



ファントムセンセーションによる体内振動知覚の生起条件

Conditions for the occurrence of phantom sensation-induced internal vibration perception

野田 諒太¹⁾, 柳田 康幸¹⁾

Ryota NODA, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学 理工学研究科 (〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜口 1-501, 253426029@ccmailg.meijo-u.ac.jp, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: ファントムセンセーションは 2 点を刺激すると、その間に 1 つの刺激を受けたと錯覚する現象である。この触錯覚現象は腕や足の体表に加えて、身体内部に定位させることも可能だが、その詳しい条件については明らかになっていない。本研究では振動子を取り付けたバンドを被験者の上腕に巻き付け、駆動させる位置を変えた際の体内定位条件について検証を行った。その結果、駆動させる振動子が腕の反対側に配置されるほど、体内定位の割合は増加した。

キーワード: ファントムセンセーション, 体内定位, 触覚

1. はじめに

バーチャルリアリティにおいて、触覚刺激を提示することは VR 体験の没入感向上に貢献している。しかし、提示する身体部位の範囲が増加するにつれ、装置が煩雑化するという問題点がある。この問題を解決する手法として、物理的な刺激点以外の箇所にも、触覚刺激を提示できる触錯覚がある。その例としてファントムセンセーション(以下 PhS)が挙げられる。PhS は、皮膚上の 2 点を振動刺激すると、2 点を結ぶ直線状に 1 つの振動感覚が生じる現象として知られている[1]。

PhS の利用例として、定点振動刺激による運動誘導や、振動刺激を変えて通知パターンを複数提示するデバイス開発などが挙げられる[2][3]。これらは、腕や指といった体表で提示される場合が多い。一方で、体内に振動刺激を提示させることも可能であるが[4]、体内定位に関しての研究事例が少なく、かつ体内定位させる条件については詳しくは明らかになっていない。

よって本研究では、複数の振動子を腕に取り付け、刺激位置を変えた際の PhS の体内定位割合について調査を行い、体内生起条件についての考察を行うことを目的とする。

2. 関連研究

2.1 体表における PhS

体表に刺激を提示させる研究は多数行われている。岡部らは腕に複数の振動子を取り付け、PhS による運動誘導を可能とした[2]。また鈴木らは、前腕部に振動子を複数取り付け、振動子の距離や、刺激強度を変えた時、PhS を最も知覚することができる条件について調査を行った[5]。

2.2 体内における PhS

体内に刺激を定位させる研究として、石井らは手部内部に刺激を定位させる実験を行った[4]。手部の両側に振動子を取り付け、刺激時間や振動周波数を変えた場合の体内定位について調査を行った。結果として、PhS は 90 Hz 以下の場合で手部内部に最も知覚することができたと報告された。Jinsoo らは PhS を用いた身体が貫通する感覚についての研究を行った[6]。実験では、被験者の体の前方と後方に一つずつアクチュエータを装着し、最も貫通する感覚を感じやすい振動の条件や提示時間について調査を行った。その結果、周波数は 100 Hz で最も知覚することができ、振動時間では 0.5 s と 1.0 s で違いは見られなかった。また川崎らは、腹部に振動アクチュエータを装着し、腹部の刺激によって足圧中心位置の誘導を行うことが可能かについての研究を行った[7]。この実験では、被験者の腹部と背中、両脇腹に計 4 つの振動アクチュエータを装着させ、2 次元平面において刺激を提示させた結果、腹部内部の任意の位置に PhS を定位させることができ、足圧中心を目標位置に誘導させることが可能であると示された。したがって、PhS における体内定位は振動周波数や提示時間についての調査は行われている。しかしながら、刺激箇所を変えた場合についての調査は行われていなかった。そこで、刺激位置を変えた場合についての PhS の体内定位について調査を行い、その条件について考察を行う。

3. 実験

本研究では、図 1 のように 4 つの振動子を取り付けたバンドを被験者の上腕に巻き付け、振動提示箇所を変更する。

これにより、刺激点がどこに生起するかを記録し、体内定位する割合をそれぞれ駆動させる振動子のパターンごとに調べ、体内定位が起こる条件について調査を行う。

3.1 実験装置

システム構成を図2に示す。振動子の選択はUnityで行い、トランジスタを用いて独立に振動子を駆動させた。ここでパソコンのスピーカから出力される信号はパワーアンプ (LM386 モジュール) を用いて増幅させる。振動子はアルプスアルパイン社のハプティックリアクタ (AFT14A903A) を使用した。また、パソコンから出力する音声波形はAudacityで生成した。



