

# クッション型ロボットを用いた呼吸を模した振動提示による 呼吸誘導手法の提案

## Proposal of a Breathing-Guidance Method Using a Cushion-Type Robot with Breathing-Mimicking Vibration Feedback

鎌田麻瑚<sup>1\*</sup> 吉田直人<sup>1</sup>  
Mako Kamata<sup>1</sup> Naoto Yoshida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 工学院大学

<sup>1</sup> Kogakuin University

**Abstract:** 本研究では、入眠改善に向けてリラクセス効果が期待される 4-7-8 呼吸法に少ない負荷で誘導するため、呼吸パターンを模した振動刺激を提示するロボットを提案した。システムの誘導を受けない自己制御条件と比べ、振動提示条件では呼吸回数が理想値に近づき、安心感や穏やかさ、容易さが有意に高まった。脳波などの生体指標や、眠気の自己評価に有意差は見られなかったが、呼吸法実践を低負担で正確に支援する有用性が示唆された。

### 1 はじめに

日本では睡眠不足が深刻な問題となっており、厚生労働省の令和 6 年度の調査によれば、「睡眠による休養が不十分」とされる割合が増加している [1]。また、寝付きに問題を抱えるケースも多く、睡眠の質を高める新たなアプローチが必要である。不安軽減やリラクセス効果をもたらす方法として、4-7-8 呼吸法 [2] が提唱されている。これは、「4 秒吸って 7 秒止めて 8 秒で吐く」というリズムで行う呼吸法で、睡眠を促す効果があるとされる。しかし、実践者が意識的に時間を数える必要があり、睡眠前の実践は負担となる可能性がある。

自己の身体状態や精神状態を調整する方法として、医療や心理の分野で用いられるバイオフィードバック (BF) [3] がある。BF は自身の生理的な活動状態を刺激に変換し、それを確認しながら自己調整を行う治療・トレーニング法であるが、呼吸状態は光やグラフィックなどの視覚刺激で可視化されるケースが多く、睡眠には適さない。そこで、本研究では呼吸を模した波形を振動刺激として提示することで、視覚を用いずに、呼吸法のガイドを行う手法を提案する。振動刺激を提示するアクチュエータを内蔵したロボットを用いて、低い認知負荷で正確な呼吸誘導が可能か検証した。

### 2 関連研究

4-7-8 呼吸法の効果に関して Vierra ら [4] による研究では、4-7-8 呼吸法によって心拍数と収縮期血圧が 5 % 水準で有意に低下することが示された。また、Aktas ら [5] による研究では肥満症治療の手術後に 4-7-8 呼吸法を行うことにより、5 % 水準で有意に不安が低下すると報告された。以上から、4-7-8 呼吸法に身体的、主観的リラクセス効果があるといえる。

視覚を用いた BF の研究では、アニメーションによるフィードバックの有用性が示唆されている。非接触で計測した心拍変動や高周波成分を基にアニメーションで図の大きさの変動させて BF を実施したところ、副交感神経の賦活化が確認された [6]。振動刺激を利用した BF に関する研究では、腕時計型ロボットによる心拍由来の振動刺激が使用者のリラクセス感や集中力を高めることが示されている [7] が、振動刺激によって一連の呼吸を提示する試みは確認されていない。また、呼吸を再現した触覚刺激の研究は本人による呼吸の周期に由来したものが多く、呼吸法のようにパターン化された呼吸を再現するシステムも検討されていない。本人の呼吸に由来した刺激による BF を調整することにより、自律神経の調整が可能であることを示唆している [8], [9]。特に、睡眠時の呼吸や本人の呼吸周期を長くした刺激でリラクセス効果が確認されている。4-7-8 呼吸法の周期は通常の呼吸に比べて長周期であるが、同様の効果が得られるのかを検証する必要がある。

