

ダンスステップ学習における分離学習の適用

土田 修平^{1,a)} 寺田 努^{1,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要：スポーツ等の学習において、情報提示を受けつつ身体を動かしながら学ぶ学習支援手法がこれまで数多く提案されてきた。我々の研究グループでは逆に、身体を動かさずに情報提示を受けることに集中するフェーズと動作を実施するフェーズの二つに分割して学習を進める「分離学習」という学習方法を提案している。先行研究では、指先を用いた打楽器のリズム学習においてこの分離学習が有効であることを確認した。しかし、身体全体を使った動作にもこの分離学習が適用可能か、また動作の習得難易度によって分離学習の有効性が変化するかについてはこれまで検討してこなかった。そこで本稿では、身体全体を使ったダンスステップの習得のための情報提示システムを構築し、ダンスステップの習得においても分離学習が適用可能か、また動作の習得難易度によって分離学習の有効性に影響を及ぼすかについて評価した。実験の結果、ダンスステップの学習時に身体を動かさなかったとしても、身体を動かしながら行う学習との間に練習効果の差は生じなかった。

1. 背景

運動学習において重要な過程であるフィードバックには、運動の結果として固有受容感覚から得られる内在的フィードバックと外部から人工的に与えられる外在的フィードバックがある [1]。内在的フィードバックへの注意と学習効果への影響を示す研究 [2,3] から、実際に身体を動かすことで得られる内在的フィードバックは、学習の効率を高めるための重要な要素といえる。また、身体を動かさずに動いている自分を思い描くことでスポーツなど身体動作を伴う技能を習得・向上させるイメージトレーニング [4,5] がある。初学者は専門家に比べてイメージトレーニングの効果を得にくいことが報告されており [6,7]、初学者は身体を動かしながら練習した方が効率的である。このように、動作技能の習得の際には身体を動かしながら学ぶ練習方法が良いとされる研究報告が見られる。

身体動作を伴う技能の習得を支援する手法として、身体動作と同時に、映像、音声や振動などの刺激を提示する手法が有用とされている。Holland ら [8] や Kimura ら [9] が提案する学習支援システムでは、学習者に対してリアルタイムに聴覚・触覚提示することで、野球の投球や打楽器演奏の学習の効率化を図っている。従来の学習方法では、このように情報提示を受けつつ身体を動かしながら学ぶことが良いという前提で学習支援システムが構築されてき

た。七澤ら [10] は、小学生がリズム太鼓によるリズム刺激を受けながらスキップやバックスキップといった運動遊びの技能習得を行うと、リズムを提示しない場合に比べて有意に技能の向上がみられたと述べている。しかし、スキップボール投げといった複数の動作を組み合わせた運動においては、リズム提示を用いた学習でも 19 名中 2 名の児童しか授業単元の間にその技能を習得できなかったと述べている。スキップやバックスキップといった比較的単純な動作に比べて、複数の動作を組み合わせた運動に取り組む状況では、身体を動かしながら受ける情報提示の効果は小さいと考えられる。

ここで我々は、複数の動作を組み合わせた技能を習得する際に、身体を動かすことと情報提示を受けることを同時に行うと、ワーキングメモリ [11] が不足してしまうのではないかと仮説を立てた。ワーキングメモリとは、多様に变化する目的に応じて必要な情報を一時的に保持しつつ、並列的に他の処理作業を行うための機能である。我々は特に、動きを一時的に保持するような「運動ワーキングメモリ」の存在を疑っており、複数の動作を組み合わせた身体動作ではこのワーキングメモリを大量に消費してしまい、情報提示を受け入れる余地がなくなるのではないかと予想した (図 1 参照)。また、ワーキングメモリではなく認知リソースを消費していると捉えることもできるが、これらの定義については今後調査が必要である。

上記の問題に対処するための手法として、我々の研究グループでは学習のフェーズを分離して学習する方法 (以降、分離学習とする) を提案した [12]。分離学習では、身体を

¹ 神戸大学大学院工学研究科

^{a)} tuchida@eedept.kobe-u.ac.jp

^{b)} tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

^{c)} tuka@kobe-u.ac.jp

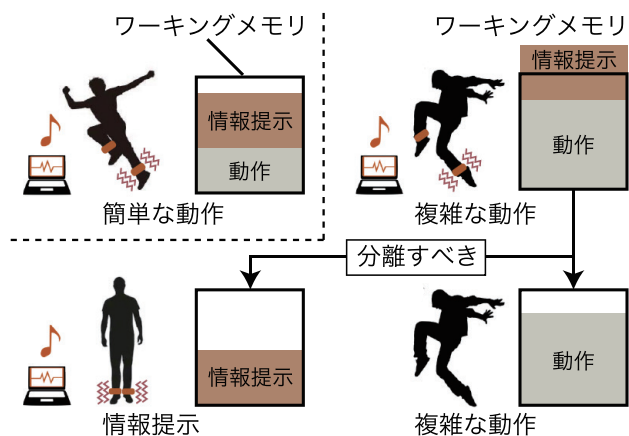


図1 ワーキングメモリが不足するイメージ。

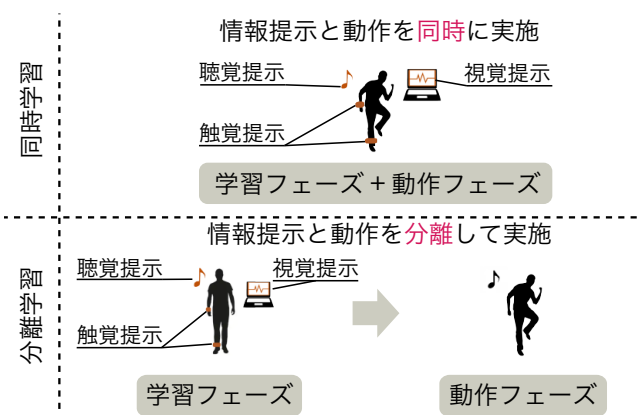


図2 分離学習の概念図。

動かしている間は情報提示を行わない。学習者は、まず動作情報に関する情報提示を受ける学習フェーズ、その後実際に身体を動かして練習する動作フェーズの二つのフェーズによって構成される学習プロセスを経る(図2参照)。

先行研究[12]では、この分離学習を指先を動かす打楽器のリズム学習に適用している。ここで学習する動作は、両手の指先を異なるタイミングで別々に動かし、叩打の強さを変えるなどの複数の動作を組み合わせた動作である。その結果、打楽器の叩打情報の提示を受けてから練習した学習者は、動作中に情報提示を受けた学習者よりも5分程度早く叩打技能を習得していることがわかった。以上の結果から、学習者が複数の動作を組み合わせた技能を習得する際、動作と情報提示を同時に行う学習(以降、同時学習と呼ぶ)よりも分離学習の方が適しているといえる。

しかし、すべての動作技能の習得において分離学習が有効かはまだ明らかでない。両手の指先を用いる打楽器演奏以外の、身体全体を使った動作にも分離学習が適用可能か、動作の習得難易度によって分離学習の有効性が変化するかを調べる必要がある。たとえばスキップのような単純な動作であれば、動作と情報提示の両方の処理をワーキングメモリがカバーできると予想でき、このような動作においては動作中に情報を提示する同時学習で十分であろう。身体

