法により前頭前野が活性化し、脳血流が増加したことを反映すると考えられる。

4.2 腹筋呼吸法中の α 波パワーの変化の背景

腹筋呼吸法中の $\alpha 2$ 波帯域のパワー増加の背景にはどのような生理学的な機序があるのであろうか？ Yu *et al.*, 2009は、腹筋呼吸法中に脳波の α 波パワーの増加を得たことに加え、腹筋呼吸法後に血液中セロトニンレベルが増加する結果を得た。Nakatani *et al.*, 2008は、動物モデルにおいて、血液中セロトニンレベルの増加が脳内セロトニンレベルの増加を反映する結果を得ているため、Yu *et al.*, 2009の腹筋呼吸法による血液中セロトニンレベルの増加は脳内セロトニンレベルの増加を反映すると考えられた。

脳内セロトニンレベルの増加が脳波の徐波化に関係する可能性を示唆する結果が報告されている。Jones and Muhlethaler, 1998は、動物モデルにおいて前脳基底部にセロトニンを微量注入すると、大脳皮質活動の減少が起こることを確認している。前脳基底部には大脳皮質活動の増加に関係するアセチルコリン神経があり、大脳皮質の広範な領域に投射している。したがって、前脳基底部へのセロトニンの微量注入による大脳皮質活動の減少には、アセチルコリン神経の抑制が関わることが示唆される。本研究では $\alpha 2$ 波帯域のパワーの増加と $\alpha 1$ 波帯域の脳波パワーの増加傾向に加え、 β 波帯域のパワーが減少する結果を得た。このように、脳波の相対的に高い周波数帯のパワーが減少し、より低い周波数帯のパワーが増加する結果は、大脳皮質活動の減少を反映すると考えられ、脳内セロトニンレベルの増加による、前脳基底部アセチルコリン神経活動の減少を示唆する。

4.3 腹筋呼吸法中の前頭前野総ヘモグロビンレベルの変化の背景

上述したように、腹筋呼吸法中に起こったtHbレベルの増加は、前頭前野の活性化に伴う血流増加を示唆する。前頭前野は脳幹の背側縫線核にあるセロトニン神経と双方向性に線維連絡していることがHajos *et al.*, 1998によって示されている。最近のGonçalves *et al.*, 2009の研究でも、腹側前頭前野から背側縫線核に密な投射があることが報告されていることから、前頭前野の活性化が背側縫線核のセロトニン神経を活性化し、脳波の α 2波パワーの増加と β 波パワーの減少に関与した可能性が示唆される。

4.4 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧、心拍数、脳波の変化

腹筋呼吸法後にストレス刺激として与えられた動画の視聴中には、血圧と心拍数および α 波帯域と β 波帯域の脳波パワーは、腹筋呼吸法前と比べて変化しなかった。先行研究では、本研究で用いた動画により収縮期血圧が10～15 mmHg、心拍数が10～15 beat/min増加すると報告されている(Child *et al.*, 2014)。本研究でも3名の被験者では動画視聴のみの条件では収縮期血圧が約16 mmHg増加する傾向を得た。また、脳波パワーには α 波帯域の減少と β 波帯域の増加傾向が得られた。本研究の結果と先行研究の結果をあわせて考えると、本研究の動画視聴のみの条件でも、動画視聴中にストレス反応が出現したと考えられる。したがって、腹筋呼吸法後の動画視聴中に収縮期血圧と拡張期血圧および心拍数が増加しなかったこと、 α 波帯域と β 波帯域の脳波パワーが変化しなかったことは、腹筋呼吸法の影響により、動画視聴によるストレス反応が抑えられたためと考えられる。

