



# AR を利用した DNIC による痛み軽減手法の提案

Reducing Human Pain by Evoking Diffuse Noxious Inhibitory Controls (DNIC) Using AR

虎取 幸太郎<sup>1)</sup>, 田中 文英<sup>1)</sup>

Kotaro TORATORI and Fumihide TANAKA

1) 筑波大学大学院 理工情報生命学術院 システム情報工学研究群 知能機能システム学位プログラム (〒 305-8577 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1)

**概要:** 注射の痛み軽減のために極細針や麻酔テープといった手法が存在する。これに対して本稿では、特別な器具を必要としない痛み軽減手法として、スマートフォンで使用可能な AR アプリケーションにより DNIC を引き起こす痛み軽減手法を提案する。また、実際に行った予備実験とその結果を記述し、その予備実験結果を受けた今後の展望について記述する。

**キーワード:** 拡張現実, DNIC, 痛み軽減

## 1. 緒言

注射に対して恐怖を感じる人は人口の約 3.5% から約 10% だと言われている [1]。特にそういった人々には注射に伴う血管迷走神経性失神 [2] のようなリスクが存在する。血管迷走神経性失神の原因として、注射に伴う痛みがある。痛みを軽減するためには、患者が痛みを感じないような極細の注射針や麻酔テープを使用する必要があり、特別な道具が必要になってしまう。そのため、自分で簡単に痛みを軽減することは難しい。

特別な道具を必要としない痛み軽減の方法として、内因性疼痛抑制系の一つである Diffuse Noxious Inhibitory Controls (DNIC) がある。内因性疼痛抑制系とは、人体に備わっている痛みを緩和させる仕組みの総称であり [3], DNIC とは、痛みが別の痛みで抑制される仕組みである [4]。だが、DNIC を起こすには軽減する痛みと別に痛みを提示する必要があるため、不要な痛みや不快感が伴うと予想される。

そこで本研究では新しい痛み軽減の手法として、AR の視覚情報を用いた DNIC による痛み軽減手法を提案する。痛みを連想させるような写真を人に見せ、その写真の痛みが自分自身に起きているものと想像させると、痛みが実際に人体に提示された時と同じ脳の領域が活発になることがわかっている [5][6]。AR を使用しても同様の現象が起こると予想される。AR により痛みを連想するエフェクトを提示し、そのエフェクトの視覚的情報をもとに DNIC を起こすことができれば、痛みを知覚する箇所を増やすことなく、対象とする痛みを小さくすることができると考えられる。また AR には、スマートフォン上のアプリケーションといった形で、特別な道具を必要とせずに自分で簡単に使用することができるという利点がある。

本稿ではまず、体のある一部に提示された痛みを、提示箇所と異なる体の一部に AR エフェクトを提示することで DNIC を引き起こすことを狙ったアプリケーションを提案

する。そして、そのアプリケーションを使用することで、実際に DNIC を引き起こして痛みの軽減を行うことができるのかを調査した結果と考察、その結果を受けた今後の実験計画を含めた展望について述べる。

## 2. 予備実験

### 2.1 調査目的

DNIC 現象を AR を用いた視覚的な情報によって引き起こすことができるのか調べるために予備実験を行った。痛み提示箇所とは別の箇所に別の痛み刺激を提示する代わりに痛みを連想させる AR を提示し、参加者らがその AR を見ることで提示されている痛みの近くに変化があるのかを調査した。また同時に、AR で提示する痛みの種類によって、実際に提示されている痛みに対する知覚に差異が見られるのかを調査した。

### 2.2 アプリケーション

人間が皮膚を通して知覚する痛みに対応する AR エフェクトを提示するアプリケーションを作成した。

人間が体表で知覚する痛みを体性痛といい、体性痛を引き起こす外部からの刺激は熱刺激、機械刺激、化学刺激に分類される。熱刺激とは、人間が痛みを感じる温度の閾値を超えるような温度を皮膚に提示された時に知覚される痛みである。機械刺激とは、皮膚が外部からの刺激により圧力を感じ、その圧力が閾値を超えた時に知覚される痛みである。化学刺激とは、化学物質が皮膚に作用して感じる痛みである。

これらの刺激の中で、化学刺激は日常生活の経験から想像しづらいと考えたため、熱刺激と機械刺激のみに対応する AR エフェクトを提示するアプリケーションを作成した。熱刺激に対応するアプリケーションでは、AR アプリケーションを起動した端末の画面に触れると、触れた場所に炎が燃え上がるようなエフェクトが提示される。機械刺激に対応するアプリケーションでは使用者が AR アプリケーションを起

