リラックス状態への誘導システム「Healing VR」の製作と誘導効果の研究

岩下　直人[1,a)]　倉掛　正治[2,b)]　上岡　玲子[3,c)]

概要：本研究は呼吸状態に応じた触覚刺激を提示することで深い呼吸状態に誘導してリラックス効果を実現する「Healing VR」のシステム構築を目的とする．本論文では呼気・吸気・休止状態をリアルタイムに計測するテキスタイルセンサを用いた呼吸取得システムを製作し，ユーザの呼吸状態に応じて触覚提示アクチュエータを用いた触覚刺激を横隔膜付近に提示して，触覚刺激の提示タイミングを徐々に変化させていく触覚フィードバックシステムによって，深くゆっくりとした呼吸状態への誘導が可能であるか検討した．

1. はじめに

現代は経済の成長や科学技術の発展により便利な時代になったが，将来への不安などの心理的要因や睡眠不足などの身体的要因によって私たちは様々なストレスにさらされている．過度なストレスは私たちの身体と精神に悪影響を及ぼし，仕事効率や運動能力の低下だけでなく，うつ病や精神疾患など「こころの病気」の原因になる可能性も懸念されており [1]，私たちの多くはストレスを軽減する為にリラックス効果や癒し効果のあるものを求める傾向が強く，社会的にもこの要求は高まっている．リラックス効果と関連が深いものとして呼吸があげられ，峯松 [2] による腹式呼吸が身体反応に与える影響を調査した研究では，腹式呼吸によってα波の優位な増加が示されており，副交感神経が優位となりリラックス効果が得られた事例がある．

そこで本研究ではリラックス効果と関連が深い呼吸に着目して，ゆっくりとした呼吸状態に誘導することでリラックス効果を誘発する触覚フィードバックシステムを取り入れた「Healing VR」を製作し「Healing VR」の体験を通してユーザーをリラックス状態へ誘導することを目指す．

2. 関連研究

櫻井ら [3] により制作されたインタラクティブアート「InteractoniaBalloon」は，ユーザーの呼吸に合わせてバルーンを制御して呼吸の状態とバルーンの膨らみ具合を対応付けることで，自分の呼吸とバルーンの動きが同期している感覚を誘発することが可能であると実証した．また呼吸の状態とバルーンの状態の対応付けを変化させることで意図しないバルーンの動きを提示して緊張感の喚起と増幅を実現した．また，ユーザーの呼吸を誘導するシステムとして，Ban ら [4] による呼吸のリズムを操作するリラクゼーション・システムを導入した「Relaxushion」が挙げられる．内蔵されたモーターによる Relaxushion の動きのリズムを触覚刺激として提示することで，ユーザーの呼吸のリズムが無意識的に Relaxushion の動きのリズムに誘導されることが実証された．

そこで本論における HealingVR のシステムでは，ユーザーの呼吸に応じた触覚刺激の提示を行うことで，自分の呼吸と触覚刺激が同期している感覚を与えた後，徐々に触覚刺激の提示タイミングを変化させていくことで無意識的に理想的な呼吸の状態へ誘導することを目指す．

3. 理想的な呼吸の状態

自律神経の調整やリラックス効果を誘発する呼吸法は数多く存在するが，その中でも特に「丹田呼吸法」や「4-7-8 呼吸法」は誰でも簡単に行える呼吸法でありながら，大きなリラックス効果が得られるとして，多くの人々に取り入れられている呼吸法である．これらの呼吸法は，1 回あたりの呼吸の時間が長いほど効果的であり，呼吸によって繰り返される呼気時間と吸気時間の比率が「呼気時間: 吸気時間= 2 : 1」であるという共通点がある．

本研究では 1 回あたりの呼吸時間がより長く，呼気時間と吸気時間の比率が「呼気時間: 吸気時間= 2 : 1」に近似するものを理想的な呼吸の状態とする．

[1] 九州大学大学院芸術工学府
[2] NTT ドコモ先進技術研究所
[3] 九州大学大学院芸術工学院
[a)] 2DS18111K@s.kyushu-u.ac.jp
[b)] kurakake@nttdocomo.com
[c)] r-ueoka@s.kyushu-u.ac.jp

