



文脈改変による痛みのマスキング (第 3 報)

提示文脈と痛覚刺激の整合性を与える影響の検証

Pain Masking by Contextual Modification (III)

Examining the impact of consistency between presentation context and painful stimuli

小野田響¹⁾, 溝口泉¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Hibiki ONODA, Izumi MIZOGUCHI, and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学研究科 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {onoda, mizoguchi, kajimoto}@kajilab.jp)

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。我々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した。本稿では痛み刺激原因として電気刺激を、痛み刺激原因の文脈として猫の動画を採用し、提示文脈と痛覚刺激の整合性を与える影響を調査した。

キーワード: 痛覚, 文脈, 心理, HMD

1. はじめに

疼痛緩和のために薬剤投与が有効であることが知られている[1]. 一方で薬剤投与には副作用があることも知られている[2]. 疼痛緩和の治療を受ける人の中には、こういった副作用の多い薬剤投与手法に対して忌避感を覚える人も多く、麻酔薬や鎮痛剤を用いない方法で痛みをコントロールする非薬物的な対処法の提案が望まれている。

薬剤を用いずに痛みを軽減する手法は数多く提案されている[3]. ある研究では、採血中の子供にカードや万華鏡で遊ばせたところ採血時の痛みのレベルが低くなったことが確認された[4].

近年では低コストで導入できる利点から、HMD を用いた VR による疼痛緩和が注目されている[5]. 小児歯科治療を対象とした研究では、局所麻酔を必要とする侵襲的な歯科治療を受けた子供たちにおいて、VR 環境でアニメーションを提示した。これにより、痛みの知覚と行動的な痛みの兆候に減少傾向が確認された[6].

このように、これまでに提案されてきた VR を用いた疼痛管理の手法は一定の成果を上げている。一方でこうした方法は特定の人に対して効果が低いことが確認されている。特に注意をそらす手法に関しては、痛みを過度に恐れる人は注意をそらすこと自体が困難であり、効果が得にくいとされている[7]. したがって、刺激原因から注意をそらすことなく疼痛管理が可能な新たな手法が望まれる。

この課題に対する解決策として我々は、刺激原因から注

意をそらすことが困難な人でも利用できる「文脈改変による痛みのマスキング」と呼ばれる手法を提案した[8], [9]. これは痛みの原因を、視覚的に人間にとって不快ではないコンテンツに置き換えて見せることで、主観的な痛みを低減するというものである。我々は前報にてスマートフォン[8]及び VR・AR 環境での検証を行い[9], それぞれの環境下での有効性を示した。一方で前報までの検証では新たな文脈としてすべて「猫がひっかくことで痛みを生じる」という刺激を用いてきた。これらを通して時間的な整合性に関しては検証を行ってきた。しかし、本手法の特性を理解するには時間的な整合性だけでなく、特定の痛覚刺激に対する提示文脈との整合性の検証を行うことが望ましい。

そこで本稿では、VR 空間で前項と同様の痛覚刺激に対し、複数の文脈を提示し、提示文脈と痛覚刺激の整合性が主観的な痛みに与える影響を調査した。今回は新たな文脈として複数の猫の動画を用意した。

2. セットアップ

実験装置は手のトラッキングを行うための Vive トラッカー、VR コンテンツを表示するための頭部搭載型ディスプレイ (Quest3, Meta) および制御用 PC、被験者に電気刺激を与えるための電気触覚装置で構成されている。実験中のセットアップを図 1 に示す。

