



VR 環境下における胃への内受容感覚刺激を利用した スポーツ時の過緊張状態再現

Inducing Excessive Tension in Sports
Using Gastric Interoceptive Stimulation in a Virtual Reality Environment

葉凌杉¹⁾, 本田功輝¹⁾, 伴祐樹¹⁾, 割澤伸一¹⁾

YE Lingshan, Koki HONDA, Yuki BAN, and Shin'ichi WARISAWA

1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, ye-lingshan@s.h.k.u-tokyo.ac.jp, khonda@edu.k.u-tokyo.ac.jp, ban@edu.k.u-tokyo.ac.jp, warisawa@edu.k.u-tokyo.ac.jp)

概要: スポーツ試合中の過剰な緊張は、プレーヤーのパフォーマンス低下を引き起こすことがある。その対策として、あらかじめ過剰な緊張状態でのプレーに慣れる訓練が求められる。本研究では、緊張時の胃の内受容感覚に近い感覚を生起させる物質として、カフェインを体験者に経口摂取させ、さらに VR によるスポーツ体験と組み合わせることで、仮想的に過剰な緊張状態を再現する手法を提案し、カフェインによって誘発された内受容感覚が、主観的な緊張感や心電図に反映されるかを実験で評価した。評価実験の結果は、同一実験参加者でのカフェイン条件とプラセボ条件間での主観・生理指標の比較により、カフェインの投与が VR 環境下のバスケットボールトレーニング中における主観的緊張感の増大を引き起こす可能性を示唆している。また、心電図の変化や事後アンケートにおいて一部の参加者が報告した胃部の違和感といった内受容感覚が、こうした主観的緊張感の高まりに寄与している可能性も示された。

キーワード: 緊張感, 内受容感覚, カフェイン, スポーツトレーニング

1. はじめに

緊張感、アスリートの試合中のパフォーマンスに大きな影響を与える心理的要因の一つである。適度な緊張は集中力を高め、パフォーマンス向上に寄与するが、過剰な緊張は判断力の低下や身体動作の硬直などを引き起こし、逆に運動パフォーマンスに悪影響を及ぼすことが知られている [1]。このような背景から、試合中においても高いパフォーマンスを維持するために、緊張感への適切な対処法を習得するトレーニング手法へのニーズが高まっている。

これまで、この課題に対しては主に二つのアプローチが取られてきた。一つは、呼吸法やイメージトレーニング、認知行動療法などを通じて緊張を緩和・コントロールする方法であり [2]、もう一つは、実戦形式の練習や模擬試合を取り入れることで、競技中に生じる緊張感に対する適応力を養う方法である。このような反復的な経験が、緊張下での判断力やパフォーマンス維持に役立つことは、スポーツ実践の中でも広く知られている。しかしながら、前者の方法は即時的な実行が難しく、過度なリラクゼーションによって集中力を損なう可能性もある。また後者についても、実際の試合に匹敵するような過剰な緊張状態を意図的かつ一貫して再現することが難しいという限界がある。

このような背景から、実際の試合で生じるような「過剰

な緊張状態」を意図的かつ再現性高く喚起し、それに対処する訓練を行うための方法は、いまだ十分に確立されていない。近年では、社会的ストレスの生起による精神的緊張を誘発する研究も行われているが [3]、これらの多くはスポーツ競技を想定したのではなく、競技場面に即した訓練手法としては不十分である。

そこで本研究では、実際の試合中にアスリートが経験するような「過剰な緊張状態」に注目した。実際の競技場面においては、緊張は単なる心理的な状態ではなく、動悸や発汗、胃の不快感など、明確な身体的変化を伴うことが多い。これらの身体的変化の中でも近年特に注目されているのが、内臓感覚や心拍などの体内状態の変化として知覚される内受容感覚である。近年の研究では、この内受容感覚が緊張感やストレスの形成に大きく関与していることが示唆されている [4]。

本研究では、この知見に基づき、緊張時の胃の内受容感覚に近い感覚を生起させる物質を実験参加者に経口摂取させ、さらに Virtual Reality (VR) によるスポーツ体験と組み合わせることで、仮想的に過剰な緊張状態を喚起する手法を提案する。そして、VR スポーツ体験による緊張感喚起の有効性を検討することを目的とする。