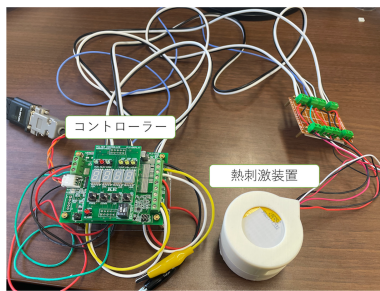


図 1: 実験に使用した熱刺激装置とコントローラーの外観

動した端末の画面に触れると、触れた場所で 25 本の針が地面を中心に振幅 0.5 m 周期 0.7 s で振動する様子が提示される。炎のエフェクトは Unity の Free アセットを使用している。

### 2.3 実験装置

熱刺激の提示には以下のような熱刺激提示装置とコントローラーを使用した。熱刺激装置は、装置カバーの内部に温度センサー (103JT-025, SEMITEC Corporation), ペルチェ素子 (TEC1-12706 Hebei I.T.), 放熱版, DC ファン (CFY-40s Ainex) を重ねた構造になっている。また、装置のコントローラーとしてペルチェコントローラー (PLC-24V10AL-TH) を使用している。装置及びコントローラーの外観を図 1 に示す。

### 2.4 実験手順

大学生及び大学院生 5 名を対象に予備実験を行った。実験の様子を図 2 に示す。参加者には座位で正面のテーブルに置かれた熱刺激装置接触面に左前腕内側の肘側の部分 (以降刺激提示部と呼ぶ) を押し当ててもらった。参加者の刺激提示部に熱刺激が提示されている間、参加者にはテーブルの上に固定したスタンドに立てられた iPad のカメラを通して iPad の画面に映った参加者の右足を注視してもらった。この時、各参加者の右足の位置を揃えるために、床に印をつけてそこに参加者の右足の踵を置くように指示した。AR によるエフェクトは参加者の右足周辺に提示された。腕に提示される刺激の知覚を DNIC で弱める際、対側の後足にもう一つの刺激を与えるのが効果的だと報告されていることから AR エフェクトを右足に提示した [7]。実際に炎と針を提示している様子を図 3 に示す。

実験では、1) AR なし条件、2) 炎 AR 提示条件、3) 針 AR 提示条件の 3 条件をそれぞれの参加者に対して行った。3 条件における熱刺激提示は 45 °C で 60 秒間行った。熱刺激提示後に 10 分間の休憩を設けた。休憩時間最初の 2 分間では布で包んだ保冷剤で刺激提示部を冷却し、残りの 8 分間では保冷剤を使用せずに刺激提示部の温度を常温に戻した。刺激提示部の温度を常温に戻す時間を使用して、直前に行われた条件についての評価アンケートに回答してもらった。以上の熱刺激提示から休憩までの流れを 3 条件それぞれについて繰り返した。実験条件の順番は、まず最初に AR なし条件を行い、AR を提示する残りの 2 条件の順番はランダムに行った。



図 2: 実験の様子; 熱刺激提示部, 熱刺激装置, AR 提示用 iPad, 踵配置位置

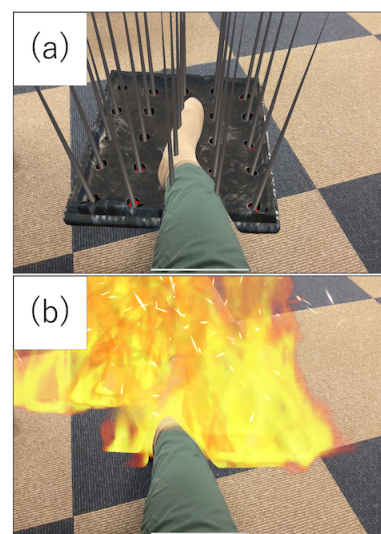


図 3: AR エフェクトを右足の周囲に提示している画面; (a) 針条件で提示された AR エフェクト, (b) 炎条件で提示された AR エフェクト

各熱刺激提示後の休憩時間に行われるアンケートでは、提示される痛みの強さと印象について質問した。痛みの程度に関する項目では、「無痛」を 0, 「参加者が想像することができる最も強い痛み」を 10 とし、各条件で提示された痛みの強さを 0 から 10 の範囲で回答してもらった。また、痛みに対して感じる印象に関する項目では、提示された AR によって、AR なし条件での痛みへの不安と直前に提示された痛みへの不安の間に起こった変化について回答してもらった。

