

文脈改変による痛みのマスキング（第4報）

提示文脈と継続的な痛覚刺激の整合性が与える影響の検証

○小野田 響（電気通信大学）、溝口 泉（電気通信大学）、梶本 裕之（電気通信大学）

Pain Masking by Contextual Modification (Part 4)

The Effect of Congruency Between Presented Context and Continuous

Nociceptive Stimulation

○Hibiki ONODA (UEC), Izumi MIZOGUCHI (UEC), and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: Numerous methods for pain mitigation have been proposed. Our work has focused on a technique that alleviates perceived pain by presenting visual content concurrently with a noxious stimulus. This method provides a new context, causing the user to misattribute the source of the pain. In this paper, we investigate this technique using a setup with continuous electrical stimulation as the pain stimulus. We employed several types of cat videos as the contextual visuals and examined how the pain reduction effect differs between conditions where the presented context was congruent and incongruent with the pain stimulus.

1. はじめに

疼痛緩和のためにオピオイドや麻酔薬といった薬剤投与が有効であることが知られている¹⁾。その一方で投与する薬剤には副作用があることも知られている²⁾。また長期にわたる健康上の問題を抱える人々は、通常の鎮痛剤では痛みが十分に軽減されず、病状に対処したり、可能な限り普通の生活を送ったりできないことが多い³⁾。疼痛緩和の治療を受ける人の中には、こういった副作用や効果の持続性の観点から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方法の一つに、注意をそらすことで痛み知覚や不安を軽減させる手法がある⁴⁾。この手法は痛みを伴う医療処置中の疼痛知覚や不安感を低減するために医療現場で多く研究されており⁵⁾、急性疼痛を対象とした研究も⁶⁾、慢性疼痛を対象とした研究も存在する⁷⁾。

この手法は一定の成果を収めているがいくつかの欠点があることが知られている。この手法は痛み刺激原因から注意をそらしている関係上、痛みを不意打ちで与えられることになる。そのため強い痛みに対しては逆効果であることが知られている⁸⁾。また痛みを過度に恐れる人には気をそらすことが難しく、この手法を適用しづらいという欠点も存在する⁹⁾。

この問題に対し、我々はこれまでの一連の報告で、文脈改変を用いた痛みのマスキングと呼ばれる新たな痛み軽減手法を提案した¹⁰⁾。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視覚的に提示することで、主観的な痛みを低減するというものである。

我々はこれまで本手法における時間的整合性の重要性について検証を行ってきた。具体的には視覚映像の痛み刺激のタイミングがずれると痛みを抑制する効

果が低減することを明らかにした。一方でこの結果だけからは、痛覚刺激の文脈が提示映像によって変えられたことが痛み抑制に寄与したのか、あるいは単に、痛み刺激に同期した視覚刺激に気を取られた（つまり注意をそらす方法の一種でしかなかった）のかを判断することができない。つまり本手法が実際に「文脈の改変」によって効果が得られているかを明らかにするためには、特定の痛覚刺激と提示文脈との内容的な整合性についても検証する必要がある。

この点に関し、我々は前報告において瞬間的な痛み刺激を用い、これと整合する提示文脈と整合しない提示文脈を用いた検証を行った¹¹⁾。しかし、実環境では注射のように継続的な痛み刺激が提示される場面も存在するため、継続的な刺激と提示文脈との整合性についても検証が必要である。

そこで本報告では、継続的な痛覚刺激を用い、VR空間における視覚刺激によってこれと整合する提示文脈と整合しない提示文脈を提示した。これによって、文脈整合性が主観的な痛みに与える影響を調査した。

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Fig. 1に示す。

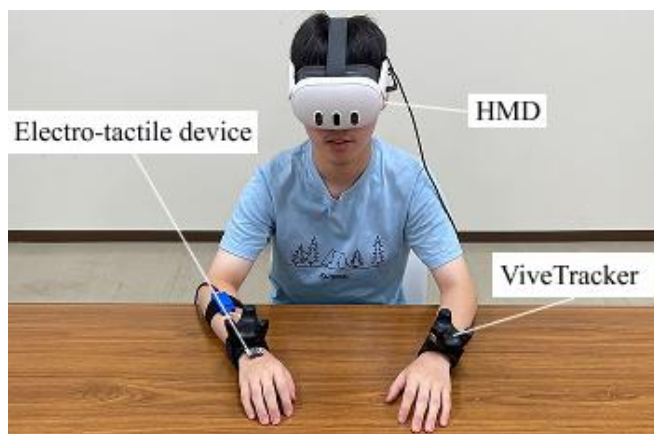


Fig. 1 Experimental setup

2.1 電気刺激装置

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。刺激元に電気触覚装置を選定した理由は、痛み感覚を容易に生成でき¹²⁾、PC上で電気刺激量のリアルタイム調整が行えるからである。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。Fig. 1のように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。

