

Title	TRPチャンネルの活性化を用いた繰り返し痛みによる生理的リマインダ
Sub Title	Physiological reminder by recurrent pain using activation of TRP channels
Author	加藤, 敬太(Kato, Keita) 山岡, 潤一(Yamaoka, Jun'ichi)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2021
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2021年度メディアデザイン学 第912号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002021-0912

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2021 年度

TRP チャンネルの活性化を用いた
繰り返し痛みによる生理的リマインダ



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

加藤 敬太

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

加藤 敬太

研究指導委員会：

山岡 潤一 専任講師 (主指導教員)

南澤 孝太 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

山岡 潤一 専任講師 (主査)

南澤 孝太 教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2021 年度

TRP チャネルの活性化を用いた ぶり返し痛みによる生理的リマインダ

カテゴリ：デザイン

論文要旨

体験の満足度や効果を上げるために体験中の自己効力感をあげたりメタ認知を活性化する取り組みなどがされているが、体験終了後までを考慮に入れてデザインされた体験はほとんどない。「よそ見をして転けたという情報を伝える膝の痛み」や「筋トレを頑張ったことを実感し、達成感を感じる筋肉痛」など体験終了後に体に残る違和感には、体験中の情報が残っており、その情報を身体的メタ認知として理解することによってリフレクション学習のように体験の効果を高めることを経験として実感している。

そこで本研究では、体に残る生理的な情報を生理的刺激と定義して、それをカプサイシンなどの試薬によって温度感受性 TRP チャネルを活性化することによる痛覚刺激で再現し、試薬貼付後は生理的な反応によってデバイスを装着なしで痛みがぶり返す生理的リマインダを実装した。

提案手法の効果を確かめるために「ちゃんばら」と「VR を使った安全講習」をモデルケースとして体験に起因する生理的刺激のある体験を作製し、生理的リマインダによって体験をリフレクションすることと生理的リマインダが体験に与える効果を確認することを目指した。

キーワード：

ぶり返し痛み, メタ認知, TRP チャネル, カプサイシン, 姜貼, ハプティクス

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

加藤 敬太

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2021

Physiological Reminder by Recurrent Pain Using Activation of TRP Channels

Category: Design

Summary

In order to increase the satisfaction and effectiveness of the experience, efforts have been made to increase self-efficacy and activate metacognition during the experience, but almost no experiences have been designed even after the experience is over. I think that the uncomfortable feeling that remains in the body after the experience, such as "knee pain that conveys the information that you fell due to carelessness" or "muscle pain that makes you feel that you did your best in muscle training" is information about the experience, and that physical metacognition based on this information enhances the effectiveness of the experience, as in reflective learning.

In this study, we defined physiological information that remains in the body as physiological stimuli, and reproduced it with painful stimuli by activating temperature-sensitive TRP channels with reagents such as capsaicin, and implemented a physiological reminder that the pain recurs without wearing the device due to physiological responses after the reagent is applied.

In order to confirm the effectiveness of the proposed method, we created experiences with physiological stimuli caused by the experiences as model cases of "Chanbara" and "Safety training using VR", and aimed to confirm the effect of the physiological reminder on the experience and the reflection learning of the experience by the physiological reminder.

Keywords:

recurrent pain, metacognition, TRP channel, Capsaicin, Ginger Patch, haptics

Keio University Graduate School of Media Design

Keita Kato

目 次

第 1 章	はじめに	1
1.1.	背景	1
1.1.1	体験型コンテンツとメタ認知	1
1.1.2	研究コンセプト	2
1.2.	論文構成	3
第 2 章	関連研究	4
2.1.	体験型コンテンツと生理的刺激による体験の認識	4
2.1.1	怪我を通して学ぶ	4
2.1.2	疲労を通して体験を確認する	5
2.2.	痛覚刺激手法	9
2.2.1	研究の起こり	9
2.2.2	温度感受性 TRP チャンネル	10
2.2.3	生理的・化学的反応を用いた痛覚刺激手法	10
2.2.4	従来の痛覚刺激手法	14
第 3 章	コンセプトデザイン	15
3.0.1	実現する痛覚刺激の定義	15
3.0.2	モデルストーリー	16
3.0.3	生理的リマインダが作用する時の基本的な流れ	16
3.1.	予備実験	17
3.1.1	予備実験：試薬の模索	18
3.1.2	予備実験2 カプサイシン溶液及び姜貼の効果の調査	23
3.2.	安全性	30

3.3. 第3章のまとめ	32
第4章 評価	33
4.1. モデルケース1: ちゃんばら	33
4.1.1 実験内容	33
4.1.2 モデルケースデザイン	35
4.1.3 観察と結果	36
4.1.4 モデルケース1まとめ	39
4.2. モデルケース2: VRを用いた安全講習	39
4.2.1 実験内容	39
4.2.2 モデルケースデザイン	42
4.2.3 観察と結果	44
4.2.4 モデルケース2まとめ	48
4.3. 今後の展望	49
第5章 まとめ	52
謝辞	54
参考文献	55

目 次

1.1	Nelson のモデル [1]	2
1.2	フォーム可視化ツール MotionPrism [2]	3
2.1	筋疲労感を目安とした反復運動における運動学習の過程 [3]	7
2.2	紹介された姜貼	9
2.3	火花感提示デバイス [4]	11
2.4	カプサイシン [5]	12
2.5	炎症時の活性化温度閾値の低下 [5]	12
2.6	TRP チャンネルのリガンドと活性化温度閾値. 参照: https:// foodclip.cookpad.com/11886/	13
2.7	Chemical Haptics [6]	13
2.8	時間経過とカプサイシンによる痛覚刺激 [6]	14
3.1	生姜溶液 B とカプサイシン溶液 A	19
3.2	試薬の提示方法	20
3.3	運動中の被験者の様子	24
3.4	刺激を形容するとどんな感じでしたか	26
3.5	被験者郡 2 が感覚を感じた状況	27
3.6	貼付時の痛みと熱の感じ方	28
3.7	熱と痛みの感じの相関	29
3.8	貼付時とぶり返し痛みの際の痛みの相関関係 (n=7)	31
3.9	貼付時とぶり返し痛み時の熱の感じ方の相関関係 (n=7)	31
3.10	姜貼の刺激の感じ方	32

4.1	ちゃんばらの様子	34
4.2	ちゃんばら体験 (左) と VR 講習体験 (右) のデザイン	35
4.3	対照群 3a, 介入群 3b の回答	37
4.4	ぶり返しを感じたか)	38
4.5	ぶり返しで思い返したことは?	38
4.6	やけど感提示デバイス (左,) 触覚提示ハンマーと Lipo バッテリー 風クッション (右)	41
4.7	体験の様子	42
4.8	VR 内の様子	43
4.9	ぶり返しで感じた感覚と思い返した内容	47
4.10	対照群 4a, 介入群 4b の回答 (箱ひげ図)	49
4.11	対照群 4a, 介入群 4b の回答表	51

表 目 次

2.1	自己効力感に影響する情報源と低下させる要因, 高めるプログラム [7]	6
3.1	貼付時に感じる痛み	28
3.2	貼付時に感じる熱	30
4.1	リフレクションした条件	46

第 1 章

はじめに

1.1. 背景

1.1.1 体験型コンテンツとメタ認知

近年，教育システムの拡大やエンターテインメントの充実によって職場や学校でワークショップ型講習を受けたり，スポーツや電子ゲームで遊んだり，日常生活の中いつものルーチンの中では経験し得なかったことを「日常生活から切り離された体験型コンテンツ」として活用するようになった。

これらの体験型コンテンツでは体験を自己効力感のある行動と認識できたり [8]，自己効力感を高めるような工夫 [9] があつたりと，メタ認知を活性化して体験の効果をあげ，体験の満足度をあげるようにデザインされている。メタ認知とは自分の認知状態をより高次の視点から俯瞰するように客観的に認知することであり，メタ認知活動の活性化によって認知活動が改善し自己調整学習が進み [10]，能動的に楽しく作業ができるようになり，技能が向上する [11] ことが知られている。

メタ認知は Nelson のモデルで説明されるように認知に対する「観察」と「制御」で成り立ち，この 2 つの活動を活性化することによってメタ認知が活性化となる。

平嶋らは，メタ認知の活性化に必要な要素はメタ認知を構成する観察と制御を活性化すること，つまり「観察が活性化されないのは観察が困難だからであり，観察しやすくすることで活性化が達成される」，「制御が難しいのは，制御の必要性や効果が明らかでないからであり，制御の必要性やその効果をわかりやすくすることで活性化が達成される」することだとしられている [1]。それらを活性化する方法として，西山らはフォーム可視化ツール MotionPrism のように身体情報を可視化するなど観察・制御を支援するシステムが開発されていたり [2]，体験に自分の

行った課題遂行やそこで用いた知識を振り返って再検討し，修正・洗練するというリフレクション活動を加えたりすること [1] が試みられている。

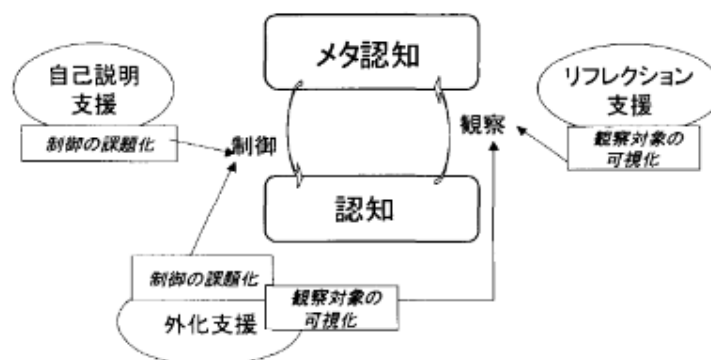


図 1.1 Nelson のモデル [1]

1.1.2 研究コンセプト

前節で例にあげた体験のデザインツールは体験中にメタ認知を促したり，体験終了後に追加講習時間(帰りの会の反省タイムなど)を設けてリフレクションを行うと設定したりしているが，本提案では体験終了後の日常生活の中においても「体験中の失敗による怪我の痛みで，軽率な行動を反省する」・「筋トレ・運動後に体に残るほてりや軽度な筋肉痛などによって，やりきった達成感を認識することができる」といった体験に起因した体に残る違和感から情報を読み解くことでメタ認知を促すことができないかと考えた。そこで，痛みや筋肉痛・疲労などの体験終了後に体に残る違和感を-1生理的刺激と定義して，ある体験が終了した後にその体験を忘れることがないようにその体験に起因する体に残る違和感をリマインダーとして体験に付加できる手法を開発する。そしてその生理的刺激によってその体験の情報を思い出すことでメタ認知の活性化をうながし，体験の価値を高めることを研究のコンセプトとし，「生理的リマインダによってそれと関連付けた体験を連想することができるのか」と「生理的リマインダで体験を思い出すことが

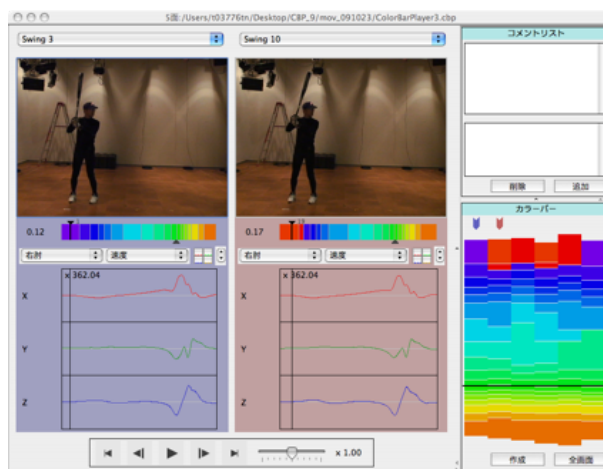


図 1.2 フォーム可視化ツール MotionPrism [2]

リフレクション学習のように体験の効果を高めるか」の2つの観点から検証をおこなう。

1.2. 論文構成

本論文は本章を含めて5章で構成される。

第1章では体験型コンテンツの現状と体験における体に残る違和感の効果という本研究の背景を述べ、それに対して本研究が達成したい研究コンセプトを示した。続いて、本研究で提案する「体験に起因する生理的刺激による生理的リマインダー」の研究の立ち位置を示すために、「生理的刺激と体験の関係」と「体験のリフレクション学習」の既存の研究を紹介した。第2章は、本提案で用いる温度感受性 TRP 受容体の活性化についての概論の説明を行い、最後に既存の痛覚刺激の手法の説明を行う。第3章からは、実現したい体験の効果を最大化する生理的刺激を定義し、様々な予備実験をとおして最適な手法を模索した。そして、第4章では第3章で確立した生理的刺激手法を2つのモデルケースで検証及び考察を行い、第5章で結論を述べる。

第 2 章

関 連 研 究

第 1 章で定義した研究コンセプトの体験終了後に持続する生理的刺激によって体験の重みづけにつながるかを検討するまえに、体験に起因する体の違和感を体験者が認知することによる体験の効果に与える影響を文献を調査し、考察を行った。

続いて、本研究で用いる温度感受性 TRP チャンネルの活性化による痛覚刺激の仕組みの概論を説明し、従来の痛覚刺激手法と比較する。

2.1. 体験型コンテンツと生理的刺激による体験の認識

まず本節で怪我や疲労・筋肉痛といった体験に起因する生理的刺激の認識がどのように体験に影響を与えているかを調査し、考察を行って整理した。

2.1.1 怪我を通して学ぶ

「学校の校庭をよそ見をしながら走って、転けて、膝を擦りむき、そのかさぶたの痛みから行動を反省して気をつけるようになる」ように古くから痛い目にあうと学習するといわれていて、元来、様々なことに挑戦し、失敗し、トライアンドエラーを繰り返し、ときには痛い目にあって、自分の身をもって学習して能力を獲得したり、できることできないことを認知してきました。

例えば、高いところにある危険を予測する能力は、子供の頃に高いところから落ちるといふ実験を通して獲得される。それゆえ、子どもたちはある程度の危険性を内在している遊びに惹かれ、こうした遊びに挑戦することにより、それを通して危険予知能力を身につけ、事故を回避するようになる [12]。日常の中の成功や

リスクが付随する失敗を繰り返していくことで、周辺情報を認知する力がつき認識発達が発達ししていく [13].

