

二重跳びにおける身体部位間の運動タイミング差の安定化支援[†]

吉川健彦^{*1}・松浦健二^{*1}・菅原宏太^{*1}・カルンガル ステファン^{*1}・後藤田 中^{*2}

徳島大学大学院先端技術科学教育部^{*1}・香川大学総合情報センター^{*2}

本研究では、複数身体部位が協調動作する統合運動としての前二重跳びの学習支援を取り上げる。各部位の運動タイミングの差に焦点を当てる。具体的な支援として、統合運動の学習支援のために、運動の安定につながる、身体への装着型システムを提案し、設計・構築する。また、提案システムの一次評価を行った。評価の結果、前二重跳びの安定化に関するタイミング差のばらつきに、支援を行った群と行わなかった群の間で違いが見られた。これにより本システムは、前二重跳びのタイミング差のばらつきの安定化に有効である可能性が示唆される。

キーワード：運動スキル、統合運動、学習支援、縄跳び、タイミング

1. はじめに

本研究では、人間の身体性に基づく運動スキルの学習支援に着目する。運動スキルを、身体動作を必要とする課題を遂行するために必要な、学習によって得られる能力と捉え、その学習支援を行う。実際の運動パフォーマンスは、精神と運動の両過程の相互作用であることに焦点を当て、様々な研究が行われてきた(シュミット 1994)。運動スキルの時間的要素であるタイミングも、相互作用の指標の一つである。運動には、複数身体部位の適切なタイミングが必要である。統合された身体運動では、これらが協調する。

本研究では、統合運動としての縄跳びスキルを取り上げる(後藤田ほか 2010)。縄跳びは、跳躍と手の回旋の二つの身体動作に大別できる(吉岡・松浦 2015)。本研究では、前二重跳びに着目する。一跳躍二回旋の運動を反復的に繰り返す前二重跳びは、運動の速さが要求される。このような運動はバリスティック運動と呼ばれ、意識的・無意識的を問わず、運動中に予測し

ながら体現することになる。しかし、操作対象である縄が、操作対象を有しない運動に比べて、この予測を複雑化させている。

統合運動では、それぞれの身体部位運動の間にタイミングの差が存在する。このタイミング差が一定に近づくほど、前二重跳びは安定し、リズムカルに行われる。したがって、学習者の目標としては、前二重跳びにおける複数身体部位間の運動タイミング差の安定性の向上を目指す。これは身体部位運動の間に協調性がある状態と言える。跳躍や手の回旋は、部位単独では難しい運動ではない。しかし、これらを組み合わせる前二重跳びは、統合化するスキルが必要であり、そこに困難がある。この困難さの軽減には、身体部位間のタイミング差の安定化支援を要する。よって、本研究の目的は、身体部位の統合運動スキルにおける学習者の目標達成に向けた支援手法の提案とその有効性の検証を行うことである。

研究の目的達成のために、支援手法を実装するデータ取得・データ分析・音を用いたフィードバックを有するシステムを構築する。リズムよく運動が行われていない学習者にとって、前二重跳びは予測を必要とするため、支援は運動中に行う。支援の実装として、複数身体部位をセンサーで観測する。具体的には、跳躍運動は腰部を観測し、手の回旋運動は腕部を観測する。

2. 運動スキル学習支援と要件

2.1. タイミングの学習支援

学習において運動の一般化が生じることを SCHMIDT

2017年4月26日受理

[†] Takehiko YOSHIKAWA^{*1}, Kenji MATSUURA^{*1}, Kohta SUGAWARA^{*1}, Stephen Githinji KARUNGARU^{*1} and Naka GOTODA^{*2}: Supporting Stabilization of Timing Difference between Coordinated Motor Actions in Double-under by Sensing Multiple Body Parts

^{*1} Graduate School of Advanced Technology and Science, Tokushima University, Tokushima city, Tokushima, Japan

^{*2} Information Technology Center, Kagawa University, Takamatsu city, Kagawa, Japan

(1975)は、スキーマ理論として述べている。これによれば、学習者は運動の成果とそれを達成しうるパラメタとを関連づけるルール、スキーマを獲得する。外在的フィードバックが1つの指標となり、スキーマは更新され続けるが、過去の成功試行は、そのパラメタ設定が正しかったと見做される。そのため、本研究におけるタイミングの差は学習者の過去の成功試行に基づき決定する。提示されたフィードバックとの誤差を修正し、減少させる方向へと学習を行っていく。