全体を用いた動作を複数組み合わせたより複雑な動作、たとえばダンスステップのような技能を習得する際にはワーキングメモリが不足するため、学習を動作と情報提示に分離する分離学習が有効と考えられる。

そこで本研究では、身体全体を使った複雑な動作を伴うダンスステップの習得を対象とした情報提示システムを構築し、ダンスステップの習得においても分離学習が有効か調査する。また従来研究と比べて、習得する動作の難易度を複数個用意し、分離学習の有効性の閾値獲得を目指す。提案システムでは、ユーザは楽曲を聞きながらダンスステップの参考映像を見つつ、膝を上げるタイミングと足先を前に蹴り出すタイミングの情報を振動によって受ける。具体的に実験では、4段階の習得難易度のダンスステップを用意した。この4つのダンスステップについて、同時学習、分離学習の二つの学習方法で被験者に練習してもらい、学習にかかった時間を測る。

2. 関連研究

2.1 情報提示手法

ヒトが有する多様な知覚を介した情報提示を用いる学習支援手法がこれまで数多く提案されている。

2.1.1 力覚提示

電磁石を用いたピアノ習得支援システム[13]、ロボットアームを用いて習字の学習を支援するシステム[14]、電気刺激と外骨格ロボットハンドを用いて皮膚感覚と固有感覚にフィードバックするピアノ演奏のための学習支援システム[15]など、これまで力覚提示を活用した多様な学習支援システムが提案されている。本研究では、まずは先行研究[12]において活用された視覚・聴覚・触覚提示の三つの知覚を介する情報提示を用いる。

2.1.2 触覚提示

振動デバイスを用いた学習支援システムが数多く存在する[16]。Huangら[17]はグローブの指に振動モータを取り付け、振動で運指を提示することによるピアノ演奏支援システム「PianoTouch」を提案している。O'Neilら[18]は、身体のバランスに連動する振動提示を用いて、座っている状態から立っている状態へ移行するためのリハビリテーション支援システムを開発した。Nakamuraら[19]は、ダンスの動き出すタイミングを振動で提示するデバイスを開発している。本研究では、Nakamuraら[19]が用いた手法のように、ダンスステップにおける膝を上げるタイミングと足先を前に蹴り出すタイミングにおいて振動モータを用いた振動による触覚提示を行う。

2.1.3 聴覚提示

聴覚提示を活用した学習支援システムも数多く提案されている[20]。吉岡ら[21]は、音楽のスピードや音程・音圧などを変化させることで走行スピードや足の動きを知覚させる聴覚提示を用いたランニング支援システムを開発した。

室伏ら [22] は、ハンマー投げのターン動作に対して、ハンマーに取り付けたセンサ情報を用いて算出した回転の角速度情報を音の高低に変換し可聴化するシステムを構築している。奥川ら [23] は、聴覚提示を用いて自転車のペダルを漕ぐペースを一定に保つことを支援するシステムを提案している。Grosshauser ら [24] は、足裏に圧力センサ、膝に角度計測センサをそれぞれ取り付け、取得した値を元に可聴化することで、ダンス動作の技能習得を支援している。本研究では、データを取得して可聴化するようなシステムは構築せず、リズムやメロディといった動作タイミングの参考となる情報が含まれる楽曲の再生を聴覚提示として活用する。

2.1.4 視覚提示

学習支援システムにおいて、視覚提示は広く利用される情報提示の一つである。中野ら [25] は、学習者が現在歌っている音高と正解の音高をディスプレイ上に表示する「MiruSinger」を提案している。土井ら [26] は、琴に奏法を示すプロジェクション映像を投影し、学習を支援するシステムを構築している。Wu ら [27] は、プロスキッププレイヤーのモーションパターンを VR 空間上に様々な方法で提示し、技能を効率的に習得できる VR スキートレーニングシステムを開発している。本研究では、聴覚提示の場合と同様に、データを取得して可視化するようなシステムは構築せず、ダンスステップの参考となる映像を PC のディスプレイに表示する。

2.2 ダンスに関する技能習得支援

本研究では、ダンスステップの習得を対象とした情報提示を行う学習支援システムを構築する。ダンスに関する技能を習得するための学習支援システムは、Raheb ら [28] の調査報告からわかるようにこれまで数多く提案されてきた。

2.2.1 自動採点・判定

独自の採点システムを構築し、定量的なフィードバックをユーザに与えることでダンス技能の習得を支援する研究がいくつかみられる。Kyan ら [29] は、CAVE 仮想環境においてバレエダンスの動きをリアルタイムにキャプチャ、評価し、スコアを可視化するシステムを提案している。Chan ら [30] は、教師となるバーチャルキャラクターをプロジェクタで表示し、学習者の動きをキャプチャ、解析し、部位ごとにスコアとして出力するシステムを提案している。本研究では、ダンス経験をもつ評価者が学習者のダンスステップを目で見て、学習者がダンス動作を習得できたかどうかについて判定してもらった。

2.2.2 参考映像の変更・情報付与

参考とするダンス映像を変更したり、情報を付け加えることで学習を支援する手法がいくつか提案されている。斎藤ら [31] は、ダンスの教示において用いられる「スッ」「ドン」といったオノマトペをダンス動画に付与することで、

ダンスの習得を支援している。Fujimoto ら [32] は、自身の映像を見本となるダンサーの動きにマッピングさせることで、自分自身の上手なダンスによる見本映像を生成し、学習を支援する手法を提案している。鏡を模倣・拡張したシステムもいくつかみられる [33,34]。Anderson ら [35] が提案する「YouMove」では、自身の動きを様々な方向から確認でき、スコアや動作に対するエフェクト、文字による指示など、多様な情報提示が用意されている。本研究では、参考映像の変更や情報の付与は行わず、参考となる 12 秒程度のダンスステップ映像を繰り返し再生・表示させる。

2.2.3 移動ロボット

移動ロボットを活用した研究も行われている [36]。Nakamura ら [37] は、参考映像が投影されたスクリーンが、学習者と対面しながら移動することで、前後といった物理的な移動距離も確認できるシステムを提案している。土田ら [38] は、ダンサーが投影された自走型のスクリーンをダンサーの代わりに移動させることで、グループダンスでのフォーメーション練習を支援する。本研究で扱うダンスステップは、移動を伴わない動作を採用しており、移動ロボットによる情報提示は活用しなかった。

上に挙げたダンスに関する学習支援システムはすべて身体を動かしながらリアルタイムに情報提示する、もしくは練習後に情報を提示する場合に限られ、身体を動かさずに情報提示を受けることに集中するようなシステムはこれまで提案されていない。身体全体を動かすダンスステップにおいても、身体を動かさずに情報提示に集中することが、身体を動かしながら練習する場合と比べて同等以上の効果が得られるかどうかは不明である。この点において本研究はチャレンジングである。