© 2020 Information Processing Society of Japan

4. バルーンを用いたプロトタイプシステム

初めにバルーンを用いた触覚刺激を提示するプロトタイプシステムを試作して，ユーザーの呼吸状態に応じてバルーンを用いた触覚刺激を両手の平に提示し，徐々に深い呼吸状態へ誘導するよう触覚刺激の提示タイミングを変えていくことで呼吸の誘導が可能であるか検討した．

プロトタイプを体験中のユーザーから，呼吸取得システムによって呼気・吸気・休止の 3 つの呼吸状態をリアルタイムに計測する．呼吸状態に応じて触覚フィードバックシステムによりバルーンの収縮と膨張を制御することで触覚刺激を両手の平に提示する．徐々に深くてゆっくりとした呼吸の状態へ誘導するように触覚刺激の提示タイミングを変えていくことで，呼気時間と吸気時間の比率が理想的な呼吸に近づくよう誘導する．呼吸を誘導するプロトタイプシステムのフローチャートを図 1 に示す．

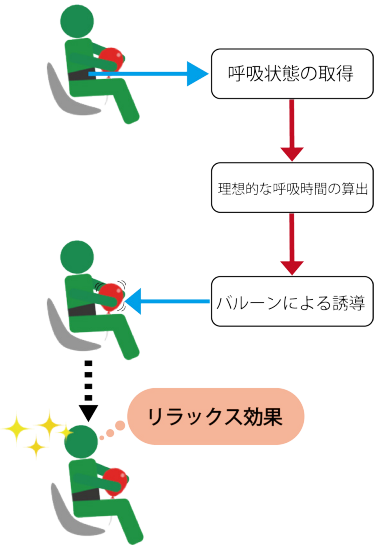

図 1 プロトタイプシステムのフローチャート

5. プロトタイプシステムの構成

5.1 呼吸取得システム

ユーザーの呼吸状態の取得には導電糸が織り込まれた布状のセンサで静電容量の変化を利用して圧力値を計測できるテキスタイルセンサを使用する (図 2 左)．テキスタイルセンサを内蔵した腹巻きを下腹部に巻きつけて装着することで (図 2 右)，呼吸によって生じる下腹部の膨らみ具合を計測する．計測したデータは Bluetooth 通信により呼吸計測用のアプリケーション側に随時送信され，圧力の計測データをリアルタイムでグラフ描画する．描画されたグラフの傾きから呼気・吸気・休止の 3 つの呼吸状態を判定して，呼吸や呼吸によって繰り返される呼気と吸気の平均時間を算出する．

図 2 左:テキスタイルセンサ　右:装着時の様子

5.2 触覚フィードバックシステム

呼吸取得システムにより呼吸数 1 回目から 10 回目までの呼吸の状態から 1 回あたりの呼吸の平均時間 (BMT : BreathingMean Time) と，呼気の平均時間 (EMT : ExpiratoryMean Time) と吸気の平均時間 (IMT : inhale mean time) を計測する．バルーンへの空気の排気と吸入には Arduino-Nano を用いて制御する Programmable-Air[5] を使用し，呼気と吸気の周期に合わせてバルーンの収縮と膨張による触覚刺激をユーザーの両手の平に与えることで，自身の呼吸の動きとバルーンの動きが同期している感覚を与える．