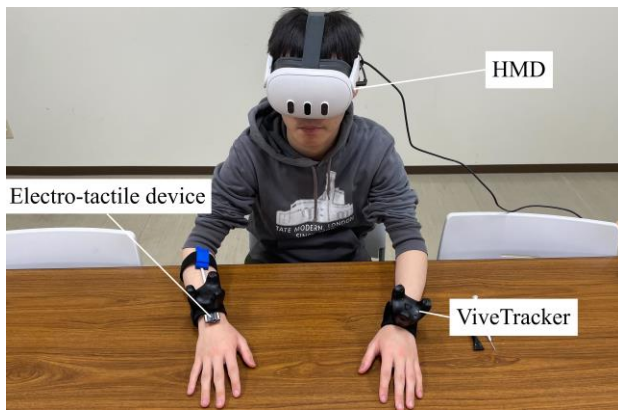


図 1: 実験のセットアップ

2.1 電気触覚装置

電気触覚装置は電気刺激により、被験者に痛み刺激を提示する。刺激電極は直径 1mm、電極中心間距離は 2.5mm であり、64 点から構成されている。この装置は右手首に取り付けられた Vive トラッカーの真下に取り付けられており、パソコンから任意のタイミングで刺激を送ることができる。

刺激パターンは横一列の電極がほぼ同時に刺激される。厳密には電極は同時には 1 つだけが選択され陽極となり、他の電極すべてが陰極となる。これを高速で切り替えることで横一列のパターンが提示される。この列刺激が 0.03 秒ごとに 1 列ずつ上方向に移動していくことで移動していく感覚を提示する。

本実験ではこの下から上への横一列の刺激の移動を 1 ループと定義する。1 ループにかかる時間は 0.3 秒である。本実験ではパルス幅は $50 \mu s$ に固定し、最大 10mA までのパルスを与える。電気触覚装置は ESP32 マイクロコントローラにより制御されており、PC と USB2.0 によるシリアル通信を行っている。

2.2 VR 空間

HMD を用いて全身アバターと猫がいる VR 空間に参加者を没入させる。VR 空間は Unity 3D ゲームエンジンで開発されている。この空間にはアバターと猫、椅子、机のみが表示されている。被験者は VR 空間中で頭の回転及び、手の移動をすることで体験に没入することができる。

3D アバターは両手と頭の計 3 点でトラッキングされた。下半身は現実空間と姿勢を合わせるために VR 空間の椅子に座った状態で固定された。頭は HMD の位置情報に基づいて、両手は両手首に取り付けた Vive トラッカーの位置情報に基づいてトラッキングされた。ただし、指の詳細なトラッキングまでは行えないため、被験者はなるべく VR 空間中でのアバターの手の形に実空間の手の形を合わせるように指示された。被験者の性差の影響を極力減らすためアバターは極力シンプルで中性的なものを採用した。

3D 空間中には猫が配置されている。この猫は電気刺激が発生するタイミングで被験者に対して複数種類のアクションを行うことができる。これにより刺激原因の解釈を

電気刺激から猫から与えられた刺激へと変化させる。

2.3 被験者

21 歳から 31 歳までの被験者 18 名（女性 5 名、男性 13 名）が実験に参加した。本実験は、著者が所属する倫理審査委員会の了承を受けた。実験前に参加者は実験参加に同意を行った。

3. 実験方法

本実験の目的は、提示する視覚的な文脈と元の痛覚刺激の整合性が刺激原因に対する解釈に影響を与えるかどうかをアンケート調査によって明らかにすることである。

本実験では実際の条件に移る前にいくつかの作業が行われた。被験者は実空間で、HMD、Vive トラッカー、電気触覚装置を図 1 のように装着した状態で椅子に座るよう指示された。VR 空間中での能動運動は主体感を高めることが知られているため[10]、本実験の前に VR 空間で空中に浮かんだ立方体を近いほうの手で触れることを繰り返すリーチング課題を 1 分間行った。その後被験者は机にいる猫のひっかき動作が、刺激電極が取り付けられている右手首に当たるように位置を調整するように指示された。

次に、本実験で用いる電気刺激の強度を各被験者に対して個別に決定した。この作業では VR 空間内に猫を表示しない状態で 3 秒に 1 回の周期で 1 ループの刺激を 0.1mA ずつ上昇しながら提示した。この過程で被験者が不快だと回答したときの刺激量を記録し、この記録された電気刺激量をその被験者の不快感を生じる閾値として定義した。以降の実験ではこの刺激を常に用いた。

