

博士論文研究発表

瀬川研究室 周 鑠

筋肉電気刺激（EMS）を用いたインタラクティブシステムにおける人間能力の拡張に関する研究

Augmenting Human Ability through Electrical Muscle Stimulation in Interactive Systems

目次

1. はじめに	3	5. 研究例紹介	26
2. 関連研究	10	6. 考察	64
3. 研究方法	18	7. まとめ	68
4. 技術構成	23		

1. はじめに

- HCIの発展
- Human Augmentation
- Augmented HCI
- EMS を用いた Augmented HCI
- 課題設定
- 本研究の目的
- 本研究の構成

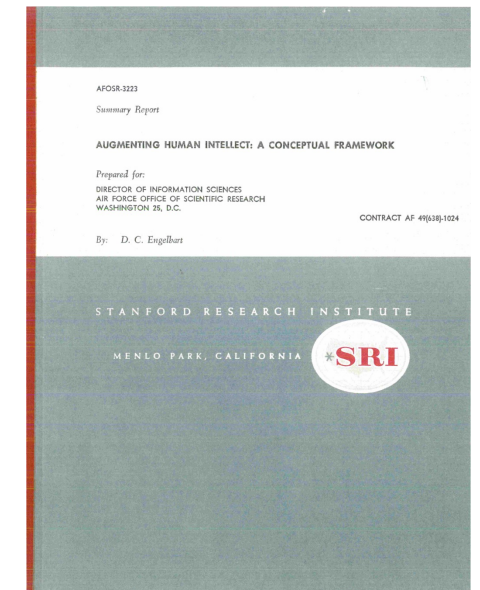
1. はじめに：HCI の発展

- 従来の HCI 研究は、人とコンピュータ間の **情報交換や操作支援の効率化** を中心に発展してきた。
- 主に入力・出力デバイスやユーザインタフェースの設計を通じて、**認知的・操作的負担の軽減を目指** してきた。
- このような研究は、人間の能力そのものよりも、**インタラクションの最適化** に焦点を当てていた。



1. はじめに：Human Augmentation の登場

- **人間の能力を拡張する**という発想は古くから存在し、1960年代にはその考え方が示されている[1]。
- その後、知覚や認知を支援する多くの技術が実用化され、日常的に利用されるようになった。
- 近年では、ウェアラブルデバイスやロボティクス技術の発展により、**身体そのものを対象とした能力拡張**が現実的となっている。
- Human Augmentation は、**人間の知覚・運動・生理機能を拡張する研究領域として注目**されている。

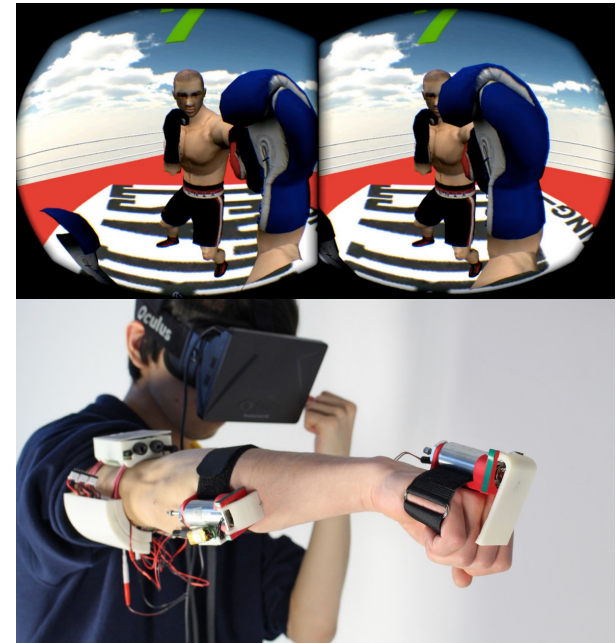


**AUGMENTING HUMAN INTELLECT:
A Conceptual Framework (1962)**

[1] Engelbart, Douglas C.: "AUGMENTING HUMAN INTELLECT: A Conceptual Framework." (1962)

1. はじめに：Augmented HCI という枠組み

- Human Augmentation の考え方は、HCI 分野においても、新しい研究の方向性として注目されている[2]
- Augmented HCI では、**人間の身体をインタラクションループの一部**として捉える点が特徴である
- これにより、従来の操作支援に加え、**身体能力の拡張を前提としたインタラクション設計**が可能となる



Impacto: Simulating Physical Impact by Combining Tactile Stimulation with Electrical Muscle Stimulation

1. はじめに：EMS を用いた Augmented HCI

- 近年、Augmented HCI の研究が進む中で、**筋肉電気刺激（EMS）** を用いたインタラクション研究が HCI 分野でも行われている。
- EMS は、**身体運動や生理反応に直接働きかけられる**点で、従来の感覚フィードバックとは異なる特徴を持つ。
- 本研究では、こうした背景を踏まえ、**EMS を Augmented HCI の実現に向けて活用**する。

1. はじめに：課題設定

従来のHCI：

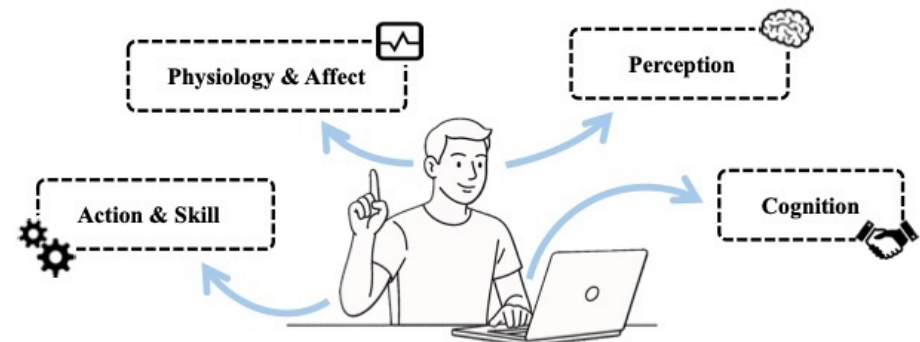
人が主体となってインタラクションを行い、デザインや新しいデバイスの開発によってインタラクションの効率を最適化する。

本研究の立場：

EMSで体を動かし、**身体レベルのフィードバック**を実現することで、**身体そのものを拡張する**HCIへと発展させる。

課題：

- 身体そのものの拡張
- 複数の能力を統合したスキル向上
- 生理的状态への支援
- 学習支援プラットフォームとしての可能性



1. はじめに：研究目的

目的：

EMSを用いて、人間の**運動・協調・情緒に関する能力**を拡張するシステムを構築し、EMSによる**人間能力拡張の可能性**を探究。

研究目標：

EMS を用いた**新たな拡張型インタラクションフレームワーク**を構築し、その有効性と実現可能性を検証することで、**Augmented HCI に新たな概念的・実証的基盤**を提供する。

具体的な方向：

1. 感覚・運動拡張（Sensorimotor Augmentation）
2. 協調性の向上・効率化（Coordination Augmentation）
3. 情緒・生理的支援（Affective & Physiological Support）

2. 関連研究

- EMS とは
- EMS に関する HCI 研究
- EMS の特徴
- 学習を促進するEMS
- 本研究の学術的位置づけ

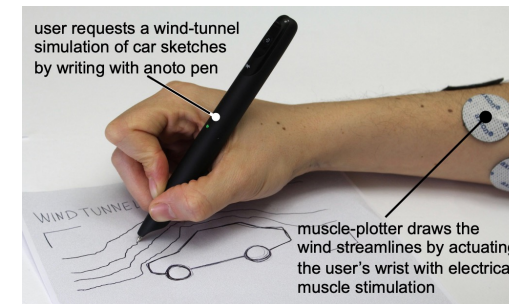
2. 関連研究：EMS とは

- EMSとは、微弱な電流によって筋肉を収縮させ、身体運動を引き起こす技術である。
- 従来では、医療やリハビリテーション分野を中心に利用されてきた。
- 身体を直接動かすため、**感覚的に分かりやすいフィードバック**を与えられる点が特徴である。
- 近年では、HCI 分野においても、**触覚提示や動作支援を目的とした応用**が見られるようになっている。

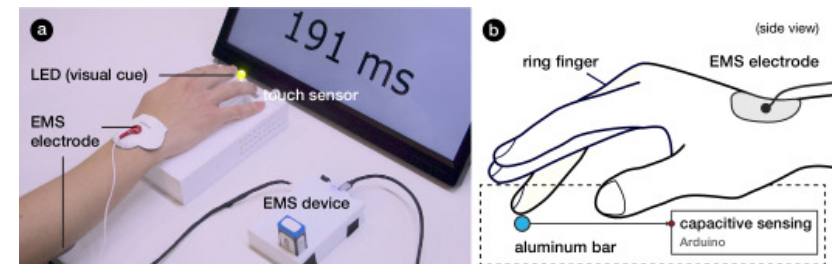


2. 関連研究：EMS に関する HCI 研究

- HCI 分野では、EMS を用いたさまざまなインタラクティブシステムが提案されてきた。
- これらの研究は、**身体動作の誘導や支援**を目的としたもの、**触覚・身体フィードバックの提示**を目的としたものに大きく分けられる。
- さらに、**反応速度や操作精度の向上**など、パフォーマンス支援を対象とした研究も報告されている。
- これらの研究は、**EMS を身体介入型インタラクションの手段として活用できる**可能性を示している。



Muscle-plotter: An Interactive System based on Electrical Muscle Stimulation that Produces Spatial Output (2016)



