

研究報告

対人スポーツにおける準備動作中の運動周波数が サイドステップに及ぼす影響

小西 壮介¹⁾・若月 翼¹⁾・堀田 義也¹⁾・山田 憲政²⁾

Effect of Motor Frequency on Sidestepping During Preparatory Movements in Interpersonal Sports

Sosuke KONISHI, Tsubasa WAKATSUKI, Yoshiya HOTTA, Norimasa YAMADA

1. はじめに

準備動作はあらゆるスポーツ活動の、パフォーマンスを向上させるために用いられている。また、球技などの対人スポーツにおいても、多くの競技者は動き出しを早めるために、主動作前に準備動作を用いている。例えば、テニスにおいてスプリットステップと呼ばれている上下運動がこの準備動作と言える (Uzu et al., 2009)。

準備動作に関する研究はこれまでもいくつか行われているが、その中でも Fujii et al. (2013) は、前方に設置されたLEDの点灯に反応してサイドステップを行う課題において、準備動作を用いる事でLEDが点灯してから動き出すまでの時間や目標に到達するまでの時間が短くなることを報告している。更に彼らは、LEDが点灯した瞬間の対象者の力学的な状態に着目し、上記の時間は加重している状態よりも、抜重している状態でLEDが点灯した方がより大きく短縮されたことを報告している。しかしながら、対人スポーツにおいては、相手選手との関わりが大きく、ゆえに相手選手の動態に合わせた準備動作を行う必要があるため、必ずしも動き出しの瞬間を抜重状態に合わせることができると

は限らない。そして抜重状態に合わせようとするならば、ならば、準備動作中の運動周波数、すなわち上下運動のリズムを変える必要がある。つまり、抜重状態が適切であるという上記の報告は、対象者の最も動きやすい運動周波数で準備動作を実施した場合に限る可能性があり、抜重状態でも不適切な、逆に加重状態でも適切な準備動作の運動周波数が存在すると考えられる。また、力学的状態 (加重または抜重状態) の分類方法にも問題がある。Fujii et al. (2013) は、静止状態では地面反力が20%以上変動しなかったという予備実験の結果から、フォースプレートにより得られる対象者自身の体重の±20%という閾値を設定し、それを基準としていずれかの状態へと事後的に分類している。これはスタティックな分類と言え、この方法では力の最大値や最小値を過ぎた場合、例えば最大の加重を過ぎて抜重に向かっている局面であってもLEDが点灯したタイミングで力がその閾値を超えていれば、その試技は加重状態として扱われる (抜重も同様)。しかし厳密には、加重および抜重状態は力が最大値や最小値に向かう最中の局面と定義されるべきと考えられ、そのためにはダイナミックな力波形からLEDを点灯させるタイミングを事前に制御する必要がある

¹⁾中京大学大学院体育学研究科

²⁾中京大学スポーツ科学部

る。さらに、事後的な分類ではその試技数に偏りが生じてしまうのに対して、事前に点灯タイミングを制御すればその偏りは生じず、閾値の設定も自在に行うことが可能となる。

そこで本研究では、LEDが点灯した瞬間の対象者の力学的な状態（加重および抜重状態）に加え、準備動作中の運動周波数に着目する。まず、LabVIEW（グラフィック型言語プログラミングソフト）を使用し、準備動作の力波形を読み取りLEDが点灯するタイミングを制御する事で、厳密に加重または抜重状態を抽出する。その設定がなされた上で、上下に屈伸運動をする準備動作を周期的に行うことにより、加重状態と抜重状態を繰り返し生成し、その準備動作をスピーカーから発せられる、5段階の設定された運動周波数（1.4/1.65/1.9/2.15/2.4Hz）の音に合わせて行い、そこからLEDの点灯（光刺激）に反応しサイドステップを実施する。この反応サイドステップタスクにより、それぞれの力学的状態から外部刺激に反応し主動作を行った場合に、準備動作中の運動周波数の違いが主動作に及ぼす影響を明らかにする。

2. 方法

2.1 実験参加者

本研究における実験は、男子大学生10名（年齢：20.5 ± 0.5歳、身長：174.5 ± 5.2cm、体重：79.3 ± 7.3kg）を対象として行った。実験を行う前に、全ての対象者に対して本研究の目的及びケガの危険性についての説明を行い、実験参加の同意を得た。尚、本実験は中京大学大学院体育学研究科倫理審査委員会の承認（承認No.2020-016）を得て行った。

