



心拍変動の特徴をもつ全身触覚刺激による生理反応

Physiological response to heartbeat-like whole body haptic stimulation

王 七音¹⁾, 花光 宣尚¹⁾, 脇坂 崇平¹⁾, 南澤 孝太¹⁾

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, nao, hanamitsu, wakisaka, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 社会的・環境的变化に伴い、触覚技術を用いて身体的や精神的に良好な状態を目指す体験が注目を集めている。しかし全身触覚体験においてどのような触覚パターンが体験者の心身をどのように変化させるかは分かっていないことが多い。そこで本研究では触覚要素として心拍と呼吸を参考にし、その要素を用いて全身に均一的な触覚と空間的な触覚の 2 パターンの触覚デザインを行い、体験者の生理計測の比較実験と主観評価を行った。

キーワード: 全身触覚刺激, 生理反応, 心理反応, リラックス効果

1. 研究の背景と目的

初めて well-being という言葉が言及されたのは、1946 年の世界保健機関 (WHO) 設立の際である。厚生労働省は well-being を「個人の権利や自己実現が保障され、身体的、精神的、社会的に良好な状態にあることを意味する概念」だとしている。昨今、マインドフルネスや瞑想、サウナなどが流行っている背景として、「身体的」かつ「精神的」に良好な状態であることの重要性を人々が認識し始めているのではないかと考える。

またテクノロジーの発展に伴って、身体を媒体と捉え触覚技術を用いて情報を伝達することで、感情や心を扱うアプローチが増えてきている。例としてアイソレーションタンクと呼ばれる、感覚を遮断し最小限の感覚刺激のみにすることでリラックス効果を図る体験がある。アイソレーションタンクを体験することで心身の幸福度が高まると報告 [1] されており、コンディション調整のために取り入れているスポーツ選手もいる。もう一つに Synesthesia X1-2.44 [2] 波象 (Hazo) がある。Synesthesia X1 (以降 X1 と表記) は 2 つのスピーカーと 44 個の振動子を内蔵した椅子型デバイスであり、波象 (Hazo) という作品ではサウンドアーティスト evala 氏の制作した音響とともに光・振動で体験者を包み込むことで新たな共感覚体験を提供している。体験を通して体験者の主観的な気分が高揚したことや、開始時と終了時を比較して鼻部温度が変化したことが報告されている。

しかし先行研究では、生理的・心理的变化が、どの触覚パターンによって引き起こされたのかはわかっていない。生理的・心理的变化を誘発する触覚刺激の要素が明らかになれば、その要素を用いて全身触覚体験を構成することで体験者の心情や生理反応を意図的に誘発することが期待できる。そうなれば、身体的にも精神的にも良好で well-being な状態を誘導させる全身触覚体験を作り出すことができる。そこで本論文では、体験者の生理反応や主観の評価を変化させる要素となりうる触覚刺激について検証した。

2. 関連研究

全身触覚刺激の刺激パラメータは、局所的触覚刺激の種類 (触源) や、それを時間的・空間的にどのように配置するかなど、多岐に渡る。それらの全パターンを網羅することは当然ながら現実的ではないため、本研究では、まず足がかりとして試す触覚パターンをデザインする為に、リラックス (副交感神経が優位な状態) と触覚に関するいくつかの関連研究を参考とした。それらを以下に示す。

まず、Azevedo ら [3] の研究では、スピーチの演習中に手首に心拍を模した触覚刺激を受けている発表者は、皮膚電位の上昇が抑えられ、また不安の度合いが低くなることが主観報告によりわかっている。また前腕に対する呼吸に近いリズムでの触覚作用が参加者の主観的な不安レベルを低下させたことが報告されている [4]。高齢者におけるマッサージと生理反応の関係性に関する研究 [5] では、ゆっくりとした動きの背中マッサージとハンドマッサージが、リラクゼーションの生理的または心理的指標について統計的に有意な改善が認められた。