### 2.5 結果

調査結果に基づき、AR なし条件とそれぞれの AR エフェクトあり条件について比較を行う。アンケート項目では痛みの強さと印象について調査を行ったが、印象については AR エフェクトの有無でそれぞれの参加者でほとんど影響がなかったため、それぞれの AR エフェクト条件の下で得られた痛みの強さの結果を述べる。

炎の AR エフェクトを使用した条件では、知覚する熱刺激の痛みが大きくなった参加者が三名、痛みの大きさに変化がなかった参加者が二名いた。痛みが小さくなった参加者は



いなかった。痛みが大きくなった原因としては、提示された AR エフェクトが参加者に与えた負の印象が、提示される痛みの知覚に作用したためだと考えられる。

針の AR エフェクトを使用した条件では、知覚する熱刺激の痛みが大きくなった参加者が三名、痛みが小さくなった参加者が二名いた。

痛みが大きくなった原因としては、炎条件と同様に提示された AR エフェクトが参加者に与えた負の印象が、提示される痛みの知覚に作用したためだと考えられる。しかし、針条件での痛みの大きさは炎条件の痛みの大きさより小さかった。この原因は、提示されている AR と痛みの種類にあると考えられる。炎条件で用いた AR と痛みは共に熱に関する情報であったため、相乗効果により痛みをより大きく知覚してしまったことが考えられる。

痛みが小さくなった原因としては、針の動きによるディストラクションによるものと、脳が針で刺されているのと同様の反応をしたことで分泌された脳内物質によるものだと考えられる。

今回の予備実験では DNIC による痛み軽減は見られなかった。理由としては、実際には皮膚に刺激を与えていない点が考えられる。DNIC による痛み軽減の仕組みでは、痛みに関する信号は下位脳幹を経由するが脳を経由しない。一方、視覚情報をもとに脳が痛みを知覚する仕組みの中での信号のやりとりは目と脳で完結している。つまり、視覚情報による痛み知覚の経路と DNIC の経路は重なっていない。DNIC を利用して痛みを軽減するには痛みの視覚的情報を与えるだけでは不十分であり、実際に皮膚に刺激を与えることが必要であるとわかった。だが、今回の実験では評価方法や実験の工程などに問題点がいくつか存在している。問題点を改善し、再度同様の実験を行うことが必要だと考えられる。

### 3. 今後の展望

今回行った予備実験には、問題点が三つあったと考えられる。具体的には、

- 評価方法が適切でなかったため、恐怖に関する評価がうまくできなかった点。
- 画面内の AR への没入感が小さく、AR による視覚からの効果が小さくなってしまった点。
- 実際に与える痛み刺激が長時間にわたるもので、注射の痛みを再現できていなかった点。

である。評価項目、没入感、刺激方法のそれぞれについて以下のような改善をして再度実験を行うこととする。

#### 3.1 評価項目の改善

予備実験では痛みに対する恐怖や印象について評価するために、自由記述方式のアンケートを使用していた。しかし、この方法ではかなり抽象的な問いとなっており、評価に関しても定量的な評価をすることができないと考えられる。実



図 4: 改善後のアプリケーションを用いた炎 AR 提示画面

際に抽象的な問いになってしまったことで、特に恐怖については有意な回答を得ることはできなかった。そこで、再度行う実験では身体所有感、心理状態や気分に関するアンケートを実施し、より細かな評価を行う。

また、痛みを評価するタイミングについても変更を行う。予備実験では、痛みの評価を痛み提示のインターバル中に行っていた。しかし、このタイミングでは正確な痛み評価ができないことが予想される。再度行う実験では、痛み刺激を提示しながら痛みの大きさを評価してもらうこととする。

#### 3.2 没入感の改善

実験参加者の没入感を高めるために、アプリケーションと実験手順を改善した。アプリケーションの改善については、AR に対応する音声再生と画面一面への AR 提示を行った。AR エフェクトを配置した際に、指定した音声を再生するスクリプトを AR エフェクトに結びつけた。予備実験段階では、現実の床が燃えているようなエフェクトが提示されており、参加者からこの点について違和感があると指摘を受けた。そこで、炎の AR だけではなく床の AR も同時に提示することで現実世界の床が見えないようにした。改善後のアプリケーションを使用し、炎 AR を提示した画面の様子を図 4 に示す。

