

博 士 論 文

(2015年 11 月 20日 提出)

論文題目 子どものリ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と評価

指導教員

大須賀 美恵子



大学院 工学研究科

博士後期課程

生体医工学

専攻

申請者氏名

浦谷 裕樹



大阪工業大学大学院

目次

第1章 結論

| | | |
|-------|-----------------|---|
| 1.1 | 背景 | 1 |
| 1.2 | 呼吸法 | |
| 1.2.1 | 呼吸と自律神経系 | 2 |
| 1.2.2 | リラクセーションに適した呼吸法 | 3 |
| 1.2.3 | 呼吸法の効果 | 5 |
| 1.2.4 | 既存の呼吸誘導装置 | 6 |
| 1.3 | 本研究の目的 | 8 |
| 1.4 | 本論文の構成 | 9 |

第2章 クマのキャラクタを用いた呼吸誘導の基礎的検討

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 2.1 | 目的 | 11 |
| 2.2 | 実験1 — 子ども12名を対象にした予備検討 — | |
| 2.2.1 | 方法 | 12 |
| 2.2.2 | 結果と考察 | 15 |
| 2.2.3 | まとめ | 22 |
| 2.3 | 実験2 — 5~61歳の31名を対象にした予備検討の再検証 — | |
| 2.3.1 | 方法 | 24 |
| 2.3.2 | 結果 | 25 |
| 2.3.3 | 考察 | 29 |
| 2.4 | まとめと課題 | 30 |

第3章 むいぐるみ装置による呼吸誘導の基礎的検討

| | | |
|-------|--------------------|----|
| 3.1 | 目的 | 32 |
| 3.2 | 実験1 — 呼吸誘導装置の受容性 — | |
| 3.2.1 | 方法 | 33 |
| 3.2.2 | 結果 | 36 |
| 3.2.3 | 考察 | 40 |

| | | |
|-------|----------------------------------|----|
| 3.3 | 実験 2 —呼吸誘導アルゴリズムの違いによる生理心理面への影響— | |
| 3.3.1 | 方法 | 42 |
| 3.3.2 | 結果 | 44 |
| 3.3.3 | 考察 | 47 |
| 3.4 | まとめと課題 | 48 |

第 4 章 子どものリラクセーションに適した呼吸周期の基礎的検討

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | 目的 | 50 |
| 4.1.1 | 心拍変動バイオフィードバック (HRV-BF) | 50 |
| 4.2 | 実験 — 子ども (幼児・児童) の RF 同定 (子ども 10 名対象) — | |
| 4.2.1 | 方法 | 56 |
| 4.2.2 | 結果 | 57 |
| 4.2.3 | 考察 | 63 |
| 4.3 | まとめと課題 | 64 |

第 5 章 呼吸誘導ぬいぐるみ装置の開発と評価

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 5.1 | 目的 | 66 |
| 5.2 | 呼吸誘導装置の開発 | |
| 5.2.1 | 装置の構成 | 67 |
| 5.2.2 | 呼吸誘導のアルゴリズム | 69 |
| 5.3 | 実験 1 — 呼吸計測と呼吸誘導の検証 (子ども 12 名対象) — | |
| 5.3.1 | 方法 | 70 |
| 5.3.2 | 結果 | 73 |
| 5.3.3 | 考察 | 76 |
| 5.4 | 呼吸誘導装置の改良 | 79 |
| 5.5 | 実験 2 — 呼吸計測と呼吸誘導の検証 (子ども 58 名対象) — | |
| 5.5.1 | 方法 | 81 |
| 5.5.2 | 結果 | 83 |
| 5.5.3 | 考察 | 85 |
| 5.6 | まとめと課題 | 85 |

第6章 呼吸誘導ぬいぐるみ装置のモバイル化とリラクゼーション評価

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 6.1 | 目的 | 86 |
| 6.2 | 装置のモバイル化 | 86 |
| 6.3 | 実験 — リラクゼーション効果の検証（子ども9名対象）— | |
| 6.3.1 | 方法 | 88 |
| 6.3.2 | 結果 | 91 |
| 6.3.3 | 考察 | 94 |
| 6.4 | まとめと課題 | 96 |

第7章 まとめと今後

| | | |
|-----|-------|-----|
| 7.1 | まとめ | 97 |
| 7.2 | 今後の展望 | 100 |

| | |
|----|-----|
| 謝辞 | 101 |
|----|-----|

| | |
|-------|-----|
| 参考文献等 | 102 |
|-------|-----|

| | |
|------|-----|
| 研究業績 | 107 |
|------|-----|

【付録】

用語説明

| | | |
|-------|------------------------------------|-----|
| 1. | 本研究で用いられる生理指標 | |
| 1.1 | 呼吸 | 110 |
| 1.1.1 | 呼吸の計測と各種指標 | 110 |
| 1.2 | 心電図（Electrocardiogram : ECG） | 111 |
| 1.2.1 | 心拍変動（Heart Rate Variability : HRV） | 112 |
| 1.3 | 脈波 | 114 |
| 1.3.1 | 脈拍 | 115 |
| 1.3.2 | 脈波高 | 115 |
| 1.3.3 | 脈拍変動 | 115 |
| 1.4 | 血圧 | 115 |
| 1.4.1 | 血圧変動 | 116 |

第1章 緒論

1.1 背景

2011年3月11日に東日本大震災が発生した。地震のみならず津波や放射能漏れなどの被害も重なり、継続的な心のケアを必要とする人々が生じた。子どもたちも例外ではない。東日本大震災後の調査により、被災1年後であっても子どもの心の健康問題に最も深刻な影響を与える心的外傷後ストレス障害（Post-Traumatic Stress Disorder：PTSD）が疑われる症状4項目（※注1参照）に1つでも該当する子どもは全体の14.1%に達することが明らかになった。さらに、被害の大きい地域ほどPTSDの可能性のある子どもの割合は高く、校種別では、特別支援学校20.5%、幼稚園20.2%、小学校17.6%、中学校11.5%、高等学校8.8%と、年齢が低くなるほど、また障害等がある場合にその割合が増す傾向が見られた[1]。子どもが災害等に遭遇して強い恐怖や衝撃を受けた場合、その後の成長や発達に大きな障害となることがあるため、子どもの心のケアが重要な課題となっている[2]。1995年に発生した阪神・淡路大震災後の調査によると、要配慮児童生徒数は震災発生後3～4年後にピークを迎え、10分の1に減少するのに12年以上かかった[3]。同じく、阪神・淡路大震災後の調査により、震災後に恐怖体験や喪失体験を持つ児童のPTSDの発症を予防する心のケア活動を行うに当たっては、低学年女児を最優先する必要がある。震度7レベルの地震規模の場合、PTSDの発症を予防するためには震災後2年間はケア活動が必要であることが示唆されている。また、地震が発生した後に対処法的に心のケアをするよりも、普段から予防教育として心のケアに関する教育を行うことが勧められている[4]。

このように、大震災などの自然災害をはじめ何らかの事件や事故に子どもたちが巻き込まれた場合、その後の心の健康に大きな影響を与えることが多く、特に一度PTSDを発症すると、その後の心のケア活動は長期に渡るケースが多い。そのPTSD発症後の改善法の一つとして、心身を落ち着ける呼吸法の習得が挙げられている[5]。一般的にもゆっくりと深い呼吸をすることが「緊張するような場面に遭遇したときに、心を落ち着ける方法」として支持されているので[6]、呼吸法は誰にでも取り組みやすく親しみやすいリラクゼーション方法の一つであると考えられる。

自然災害や事件・事故はいつ発生するかはわからない。そういった緊急事態への対応から日頃のストレスマネジメントなどの予防的対応も含め、教育現場において心のケア活動をする「心の専門家」としてスクールカウンセラーが全国の学校に配置されてきている。しかし、小学校は約65%の学校にしか配置されていない[7]。そのため、小学校において

はまだ心のケア活動が十分に行きわたっていない可能性がある。以上より、子どもたちの日頃からのリラクゼーションを促進したり、PTSDの発症予防ならびに発症後の改善をしたりする心のケア活動を行うに当たっては、スクールカウンセラーや教職員、医師、看護師の力に頼るのみならず、子どもたちが自律的に呼吸法を簡単に習得できる装置があることが望まれる。

※ 注1 「PTSDが疑われる症状」に関する質問項目

〔PTSDの診断基準となる主要症状のうち、代表的な症状（再体験症状、回避・麻痺症状、過覚醒症状）を問う4項目〕

- ・ 災害のことを思い出して突然おびえたり、興奮や混乱することがある
- ・ 災害を思い出すような話題やニュースになると、話題を変えたり、その場から立ち去ろうとする
- ・ 無表情でぼんやりすることが多くなった
- ・ 物音に敏感になったり、イライラするようになった

1.2 呼吸法

1.2.1 呼吸と自律神経系

「呼吸」(【付録】用語説明 1.1 参照)とは息を吸い、吐く(呼)ことであり、生命維持のために反射的に行われる身体運動である。呼吸は無意識のうちに自然に反射的に行われるが、意識的に変えることもでき、そうすることで身体に様々な影響を与えることができる。その内の一つに自律神経系がある。自律神経系は、私たちが意識的にコントロールできない心臓や内臓の働きなどを司っている神経系である。自律神経系には交感神経と副交感神経があり、大別すると交感神経は緊張時やストレスがかかった時に、副交感神経は安静時やリラックス時に働きが強まる。交感神経は心拍数や血圧を上げ、胃と小腸の働きを抑制する一方、副交感神経は心拍数や血圧を下げ、胃と小腸の働きを促進する。自律神経系のうち副交感神経につながる迷走神経は延髄・橋から発していて、同じく延髄・橋に呼吸中枢があるため、呼吸運動と迷走神経はお互いに強く関連しあっている。呼吸運動は迷走神経によって影響され、逆に呼吸運動次第で迷走神経活動(副交感神経)はコントロールできる。呼吸は基本的に不随意運動ではあるが意識的なコントロールも可能であるため、

呼吸の仕方により、意識的にはコントロールできない不随意神経である自律神経系の働きを調節することができるということである。

その一例として、呼吸のセルフコントロールと心臓迷走神経活動（副交感神経）の関係に関する報告がある。心拍変動のスペクトル解析によって得られる高周波（HF）成分は、心臓迷走神経系の指標とされており、通常はストレスによりこのHF成分は抑制されるといわれている。しかし、1分間に8回（7.5秒周期）のゆっくり目のペース呼吸をすることにより、電気ショックの予期課題におけるHF成分の抑制が緩和された。このことから、ゆっくりとしたペースで呼吸をセルフコントロールすることは心臓迷走神経活動を高める効果があると指摘されている[8]。

1.2.2 リラクゼーションに適した呼吸法

心身を落ち着けるためのリラクゼーション方法には様々なものがあり、一説には150種類以上もの技法があるといわれている[9]が、呼吸法は習得がしやすく短時間で実施できることから、最も活用しやすいリラクゼーション法であるとともに、様々なリラクゼーション法の基礎であるといわれている[10]。

呼吸法とは、自然に繰り返される呼吸を意識的に行うことにより、心身をリラックスした状態に導く方法を指す。呼吸法は古来よりヨガや座禅、気功などで用いられ、現代では自律訓練法をはじめ、医療の場では呼吸器疾患の患者や周術期の患者に対する呼吸訓練として、また、産期における疼痛緩和や分娩促進などに日常的に用いられている[10]。

呼吸法の要素には、姿勢（立位・座位・臥位）、目の開閉、鼻呼吸と口呼吸、胸式呼吸と腹式呼吸（※注2参照）、吸気・止気・呼気（＝吸う・止める・吐く）のそれぞれの長さ、練習時間の長さ、補助器具の有無（人や録音による誘導、メトロノームなど）、練習中の身体動作の有無ならびに身体の脱力の指示・確認の有無、そして終了時の覚醒法（簡単なストレッチ・伸びなど）の有無といったものがある。これらの組み合わせにより多種多様な呼吸法が存在し、また考えられ得るが、様々な研究を総合すると、リラクゼーションを反映した呼吸パターンのポイントは「ゆっくりとした、呼気の長い腹式呼吸」であるといえる[11]。

※ 注2 胸式呼吸と腹式呼吸

正常な呼吸には浅い胸式呼吸と、深い腹式呼吸、両者が組み合わさった胸腹式呼吸がある。胸式呼吸は肋間呼吸と呼ばれ、外肋間筋の収縮により吸気が、内肋間筋の収縮

により呼気が生じる。妊婦をはじめ、女性によくみられる呼吸である。腹式呼吸は横隔膜呼吸と呼ばれ、横隔膜の収縮により吸気が、弛緩により呼気が生じる。睡眠中や新生児・乳幼児にみられ、リラックスしているときの呼吸であるといえる。

参考として、Table 1.1 に看護等の臨床で使われているリラクゼーションに適した呼吸法の進め方の一例を紹介する[10]。

表 1.1 リラクゼーションに適した呼吸法の進め方の一例 [10]
Table 1.1 Sample of respiration method procedure suitable for relaxation.

| | |
|-------------|--|
| 1. 導入 | 静かな落ち着いた場所で椅子に深く腰をかけて、軽く目を閉じる。呼吸に気持ちを向けるようにしながら、ゆっくりとした呼吸を行う。口先から軽く息を吐く。 |
| 2. 吸う | 続けて、鼻からゆっくりと吸い、腹部に吸い込んでいく。 目安としては4秒位。 |
| 3. 止める | 吸い終わったら、一瞬息を止める。止めることで、吸息と呼息を切り替え、次に行う「吐く」量と速度を調節しやすくなる。 |
| 4. 吐く | 口先をすぼめるようにして、ゆっくりと細く長く息を吐き出す。 目安は8秒位。すべてを吐き切るようなつもりで、下腹部を緩めていく。 吐く息に合わせて、身体（特に頸、肩、背中）の力を緩める。 |
| 5. 2～4を繰り返す | 繰り返しながら、ゆったりとした呼吸のリズムを感じ取るようにする。 |
| 6. 終了 | 気持ちが落ち着いたら、徐々に普段の呼吸に戻していく。最後にゆっくり目を開けて、手足の簡単なストレッチなどを行う。 |

上記の例とも合致するが、吸気と呼気の時間の比率は1:2の時に最もリラックスするという報告があり、それぞれ心拍変動成分[12]、皮膚電気活動[13]、主観申告と心拍・血圧[14]を指標として確認されている。心拍変動成分を指標とした報告では、10名の成人(18-22歳)を対象に吸気:呼気の比率が1:1と1:2の呼吸試行をそれぞれ4回(週1回)連続で行った際の心拍変動成分を比較している。1試行当たり、呼吸周期が5~7回/分となるような3分間の呼吸を6回行い、1:1と1:2の呼吸試行の順番はカウンタバランスを取って実施した。その結果、1:2の呼吸試行時においてのみ、副交感神経系が賦活

した際に増加するといわれる心拍変動成分の内の SDRR (RR 間隔の標準偏差) と pNN50 (連続した隣接する RR 間隔の差が 50ms を超える心拍の割合) が増加した[12].

皮膚電気活動を指標とした報告では, 20 名の成人 (25-35 歳) を対象に, 皮膚コンダクタンスを下げる (皮膚抵抗値を上げる=リラックスする) ことを目標とした 1 分間のバイオフィードバックの呼吸試行を 10 回行っている. 吸気:呼気の比率を 1:2 にすることを教示した群と教示しない群に分けたところ, 吸気:呼気の比率を 1:2 に統制した群の方が 4~10 試行目にかけて有意に皮膚コンダクタンスが下がった[13].

また, 心拍・血圧を指標とした報告では, 55 名の成人 (20~60 歳) を対象に, 様々な呼吸パターンの呼吸試行を 1 回当たり 5 分ずつ行っている. 具体的には, 吸気:止気:呼気の割合が 2:0:2, 2:0:4, 2:1:4, 2:2:4, 2:2:8 の呼吸試行を行ったが, 呼吸比率が 2:1:4 でその呼吸パターンに不快感を抱かないときに, 心拍と収縮期血圧・拡張期血圧の低減率が他の比率に比べて有意に低く, かつその値も一番小さかった. 以上より, これらの呼吸比率の中では 2:1:4 の呼吸比率が最もリラクセーション効果があることが示唆されている[14]. ただし, 2:0:4 の呼吸比率は 2:1:4 と比べると, 呼吸パターンに不快感を抱かないときの収縮期血圧低減率が他の比率に比べて低かったものの有意差がなかったという点のみ異なるだけで, 2:0:4 の他の結果は 2:1:4 と同様のリラクセーション効果があったことが示されている. すなわち, 2:0:4 の呼吸比率も 2:1:4 とほぼ同等のリラクセーション効果があったことがわかる.

以上の知見を総合すると, 「吸気と呼気の比率は 1:2 の時に最もリラックスする」と考えられる.

1.2.3 呼吸法の効果

呼吸とリラクセーションに関する既存研究としては, 呼吸調整により暗算や寒冷昇圧といったストレッサーによる心拍増加の緩和[11]や α 波の増加と β 波の低下 [10]といったリラクセーション反応が認められている.

また, パニック発作への適用においては, 予期不安が過呼吸を引き起こし, その過呼吸が身体的変化を生じ不安を高めるといった悪循環を断ち切るのに一定の治療効果を持つと評価されている [11]. 他にも, 圧反射感度 (Baroreflex sensitivity: BRS) が改善し[15], 心疾患[16], 喘息[17], うつ病[18, 19], 線維筋痛症[20], PTSD[5]にその有効性が示されている. さらに, 過呼吸の傾向がある慢性心不全群[21]と, 高血圧群[22]や前高血圧群[23]の患者に対して血圧低下や BRS 改善の効果があるという報告や, 健常人の不安の軽減なら

びに睡眠の質の改善がもたらされたという報告もある[24].

これらの研究のうち、疾病への適用においては10 s周期（6 cpm：毎分6回）前後の規則正しい呼吸を繰り返すペース呼吸が使用されていることが多い。これは、10 s周期前後のペース呼吸を用いて心拍変動の振幅（Heart Rate Variability：以下、HRV）を高め、疾病を改善することを目的とした「心拍変動バイオフィードバック（Heart Rate Variability Biofeedback：HRV-BF）」と呼ばれる手法があり、近年様々な研究がなされているからである。詳しくは第4章で述べるが、HRV-BFとは、HRVが最大となる呼吸周期（※注3参照）で呼吸を繰り返してHRVを大きくする呼吸法である。HRVを大きくするとBRSが高まるので、BRSの低下によりHRVが常態的に小さくなる様々な疾病や症状[25]を改善することができるといわれている（4.1.1参照）。

※ 注3 HRVが最大となる呼吸周期

HRVが最大となる呼吸周期は、成人では9～13 s周期〔4.5～7cpm〕の間にあり、個人によって異なるといわれている[26].

1.2.4 既存の呼吸誘導装置

研究レベルではこれまでに様々な呼吸誘導装置が開発されている。呼吸誘導が明示的な呼吸誘導装置としては、モニターに呼吸波形を表示して呼吸誘導をする方法がある[27]が、こういった呼吸波形の提示による視覚刺激のみの誘導方式は子どもの興味を引きにくい上に取り組みが難しく不向きである。視覚以外のモダリティを用いるものもあり、聴覚刺激や触覚刺激（リクライニングシートの動き）を伴う呼吸誘導システム[28]や、目を閉じた方がリラクゼーションしやすいと考えられることから、聴覚刺激（音楽）と触覚刺激（ファントムセンセーション）を用いたシステム[29]、呼吸を引き込むために触覚刺激（マッサージチェア）のみを用いた方法[30]などが用いられている。

既存製品としては、HRV-BFを行うための機器としてパソコン専用ソフトおよびセンサ（emWave；HeartMath社）がある（Fig. 1.1）。これは、USBで接続される脈波センサから取得するHRVのデータを解析し、リアルタイムでパソコン画面に表示することができるパソコンソフトである。子どもでもできそうなインタラクティブ・ゲームもあり、心拍のリズムが一貫している（≒HRVの振幅が大きい）状態を続けるとアニメーションが動き、高得点が出るようになっている[31, 32].

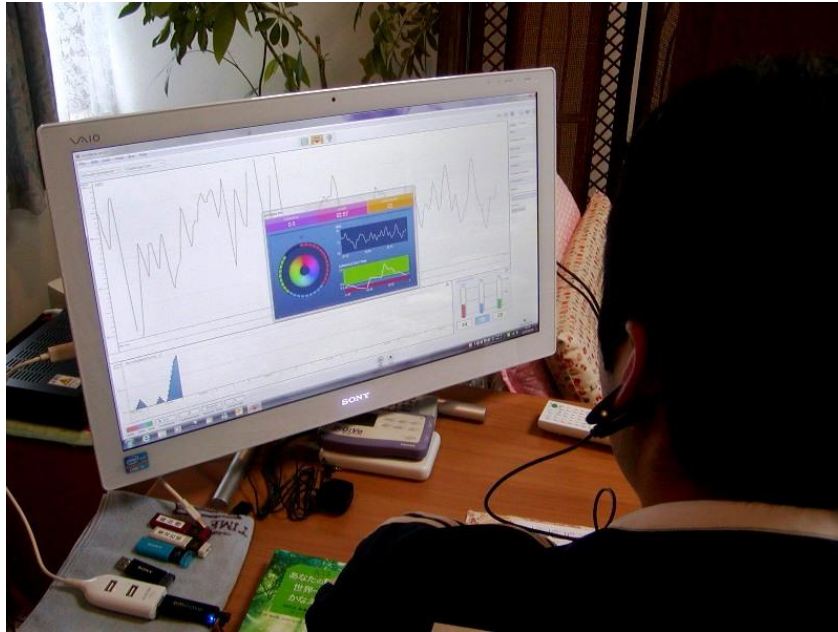


図 1.1 emWave pro の使用例
Fig. 1.1 Scene of using emWave pro.

また、持ち運びのできる簡便な HRV-BF 機器として StressEraser (ストレスイレイザー・Helicor 社) [33]がある (Fig. 1. 2). 呼吸と連動する心拍変動が画面に表示され、それを大きくするように呼吸することで毎分約 6 回のゆっくりとした呼吸法を学ぶための機器となっている。成人向けには PTSD の改善効果がある [5]といわれている。

emWave には子ども向けのプログラムもあるが、パソコンが必要であり、パソコン操作に慣れていない子どもには指導に時間がかかり、持ち運びが容易でない。また、emWave もストレスイレイザーも共に呼吸誘導が明示的でないため直感的に取り組めず、子どもには効果的な使用方法がわかりにくい。

以上より、これらの機器は子どもには使いにくいと考えられるため、本研究では幼児・小学生を対象とした新たな装置を開発する。



図 1.2 ストレスイレイザー
Fig. 1.2 StressEraser.

1.3 本研究の目的

以上の知見を基に、子どもたちが自然と心身を落ち着けるための呼吸法を学べるように、幼児・小学生を対象としたリラクセーションを促進するためのバイオフィードバック機能付きの呼吸誘導ぬいぐるみを開発することを考えた。本研究では上記の機能を有した呼吸誘導ぬいぐるみの装置を開発し、その評価について述べる。

呼吸誘導ぬいぐるみのコンセプトとしては、より体感的にリラックスして呼吸誘導ができるよう、外観にはクマのぬいぐるみを使用する。ぬいぐるみを抱き上げて起動すると、呼吸周期を計測し、ぬいぐるみのお腹がその呼吸周期に合わせて動き出す。すると、子どもはそのリズムに合わせて呼吸を始める。このとき、呼吸の吸気と呼気の割合はリラックスしやすいといわれている1:2の割合とする。続いて、① 徐々にぬいぐるみの呼吸周期をゆっくりとさせていき、子どもが最もリラックスする呼吸周期へと誘導してリラクセーションを促す。② その間もリラックス評価を光や音・動きなどでフィードバックして、③ 最後にリラクセーション評価を子どもに伝達する、といったものである。最終的にはパソコンを介して使用するものではなく、持ち運びができて、いつでもどこでも使えるものを目指す。

起動からリラックスする呼吸周期へと誘導する部分(①)が「呼吸誘導」にあたり、フ

フィードバック情報を子どもに伝達する部分 (②) が「バイオフィードバック」、最後のメッセージ伝達 (③) が「結果の知識 (Knowledge of Result)」にあたる。

このように子どもが直感的に自分で操作できるものを開発できれば、言葉による指導も少なく済み、子どもでも自律的に呼吸法を学べるようになるので、人的資源に限りのある教育や医療の現場での活用が可能になる。また、家庭においても幼少の頃から呼吸法に馴染むことができればストレス耐性が身に付き、ストレスの多い環境下でも心穏やかに実力を発揮できるようになると期待される。

1.4 本論文の構成

第2章では、呼吸誘導ぬいぐるみ開発へ向けての基礎的検討として、パソコン画面上で動くクマのキャラクターを利用した呼吸誘導の実験について述べる。具体的には、呼吸誘導時における子どもに適した呼吸周期と、脈波から子どもに適した呼吸周期がどれほど正確に求められるか、また、子どものリラックス評価をする生理指標として脈波から得られる指標の中で適した指標について調べた。

第3章では、クマのぬいぐるみの腹部が一定リズムで上下する呼吸誘導装置を試作し、その装置を子どもに試してもらい、実際にどれほど呼吸誘導されるか、また、年齢や性別によって呼吸誘導のされやすさに差があるかを調べた実験について述べる。

第4章では、子どもにとって最もリラックスする呼吸周期を調べた基礎的研究について述べる。成人を対象とした既存研究では、心拍変動の振幅が最大となる約 10 s 周期 (6cpm) のリズムで呼吸を続けることで自律神経を介した慢性病が改善するといわれている。しかし、10 s 周期の呼吸は成人でも主観的に苦しいと感じることも多いので、子どもではなおさら苦しく感じると考えられる。そこで、子どもたちの心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期とその時の主観的なリラックス度を調べ、成人を対象とした既存研究の研究結果との類似点と相違点について述べる。

第5章では、第2～4章の結果を基にエアバッグ式の呼吸誘導装置を開発した。それまでに開発した試作品はぬいぐるみの可動部にプラスチック製の装置を用いていたが、感触が硬かった上に、呼吸周期を測定するために呼吸センサを別途装着する必要があった。それらの課題を解決するために、エアバッグを2つ使い、子どもの下腹部に接するエアバッグの圧変化より呼吸計測を、上腹部に接するエアバッグの膨縮により呼吸誘導を行う呼吸誘導ぬいぐるみ装置を開発した。そして、この装置によって呼吸計測ならびに呼吸誘導が

できるかどうかを調べた実験について述べる.

第6章では, 開発した呼吸誘導装置にさらに改良を加え, 持ち運びしやすいようにモバイル化した. この装置を用いて実施したリラクゼーション効果に関する評価実験について述べる. そして, 最後に第7章でまとめと今後の展望について述べる.

第2章 クマのキャラクターを用いた呼吸誘導の基礎的検討

2.1 目的

1.3 で述べた幼児・小学生を対象とした呼吸誘導ぬいぐるみを開発するにあたり、子どもの年齢や体格によって長い呼吸周期への適応力に差があるかを調べる必要がある。一概に子どもといっても、幼児・小学生の期間は身体的に著しく発達する期間であり、例えば5歳女児と11歳女児とでは平均身長は109.5 cmから146.7 cmと1.34倍に(37.2 cm)伸び、平均体重は18.5 kgから38.9 kgへとほぼ倍くらいに(20.4 kg)増加する[34]。この体格の変化を鑑みただけでも、子どもの年齢により長い呼吸周期への適応力が異なり、その能力に比例して呼吸誘導時に合わせやすい呼吸周期も異なると考えられる。1.2.2 で述べたように、呼吸法では「ゆっくりとした呼吸」が望ましいとされているが、具体的に適した呼吸周期が何秒であるかは呼吸法の種類によって異なる上に、既存の方法は成人を対象としたものであり、子どもを対象にしたものについては述べられていない。

また、開発する呼吸誘導ぬいぐるみではリラクセーションの指標として計測が簡便な脈波を利用することを考えているが、その脈波の指標で呼吸周期が計測できるか、どの指標がリラクセス指標として適しているのかを調べる必要がある。

そこで、本章では呼吸誘導ぬいぐるみを開発する前段階の基礎的検討として、1.呼吸誘導時における子どもに適した呼吸周期、2.脈波から呼吸周期がどれほど正確に求められるか、3.子どものリラクセス評価をする生理指標として、脈波から得られる指標の中で適した指標を調べる。脈波から得られる指標に的を絞ったのは、装置を簡便にするための配慮からである。

2.2 実験1 ～ 子ども12名を対象にした予備検討 ～

2.2.1 方法

2.2.1.1 実験参加者

保護者に実験内容を説明し、保護者からインフォームド・コンセントを、本人からインフォームド・アセントを得た5～11歳の健常児12名（男児5名、女児7名）を対象に実施した。実験は保護者同伴で行った。なお、この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2011-5）。

2.2.1.2 実験手続き

実験参加者に生理指標として、左手の人差し指の指先に光電式脈波ピックアップ（Polypul, ニホンサンテック：反射型, 光源のピーク感度波長800～900nm, 時定数0.3s), 腹部に呼吸ピックアップ（TR-751T, 日本光電）を装着して（Fig. 2.1）, 手を机または膝の上に置き着座状態で「できるだけ指を動かさないように」という指示のもと、閉眼安静で30s経過してもらった。



図 2.1 センサをつけた実験参加者

Fig. 2.1 Participant with sensors.

次にパソコン上で動くクマのキャラクターが呼吸する画像に合わせて呼吸をするように指示した（Fig. 2.2）。クマのキャラクターの動きを Fig. 2.3 に示す。



図 2.2 実験風景

Fig. 2.2 Scene of experiment.



図 2.3 クマのキャラクターの動き

Fig. 2.3 Motion of the bear character.

誘導する呼吸周期（以下，誘導周期；Respiration Leading Period: LP）は 4 s, 6 s, 8 s で，各 1 分ずつ実施した．順序はカウンタバランスを取った．誘導周期を 4~8 s と設定したのは，平常時における子どもの呼吸周期は 2~3 s であり [35]，予備実験で 10 s 周期の呼吸を試したところ，「苦しい」と答えた子どもがいたからである．また，吸気と呼気

の割合は 1.2.2 で述べたように、リラックスしやすいといわれる 1 : 2 とした。その後、主観申告として、3 回行った実験のうち「何回目が最も気持ちが落ちついたか」を聞いた。

2.2.1.3 データ解析

脈波と呼吸のデータを数値計算言語である MATLAB (MathWorks 社製) で作成したプログラムで解析した。具体的には脈波データからリラックス評価の生理指標として、平均脈拍 (Pulse Rate, 以下 PR) と脈波振幅の中央値 (Pulse Amplitude, 以下 PLA) を算出した。PR は低いほど、PLA は高いほどリラックスしていると考えられる (【付録】用語説明 1.3.1, 1.3.2 参照)。さらに、脈拍変動の成分の微分値を求め、所定の閾値を超えた時点を吸気開始点と判定し、データを分割した (図中緑線)。その分割したデータ内の最高値 (図中*) と最低値 (図中*) を求め、その差から脈拍変動振幅を算出し、その中央値を脈拍変動振幅の中央値 (Pulse Rate Variability, 以下 PRV) とした (【付録】用語説明 1.3.3 参照)。PRV は HRV と同様に、呼吸安定時においては値が大きいほどリラックスしていると考えた。また、隣り合った最低値 (図中*) の時間差を 1 呼吸の呼吸周期として、脈拍変動より得られる呼吸周期の平均値を算出した。これは脈拍変動に呼吸に伴う成分 (呼吸性洞性不整脈) が現れる現象を用いている [25]。同様のプログラムを用いて、呼吸ピックアップから得られた呼吸データより得られる呼吸周期の平均値も算出した (Fig. 2.4)。

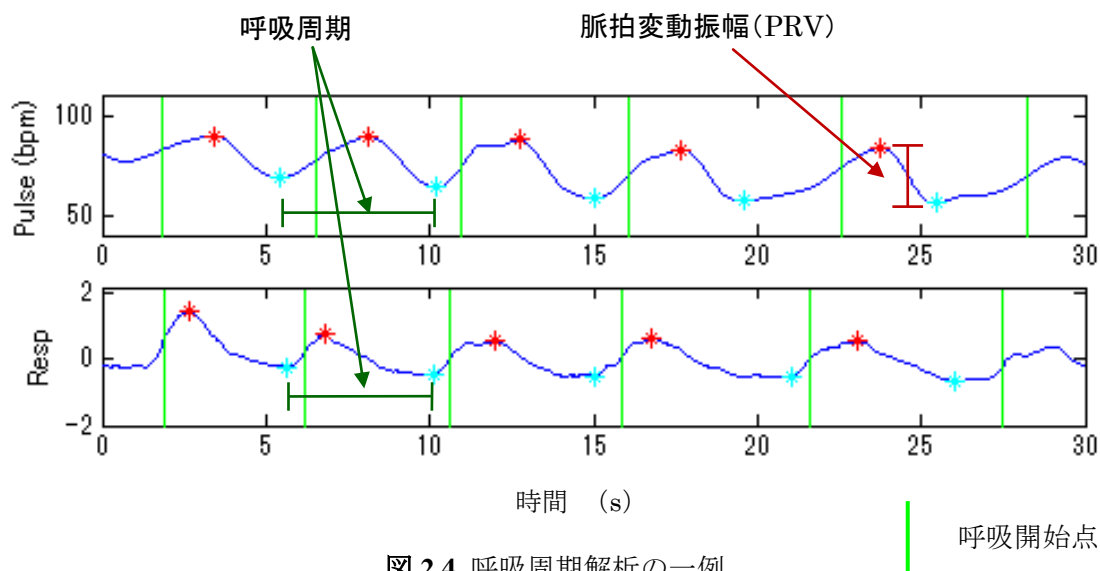


図 2.4 呼吸周期解析の一例

Fig. 2.4 Sample of respiration period analysis.

上段は脈拍変動、下段は呼吸のデータ

脈拍変動の最高値 (*) と最低値 (*) の差を脈拍変動振幅として、

最低値 (*) の間隔を呼吸周期として判別する

なお、脈波のデータの波形や呼吸が乱れたなどの理由で、正確に生理指標や呼吸周期が算出できていなかったデータを取り除いた上で、残りのデータを分析対象とした。

2.2.2 結果と考察

2.2.2.1 呼吸誘導時における子どもに適した呼吸周期

実験参加者全員の各誘導周期における3種類の生理指標（PR・PLA・PRV）をそれぞれ算出し、その数値を各生理指標内で比較した。脈波のデータの波形が一部またはすべての誘導周期において乱れていたために生理指標が正確に算出できないものが5名分あったので、それらは省き、残り7名分のPR・PLA・PRVで比較を行った。

この7名分のデータを、生理指標ごとに誘導周期を要因とする対応のある一元配置分散分析をかけたところ、PRVのみ呼吸周期の主効果が見られた。そこで、チューキーのHSD法で下位検定をかけたところ、4sよりも6sが、6sよりも8sのときのPRVが有意に大きい ($p < 0.01$) ことが判った (Fig. 2.5~2.7)。

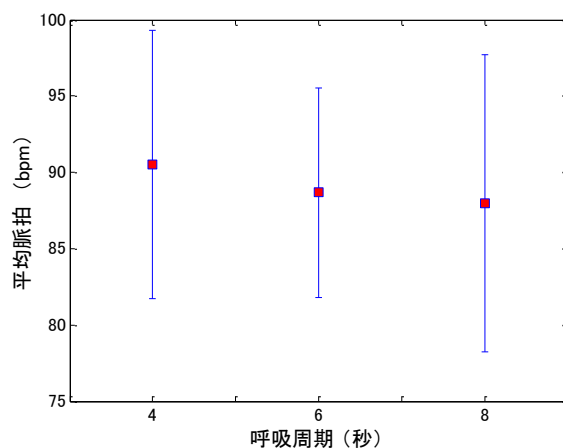


図 2.5 平均脈拍の平均の呼吸周期による違い

Fig. 2.5 Differences in mean pulse rate among respiration periods.