4.5 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧、心拍数、脳波の変化の背景

精神的もしくは肉体的ストレス刺激による急性のストレス反応として、血圧、心拍数および覚醒レベルの増加が起こることが知られているが、この背景には一般的に以下の2つのメカニズムが関与すると考えられる(鈴木, 2015)。一つは、視床下部・下垂体・副腎髄皮質系(Hypothalamus・pituitary・adrenal axis: HPA軸)であり、もう一つは交感神経系・副腎髄質系である。前者については、ストレス刺激に対し、視床下部室傍核にある副腎皮質刺激ホルモン放出因子(corticotropin releasing factor: CRF)神経が活性化し、下垂体から副腎皮質刺激ホルモンが血液中に分泌されて副腎皮質を刺激し、血液中にコルチゾールを代表とする副腎皮質ホルモンが分泌される。長期的なストレス刺激への暴露による副腎皮質ホルモンの影響は、胸腺リンパ節の肥大、胃潰瘍、副腎肥大に代表される様々な兆候を引き起こす。後者の交感神経・副腎髄質系については、ストレス刺激に対して交感神経活動が上昇して副腎髄質が刺激され、副腎髄質からノルアドレナリンとアドレナリンが放出され、血圧や心拍数の増加を引き起こすと考えられる。このように、ストレス刺激に対するストレス反応には、HPA軸と交感神経・副腎髄質系が独立して関与しているように見受けられる。しかしながら、Fisher *et al.*, 1983はCRFを脳室に投与すると血圧と心拍数が増加することを報告しており、CRF神経はHPA軸と交感神経・副腎髄質系の両者に影響し、血圧と心拍数の増加を含めたストレス反応に重要な役割を担っていると考えられる。CRF神経はさらに、背側縫線核のセロトニン神経の影響を受け、ストレス刺激に対するHPA軸と交感神経・副腎髄質系の活動を抑える可能性がLowery, 2002によって提唱されている。

本研究の腹筋呼吸法による α 2波パワーの増加と前頭前野の脳血流の増加という結果を、我々の先行研究(Yu *et al.*, 2009, Fumoto *et al.*, 2004)を含めて考えると、腹筋呼吸法中にはセロトニン神経の活性化が示唆される。セロトニン神経の神経伝達はポリウムトランスミッション(拡散

伝達)であり, 比較的ゆっくりと影響することが知られている (Jennings, 2013)。また, Yu *et al.*, 2009は, 腹筋呼吸法後30分の時点でも血液中セロトニンレベルの増加が維持されることを報告している。これらの報告は, 腹筋呼吸法中のセロトニン神経の活性化の影響が, 腹筋呼吸法後も継続することを示唆する。したがって, 腹筋呼吸法後の動画視聴中には, 腹筋呼吸法中のセロトニン神経活性化の影響が, CRF神経を介して交感神経活動・副腎髄質系におよび, 血圧と心拍数が上昇しなかったものと考えられる。また, HPA軸と交感神経活動・副腎髄質系の活性化は直接もしくは間接的に覚醒レベルの増加を起こす可能性があるが (Hebb, 1972), 腹筋呼吸法によるセロトニン神経の活性化の影響は, CRF神経を介して覚醒レベルにおよび, 腹筋呼吸法後の動画視聴による覚醒レベルの増加としての脳波の速波化を抑制したものと考えられる。

5. まとめ

スポーツの試合などにおいて高まりすぎた覚醒レベルを適度に低くする技法の一つとして呼吸法が知られている。本研究では, 我々の先行研究で行われてきた腹筋の収縮を意識した呼吸法 (腹筋呼吸法) が, 腹筋呼吸法後に与えられるストレス反応におよぼす影響について検討した。腹筋呼吸法は呼気12秒, 吸気8秒を目安としてゆっくりとしたペースで15分間行わせた。その後, 先行研究に従って血圧が10-15 mmHg程度上昇すると報告されている動画をストレス刺激として視聴させた。その結果, 腹筋呼吸法中には腹筋呼吸法前と比べて $\alpha 2$ 波帯域の脳波パワーが増加し, 前額部の総ヘモグロビンレベルが増加した。一方, 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧, 心拍数は変化しなかった。腹筋呼吸法後の動画視聴中の脳波パワーについても α 波パワーと β 波パワーに腹筋呼吸法前と比べて差は見られなかった。腹筋呼吸法を実施せずに動画のみを視聴させた場合, 脳波の α 波パワーの減少傾向と β 波パワーの上昇傾向, また血圧の上昇傾向があった。また, 腹筋呼吸法を実施せずに動画のみを視聴させた場合のストレスの主観的評価 (VAS) は, 腹筋呼吸法を実施した場合よりも上昇する傾向があった。以上の結果から, 腹筋呼吸法を行わない場合には, 先行研究と同様に動画視聴によりストレス反応が上昇したと考えられた。また, 本研究では腹筋呼吸法によりストレス反応が抑えられたため, 腹筋呼吸法前と比べて, 腹筋呼吸法後の動画視聴中の血圧, 心拍数および脳波の α 波帯域と β 波帯域のパワーが変化しなかったと考えられた。

謝 辞

本研究の実施に当たり有益な助言をいただいた東京国際大学の確井外幸先生, また, 実験実施にご協力いただいた東京国際大学の木浪絢乃氏, 大山葉奈氏, 五十貝杏奈氏, 岩崎理奈氏に感謝申し上げます。

