



力刺激による運動タイミング提示効果に関する考察と応用

迫田航¹⁾, 辻敏夫¹⁾, 栗田雄一^{1,2)}

1) 広島大学大学院 工学研究科 (〒 739-0047 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

2) 科学技術振興機構さきがけ

概要: 本研究では、力刺激による運動タイミング提示を用いた野球打者用 VR トレーニングシステムを開発した。従来、スポーツトレーニングやリハビリにおける動作の教示は、主に指導者から直接伝えられてきた。そこで空気圧人工筋を用いたウェアラブル機器による力刺激で動作タイミングを提示する方法を提案する。実験では力刺激提示による打撃の初動動作タイミングの変化を測定し、タイミング提示効果を検証した。

キーワード: 動作タイミング提示, 力刺激, 空気圧人工筋, トレーニングシステム

1. はじめに

スポーツトレーニングや、リハビリにおける歩行動作などの訓練において、運動タイミングの提示は目的の動作を効率良く習得する為に効果的な手法である。こうしたタイミングの提示は従来では主に指導者によって直接提示されてきたが、口頭や身振りによる指示では指導者の考えどおりに伝達を行なうのは困難である。

一方で光や音など感覚刺激を与えることで動作や動作のタイミングを提示する手法もある。Fothergil[1] はボートを漕ぐローイング動作の軌道をリアルタイムに提示する視覚的なフィードバック学習法を提案している。また Miyake[2] はパーキンソン患者に対してリズムカルな聴覚刺激を与えて歩行のタイミングを提示している。触覚刺激の提示では、特に対象とする身体部位に対して直接刺激を与えることができるので、Daniel[3] によるスノーボード練習時の振動触覚スーツを用いたリアルタイムでの動作指示のように、視覚や聴覚情報よりも細かな指示をトレーニング中に体感的でわかりやすく提示することも可能である。これら視・聴・触覚刺激は指導者による提示と比較してリアルタイムに意図通りのタイミングで提示ができる利点があるものの、刺激は対象の動作との関連性は低く、意識の上で与えられた刺激情報と実際に行なう動作とを結びつける必要がある。

そこで本稿では、力刺激による運動タイミング提示法を提案する。力刺激提示の例として、Hayakawa ら [4] は運転時にアクセルを踏む右足側のシートを隆起させることで、早めのアクセルオフを促すシステムを開発している。これはアクセルオフ時の、アクセルから足を離そうとする動きとシートの隆起により足が上がる動きの動作方向が概ね一致しているため、刺激の提示に対して自然に反応しやすい設計となっている。例のように力刺激の提示は従来の音や映像、振動子などによる提示手段と異なり、椅子内部のアク

チュエータやウェアラブル機器を用いて運動方向へ直接的な提示が可能であるため、刺激と運動の関係性が強く、より体感的なトレーニングやリハビリを視覚や聴覚を制限することなく行なうことが期待できる。

また、タイミング提示において刺激が提示されてから反応するまでの反応時間やその精度は重要な要素となる。我々は、立位状態の被験者に対して視・聴・触覚刺激及び力刺激を与え、感知したらすぐに腿上げ動作を行なってもらうことで各刺激に対する反応時間を測定した [5]。この結果から力刺激に対する人の反応時間やそのばらつきはその他の刺激提示時の反応時間と比較しても劣ることのない結果となり、タイミング提示としては十分利用可能であることを示した。

今回は力刺激による運動タイミング提示を用いた野球打者用 VR トレーニングシステムを開発したので、システムの概要と行なった実験について述べる。

2. VR バッティングシミュレーションの作成

2.1 VR シミュレーション作成の目的と概要

近年スポーツトレーニングにおいて VR を用いたトレーニングが開発されており、国内のプロ野球界においても 2 球団で野球打者を対象とした VR トレーニングシステムを導入している。これは蓄積したデータを用いてあらゆる対戦投手や球種を自由に何度も選択できる点や、ヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) を着用することで、再現した投球モーションや投げられたボールを実際に打席に立った目線から高い没入感で体験ができる点がトレーニングシステムとして非常に効果的な利点である。

そこで本研究では同じ投球モーションとボールを繰り返し再現するために、Unity(Unity 2018.2) 上で投球を開始してからボールを投げ、動作を終了するまでの一連の流れをアニメーションで作成した。投手のアニメーションは、投手経験のある野球熟練者 1 名の投球モーションの 3 次元データを光学式モーションキャプチャシステム (米国 Natural