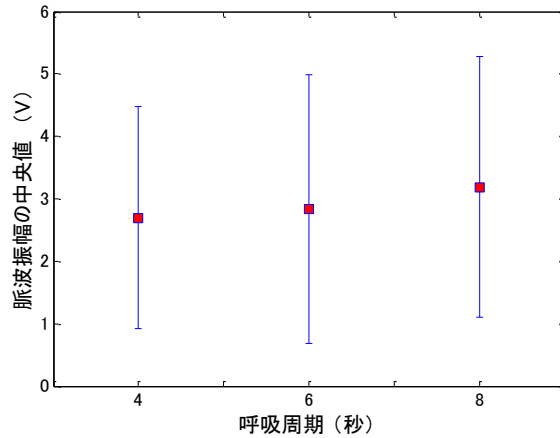


図 2.6 脈波振幅の中央値の呼吸周期による違い

Fig. 2.6 Differences in median pulse amplitude among respiration periods.

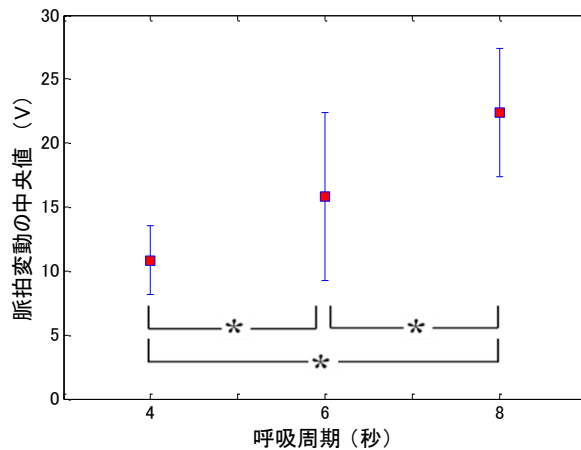


図 2.7 脈拍変動振幅の中央値の呼吸周期による違い

Fig. 2.7 Differences in median amplitude of pulse rate variability among respiration periods.

脈波から得られる生理指標と自律神経系との関係は、PR は交感神経系と副交感神経系の両方、PLA は交感神経系、PRV は副交感神経系の影響が現れるといわれる。しかし、PRV は呼吸周期の影響も受けるともいわれている [26]。今回の実験の結果をみると、PRV のみ誘導周期の主効果が見られたが、他の生理指標や主観申告では見られなかったため、PRV は緊張・リラクスの変化よりも呼吸周期の影響の方を強く受けている可能性が高いことが考えられる。

よって、この結果から、共通のリラク스에適した呼吸周期というのはなく、子どもによってリラク스에適した周期が異なると結論づけられた。

次に、各実験参加者の呼吸誘導がどの程度行えていたかを調べた。Table 2.1 に呼吸誘導時の呼吸ピックアップから得られた呼吸データを解析して算出した各実験参加者の呼吸周期（以下、呼吸周期；Respiration Period: RP）と、誘導周期からの誤差率（以下、誤差率；Relative Error: RE）を示す。

表 2.1 呼吸データから得られた呼吸周期と誘導した呼吸周期との誤差率
Table 2.1 Differences in leading respiration periods and real respiration periods.

| LP (s) | 4 | | 6 | | 8 | | Age |
|--------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|-----|
| | RP | RE | RP | RE | RP | RE | |
| 1 | 4.05 | 1.3 | 6.20 | 3.3 | 8.17 | 2.1 | 5 |
| 2 | 3.73 | 6.8 | 4.00 | 33.3 | 4.79 | 40.1 | 6 |
| 3 | 3.99 | 0.2 | 5.08 | 15.4 | 7.16 | 10.5 | 6 |
| 4 | 3.85 | 3.7 | 4.76 | 20.6 | 7.70 | 3.8 | 6 |
| 5 | 4.45 | 11.3 | 4.88 | 18.7 | 8.09 | 1.1 | 6 |
| 6 | 4.09 | 2.2 | 5.05 | 15.8 | 5.97 | 25.4 | 6 |
| 7 | 4.77 | 19.2 | 5.22 | 12.9 | 5.86 | 26.7 | 7 |
| 8 | 3.98 | 0.5 | 5.90 | 1.6 | 7.99 | 0.2 | 8 |
| 9 | 3.55 | 11.3 | 5.79 | 3.5 | 6.57 | 17.8 | 9 |
| 10 | 3.94 | 1.5 | 6.01 | 0.2 | 6.96 | 13.0 | 10 |
| 11 | 3.94 | 1.5 | 5.83 | 2.8 | 8.18 | 2.3 | 11 |
| 12 | 3.95 | 1.3 | 5.85 | 2.5 | 7.15 | 10.7 | 11 |

誤差率(RE) = |(呼吸周期(RP) - 誘導周期(LP)) ÷ 誘導周期(LP)| × 100 (%)
太字は 10 %以上 20 %未満、**下線付きの太字**は 20 %以上

実験参加者 12 名の呼吸誘導時における誤差率は、誘導周期が 4 s のときは、10 %未満が 9 名、10 %以上 20 %未満（以下、20 %未満）が 3 名であった。しかし、誘導周期が 6 s のときは、10 %未満が 6 名、20 %未満が 4 名、20 %以上が 2 名となり、誘導周期が 8 s のときは、10 %未満が 5 名、20 %未満が 4 名、20 %以上が 3 名となって、呼吸周期が長くなると誤差率が大きくなる傾向が見られた。

年齢別でみると、8～11歳の子ども5名では、誘導周期が4sのときは10%未満が4名、20%未満が1名であり、誘導周期が6sのときは全員（5名）が10%未満であったが、誘導周期が8sのときは10%未満が2名、20%未満が3名という結果であった。また、5～7歳の子ども7名をみると、誘導周期が4sのときは10%未満が5名、20%未満が2名であったが、誘導周期が6sのときは10%未満が1名、20%未満が4名、20%以上が2名で、誘導周期が8sのときは、10%未満が3名、20%未満が1名、20%以上が3名という結果であった。

誤差率10%以上の呼吸データの波形をみると、呼吸周期が乱れる大きな要因として「吸い直し」の現象が見られた (Fig. 2.8)。「吸い直し」は、誘導周期がその子どもにとって長すぎるために途中で苦しくなり、頑張って合わせていても途中で思わず一息大きく吸ってしまい、その後呼吸を誘導に合わせて直すために、呼気を長くしたり短くしたりして調節する現象であると考えられる。また、「吸い直し」以外には、誘導周期に呼吸を合わせられずに、呼吸波形が乱れるケースも見られた。

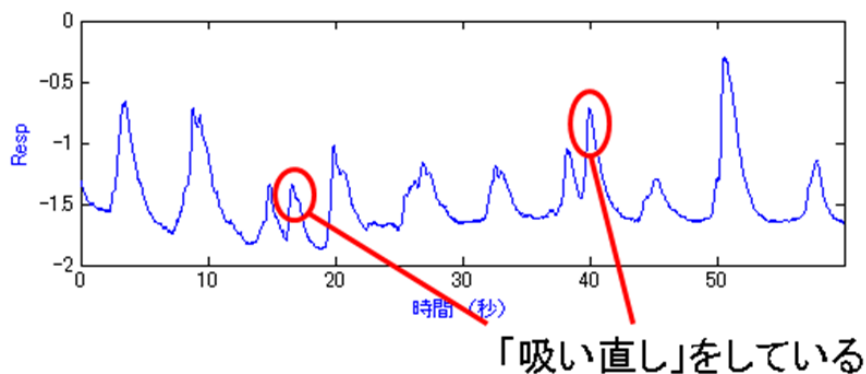


図 2.8 吸い直しの一例 ———— 呼吸データ
Fig. 2.8 Sample of extra inhalation.

このことから、低年齢になるほど平常時の呼吸周期に比べて長い誘導周期に合わせて呼吸するのが難しいことがわかった。5～7歳の子どもは6s以上の誘導周期に合わせて呼吸するのが難しくなり、8～11歳の子どもも誘導周期が8sになると、完全に合わせて呼吸するのは難しいことが示された。

よって、子どもの呼吸誘導においては、その子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始めるのが適当であると考えた。そうすることで、どの年齢の子どもでも自然な形で呼吸誘導され始めると考えられる。

2.2.2.2 脈波から得られる呼吸周期の確度

Table 2.2 に各実験参加者の脈拍変動から得られた呼吸周期（以下，PRV 周期）と呼吸データから得られた実際の呼吸周期（以下，呼吸周期）との誤差率を示す。

PRV 周期のうち誤差率が 10 %未満のものは 36 試行のうち 17 試行，10 %以上 20 %未満のものは 8 試行，20 %以上 30 %未満のものは 3 試行，30 %以上 40 %未満のものは 3 試行，40 %以上 50 %未満のものは 4 試行，50 %以上のものは 1 試行という結果になった (Fig. 2.9)。

表 2.2 脈波データと呼吸データから得られた呼吸周期の誤差
Table 2.2 Differences in PRV respiration periods and real respiration periods.

| LP (s) | 4 | | | 6 | | | 8 | | | |
|--------|-----|------|------|-------------|------|------|--------------------|------|------|--------------------|
| | No. | PRV | Resp | RE | PRV | Resp | RE | PRV | Resp | RE |
| 1 | | 2.81 | 4.05 | 30.7 | 3.45 | 6.20 | 44.4 | 7.95 | 8.17 | 2.7 |
| 2 | | 3.37 | 3.73 | 9.6 | 3.25 | 4.00 | 18.9 | 3.90 | 4.79 | 18.6 |
| 3 | | 3.73 | 3.99 | 6.6 | 4.45 | 5.08 | 12.5 | 6.25 | 7.16 | 12.7 |
| 4 | | 3.91 | 3.85 | 1.6 | 4.82 | 4.76 | 1.3 | 8.19 | 7.70 | 6.4 |
| 5 | | 3.90 | 4.45 | 12.3 | 4.08 | 4.88 | 16.4 | 5.83 | 8.09 | 27.9 |
| 6 | | 3.90 | 4.09 | 4.6 | 5.43 | 5.05 | 7.5 | 7.79 | 5.97 | 30.6 |
| 7 | | 4.70 | 4.77 | 1.4 | 4.21 | 5.22 | 19.4 | 5.86 | 5.86 | 0.1 |
| 8 | | 4.00 | 3.98 | 0.4 | 5.86 | 5.90 | 0.7 | 7.84 | 7.99 | 1.8 |
| 9 | | 3.47 | 3.55 | 2.3 | 3.32 | 5.79 | <u>42.7</u> | 4.36 | 6.57 | <u>33.7</u> |
| 10 | | 4.28 | 3.94 | 8.7 | 5.93 | 6.01 | 1.4 | 5.84 | 6.96 | 16.2 |
| 11 | | 3.13 | 3.94 | 20.7 | 3.47 | 5.83 | 40.4 | 7.97 | 8.18 | 2.5 |
| 12 | | 2.90 | 3.95 | 26.4 | 3.47 | 5.85 | 40.7 | 3.01 | 7.15 | 57.8 |

* PRV は「PRV 周期」，Resp は「呼吸周期」を示す。

誤差率 (RE) = |(呼吸周期 (RP) - PRV 周期 (PRV)) ÷ 誘導周期 (LP)| × 100 (%)

太字は生波形悪し，下線付きの太字は呼吸データのわずかな乱れが PRV 周期に影響。

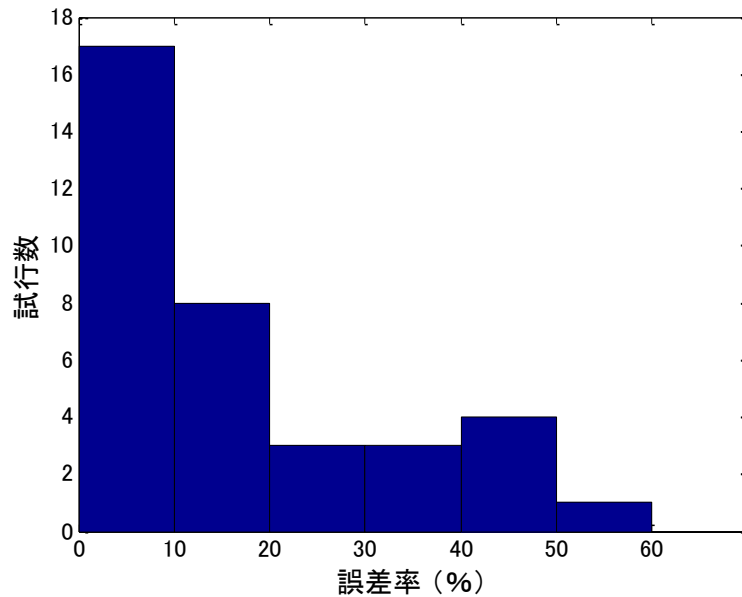


図 2.9 呼吸周期の誤差率のヒストグラム

Fig. 2.9 Histogram of differences in respiration period.

しかし、中には脈波の生データの波形が乱れていたために、PRV 周期が正確に測定できていなかったり、呼吸波形で検出しなかったピークを PRV 周期の解析時にピークとして認識してしまったために、PRV 周期が呼吸周期に比べて短くなったりしたものが見られた。

僅かながらでもそういった影響を受けていたものを除いた残り 20 試行の PRV 周期と呼吸周期との誤差率をみると、誤差率が 10 %未満のものは 15 試行、20 %未満のものは 5 試行という結果であった。

以上より、脈波の生データに乱れがなく、呼吸データに現れたわずかな乱れの影響もない場合は呼吸周期をほぼ正確に測定できることが確認された。

脈波の生データに乱れが生じるのは、測定中に指や体を動かしたことが主な原因であるため、いかに子どもたちが指や体を動かさずに脈波を測定できるようにするか、また、動いた場合でも測定・解析をできるようにするのが今後の課題として挙げられる。

2.2.2.3 リラックス評価に適した生理指標

2.2.2.1 で比較対象とした 7 名の各実験参加者の PR の数値の中で、最も低い数値（最もリラックスしていると考えられる状態にある）を示した誘導周期を表に記した。また、最も低い数値との差が 2 %以内のものは同順に扱い、表では括弧内にその誘導周期を PR が低

い順に記した。また、PLA と PRV の数値でも、最も高い数値（最もリラックスしていると考えられる状態にある）を示した誘導周期を表に記し、最も高い数値との差が 10%以内のものは同順に扱い、表では括弧内にその誘導周期を PLA と PRV が高い順に記した。その結果を Table 2.3 に示す。なお、同順とみなすための許容値は、それぞれの生理指標における変化率（誘導周期 4 s→6 s と 4 s→8 s）の平均値を求め、それらを参考にして定めた。

PR が最も低かったのは、誘導周期が 6 s と 8 s のときにそれぞれ 3 名ずつであり、結果にばらつきがあった。PLA が最も高かったのは、誘導周期が 8 s のときに 5 名と最も多かったが、残り 2 名は異なった。PRV は誘導周期が 8 s のときに 7 名全員が最も高かった。

これは 2.2.2.1 に述べたように、リラックスではなく呼吸周期を反映しているものと考えられるので、PRV を除く 2 つの生理指標（PR と PLA）が一致した人数を調べてみた。比較対象に用いた 7 名の中で、同順とみなした誘導周期を含め、PR が最も低い誘導周期と PLA が最も高い誘導周期が一致したのは 5 名で、2 名は一致しなかった。この結果から、同順と見られる誘導周期を加えれば、生理指標によるリラックス評価は PR と PLA の 2 つを用いることで、おおよその見当がつくことがわかった。

表 2.3 生理指標と心理指標によるリラックス評価の比較

Table 2.3 Differences in psychological indices and physiological index among respiration periods.

| No. | PR | PLA | PRV | 主 |
|-----|-----------------|-----------------|------|---|
| 3 | <u>6</u> | 8(<u>6</u>) | 8 | 6 |
| 6 | 6 | <u>8</u> (6) | 8(6) | 8 |
| 7 | <u>8</u> (4, 6) | <u>8</u> | 8 | 8 |
| 8 | 4(6, <u>8</u>) | <u>8</u> (6, 4) | 8 | 8 |
| 9 | 8 | 8 | 8 | 4 |
| 10 | <u>8</u> | 6(4) | 8 | 8 |
| 11 | 6 | 4 | 8 | 8 |

※ 数値は最もリラックスした呼吸周期 (s) を表す。括弧内は、ほぼ同じ数値だったものをリラックスしたと考えられる順番に表記している。

主は「主観申告で最も落ちついた呼吸周期 (s)」を示す。

下線は主観申告と一致した生理指標 (PR・PLA) を示す。

しかし、2つの生理指標からリラックスしていると考えられる呼吸周期は「8 s」が多かったものの、「6 s」や「4 s」の人もいるなど個人差が大きく、リラックスする呼吸周期は個人によって異なることが示された。このことから、リラクゼーションへと導くには、皆同一のある特定の呼吸周期へと誘導するのではなく、各個人の安静状態の呼吸周期を一定の割合で長くした呼吸周期へと誘導していくことが望ましいと考えた。

続いて、PRVを除く2つの生理指標（PRとPLA）と主観申告とを比較した。主観申告の「最も落ちついた周期」は誘導周期が8 sのときが7名中5名、6 sが1名、4 sが1名であった。同順とみなした誘導周期を含め、各生理指標と主観申告が一致した人数をみると、主観申告と2つの生理指標がすべて一致したのが3名、主観申告と生理指標のうちの1つだけが一致したのが2名、主観申告と生理指標が1つも一致しなかったのが2名であった。

同順と見られる誘導周期を加えても主観申告と生理指標の相関関係があまり見られないということは、子どもは自分の落ち着き度を客観的に把握できていない可能性があることを示している。その原因として、慣れない環境、母親の同席、客観視能力の未熟さなどが挙げられる。また、我々の他の研究において、成人においても生理指標と主観申告が一致しないという知見が得られている[36]ので、この傾向は子どもに限られたものではないと考えられる。よって、リラックス評価をする際には、生理指標のみを対象として研究を進めることにした。

2.2.3 まとめ

子どもの呼吸誘導における呼吸周期は、その子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始めるのが適当であることが示唆された。そして、その呼吸周期から徐々にリラクゼーションをもたらす長い呼吸周期に誘導していくことが、どの年齢の子どもにも対応できる装置にするために必要であると考えられる。

脈波から得られる呼吸周期の確度を調べたところ、脈波の生データに乱れない場合は呼吸周期をほぼ正確に測定できていることが示された。しかし、半分近くのデータにおいて正確に測定できていないので、脈波の生データを乱れが出ないように測定する、また、多少の乱れが出て測定・解析できるようにすることが今後の課題として挙げられる。

子どもが最もリラックスする呼吸周期は、生理指標からは「6 s」または「8 s」、主観申告からは「8 s」が多かったが、ばらつきも見られた。その上、「6 s」と「8 s」はその呼吸周期で呼吸できていなかった子どももいたので、若干のずれが生じている可能性もある。以上の結果より、本実験では子どもが最もリラックスする呼吸周期を特定することは

できなかった。子どもが最もリラックスする呼吸周期は個人ごとに異なることも考えられるので、その呼吸周期へ各人にあったペースで誘導していくアルゴリズムを装置に用いることにした。

リラックス評価に用いる生理指標としては、脈波から得られる指標の中では PR と PLA が適した指標であることが示唆された。ただし、PLA は指の少しの動きで大きく変動することがあるので、PR をリラックス度の指標として優先する。装置の開発に当たっては、これらの生理指標を基にしたリラックス評価のアルゴリズムを用いることにした。

また、子どもは自分の落ち着き度を客観的に把握できていない可能性があることが示されたので、リラックス評価をする際には生理指標のみを対象として研究を進めることにした。

2.3 実験2 ～ 5～61歳の31名を対象にした予備検討の再検証 ～

2.3.1 方法

2.3.1.1 実験参加者

口頭で説明し、文書で承諾を得た5～61歳の健康な男女31名（男性17名、女性14名）を対象に実施した。なお、中学生以下の参加者は保護者の承認を得た上で行った。大人数のデータを取るために、多くの来場者で賑わう大阪工業大学の工学実感フェアの機会を用いた。この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2011-12）。

2.3.1.2 実験手続き

実験1と同様に、実験参加者に生理指標として、左手の人差し指の指先に光電式脈波ピックアップ（Polypul, ニホンサンテク）、腹部に呼吸ピックアップ（TR-751T, 日本光電）を装着して、現在の主観的なリラックス度（7段階）を聞いた後、閉眼安静で30s計測した。その後、閉眼安静状態の呼吸周期を脈拍変動より算出した。次に目を開けてパソコン上で動くクマのキャラクターが呼吸する画像に合わせて1分間呼吸をするように指示した（Fig. 2.10）。



図 2.10 実験風景

Fig. 2.10 Scene of experiment.

この呼吸誘導時における呼吸周期は、各個人の閉眼安静状態における周期から始まり、脈拍の回数が開始から 15 回目に達した時点で 1.3 倍に、35 回目に達した時点でさらに 1.3 倍と、最長 1.69 倍まで徐々に長くなっていくように設定した。ちなみに、脈拍は通常 1 s 当り 1 回前後のペースで計測されるので、ほとんどの人の呼吸周期が最後までには 1.69 倍に達していた。また、吸気と呼気の割合はリラックスしやすいといわれる 1:2 とした。終了後、主観申告として終了後の主観的なリラックス度（7 段階）ならびに実験全体を通じての感想やコメントを聞いた。

2.3.1.3 データ解析

脈波と呼吸のデータを MATLAB で作成したプログラムで解析した。具体的には脈波データからリラックス度の評価の生理指標として実験 1 の知見より、平均脈拍と脈波振幅を算出した。平均脈拍は低いほど、脈波振幅は高いほどリラックスしていると考えられる。さらに実験 1 と同様に、脈拍変動（以下、PRV）の成分の微分値を求め、ある閾値を超えた時点でデータを分割した。その分割したデータ内の最高点と最下点を求め、隣り合った最下点の時間差を 1 呼吸の呼吸周期として、全呼吸の呼吸周期を算出した（Fig. 2.4 参照）。

そして、呼吸が乱れたなどの理由で、呼吸データから正確に呼吸周期が算出できていなかったデータを取り除いた上で、残りのデータの PRV と呼吸から得られた全呼吸周期の誤差の平均値と中央値を算出し、二元配置分散分析をかけた。

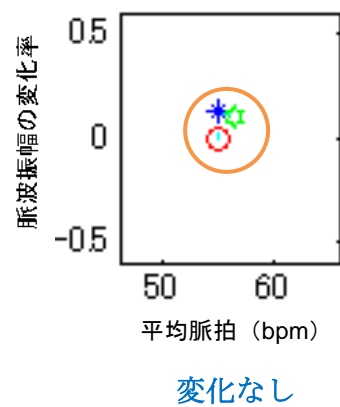
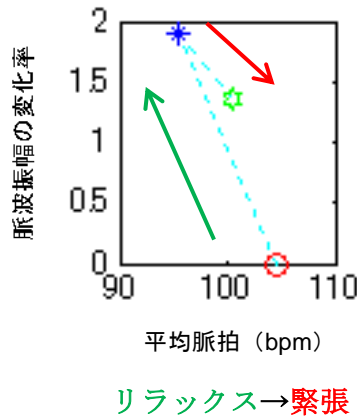
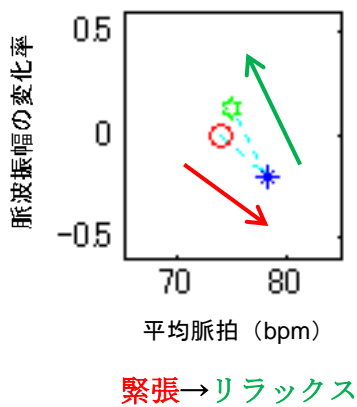
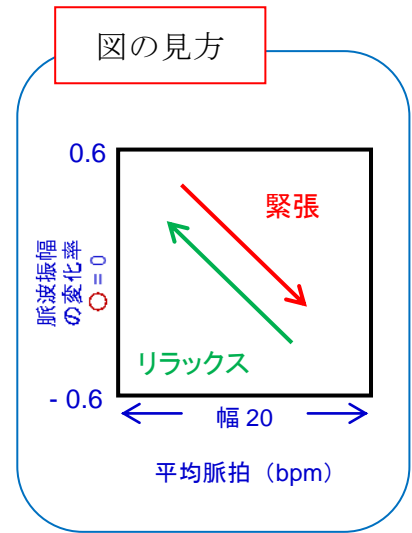
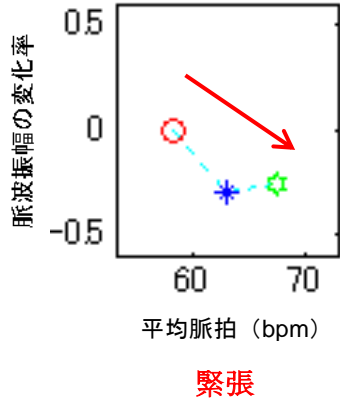
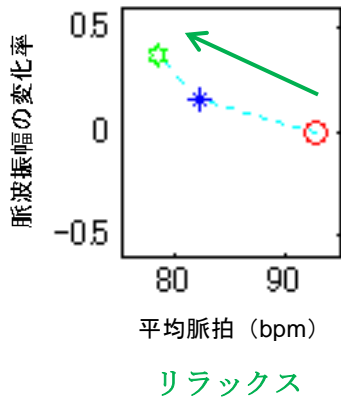
2.3.2 結果

2.3.2.1 リラックス度の生理心理評価

実験参加者ごとに脈拍の平均値（以下、平均脈拍（PR））と脈波振幅の中央値（以下、脈波振幅（PLA））を、閉眼安静時の最後の 20 s（EC1）、呼吸誘導時の前半 20 s（RL2）と後半 20 s（RL3）の 3 つに分けて値の推移を比較した。2.2.3 で述べたように、PLA は指の少しの動きで大きく変動することがあるので、PR をリラックス度の指標として優先した。

Fig. 2.11 にリラックス・緊張の推移の主だった例を示す。閉眼安静時（EC1）と呼吸誘導時の前半（RL2）を比較すると、生理指標から緊張傾向が見られた人の方が多かった（31 名中 21 名）。これは呼吸誘導時の最初に慣れないクマの動きに呼吸を合わせることに戸惑いやストレスを感じた人が多かったためであると考えられた。

○ EC1 → ※ RL2 → ☆ RL3



EC : Eye Close, RL : Respiration Leading

図 2.11 リラックスと緊張の推移例

Fig. 2.11 Samples of relaxation-stress transition.

次に、呼吸誘導でリラックスできたかを評価するために、呼吸誘導時の前半 (RL2) と後半 (RL3) の生理指標の増減を分析した。はじめに前半 (RL2) と後半 (RL3) の PR を比較し、3%以上低下した場合はリラックスしたと評価した。これは先行研究において、呼吸統制リラクゼーション装置使用時の平均心拍が安静時に比べて 2~3 bpm 下がり、リラックスした状態が誘導される可能性が示されている[28]ことから、約 2 bpm 脈拍が下がればリラックスの傾向があると考え、一般的な人の脈拍は 60~80 bpm であることから、3%が適当であるとした。また、値の変化が 3%以下であっても PLA が 10%以上、上昇した場合も

リラックスしたと評価した。逆に、PRが3%以上、上昇した場合は緊張したと評価した。どちらにも当てはまらないものを「変化なし」とした。一方、心理指標によるリラックス度は実験前と実験終了後の主観申告によるリラックス度を比較し、点数の増減でリラックスしたかどうかを評価した。生理指標によるリラックス度と主観申告によるリラックス度とを対照させた結果をTable 2.4に示す。

表 2.4 生理指標と心理指標によるリラックス度の比較

Table 2.4 Comparison of relaxation degree between physiological index and psychological index.

| 生理指標 \ 主観申告 | リラックス | 変化なし | 緊張 | 計 |
|-------------|-------|------|----|----|
| リラックス | 11 | 7 | 0 | 18 |
| 変化なし | 4 | 2 | 0 | 6 |
| 緊張 | 0 | 6 | 1 | 7 |
| 計 | 15 | 15 | 1 | 31 |

単位：名

生理指標でリラックスしたと判定された18名のうち、11名が主観申告でもリラックスしたと答え、7名は変化なし、0名が緊張したと答えた。また、生理指標で変化なしと判定された6名のうち4名が主観申告でリラックスしたと答え、2名が変化なしと答えた。一方、生理指標で緊張したと判定された7名のうち、主観申告でリラックスしたと答えたのは0名で、6名は変化なし、1名は緊張したと答えた。生理指標と心理指標が一致したのは14名であり、生理指標でリラックスしたのに主観申告で緊張したと答えた人、また生理指標で緊張したのに主観申告でリラックスしたと答えた人はいなかった。生理指標と心理指標の感度は若干異なっていたが、生理心理指標によるリラックス度には相関が見られた(ピアソンの相関係数: $r=0.492$, $p<0.01$ [$n=31$])。

2.3.2.2 呼吸周期の推定精度の検証

各実験参加者のEC1とRL2とRL3の呼吸周期の平均値を脈拍変動データと呼吸データからそれぞれ算出した。そして、脈拍変動データと呼吸データの相関係数を実験参加者ごとに算出した。その相関係数のヒストグラムをFig. 2.12に示す。

半数近く（31名中14名）は0.8以上の正の相関が示されたが、中には負の相関を示すものも数名（31名中3名）見られた。負の相関を示したデータを分析したところ、PRVデータと呼吸データから得られた呼吸周期のいくつかに大きな差があることが見られた。その主な原因は呼気の長さの測定のずれであった。呼気の最下点（Fig. 2.4の青点）の差を呼吸周期として算出しているが、この最下点がPRVのデータにおいて何らかの理由で左右にずれることがあった。一カ所がずれると次の呼吸周期もずれるので、連鎖的に誤差のある呼吸周期が算出され続けることになる。特に呼吸数が少ない場合は僅かな呼吸周期測定の誤差が相関係数に大きな違いをもたらし、負の相関や低い相関が示される結果となったことがわかった。

また、その他の原因として呼吸周期が2 s 台と極端に短い場合や呼気が長く続く途中で微かな吸気が入った場合、PRVが小さい場合にPRVによる呼吸周期の測定が実際の呼吸周期とずれる現象が見られた。

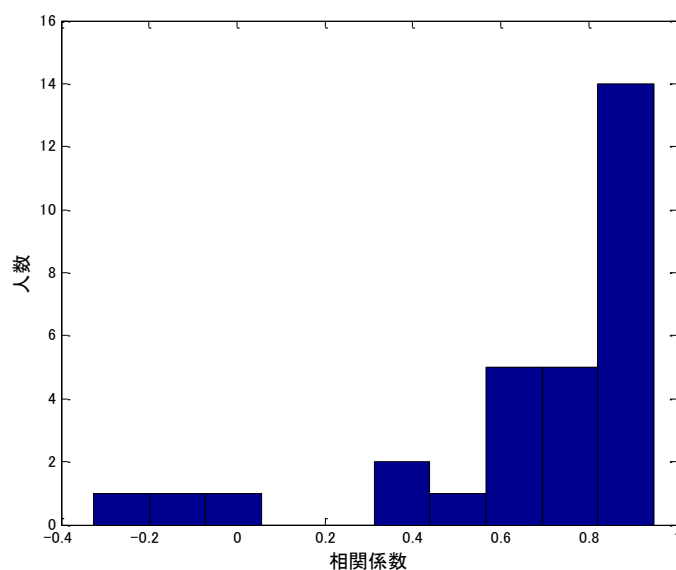


図 2.12 相関係数のヒストグラム

Fig. 2.12 Histogram of correlation coefficients.

2.3.2.3 代表値の求め方の検証

代表値の求め方は呼吸周期の平均値と中央値とではどちらの方が適しているかを調べるために、PRVデータと呼吸データから得られた呼吸周期の平均値同士の差と中央値同士の差を算出した。そして、それらの値を絶対値にした後、呼吸データから得られた呼吸周

期で割って誤差率を算出した (Table 2.5). その上で, 代表値の求め方 (平均と中央値) を第1要因に, 計測条件 (閉眼安静時 (EC) と呼吸誘導時 (RL)) を第2要因にして二元配置分散分析をかけたところ, 誤差率は平均値の方が中央値より有意に小さかった ($p < 0.01$). また, 計測条件の間では呼吸誘導時 (RL) の方が閉眼安静時 (EC) よりも呼吸から求めた呼吸周期との誤差率が有意に小さかった ($p < 0.01$).

表 2.5 計測条件別の呼吸周期代表値の算出方法による誤差率の比較

Table 2.5 Comparison of error rate in respiration period's representative value.

| 閉眼安静時 (EC) | | 呼吸誘導時 (RL) | |
|------------|--------|------------|--------|
| 平均値 | 4.52 % | 平均値 | 1.90 % |
| 中央値 | 5.94 % | 中央値 | 4.58 % |

2.3.3 考察

幅広い年齢層の人々を対象として, 閉眼安静時と呼吸誘導時 (前半・後半) の生理心理指標によるリラックス度を計測したところ相関が見られた. この結果, リラックス度の生理指標として PR と PLA を用いることが適切であることが再確認できた. ただし, PLA は指の少しの動きで大きく変動することがあるので, PR をリラックス度の指標として優先する. これは, 呼吸誘導ぬいぐるみの生理指標の判定には脈波を用いるだけで十分であることを後押しする結果であり, 装置を簡便化するためにも重要な知見が得られた. 今後は子どもを対象とした生理指標によるリラックス度判定の精度を高めるために, PR と PLA からリラックス度を求めるアルゴリズムに改良を図りたい.

また, 実験参加者ごとに全呼吸の呼吸周期を PRV と呼吸のデータから求めたが, PRV からも多くの場合, 実用に耐える範囲内の正確さで呼吸周期を計測できることがわかった. しかし, 中にはいくつか負の相関や低い相関を示すデータがあった. それらは 2.3.2.2 で示したようにいくつかの要因があり, こういった現象が生じる頻度はあまり高くないものの, 今後はこういった希少なケースにも対応できるようにしていきたい.