Preserving Agency During Electrical Muscle Stimulation Training Speeds up Reaction Time Directly After Removing EMS (2021)

2. 関連研究：EMS の特徴

電気刺激技術の例

- 電気刺激を用いた技術には、**経皮神経電気刺激（TENS）**や**経頭蓋電気刺激（tDCS）**などが存在する。
- これらは主に、**知覚調整、痛み緩和、認知・脳機能への影響を目的**として用いられてきた。

EMS の特徴と位置づけ

- EMS は、**筋肉に直接作用し**、身体運動を引き起こせる点が他の電気刺激技術と異なる。
- そのため、**動作支援、運動学習、身体制御**といった HCI におけるインタラクション設計と高い親和性を持つ。
- 本研究では、このような特性に着目し、**EMS を身体介入型 Augmented HCI を実現する手段**として採用する。



経皮神経電気刺激（TENS）

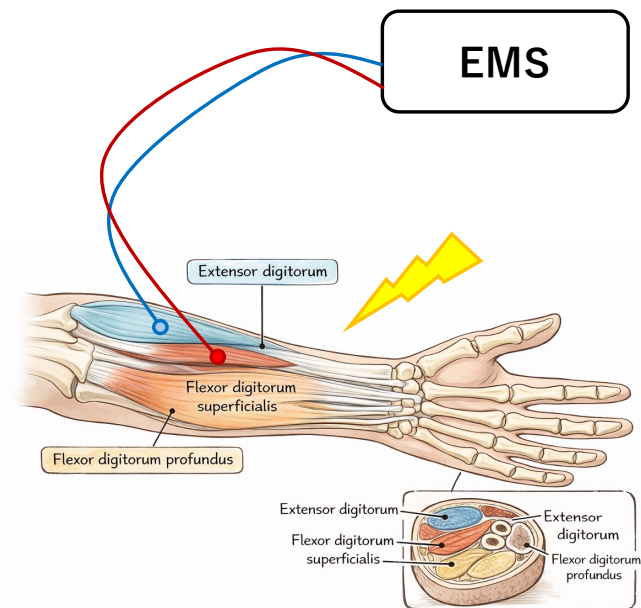


経頭蓋電気刺激（tDCS）

2. 関連研究：学習を促進するEMS ①

運動学・神経科学からの基礎的理解

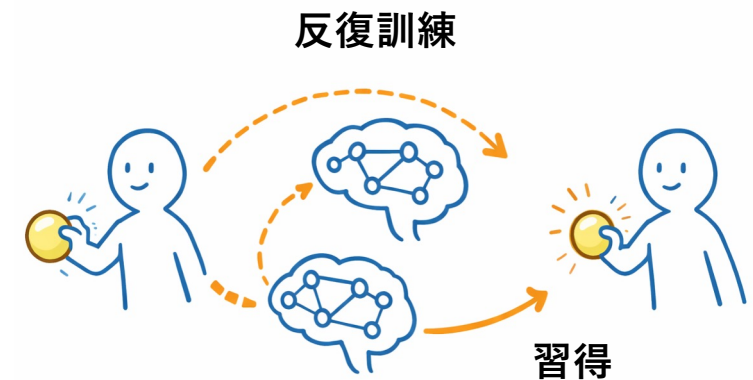
- 筋線維は、外部からの電気刺激によって活動電位を発生し、筋収縮が誘発される。
- EMS は**神経・筋系に直接作用**し、中枢指令を介さずに**運動出力を引き起こす**ことができる。
- この特性により、EMS は通常の随意運動よりも**高い再現性で運動刺激を与えられる**。



2. 関連研究：学習を促進するEMS ②

運動学習と記憶形成

- 人間の運動学習は、**反復的な感覚—運動経験**を通じて神経結合が変化することで成立する
- Hebbian 学習則や Spike-Timing-Dependent Plasticity (STDP) により、**適切なタイミングでの運動・感覚入力は学習効果を強化する**ことが知られている[3]
- 外部刺激は、この学習過程における入力のタイミングや強度を調整する手段となりうる



2. 関連研究：学習を促進するEMS ③

EMS を用いた学習促進の位置づけ

- EMS は、外部から運動入力を与えることで、**感覚—運動ループ**を人工的に構成できる
- このような刺激は、一時的な動作支援にとどまらず、**学習過程そのものに介入する**可能性を持つ
- 本研究では、この特性に着目し、EMS を **Augmented HCI における学習支援手段** として位置づける

→ EMS は「一時的な動作支援」だけでなく、「**学習過程に働きかけるインタラクション**」として捉えられる

2. 関連研究：本研究の学術的位置づけ

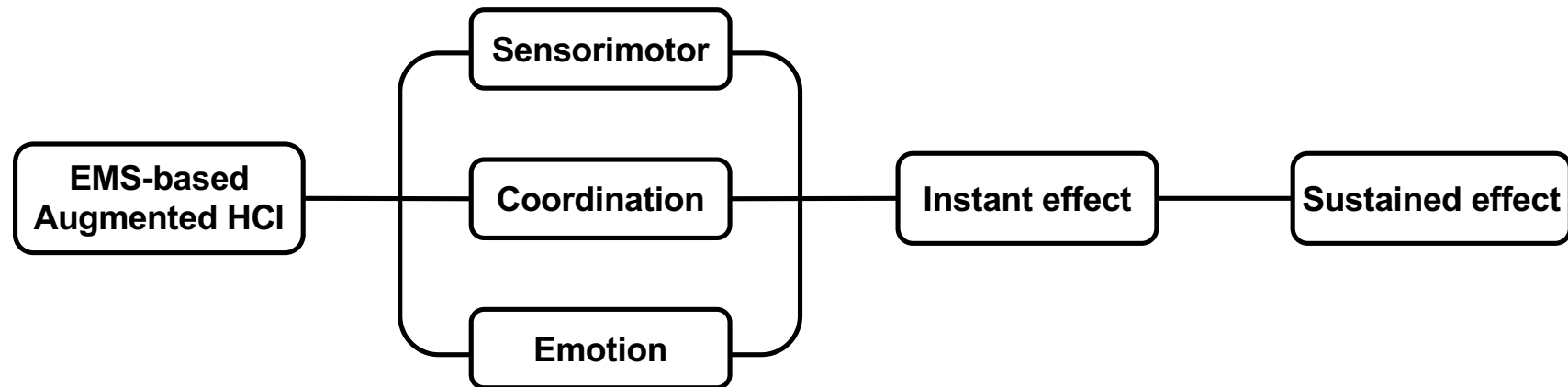
- 今までの EMS 研究を HCI 分野へと拡張し、能力学習への応用可能性を示す。
- EMSをベースとした人間拡張のフレームワークを構築する
- 運動感覚・協調性・情緒の三つの方向から、その有効性を検証する
- 本研究を通じて「**EMS-based Augmented HCI**」という概念を提示し、HCI と人間拡張の新たな可能性を開く

3. 研究方法

- 研究方針
- 実験デザイン
- 研究倫理と IRB 承認

3. 研究方法：研究方針

- EMS による能力拡張を**感覚運動・協調・情緒**の 3 軸で評価実験行う



- 即時効果だけではなく、刺激後に残る**学習効果**も検証する

3. 研究方法：実験デザイン

各研究で共通の実験デザイン

- 対照実験による支援・学習効果検証
- 事前・事後・フォローアップによる学習評価
- 安全面の配慮
- 定量的・定性的評価による検証

3. 研究方法：研究倫理と IRB 承認

- 本研究は、京都産業大学の**倫理審査委員会（IRB）の承認**を得た上で実施している。
- 実験に先立ち、研究目的、手続き、想定される負担やリスクについて十分な説明を行った。
- 参加者には書面による**インフォームド・コンセント**を取得している。
- 参加は完全に任意であり、いつでも中止できることを明示した。