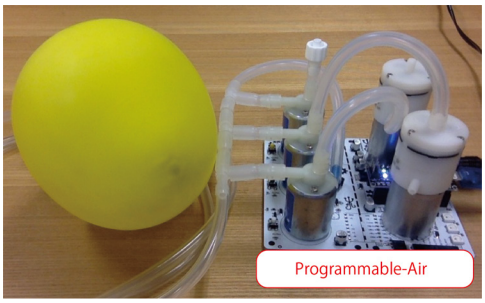

図 3 Programmable-Air

5.2.1 呼吸誘導のアルゴリズム

バルーンの収縮・膨張時間の変動による呼吸の誘導呼吸数 11 回目から 50 回目までの間で「理想的な呼吸の時間」と「理想的な呼気時間と吸気時間の比率」へ誘導する．計測した呼吸の平均時間 (BMT) を 2 倍したものを理想的な呼吸の時間 (IBT : Ideal Breathing Time) とし，IBT の 2/3 を理想的な呼気時間 (IET : ideal expiratory time) とし，1/3 を理想的な吸気時間 (IIT : ideal inhale time) とした (図 4)．呼吸数 11 回目から 50 回目までの間で IET と IIT へ誘導するために，計測した EMT と IET，IMT と IIT の差をそれぞれ求め，呼吸数 11 回目から 50 回目までの 40 回分の呼吸数で割った値を呼気の追加時間 (ATFE : additionaltime for exhalation) と吸気の追加時間 (ATFI : additionaltime for inhale) とする．バルーンの収縮時間 (BCT:Ballon Contraction Time) と膨張時間 (BET : Ballon Expansion Time) をそれぞれ ATFE と ATFI ずつ伸ばしていくことで理想的な呼気時間と吸気時間 (IET , IIT) へ誘導し，理想的な呼吸の時間 (IBT) を実現する.(図 5)

© 2020 Information Processing Society of Japan

$$IBT = BMT * 2$$

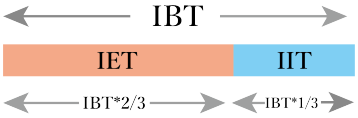

図 4 IET と IIT の計算式

$$ATFE = (IET - EMT) / 40$$

$$ATFI = (IET - EMT) / 40$$

$$BCT_n = EMT + (ATFE * n)$$
$$(n = 1,2,.....40)$$

$$BET_n = IMT + (ATFI * n)$$
$$(n = 1,2,.....40)$$

図 5 IBT,IET,IIT への誘導

6. プロトタイプシステムのパイロット実験

バルーンを用いたプロトタイプシステムの有用性を評価する予備実験を，被験者 8 名 (男性 5 名，女性 4 名) を対象に行った．

6.1 実験方法

被験者はテキスタイルセンサを内蔵した腹巻きを下腹部に巻き付け，触覚フィードバック用のバルーンを両手の平で持った状態で楽な座位姿勢をとってもらった．実験中は被験者に 50 回分の呼吸を行なってもらい，最初の 10 回分の呼吸状態から呼気と吸気の平均時間 (EMT , IMT) を算出して，10 回目以降は徐々にバルーンの収縮と膨張の周期をそれぞれ ATFE と ATFI ずつ伸ばしていくことで理想的な呼吸の時間 (IBT) と，理想的な呼気時間と吸気時間 (IET , IIT) へ誘導する．体験中は被験者の 1 回あたりの呼吸時間と呼気時間・吸気時間を計測した．実験環境を図 6 に示す．

図 6 実験環境

6.2 実験結果

被験者の呼吸時間の誘導効果を評価するため，50 回分の呼吸から 10 回分の呼吸ごとに呼吸の平均時間を求めて，平均時間の変化を調査した．

6.2.1 呼吸誘導に関する評価

被験者の中には呼吸時間が減少する傾向も見られたが，ほとんどの被験者は呼吸数 11 回目以降から開始する呼吸時間の誘導システムにより，徐々に呼吸時間は増加する傾向を示した．被験者 A - H の呼吸数 10 回ごとの平均呼吸時間の推移を表したグラフを図 7 に示す．