2.2. 支援要件

本提案では、二つの観測部位のいずれかを基準に、他方の相対的なタイミングを得る。具体的には、跳躍運動を基準に、手の回旋タイミングを知らせるために、その観測を行う。手の回旋運動は、筋収縮の結果から生まれるため、腕部のタイミングの観測には、筋電センサにより筋電位の計測が内部状態の同定に直接的である。一方、跳躍運動は、基準点としての運動結果を捉える必要があり、現象を加速度センサで観測する。

観測結果に応じて、システムがフィードバックを行う必要がある。この際、学習者は、運動しながらでも簡単にフィードバックを受けられる教示方法が望ましい。人間は、視覚に比べ、聴覚は外部からの刺激に対する認識時間が短い(調枝 1972)。このため、同期的な支援のために、聴覚的教示を行う。

なお、縄跳びの装着型システムで観測された結果を、連続かつ一定量データで蓄積する場合、装着デバイスと接続される汎用コンピュータを利用することを考える。この間の有線通信はケーブルなどの制約が大きいため、無線通信でこれらの制約を極力排除すべきである。また、運動時に装着するセンサ類は、軽量であることも必要である。そのため、センサ制御とフィードバックを単体で実現可能な、小型マイコンを採用する。

3. システム提案

3.1. システム設計および機能

本システム(図1)は、三つの主要な機能で設計・構築した。これらの重さは計約120gであり、ベルトで学習者の腰に固定される。軽量であり、かつ固定されることで、運動への影響は無視できる程度である。

一つ目の機能では、学習者のパフォーマンスを計測する。前二重跳びは、運動要素を二つ組み合わせるため、前節のセンサを二種類用いる。跳躍のデータ取得には、本研究では腰の加速度を測定する。また、手の回旋のデータ取得には、前腕の表面筋電位を計測する。

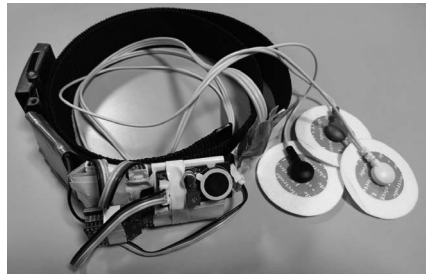


図1 システムの外観

二つ目の機能は、パフォーマンス値を装着した小型マイコンで分析する。分析の結果、学習者の次の運動の発動タイミングが推定され、教示の制御が行われる。前述の各センサはマイコンに接続される。小型マイコンには、Arduino Fioを採用した。なお、各センサ値はサンプリングレート100Hzで計測する。

三つ目の機能は、学習者に対して、マイコンに直結された小型スピーカが発する約500Hzのブザー音によって運動中繰り返し聴覚的教示を行う。

3.2. システム設定と実装

本研究の支援の発動は、前二重跳びの一跳躍に対する手の一回旋目とする(KARUNGARU *et al.* 2016)。計測した筋電位に対して、安静時の電位を0として全波整流化する。その後、時定数0.03sを用いて全波整流化波形を平滑化する。そして、安静時を基準とした波形と全波整流平滑化波形(ARV)を比べ、個人データの例を示した図2の円で囲んだ部分を本研究における手の回旋タイミングとして定義する。ただし、隣接する筋からの電位漏れ(クロストーク)が混入した場合や平滑化におけるなまりが発生した場合には、全波整流平滑化波形を微分した値の極値を使用する。

同期的な支援では、学習者の運動予測が不可欠である。本システムは、腰の加速度(Acceleration)を計測

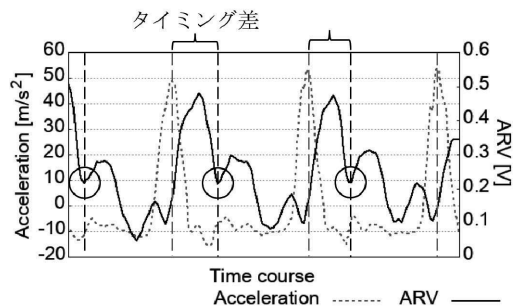


図2 計測データ例

し、着地時の加速度の極大を跳躍タイミングとする。反復運動である前二重跳びは、安定化によってほぼ同じ周期でこの跳躍タイミングが現れるため、固定値として捉える。それを基に、手の回旋タイミングとの時間差を求める。タイミングの差の安定のため、教示タイミングを固定値で決定する。また、音によるタイミングの教示が行われてから、認識して体現する間の遅延を考慮し、本システムの決定した支援タイミングよりも補正をかけて早く発動させる。