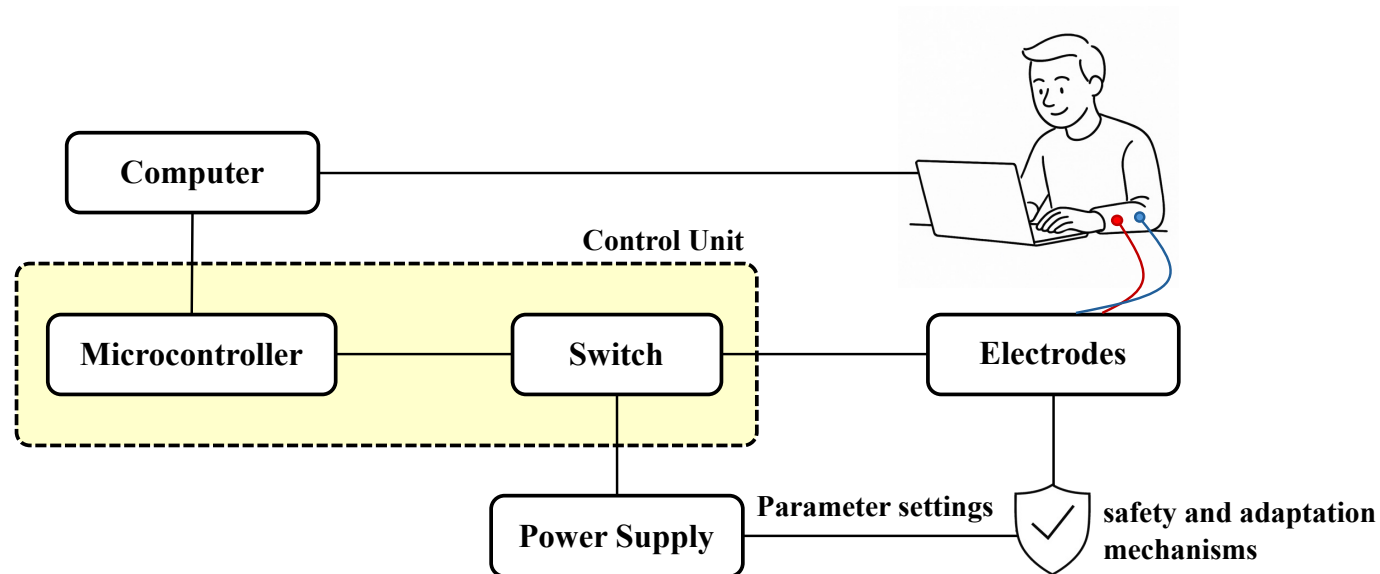
承認番号：京産大倫理第0168-1号

4. 技術構成

- EMSシステム構成
- 刺激パラメータと安全性
- EMS効率モデル

4. 技術構成：EMSシステム構成

- EMSデバイスは電源、マイコン、スイッチ、電極などによって構成



- 実験用プラットフォームと連携し、低遅延・安定出力を実現

4. 技術構成：刺激パラメータと安全性

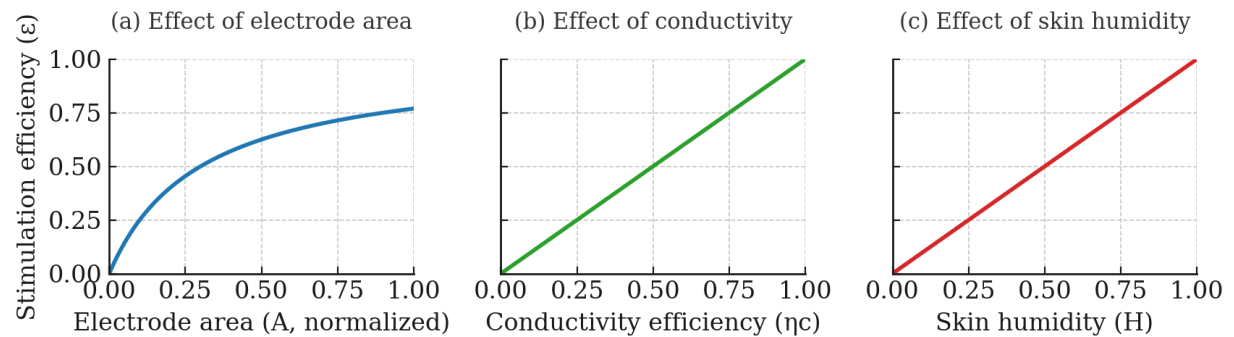
- 調整可能パラメータ：刺激強度、パルス幅、周波数
- 個人差に応じた強度調整（痛み・過収縮の回避）
- 低周波数・低強度刺激を基本とした安全なプロトコル
- 刺激は「キュー提示」と「アクチュエーション」で使い分け

→有効的な刺激範囲で違和感や疲労度を最小化する設計

4. 技術構成： EMS効率モデル

刺激効率に影響する主な 3 要素

- 電極面積 (A)
- 電極導電率 (ηc)
- 皮膚湿度 (H)



→本研究の実験では、これらの要素を統合した EMS 効率モデル を参照し、刺激条件を調整した。

5. 研究例紹介

- 研究構造
- 感覚・運動能力の拡張（研究例①と②）
- 協調性の拡張（研究例③と④）
- 生体・情緒への支援（研究例⑤と⑥、WiP）

研究構造

– EMSを用いた人間能力拡張の三つの方向性

研究の狙い：

EMSを用いて、**運動感覚・協調性・生体制御などの能力を訓練**し、最終的にはEMSの刺激がなくても**学習効果が身体に保持される**ことを目指す。

1. 感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

2. 協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

研究例④ ドラムリズム学習システム

3. 生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

背景：

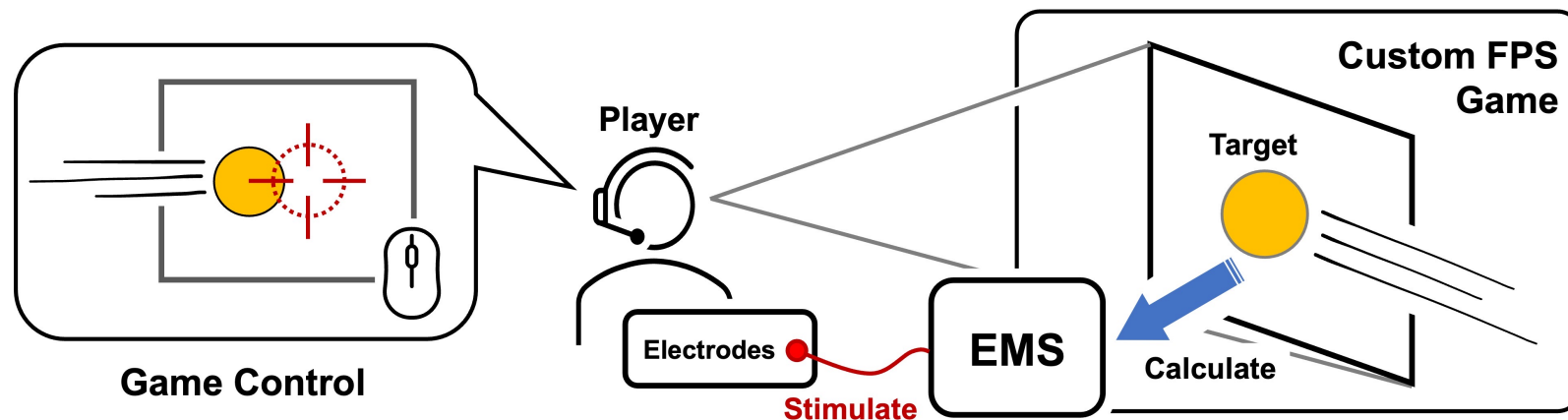
- 野球やシューティングゲームでは、動くターゲットに対して「**最適なタイミング**」を予測することが重要。
- 脳の**運動感覚機能**は、「目標の認識 → タイミングの計算・予測 → 動作実行の決定」という一連の処理を脳内で行う。
- 初心者がタイミングを正確に把握できるようになるには、**長時間の反復練習が必要**となる。

感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

目的：

EMSを用いてタイミング把握能力をトレーニングするシステムを開発し、効率的かつ効果的に運動感覚スキルの習得を支援する。



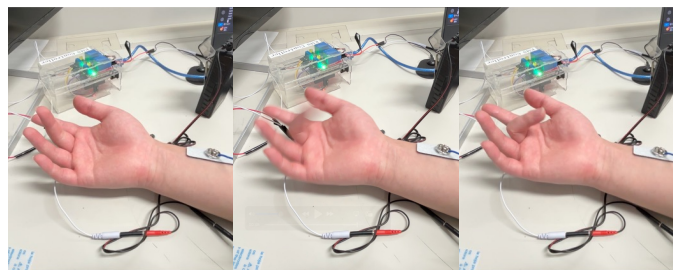
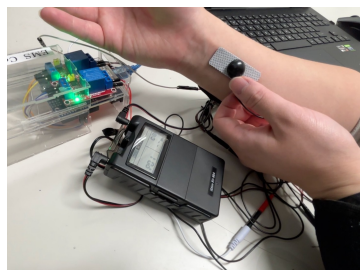
感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

システム構成：

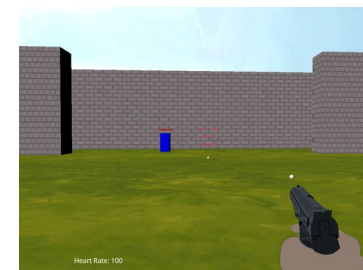
EMSの設置

- デバイスは、電源、マイコン、リレー、電極によって構成
- 電極は前腕屈筋に装着し、電気刺激で指を動かす
- パルスの設定は50-100 μ s、個人差に合わせて調整



トレーニングシステム

- Ursinaエンジンで作成したシューティングゲーム
- ターゲットは壁の隙間でランダム・高速に移動し、予測困難な状況を再現する
- システムが「最適タイミング」を計算し、EMSで指を自動クリックさせる