つまり、痛みによって、その行動の想定した予測結果から外れていることを認知できるように観察が活性化されたり、その痛みを避けるために制御の必要性が高まるように制御が活性化されているため、メタ認知が活性化されていると言えるだろう。

なお、失敗や怪我が自己効力感 (ある状況を変化させる手段を遂行することに対する自己評価で、遂行できるという確信の程度 [14]) を低下させてしまうこともありうる。征矢野らの「転倒予防教室」と転倒予防自己効力感の研究では、転倒に関わる自己効力感を低下させる要因の一つとして「転倒経験やそれに伴う受傷」といった制御体験や「老いや転倒の危険を感じる身体変化」等の生理的・感情的状態の自覚などをあげており、それぞれ一見派手で難しそうにみえる運動でも筋肉痛や関節痛などを起こすことなくやり遂げる運動の成功体験を与えたり、健脚度測定でできるようになったことを自覚できるように言葉をかけ確認を促したりといった自己効力感を高めるプログラム (表 2.1) を提案している [7].

これらのことから「痛い目にあうと学習する」というのは、転けて痛い目にあったのは校庭を走っていたのが原因ではなく、よそ見をしながら走ったことが原因であるというように本質的な失敗の原因と痛い目を直接関連付けて、問題ない走るという要素の自己効力感を下げ、忌避感を感じさせないデザインが必要であると考えられる。

2.1.2 疲労を通して体験を確認する

筋トレ後の軽度な筋肉痛からトレーニングレシピをやりきった達成感を感じたり、レジャー旅行から帰ってきた翌日の体に残る気だるさによって前日の旅でやったアクティビティを思い返したりと、筋トレや運動後の体のほてりや疲労感・筋肉痛などの体に残る違和感も生理的刺激として体験を確認することにつながると経験則から感じている。

表 2.1 自己効力感に影響する情報源と低下させる要因, 高めるプログラム [7]

影響する情報源	低下させる要因	高めるプログラム
制御体験 自分で実際に行い, 失敗や成功をする	転倒経験, 躓き経験, 転倒に伴う受傷	運動の成功体験を導く (激しい筋肉痛・関節痛などを引き起こさない運動量の調節・楽しい運動プログラム)
代理体験 他人の成功や失敗を観察	知人の転倒・受傷	プログラム修了者の紹介 教室メンバー同士の交流
社会的説得 やれはできると他人から説得される	転倒・骨折・骨そしょう症等に関する情報, 周囲からの規制・サポート, エイジスム	健脚度 (移動能力) 測定 医師から運動適応の判定
生理的・感情的状態の自覚 生理的感情的変化の体験	老いや転倒の危険を感じる身体変化バランス 抑うつ, 視覚・聴覚障害, 加齢能力の低下, 歩行速度低下, 歩行補助具の使用	健脚度 (移動能力) 測定 てきよようになったことを自覚できるように言葉をかけ, 確認を促す

一般的に不快を感じる要素である疲労や筋肉痛が達成感につながるのは、筋トレやスポーツの練習においての最終目標はより強い力を出せるようになったり、より難しい技術を会得したりと効果を実感するのに時間がかかるため、どれだけ練習したか努力の量に比例して体に現れる疲労や筋肉痛をもって運動の効果を実感による満足感を得ているのではないかと推測している。

スポーツ健康科学を専攻するウェイトリフティング競技者に聞き込み調査を試みたところ、「適度な筋肉痛や疲労を実感することがやりきった達成感や満足感につながるか」という質問にその日やると計画していたトレーニングプランを実行できたこととその疲労や筋肉痛と結びつき達成感に影響を与えると共感していて、特に筋トレ歴が短い人ほど自分の能力が理解できず、計画も緻密ではないため、「筋トレに時間をかけて取り組んだこと」が努力の指標となり、達成感は疲労に依存する傾向がありそうとコメントしていた。

理学療法分野でも、岡西が行う運動療法(治療として運動を処方する)において図2.1のように筋疲労感を目安とした反復運動における運動学習が提案されている。運動療法においては適切な運動を適切な回数実施する必要があり、父親が子供

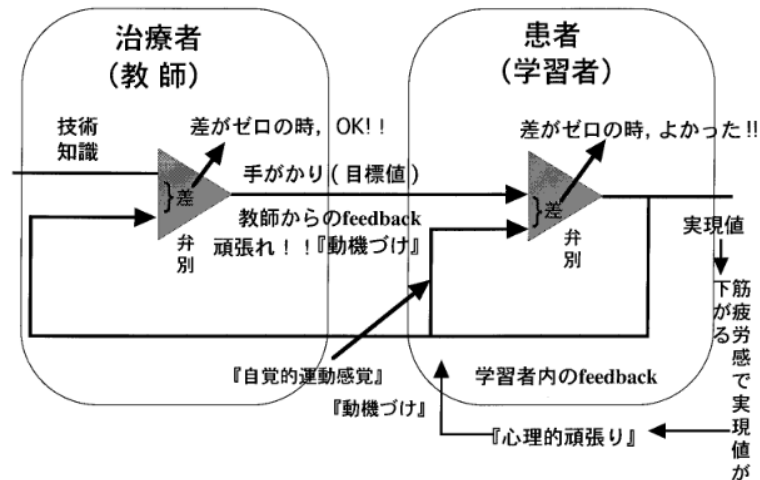


図 2.1 筋疲労感を目安とした反復運動における運動学習の過程 [3]

に自転車の乗り方を教えるように治療者の指示する運動を患者が行う間隔運動学

習である。この岡西の手法においては治療者から患者に「筋肉が少し疲れる位まで反復運動を行う」という手がかりが与えられ、学習者(患者)内の内在的フィードバック(運動感覚)と治療者からの在外的フィードバック(結果とパフォーマンスの知識)の両面から good という心理的強化、すなわちオペラント条件づけにおける達成感・報酬を得られ、学習意欲があがり、学習効果・パフォーマンスが向上される [3]。

このように、疲労度などは自分がその行動をしたことによって起こる結果を手軽に認知できる方法の一つであり観察が活性化が達成され、自分の状態を疲労度を通して認知しながら行動を行うことは制御の効果をわかりやすくするため制御が活性化され、メタ認知が活性化されていると言えるだろう。

また、疲労や筋肉痛も怪我による自己効力感の低下のように反対に体験のパフォーマンスを低下させることもある。有田らの「運動効果の実感の有無および自己効力感」についての研究では、運動による効果の実感を認識することが自己効力感を高め、運動の実践・継続につながっていることが示唆されているが、同時に運動による効果を認識する情報源を「階段を上がるのに息切れがしなくなった」といった「効果の気づき」といった運動による内在的報酬が発生するといったように肯定的な生理的・情動的喚起限定している。疲労や筋肉痛などのネガティブな要因はすぐに実感できない運動の効果に先行し、大きな身体的障害要因となっていると報告している [15]。

これらのことから、疲労や筋肉痛といった体験に起因する生理的刺激は運動内容に応じて違和感を感じる強度や部位が変化していくことや運動効果と比べて早く反応がでることから、生理的刺激を認識することは運動効果の認識のかわりにメタ認知を活性化する要因になり、体験の効果を高めることにつながるが、そのネガティブさによって運動そのものの忌避感につながらないようなデザインが必要であると考えられる。

2.2. 痛覚刺激手法

2.2.1 研究の起こり

この研究のきっかけとなったのは、以前別の研究プロジェクト [4] で、ズキズキ感のある痛覚刺激を探していたときに、プロジェクトメンバーの中国人留学生が姜貼 (図 2.2) を紹介してくれて試したことである。姜貼とは中国で使われる貼付剤型の漢方のひとつで、発熱姜貼というウリ文句で血行を良くして寒さを和らげたり、自律神経に働きかけたりという効果がある湿布であいい、スカート履いて脚が寒い女子など日常的につかわれているものである。試しに腕に貼り付けてみる



図 2.2 紹介された姜貼

と数分後から発熱とズキズキとした刺激を感じ始め、30分ほどすると刺激が強すぎて剥がしてしまった。紹介してくれたメンバーや一緒に同時に試したメンバーの様子をみると、刺激の感じ方に大きな差がありそうなのがわかった。続いて、膝に貼り付けてみたところ、腕よりは刺激が弱く、貼り付けている内に刺激を感じなくなり貼り付けていることを忘れていたが、しばらくたつと膝に擦りむいた

ときのような刺激をふと感じて、「はて、いつ転けて膝をぶつけたかな」と感じたことが本研究のコンセプトを考えついた。

その研究では、姜貼を貼り付けて肌感覚が敏感になった皮膚に可視光による非接触熱提示及びブラシによる接触刺激を提示するデバイス(図??)を作製し、皮膚表面で火花が散る感覚を再現した。

姜貼からの刺激は生姜に含まれるショウガオールやシンゲロールが皮膚に浸透し、感覚神経の温度感受性 TRP チャンネルを活性化することで発生することが知られている。よって、本研究のコンセプトを達成するために温度感受性 TRP チャンネルの活性化による痛覚刺激によって繰り返す生理的刺激を再現できると考えた。

2.2.2 温度感受性 TRP チャンネル

2021 年の生理学医学賞受賞で今年によく話題にあがった温度感受性 Transient Receptor Potential(TRP) チャンネルとは、生体内のあらゆる細胞膜に存在するイオンチャンネル型受容体で、生体が住みよい温度域ではない約 43 °C 以上と約 15 °C 以下環境などで活性化され痛みをもたらす機能を担っている。同時に、TRP チャンネルは味覚や嗅覚、痛み、酸など外部からの刺激を感知するセンサーとしても働く。例えば、43 °C が活性化温度閾値である TRPV1 チャンネルは唐辛子の辛味成分であるカプサイシンをリガンドとして活性化温度閾値が低下し、平熱体温においても痛覚刺激が発生する。また、炎症発生時には炎症関連メディエーターと呼ばれる防御反応の影響で同様に TRPV1 チャンネルの活性化温度閾値が更に下がるため、カプサイシンなどのリガンドによる TRPV1 チャンネル活性化の痛覚刺激は炎症時に感じるズキズキ感や痛みと同質なものである(図 2.5)。

TRP 受容体は種類によって異なる活性化温度閾値やリガンドに反応し、それぞれ特有の痛覚刺激を感じる(図 2.6)。

2.2.3 生理的・化学的反応を用いた痛覚刺激手法

TRP チャンネルの活性化のように生理的な痛覚刺激を実際に実装している例はとも少ない。例としては、Lu らの 2021 年にりらが発表した Chemical Haptics は

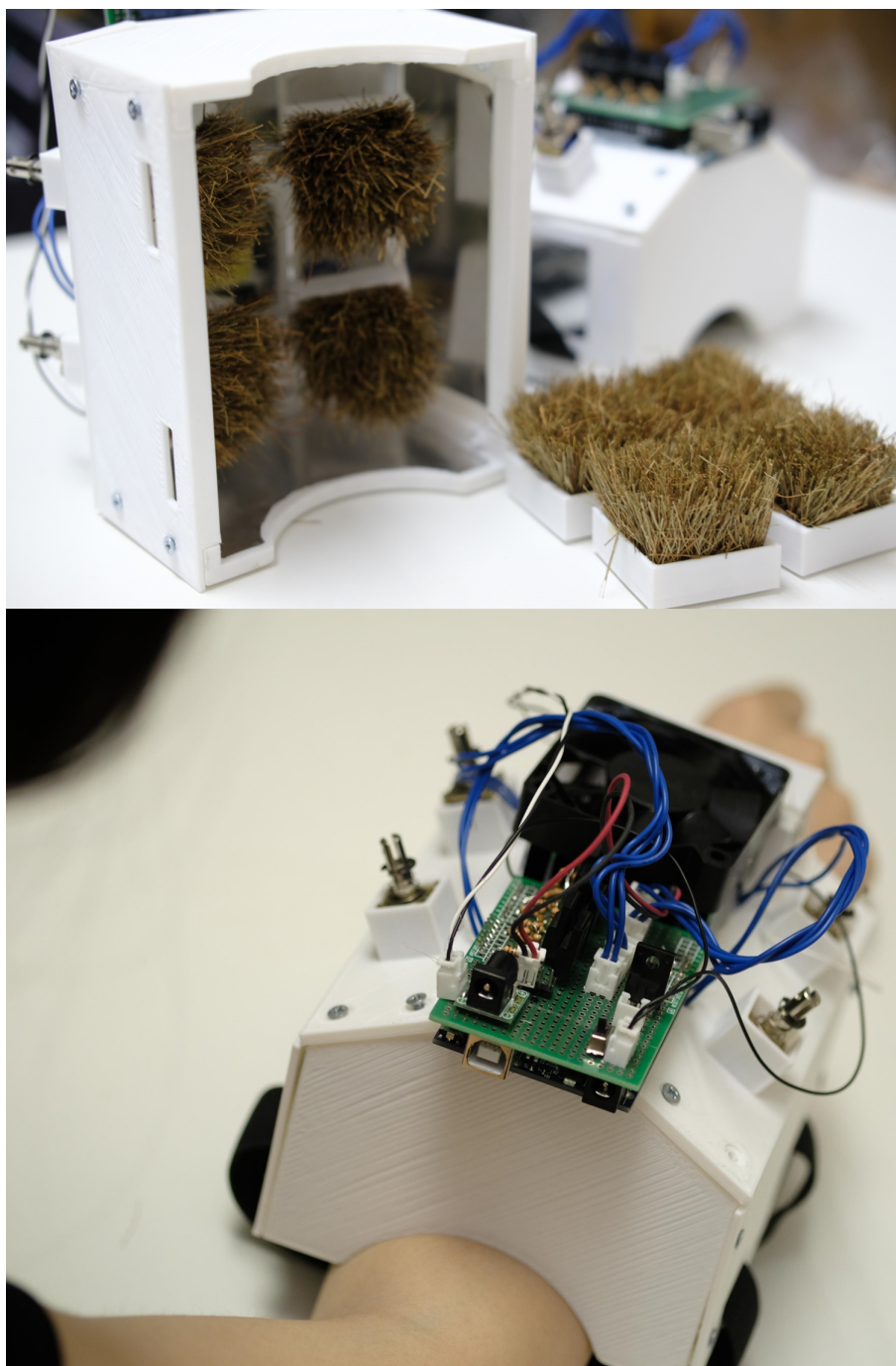


図 2.3 火花感提示デバイス [4]