3. 提案手法

以上の関連研究より、(1) 心拍を模した触覚刺激を (2) 呼吸に近いリズムで全身の背面にマッサージするような時空間パターンで提示することで、リラックス状態を効果的に生み出せるのではないかと考えた。本予備的検討での検証対象は、(2) とした。つまり全身に均一的な (homogeneous) 触覚刺激 (以下、H 刺激) と、空間的な変化のある (spatio-temporal) 触覚刺激 (以下、ST 刺激) を比較検討することとした。我々の仮説は、後者の方が、リラックスできるというものである。

3.1 システム構成

図 1 にシステム構成図を示す。触源を振動として出力し、振動のテンポや出力範囲を変化させることで、空間的な変化のある触覚刺激を提示するシステムを作成した。まず、音

楽制作ソフト Ableton Live を用いて触源のテンポを時間的に変化させ、触覚に変換するための触源とした。この触源をビジュアルプログラミングソフトウェアである Max に読み込み、振動周波数を調整できるよう実装した。また触覚提示空間の制御には、プログラミングツール TouchDesigner と Max を用いた。任意の色で塗りつぶされた長方形のイラストが上下に移動するアニメーション動画を作成、その動画を TouchDesigner を介して Max に伝送した。Max 側で上下するイラストに合わせて触覚刺激の範囲が変化するように実装した。最後に空間的な変化のある全身触覚刺激を実現するにおいて、上記でも紹介をした X1 を触覚提示装置として用いた。上述のシステムを介して触源を X1 で出力することで、全身を対象とした空間的な変化のある触覚刺激の提示を実現した。

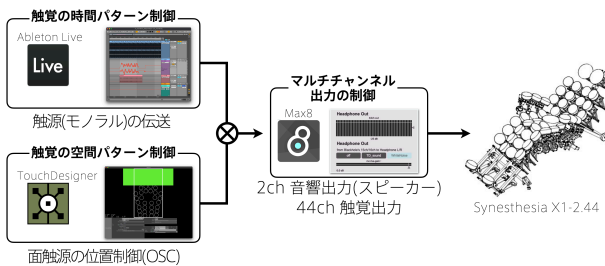


図 1: システムデータ構成図

3.2 触覚の設計

ここでは H 刺激と ST 刺激の条件間で、体験者の生理反応や主観評価に差が出るかどうかを明らかにするために、2種類の触覚刺激を設計した。

H 刺激：均一的な触覚刺激

触源として、心臓の鼓動音を模した触源を提示した。提示される刺激が徐々にゆっくりになることで、体験者の実際の心拍数もその触覚刺激のテンポとともにゆっくりになりリラックス効果を狙えると考え、テンポが徐々に遅くなるよう設定した。健康成人の平均心拍数が 70~60bpm であることを考慮し、初めの 4 分間は平均心拍数である 60bpm で提示し、次に 4 分かけて 60bpm から 45bpm に下げていき、最後の 4 分間は 45bpm の触覚刺激が提示されるよう設計した。この触覚刺激を全身に対して均一に提示した。

ST 刺激：空間的な変化のある触覚刺激

触源とテンポは均一的な触覚刺激と同様の設定にした。上述の通り、提示部位の変化の要素として呼吸のリズムを参考にした。4 秒かけて吸い込み、6 秒かけて吐き出す呼吸法がリラックス効果が高いとされている。したがって本実験でも、4 秒かけて吸い 6 秒かけて吐くリズムを参考に触覚デザインを行なった。図 2 のように、提示部位を空間的に変化させることで実現している。空気を吸うイメージのもと足から頭の方向に 4 秒かけて振動範囲が移動し、空気を吐くイメージのもと頭から足の方向に 6 秒かけて振動範囲

が移動するよう設計した。

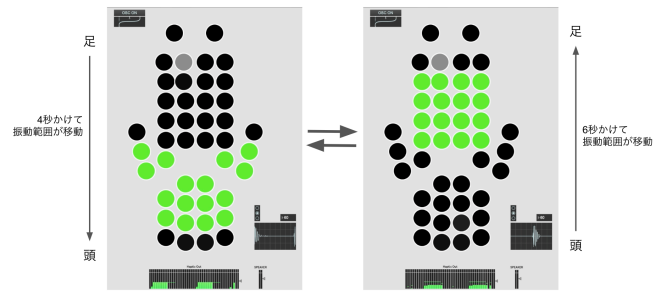


図 2: 呼吸に近いリズムをもつ触覚デザイン

4. 予備的検証

H 刺激よりも ST 刺激の方が、生理的・心理的にリラックス効果へ影響が出るかどうか検証を行なった。実験では、体験者に 2 種類の触覚パターンを体験してもらい、アンケートを通して体験に関する主観の評価をしてもらった。また心拍センサーによって生理データを計測し、体験中の生理反応の変化を測定した。

