

空中超音波による快触覚刺激の提示

篠田・牧野研究室 修士2年 津本海
2021年 2月 2日 発表

1. 緒言

触覚は一般に、接触面の物理的特性を識別する側面の他に、複数人の間で情動を伝達する側面を持つ事が知られており、非言語的なコミュニケーションツールとして重要であるとされている。中でも触覚刺激によって生じられる快感覚はマッサージやリラクスの応用が考えられることからこれに対する理解は重要である。

この触覚刺激によって生じられる快感覚にはその触覚体験の文脈（コンテキスト）に依存するが、多くの研究では、有毛部に対するストローク刺激が物理的に快感を喚起することが報告されている。さらにいくつかの研究では、この触覚刺激によって生じられる快感覚がC触覚線維に起因することが示唆されている。

C触覚線維は有毛部にのみ存在する触覚受容器で、Lökenらによると前腕に移動刺激を与えたときの快感とC触覚線維の発光パターンとの間に相関関係があることが明らかになった [1]。この結果は、コンテキストに依存しない快感を喚起する物理的な経路が存在することを示唆しており、それが精神状態をコントロールする感覚チャネルとして活用できることを示唆している。

本研究では、空中超音波触覚ディスプレイ（AUTD）を用いて触覚刺激を提示する [2]。AUTDは空中超音波を用いることで物理的な接触なしに刺激を提示することができ、刺激の位置と強度の両方を弱い力の範囲ではあるが正確に制御することができる。したがって、この手法により、再現性の高い多様な刺激パターンを提示できるという特長を持つ。加えて、AUTDでは生成する刺激焦点の大きさ（直径 1 cm 程度）よりも十分に小さい間隔で刺激位置を更新することで直接的にストローク刺激を提示できる。

本研究では、AUTDの空中超音波集束ビームによってストローク刺激を提示しコンテキストをコントロールされない状態においても快感覚を生起する手法を提案し、よってその最適な条件を探索する。同時に、視覚刺激によるコンテキストのコントロールが、この触覚刺激の知覚に与える影響を調査する。

2. 実験A

本実験では、コンテキストのコントロールを行わず、触覚刺激の提示を行うことで快感を提示できる条件を探索する。

2.1. 実験方法

実験システムの外観を図1に示す。4台のAUTDは机から高さ 40 cm の位置に設置され、実験の間被験者は右の前腕部または手のひらをAUTDの直下の机上に置き、左手には電極が貼り付けられ、ストレス指標として知られる皮膚電位水準の測定を行なった。前腕部の高さに超音波の焦点を形成し、焦点径よりも小さい 5 mm 間隔で焦点位置を更新することにより移動刺激を提示した。実験の間、被験者はホワイトノイズの流れたヘッドホンを装着し、実験の指示が表示されたコンソール画面を見ることで触覚以外の刺激によるコンテキ

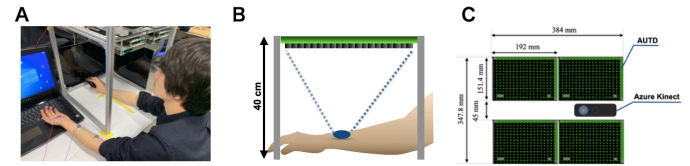


図1 実験システムの外観

表1 実験Aの刺激条件

Experiment	1	2	3
Frequency	0 Hz	0 Hz	50, 100, 200 Hz
Speed	10, 30, 300 mm/s	10, 30, 300 mm/s	30 mm/s
Position	posterior forearm	palm	posterior forearm

トのコントロールは行わなかった。刺激は刺激の移動速度、提示位置、振動周波数の違いを評価するため、3つに分けて行われた（表1）。それぞれの刺激を、被験者一人当たり8回、基準刺激（0Hzの静圧刺激）の直後に提示した。