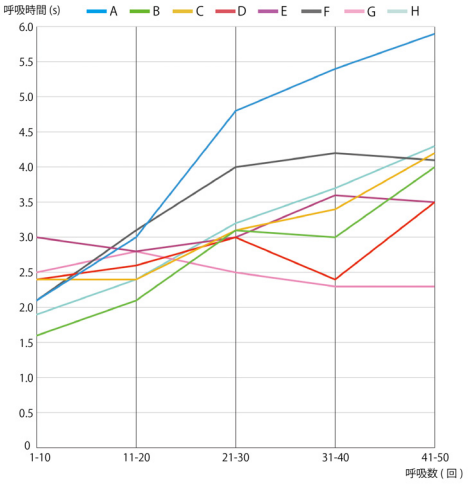

図 7 呼吸数と呼吸時間のグラフ

6.2.2 呼気時間と吸気時間の比率の操作に関する評価

呼気時間と吸気時間の比率の誘導効果を評価するため，50 回分の呼吸から 10 回分の呼吸ごとに呼気時間と吸気時間の比率を求めて，比率の変化を調査した．吸気時間の比率を 1 で正規化した場合の呼気時間の比率の変化を図 8 に示す．

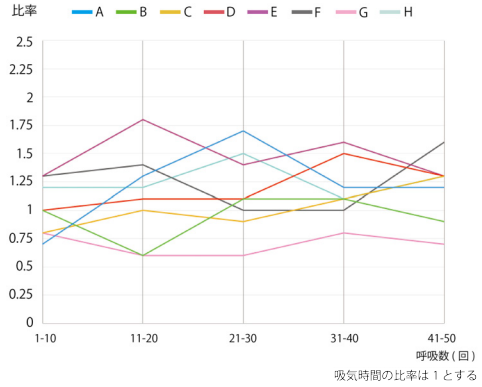

図 8 呼気時間と吸気時間の比率のグラフ

7. リラックス効果に関する主観評価

体験前後のリラックス効果を評価するため，リラックス程度に関する 5 段階尺度の主観評価を行ってもらった．体験前の「現在，最も当てはまるリラックスの程度」に対して，ほとんどの被験者が「リラックスしていない」「全くリラックスしていない」と回答したが，体験後は「リラッ

© 2020 Information Processing Society of Japan

クスしている」「非常にリラックスしている」と回答した．また，「現在，最も当てはまる感情」に対してほとんどの被験者は「緊張・不安」などネガティブな回答が見られたが，体験後は「リラックス・冷静・安心」などポジティブな回答が得られた．主観評価の結果のグラフを図 9 に示す．

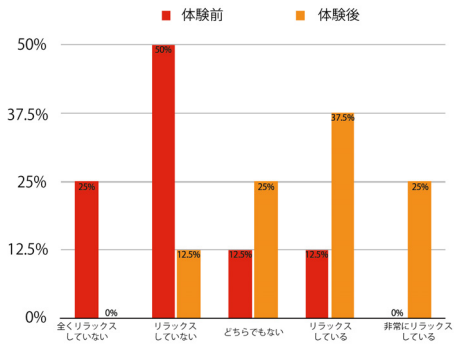

図 9　主観評価の結果

8.　実験結果の考察

バルーンを用いたプロトタイプシステムによって，呼吸時間の誘導が可能であることが示されたが，呼気時間と吸気時間の比率にはばらつきがあり，理想的な比率へ誘導することができなかった．原因として，ほとんどの被験者は腹式呼吸ができておらず，呼吸による体内への十分な空気の循環が行われていなかったことが考えられる．また主観評価では，プロトタイプシステムの体験後は体験前と比べてリラックスできたという結果が得られ，呼吸の誘導によりリラックス効果を誘発する可能性が示された．