図1 装置を装着した様子

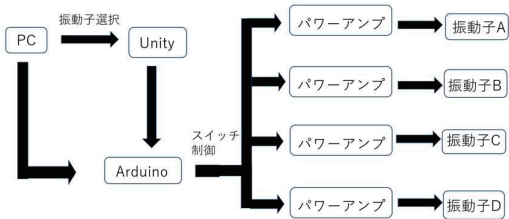


図2 システム構成

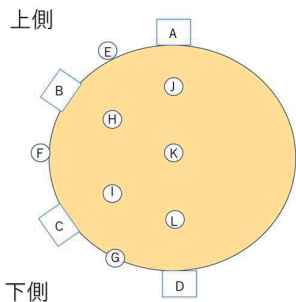


図3 腕の断面図及び回答図

3.2 実験条件

図1のように4つの振動子を取り付けたバンドを被験者の上腕に巻き付ける。ここで図3は腕の断面図であり、腕を水平に上げた時を上側、下側とする。振動子をそれぞれA～Dと割り振り、2つ振動子を選択し駆動させる。駆動させる振動子の組み合わせは、それぞれ60度間隔のA-B、B-C、C-D、120度間隔のA-C、B-D、180度間隔のA-Dとし、ランダムに10回ずつ合計60回の試行を行う。

また音声波形の周波数は200 Hzとした。振動刺激を最も知覚ができる周波数について調査するために、予備実験を行った。先行研究で提示されている90 Hzと100 Hz振動させた結果、内部振動は知覚できたが、図3から振動箇所を選択するのは困難であった。よってパチニ小体とマイスナー小体の特性を考慮した200 Hzや30 Hzで実験を行った結果、200 Hzの場合が最も振動を強く知覚でき、振動箇所を選択することが他に比べ容易であった。よって本実験では周波数を200 Hzとした。

また振動提示時間についても、刺激箇所の判断のために5秒間の提示とした。

3.3 実験手順

被験者は健常な20代の男性7名で行った。実験は振動子の位置を変えた際に、刺激がどこに定位するかを調査する。

まず振動子を取り付けたバンドを被験者の上腕筋付近に巻き付ける。実験者がランダムに2つの振動子を選択し、振動させる。被験者は、図3から振動を知覚できた箇所をA～Lまでの12個の選択肢から最も近い箇所を1つ選択する。ここで、もし被験者が振動箇所を知覚できなければ、複数回刺激提示を行い、再度回答していただく。また振動子の駆動音を被験者に聞こえないようにするために、被験者にヘッドホンを装着させ、ホワイトノイズを流す。

