



# 文脈改変を用いた痛みのマスキング

## Pain masking using contextual modification

小野田響<sup>1)</sup>, 今笙羽<sup>1)</sup>, 高見太基<sup>1)</sup>, 牛山奎悟<sup>1)2)</sup>, 溝口泉<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

Hibiki ONODA, Shoha KON, Taiki TAKAMI, Keigo USHIYAMA, Izumi MIZOGUCHI, and Hiroyuki KAJIMOTO

- 1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {onoda, shoha.kon, takami, ushiyama, mizoguchi, kajimoto}@kaji-lab.jp)
- 2) 日本学術振興会特別研究員

**概要**：痛みを軽減させる手法はこれまで数多く提案されてきた。本研究はそうした手法の一つとして、映像コンテンツによって痛みを生じる刺激に文脈を与えることで痛みの発生原因を誤認させ、感じる痛みを軽減させる手法を提案する。本稿ではその最初の検証として、スマートフォン側面からの電気触覚提示と同時に画面にコンテンツを表示するシステムを用い、電気刺激によって生じる痛みの閾値とコンテンツの関係について検証した結果について報告する。

**キーワード**：痛覚, 文脈改変, コンテンツ, マスキング

### 1. はじめに

痛みは多くの人を経験する困難な問題である。厚生労働省の調査によると、日本での慢性疼痛の有病率は 22.9% に達する[1]。慢性疼痛に対する対処法には、薬剤を用いる薬剤療法や痛み部位の神経付近に局所麻酔薬を直接注入する神経ブロックが挙げられるが、これらの対処法には副作用があることが知られている。

一方で、薬剤などの投与を行わずに痛みを軽減させる方法が研究されている。例えば、Soledad らの研究では、音楽を聴くことで、疼痛を抱える人々の痛みの強さと鎮痛薬（オピオイド）の消費量が軽減されたことが示された[2]。岡野らの研究では、電動マッサージ器を用いて肩甲挙筋および母指球部に振動刺激を加えると、両部位で痛覚閾値の有意な上昇が認められた[3]。また、Youchan らの研究では、エアバックを搭載したロボットを握ることで疑似的なソーシャルタッチを実現し、苦痛を和らげる方法も提案されている[4]。Lorimer らの研究によると、慢性的な手の痛みを抱える患者において、運動中に自分の手足の視界を縮小すると、動きによって引き起こされる痛みが大幅に縮小することが示唆された[5]。

近年では安価で手に入るようになった Head Mounted Display (以下 HMD) を用いた痛みの緩和手法も研究されている。Philip らは、脊髄損傷 (SCI) 患者において、市販の HMD を用いた VR デバイスまたは 2D スクリーンアプリケーションを使用することで、神経因性疼痛の痛みの強度が有意に低減されると報告した[6]。Maya らの研究では、

針関連の医療処置中の 5~8 歳の子供向けの痛みの気晴らしツールとして、HMD による VR 空間を使用することで、痛みの知覚が減少したと報告された[7]。また Georgios らの研究では、VR のタスクと触覚のインタラクションを伴うことで冷水による痛みの耐性時間が延長することが報告された[8]。

これらの VR や 2D スクリーンを用いた手法の多くは注意のゲート理論をもとにしている。注意のゲート理論とは HMD などに映し出された映像コンテンツが痛みへの注意を吸収し、気をそらすことで痛みの知覚を減らすという考え方であり[9]、これまでに紹介した映像コンテンツを利用した研究でもこの理論が多用されている。

本研究ではこの手法とは異なる「文脈の改変」を用いた手法を提案する。ここでいう文脈の改変とは VR 空間やスマートフォン上で提示されるアニメーションによって感覚の「原因」を主観的に変更することを指す。例えば、拡張現実技術を用いて眼前に子猫を表示し、その子猫がユーザを「ひっかく」動作と同時に痛みが提示される場合、その痛みはもはや痛みとは感じられず、心地よいインタラクションの要素となると考えられる。本手法は強い痛みを消す効果は期待できないが、少なくとも痛みの許容範囲を広げる可能性がある。