9.　触覚フィードバックシステムの改良

パイロット実験で得た考察をもとに，触覚フィードバックシステムの改良を行った．

9.1　触覚フィードバック用デバイスの改良

ソフトロボティクスの分野で提案されている圧縮空気を使い，任意の形状をパウチで成形した触覚提示アクチュエータをオープンソフトマシーンのサイトを参考に製作した [7]．触覚提示アクチュエータは空気の吸入によって膨張した際に，内側に曲がる形状になっており，呼吸の取得と触覚フィードバックを行うコルセットを用いて，呼吸の働きを担う横隔膜付近に巻きつけることで，身体を包み込むように横隔膜付近に触覚刺激を与え，ウェアラブルで直感的に腹式呼吸を促す．またコルセットには振動モータを取り付けており，触覚提示アクチュエータの膨張と振動モータの振動による 2 種類の触覚刺激によって，呼気時間と吸気時間を誘導する．触覚提示アクチュエータとコルセットを図 10 に示す．

図 10　左:触覚提示アクチュエータ 右:コルセット

9.2　呼吸誘導アルゴリズムの改良

浦谷ら [6] は被験者の呼吸の周期と，ぬいぐるみによる触覚刺激の周期に同期判定を設けることで，被験者への負担を軽減し，呼吸の誘導効果を高めたと報告している．

そこで本システムでは，被験者の呼気と吸気の周期が，触覚提示アクチュエータの膨張と振動モータの振動による触覚刺激の誘導周期と同期した場合のみ，誘導時間を伸ばす判定条件を取り入れることで，被験者の呼吸状態を考慮した誘導を行う．同期の判定条件は，呼気と吸気の周期が，触覚提示アクチュエータの膨張と振動モータの振動による触覚刺激の誘導周期と+-1.2s 以内の場合に同期したと判定する．同期判定による誘導手順のフローチャートを図 11 に示す．

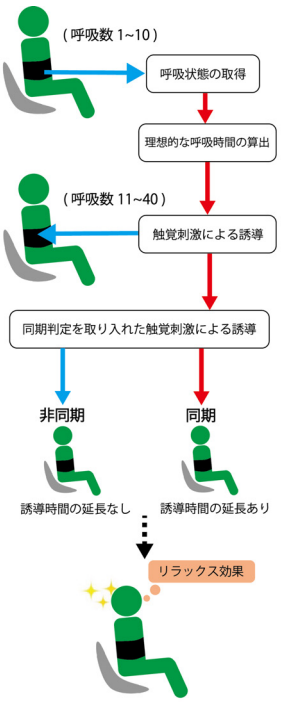

図 11　同期判定による誘導手順のフローチャート

10.　海中映像提示用アプリの製作

リラックス効果の誘発とユーザーが HealingVR の体験に集中することを促すために，海中映像の提示と視界を制限するエフェクトにより閉鎖的な VR 空間を演出するアプリケーション「Ambient」を Unity により製作した．「Ambient」は呼吸計測用アプリケーション間の UDP 通信

© 2020 Information Processing Society of Japan

により，ユーザーの呼吸が理想的な呼吸の状態に近づくにつれて，徐々に視界が広がり海中映像が視聴できる報酬的要素を設けたアプリケーションである．「Ambient」の体験はコードレスで比較的に軽量な HMD の OculusQuest を使用し，周囲の環境音を遮断するために防音機能を備えたイヤーマフを装着する．「Ambient」の実行画面と，体験の様子を図 12, 図 13 に示す．

図 12 「Ambient」の実行画面

図 13 「Ambient」の体験の様子

11. 呼吸誘導の検証実験

Healing VR による呼吸誘導の実現性を検証するために，被験者 4 名 (男性 3 名，女性 1 名) を対象に実験を行った．

11.1 実験方法

被験者は呼吸の取得と触覚フィードバックを行うコルセットを腹部に巻き付け，HMD とイヤーマフを装着した状態で楽な座位姿勢をとってもらった．実験中は被験者に 40 回分の呼吸を行ってもらい，最初の 10 回分の呼吸状態から呼気と吸気の平均時間 (EMT,IMT) を算出して，10 回目以降は呼吸の周期と触覚刺激の誘導周期が同期した場合のみ，誘導周期をそれぞれ ATFE と ATFI ずつ伸ばしていくことで理想的な呼吸の時間 (IBT) と，理想的な呼気時間と吸気時間 (IET,IIT) へ誘導する．実験環境を図 14 に示す．