実験は 3 つの条件で構成された。各条件で 3 秒に 1 回 1 ループの電気刺激が計 5 回、被験者の右手首に与えられた。電気刺激の出力は前述した基準で固定された。被験者は実空間で電気刺激電極がある右手首に注目するように伝えられた。

実験条件は以下の 3 通りである。

- 条件 1: VR 空間中の机に猫を表示しない。
- 条件 2: VR 空間の机に猫を表示し、電気刺激のタイミングで被験者の右手首に対して猫がひっかく動作を行う。猫の動画は 1 回あたり 0.25 秒である。電気刺激パターンは条件 1 と同様である。
- 条件 3: 条件 2 と同様 VR 空間に猫を表示し、電気刺激も行うが、被験者の右手首に対して継続的に噛みつく動作を行うことで電気刺激との整合性がない条件とする。

これら 3 つの条件はランダムな順序で割り当てられた。以降これらの条件を順に nothing, scratch, bite と呼称する。不快感を伴う実験であるため被験者の負担軽減のため、各条件は 1 回ずつ行われた。今回新たな提示文脈として猫の動画を 2 種類用意した。この 2 種類はそれぞれ異なる刺激パターンに対応した動画になっている。具体的に、条件 2 は瞬間的な刺激に、条件 3 は継続的な刺激に対応している。実際に提示する電気刺激は瞬間的な刺激であるため、条件

2は提示文脈と提示刺激の整合性が担保されており、条件3では整合性が担保されていない。したがって条件2,3の結果を比較することで提示文脈と痛覚刺激の整合性が与える影響を調べることができる。

各条件で電気刺激の後に以下の刺激の解釈や手の所有感[11]についてのアンケートが行われた。すべて7段階リッカートスケールが用いられた。ただし今回はあらかじめ猫を表示していない条件で被験者が不快と伝えた電気刺激を基準としているため、Q3に関してはnothing条件の回答値を4としたうえで他の条件の数値を回答させるようにした。

Q1：刺激を電気刺激と感じたか

(1:感じない。7:感じる)

Q2：刺激を猫から与えられているように感じたか

(1:感じない。7:感じる)

Q3：刺激の不快度

(1:不快ではない。7:著しく不快)

Q4：痛みの強さ

(1:弱い。7:強い)

Q5：猫がその場にいるように感じたか

(1:感じない。7:感じる)

Q6：刺激が猫の動画に対応しているように感じたか

(1:対応していない。7:対応している)

Q7：バーチャルな手が本物の手になったように感じたか

(1:感じない。7:感じる)

刺激を猫のひっかきと感じたか(Q2)と刺激が猫のひっかきに対応しているか(Q6)を別の質問として設けたのは、刺激の質が似ているか、刺激の対応関係を感じられるか、という二つを別のものととらえる可能性に対処するためである。

4. 結果

実験で収集したデータは順序尺度に基づくリッカート尺度のデータである。そこでノンパラメトリック検定であるFriedman検定を行い有意差が確認された($p<0.05$)。そこで各条件間に対して両側Wilcoxonの符号順位検定による多重比較を実施し、Bonferroni法による補正を行った。

図2条件ごとの回答値を質問項目ごとに示している。

刺激を電気刺激と感じたかどうか(Q1)はnothing-scratch, scratch-bite, nothing-biteで有意差が認められた(順に $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$)。したがって、電気刺激が提示されるタイミングで猫のひっかく動画を提示することで、刺激原因を電気刺激と解釈し難くなったと考えられる。また、電気刺激と猫の動画との間の整合性が保たれないとこの解釈変化の強度は低下した。

刺激を猫から与えられているように感じたか(Q2)はnothing-scratch, scratch-bite, nothing-biteで有意差が認められた(順に $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$)。したがって電気刺激が提示されるタイミングで猫のひっかく動画を提示することで、刺激原因を猫のひっかきによるものと解釈させら

