

ダンスパフォーマンスにおける あがりに弱い人を支援するための動作・生体情報分析

土田 修平^{1,a)} 大西 鮎美^{1,b)} 向井 香瑛^{2,c)} 渡辺 謙^{2,d)} 渡邊 克巳^{2,e)} 寺田 努^{1,f)}
塚本 昌彦^{1,g)}

概要：本研究では、プレッシャーによって引き起こされる「あがり」に上手く対処できない人を対象としたあがり対処支援システムの構築を目指して、プレッシャーのかかる本番環境とプレッシャーのかからない練習環境におけるダンサーの動作・生体情報を分析する。分析を通してあがりを上手く対処できる人とそうでない人との違いを明らかにし、その違いを埋められるようなあがり対処支援手法について検討する。プレッシャーのかかる本番環境を構築するために、ダンスオーディションを企画し、その審査過程における参加者のさまざまな心身の状態を計測・分析する。調査の結果、あがりを上手く対処できない人はあがりを上手く対処できる人と比較して、身体動作が有意に小さい傾向が認められた。

1. 背景

プレッシャーのかかる本番において練習のようなパフォーマンスを発揮したい。これはスポーツやスピーチ、演技、演奏等、パフォーマンスをリアルタイムで行う全領域に遍く存在する願いである。しかしこれまで、プレッシャーがかかる状況（本番環境）とそうでない状況（練習環境）では、前者においてパフォーマンスが低下することが数多く報告されており [16, 17, 32]、本番において練習通りのパフォーマンスを発揮することは困難である。このように高いパフォーマンスを発揮しようと努力するにも関わらず、プレッシャーによってパフォーマンスが低下する現象は「あがり (choking under pressure)」と呼ばれる [1]。あがりによって、運動の不安定化 [33]、動作時間やタイミングの変化 [22] など、運動面における変化が多数報告されており、これら変化がパフォーマンスのクオリティを低下させている。そのため、プレッシャーのかかる本番環境において練習環境のようなパフォーマンスを発揮するには、あがりを適切に対処することが重要である。

あがりの対処法については、いくつか提案されている。

Hodge ら [10] は、ニュージーランドのラグビーナショナルチームであるオールブラックスでのあがりの対処法として、「プレッシャーのかかる練習を行うこと」、「自分自身をどのように準備するかを自立的に考えること」、「練習に家族を連れてくるなどの社会的支援」などが実施されていることを報告している。また Hill ら [9] は、エリートゴルファーと経験豊富なゴルフ指導者を対象としたインタビュー調査を通して、「課題設定（結果を目標にするのではなく）」、「認知の再構成」、「イメージ」、「プレッシャー下での練習」、「ショット前後のルーティン」があがりを予防する可能性のある介入方法として報告している。特にショット前後のルーティンといったプレパフォーマンスルーティン [15] やポストパフォーマンスルーティン [18] については効果が報告されている。一方で、個別化されたプレパフォーマンスルーティンの重要性が示されるように [19]、すべての人がプレパフォーマンスルーティン等のあがりの対処法による効果を楽しむわけではない。あがりを上手く対処できる人と対処できない人がおり、それぞれの特徴を考慮した上で、あがりを上手く対処できない人をサポートできるようなシステムの開発が必要である。また、システムの開発のためには、プレッシャーのかかる本番環境とプレッシャーのかからない練習環境においてあがりを上手く対処できる人とできない人の違いを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、あがり対処支援システムの構築を目指して、プレッシャーのかかる本番環境とプレッシャーのかからない練習環境におけるダンサーの動作・生体情報を分析する。具体的には、ダンスパフォーマンスを対象とし

¹ 神戸大学

² 早稲田大学

a) t.sway.tmpp@gmail.com

b) ohnishi@eedept.kobe-u.ac.jp

c) kaemukai@aoni.waseda.jp

d) ken.watanabe@aoni.waseda.jp

e) katz@waseda.jp

f) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

g) tuka@kobe-u.ac.jp

たオーディションを企画し、その審査過程における参加者のさまざまな心身の状態を取得・分析する。参加者にプレッシャーを与えるため、オーディションの参加者、審査員、インセンティブについて考慮してオーディションを設計した。実験で得られる知見に基づき、本番環境においてパフォーマンスを上手く発揮できる人とできない人の違いを調査し、違いに基づいたあがり対処支援手法について考察する。あがりの対処へ貢献する情報提示手法をいくつか考えることで、本番環境でも安定して高いパフォーマンスを発揮できるようになると予想している。

2. 関連研究

プレッシャーのかかるパフォーマンスの際に緊張や不安を感じる「あがり」に着目し、練習環境と本番環境における生理状態やパフォーマンスとの関係に着目した研究は多数みられる [17,32]。まずは、「あがり」に関する先行研究として、プレッシャー下で生じる生理面や運動面の変化について述べ、本研究で着目する点について議論する。そして、情報提示によりパフォーマンスを向上させる技術について紹介し、練習環境における状態を考慮した情報提示が本番環境でパフォーマンスを向上させる可能性について議論する。

2.1 あがりに関する研究

プレッシャー下で生じる生理面の変化として、心拍数の増加が挙げられる。フリースタイルスノーボードジャンプ競技会における練習時と本番時 [17]、ライフル射撃競技における射撃に要する時間が十分に長い場合と短い場合 [14] e スポーツ競技におけるコンピュータ対戦時とプレイヤー対戦時 [29]、ピアノコンクールにおけるリハーサル時とコンクール時 [32]、など競技スポーツや e スポーツ、芸術に至るまで幅広い分野において平常時とプレッシャー時との比較がされており、プレッシャー時には心拍数の増加が確認されている。その他、収縮期血圧や皮膚電気活動 (GSR) の増加 [20]、コルチゾール分泌量の増加 [21] などといった生理的覚醒の上昇を示す変化が報告されている。本研究では、本番環境においてプレッシャーがかかる環境を構築できているかを確認するため、運動活動量が大きいことや本番環境の計測時間が限られていることを考慮して、練習環境と本番環境の間での平均心拍数を比較する。

プレッシャー下で生じる運動面の変化については多数の報告がある。Yoshie ら [33] は、他者がタスク実施を観察している状況と観察していない状況において、観察下ではタスクにおける運動出力が不安定になることを確認している。また Beuter ら [2] によると、心理的ストレス条件下では、足首関節の動作が股関節や膝関節よりも不安定であった。さらに Higuchi [7] は、プレッシャー下における投擲時の腕と関節の協調性の変動が大きくなることを示している。そ