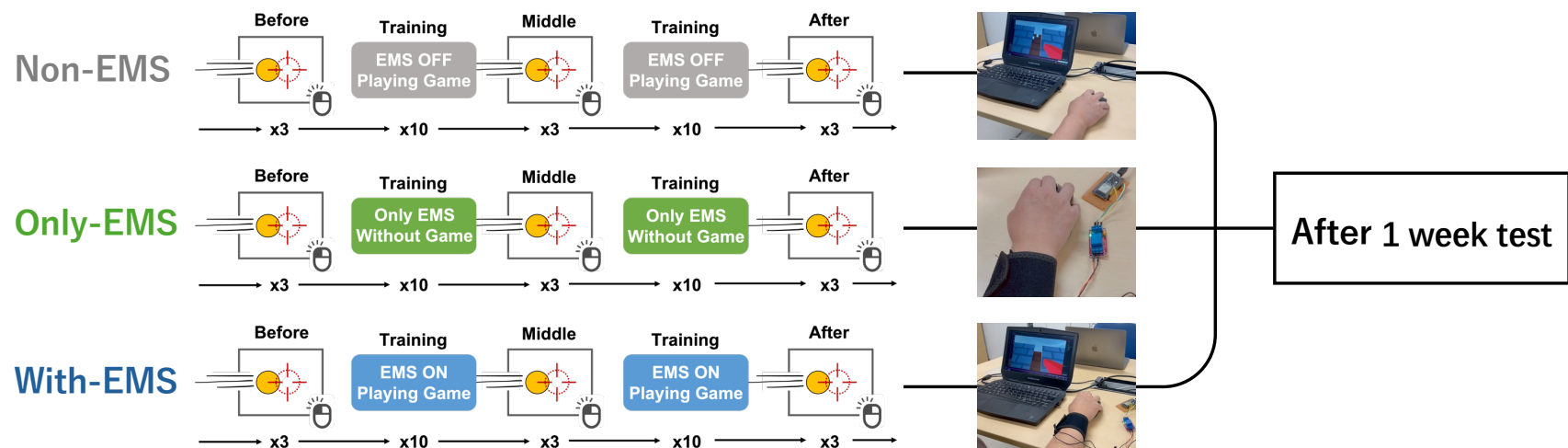


感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

訓練プロセス：

- 30名の参加者を、EMSなし・Only EMS・With EMSの3群に分けて実験を実施した。



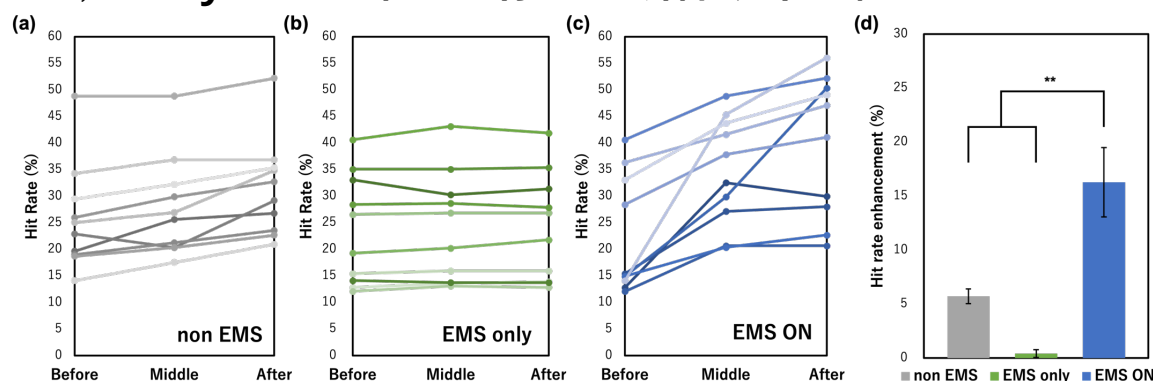
- Only EMS 群では、ゲームは行わず、電気刺激のみを与えた。

感覚・運動能力の拡張

研究例① タイミング把握のトレーニングシステム

実験結果：

- 反応テストおよびシューティングゲームの成績において、EMSを使用した参加者は**有意に向上**し、EMSなしの参加者よりも**高い訓練効果**が確認された。
- 一方で、**Only EMS 群**では有意な訓練効果は認められなかった。



- 続く研究により、EMSによる訓練を受けた参加者では、訓練効果が**1週間後にも保持**されていることが確認された。

感覚・運動能力の拡張

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

背景：

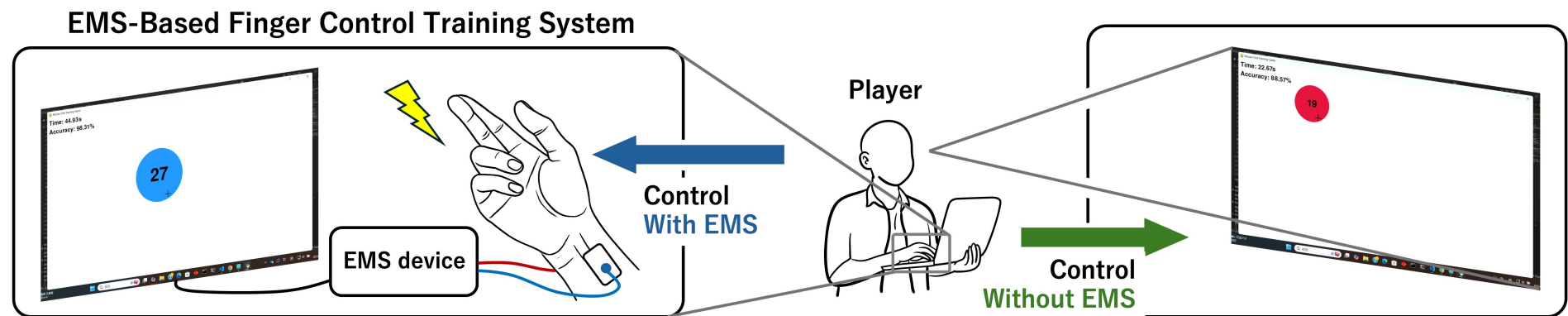
- eスポーツやピアノなどのシチュエーションでは、**指を高速かつ正確に動かす能力**が重要である。
- たとえ脳が高速に情報を処理し、正しいタイミングで判断できたとしても、**身体機能の制約によって動作が間に合わない**場合がある。
- そのため、ゲーマーや演奏者は本来、指の運動能力を長期的にトレーニングする必要がある。

感覚・運動能力の拡張

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

目的：

EMS を用いた指の運動能力トレーニングシステムを開発し、高速かつ精確な指のコントロールを支援する。



感覚・運動能力の拡張

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

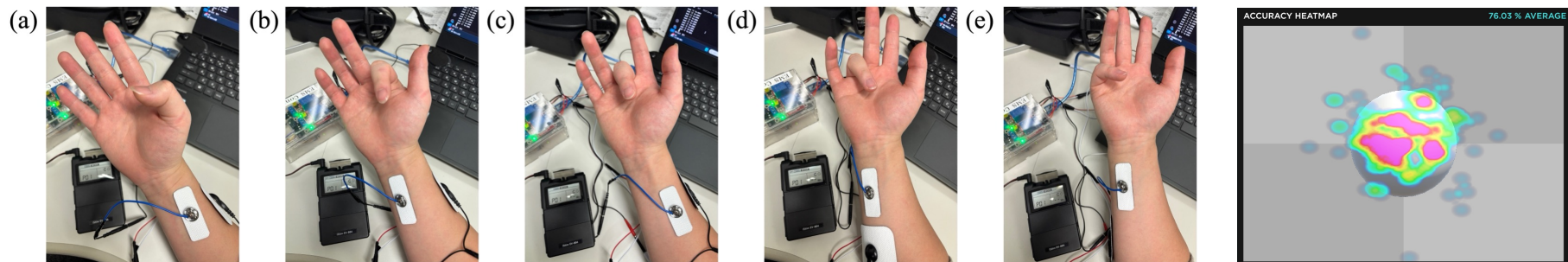
システム構成：

EMSの設置

- 研究例①のデバイスを改良した
- 各指を正しく動作するため、電極の配置を調整し、形は筋肉に合わせて最適化した
- パルスの設定は50-100 μ s、個人差に合わせて調整

トレーニングシステム

- Pythonでトレーニングシステムを作成
- 指を高速かつ精確に操作し、変化するターゲットに対応する状況を再現した
- システムはターゲットの状況に応じて EMS を作動させ、指の自動クリックを実現する