今回提示する継続的な刺激の刺激パターンは中心にある4つの電極を刺激することで提示する (Fig. 2)。本実験ではパルス幅は50us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。

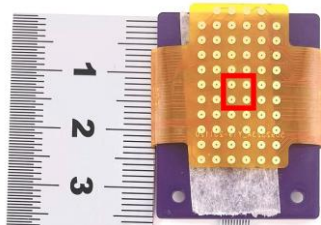


Fig. 2 Stimulus patterns presented

2.2 VR空間

HMDを用いて全身アバターと猫がいるVR空間に被験者を没入させる (Fig. 3)。VR空間はUnity 3Dゲームエンジンで開発された。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、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。この猫は右前足

で被験者に対して後述する複数のアクションを行うことができる。この動画に対応して電気刺激を発生させることで電気刺激による刺激を猫にひっかかれたことによる刺激へと被験者の解釈を変更する。



Fig. 3 VR space

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継続的な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明らかにすることである。

21歳から24歳までの被験者15名（女性3名、男性12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。

本実験では、各評価条件を開始する前に以下の準備手続きを行った。まず実験者は被験者に対し、実空間でHMD、Viveトラッカー、電気触覚装置をFig. 1に示す通りに装着し、椅子に着席するよう指示した。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¹³⁾、本実験の前に、被験者はVR空間で立方体に手を伸ば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。

実験に先立ち、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1Hzの周期で前述した継続的な刺激を0mAから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。以降の実験では常にこの閾値強度で刺激を提示した。

実験は3つの条件で構成された。各条件で15秒間継続的な刺激が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。被験者は実験中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。これは電気刺激との整合性が無い条件となる。
- 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。これは電気刺激との整合性がある条件となる。

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。不快感を伴うため被験者の負担を軽減する目的で、各条件は1回のみ実施した。

本実験では、上述のように提示文脈として2種類の猫の動画を用意した。この2種類はそれぞれ瞬間的な刺激パターン(scratch)と継続的な刺激パターン(bite)に対応した動画になっている。したがって、条件 scratch と条件 bite の結果を比較することにより、提示文脈と痛覚刺激の整合性が主観評価に与える影響を検証出来る。

各条件の刺激提示後、刺激の解釈や手の所有感¹⁴⁾について、以下の項目でアンケートを実施した。すべて7段階リッカートスケールを用いた。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。

Fig. 4 は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($p<0.01$)。したがって痛み刺激として継続刺激を用いた場合でも動画との整合性が保たれている場合は刺激原因を電気刺激と解釈しづらくなるが、整合性が保たれていないとこの変化量は減少した。

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($p<0.01$)。すなわち継続的な電気刺激に対し整合性が取れた猫の噛みつく動画を提示することで、刺激原因の解釈を猫に変化させることができ、整合性が取れていない動画を提示するとこの変化量は少なく

なった。

刺激の不快度(Q3)は nothing-bite、scratch-bite で有意差が確認された($p<0.01$)。すなわち継続的な電気刺激に対し整合性が取れた猫の噛みつく動画を提示することで、刺激に対する不快度を軽減させる。一方で整合性が取れていない猫の動画を提示するとこの効果は確認されなかった。

痛みの強さ(Q4)は nothing-scratch、scratch-bite、nothing-bite で有意差が認められた(順に $p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.01$)。すなわち継続的な電気刺激に対し整合性のない猫の動画を提示することでも刺激に対する痛みを軽減することはできるが、整合性が取れた猫の動画を提示することでこの効果は増大した。

猫がその場にいるように感じたか(Q5)は nothing-scratch、scratch-bite、nothing-bite で有意差が認められた(順に $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$)。すなわち、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が、整合性が取れた猫の動画を提示することで臨場感はより向上した。

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(順に $p<0.05$, $p<0.01$, $p<0.01$)。すなわち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-bite で有意差が確認された($p<0.01$)。すなわち継続的な電気刺激に対し整合性が取れた猫の噛みつく動画を提示することで、バーチャルな手に対する没入度が上昇した。