の他運動面への影響として、動作時間や動作タイミングへの影響もみられる。Tanaka ら [25] は、プレッシャー下でのゴルフパッティングの課題において、クラブの移動時間が減少し、ダウンスイング期の肘の加速度が増加することを確認した。また Higuchi ら [8] は、プレッシャー下における運動特性として運動開始の遅れ、運動の小振幅を報告している。さらに Gray [5] によると、野球のパッティング課題において、プレッシャーがかかるとバットのスイングタイミングが約 31ms ほど誤差が大きくなることを確認している。Sekiya ら [22] は、プレッシャー下での卓球フォアハンド課題中の参加者の運動学的変化を調べており、プレッシャー下では、バックスイングとフォワードスイングの長さが短くなった。またフォワードスイングの速度とボールスピードが有意に減少したという。

以上に挙げたように、プレッシャー下では運動が不安定になることや運動の時間やタイミングの変化が報告されており、結果として競技スコア等が低下すると考えられる。本研究では、本番環境で上手くパフォーマンスを発揮できる人とそうでない人の生理面及び運動面における特性を明らかにし、本番環境で普段通りのパフォーマンスを上手く発揮できない人をサポートする情報提示手法の議論に主眼を置いている。

2.2 パフォーマンスを向上させる情報提示技術

情報提示によりパフォーマンスを向上させる手法がいくつか提案されている。著者の先行研究 [26] として、ダンスをマスターした自分自身の映像を先に見ることで練習効果を高める手法を提案している。Futami ら [4] は、的に向けてダーツを投げる動作において、ユーザが成功を収めた時にのみ繰り返し提示する刺激を用いることで、ポジティブな精神状態を引き起こし、パフォーマンスを向上させるシステムを提案している。Tagami ら [24] は、パターゴルフに着目し、ユーザに対して、ボールがホールに入ったかどうかを違和感なくフィードバックするバーチャルゴルフシミュレータ「Routine++」を開発している。これら研究は、基本的にはパフォーマンスに臨むすべてのユーザを対象として作成された情報提示システムであり、特定のユーザ、ここではあがりによって本番環境で上手くパフォーマンスを発揮できないユーザ、を対象としたシステムではない。本研究では、あがりによって本番環境で上手くパフォーマンスを発揮できないユーザを対象に、本番環境でも練習環境と同等のパフォーマンスかそれ以上を引き出すための情報提示手法について議論する。

3. 実験

あがりに対して上手く対処できる人とできない人の違いを明らかにするために実験を行なった。参加者は、東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校の特設学

生 20 名（男性 4 名，女性 16 名）で，ダンスの経験ジャンルは Punking, Hiphop, R&B, Breakin, Hiphop, Girls, Girls Hiphop, Swag, New jack swing, Lock, Cheerleading, Jazz, House, Jazzfunk, Pop など多岐にわたる。なお本実験は，神戸大学大学院工学研究科人を直接の対象とする研究倫理審査委員会の承認（承認番号 03-36）を得て行ったものである。

3.1 実験条件

あがりに対して上手く対処できる人とできない人の違いを明らかにするためには，練習環境と本番環境におけるそれぞれのタイプの動作・生体情報が必要であり，普段の練習時とは異なるプレッシャーのかかる本番環境の構築が必要不可欠である。そこで本研究では，リハーサルを練習環境，審査を本番環境としたダンスオーディションを実施した。ダンスオーディションでは，2 名の審査員がダンサーの前方に座っており，参加者は 38 秒程度の振り付けを音楽に合わせて踊る。その後審査員による 5 分程度のインタビューを経て終了となる。ダンスオーディションは 28 名の応募があり，最終的に 6 名に絞られた。練習環境と本番環境の詳細について以下に述べる。

3.1.1 練習環境

練習環境にあたるリハーサルは，本番環境にあたる審査日の 3 日前に実施した。審査日に日程が近すぎる場合には参加者が緊張してしまう可能性があり，逆に審査日から日程が遠すぎる場合には振り付けの習熟度の差が結果に影響を与える可能性を考慮し，審査日の 3 日前実施とした。参加者が可能な限りリラックスした状態でダンスパフォーマンスに臨めるよう，審査員 2 名のうち 1 名は第一著者が，もう 1 名は東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校の専門学生が担当し，リハーサル日のダンスパフォーマンスが審査の結果には一切関係がないことを説明した。

3.1.2 本番環境

参加者に確実にプレッシャーをかけられるよう，審査員とオーディション通過により得られる特典に注意しながら本番環境を構築した。まず審査員として Akihic ☆彡氏 [6] 及び MPLUSPLUS 株式会社 CEO の藤本実氏 [3] にそれぞれ依頼した。Akihic ☆彡氏は，2020 年 8 月に発足した日本発のダンスのプロリーグである D.LEAGUE (D リーグ) において，もっともクリエイティブなディレクターを表彰する「MOST CREATIVE DIRECTOR」に選ばれている他，数々のコンテストにおいて優勝をおさめた経歴を持っている。そのため Akihic ☆彡氏の前でダンスパフォーマンスを見せることは，プレッシャーがかかると予想した。また，藤本実氏は EXILE をはじめとする国内有名アーティストのドームツアーや東京パラリンピック 2020 の閉会式等のステージで光の演出も手掛けられるなど，ライブエンタテインメント分野において幅広く活躍されている。プ

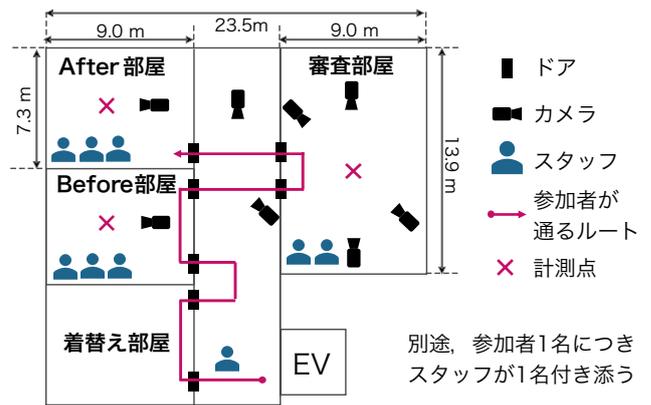


図 1 5F フロアマップ

ロフェッショナルなダンサーを志す専門学生にとっては，Akihic ☆彡氏と同様プレッシャーがかかりやすい状況を作り出せると想定した。

次にオーディション通過により得られる特典として，東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校の卒業・進級制作展「We are TSM!」^{*1}において特別枠で出演できる権利を用意した。特別枠でのダンスパフォーマンスには，Akihic ☆彡氏による振り付けが含まれている他，MPLUSPLUS 株式会社による光の演出が施される。また卒業・進級制作展には，ライブエンタテインメント等に関わる多数の演出家やプロデューサーが例年参加しており，専門学生にとってダンサーとしての実力をアピールできる機会となっている。そのためこの特別枠に出演できることは，将来の仕事に繋がる可能性もあり，プレッシャーがかかる特典として十分と考えられる。尚，オーディション選抜メンバーによるダンスパフォーマンスは YouTube にて公開されている^{*2}。