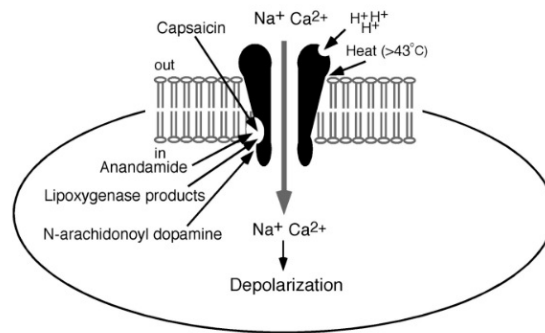


図 2.4 カプサイシン [5]

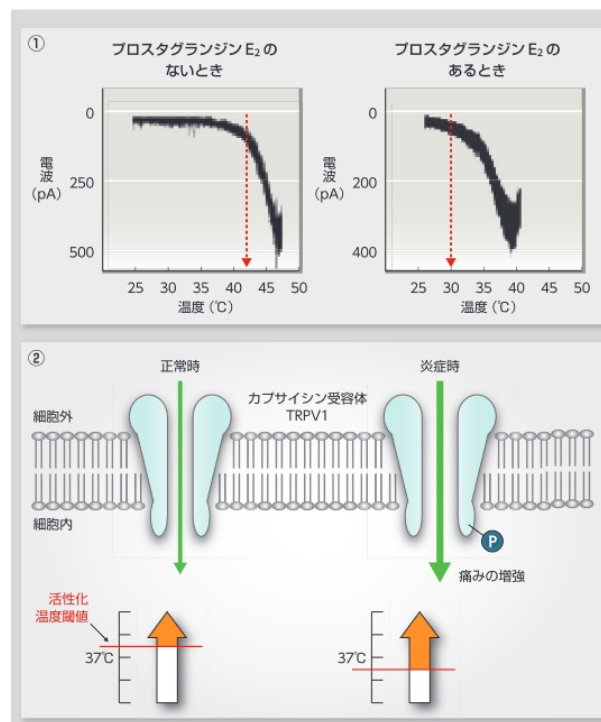


図 2.5 炎症時の活性化温度閾値の低下 [5]

TRPチャンネル	活性化温度閾値	活性化成分	スパイス例
TRPV1	43°C<	カプサイシン	唐辛子
		ジンゲロール	生姜
		ピペリン	黒胡椒
		オイゲノール	クローブ
		アリシン	ニンニク
TRPM8	<28°C	サンショール	山椒、花椒
		メントール	ミント
		リナロール	ラベンダー、コリアンダー
TRPA1	<17°C	アリルイソチオシアネート	わさび、マスタード
		アリシン	ニンニク
		ピペリン	黒胡椒
		シナナムアルデヒド	シナモン

図 2.6 TRP チャンネルのリガンドと活性化温度閾値. 参照 : <https://foodclip.cookpad.com/11886/>

リガンド溶液をポンプで皮膚表面に流すことで、ピリピリ感(サンショール), しびれ感(リドカイン), チクチク感(シナナムアルデヒド), 温感(カプサイシン), 冷感(メントール)の5つのリガンドによる痛覚刺激を提示し, VR 体験の没入感を高めることを行った [6](図??). この論文では, 図 2.8 のように, リガンド溶液を皮膚に接触させてから 10 分, デバイスを外したから 10 分間の被験者が感じる感覚を調査したが, それ以降の調査は行っておらず, 長時間経過後に一刺激がぶり返すことに注目していなかった.



図 2.7 Chemical Haptics [6]

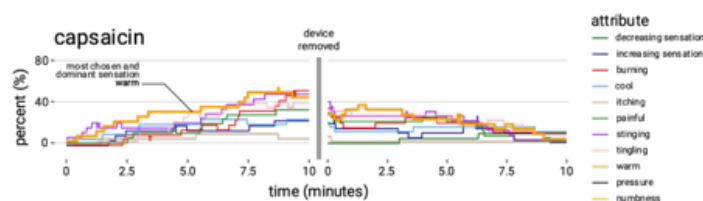


Figure 13: For capsaicin most felt sensations were "warm" and "burning".

図 2.8 時間経過とカプサイシンによる痛覚刺激 [6]

また, Hagura らは四川赤山椒 (花椒) を求心性神経を刺激するピリピリとした刺激が 50Hz 前後の機会振動と同じ処理経路で脳に伝達されていることを示し, 四川赤山椒のピリピリ感が触覚周波数体験であることを解明した [16].

2.2.4 従来の痛覚刺激手法

従来の痛覚刺激手法では, 振動子などをつかった振動提示, ペルチェ素子などで温冷感やサーマルグリル反応 [17] による痛覚提示, 皮膚感神経を電気刺激で刺激する手法 [18], 空気圧を用いるもの, 皮膚の伸縮を再現するものなど提示部位とデバイスが接触しているものは提示デバイスを提示部位に常に装着する必要がある, 超音波や赤外線を使う非接触提示は提示できるエリアが限定されていたりする特徴がある. よって, 体験終了後は提示デバイスを外したりエリア外となるため, 体験が終了しデバイスを外したあとも刺激が持続するものは少なく, 体験終了後の痛覚デザインをすることがなかった.

また, ユーザーが痛覚刺激を感じたときに, その刺激は外部デバイスから与えられていることが明確であるため, 刺激によって刺激に関する体験の内在的要因のメタ認知につながらず, ときには失敗に対して外部から罰を与えられているように感じてしまう. それに対して, 生理的な痛覚刺激は内部から起こる生理的反応であり, 一度皮膚に浸透してしまえば, デバイスなしで効果が持続し, 内側から感じる刺激であるため痛みの自己主体感があがるというメリットがある.

第 3 章

コンセプトデザイン

3.0.1 実現する痛覚刺激の定義

本研究で目指す機能を「メタ認知を誘発するために-1 生理的な痛覚刺激による体の違和感を、意味ある情報を含む刺激としてぶり返させること」として定義した。第 2 章での「生理的刺激による体験の認知」や・痛覚刺激の先行研究を考慮して、生理的リマインダーによって体験を再認識し、メタ認知を誘発し、体験の効果を高めるためには次のような要素が必要であると考えた。

- 体験中の行動に起因する生理的刺激であること

その行動と刺激の因果関係が明確であり、行動の効果をユーザーが認識し、適切にメタ認知を活性化することを狙う。行動との因果関係が不明瞭であると、失敗に対する罰としての痛みとして認識されて、失敗などの行動より罰を与えられたことのほうに関心が向いてしまう可能性がある。よって、違和感は体験全体を想起させるものではなく、改善したい行動の要素だけに結びくことで、体験全体に忌避感を感じないようにすることが必要である。

- 外部デバイスに頼らず、生理的刺激によってユーザーに情報を与えること

電子デバイスなど外部装置によって痛覚刺激を受けているのではなく、自身の体から発せられているシグナルであるため、誰かから罰として与えられる痛みではなく自身の行動の結果であると認識されることを狙う。

また、痛覚刺激場所に外部デバイスが装着されていないことは、刺激終了後に外部デバイスの回収の手間がなくなったり、外部デバイスの存在が日常生活を阻害することも避けることができる。

- 恒常的に提示される生理的刺激ではなく、ふとした時に活性化されること
体験が終了し、その後の別の作業に移って体験のことが意識からなくなった際に、再度刺激を提示することによってリフレクション学習の誘発を狙う。
常に生理的刺激が提示することによる日常生活の阻害は避ける。
- その生理的刺激の強度は強すぎこと
痛覚刺激が強すぎて我慢できない不快感を覚えたり、刺激発生時に進行中の作業・行動を阻害しないことは、体験終了後の体験をデザインする上で必要なことである。

3.0.2 モデルストーリー

生理的リマインダを活用するモデルストーリーとして次の2つを考えた。

3.0.3 生理的リマインダが作用する時の基本的な流れ

1. 体験中の失敗体験と生理的刺激の関連づけを行う
2. 日常生活の中でふと刺激がぶり返して、失敗経験を思い返し反芻を行う
3. 刺激によって失敗の原因を想起することで、メタ認知を誘発し体験の効果を高める

体験型プログラム

1つ目の例は老化による転倒防止プログラムのように学習の機会を設ける体験である。前述した征矢野らの研究で述べられている通り、転倒の実体験や老いや「転倒の危険を感じる身体変化」の自覚などによって自己効力感が低下し、自己効力感が低下すると忌避感が生まれ、運動や歩行の実践・継続が阻害されるという悪循環に陥る。そこで、本モデルストーリーではVR内などで仮想的に転倒を体験し、どのような行動や環境が転倒の怪我の痛みにつながるかを体験する。体験

プログラム中は講師から新しい話を聞いたり、楽しい体験によって興奮したりと十分学びることができない可能性がある。その上、向上心が高い体験者以外は終了後に体験プログラムのリフレクション学習を行うことは少なく、体験プログラムの学習効果を十分享受できていない。よって、本提案では体験終了後の日常生活の中で散歩しているときや入浴中など忘れた頃に体験中の刺激がふと蘇ることで、体験をリフレクションやメタ認知の活性化を誘発して学習効果を高める。

この仮想的な体験はVRに限らず、電子ゲームを用いた仮想体験や動画視聴を用いた受動的体験でも代替できると考えている。

日常型ヒヤリハット

また、学習プログラム中の体験以外にも日常生活の実体験の失敗にも応用できないかと考えている。例えば、工場内の不注意で起きた重大事故につながるヒヤリハットを体験した場合、その後生理的リマインダ-1パッチを貼ることによって起こり得た怪我を強調して、メタ認知を促すことができないかと考えている。ただし、この状況においては体験者は失敗に対する罰が与えられていると感じるのではなく、意識の中でヒヤリハットと刺激を関連付け、起こり得た怪我の痛みとして認識できる必要がある。

3.1. 予備実験

前項で定義した痛覚刺激を実現するために、次のような予備実験を繰り返し、最適な痛覚刺激手法を模索した。

3.1.1 予備実験：試薬の模索

最適な刺激を手軽に体験に付与できるようになるために試薬を準備，または作製し生理的刺激的の受け方を模索した。

試薬一覧

以下のような試薬を用意して，検証を行った。

試薬 I 姜貼 A (原始点発熱姜貼)

前項で中国人留学生から紹介された姜貼。

試薬 II 姜貼 B (Mchpee Pain Plaster Patch, Ibccndc Ginger Detox Patch)

中国通販で購入した姜貼。

試薬 III 生姜溶液 A(97%エタノールに溶かした三笠産業製しょうが粉末)

試薬 IV 生姜溶液 B(97%エタノールに溶かした富澤商店製有機しょうがパウダー)

試薬 V ハッカ溶液 (97%エタノールに溶かした自然化粧品研究所製天然ハッカ結晶 L-メントール)

試薬 VI カプサイシン溶液 A(97%エタノール)

試薬 VII カプサイシン溶液 B(99.5%無水エタノール)

試薬 VIII カプサイシン溶液 C(80%エタノール)

試薬 IX カプサイシン溶液 D(オリーブオイルピュアオイル OL, 良品計画)

試薬 X カプサイシン溶液 E(グリセリン P「ケンエー」, 健栄製薬)

試薬 III から試薬 IX は溶媒に溶質を十分量投入し，よく攪拌した水溶液の上澄みをスポイトで吸い上げて使用した (図 3.1)。試薬 X は攪拌後に溶質がそこに沈殿が起きなかったため，コーヒーフィルターを用いて濾過を行った。



図 3.1 生姜溶液 B とカプサイシン溶液 A

予備実験の方向性の決定

まずはじめに、どの試薬を使っていくか方向性を決めるために、自分や周りにいる同僚など手頃な人に試薬 I から試薬 V を貼付し、どのような刺激を感じるのか確認した。

実験方法 試薬 I と試薬 II は貼付剤を半分きって、貼り付けた。試薬 III から試薬 X は図 3.2) のようにスポイトで 1mL 上澄み液を吸い上げ、皮膚表面貼り付けたコットンに染み込ませ、5分または 10分後に剥がした。

姜貼 中国から公称持続時間が 24 時間の姜貼 A を 1 種類と 3-4 日の姜貼 B を 2 種類取り寄せたところ、姜貼 B は姜貼 A と比べて価格が安くて薄い、刺激も弱く怪我をしている感覚があまりしなかったため姜貼 A を採用することにした。

人によって姜貼で感じる刺激の強さが人によって異なることが経験的にわかっていたので、18 歳から 27 歳までの 15 人に姜貼 A を配布し、刺激の受け方を観察し、質問を行った。被験者 15 人中 13 人が刺激を感じ、2 人は刺激を感じる事が



図 3.2 試薬の提示方法

できなかったが、刺激を感じるのが多数派であったため痛覚刺激手法として活用できそだと判断した。なお、刺激を感じる人においても、姜貼を剥がしたいほど刺激が強く感じる人から刺激が心地よくて普段遣い用にほしいという人まで様々であった。