\*連絡先：工学院大学情報学部情報デザイン学科  
〒192-0015 東京都八王子市中野町 2665-1  
E-mail: j222098@ns.kogakuin.ac.jp,

yoshida@cc.kogakuin.ac.jp

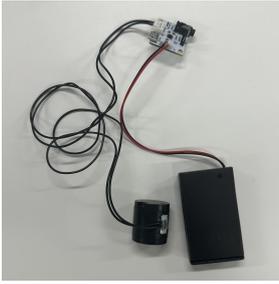


図 1: 触覚デバイス



図 2: クッション

### 3 提案システム

本実験の提案システムは触覚デバイス (ビット・トレード・ワン「hapStak 触覚体感モジュール」)(図 1) をクッション (図 2) に内蔵したロボットである。振動刺激は PC の音声出力による振動波形で制御した。振動波形の主成分は 4-7-8 呼吸法の吸気時を  $f_0 = 0.125$  を代入した数式 (1)、息止め時を数式 (2)、呼気時を  $f_0 = 0.0625$  を代入した数式 (3) とし、これらを連続して提示することで呼吸 1 回における一連の動作を再現した (図 3)。呼吸時の胸腔内の増幅を数式 (1) (3) で再現し、 $f_c = 40$  を代入した数式 (4) を乗算することで 40Hz の振動として提示した。呼吸段階の変化を明確にするため、数式 (2) は一定の値  $A = 1.5$  を 6 秒間提示し、前後の 0.5 秒間を無音区間に設定した。

$$y = A \sin^2(\pi f_0 t) \quad (1)$$

$$y = A \quad (2)$$

$$y = A \cos^2(\pi f_0 t) \quad (3)$$

$$y = \sin^2(2\pi f_c t) \quad (4)$$

## 4 実験

### 4.1 実験概要

振動提示による呼吸法ガイドある場合 (振動提示条件) が、自身で数えて呼吸する場合 (自己統制条件) に比べ、正確性、リラックスおよび眠気効果を高めるかを検証した。1 要因 2 水準の参加者内計画である。順序効果を統制するため、カウンターバランスを取った。各条件において、計測器装着、呼吸法の練習、実験前の眠気の統制を目的とした 3 分間の足踏み運動、10 分間の呼吸法実践および主観評価を順に実施した。実験は、仰臥位・閉眼・低照度条件下で行った。振動提示条件ではロボットの振動に同期して 4-7-8 呼吸法を行うよう指示し、自己統制条件では参加者自身が秒数を数えながら同じ呼吸法を行った。呼吸法の練習は実践

表 1: 主観評価の質問項目

評価項目	カテゴリ	質問内容
眠気	眠気	1 ぼんやりした
		2 意識が遠のいた
		3 集中力が下がった
		4 手足が暖かくなった
		5 脈拍が落ち着いた
		6 眠くなった
	覚醒	7 興奮した
		8 目が覚めた
		9 集中力が高まった
		10 感覚が鋭くなった
		11 心臓がドキドキした
		12 意識が覚醒した
リラックス	快	13 リラックスした
		14 安心した
		15 穏やかに感じた
		16 心地良かった
		17 落ち着いた
		18 楽になった
	不快	19 違和感があった
		20 気持ち悪さを感じた
		21 疲労を感じた
		22 苦痛を感じた
		23 緊張した
		24 あただしなかった
利便性	便利	25 実践しやすかった
		26 テンボが掴みやすい
		27 息を吸うタイミングが分かりやすい
		28 息を止めるタイミングが分かりやすい
		29 息を吐くタイミングが分かりやすかった
		30 自然に実践できた
	不便	31 実践し難かった
		32 呼吸のテンボが掴みづらかった
		33 息を吸うタイミングが分かりにくかった
		34 息を止めるタイミングが分かりにくかった
		35 息を吐くタイミングが分かりにくかった
		36 自然に呼吸法を実践するのが難しかった

する条件に応じて同様に言い、実験参加者が慣れるまで続けた。評価指標として、脳波 ( $\alpha$  波,  $\beta$  波,  $\theta$  波,  $\delta$  波)、心拍数、呼吸データおよび主観評価を用いた。脳波計測は Brain 社製 Zentopia、呼吸計測はクレアクト社製 biosignalsplux PZT、心拍計測は Polar 社製 Polar H10 を使用した。主観評価は、眠気、快適性、利便性に関する 36 項目からなる質問に 7 段階リッカート尺度で回答させた (図 1)。