2. アプローチ

本研究では、緊張状態を擬似的に喚起するため、心理的な「文脈」と内受容感覚の刺激を組み合わせ、スポーツトレーニングへの応用を見据えた新たなアプローチを提案する。

「文脈」の構築としては、図1に示すように、VR フリースロー課題において実験実施者と参加者が交互に対戦する形式を採用した。これにより競争・プレッシャーを喚起し、実戦に近い緊張を誘発することを狙っている。

一方、内受容感覚への刺激としてはカフェインを用いた。カフェインは先行研究において、心拍数の上昇や胃部の違和感など、緊張時に類似した内受容感覚を生じさせる可能性が指摘されている [5]。しかし、これらの反応は文脈がなければただ身体感覚として知覚されるに留まる可能性がある。そこで本研究では、明確な心理的文脈を与えることで、これらの身体感覚を「緊張」として意味づけし、緊張状態の再現を図った。

以上の提案手法によって、仮想空間において被験者に疑似的な緊張状態を体験させることを試みた。

3. 実験

3.1 実験概要

提案手法による緊張喚起効果を検証するため、VR フリースロー課題を用いた実験を実施した。実験参加者にはカフェイン摂取条件とプラセボ摂取条件の2種類の試行を体験させ、緊張感の生起についての主観評価と生理量の結果を比較した。参加者は健康な成人男性3名(31歳+7.21)である。各参加者について2日間にわたり実験試行を行い、1日目と2日目で異なる条件(カフェインまたはプラセボ)を割り当てた。条件の順序は実験参加者間で順序効果の影響が小さくなるように組み合わせ(例:参加者B、Cは1日目にカフェイン・2日目にプラセボ、参加者Aは1日目にプラセボ・2日目にカフェイン)た。実験は全て午前8時から12時の間に行い、日内リズムや体内のコルチゾール濃度等の影響を抑えるよう配慮した。

3.2 実験環境

実験では一人称視点のVR バスケットボールゲーム「Hoopzter Basketball」¹(Yin Yang Games 社製)を使用し、実験参加者にバーチャル空間でフリースロー課題を遂行させた。参加者にはには Head Mounted Display (HMD)(Meta 社製、Meta Quest 3)を装着させた。VR 内のモードは Practice のマルチプレイヤー設定とし、実験参加者と実験実施者のアバターが同じバーチャル空間内に登場するようにした。参加者と実施者が交互にフリースローを行うことで対戦形式とし、競技における適度なプレッシャーによって緊張感を誘発しやすい文脈に参加者を置く狙いである。なお、実験は温度が一定の研究室内で実施し、実験参加者は立った状態でシュート動作を行った。



図1: フリースロー課題中のVR環境

3.3 実験条件

本実験では、実験参加者にカフェインまたはプラセボの錠剤を摂取させることで生理状態を操作する条件設定を行った。カフェイン条件では、実験参加者にカフェインを100 mg 摂取させた。具体的にはカフェイン錠剤(AllMax Nutrition 社製、AX-CA-100-01、一錠あたり200 mg 含有)を半分に割り、1回約100 mg となるよう調整した。100 mg という投与量は成人の一回の摂取量として安全であり、かつ適度な生理刺激効果を期待できる量である。二試行のうち一回はプラセボ(プラセボ製薬株式会社製、プラセプラス®200)を使用し設定することで実験参加者にはどちらの錠剤を服用したか知らせず、先入観を排した。

3.4 評価指標

実験参加者の状態を把握するため、生理指標と主観指標の双方を測定した。生理指標としては、心拍リズムの詳細な解析のため心電図(ECG)を記録した。生体アンプ(Biosignals Flux 社製)を用い、実験参加者に電極を装着してサンプリング周波数1000 Hz で心電図波形を取得した。記録したECGデータから心拍数や心拍変動指標を算出し、波形を観察し、条件間で比較分析した。

主観指標としては、不安・緊張感の自己評価尺度を用いた。STAI(State-Trait Anxiety Inventory)状態不安質問票から緊張および不安に関連する7つの設問を日本語版[7]から抜粋し、実験用に一部改変した。設問例として「緊張している」「気が落ち着かずじっとしてられない」「何か気がかりだ」といった否定的な内容の項目のほか、「心が休まっている」「気持ちが良い」といった肯定的な項目も含まれる。各項目に対し「まったく違う」から「その通りだ」まで5段階で回答させ、それぞれ-2~+2のスコアに換算した。肯定的内容の項目についてはスコアを符号反転し、全項目でスコアが高いほど不安・緊張が強いことを示すよう統一した。各試行の前後にこの質問紙による主観評価を実施し、緊張度の変化を定量的に測定した。