本研究のきっかけとなった研究は、電気刺激によって「猫とじゃれあう」際の触覚を提示するというコンテンツの開発であった[10]。この際、猫とじゃれあう映像を提示すると、ユーザがより強い刺激を求めようになり、電気

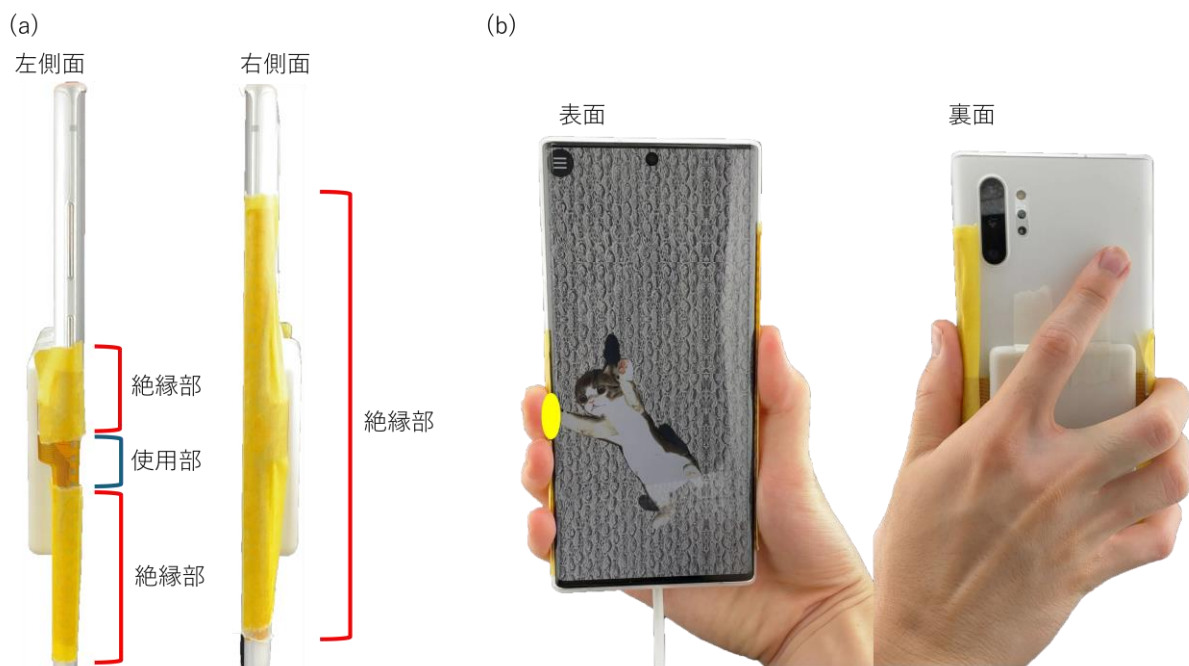


図 1 本実験で使用したデバイス

(a) スマートフォン側面の電極部, (b) 画面に表示する猫の画像とその時のスマートフォンの裏面

刺激の感覚の質に関する感想も好意的なものへと変化した。本研究はこうした観察を基に、痛みに対する文脈改変の効果をもより詳細に検証するものである。

本研究の目的は電気刺激によって生じる痛みの閾値に対してコンテンツがどのように影響を与えるのかを調査することである。本研究では、痛みの提示手段として電気刺激を用いる。これは熱等の他の痛み提示手段と比較して、刺激量のリアルタイム調整が簡便に行えるためである。電気刺激を映像の動きと同期したタイミングで提示することで、本来は電気刺激による刺激が、特定の文脈に従って発生する刺激であるかのように人に知覚されるようになる。つまり、痛みの因果関係を本来とは別のものに移し替えることができる。痛みの原因を前述の子猫のように、人間にとって刺激を受けても不快になりにくいコンテンツの文脈に組み込むことで主観的な痛みを低減できると考える。