### 4.2 仮説

振動提示をすることで、呼吸法の正確性が高まり、呼吸法実践による負担が軽減すると予想した。それにより、主観評価においてリラックスや眠気、利便性の回答結果が振動提示条件の方が有意に高まると考えた。呼吸の正確性に関しては、10 分間で 32 回の 4-7-8 呼吸法ができることから、振動提示条件の方が 32 回に近づくと考えた。脳波は振動提示条件の方がリラックスや睡眠に関係する  $\alpha$  波,  $\delta$  波,  $\theta$  波が有意に増加し、緊張に

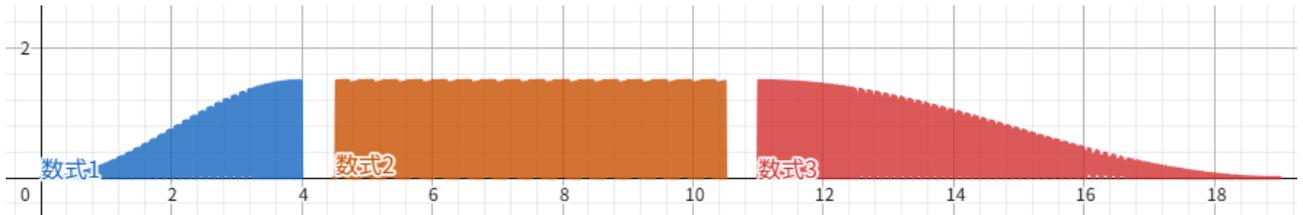


図 3: 振動刺激

関係する  $\beta$  波は有意に減少すると予想した。心拍数は振動提示条件の方が呼吸法実践後有意に減少すると考えた。

## 5 結果

20 歳から 23 歳までの 16 名の大学生 (男性 9 名, 女性 7 名) が実験に参加した。一部のデータに欠損が認められたため, 心拍数および脳波は 15 名, 呼吸回数は 14 名のデータを分析に用いた。呼吸回数および主観評価はウィルコクソンの符号順位検定によって振動提示条件と自己統制条件の違いを分析した。脳波および心拍数のデータは呼吸法実践前後を比較するため, 時間要因を加えて 2 要因参加者内計画として分散分析を実施した。時間要因は実施前と実施後の 2 水準である。実施前条件は 10 分間のうちの開始から 3 分までの平均値であり, 実施後条件は終了前 3 分間の平均値である。分散分析を行ったデータについては, 群間の差を標準化した効果量  $f$  と全体の変動のうちの特定要因による影響の大きさを表す効果量である偏  $\eta^2$  を計算し, 要因の影響に関する分析を行った。

### 5.1 主観評価

主観評価では, 「安心した」, 「穏やかに感じた」 (図 6), 「実践しやすかった」, 「自然に呼吸法を実践できた」 (図 8)/「難しかった」 (図 9) の項目で 5% 水準の有意差が見られた。また, 「呼吸のテンポが掴みやすかった」 (図 8)/「掴みづらかった」 (図 9), 「息を吸う/止める/吐くタイミングが分かりやすい」 (図 8), 「息を吸う/止める/吐くタイミングが分かりにくかった」 (図 9) の項目で 1% 水準の有意差が見られた。いずれも快適性, 利便性の質問項目では振動提示条件が有意に高く, 不便性の質問項目は自己統制条件の方が有意に高い結果が得られた。眠気 (図 4) および覚醒 (図 5), 不快 (図 7) の項目では有意差が得られなかった。