参考文献

- Child N, Hanson B, Bishop M, Rinaldi CA, Bostock J, Western D, Cooklin M, O'Neil M, Wright M, Razavi R, Gill J, Taggart P. Effect of mental challenge induced by movie clips on action potential duration in normal human subjects independent of heart rate. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2014 Jun; 7 (3): 518-523.
- Fisher LA, Jessen G, Brown MR. Corticotropin-releasing factor (CRF): mechanism to elevate mean arterial pressure and heart rate. *Regul Pept.* 1983 Jan; 5 (2): 153-161.
- Fumoto M, Sato-Suzuki I, Seki Y, Mohri Y, Arita H. Appearance of high-frequency alpha band with disappearance of low-frequency alpha band in EEG is produced during voluntary abdominal breathing in an eyes-closed condition. *Neurosci Res.* 2004 Nov; 50 (3): 307-317.

- Fumoto M, Oshima T, Kamiya K, Kikuchi H, Seki Y, Nakatani Y, Yu X, Sekiyama T, Sato-Suzuki I, Arita H. Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Behav Brain Res.* 2010 Nov 12; 213 (1): 1-9.
- Gonçalves L, Nogueira MI, Shammah-Lagnado SJ, Metzger M. Prefrontal afferents to the dorsal raphe nucleus in the rat. *Brain Res Bull.* 2009 Mar 16; 78(4-5): 240-247.
- 福田正人. 精神疾患とnirs——光トポグラフィー検査による脳機能イメージング. 2009, 中山書店.
- Hajos M, Richards CD, Szekely AD, Sharp T. An electrophysiological and neuroanatomical study of the medial prefrontal cortical projection to the midbrain raphe nuclei in the rat. *Neuroscience* 1998; 87 (1): 95-108.
- Hebb, D.O, *Textbook of psychology.* 1972, (3rd Edition) WB, Saunders Company.
- Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M. Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *J Appl Physiol* 2001; 90 (5): 1657-1662.
- Jennings KA. A Comparison of the Subsecond Dynamics of Neurotransmission of Dopamine and Serotonin. *ACS Chem Neurosci.* 2013 May 15; 4 (5): 704-714.
- Jones BE, Muhlethaler M. Cholinergic and GABAergic neurons of the basal forebrain: role in cortical activation. In: Lydic R, Baghdoyan HA, editors. *Handbook of behavioral state control: cellular and molecular mechanisms.* Boca Raton, Florida: CRC Press; 1998. p. 327-348.
- Lowry CA. Functional subsets of serotonergic neurones: implications for control of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *J Neuroendocrinol.* 2002 Nov; 14 (11): 911-923.
- Masaki H, Takasawa N, Yamazaki K. Human movement-related brain potentials preceding voluntary movements in different arousal states monitored with skin potential level. *Percept Mot Skills.* 2000 Feb; 90 (1): 299-306.
- Mohri Y, Fumoto M, Sato-Suzuki I, Umino M, Arita H. Prolonged rhythmic gum chewing suppresses nociceptive response via serotonergic descending inhibitory pathway in humans. *Pain.* 2005 Nov; 118 (1-2): 35-42.
- 松本直子. 心理的プレッシャーが打球動作に及ぼす影響. *バイオメカニクス,* 2005 9, 170-180.
- McCormack HM, Horne DJ, Sheather S. Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. *Psychol Med.* 1988 Nov; 18 (4): 1007-1019.
- Nakatani Y, Sato-Suzuki I, Tsujino N, Nakasato A, Seki Y, Fumoto M, *et al.* Augmented brain 5-HT crosses the blood-brain barrier through the 5-HT transporter in rat. *Eur J Neurosci* 2008; 27 (9): 2466-2472.
- Polich J. On the relationship between EEG and P300: individual differences, aging, and ultradian rhythms. *International Journal of Psychophysiology* 26: 299-317, 1997.
- Schneider S, Askew CD, Diehl J, Mierau A, Kleinert J, Abel T, Carnahan H, Strüder HK. EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities. *Physiol Behav.* 2009 23; 96 (4-5): 709-716.
- 鈴木郁子. やさしい自律神経生理学——命を支える仕組み. 中外医学社, 2015.
- 徳永幹雄. 教養としてのスポーツ心理学. 大修館書店, 2005.
- Yu X, Fumoto M, Nakatani Y, Sekiyama T, Kikuchi H, Seki Y, Sato-Suzuki I, Arita H. Activation of the anterior prefrontal cortex and serotonergic system is associated with improvements in mood and EEG changes induced by Zen meditation practice in novices. *Int J Psychophysiol.* 2011 May; 80 (2): 103-111.