それと, 代表値の求め方の検証をしたが, 結果としては平均値の方が適していることが示唆された. 当初は, 呼吸誘導によって呼吸周期の長さが変動する場合や PRV から得られ

る呼吸周期の精度が低い場合は、値の変動が大きくなることが予想されたため、はずれ値があっても頑強な中央値の方が適していると考えていた。しかし実際には、PRV から求めた呼吸周期に変動の大きいデータが複数個あったためか、平均値の方が正確に呼吸周期を反映したようである。しかし、呼吸数が少なかったためにこのような結果になったことも考えられるので、代表値の求め方としては外れ値を除いた平均値を用いるのが望ましいと思われる。

また、呼吸誘導時の方が閉眼安静時よりも誤差率が低かったが、これは呼吸誘導時の方が呼吸回数が多かったため、または長い呼吸周期への呼吸誘導により、閉眼安静時よりもPRV が大きくなったために、正確に呼吸周期を計測できたことが考えられる。よって、今後脈波から呼吸周期を測定する場合は、呼吸周期の計測時間を長めにする 것도視野に入れていきたい。

2.4 まとめと課題

第2章では、呼吸誘導ぬいぐるみ開発へ向けての基礎的検討として、1. 呼吸誘導時における子どもに適した呼吸周期と、2. 脈波から呼吸周期がどれほど正確に求められるか否か、また、3. 子どものリラクセス評価をする生理指標として脈波から得られる指標の中で適した指標について調べた。12名の健常児を対象にパソコン画面上で動くクマのキャラクターを利用した呼吸誘導の実験を行った結果、i. 子どもが最もリラクセスする呼吸周期は特定できなかったため、個人ごとに異なる可能性があり、ii. 脈波の計測データに乱れない場合は脈拍変動から呼吸周期をほぼ正確に測定でき、iii. リラクセス評価に用いる生理指標としては、脈波から得られる指標の中ではPRとPLAが適した指標であることが示唆された。5～61歳の健康な男女31名を対象とした再検証からも上記ii. & iii. に関しては同様の結果が得られた。

主観申告と生理指標に乖離が見られたことから、子どもは自分の落ち着き度を客観的に把握できていない可能性があることが示されたので、リラクセス評価をする際には生理指標のみを対象とするのが適切であると考えた。しかし、成人を含む幅広い年齢層を対象としたときは、生理心理指標によるリラクセス度に相関があったので、成人は自分の落ち着き度を客観的に把握できていたと考えられる。

また、PRV から呼吸周期を算出するには、代表値としては外れ値を除いて平均値を用いるのがよい。

呼吸誘導における呼吸周期はその子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始めるのが適当であることも示唆されたので、呼吸誘導ぬいぐるみの開発を進めるに当たっては、その子の安静時の呼吸周期から始め、徐々にその子が最もリラックスする呼吸周期へと導いていくこととする。また、脈波から得られるリラックス度の生理指標としてはPRとPLAを用い、PRVから呼吸周期を算出する場合は外れ値を除いた平均値を用いる。ただし、PLAは指の少しの動きで大きく変動することがあるので、PRをリラックス度の指標として優先する。

第3章 めいぐるみ装置による呼吸誘導の基礎的検討

3.1 目的

本章では第2章の予備実験で得られた知見を基に，1.3で述べためいぐるみのコンセプトにできるだけ近い試作品を作り，子どもへの受容性を調べた実験について述べる．2.1で述べたように一概に子どもといっても年齢により体格差が大きい．果たして，その年齢幅のある子どもたちを対象に，特定の大きさのめいぐるみ型の呼吸誘導装置が子どもたちに受け入れられるのか，さらには，腹部の上下運動により子どもたちの呼吸は誘導されるのかを調べる必要がある．

また，第2章の予備実験により，それぞれの子どもに合った呼吸周期から呼吸誘導を開始し，徐々に誘導周期を長く延ばしていくことが望ましいことが示唆されたが，そういった呼吸誘導のアルゴリズムの違いが，リラックス度や呼吸誘導の合わせやすさにどのような影響を与えるかを調べる必要がある．その一因として，本研究を進めている間に類似の製品が日本の株式会社タカラトミーアーツより2012年に発売されたことが挙げられる．「ハグ&ドリーム・ミニーマウス」（成人女性向け）と「おやすみグーグーフレンズ・くまのプーさん」（幼児向け）という入眠促進を目的とした呼吸誘導めいぐるみである．これらの製品の腹部に内蔵された呼吸誘導装置はプラスチック製であり，誘導周期は5 sのまま一定で続き，15分で動きが自動的に止まるというものである．これらは呼吸センサやバイオフィードバック機能のない装置である．そこで，これらの製品のように誘導周期が一定のものと，誘導周期が徐々に長くなっていくものとは呼吸の合わせやすさやリラックス度に違いがあるかを調べることにした．

本章では，試作品の受容性を調べた上で，異なるアルゴリズムの呼吸誘導による生理心理的な違いを調べた結果について述べる．

3.2 実験1 — 呼吸誘導装置の受容性 —

3.2.1 方法

3.2.1.1 実験参加者

保護者より文書によるインフォームド・コンセントを、本人よりインフォームド・アセントを得た4～12歳の健常児48名（男児26名，女児22名）を対象に実施した。大人数のデータを取るために，多くの来場者が訪れる大阪工業大学の工学実感フェアの機会を用いた。なお，この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2012-10）。

3.2.1.2 実験手続き

2.2.1.2と同様に実験参加者の左手の人差し指の指先に光電式脈波ピックアップ（Polypul，ニホンサンテク），腹部に呼吸ピックアップ（TR-751T，日本光電）を装着して，初めに安静状態の生理指標を30s計測し，脈波から呼吸周期を算出した。続いて，腹部が一定リズムで上下する呼吸誘導装置を内蔵したクマのぬいぐるみを，ぬいぐるみの腹部と参加者の腹部（左胸の下，左側の第6～10肋骨周辺）が接するように抱いてもらった（Fig. 3.1）。



図 3.1 実験風景

Fig. 3.1 Scene of experiment.

生理指標の計測開始から 5 s 後にぬいぐるみの腹部が安静時の呼吸周期のリズムで動き出し、計測開始 20 s 後から呼吸周期が最大 8 s になるまで 1 呼吸当たり 0.5 s ずつ長くなっていき、90 s 後に動きが止まるようにした。呼吸誘導時は「ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて、お腹が膨らんだときに吸って、へこむときに吐くように呼吸してください」という教示をした。

ぬいぐるみは「リラックマくったりぬいぐるみ (M)」(サンエックス) [大きさ：約 400×240×130mm] を使用し、呼吸誘導装置には寝息を立てるように腹部を上下に動かしながら寝言を言う全長 32cm のぬいぐるみ「Sleeping Jackie」(イワヤ) の腹部に内蔵された円盤が上下に 17mm 動く装置 [大きさ：55×55×53~70mm] に H8 マイコンをつなげて、上下する速度を制御したものを使用した (Fig. 3.2)。装置の円盤は上がる時間と下がる時間の割合が 1 : 2 となるように制御した。

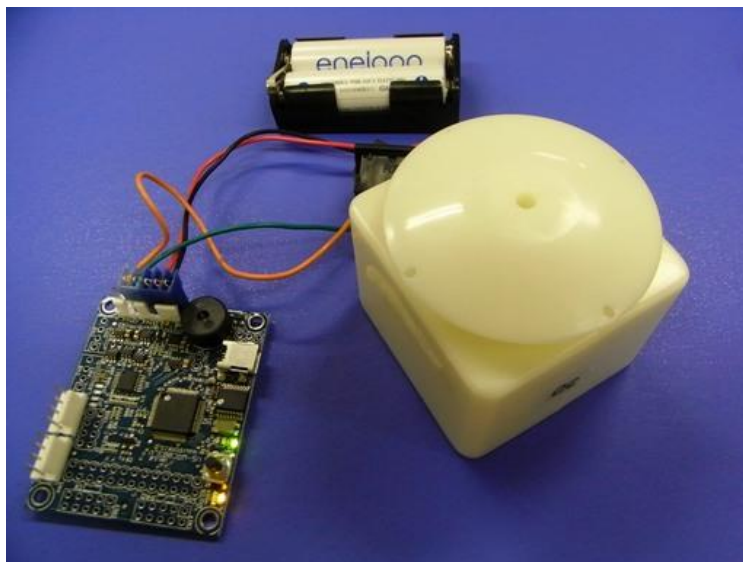


図 3.2 呼吸誘導装置の構成部品

Fig. 3.2 Component of the device.

誘導周期を 1 としたときの相対的な時間に対応した呼吸誘導装置の円盤の動きの時間変化を Fig. 3.3 に示す。この動きに合わせて呼吸をすると、呼吸の吸気と呼気の比率は 1 : 2 になることが期待される。実験後に、呼吸の合わせやすさについて、前半と後半に分けて 7 段階で評価させた。アンケートは線を等間隔に 7 つにくぎり、一番左が「合わせにくい (1)」、一番右が「合わせやすい (7)」と記されたものに指差しして答えてもらった。また、参考までに実験の前後で、リラククス度を「心身の落ち着き度」として同じ方法で 7

段階評定させた (Fig. 3.4). リラックス度の変化を尋ねたのは, 呼吸誘導に正確に合わせられる子どもは主観的にリラックスしたと感ずるが, 正確に合わせられなかった子どもはリラックスしたと感ずないのではないかと考えたからである.

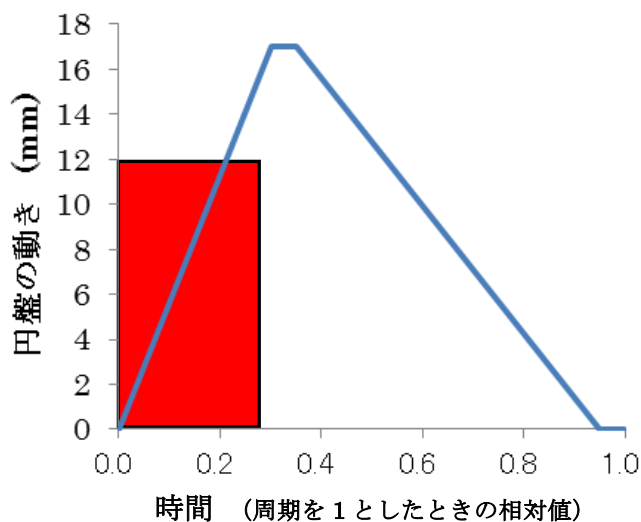


図 3.3 呼吸誘導装置の円盤の高さの動き

Fig. 3.3 Disk movement of the leading machine.

※ 実線 (青): 円盤の動き, 四角 (赤): 誘導周期の吸気時間

| | | | |
|-------------------------------------|---------|------------|--------|
| □1. ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて吸ったり吐いたりできましたか? | | | |
| ・最初の方 (前半) | | ・最後の方 (後半) | |
| 合わせにくい | 合わせやすい | 合わせにくい | 合わせやすい |
| | | | |
| □2. 今の気持ちについて教えてください | | | |
| ・心身の落ち着き度 | | | |
| 緊張している | 落ちついている | | |
| | | | |

1. は「呼吸の合わせやすさ」, 2. は「心身の落ち着き度 (リラックス度)」の質問事項例

1. is a sample of questionnaire for “Respiration-synchronization” ,

2. is a sample of questionnaire for “Relaxation”

図 3.4 7段階評定の質問事項例

Fig. 3.4 Sample of questionnaires (7 point rating scale).

3.2.1.3 データ解析

呼吸データと脈波データを MATLAB で作成したプログラムで解析した。呼吸データからは吸い始めと吐き始めのタイミングならびに呼吸周期を算出した。脈波データからも脈拍変動を解析して呼吸周期を算出した。ぬいぐるみのコンセプトに従って、安静時の呼吸周期は脈拍変動から算出したものを指標とした。脈波データは少しの動きでアーチファクトが生じやすいので、呼吸誘導時においては正確を期するため、呼吸データより算出した実際の呼吸周期（以下、RP: Respiration Period）とぬいぐるみの誘導周期（以下、LP: Respiration Leading Period）を比較し、同期率を算出した。具体的には、各呼吸の呼吸周期の吸気時間（RPI: RP Inhalation）と誘導周期の吸気時間（LPI: LP Inhalation）を解析し、RPI と LPI に重なり部分があった場合、重なり部分のみの時間（A (s)）と重なり部分を含めた RPI と LPI の時間の和（B (s)）を求め、全呼吸分の $A \div B \times 100$ [%] を平均したものを同期率とした。この同期率は、RPI と LPI が完全に重なったときは 100%、まったく重ならなかったときは 0% となり、重なり具合が大きくなればなるほど高くなる指標である (Fig. 3.5 & 3.6)。

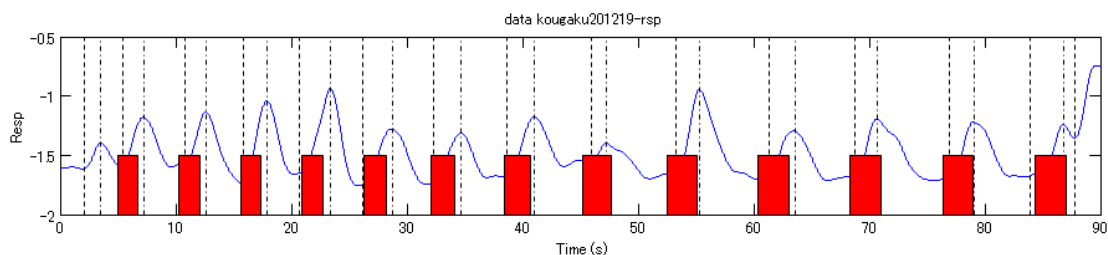


図 3.5 呼吸誘導データの一例

Fig. 3.5 Example of respiration leading data.

※ 実線（青）：呼吸データ，四角（赤）：誘導周期の吸気時間

3.2.2 結果

3.2.2.1 同期率

48名の同期率は、10%未満が1名、10%以上20%未満が12名、20%以上30%未満が14名、30%以上40%未満が3名、40%以上50%未満が1名、50%以上60%未満が8名、60%以上70%未満が6名、70%以上が3名という結果であった (Fig. 3.7)。48名の平均同期率は35.6%であり、平均以上の20名を適合群、平均以下の28名を不適合群と見なした。

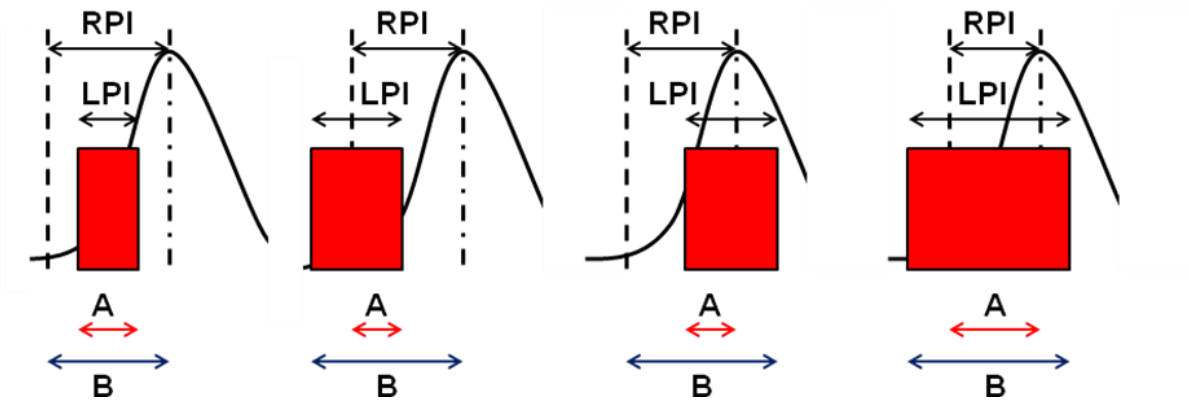


図 3.6 同期率の算出方法

Fig. 3.6 Calculation methods of overlap ratio.

※ 実線：呼吸データ，四角（赤）：誘導周期の吸気時間，
点線（---）：吸気開始，点線（- · - ·）：吸気終了

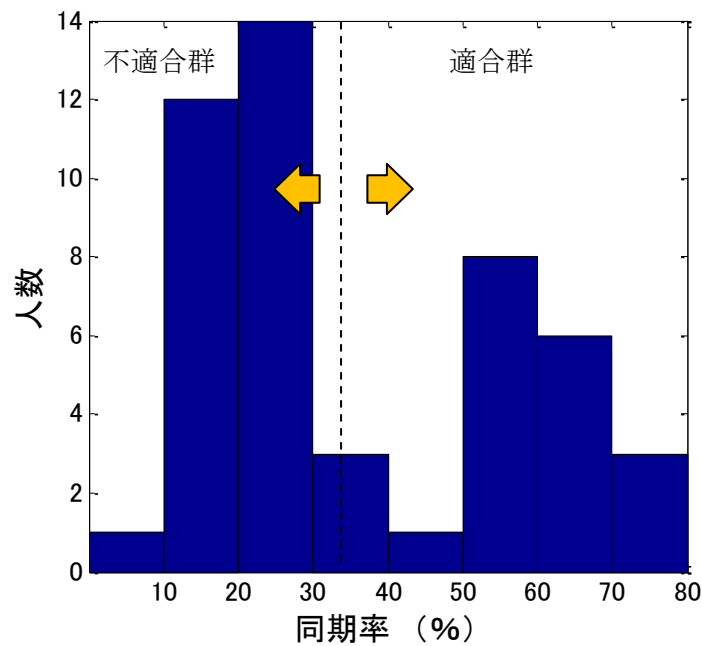


図 3.7 同期率のヒストグラム

Fig. 3.7 Histogram of overlap ratio.

両群の間に年齢と性別による特徴があるかどうかを調べた。適合群の平均年齢は 9.4 歳，不適合群の平均年齢は 8.0 歳だった。男女の比率は，適合群は男子が女子の 0.82 倍，不適合群は 1.54 倍であった。各群の年齢と性別の構成を Table 3.1 に示す。

また、年齢別の平均同期率を Table 3.2 に示す。6 歳以下は平均同期率が前述した全体の平均同期率 (35.6%) よりも低く、8 歳以下は年齢が下がるほど呼吸誘導にうまく合わせられていなかった。性別による平均同期率は男子 32.2%、女子 39.6%であった。

表 3.1 2 群の年齢・性別構成
Table 3.1 Age and gender composition of 2 groups.

| Group | Sum | Male | | | | Female | | | |
|--------|-----|------|-----|-------|-----|--------|-----|-------|-----|
| | | 4-6 | 7-9 | 10-12 | Sum | 4-6 | 7-9 | 10-12 | Sum |
| Well | 20 | 0 | 1 | 8 | 9 | 0 | 9 | 2 | 11 |
| Poorly | 28 | 4 | 6 | 7 | 17 | 4 | 6 | 1 | 11 |

Well: well-synchronized group, Poorly: poorly synchronized group,
Well: 適合群, Poorly: 不適合群; Unit: number, 単位: (名)

表 3.2 各年齢の平均同期率と性別構成
Table 3.2 Mean overlap ratio for each age and its gender composition.

| Age | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mean overlap ratio | 17.8 | 18.6 | 20.2 | 41.7 | 43.7 | 34.7 | 39.1 | 26.8 | 47.4 |
| Male | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 3 | 4 |
| Female | 1 | 2 | 1 | 4 | 6 | 5 | 2 | 1 | 0 |
| Sum | 3 | 3 | 2 | 5 | 8 | 9 | 10 | 4 | 4 |

Unit: Mean overlap ratio (%); Male, Female, Sum (number).
単位: 平均同期率 (%), 男子・女子・合計 (名)

3.2.2.2 主観申告

呼吸の合わせやすさに関する主観申告結果を Fig. 3.9 に示す (有効回答数 48 名中 44

名). 群と区間 (前半・後半) を要因とする二元配置分散分析をかけたところ, 区間の主効果が見られ, 呼吸の合わせやすさが後半で有意に低下することが示された ($F(1, 84)=7.53$, $p<0.05$). しかし, 群の主効果も交互作用も有意ではなかった.

また, 参考までに聴取した実験前後におけるリラックス度の変化を Fig. 3.10 に示す.

群と時間 (前・後) を要因とする二元配置分散分析をかけたところ, 時間の主効果があり呼吸誘導によりリラックス度が有意に増加したことが示された ($F(1, 84)=8.14$, $p<0.01$). しかし, 群の主効果と交互作用は見られなかった.

また, 実験後の聴き取りより, むいぐるみ腹部の誘導装置は腹部の筋肉部より, 肋骨などの硬い部分に押し当てた時の方が動きを感じやすいということを確認できた.

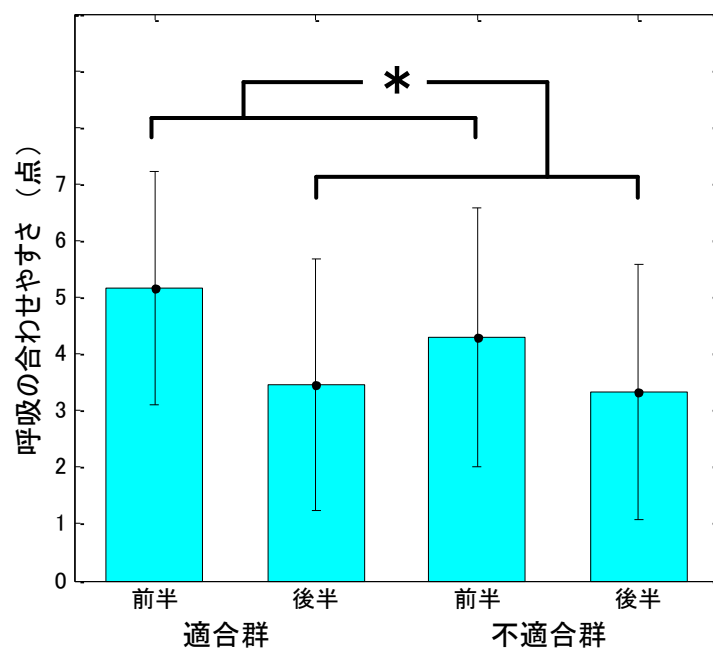


図 3.9 実験中の呼吸の合わせやすさの変化 (* $p<0.05$)

Fig. 3.9 Transition of respiration synchronization during session.

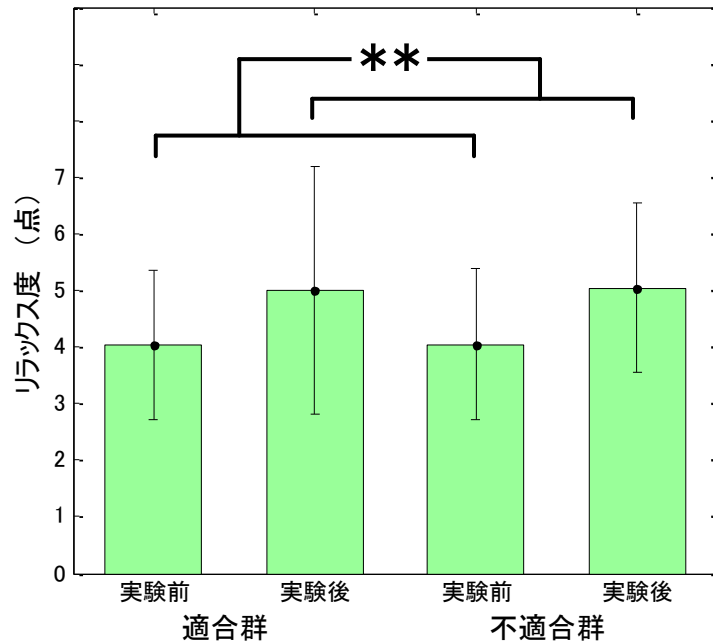


図 3.10 実験前後のリラックス度の変化 (** p<0.01)
 Fig. 3.10 Relaxation change between before and after of the session.

3.2.3 考察

48 名の子供に、腹部が一定リズムで上下する呼吸誘導装置を内蔵したクマのぬいぐるみを抱いてもらい、呼吸誘導されるかを調べた。その結果、呼吸誘導される者とされない者がいることがわかった。それには年齢による差があり、6 歳以下では呼吸誘導されにくいことがわかった。それは、第 2 章で示したように、呼吸誘導の最終的な誘導周期 (8 s) が 6 歳以下の子どもには長過ぎたことが考えられる。また、若干の性別差もあり、女子の方が男子よりもやや呼吸誘導されやすいことがわかった。年齢別の構成を見ると 7~8 歳は女子が多く、10~12 歳は男子が多いが、年齢の高低にかかわらず、女子の方がうまくついていけていた。女子の方が男子より発達が早いため [37]、実験という環境の中で研究者の指示に従いやすく、また、アンケートを見ても女子の方が「家にあったらやりたい」「またしたい」「連れて帰りたい」といった感想が多く、呼吸誘導ぬいぐるみに対する好感度や愛着感が高かったことから、ぬいぐるみの呼吸誘導に呼吸を合わせやすかったのではないかと考えられる。

呼吸の平均同期率からは、呼吸誘導によって適合群は誘導周期が長くなるセッション後

半に呼吸が合わせにくくなっていったが、不適合群は最初から合わせにくいまま、後半も特に変化はなかったことがわかった。このことから適合群は呼吸誘導に呼吸を合わせられていたが、後半の最終的な誘導周期 (8 s) が長すぎて合わせにくくなっていったと見られる。一方、不適合群は誘導周期にかかわらず、最初から呼吸誘導に合わせにくいまま、最後まで合わせられなかったと見られる。一方、心理指標では群差はなく、両群ともに誘導周期が長くなるセッション後半に呼吸が合わせにくく感じていることから、不適合群は呼吸が合わせられていないことに気づいていなかったといえる。そのため、実際に呼吸誘導に呼吸を合わせられているかいないかにかかわらず、呼吸周期が徐々に長くなっていく呼吸誘導においては誘導周期が短い間は呼吸を合わせられていると感じ、誘導周期が長くなりすぎる (8 s) と、合わせにくく感じるという結果になったのだと考えられる。

リラックス度については、呼吸が合わせられても合わせられていなくても主観的にはリラックスしたという申告が得られ、呼吸誘導にうまく合わせられない子どもは主観的にリラックスしたと感じないという仮説に反する結果が得られた。呼吸を合わせられていなくてもゆっくりとした呼吸をする努力をしたことや実験を無事終えたことでリラクセーションが得られたのかもしれない。また、今回の実験では一律に呼吸周期を 8 s まで伸ばしたので、後半は両群とも呼吸を合わせにくい状態になり、群差が出なかったとも考えられる。さらに、快適な呼吸周期について、主観評価と生理状態は必ずしも一致しないという報告 [38] もあるので、今後は個人の中で、呼吸誘導が良好な場合とそうでない場合を比較し、リラクセーションに対する効果を心理・生理両面において調べる必要がある。

今後、低年齢の子どもや呼吸誘導に合わせにくい子どもでもこの装置を活用できるようにするには、ぬいぐるみのお腹の動きをより感じやすくなるように改良する必要がある。また、呼吸誘導時に一律に誘導周期を変化させていくのではなく、各人が最もリラックスする呼吸周期に、各人のペースに合ったペースで変化をさせていくことが望ましいと考えられる。例として、生理指標で同期率とリラックス度を測定しながら、一定の期間中、同期率が高い場合は誘導周期を長くしていき、同期率が低い場合は誘導周期を若干短くすることで、その子が最も呼吸を合わせやすくリラックスしやすい呼吸周期へ、その子に合ったペースで徐々に長い誘導周期に慣れていけるようなアルゴリズムにプログラムを変更することが考えられる。

3.3 実験2 ～ 呼吸誘導アルゴリズムの違いによる生理心理面への影響 ～

3.3.1 方法

3.3.1.1 実験参加者

保護者より文書によるインフォームド・コンセントを、本人よりインフォームド・アセントを得た5～10歳の健常女児8名を対象に実施した。この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2012-10）。

3.3.1.2 実験手続き

実験参加者の胸部および腹部に電極をつけて心電図（以下、ECG）を計測し、データは生体信号アンプ（Polyam4, ニホンサンテック）を用いて増幅した。左手の人差し指の指先に光電式脈波ピックアップ（Polypul, ニホンサンテック）、腹部に呼吸ピックアップ（TR-751T, 日本光電）を装着して、初めに安静状態の生理指標を60s計測し、脈波から呼吸周期を算出した。その後、3.2.1.2と同じ呼吸誘導ぬいぐるみを、ぬいぐるみの腹部と参加者の腹部が接するように抱いてもらった（Fig. 3.10）。呼吸誘導装置の誘導パターンを2種類用意し、参加者に体験させた。1つは、最初から最後まで最長誘導周期のまま一定で5分間誘導するようにした（以下、一定パターン）。もう1つは、誘導開始から5s後にぬいぐるみのお腹が安静時の呼吸周期のリズムで動き出し、計測開始20s後から呼吸周期が最長誘導周期になるまで1呼吸当たり0.25sずつ長くなっていき、5分後に動きが止まるようにした（以下、漸増パターン）。誘導パターンの順番はカウンタバランスをかけた。また、呼吸の吸気と呼気の比率は1：2になるように設定した。呼吸誘導時は「ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて、お腹が膨らんだときに吸って、へこむときに吐くように呼吸してください」という教示をした。

最長誘導周期は、6歳以下は6s、7歳以上は8sとした。このように設定したのは、第2章の予備実験1において子どもが最もリラックスする呼吸周期は生理指標では「6s」または「8s」、主観申告では「8s」が多かったため、年齢に応じて6s、8sとするのが最も多くの子どものためにリラックスする可能性があると考えられたからである。

実験前と各誘導パターンの試行後に、リラックス度を「心身の落ち着き度」として、7段階で評価させた。アンケートは線を等間隔に7つにくぎり、一番左が「緊張している」、一番右が「落ち着いている」と記されたものに指差しして答えてもらった（Fig. 3.4）。また、すべての実験終了後に呼吸誘導について1回目と2回目のどちらの呼吸誘導の方が呼

吸を合わせやすかったかを答えてもらった。



図 3.10 実験風景

Fig. 3.10 Scene of experiment.