3. 設計

3.1 ターゲット

本研究では、新たにダンスステップを習得する学習者をシステムのユーザとして定め、初歩的なダンスステップを習得対象とする。ただし、提示情報が複雑になりすぎるのを防ぐために、提案システムでは主に下半身の動かし方の習得のみをサポートする。

3.2 情報提示の検討

本研究では、ダンスステップの学習において、同時学習と分離学習の二つの学習方法を比較する。分離学習を適用するためには、単純な情報提示ではなく、複数の情報提示を受けることが必要であると我々は予想している。例えばダンスステップの学習において、単純に手本となる動画を見ながら練習を実施するだけでは、分離学習を適用するための情報提示としては不十分であるため、本研究では映像と音声以外の振動による情報提示を追加する。また同時学

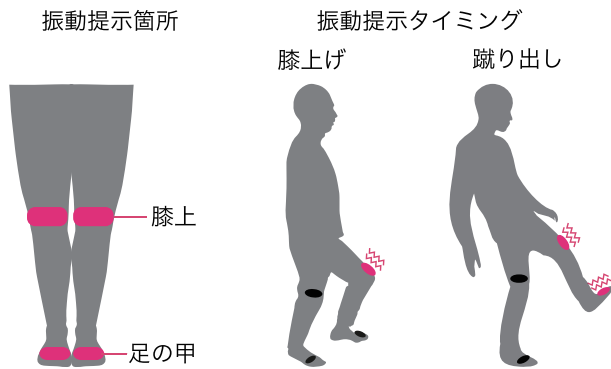


図3 振動提示箇所と振動提示タイミング。

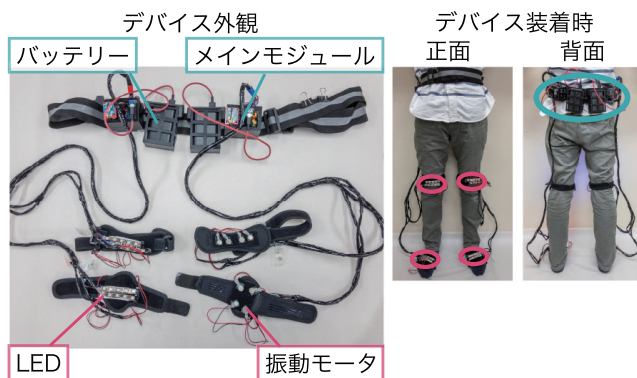


図4 振動提示デバイス。

習については, Camarillo-Abad ら [39] や Nakamura ら [19] が動作中に振動により動作の方向やタイミング等を提示することで, 動作の習得を支援するシステムを提案している。同時学習と分離学習の二つの学習を実施するために, 本研究では, ダンスステップ動作の方向やタイミング等を振動で提示するシステムを構築する。具体的には, 膝を上げる方向とタイミングを提示するために膝の上に一箇所ずつ, 足先を前に蹴り出す動作の方向とタイミングを提示するために足の甲に一箇所ずつ, 両足で合計 4 箇所に振動提示デバイスを装着する。振動提示デバイスの装着位置を図3に示す。膝に取り付けられた振動提示デバイスは, 膝を上げるタイミングで振動し, 足の甲に取り付けられた振動デバイスは足先を前方へ蹴り出すタイミングで振動する。これにより, 身体全体を使った複雑な動作を伴うダンスステップにおいても, 情報提示を受けることに集中する学習フェーズを含む分離学習が利用可能と考えられる。

4. 実装

ダンスステップの学習において, 分離学習が利用可能な情報提示システムを実装した。提案システムは, 触覚提示を行う 4 つの振動モータで構成された振動提示デバイス (図4), 振動提示デバイスを制御するメインモジュール, 映像及び音声を出力する PC および振動提示タイミングの編集アプリケーション (図5) で構成される。振動モータに

16 カウント分, 8 分の 1 カウント単位で設定可能。

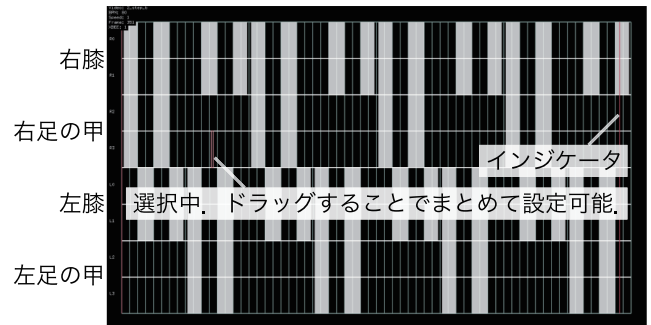


図5 振動タイミング編集インターフェース。

は円盤型振動モータ (FM34F) を採用し, PC には MacBook Pro (13-inch, 2019, Four Thunderbolt 3 ports) を用いた。メインモジュールは ZigBee を介して, PC によって制御される。PC は動画に含まれる楽曲のリズムと同期して指示情報をメインモジュールに送信し, メインモジュールに接続された振動モータが振動し, 振動と連動して LED が点滅する。市販のベルトとゴムバンドを用いて振動提示デバイスとメインモジュールを身体に固定する。メインモジュールと振動提示デバイスを繋ぐビニル電線はダンスステップを妨げないように配線されている。

PC 上に表示される映像の制御と振動提示タイミングを編集できるアプリケーションを macOS Catalina 上の openFrameworks v0.11.0 で開発した。図5に振動提示タイミングの編集インターフェースを示す。縦軸は各提示箇所を示し, 横軸は時刻を表す。横軸は 1 小節における 4 分の 1 音符を 1 カウントとし, カウント単位でそれぞれ区切られている。動画の再生に合わせて移動するインジケータが, 白い四角で表示された範囲に差しかけると, PC からメインモジュールに振動の指示情報が送られる。画面上でマウスをドラッグすることで振動提示タイミングの ON/OFF を切り替えられる。PC に表示するダンスステップの参考映像を図6左に示す。参考となるダンサーのダンスステップは正面から撮影されている。ダンスステップの練習では鏡を見ながら練習する場合が有効である [40]。鏡での練習と同じ状況に近づけるために, 映像は左右反転して表示させる。たとえば, 学習者が右足を上げる時に, 映像中のダンサーは左足を上げる。動画に含まれる楽曲は, AIST Dance Database [41] の 80BPM のテンポを有する mBR0 を使用した。

5. 実験

身体全体を使ったダンスステップ動作にも分離学習が適用可能か, 動作の習得難易度によって分離学習の有効性に変化が生じるかを検証するために実験を行った。被験者は 20 代の大学生 12 名 (男性 9 名, 女性 3 名) で, ダンスの経験は中学校・高校等での授業, 校内イベントで実施された集団でのダンスパフォーマンスに参加した程度である。