れたと考えられる。また、電気刺激と猫の動画との間の整合性が保たれないとこの解釈変化の強度は低下した。

刺激の不快度(Q3)はnothing-scratch, scratch-biteで有意差が確認された($p<0.05$)。したがって電気刺激が提示されるタイミングで猫のひっかく動画を提示することで不快感が減少する一方で、猫の動画の整合性が保たれないとかえって不快度は上昇した。

痛みの強さ(Q4)はnothing-scratch, scratch-biteで有意差が確認された($p<0.05$)。したがって電気刺激が提示されるタイミングで猫のひっかく動画を提示することで痛み知覚が減少する一方で猫の動画の整合性が保たれないとかえって痛み知覚は上昇した。

猫がその場にいるように感じたか(Q5)はnothing-scratch, nothing-biteで有意差が確認された($p<0.01$)。したがって、VR空間中に猫を配置することで猫がその場にいるように感じる事が確認された。

刺激が猫の動画に対応しているように感じたか(Q6)はnothing-scratch, scratch-bite, nothing-biteで有意差が認められた($p<0.01$)。したがって猫の動画の整合性について被験者が把握できていることが確認できた。

バーチャルな手が本物の手になったように感じた(Q7)はnothing-scratch, nothing-biteで有意差が確認された(順に $p<0.01$, $p<0.05$)。したがってVR空間上に猫を配置し、インタラクションを行うことによってバーチャルな手に対する没入度が上昇することが確認された。

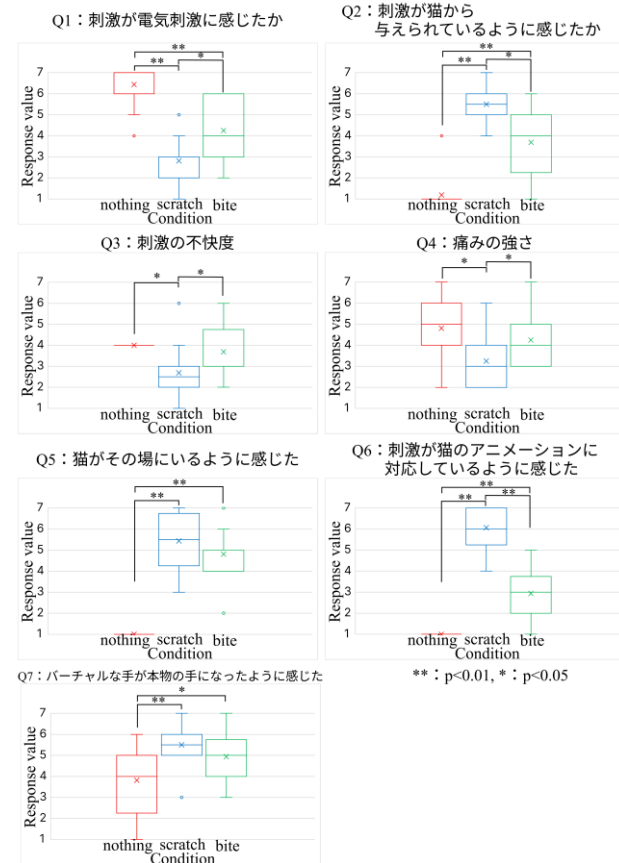


図2：実験の結果

5. 考察

実験の結果、刺激と猫の動画に整合性を持たせた条件 scratch では文脈改変の効果が表れた可能性が高い。10 人の被験者のコメントでは条件 scratch では実際に猫にひつかかれているように感じたという意見が見られた。一方で猫の動画と電気刺激の間に整合性を持たせなかった条件 bite では本手法の効果が低減する可能性が高い。13 人の被験者のコメントでは条件 bite では電気刺激と猫の動画が対応しておらず、単なる電気刺激に感じ不快に感じたという意見が見られた。しかし、条件 biteの方が刺激に納得感を感じたというコメントや猫に爪が表示されていなかったため猫のひっかきを感じなかったというコメントがそれぞれ一人ずつ確認されたため、動画と電気刺激の整合性に対する解釈はある程度個人差がある可能性がある。これら被験者ではコメントで最も整合性があると回答した条件において最も本手法による効果が確認された。したがって、提示する文脈と元の刺激との整合性が本手法の有効性に影響する可能性が示唆された。