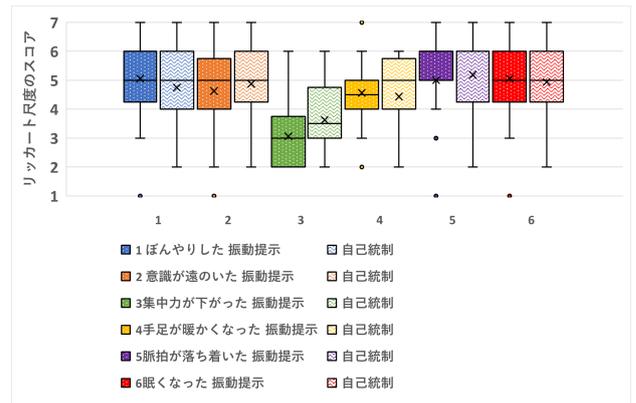


図 4: 眠気項目の中央値と四分位範囲

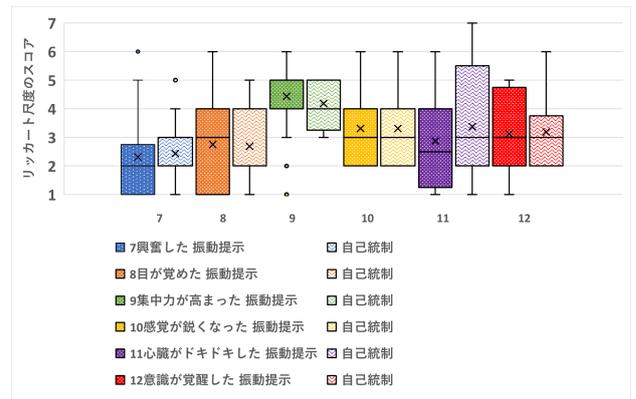


図 5: 覚醒項目の中央値と四分位範囲

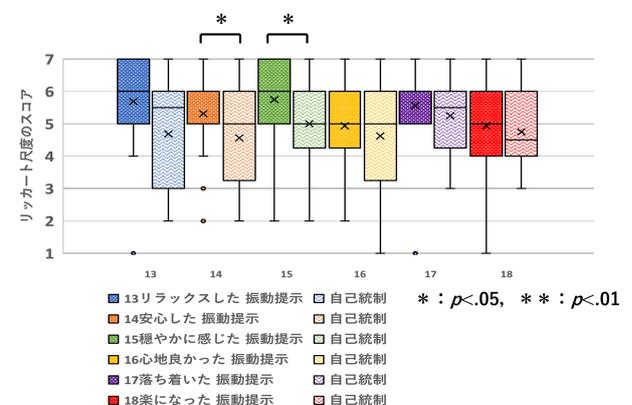


図 6: 快項目の中央値と四分位範囲

## 5.2 自由記述

1回目と2回目を比較した際の自由記述において、どちらの条件の方が呼吸法を行いやすかったかを記述している意見を集計した。振動提示条件の方が呼吸法を行いやすかったと記述している者が12名、自己統制条件の方が呼吸法を行いやすかったと回答した者が1名、記述からは判定できないと判断したデータが3名であった。このデータについてピアソンの $\chi^2$ 検定を行ったところ、振動提示条件の方が有意に多く選択された( $\chi^2 = 12.875, p = 0.0016$ )。

自由記述ではリッカート尺度でも見られたように、「振動があることで考えずに呼吸法を行えた」、「呼吸のタイミングが分かりやすかった」というような記述が見られた。一方で、「自分で行う呼吸よりも厳密さを感じて苦しくなった」、「呼吸のタイミングを指示されるのが苦しかった」という意見も見られた。また、実験を通して条件に関係なく「息を止める時間が長く苦しく感じた」、「苦しかった」というような意見も見られ、4-7-8呼吸法そのものが実際の呼吸リズムに比べて止息と呼気時間が長かったために違和感や苦しさを感じたことが見受けられる。