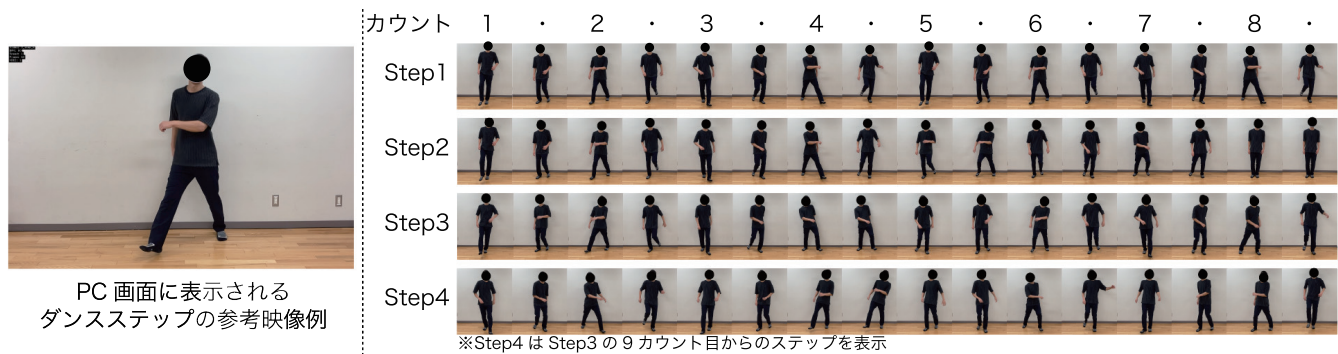


図 6 (左) ダンスステップの参考映像。(右) 各ダンスステップのカウント毎の画像。

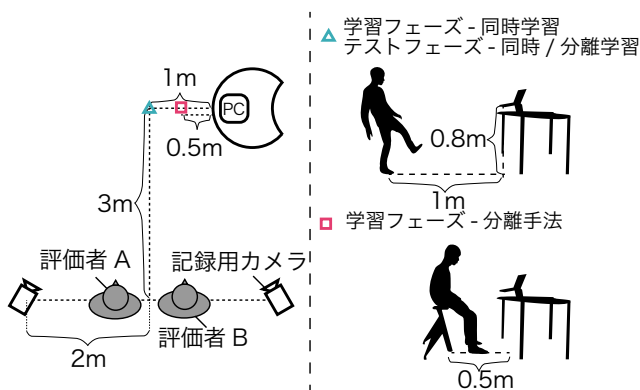


図 7 フロアプラン。

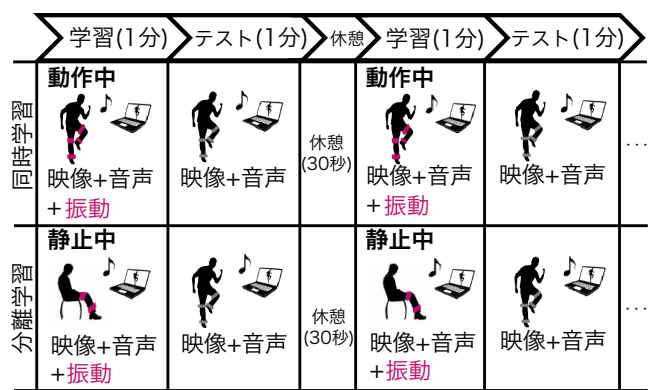


図 8 学習サイクル。

表 1 左右の足踏みの組み合わせの出現回数。たとえば、右左では右足 → 左足、右両では右足 → 両足の順で踏む動作。右止では右足を踏んで 0.5 カウント分停止する動作を指す。

Step	右左	左右	右右	左左	右両	左両	右止	左止	両止
1	12	12	4	3	0	0	0	0	0
2	12	12	2	0	0	2	0	0	2
3	8	10	4	0	0	2	2	0	2
4	9	9	2	2	1	1	1	1	2

本実験は、大学内に設置された 43m² のフローリングフロアを有するスタジオにて実施した。実験時のフロアプランを図 7 に示す。

5.1 習得するダンスステップ

被験者は図 4 に示す振動提示デバイスを装着し、4 つのダンスステップ (図 6 右参照) を習得する。これら 4 つのダンスステップは、10 年以上のストリートダンス経験を有する第一著者によって、それぞれのダンスステップの習得難易度が段階的に難しくなるよう設計された。具体的には、ダンスステップの左右の足踏みの組み合わせを参考 (表 1) に設定された。足踏みの組み合わせのバリエーションが多いダンスステップほど習得が難しいと予想した。また、ストリートダンス経験 5 年以上を有するダンサー 1 名に 4 つのダンスステップを見せられ、習得難易度が段階的に難しくなっていることを確認してもらった。これら 4 つのダンスステップを第一著者が実施した様子を撮影し、動画の

長さを約 12 秒、80BPM で 16 カウント分になるよう切り出した。

5.2 学習方法

実験において被験者は、音声による聴覚提示、映像による視覚提示および振動による触覚提示の三つの情報提示を受け、以下の二つの学習方法でダンスステップを学習する。

同時学習 情報提示を受けながらダンスステップを行って学習する。

分離学習 情報提示を受ける学習とダンスステップを行う学習を別々に行う。

実験の学習サイクルは学習フェーズとテストフェーズの二つのフェーズで構成されている。学習フェーズではダンスステップを 1 分間学習する。1 分間の学習後、テストフェーズに移行しダンスステップが習得できたかの確認テストを行う。確認テストにおいて正しくダンスステップが踏めなければ 30 秒間の休憩を取った後、再度学習フェーズに戻り、正しくダンスステップが踏めるまで二つのフェーズを繰り返す (図 8 参照)。学習フェーズおよびテストフェーズの詳細を以下で説明する。

5.2.1 学習フェーズ

図 9 に被験者が学習フェーズにおいて各学習方法でダンスステップを学習している様子を示す。被験者は、PC の内蔵スピーカから出力される音声による聴覚提示、PC の画面上に再生されるダンスステップの参考映像による視覚

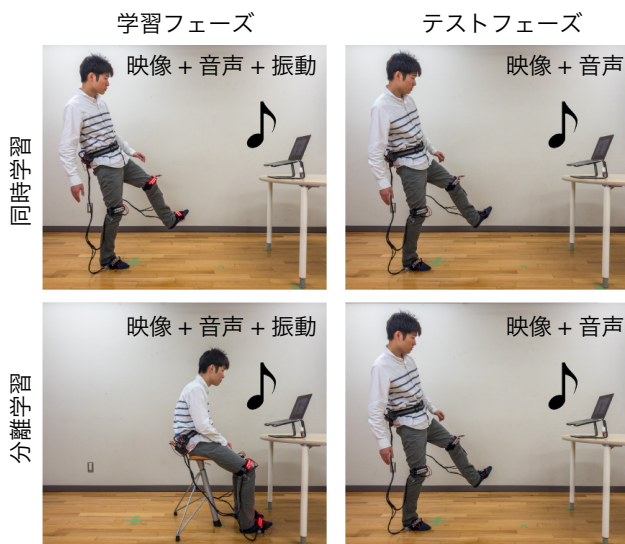


図9 学習フェーズおよびテストフェーズの様子。

提示，楽曲のリズムに合わせて振動するデバイスによる触覚提示の三つの情報提示を受ける．学習中は課題となるダンスステップの参考動画が繰り返し再生され，被験者はシステムを停止することができず，常にダンスステップ情報の提示を受ける．