実験手順の改善については、実験参加者が画面内に見る自分の脚に対する身体所有感を高める手順を追加する。接触を通して身体所有感が高まることが知られている。そこで手順の中に、実験参加者が画面上の自分の脚を観察している状態で、脚を棒でつく段階を加えることとする。この段階は、痛みを提示する前段階に行うこととする。

#### 3.3 刺激方法の改善

予備実験では、痛みを与える方法として熱刺激を前腕に 60 秒間提示するという手法をとった。しかし、本研究が想定しているのは注射の痛みを軽減することである。注射の痛みは鋭い短時間の痛みであるため、予備実験で提示した痛み刺激は注射による痛み刺激の再現としては不適切であると考えられる。そこで、短い時間での鋭い痛みを再現するために電気刺激を用いることとする。具体的には、電気刺激装置 (SEN-3401MG, Miyuki Giken) とアイソレータ (SS-203JMG, Miyuki Giken) を使用する。電気刺激装置とアイソレータを使用し、実験参加者の前腕に貼り付けた NCS 電極 NM-31(NM-314YL, NIHON KODEN CORPORATION) を通して電気刺激を与える。

与える電気刺激の大きさについては、それぞれの実験参加者に対して与える電気刺激の大きさを決定するための段階(刺激決定段階)を設ける。刺激決定段階では、電圧の大きさを調節しながら実験参加者に電気刺激を提示する。電気刺激を提示しつつその痛みの大きさを評価してもらい、評価が60であった時の電圧を記録する。実際の実験における電気刺激にはその時の電圧を使用する。

#### 4. まとめ

本研究では、特別な道具を必要としない痛み軽減を実現するために、新たにDNICとARを活用した痛み軽減手法の提案を行った。また、作成したARアプリケーションを使用して、ARによるDNICの効果を調査することを目的とした予備実験を行った。予備実験の結果、視覚情報のみを使用してDNICを起こして痛みを軽減することはできないことがわかった。また、痛みを提示する箇所とは別の箇所に、提示した痛みと同様の痛みを連想させるようなARエフェクトを提示することで、提示されている痛みをより強い痛みだと知覚するという知見を得た。

今後の研究では、予備実験の結果を受けて、評価方法と没入感提示と刺激提示方法に変更を加えた実験を行う。具体的には、評価方法については身体所有感や心理状態に関する細かなアンケートを実施し、没入感についてはアプリケーションの改善と身体所有感向上の段階を設け、刺激提示方法については注射の鋭い短時間の痛みを表現するために電気刺激装置を使用することとする。以上のような変更を加えた実験を再度行うことにより、ARエフェクト提示と痛み知覚の関連について調査をしていく。

#### 謝辞

本研究はJSPS科研費20K21800および22K19784の助成を受けて行われました。

#### 参考文献

- [1] Anxiety UK: Injection Phobia, <https://www.anxietyuk.org.uk/anxiety-type/injection-phobia/>.
- [2] 水牧 功一: 神経調節性失神: 血管迷走神経性失神, 昭和医学会雑誌, Vol. 71, No. 6, pp. 530–541, 2011.
- [3] 武重 千冬: 内因性疼痛抑制機構, 日本良導絡自律神経学会雑誌, Vol. 36, No. 9, pp. 209–212, 1991.
- [4] A. H. Dickenson and D. Le Bars: Diffuse noxious inhibitory controls (DNIC) involve trigeminothalamic and spinothalamic neurones in the rat, *Experimental Brain Research*, Vol. 49, No. 2, pp. 174–180, 1983.
- [5] Philip Jackson, Eric Brunet-Gouet, Andrew Meltzoff, and Jean Decety: Empathy examined through the neural mechanisms involved in imagining how I feel versus how you feel pain, *Neuropsychologia*, Vol. 44, No. 2, pp. 752–61, 2006.
- [6] Koji Inui, Shigeru Saito, Ryusuke Kakigi, and Fumio Goto: Inner Experience of Pain: Imagination of Pain While Viewing Images Showing Painful Events Forms Subjective Pain Representation in Human Brain, *Cerebral cortex*, Vol. 17, No. 6, pp. 1139–46, 2007.
- [7] Samuel W. Cadden, Luis Villanueva, Djamel Chitour, and Daniel Le Bars: Depression of activities of dorsal horn convergent neurones by propriospinal mechanisms triggered by noxious inputs; comparison with diffuse noxious inhibitory controls (DNIC), *Brain Research*, Vol. 275, No. 1, pp. 1–11, 1983.