また、各実験日の終了後には自由記述によるアンケートを行い、「実験中に特に印象に残ったこと」や「2日間を通して体の感覚や気分に変いを感じたか」といった問いについて実験参加者の感想を記録した。

3.5 実験手順

実験試行は各実験参加者ごとに2日間にわたって実施した。各試行開始前、実験時の生理状態をできる限り均一に保

¹Meta 公式サイトより: <https://www.meta.com/ja-jp/experiences/hoopzter-basketball/6051606724925903/>

ち、カフェイン摂取による影響を正確に評価するため、参加者には前日夜に7時間以上の睡眠をとること、前日からカフェインを含む飲料の摂取を控えることを指示した。また、前日24時以降は水以外の飲食を絶つよう求め、実験当日は開始2時間前までに起床するよう指示した。1日目と2日目にはそれぞれカフェイン条件またはプラセボ条件を実施し、条件の割り当ては前述のとおり参加者間で均等化した。

各日の手順は次のとおりである。まず開始時に事前アンケートを行い、実験参加者の基本情報や体調、現在の気分状態を確認した後、STAIに基づく状態不安質問紙による主観評価（試行前時点）を実施した。

続いて実験参加者には安静座位で10分間静かに待機させ、この安静時間開始とともに、全試行を通じた心電図の変化を連続的に把握するためにECG計測を開始した。

その後、実験実施者が用意した錠剤（カフェインまたはプラセボ）を水とともに実験参加者に摂取させた。摂取直後から30分間、実験参加者を引き続き静座させて待機させた。この30分はカフェイン摂取による生理的变化が発現するまでの潜時であり、その間もECG記録を継続した。

30分後、実験参加者にHMDを装着させ、まず5分間は練習として自由にシュートを行いVR操作に慣れさせた。その後、実験実施者もVR空間に入り、フリースロー対戦を開始した。実験参加者と実施者は交互にシュートを行い、それぞれ10投（合計20投）のフリースローを試投した。対戦中もECG計測を継続した。

課題終了後、参加者は直ちに状態不安質問紙による対戦時点の主観評価に回答した。最後に、自由記述の質問に対して感じたことを記入させ、その日の試行を終了とした。翌日には条件を入れ替えて、同一の手順で2回目の試行を行った。

4. 実験結果

4.1 ECGの変化

本研究では、ECG波形から心拍数（HR）と心拍変動指標であるSDNNを算出し、自律神経活動の変化を評価した。HRは交感神経優位時に上昇し、SDNNは副交感神経活動が高いときに大きくなる。

参加者Bのデータを例として、静坐終了間際および摂取後30分終了間際における終盤2分間のデータを用いてHRおよびSDNNを算出し、表1に示し、それぞれの終盤10秒間のECG波形を図2に示した。カフェイン条件では、静坐から30分後にかけてHRはわずかに低下したが、SDNNは大幅に増加した。一方、プラセボ条件では、SDNNの変化は比較的穏やかであった。

また、他の参加者の結果を含めた全体傾向として、SDNNは全員でカフェイン摂取30分後に一貫して上昇する傾向が見られた（図3）。一方で、HR（心拍数）の変化には個人差が大きく、統一したパターンは確認されなかった。

4.2 主観指標の変化

本研究では、STAI（状態不安）から抽出した問題を用いてカフェイン条件およびプラセボ条件下における主観的緊

表1: カフェイン条件およびプラセボ条件における参加者Bの心電図の比較

条件	時間帯	SDNN (ms)	HR (bpm)
カフェイン	静坐終了直前	29.55	87.37
カフェイン	摂取30分終了直前	122.86	83.27
プラセボ	静坐終了直前	30.44	86.77
プラセボ	摂取30分終了直前	68.88	76.45