同時学習における学習フェーズでは，ダンスステップを行いながら情報提示を受ける．この際，被験者のダンスステップを判定してインタラクティブに振動提示するようなシステムは構築しておらず，楽曲のリズムに合わせて一定の間隔で振動を提示する．

分離学習における学習フェーズでは，正しいダンスステップ情報を学習者の内部に取り込むことに集中させるため，被験者はダンスステップを行わず，椅子に座った状態で情報提示のみを受ける学習を行う．これは，ダンスステップを踏みながら振動刺激による情報提示を受ける場合，自身の動作によって起こる皮膚と服の擦れなどによる刺激によって，情報提示に対する知覚が小さくなると考えたためである．尚，椅子に座りながら軽く足踏みするなど，ダンスステップの動作とは異なり情報提示を阻害しないと考えられる比較的小さな動作については許容した．このように分離学習における学習では，ダンスステップを踏まずに情報提示を受ける学習を行った後に，次のテストフェーズでダンスステップを習得できたか確認するためのダンスステップを行う．

5.2.2 テストフェーズ

テストフェーズでは学習フェーズで学習したダンスステップの確認テストを実施する．テストフェーズにおいて，図9に示すように被験者は楽曲を聞きつつ参考となるダンスステップ映像を見ながらダンスステップを行う．32カウント連続でダンスステップを踏むことができた場合，ダンスステップを習得できたと判断し，テストフェーズを終了する．テストフェーズ開始から1分以内であれば，ダンスス

テップを途中で失敗した場合でも，再度やり直すことができる．正しく連続でダンスステップを踏めたかを判定するために，ストリートダンス経験が5年以上の同研究室に所属する学生である評価者Aと第一著者であるストリートダンス経験が10年以上の評価者Bがそれぞれ判定し，最終的に評価者2名の合意によってダンスステップの正誤判定を行った．評価者Aは，本研究の背景や目的は知らされていない．尚，従来研究ではMIDI情報を利用した評価者による叩打の判定を行っているが，本実験の課題となるダンスステップは単純に踏む動作以外にも，足を横方向に移動したり，前方向に蹴り出すといった3次元の動きが含まれており，足圧センサ，加速度センサやモーションキャプチャなどで得られる情報を用いて，3次元的なダンスステップ動作ができていのかどうか正確に判定を下すシステムを構築することは厳しいと判断し，評価者2名による主観的な判定を採用した．また，個人特有のダンスステップの動きの癖を考慮し，癖を含む動作をどの程度まで許容できるかについて評価者同士で話し合い，正誤の基準を設けた．

5.3 学習コスト

本実験では，学習フェーズとテストフェーズを1セットと見做し，学習コストの最小単位として定義する．たとえば，学習フェーズを3回行い，3回目のテストフェーズにて正しくダンスステップを踏めた場合には，学習コストは3セットとする．

5.4 実験条件

すべての被験者は，4つのダンスステップ（Step1～Step4）を同じ順序で習得する．これは，4つのダンスステップの難易度は段階的であり，より難しいダンスステップは簡単なダンスステップの動作をベースとして設計されており，一度難しいダンスステップを習得すれば，より簡単なダンスステップの学習に時間がかからないと予想できたためである．被験者は同時学習と分離学習での学習をそれぞれ2回ずつ実施する．たとえば，Step1とStep2については同時学習で，Step3とStep4では分離学習で学習を行う．これら同時学習と分離学習についての6通りの組み合わせを2回分，12名の被験者に対して実施する．

5.5 実験手順

被験者はスタジオに入り，最初に振動提示デバイスを装着し，動作に支障がないか確認する．次に，実験者から4つのダンスステップをこれから習得すること，提案システムについての説明を受ける．提案システムの動作を理解するために，課題とする4つのダンスステップの習得に影響の少ない簡単な足踏み動作と足先を前に蹴り出す動作のみで構成され動画を，提案システムからの情報提示を受けながら閲覧する．被験者は，動画を見ながらリズムに合わせ

表 2 各被験者の学習コスト（白色で塗り潰されたセルは同時学習，灰色で塗り潰されたセルは分離学習を示す）。

被験者	Step1	Step2	Step3	Step4
A	3	3	2	4
B	3	1	1	2
C	4	3	1	6
D	3	7	2	5
E	1	3	5	5
F	1	1	1	3
G	2	2	3	5
H	1	1	2	5
I	2	1	1	3
J	5	5	1	8
K	3	2	1	3
L	2	2	3	5
平均値	2.5	2.6	1.9	4.5

て足踏みおよび蹴り出しを行い、膝をあげたタイミングで膝上に、足を蹴り出したタイミングで足の甲に振動提示があることを確認する。続いて、実験者が動画再生中に手拍子をしてカウントについて説明し、32 カウント連続して失敗なくダンスステップを踏めば一つのダンスステップ課題がクリアであることを被験者に伝える。次に被験者は、二つの学習方法、二つのフェーズがある説明を受け、テストフェーズにおいて評価者 2 名の合意によってダンスステップの正誤を判定する説明を受けた。また、実験条件を統一するために実験中は被験者の動作の具体的な誤り箇所など、評価者からアドバイス等は一切伝えられないことについて説明を受ける。すべての説明終了後、質問がなければ参加同意書に署名する。また、実験終了後に動きながら学習した場合（同時学習）と座って情報提示を受けた場合（分離学習）のどちらが習得しやすいと感じたかについて回答する。

6. 結果と考察

身体全体を動かすダンスステップの習得に分離学習が有効であるかについて検証するために、各学習方法における学習コストについて分析する。各学習方法の学習コストを表 2 に、各学習方法の学習コストの平均値を図 10 示す。表 2 の灰色のセルは分離学習での実施を示している。図 10 の縦軸は学習コストの平均値を示し、エラーバーは標準誤差を表す。同時学習における学習コストは $M = 3.0$, $SD = 18$ で、分離学習では $M = 2.8$, $SD = 1.7$ であった。二つの学習方法間に対して T 検定を行ったところ、有意差は確認できなかった ($p > .10$)。有意差が確認できなかった原因としては、提示する情報量の不足が挙げられる。先行研究 [12] における叩打は指先の動作のみに限定しているため、叩打の順序と強弱のタイミングの情報提示に限定できた。しかし、ダンスステップでは身体全体を用いた 3 次元的な動作を考慮した情報提示が必要であり、動作のタイ