4.1 実験手法（プロトコル）と実験条件

実験参加者は 24 歳から 32 歳までの男性 3 名と、22 歳から 29 歳までの女性 3 名で、平均年齢は 26 歳だった。聴覚と視覚を統制するために、体験中はヘッドホンからホワイトノイズを流しアイマスクを着用させた（図 3）。また生理データ計測機器には心拍センサー（SFE-SEN-11574、スイッチサイエンス社製）を用いた。心拍センサーでは緑色波長の光を生体に向けて照射し、心臓の脈動に伴って変化する動脈の血流量をセンシングすることで脈波を計測している。主観評価に関しては、体験前後でそれぞれ同じアンケートに回答してもらい、体験前後の状態を比較した。

実験の流れ:

1. 主観評価用アンケートに回答
2. 心拍センサー、アイマスク、ヘッドホンを装着
3. X1 に横たわり 5 分間安静
4. 12 分間コンテンツを体験
5. そのまま 2 分間安静
6. 主観評価用アンケートに回答
7. 自由回答の半構造化インタビューを実施

4.2 評価方法

体験に関する主観評価には、Self-assessment manikin (SAM)[6]を用いた。SAM は快から不快を表す快次元と、興奮から落ち着いた状態を表す覚醒の次元をそれぞれ 9 段階で評価する。指標が絵で表現されているため、言語や文化に依存せず使用することができるため採用した。また 2 条件目の体験が終わった後のみ、以下の選択式アンケートにも回答してもらった。

- H 刺激と ST 刺激でどちらがリラックスできましたか？
- H 刺激と ST 刺激でどちらが好みでしたか？



図 3: 実験の様子

- H 刺激と ST 刺激でどちらが体験に集中できましたか？
- H 刺激と ST 刺激でどちらが楽しかったですか？
- H 刺激と ST 刺激でどちらが心地よかったですか？

そして最後に自由回答型の半構造化インタビューを実施した。

生理反応指標として時間領域の解析指標である SDNN (RR 間隔の標準偏差) および RMSSD (隣り合った RR 間隔の差の二乗の平均値の平方根) を用いた。SDNN/RMSSD の比を交感神経の指標とし、RMSSD を副交感神経の指標とした [7]。

4.3 解析と結果

2 条件それぞれにおいて、SAM による主観評価と心拍センサーによる生体反応の計測を行なった。

主観評価

SAM にて取得した快適度と覚醒度の結果を図 4 と図 5 に示す。どちらも体験前の体験者の主観評価と比較した増減数を箱ひげ図で表した。バツ印が平均値、横の直線が中央値を示している。図 4 に示すように、快適度に関しては H 刺激の平均が 0.83, ST 刺激の平均が 1.83 という結果となり、本実験においては ST 刺激の方が平均値が高い結果となった。図 5 の覚醒度に関しては、H 刺激の平均が -0.166, ST 刺激の平均は 1.16 だった。覚醒度の数値は ST 刺激の方が高い傾向が見られ、本実験においては H 刺激の方が落ち着きの方向に体験者の状態が動いた。

また選択式アンケートでは、リラックスできた：H 刺激 2 名/ST 刺激 4 名、好みだった：H 刺激 3 名/ST 刺激 3 名、集中できた：H 刺激 3 名/ST 刺激 3 名、楽しかった：H 刺激 0 名/ST 刺激 6 名、心地よかった：H 刺激 2 名/ST 刺激 4 名という結果だった。リラックスで H 刺激を選択した体験者は心地よかった方でも H 刺激を選択している。また好みで H 刺激を選択した体験者は集中できた方としても H 刺激を選択している。