6. 終わりに

本研究では、痛み刺激に対して提示する新たな痛み刺激の文脈と元の刺激の整合性により文脈改変による痛みのマスキングの有効性の変化を調査した。本手法は刺激原因を人にとって負荷になりにくいものに変換することで痛み軽減を図るものであった。

実験では VR 空間で電気刺激に対して複数種類の猫の動画（刺激との整合性を持たせたものと、持たせないものを含む）を提示することで刺激の解釈、不快感、強さなどが変化するかどうか調査した。結果として電気刺激と猫の動画に整合性を持たせることで不快感や刺激強度の変化がみられた。一方で電気刺激との整合性が担保されていない動画ではこれらの効果が低減することが確認された。

今後は別の種類の刺激パターンを用いた検証や複数種類の提示文脈を用いた検証を行っていく。

謝辞 本研究は、JST A-Step (JPMJTR24RC)、JSPS 科研費 JP24K21321 の助成を受けたものです

参考文献

[1] L. L. Jorge, C. C. Feres, and V. E. Teles, “Topical preparations for pain relief: efficacy and patient adherence,” *Journal of Pain Research*, vol. 4, pp. 11–24, Dec. 2010, doi: 10.2147/JPR.S9492.

[2] R. Benyamin *et al.*, “Opioid Complications and Side Effects,” *Pain Phys*, vol. 2s;11, no. 3;2s, pp. S105–S120, Mar. 2008, doi: 10.36076/ppj.2008/11/S105.

[3] L. Sparks, “Taking the ‘Ouch’ Out of Injections for Children Using Distraction to Decrease Pain,” *MCN: The American Journal of Maternal/Child Nursing*, vol. 26, no. 2, p. 72, Apr. 2001.

[4] N. Canbulat, S. İnal, and H. Sönmezer, “Efficacy of Distraction Methods on Procedural Pain and Anxiety by Applying Distraction Cards and Kaleidoscope in Children,” *Asian Nursing Research*, vol. 8, no. 1, pp. 23–28, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.anr.2013.12.001.

[5] A. Li, Z. Montaña, V. J. Chen, and J. I. Gold, “Virtual reality and pain management: current trends and future directions,” *Pain Management*, vol. 1, no. 2, pp. 147–157, Mar. 2011, doi: 10.2217/pmt.10.15.

[6] S. M. Alshatrat, J. M. Sabarini, H. M. Hammouri, I. A. Al-Bakri, and W. M. Al-Omari, “Effect of immersive virtual reality on pain in different dental procedures in children: A pilot study,” *International Journal of Paediatric Dentistry*, vol. 32, no. 2, pp. 264–272, 2022, doi: 10.1111/ipd.12851.

[7] M. H. Johnson, “How Does Distraction Work in the Management of Pain?,” *Current Science Inc*, vol. 9, no. 2, pp. 90–95, Mar. 2005, doi: 10.1007/s11916-005-0044-1.

[8] H. Onoda, S. Kon, T. Takami, K. Ushiyama, I. Mizoguchi, and H. Kajimoto, “Investigating the Effectiveness of Pain Masking Through Contextual Modification,” in *Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, in CHI EA ’25. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Apr. 2025, pp. 1–6. doi: 10.1145/3706599.3719794.

[9] 小野田響, 今笙羽, 高見太基, 牛山奎悟, 溝口泉, 梶本裕之“文脈改変による痛みのマスキング (第 2 報) VR 環境下での有効性の検証,”ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2025, pp1-4.

[10] J. Piccione, J. Collett, and A. De Foe, “Virtual skills training: the role of presence and agency,” *Heliyon*, vol. 5, no. 11, p. e02583, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02583.

[11] M. Pyasik, G. Tieri, and L. Pia, “Visual appearance of the virtual hand affects embodiment in the virtual hand illusion,” *Sci Rep*, vol. 10, no. 1, p. 5412, Mar. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-62394-0.