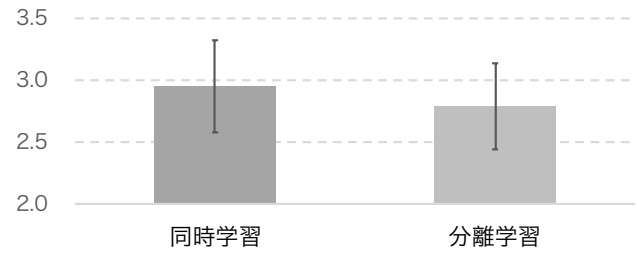


図 10 各学習方法の学習コストの平均値。

ミングの情報提示のみでは、ダンスステップを学習するための十分な情報を提示できていないのではないかと考えられる。実験後の分離学習についてのヒアリングにおいて、2 名の被験者からイメージした動作と実際の動作のズレについて言及があった。指先を用いた叩打の動きのイメージに比べて、身体全体を使うダンスステップのイメージは実際の動作とのズレが生じやすいのではないかと考えられる。イメージした動作と実際の動作の間のズレが生じにくい、3 次元的な動作を知覚し、具体的に把握・イメージできる情報提示が望まれる。たとえば、複数の伸縮制御可能なワイヤ [42, 43] を足につないで 3 次元的な動きを知覚させる手法や電気刺激と外骨格ロボットハンドを用いて皮膚感覚と固有感覚にフィードバックする手法 [15] などの活用が考えられる。また、本実験における視覚提示と聴覚提示では、参考映像と楽曲を単に再生するのみであった。たとえば、身体全体が動く動作を 3 次元的に把握できるよう様々な方向からダンスステップを確認できる映像を表示 [44] させたり、右膝上げの指示 [35] やオノマトペ [31] などの文字情報を追加することで動作のイメージ把握を支援することが可能である。楽曲中にも、右足・左足の動作によって異なる音程 [45] や「右膝上げ」などの音声によるアドバイスを付与することも可能である。このように提示する情報量を増やすことで、分離学習が有効となる可能性がある。

ダンスステップの設計についても再考の余地がある。先行研究 [12] において、分離学習でかかった学習時間は平均 10 分程度であった。本実験のセット数で考えた場合、1 セットあたり約 2 分間かかるため、習得に平均 5 セット以上かかる課題が望ましいと考えられる。しかし本実験では、平均 4.5 セットが最大であり、1 セットでダンスステップを習得する被験者は 12 名中 8 名いた。1 セット程度で習得できる場合、複雑な動作を伴う技能習得に対して有用な分離学習の効果が得られにくい可能性が考えられる。より学習時間が長くなるようなダンスステップの設計が必要と予想する。

実験後のヒアリングから、すべての被験者が分離学習に比べて同時学習の方が学習しやすいと回答した。つまり、すべての被験者がダンスステップを習得するためには動きながら練習した方が学習しやすいと考えている。これについては、提示する情報量の不足により同時学習が好まれる

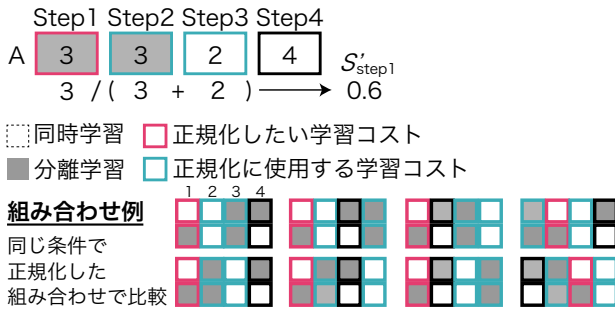


図 11 学習能力の正規化の具体例および条件の組み合わせ。

傾向になった可能性が考えられる。ただし、実験結果から学習方法間に有意な差はみられず、ダンスステップを習得するためには動きながら練習した方が学習しやすいと感じていても、動きながら練習する方法が必ずしも学習効率が良いとは言いきれない。今後、身体全体を動かす3次元的な動作に対しても明確な動作が把握・イメージ可能な情報提示手法の検討を進めることで、より効果の高い分離学習を提案できる可能性がある。

次に、習得難易度によって分離学習の有効性に変化が生じるかについて検証するために、各 Step における学習方法間の学習コストについて分析する。各 Step における学習方法間の平均値は、各被験者があらかじめ備えている学習能力が影響しているため、単純に比較できない。例えば、被験者 A と被験者 C の Step2 を比較したい場合、それ以外の3つの Step を正規化に用いると、Step3 の学習方法が異なるため比較ができない。そこで、比較したい Step 以外の Step における学習コストのセット数を用いて正規化することで比較可能と考えた。例えば、被験者 A と被験者 C の Step2 を比較したい場合、Step1 と Step4 のスコアを用いて正規化する。具体的には、以下の式 (1) に基づいて正規化を行った。

$$S'_{stepk} = S_{stepk} / (S_{stepi} + S_{stepj}) \quad (1)$$

正規化したい Step 番号を k 、正規化に用いる Step 番号をそれぞれ i, j とし、正規化後の S'_{stepk} を算出する。ただし、比較したい Step 以外の Step をすべて用いた場合、被験者間で学習に用いた学習方法が異なり比較できない。そのため、正規化に用いる学習方法の組み合わせが同一の条件でグループ分けし、それぞれ正規化した。正規化計算の具体例および条件の組み合わせの例を図 11 に示す。

被験者ごとの学習能力の正規化後の学習コストの平均値を図 12 に示す。縦軸は学習コストの平均値、横軸は被験者の組み合わせを示している。たとえば GH-CD の場合、被験者 G と H の同時学習での正規化後の学習コストと被験者 C と D の分離学習での正規化後の学習コストの平均値を示す。Average では各学習方法の学習コストの平均値である。エラーバーは平均誤差を示す。これらに対して、分散分析 (2 要因参加者間計画) を行う。ここでの要因の種類は、学習方

法と Step の 2 種類である。分散分析の結果、Step の条件において有意差がみられた ($F(3, 88) = 23.69, p < .01$) が、学習方法の条件について有意差はみられなかった。Bonferroni 法を用いて多重比較を行ったところ、Step4 の平均値が他のすべての Step に比べて有意に大きかった ($p < .05$)。Step4 については、他の Step に比べて習得難易度が高かったことがわかる。しかし、習得難易度による分離学習への有意な影響は確認できなかった。

各 Step での傾向を見てみると、Step2 では分離学習における学習コストが同時学習と比べて低い傾向にある。実験後のヒアリングにおいて、1 名の被験者から「後半になるにつれて自分なりの覚え方が分かってきたので、スムーズに進めれた」とのコメントがあった。分離学習では、学習フェーズにおいて自身の動作をイメージする。しかし、先行研究 [12] で用いられた人差し指を動かす叩打動作に比べて、ダンスステップは身体全体を動かす必要があり、ダンスステップの経験が少ない被験者では、自身の動作をイメージすることが難しかった可能性がある。分離学習に進む前に、まずは身体の動作をイメージしやすくする、動きを覚えやすくするための準備運動のフェーズを用意すべきと考えられる。今回の実験では、習得難易度によって分離学習の有効性が変化することは確認できなかったが、今後調査を進め、どのような動作や難易度に対してどのようにワーキングメモリを消費するのかを明らかにすることができれば、身体動作技能を習得したい人にどのような手順で教えれば良いに繋げられ、個人の能力・状態に応じた学習支援が可能となる。