2.2 実験の手順

本実験の実施課題は、2枚のフォースプレート上に片脚ずつ乗り、準備動作（両足を接地したまま上下に屈伸運動）を行っている状態から、視覚刺激提示媒体（LED）の点灯に反応して、右方向にできるだけ早くサイドステップで移動するというものであった。

まず予備実験で、本実験における準備動作の運動周波数を決定するために、10名の対象者に各対象者の最も動きやすい運動周波数で準備動作を10回ずつ行ってもらった。その際の運動周波数は1.88 ± 0.15Hzであったことから、実験における運動周波数をその結果から前後の5段階で設定した。実施試技は図1に示す通りの方法で、

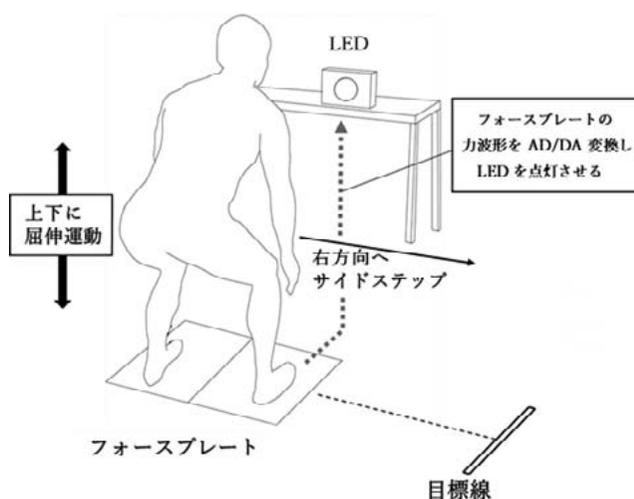


図1：実験風景図

対象者は前方のLEDを見ながら準備動作を行い、LEDの点灯に反応して右方向へできる限り早くサイドステップで移動した。

以下の実験を行った。

設定された5段階の運動周波数（1.4Hz、1.65Hz、1.9Hz、2.15Hz、2.4Hz）に合わせて準備動作を行い、目標線（対象者自身の身長と同じ距離に引かれた線）までサイドステップでできる限り早く移動する。この際、各運動周波数の試技を以下の2条件毎に各5回ずつ実施し、合計50試技行った。また、全ての試技において、フォースプレート上で行う準備動作の力波形から加重と抜重のタイミングをAD/DA変換機能付きのLabVIEWで検出し、以下のタイミングでLEDを点灯させる。尚、対象者はLEDが点灯

するタイミングが制御されることを知らない。実験の概念図を図2に示す。

加重条件：準備動作の加重状態（鉛直方向の地面反力が最大値の80%付近を閾値とする）の時にLEDが点灯する。

抜重条件：準備動作の抜重状態（鉛直方向の地面反力が最小値の80%付近を閾値とする）の時にLEDが点灯する。

2.3 取得データ

16台の光学式動作解析装置（MAC3D System, MotionAnalysis社製、240Hz）および2枚のフォースプレート（BERTEC社製、240Hz）を用