Wataru SAKODA, Toshio TSUJI, and Yuichi KURITA



図 1: VR バッティングシミュレーション

Point 社製)により取得し、Unity のヒューマンモデルに動きを当てることで作成した。投球は Unity 内で作成しており、リリースポイント及び到達ポイント、球速をスクリプトによって設定している。この VR シミュレーションにより、繰り返し同じ条件下での試行を行なわせることができるため、反復練習が可能となる。また、条件が統一されていることでトレーニング前後の swings 特性の変化も確認することが容易で、トレーニング効果の検証にも適している。

2.2 評価対象

バッティングにおいて、正確なミートポイントで正確にボールを捉えるにはタイミング能力とバットコントロール能力の 2 つが重要となる。タイミング能力は投手によって投げられたボールに対して、ボールの到達時と同じタイミングでバットを出す時間的な正確性を高め、バットコントロール能力はボールを正しい位置で捉える空間的正確性を高める。大室ら [6] はこの時間的正確性と空間的正確性はそれぞれ独立した能力で、それぞれ単独でトレーニングすることによりバッティングパフォーマンスを向上させることができる、と述べている。この 2 つの能力のうち、本研究ではタイミング能力に着目した。

最終的にバットをミートポイントへ振り出すタイミングは構えた状態から投手側の足を一度上げて着地させるステップ動作における「足離地」と「足接地」、テイクバックを終えてバットを前に振り出していく「スイング開始」の 3 動作のタイミングが大きく関わってくる。泊ら [7] は投手の踏み込み脚上下動作時間をランダムに変更して提示した場合、単一条件よりもタイミング誤差が有意に大きくなることを明らかにしている。これより打者は投手のモーション情報を頼りにタイミングコントロールを行なっていることがわかる。基本的に投手は試合中に、大幅にフォームを変えることはないため、投球モーションに対して再現性の高い始動動作を行なうことができれば、タイミング能力の向上に繋がると考えた。また川合ら [8] は野球未熟練者は熟練者と比較して打撃動作を起こすのが遅いため、足接地後に投球速度に応じたスイング開始時期を調節するのが困難であると述べている。

そこで今回は足離地タイミングをトレーニングの評価対象とし、始動動作の遅れやばらつきを評価した。

開発した VR バッティングシミュレーションでは、投手側の足底に配置したスイッチが離れたタイミングを足離地時間

(以下、FT)、バットがフォトダイオードに入光するレーザを遮るタイミングをミートポイント到達時間 (以下、MT) として、これらの精度により swings を評価する。ここで MT が、投げられたボールが設定したミートポイント (図 1 の水色のエリア) へ到達する時間と同じタイミングだった場合は打球を打ち返すアニメーションを表示することでタイミングの正誤情報を視覚的にわかりやすく提示する。

次章では開発した VR バッティングシミュレーションを野球熟練者と未熟練者に体験してもらい、それぞれの FT を比較することで熟練者と未熟練者の swings 特性を評価したので、その実験について述べる。

3. 熟練者と未熟練者の FT 比較実験

3.1 目的

この実験では通常時における熟練者と未熟練者における FT の比較を行なうことで、双方の swings における始動タイミングの特徴を調べる。なお、FT は投球モーション開始から足底スイッチが離地するまでの経過時間と定義する。

3.2 方法

被験者は野球熟練者 1 名、野球未熟練者 1 名とする。使用する打具はプラスチック製のバット (76 cm, 250 g) として、被験者には HMD と足底にスイッチを配置した靴を装着し、ゲーム画面の投球モーションを見た状態で 5 回 swings を行なってもらう。タスク間のインターバルは 10 [s] として、被験者にはタスク前に 5-10 回ほどの練習時間を与えて十分慣れた状態で実験を行なう。5 回の試行から得られた FT の平均と標準偏差を算出して比較する。

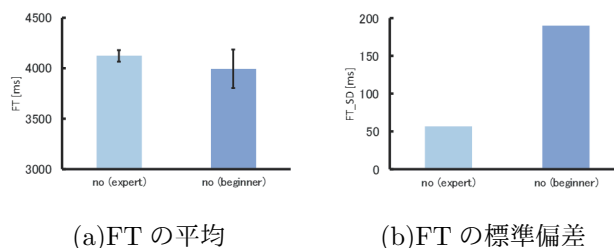


図 2: 熟練者と未熟練者における FT の比較

3.3 結果

結果を図 2 に示す。図 2 より熟練者と未熟練者の FT を比較すると平均時間はどちらも投球モーション開始から約 4.0 [s] で大きな差は無く、未熟練者の FT が遅いような傾向は見られなかった。約 4.0 [s] 時の投球モーションはおおよそ一度上げた踏み込み脚を下げ始めるタイミングであった。