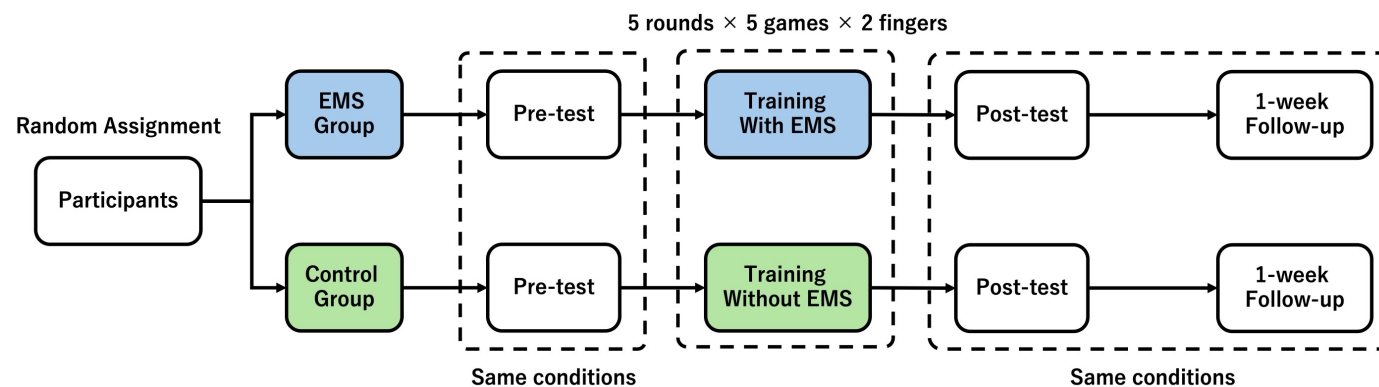


感覚・運動能力の拡張

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

訓練プロセス：

30名の参加者をEMSあり条件とEMSなし条件の2グループに分けてトレーニングを実施し、訓練前後の指の動きに関するパフォーマンスを比較した。



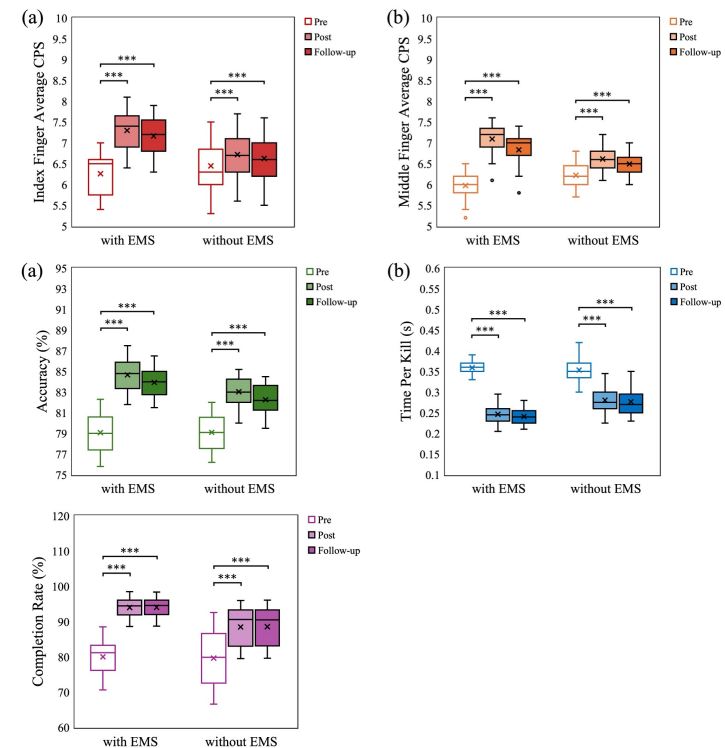
EMSグループは訓練中のみEMS装置を装着し、それ以外の評価条件はEMSなしグループと同一に設定した。

感覚・運動能力の拡張

研究例② 指の動きを拡張するトレーニングシステム

実験結果：

- 速度テスト（CPS）、シューティングゲーム、リズムゲームにおいての指のパフォーマンスを評価した。
- その結果、EMSありの訓練を受けた参加者は、訓練前と比較して**有意に指の操作能力が向上**した。
- また、EMSありの参加者はEMSなしの参加者よりも高い訓練効果を示し、**1週間後においてもその効果が維持されている**ことが確認された。



感覚・運動能力の拡張

研究例①と②のまとめ

- タイミング把握と指の動作を拡張する 2 種類のトレーニングシステムを構築した。
- 評価実験の結果、EMS を用いた 2 つのシステムの有効性が示され、学習効果も確認された。
- これらの研究は、EMSが人間の**運動感覚能力を向上させる上で大きな可能性**を持つことを示した。

協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

研究例④ ドラムリズム学習システム

協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

背景：

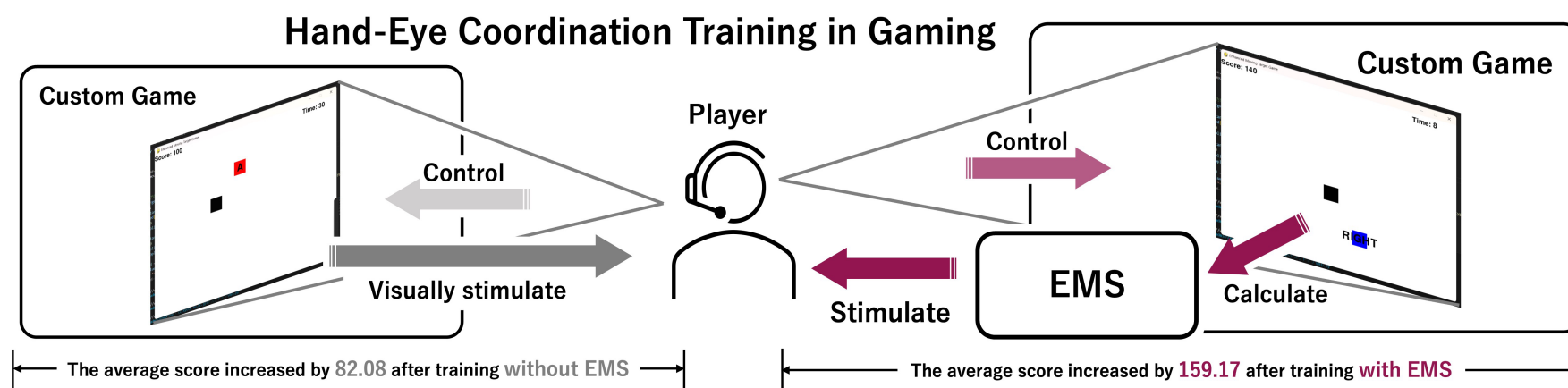
- 手と眼の協調（Hand-eye coordination）とは、**視覚情報を用いて手の動きを正確に制御**する能力。
- ゲーム、楽器演奏、スポーツ、さらには外科手術など、複雑な動作において不可欠なスキル。
- 特に両手を同時に使う活動では、**注意の適切な分配が重要**。
- 手と眼の協調を**短期間で習得することは難しく**、従来は長時間の反復練習が必要であった。

協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

目的：

- EMSをフィードバックとして利用し、注意の配分を支援し、**手と目の協調を効率的にトレーニング**するシステムを構築する。

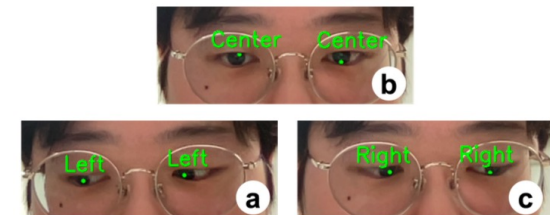
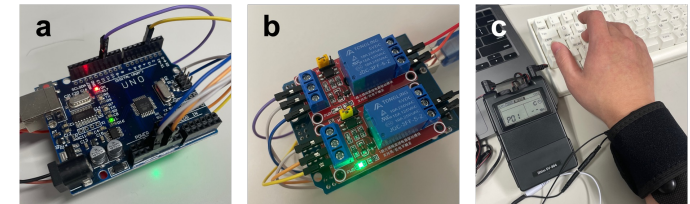


協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

システム構成：

- EMS装置
 - 研究例①のデバイスを使い、適切なタイミングで左右の手に刺激与える
 - 前腕屈筋に電極を装着
- 視線追跡
 - Webカメラ + OpenCVで瞳孔の動きをリアルタイム解析
 - 視線移動を記録し、注意配分を可視化
- トレーニングプログラム
 - カスタムゲーム
 - ターゲットに応じて、左右の手で正しい入力を行う
 - EMSは「正しい手」を刺激し、**注意を迅速に切り替えさせることで協調性の学習を支援**する

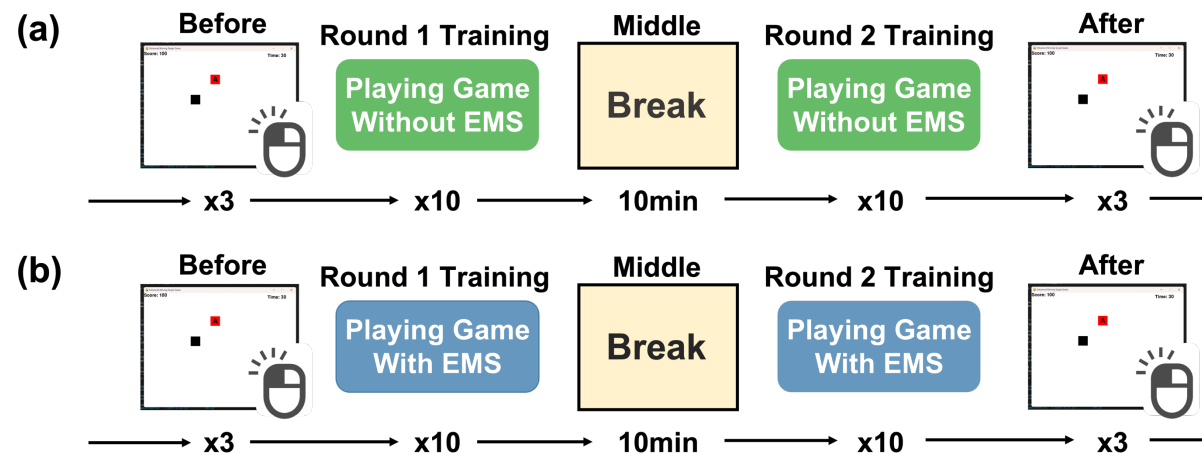


協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

訓練プロセス：

- 40名の参加者をEMSあり条件とEMSなし条件の2グループに分けて協調トレーニングを実施し、訓練前後の平均スコアを比較した。



- EMSグループは**訓練中のみEMS装置を装着**し、それ以外の評価条件はEMSなしグループと同一に設定した。

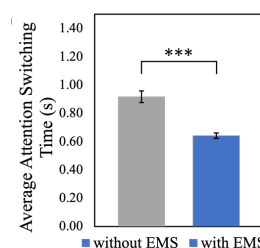
協調性の拡張

研究例③ 手と目の協調トレーニングシステム

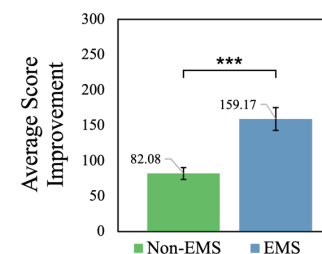
実験結果：

- 注意力配分の改善、カスタムゲームにおける訓練効果、リアルゲームでの実用性、そして訓練効果の保持性について評価を行った。
- その結果、EMSありの訓練を受けた参加者は、訓練前と比較して**有意に協調能力が向上**した。
- また、EMSありの参加者はEMSなしの参加者よりも高い訓練効果を示し、**1か月後においてもその効果が維持されている**ことが確認された。