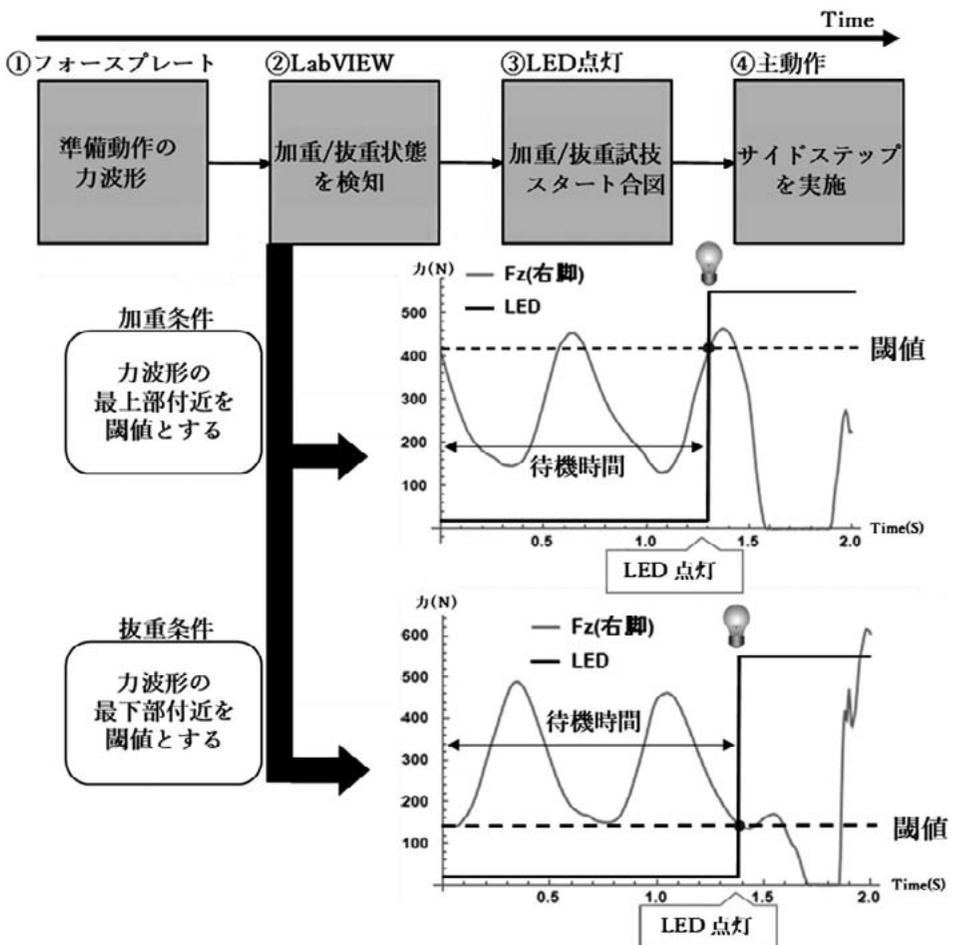


図2：実験概念図

実験は①～④の順序で行われた。実験者が事前に加重条件および抜重条件のどちらを実施するかを決めて、その都度、LabVIEWの設定を行った。尚、閾値に関しては各試技の練習の際に力波形から算出し、設定した。また、準備動作開始後すぐにLEDが点灯する事を防ぐため、LabVIEW上で待機時間を設けた。

い、各対象者につき全身20カ所（頭頂・耳・胸骨上縁・肩峰・肘関節・手関節・大転子・膝関節・足関節・踵・爪先）に貼付した反射マーカの三次元位置データおよび地面反力データを取得した。また、各試技で用いる光刺激（LED）はプログラミングソフトLabVIEW（NATIONAL INSTRUMENTS社製）によって制御し、出力されたLEDの電気信号を地面反力データと同期させることにより刺激呈示のタイミングを取得した。

2.4 分析

2.4.1 パフォーマンス変数

以下のサイドステップのパフォーマンス変数を求めた

- ・動き出し時刻（反応時間）

動き出し時刻はLEDが点灯してから、対象者それぞれの横方向速度の閾値を超えるまでの時刻とした。尚、閾値はLEDが点灯するまでの横方向速度平均から3SDの値とした。これは、数回の上下運動においてもバラツキが存在するために、多くの研究で閾値の設定に標準偏差を考慮していることから、本研究もその方法を採用した。また、本研究では反応時間と同義と定義する。

- ・目標到達時刻

目標到達時刻の算出は、サイドステップの移動時間に関する研究をした先行研究（Wakatsuki & Yamada, 2020）を参考に、LEDが点灯してから身体重心が100cmを通過するまでの時刻とした。身体重心は、阿江ら（2002）の日本人アスリートの身体部分慣性係数を用い、算出した。

- ・最大速度到達時刻

最大速度到達時刻はLEDが点灯してから、横方向速度が最大値に到達するまでの時刻とした。

2.4.2 統計処理

各運動周波数における上記の3つのパフォーマンス変数は、加重条件と抜重条件の条件間で比較した。有意差検定は対応のあるt検定を用いて行い、統計的有意確率は $p < 0.05$ とした。