生姜溶液 市販されている姜貼は成分を調整することができないので、乾燥生姜粉末から成分（ショウガオール及びジンゲロン）をエタノールで抽出することで使い勝手を良くすることを試みた。生姜溶液 A と生姜溶液 B は使用した乾燥生姜粉末のみが異なる試薬である。

わたしにとって姜貼は貼付後しばらくすると我慢できないほど強いズキズキ感のある刺激となるが、生姜溶液 A, B は遥かに弱い刺激であった。しかしながら、生姜溶液は A, B ともに貼付後に刺激を感じ始めるがより早いという特性があった。試薬を貼付を終えると刺激はあまり持続しなかった。

ハッカ溶液 カプサイシンやショウガオール・ジンゲロンは活性化温度閾値が 43°C 以上である TRPV1 チャンネルの活性化するリガンドであるが、ハッカは $25\text{-}28^{\circ}\text{C}$ 以下が活性化温度閾値である TRPM8 チャンネルという温度が下がると活性化す

るチャンネルのリガンドである。ハッカ溶液を塗ると特有のスースーするような冷たい刺激を感じることができた。しかしながら、この刺激は日常生活で感じるものがほとんどない刺激であったため、特有さが際立ち、体験の余韻として使うには適さないと考え採用しなかった。

カプサイシン溶液 カプサイシン溶液 A からカプサイシン溶液 E まで、すべてエスビー食品製唐辛子粉末を溶質として用いた。カプサイシン溶液は発熱や炎症のような感覚を感じることができ、貼付中の刺激の強さは姜貼 A のより弱く、生姜溶液 A・生姜溶液 B より強い。また、試薬を剥がした後にも弱い刺激が持続したあと、しばらくすると刺激が薄れて忘れてしまうが、ふとしたときに刺激がぶり返してきた。なお、このぶり返し刺激の強度は姜貼 A と同等に近い強さであった。

同時に 2 人の被験者へカプサイシンエタノール (97 v/v%) 溶液を貼付したときに、ほぼ同時期から刺激を感じ始めた。その後、試薬が染み込んだガーゼを肌押し付けると刺激が弱くなった。このことから、皮膚表面のエタノールが完全に揮発し、気化熱による冷却効果がなくなった時点が刺激を感じ始める条件であると予想をたてた。

よって、揮発性の異なる複数の溶媒 (脂溶性であるカプサイシンが溶けるアルコール類及び油脂) に溶かした試薬 VII から試薬 X の効果を調べた。

カプサイシン溶液 D (オリーブオイルピュアオイル OL) 及びカプサイシン溶液 E (グリセリン) は刺激を感じることができなかった。これらの溶媒はカプサイシンを溶かすが、溶媒自体の分子量が大きく皮膚内に浸透しにくいいため、TRPV 1 チャンネルまでリガンドが到達できなかった可能性が高い可能性があると考えた。

99.5%無水エタノールを添付すると貼付後すぐにすこし強い刺激と気化熱の冷たさを感じ、97%エタノールでは3分ほどあとに無水エタノールより弱い刺激を感じはじめ、80%エタノールはより遅く弱い刺激であった。つまり、エタノール濃度によって、刺激の強度や早さを制御することが可能であることが示唆された。また、エタノール濃度が濃いほどぶり返し痛みが発生しやすく、ぶり返し痛みの強度も強かった。

また、カプサイシン溶液投与部位を温めると刺激が強くなり、冷やすと刺激を感じなくなることも確認した。

試薬の模索のまとめ ショウガオール・シンゲロール，メントール，カプサイシンを含む試薬を作製し，活性化刺激とした温度感受性 TRP チャンネルの活性化による生理的刺激を確認した．作製した試薬のうち，姜貼 A 及びカプサイシン溶液 A が刺激の感じ方，強度，ぶり返しの特性の観点で，3.0.1 で定義した本研究で実現したい最適な痛覚刺激であるとし，以降の予備実験及び実装で活用した．

よって，以降単に姜貼，カプサイシン溶液と記載するものは，姜貼 A，カプサイシン溶液 A のこととする．

3.1.2 予備実験2 カプサイシン溶液及び姜貼の効果の調査

前節で選出した姜貼，カプサイシン溶液によってどのような刺激を感じたかを調べるために，次のような調査を行った．

調査方法

日常生活をおくる被験者郡1と軽度な持続した運動をおこなう被験者郡2に姜貼及びカプサイシン溶液を貼付し，次の日にアンケート調査を行った．

被験者郡1

被験者郡 1a 日常生活を行う24歳から25歳の男女4人を被験者として，姜貼を前腕内側と膝に貼り付けて，貼付剤が日常生活を阻害した時（入浴など）や刺激の強さに我慢できなくなったときなどにはがしてもらった．

被験者郡 1b 日常生活を行う22歳から27歳の男女8人を被験者として，カプサイシンエタノール（97 v/v%）溶液を前腕内側に貼り付けて，10分後に貼付剤を剥がした．

試薬貼付時間 15 – 18時

被験者の状態 暖房が効いた室内にて試薬を貼付し，1時間以上室内に滞在してもらう．その後，各自で帰路につき，家にて日常生活を送ってもらった．

被験者郡2

軽度な運動（ウォーキング）を8時間連続しておこなう被験者郡に同行して，試薬の貼付および観察を行った．

試薬貼付時の気温・湿度 11℃・75%

被験者群 2a 21歳から38歳の男女4人を被験者とし、姜貼を前腕内側に貼り付け、剥がしたくなった時点で皮膚から取り外した。

被験者群 2b 21歳から25歳の男4人を被験者とし、カプサイシンエタノール (97 v/v%) 溶液及びカプサイシンエタノール (80 v/v%) 溶液をそれぞれ別の前腕内側に添付した。刺激を感じ始めたのが遅かったため、貼付剤は15分後に取り外した。

被験者の状態 試薬の貼付後8時間ウォーキングを連続して行い（ウォーキング開始後、2時間後にバッティングセンター、その1時間後に暖房が効いたレストランで食事を途中に挿む）、帰宅後は速やかに就寝した。



図 3.3 運動中の被験者の様子

アンケート調査 体験の翌朝にアンケートをオンラインで送付し、Google フォーム上で回答してもらった。アンケート調査の全体の結果は末尾に貼付し、本節では注目すべきデータに関してのみ掲載する。

アンケートの回収率はそれぞれ4/4, 7/8, 4/4, 2/4であった。特に2bのデータ数は数が少ないため統計的な判断はできないが、被験者への聞き取り結果や私の

体で繰り返したきた経験から判断を補った。

実験の観察

被験者群 1 被験者群 1 は貼付後は同行していないので観察は行えなかったが、被験者群 1b の一部は「手を振って風をきると違和感を感じる」「貼付した箇所の温度の感じ方が通常と異なるため、反対の手でその箇所を触ると自分の体ではないような感覚がする」など報告してきた被験者もいた。翌日のアンケート調査では、被験者群 2b の 7 人中 2 人が刺激のぶり返しがなく、ぶり返しがあった 5 人は 1 人が寝起き・就寝時、4 人が入浴時、1 人が手で風をきった時にぶり返しがあったと回答した。

刺激を形容するとどんな感じでしたかという質問には、図 3.4 であった。

またアンケート調査の自由記入欄では次のように回答していた (原文ママ)。

- 外して 3 時間後くらいから少し汗をかいた肌にヒリヒリ来る感じがありました。擦り傷火傷のような。そのまた数時間後に浴槽に浸かると擦り傷が染みるような感じで、想像以上の痛みが来ました。
- かーぜを外してからは、強い風がふくと違和感を覚える程度の痛みを感じました。5 時間ほど経ち忘れた頃に湯船に浸かった時に、火傷のような強めな痛みがぶり返しこのコンテンツを思い出しました。
- ”痛みというより治りかけの擦り傷の痒さみたいな感じで、ぶり返しは全くありませんでした。3 分後ひんやり、5 分後ピリピリ、その後何もなしでした～”
- 痛みを全く感じていない人たちの共通点が気になった。

最後の回答者は貼付時もぶり返しも刺激を一切感じなかった被験者である。

被験者群 2a 被験者群 B は姜貼の貼付後しばらくすると 4 人全員が刺激を感じた。1 から 2 時間貼り続けてもらい、皮膚から取り外したあとは、しばらくは刺激を感じたがその後刺激がぶり返すと報告してきた人はいなかった。刺激につい

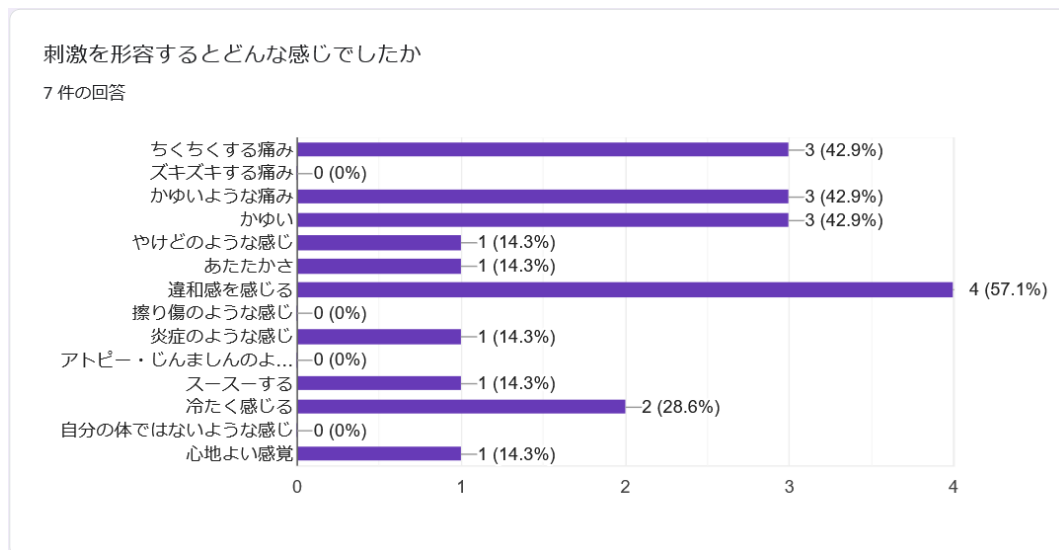


図 3.4 刺激を形容するとどんな感じでしたか

て「温かいといえば温かい，ズキズキよりは弱い刺激」，「剥がしたいほどの強い刺激」「普段遣いしたいから，購入先をおしえてほしい」という表現まで意見が割れた。

被験者郡 2b 被験者郡 A の内 3 人が約 15 25 分後にカプサイシンエタノール (97 v/v%) 溶液を貼付した箇所に刺激を感じるが，カプサイシンエタノール (80 v/v%) 溶液は刺激を感じず，残りの 1 人はどちらの試薬も刺激を感じることがなかった。カプサイシンエタノール溶液貼付剤を剥がしたあとは，しばらくすると刺激を感じなくなるが，以下のようなときに刺激がぶり返してきた (図 3.5) 。

- バッティングセンターなど運動の強度が上がったとき
- 暖房が効いたレストランで食事をとったとき
- 寝起き
- 条件はわからないが歩いているときにふと刺激を感じる

このような状態は体温があがる状況であるため、皮膚表面の体温がカプサイシンによるリガンド刺激によって下がった温度感受性 TRP チャンルの温度閾値を超えたのであろうと考えられる。

感覚を感じたのは

6件の回答

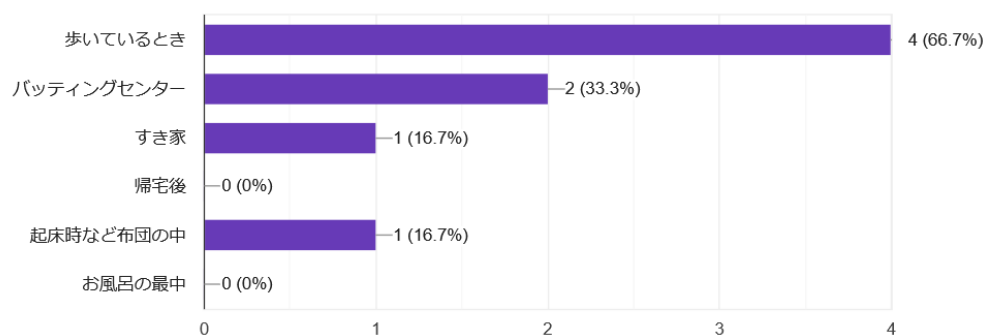


図 3.5 被験者郡 2 が感覚を感じた状況

貼付直後は外気温に冷やされた皮膚温度の影響で刺激が少し弱く感じる程度であったが、上記条件で急に違和感を感じ始めたため、被験者は驚いた様子であった。刺激について運動中に質問すると、「かゆみではないけど刺激を感じる」と表現していた。

また、外気温が低く、運動強度も軽く体温が上がりづらい状態であったため、皮膚表面のエタノールの揮発に時間がかかり刺激開始までに時間がかかったのではないかと考えられる。

アンケート調査

調査方法 痛みの強度は国際的に使われている Visual Analogue Scale (VAS) や Numerical Rating Scale (NRS) を参考に「痛みが全くない」から「これ以上ない痛み」まで 10 段階で回答してもらった ([19])。

試薬を添付した時点の痛み (表 3.1, 図 3.6 左) を比較すると、姜貼のほうがカプサイシン溶液より強い刺激を示していることがわかる。被験者郡 2b が被験者郡

1bより痛みを小さく表現しているのは、前項で述べた通り外気温で皮膚が冷やされた影響であると推測する。

表 3.1 貼付時に感じる痛み

被験者郡	NRS で示した痛み						
1a	7	4	3	7	N/A	N/A	N/A
1b	1	2	3	2	1	3	5
2a	2	1	7	6	N/A	N/A	N/A
2b	6	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