本システムは、事前の試行より得た学習者のデータを基に、跳躍の周期と跳躍タイミングに対する手の回旋タイミングの相対的なタイミングの差といったパラメタを平均して固定値として事前定義する。成功した際のパラメタ設定は正しかったと見做されるため、それらのパラメタを全て使用する。一方で、運動中の計測データは無線通信によって蓄積され、そのデータを基に各学習者に対するパラメタを更新する。学習者は、本システムを装着した状態で前二重跳びを行う。本システムは、ベルトを用いて学習者の腰に固定される。そこから前腕に向けて電極リード線が延びているが、ノイズの混入を避けるため、前二重跳びにおける手の回旋動作を妨げないように、リード線を固定する。

4. 評価実験

4.1. 実験概要

4.1.1. 実験対象

本提案システムの一次評価を実験的に行う。本実験では、前章で述べたタイミングの差のばらつきに対して、本システムの安定化支援の有効性を検証するため、タイミングの差にばらつきがある学習者を対象にする。跳躍や手の回旋といった運動要素は体現でき、かつこれらの組み合わせは出来ているが、タイミングの差がばらついてしまう学習者に対し、支援する。

ただし、本システムは事前の試行によりタイミング差を決定するため、少なくとも5回は前二重跳びを続けられることを条件とする。本実験の被験者は、過去に前二重跳び経験のある20代男子大学生14名である。

4.1.2. 実験手順

実験は、事前試行、本試行、最終試行の3フェーズである。まず、事前試行では、各学習者における跳躍周期やタイミング差などのパラメタ決定のため、計3試行分のデータを計測する。ただし、前二重跳びを5回跳ぶまでに失敗した場合、連続1回までやり直しを行う。これは偶然性を排除するためであり、事前試行

から最終試行まで有効とする。そして、本試行を行う前に、各学習者における事前試行データのタイミング差の標準偏差において統計的に差がないように群分けを行う。被験者14名を、各群7名の同種2群に分ける。その際、同種性を確認するための検定では確率 p が、 $p < .10$ の場合、群間の差に有意な傾向ありとする。事前試行の2群比較の結果、実施した検定において有意な傾向が見られず、帰無仮説が保留された（各群に対するシャピロ・ウィルク検定: $W=0.942, n.s.$; $W=0.883, n.s.$; F 検定: $F(6,6)=2.636, n.s.$; 等分散性を仮定した対応なし t 検定: $t(12)=0.944, n.s.$ ）。以上より、本実験において統計的に同種群とみなす。

本試行において、両群とも一日につき3試行行うが、最初の2試行は前二重跳びを安定させるよう意識して訓練を行う。A群の被験者は、前二重跳びの訓練に本システムを使用する。本システムの教示タイミングが、前二重跳びの一跳躍に対する手の一回旋目を指すことを事前に説明するが、各人固有のタイミングであることは言及しない。また、B群の被験者は、前二重跳びの訓練に支援を受けない。訓練機会が過度の不均等とならないように、両群に20回程度で一試行を終える旨を伝える。そして、その確認の位置づけとして、最後に両群とも支援なしに前二重跳びを行う。その後、計測データと並行して、主観的なタイミングの差のばらつきを取得すべくアンケートに回答し、このサイクルを一日のサイクルとして、これを2日間行う。

最後に、最終試行として、事前試行と同じように、全被験者に本システムの支援なしに3試行前二重跳びを行ってもらう。事前試行のデータと最終試行のデータを比べ、学習度合いを評価する。また、最終試行後にもアンケートを行う。自身のタイミング差のばらつきの程度などを主観的に問うた。具体的には、一跳躍の推定時間や縄のタイミングが回旋ごとにどの程度ずれていたかなどをそれぞれ記述させた後に、跳躍時間を基に縄のタイミングが「平均的にどの程度ばらついていた」かを問い、「()ミリ秒」の形で答えさせた。

4.2. 実験結果

群分けを行ったタイミング差の標準偏差をパフォーマンス値として、事前試行と最終試行で比較する。本試行での跳躍回数の平均 (SD) は、A群で16.357(7.912)回、B群で15.405(5.914)回であった。また、A群のパラメタ（跳躍周期）とその決定に使用したデータ数の平均 (SD) は、それぞれ590(20.354)ミリ秒、76.786(52.729)回であった。事前試行と最終試行の差に、

