

## eスポーツの長時間プレーに伴う自覚しにくい認知疲労を瞳孔収縮から検知

疲労には過活動から人間の心身を守る働きがあります。しかし、主に身体ではなく頭脳の活動であるeスポーツでは、疲労の自覚（疲労感の高まり）が遅れて認知疲労（判断力低下）と乖離してしまうことが分かりました。また、瞳の大きさが認知疲労の指標となる可能性が示されました。

長時間の身体的・精神的活動時には、主観的な疲労感の高まりとともに、一過的な肉体疲労（筋力低下）や認知疲労（判断力低下）が起こります。疲労感、克服したいものである一方、心身の過活動を防ぐ大切な役割を持ちます。しかし、eスポーツ（エレクトロニック・スポーツ）に代表されるような、主にサイバー空間で行われる頭脳活動時の疲労感の働きはよく分かっていませんでした。

運動時の疲労感の高まりには身体運動に由来する種々の因子が関わることから、本研究では、ダイナミックな身体活動を伴わないeスポーツにおいては、プレー経験によらず、長時間プレーは疲労感が高まる前に認知疲労を生じさせてしまうという仮説を立てました。この仮説を検証するため、eスポーツにバーチャルサッカーを用い、脳活動の間接指標として注目される瞳孔径をアイトラッカーにより測定し、3時間の連続的なプレーが疲労感と認知疲労に及ぼす影響を検討しました。

その結果、プレー経験に関わらず、疲労感、プレー開始の2時間後までは全く変化せず、3時間後に微増しましたが、認知疲労との関係は見られませんでした。一方、瞳孔径は、2時間後と3時間後に減少し、認知疲労と関連していました。

これらの結果は、仮説の通り、プレー経験の多寡によらず、eスポーツの長時間プレー時の疲労感と認知疲労の間には明確な乖離があり、認知疲労の自覚が難しいことを示しています。また、瞳孔の収縮は、頭脳活動による認知疲労を検知し、自覚を助ける神経マーカーとして役立つと期待されます。

### 研究代表者

筑波大学体育系

松井 崇 助教

高橋 史穂（体育科学学位プログラム博士後期課程）

## 研究の背景

運動、栄養、休養など、物理世界の人間のパフォーマンスや健康のための戦略は数多く確立されてきました。しかし、現代のように、物理世界とサイバー空間をまたぐ頭脳活動に関する戦略は分からないことが多いのが現状です。このような世界で自らの心身を正確に感じ、制御し、パフォーマンスと健康を最適化できる新しいライフスタイルを創造する必要があると考えられます。

そうした頭脳活動の代表例が、e スポーツ<sup>注1)</sup>であると言えます。e スポーツはビデオゲームの対戦を意味しますが、体力水準等の壁を超えて、心身のウェルビーイングを高めるインクルーシブスポーツ<sup>注2)</sup>の性質も合わせ持ち、実際に e スポーツのプレーがヒトの脳機能を高めることが分かってきています。しかしながら、どうしてもプレーが長時間に及びがちなことから、座り過ぎ、食事と睡眠の悪習慣、身体の部分的な酷使等に伴う不調が課題となっています。また、特に若年層では、依存性に関連したインターネットゲーム障害の問題も指摘されています。

こうした過度な頭脳活動を防ぎ、パフォーマンスと健康を両立するライフスタイルの鍵となるのは、疲労感です。疲労感は、心身の機能が低下していることを自覚する感覚であり、過労に対する主要な防御機構の一つと定義されます (Gibson ら、2003)。運動中の疲労感は、乳酸などの身体運動由来の生理因子に起因し、筋出力やスタミナと関連するため、実際の肉体疲労 (機能低下) を反映します (Matsui ら、2017)。しかし、e スポーツは身体運動を伴わず、楽しみや勝利へのモチベーションが強いため、長時間プレーしても疲労感が生じず、認知疲労を自覚しにくい可能性があります。