## 2. 実験：猫の映像を用いた痛みのマスキング

### 2.1 使用デバイス

本実験では図 1 (a) のような電気刺激装置を側面に取り付けたスマートフォンを用いて実験を行う。このセットアップは前章で述べた猫とじゃれあうインタラクションのために開発されたシステムとはほぼ同様である[10]。スマートフォンの両側面には 32 点のアレイ状電極が貼付されている。電極直径は 2.0 mm、電極中心間距離は 3.75 mm である。刺激可能な電流は最大 23 mA、パルス幅は最大 1 ms である。本実験では最大 10 mA、パルス幅 50  $\mu$ s の設定で用いる。ただし、今回使用する電極は中指が接する図 1 (a) の青色の使用部のみであるため、他の部分はマスキングテ

ープで覆っている。

### 2.2 実験手順

実験は被験者 6 名 (男性 5 名, 女性 1 名, 22~26 歳) で行った。被験者には図 1(b)のように 小指, 薬指, 中指をスマートフォンの左側に, 親指をスマートフォンの右側に, 人差し指をスマートフォンの背面に触れるように持ってもらい, 中指が触れている位置の電極から電気刺激が行われる。被験者には, 中指は必ず指腹 (指先と第一位関節の間) がスマートフォンの側面に設置されている電極に触れるように, かつ側面の電極を完全に覆うように持ってもらった。位置が必ず同じになるように指腹にあらかじめ水性ペンでマーキングした。画面に表示する猫の画像を図 1 (b) に示す。スマートフォンに表示される猫のアニメーションにおいて, 猫の手先が画面側面に触れる際に図 1 (b) 左の黄色い円の場所に電気刺激が行われた。これによって電気刺激が「猫に引っかかっていることによって生じている」という文脈を生成している。

画面への猫のアニメーションの表示は, 次の三つの条件である。(1) 猫を表示しない, (2) 猫のアニメーションに同期したタイミングで電気刺激を行う, (3) 猫のアニメーションに対し 0.45 秒の遅延を持たせたタイミングで電気刺激を行う。遅延時間を設けた条件を追加した理由はモダリティ間に遅延がある場合の効果についてみるためである。また, この遅延時間を 0.45 秒にした理由は予備実験時にこの遅延時間で遅延が明瞭に感じられたためである。各条件での電気刺激と猫のアニメーションとの関係性と猫のアニメーションの 1 ループ中の挙動を図 2 に示す。

電気刺激はパルス幅 50  $\mu$ s, パルス周期 60 pps (pulses per

sec) の陽極刺激 (刺激電極が陽極, 周囲の電極がグランド) を用いた. 電気刺激の大きさは 0 mA からスタートし, アニメーションの 1 ループ (現在のアニメーションでは 1.97 秒) ごとに 0.1 mA ずつ上昇させた. つまり最大は 100 回目まで 10 mA となる. 前述の 3 条件それぞれに対してこのルールで電気刺激を上げていき, 電気刺激に対して参加者が不快感を生じた時の電流値 (閾値) を記録した. 電気刺激は不快感を生じた際にはすぐに実験者が刺激を停止した.

全 3 試行は被験者ごとにランダムで行われ, 各試行の間には前の電気刺激の影響が指に残ることを避けるために数十秒のインターバルを設けた.