次に FT の標準偏差に着目すると未熟練者の方が熟練者と比較して 3 倍以上大きく、試行毎の始動タイミングに大きなばらつきがあり、再現性が低いことが示唆された。

3.4 考察

この実験より熟練者と比較して未熟練者は FT のばらつきが大きいことが確認できた。熟練者は経験的に swings の始動動作を、投球モーションのある決まったタイミングから始めていると考えられる。一方で未熟練者にはこうし

た経験がないため、試行毎に特に決まりはない状態でスイングを開始し、その結果 FT に大きなばらつきが生じたと推測される。こうした未熟練者における FT のばらつきは、力刺激による体感的なタイミング提示により軽減させることが可能ではないかと考えた。そこで作成した VR バッティングシミュレーションと、力刺激によるタイミング提示を連携させることで、FT のばらつきを改善するようなトレーニングシステムを開発した。

4. VR トレーニングシステム

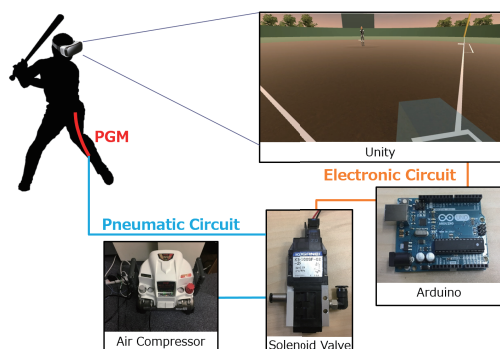


図 3: トレーニングシステム概要

4.1 トレーニングシステム概要

開発したシステムの概要を図 3 に示す。本システムは VR 空間上で再現した投球モーション及び投球を見るための HMD、力刺激提示のためのアクチュエータとしてダイヤ工業株式会社が開発した低圧駆動型空気圧人工筋 (Pneumatic Gel Muscle, 以下 PGM), その動力源である空気圧コンプレッサ, コンプレッサから人工筋への圧縮空気の供給を切り替える電磁弁, 足離地時間を測定するための足底スイッチ, バットがミートポイントに到達するタイミングを測定するためのフォトダイオードとフォトダイオードに入光させるレーザー, Unity とのシリアル通信により受信した情報から電磁弁を ON/OFF 制御し, また, センサ情報を Unity 側へ送信する役割を担うマイクロコンピュータ (Arduino), そしてそれらをつなぐチューブ, 導線から構成される。

投球動作開始から設定した時間経過ののちに電磁弁を開放し, 投手側の大腿直筋に沿って配置した PGM を 800 [ms] 間収縮させることでステップ動作の開始を促す。



図 4: 実験風景

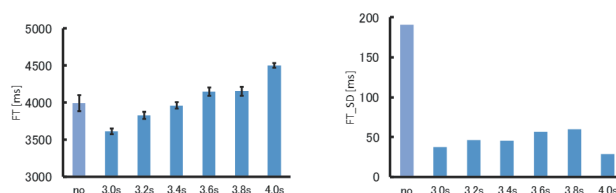
5. 力刺激によるタイミング提示効果の検証実験

5.1 目的

開発したトレーニングシステムはタイミング能力の向上を目的としているため、力刺激提示をすることで対象の動作がこちらの狙ったタイミングでばらつきなく行なわれることが望ましい。そこで本実験では力刺激の提示時の FT を測定し、力刺激提示のない通常時の FT と比較することで力刺激の運動タイミング提示効果を検証する。

5.2 方法

被験者は先述の実験と同じ野球未熟練者 1 名とし、使用する道具やインターバルなどの条件も同じものとする。本研究では力刺激を投球モーション開始から 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0 [s] 後に提示した場合の 7 条件とし、この時の FT を測定する。力刺激提示の条件は熟練者と未熟練者の FT 比較実験で測定した野球熟練者の FT を参考に設定している。それぞれの条件における結果をまとめ、提示条件間の FT 及び通常時 (力刺激提示デバイス着用無し) の場合と力刺激提示時の FT についてその平均と標準偏差を比較する。