3.2 実施場所

本実験は，東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校に設置された 65m² のスタジオ三つと 125m² のリノリウム床材が敷かれたスタジオ一つを含む 5F フロアで実施した（図 1）。また受付用に 2F の更衣室を使用した。実験中，審査員及び計測スタッフ，参加者以外は 5F フロアに立ち入らないようにした。また，参加者同士が出会わず，かつ審査時の音が聞こえないよう参加者の審査スケジュールを調整した。その他，外から部屋の様子が見えないようすべての窓をロールカーテンで塞ぐなど，緊張に影響を与える要素を可能な限り排除した。

実験手順の詳細は 3.6 節で述べるが，ここでは部屋の役割を簡単に説明する。着替え部屋では衣装に着替え，心拍センサを装着してもらい，Before 部屋では，審査前の参加者の状態を計測する，審査部屋では，ダンスパフォーマンスの審査を実施し，After 部屋では審査後の参加者の状態を計測する。

^{*1} <https://www.tsm.ac.jp/weare2022/>

^{*2} <https://youtu.be/PUAu7-ikpsk>

表 1 センサの利用箇所

	部屋		
	Before	審査	After
心拍センサ H10	✓	✓	✓
体圧分布センサ SR ソフトビジョン	✓		✓
呼気ガス分析装置 VO2Master	✓		✓
深度センサ Azure Kinect DK		✓	
9 軸モーションセンサ TSND151		✓	
圧力センサ		✓	
ビデオカメラ	✓	✓	✓

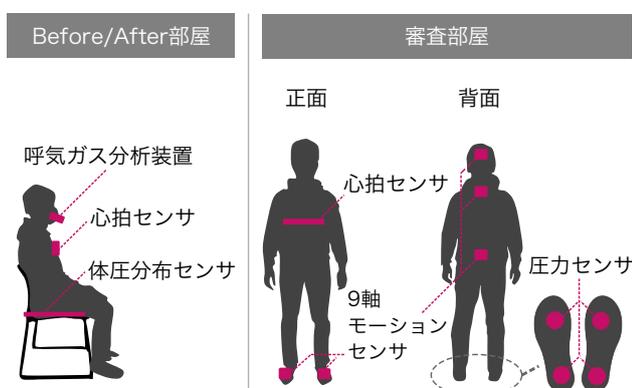


図 2 センサ装着位置

3.3 使用センサと装着位置

本実験では、あがりに対して上手く対処できる人とできない人の違いにするために、さまざまなセンサを用いて練習環境と本番環境における参加者の状態を計測した。主に心理状態の解析用として、Polar 社の心拍センサ「H10」、椅子に座っている際の座面にかかる圧力分布を計測できる住友理工社の体圧分布センサ「SR ソフトビジョン」、呼気に含まれる成分を分析可能な VO2 Master Health Sensors 社のウェアラブル呼気ガス分析装置「VO2Master」を用いた。また、主にダンス動作解析用として、3次元骨格情報を取得可能な Microsoft 社の深度センサ「Azure Kinect DK」、加速度・角速度等を計測できる ATR-Promotions 社の 9 軸モーションセンサ「TSND151」、足圧が測定可能なニッタ社製フレキシフォースセンサ (圧力センサ)、ビデオカメラ (HC-W850M-W, HDR-XC470, HC-VX992M, FDR-AX45) 8 台を用いた。部屋ごとに使用したセンサを表 1 に示す。各部屋において使用したセンサにチェックマークが記されている。

次に、センサの装着位置を図 2 に示す。9 軸モーションセンサは頭、首、腰、右足、左足の 5 点に装着した。事前にプロフェッショナルなダンサー 2 名 (男性 1 名、女性 1 名) に、Before 部屋、審査部屋、After 部屋のそれぞれの

部屋でのセンサ計測を体験させ、複数のセンサを装着した状態で踊ってもらい、最後にインタビューを通してダンスオーディションでのダンスパフォーマンスに影響がないかを確認した。頂いたコメントを基に、ダンスパフォーマンスに影響のない範囲でセンサの装着位置を決定した。また装着に関連して、ダンサー 2 名から衣装を制限されたくないとのコメントがあったために、参加者の衣装は制限しないこととした。

3.4 課題振り付け

参加者は振り付け (図 3 を参照) を一つ習得して、ダンスオーディションに臨む。振り付けの長さは約 38 秒で、Akihic ☆彡氏によって作成されており、比較的難易度の高い振り付けである。使用した楽曲 (112BPM) の長さは約 42 秒で、楽曲開始後 4 秒頃から振り付けが始まる。

3.5 実験行程

実験全体の流れを図 4 に示す。2021 年 10 月 6 日に東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校の特待生に対してオーディション及び実験の募集を周知した。総勢 28 名の応募があり、そこから MPLUSPLUS 社のプロダンサーによる事前審査によって 20 名の参加者に絞られた。参加者 20 名のオーディション審査を 1 日で実施することは場所確保や審査員拘束時間の関係から難しかったため、1 グループあたり 10 名の 2 グループに分けた。一つ目のグループは、10 月 30 日にリハーサル (練習環境)、11 月 2 日に審査 (本番環境) を実施した。二つ目のグループは、11 月 3 日にリハーサル、11 月 6 日に審査を実施した。

3.6 実験手順

リハーサル (練習環境) 及び審査 (本番環境) での実験手順を図 5 に示す。参加者はまず 2F フロアに設置された受付で、全体の流れと計測内容に関する説明を受ける。その内容に問題が無ければ、実験参加および計測内容の利用に関する同意書に署名を行う。その後、個人の特性に関するアンケートと、当日のパフォーマンスに対する緊張度と自信の度合いを回答してもらった。これらが終了後、前参加者と計測が重複しないように必要に応じて時間調整を行い、5F フロアへの案内を行った。

5F フロアに到着後、参加者は心拍センサの装着方法について計測スタッフから説明を受ける。その後、着替え部屋に入り、心拍センサを自身で装着し、衣装に着替える。部屋を出てすぐに心拍センサから心拍データ記録用スマートフォンにデータが正常に送られているかを計測スタッフが確認し、心拍データの計測を開始する。計測開始後、参加者は Before 部屋に入り、体圧分布センサが設置された椅子に座って、呼気ガス分析装置及び 9 軸モーションセンサおよび圧力センサ付きシューズを装着する。その後、「手を膝