図 14 実験環境

12. 実験結果

被験者の呼吸時間の誘導効果を評価するため，40 回分の呼吸から 10 回分の呼吸ごとの呼吸の平均時間を求めて，平均時間の変化を調査した．

12.1 呼吸誘導に関する評価

被験者 D のみ呼吸数 21 回目から 30 回目の平均呼吸時間が減少したが，ほとんどの被験者は呼吸数 11 回目以降から開始する呼吸時間の誘導システムにより，徐々に呼吸時間は増加する傾向を示した．被験者 A-D の呼吸数 10 回目ごとの平均呼吸時間の推移を表したグラフを図 15 に示す．

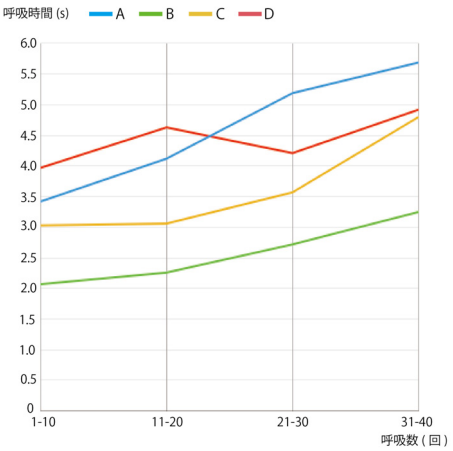

図 15 呼吸数と呼吸時間のグラフ

12.2 呼気時間と吸気時間の比率の操作に関する評価

呼気時間と吸気時間の比率の誘導効果を評価するため，50 回分の呼吸から 10 回分の呼吸ごとに呼気時間と吸気時間の比率を求めて，比率の変化を調査した．

ほとんどの被験者の呼気時間と吸気時間の比率は，徐々に「呼気時間: 吸気時間= 2 : 1」に近づく傾向を示したが，被験者 D の呼気時間と吸気時間の比率の変化にはばらつきが見られた．吸気時間の比率を 1 で正規化した場合の呼気時間の比率の変化を図 16 に示す．

© 2020 Information Processing Society of Japan

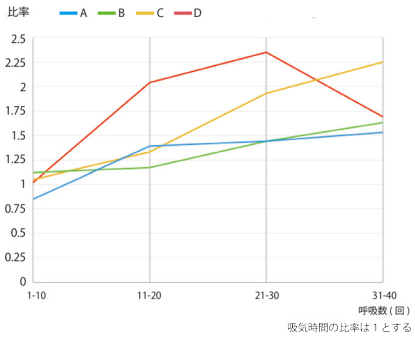

図 16 呼気時間と吸気時間の比率のグラフ

12.3 Healing VR の体験前後の気分評価

Healing VR の体験前後のリラックス効果を評価するため，リラックス程度に関する 5 段階尺度の主観評価と，一時的な気分状態を評価する心理的評価尺度の POMS(Profile of mood states) を参照した気分評価を行ってもらった．体験前の「現在，最も当てはまるリラックスの程度」に対して，ほとんどの被験者が「リラックスしていない」「全くリラックスしていない」と回答したが，体験後は「非常にリラックスしている」「リラックスしている」と回答した．また体験前の気分評価では，ほとんどの被験者は「緊張した・不安な・気が立っている」などネガティブな回答が見られたが，体験後は「リラックスした・心地よい・安心した・落ち着いた」などポジティブな回答が得られた．検証実験の主観評価の結果を図 17 に示し，パイロット実験と検証実験の体験後の主観評価の比較を図 18 に示す．

