

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26540142

研究課題名(和文)「呼吸-姿勢」引き込み制御は睡眠の質を向上させストレス・ホルモンを調整できるか？

研究課題名(英文) A pilot study on respiration-posture feedback system toward enhancement of sleep quality with changing stress hormone secretion

研究代表者

野村 収作 (Nomura, Shusaku)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80362911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自律呼吸に同調して僅かに姿勢を変化させる独自の「呼吸-姿勢」制御システムにより、被験者の自律呼吸へ介入し、その生理的な影響を検証したものである。評価実験の結果、当初期待した通りこの特殊なフィードバック・システムにより外意的に呼吸を統制することができ、更に自律神経系(副交感神経系)へのポジティブな影響が認められた。一方、内分泌系においては被験者内で応答が異なる結果となった。

研究成果の概要(英文)：A respiration-posture feedback system was developed to intervene human breathing. A small air chamber placed under a subject's back deflates and inflates to make a subject's postures change and so to change the breathing. The results showed that the subject's respiration was successfully deepened, getting longer in the latency and increase of the volume, and that the enhancement of parasympathetic nervous system activity. Meanwhile, the effect on endocrine system in terms of a stress hormone secretion has varied widely among individuals.

研究分野：アンビエント生体医工学

キーワード：アンビエント・フィードバック・システム

1. 研究開始当初の背景

呼吸統制法は簡易かつ効果的な健康維持の手法として古くから用いられている。各種スポーツ、とりわけヨガや武道においてそれぞれ独自の呼吸法が開発されている。宗教においても呼吸を自己統制することで深い瞑想を求める訓練を行う場合がある。

学術的には、主にバイオフィードバックの分野で古くから呼吸統制による効能が報告されている。例えば、呼吸を統制することで、認知課題の成績向上[1]、不安感の低減[2]、心拍数や血圧などの自律神経系機能の調整[3]、更には免疫機能の向上[4]に至るまで様々な効能が示されている。

一方、これらの呼吸の自己統制法に対し、臨床分野においては受動的な呼吸調整の効能が広く認められている。例えば、閉塞性もしくは中枢性の睡眠時無呼吸症候群 (Obstacle or Central Sleep Apnea Syndrome) の患者に対し、CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) や ASV (Adaptive Servo-Ventilation) などにより受動的に呼吸調整を施すことで、将来にわたり心臓血管系疾患に陥るリスクが大幅に低減することが報告されている[5]。このように、能動的また受動的な呼吸統制は日常生活において、また臨床現場において極めて有益であることが実証されている。

しかしながら、現状の呼吸統制法には制約もある。能動的な呼吸統制法は、それを実行すること自体に多大な努力と集中力を要し、結果的にその効能を享受するに至るほど長期にわたって継続的に実施することが難しい。一方、受動的な呼吸統制法は、強制換気する為のマスクあるいはカニューラを装着したまま寝る必要があり、そもそも呼吸統制の為の特殊な装置が必要であることから健常者が日常的に使用することは難しい。

本研究は、この能動的・受動的な呼吸統制法の制約を超えて、呼吸統制の効能を得られるような新しい方法論を提案した。

2. 研究の目的

本研究は、自律呼吸に同調して僅かに姿勢を変化させる、独自の「呼吸-姿勢」制御システムにより、被験者の自律呼吸を制御しうるか否かを検証するものである。

更に、この特殊なフィードバック系による自律呼吸への介入により、生理的には自律・中枢神経系 (脳波・心拍動等) のみならず内分泌系 (ホルモンの分泌) まで影響が及ぶか否かを検証した。