3.3.1.3 データ解析

ECGデータと脈波データならびに呼吸データをMATLABで作成したプログラムで解析した。ECGデータからは平均心拍を算出した。閉眼安静時の脈波データから呼吸周期を算出し、呼吸誘導を開始する際の指標の参考とした。また、呼吸誘導時の脈波データより平均脈拍（以下、PR）と脈波振幅の中央値（以下、PLA）を算出した。呼吸データからは吸い始めと吐き始めのタイミングならびに呼吸周期を算出した。また、呼吸誘導時の呼吸データより呼吸周期（以下、RP: Respiration Period）を算出し、3.2.1.3と同様にぬいぐるみの誘導周期と比較して同期率を算出した。

また、各生理指標の前半（20～140 s）と後半（170～290 s）の平均値も算出した。実験参加者の漸増パターンにおける呼吸誘導開始時点の誘導周期は3.15～4.3 sの間であったので、130 s時点までには最長誘導周期（6 sまたは8 s）となるため、両パターンとも後半においては同じように最長誘導周期で呼吸誘導されていることになり、比較するのに適していると考えられたからである。

3.3.2 結果

3.3.2.1 同期率

実験参加者の各試行における同期率の平均値を Table 3.4 と Table 3.5 に示す。1 名 (No. 5) は呼吸誘導における吸気・呼気の開始の位相が逆になっていて同期率がほぼ 0 に等しかったために省き、残り 7 名分のものを採用した。Table 3.4 は呼吸誘導パターンごとにデータを並べ、右端に平均値を記した。表中の A は漸増パターンを示し、B は一定パターンを示す。Table 3.5 は Table 3.4 と同じデータを実験時の試行順に並べ、右端に平均値を記した。それぞれの表の All は試行全体 (0~300 s) の同期率、Latter は試行後半のみ (170~290 s) の同期率の平均値を示す。

パターン別の結果を見ると、7 名の同期率の漸増パターン全体の平均値は 49.2%、一定パターンの平均値は 52.5%であり、一定パターンの方がやや高くなった。後半のみを見ても漸増パターン全体の平均値は 52.8%、一定パターンの平均値は 56.3%であり、こちらも一定パターンの方がやや高くなった。個人ごとに両パターンを比較してみても、7 名中 5 名が一定パターンの方で同期率が高くなった。両パターン全体の同期率の平均値は 50.8%であり、両試行とも平均値以下になったのは No. 1 (5 歳), No. 3 (7 歳), No. 4 (8 歳)、平均値以上になったのは No. 2 (6 歳), No. 6 (8 歳), No. 7 (9 歳), No. 8 (10 歳) と、同期率が低いグループは年齢層が低く、高いグループは年齢層が高くなり、やや年齢的な傾向が見られた。

表 3.4 各誘導パターンにおける同期率
Table 3.4 Overlap ratios for each respiration-leading pattern.

| Participant No. | | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | mean |
|-----------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| Age (y) | | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | |
| A (increase) | All | 27.2 | 59.1 | 41.8 | 32.2 | 58.3 | 56.7 | 69.2 | 49.2 |
| | Latter half | 31.8 | 52.4 | 44.1 | 42.9 | 60.3 | 67.1 | 71.0 | 52.8 |
| B (fixed) | All | 31.1 | 61.1 | 32.4 | 42.8 | 65.7 | 54.1 | 80.2 | 52.5 |
| | Latter half | 49.2 | 57.3 | 32.0 | 49.5 | 66.7 | 54.8 | 84.5 | 56.3 |

Colored cell: Higher Overlap ratios between A and B,
 色付きのセル: A と B で高い方の値; Units: Percent, 単位: (%)

順序ごとの結果を見ると、7名の同期率の1回目の平均値は49.1%、2回目の平均値は52.6%であり、2回目の方がやや高くなった。後半のみを見ても1回目の平均値は52.7%、2回目の平均値は56.4%であり、こちらも2回目の方がやや高くなった。個人ごとに順序ごとの同期率を比較してみても、7名中5名が2回目の方で同期率が高くなった。

表 3.5 各試行順における同期率

Table 3.5 Overlap ratios for each trial order.

| Participant No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | mean |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Age (y) | | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | |
| First | All | 31.1 | 59.1 | 32.4 | 32.2 | 65.7 | 54.1 | 69.2 | 49.1 |
| | Latter half | 49.2 | 52.4 | 32.0 | 42.9 | 66.7 | 54.8 | 71.0 | 52.7 |
| Second | All | 27.2 | 61.1 | 41.8 | 42.8 | 58.3 | 56.7 | 80.2 | 52.6 |
| | Latter half | 31.8 | 57.3 | 44.1 | 49.5 | 60.3 | 67.1 | 84.5 | 56.4 |

Colored cell: Higher Overlap ratios between A and B,

色付きのセル: AとBで高い方の値; Units: Percent, 単位: (%);

Italic bold numbers: trials of fixed pattern, 斜体太字: 一定パターンの試行

3.3.2.2 生理指標

実験参加者の各試行におけるPRをTable 3.6に、PLAをTable 3.7に示す。No.7のPLAは計測不備のため省いた。斜体太字は2回目の試行を示し、パターンごとに前半と後半を比較して、後半によりリラックスしたと見られるパターンのセルに色を付けた。

脈波を指標とした生理指標によるリラックス度をみると、PRは全体の平均値ではパターンによる違いはなかったが、やや2回目の方がリラックスする傾向が見られた。また、前半と後半の値の差を比べたところ、1回目の方が前半よりも後半にリラックスした傾向があった。PLAは試行ごとに脈波センサを外したため、全体値を比較することはできなかったが、前半と後半の値の差を比べたところ、1回目と一定パターンの方が前半よりも後半にリラックスした傾向があった。

表 3.6 各誘導パターンにおける平均脈拍

Table 3.6 Mean pulse rate of each respiration-leading pattern.

| Participant No. | | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | mean |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Age (y) | | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 10 | |
| A (increase) | All | <i>101.9</i> | 93.0 | <i>102.7</i> | 81.5 | 82.9 | <i>85.0</i> | <i>96.6</i> | 95.2 | 92.4 |
| | First | <i>99.7</i> | 93.2 | <i>99.0</i> | 79.6 | 85.5 | <i>86.1</i> | <i>94.4</i> | 95.3 | 91.6 |
| | Latter half | <i>103.0</i> | 92.6 | <i>102.6</i> | 83.3 | 79.2 | <i>83.8</i> | <i>98.0</i> | 95 | 92.2 |
| B (fixed) | All | 94.9 | <i>92.3</i> | 104.4 | <i>83.5</i> | <i>80.4</i> | 87.8 | 97.2 | <i>87.9</i> | 91.1 |
| | First | 94.4 | <i>90.6</i> | 104.6 | <i>85.3</i> | <i>78.6</i> | 88.5 | 95.2 | <i>86.7</i> | 90.5 |
| | Latter half | 94.5 | <i>94.2</i> | 102.3 | <i>83.3</i> | <i>82.1</i> | 87.5 | 97.9 | <i>89.8</i> | 91.5 |

Units: beats per minute, 単位: bpm;

Italic bold numbers: Second trials, 斜体太字: 2回目の試行;

Colored cell: Relaxed session compared with the other one (Blue: All, Green: Latter half),

青色セル: パターン別でリラックスした試行 (全体の平均値を比較),

緑色セル: パターン別で後半がよりリラックスした試行 (後半減少 [2倍以上] or 他方が後半増加)

表 3.7 各誘導パターンにおける脈波振幅の中央値

Table 3.7 Median of pulse amplitude of each respiration-leading pattern.

| Participant No. | | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>8</i> | mean |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Age (y) | | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 10 | |
| A (increase) | All | <i>2.39</i> | 1.49 | <i>2.38</i> | 1.37 | 1.15 | <i>1.16</i> | 1.84 | 1.68 |
| | First | <i>2.58</i> | 1.44 | <i>2.43</i> | 1.50 | 0.89 | <i>1.09</i> | 1.84 | 1.68 |
| | Latter half | <i>2.23</i> | 1.54 | <i>2.16</i> | 1.26 | 1.54 | <i>1.20</i> | 1.96 | 1.70 |
| B (fixed) | All | 1.58 | <i>1.39</i> | 1.30 | <i>1.79</i> | <i>0.79</i> | 1.16 | <i>0.98</i> | 1.28 |
| | First | 1.49 | <i>1.01</i> | 0.87 | <i>1.83</i> | <i>0.65</i> | 0.97 | <i>0.98</i> | 1.11 |
| | Latter half | 1.79 | <i>1.76</i> | 2.16 | <i>1.72</i> | <i>0.97</i> | 1.35 | <i>1.03</i> | 1.54 |

Units: a.u., 単位: (任意単位);

Italic bold numbers: Second trials, 斜体太字: 2回目の試行;

Colored cell: Relaxed session compared with the other one,

色付きセル: パターン別で後半がよりリラックスした試行 (後半増加 [2倍以上] or 他方が後半減少)

3.3.2.3 主観申告

主観申告の結果を Table 3.8 に示す。順序別で見ると、No.1 は 2 回目の方が 1 回目よりもリラックス度が下がったが、それ以外の参加者は 2 回目に最もリラックスした (7 点) と答えた。そのうち 4 名は 1 回目と 2 回目の終了後ともに最もリラックスした (7 点) と答えた。パターン別では、漸増パターンの方がリラックスしたのは 2 名、一定パターンの方がリラックスしたのは 2 名、4 名は変化なしであった。すべての実験終了後に 1 回目と 2 回目のどちらの呼吸誘導の方が呼吸を合わせやすかったかを聞いたところ、全員が「2 回目」の方が呼吸を合わせやすかったと答えた。

表 3.8 各試行後のリラックス度の主観申告

Table 3.8 Subjective rating of relaxation evaluation after each respiration-leading trial.

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Age (y) | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 10 |
| Before | 6 | 2 | 4 | 6 | 4 | 2 | 5 | 5 |
| First | <i>6</i> | 7 | <i>4</i> | 7 | 6 | <i>5</i> | <i>7</i> | 7 |
| Second | 3 | <i>7</i> | <i>7</i> | <i>7</i> | <i>7</i> | <i>7</i> | 7 | <i>7</i> |

Italic bold numbers: trials of fixed pattern, 斜体太字: 一定パターン;

Colored cell: Relaxed session compared with the other one,

色付きのセル: リラックスした試行; Units: Point, 単位: 点

3.3.3 考察

今回の実験では、8 名の健常女児を対象とした呼吸誘導パターンによる生理心理指標の変化から、装置の使用開始時期にはどのような呼吸誘導パターンが生理心理的に適しているかを調べた。呼吸の合わせやすさは、生理指標である同期率の結果より、順序効果としては 1 回目よりも 2 回目の方が、呼吸誘導パターンとしては一定パターンの方がやや呼吸を合わせやすいことがわかった。主観申告からは、全員が 1 回目よりも 2 回目の方が呼吸を合わせやすかったと答えた。

また、リラックス度は PR と PLA の結果を合わせると、呼吸誘導パターンによる差は見られなかったが、1 回目において前半より後半の方がリラックスする傾向が見られた。こ

れは1回目の後半に呼吸誘導に慣れてきてリラックスしたと考えられる。PRはやや2回目の方がリラックスしていたので、2回目は1回目後半からの慣れをそのまま引き継ぎ、ずっとリラックスしていたと考えられる。主観申告からは、1回目でもリラックスしたが、2回目の方がさらにリラックスしたと答えた子どもが多かった。

これらの結果より、呼吸の合わせやすさもリラクゼーション効果も生理面・心理面ともに順序効果が大きいことがわかった。呼吸の合わせやすさは生理面において一定パターンを支持する結果が出たが、これは漸増パターンの誘導周期の延長方式が速過ぎて合わせるのが難しかった可能性が考えられる。

当初は漸増パターンの方が呼吸を合わせやすく、かつリラックスしやすいという仮説を立てていたが、仮説通りの結果にはならなかった。呼吸の合わせやすさとリラクゼーション効果ともに順序効果が大きかったということは、呼吸誘導パターンの違いよりも、取り組みを何回も繰り返すことで呼吸が合わせやすくなり、リラックスを促せるようになると考えられる。子どもに何度も利用してもらうことが重要な要素となるのであれば、負担なく利用回数を増やせるように工夫をし続ける必要がある。呼吸誘導パターンに関しては、漸増パターンの誘導周期の延長方式が速過ぎたのであれば、「呼吸周期が誘導周期と一致していたら誘導周期を延ばす」というように、各人のペースに合わせて誘導周期が変動する方式にすることで、呼吸がより合わせやすくなる考えた。また、2.4より子どもが最もリラックスする呼吸周期は個人ごとに異なる可能性があり、呼吸誘導における呼吸周期はその子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始めるのが適当であることが示唆されているので、最終的に開発する呼吸誘導装置では、「その子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始め、各人の呼吸能力に合わせて誘導周期が変動しながら、最も呼吸を合わせやすくリラックスする呼吸周期へと導くアルゴリズム」を採用することにした。

3.4 まとめと課題

第3章では、クマのぬいぐるみの腹部が一定リズムで上下するプラスチック製の可動部を用いた呼吸誘導装置を試作し、子どもが呼吸誘導されるか、また、年齢や性別によって呼吸誘導のされやすさに差があるかを調べた。健常児48名を対象に試作した呼吸誘導装置を用いて実験を行った結果、呼吸誘導のされやすさには個人差があり、6歳以下では呼吸誘導されにくく、女子の方が男子よりもやや呼吸誘導されやすいことがわかった。また、子どもたちはリラックス度や呼吸の合わせやすさに関して、自分の状態を客観的に把握で

きていない可能性があることが考えられた。

また、誘導する呼吸周期が徐々に長くなっていく漸増パターンと最初から一定の呼吸周期で誘導する一定パターンとではどちらの方が誘導されやすいかを健常女児8名を対象に調べたところ、生理指標では一定パターンの方がやや呼吸を合わせやすかったものの、生理・心理ともに順序効果として1回目よりも2回目の方がリラックスし、呼吸を合わせやすいことがわかった。よって、呼吸誘導パターンよりもどのようにしたら快適で負担なく利用回数を増やせるかを考える必要があることがわかった。

そして、そのためにも呼吸誘導においては、一律に誘導周期を変化させたり一定に保ったりなど強制的に誘導周期を変えるのではなく、リラックス度や呼吸の合わせやすさの状態を調べながら、各人のペースに合わせて誘導周期を変化させていくことが望ましいと考えられた。よって、今後装置を改良する際は、そういったアルゴリズムを実装することを検討している。

第4章 子どものリラクセーションに適した呼吸周期の基礎的検討

4.1 目的

第2章の実験結果より、子どもは各個人によって生理心理的にリラックスする呼吸周期が異なり、第3章の実験結果より、子どもの年齢や性別により呼吸誘導のされやすさが異なることがわかった。しかし、子どもにとって最もリラックスする呼吸周期は明らかにならなかった。そこで、子どもにとって最もリラックスする呼吸周期を調べることにした。

以下に詳述するが、心拍変動バイオフィードバック（以下、HRV-BF）の分野では心拍変動（Heart Rate Variability：以下、HRV；【付録】用語説明 1.2.1 参照）が最大となる呼吸周期を共鳴周波数（Resonance Frequency：以下、RF；4.1.1.1に詳述）と呼び、RFの呼吸周期で呼吸を続けると、自律神経を介在した慢性病の改善や不安・緊張の緩和に効果的であるといわれている。RFは成人では9～13 sの間にあり、個人によって異なるとされている。また、RFではHRVと収縮期血圧（Systolic Blood Pressure：SBP；【付録】用語説明 1.4参照）の位相が180°になるとされている。成人のRFについては調べられているが、子どものRFは調べられていない。

本章では子どものRFを同定し、それが年齢や体格と相関があるか、子どもにとって最もリラクセーションを促すものであるかを調べた実験について述べる。

4.1.1 心拍変動バイオフィードバック（Heart Rate Variability Biofeedback：HRV-BF）

心や身体の機能を回復・向上させる方法の一つにバイオフィードバック療法（Biofeedback Therapy：以下、BFT）がある。BFTは身体の生理学的指標を機器でモニタリングしながら改善をねらう療法で、生理学的指標としては脳波や心電図、筋電図、皮膚温などを用いる。その心電図（以下、ECG；【付録】用語説明 1.2 参照）の中でも心拍（Heart Rate：以下、HR）の揺らぎ成分であるHRVを指標に用いたBFTとしてHRV-BFがある[26]。HRVと呼吸には以下に示すような関係性があるので、HRV-BFはその性質を利用した呼吸法の一つであるといえる。

4.1.1.1 共鳴周波数（Resonance Frequency：RF）

Vaschilloら[15, 39]とLerherら[40]は0.1 Hzで呼吸をしたときに、呼吸と心拍の変動が0°の位相で、心拍と血圧の変動が180°の位相で共鳴するので、HRVの振幅も最大になると説明している。そして、この呼吸と心拍、血圧の変動が最大の共鳴を生じる呼吸周期

を共鳴周波数 (Resonance Frequency : RF) と呼んでいる。しかし、既存研究の中には、HRV の振幅が最大となるのは 5-6 cpm (約 0.08-0.1 Hz) のときであるが、その時の呼吸と心拍の変動の位相は 90° である [41] としているものや、HRV の振幅は呼吸周期のみならず、呼吸の深さにも影響を受けており、呼吸が深いほど HRV の振幅が大きくなるという報告がある [42]。

Vaschillo ら [15] と Lerher ら [40] は共鳴周波数の発生メカニズムの仮説を述べるに当たって、はじめに心拍と血圧は何らかの刺激によって心拍が反応すると、圧反射 (Baroreflex: 以下, BR ; ※ 注 4 参照) の存在により、約 5 s の遅れで血圧が反応すると仮定している。

もし生体内に BR が存在しなければ、ある刺激 (例: 短く息を吸う) に反応して心拍が上昇してもその上昇に伴う心拍変動の振幅はすぐに減弱し、5 s 後に血圧は上昇するが血圧変動の振幅も同様に減弱する (Fig. 4.1 [31])。

しかし BR が存在すると、ある刺激に反応して心拍が上昇してから 5 s 後に血圧が上昇し、BR が作動する。その結果、ただちに心拍数と血管緊張が減少し、5 s 後に血圧が下降する。次の刺激がなければ、心血管系は徐々に減弱する振幅を繰り返しながら平常状態へ戻っていく (Fig. 4.2 [31])。

ここで BR が存在し、ある刺激が「呼吸」だった場合を考えてみると、呼吸が 0.1Hz (呼吸周期約 10 s : 6cpm) のときに、Fig. 4.3 のような減弱が起こることがなく安定的で大きな振動が心血管系に引き起こされる [31]。この状態が継続される呼吸周期を Vaschillo らは RF と呼んでいる。

健常成人を対象とした研究により、RF は厳密には 0.1Hz とは限らず、個人差があり 0.075-0.117Hz (呼吸周期約 8.6-13.3 s : 4.5-7cpm) の範囲にあるといわれている [26]。RF は性別によって異なり、女性の方が RF の呼吸は速い [=周期が短い] とされている。また、RF と身長とは逆相関し (高身長の方が RF の呼吸は遅い [=周期が長い] ($r=-0.6$, $p<0.0001$)), 年齢と体重は相関しない (RF と年齢の相関係数 $r=-0.01$, $p<0.9$, RF と体重の相関係数 $r=0.02$, $p<0.82$) とされている [43]。しかし、子どもの RF については調べられていない。

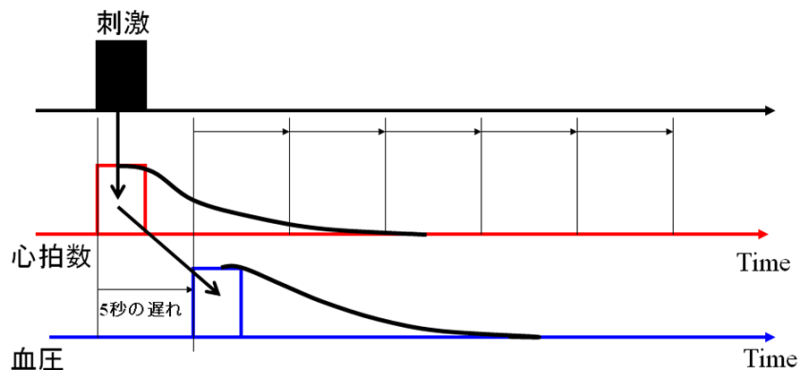


図 4.1 刺激に対する心拍と血圧の反応 ([31]を改変)

Fig. 4.1 Responses of heart rate and blood pressure against a stimulus.

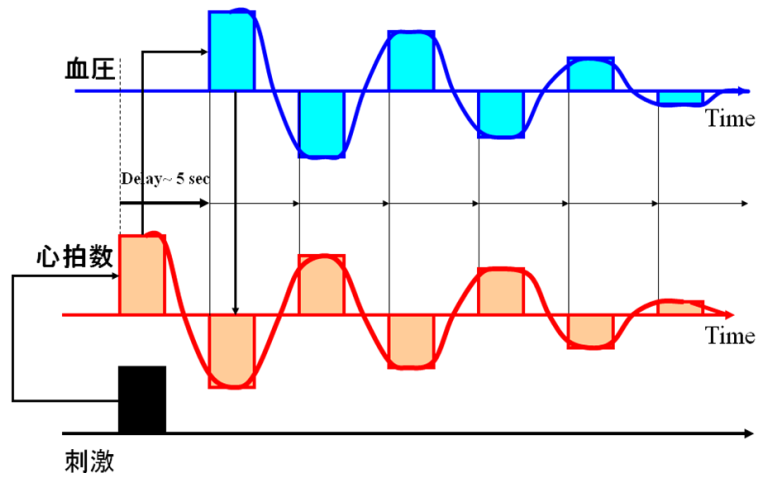


図 4.2 刺激に対する心拍と血圧の反応 [圧反射あり] ([31]を改変)

Fig. 4.2 Responses of heart rate and blood pressure against a stimulus with baroreflex.

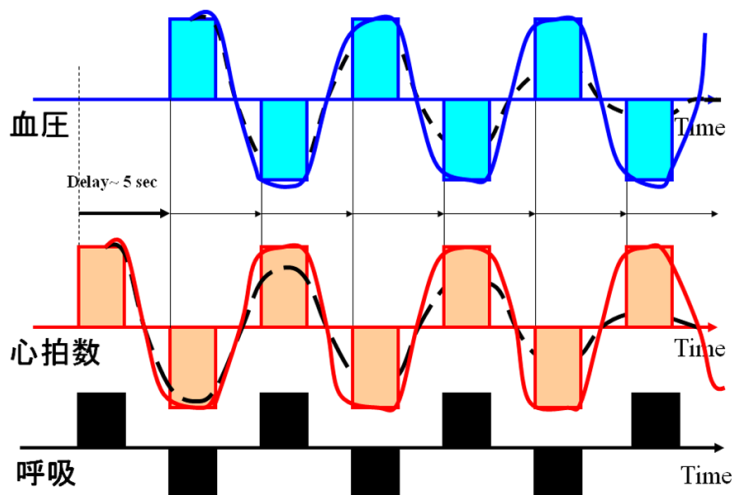


図 4.3 リズミカルな呼吸刺激による心拍と血圧の変動 ([31]を改変)

Fig. 4.3 Variability of heart rate and blood pressure against rhythmic respiration.

【※ 注 4 圧反射とは？】

圧反射（圧受容器反射とも呼ばれる）とは圧受容器（Baroreceptor）と自律神経を介して血圧を一定の範囲に保つ反射機能である。圧受容器は血圧の変動を感知し、もし血圧が高い状態であれば脳を介して心拍数を低下させながら、同時に血管を拡張させて緊張を緩めようとする。ここで、心拍数の反応は数秒の内に起こるが、血管が弛緩して血圧が下降するまでには何秒かの遅れが生じる。上述の約 5 s の血圧の遅れは Vaschillo らの実験 [15] によると、5 名を対象とした実験で個人差はあるが、RF が 9~18 s だったため、心拍変動に伴う血圧変動の遅れはその半分である 4.5~9 s にあるとした。その他の研究 [40, 44] で RF は 10 s 前後の人が多くことから、概ねその半分である 5 s が心拍変動に伴う血圧変動の遅れであるとしたことが根拠となっている。

しかし、これは心拍変動をもたらす「呼吸」という外乱から血圧のフィードバック系が線形的に反応するという考え方である。HRV の約 0.1 Hz（10 秒周期）の成分の発生メカニズムの考え方には他にも様々なモデルが存在し、それらでは「呼吸」のみならずいくつかの外乱があって、それらの外乱に対し線形的のみならず、複合的に血圧のフィードバック系が反応すると想定している [45]。これらのモデルに従うと、心拍変動に伴う血圧変動の遅れは単純に呼吸周期を半分にしたものではないと考えられるので、圧反射の挙動に関しては今後生理学的な検証が望まれる。

4.1.1.2 HRV-BF の手順

以上の理論を背景に築き上げられたのが、心拍変動バイオフィードバック（HRV-BF）である。基本的には各人の RF（呼吸周期約 8.6-13.3 s : 4.5-7cpm）を見つけ、その呼吸周期で呼吸をする練習を 4~10 セッション行う内容となっている。

Fig. 4.4 に、HRV-BF のプロトコルの詳細を記す [40]。このプロトコルを 4.2 の実験において RF を同定する際の参考とした。

4.1.1.3 HRV-BF の効果

1.2.3 と重複するものが多いが、HRV-BF を行うことにより、圧反射感度（Baroreflex sensitivity : BRS）の改善 [15] や健常人の不安軽減ならびに睡眠の質の改善 [24] に加え、心疾患、喘息、PTSD（心的外傷後ストレス障害）、大うつ病、繊維筋痛症、慢性心不全群、高血圧といったストレス要因が強く影響すると考えられる疾病の改善に一定の成果を上げている。

具体的には、心疾患への適用では致死率の低下が示唆され[16]、喘息への適用により肺機能の改善と投薬量の減少が見られ[17]、PTSD への適用においては、うつ状態と PTSD の症状の軽減ならびに不眠症の改善傾向をもたらした[5]、大うつ病への適用ではうつ状態が 50 %以上低減したり[18]、うつ状態と不安状態の低減ならびに心拍数が減少したり[19]、繊維筋痛症への適用では痛みの低下およびうつ状態と睡眠状態の改善が認められ[20]、過呼吸の傾向がある慢性心不全群[21]ならびに本態性高血圧症[22]や前高血圧症[23]の患者への適用においては血圧の低下と BRS 改善の効果が認められたといった事例が報告されている。

セッション1 ～ 共鳴周波数 (RF) の決定 ～

クライアントに HRV-BF の理論を簡単に伝えた後、モニター上に心拍と呼吸の変化がリアルタイムで表示されるバイオフィードバックのパソコンソフトを使用して、6.5～4.5 回/分のペース呼吸をペース信号(呼吸誘導の映像や音)に従って各2分ずつ、0.5 回/分ずつ呼吸周期を変化させながら行ってもらおう。それらの試行の中で、

- 心拍変動 LF (【付録】1.2.1 を参照) のスペクトルピークが最大となる、平均レベルが最も高い
- ペース呼吸下でスムーズな心拍数の波が観察される、心拍のピークと谷の差(振幅)が最も大きい
- スmoothな心拍の曲線と単純なスペクトルピークがみられる
- 呼吸と心拍が同期する、Internal coherence (内部一貫性) が高い

ことを指標として、最も当てはまる呼吸周期を RF として決定する。

その後、RF の呼吸周期でのペース呼吸を腕時計やペース信号を使用しながら練習させる。

【自宅での練習プロトコル】

RF が決定したら、自宅では RF の呼吸周期でのペース呼吸を1日2回、20分ずつ行うよう指示する。

セッション2 ～ RF でのペース呼吸 ～

最初に前回決定した RF でのペース呼吸を、1. リラックスしてお腹で呼吸する、2. 鼻から息を吸って、口をすぼめて吐く、3. 吸う息より吐く息を長くする、4. 頑張らない

ことに注意しながら呼吸誘導に従って数分間クライアントに行ってもらおう。これらは RF のペース呼吸で気持ちよく快適に呼吸し、過呼吸の症状を起こさないようにするために促す。

その後、ペース信号を止め、バイオフィードバックのパソコンソフトを使用して、心拍変動が最大となるように自発的に呼吸をするようにクライアントに伝える。RF が変化した場合は、今後その RF を採用する。横隔膜を上下させる腹式呼吸や鼻から息を吸って口をすぼめて吐くこと、吐く息を長くすることができていない場合はその方法をクライアントに教える。

セッション3 ～ より注意点を意識した RF でのペース呼吸 ～

セッション2と同様の手続きを行う。より心地よく楽に快適に呼吸するようにクライアントに促す。また、腹式呼吸や鼻から息を吸って口をすぼめて吐くこと、吐く息が長くなっていることを確認する。

セッション4～10 ～ さらなる RF でのペース呼吸 ～

セッション3と同様の手続きを行う。クライアントがより自然に、自動的に RF でのペース呼吸ができるようになるのを目指す。一般的にセッションは4回で完了するが、クライアントの様子を見て、必要であれば回数を増やす。クライアントは日常生活で継続して練習することが求められる。

図 4.4 HRV-BF のプロトコル

Fig. 4.4 Protocol of HRV-BF.

4.2 実験 ～ 子ども（幼児・児童）のRF同定（子ども10名対象）～

4.2.1 方法

4.2.1.1 実験参加者

保護者より文書によるインフォームド・コンセントを、本人よりインフォームド・アセントを得た5～12歳の健常児10名（男児4名，女児6名）を対象に実施した．この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号 2013-13）．参加者の身体的な特徴を Table 4.1 に示す．

表 4.1 実験参加者の身体的特徴
Table 4.1 Physical characteristics of participants.

| Characteristic | Participant No. | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Age (y) | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Sex | F | F | M | M | F | F | M | M | F | F |
| Height (cm) | 106 | 116 | 114 | 128 | 130 | 117 | 131 | 132 | 144 | 144 |
| Weight (kg) | 16 | 18 | 20 | 30 | 30 | 23 | 26 | 28 | 33 | 31 |

F: Female, 女性; M: Male, 男性

4.2.1.2 実験手続き

実験を通じ，参加者の心電図（以下，ECG）と連続血圧（以下，BP），脈波，呼吸波形を計測した．ECG は参加者の胸部および腹部に電極をつけて計測し，データは生体信号アンプ（Polyam4，ニホンサンテック）を用いて増幅した．BP は左手の中指（または親指）にカフを装着して，携行型連続血圧測定器（Portapres Model-2，フィナプレス メディカル システムズ BV）を用いて計測した．脈波は左手の人差し指の指先に光電式脈波ピックアップ（Polypul，ニホンサンテック）を装着して計測し，呼吸波形は腹部に呼吸ピックアップ（TR-751T，日本光電）を装着して計測した（Fig. 4.5）．

はじめに閉眼安静状態（60 s）の生理指標を測定した．次にパソコンの画面上で動く呼吸誘導プログラムを使用して，誘導周期（LP）の異なる呼吸誘導を参加者ごとに6～7試行ずつ実施した．各試行において，参加者にパソコン画面上で2分間一定の誘導周期で吸ったり吐いたりするクマのキャラクターの動きに合わせて呼吸するよう指示した．誘導周期は

各参加者の年齢や呼吸能力に応じて5 s から 13 s の間で設定し、カウンタバランスをかけた。試行が始まってから5 s 後にクマのキャラクターは参加者の呼吸を誘導し始め、誘導する吸気：呼気の割合は1：2とした。全試行終了後、再度閉眼安静状態で60 s、参加者の生理指標を測定した。実験開始前と各試行終了後に、「呼吸の合わせやすさ」を3.2.1.2と同様の7段階評定のアンケートで評価させた。また、リラックス度を「心身の落ち着き度」として、「ドキドキした(1)」から「ゆったりした(7)」までの7段階で評価させた。



図 4.5 実験風景（センサを装着した参加者）
Fig. 4.5 Scene of an experiment (a participant with sensors).

4.2.1.3 データ解析

すべての生理指標はMATLABを使用したプログラムで解析した。ECGから平均心拍（以下、HR）と心拍変動の振幅（以下、HRV）を算出した（Fig. 4.6）。BPから収縮期血圧（以下、SBP）と収縮期血圧変動の振幅（以下、SBPV）を算出した。脈波から脈波高（以下、PLA）を算出し、呼吸波形から各呼吸の呼吸周期（以下、RP）と吸気・呼気の開始時間を算出した。また、RPとLPから3.2.1.3と同様の方法で同期率を算出した。

4.2.2 結果

4.2.2.1 共鳴周波数の検証

Table 4.2 に参加者 10 名の各誘導周期における HRV の中央値と SBPV の最大値との関係

を示す。

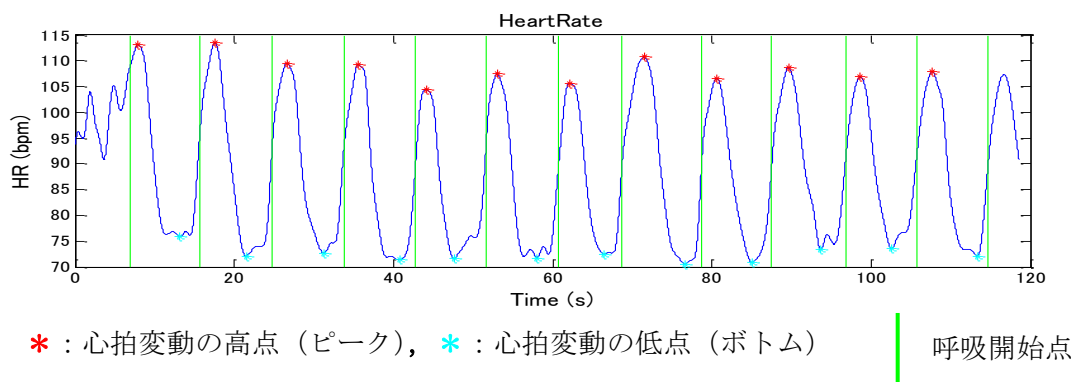


図 4.6 心拍変動の解析の一例

Fig. 4.6 Example of HRV analysis.

表 4.2 各誘導周期における心拍変動振幅の中央値

Table 4.2 Median of heart rate variability of each respiration-leading period.

| No. | Respiration-Leading Period (LP) | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 12.8 | 19.5 | 18.8 | 17.3 | 18.0 | 21.1 | | | |
| 2 | 39.1 | 37.8 | 37.0 | 36.9 | 36.0 | 42.6 | | | |
| 3 | 14.9 | 16.6 | 14.0 | 16.2 | 15.9 | 16.0 | 20.2 | | |
| 4 | 17.9 | 24.2 | 29.0 | 34.8 | 34.1 | 36.2 | 37.9 | | |
| 5 | 23.9 | 18.1 | 22.3 | 24.1 | 28.3 | 31.6 | 31.0 | | |
| 6 | 23.7 | 24.4 | 27.9 | 29.5 | 29.8 | 29.2 | 33.0 | | |
| 7 | 14.7 | 20.3 | 18.9 | 27.4 | 30.7 | 34.6 | 30.8 | | |
| 8 | 24.6 | 25.5 | 28.2 | 29.9 | 29.5 | 34.5 | 34.9 | | |
| 9 | | 12.9 | 12.2 | 15.5 | 13.2 | 20.6 | 23.0 | 19.0 | 16.1 |
| 10 | | 24.1 | 25.8 | 27.5 | 35.9 | 31.4 | 35.9 | 36.1 | 35.5 |

Units: beats per minute; Red numbers: the LP with the highest HRV (RF);

blue numbers: the LP with the second highest HRV, which is >97% of the highest value;

Orange cells: the LP with the highest SBPV for a participant;

Yellow cells: the LP with the second highest SBPV for a participant.

赤色 : HRV が最大の LP (RF), 青色 : 2 番目以降ではあるが最大 HRV の 97% 以上の LP,
 単位 : bpm, オレンジ色のセル : SBPV が最大の LP, 黄色のセル : SBPV が 2 番目に最大の LP

HRV が最大となったのは、LP が 10 s のときに 4 名、11 s のときに 5 名、12 s のときに 1 名という結果になった。3 名 (Nos. 5, 8, 10) においては HRV の最大値が隣接する LP の HRV の値とほぼ同じ値となった (以下、HRV が最大となった LP (Table 4.2 の赤字の LP) を共鳴周波数 (以下、RF) と記す)。

年齢・身長・体重と RF との相関係数を調べたところ、年齢と RF の相関係数は $r=0.616$ 、身長と RF の相関係数は $r=0.513$ 、体重と RF の相関係数は $r=0.498$ であった。RF は年齢との相関には有意傾向が見られた ($p<0.1$ [n=10]) が、身長・体重とは有意相関は見られなかった。

Fig. 4.7 に呼吸誘導が成功した際の HR, 呼吸 (Resp), SBPV の一例を示す。それぞれの図は各生理指標を LP の吸気開始点で切り分けて、重ね書きしたものである。RF においても、HR と SBP の波形の位相は完全に 180° とはならなかった。7 歳以下の子どもは指が細すぎたため、カフによる BP 計測ができなかった。HRV と SBP の振幅の最大値は、BP が計測できた 8 歳以上の子どもたち 6 名のうち 2 名が同じ LP で最大となり、3 名が SBP の振幅が 2 番目に最大となった LP で HRV が最大となった。

4.2.2.2 同期率

Table 4.3 に 9 名の各 LP における同期率を示す。No. 8 は呼吸波形を見ると、呼吸誘導装置に合わせて呼吸はできていたが、吸気と呼気のタイミングが逆になっていたために同期率が正確に算出できなかったので表から除外した。表全体の同期率の平均は 51.1%だったので、51.1%より同期率が低かった試行を不適合の試行とみなし、表では青色で示している。

5~6 歳の子どもたち (Nos. 1-3) は 7 s 以上の LP に呼吸を合わせることができなかった。7~9 歳の中のほとんどの子どもたち (Nos. 4-7) は 9~11 s の LP において呼吸を合わせるのが難しかったことが見られた。11 歳以上の子どもたち (Nos. 9 & 10) はすべての試行において呼吸を合わせることができた。

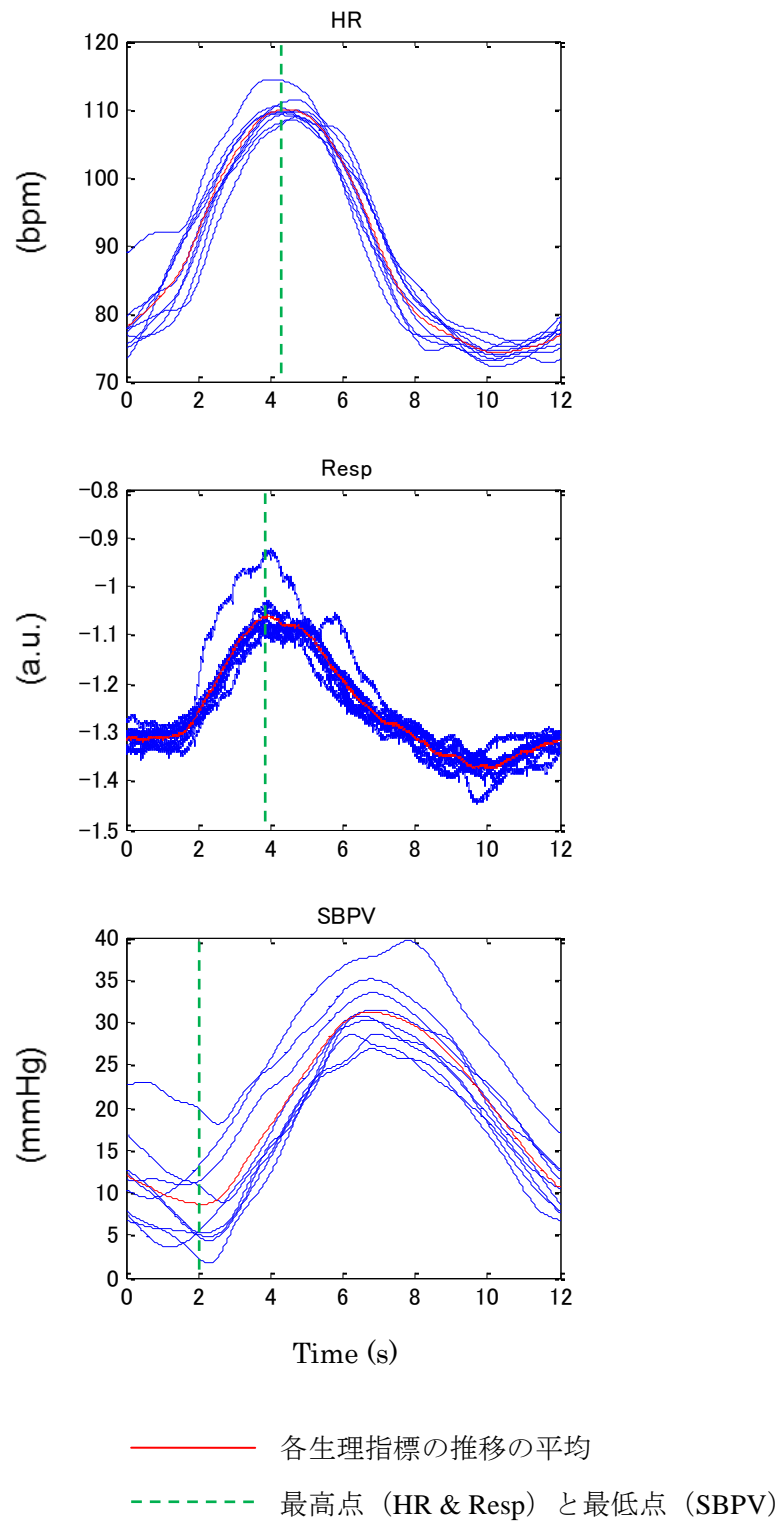


図 4.7 共鳴周波数 (RF) における呼吸誘導の一成功例 (No.10)
 Fig. 4.7 Example of a successful case of respiration-leading at RF. (No.10)

表 4.3 各 LP における同期率

Table 4.3 Overlap ratios for each respiration-leading period.

| No. | Respiration-Leading Period (LP) | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 72.6 | 56.3 | 23.7 | 16.8 | 14.7 | 12.6 | | | |
| 2 | 59.9 | 67.8 | 44.2 | 40.4 | 32.1 | 43.1 | | | |
| 3 | 66.1 | 54.0 | 47.3 | 35.0 | 21.2 | 31.3 | 22.0 | | |
| 4 | 29.2 | 38.2 | 33.7 | 38.1 | 53.0 | 18.0 | 10.2 | | |
| 5 | 55.7 | 63.1 | 73.1 | 70.4 | 67.4 | 53.5 | 61.5 | | |
| 6 | 46.8 | 51.1 | 53.7 | 60.7 | 50.4 | 37.9 | 43.4 | | |
| 7 | 73.8 | 70.3 | 75.0 | 74.7 | 56.1 | 58.7 | 43.7 | | |
| 9 | | 68.1 | 81.3 | 81.6 | 82.0 | 65.0 | 54.1 | 63.1 | 60.0 |
| 10 | | 52.3 | 49.8 | 59.1 | 66.5 | 61.5 | 70.1 | 60.1 | 75.4 |

Units: Percent; Blue numbers: LP lower than 51.1 %.