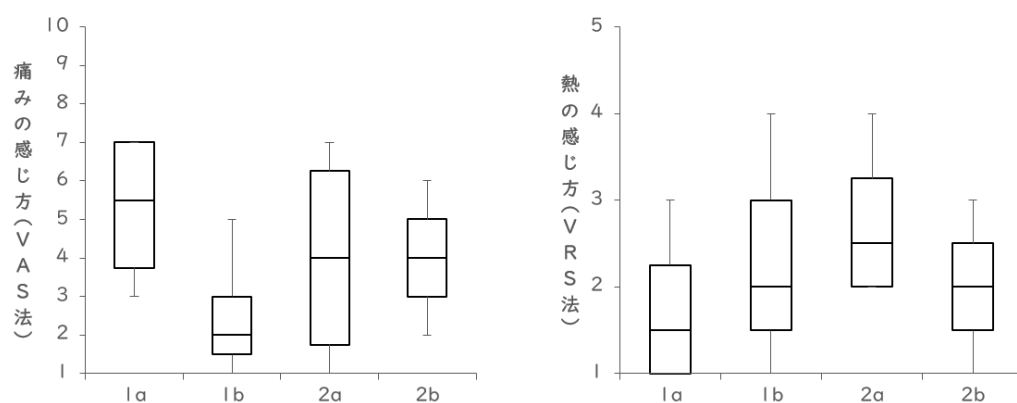


図 3.6 貼付時の痛みと熱の感じ方

また、貼付時の熱は表 3.2, 図 3.6(右)のようにすべての被験者の熱の感じ方と痛みの感じ方を散布図にプロットしたが図 3.7であった。

ぶり返し痛みについて 被験者郡 1b の貼付時とぶり返し痛みを散布図にプロットしたのが図 3.8 であった。どの被験者も貼付時と比べてぶり返し時のほうが強い痛みの刺激を感じていることがわかる。

それに対して、被験者郡 1b の貼付時とぶり返し痛みの熱の感じ方を散布図にプロットしたのが図 3.9 であった。痛みとは逆にぶり返し時の熱の感じ方は弱くな

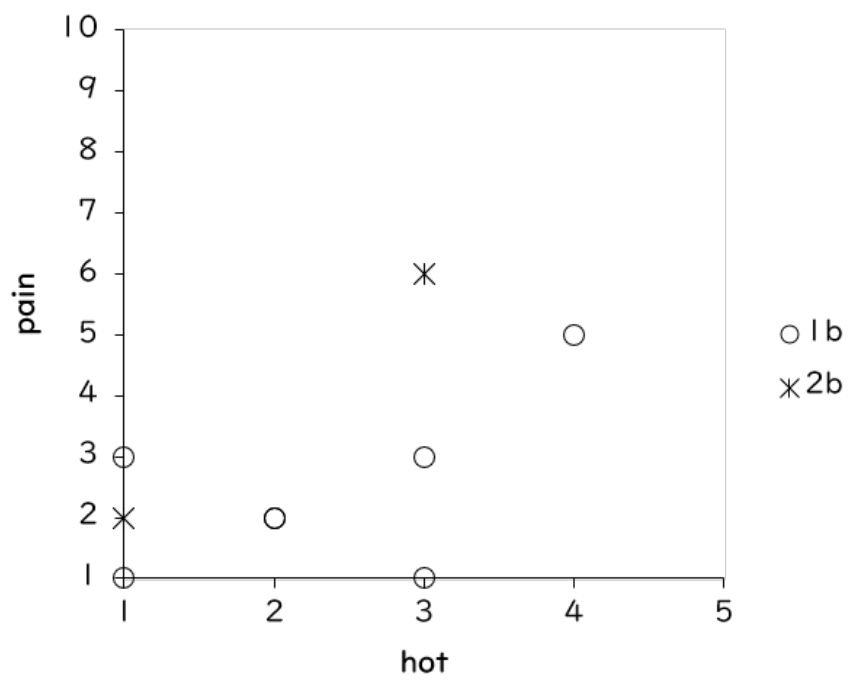


図 3.7 熱と痛みの感じの相関

表 3.2 貼付時に感じる熱

被験者群	NRS で示した熱							
1a	1	2	3	1	N/A	N/A	N/A	
1b	3	2	1	2	1	3	4	
2a	2	2	3	4	N/A	N/A	N/A	
2b	3	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

るか変わらない被験者が多かった。

姜貼データ 図 3.10 が姜貼のアンケート調査の結果である。カプサイシン溶液と比べて、貼付時から刺激が強いことがわかる。聞き取り調査によると、カプサイシン溶液の被験者よりも刺激を感じている時間的割合が多かったため、ぶり返しを実感できるのが遅かった。また、服と擦れて貼付剤が剥がれた人や「いつまでも貼っている人」と「1時間ぐらいで刺激の強度に我慢できなくなり、剥がした人」など人によって体験が均一化されない。

3.2. 安全性

カプサイシンは海外で神経障害性疼痛として評価の高い外用薬の一つであり、日本ではまだ認可されていないが、保険適用外薬として院内製剤として作って使用されている薬である。投与初期は血管拡張や局所刺激（痛覚過敏、灼熱感等）が起こり、長期投与においては痛覚閾値が上昇し鎮痛効果を示したり、局所の末梢循環改善にも作用することが知られている [20] [?] [21]。乾燥唐辛子粉末のカプサイシン含有量は 0.1～1%程度であるため、仮に今回使用した乾燥唐辛子粉末中のカプサイシンがすべてエタノールに抽出されたとしても院内製剤で作られる 0.25 %/0.025 %/0.05 %カプサイシン軟膏やアメリカで市販される 0.25 %カプサイシン薬よりも濃度は薄いため安全性は高いと考えれる。また、姜貼は中国で使用されている漢方薬をそのまま貼付しているので、安全性に問題はない。

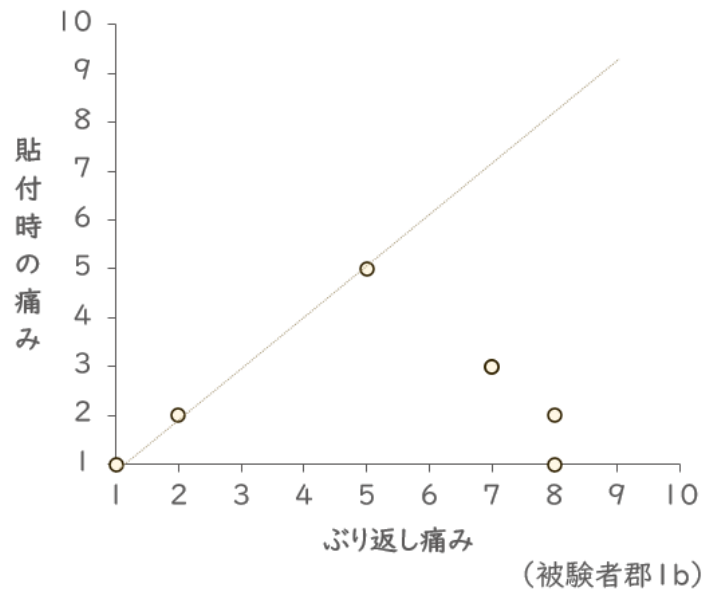


図 3.8 貼付時とぶり返し痛みときの痛みの相関関係 (n=7)

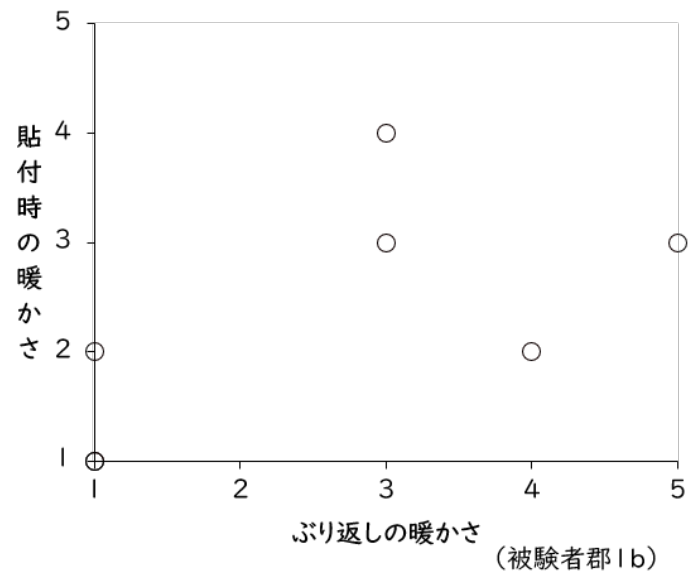


図 3.9 貼付時とぶり返し痛み時の熱の感じ方の相関関係 (n=7)

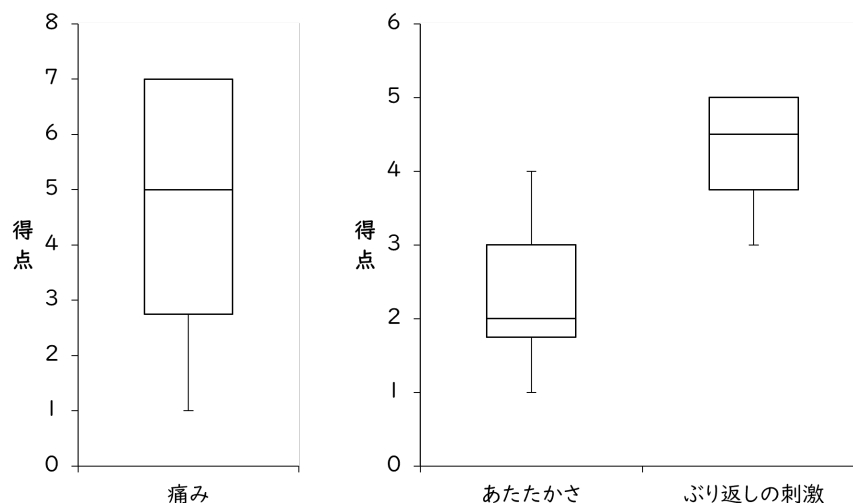


図 3.10 姜貼の刺激の感じ方

3.3. 第3章のまとめ

本章では、まずはじめに本研究で用いたい生理的刺激とはどのような痛覚刺激なのかを定義し、生理的リマインダが作用する流れや活用されるモデルストーリーを定めた。つづいて、カプサイシン、メントール、ショウガオールを含む試薬を作製し、試薬の特性を確認した。今回使用した10試薬のなかでは、貼付剤型で強い刺激を与える姜貼と溶媒の濃度で強度と早さを制御でき、ぶり返し特性が強いカプサイシン溶液を採用することにした。

つづいて、被験者数を増やし、刺激の強度を国際的に使われている痛みの指標VRSで示してもらったところ、姜貼は投薬時から刺激が強く、1時間ぐらい貼り続けていると人によっては我慢できないほどの痛みになった被験者がいるように個人差が大きく、服と擦れて貼付剤が剥がれるなど使いづらいことがわかった。それと比較してカプサイシン溶液は貼付時は弱い痛み・熱感を展示し、ぶり返し時に強い痛みがふと蘇るため生理的リマインダに最適であると結論づけた。

第 4 章

評 価

本章では，第 2 章と同じように研究コンセプトを以下の 3 項目にわけて検証を行う。

検証項目 I 試薬を添付することで，体験後に残り，ぶり返す生理的刺激，生理的リマインダを実現することができるか

検証項目 II 体験に起因する生理的刺激によって，体験終了後に体験を思い返すことが増えるか

検証項目 III 生理的刺激による体験を思い出すことによって，体験の効果が高まるか

そのために 2 つのモデルケースを例として定め，ぶり返す生理的刺激を付加した体験を作製した。

2 つのモデルケースは「ちゃんばら」と「VR を用いた安全教育」にぶり返す生理的刺激を付加したもので，前者は実世界の環境で体験と生理的刺激が同期していない例で，後者が仮想された環境で体験と生理的刺激が同期している例である。

4.1. モデルケース 1：ちゃんばら

4.1.1 実験内容

モデルケース 1 では，図 4.2 左のようにスポーツちゃんばらの体験のデザインを行った。

被験者群 20代から30代の男女9人をソフト剣で叩かれた箇所を試薬で強調する介入群3bに6人と、試薬による刺激提示をしないこと以外は介入群と変わらない対照群3aに3人を被験者とした。

体験の流れ まずはじめにスポーツちゃんばらのルールを説明し、ソフト剣を振って練習を行ってもらいます。この際に介入群3bには「競技後に有効打突を受けた箇所には痛みを強調する試薬を塗らせていただく。その際に赤みや刺激が半日程度持続する可能性があること」を説明し、了承を得た。

その後、両被験者が腕に有効打突を2回ずつほど受けるまで試合を繰り返してもらい、競技を終了した(図4.1)。

対照群3aの被験者には明日の朝にアンケート調査を送付することを伝えて解散した。介入群3bの被験者には、事前に説明したとおり、有効打突を受けた箇所を振り返りながら図3.2のようにカプサイシンエタノール溶液を1mL貼付し、10分後に剥がすことと翌朝のアンケート調査について伝えて解散した。なお、モデルケース1では試薬貼付後すぐに刺激を感じてほしいため溶媒は無水エタノールを用いた。