図 3 課題振り付けの抜粋



図 4 実験行程

部屋	タイムスケジュール
2F	受付 15 min アンケート
	10 min アンケート
5F	着替え 5 min 着替え・心拍センサ装着
	Before 20 min センサ装着・安静
	計測 審査 10 min パフォーマンス披露・インタビュー
	After 15 min 安静・センサ取り外し

図 5 実験手順

の上に置いて5分間静かに座ってください」という指示を受け、5分間座位安静状態で各種センサで計測される。尚、参加者が座っている間、計測スタッフは参加者の視界に入らないようにし、物音も立てないよう注意を払った。5分間の安静後、呼気ガス分析装置を外し Before 部屋を出て、審査部屋前に設置されたビデオカメラの前で、カメラを見つめながら10秒間静止する。その後、審査部屋に入室し、9軸モーションセンサの計測を開始され、審査員の指示を受ける。参加者は自身の名前を伝え、複数のセンサデータの同期をとる目的で3回その場でジャンプする。ジャンプ終了後、楽曲が流れ始め、参加者は楽曲に合わせてダンスパフォーマンスを披露する。ダンスパフォーマンス終了後は椅子に座り、5分間の審査員によるインタビューを受ける。尚、練習環境であるリハーサルでは、審査員役の計測スタッフが当日の流れを簡単に伝えた後、参加者に座位安静の状態でもらった。インタビュー終了後、審査部屋から After 部屋に移動し、Before 部屋と同様に体圧分布センサが設置された椅子に座って、呼気ガス分析装置を装着する。その後、Before 部屋と同様の指示を受け、5分間座位安静の状態でもらった。計測終了後、すべてのセンサを外し、After 部屋を出て受付に移動する。

最後に受付にてアンケートを回答し、実験終了となる。実験開始から終了まで一人当たり約40分程度かかる。

3.7 パフォーマンススコア

参加者のダンスパフォーマンスのクオリティを評価するために、ダンス経験のあるダンサー3名に評価を依頼した。ここでの評価値をパフォーマンススコアと呼ぶ。評価を依頼したダンサーは、いずれもダンス歴は10年以上で、国外・国内の主要大会での優勝・入賞経験がある。また、ダンスインストラクターとしてダンス指導を行ったり、ワークショップを開催したりするなどダンスの指導経験ももつ。

ダンスパフォーマンスの評価は、オンライン実験ツール Gorilla Experiment Builder^{*3}を用いて行われ、評価者は40本のダンス動画(20名×2日程[練習・本番])を視聴したのち、ダンスパフォーマンスの出来栄について10段階で評価した。順序効果を考慮し、ダンス動画40本の呈示順序は、個人間・環境間共にランダム化された。

プレッシャーがかかっていない練習環境に比べてプレッシャーがかかっている本番環境でパフォーマンススコアが下がった場合、これは「あがり」による影響である可能性が高い。本論文では、本番環境でのパフォーマンススコアの低下はあがりによる影響と捉えて議論を進める。得られたパフォーマンススコアを基に、本番環境のパフォーマンススコアが練習環境より向上した参加者をあがり強い人(good グループ)とし、本番環境のパフォーマンススコアが練習環境より維持、もしくは低下した参加者をあがり弱い人(bad グループ)として2グループに分ける。

3.8 データ解析

本研究では取得したデータのうち、以下の点に着目して分析を進めた。

3.8.1 生理データ

練習環境と本番環境における緊張度合いを客観的に評価するために、審査前(Before)および審査後(After)における生理状態計測を行った。この際、運動による生理状態への影響を排除するために、座位安静状態での計測を行った。計測により得られた心電図波形から心拍数を算出する

*3 <https://gorilla.sc/>

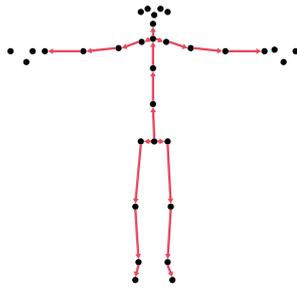


図 6 深度センサで取得できる骨格情報（黒丸）と使用したベクトル（赤矢印）

ため、以下の解析を行った。

まず、心電図波形に $5 - 20Hz$ のバンドパスフィルタを適用した後、体動ノイズを目視で取り除き、R波検出を行った。それによって得られたR波から、RR間隔 (sec) を計算し、 $60/RR$ 間隔に変換することで、心拍数 (BPM: beats per minute) を算出した。そして、5分間の安静状態における心拍数の平均を求め、平均心拍数 (BPM) とした。

3.8.2 動作データ

練習環境と本番環境における動作の違いを明らかにするために、深度センサで得られた骨格情報を次のように解析した。まず、審査時に参加者が実施したジャンプにおける着地の瞬間でビデオカメラ映像と骨格情報との同期を図り、各参加者の骨格情報の時刻を揃えた。そして、審査時に撮影した動画に含まれている音声と使用した楽曲との相互相関数を求め、最も値が高くなる箇所を振り付け開始時間とし、そこから楽曲の長さである42秒間分のデータを切り取った。次に、参加者の体格差を考慮し、深度センサにより取得された32の特徴点（3次元の x, y, z 座標）より、腰を起点に頭、手首、つま先まで連なる20本の骨格をベクトルに見立て、それぞれ単位ベクトルに変換した（図6）。1フレームあたり60次元の単位ベクトルをすべてのフレームにおいて算出する。そして、各フレーム間の単位ベクトルの距離をすべて算出し、その平均値をフレーム間変化量の平均値とし、すべての参加者の練習環境と本番環境においてその平均値を算出した。

9軸モーションセンサで得られた加速度データを次のように分析した。まず、審査時に参加者が実施したジャンプにおける着地の瞬間でビデオカメラ映像と加速度データと同じ Timestamp を使用している足圧データとの同期を図ることで、各参加者の加速度データの時刻を揃えた。尚、装着した5つの9軸モーションセンサにおいても、同じ Timestamp を使用してソフトウェア上で記録しているため、時刻は同期済みである。そして、深度センサと同様に、楽曲開始タイミングから楽曲の長さ分のデータを切り出した。次に、5つの9軸モーションセンサにおいて、それぞれ1サンプルあたりの加速度の3軸合成値を算出し、それらの平均値を算出する。これをすべてのサンプルに対して

Before/After 部屋の様子



審査部屋の様子



図 7 計測及び審査中の様子

算出し、算出したデータの分散値を求めた、この分散値をすべての参加者において算出し、加速データの3軸合成値の分散値とした。

また、動作のタイミングについて調査するため、練習環境で得られた加速度データと本番環境で得られた加速度データを、4000msecのウィンドウで1サンプルずつずらしながら相互相関関数を求める。算出された相互相関関数（動作タイミングのずれ）の分散値を求めた。