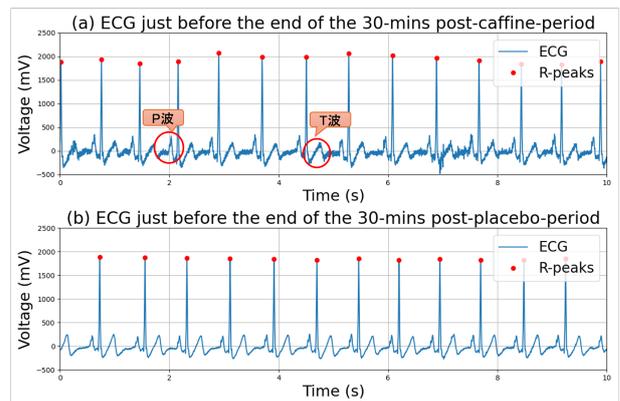


図2: 参加者Bの心電図 (a) カフェイン摂取30分終了直前 (b) プラセボ摂取30分終了直前

張・不安の変化を評価した。静座および対戦が終わる直後時点でSTAI質問紙により状態不安スコアを測定し、その傾向を比較した（図4・図5）。STAI-緊張のうち、2名にスコア上昇傾向が見られた。STAI-不安に関する項目でも全員が少なくとも2項目でスコア上昇を示した。

実験後のアンケートでは、全ての参加者が「プラセボ条件よりもカフェイン条件の方が緊張感が強かった」と回答した。2日目にカフェイン条件を実施した参加者Aからは「1日目と比較して2日目のほうが緊張した」との意見があり、1日目にカフェイン条件を実施した参加者Bからは「2日目の方が落ち着いていた」、参加者Cからは「緊張感は全体的に減った」との回答が得られた。また、一部の参加者は、カフェイン摂取後に「胃の違和感」や「心臓のドキドキ感」といった身体的な感覚の変化を報告した。「胃の違和感」について、当初想定していた「胃の不快感」とはやや異なる反応であった。

4.3 考察

以上の結果を踏まえ、カフェイン摂取が主観的緊張感および生理指標に及ぼす影響について考察する。

まず心拍数に着目すると、カフェイン摂取30分後には、

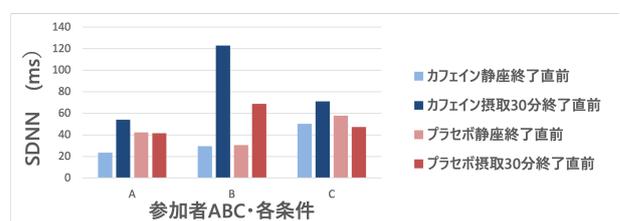


図3: 各参加者が各条件におけるSDNN

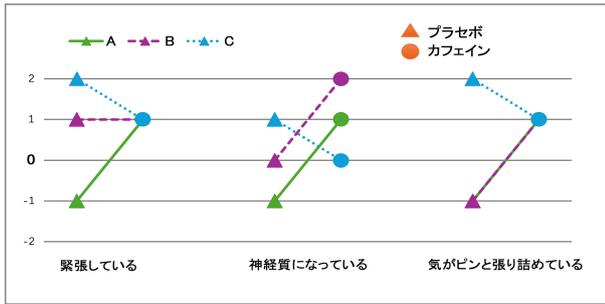


図 4: STAI-緊張

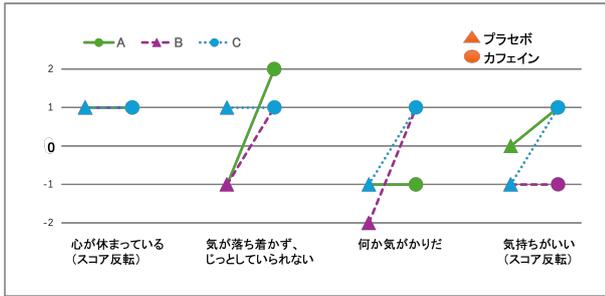


図 5: STAI-不安

摂取前（静坐 10 分後）と比較して全実験参加者で低下が見られた。一見するとカフェインにより心拍数が低下したように見えるが、これは静坐時間の延長による生理的な心拍低下の影響である可能性がある。SDNN の変化に着目すると、カフェイン摂取 30 分後には、静坐後と比較してすべての実験参加者で SDNN の明確な上昇が見られた。カフェイン摂取後の SDNN 上昇は、副交感神経活動の増加により参加者がリラックスしたことを示している可能性がある。