2.2. 実験結果

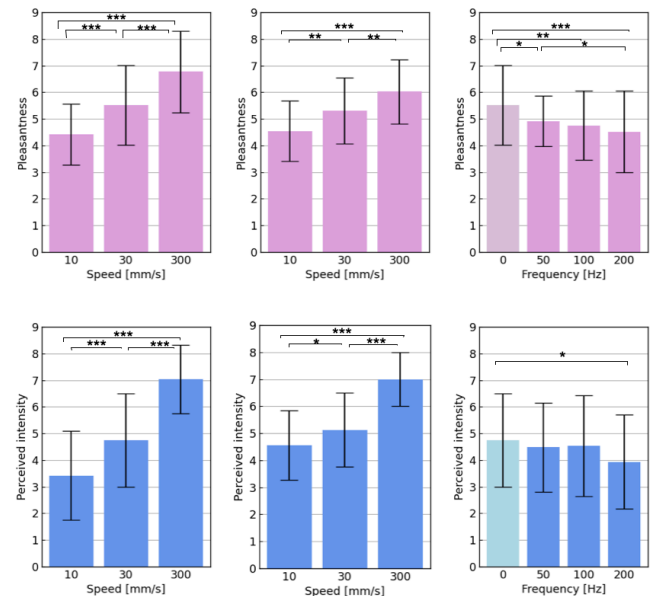


図2. 実験Aの結果

実験Aにおける知覚強度と快感覚のスコアの平均値を図 2 に示す。刺激移動速度を変えた実験A-1では、300 mm/s の刺激が知覚強度/快感覚共に最大となった。この結果は、前腕をブラシで撫でた場合の傾向とは異なっている [1]。

提示位置を手のひらに変えたA-2では、速度依存傾向は前腕部に提示した場合と同様であった。ただし、基準刺激の提示位置が異なるため縦軸のスケールは異なる。

振動周波数を変えたA-3では、静圧刺激が知覚強度/快感覚ともに最大となった。

2.3. 考察

快感覚のスコアの速度依存傾向は筆で行われた先行研究[1]とは異なる傾向を示したが、AUTDと筆では剪断力の有無などの物理的特性が大きく異なるため、本結果は刺激の物理的特性と生じられる快感の関係を理解するのに重要なものになったと言える。

実験A-2では基準刺激を手のひらに提示したが、その刺激の快感覚と知覚強度は全ての被験者が実験A-1の方が大きかったと答えた。そのため、速度依存傾向は同様だったものの、その大きさは、小さかった。これは本実験による触覚刺激がC触覚線維を発火させている可能性を示唆している。

3.実験B

実験Bでは、本システムを用いて生じられる快刺激を視覚刺激によるコンテキストのコントロールを行なった上でどのように変化するかを調査する。

3.1. 実験方法

実験に用いた画像は、図3 に示す4種類で、著作権フリーの画像サイトから「気持ち良い」というキーワードで得られる画像から移動刺激を連想できるもの2種類（picture1, picture3）および、「気持ち悪い」というキーワードで得られる画像から移動刺激を連想できるものを2種類（picture2, picture4）が選ばれ、それぞれここでは Pleasant picture group, Unpleasant picture group と呼ぶことにする。

触覚刺激は速度の異なる4種類（10, 30, 100, 300 mm/s）の振動のない静圧刺激を用いた。これらの組み合わせ計16パターン刺激が実験に用いられた。

実験では最初に基準刺激として 30 mm/s の刺激を画像を表示せずに3秒間提示し、その直後に3秒のカウントダウンの後画像による視覚刺激と触覚刺激が同時に提示された。被験者は刺激提示のたびに触覚刺激に対する知覚強度と快感覚の度合いを1から9までの9段階で回答した（ただし、5 は基準刺激と同等であることを意味する）。これを刺激の組み合わせ16パターンを各2回ランダムな順に、すなわち計32回分繰り返した。

3.2. 実験結果

Pleasant picture group を提示した場合と pleasant picture group を提示した場合における快感覚のスコアの変化を速度別に示したのが図4である。