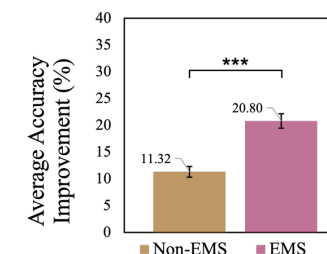
注意力配分



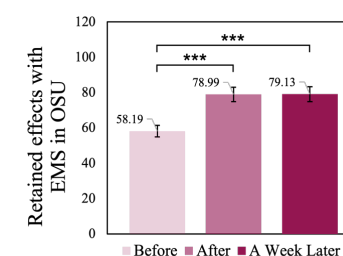
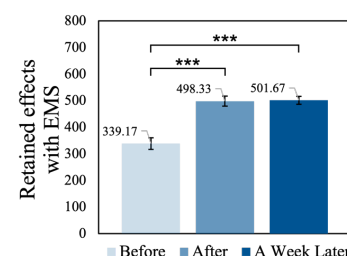
カスタムゲーム



リアルゲーム



訓練効果の保持性



協調性の拡張

研究例④ ドラムリズム学習システム

背景：

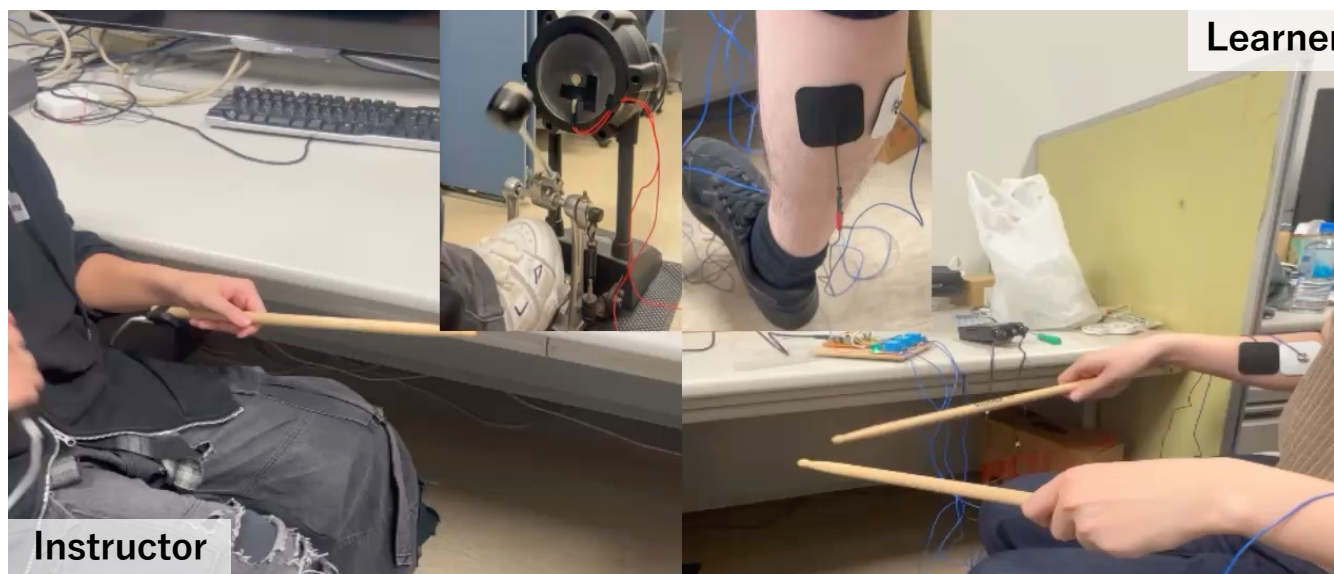
- ドラム演奏では、演奏者が同時にいくつもの役割を担当する必要がある。
- 高度なリズムパターンを演奏するためには、**手足の高い協調性**が求められる。
- これを習得するには多くの時間と努力が必要であり、初心者にとって大きな障壁となっている。
- 従来の学習方法は、教育動画や演奏者の動きを視聴し、視覚・聴覚で得た情報を基に反復練習を行うというものである。

協調性の拡張

研究例④ ドラムリズム学習システム

目的：

- 教育者の動作をセンサで記録し、そのデータを電気刺激として学習者の手と足を動作することで、**ドラムリズムの習得を支援するシステムを構築**し、その有効性を評価すること。



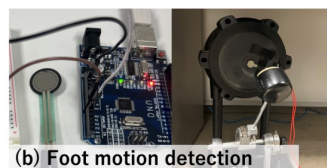
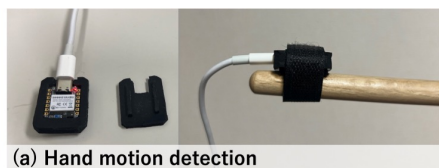
協調性の拡張

研究例④ ドラムリズム学習システム

システム構成：

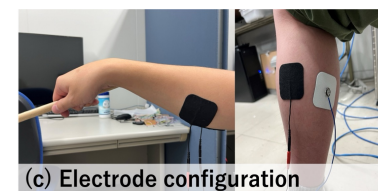
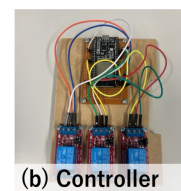
動作検出

- 加速度センサをスティックに装着し手の動きを計測する
- 圧力センサをバスドラムペダルに配置し足の打点を検出する
- Arduino と Python により教育者の動作をリアルタイムに処理し、それを電気刺激として学習者に伝わることで、手足の動作を誘導し、リズム習得を支援する。



EMS構成

- 研究例①のデバイスを改良し、両手と足に対応できる 3 チャンネル構成を作成した。
- 電極は手首の屈筋と伸筋、および脚の前脛骨筋と腓腹筋に装着し、上肢と下肢の動作を個別に制御できるようにした。
- 刺激強度は、快適性とドラム演奏における有効性に合わせて微調整した。

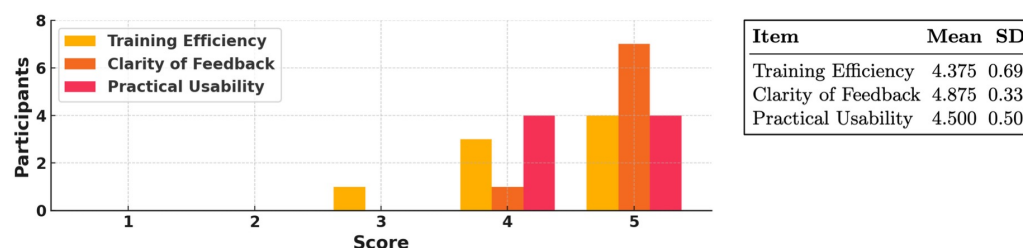


協調性の拡張

研究例④ ドラムリズム学習システム

評価実験：

- 8名の参加者は、**EMS あり・なしの条件でドラムリズムの学習**を行った。
 - EMS なしの場合、参加者は教育者の動きを視聴し、それを模倣して練習した。
 - EMS ありの場合、教育者の動作を基にした電気刺激を受け、身体の動きとして直接感じ取りながらリズムを理解した。
- 評価は、**トレーニング効率**、**フィードバックの分かりやすさ**、**システムの実用性**の3点について実施した。



- その結果、EMS ありの条件は「**直感的で、効果的で、初心者にも適している**」と高く評価された。

協調性の拡張

研究例③と④のまとめ

- 手と目の協調性とドラムリズムを学習する 2 種類のトレーニングシステムを構築した。
- 評価実験の結果、EMS を用いた 手と目、手と足の協調性を向上する有効性が示され、学習効果も確認された。
- これらの研究は、EMSが人間の**協調能力を向上させる上で大きな可能性**を示した。

生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

生体・情緒への支援：補足説明

- 本研究における生体・情緒への支援は、現在も継続的に研究を進めているテーマである。
- そのため、以下は完成した手法や結論を示すものではなく、応用可能性を探索するための**先行的な研究（Work-in-Progress）**として位置づける。
- 研究例⑤において、**生体情報に基づく支援の可能性**を検証する。
- 研究例⑥では、**生体情報と EMS を組み合わせた新しい支援システム**を構築し、ストレス調整を通じて、EMS を用いた生体支援の可能性を探索する。