3. 研究の方法

人間は背を反らすと息を吸い易くなるが、逆に息を吐くのは難しくなる。反対に、背を丸めると呼気は容易になるが、吸気抵抗は増

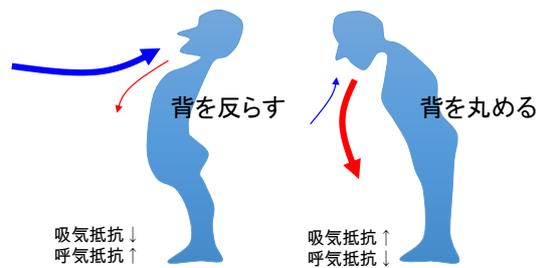


図1. 姿勢に対する呼気・吸気抵抗

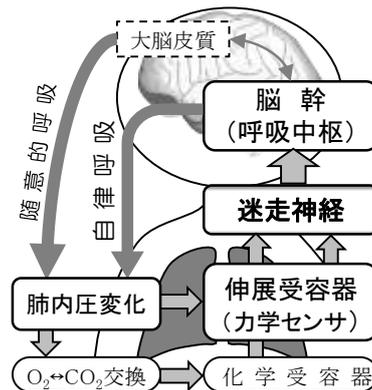


図2. 呼吸のフィードバック調整機序

す (図1)。この単純な事実は、姿勢による呼吸制御の可能性を示している。これは、生理的には肺の力学センサ (伸張受容器) による呼吸調整機序によるものである (図2)。人間の呼吸は自己統制が不可能ないわゆる随意的呼吸と自律呼吸と呼ばれる不随意呼吸からなる。どちらの呼吸方式においても、呼吸による内圧変化は肺の力学センサを介して検知され (ガス交換の状態は化学受容器によって検知される)、迷走神経を介して呼吸中枢である脳幹に伝えられる。この生理的なフィードバック機構により呼吸が実現されているが、本研究では、人間の姿勢を制御することにより伸張受容器を刺激し、ひいては自律呼吸に介入することを目指した。

具体的には図3に示すように、ベッドに仰向けに横たわった被験者に対し、背中に配置したエアチャンバを呼吸と同調的に膨張・収縮させる。このチャンバの膨張・収縮により、被験者の姿勢は僅かに変化するが、これを契機にして伸張受容器を刺激し人間の自律呼吸に介入するものである。

技術的には同システムは、被験者の呼吸状態をセンシングするセンサ部、センシング下呼吸状態に応じてエアチャンバの膨張・収縮を決める制御部、および、実際に膨張運動をするチャンバからなる。呼吸状態のセンシングには被験者の胸囲変化を捉える力学センサ (FSR400, Interlink electronics Inc) をもち

いた方式、または、被験者の呼吸を鼻下に配置したサーミスタ（日機装サーモ）により温度変化として捉える方式を用いた。制御部については呼吸をモニタするアナログセンサの情報を簡易な USB インタフェース (NI USB-6008 DAQ, National Instruments Co.) により取得し、LabVIEW を介してエアチャンバの膨縮を実現する空気ポンプ (YP-20A, 安永エアポンプ) の制御を行った。

4. 研究成果

同システムを用いて、自律呼吸に介入する評価実験を 2 年間の研究期間・被験者数延べ 80 人に渡って実施した。

評価実験を進める課程において、例えば呼吸センシング方式の変更（力学センサ方式からサーミスタ方式）、チャンバ部材の改良、スパイロメーター等による物理的換気量の測定に基づくエアチャンバのキャリブレーション（初期圧力および配置）方法の確立、また、引き込み制御を実現する為の制御アルゴリズムの改良を実現した。

これら評価実験の結果、当初期待した通り、同フィードバック制御により呼吸振幅・呼吸間隔が有意に増大した（図 4）。つまり、本研究で開発したフィードバック・システムにより外意的に深呼吸状態を誘導できることが確認された。さらに、生理的には副交感神経の指標である心拍数変動について、同制御期間における有意な増大が認められ、したがって同システムによって自律神経系機能を誘導できる可能性が示唆された。さらに、同システムによる数十分の介入期間の後の時間帯においても、介入の効果が持続することが観察された。このことは、当初想定していなかった興味深い結果であり、今後も検証を続ける。

一方、同システムの自律神経系に対する介入効果の個人差について検討したところ、被験者の BMI と副交感神経神経の指標である心拍数変動 (HF 成分) との間に有意な負の相関が認められた。現状のシステムにおいて、空気ポンプの制御はその作動 (ON/OFF) のみによって行われ、したがって被験者の背中に配置したチャンバの内圧を繊細に制御することは難しい。このことが、被験者個々人の体重に対する自律神経系への介入効果の相違となって表れたと考えられる。この点については、現状のエアチャンバ（空気圧）による姿勢制御の制約でもあるが、姿勢制御の方法はエアチャンバに限定されるものではないため今後他の方式についても導入・検証したい。