7. まとめ

本研究では、身体全体を使った複雑な動作を伴うダンスステップの習得を対象とした情報提示システムを構築し、ダンスステップの習得においても分離学習が有効か、習得する動作の難易度によって分離学習の有効性に変化が生じるかについて検証した。実験の結果、二つの学習方法の間に有意差が確認できなかった。また、ダンスステップを習得するためには動きながら練習した方が効率的であると感じていても、動きながら練習することが必ずしも効率的であるとは言いきれないことがわかった。また、動作の習得難易度による分離学習への影響について検証したところ、習得難易度によっては分離学習が有効となる可能性がみられた。今後、分離学習を適用するためのシステム・フェーズ構成について検討を進め、習得難易度による有効性の閾値獲得を目指す。また、引き続きいくつかの動作技能の習得に分離学習を適応していくことで、どのような運動に対して分離学習が有効であるかを示し、得られた知見から動きの習得とは何かを明らかにしていく。

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

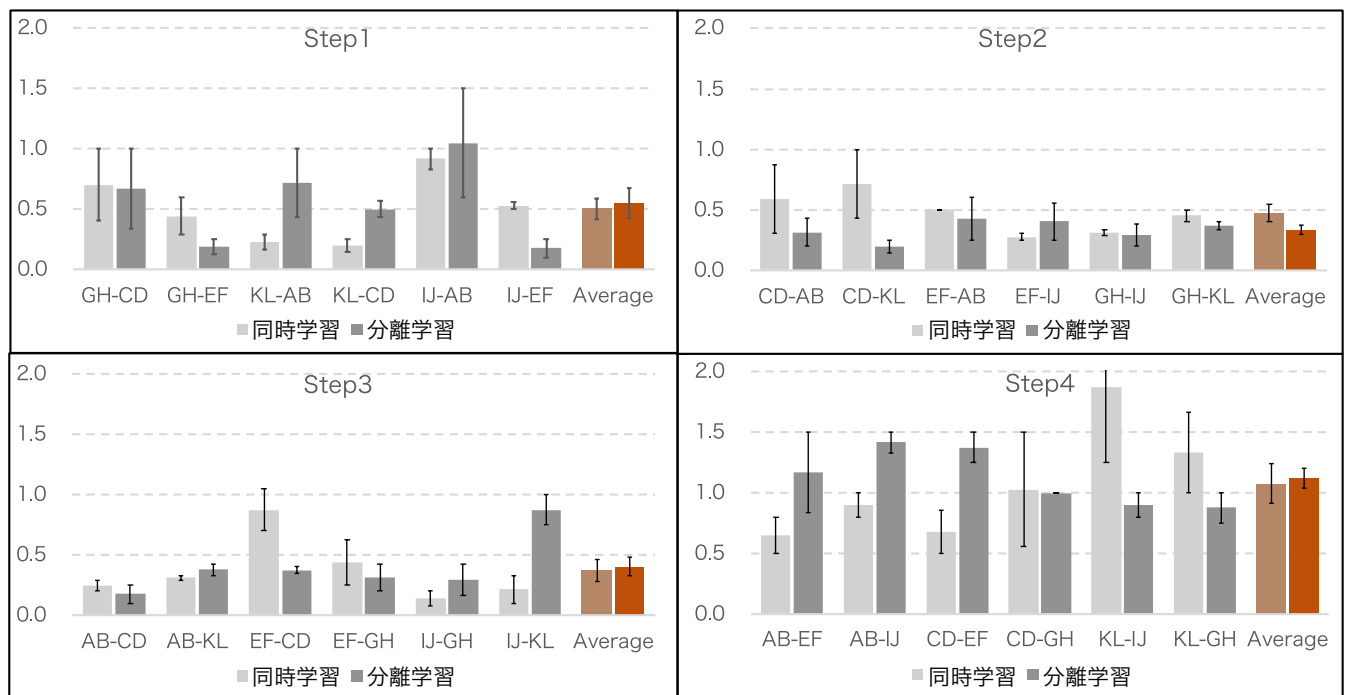


図 12 学習能力の正規化後の学習コストの平均値.

を表す.

参考文献

- [1] 大橋ゆかり: 運動学習におけるパフォーマンスと情報処理, 理学療法科学, Vol. 16, No. 3, pp. 133–137 (2001).
- [2] Swinnen, S., Schmidt, R., Nicholson, D. and Shapiro, D.: Information Feedback for Skill Acquisition: Instantaneous Knowledge of Results Degrades Learning, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 16, pp. 706–716 (1990).
- [3] Wrisberg, C.: Diminishing the Effects of Reduced Frequency of Knowledge of Results on Generalized Motor Program Learning, *Journal of motor behavior*, Vol. 29, pp. 17–26 (1997).
- [4] Battaglia, C., D'Artibale, E., Giovanni, F., Piazza, M., Tsopani, D., Giombini, A., Calcagno, G. and di Cagno, A.: Use of video observation and motor imagery on jumping performance in national rhythmic gymnastics athletes, *Journal of Human movement science*, Vol. 38, pp. 225–34 (2014).
- [5] Ramsey, R., Cumming, J. and Edwards, M.: Exploring a modified conceptualization of imagery direction and golf putting performance, *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, Vol. 6, pp. 207–223 (2008).
- [6] Debarnot, U., Sperduti, M., Di Rienzo, F. and Guillot, A.: Experts bodies, experts minds: How physical and mental training shape the brain, *Journal of Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 8, p. 280 (2014).
- [7] Ridderinkhof, K. R. and Brass, M.: How kinesthetic motor imagery works: a predictive-processing theory of visualization in sports and motor expertise, *Journal of Physiology-Paris*, Vol. 109, No. 1-3, pp. 53–63 (2015).
- [8] Holland, S., Bouwer, A. J., Dalgelish, M. and Hurtig, T. M.: Feeling the Beat Where It Counts: Fostering Multi-limb Rhythm Skills with the Haptic Drum Kit, *Proceedings of the 4th International Conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, TEI '10*, pp. 21–28 (2010).
- [9] Kimura, T., Mochida, T., Ijiri, T. and Kashino, M.: Real-Time Sonification of Motor Coordination to Support Motor Skill Learning in Sports, *Proceedings of the 2nd International Conference on Sports Sciences Research and Technology Support, icSPORTS '14* (2010).
- [10] 七澤朱音, 本田拓二: 運動のリズムを重視した体育学習がもたらす効果に関する研究, 体育科教育学研究, Vol. 30, No. 2, pp. 1–11 (2014).
- [11] Baddeley, A. D. and Hitch, G.: Working Memory, *Journal of Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 8, pp. 47–89 (1974).
- [12] 菅家浩之, 寺田 努, 塚本昌彦: フレーズ内在化のための学習フェーズ分離による打楽器学習支援手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 236–245 (2018).
- [13] Lewiston, C.: MaGKeyS : a haptic guidance keyboard system for facilitating sensorimotor training and rehabilitation, *PhD Thesis. MIT Media Laboratory* (2009).
- [14] Henmi, K. and Yoshikawa, T.: Virtual Lesson and Its Application to Virtual Calligraphy System, *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA '98*, Vol. 2, pp. 1275–1280 (1998).
- [15] Hirano, M., Kimoto, Y. and Furuya, S.: Specialized Somatosensory-Motor Integration Functions in Musicians, *Journal of Cerebral Cortex*, Vol. 30, No. 3, pp. 1148–1158 (2019).
- [16] Peeters, T., van breda, E., Saeys, W., Schaerlaken, E., Vleugels, J., Truijen, S. and Verwulgen, S.: Vibrotactile Feedback During Physical Exercise: Perception of Vibrotactile Cues in Cycling, *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 40 (2019).
- [17] Huang, K., Do, E. Y. and Starner, T.: PianoTouch: A wearable haptic piano instruction system for passive learning of piano skills, *Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on Wearable Computers, ISWC '08*, pp. 41–44 (2008).
- [18] O'Neil, C., Dunlop, M. D. and Kerr, A.: Supporting Sit-To-Stand Rehabilitation Using Smartphone Sensors and Arduino Haptic Feedback Modules, *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with*

Mobile Devices and Services Adjunct, MobileHCI '15, p. 811–818 (2015).