図 4.1 ちゃんばらの様子

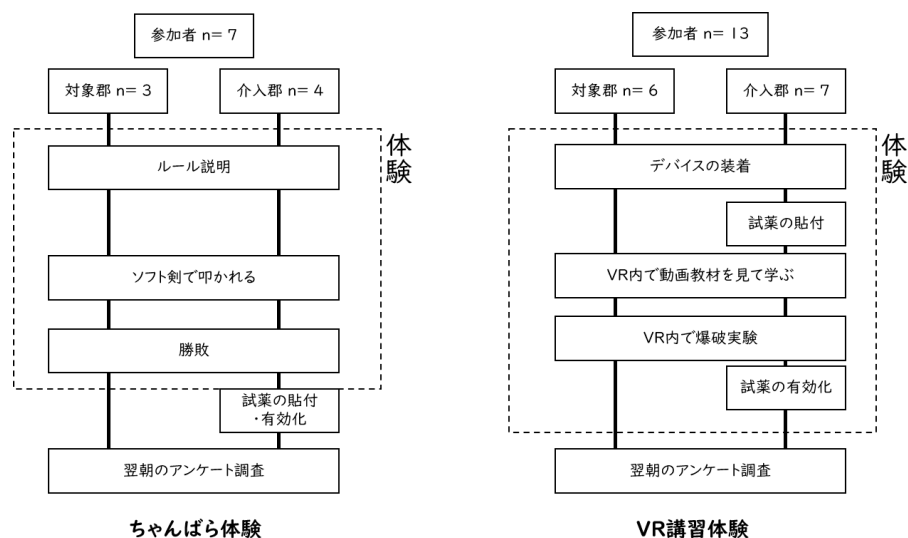


図 4.2 ちゃんばら体験 (左) と VR 講習体験 (右) のデザイン

4.1.2 モデルケースデザイン

このモデルケースは次の2つの要素を考慮してデザインを行った。

日常の中の失敗や痛みを繰り返す生理的刺激を付加することによって、体験の効果にどのような影響を与えるのかを調査するものである。日常の中の失敗や痛みをトリガーとするために失敗や痛みが発生したあとに試薬を添付する処置をする工程を挿むため、被験者が生理的刺激とトリガーを関連付けて連想できるようになるのかを検証する必要がある。

このモデルのちゃんばらのように日常とは違うアクティブを行ったとしても、体験終了後に別のアクティブやルーチンワークを行うことによって、そのアクティビティに関してほとんど思い出すことがないだろう。体験に起因する繰り返す生理的刺激によって、通常なら忘れ去られていた出来事を思い出すことができるのかも検証していきたい。

モデルケース選定理由 前項のモデルケースデザインを考慮して、次のような観点からちゃんばらをモデルケースとして採用した。

- 体験中に叩かれることによって適度な痛みを感じるが、体験終了後に残るほどの痛みではない
- 馴染みはないが、だれでも体験中は楽しいと感じる体験である。ただ、体験終了後にまた体験したいという願望が心に残るほどではない。

4.1.3 観察と結果

アンケート調査 対照群 3 a, 介入群 3b とともに次の質問 I から質問 V, 介入群には質問 VI から質問 VIII を行った。

質問項目 I 体験 (ちゃんばら) は楽しかったですか

質問項目 II 体験 (ちゃんばら) 終了後に体験を思い出したり、振り返ったりしましたか

質問項目 III どんなときに体験を思い出しましたか

質問項目 IV どこを打たれたか覚えていますか

質問項目 V 同じ相手と再戦したいと思う

質問項目 VI 予備実験 2 で行った刺激の感じ方についての質問郡

質問項目 VII 繰り返し痛みによって、体験 (ちゃんばら) を思い出した

質問項目 VIII 繰り返し痛みによって、試薬の貼付シーンを思い出した

質問 III と質問 VI を除いた質問は「全く共感しない」を 1, 強く共感するを 5 とした NRS を用いて回答してもらった。

アンケート調査の結果 アンケート調査の結果は図 4.3 のようになった。被験者数が特に少ないため統計的に検証を行うことはできないが、繰り返す生理的刺激を加えることによって、体験を振り返ることが増えたり、打たれた箇所の記憶の

定着に影響が見られそうであった。また、(対照群 3 a, 介入群 3b) の回答のうち、(3 件, 1 件) が翌朝以降の回答の回収であったことも考慮しなければならない。

図 4.4 のように、介入群 3b の被験者は強度や感じ方に個人差はあるが、全員がぶり返しを感じる事ができた。

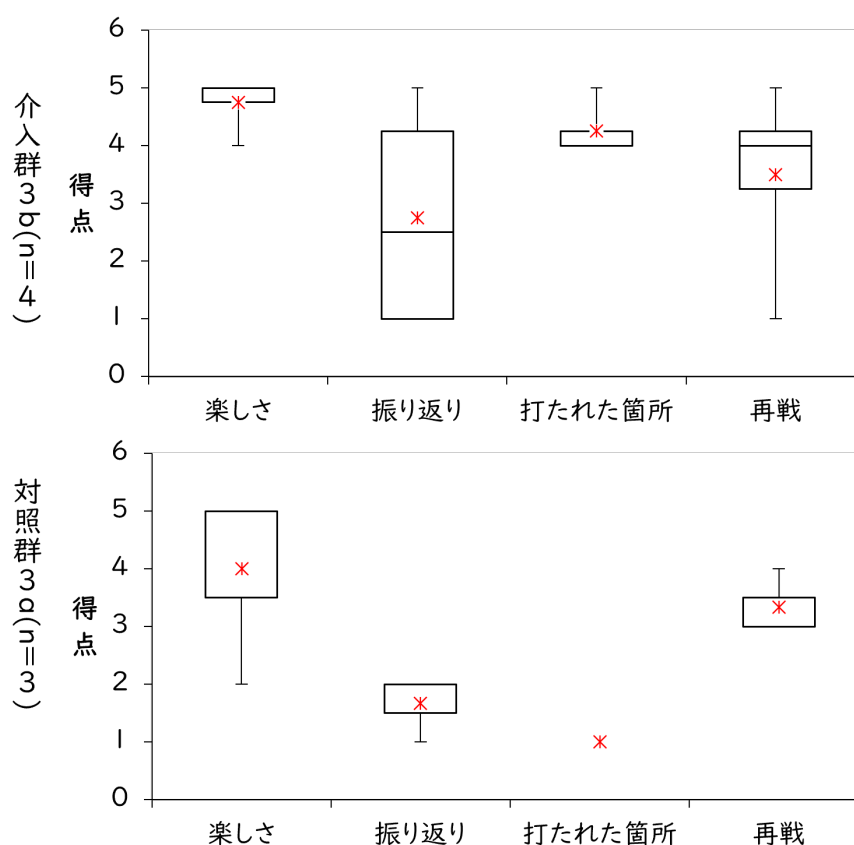


図 4.3 対照群 3a, 介入群 3b の回答

また、問は図 4.5 のようにぶり返しによってちゃんばら体験の思い出につながっているとの回答が多かった。しかしながら、被験者に追加インタビューを行ってみると、質問文の体験が試薬の貼付を含めるか不明瞭であったり、ぶり返し痛いによって試薬の貼付シーンではなく「あの赤い液体の効果がすごい」と試薬そのものを連想していたりと調査方法が適切ではなかった可能性がある。

また、アンケート調査の自由記入欄には

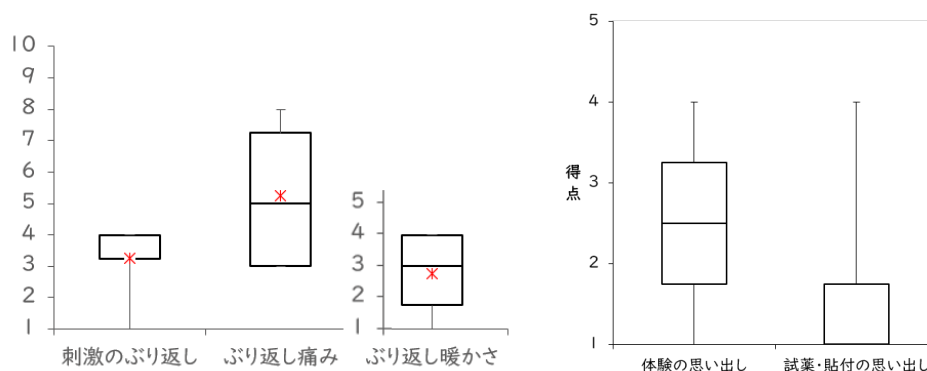


図 4.4 ぶり返しを感じたか) 図 4.5 ぶり返しで思い返したことは?

- 何も気にせずお風呂はいる→色を見つける→チャンバラを思い出す→ピリピリするって感じでした。傷を意識すると痛みを感じるのかなと思った。
- ちゃんばらが純粋に楽しかったです!! 一方で、子どもの時のように何も考えず叩きあうような感じではなかったのが不思議でした!
- 痛みをすぐ忘れてしまうタイプだから、あまり参考にならないかも笑。
- ”体験を振り返ってみたり、思い出すためには、体験に対する強い動機が必要だけど、相手を打撃することで対決するスポーツと遠い自分にとって、チャンバラはいい素材ではなかったかもしれない。全く無関係な素材として、卓球の方が自分にとってはもっと振り返ってみる経験を与えたのかもしれない。(単純に好きなスポーツなので)

一方、勝負欲を刺激するのは良いアイデアだと思う。より完成度のあるゲームのデザインをデバイス開発の側面から考えた時、ユーザーに応じて異なるゲーム素材(動機をもたらせる)をもとに、それぞれの素材に柔軟に対応できる勝負欲を刺激するウェアラブルデバイスのデザインが求められるのではないかと思った。”

と回答があった(3, 4件目が対照群 3a, 残りは介入群 3bの被験者からのコメント)。1つ目の回答者は、上腕に有効打突を得て試薬を添付したので、他の前腕内側・外側の被験者とは異なる刺激の受け方であった可能性がある。

2つ目の回答であるように、おとなになってからのちゃんばらは無邪気に楽しんで叩きあうのではなく、変に頭を使ってしまってどのようにすればいいのか考えているように見えた。相手のことを考えて、打撃の強度がとても弱いことが多かった。また、ちゃんばらはやっている間はそれなりに楽しいが、体験終了後に思い返すことがないだろう体験であった点では最適だった。

4.1.4 モデルケース 1 まとめ

以上のことから、データが少なく統計的な判断はできないが、介入群の被験者はカプサイシン溶液によって繰り返す生理的リマインダは実感でき、対照群と比べて生理的リマインダによって体験を思い出すこと振り返りの割合が高かったため、検証項目 1 と 2 は概ね達成できたと言えるだろう。また、ちゃんばらというモデルケースの選定が良くなく、検証項目 3 の「生理的リマインダによって体験の効果が上がったかどうか」に関してはアンケート結果や聞き込み調査において正確な判断はできなかった。

4.2. モデルケース 2 : VR を用いた安全講習

4.2.1 実験内容

モデルケース 2 では、図 4.2 右のように VR を用いた安全講習の体験のデザインを行った。

被験者群 20代から30代の男女13人をVR体験内でやけどをした箇所を試薬で強調する介入群4bの7人と試薬による刺激提示をしないことのみが異なる対照群4aの6人を被験者とした。

体験の流れ まずはじめにVR内で体験するプログラムの流れを説明し、介入群4aにはこの時点で「VR内でのLipoバッテリーの爆破体験中のやけど体験の痛み

を強調する試薬を塗らせていただく。その際に赤みや刺激が半日程度持続する可能性があること」を説明し、了承を得た。

次に、前腕内側にペルチェ素子を用いたサーマルグリル錯覚を活用したやけど感提示デバイス(図 4.6 左)を装着する。介入群 4b はペルチェ素子と前腕内側の間にコットンシートをはさみ、カップサイシンエタノール溶液を 1mL 貼付した。条件を揃えるために、対照群 4a もペルチェ素子と前腕内側の間に同じコットンシートをはんだ。なお、試薬貼付時、つまりデバイス装着時にはカップサイシンによる刺激を感じてほしくないため、溶媒は 97 v/v%エタノールを用いた。

続いて、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を装着してもらい、VR 内で Lipo バッテリーに関する講習を受けてもらう。まずはじめに、中国で多発している電動バイクのバッテリーの爆発事故のニュース [22] [23] を見てもらい、充電中や使用中に起こる Lipo バッテリーの事故の悲惨さを感じてもらう。

次に江南市消防本部が公開している Lipo バッテリーの規格にあっていない充電器を使用して過充電が起きた場合の Lipo バッテリーの発火・爆発の様子を見てもらって、小さなバッテリーでも強い爆発力があることやバッテリーが劣化して内部にガスが溜まって膨らんでいる状態の危険性を理解してもらった。

続いて、VR 内に表示されている Lipo バッテリー(実世界ではクッション)をハンマーで叩いてもらい、外部からの衝撃で爆発を起こす様子を体感してもらう。バッテリーを叩くと、VR 映像内のリポバッテリーが膨らみはじめ、発火し、爆発を起こす。それに合わせて、腕に装着したやけど感提示デバイス・テーブル上の遠赤外線暖房器具、触覚提示ハンマー(図 4.6 右)のハプティクスフィールドバックを作動させ、やけどの痛み・燃えている火事の熱、爆発の衝撃を再現した。VR 内でリポバッテリーが膨らみ、発火し爆発する段階にあわせて、テーブルの向こうの仮想モニターにて実際に外部からの衝撃によってリポバッテリーが爆発する様子を撮影した動画 [24] を流して、VR 内で再現されている状況は現実と即してすることを強調した。

最後に、中国の電動バイクに乗ったり、電子工作をするなどリポバッテリー単体を扱うことがないからといってリポバッテリーの事故が自分と関連が薄いと思われぬように、非純正のマキタ互換バッテリーや適切な設計がなされていない

モバイルバッテリーによる火災発生のニュース [25] を見てもらい、身近で起こりえることであると印象づけた。

また、体験時間が5分以下の場合は、試薬の効果が十分実感できるように追加コンテンツとして、マキタ互換のバッテリーがなぜ安くて、どのような危険があるのかを解説をした動画 [26] をみて時間を潰してもらう用意をした。また、興味を示した被験者にはオプションの追加コンテンツとしてVR内で鑑賞できるようにした。

体験終了後は、HMDとやけど感提示デバイスを外してもらい、翌朝にアンケート調査を行うことを伝えて解散した。



図 4.6 やけど感提示デバイス (左,) 触覚提示ハンマーと Lipo バッテリー風クッション (右)