## 研究内容と成果

本研究では、e スポーツの長時間プレーが、経験の多寡によらず、疲労感の発生よりも先に、脳活動の間接指標とされる瞳孔の収縮 (脳活動の低下) とともに認知疲労を引き起こすという仮説を設定しました。e スポーツのタイトルは、ダイナミックな身体活動を伴わないバーチャルサッカーを用い、筑波大学の学生および秋葉原のゲームコミュニティから募集した 33 名 (カジュアルプレーヤー14 名: 普段からバーチャルサッカーゲームを好んでプレーする者、ハードコアプレーヤー19 名: 大会で勝つために毎日ビデオゲームを長時間プレーする者) が実験に参加しました。このうち、ハードコアプレーヤーには 2 名のトッププロプレーヤーが含まれていました。

実験では、瞳孔径をアイトラッカーで常に測定しながら、合計 3 時間の e スポーツをプレーしてもらい、プレー前およびプレー開始から 1 時間毎に、視覚的評価スケール (Visual Analog Scale、VAS)<sup>注3)</sup> で感覚 (面白さと疲労感) を測定し、フランカー課題<sup>注4)</sup> の成績から判断速度と判断精度を評価しました (図 1)。部屋の中央および参加者の目元の照度は、常に 250-300 ルクスに維持しました。

その結果、プレー開始の 1 時間後には、感覚の改善とともに、カジュアルプレーヤーでは判断速度を高めることが初めて確認されました (図 2 A)。しかし、プレー開始の 2 時間後と 3 時間後には、カジュアルプレーヤーで判断速度が遅れ (図 2 A)、ハードコアプレーヤーでは、元々高かった判断精度が低下しました (図 2 B)。これらの結果は、プレー経験に応じて、特徴的な認知疲労が表れることを明らかにした初めての知見です。

一方、疲労感は、どちらのプレーヤーでも 2 時間後までは全く変化せず、3 時間後に微増し (図 2 C)、面白さは常に高く維持されました (図 2 D)。疲労感と判断速度や判断精度との関連は、どちらのプレーヤーにおいても認められなかったことから (図 3)、e スポーツプレー時の認知疲労を自覚するためには、疲労感は頼りにならないことが分かりました。

また、瞳孔径 (図 4 A) は、どちらのプレーヤーでも 2 時間後と 3 時間後に約 0.1 mm 縮小し (図 4 B)、その変化量が、カジュアルプレーヤーでは判断速度の低下と、ハードコアプレーヤーでは判断精度の低下

と、それぞれ相関関係を示したことから（図 4 C, D）、瞳孔の縮小が、認知疲労を精度良く検知するのに有効な神経マーカーとなることが示されました。このことは、当初の仮説通り、長時間の e スポーツプレーが、経験の多寡によらず、瞳孔径の縮小と関連して、疲労感の発生よりも先に認知疲労を引き起こすことを示唆しています。

### 今後の展開

本研究は、若年成人プレーヤーを対象として、バーチャルサッカーの長時間プレーによる認知疲労特性を明らかにしました。これに基づき、今後、認知疲労の健全な予防に向けたスポーツ・栄養戦略の構築や、ゲーミング・IT ツールの開発研究に取り組みます。加えて、シューティング、格闘、レース、バーチャルスポーツなど、さまざまなジャンルの e スポーツについても、多様な参加者（年代、性別、障がいの有無等）や環境（賞品、観客、チーム、実際の大会等）を対象に同様の検証を進め、老若男女の活力と絆を育む、総合的な「e スポーツ科学」を展開していきます。