4. 結果

図4に各パターンについての体内定位が起こった割合についてのグラフ示す。

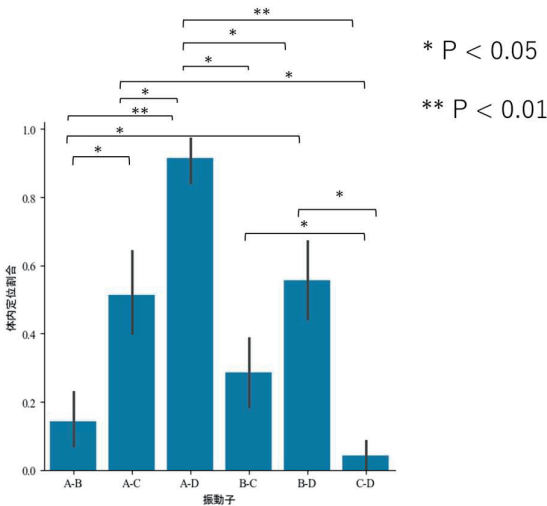


図4 パターンごとの体内定位割合

A-Dについては体内定位割合が0.9を超えており、A-CやB-Dは0.5程度であった。

ここでパターンごとの回答分布について以下の図5～7に示す。

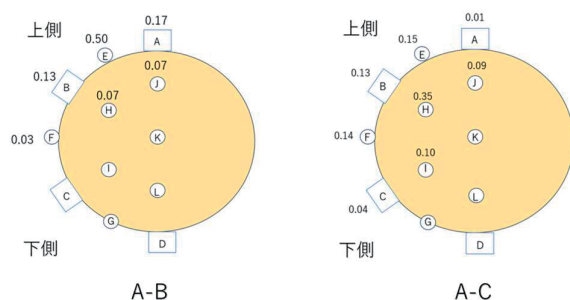


図5 A-B, A-C における回答の分布

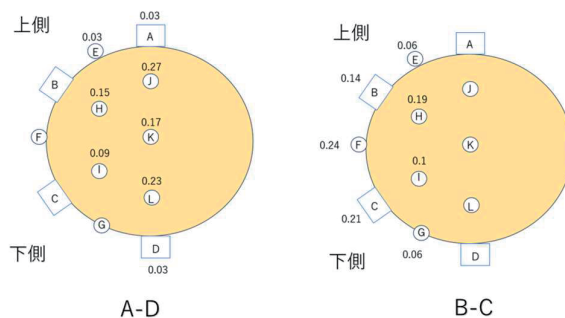


図6 A-D, B-C における回答の分布

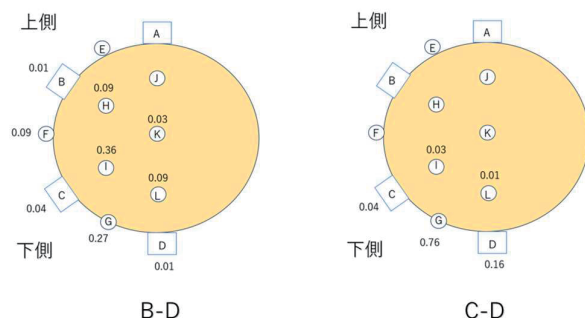


図7 B-D, C-D における回答の分布

パターン A-B や C-D については二つの振動子の間である E や G での割合が他の位置に比べて大きい、A-C や B-D, A-D といったパターンについては、駆動させた振動子間の中心から周囲に回答が分布しているような結果となった。

ここで振動パターン間について有意水準 5% でフリードマン検定を行った。その結果、パターン間では有意差がみられた ($p < 0.001$)。また、多重比較として、ホルム法によるウィルコクソンの符号順位検定を行った結果を図 4 に示す。図 4 から A-D と A-C, B-D と A-B などのパターン間で有意差が認められた。

5. 考察

検定結果から、B-C を除いた場合、振動子の間隔が 60 度の場合では体表に PhS が生じやすく、振動子間の角度が大きくなるにつれて、体内定位が起こりやすことが考えられる。

図 5~7 において A-B や C-D などの 60 度間隔の条件では、主に体表に生じやすく、刺激点に偏りは見られなかった。しかし A-C や B-D, A-D といった体内定位が起こる

場合については、2 つの振動子間の中心から周囲に刺激が広がっているような結果が得られた。また実験終了後、被験者に自由回答で感想を求めた際に、「体内については、とある範囲全体が振動しているように感じ、1 点のみを選択するのは難しかった。」といった意見が多く得られた。

刺激点に偏りがみられた理由として、体内定位は図 3 の選択肢のように点で刺激を感じるのではなく、ある範囲一帯に刺激を感じるのではないかと考える。感覚受容器は体表面直下であり、A-C や A-D などのパターンで振動刺激を受けた際に、その振動が筋肉や骨などの組織を通して皮膚にある多くの感覚受容器に伝わり、とある範囲一帯に刺激を受けたように感じると考える。また本実験での回答方法は、振動を感じた個所を 1 つのみ選択する形としたが、これではどの範囲まで振動を知覚することができたのかが分からない。よって、回答を複数選択とした場合に、刺激の広がりについて調査を行うべきであると考ええる。

6. おわりに

本研究では PhS による体内定位がどういった条件で起こるかを調査するために、腕に振動子を装着し、刺激位置を変えた場合についての実験を行った。

その結果、振動間隔が A-B や C-D といった 60 度の場合より、120 度の A-C や B-D, 180 度の A-D の場合の方が、より体内に知覚しやすいという成果が得られた。また後者の場合については、体内定位する箇所について広がりが見られた。

今後はこれらを基に、回答方法を複数回答や刺激箇所を図示する場合にした際の振動知覚の広がりについて調査をしていきたいと考える。

参考文献

- [1] Georg von Békésy: Neural Funnelling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea, The Journal of The Acoustical Society of America, Vol. 31, No. 9, pp. 1236-1249 (1959).
- [2] 岡部圭佑, サラザルホセ, 平田泰久: ファントムセンセーションを用いた定点振動刺激による運動誘導, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 1P1-L10 (2017).
- [3] 日高拓真, 清佑輔, 志築文太郎: 手・指におけるファントムセンセーションを用いた通知のための事前実験設計, 情報処理学会インタラクション, pp. 607-611 (2021).
- [4] 石井明日香, 佐藤未知, 福島政期, 古川正欽, 梶本裕之: 手部触覚による奥行情報の提示, 第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 310-313 (2011).
- [5] 鈴木啓太, トリグエトーマセン, 新妻実穂子: 振動触覚刺激を用いた前腕部へのファントムセンセーションの実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 1P2-X07 (2014).

- [6] Jinsoo Kim, Seungjae Oh, Chaeong Park, Seungmoon Choi: Body-Penetrating Tactile Phantom Sensations, Proc. ACM CHI'20, pp. 1–13 (2020).
- [7] 川崎陽平, 杉浦裕太: 腹部触覚提示を用いた足圧中心位置の誘導システム, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2021), pp. 335–339 (2021).