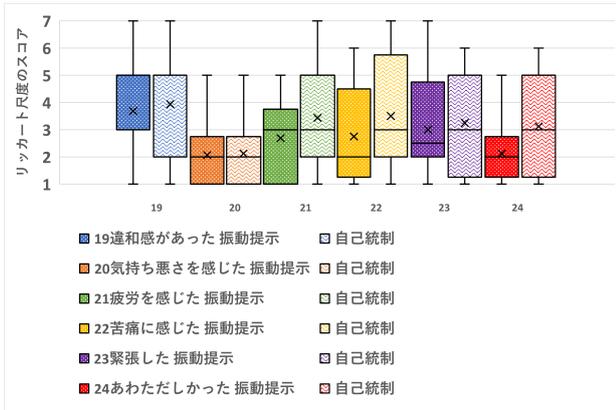


図 7: 不快項目の中央値と四分位範囲

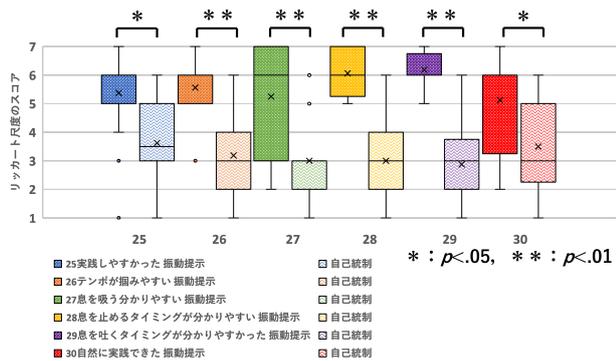


図 8: 便利項目の中央値と四分位範囲

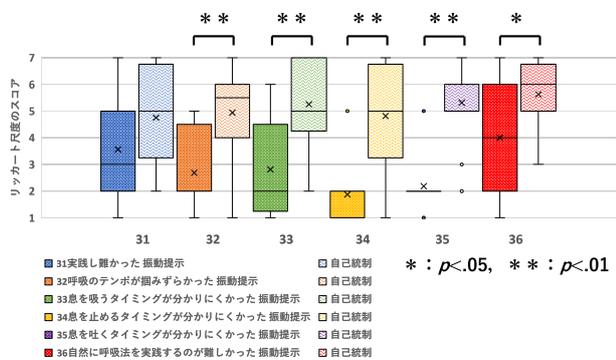


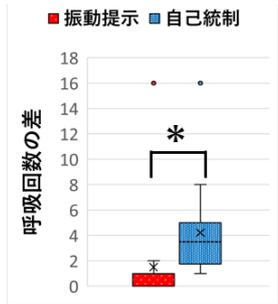
図 9: 不便項目の中央値と四分位範囲

## 5.3 呼吸回数

理想値(32回)と呼吸回数の差は5%水準で自己統制条件の方が有意に大きいことが示された(図10)。グラフの縦軸は理想値と両条件の呼吸回数の差を表しており、左の箱ひげ図が振動提示条件、右の箱ひげ図が自己統制条件を示している。振動提示条件の方が自己統制条件に比べて中央値が極めて小さく、呼吸回数の差のばらつきも小さいことが分かる。

## 5.4 心拍数

心拍数のデータにおいて、振動による呼吸法ガイドの有無と時間要因の交互作用は有意ではなかった。一方で、心拍数時間要因の主効果が有意であり、Holm法による多重比較の結果、心拍数は実践前後に1%水準で有意に減少した(図11)。効果量の数値より、時間要因が心拍数の減少に大きく影響していることが確認された( $partial \eta^2 = 0.55, f = 1.10$ )。また、有意差は見られなかったものの、振動要因と時間要因の相互作用に中程度の影響があったことが示された( $partial \eta^2 = 0.07, f = 0.28$ )。反対に、振動要因のみによる影響は極めて小さかった( $partial \eta^2 = 0.001, f = 0.03$ )。以上から、心拍数の減少において時間要因が大きく影響したといえる。



+:  $p < .10$ , \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$

図 10: 呼吸回数之差の比較 (四分位範囲と中央値)