### 参考図

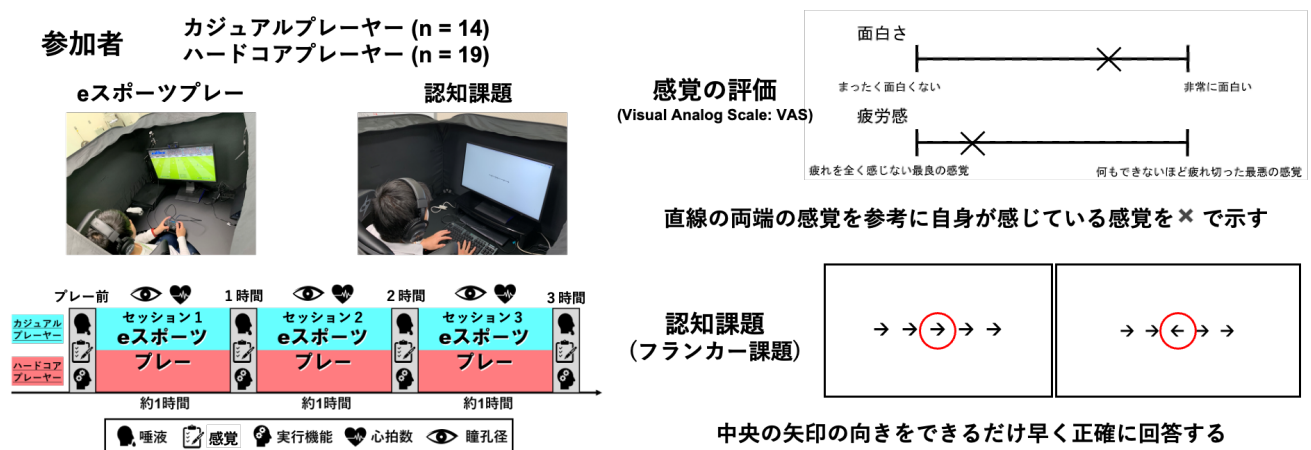


図 1 本研究の実験プロトコル

e スポーツ（バーチャルフットボール）のハードコアプレーヤーとカジュアルプレーヤーを対象に、約 3 時間にわたってプレーを実施し、プレー前、およびプレー開始後 1 時間おきに唾液採取（ストレスホルモンであるコルチゾル量測定）、質問紙による感覚（面白さと疲労感）の評価（Visual Analog Scale、VAS）、および、フランカー課題による実行機能（判断力）の評価を行った。実験中は常に、瞳孔径と心拍数を計測した。なお、コルチゾル量にはプレー時間による大きな変化は見られず、プレー中に生じる認知疲労はストレスによるものではないと考えられる。