(a) FT の平均

(b) FT の標準偏差

図 5: 力刺激提示時における未熟練者の FT の平均と標準偏差 (力刺激提示デバイス着用無しの場合と力刺激の提示タイミングが投球モーション開始から 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0 [s] 後に提示した場合の結果)

5.3 結果

図 5 では、先述の実験結果である力刺激提示装置着用無しの場合と、力刺激提示時の未熟練者の FT を示している。標準偏差を見ると、力刺激によるタイミング提示があることによって FT のばらつきが 4 分の 1 ほどに軽減されていることが分かる。また、力刺激提示時の FT はいずれの条件においてもほとんどが提示後約 500-600 [ms] に足離地動作が達成されており、概ね狙ったタイミングで足接地動作を行なわせられる可能性が示唆される。

5.4 考察

今回の結果から本トレーニングシステムにより力刺激提示条件下では、FT が不安定な未熟練者においても、安定した FT で運動させられる可能性を示唆した。FT が力刺激提示の約 500-600 [ms] 後であったが、この結果は力刺激に対する反応時間と、感知してから動作を開始し、足離地を完了するまでの運動時間の合計時間を表している。HMD による投球モーション情報が視覚から得られている状況下においても、力刺激に対しての反応や足離地動作に要する時間に大きなばらつきはなく、再現性の高いスイング動作を体験させることができた。この体験を繰り返すことにより、

未熟練者は始動タイミングの感覚を学習し、力刺激提示が無い通常時においても安定した FT でのスイングが可能となるようなトレーニング効果が期待できる。今後は FT の違いによるタイミング能力の変化 (MT の変化) についてや、トレーニング終了前後の FT の変化を見ることで本システムのトレーニング効果について調べていく。

またタスク終了後に感想を聞いたところ、力刺激の提示があるとタイミングが取りやすかった、打球アニメーションがあって打てたときの爽快感があって良かった、といった好評があった反面、VR 空間上に自分の姿がないので立ち位置が不安定になる、といった問題点も指摘された。この問題に関してはセンサ情報を用いて VR 空間上にバットを生成するなどしてより没入感の高いシステムへの改良を検討していく。

6. おわりに

力刺激による運動タイミング提示を行なう野球打者用のトレーニングシステムを開発した。未熟練者 1 名に対して 7 パターンの提示タイミングを体験してもらい、力刺激による動作タイミング提示により概ね狙ったタイミングで足離地を行なえるようになることが分かった。これは熟練者と比較して FT にばらつきのある未熟練者が安定した FT でのスイングを可能とするために効果的なものであった。今後はシステムの改善を進めるとともに、最終的な MT の評価や本システムによるスイング動作の学習効果について調べていく。また、今回は足離地のみを対象としたが、足接地タイミングやスイング開始タイミングを提示するようなシステム設計の検討も進めていく。

参考文献

- [1] Simon Fothergill : Examining the effect of real-time visual feedback on the quality of rowing technique, *Procedia Engineering* 2.2, pp. 3083–3088, 2010.
- [2] Miyake Yoshihiro : Interpersonal Synchronization of Body Motion and the Walk-Mate Walking Support Robot, *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS*, Vol. 24, No. 3, pp. 638–644, 2009.
- [3] Daniel SPELMEZAN : An investigation into the use of tactile instructions in snowboarding, *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, pp. 417–426, 2012.
- [4] Masafumi Hayakawa *et al.* : Haptic Interface to Encourage Preparation for a Deceleration Behavior Against Potential Collision Risk, *SICE Annual Conference*, 2013.
- [5] 迫田 航 他 : 力刺激の運動タイミング提示への有用性に関する考察 — 視覚, 音, 振動刺激との比較 —, *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集*, 2018.
- [6] 大室 康平 他 : 投球に対するバッティング動作の再現性に関する研究, *第 60 回 日本体力医学会大会*, pp. 643,

2005.

- [7] 泊 弘佑 他 : 野球投手における投球動作中の踏込み脚上下動作時間の使い分けが打者のタイミングコントロールに与える影響, *スポーツパフォーマンス研究*, Vol. 7, pp. 228–237, 2015.
- [8] 川合 武司 他 : 異なる速度の投球に対する打撃動作局面の経時変化について, *順天堂大学スポーツ健康科学研究*, pp. 1–11, 1997.