単位：%，青字：同期率が平均（51.1 %）以下の LP

4.2.2.3 主観申告

Table 4.4 に呼吸誘導後のリラクセス度を 7 段階評定した主観報告の結果を示す。7 点は呼吸誘導後に「リラクセスしている」ことを示し、1 点は「緊張している」ことを示す。HR が最低となった LP と、PLA が最高となった LP を、生理的に最もリラクセスした LP として仮定したが、それらはほとんどの子どもたちにおいて RF (Table 4.4 の赤枠) とは異なっていた。また、生理的に最もリラクセスした LP が他の LP に比べて最もリラクセスしたと答えたのは 2 名 (Nos. 8&9) だけだった (Nos. 2, 3, 10 はすべて同じ回答だったので対象から外した)。しかし、No. 8 は 6 試行中 4 試行において最高点を回答し、その最高点も 4 点と低かったため、実質的には No. 9 の 1 名だけであったといえる。

表 4.4 リラックス度の 7 段階評定の主観申告

Table 4.4 Subjective rating of relaxation.

| No. | Respiration-Leading Period (LP) | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 4 | 7 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | |
| 2 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | | | |
| 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| 4 | 7 | 7 | 4 | 7 | 4 | 1 | 4 | | |
| 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 6 | 5 | 6 | | |
| 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 5 | | |
| 7 | 4 | 6 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | | |
| 8 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | | |
| 9 | | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 10 | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

Units: Points (scale of 1-7); Red frame: the LP with the highest HRV for a participant (RF);

Green cells: The most relaxing LP, determined by HR or both HR and PLA, for a participant;

Blue cells: The most relaxing LP, determined by PLA, for a participant.

赤枠: HRV が最大の LP (RF), 緑色のセル: 最もリラックスした LP (指標: HR と PLA または HR のみ),

青色のセル: 最もリラックスした LP (指標: PLA のみ), 単位: 点 (7 段階評価)

Table 4.5 に呼吸誘導への呼吸の合わせやすさを 7 段階評定した主観報告の結果を示す。7 点は呼吸誘導に「呼吸を合わせやすかった」ことを示し、1 点は「呼吸を合わせにくかった」ことを示す。RF (Table 4.5 の赤字) において呼吸を合わせられたと考えられる 5 点以上を回答した子どもは 10 名中 3 名いたが、3 名ともすべての LP において同じ回答をしていた。RF において 4 点を回答した子どもが 3 名いたが、No. 1 はすべての LP において同じ回答をし、No. 7 と 10 の 2 名は RF よりも他の LP において 5 点以上の回答をしている。よって、他の LP に比べて RF が最も呼吸が合わせやすかったと回答した子どもはいなかったということになる。

表 4.5 呼吸の合わせやすさの主観申告

Table 4.5 Subjective rating of ease in following respiration-leading.

| No. | Respiration-Leading Period (LP) | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 4. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | |
| 2 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | | | |
| 3 | 6 | 4 | 4 | 4 | 2 | 5 | 1 | | |
| 4 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 | 1 | 1 | | |
| 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | | |
| 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | | |
| 7 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 1 | | |
| 8 | | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | | |
| 9 | | 7 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 10 | | 3 | 4 | 4 | 6 | 5 | 7 | 4 | 2 |

Units: Points on a scale of 1-7;

Red numbers: the LP with the highest HRV for a participant (RF).

単位：点（7段階評価），赤字：個人内でHRVが最大のLP（RF）

4.2.3 考察

健常児 10 名の調査により，子どもの RF は 5~6cpm（10~12 s 周期）の範囲内にあることがわかった．成人の RF は 4.5~7cpm（約 9~13 s 周期）の範囲内にあるので，本研究の結果から子どもの RF は成人のものと同様であることが明らかになった．成人では RF は個人によって異なり，身長と相関がある [43]，とされていたが，本研究においては年齢と RF に有意傾向の相関が見られたものの，身長と RF には有意な相関は見られなかった．HRV の振幅は一回換気量に比例する [42] ので，一回換気量の影響は否めない．子どもたちは全員，呼吸誘導装置による長い LP の呼吸誘導においても呼吸を合わせようと試みたため，それらの LP における子どもたちの一回換気量は大きくなったように見えた．

子どもの RF であると考えられる HRV が最大となった LP においても HRV と SBPV の位相は完全に 180° とはならなかった．これは呼吸誘導における吸気：呼気の割合が既存研究においては 1：1 であったのに対し，本研究では 1：2 を採用したのが原因である可能性が

あるが、それ以外にも解析方法の違いも一因として考えられる。

同期率の結果をみると、6歳以下の子どもたちは7 s以上のLPに呼吸を合わせることができず、7～9歳（No. 5を除く）の子どもたちは9～11 s以上のLPにおいて呼吸を合わせるのは難しかったが、11歳以上の子どもたちはすべての試行のLPに呼吸を合わせることができた。これまでの研究より、年齢によって呼吸能力が異なることはわかっていたが、本研究より各年齢で何秒のLPまで合わせることができのかが個人差はあるものの大筋明らかになった。

主観申告の結果をみると、6歳以下の子どもたちはリラックス度においても呼吸の合わせやすさにおいても、自分の生理状態の変化を主観的に正確に評価することができていなかった。また、10歳以下の子どもたち（Nos. 2&5を除く）は生理指標においてリラックスしていると判定されたLPにおいて、リラックスしたとは感じていなかった。さらに、生理的に最もリラックスしたLPが他のLPに比べて最もリラックスしたと答えたのは1名だけだった。よって、これまでの研究と同様に、子どものリラックス度や呼吸の合わせやすさを調べる時は、子どもは自分自身の生理的な変化を客観的に把握できていない可能性があるため、生理指標の計測を基に評価する方がよいことが示された。

それと、RFが他のLPに比べて最もリラックスしたと答えた子どもも、最も呼吸が合わせやすかったと回答した子どももいなかった。さらに、RFにおいて、5名の子どもたちは「リラックスしなかった（4点以下）」、7名の子どもたちは「呼吸が合わせにくかった（4点以下）」と答えた。これらの結果より、RFは子どもたちにとってリラックスするわけでもなく、呼吸が合わせやすいわけでもないLPであることがわかった。

本研究の結果より、最もリラックスし、快適に呼吸ができる呼吸周期はRFとは異なることが示唆された。このことから、その呼吸周期はHRVではなく、心拍やPLA、同期率といった他の指標で調べる必要がある。

4.3 まとめと課題

第4章では、子どもにとって最もリラックスする呼吸周期を調べた。成人を対象とした既存研究では、心拍変動の振幅が最大となる約10 s周期（6cpm）のリズムで呼吸を続けることで自律神経を介した慢性病が改善するといわれている。そこで、10名の健常児を対象に心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期を調べたところ10～12 sであり、成人を対象とした既存研究の結果である9～13 sの範囲内であった。主観的なリラックス度と呼吸の合わせやすさを調べたが、心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期において、リラクセーション

も呼吸の合わせやすさも感じていなかった。よって、最もリラックスし、快適に呼吸ができる呼吸周期は心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期とは異なることが示唆された。

以上より第2章と同様に、子どもが最もリラックスし、快適に呼吸ができる呼吸周期は各人によって異なると考えられた。そこで呼吸誘導は第3章の知見も考慮して、子どもの安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始め、呼吸誘導中に子どものリラックス度や呼吸の合わせやすさを調べながら、徐々にその子が最もリラックスし、快適に呼吸ができる呼吸周期へと導いていくのが適当であると考えた。よって、以降の装置改良の際には、そういったアルゴリズムを採用することにした。

第5章 呼吸誘導ぬいぐるみ装置の開発と評価

5.1 目的

第3章において、呼吸誘導ぬいぐるみの試作品を作成して子どもへの受容度をしらべたところ、呼吸誘導がなされることがわかったが、試作品はぬいぐるみに内蔵された呼吸誘導のための可動部がプラスチックでできていたため、感触が硬かった上、呼吸周期を測定するために呼吸センサを別途装着する必要がある。それらの課題を解決するために、呼吸誘導のための可動部と呼吸計測にエアバッグを用い、呼吸誘導ぬいぐるみに内蔵したものを開発することにした。

また、第4章(4.2)の結果より、子どもの心拍変動が最大となる呼吸周期は成人と同様に10-12sのときに最大となったが、大半の子どもにとっては10s以上の呼吸周期に合わせて呼吸するのは難しく、リラックスする呼吸周期と心拍変動が最大となる呼吸周期は異なるのではないかと考えられた。よって、装置の開発においては従来のもののよう目標とする呼吸周期を設定せずに、その子に合ったペースで徐々に長い誘導周期に慣れていけるようなアルゴリズム、すなわち呼吸誘導にうまく呼吸を合わせられたら呼吸周期が長くなる方式[29]を採用することにした。

3.1でも述べたが、本研究を進めている間に類似の製品が日本の株式会社タカラトミーアーツより2012年に発売された。「ハグ&ドリーム・ミニーマウス」(成人女性向け)と「おやすみグーグーフレンズ・くまのプーさん」(幼児向け)という入眠促進を目的とした呼吸誘導ぬいぐるみである。腹部に内蔵された呼吸誘導装置はプラスチック製であり、誘導周期は5sのまま一定で続き、15分で動きが自動的に止まるというものである。これらは呼吸センサやバイオフィードバック機能のない装置である。これらに比べ、提案する装置はエアバッグを用いているところ、呼吸センサが内蔵され、子どもの呼吸の状態を把握しながら無理のないように誘導周期を延ばしていくところが新しい点である。

他にも呼吸誘導ではないが、人間型クッション「ハグビー」を抱きながら電話すると、抱かない場合に比べてストレスの指標であるコルチゾルが有意に減少したという報告がある[46]。クッションを抱くときの姿勢とクッションの感触の2つの要素にリラックス効果があると考えられており、我々の装置でもこういったリラックス効果が期待できる。他にも呼吸誘導ではないが、入院中の子どもの呼吸を親が遠隔で感じられる呼吸伝達装置が考案されている[47]。子どもの腹部または胸部の呼吸センサから得た呼吸にシンクロした動きをステップモータにより上下に動く親のクッションに伝えるものである。また、柔

らかい感触を伝えるものとして、エアークッションの枕を用いて頭の動きを相手に伝達するデバイスが考案されている[48]。エアークッションを用いる利点として、安全、軽量、カスタマイズの容易さなどが挙げられている。

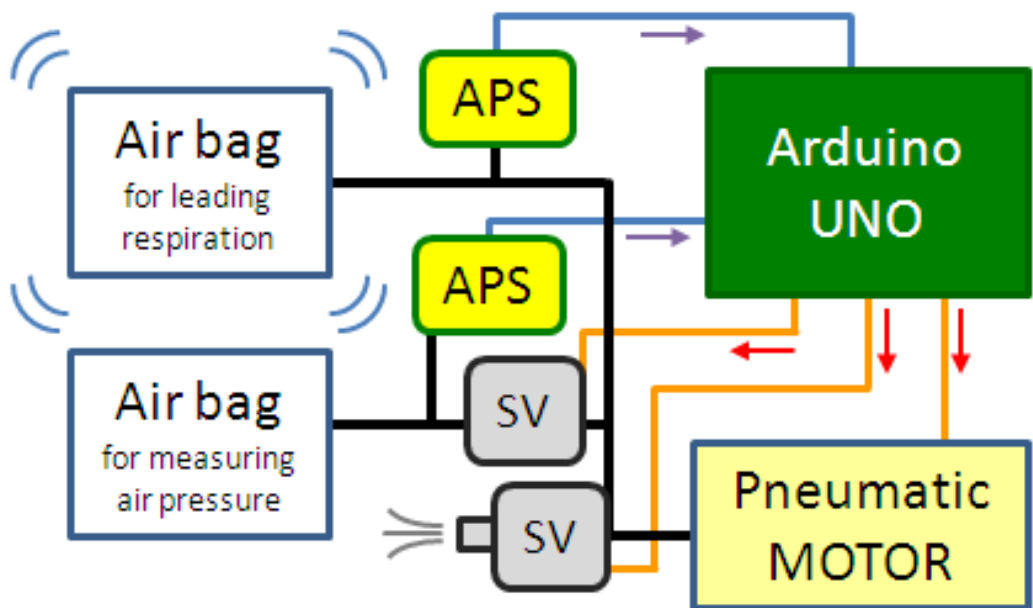
開発した装置は、1) 第2章・第3章で使用した試作品のように腹部が機械式で上下するものではなく、エアバッグの膨縮によりぬいぐるみの腹部を上下させて呼吸誘導を行い、2) エアバッグの圧力変化を検出することで呼吸計測を行うため、センサ装着が不要で、3) 子どもの呼吸周期の変化に合わせて徐々に誘導周期を変化させていく機能を付加したところが新しい点である。本章では、新たに開発した装置（試作品）について詳述し、装置による呼吸計測の精度と、呼吸誘導時にどの程度呼吸誘導が促されたかについて述べる。

5.2 呼吸誘導装置の開発

5.2.1 装置の構成

呼吸誘導の可動部は、エアバッグ [大きさ：約 115×85×10-50mm]、圧力センサ (CQ30A-G102, MKT タイセー) と電磁弁、コンプレッサ (空気モータ : AJK-B2701, Xiamen AJK Technology) で構成され、このエアバッグ (以下、可動部) をぬいぐるみ (リラックマくったりぬいぐるみ (L) [大きさ：約 560×360×140 mm], サンエックス) の腹部内の前面上側に内蔵した。また、呼吸計測のセンサは、別の同じ大きさのエアバッグに圧力センサと電磁弁、コンプレッサで構成され、このエアバッグ (以下、エアバッグセンサ) をぬいぐるみ腹部内の前面下側に内蔵した。圧力センサからの信号受信ならびに電磁弁とコンプレッサの制御をマイクロコントローラ (Arduino Uno, Smart Projects: 以下、マイコン) で行い、呼吸誘導の制御ならびに呼吸周期の計測ができるようにした (Fig. 5.1)。

呼吸によるエアバッグの圧力変化は通常 0.2~1.0 kPa であるが、強い力で抱きしめたときには最大 2 kPa 程度になる。20 kPa で 1 V 出力される圧力センサと最大 5 V の AD 変換器を用いているので、呼吸による変化を感知でき、最大圧力時にオーバーフローしないよう、圧力センサの信号を非反転増幅回路で 31.3 倍に増幅した。なお、エアバッグによる吸気開始点の判定は、1 つ前の吸気開始点から誘導周期の 0.6 倍以上の時間が経ったのちに 0.2 s で 0.024 kPa 以上の圧力増加を感知した時に判定するようマイコンに設定した。



APS: Air pressure sensor; SV: Solenoid valve.

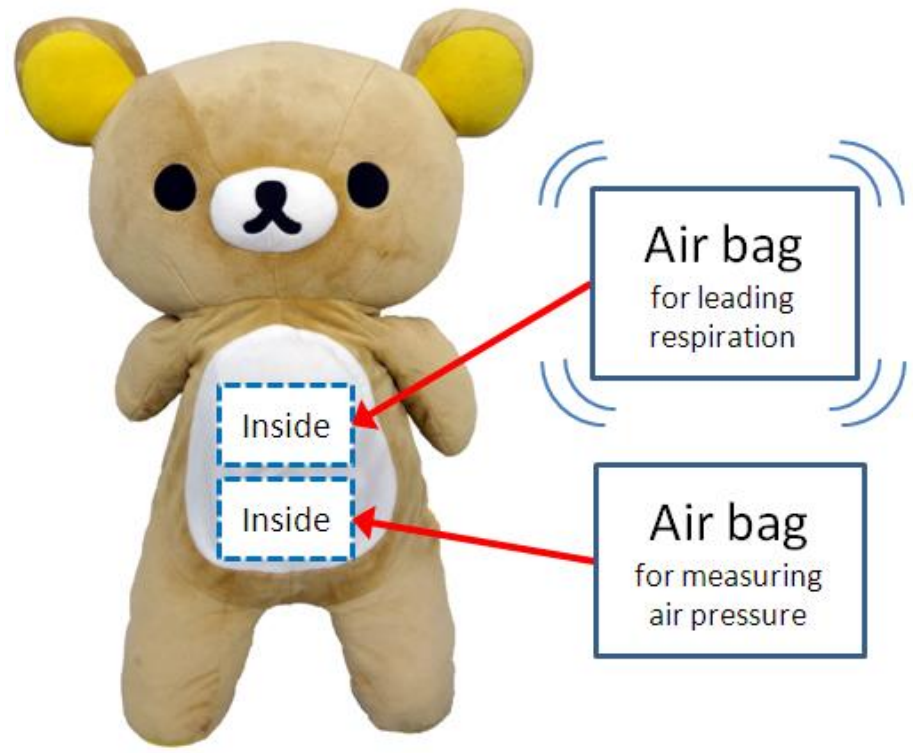


図 5.1 装置の構成
Fig. 5.1 Constitution of device.

可動部とエアバッグセンサの両方にそれぞれ圧力センサと電磁弁をつけたのは、呼吸誘

導開始時に自動的にエアバッグを適当な大きさになるまで膨らますためである。可動部はある程度膨らまないと呼吸誘導の際に参加者の腹部でエアバッグの大きさの変化が感じられず、エアバッグセンサもある程度膨らまないと参加者の腹部の動きを計測できないからである。

1つのエアバッグで呼吸誘導と呼吸計測を実現することも技術的には可能だが、これまでの研究よりぬいぐるみを抱いたときに呼吸誘導の動きを感じやすいのは肋骨部分、呼吸を計測できるのはみぞおちの下の腹部と位置が異なることがわかっているので、本研究ではエアバッグを2つ用いた。なお、この装置（試作品）ではエアバッグ以外はぬいぐるみの外部に設置し、パソコンと接続して操作を行った。

5.2.2 呼吸誘導のアルゴリズム

子どもが自分に合ったペースで徐々に長い誘導周期に慣れていけるように開発した呼吸誘導のアルゴリズムをマイコンのプログラムに組み込んだ。具体的には、はじめに安静状態の呼吸を30 s計測し、吸気開始点をトリガーとして呼吸周期を求め、その平均値を算出する。続く呼吸誘導の試行においては、ぬいぐるみの腹部がその呼吸周期の平均値のリズムで動き出し、5呼吸目から誘導周期が5 s以上になるまで3呼吸ごとに0.5 sずつ誘導周期が延びるように設定した。その後はこれまでの研究の誘導周期変更のアルゴリズム[29]を参考にして、誘導周期と本人の呼吸周期が3呼吸連続で一致した場合は誘導周期が0.5 s長くなり、3呼吸連続で不一致だった場合は誘導周期が0.5 s短くなるように設定した。一致の判定条件は、3連続の呼吸周期がすべて誘導周期の ± 0.8 s以内に収まり、かつ平均が誘導周期の $\pm 10\%$ 以内に収まっていることとした。また、不一致の判定条件は、3連続の呼吸周期がすべて誘導周期の ± 0.8 s以内に収まらず、かつ平均が誘導周期の $\pm 20\%$ 以内に収まらなかったこととした。誘導周期が5 sに達した後は最短5 s、最長10 sの中で変動するようにし、180 s後に動きが止まるようにした。呼吸誘導時の吸気：呼気（膨らむ時間と排気の時間）の割合は1：2となるように制御した。

5.3 実験1 ～ 呼吸計測と呼吸誘導の検証（子ども12名対象）～

開発した呼吸誘導ぬいぐるみによって子どもを対象に、1) 呼吸計測の精度を調べること、2) 呼吸誘導時にどの程度呼吸誘導が促されるかを調べることを目的として評価実験を行った。

5.3.1 方法

5.3.1.1 実験参加者

保護者より文書によるインフォームド・コンセントを、本人よりインフォームド・アセントを得た7～10歳の健常女児12名を対象に実施した。この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2012-10-4）。

5.3.1.2 計測方法

実験参加者に呼吸誘導ぬいぐるみを抱いてもらい、呼吸誘導ぬいぐるみの腹部にあるエアバッグセンサで参加者の呼吸波形を計測し、サンプルレート10 Hzでマイコンに取り込んだ。比較のため、腹部に呼吸ピックアップセンサ（TR-751T, 日本光電：以下、腹部センサ）を装着させ、得られた呼吸波形をサンプルレート1000 Hzでパソコンに取り込んだ。

5.3.1.3 手続き

実験参加者の腹部の動きから呼吸を計測できるように、呼吸誘導ぬいぐるみの呼吸計測用のエアバッグセンサと実験参加者の腹部（みぞおちの下、腹筋の辺り）が接触するように、また、呼吸誘導用の可動部と参加者の腹部上の肋骨が接するように抱かせた。その後、安静状態の呼吸周期を算出し、その呼吸周期から始まる呼吸誘導に合わせて呼吸させた（Fig. 5.2）。

呼吸誘導時は「ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて、お腹が膨らんだときに吸って、へこむときに吐くように呼吸してください」と教示した。はじめに練習として、安静状態の呼吸測定と呼吸誘導の試行を3回ずつ行った。その後1週間以上の間隔を空けて、本実験として安静状態（30 s）の呼吸計測後に呼吸誘導（180 s）の試行を行った。

実験前と各試行後に、呼吸の合わせやすさについて「苦しかった」から「楽だった」までの7段階で評価させた。これらの言葉の意味がわかりにくい子どもには様々な表現を用いて意味を理解させた後に評定させた。そして、練習・実験後にぬいぐるみに対する感想を聞いた。



図 5.2 実験風景

Fig. 5.2 Scene of Experiment.

5.3.1.4 解析

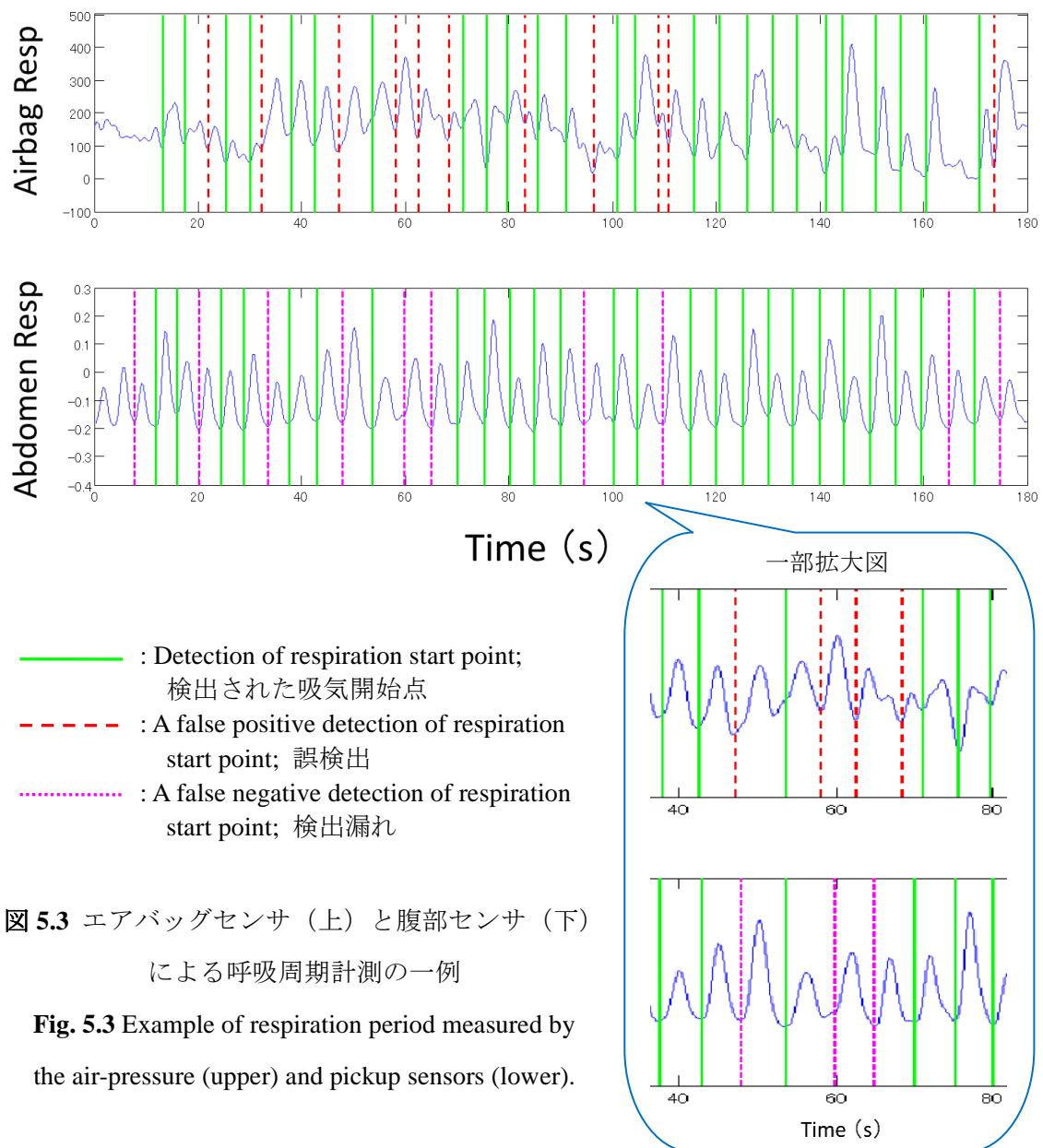
(1) エアバッグによる呼吸計測

MATLAB で作成したプログラムを用いて、各参加者の安静状態と呼吸誘導時の試行におけるエアバッグセンサと腹部センサによる呼吸計測データを 50 Hz でリサンプルし、スタートのタイミングを合わせて、両センサによる全呼吸の吸気開始点を求めた。

その結果をもとに、前後する吸気開始点同士の時間間隔を呼吸周期 (s) とし、両センサの呼吸周期の中央値ならびに第 1 四分位点と第 3 四分位点を求め、各参加者のそれぞれの誤差率を算出した。誤差率とは、腹部センサの値に対する腹部センサの値とエアバッグセンサの値の差の絶対値の比率 (%) である。

また、各参加者の吸気開始点の誤検出率と検出漏れ率を算出した。その方法を以下に記す。まず吸気開始時点のずれを 0.1 s 単位 (最大 2 s まで) で前後に微調整した。これは、エアバッグセンサで計測した呼吸波形と子どもの腹部の動きの位相が異なり、その位相は個人内よりも個体差の方が大きいので、その位相差を修正した上で解析するためである。その後、腹部センサの吸気開始点からみて前後 0.8 s 以内にエアバッグセンサの吸気開始

点が入ったものは「正検出」、前後 0.8 s 以外にエアバッグセンサの吸気開始点が存在した場合は「誤検出 (FP: False Positive)」, 前後 0.8 s 以内にエアバッグセンサの吸気開始点が存在しなかった場合は「検出漏れ (FN: False Negative)」としてカウントした. 「誤検出」の数ならびに「検出漏れ」の数を腹部センサから得た呼吸数で割った値をそれぞれ誤検出率, 検出漏れ率とした. Fig. 5.3 に呼吸誘導時におけるエアバッグセンサと腹部センサによる呼吸計測の一例を示す. 上図はエアバッグセンサによる呼吸計測データであり, 下図は腹部センサによる呼吸計測データである. 上下図ともに「正検出」は緑色の実線で, 上図の「誤検出」は赤色の破線で, 下図の「検出漏れ」は紫色の点線で記している.



(2) 呼吸誘導時の呼吸周期と誘導周期の比較

装置の呼吸誘導によって子どもの呼吸が誘導されているかを調べるために、エアバッグセンサの呼吸データと装置の誘導周期を MATLAB で作成したプログラムで解析し、同期率を算出した。各呼吸の呼吸周期の吸気時間 (RPI: RP Inhalation) と誘導周期の吸気時間 (LPI: LP Inhalation) を解析し、RPI と LPI に重なり部分があった場合、重なり部分のみの時間 (A (s)) と重なり部分を含めた RPI と LPI の時間の和 (B (s)) を求め、全呼吸分の A/B (%) を算出し、平均したものを同期率とした (3.2.1.3 参照)。この同期率は、RPI と LPI が完全に重なったときは 100%、まったく重ならなかったときは 0% となり、重なり具合が大きくなればなるほど高くなる指標である。

(3) 呼吸誘導時の誘導周期の変化

エアバッグセンサの呼吸周期と可動部の誘導周期を呼吸誘導中にマイコンでリアルタイム算出し、それらのデータより、各参加者の呼吸誘導時における最長誘導周期ならびに最後の 1 分間の平均誘導周期、誘導周期の延長回数を算出した。誘導周期の延長回数は誘導周期が 5 s に達する 40 s から終了する 180 s までの間をカウントした。

5.3.2 結果

5.3.2.1 エアバッグによる呼吸計測

Table 5.1 に安静状態と呼吸誘導時における呼吸周期の中央値、第 1 四分位点、第 3 四分位点の誤差率を示す。180 s の呼吸誘導試行においてはすべての呼吸周期を誘導周期に合わせられたとしても誘導周期の延長は最長 8 s 前後が限界である。そこで、呼吸周期の中央値の誤差率が 10% 以内 (誘導周期の最長 8 s に対する ± 0.8 s 以内の誤差) であることが呼吸周期計測の必要条件であると考え、これを満たさないものに色付き表示をした。

Table 5.2 に安静状態の誤検出率と検出漏れ率を、Table 5.3 に呼吸誘導時の誤検出率と検出漏れ率を示す。

5.3.2.2 呼吸誘導時の同期率

Fig. 5.4 に呼吸誘導時におけるエアバッグの呼吸データと誘導周期の同期率のヒストグラムを示す。同期率は 12 名中 11 名が 57% 以上で、平均値は 61.8% であった。

表 5.1 安静状態と呼吸誘導時の呼吸周期の中央値と

第 1・第 3 四分位点の誤差率

Table 5.1 Difference ratio of median and first and third quartiles of the respiration period during the resting state and the respiration-leading state.

| No. | Age | Resting (%) | | | Leading (%) | | |
|-----|-----|-------------|------|------|-------------|------|-------|
| | | med | 1/4 | 3/4 | med | 1/4 | 3/4 |
| 1 | 7 | 9.6 | 6.8 | 24.9 | 11.9 | 17.9 | 162.9 |
| 2 | 7 | 6.4 | 4.0 | 26.4 | 3.2 | 16.3 | 5.2 |
| 3 | 7 | 0.6 | 7.9 | 4.9 | 14.0 | 14.6 | 6.0 |
| 4 | 7 | 2.0 | 4.0 | 19.9 | 0.4 | 1.4 | 10.5 |
| 5 | 7 | 4.9 | 2.6 | 2.7 | 0.8 | 4.1 | 2.9 |
| 6 | 8 | 38.2 | 28.3 | 27.9 | 11.9 | 17.4 | 2.2 |
| 7 | 8 | 0 | 5.7 | 2.6 | 13.8 | 32.9 | 16.3 |
| 8 | 8 | 0.8 | 12.6 | 2.7 | 7.3 | 18.5 | 2.7 |
| 9 | 8 | 4.1 | 3.6 | 2.9 | 9.8 | 17.4 | 8.3 |
| 10 | 9 | 14.2 | 15.2 | 8.2 | 1.9 | 3.6 | 3.7 |
| 11 | 9 | 4.1 | 5.2 | 4.5 | 3.1 | 0.6 | 0.8 |
| 12 | 10 | 0.9 | 3.4 | 1.1 | 0.8 | 5.0 | 0.9 |

Resting: resting state, 閉眼安静; Leading: respiration-leading state, 呼吸誘導;
med: median, 中央値; 1/4: first quartile, 第 1 四分位点; 3/4: third quartile, 第 3 四分位点.