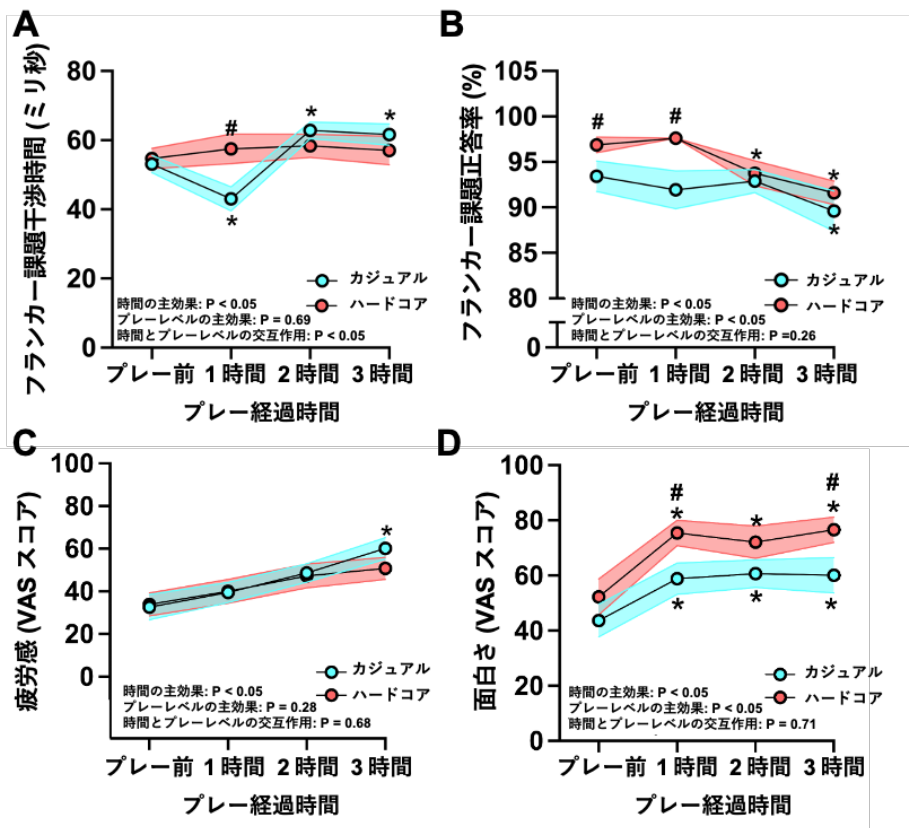


図2 eスポーツのプレー時間ごとの主観的疲労と認知疲労

A. カジュアルプレイヤーは1時間のプレーでフランカー課題の干渉時間（判断速度）が有意に改善した一方で、2時間以上のプレーでは有意に悪化した（\* $p < 0.05$  vs. プレー前、# $p < 0.05$  vs. カジュアルプレイヤー）。B. ハードコアプレイヤーは2時間以上のプレーでフランカー課題の正答率（判断精度）がプレー前から有意に悪化した（\* $p < 0.05$  vs. プレー前、# $p < 0.05$  vs. カジュアルプレイヤー）。C. 長時間のプレーにより、カジュアルプレイヤーは3時間時点で疲労感が有意に増加したが、ハードコアプレイヤーでは変化は認められなかった（\* $p < 0.05$  vs. プレー前）。D. 長時間のプレーは、プレイヤーのレベルに関わらず主観的な面白さを高めるが、ハードコアプレイヤーの方がカジュアルプレイヤーよりもその影響が大きかった（\* $p < 0.05$  vs. プレー前、# $p < 0.05$  vs. カジュアルプレイヤー）。

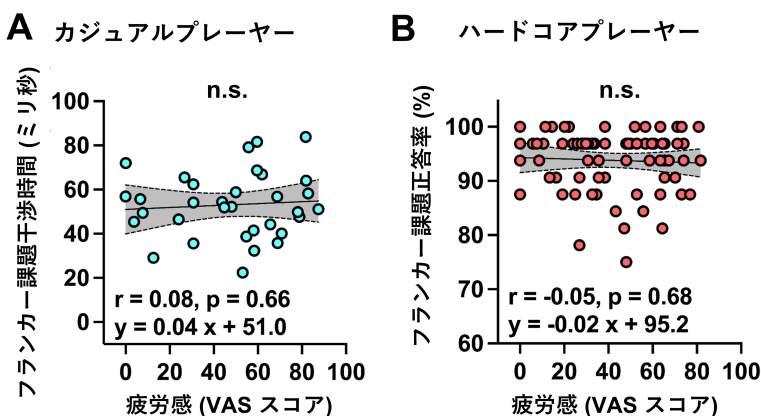


図3 eスポーツの長時間プレー時における疲労感と認知疲労（A: 判断速度、B: 判断精度）の関係  
 長時間のプレーに伴う疲労感と認知疲労との間には、プレー経験によらず、関連性が認められなかったことから、長時間のプレーによる認知疲労は、疲労感の高まりからは自覚できないことが示された。