生理反応

SDNN/RMSSD と RMSSD の解析には、Python の心拍解析ツールキット Heartpy[8] を利用した。また体験者 1 名の生理データが正確に計測できていなかったため、生理反応に関しては該当の 1 名を除き 5 名分のデータから分析した。

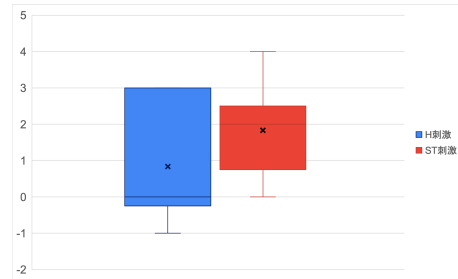


図 4: 体験前の状態からの快適度の増減平均

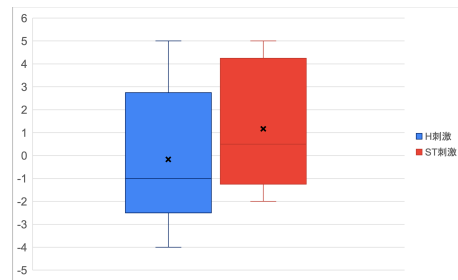


図 5: 体験前の状態からの覚醒度の増減平均

交感神経指標 SDNN/RMSSD および副交感神経指標 RMSSD の時間変化をそれぞれ図 6、図 7 に示す。エラーバーは標準誤差を表している。安静時間を合わせて合計 19 分における体験者の生理データの平均の推移を示した。図 6 の結果から、SDNN/RMSSD が H 刺激では減少傾向なのに対し、ST 刺激では増加傾向にある。また図 7 から、RMSSD に関しては条件間で大きな差は見られなかった。しかしデータの母集団が 5 名と十分でないため、統計分析を用いてより詳細に検証するためにはサンプル数を増やす必要がある。

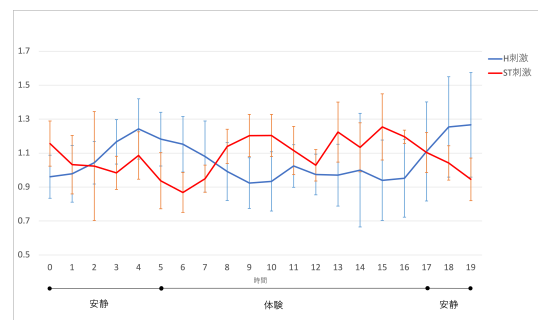


図 6: 体験者の交感神経強度の平均値の推移

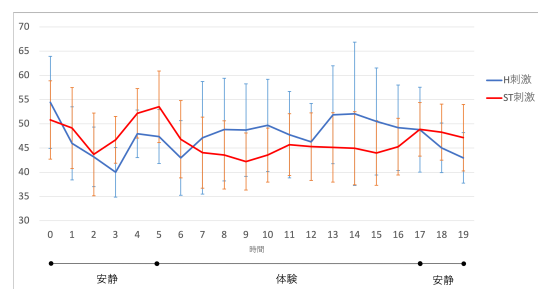


図 7: 体験者の副交感神経強度の平均値の推移

4.4 考察

本実験では、H 刺激と ST 刺激とで、生理反応と主観評価の有意な差は見られなかった。

SDNN/RMSSD に関して、条件間で交感神経の推移の平均値が反転する傾向が見受けられた。一般的に交感神経は集中状態やストレス状態の時に活発になることから、ST 刺激が集中状態を誘発した可能性が考えられる。しかし母集団が少ないため結果の信頼性は高くなく、今後は体験者を増やして検証する必要がある。

また、リラクセス効果を高める狙いで心臓の鼓動音を触源として利用していたが、この触源が空間的な変化の演出には合わなかった可能性も考えられる。体験者の体験後の感想で「心臓の鼓動音が迫ってくる感じが、映画の緊張するシーンを見ている時の感覚に似ていた」と答えた者が 1 名、類似した感想を述べた者が他 1 名いた。したがって ST 刺激において心臓の鼓動音という触源は、体験者によってはリラクセスではなく覚醒方向の効果を促す可能性もあり、触源の選定が今後の課題に挙げられる。