### ★: 電気刺激のタイミング

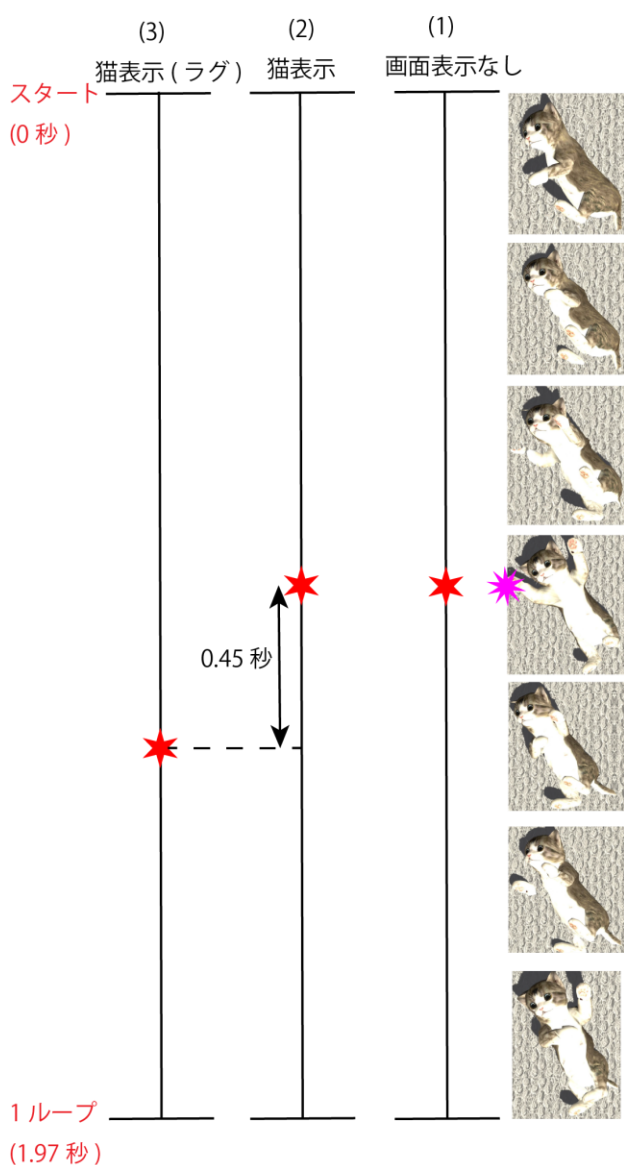


図 2 電気刺激のタイミングチャート

## 3. 実験結果

実験結果を図 3 に示す. 被験者のうち一人は, 実験中

スマホの画面から頻繁に目を離しており, 実験条件に則していなかったため結果から除外している. 画面に時間遅れなしに猫を表示した状態での電流閾値は最大値最小値ともに画面に何も表示しない場合の最大値最小値よりも高かった. これに加え中央値は 5.5 mA であった. これは画面に何も表示しない場合の最大値である 5.4 mA よりも高い. 画面に猫を表示するが電気刺激にラグがある条件では他の 2 条件よりも分散が大きくなった.

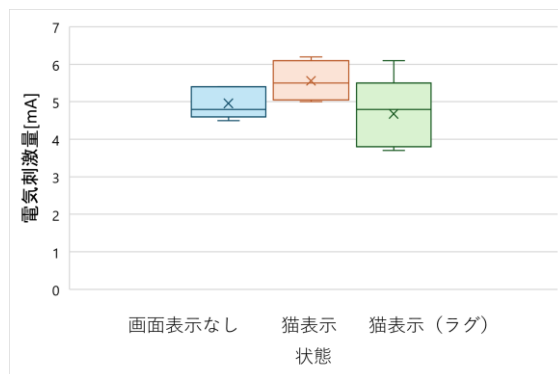


図 3 各条件で回答した電気刺激量

## 4. 考察

### 4.1 画面への猫の表示の有無

現時点では被験者数が少ないため統計的検定は行っていないが, 実験結果から, 画面に猫の映像を映し, それに合わせた電気刺激を提示することで, 被験者が電気刺激を不快に感じる電流の閾値を高めることが示唆される. この点に関して, 我慢できる痛みのレンジが増えたというコメントがあった. また, 画面に何も表示していない状態では電気刺激そのものに注意が向いているが, 猫を表示した条件では猫の挙動と電気刺激の両方に注意が向いていたというコメントもあった. したがって, 今回の手法でも注意のゲート理論が実験結果に影響を与えた可能性がある. しかし, 痛み刺激と刺激を与える原因そのものに注意が向いているため, 刺激対象から完全に注意をそらす従来の注意のゲート理論とは異なっている.

### 4.2 3 条件の電流閾値が近い被験者

被験者の中には 3 条件の電流閾値が近い値を示している被験者もいた. この被験者のコメントによると, 今回の条件の基準である不快の定義がよくわからなかったということであった. また別の被験者は感覚として変わったというよりは許容範囲が広がったというコメントもあった. したがって今後の実験では被験者の回答条件を変更する必要があると考える.