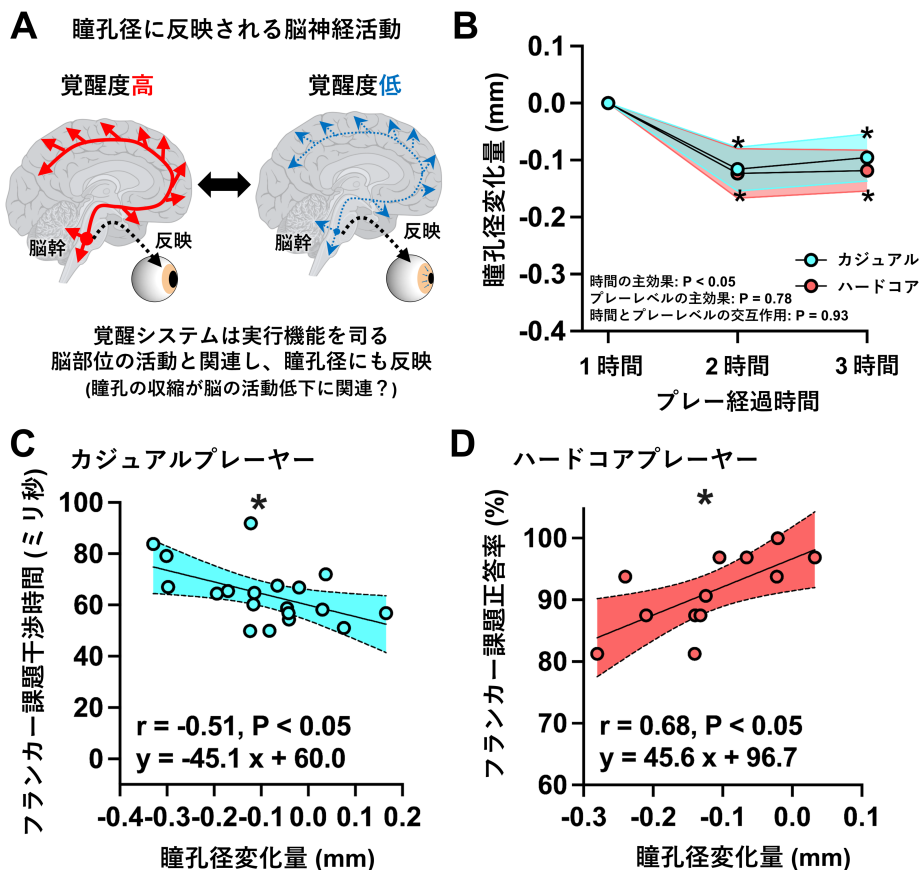


図4 eスポーツ長時間プレー時の瞳孔収縮と認知疲労との関連

A. 瞳孔の拡大・縮小が脳の覚醒をもたらす脳内ノルアドレナリン神経を中心とした神経活動と関連することから、eスポーツプレー中の瞳孔動態と認知疲労との関連を検討した。B. プレー1時間時点の瞳孔径に対する変化量は、プレー経験に関わらず、2時間以降に有意に減少した (\* $p < 0.05$  vs. プレー1時間)。C. 瞳孔径の縮小は、カジュアルプレーヤーにおけるフランカー課題の干渉時間 (判断速度) と負の相関関係を示した。D. 瞳孔径の縮小は、ハードコアプレーヤーにおけるフランカー課題正答率 (判断精度) と正の相関関係を示した。

### eスポーツの長時間プレーによる生理心理動態

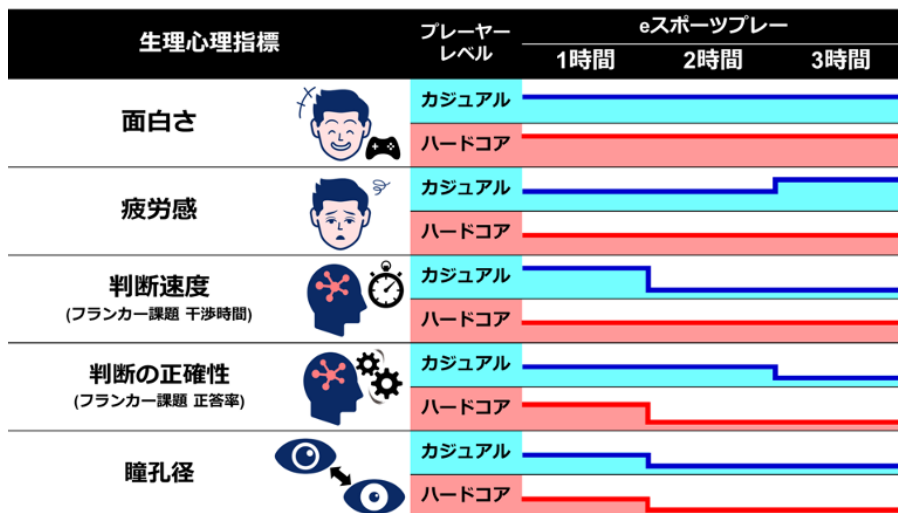


図5 本研究成果のまとめ



eスポーツの長時間プレーによる認知疲労と実際の疲労感との間には、プレー経験に関係なく、明らかな乖離が存在することが明らかになった。一方、瞳孔の収縮は認知疲労を鋭敏に検知できる有望な神経マーカーとなる可能性がある。