生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

背景：

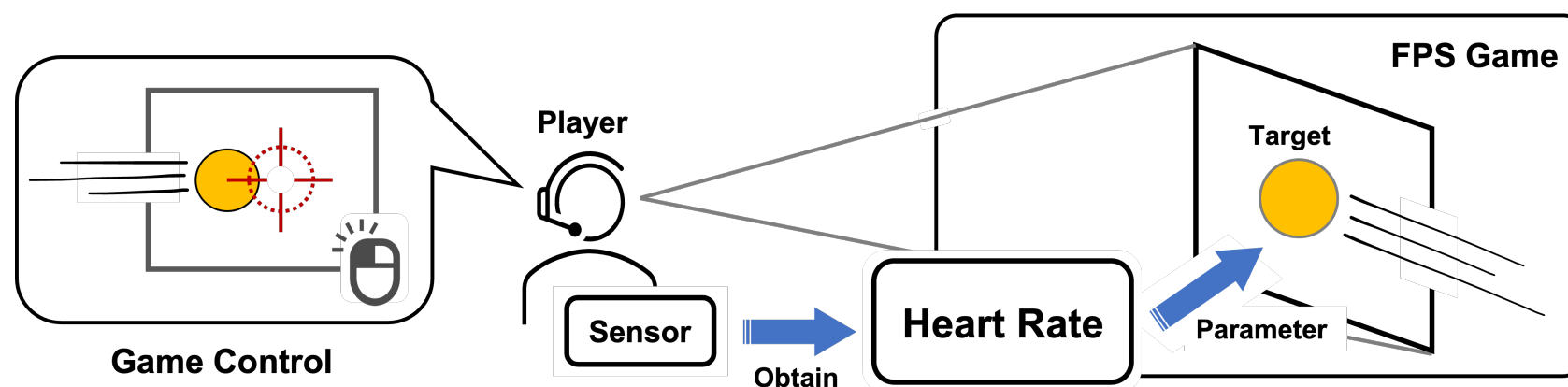
- ゲームやスポーツなどのい競技的な環境では、**不安やストレスがパフォーマンスに大きく影響**する。
- ストレスが高まると、**認知機能・反応速度・操作精度が低下**することが知られている。
- プロ選手は対戦の反復やストレスへの耐性を高めるための特訓を行うが、一般の人や初心者にとってこれは難しい。

生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

目的：

- 心拍センサを用いてプレイヤーのストレス状態をリアルタイムに評価し、自主的なストレス調整をトレーニングできるシステムを構築し、評価を行う。



生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

システム構成：

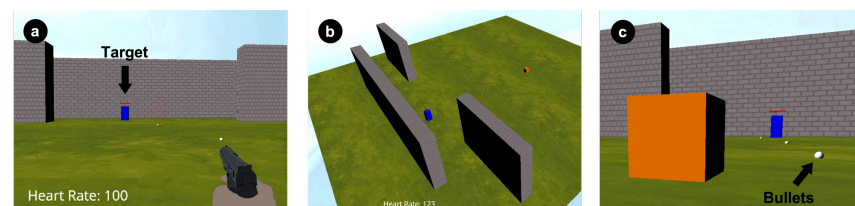
ストレス検出

- 心拍センサを用いてプレイヤーのゲーム内でのストレスを評価
- センサはプレイヤーの手首にバンドの形で装着
- リアルの心拍を指標として、シューティングゲームと連携し、トレーニングを行う



トレーニング用ゲーム

- Ursina エンジンで作成した FPS ゲーム
- ターゲットの移動速度はプレイヤーの心拍に応じて変化する
- ストレスが上昇すると心拍が上がり、それに伴ってゲームの難易度も上昇する
- プレイヤーは、自主的にストレスを調整し、心拍を抑えながらゲームを進行させる

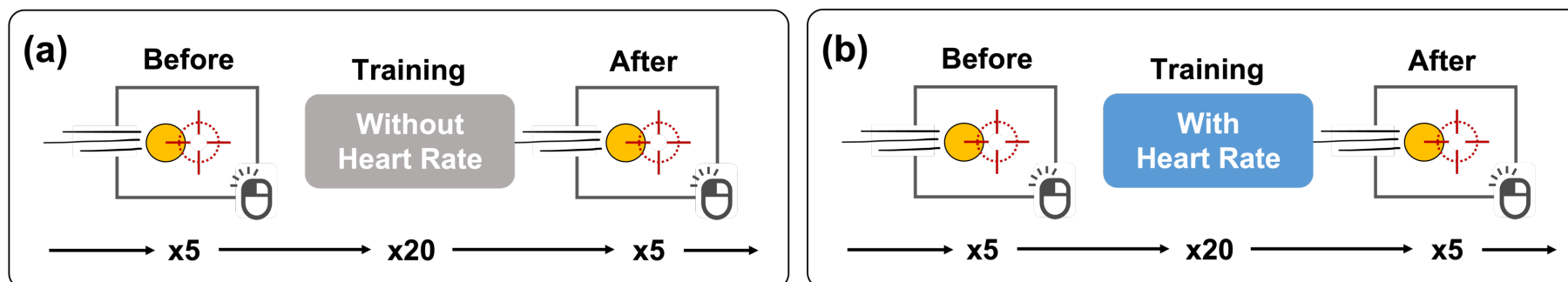


生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

実験方法：

- 参加者は システムあり・なしの2つの条件でトレーニングを行い、**平均テスト完了時間**と**平均心拍**を指標として、トレーニング前後のパフォーマンスを比較した。



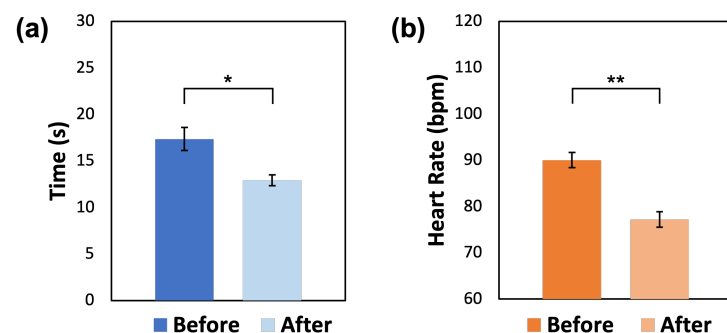
生体・情緒への支援

研究例⑤ ストレス調整トレーニングシステム

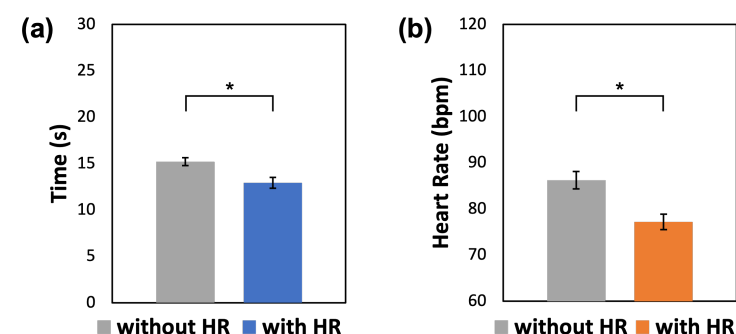
実験結果：

- 参加者（20代男性1人）がシステムを用いてトレーニングを行った結果、ゲーム内での**パフォーマンスが有意に向上**したことが確認できた。
- システムなしの条件と比較して、システムを用いたトレーニングの方が効果が高いことが示された。

Feasibility test



Control experiment



生体・情緒への支援

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

背景：

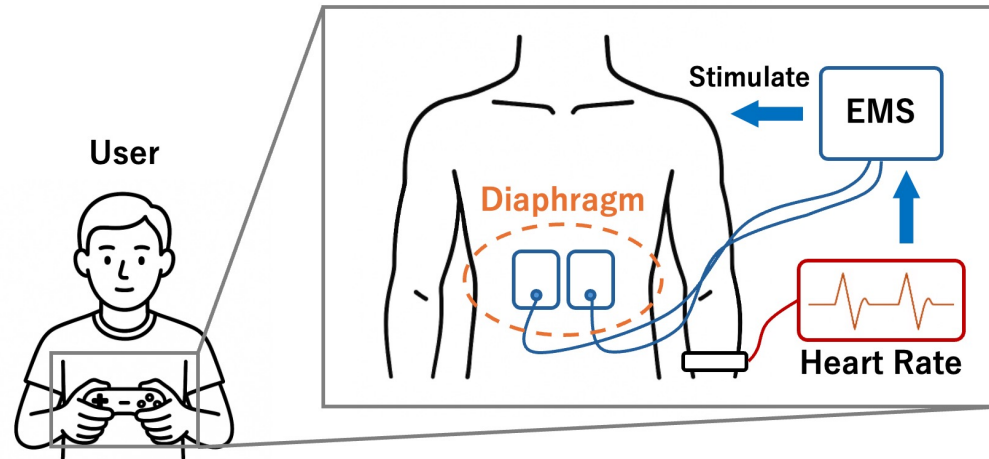
- 研究例⑤では、ユーザが自主的にストレスを抑制できる可能性が示された。
- **呼吸法による自律神経の調整**（副交感神経活性化）は有効だが、ストレスの状態中に**意識的に実行するのは困難**。
- 現状では、ストレス耐性を高めるために、反復的かつ長時間のトレーニングが求められる。

生体・情緒への支援

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

目的：

- 横隔膜付近の**呼吸筋にEMSを与える**ことで、呼吸リズムを外部から自動調整し、**ストレスを低減する**システムを構築する。



生体・情緒への支援

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

システム構成：

- EMSデバイス

- 研究例①のデバイスを改造し、マイコンを小型化する
- **電極を横隔膜および肋間筋に配置**し、リズム的な刺激で呼吸を誘導

- 心拍センサ

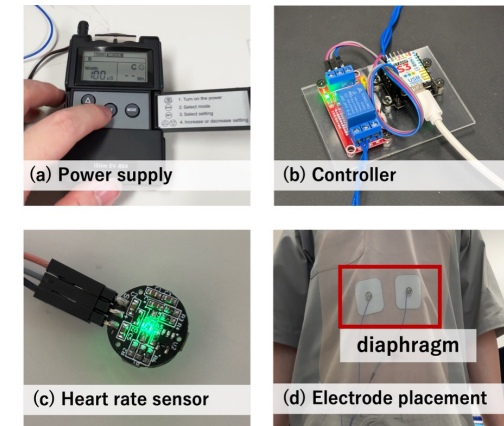
- リアルタイムで心拍データを取得
- 安静時心拍の115%以上を「ストレス状態」と定義