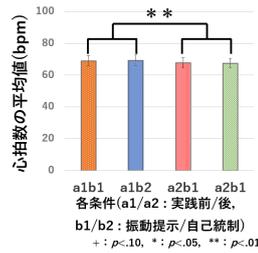


図 11: 心拍数の平均値と標準誤差

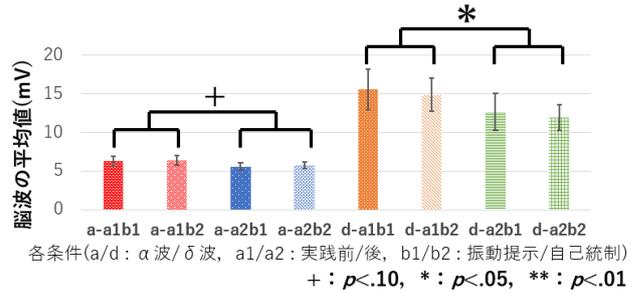


図 12: 脳波 ( $\alpha$  波と  $\delta$  波) の平均値と標準誤差

## 5.5 脳波

心拍数と同様に、全ての脳波指標において振動による呼吸法ガイドの有無と時間の間で交互作用は有意ではなかった。 $\delta$ 波は時間要因の主効果が有意であり、Holm法による多重比較の結果、 $\delta$ 波は5%水準で有意に減少し、 $\alpha$ 波は実践前後で減少する有意傾向が見られた(図12)。 $\beta$ 波、 $\theta$ 波には有意差が見られなかった(図13)。次に効果量について記述する。 $\alpha$ 波における効果量は時間要因による影響が大きく( $partial \eta^2 = 0.1925$ ,  $f = 0.4883$ )、振動要因による影響は小さい( $partial \eta^2 = 0.0365$ ,  $f = 0.1946$ )ことが確認できた。また、時間要因と振動要因の相互作用による影響は中程度であった( $partial \eta^2 = 0.0694$ ,  $f = 0.2731$ )。 $\beta$ 波における効果量は時間要因による影響が最も大きい、影響の度合いは中程度であった( $partial \eta^2 = 0.0279$ ,  $f = 0.1695$ )。次いで時間要因と振動要因の相互作用の影響が大きく、効果の大きさは中程度であった( $partial \eta^2 = 0.0018$ ,  $f = 0.0426$ )。振動要因による影響は極めて小さいことが明らかになった( $partial \eta^2 = 0.0001$ ,  $f = 0.011$ )。 $\theta$ 波における効果量は時間要因による影響が最も大きく( $partial \eta^2 = 0.1644$ ,  $f = 0.4435$ )、次いで時間要因と振動要因の相互作用による影響が大きいことが分かった( $partial \eta^2 = 0.0753$ ,  $f = 0.2853$ )。振動要因による影響が最も小さい、影響の大きさとしては中程度であることが分かった( $partial \eta^2 = 0.0601$ ,  $f = 0.253$ )。 $\delta$ 波における効果量は時間要因によるものが最も大きく、強く影響していることが確認された( $partial \eta^2 = 0.3865$ ,  $f = 0.7937$ )。反対に、振動要因による影響は少なく( $partial \eta^2 = 0.0086$ ,  $f = 0.0929$ )、振動要因と時間要因の相互作用も影響が少なかった( $partial \eta^2 = 0.0046$ ,  $f = 0.0676$ )。結果として、脳波指標の結果に大きく作用した要因は時間経過によるものであり、振動による影響は極めて小さいものであった。さらに、脳波指標の中で $\alpha$ 波と $\delta$ 波は時間要因の影響を強く受け、統計的に10分間で有意に減少した結果となった。

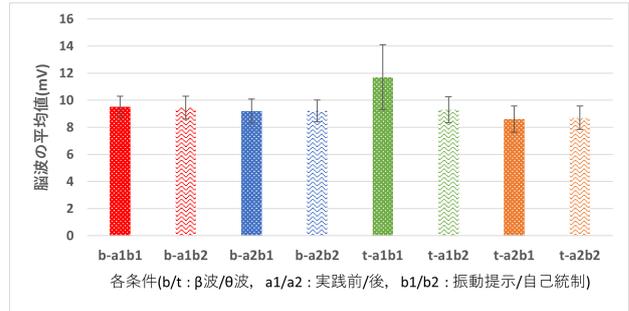


図 13: 脳波 ( $\beta$  波と  $\theta$  波) の平均値と標準誤差

## 6 考察

### 6.1 実験考察

まず、呼吸の正確性に関して、振動提示条件の方が理想値に有意に近い呼吸回数であったことから、呼吸を模した波形の振動によって使用者の呼吸が誘導されたことが示唆された。さらに、リラックス効果に関しては、「安心した」、「穏やかに感じた」の主観評価項目から、振動提示による呼吸法ガイドが有効に作用したと考えられる。また、その他の主観評価項目の結果から、呼吸のテンポやタイミングが掴みやすく、呼吸法の実践を手助けする心理的效果があったと考えられる。その他の主観評価において有意差が得られなかった原因は、両条件である程度リラックス感を得ることができた可能性が考えられる。眠気項目においても同様に、眠気を問うほとんどの項目で両条件とも平均値が4以上であったのに対し、覚醒度を問う項目ではほとんど3以下であったことから、両条件である程度の眠気効果が得られたことが考えられる。また、「集中力が下がった/高まった」、「手足が暖かくなった」は実験参加者に上手く伝わらなかったためにその他の質問よりも低く回答された可能性がある。

眠気に関連する生体指標で有意差が見られなかったことに関しては、実験環境下ではリラックスしたと感じても、入眠にまでは至らなかったことが考えられる。しかしながら、振動要因による影響が有意ではなかったため、振動提示がリラックス状態を妨げた可能性は