3.8.3 アンケート

実験前のアンケートでは、緊張度と自信について、Visual analog scale (以下、VAS) を用いて回答してもらった。また、実験後のアンケートでは、パフォーマンスの出来と緊張度、自信度についてVASを用いて回答してもらった。上述した解答項目に加えて、実験後のアンケートではダンスパフォーマンスについて自由記述での回答を求めた。実験前と実験後のアンケートの内容は、練習と本番で同じであった。

4. 結果

実験の様子を図7に示す。図7左はBefore/After部屋などでの座位安静状態の様子で、右は審査においてダンスパフォーマンスを披露している様子を示している。

4.1 パフォーマンスの評価結果

ダンスパフォーマンスの評価結果を表2に示す。パフォーマンススコアを基に、本番環境のパフォーマンススコアが練習環境より向上した参加者6名（あがり強い人）を「good」グループ、本番環境のパフォーマンススコアが練習環境より維持、もしくは低下した参加者14名（あがり弱い人）を「bad」グループとして2グループに分けた。尚、評価者間のパフォーマンススコアの相関係数を算出したところ、それぞれ0.78, 0.61, 0.67であった。

4.2 生理データの分析結果

練習環境と本番環境におけるBefore部屋における平均心拍数の結果を図8に示す。今回、パフォーマンス前の心理状

表 2 各参加者のパフォーマンススコア

ID	練習環境				本番環境			
	評価者 1	評価者 2	評価者 3	平均値	評価者 1	評価者 2	評価者 3	平均値
1	6	6	9	7.00	9	6	8	7.67
2	7	6	6	6.33	7	6	3	5.33
3	8	6	9	7.67	9	8	7	8.00
4	7	5	5	5.67	5	4	6	5.00
5	9	6	7	7.33	9	7	9	8.33
6	5	3	3	3.67	7	2	5	4.67
7	4	2	3	3.00	4	2	3	3.00
8	4	3	3	3.33	6	4	5	5.00
9	7	3	3	4.33	6	3	5	4.67
10	6	4	3	4.33	8	4	4	5.33
11	4	3	4	3.67	5	3	3	3.67
12	5	2	6	4.33	6	3	6	5.00
13	4	2	3	3.00	5	3	4	4.00
14	8	5	6	6.33	8	6	8	7.33
15	3	1	2	2.00	7	3	2	4.00
16	5	4	6	5.00	7	4	8	6.33
17	6	4	4	4.67	7	5	4	5.33
18	6	4	7	5.67	7	4	7	6.00
19	7	5	7	6.33	7	5	7	6.33
20	8	4	6	6.00	7	4	7	6.00

(注) 練習環境から本番環境にかけてパフォーマンススコアが上昇した good グループは灰色のセルで示している。

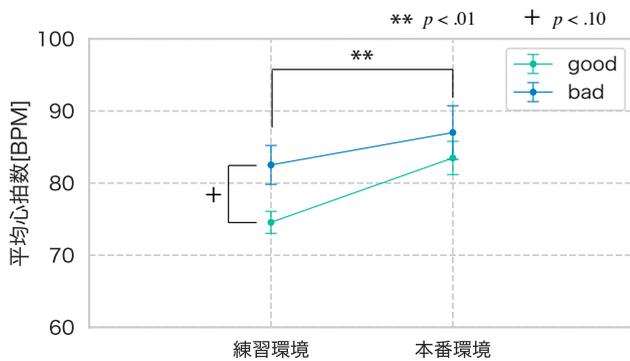


図 8 Before 部屋における平均心拍数

態を評価するため、運動の影響が小さい Before 部屋における計測結果に着目した。good グループでは、練習環境における平均心拍数は $74.6 \text{ BPM} (SE 1.5)$ 、本番環境における平均心拍数は $83.5 \text{ BPM} (SE 2.3)$ であった。bad グループでは、練習環境における平均心拍数は $82.5 \text{ BPM} (SE 2.7)$ 、本番環境における平均心拍数は $87.0 \text{ BPM} (SE 3.7)$ であった。実験環境（練習環境、本番環境）と参加者グループ（good, bad）を要因とする 2 要因混合計画の分散分析を行った結果、参加者グループ間の差において有意傾向が認められた ($F(1, 18) = 3.75, p < 0.10$)。また実験環境間においては有意差が認められた ($F(1, 18) = 9.83, p < 0.01$)。

4.3 動作データの分析結果

深度センサのフレーム間変化量の平均値を図 9 に示す。good グループでは、練習環境において平均 $0.118 (SE 0.003)$ 、本番環境において平均 $0.120 (SE 0.004)$ であった。bad グループでは、練習環境において平均 $0.107 (SE 0.005)$ 、本番環境において平均 $0.108 (SE 0.005)$ であった。実験環境（練習環境、本番環境）と参加者グループ（good, bad）を要因とする 2 要因混合計画の分散分析