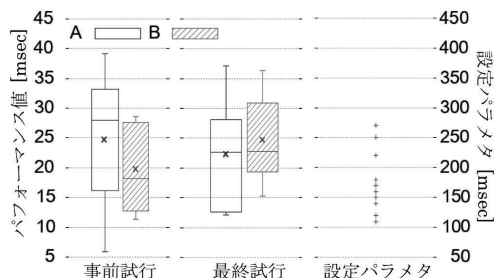


図3 パフォーマンス値の推移と設定パラメタ

群間で差があるかどうか、等分散性を仮定した対応なし t 検定を行った。その結果、群間の差に10%水準の有意な傾向があった($t(12)=1.853, p<.10$)。図3に各群のパフォーマンス値の推移(左部と中央部、主軸)と本試行で設定された個人ごとのタイミング差のパラメタ(右部、第二軸)を示す。

次に、事前試行から最終試行までの認識と体現の差の変化量について、シャピロ・ウィルク検定の結果(A群: $W=0.873, n.s.$; B群: $W=0.681, p<.05$)を考慮して、マン・ホイットニー検定を適用した。その結果($Z=-0.064, n.s.$)、両群に差があるとは言えなかった。

4.3. 考察

前二重跳びにおける跳躍に対する手の回旋タイミングにおいて、その安定性の向上について、本システムを使用したA群と支援を受けないB群の間の差に有意な傾向が見られた。よって、本システムの音によるリアルタイム支援の有効性が示唆される。支援なしでは、自身でばらつきに注目するのが難しいと考えられる。被験者は少なくとも5回以上、前二重跳びを続けられることから、体現する際に許容される範囲であり、通常注目の必要性がないと思われる。

アンケートに対する検定結果より、パフォーマンス値に関する認識の差はなかったため、本研究の手の回旋タイミングの認識は得られない可能性もある。そのため、B群には、ばらつきが減少が見られにくかった、と考えられる。現在の状態と比較できるとよりわかりやすい、という自由記述上のコメント回答もあり、認識と体現の差に有意な差が現れなかった原因をさらに調査していく必要性が示唆される。

以上の考察より、前二重跳びスキルの学習者に対して、音によるリアルタイムでのタイミング支援が有効である可能性を示した。リズムカルな跳躍を習得することで、他の反復運動への展開を含む多様な効果が期待される。なお、本システムによる前二重跳びの訓練

が2日間4試行しかない。本システムに慣れる前に最終試行に至る可能性もあり、本システムの影響観察のため、試行数と日数を増やすことも考慮すべきである。

5. まとめと今後の課題

複数の身体部位運動を有する運動を対象と捉え、本論文では具体的対象として前二重跳びに着目して、タイミング差に基づく学習支援システムの提案と、その評価を行った。被験者14名による実験より、タイミング差のばらつきの向上を比較した結果、本システムを使用した群と使用しなかった群の間の差に有意な傾向が見られた。しかし、タイミング差のばらつきを主観的に問うアンケートの回答においては、2群の間に有意な差は見られなかった。

本研究では、二つの身体部位の計測での支援だったが、計測身体部位の増加と二重跳びの体現時におけるより意識されない固定方法の改善を検討する。また、分析に関して、学習者の体現を基にした動的な支援タイミングの推定は今後の課題である。

付 記

本論文は、平成28年度卒業論文を、加筆修正している。

謝 辞

本研究はJSPS 科研費 15K01072の助成を受けた。

参 考 文 献

- 調枝孝治(1972) タイミングの心理。不昧堂出版、東京
 後藤田中、松浦健二、鍋島豊晶、金西計英、矢野米雄
 (2010) SNS 上でのナワトビスキルの学習者を対象とする個別記事閲覧とその全体像俯瞰の支援。日本教育工学会論文誌, 34(3): 269-277
 KARUNGARU S., MATSUURA K. and GOTODA N. (2016) Feature Tracking using Particle Filter in Rope Skipping for Gross Motor Skill Development. *Proceedings of 2nd ICKE2016*
 SCHMIDT R. (1975) A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82(4): 225-260
 リチャード・A・シュミット著、調枝孝治訳(1994) 運動学習とパフォーマンス-理論から実践へ。大修館出版、東京
 吉岡真也、松浦健二(2015) 手の運動に着目した2重とびスキル学習支援の試み。SIG-ALST, B4(3): 56-60

(Received April 26, 2017)