低いと考えられる。また、脳波や心拍数に関して呼吸支援の有無の影響が見られなかった点については、仰臥位で安静に呼吸をしたことによる自然な減衰の影響が大きく、実験刺激の影響が限定的であったこと、実験環境(照度、時間帯、継続時間が短い)などの影響が考えられる。

## 6.2 振動提示を用いた呼吸支援の考察

時間経過による心拍数の有意な減少は過去の実証研究の結果 [4] と同様であり、自己統制条件下でも呼吸法の成果が得られたと考えられる。自由記述において呼吸が苦しかったという意見が見られた原因については止息時間が長かったことが考えられる。リラクゼーションに適した呼吸のパターンについて検証した研究 [10] において、快適に感じられる呼吸法である程、より高いリラクセス効果が得られる可能性を示唆している。また、同研究では生理的指標および主観指標から 2-1-4 呼吸が最も楽にリラクセス効果を得られるパターンとしており、4-7-8 に比べて短い周期でリラクセス効果が得られる可能性がある。

## 7 おわりに

本実験では睡眠導入を目的とした呼吸法ガイドとして、呼吸を模した振動を提示するロボットを提案し、その有用性を検証した。その結果、主観的な安心感や穏やかさに振動提示による影響が確認された。また、呼吸法実践時の正確性や容易さに効果があることも示された。心拍数は振動提示に関わらず時間経過で減少したことから、両条件で一定のリラクセス効果が得られた可能性があり、先行研究の結果と同様の効果が得られた。しかし、本実験では生体的指標から振動提示による眠気促進の効果はみられなかった。また、自由記述および関連研究から呼吸法実践に対する苦しさやリラクセス効果を妨げた可能性が考えられる。以上から、睡眠導入のための呼吸法実践を補助するシステムとして主観的リラクセスや正確性を向上させる点において有用性が確認された。今後は実験時間の拡張、睡眠段階の計測を通じて、ロボットを長時間使用した場合の影響を検討する必要がある。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11202, 23K11278, 22K19792 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省, “第二回健康日本 21(第 3 次) 推進専門委員会資料 4-1 休養・睡眠資料”, 2024.
- [2] A. Weil, “4-7-8breath relaxation exercise”, 2010.
- [3] 辻下守弘, “バイオフィードバック総論”, バイオメカニズム学会誌, vol. 47, no. 4, pp. 189 – 194, 2023.
- [4] Jaruwan Vierra, Orachorn Boonla, Piyapong Prasertsri, “The effects of sleep deprivation and 4 – 7 – 8 breathing control on heart rate variability, blood pressure, blood glucose, and endothelial function in healthy young adults”, *Physiological Reports*, vol. 10, no. 13, 2022. e15389.
- [5] Gulfidan Kurt Aktas, Vesile Eskici Ilgin, “The effect of deep breathing exercise and 4 – 7 – 8 breathing techniques applied to patients after bariatric surgery on anxiety and quality of life”, *Obesity Surgery*, vol. 33, no. 3, pp. 920 – 929, 2023.
- [6] 海野智暁, 菊川裕也, 田中洋輔, 橋爪絢子, 串山久美子, 松井岳巳, “マイクロ波レーダーを用いた非接触型バイオフィードバックシステム”, *バイオフィードバック研究*, Vol.41, No.1, p.12-17, 2014.
- [7] Kyung Yun Choi, Hiroshi Ishii, “ambienbeat: Wrist-worn mobile tactile biofeedback for heart rate rhythmic regulation”, *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 14 – 30, 2, 2020.
- [8] 高野 佑樹, 萩原 啓, “呼吸波形に基づいた接触振動圧刺激が心身に及ぼす影響”, *バイオフィードバック研究*, 37 巻, 1 号, p. 45-52, 2022.
- [9] 岩本直人, 萩原啓, “個人周期由来の呼吸統制が精神・身体的疲労の心身に与える影響”, *ヒューマンインターフェース学会論文誌*, Vol.19, No.2, p.175-p184, 2017.
- [10] 佐藤和彦, “リラクゼーション手法としての呼吸法”, *心身健康学*, Vol.5, No.2, p.33-41, 2009.