### 4.3 電気刺激のラグ

図 3 の結果からわかるように, 電気刺激のラグに対する不快感の閾値回答は人によって大きなばらつきが見られた. ただし, 画面に何も表示しない条件と近い値になることが確認されたため, ラグを持たせることで猫による痛みの閾値の上昇効果が低下した可能性がある. しかし電気

刺激のラグによる効果は感じなかったというコメントや、そもそもラグが分からなかったというコメントも確認されたため、ラグに関してはより詳細な検討が必要である。ラグを感じなかった被験者に関しては、条件の順番が通常の猫を映す条件とラグを持たせた条件の間に何も表示しない条件があったため、1回目に行った時の猫と電気刺激のタイミングを3回目の条件時には忘れてしまい、コメントの際に猫が映っているものを同一の条件としてみなしてしまった可能性がある。

## 5. おわりに

本稿では、痛みの原因を誤認させるという「文脈改変」を用いた痛みのマスキング手法を提案し、実験では電気刺激によって生じる痛みの閾値と映像コンテンツとの関係性を調査した。実験結果から、電気刺激と映像コンテンツに対して対応関係が感じられた被験者に対しては不快感の閾値の上昇が示唆された。4.2にあるように、今回は不快の定義が伝わらなかった被験者は各条件間での回答した電気刺激量に差は無かったが、そうでない被験者には条件間で差が見られた。コンテンツを用いた文脈改変は、痛みを軽減させるのに十分な可能性を持っていると考えられるが、回答条件は本稿で行った実験をもとによく吟味する必要がある。例えば被験者の痛み回答条件の見直しを図ったり、複数の指標を用いた被験者回答を行ったりすることで本手法の有効性を検証できる。

今後の展望として、より被験者数を増やし大規模にかつ複数の指標に対して検討を行っていく。また、手への提示だけではなく、HMD装着時の顔への提示など、身体の数部位で検証を行うことで、本手法の有効性を検討していく。

## 参考文献

- [1] 松平浩, 竹下克志, 久野木順一, 山崎隆志, 原慶宏, 山田浩司, 高木安雄: 日本における慢性疼痛の実態,

pp186-205, 2009.

- [2] M Soledad Cepeda, Daniel B Carr, Joseph Lau, Hernando Alvarez : Music for pain relief, pp1-6, 2004.
- [3] 岡野智, 栗原亮, 富田昌延, 伊藤匡史, 安藤正志 : 振動刺激が痛覚閾値に及ぼす影響, pp1-5, 2019.
- [4] Youchan Yim, Fumihide Tanaka : Development of an Inflatable Haptic Device for Pain Reduction by Social Touch, pp1-3, 2021.
- [5] G. Lorimer Moseley, Timothy J. Parsons, Charles Spence : Visual distortion of a limb modulates the pain and swelling evoked by movement, pp1-2, 2008.
- [6] Philip D. Austin, Ashley Craig, James W. Middleton, Yvonne Tran, Daniel S. J. Costa, Paul J. Wrigley, Philip J. Siddall : The short-term effects of head-mounted virtual-reality on neuropathic pain intensity in people with spinal cord injury pain: a randomised cross-over pilot study, pp1-9, 2020.
- [7] Maya Bordum, Emil Engberg, Peter Blomsgård Hansen, Nickolai Frederik Schouborg Jensen, Martin Fritzbøger Jægerlund, Jeppe Nygaard Mouritzen, Hannibal Hjelming Poulsen, Lukas Gade Ravnsborg, Celine Zeh Rybak, Frederik Hald Stappert, Bjørn Troidahl, Julius Ebenau Winther, Rolf Nordahl : Pain Distraction for Children Through VR- or Audio-haptic Soundscapes in Situ, pp1-3, 2023.
- [8] Georgios Karafotias, Georgios Korres, Akiko Teranishi, Wanjo Park, Mohamad Eid : Mid-Air Tactile Stimulation for Pain Distraction, pp1-7, 2017.
- [9] Ted Jones, Todd Moore, James Choo : The Impact of Virtual Reality on Chronic Pain, pp1-10, 2016.
- [10] Taiki Takami, Taiga Saito, Takayuki Kameoka, and Hiroyuki Kajimoto : ExtEdge: Haptic Augmentation of Visual Experiences of a Smartphone by Electro-Tactile Sensation Through the Edges, pp1-8, 2023.