- 制御アルゴリズム

- 心拍が閾値を超えて3秒以上続くとEMSを自動起動
- 周波数1-5Hz、パルス幅50-150 μ s、電圧10V未満で安全に呼吸リズムを調整

- 特徴

- プレイヤーは**意識的努力をせずに呼吸の調整行える**システム



生体・情緒への支援

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

実験プロセス：

- 参加者：男性6名（19-30歳）
- ストレス回復実験：
人為的にストレスを誘発し、心拍数を急上昇させた上で、EMSあり／なしの条件で**回復速度を比較**した。
- リアルゲームでの評価：
実際のゲーム（Dark Souls III）で対戦を行い、EMSあり／なしの条件で、心拍に関する**3つの指標（平均心拍、変動幅、ストレス状態の割合）**を用いて評価を行った。



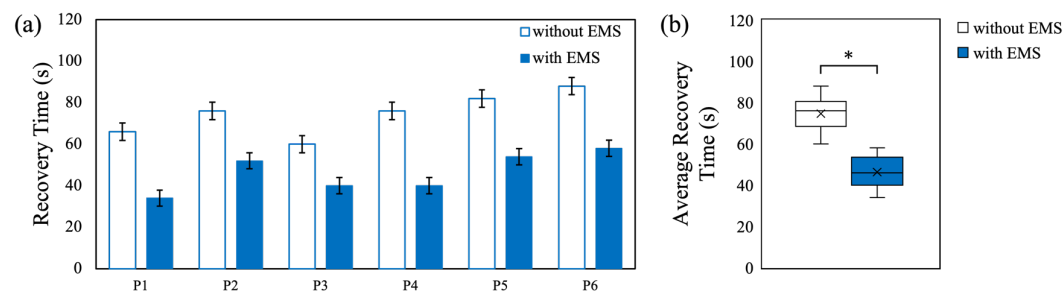
生体・情緒への支援

研究例⑥ 呼吸の調整に対する支援システム

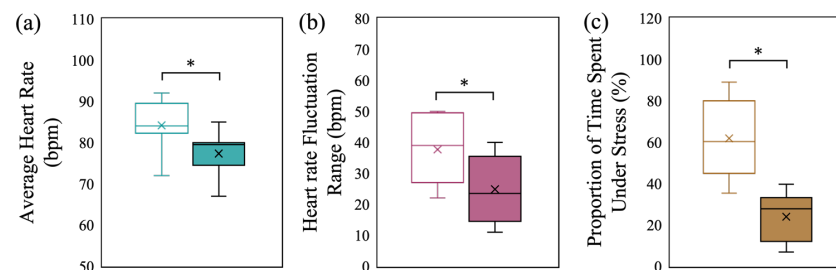
実験結果：

- ストレス回復実験および実ゲームでの評価の結果、EMSなしの条件と比べて、EMSを使用した参加者の**各テストにおける指標が有意に改善**された。

ストレス回復実験



実ゲームでの評価



生体・情緒への支援 研究例⑤と⑥のまとめ

- ストレス調整トレーニングと呼吸調整を支援する二つのシステムを構築した。
- 評価実験を通じて、外部からの介入によって生体・情緒状態に働きかける支援が可能であることが確認された。
- 研究例⑥では、生体情報と EMS を組み合わせることで、**生体・情緒への支援における EMS 活用の可能性**が確認された。

6. 考察

- 本研究の主な貢献
- 応用可能性
- 現段階での限界

6. 考察：本研究の主な貢献

- EMSを用いて、人間の運動・協調・情緒に関する能力を拡張・支援するプラットフォームを構築し、評価実験によって**EMSによる人間能力拡張の可能性を示した**。
- EMSを用いた複数のスキル学習およびトレーニング効果を検証し、その**短期的・長期的な保持効果を評価した**。
- 開発したEMSデバイスを用いることで、ゲームや楽器演奏など**多様なシチュエーションでの応用を可能**にした。
- 本研究は、EMSが新しいトレーニング媒体としての可能性を示し、今後の**インタラクションや関連分野の研究に貢献**するものである。

6. 考察：応用可能性

- **教育・スキル訓練**

音楽、スポーツなどの専門スキルの早期習得に応用可能

- **eスポーツ・スポーツパフォーマンス**

反応速度・精度・協調性を向上

高圧状況でのストレス制御に利用可能

- **遠隔教育**

視聴覚だけでなく、身体動作そのものを共有できる新しい学習形態

- **メンタルヘルス・ストレス管理**

呼吸誘導・心拍制御などの即時的介入が可能

6. 考察：現段階での限界

- 評価実験のサンプルが少なく、年齢層・性別・スキル差による**多様性不足**
- **個人差や物理的制約**による EMS の可用性の問題
 - 配線による可動範囲の制限、体質による刺激の不安定性など
- 一部のユーザにおける **EMS への不信感・抵抗感**
 - 自主操作でなく、身体が勝手に動くことへの違和感
- 長期利用に伴う**潜在的リスク**
 - 依存性など

7. まとめ

- 本研究のまとめ
- 今後の課題

7. まとめ：本研究のまとめ

- EMS をベースとした**人間能力拡張フレームワークを構築**し、感覚・運動および協調性についてはその有効性を実験的に評価し、情緒については初期的・探索的な検討を行った。
- 実験結果より、EMS は多様なシチュエーションで応用可能であり、能力やスキルの**学習を促進し、人間の能力拡張に貢献する**ことが示された。
- 本研究を通じて「**EMS-based Augmented HCI**」という概念を提示し、人間拡張および HCI 分野に新たな可能性をもたらした。
。

7. まとめ：今後の課題

- 実験サンプルの拡大
- マルチセンサや生体情報との統合による EMS 応用の拡張
- 長期的影響および依存性に関する評価
- eテキスタイルなどの素材と組み合わせた、装着しやすい新たな EMS インタフェースの開発

研究活動及び業績

博士課程における主な研究業績

• 国際ジャーナル

1. Shuo Zhou and Norihisa Segawa. 2023. Method of Electrical Muscle Stimulation for Training FPS Game Players in the Timing of Shots. Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. (ACM journal series). 7, **PACMHCI**, Article 421 (November 2023), 19 pages.
2. Shuo Zhou and Norihisa Segawa. 2024. Method of Electrical Muscle Stimulation to Improve Hand-eye Coordination Training in Gaming. Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. (ACM journal series). 8, **PACMHCI**, Article 323 (October 2024), 20 pages.

• 国際学会プロシーディングス

3. Zhou, S., Segawa, N. (2023). Method for Training Player Emotion in a Custom FPS Game Using Heart Rate. In: Ciancarini, P., Di Iorio, A., Hlavacs, H., Poggi, F. (eds) **Entertainment Computing – ICEC 2023**. ICEC 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14455. Springer, Singapore.
4. Norihisa Segawa, Shuo Zhou, Masato Yazawa, and Kaori Ueda. 2024. Integrating Traditional Japanese Nishijin Weaving Techniques with Modern Electronics. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Human-Centered Sensing, Networking, and Multi-Device Systems (**HumanSys '24**). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 25–26.
5. Shuo Zhou and Norihisa Segawa. 2024. Electrical Muscle Stimulation-Based Approach for Enhancing Hand-eye Coordination Training. In Extended Abstracts of the **CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '24)**. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 118, 1–6.
6. Zhou, S., Shikida, A., Segawa, N. (2025). “Hand-In-Hand” Learning: A Novel Method for Instrument Skill Training with Electrical Muscle Stimulation. In: Sugimoto, M., Di Iorio, A., Figueroa, P., Yamanishi, R., Matsumura, K. (eds) **Entertainment Computing – ICEC 2025**. ICEC 2025. Lecture Notes in Computer Science, vol 16042. Springer, Cham.
7. Shuo Zhou and Norihisa Segawa. Stimulate to Calm: Exploring EMS-Based Breathing Control for Emotion Regulation in Games. **ACM CHI PLAY Companion '25**: Companion Proceedings Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play.
8. Shuo Zhou and Norihisa Segawa. Augmenting Hand-Eye Coordination with Electrical Muscle Stimulation: Effects on Visuomotor Integration and Long-Term Skill Retention. The **Augmented Humans (AHs) International Conference 2026**. Association for Computing Machinery

研究活動

• 学会及び研究に関する活動

1. 2025年度 国際学会 ACM CHIPLAY 2025, Associate Chair (Work-In-Progress track)
2. 2025年度 国際ジャーナルActa Psychologica, 査読
3. 2025年度 国際ジャーナルENTCOM (Entertainment Computing), 査読
4. 2025年度 国際学会 ACM CHI 2025, Paper及びWIP査読
5. 2025年度 国際学会 IFIP ICEC 2025 the 24th IFIP International Conference on Entertainment Computing, Program Committee
6. 2024年度 国際学会 IFIP ICEC 2024 the 23rd IFIP International Conference on Entertainment Computing, Program Committee
7. 2024年度7月～9月 中国・四川大学華西病院、華西精創研究所 訪問研究者
8. 2024年度10月至現在 神戸大学 上田香研究室 eテキスタイルに関する研究

• 研究助成

次世代研究者挑戦的研究プログラム (JST SPRING) ,番号：JPMJSP2157,プロジェクト：「将来の社会を担って立つ博士人材の育成」,研究奨励賞240万と研究費20万 (年間) , 2023年4月 - 2026年3月

ご清聴ありがとうございました。