VR 体験の工夫 本実験では、Meta 製 Oculus Quest2 のハンドトラッキング機能を活用したため、HMD 内には被験者の手と同じサイズのハンドモデルがリアルタイムでレンダリングされ、外部コントローラなしで VR 世界内に介入することができる。本実験のために Unity で作製した安全講習アプリケーションで表示される机、リポバッテリー、ハンマーと同じ座標に実世界の机、Lipo バッテリー風クッション、触覚提示ハンマーが設置されているため、実世界の手動きが VR 内の手の動きに同期され、感触、物理的な硬さ・重さを VR 内で感じることができるよう工夫した。



図 4.7 体験の様子

また、近赤外線による非接触熱提示は、火事の炎の赤外線によって被験者が温められるのと被験者が感じる情報は区別できない。腕に装着したやけど感提示デバイスから熱を提示されることを被験者は予期していたが、非接触熱提示によって目の前の炎をより本物だと誤認できるようにした。

その上、皮膚の温度が上がっているとき(≒やけど時)や炎症時にも TRPV1 チャネルは活性化されるので、試薬のカプサイシンによって TRPV1 チャネルが活性化されたときに感じる感覚はやけど時や炎症時に近い。

以上のように、感覚提示を物理的な現象を被験者が感じることに頼ることで、HMD からの視覚情報・聴覚情報以外を、実世界でリポバッテリーの爆発で認知するのと本質的に同じに近づけるような工夫によって、リポバッテリーの危険を自己の身で体験しているのに近づけた。

4.2.2 モデルケースデザイン

このモデルケースは次の2つの要素を考慮してデザインを行った。仮想された体験の体験終了後も持続する繰り返す生理的刺激を付加することによって、体験の効果にどのような影響を与えるのかを調査するものである。モデルケース1との一番の大きな違いは、提供側が被験者に体験してほしい仮想的な体験を準備し

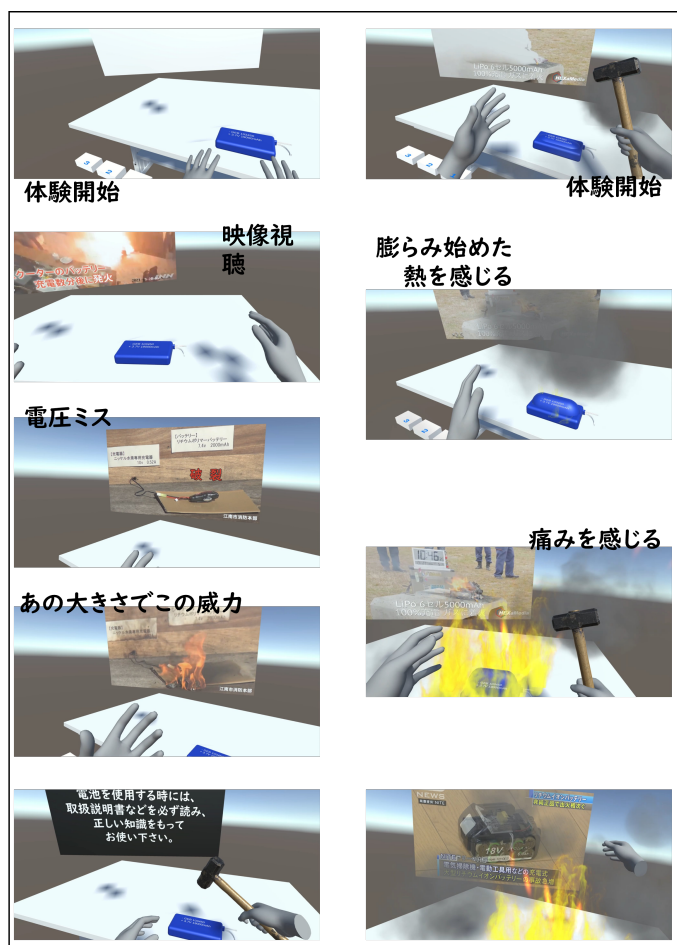


図 4.8 VR 内の様子

ているため、その体験に同期して適切な振り返り生理的刺激を付加できることである。

ここで言う仮想的な体験とはプログラム提供者が意図した VR などの環境内で行う体験のことで、前述したとおり VR 以外にも「2次元ディスプレイを通して体験する電子ゲーム」や「映像や語り部の話を聞きながら、自分の身で体験していることを仮定して想像することのような受動的な体験」までも想定している。その第一段階目として、なるべく実世界の体験に似せた VR 内での体験を用意して、振り返り生理的刺激によって体験した仮想された体験を連想できるかを「刺激が

体験と動悸しないモデルケース 1」とも比較しながら検証する。

モデルケース選定理由 前項のモデルケースデザインを考慮して、次のような観点から VR 内でのリポバッテリーに関しての安全講習をモデルケースとして採用した。

- 体験中に受ける刺激が再現しやすく、体験終了後に残る生理的刺激もやけど・炎症に近いため、生理的刺激と体験の因果関係を理解しやすいこと。
- 体験を振り返るリフレクションによって、安全講習の効果が高くなると予想されるから。
- 体験者の日常に潜む危険性であるが、あんまり認識されていない危険性。

4.2.3 観察と結果

体験中の観察 体験中の様子を観察しても、対照群 4a, 介入群 4b のどちらの被験者もそもそも VR を用いた安全講習自体を珍しがり、楽しんでいた人が多かった。特に近赤外線による非接触熱提示によって、そこでなにかが燃えているような感覚がして興奮していた。ある被験者は炎方向から風をかんじたとコメントしていた。

アンケート調査 対照群 3 a, 介入群 3b とともに次のような「事前意識調査 2 問」「体験終了後に復習などの調査 3 問」、介入群には「刺激とぶり返しの感じ方についての質問」最後の 5 問が「ぶり返しでなにを想起したか」についての質問を行った。

質問項目 I Lipo バッテリーの安全性に関する問題は以前から知っていましたか

質問項目 II あなたは純正ではないバッテリーや充電器を購入した経験はありますか

質問項目 III 講習終了後に Lipo バッテリーの安全講習について一度でも思い返しましたか

質問項目 IV 講習終了後に Lipo バッテリーの安全性について考えたり、復習しましたか

質問項目 V 上記 3 設問において、どんなときに思い返しましたか

質問項目 VI 予備実験 2 で行った刺激の感じ方についての質問郡

質問項目 VII 繰り返し痛みによって、安全講習を思い出した

質問項目 VIII 繰り返し痛みによって、VR 内での爆発・火災のシーンを思い出した

質問項目 IX 繰り返し痛みによって、腕に装着したデバイス及び貼付した試薬について思い出した

質問項目 X 繰り返し痛みによって、Lipo バッテリーの危険性を思い返した

質問項目 XI 繰り返し痛みによって、自分の所有するバッテリーについて考えた

質問 II と質問 V を除いた質問は「全く共感しない」を 1，強く共感するを 5 とした NRS を用いて回答してもらった。

アンケート調査の結果 アンケート調査の結果は図 4.10，中央地より大きいスコアを赤，小さいスコアを黄色で塗った表が図 4.11 である。リポバッテリーに関する関心度を問う事前意識調査である質問 I・II においてのみ被験者郡間で有意差が生まれた。2つの被験者郡は原則的にランダムに 2 郡に分けたが，肌が弱いなどカプサイシン溶液を貼付したくないと意思表示した人を優先的に対照群 4a に割り振ったことで偶然「以前からリポバッテリーの危険性を認識し，互換バッテリーを購入する層の被験者」が集中したため事前意識に有意差が生まれた要因であると考え，不適切な振り分け法やサンプル数が十分でなかったことが明らかになった。

リフレクション学習が発生したか調査する質問 III から質問 V においては，対照群 4a と介入群 4b のどちらも体験終了後に表 4.1 のように身の回りのバッテリーを見かけた時や生理的リマインダが発動した時などに講習についてリフレクションを行っていたため，有意差が生まれなかった。また，体験中の観察で述べたとおり被験者は VR 講習自体を面白がり，高い教育効果が期待できそうだと高く評

価していたように、VR 講習自体の教育効果が高く、提案手法の影響が埋もれている可能性を感じた。

表 4.1 リフレクションした条件

ぶり返しの強度 (刺激, 痛み, 熱)	質問 V(上記 3 設問において、どんなときに思い返しましたか)
対照群 4a	熱を思い返したとき
対照群 4a	体験終了直後
対照群 4a	直後から半日ずっと
対照群 4a	最近の製品の安全性を信じているので、あまり思い返してなかった。昔のスマホのバッテリーが海拔の原因で膨らんだことを一瞬思い返したことがある。
対照群 4a	体験の熱を思い返したとき
2, 1, 3	体験終了直後の熱や興奮の余韻で
1, 1, 2	体験終了直後の熱や興奮の余韻で
5, 1, 4	身の回りのバッテリー製品をみたとき、体験終了直後の熱や興奮の余韻で、おもしろいモーションキャプチャ体験について話したとき
1, N/A, N/A	着替えの最中に腕を見るとき、バッテリーを充電するとき
5, 9, 5	帰りのバスや風呂に入っている時に、肌に塗った部分が痛んで、その時に思い返した。
4, 7, 2	N/A
4, 8, 5	友人の MacBook の充電器のコードが今にもちぎれそうで、今回の実験みたいに爆発するよ！って会話になりました。

図 4.11 からぶり返しで感じた感覚とそれによって思い返した内容を問うた質問の回答を抜粋したものが図 4.9 である。被験者 4b-1 から 3 のようにぶり返し時に痛みより暖かさを感じた被験者は爆発や火災シーンを思い返し、被験者 4b-5 から 7 のよう暖かさよりも痛みを感じた被験者は講習そのものや試薬そのものなどを高く評価する傾向が見られた。暖かさをより感じた被験者 4b-1 に聞き込み調査を

被験者	ぶり返し刺激によって							
	刺激のぶり返しを感じたか	ぶり返し痛みを感じたか	ぶり返し暖かさを感じたか	講習を思い出した	爆発火災のシーンを思い出した	デバイス試薬について思い出した	Lipoバッテリーの危険性を思い返した	所有するバッテリーについて考えた
4b-1	2	1	3	2	4	4	3	4
4b-2	1	1	2	2	4	2	2	2
4b-3	5	1	4	3	4	2	4	5
4b-4	1	NA	NA	1	1	2	1	1
4b-5	5	9	5	5	2	4	4	4
4b-6	4	7	2	3	2	1	1	1
4b-7	4	8	5	2	2	5	2	3

図 4.9 ぶり返しで感じた感覚と思い返した内容

したところ、「暖かさがぶり返ったときにやっぱり体験したときの火や煙・暖かさを思い返しした。ぶり返した感覚からは直接的な原因である試薬についてはあまり思い返さなかった。ぶり返しのときには体験のことを思い返しましたが、身の回りのバッテリーについて考えることはあまりしなかった。」、痛みをより感じた被験者 4b-6 は「お風呂に入った時に急に炎症のような痛みがぶり返ってきてびっくりしました。その痛みによってあの試薬の効果がでてきたと試薬そのものを思い返した」と回答した。また、アンケート調査を行わなかった別のある被験者はぶり返しで感じた感覚が昔マンゴーで皮膚がかぶれて炎症を起こした時の感覚に近く、それを思い出して「あれは辛かった……」と経験談を語り始めるように、用意した体験とは関係がないものが生理的リマインダの感覚から想起され、アレルギーについて話題に出すといったそのかぶれ体験のリフレクションが発生していた。

よって、ぶり返した違和感で体験の内容が想起されることで体験の認知がより深まり、リンクしない場合は生理的リマインダ自体が注目されている可能性があることが示唆された。つまり、モデルケース 2 場合は、ぶり返し感覚がやけどのような感覚がすることで、「痛いな。今日のいつやけどするような行動をしたかな？ あっ、あの時リポバッテリーに力をかけてしまって炎がでたからだ!!」というように体験者のこころのなかで痛みの原因が解明されていくだろう。この時、途中でこの痛みは実体験ではなく VR 安全講習体験中に経験したやけど感や炎の暑さであったことを気づくだろうが、「痛いな。どの行動が原因かな」とメタ認知を深

めていく段階は実体験でも仮想体験においても変わりはないだろう。また、実体験で怪我をしたわけではないため、リポバッテリーそのものに恐怖を抱くのではなく、あの時のあの選択肢や行動がいけなかったのだろうと冷静に観察できることもメタ認知をより活性化する要素であると考えられる。

また、介入群 4b は予備実験時に比べてぶり返し刺激を感じない被験者の割合が増えている。これはカプサイシンの刺激とやけど体験をリンクするためにデバイス装着時しばらくしてから刺激が始まるように 97%エタノールを溶媒として用いたことで刺激が弱くなったことがここでも示された。

また、アンケート調査の自由記入欄には

- 非常に実用的で、単にビデオを視聴するよりずっと深く覚えられます (4a)
- お風呂のとき唐辛子を塗られた部分が痛くなって、実験を思い出した (3b)
- ぶり返し痛みによって、「今日のユーザーテストをやったね」を思い出した
- ハンマーで叩いたときに前からもストーブで温められる工夫は、腕からしか熱が来ないと先入観があったことで余計にリアルな感覚があってよかった！他方でハンマーで叩いたあとに、バッテリーに近いはずの指先より腕が先に、より高温で温まるのは直感的でないので違和感があった。ハンマー自体が熱くなってくれたりするといいかも…？ (3b)
- 炎の熱さとか危なさを感じて臨場感があって、よかったです。ぽいと思います！ (3b)

といったように VR 講習自体に関するコメントが多かった。

4.2.4 モデルケース 2 まとめ

以上のことより、カプサイシン 97%エタノール溶液を用いてデバイス装着時には刺激を感じず、体験中に温められることで刺激を感じはじめ、体験終了後にしげきがぶり返す生理的リマインダは実装できた。また、ぶり返しで感じた感覚が体験内容を想起できることが体験中の行動や事象を振り返ることに必要であり、体