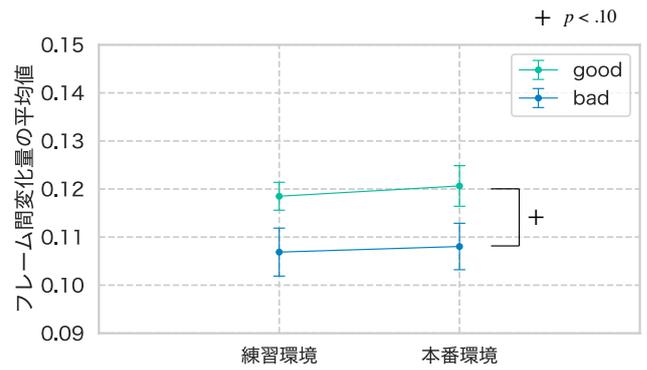


図 9 深度センサのフレーム間変化量の平均値

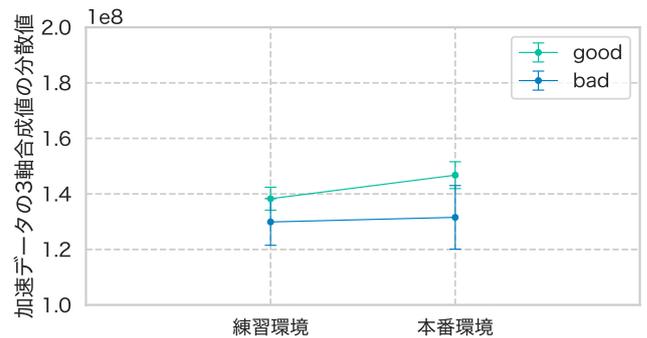


図 10 加速度データの 3 軸合成値の分散値

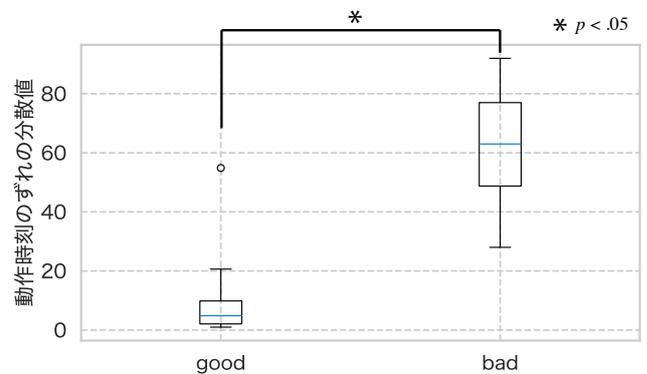


図 11 動作タイミングずれの分散値（動作のばらつき）

を行った結果、参加者グループ間の差において有意な傾向が認められた ($F(1, 18) = 3.83, p < 0.10$)。尚、実験環境間においては有意差は認められなかった。

加速度データの 3 軸合成値の分散値を図 10 に示す。練習環境において平均 $1.38 \times 10^8 (SE 4.14 \times 10^6)$ 、本番環境において平均 $1.47 \times 10^8 (SE 4.83 \times 10^6)$ であった。bad グループでは、練習環境において平均 $1.30 \times 10^8 (SE 8.40 \times 10^6)$ 、本番環境において平均 $1.32 \times 10^8 (SE 1.14 \times 10^7)$ であった。実験環境（練習環境、本番環境）と参加者グループ（good, bad）を要因とする 2 要因混合計画の分散分析を行った結果、どちらの要因においても有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。

動作タイミングのずれの分散値を図 11 に示す。good グ

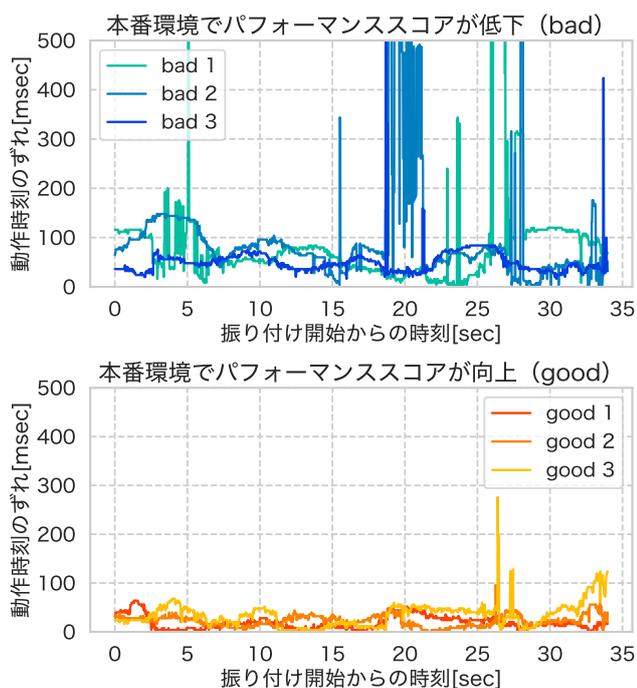


図 12 good/bad グループにおける動作タイミングのずれ (3 名ずつ)

グループでは、平均 10.1(SE 4.39) のずれが見られた。bad グループでは、平均 57.4(SE 23.00) のずれが見られた。マン・ホイットニーの U 検定の結果、参加者グループ間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、good/bad グループにおける動作タイミングのずれについて、各グループから 3 名ずつピックアップし、それぞれの動作タイミングのずれを折線グラフで図 12 に示す。

4.4 アンケートの結果

実験前アンケートの緊張度の平均スコアは練習 4.65(SE 0.50)、本番 5.83(SE 0.39)であった。また、自信の平均スコアは練習 5.06(SE 0.39)、本番 5.37(SE 2.66)であった。実験後アンケートの出来の平均スコアは練習 4.65(SE 0.37)、本番 5.48(SE 0.44)であった。緊張度の平均スコアは練習 3.81(SE 0.44)、本番 5.36(SE 0.47)であった。また、自信の平均スコアは練習 4.18(SE 0.40)、本番 5.41(SE 0.35)であった。

実験前アンケートの各スコアに関して対応ありの t 検定を行った結果、緊張度に関して有意な差 ($t(19) = 2.87, p < 0.05$) が認められた。実験後アンケートの各スコアに関して対応ありの t 検定を行った結果、緊張度および自信に関して有意な差が認められた (緊張度 $t(19) = 2.89$, 自信 $t(19) = 2.98, ps < 0.05$)。出来については、練習と本番の差は有意傾向であった ($t(19) = 1.78, p < 0.1$)。

5. 議論

5.1 あがり対処支援手法の検討

実験結果より、練習環境と本番環境間で平均心拍数及び

緊張に関するアンケート回答についてそれぞれ有意な差が見られた。またこれに関連して、動作のばらつきについて見ると、bad グループの方が good グループよりも有意に大きいことがわかる (図 11 参照)。これはあがりの影響として報告されている動作タイミングの変化 [5, 8, 22, 25] と一致している。以上、平均心拍数やアンケート回答、動作のばらつきの結果から、プレッシャーを十分与えられる本番環境を設定できたといえる。

次に、深度センサのフレーム間変化量の平均値を見ると、本番環境においてパフォーマンスの向上が見られた good グループの方が bad グループよりも有意に大きい傾向が見られた。練習時に大きく動作するよう促すことは、あがりの対処・予防に効果的に働く可能性、すなわち、本番環境でのダンスパフォーマンスの成功を高める可能性がある。したがって、練習時には普段より大きく身体を動かすよう促すシステムの開発が効果的な可能性がある。たとえば、練習時の「見本」を変化させて提示する手法が考えられる。第一著者の先行研究 [26] において、見本となる振り付けをマスターしている自身の映像を自動生成して先に見せることで振り付けの習得を促す手法を提案しているが、大きく動作を行なっている自分自身の映像をリアルタイムに見せることで、ユーザの動作が自身の見本映像に引っ張られて大きな動作に変化する可能性がある。また「見本」の提示に関連して、Wu ら [31] が提案する「FuturePose」のように、運動の少し先を見せることは、身体が軽い・調子が良いといった感覚を与えられることを Kasahara ら [11] が報告しており、これらが身体動作に影響を与える可能性もある。さらに、Kilteni ら [12] は VR 環境下における自身のアバターを黒人でアフロでノリの良さそうな男性に変化させることで、ドラムを叩く動作がダイナミックになることを報告している。アバターの見た目を変えることで、身体動作を大きくさせられるかもしれない。その他、バスドラムの音圧レベルのコントロール [28] や外界への身体情報のリアルタイムプロジェクション [27]、バクシオン場の活用 [34] などを活用することで、身体動作を大きく動かすことも可能かもしれない。上記に挙げた技術を組み合わせることで、身体動作を大きく動かすよう促進できる可能性がある。