Colored cell: Difference ratio over 10 %, 色付きセル : 誤差率 10 % 以上.

表 5.2 安静状態時の誤検出率と検出漏れ率

Table 5.2 False positive ratio and false negative ratio during the resting state.

| No. | Age | Abd | FP | (%) | FN | (%) |
|-----|-----|-----|----|------|----|------|
| 1 | 7 | 8 | 2 | 25.0 | 0 | 0 |
| 2 | 7 | 6 | 1 | 16.7 | 0 | 0 |
| 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 7 | 6 | 1 | 16.7 | 0 | 0 |
| 5 | 7 | 11 | 1 | 9.1 | 0 | 0 |
| 6 | 8 | 10 | 1 | 10.0 | 1 | 10.0 |
| 7 | 8 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 8 | 7 | 0 | 0 | 1 | 14.3 |
| 9 | 8 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 9 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Abd: respiration start point measured by pickup sensor, エアバッグセンサで検出された吸気開始点;

FP: false positive, 誤検出; FN: false negative, 検出漏れ; Unit (FP & FN & Abd): number, 数.

表 5.3 呼吸誘導時の誤検出率と検出漏れ率

Table 5.3 False positive ratio and false negative ratio during the respiration-leading state.

| No. | Age | Abd | FP | (%) | FN | (%) |
|-----|-----|-----|----|------|----|------|
| 1 | 7 | 30 | 4 | 13.3 | 24 | 80.0 |
| 2 | 7 | 36 | 7 | 19.4 | 10 | 27.8 |
| 3 | 7 | 43 | 12 | 27.9 | 15 | 34.9 |
| 4 | 7 | 34 | 11 | 32.4 | 14 | 41.2 |
| 5 | 7 | 33 | 2 | 6.1 | 1 | 3.0 |
| 6 | 8 | 35 | 19 | 54.3 | 14 | 40.0 |
| 7 | 8 | 34 | 18 | 52.9 | 20 | 58.8 |
| 8 | 8 | 35 | 13 | 37.1 | 13 | 37.1 |
| 9 | 8 | 33 | 12 | 36.4 | 8 | 24.2 |
| 10 | 9 | 33 | 4 | 12.1 | 6 | 18.2 |
| 11 | 9 | 32 | 2 | 6.3 | 2 | 6.3 |
| 12 | 10 | 34 | 1 | 2.9 | 1 | 2.9 |

Abd: respiration start point measured by pickup sensor, エアバッグセンサで検出された吸気開始点;

FP: false positive, 誤検出; FN: false negative, 検出漏れ; Unit (FP & FN & Abd): number, 数.

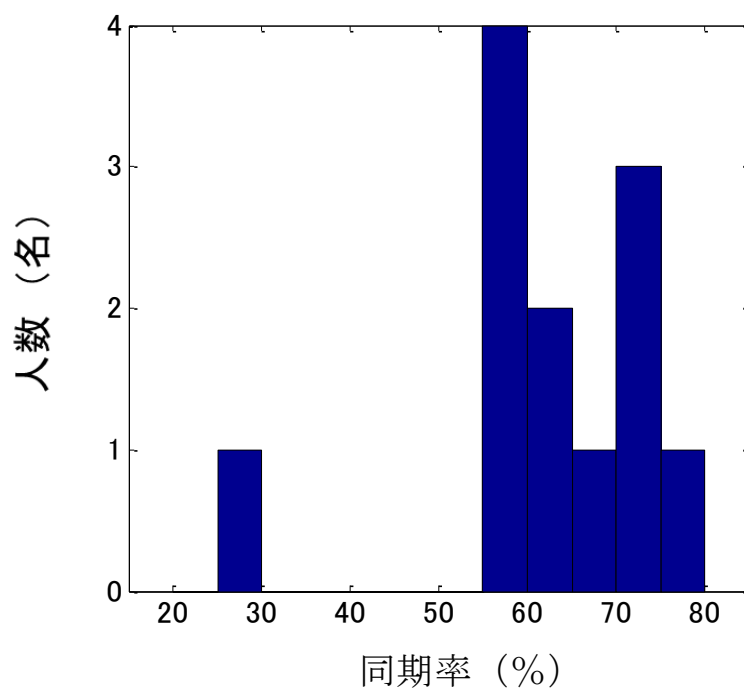


図 5.4 同期率のヒストグラム

Fig. 5.4 Histogram of overlap ratio.

5.3.2.3 呼吸誘導時の誘導周期の変化

Table 5.4 に呼吸誘導時の最長誘導周期と 120~180 s の平均誘導周期, 誘導周期の延長回数を示す.

表 5.4 呼吸誘導時の誘導周期の変化

Table 5.4 Transition of respiration-leading periods during the respiration-leading state.

| No. | Age | Longest LP (s) | Mean LP (s) (120-180s) | Extension |
|-----|-----|----------------|---------------------------|-----------|
| 1 | 7 | 5.4 | 5.0 | 1 |
| 2 | 7 | 5.0 | 5.0 | 0 |
| 3 | 7 | 5.0 | 5.0 | 0 |
| 4 | 7 | 5.5 | 5.0 | 1 |
| 5 | 7 | 6.0 | 5.6 | 2 |
| 6 | 8 | 5.5 | 5.0 | 1 |
| 7 | 8 | 5.5 | 5.3 | 2 |
| 8 | 8 | 5.5 | 5.0 | 1 |
| 9 | 8 | 6.0 | 5.8 | 3 |
| 10 | 9 | 6.0 | 5.7 | 2 |
| 11 | 9 | 6.0 | 6.0 | 2 |
| 12 | 10 | 6.0 | 5.9 | 3 |

LP: respiration-leading period, 誘導周期;

Extension: extension times (frequency), 誘導周期の延長回数.

5.3.2.4 呼吸誘導に関する主観申告

呼吸の合わせやすさに関する主観申告は, 一番左が 1 (「苦しかった」), 一番右が 7 (「楽だった」) として回答させた. 12 名中 9 名の申告値が 5 点以上となり, 比較的呼吸をうまく合わせられたという結果ではあったが, 同期率との相関はなく, 子どもたちはリラックス度や呼吸の合わせやすさに関して, 自分の状態を客観的に把握できていない可能性があった. 呼吸誘導終了後の感想としては, 「ぬいぐるみがふわふわしていて気持ちよかった」のように 4 名が「気持ちよかった」, 3 名が「楽しかった」, 2 名が「重かった」と答えた. また, 「ぬいぐるみのお腹がでこぼこしたのが面白かった」といった感想もあった.

5.3.3 考察

5.3.3.1 エアバッグによる呼吸計測

誤差率は腹部センサとエアバッグセンサで計測された呼吸波形をもとにオフラインで算出した両センサの呼吸周期の偶然誤差を示す指標である。Table 5.1 に記したように、10 %以内であることを呼吸計測の精度を見るための一つの目安とした。呼吸周期の中央値の誤差率をみると、安静状態においては10名が10%以内であり、第1四分位点は9名が、第3四分位点は8名が10%以内であった。このことより、安静状態においては偶然誤差が小さいことがわかる。一方、呼吸誘導時の中央値の誤差率は8名が10%以内であり、第1四分位点は10%以内が5名と半数を切ったが、第3四分位点は10%以内が9名と安静状態よりも多かった。このことから呼吸誘導時は安静状態に比べて若干劣るものの、同程度の呼吸計測ができていたことがわかった。

次に誤検出率と検出漏れ率であるが、これらはエアバッグセンサの呼吸開始点の検出精度を示す指標である。誤検出率と検出漏れ率をみると、安静状態において6名は誤検出率と検出漏れ率ともに0%であり、残り6名の誤検出率と検出漏れ率の値は25%以下であった。安静状態においては0%が多く、ほぼ正確に呼吸開始点を算出できていたことがわかる。一方、呼吸誘導時の誤検出率と検出漏れ率には0%はなく、共に10%以内は3名のみで、残り9名も全体的に安静状態に比べて高い値となった。このことから呼吸誘導時は安静状態に比べ、呼吸開始点を正確に算出しにくい呼吸波形であったことがわかる。この原因として「抱き直し」などによる腹部間の接触不良と「エアバッグ間の干渉」が挙げられる。

「抱き直し」とは、呼吸誘導時に可動部のエアバッグの動きをより把握するためにぬいぐるみを抱きなおす現象で、12名中8名の子どもに1~2回見られた。その際にエアバッグセンサの位置がずれて、エアバッグセンサと腹部センサで計測した呼吸波形にずれや計測不備が生じたと考えられる。呼吸計測が安定していた子どもたちは「抱き直し」をせず、最初からやや強めの力で抱きしめ続けていることが多かった。これより、やや強めの安定した力で抱き続けて「抱き直し」をしないことが、正確な呼吸波形を計測するために必要であることがわかった。

また、可動部のエアバッグの膨縮がエアバッグセンサの呼吸計測に影響を与える「エアバッグ間の干渉」があった可能性もある。これは可動部のエアバッグが膨らむことでエアバッグセンサと子どもの腹部を離すように作用し、その影響でエアバッグセンサの圧力が低下し、あたかも息を吐いたかのような逆位相の呼吸計測データになるという現象である。子どもの呼吸周期と誘導周期の位相が合っているときには、基本的に吸気による増加幅の方が干渉による低下幅よりも大きいので、吸気開始点の判定に影響は出ないが、位相が異

なるときにはそれが原因となり、誤って吸気開始点が判定される事例が 12 名中 8 名に見られた。この「エアバッグ間の干渉」の影響を減らすためには、可動部のエアバッグの膨縮に合わせてエアバッグセンサの呼吸波形をリアルタイムで補正する必要がある。

5.3.3.2 呼吸誘導の同期率

次に呼吸誘導時においてどの程度呼吸誘導が促されたかを調べるために腹部センサの呼吸データと誘導周期の同期率を算出した。呼吸誘導時の同期率は、3.2 の実験においては 48 名（5～12 歳）の平均値が 35.6 %、50 %以上を示したのは 17 名であった。その結果と比較すると、本実験における同期率は平均値が 61.8 %かつ 12 名中 11 名が 50 %以上の値を示した。呼吸誘導が改善したのは装置の改良だけでなく、本実験の前に練習をしたためであると考えられる。以上より、3 回程度の練習で装置の呼吸誘導に慣れ、呼吸が合わせやすくなるといえる。

5.3.3.3 呼吸誘導時の誘導周期の推移

誘導周期は 12 名中 10 名が 1 回以上延長し、そのうち 6 名は 2 回以上延長した。これは装置の吸気開始点判定のアルゴリズムで 10 名が誘導周期に連続 3 回以上呼吸周期を合わせられたことを意味する。しかし、3 分間の試行であれば誘導周期は最長 8 s 前後まで延びる可能性があるにもかかわらず、本実験においては最長 6 s までしか誘導周期が延びなかった。その上、誘導周期が一度は延びたが 5 s に戻った子どもが 4 名いた。これはリアルタイムの吸気開始点の判定方法が適切でなかったことと、誘導周期延長・短縮のための判定条件が厳しすぎたことが原因であると考えられる。

5.3.3.4 呼吸誘導に関する主観申告

装置全体への評価からインタフェースとしてぬいぐるみを用いるのは子どもには受け入れられやすく、装置に呼吸を合わせられることがわかったが、「重かった」という感想もあったので、装置を軽量化する必要がある。

5.4 呼吸誘導装置の改良

呼吸誘導装置の構成は実験1と同様であるが、パソコンを用いなくても操作できるように操作ボタンを付け加え、操作ボタンだけで操作できるように装置を改良した。また、赤色と緑色のLEDを取り付け、新たに付け加えた脈波センサ (Pulse Sensor, World Famous Electronics llc.) から得られる脈拍信号が赤色LEDの点滅で、ボタン操作の反応や吸気状態の検出を緑色ボタンの点灯・点滅で知ることができるようにした (Fig. 5.5)。ボタン操作によるモード変換の具体的な内容を以下に記す。

【データ送信モード】

電源を入れると、内蔵された無線LAN機能付きSDカード (FlashAir W-02 SD-WC016G, 東芝) からWifiを通じてデータを取得できる「データ送信モード」に入る。

【モード0】

データ送信モードでボタンを1s以上押し続けると、緑ランプが8回点滅し、「データ送信モード」が終了して、待機状態であるモード0に入る。

【モード1】

モード0でボタンを1s以上押し続けると、緑ランプが1回点滅し、両エアバッグに適度に空気を入れる「空気補充モード」に入る。

【モード2】

モード1でボタンを1s以上押し続けると、緑ランプが2回点滅し、呼吸を計測 (30s) し、その平均呼吸周期を算出する「呼吸計測モード」に入る。

【モード3】

モード2でボタンを1s以上押し続けると、緑ランプが3回点滅し、モード2で算出された呼吸周期から呼吸誘導 (180s) が開始する「呼吸誘導モード」に入る。呼吸誘導モードの最後には呼吸誘導開始時と終了時のそれぞれ5拍分の平均脈拍を比較し、平均脈拍が終了時の方が低ければ呼吸誘導でリラックスしたと見なして緑色のLEDが8回点滅し、終了時の方が高ければ呼吸誘導で緊張したと見なして赤色のLEDが8回点滅するようになっている。

【モード4】

モード3でボタンを1 s以上押し続けると、緑ランプが4回点滅し、両エアバッグ内の空気が排出される「空気排出モード」に入る。

【リセットモード】

モード0～4であれば、いつでもボタンを3 s以上押し続けることで、緑ランプが8回点滅し、すべての動作が止まり、初期化される「リセットモード」を用意した。リセットされるとモード2で計測した呼吸周期は4 sとなり、他の変数もすべて初期化され、可動部のエアバッグ内の空気も排出される。

なお、電源にはUSB電源(QE-QL201 [大きさ: 約22×70×62mm], パナソニック)をマイコン用と電磁弁ならびにコンプレッサ用に2個用いた。実験2では実験1とほぼ同様の試作品を用いて、子どもを対象にさらに人数や対象となる性別・年齢層を広げた中で、練習をせずに初めて呼吸誘導の試行に取り組んだ際の呼吸誘導の可能性について調べた。

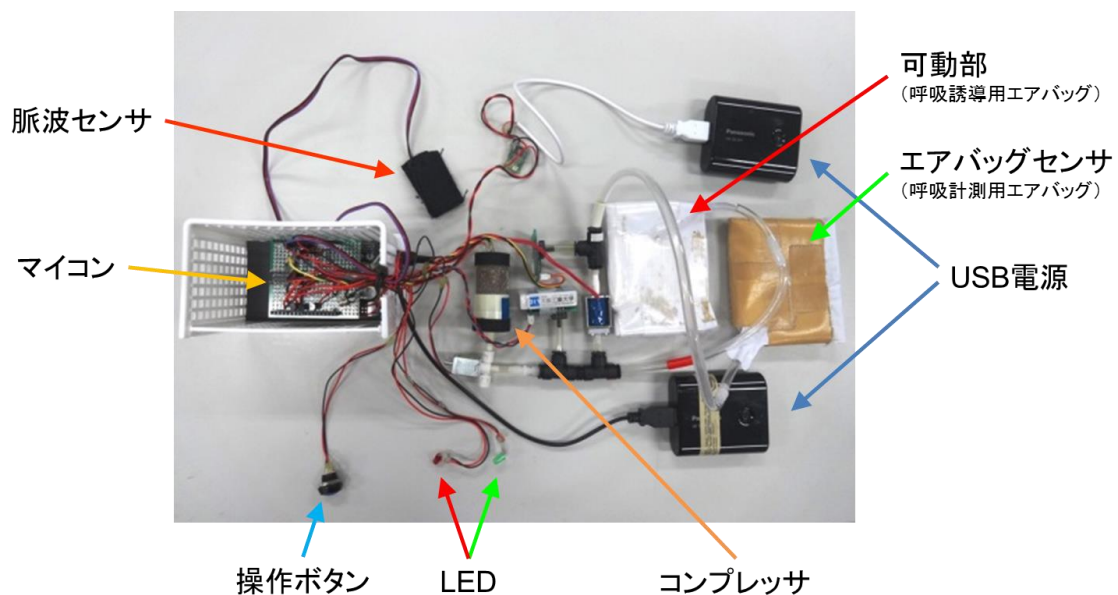


図 5.5 装置の構成 2

Fig. 5.5 Constitution of device 2.

5.5 実験2 ～ 呼吸計測と呼吸誘導の検証（子ども58名対象）～

5.5.1 方法

5.5.1.1 実験参加者

口頭で説明し，保護者の承認ならびに本人よりインフォームド・アセントを得た4～12歳の健康児58名（男児26名，女児32名）を対象に実施した．大人数のデータを取るために，多くの来場者で賑わう大阪工業大学の工作実験フェアの機会を用いた．この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2012-10-4）．

5.5.1.2 計測方法

実験参加者に5.4に記した改良を加えた呼吸誘導ぬいぐるみを抱いてもらい，呼吸誘導ぬいぐるみの腹部にあるエアバッグセンサで参加者の呼吸波形を計測した．呼吸波形のデータはサンプルレート10 Hzでマイコンに取り込み，呼気開始点をリアルタイムに算出した（Fig. 5.6）．

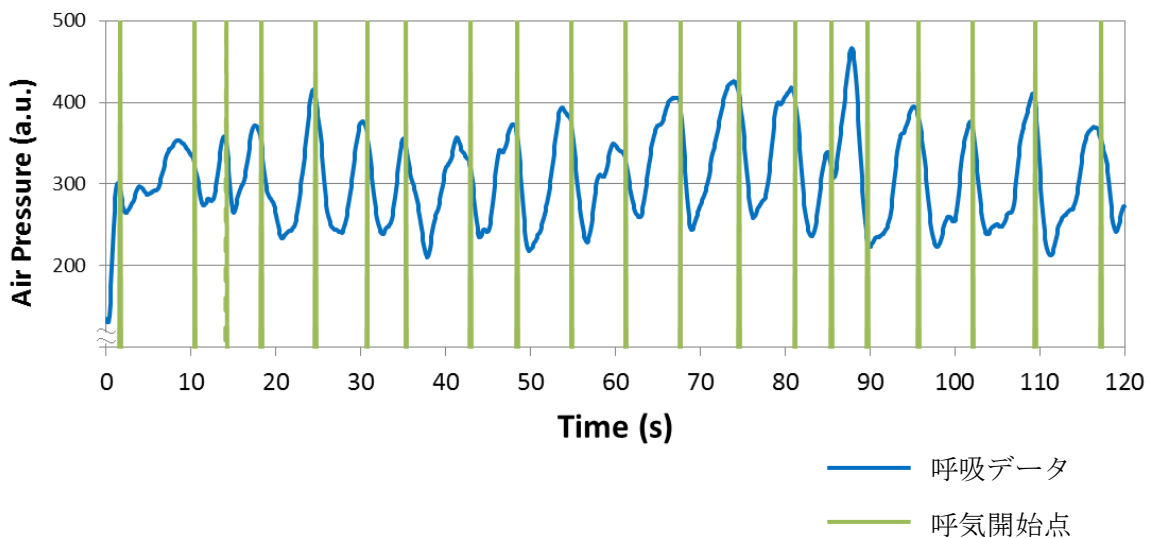


図 5.6 呼吸計測の一例

Fig. 5.6 Example of respiration measurement.

5.5.1.3 手続き

実験参加者の腹部の動きから呼吸を計測できるように，呼吸誘導ぬいぐるみの呼吸計測用のエアバッグセンサと実験参加者の腹部（みぞおちの下，腹筋の辺り）が接触するよう

に抱いてもらった。また、呼吸誘導用の可動部と参加者の腹部上の肋骨が接するように抱いてもらった。その後、安静状態（30 s）の呼吸周期を算出し、その呼吸周期から始まる呼吸誘導（120 s）に合わせて呼吸をしてもらった（Fig. 5. 7）。

呼吸誘導時は「ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて、お腹が膨らんだときに吸って、へこむときに吐くように呼吸してください」と教示した。実験の前後に、リラックス度を「ドキドキした（1）」から「ゆったりした（7）」までの7段階で評価させた。また、実験の前半・後半における呼吸の合わせやすさについて「苦しかった（1）」から「楽だった（7）」までの7段階で評価させた。これらの言葉の意味がわかりにくい子どもには様々な表現を用いて意味を理解させた後に評定させた。そして、実験後にぬいぐるみに対する感想を聞いた。

呼吸誘導のアルゴリズムとしては、5.3と同様に5呼吸目から誘導周期が5 s以上になるまで3呼吸ごとに0.5 sずつ誘導周期が延びるように設定したが、その後は誘導周期と本人の呼吸周期が5呼吸中3呼吸一致した場合は誘導周期が0.5 s長くなるように設定を変更した。一致の判定条件は、呼吸周期が誘導周期の±20 %以内に収まっていることとした。また、5.3.3.3の考察を考慮して誘導周期が短くなるアルゴリズムは省き、呼吸周期が一致していないときは誘導周期を変えないことにした。



図 5.7 実験風景

Fig. 5.7 Scene of Experiment.

5.5.1.4 解析

呼吸誘導中にマイコンでリアルタイムに算出されたエアバッグセンサの呼吸周期と可動部の誘導周期のデータより、各参加者の呼吸誘導時における最長誘導周期ならびに誘導周期の延長回数、90～120 s の平均誘導周期と平均呼吸周期の差の絶対値（以下、周期差）を算出した。誘導周期の延長回数は誘導周期が 5 s 以上に達した後、終了する 120 s までの間の回数をカウントした。呼吸誘導中の呼吸周期と誘導周期の変化の一例を Fig. 5.8 に示す。

5.5.2 結果

5.5.2.1 呼吸誘導

Table 5.5 に実験参加者の年齢・性別の構成と呼吸計測ならびに呼吸誘導されなかった人数を記す。5 名は呼吸波形を目視で確認したところ腹部接触不良などの原因により空気圧が 0 となる時間が続き、呼吸波形が計測できていなかったため対象から省いた。また、10 名は誘導周期の延長回数が 0 回であったので「呼吸誘導されていない」と判定し対象から省いた。残りの 58 名中 43 名を「呼吸誘導された」と見なした。Fig. 5.9 に呼吸誘導されていた 43 名の周期差のヒストグラムを示す。周期差の平均は 0.98 s であった。

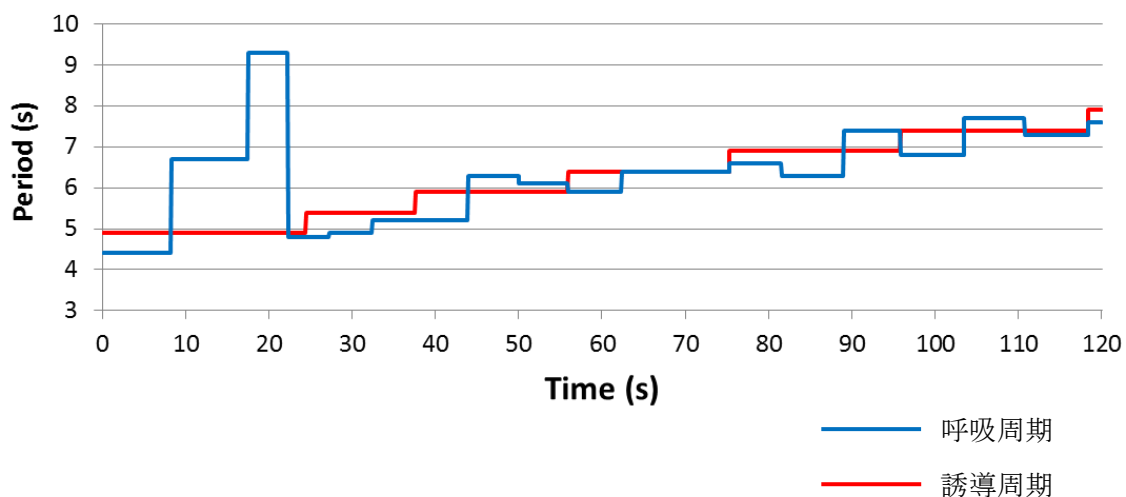


図 5.8 呼吸誘導の一例

Fig. 5.8 Example of respiration-leading trial.

表 5.5 実験参加者の構成と呼吸誘導・呼吸計測の可否

Table 5.5 Constitution of participants and numbers of participants whose respiration was measured and leaded.

| Age | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Male (M) | 1 | 3 | 3 | 0 | 4 | 4 | 10 | 1 | 26 |
| Female (F) | 1 | 2 | 4 | 7 | 10 | 2 | 4 | 2 | 32 |
| Total (M&F) | 2 | 5 | 7 | 7 | 14 | 6 | 14 | 3 | 58 |
| Non-Measured | 1 / 1 | 0 | 1 / 0 | 0 | 0 | 0 | 1 / 0 | 1 / 0 | 5 |
| Non-Leaded | 0 | 2 / 0 | 2 / 1 | 0 / 1 | 2 / 0 | 0 / 1 | 1 / 0 | 0 | 10 |

Unit: Number, 単位: 名; / : Male / Female, 男子 / 女子

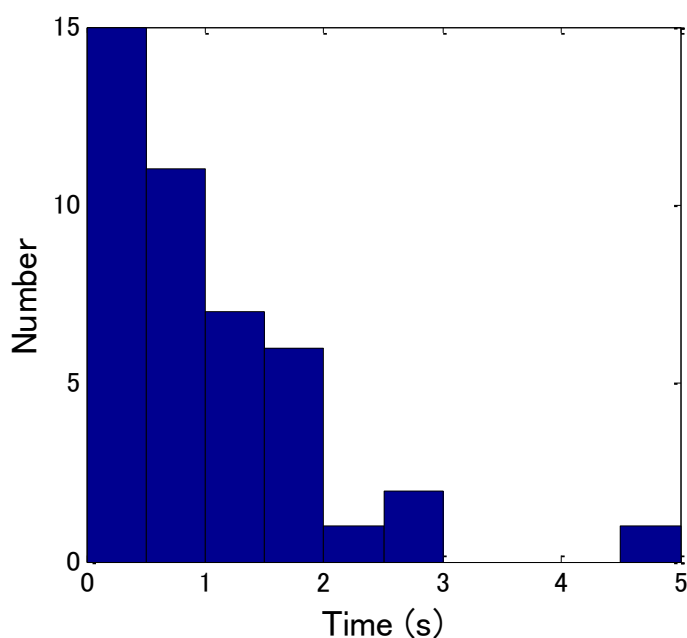


図 5.9 周期差のヒストグラム

Fig. 5.9 Histogram of difference between LP & RP (last 30 s of respiration-leading trial).

5.5.2.2 主観申告

呼吸計測された 53 名のうち無回答の 1 名を除く 52 名で、実験前より実験後の方がリラックス度の評定値が上がったのは 39 名、変化なしは 5 名、下がったのは 8 名であった。また、呼吸の合わせやすさの評価で前半と後半の平均が 4 点以上だったのは 42 名、4 点未満だったのは 10 名であった。

感想としては、「リラックスできた」「気持ちよかった」といったリラクゼーションに肯

定的な回答が14名、「緊張した」「ドキドキした」といったリラクゼーションに否定的な回答が5名、「ねむたくなった」「長かった」がそれぞれ5名ずつという回答を得られた。この他に、「(発表会で)発表する前に使いたいと思った」「呼吸がしやすかった」「合わせるのが難しかった」といった感想も得られた。

5.5.3 考察

実験参加者58名のうち7割以上の参加者が呼吸誘導された。5名は呼吸計測ができなかったが、これは子どもの腹部とエアバッグセンサの接触が悪かったためであると考えられる。周期差で外れ値に該当する子どもは、最後の30sは呼吸誘導されていなかった可能性がある。その原因として、本人にとって誘導周期が長くなり過ぎたことが挙げられるので、今後はこれまでの研究と照らし合わせて、「LPが5s以上に達した後、長期間(例:30s)に渡って誘導周期と呼吸周期が一度も一致しない場合は誘導周期を短くする」といった対応策をとることが考えられる。しかし、「抱き直し」などの現象により腹部の接触不良により呼吸計測が正確になされなくなった場合、呼吸誘導されているにもかかわらず、誘導周期が短くなることも考えられるので、誘導周期を短くするのは呼吸計測が正確になされている場合のみに適用するのが望ましい。

主観申告からは、呼吸計測された53名のうち7割以上の参加者が呼吸誘導でリラックスし、呼吸を合わせられたと感じたので、初めて使用する子どもでも効果が実感できる装置であることがわかった。しかし、緊張したり、呼吸を合わせにくかったり、試行が長く感じたりした参加者もいたので、今後は試行回数を増やした際の主観申告の変化も調べる必要がある。

5.6 まとめと課題

子どもを対象に試作したエアバッグを使用した呼吸誘導ぬいぐるみを用いて呼吸誘導を試みたところ、12名を対象とした実験では呼吸計測ならびに呼吸誘導ができることが示され、58名を対象とした実験では初回であっても7割以上の子どもが呼吸誘導された。試行を繰り返すことで、よりよく呼吸誘導されることが期待される。

今後は呼吸誘導時に生じた「抱き直し」や「エアバッグ間の干渉」への対処に加え、装置の機能や吸気開始点の判定方法ならびに誘導周期の延長基準などを改良し、実用性を高めたい。また、装置の計測部と可動部にエアバッグを2つ用いたが、1つのエアバッグで呼吸計測と呼吸誘導を実現する可能性も検討の余地がある。

第6章 呼吸誘導ぬいぐるみ装置のモバイル化とリラクゼーション評価

6.1 目的

第5章の実験を通じて、5.2で開発した装置は呼吸計測ならびに呼吸誘導でき、子どもへの受容性があることがわかったが、実験をした時点においては、まだエアバッグ以外の機械部分をぬいぐるみの外部に設置して使用していた。より使用頻度を高めるためには装置の機械部分をよりコンパクトにまとめ、持ち運びができるようにぬいぐるみの中に収納する必要がある。また、その装置で子どもたちがリラックスするかを調べる必要がある。

本章では初めにそのモバイル化した装置の詳細について述べ、次にそのモバイル化した装置を用いて子どもを対象にリラクゼーション評価を行った実験について述べる。

6.2 装置のモバイル化

5.4で述べた装置の機械部分をよりコンパクトにまとめ、マイコン部分をぬいぐるみの頭部に、電磁弁ならびにコンプレッサを胴体部分に収納した。電源にはUSB電源を2個用い、それらは各足に1個ずつ収納した。ぬいぐるみの左わき腹に赤色と緑色のLEDを配置し、操作ボタンと脈波センサは背面上部から装置の外に出るようにした。なお、装置の総重量は約1,600gとなった(Fig. 6.1)。LEDを左わき腹に配置したのは、使用者がLEDを見たくない場合は左腕でLEDを隠し、LEDを見たい場合は左腕を動かしてLEDが見えるようにしたためである。ぬいぐるみの左腕の長さは、左腕を側面に下してLEDを2個とも隠すのはギリギリ足りる程度の長さである。しかし、ぬいぐるみを抱いたときには、左腕を移動することで上からLEDを覗けるようにしたり、見えなくしたりするには十分な長さとなっている。

なお、モバイル化する過程でこれまで以上にエアバッグ間の距離を空けて配置し、裏側に装置や綿袋を適切に配置して適度な圧をかけて両エアバッグが接触しないようにしたところ、5章で課題となっていた「エアバッグ間の干渉」は改善された。

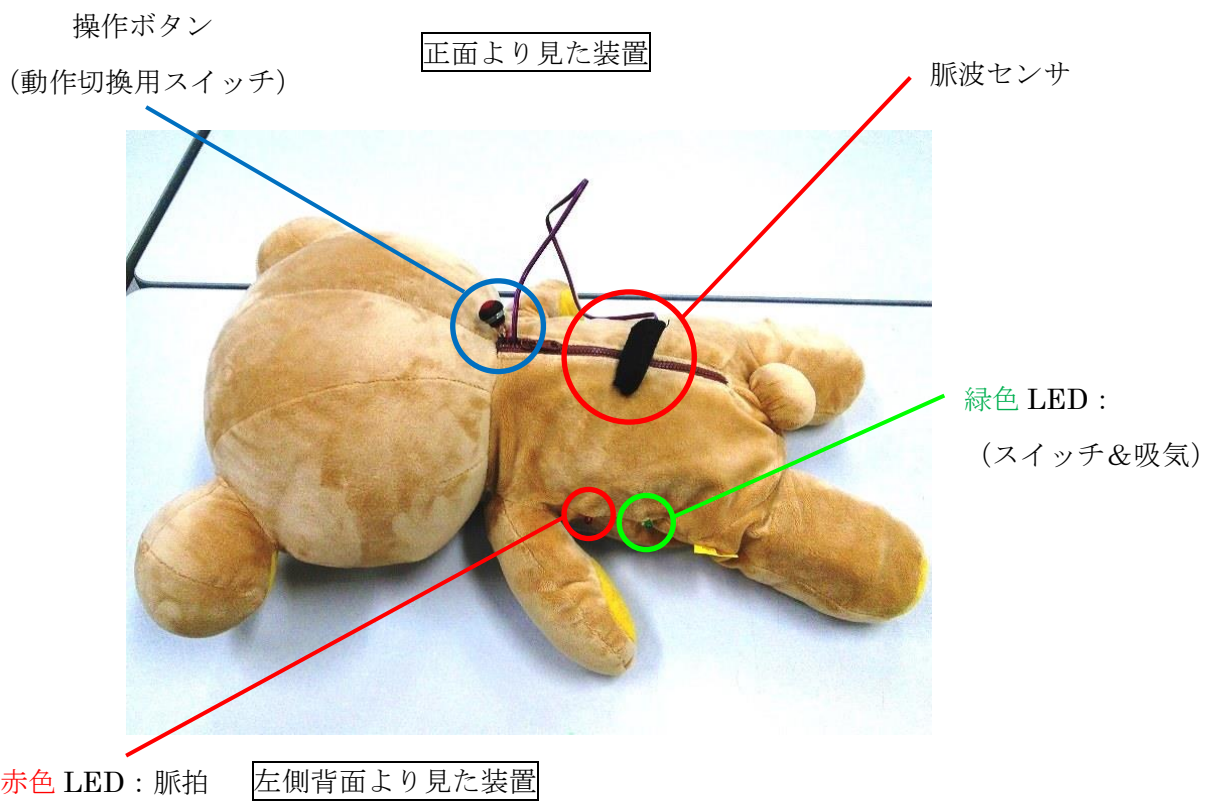


図 6.1 モバイル化した装置の外観
Fig. 6.1 Exterior appearance of mobile device.