最後に、選択式アンケートの結果からも条件間に有意な差がみられなかったため、ST 刺激の方が優位にリラクセスにつながるという仮説とは異なる結果であった。つまり本実験においては、触覚刺激の空間的な提示パターンの違いは、体験者の生理・心理に対して影響を与えなかったことが示唆される。一方で体験後に実施した半構造化インタビューでは、どちらの触覚刺激に対しても「眠たくなった」というような回答がみられ、実際に寝ていた体験者も 3 名 (H 刺激 1 名/ST 刺激 2 名) いた。鼓動音を模した触覚刺激自体が体験者の生理的・心理的な変化に影響を及ぼした可能性も考えられるが、今回の実験デザインでは心拍を模した触源以外を試しておらず、鼓動音の効果自体は検証対象外である。

今後、空間的なパターンを検討する前段階として、心拍を模した時間的なパターンに関するパラメータの細分化や、心拍とは異なる特定の時間的なパターンをもつ触覚刺激のデザインを行い、体験者に与える生理的・心理的な影響について検討していきたい。

5. まとめ

本研究では、全身に対する均一的な触覚刺激 (H 刺激) よりも空間的な変化のある触覚刺激 (ST 刺激) の方がリラクセス効果が高いという仮説のもと検証を行なった。生理的な変化を誘発するために触源には心拍を模した振動パターンを用いた。ST 刺激は、リラクゼーション効果があるとされる深呼吸リズムを参考にデザインした。予備的検証の結果、条件間において生理的・心理的なリラクセス効果の大きな差は見られなかった。原因として、本実験においては空間的な触覚刺激の変化は生理的・心理的な反応に対してそこまで重要でなかったことがあげられる。空間的な変化があるかどうかではなく、心拍を模した時間的なパターンをもつ触覚刺激であることが、体験者の生理・心理に影響を及ぼす可能性が示唆された。このことから、空間的パター

ンを検討する前に、まずはリラクセス効果を高める狙いにおける時間的なパターンをもつ触覚刺激のデザインや触源を再度検討する必要がある。触源によっては、ST 刺激のような空間的な変化を持つ触覚デザインがリラクセス効果を向上させる可能性も考えられる。全身触覚体験により心身を変化させる上で時間的・空間的な触覚パターンのデザインが必要であることが再認識できた。今後は本研究で得た示唆を受けて、より詳細に触覚パターンの探索を行う本実験を進めていく予定である。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」(Grant number JPMJMS2013) および Synesthesia Lab の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] Dirk van Dierendonck and Jan Te Nijenhuis. Flotation restricted environmental stimulation therapy (rest) as a stress-management tool: A meta-analysis. *Psychology & Health*, Vol. 20, No. 3, pp. 405–412, 2005.
- [2] 花光宣尚, 田井秀昭, 元木龍也, 佐藤文彦, 清水啓太郎, 神山洋一, 南澤孝太, 水口哲也. Synesthesia x1-2.44: 聴覚・触覚・視覚を活用した共感覚体験装置. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 1, pp. 51–64, 2022.
- [3] Ruben T Azevedo, Nell Bennett, Andreas Bilicki, Jack Hooper, Fotini Markopoulou, and Manos Tsakiris. The calming effect of a new wearable device during the anticipation of public speech. *Scientific reports*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–7, 2017.
- [4] Athina Papadopoulou, Jaclyn Berry, Terry Knight, and Rosalind Picard. Affective sleeve: Wearable materials with haptic action for promoting calmness. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 304–319. Springer, 2019.
- [5] Melodee Harris and Kathy C Richards. The physiological and psychological effects of slow-stroke back massage and hand massage on relaxation in older people. *Journal of clinical nursing*, Vol. 19, No. 7-8, pp. 917–926, 2010.
- [6] Margaret M Bradley and Peter J Lang. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, Vol. 25, No. 1, pp. 49–59, 1994.
- [7] Hui-Min Wang and Sheng-Chieh Huang. Sdnn/rmssd as a surrogate for lf/hf: a revised investigation. *Modelling and Simulation in Engineering*, Vol. 2012, , 2012.
- [8] Welcome to HeartPy. <https://python-heart-rate-analysis-toolkit.readthedocs.io/en/latest/>.