全ての速度の触覚刺激で Unpleasant picture group を提示した方が Pleasant picture group を提示した場合に比べて快感覚のスコアは小さくなり 5 （基準刺激と同等）を下回る結果となった。

一方で知覚強度は、視覚刺激の影響を一切受けず、速度依存傾向も、視覚刺激を与えない実験Aと概ねいっとする結果となった。

3.2. 考察

本実験結果は、本システムによって提示される刺激は視覚刺激によるコンテキストのコントロールの影響を大きく受けるものであることが明らかになった。特に、刺激に対する不快感速度依存傾向が見られなくなったことから、画像刺激によって受けるコンテキストのコントロールの影響をより受けることが示唆された。

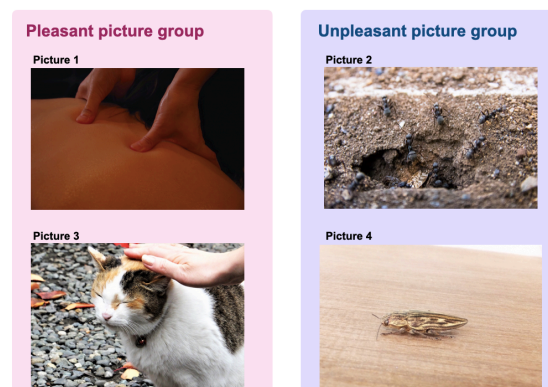


図3. 実験Bに用いた画像

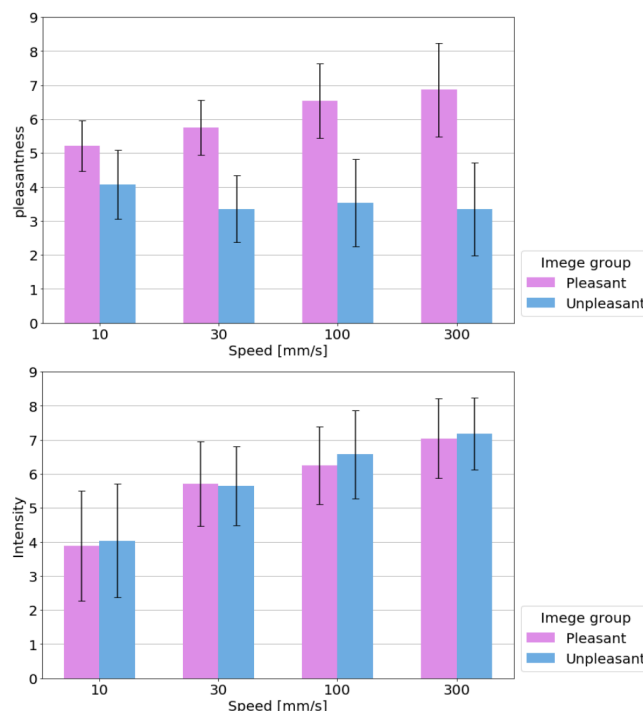


図4. 実験Bの結果

4.結言

本研究では、空中超音波集束ビームによる非接触な刺激によって快感覚を誘起するシステムを提案し、コンテキストも含めたその最適な条件を調査した。

その結果、空中超音波集束ビームによるストローク刺激は特定条件下で快感覚を誘起できる事が明らかになり、特に不快な刺激は視覚刺激によるコンテキストのコントロールをより強く受ける事が示唆された。

参考文献

- [1] Line S. Löken, Johan Wessberg, India Morrison, Francis McGlone, and Håkan Olausson. "coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans". 12(5):547-548,2009.
- [2] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, and Hiroyuki Shinoda. Non-contact method for producing tactile sensation using airborne ultrasound. In Manuel Ferre, editor, Haptics: Perception, Devices and Scenarios, Lecture Notes in Computer Science, pages 504-513. Springer.