- [19] Nakamura, A., Tabata, S., Ueda, T., Kiyofuji, S. and Kuno, Y.: Dance Training System with Active Vibro-Devices and a Mobile Image Display, *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS '05*, pp. 3075–3080 (2005).
- [20] Hasegawa, S., Ishijima, S., Kato, F., Mitake, H. and Sato, M.: Realtime Sonification of the Center of Gravity for Skiing, *Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference, AH '12* (2012).
- [21] 吉岡杏奈, 藤波努: 聴覚フィードバックを用いたランニング練習支援システム, *SIG-SKL*, Vol. 26, No. 01, pp. 1–4 (2018).
- [22] Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K. and Kobayashi, K.: Development of a System to Measure Radius of Curvature and Speed of Hammer Head during Turns in Hammer Throw, *International Journal of Sport and Health Science*, Vol. 3, pp. 116–128 (2005).
- [23] 奥川 遼, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 聴覚フィードバックを利用したベダリングトレーニングシステム, コンピュータソフトウェア, Vol. 33, No. 1, pp. 1.41–1.51 (2016).
- [24] Grosshauser, T., Blasing, B., Spieth, C. and Hermann, T.: Wearable Sensor-Based Real-Time Sonification of Motion and Foot Pressure in Dance Teaching and Training, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 60, No. 7/8, pp. 580–589 (2012).
- [25] Nakano, T., Goto, M. and Hiraga, Y.: MiruSinger: A Singing Skill Visualization Interface Using Real-Time Feedback and Music CD Recordings as Referential Data, *Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Multimedia, ISM '07*, pp. 75–76 (2007).
- [26] 土井麻由佳, 宮下芳明: 奏法を考慮した箏演奏学習支援手法に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 3, pp. 912–928 (2018).
- [27] Wu, E., Perteneder, F., Koike, H. and Nozawa, T.: How to VizSki: Visualizing Captured Skier Motion in a VR Ski Training Simulator, *Proceedings of the 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, VRCAI '19* (2019).
- [28] Raheb, K. E., Stergiou, M., Katifori, A. and Ioannidis, Y.: Dance Interactive Learning Systems: A Study on Interaction Workflow and Teaching Approaches, *Journal of ACM Computing Surveys*, Vol. 52, No. 3 (2019).
- [29] Kyan, M., Sun, G., Li, H., Zhong, L., Muneesawang, P., Dong, N., Elder, B. and Guan, L.: An Approach to Ballet Dance Training through MS Kinect and Visualization in a CAVE Virtual Reality Environment, *Journal of ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 6, No. 2 (2015).
- [30] Chan, J. C. P., Leung, H., Tang, J. K. T. and Komura, T.: A Virtual Reality Dance Training System Using Motion Capture Technology, *Journal of IEEE Transactions on Learning Technologies*, Vol. 4, No. 2, pp. 187–195 (2011).
- [31] 斎藤 光, 徳久弘樹, 中村聡史, 小松孝徳: ダンス動画へのオノマトペ付与によるダンス習得促進手法, 研究会報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 5, No. 33, pp. 1–8 (2020-GN-109).
- [32] Fujimoto, M., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Dance Training System that Maps Self-Images onto an Instruction Video, *Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI '12*, pp. 309–314 (2012).
- [33] Marquardt, Z., Beira, J. a., Em, N., Paiva, I. and Kox, S.: Super Mirror: A Kinect Interface for Ballet Dancers, *Extended Abstracts Proceedings of the 2012 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '12*, p. 1619–1624 (2012).
- [34] Molina-Tanco, L., García-Berdónes, C. and Reyes-Lecuona, A.: The Delay Mirror: A Technological Innovation Specific to the Dance Studio, *Proceedings of the 4th International Conference on Movement Computing, MOCO '17* (2017).
- [35] Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J. and Fitzmaurice, G.: YouMove: Enhancing Movement Training with an Augmented Reality Mirror, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13*, p. 311–320 (2013).
- [36] Kosuge, K., Takeda, T., Hirata, Y., Endo, M., Nomura, M., Sakai, K., Koizumi, M. and Oconogi, T.: Partner Ballroom Dance Robot -PBDR-, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol. 1, No. 1, pp. 74–80 (2008).
- [37] Nakamura, A., Tabata, S., Ueda, T., Kiyofuji, S. and Kuno, Y.: Multimodal Presentation Method for a Dance Training System, *Extended Abstracts Proceedings of the 2005 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '05*, p. 1685–1688 (2005).
- [38] Tsuchida, S., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A System for Practicing Formations in Dance Performance Supported by Self-Propelled Screen, *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference, AH '13*, p. 178–185 (2013).
- [39] Camarillo-Abad, H. M., Sandoval, M. G. and Sánchez, J. A.: GuiDance: Wearable Technology Applied to Guided Dance, *Proceedings of the 7th Mexican Conference on Human-Computer Interaction, MexIHC '18* (2018).
- [40] Dearborn, K. and Ross, R.: Dance Learning and the Mirror: Comparison Study of Dance Phrase Learning with and without Mirrors, *Journal of Dance Education*, Vol. 6, pp. 109–115 (2006).
- [41] Tsuchida, S., Fukayama, S., Hamasaki, M. and Goto, M.: AIST Dance Video Database: Multi-genre, Multi-dancer, and Multi-camera Database for Dance Information Processing, *Proceedings of the 20th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR '19*, pp. 501–510 (2019).
- [42] Kawamura, S., Ida, M., Wada, T. and Jing-Long Wu: Development of a Virtual Sports Machine Using a Wire Drive System - a Trial of Virtual Tennis, *Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS '95*, Vol. 1, pp. 111–116 (1995).
- [43] Fang, C., Zhang, Y., Dworman, M. and Harrison, C.: Wireality: Enabling Complex Tangible Geometries in Virtual Reality with Worn Multi-String Haptics, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20*, p. 1–10 (2020).
- [44] 曾我麻佐子, 治武恭介, 海野敏: モーションデータを活用したヒップホップダンスの多角的学習支援, 人文科学とコンピュータシンポジウム 2014 論文集, No. 3, pp. 31–36 (2014).
- [45] Landry, S. and Jeon, M.: Interactive Sonification Strategies for the Motion and Emotion of Dance Performances, *Journal of Multimodal User Interfaces*, Vol. 14 (2020).