その他、平均心拍数について見ると、good グループの方が bad グループよりも有意に低い傾向が見られた (図 8 参照)。練習時の平均心拍数を下げることで、本番環境でのダンスパフォーマンスの成功を高める可能性があることを示している。たとえば、中村ら [36] によると、虚偽情報の提示によりユーザの心拍値を制御できることを示しており、虚偽情報を用いることで練習時の心拍数を下げられる。あがりを対処・予防するという観点では、このような技術の活用も考慮すべきであろう。

5.2 ダンスにおけるプレッシャー

ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 研究において、ダンスに対してコンピューショナルな支援をデザインすることは、文化的、経験的、身体的特徴を取り入れた新しい研究分野として近年注目を集めている [35]. HCI 分野の 20 年間のダンスに関連する論文をレビューした報告 [35] によれば、今後の研究の方向性として動きだけでなく生体信号も捉えて動き (外面) とダンサーの内面を同時に解析していくマルチモーダルなアプローチ「Reading body」とより豊かな多感覚体験を提供する可能性を探るアプローチ「Writing body」を提案している. ダンスパフォーマンスにおいてプレッシャーに対処するシステムの検討は、Reading body から Writing body に跨る重要なタスクといえる. そのため 5.1 節で述べた、あがりにより上手く対処できない人をサポートする手法の検討は、HCI 研究分野に貢献できる価値ある知見と考えている.

創造的な観点では、敢えてプレッシャーをかけてダンサーの表現力を引き出す手法も考えられる. プレッシャーをコントロールできることは、単にあがりを対処するだけでなく、あがりの影響を受けた身体表現もコントロール可能とも考えられるため、これらは身体表現の拡張につながると予想する. また、動作・生体情報からプレッシャーを予測し、その先のパフォーマンスを推測することで、低下したパフォーマンスのクオリティを補助するようなシステムも作成可能かもしれない. たとえば、プレッシャーによりパフォーマンスのクオリティが低下したとしても、外骨格ロボット [13] や移動ロボットなどを用いて見た目の動きを調和させることで、見た目としてのパフォーマンスのクオリティを維持もしくは強化できる技術も創出可能と予想する.

5.3 本番環境の設定について

Williams ら [30] によると、実際の競技スポーツ場面などの本番で生じる「あがり」は高強度のプレッシャー負荷状態であり、多様で複雑な要因が混在した現象であると考えられており、実験室内で実際の本番で生じる「あがり」現象を正確に再現することは困難であることが指摘されている. 今回、実際のダンスオーディションにおいて実験を通して得た知見は価値があるものの、得られた知見が実際の舞台パフォーマンスや他のスポーツ場面においても適用可能かは不明である. また、Shikanai ら [23] によれば、観客がいることで、ダンサーのポジティブな感情やネガティブな感情が高まり、身体の動きのスピードや加速度も増す、という報告があり、あがりに対処することで表現としてのパフォーマンスを損なう可能性もあり、観客がいる状態での調査も必要であると考えている.

6. まとめ

本研究では、プレッシャーによって引き起こされる「あがり」により上手く対処できる人とできない人の違いを明らかにするために、ダンスオーディションの審査過程における参加者のさまざまな心身の状態を取得・分析した. 分析の結果、あがりにより上手く対処できない人は練習環境における身体動作があがりにより上手く対処できる人と比較して有意に小さい傾向が認められた. また、調査結果に基づき、あがりに対処する支援手法の可能性について検討した. 今後は、あがりに対処する支援手法の更なる発展を見込んで、本実験で得られたデータを整理し、データベースとしての公開を目指す.

謝辞 本研究の一部は、JST CREST (JPMJCR16E1, JPMJCR18A3) の支援によるものである. ここに記して謝意を表す. また、実験に協力頂いた Akihico ☆多氏、東京スクールオブミュージック&ダンス専門学校の皆様、MPLUSPLUS 株式会社の皆様、早稲田大学渡邊研究室の皆様へ深謝の意を表す.

参考文献

- [1] Baumeister, R. F.: Choking Under Pressure: Self-Consciousness and Paradoxical Effects of Incentives on Skillful Performance, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 6, No. 3, pp. 610–620 (1984).
- [2] Beuter, A., Duda, J. L. and Widule, C. J.: The Effect of Arousal on Joint Kinematics and Kinetics in Children, *Journal of Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 60, No. 2, pp. 109–116 (1989).
- [3] FUJIMOTO, M.: MINORU FUJIMOTO, <http://www.minorufujimoto.com/>, Accessed on Oct. 11, 2022.
- [4] Futami, K., Terada, T. and Tsukamoto, M.: Success Imprinter: A Method for Controlling Mental Preparedness Using Psychological Conditioned Information, *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016, AH '16*, pp. 1–8 (2016).
- [5] Gray, R.: Attending to the Execution of a Complex Sensorimotor Skill: Expertise Differences, Choking, and Slumps, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 10, No. 1, pp. 42–54 (2004).
- [6] Hashimoto, A.: akihico ☆多, https://danceworks.jp/instructor/profile/akihico_12/, Accessed on Oct. 11, 2022.
- [7] Higuchi, T.: Disruption of Kinematic Coordination in Throwing Under Stress, *Japanese Psychological Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 168–177 (2000).
- [8] Higuchi, T., Imanaka, K. and Hatayama, T.: Freezing Degrees of Freedom Under Stress: Kinematic Evidence of Constrained Movement Strategies, *Journal of Human Movement Science*, Vol. 21, No. 5, pp. 831–846 (2002).
- [9] Hill, D. M., Hanton, S., Matthews, N. and Fleming, S.: A Qualitative Exploration of Choking in Elite Golf, *Journal of Clinical Sport Psychology*, Vol. 4, No. 3, pp. 221–240 (2010).
- [10] Hodge, K. and Smith, W.: Public Expectation, Pressure, and Avoiding the Choke: A Case Study from Elite Sport, *Journal of The Sport Psychologist*, Vol. 28, No. 4, pp.