6.3 実験 ～ リラクゼーション効果の検証（子ども9名対象）～

モバイル化した呼吸誘導ぬいぐるみ装置を用いて、腹部が動かない装置をハグするだけの「ハグ条件」と、腹部が動いて呼吸誘導する「誘導条件」のリラクゼーション効果の違いを調べる。

6.3.1 方法

6.3.1.1 実験参加者

保護者より文書によるインフォームド・コンセントを、本人よりインフォームド・アセントを得た8～10歳の健常女児9名を対象に実施した。この実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の審査を経て実施した（承認番号2012-10-4）。

6.3.1.2 手続き

はじめに練習として、安静状態の呼吸測定（30 s）と呼吸誘導の試行（180 s）を1日のうちに3回以上行った。練習において誘導周期が5 sに達した後で1回以上延びた子どもを対象に、練習後1週間以上の日を置き、本実験を行った。

本実験では呼吸誘導の練習を1回した後、腹部が動かない呼吸誘導ぬいぐるみを抱いてもらうだけのハグ（動作しない呼吸誘導ぬいぐるみを抱くだけ）の試行（以下、ハグ条件）と呼吸誘導の試行（以下、誘導条件）をそれぞれ180 sずつ実施した。試行の順序はカウンタバランスを取った。それぞれの試行の前に「これから1分間、目を閉じて静かにしておいてください」と教示した後に、閉眼安静状態（60 s）で生理指標を測定した。ハグ条件の前には「これから3分間、腹部が動かないぬいぐるみをただ抱いていてください」、誘導条件の前には「ぬいぐるみのお腹の動きに合わせて、お腹が膨らんだときに吸って、へこむときに吐くように呼吸してください」と教示した。各試行終了後にぬいぐるみを机の上に置き、試行前の閉眼安静状態時と同様の教示をした後、すぐに閉眼安静状態（60 s）で生理指標を測定した。

本実験の最初ならびに各条件の終了後の閉眼安静状態の生理測定の後、その時点におけるリラックス度（落ち着き度）を「ドキドキした（1）」から「ゆったりした（7）」までの7段階で評価させた。また、誘導条件の後には併せて呼吸の合わせやすさを「苦しかった（1）（＝呼吸を合わせにくかった）」から「楽だった（7）（＝呼吸を合わせやすかった）」までの7段階で評価させた。これらの言葉の意味がわかりにくい子どもには様々な表現を用いて意味を理解させた後に評定させた。そして、実験終了後にぬいぐるみに対する感想

を聞いた。

6.3.1.3 計測方法

練習時ならびに本実験の呼吸測定と呼吸誘導の試行においては、実験参加者に呼吸誘導ぬいぐるみ装置を抱いてもらい (Fig. 6.2), 呼吸誘導ぬいぐるみ装置の腹部にあるエアバッグセンサで参加者の呼吸波形を計測し, サンプルレート 10 Hz でマイコンに取り込んだ。その際, 実験参加者の腹部の動きから呼吸を計測できるように, 呼吸誘導ぬいぐるみ装置の呼吸計測用のエアバッグセンサと実験参加者の腹部 (みぞおちの下, 腹筋の辺り) が接触するように装置を抱かせた。また, 装置による呼吸誘導が感じやすいように, 呼吸誘導用の可動部と参加者の腹部上の肋骨が接するように装置を抱かせた。その上で, 装置内のマイコンに接続された脈波センサ (Pulse Sensor, World Famous Electronics llc.) を左手の人差し指に装着して脈波を計測した (Fig. 6.3)。



図 6.2 実験風景

Fig. 6.2 Scene of experiment.

本実験の閉眼安静状態においては上記の生理指標に加え, 心電図 (以下, ECG) を計測した。ECG は参加者の胸部および腹部に電極をつけて計測し, データは生体信号アンプ (Polyam4, ニホンサンテック) を用いて増幅した。



図 6.3 呼吸誘導中の様子（左側面より）

Fig. 6.3 Scene of respiration-leading trial (from the left side).

6.3.1.4 呼吸誘導のアルゴリズム

呼吸誘導のアルゴリズムとしては、子どもが自分に合ったペースで徐々に長い誘導周期に慣れていけるように開発したものをマイコンのプログラムに組み込んだ。具体的には、はじめに安静状態の呼吸を 30 s 計測し、吸気開始点をトリガーとして呼吸周期を求め、その平均値を算出する。続く呼吸誘導の試行においては、ぬいぐるみの腹部がその呼吸周期の平均値のリズムで動き出し、5 呼吸目から誘導周期が 5 s 以上になるまで 3 呼吸ごとに 0.5 s ずつ誘導周期が延びるように設定した。その後は誘導周期と本人の呼吸周期が 5 呼吸中 3 呼吸一致した場合は誘導周期が 0.5 s 長くなるように設定した。一致の判定条件は、呼吸周期が誘導周期の $\pm 20\%$ 以内に収まっていることとした。5.5.3 で言及したように 30 s 以上呼吸誘導されない場合は誘導周期を短くすることも検討したが、今回は 5.5.1.3 と同様に誘導周期は下げないように設定した。誘導周期が 5 s に達した後は最短 5 s、最長 10 s の中で変動するようにし、180 s 後に動きが止まるようにした。呼吸誘導時の吸気：呼気（膨らむ時間とへこむ時間）の割合は 1 : 2 となるように制御した。

6.3.1.5 解析

呼吸誘導中にマイコンでリアルタイムに算出されたエアバッグセンサの呼吸周期と可動部の誘導周期のデータより、各参加者の呼吸誘導時における最初の呼吸周期と最長誘導周期ならびに誘導周期の延長回数を調べた。誘導周期の延長回数は、誘導周期が 5 s 以上

に達した後、終了する 180 s までの間に誘導周期が延長した回数をカウントした。また、MATLAB のプログラムを用いて、ECG よりハグ条件と誘導条件の前後の安静状態 (60 s) のうち、10-60 s の平均心拍を算出し、各条件の平均心拍の差 [試行後-試行前] (以下、平均心拍変化量) を出した。また、呼吸誘導時 (180 s) の同期率を 3.2.1.3 と同様の方法で算出した。

6.3.2 結果

6.3.2.1 誘導周期と同期率

Table 6.1 に呼吸誘導時における 9 名の誘導周期と同期率を示す。安静状態の呼吸周期の平均値は 4.02 s、最長誘導周期の平均値は 6.47 s、誘導周期の延長回数の平均値は 2.56 回、同期率の平均値は 53.2 % (0-180 s) であった。誘導周期の延長回数は 0 回が 2 名、1 回が 2 名、3 回が 2 名、5 回が 3 名であった。

表 6.1 呼吸誘導時の誘導周期と同期率

Table 6.1 Respiration-leading periods and overlap ratio during the respiration-leading state.

| No. | Age | Height (cm) | Starting RP (s) | Longest LP (s) | Extention (times) | Overlap Ratio (%) |
|-----|-----|----------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 8 | 120 | 4.0 | 7.5 | 5 | 52.2 |
| 2 | 9 | 128 | 5.3 | 5.8 | 1 | 75.3 |
| 3 | 8 | 123 | 4.0 | 5.0 | 0 | 20.6 |
| 4 | 8 | 123 | 3.8 | 6.8 | 3 | 59.1 |
| 5 | 8 | 128 | 4.0 | 5.0 | 0 | 44.2 |
| 6 | 8 | 120 | 5.1 | 7.6 | 5 | 55.6 |
| 7 | 9 | 131 | 3.4 | 7.9 | 5 | 77.4 |
| 8 | 9 | 130 | 3.9 | 6.9 | 3 | 60.9 |
| 9 | 10 | 131 | 2.7 | 5.7 | 1 | 33.3 |

RP: respiration period, 呼吸周期; LP: respiration-leading period, 誘導周期;

Extention: extension times (frequency), 誘導周期の延長回数.

Red Nos.: Children who were not leaded, 赤字 : 呼吸誘導されなかった子ども

6.3.2.2 平均心拍の変化

Fig. 6.4 に 9 名の平均心拍の試行前後の変化を示す。試行の順序はカウンタバランスを取ったが、図中は比較しやすいように、左は「ハグ条件」、右は「誘導条件」の順で結果を表記した。実際の試行順序は各図の下に記した。9 名中 No.5 以外の 8 名は仮説通りに、誘導条件の方が小さい（すなわち心拍の低下が大きい、または上昇が少ない）値となった。

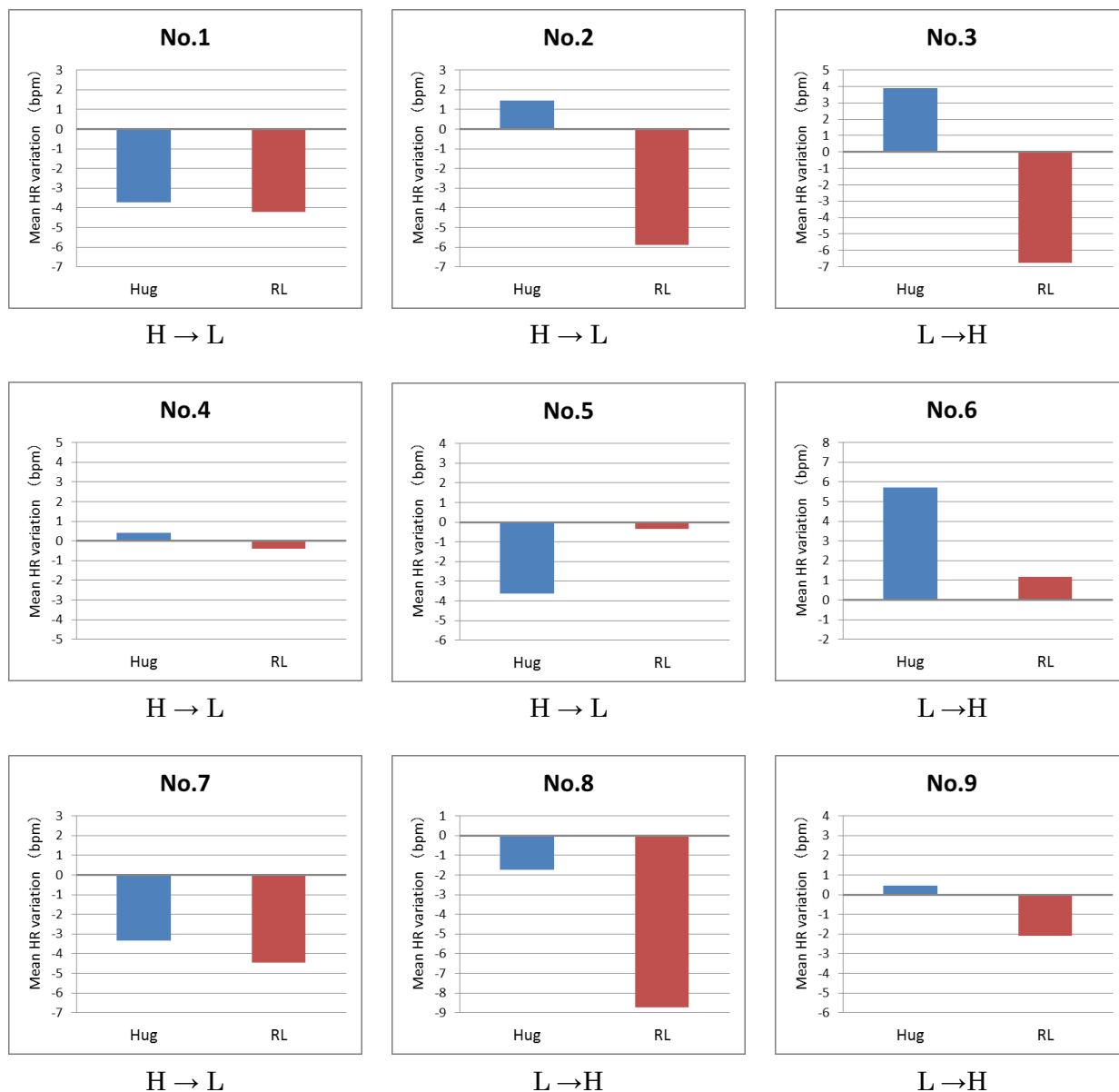


図 6.4 実験参加者ごとの各条件における平均心拍変化量の比較

Fig. 6.4 Comparison of mean heart rate variation between the conditions of each participant.

HR: Heart rate, 心拍; RL: Respiration-Leading, (呼吸) 誘導

試行順序 H → L : ハグ条件 → 誘導条件, L → H : 誘導条件 → ハグ条件

Table 6.1 の結果を基に呼吸誘導の有無を調べたところ、No. 3 と No. 5 は誘導周期の延長回数が 0 回かつ同期率が 20 % 台 (No. 3) ・ 40 % 台 (No. 5) と低かったので、呼吸誘導されなかったと見なした。また、No. 9 は誘導周期の延長回数が 1 回であったが、同期率が 30 % 台と低かったので、呼吸誘導されなかったと見なした。

この 3 名を除く呼吸誘導されたと見なされた 6 名において 2 条件を比較したところ、ハグ条件の平均心拍変化量の平均は -0.21 bpm, 誘導条件の平均心拍変化量の平均は -3.75 bpm で、対応のある t 検定で有意な差が見い出され ($p=0.0402$, $p<0.05$), 「誘導条件」の方が小さかった (Fig. 6.5)。

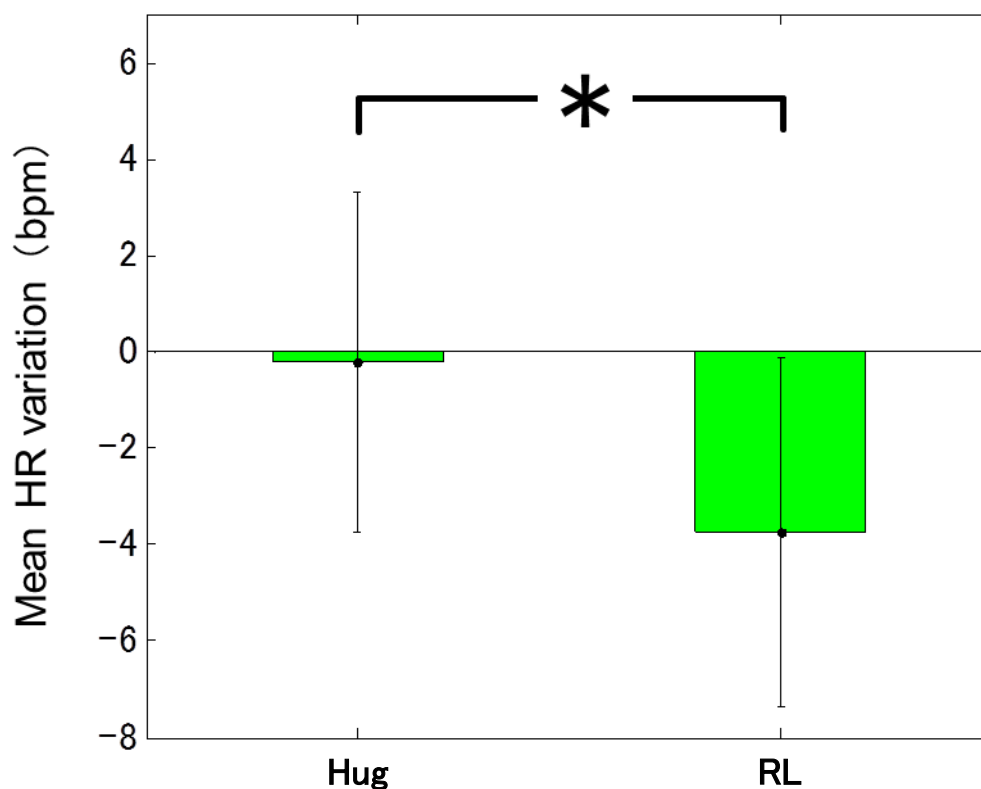


図 6.5 各条件における平均心拍変化量の比較 (6 名) (* $p<0.05$)

Fig. 6.5 Comparison of mean heart rate variation between the conditions (6 children).

HR: Heart rate, 心拍; RL: Respiration-Leading, (呼吸) 誘導

6.3.2.3 主観申告

Table 6.2 に 9 名の主観申告を示す。リラックス度は、6 名がハグ試行、2 名が誘導試行の方がリラックスしたと答えた。1 名 (No. 8) は両方とも同程度リラックスしたと答えた。

呼吸の合わせやすさは7名が5点以上を回答した。これは比較的呼吸が合わせやすかったことを示す。誘導周期の延長回数が0回だったNo.3とNo.5の2名は4点と答えた。

表 6.2 リラックス度と呼吸の合わせやすさの主観申告

Table 6.2 Subjective rating of relaxation and ease in following respiration-leading.

| No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|-----|---|---|---|----------|----------|---|----------|---|----------|
| Relax | Hug | 7 | 7 | 3 | 5 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 |
| | RL | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 | 7 | 5 |
| Ease | RL | 5 | 7 | 4 | 5 | 4 | 7 | 5 | 6 | 6 |

Units: Points on a scale of 1-7. 単位：点（7段階評価）；

Relax: Subjective measure of relaxation, リラックス度；

Italic bold number: Comparatively relaxed condition, 斜体太字：よりリラックスした条件；

Ease: Subjective measure of ease in following respiration-leading, 呼吸の合わせやすさ；

Hug: Hug condition, ハグ条件； RL: Respiration-Leading condition, 誘導条件.

6.3.3 考察

健常女児9名を対象に開発したモバイル型の呼吸誘導ぬいぐるみで平均心拍を指標としてリラクセーション効果を調べた。はじめに呼吸誘導時の誘導周期の変化を調べたところ、実験参加者の中には本番の呼吸誘導時に1回も誘導周期が延びなかった子どもが2名

(Nos. 3&5) いた。これは呼吸誘導されていなかったことを示す。呼吸誘導されなかった理由としては、装置と子どもの腹部同士が適切に接触していなかったために呼吸周期を正確に計測できなかったことと、呼吸誘導に呼吸を合わせられず、自分のペースで呼吸を続けていたことが挙げられる。また、呼吸誘導時に誘導周期が1回しか延びなかった子どもが2名いた (Nos. 2&9)。その2名の同期率を調べたところ、1名 (No. 2) は70%以上と高い同期率を示し、1名 (No. 9) は40%以下と低い同期率を示した。同期率が高かった子どもは呼吸誘導されていたものの、装置の誘導周期延長アルゴリズムの不具合により誘導周期がほとんど延びなかったことが実験後にわかった。一方、同期率が低かった子ども (No. 9) の呼吸波形を調べたところ、途中までは呼吸誘導されていて1度だけ誘導周期が延びたが、後半に呼吸誘導についていけずに自分のペースで呼吸をしていたことがわかった。よって、

後者の子どもは呼吸誘導されていなかったと見なした。この呼吸誘導されなかった3名を除いた6名でリラクセーション効果を調べたところ、2条件の平均心拍変化量には有意な差があり、「誘導条件」の方が小さかった。心拍は低い方がリラックスしていることを示すので、平均心拍変化量が小さいということは、誘導条件の方がハグ条件よりもリラックスしたことを示す。この結果より、呼吸誘導された6名においては呼吸誘導試行の方がハグ試行よりもリラックスしたことが示された。

呼吸誘導されなかった3名中2名 (Nos. 3&9) の2条件における平均心拍変化量は「誘導条件」の方が小さくなった。No. 3の呼吸波形を調べたところ、呼吸周期を正確に計測できていなかったために誘導周期の延長回数が0回だったので、実際には呼吸誘導されていた可能性がある。また、No. 9は上述のように途中までは呼吸誘導されていたので平均心拍変化量が「誘導条件」の方が小さくなったと考えられる。No. 6は仮説通りに呼吸誘導されて2条件における平均心拍変化量は「誘導条件」の方が小さくなったが、「誘導条件」における平均心拍変化量は正の値となった。これは実験という環境下で呼吸を合わせようと頑張ったために、呼吸誘導されつつも呼吸誘導前に比べて生理的に緊張したことが考えられる。

人間型クッション「ハグビー」を用いた研究では、ハグビーを抱きながら電話した方が抱かない場合よりもストレスが緩和されたという報告がある[46]が、実際にこの実験でも動きのない呼吸誘導ぬいぐるみをただ抱いているだけでも平均心拍の変化は9名中4名において低下したので、ぬいぐるみをハグするだけでもリラックスする現象が半数弱において確認できた。しかし、呼吸誘導を行うと、ぬいぐるみをハグするだけに比べて平均心拍が低下したので、ハグと呼吸誘導を組み合わせることでリラクセーション効果は増大するといえる。

ただし、生理指標では誘導試行の方がリラックスしていたのにもかかわらず、主観申告では9名中6名がハグ試行の方がリラックスしたと答えた。また、呼吸誘導された6名で見ても4名がハグ試行の方がリラックスしたと答えた。これは、これまでの研究でも示唆されていたように、子どもは自分の生理的なリラックス度を客観的に把握できていないことを示している。実験という特殊な環境下において呼吸誘導という慣れていない作業をするために、生理的にはリラックスしていたのに、心理的には実際よりも緊張を感じた可能性がある。このことより、子どもは心理指標と生理指標が合わないことが多いので、子どものリラクセーションを促す際は、生理的にリラックスしていることを教えてあげるなど、結果のフィードバックが必要であると考えられる。

呼吸誘導の合わせやすさに関しては誘導周期が延長しなかった2名は4点と、呼吸誘導された子どもたちと比べて、主観評価において呼吸の合わせやすさに対する評定値が低かった。

今回の実験で用いた装置には脈拍や吸気の様子をLEDの明滅で示したり、呼吸が誘導周期に合っていると誘導周期が延びたりするといったフィードバック機能がついていたが、子どもたちにはそれらのフィードバックを意識するように教示しなかった。今後この装置を用いる際は、そういった教示をすることでリラクゼーション効果や呼吸誘導の精度が高まる可能性がある。

6.4 まとめと課題

呼吸誘導ぬいぐるみに改良を加え、いつでもどこでも持ち運んで使用できるようにモバイル化した。そのモバイル型の呼吸誘導ぬいぐるみを使用して健常女児9名を対象にリラクゼーション効果の評価実験を行ったところ、呼吸誘導された子どもたちは動かないぬいぐるみをただ抱いていたときよりもリラックスしたことがわかった。

また、子どもは自分の生理的なリラックス度を客観的に把握できていないと見られたので、リラクゼーションを促す際は、生理指標の変化のフィードバックが必要であることが示唆された。

現時点ではリラクゼーション効果の評価に留まっているが、当初の目的にあるように、将来的には開発した装置を用いてPTSD発症の予防やPTSD発症後の症状改善にも応用できるかを調べていきたい。

第7章 まとめと今後

7.1 まとめ

2011年に発生した東日本大震災のような自然災害や事件・事故の後に心のケアを必要とする人が一定の割合で生じるが、子どもたちも例外ではない。特に一度心的外傷後ストレス障害（Post-Traumatic Stress Disorder : PTSD）を発症すると、その後の心のケア活動は長期に渡る。PTSD 症状緩和法の一つとして、心身を落ち着ける呼吸法の習得が挙げられている。一般的にもゆっくりと深い呼吸をすることが「緊張するような場面に遭遇したときに、心を落ち着ける方法」として支持されており、呼吸法は誰にでも取り組みやすく親しみやすいリラクゼーション方法の一つであるといえる。阪神淡路大震災後の研究結果より、低学年の児童（特に女児）の心のケア活動が優先されるべきであるといわれている。しかし、人的資源に限りのある教育や医療の現場では必ずしも心のケアが行き届いているとは言えない。そこで、低学年の児童でも自律的に呼吸法を学べる装置を探したところ、研究レベルや既存製品として、成人向けには様々な呼吸誘導装置が開発されているが、子ども向けには脈波を計測して視覚的にフィードバックするパソコン用のアプリケーションがあるだけであった。しかし、パソコン操作に慣れていない子どもには指導に時間がかかり、持ち運びが容易でない上に呼吸誘導が明示的でないため直感的に取り組めず、子ども、特に低学年の児童には効果的な使用方法がわかりにくい。そこで、本研究では幼児・小学生を対象とした新たな呼吸誘導ぬいぐるみ装置を開発することにした。親しみを感じさせ、より体感的にリラックスして呼吸誘導ができるよう、外観にはクマのぬいぐるみを使用した。抱き上げて起動すると呼吸周期を計測し、ぬいぐるみの腹部がその呼吸周期に合わせて動き出す。その動きに合わせて子どもが呼吸誘導されると、子どものペースに合わせて徐々に腹部の動きが遅くなり、長い呼吸周期へ誘導していく。誘導中に脈波から得られた生理情報を基に、終了後に結果の知識を伝える。最終的には持ち運びができ、簡単な操作で利用できるものにする。このように子どもが自分で操作できるものを開発できれば、子どもでも自律的に呼吸法を学べるようになるので、教育や医療の現場での活用が進むと考えられる。また、家庭においても幼少時から呼吸法に馴染むことができればストレス耐性が身に付き、ストレスの多い環境下でも心穏やかに実力を発揮できるようになると期待される。

本論文は7章で構成されている。

第1章では上記の背景と本研究の目的ならびに本論文の構成を記した。

第2章では、呼吸誘導ぬいぐるみ開発へ向けて行った基礎的検討の結果を記した。開発する装置では、子どもが最もリラックスする呼吸周期へ誘導し、装置簡便化のために脈波の生理指標のみで呼吸周期とリラックス度を計測することを考えた。そこで、5～11歳の健常児12名を対象にパソコン画面上で動くクマのキャラクターを利用した呼吸誘導の実験を行い、1. 子どもが最もリラックスする呼吸周期、2. 脈波から得られる呼吸周期の確度、3. 脈波の中でリラックス評価に適した指標を調べたところ、i. 子どもたちが最もリラックスする呼吸周期は、呼吸周期4秒、6秒、8秒の中からは特定できず、個人ごとに異なる可能性があること、ii. 脈波の計測データに乱れがない場合は脈拍変動から呼吸周期をほぼ正確に測定できること、iii. リラックス評価に用いる生理指標としては、脈波から得られる指標の中では脈拍と脈波振幅が適した指標であることが示された。また、呼吸誘導における呼吸周期はその子の安静時の呼吸周期から呼吸誘導を始めるのが適当であることも示された。さらに、5～61歳の健康な男女31名を対象とした上記1.～3.を再検証する実験を行い、上記ii. & iii. に関しては同様の結果を得た。

第3章では、第2章の知見を基にクマのぬいぐるみの腹部が一定リズムで上下するプラスチック製の可動部を用いた呼吸誘導装置を試作し、子どもに適用した評価実験について記した。実験では呼吸誘導が可能か、可能ならば年齢や性別により呼吸誘導の合わせやすさに違いがあるのかを調べた。なお、呼吸誘導の合わせやすさを調べるための指標として同期率を用いた。同期率とは呼吸誘導ぬいぐるみの腹部の呼吸周期と子どもの呼吸周期との一致度を表す指標で、完全に一致した場合は100%、全く一致しなかった場合は0%となる。4～12歳の健常児48名を対象に試作した呼吸誘導装置を用いて実験を行ったところ、呼吸誘導は可能であったが、同期率には個人差があり、6歳以下では同期率が低く、女子の方が男子よりもやや同期率が高いという結果になった。また、5～10歳の健常児8名を対象に誘導する呼吸周期が徐々に長くなっていく漸増パターンと最初から一定の呼吸周期で誘導する一定パターンとで同期率を比較したところ、パターン間には差がなかった。主観申告の結果には1回目よりも2回目の方がリラックスし、呼吸を合わせやすいという順序効果があった。このことより、呼吸誘導で子どもに呼吸を合わせさせ、リラックスさせるには、呼吸誘導パターンよりも子どもが負担なく快適に利用できて継続しやすい方法を考える必要があると言える。

第4章では、子どもにとって最もリラックスする呼吸周期を調べた基礎的研究について記した。成人を対象とした数多くの既存研究では、心拍変動の振幅が最大となる約10秒周期(6cpm)のリズムで呼吸を続けることで圧反射が改善され、種々の慢性病が改善すると

言われている。第2章では子どもが最もリラックスする呼吸周期を特定できなかったが、子どもでも心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期を調べれば、その呼吸周期が子どもを最もリラックスさせる可能性があると考えた。しかし、10秒周期の呼吸は成人でも苦しく感じるが多く、子どもはなおさら苦しく感じる。そこで、5～12歳の健常児10名を対象に心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期と、その呼吸周期における生理面・心理面のリラックス度と呼吸の合わせやすさを調べた。生理面のリラックス度は心拍と脈波振幅を、呼吸の合わせやすさは同期率を指標とした。その結果、成人を対象とした既存研究の結果と同様に、子どもの心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期は10～12秒の範囲内にあった。しかし、主観的に最もリラックスし、呼吸が合わせやすい呼吸周期は心拍変動の振幅が最大となる呼吸周期とは異なっていた。また、10歳以下の子どもたちは生理的にリラックスした呼吸周期で主観的にリラックスしたと感じていなかったため、年齢の低い子どもは自分自身の生理的な変化を客観的に把握できていない可能性が高い。以上の結果より、子どものリラックス度は生理指標を基に評価し、指標としては心拍変動ではなく、脈拍を用いることにした。

第5章では、第2～4章の結果を基に開発したエアバッグ式の呼吸誘導装置の概要と、その装置を用いて呼吸計測ならびに呼吸誘導が可能であるかを調べた実験について記した。第3章で開発した試作品はぬいぐるみの可動部にプラスチック製の装置を用いたが、感触が硬い上に、呼吸周期を測定するために呼吸センサを別途装着する必要があった。それらの課題を解決するために、エアバッグを2つ使い、子どもの下腹部に接するエアバッグの圧変化より呼吸計測を、上腹部に接するエアバッグの膨縮により呼吸誘導を行う呼吸誘導ぬいぐるみ装置を開発した。この装置を用いて7～10歳の健常児12名を対象に呼吸計測ならびに呼吸誘導ができるかを調べたところ、共に可能であった。さらに、装置に改良を加え、装置の制御にパソコンを使わないで済むよう、簡単なボタン操作のみで制御できるようにした。その装置を用いて、4～12歳の健常児58名を対象に、練習をせずに初めて呼吸誘導の試行に取り組んだ際の呼吸誘導の可能性についても調べたところ、7割以上の子どもで可能であった。

第6章では、第5章で開発した呼吸誘導装置に更なる改良を加え、持ち運びがしやすいようにモバイル化した装置の概要と、その装置を用いて行った評価実験について記した。第5章までの装置ではエアバッグ以外の部品はぬいぐるみの外に置いていたが、ここではすべての部品をぬいぐるみに収めて容易に持ち運びができるようにした。そのモバイル型の装置を用いて、8～10歳の健常児9名を対象にリラクゼーション効果を調べる本実験を

行った。実験参加者は本実験の1週間以上前に装置を用いた呼吸誘導の練習を行い、呼吸誘導された子どもを対象とした。ここで「呼吸誘導された」というのは、1回でも装置が誘導する呼吸周期が伸びたことを指す。なお、この装置では5呼吸中3呼吸以上、装置が誘導する呼吸周期に子どもが±20%以内の誤差で呼吸周期を合わせられたときに、誘導する呼吸周期が伸びるように設定した。本実験では、腹部が動かない呼吸誘導ぬいぐるみを3分間ハグするだけの「ハグ条件」と、呼吸誘導ぬいぐるみ装置で3分間呼吸誘導をする「誘導条件」の前後それぞれにおいて、閉眼安静状態で1分間ずつ平均心拍を計測した。実験終了後に、それぞれの試行後と試行前の平均心拍の差（以下、平均心拍変化量）を算出し、個人ごとに条件による違いを調べた。9名中3名が本実験の「誘導条件」において呼吸誘導されなかったため対象から省いた。呼吸誘導されなかった理由としては、装置の呼吸計測部位と子どもの腹部が適切に接触していなかったため、呼吸周期を正確に計測できなかったことが挙げられる。呼吸誘導された6名を対象に2条件の平均心拍変化量を対応のあるt検定で比較したところ有意な差があり（ $p < 0.05$ ）、「誘導条件」の方が小さかった（すなわち心拍の低下が大きい、または上昇が少ない）。この結果より、呼吸誘導のリラクゼーション効果は、単なるハグよりも大きいことが示された。

本研究の成果は、1. 基礎研究を基に幼児・小学生を対象とした新しいコンセプトによる持ち運び可能な呼吸誘導ぬいぐるみ装置を開発したこと、2. 開発した呼吸誘導ぬいぐるみ装置で呼吸計測ならびに呼吸誘導ができることを示したこと、3. 呼吸誘導を行うと、ハグするだけよりもリラックスすることを示したことである。このような子ども向けの視覚刺激を用いない呼吸誘導装置の開発は世界に類を見ず、また、このような装置の性能ならびにリラクゼーション効果を調べた研究も現存しないので、本研究は子ども向け呼吸誘導装置のパイオニア的なものと言える。

7.2 今後の展望

今後の展望としては、呼吸誘導ぬいぐるみ装置をPTSD患者に適用し、PTSD症状緩和への応用に取り組みたいと考えている。他にも、呼吸誘導装置から得られた生理指標のデータを親や教師、医師等に伝え、子どもの安否や健康状態を把握するためのデバイスとして活用することが挙げられる。逆に母親の呼吸リズムを通信等で伝達し、ぬいぐるみで再現することにより、子どもが母親の呼吸に自分の呼吸を合わせ、さらなるリラクゼーションを促すことができる可能性がある。また、抱き枕やクッションなど、外観を変えて成人向けに応用することも考えられる。

謝辞

研究や学会発表ならびに学生生活全般において多大なるご指導ならびに助言をいただきました大阪工業大学 ロボット工学科 大須賀美恵子教授に心よりお礼申し上げます。研究を進めていく中でご指導や助言をいただきつつ、本論文の副査も務めてくださいましたロボット工学科 筒井博司教授，同じく本論文の副査を務めてくださいました生命工学科 松村潔教授，研究面ならびに開発面で指導してくださったロボット学科 小林裕之准教授，中泉文孝講師に心よりお礼申し上げます。

第4章の実験において共同研究者として実験機材の貸与ならびに助言をいただきました関西学院大学 理工学部 生命医化学科の吉野公三准教授，同じく第4章の心拍変動バイオフィードバックに関する最新の知見をご教授くださった愛知学院大学 榊原雅人教授，研究や装置に関する助言をしてくださったナチュラル心療内科クリニック 竹林直紀院長，長岡京駅前メンタルクリニック 神原憲治院長，関西福祉科学大学 山田富美雄教授に心よりお礼申し上げます。

また，仕事の傍ら研究を続けさせてくださった株式会社七田チャイルドアカデミーの役員ならびにスタッフの皆様，本実験にご協力してくださった七田チャイルドアカデミーの生徒をはじめとした実験参加者の皆様に心よりお礼申し上げます。

最後にウェルネス研究室で共に過ごし，多くのご協力と助言を惜しまなかった日産自動車 棒谷英法博士ならびにウェルネス研究室の皆様心よりお礼申し上げます。

参考文献等

- [1] 文部科学省：平成 24 年度 非常災害時の子どもの心のケアに関する調査報告書，2013.
Retrieved November 4, 2015, available from http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1337762.htm (第 4 章 子ども心の健康状態, 4.2 子どもの現状に関する考察, p. 25)
- [2] 文部科学省：子どもの心のケアのために—災害や事件・事故発生時を中心に—, 2010.
Retrieved November 4, 2015, available from http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1297484.htm (第 2 章 子ども心のケアの体制づくり, p. 7)
- [3] 兵庫県教育委員会：災害を受けた子どもたちの心の理解とケア—研修資料, p. 28,
2011. Retrieved February 12, 2016, <http://www.hyogo-c.ed.jp/~somu-bo/bosai/kokorokea.pdf>
- [4] 山田富美雄, 百々尚美, 大野太郎, 服部祥子：震災ストレス反応の経時的変化におよぼす震度と性の影響. 日本生理人類学学会誌, **4**(1), pp. 23-38, 1999.
- [5] Zucker TL, Samuelson KW, Muench F, Greenberg MA, Gevirtz RN: The Effects of Respiratory Sinus Arrhythmia Biofeedback on Heart Rate Variability and Posttraumatic Stress Disorder Symptoms – A Pilot Study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **34**(2), pp. 135-143, 2009.
- [6] 梅沢章男：オープンフィールドにおける自己調整の生理心理学的研究：呼吸調整を中心にして. バイオフィードバック研究, **24**, pp. 22-27, 1997.
- [7] 文部科学省：スクールカウンセラー等活用事業, 2013.
Retrieved November 4, 2015, available from
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2013/07/09/1337584_2.pdf
- [8] Sakakibara M, Hayano J: Effect of Slowed Respiration on Cardiac Parasympathetic Response to Threat. *Psychosomatic Medicine*, **58**(1), pp. 32-37, 1996.
- [9] 五十嵐透子：リラクゼーション技法の種類と活用の実際. リラクゼーション法の理論と実際, 医歯薬出版株式会社, p. 25, 2001.
- [10] 小坂橋喜久代, 荒川唱子：呼吸法—すべてのリラクゼーション法の基礎. リラクゼーション法入門, 日本看護協会出版会, pp. 51-57, 2013.
- [11] 梅沢章男：ストレスと呼吸. 呼吸の事典, 朝倉書店, pp. 395-407, 2006.