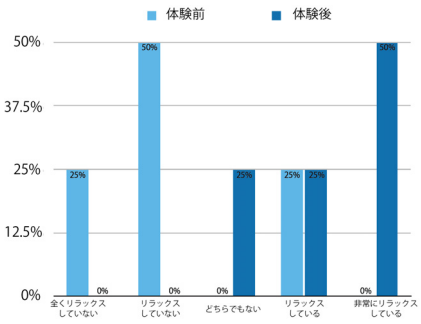

図 17 主観評価の結果

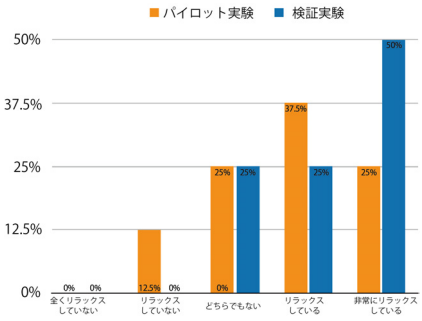

図 18 パイロット実験と検証実験の体験後の主観評価

12.4 実験結果の考察

触覚提示アクチュエータと振動モータによる 2 種類の触覚刺激の提示と，海中映像提示用アプリ「Ambient」による閉鎖的な VR 空間の演出により，直感的な腹式呼吸と呼吸に集中することを促し，深くゆっくりとした理想的な呼吸状態への誘導を可能としたと考えられる．

13. まとめ

本論では，はじめに呼吸の誘導効果を検証するために，バルーンを用いたプロトタイプシステムを試作し，パイロット実験によって呼吸の誘導が可能であるか検証した．実験の結果では，呼吸時間の誘導が可能であることが示されたが，呼気時間と吸気時間の比率の変化にはばらつきがあり，理想の呼吸状態に近づかなかった．そこでユーザーに対して直感的に腹式呼吸を促し，呼吸状態に応じた呼吸誘導を行うため，触覚提示アクチュエータと振動モータを用いた触覚フィードバック用デバイスと，ユーザーの呼吸状態と呼吸誘導の周期に同期判定を取り入れた呼吸の誘導アルゴリズムを製作し，海中映像提示用アプリ「Ambient」による閉鎖的な VR 空間の演出により，呼吸時間の誘導と，呼気時間と吸気時間の比率の操作をある程度可能とした．また主観評価から，Healing VR の体験後は体験前と比べてリラックスできたという結果が得られ，呼吸の誘導によりリラックス効果を誘発する可能性が示された．今後は被験者の数を増やして実験を行い，Healing VR による呼吸の誘導効果をより明らかにしていくことを目指す．

謝辞 本研究の一部は NTT ドコモ先端技術研究所 共同プロジェクト研究による．

参考文献

[1] 津田 彰，牧田 潔，津田茂子：ストレスはどのように健康を左右するのか・その心理社会生物学的メカニズム，日本行動医学会，pp. 91-96，2001
[2] 峯松 亮：リラクセーション法の相違が身体反応へ及ぼす影響，理学療法科学学会第 25 回，pp251-255, 2010
[3] 櫻井 翔，鳴海 拓志，勝村 富貴，谷川 智洋，廣瀬 通 孝：Interactonia・Balloon： 風船を用いた能動的呼吸の誘発による緊張感の喚起・増幅，第 18 回日本バーチャルリアリティ学会論文誌，pp.361-370，2013
[4] Yuki Ban，Hiroyuki Karasawa，Rui Fukui，Shin’ichi Warisawa：Relaxushion: Controlling the Rhythm of Breathing for Relaxation by Overwriting Somatic Sensation，SIGGRAPH Asia 2018 Emerging Technologies
[5] tinkrmind：Programmable Air，https://www.programmableair.com/，2019(2019 年 7 月閲覧).
[6] 浦谷 祐樹，大須賀 美恵子:子供がインタラクセーションを学ぶための呼吸誘導ぬいぐるみの開発に向けて，日本バイオフィードバック学会，pp77-84，2021
[7] Y. Seong, H. Sugihara, R. Niiyama, Y. Kakehi and Y. Kawahara, Open Soft Machines: Open Platform to Enrich the Creation and Research of Soft Robots. MHS2019 (30th 2019 Int’l Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science), Dec. 2019

© 2020 Information Processing Society of Japan