### 用語解説

#### 注1) eスポーツ (esports)

多くの定義があるが、日本eスポーツ連合によれば、「エレクトロニック・スポーツ」の略で、広義には、電子機器を用いて行う娯楽、競技、スポーツ全般を指す言葉であり、コンピューターゲーム、ビデオゲームを使った対戦をスポーツ競技として捉える際の名称とされる。

#### 注2) インクルーシブスポーツ

障がいの有無や年齢、性別、国籍等を問わず誰もが相互に人格と個性を尊重し支え合い、人々の多様な在り方を相互に認め合える全員参加型の社会である共生社会の実現に向けた取組を推進する、各人の適正にあったスポーツ活動のことを指す。

#### 注3) 視覚的評価スケール (Visual Analog Scale、VAS)

疲労感や面白さ、痛みなどの感覚の強度を測定する心理指標。紙に10cmの直線を書き、左端を当該感覚がない状態、右端をこれまで経験した中で当該感覚がいちばん強い状態と説明し、現在の感覚がどの位置にあるかを×印で回答してもらう。左端から×印までの長さを測定し、各感覚の強度を数値化する。

#### 注4) フランカー課題

実行機能（目的のために行動を制御する能力）、いわゆる判断力を測定する課題の一つ。画面に5つの並列した刺激（図形や文字など）が表示され、その中央の刺激が何かを回答してもらい、回答の速度と正誤を評価する。本研究では、中央の刺激（矢印）が「←」であれば「左人差し指のキー」、「→」であれば「右人差し指のキー」を押すという課題を用い、全ての矢印が同じ向き的一致課題（低難易度）と、異なる向きの不一致課題（高難易度）をランダムに繰り返した。不一致課題と一致課題の反応速度の差（フランカー干渉）が判断速度の指標となり、不一致課題の正答率は判断精度の指標となる。

### 研究資金

本研究は、トヨタ財団特定課題（代表：松井 崇、D20-ST-0034）、中山隼雄科学技術文化財団研究助成重点課題（代表：松井 崇）、NTT 東日本委託研究費（代表：松井 崇）、文部科学省「世界で活躍できる研究者戦略育成事業」として実施するTRiSTARプログラム（代表：松井 崇）、JST 創発的研究支援事業（代表：松井 崇、JPMJFR205M）の支援により実施されました。

### 掲載論文

【題名】 Cognitive decline with pupil constriction independent of subjective fatigue during prolonged esports across player expertise levels.

（プレーヤーの専門性を超えて長時間のeスポーツ時に主観的疲労と関係なく瞳孔収縮とともに生じる認知機能低下）

【著者名】 松井 崇<sup>a, b, c, 1, \*</sup>, 高橋史穂<sup>a, 1</sup>, 越智元太<sup>d</sup>, 吉武誠司<sup>a</sup>, 船橋大介<sup>a</sup>, 松岡弘樹<sup>b</sup>, 影澤潤一<sup>e</sup>, 土橋祥平<sup>a, c</sup>, 吉本 尚<sup>c</sup>, 坂入洋右<sup>a</sup>, 高木英樹<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> 筑波大学体育系

<sup>b</sup> 筑波大学スポーツイノベーション開発研究センター

- 筑波大学健幸ライフスタイル開発研究センター
- 新潟医療福祉大学健康科学部健康スポーツ学科
- 東日本電信電話株式会社（NTT 東日本）
- <sup>1</sup> 共同筆頭著者
- \* 責任著者

【掲載誌】 *Computers in Human Behavior*

【掲載日】 2024年3月26日

【DOI】 10.1016/j.chb.2024.108219

#### 問合わせ先

【研究に関すること】

松井 崇（まつい たかし）

筑波大学 体育系 助教

スポーツイノベーション開発研究センター スポーツIT分野長

健幸ライフスタイル開発研究センター 副センター長

URL: <https://www.tsukuba-matsui-lab.org/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: [kohositu@un.tsukuba.ac.jp](mailto:kohositu@un.tsukuba.ac.jp)