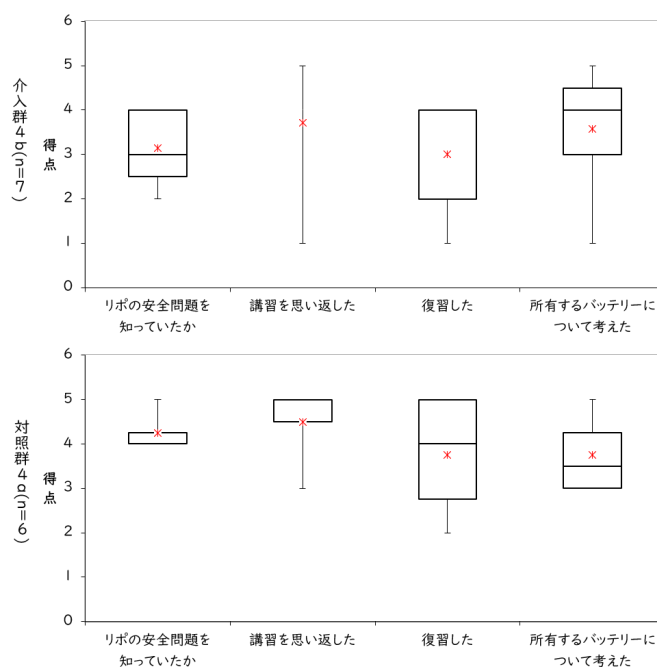


図 4.10 対照群 4a, 介入群 4b の回答 (箱ひげ図)

験と感覚がリンクしない場合は生理的リマインダそのものに注目があつまること
が示唆された。しかしながら、生理的リマインダによって体験中の行動や事象を
振り返ることがメタ認知の活性化につながっているかは検証できなかった。

4.3. 今後の展望

2つのモデルケースの検証結果から今後の指針を定めた。

本研究では TRPV1 チャンネルの活性化によって擦り傷のズキズキ感や炎症感、や
けど感、暖かさなどを再現を実現できた。ぶり返しで感じる感覚の豊富さが生理
的リマインダを導入できる自由度につながるため、他の生理的な痛覚刺激手法を
開発し、様々な失敗体験を想起し、メタ認知を進められるようにする必要がある。

また、現段階の本手法では失敗した部位にその失敗を想起できる生理的リマイ
ンダを付加させることをしているが、運動量に比例して体に残る筋肉痛のように、

部位の絶対値が一致するだけでなく行動に応じて生理的リマインダの強度を制御することができれば、認知の制御や観察をより活性化し、メタ認知を深めることができるだろう。

将来的には、ちゃんばらのモデルケースを発展させて、モデルストーリー2のように日常生活の中で「今の失敗を改善・反省したいな」と思ったときに生理的リマインダ-1パッチを貼り付けて、その失敗を減らしていけるといいと考えている。

		ぶり返し刺激によって														
リポの安全問題を知らなかったか	非純正バッテリーを所有している	講習を思い返した		講習を思い出した		ぶり返し暖かさを感じたか		ぶり返し痛みを感じたか		刺激のぶり返しを感じたか		Lipoバツテリーの危険性を思い出した		Lipoバツテリーの所有するバッテリーについて考えた		振り返り時の条件
		講習を思い返した	講習を思い出した	講習を思い出した	講習を思い出した	ぶり返し暖かさを感じたか	ぶり返し痛みを感じたか	刺激のぶり返しを感じたか	刺激のぶり返しを感じたか	ぶり返し暖かさを感じたか	ぶり返し痛みを感じたか	危険性を思い出した	危険性を思い出した	考えた	考えた	
4	ある	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	熱を思い返したとき
4	ある	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	体験終了直後
5	ある	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	直後から半日ずっと
4	ある	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	最近の製品の安全性を信じているので、あまり思い返してなかった。着のスマホのバッテリーが落抜の原因で膨らんだことを一瞬思い返したことがある。
3	ない	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	体験の熱を思い返したとき
2	ある	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	体験終了直後の熱や興奮の余韻で
4	ない	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	体験終了直後の熱や興奮の余韻で
3	ある	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	身の回りのバッテリー製品をみたとき、体験終了直後の熱や興奮の余韻で、モーションキャプチャ経験について話したとき
4	ない	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	着替えの最中に顔をみると、バッテリーを充電するとき
2	ある	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	降りバスや風呂に入っている時に、肌に乗った部分が痛んで、その時に思い返した。
4	ある	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N/A
4	ない	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	友人の MacBook の充電用のコードが傘にもちぎれそうで、今回の実験のために廃棄するよって会話になりました。
p値	0.062	0.155	0.282	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	0.808	(ノンパラ検定)

図 4.11 対照群 4a, 介入群 4b の回答表

第 5 章

ま と め

第1章において、体験の効果や満足度をあげるためには、体験中の工夫だけではなく、体験終了後までの全体を通して体験のデザインを行うことが有効ではないかと問題提起を行い、「よそ見をして転んだという情報を伝える膝の痛み」や「筋トレを頑張ったことを実感し、達成感を感じる筋肉痛」など体験終了後に体に残る違和感には、体験中の情報が残っており、その情報を身体的メタ認知として理解することによってリフレクション学習のように体験の効果を高めるのではないかと予想をたてた。それを実現するために-1 体験に起因する生理的刺激を付加できるデザインツールを作製し、「生理的リマインダのぶり返しを感じることができたか」「生理的リマインダによってそれと関連付けた体験を連想することができるのか」と「生理的リマインダによって、体験を思い出すことがリフレクション学習のように体験の効果を高めるか」の3つを検証するという研究の方向性を定めた。

第2章では研究のコンセプトを、「生理的刺激の認知が体験の効果に与える影響」と「生理的リマインダを実現する温度感受性 TRP チャネルの活性化による痛覚刺激」の3つに分解をして、調査を行った。失敗の痛みや運動量に比例する筋肉痛などの生理的刺激は認知の観察と制御を活性化し、メタ認知を活性化することがわかった。ただし、これらの生理的刺激はネガティブな影響をもち、自己効力感を下げて、その行動そのものに忌避感を感じてしまうきっかけになりうることもわかった。また、温度感受性 TRP チャネルの活性化による生理的な痛覚刺激は一度貼付してしまえば外部デバイスなしで体内から痛覚刺激を感じるという従来手法ではなしえない生理的リマインダに最適な手法であることがわかった。

第3章では、まずはじめに実現したい痛覚刺激と「失敗体験と生理的刺激を関連付けて、体験終了後のぶり返し痛みによって失敗体験を反芻し、メタ認知を誘

発して体験の効果を高める」というモデルストーリーを定め、それを実現する最適な試薬を模索した。検証の結果、貼っている間は強い刺激を感じる生姜の貼付剤型漢方薬「姜貼」と溶媒の濃度で強度と早さを制御でき、ぶり返し特性が強いカプサイシン溶液が選択肢として候補にあがり、日常生活や運動中の被験者とした実験の結果から貼付時は弱い刺激で、忘れた頃に強い刺激がぶり返してくる後者を採用することにした。

第4章では、前章で選定した試薬を用いて、ちゃんばらとVRを用いた安全講習に生理的リマインダを導入した。カプサイシン溶液による TRPV1 チャンネルの活性化によって個人差は大きい擦り傷のズキズキ感や炎症感、やけど感、暖かさなどの感覚がするぶり返す生理的刺激の実装が実現した。ちゃんばらや安全学習のように体験後は振り返ることがないようなつまらない体験でも、ぶり返しを感じた被験者はその感覚によって体験や体験で貼付されたカプサイシン試薬について思い返すきっかけになっていた。そして、ぶり返した感覚で体験内容を想起できることがメタ認知の活性化の誘発には必要であり、体験と感覚がリンクしない場合は生理的リマインダそのものに注目があつまることが示唆されている。しかしながら、生理的リマインダによって体験中の行動や事象を振り返ることがメタ認知の活性化につなり、体験の効果を高めているのかは検証できなかった。

今後は、TRPV1 チャンネルの活性化以外の生理的な痛覚刺激の感覚を開発し、生理的リマインダで想起できる失敗体験の自由度を増やすとともに、様々な失敗体験の生理的リマインダによるメタ認知の活性化の具合とそれによる体験効果の向上の検証を行っていく。

謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の山岡潤一先生に心から感謝いたします。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太教授に心から感謝いたします。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸奈々子教授に心から感謝いたします。

本研究のアイデアの源となった、IVRC 線香花火プロジェクトの齊迪さん、王科宇さん、梁文碩さんや様々な相談に乗っていただいた FutureCrafts プロジェクト・KMD の皆様に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 平嶋宗. メタ認知の活性化支援 (i 特集; 「学習支援の新たな潮流-学習科学と工学の相互作用-」). 人工知能, Vol. 21, No. 1, pp. 58–64, 2006.
- [2] Takeshige Nishiyama and Masaki Suwa. Visualization of posture changes for encouraging metacognitive exploration of sports skill. *International Journal of Computer Science in Sport (International Association of Computer Science in Sport)*, Vol. 9, No. 3, 2010.
- [3] 岡西哲夫. 筋力増強運動のとらえかた. 理学療法科学, Vol. 18, No. 1, pp. 15–21, 2003. doi:10.1589/rika.18.15.
- [4] 齐迪, 加藤敬太, 王科宇, 梁文碩. 線香花火体験, 2020. <http://ivrc.net/archive/打ち上げ花火-2020/>.
- [5] 富永真琴. 温度受容の分子機構—trp チャンネル温度センサー—. 日本薬理学雑誌, Vol. 124, No. 4, pp. 219–227, 2004.
- [6] Jasmine Lu, Ziwei Liu, Jas Brooks, and Pedro Lopes. *Chemical Haptics: Rendering Haptic Sensations via Topical Stimulants*, p. 239–257. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2021. URL: <https://doi.org/10.1145/3472749.3474747>.
- [7] 征矢野あや子, 上岡洋晴, 村嶋幸代, 武藤芳照. 「転倒予防教室」と転倒予防自己効力感. 身体教育医学研究, Vol. 2, No. 1, pp. 29–34, 2001. doi:10.11335/jpem.2.29.

- [8] 遠藤 雅伸 (東京工芸大学 芸術学部ゲーム学科教授) . 「面白さ」とは何か? ゲームの神様が語る. 月刊事業構想 2017年3月号. 先端教育機構, 2017.
- [9] 楠奥繁則. 自己効力論からみた大学生のインターンシップの効果に関する実証研究. 立命館経営学, Vol. 44, No. 5, pp. 169–185, 2006.
- [10] 伊藤崇達. インタビュー 「自ら学ぶ力」 を育てる方略–自己調整学習の観点から (特集 学習意欲–どう捉え, どう向き合うか). *BERD*, No. 13, pp. 14–18, 2008.
- [11] 澤田崇明ほか. メタ認知が運動有能感に及ぼす影響についての一考察: 小学校6年生のマット運動の実践から. 創大教育研究, No. 20, pp. 149–159, 2011.
- [12] 国土交通省都市・地域整備局公園緑地課. 都市公園における遊具の安全確保に関する指針子どもの遊びにおける危険性と事故. Technical report, 国土交通省, 2002. URL: https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/04/040311/040311_07.pdf.
- [13] 掛札逸美. 子どもの危険認識力も高める リスク・マネジメントの実践. 国民生活 2020年6月号. 独立行政法人国民生活センター, 2020.
- [14] 江本リナ. 自己効力感の概念分析. 日本看護科学会誌, Vol. 20, No. 2, pp. 39–45, 2000. doi:10.5630/jans1981.20.2_39.
- [15] 有田真己, 岩井浩一, 万行里佳. 定期的な運動による効果の実感を認識する日常生活場面および身体部位. 理学療法学, Vol. 46, No. 2, pp. 99–106, 2019. doi:10.15063/rigaku.11477.
- [16] Nobuhiro Hagura, Harry Barber, and Patrick Haggard. Food vibrations: Asian spice sets lips trembling. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 280, No. 1770, p. 20131680, 2013.
- [17] Ryo Watanabe, Ryuta Okazaki, and Hiroyuki Kajimoto. Mutual referral of thermal sensation between two thermal-tactile stimuli. In *2014 IEEE Haptics*

- Symposium (HAPTICS)*, pp. 299–302, 2014. doi:10.1109/HAPTICS.2014.6775471.
- [18] K.A. Kaczmarek, J.G. Webster, P. Bach-y Rita, and W.J. Tompkins. Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 38, No. 1, pp. 1–16, 1991. doi:10.1109/10.68204.
- [19] 兵頭正義. 痛みと人生. 日本良導絡自律神経雑誌, Vol. 30, No. 9, pp. 177–188, 1985.
- [20] 名古屋麻酔科クリニック. 院内製剤の外用剤. <https://nagoyamasui.com/> オピオイド系鎮痛薬.
- [21] 農林水産省消費・安全局食品安全政策課. リスク管理（問題や事故を防ぐ取組）個別危害要因への対応（健康に悪影響を及ぼす可能性のある化学物質）カプサイシンに関する情報 カプサイシンに関する詳細情報. Technical report, 農林水産省. URL: <https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/capsaicin/syousai/>.
- [22] TBS NEWS. 中国で電動スクーターバッテリーから突然火が！ 死亡事故も, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=n88WiTzafSM>.
- [23] TBS NEWS. 中国で走行中の電動スクーター爆発、3人けが, 2021. https://www.youtube.com/watch?v=sHx1C_Q7Nv8.
- [24] HEXaMedia株式会社ヘキサメディア. Lipoバッテリー燃焼実験, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=VRlFrsqG1wo>.
- [25] ANNnewsCH. 非純正リチウムイオンバッテリーの発火に注意喚起(20/01/23), 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=RH9wbirxRWE>.
- [26] イチケン /ICHIKEN. 【マキタ】リチウムイオン互換バッテリーの闇を暴く。セル電圧を個別監視をしていないので過充電→発火する可能性がある。 , 2021. https://www.youtube.com/watch?v=a_YABeU2qAc.