次に、ECG 波形ではカフェイン条件において P 波が静坐時よりもややギザギザした形状となる傾向が観察された。P 波分散の増大は交感神経の活性化と関連があるとされており、先行研究でも精神的緊張や不安状態における P 波形の変動が報告されている [8]。また、T 波についてもカフェイン条件では振幅が減少し、平坦化する傾向が確認された。T 波は精神的緊張や食後などの影響を受けやすい波形であり [9]、本実験の結果は交感神経活動の増加による反映したものと考えられる。ただし、これらの波形変化は 3 名の実験参加者のうち、参加者 B において顕著に認められたものであり、他の 2 名では明確な変化は観察されなかった。したがって、これらの所見は個人差の影響を受けている可能性があり、今後は被験者数を増やして傾向の一般化を検証する必要がある。

主観評価では、緊張の 3 項目のうち 2 名でスコア上昇が見られ、主観緊張感の増加傾向が確認された。さらに、不安感に関連する 4 項目についても、全員が少なくとも 2 項目でスコアの上昇を示し、減少は一例も確認されなかった。事後アンケートでも全員が「カフェイン条件の方が緊張感が強かった」と回答しており、カフェイン摂取によって主観的緊張および不安が高まる傾向があったことが示唆された。

以上をまとめると、カフェインは交感神経系を刺激し、心理的緊張感や不安感を高め、その結果として心電図において

も交感神経優位を示唆する変化が現れる可能性がある。しかし、本研究は予備的な検証であるため、今後は実験参加者数を増やし、統計的な分析などを行う必要がある。

5. 終わりに

本研究では、カフェイン摂取と VR 課題の組み合わせにより、過緊張状態を再現する手法の有効性を検討した。実験の結果、主観的な緊張・不安の増加に加え、P 波や T 波といった心電図波形の変化も観察され、交感神経の活性化を示唆する結果が得られた。これにより、カフェインによる内受容感覚刺激と VR 環境下で緊張しやすい文脈へ置くことの併用が、心理的および生理的に過緊張状態を喚起する可能性が示された。

今後は、この緊張喚起手法を実際のトレーニングに応用し、緊張耐性や本番環境への適応力の強化に繋がるかを評価していくことが課題となる。また、視覚・触覚など多感覚フィードバックを加えることで、より現実に近いストレス負荷の設計も可能になると考えられる。さらに、再現された緊張状態がパフォーマンス向上にどう寄与するかといった、トレーニング効果の検証も今後の重要なステップである。

参考文献

- [1] Baumeister, R. F., Choking under pressure: Self-consciousness and paradoxical effects of incentives on skillful performance, *J. Pers. Soc. Psychol.*, Vol. 46, No. 3, pp. 610–620, 1984.
- [2] 坂入 洋右, 心身の過緊張の調整に有効なカウンセリング技法, *バイオメカニズム学会誌*, Vol. 35, No. 3, pp. 181–185, 2011.
- [3] Kirschbaum, C., Pirke, K. M., Hellhammer, D. H., The 'Trier Social Stress Test'—a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting, *Neuropsychobiology*, Vol. 28, No. 1–2, pp. 76–81, 1993.
- [4] 寺澤 悠理 ほか, 内受容感覚と感情をつなぐ心理・神経メカニズム, *日本心理学評論*, Vol. 57, No. 1, pp. 49–66, 2014.
- [5] 種村 一識 ほか, コーヒー摂取が胃運動および自律神経活動に与える効果の検討, *日本栄養・食糧学会誌*, Vol. 65, No. 3, pp. 113–121, 2012.
- [6] Nehlig, A., Daval, J. L., Debry, G., Caffeine and the central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic and psychostimulant effects, *Brain Res. Rev.*, Vol. 17, No. 2, pp. 139–170, 1992.
- [7] 中里 克治 ほか, 新しい不安尺度 STAI 日本版の作成, *心身医学*, Vol. 22, No. 2, pp. 107–112, 1982.
- [8] Yavuzkir, M. ほか, P-Wave Dispersion in Panic Disorder, *Psychosom. Med.*, Vol. 69, No. 4, pp. 344–347, 2007.
- [9] 日本心臓財団, T 波の変化と健康状態に関する相談, <https://www.jhf.or.jp/check/opinion/2/2934s.html>, 2025 年 7 月 10 日アクセス.