- 375–389 (2014).
- [11] Kasahara, S., Konno, K., Owaki, R., Nishi, T., Takeshita, A., Ito, T., Kasuga, S. and Ushiba, J.: Malleable Embodiment: Changing Sense of Embodiment by Spatial-Temporal Deformation of Virtual Human Body, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '17*, pp. 6438–6448 (2017).
 - [12] Kilteni, K., Bergstrom, I. and Slater, M.: Drumming in Immersive Virtual Reality: The Body Shapes The Way We Play, *Proceedings of the 2013 IEEE Virtual Reality, VR '13*, pp. 1–1 (2013).
 - [13] Ladenheim, K., McNish, R., Rizvi, W. and LaViers, A.: Live Dance Performance Investigating the Feminine Cyborg Metaphor with a Motion-Activated Wearable Robot, *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '20*, p. 243–251 (2020).
 - [14] Landers, D. M., Qi, W. M. and Courtet, P.: Peripheral Narrowing among Experienced and Inexperienced Rifle Shooters under Low- and High-Stress Conditions, *Journal of Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 56, No. 2, pp. 122–130 (1985).
 - [15] Lautenbach, F., Laborde, S., Mesagno, C., Lobinger, B. H., Achtzehn, S. and Arimond, F.: Nonautomated Pre-Performance Routine in Tennis: An Intervention Study, *Journal of Applied Sport Psychology*, Vol. 27, No. 2, pp. 123–131 (2015).
 - [16] Lewis, B. P. and Linder, D. E.: Thinking about Choking? Attentional Processes and Paradoxical Performance, *Journal of Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 23, No. 9, pp. 937–944 (1997).
 - [17] Matsumura, S., Watanabe, K., Saijo, N., Ooishi, Y., Kimura, T. and Kashino, M.: Positive Relationship Between Precompetitive Sympathetic Predominance and Competitive Performance in Elite Extreme Sports Athletes, *Frontiers in Sports and Active Living*, Vol. 3 (2021).
 - [18] Mesagno, C., Hill, D. M. and Larkin, P.: Examining the accuracy and in-game performance effects between pre- and post-performance routines: A mixed methods study, *Journal of Psychology of Sport and Exercise*, Vol. 19, pp. 85–94 (2015).
 - [19] Mesagno, C., Marchant, D. and Morris, T.: A Pre-Performance Routine to Alleviate Choking in “Choking-Susceptible” Athletes, *Journal of The Sport Psychologist*, Vol. 22, No. 4, pp. 439–457 (2008).
 - [20] Noteboom, J. T., Barnholt, K. R. and Enoka, R. M.: Activation of the Arousal Response and Impairment of Performance Increase with Anxiety and Stressor Intensity, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 91, No. 5, pp. 2093–2101 (2001).
 - [21] Salvador, A., Suay, F., González-Bono, E. and Serrano, M.: Anticipatory Cortisol, Testosterone and Psychological Responses to Judo Competition in Young Men, *Journal of Psychoneuroendocrinology*, Vol. 28, No. 3, pp. 364–375 (2003).
 - [22] Sekiya, H. and Tanaka, Y.: Movement Modifications Related to Psychological Pressure in a Table Tennis Forehand Task, *Journal of Perceptual and Motor Skills*, Vol. 126, No. 1, pp. 143–156 (2019).
 - [23] Shikanai, N. and Hachimura, K.: Analysis of Interpersonal Effects in Dance Performance, *Proceedings of the 2017 International Conference on Culture and Computing, Culture and Computing '17*, pp. 67–68 (2017).
 - [24] Tagami, S., Yoshida, S., Ogawa, N., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Routine++: Implementing Pre-Performance Routine in a Short Time with an Artificial Success Simulator, *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference, AH '17*, pp. 1–9 (2017).
 - [25] Tanaka, Y. and Sekiya, H.: The Influence of Monetary Reward and Punishment on Psychological, Physiological, Behavioral and Performance Aspects of A Golf Putting Task, *Journal of Human Movement Science*, Vol. 30, No. 6, pp. 1115–1128 (2011).
 - [26] Tsuchida, S., Mao, H., Okamoto, H., Suzuki, Y., Kanada, R., Hori, T., Terada, T. and Tsukamoto, M.: Dance Practice System That Shows What You Would Look Like If You Could Master the Dance, *Proceedings of the 8th International Conference on Movement and Computing, MOCO '22*, pp. 1–8 (2022).
 - [27] Turmo Vidal, L., Zhu, H. and Riego-Delgado, A.: Body-Lights: Open-Ended Augmented Feedback to Support Training Towards a Correct Exercise Execution, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20*, pp. 1–14 (2020).
 - [28] Van Dyck, E., Moelants, D., Demey, M., Deweppe, A., Coussement, P. and Leman, M.: The Impact of the Bass Drum on Human Dance Movement, *Journal of Music Perception*, Vol. 30, No. 4, pp. 349–359 (2013).
 - [29] Watanabe, K., Saijo, N., Minami, S. and Kashino, M.: The Effects of Competitive and Interactive Play on Physiological State in Professional Esports Players, *Heliyon*, Vol. 7, No. 4, p. e06844 (2021).
 - [30] Williams, A., Vickers, J. and Rodrigues, S.: The Effects of Anxiety on Visual Search, Movement Kinematics, and Performance in Table Tennis: A Test of Eysenck and Calvo’s Processing Efficiency Theory, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, Vol. 23, pp. 438–455 (2001).
 - [31] Wu, E. and Koike, H.: FuturePose - Mixed Reality Martial Arts Training Using Real-Time 3D Human Pose Forecasting With a RGB Camera, *Proceedings of the 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, WACV '19*, pp. 1384–1392 (2019).
 - [32] Yoshie, M., Kudo, K., Murakoshi, T. and Ohtsuki, T.: Music Performance Anxiety in Skilled Pianists: Effects of Social-Evaluative Performance Situation on Subjective, Autonomic, and Electromyographic Reactions, *Journal of Experimental Brain Research*, Vol. 199, No. 2, p. 117 (2009).
 - [33] Yoshie, M., Nagai, Y., Critchley, H. D. and Harrison, N. A.: Why I Tense Up When You Watch Me: Inferior Parietal Cortex Mediates an Audience’s Influence on Motor Performance, *Journal of Scientific Reports*, Vol. 6, No. 1, p. 19305 (2016).
 - [34] Yoshikawa, H., Hachisu, T., Fukushima, S., Furukawa, M., Kajimoto, H. and Nojima, T.: Studies of Vection Field II: A Method for Generating Smooth Motion Pattern, *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '12*, p. 705–708 (2012).
 - [35] Zhou, Q., Chua, C. C., Knibbe, J., Goncalves, J. and Velloso, E.: Dance and Choreography in HCI: A Two-Decade Retrospective, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '21* (2021).
 - [36] 中村憲史, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: 虚偽情報フィードバックを用いた生体情報の制御手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 4, pp. 1433–1441 (2013).