一方、内分泌系においてはストレス・ホルモン等を検証したものの統計的に有意な変動は認められなかった。しかしながら、自律神経系の指標には有意な影響が認められること、更に被験者個々人においては変動が認められる・認められない者が存在することから、今後は、個々人に即した制御アルゴリズムの調整を行うなど、システムの改良を続ける必要

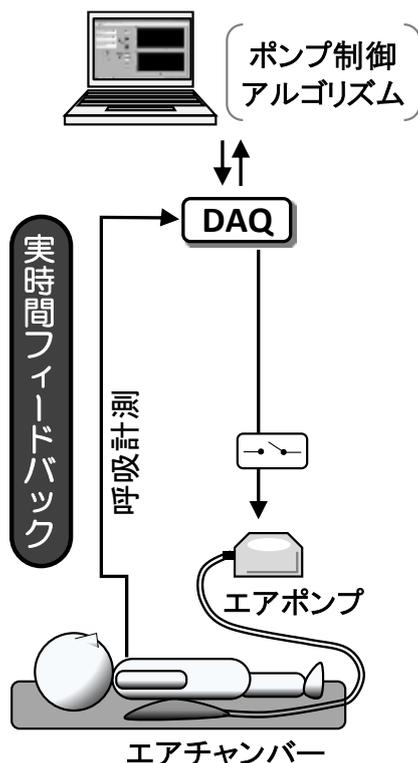


図 3. 呼吸-姿勢フィードバック・システムの概要（上）と実装例（下）

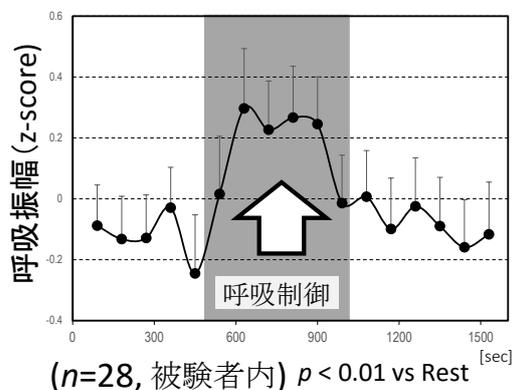


図 4. 呼吸-姿勢フィードバック・システムによる介入効果

がある。また、本研究計画において、恐らくは同システムによる呼吸統制の介入時間が短く、ホルモンの変動が有意と言えるレベルにまで達しなかったことも想定される。したがって、数日～数週間にわたる、より長期間な介入研究を行う必要がある。

以上、本研究により得られた成果については、今後国内外論文誌に投稿する予定である。

<引用文献>

- ① Solanky, “Respiration biofeedback assisted controlled breathing training to enhance shooting performance,” *Br. J. Sports. Med.*, vol. 44, 2010, pp. i27-i28.
- ② A.P. Sutarto, M. N. Wahab, and N. M. Zin, “Resonant breathing biofeedback training for stress reduction among manufacturing operators,” *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol.14, no.4, 2012, pp.549-561.
- ③ L. Guan-Zheng, H. Bang-Yu, and W. Lei, “A wearable respiratory biofeedback system based on generalized body sensor network,” *Telemedicine and e-Health*, vol.17, no.5, 2011, pp.348-357.
- ④ M.S. Rider, et al., “Effect of immune system imagery on secretory IgA,” *Biofeedback Self Regul.*, vol.15, no.4, 1990, pp.317-333.
- ⑤ H. K. Yaggi, et al., “obstructive sleep apnea as a risk factor for stroke and death,” *N. Engl. J. Med.*, vol.353, 2005, pp.2034-2041.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 野村収作, 「目に見えないインタフェースによる健康管理ーアンビエント・フィードバック・システム」, *The TAKASAGO Times*, 175, pp.26-29, 2015. 5. 26.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 野村収作, 「PID 制御系としての生体システムーストレス生理応答の時定数」, 第 3 回アンビエント・フィードバック・システム (AFS) 研究会資料, p. 3, 2014. 8. 29, 徳島.
- ② 野村収作, 「ストレス応答のシステム論ー「評価」から「制御」へ」, 日本心理学会 第 78 回大会公募シンポジウム, 札幌, 2014. 9. 10.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 収作 (NOMURA SHUSAKU)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号：80362911