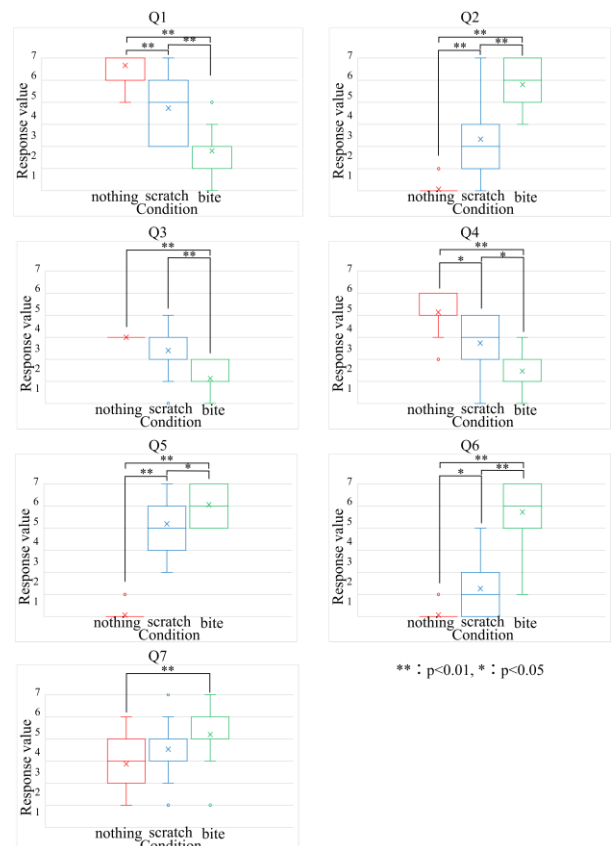


Fig. 4 Result

5. 考察

実験の結果から、元の痛み刺激と新たな刺激原因との整合性が、文脈改変による痛み軽減効果に影響を与える可能性が示唆された。被験者 12 名が、継続的な電気刺激に対して猫が噛みつく動画では納得感があったが、猫がひっかく動画では違和感があったと回答した。

しかし、一部に意図と異なる解釈をした被験者もみられた。被験者 2 名が、条件 scratch における継続的な電気刺激を「ひっかかれた後の痛み」と解釈し、違和感はなかったと回答した。ただし、この 2 名の回答をみると、条件 scratch に比べて条件 bite の方が不快感や強度が低く評価されており、相対的な納得感は条件 bite の方が高かったと考えられる。

このような解釈の個人差は、本実験の設計に起因する可能性が考えられる。実験では、継続的な刺激の開始と条件 scratch における動画の再生開始タイミングが近接していたため、被験者が感じる違和感が低減された可能性が考えられる。

6. おわりに

本研究では、文脈改変による痛み軽減手法において、継続的な痛み刺激と提示される視覚文脈の「整合性」が効果に与える影響を検証した。本手法は、痛みの原因を視覚的に不快ではないコンテンツに置き換えることで、主観的な痛みの低減を図るものであった。

実験では VR 空間で継続的な刺激に対して、整合性が高い、あるいは低い猫の動画（ひっかく・噛みつく）を提示することで、刺激の解釈、不快度、痛みの強さなどが変化するかどうかを調査した。

結果として、その刺激と整合性の高い猫の動画を提示することで、何も表示しない場合と比べて、感じる不快感と痛みの軽減が確認された。また、感じる不快感や痛みに関しては、整合性の低い動画を提示する場合よりも、整合性の高い動画を提示する場合のほうが、より効果的に軽減できることが確認された。

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.
- [2] R. Benyamin *et al.*, “Opioid Complications and Side Effects,” *Pain Phys*, vol. 2s;11, no. 3;2s, pp. S105–S120, Mar. 2008.
- [3] M. J. Bair *et al.*, “Barriers and Facilitators to Chronic Pain Self-Management: A Qualitative Study of Primary Care Patients with Comorbid Musculoskeletal Pain and Depression,” *Pain Med*, vol. 10, no. 7, pp. 1280–1290, Oct. 2009.
- [4] K. D. McCaul and C. Haugtvedt, “Attention, distraction, and cold-pressor pain,” *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 43, no. 1, pp. 154–162, 1982.
- [5] L. D. Morris, Q. A. Louw, and K. Grimmer-Somers, “The Effectiveness of Virtual Reality on Reducing Pain and Anxiety in Burn Injury Patients: A Systematic Review,” *The Clinical Journal of Pain*, vol. 25, no. 9, p. 815, Dec. 2009.
- [6] M. McFarland, N. Zelaya, G. Hossain, D. Hicks, and L. McLauchlan, “Pain Mitigation Through Virtual Reality Applications,” in *2019 IEEE International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR)*, Sep. 2019, pp. A2-5-1-A2-5-5.
- [7] S. F. Hamdy, M. S. M. S. Farag, Y. S. Helmy, and A. A. Abo-Elhoud, “Enhancing Pediatric Dental Care: The Influence of Virtual Reality,” *European Journal of Dentistry*, vol. 18, pp. 1030–1039, May 2024.
- [8] K. D. McCaul and J. M. Malott, “Distraction and coping with pain,” *Psychological Bulletin*, vol. 95, no. 3, pp. 516–533, 1984.
- [9] M. H. Johnson, “How Does Distraction Work in the Management of Pain?,” *Current Science Inc*, vol. 9, no. 2, pp. 90–95, Mar. 2005.
- [10] 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.
- [11] 小野田響, 溝口泉, 梶本裕之, “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が与える影響の検証,” 第 30 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2025 年 9 月) .
- [12] Z. Zhou, Y. Yang, J. Liu, J. Zeng, X. Wang, and H. Liu, “Electrotactile Perception Properties and Its Applications: A Review,” *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 15, no. 3, pp. 464–478, Jul. 2022.
- [13] 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.
- [14] 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.