- [12] Grant J, Korenfeld I, Wally C, Truitt A: Inhalation-to-Exhalation Ratio Affects HRV Training Success. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **35**(1), p.181, 2010.
- [13] Pastor M, Menendez FJ, Sanz MT, Abad EV: The Influence of Respiration on Biofeedback Techniques. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **33**, pp. 49-54, 2008.
- [14] 佐藤和彦: リラクゼーション手法としての呼吸法. *心身健康科学*, **5**(2), pp.93-101, 2009.
- [15] Vaschillo E, Lehrer P, Rische N, Konstantinov M: Heart Rate Variability Biofeedback as a Method for Assessing Baroreflex Function: A Preliminary Study of Resonance in the Cardiovascular System. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **27**, pp.1-27, 2002.
- [16] Del Pozo JM, Gevirtz RN, Scher B, Guameri E: Biofeedback Treatment Increases Heart Rate Variability in Patients with Known Coronary Artery Disease. *American Heart Journal*, **147**(3), pp.G1-G6, 2004.
- [17] Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Scardella A, Siddique M, Habib RH: Biofeedback Treatment for Asthma. *Chest*, **126**, pp.352-361, 2004.
- [18] Karavidas MK, Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Marin H, Buyske S, Malinovsky I, Radvanski D, Hassett A: Preliminary Results of an Open Label Study of Heart Rate Variability Biofeedback for the Treatment of Major Depression. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **32**(1), pp.19-30, 2007.
- [19] Siepmann M, Aykac V, Unterdörfer J, Petrowski K, Weymann MM: A Pilot Study on the Effects of Heart Rate Variability Biofeedback in Patients with Depression and in Healthy Subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **33**(4), pp.195-201, 2008.
- [20] Hassett AL, Radvanski DC, Vaschillo EG, Vaschillo B, Sigal LH, Karavidas MK, Buyske S, Lehrer PM: A Pilot Study of the Efficacy of Heart Rate Variability (HRV) Biofeedback in Patients with Fibromyalgia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **32**(1), pp.1-10, 2007.
- [21] Bernardi L, Porta C, Spicuzza L, Bellwon J, Spadacini G, Frey AW, Yeung LYC, Sanderson JE, Pedretti R, Tramarin R: Slow Breathing Increases Arterial

- Baroreflex Sensitivity in Patients with Chronic Heart Failure. *Circulation*, **105**, pp. 143-145, 2002.
- [22] Joseph CN, Porta C, Casucci G, Casiraghi N, Maffeis M, Rossi M, Bernardi L: Slow Breathing Improves Arterial Baroreflex Sensitivity and Decreases Blood Pressure in Essential Hypertension. *Hypertension*, **46**, pp. 714-718, 2005.
- [23] Lin G, Xiang Q: Heart Rate Variability Biofeedback Decreases Blood Pressure in Prehypertensive Subjects by Improving Autonomic Function and Baroreflex. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, **18**(2), pp. 143-152, 2012.
- [24] 榊原雅人: 心拍変動バイオフィードバック法による不安軽減効果の可能性 : 特性不安の高い学生の訓練経過から. *バイオフィードバック研究*, **39**(1), pp. 48-49, 2012.
- [25] Lehrer P, Vaschillo E: Heart Rate Variability Biofeedback : A New Tool for Improving Autonomic Homeostasis and Treating Emotional and Psychosomatic Diseases. *バイオフィードバック研究*, **30**, pp. 7-16. 2002.
- [26] 及川欧, Lehrer P: Heart Rate Variability (心拍変動) バイオフィードバックの臨床適応. *バイオフィードバック研究*, **35**(1), pp. 59-64, 2008.
- [27] Seung-Hun P, Dae-Geun J, Dae-Heung S, Weimo Z, and Min-Soo H: A Biofeedback-based Breathing Induction System. *The proceeding of iCBBE 2009*, 2009.
- [28] 青山泰史, 井上裕美子, 橋本渉, 大須賀美恵子: 呼吸を介した癒しシステム” The Mind Wave” の開発と評価. *バイオフィードバック研究*, **31**, pp. 27-34, 2004.
- [29] 山口大輝, 大須賀美恵子: 音楽と振動を用いた呼吸誘導によるリラクゼーション装置の開発. *計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2013 講演論文集*, SS5-4, 2013.
- [30] 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**(1), pp. 45-52, 2010.
- [31] 榊原雅人, 及川欧, Lehrer P: 心拍変動バイオフィードバック法. *バイオフィードバック研究*, **40**(2), pp. 41-48, 2013.
- [32] Retrieved November 13, 2015, available from http://mental-plus.jp/emwave_pc/
- [33] Retrieved November 13, 2015, available from <http://item.rakuten.co.jp/sleeproom/10004216/>
- [34] 文部科学省: 平成 24 年度学校保健統計調査 (確定値) の公表について, 2013.
- [35] 大橋優美子: 呼吸測定法. *看護学学習辞典 第 3 版*, pp. 1004-1005, 2008.

- [36] 江口一樹, 山本和司, 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: リラクゼーションのための呼吸誘導装置の開発へ向けて. 平成 23 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.127-130, 2011.
- [37] 山岸明子: 小・中学生における対人交渉方略の発達及び適応感との関連—性差を中心に. 教育心理学研究, **46**(2), pp.163-172, 1998.
- [38] 寺井堅祐, 梅沢章男: 呼吸セルフコントロールの心理生理的リラクゼーション効果—主観反応と生理反応の乖離について. バイオフィードバック研究, **39**(1), p. 51, 2012.
- [39] Vaschillo E, Vaschillo B, Lehrer P: Heartbeat Synchronizes with Respiratory Rhythm only under Specific Circumstances. *Chest*, **126**, pp.1385-1386, 2004.
- [40] Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B: Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: Rationale and manual for training. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **25**(3), pp.177-192, 2000.
- [41] Angelone A, Norman A, Coulter JR: Respiratory sinus arrhythmia: a frequency dependent phenomenon. *Journal of Applied Physiology*, **19**(3), pp. 479-482, 1964.
- [42] Hirsch JA, Bishop B: Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, pp.H620-H629, 1981.
- [43] Lehrer PM: Chapter 10: Biofeedback Training to Increase Heart Rate Variability. In *Principles and Practices of Stress Management (3rd Ed)* edited by Lehrer PM, Woolfolk RL and Sime WE, Guilford Press, pp.227-248, 2007.
- [44] Lehrer PM, Carr RE, Smetankine A, Vaschillo EG, Peper E, Porges S, et al: Comparison of respiratory sinus arrhythmia and neck/trapezius EMG biofeedback for asthma: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **22**(2), pp. 95-109, 1997.
- [45] 大須賀美恵子, 寺下裕美, 下野太海: 心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の解釈. *BME - Bio medical engineering*, **11**(1), pp.75-85, 1997.
- [46] Sumioka H, Nakae A, Kanai R, Ishiguro H: Huggable communication medium decreases cortisol levels. *Scientific Reports*, 3, Article number 3034, 2013.
- [47] 屋島知夏, 櫻井由李, 甲洋介: 長期入院児童とその家族をむすぶコミュニケーション支援—ツール設計に向けたケーススタディー. *人間工学*, **46**, pp. 262-263, 2010.

- [48] 三倉将太, 岩城敏, 上木諭, 茂木学, 武藤伸洋, 小林透: エアークッションを用いたモーションメディアデバイス. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **18**(1), pp. 63-72, 2013.
- [49] 大須賀美恵子: 自律神経系の生理反応と指標. 生理反応を用いたメンタルワークロードの評価に関する研究. 学位論文, 1994.
- [50] 大須賀美恵子: 生理実験入門 (全4回) : 第4回 自律神経系指標の計測. ヒューマンインタフェース学会誌, **7**(4), pp. 285-290, 2005.

研究業績

学術論文

- [1] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子どもがリラクゼ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. バイオフィードバック研究. **39**(2), pp. 77-84, 2012.
- [2] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子どものリラクゼーションのための呼吸誘導ぬいぐるみによる呼吸誘導の可能性の検討, バイオフィードバック研究, **41**(1), pp. 19-26, 2014.
- [3] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: エアバッグを用いた子ども向けの呼吸誘導ぬいぐるみの開発, 人間工学. **51**(6), pp. 428-434, 2015.

国際学会発表 (査読付)

- [1] Uratani H, Yoshino K, Ohsuga M: Basic Study on the Most Relaxing Respiration Period in Children to Aid the Development of a Respiration-Leading Stuffed Toy, Proceedings of IEEE EMBC 2014, 2014.

国際学会発表 (査読なし)

- [1] Uratani H, Ohsuga M: Respiration-guiding Stuffed Toy for the Promotion of Children's Relaxation, Proceedings of 2013 Annual Meeting of AAPB (Association of Applied Psychophysiology and Biofeedback), 2013.
- [2] Uratani H, Ohsuga M: Development and evaluation of respiration-leading stuffed toy to learn respiration control method for children, Proceedings of IEEE EMBC 2013, http://embc.embs.org/files/2013/3199_FI.pdf, 2013.
- [3] Uratani H, Ohsuga M: Basic study on the relation between heart rate variability and respiration period for children toward the development of a respiration leading stuffed toy, Proceedings of ACED 2014 (1st Asian Conference on Ergonomics and Design 2014), 2014.

学会発表

- [1] 浦谷裕樹, 山本和司, 江口一樹, 大須賀美恵子: 子どもがリラクゼーションを学ぶための呼吸誘導バイオフィードバックぬいぐるみの開発に向けて. 第 39 回日本バイオフィードバック学会学術総会プログラム・抄録集, p. 35, 2011.
- [2] 浦谷裕樹, 山本和司, 江口一樹, 大須賀美恵子: 子どものリラクゼーション促進のための呼吸誘導ぬいぐるみの開発. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, DVD-ROM 論文集, 2522D, pp. 685-686, 2011.
- [3] 江口一樹, 山本和司, 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: リラクゼーションのための呼吸誘導装置の開発に向けて. 平成 23 年度 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp. 127-130, 2011.
- [4] 浦谷裕樹, 山本和司, 江口一樹, 大須賀美恵子: 子どもがリラクゼーションを学ぶための呼吸誘導ぬいぐるみの開発. シンポジウム「モバイル' 12」研究論文集, 2141, pp. 95-98, 2012.
- [5] 浦谷裕樹, 山本和司, 江口一樹, 大須賀美恵子: 子どもがリラクゼーションを学ぶための呼吸誘導バイオフィードバックぬいぐるみの開発. 第 40 回日本バイオフィードバック学会学術総会プログラム・抄録集, p. 33, 2012.
- [6] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 腹部接触型の呼吸誘導装置の開発と子どもの呼吸法の学習への応用. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012, DVD-ROM 論文集, 1519D, pp. 295-296, 2012.
- [7] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子どもがリラクゼーションを学ぶための呼吸誘導バイオフィードバックぬいぐるみの開発と評価. 第 41 回日本バイオフィードバック学会学術総会プログラム・抄録集, p. 27, 2013.
- [8] Uratani H, Ohsuga M: Development and Evaluation of Respiration-Leading Stuffed Toy for Children to Learn Respiration Control Method. Department of Robotics Osaka Institute of Technology, 2013.
- [9] 浦谷裕樹, 吉野公三, 大須賀美恵子: 子どもの心拍変動の振幅と呼吸周期の関係. 第 53 回日本生体医工学会大会, 論文集 (CD-ROM) , 03-25-3, 2014.
- [10] 浦谷裕樹, 吉野公三, 大須賀美恵子: 吸気呼気の比率が心拍変動に与える影響に関

- する基礎検討. 第 42 回日本バイオフィードバック学会学術総会プログラム・抄録集, p. 36, 2014.
- [11] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: エアバッグを用いた呼吸誘導ぬいぐるみの開発と評価. 生体医工学シンポジウム 2014, 論文集 (CD-ROM) , 2P-28, p.163, 2014.
- [12] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子どもがリ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と評価. 第 33 回日本生理心理学会大会プログラム・予稿集, p. 40, 2015.
- [13] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 持ち運びが可能な子ども向け呼吸誘導ぬいぐるみの開発. 第 43 回日本バイオフィードバック学会学術総会プログラム・抄録集, p. 27, 2015.
- [14] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子ども向け呼吸誘導ぬいぐるみの初回使用時の適用性評価. 平成 27 年度 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp. 41-44, 2015.
- [15] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子: 子ども向け呼吸誘導ぬいぐるみ装置のリラクセーション評価. 第 55 回日本生体医工学会大会, 2016. (発表予定)

【付録】

用語説明

1. 本研究で用いられる生理指標

1.1 呼吸

「呼吸」とは息を吸い、吐く（呼）ことであり、生命維持のために反射的に行われる身体運動である。生命維持のためには細胞内のミトコンドリアが取り込んだ栄養素を燃やしてエネルギーを生み出す「代謝」を行う必要があり、代謝には酸素が必要となる。一方、代謝によって炭酸ガス（二酸化炭素）を生じるが、この炭酸ガスは身体にとって有害なため、体外に排出する必要がある。息を吸うことでこの代謝に必要な酸素を取り入れ、息を吐くことで代謝の廃棄物である炭酸ガスを排出すること、それが「呼吸」である。

1.1.1 呼吸の計測と各種指標

呼吸を計測するには、伸縮性可変抵抗素子をつけたベルト（呼吸ピックアップ）を用いて、呼吸に伴う胸囲や腹囲の変化を計測することが多い。換気量を正確に計測するには、マスクを装着して流量を計るが、鼻にサーミスタを装着して、呼吸に伴う温度変化を計測することもある。リラックスしていると深くゆっくりした呼吸になり、メンタルワークロード（※）や緊張により速く浅くなることが多い。

（※メンタルワークロードとは精神的な作業負荷を意味し、定義には精神的負荷〔外部から人間の精神に作用する、絶対的定量化の可能な影響〕と精神的負担〔精神的負荷を受けたその人個人に生じる精神的影響〕の2種類がある）

呼吸の速さの指標としては、呼吸時間（呼吸周期）、吸気時間、呼気時間あるいは周波数解析をしてピーク周波数などを求める。換気量の指標としては、一回吸気量、一回呼気量がある。また呼吸様式に関するものとして吸気時間と呼気時間の比率やポーズ時間がある。これらの指標の変化は作業の性質、特に運動性の負荷の強度にも依存し、一貫した変化が見られないことがある。なかでは、ポーズ時間の短縮と分時換気量（Minute Volume：MV）の増加はかなり普遍的に見られるという報告もあるが、ポーズ時間はまだ定義と求め方に課題がある[49] (Fig. A.1).

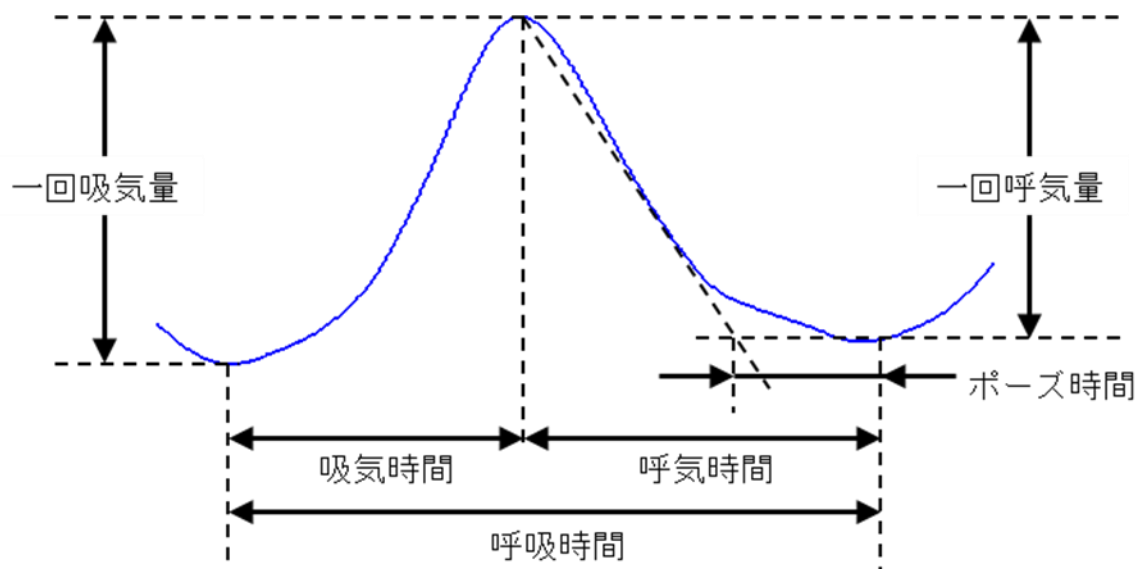


図 A.1 呼吸波から得られる指標
Fig. A.1 Respiration indices.

1.2 心電図 (Electrocardiogram : ECG)

心電図 (Electrocardiogram : ECG) は心臓の収縮に伴って発生する電位変化を胸部あるいは四肢に装着した2つの電極間の電位差として計測するもので、心房の興奮を示すP波、心室の脱分極を示すQRS、心室の再分極を示すT波からなる (Fig. A. 2).

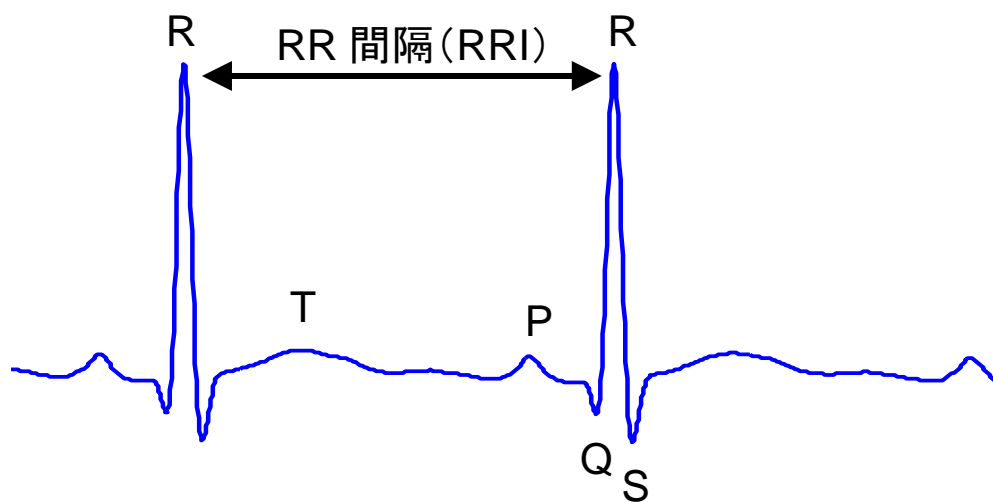


図 A.2 心電図から得られる指標
Fig. A.2 Electrocardiogram index.

RR 間隔 (RR Interval : RRI) は心電図 R 波と R 波の間隔で, 心臓交感神経と心臓副交感神経の拮抗支配を受けている. RR 間隔を 1 分あたりの心拍数に換算して, 瞬時心拍率 (Heart Rate) として用いることが多い. 緊張して心臓交感神経の賦活あるいは心臓副交感神経の活動の低下が起こると, RR 間隔は短縮し, HR は上昇する. また, リラックスすると逆に RR 間隔は伸長し, HR は低下する.

1.2.1 心拍変動 (Heart Rate Variability : HRV)

RR 間隔系列あるいは心拍率系列は時間的に変動しており (Fig. A.3), それぞれ RR 間隔変動, 心拍変動 (Heart Rate Variability : HRV) と呼ぶが, 区別せずに RR 間隔変動も含めて心拍変動 (Heart Rate Variability : HRV) と呼ぶことが多い.

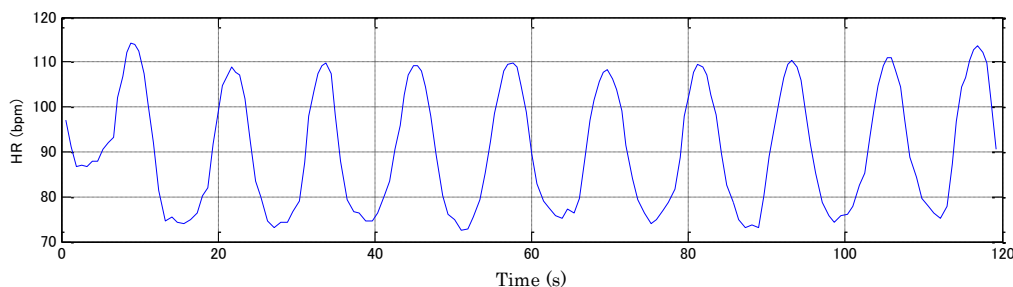


図 A.3 心拍変動の一例

Fig. A.3 Example of heart rate variability.

HRV には, 3 つの周波数帯域成分がある [25, 50]. 第 1 の成分は呼吸に由来する成分で, 呼吸性不整脈 (Respiratory Sinus Arrhythmia : RSA) と呼ばれる. RSA の主な発現メカニズムとしては, 呼吸による胸郭内圧の変化が血圧に影響し, 副交感神経の圧受容体反射 (Baroreceptor reflex; Baroreflex; BR) を介して心拍に現れるもの, 胸郭内圧の変化により静脈環流血流量が変わり, 心臓壁の伸展受容器からの副交感神経性の反射 (Bainbridge reflex) を介して心拍に現れるもの, 肺の伸展反射によるもの, 呼吸中枢と心臓血管系の相互作用によるものがある. RSA は主に副交感神経の指標と考えられており, 自律神経障害やメンタルワークロードにより副交感神経の活動が低下すると小さくなるとされている. この RSA が含まれる 0.15-0.4Hz (呼吸周期: 約 2.5~6.7 s, 9~24cpm (cycle per minute)) の間にある HRV 成分は高周波成分 (High Frequency rhythm : HF) と呼ばれる. RSA は呼吸の周波数と深さにも依存しており, 一般的に吸気とともに増加し, 呼気とともに減少す

る.

第2の成分は0.1Hz近辺の血圧のMayer Waveに由来すると考えられている成分(Mayer Wave related Sinus Arrhythmia: MWSA)である。Mayer Waveの大きさが変わらなければ、RSA同様、副交感神経性のBRの指標となる。BRは、血圧を一定に維持する循環調節系の中で最も重要な反射の一つであり、メンタルワークロードによって低下すると考えられている。Mayer Waveの含まれる0.04-0.15Hz(呼吸周期:約6.7~25 s, 2.4~9cpm)の間にあるHRV成分は低周波成分(Low Frequency rhythm: LF)とも呼ばれる。実際にはMayer Waveは交感神経系の賦活により増大する可能性があるため、この成分は交感神経系と副交感神経系の指標とされることも多い。

第3の成分は低周波の体温調節系やレニン・アンギオテンシン系に由来する成分であるが、分析対象時間が短いとあまり明確には見えない。この成分が含まれる0.005-0.05Hz(呼吸周期:約20~200 s, 0.3~3cpm)のHRV成分は超低周波リズム(Very Low Frequency rhythm: VLF)とも呼ばれ、交感神経との関連があり、血管緊張圧受容体反射(Vascular tone baroreflex)の影響を受けているともいわれるが、交感神経の賦活ではなく副交感神経の抑制により生じるという説もある。

これら3つの成分のうちの2つ(RSAとMWSA)をFig. A.4に示す[45]。

30年ほど前には、生理心理学者たちはHRVをノイズだと考えていたが、PTSDやうつ病、不眠症[5]、糖尿病[26]、パニック障害[25]の患者ではHRVの振幅の減少が見られることから、現在HRVは1)自律神経系の活動(時に交感神経と副交感神経のバランス)、ならびに2)適応能力(容量)の指標、すなわち「健康のバロメータ」として見なされている。HRVの減少は、生体に精神的・身体的ストレスが負荷された状態、あるいは各種疾患の病性に「負けている」状態を反映していると考えられる[25, 26]。

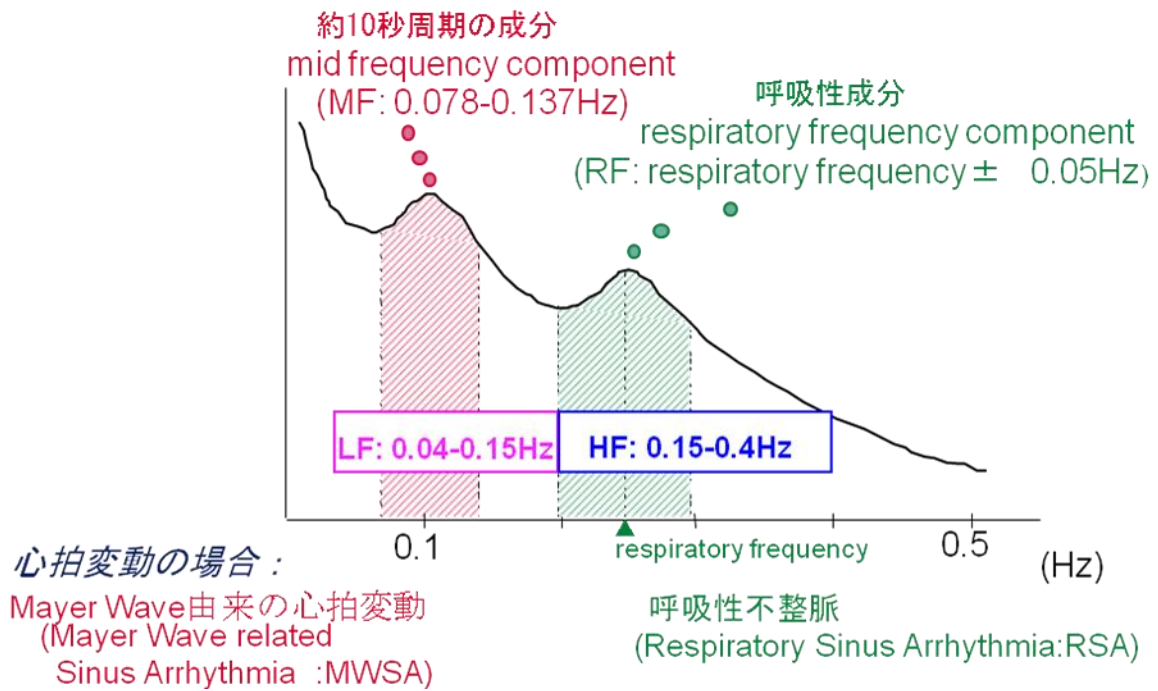


図 A.4 心拍変動指標 [45]

Fig. A.4 Heart rate variability indices.

1.3 脈波 (Pulse Wave)

呼吸誘導ぬいぐるみの開発において使用する生理指標に脈波がある。脈波とは、心臓の拍動に伴う末梢血管系の拍動（血圧・体積の変化）のことで、脈波の検出には、指先や耳朶に装着した発光源と受光素子で、血流量変化による透過光あるいは反射光の変化を検出する光電式容積脈波がよく用いられる。脈波から得られる指標には脈拍（脈波間隔, Pulse Rate:PR), 脈波高（脈波波高, Pulse Amplitude:PLA), 脈波伝達時間 (Pulse Transit Time : PTT, ※参照), 脈拍変動 (Pulse Rate Variability : PRV) などがあるが、本研究では第2章の結論より、リラクセーションの度合いを調べる指標として、主に PR と PLA を用いた (Fig. A.5).

(※ PTT は本来、同一動脈上の2箇所計測した脈波から求められる指標であるが、心電図R波を基準にしたPTTでも一拍ごとの平均血圧 (Mean Blood Pressure : MBP) と負の関係があり、血圧の代用測度となり得ることが示されて以来、簡便さのため、R波を基準にしたPTTが多く用いられている[49].)

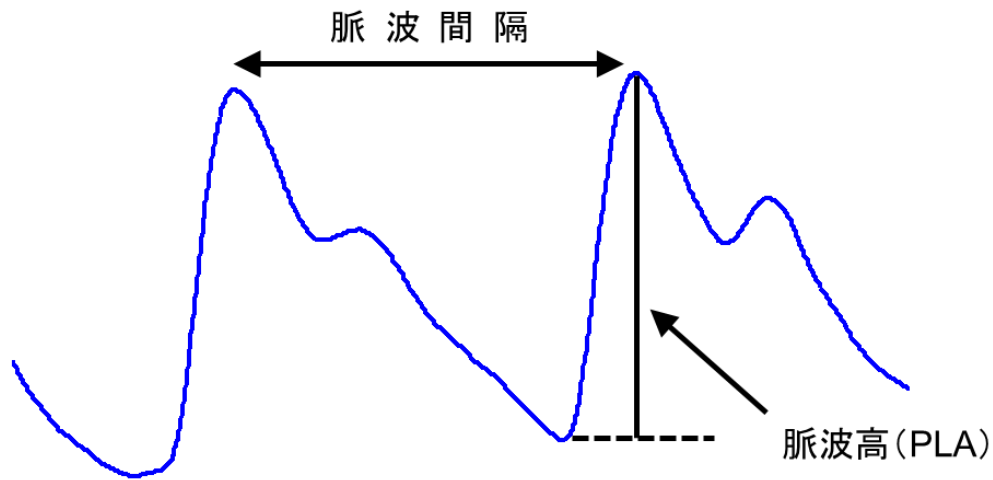


図 A.5 脈波から得られる指標
Fig. A.5 Pulse wave index.

1.3.1 脈拍 (Pulse Rate : PR)

脈拍は心拍と同様に，脈波の頂点間隔（脈波間隔）を一分あたりの瞬時脈拍数（Pulse Rate : PR）に換算した値である．脈拍は心拍の代用として用いられ，その変動も心拍変動と同様の変化を示す．生理心理的には，緊張すると PR は上昇し，リラックスすると PR は低下する．

1.3.2 脈波高 (Pulse Amplitude : PLA)

脈波高 (Pulse Amplitude : PLA) は脈波起点から頂点（縮峰期）までの高さである．末梢血管交感神経の賦活により，血管収縮が起こると脈波の波形が丸くなり，PLA が低下する．よって生理心理的には，緊張すると PLA は低下し，リラックスすると PLA は上昇する．

1.3.3 脈拍変動 (Pulse Rate Variability : PRV)

脈拍においても心拍と同様に変動が生じる．この現象は心拍の「心拍変動」に倣い，脈波では「脈拍変動」と呼んでいる．脈拍変動の主な特徴は心拍変動と同様である．

1.4 血圧 (Blood Pressure)

動脈血圧 (Arterial Blood Pressure) は一般的に上腕のカフ法による 1 分から数分ごとの間欠的な計測が多いが，本研究では指先での容積補償法による非観血的な連続計測法を用いる．

収縮期血圧 (Systolic Blood Pressure : SBP), 拡張期血圧 (Diastolic Blood Pressure : DBP), 平均血圧 (Mean Blood Pressure : MBP) が指標として用いられる (Fig. A. 6). 平均血圧は連続波形を積分しても得られるが, $2/3*SBP+1/3*DBP$ として求められることが多い. この3つの指標はともに, メンタルワークロードによって上昇する.

連続血圧あるいは一拍ごとの SBP や DBP には, 呼吸変動 (第2級変動) と 0.1Hz 近辺の Mayer Wave (第3級変動) が見られる. 臨床目的の自律神経機能の研究では, 立位負荷など交感神経賦活による Mayer Wave の増大, 睡眠による低下が報告されている. Mayer Wave の発現メカニズムについては血圧の制御系フィードバックの遅れによる発振だという見方が有力だが, 中枢性 (延髄の血管運動中枢) にもリズムが存在するという説もある [49].

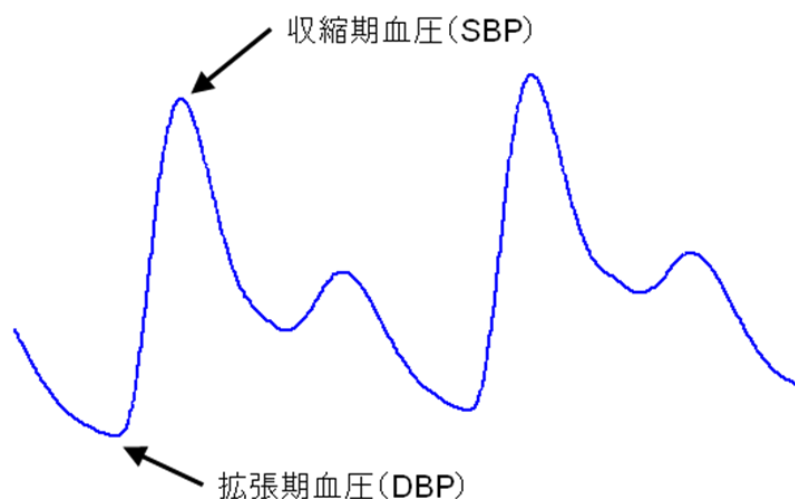


図 A.6 血圧から得られる指標
Fig. A.6 Blood pressure indices.

1.4.1 血圧変動 (Blood Pressure Variability : BPV)

血圧を時系列で観測していくと変動が生じる. この現象は心拍の「心拍変動」に倣い, 血圧では「血圧変動」と呼んでいる.