3. 結果

加重条件と抜重条件における各パフォーマンス変数を比較した結果をそれぞれ図と共に記す。

3.1 動き出し時間

図3に全対象者の加重条件と抜重条件におけ

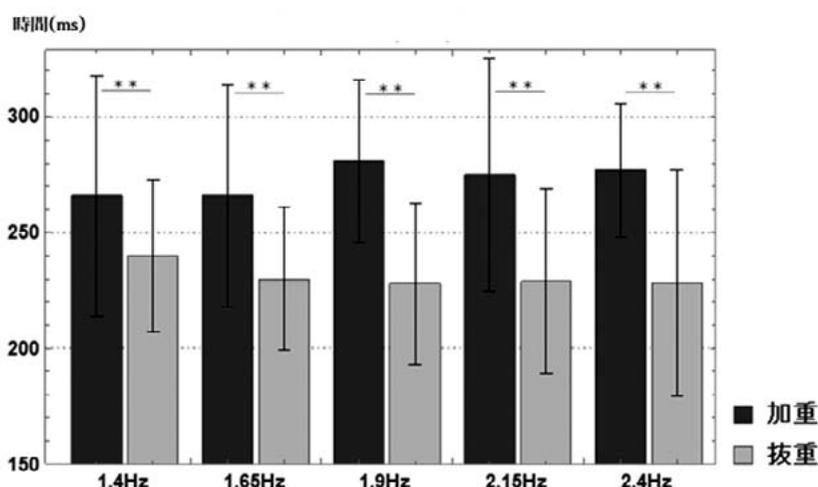


図3：動き出し時間

縦軸が動き出し時間 (ms)、横軸が各試技の運動周波数を示している。また、黒色のバーが加重条件、灰色のバーが抜重条件を示している。全ての運動周波数の試技において2つの条件間に有意な差が認められた (** $p < 0.01$)。

る動き出し時間を示す。加重条件と抜重条件の動き出し時間を各運動周波数で比較すると、それぞれ1.4Hzでは $265 \pm 52\text{ms}$ と $240 \pm 33\text{ms}$ 、1.6Hzでは $265 \pm 47\text{ms}$ と $230 \pm 30\text{ms}$ 、1.9Hzでは $280 \pm 34\text{ms}$ と $228 \pm 35\text{ms}$ 、2.15Hzでは $275 \pm 50\text{ms}$ と $229 \pm 40\text{ms}$ 、2.4Hzでは $277 \pm 28\text{ms}$ と $227 \pm 41\text{ms}$ であり、全ての運動周波数において加重条件よりも抜重条件の方が有意に短いことが確認された (** $p < 0.01$)。

3.2 目標到達時間

図4に全対象者の加重条件と抜重条件における目標到達時間を比較した結果を示す。加重条件と抜重条件の目標到達時間を各運動周波数で比較すると、それぞれ1.4Hzでは $1000 \pm 35\text{ms}$ と $946 \pm 20\text{ms}$ 、1.6Hzでは $983 \pm 30\text{ms}$ と $955 \pm 34\text{ms}$ 、1.9Hzでは $972 \pm 27\text{ms}$ と $956 \pm 30\text{ms}$ 、2.15Hzでは $960 \pm 34\text{ms}$ と $949 \pm 33\text{ms}$ 、2.4Hzでは $941 \pm 36\text{ms}$ と $952 \pm 35\text{ms}$ であり、1.4と1.65Hzの運動周波数において条件間に有意な差が認められた (** $p < 0.01$)。しかし、1.9から2.4Hzまでの3つの運動周波数においては条件間に有意な差が認められなかった。

3.3 横方向最大速度到達時間

図5に全対象者の加重条件と抜重条件における最大速度到達時間の比較の結果を示す。それぞれ1.4Hzでは $628 \pm 50\text{ms}$ と $563 \pm 41\text{ms}$ 、1.6Hzでは $608 \pm 39\text{ms}$ と $557 \pm 50\text{ms}$ 、1.9Hzでは $601 \pm 29\text{ms}$ と $587 \pm 54\text{ms}$ 、2.15Hzでは $590 \pm 37\text{ms}$ と $580 \pm 29\text{ms}$ 、2.4Hzでは $572 \pm 35\text{ms}$ と $587 \pm 47\text{ms}$ であり、1.4、1.65、2.4Hzの運動周波数において2つの条件間に有意な差が認められた (1.4、1.65Hz : ** $p < 0.01$ 、2.4Hz : * $p < 0.05$)。

4. 考察

動き出し時間の平均値について、加重条件と抜重条件を各運動周波数で比較した結果、全ての運動周波数において、加重条件よりも抜重条件の方が有意に短かった (** $p < 0.01$)。そして、目標到達時間の平均についても、1.4と1.65Hzの運動周波数では、加重条件よりも抜重条件の方が有意に短かった (** $p < 0.01$)。しかし、1.9から2.4Hzまでの運動周波数において2つの条件間で目標到達時間の平均値が逆転した対象者が一部見受けられた。そのため、図4において、

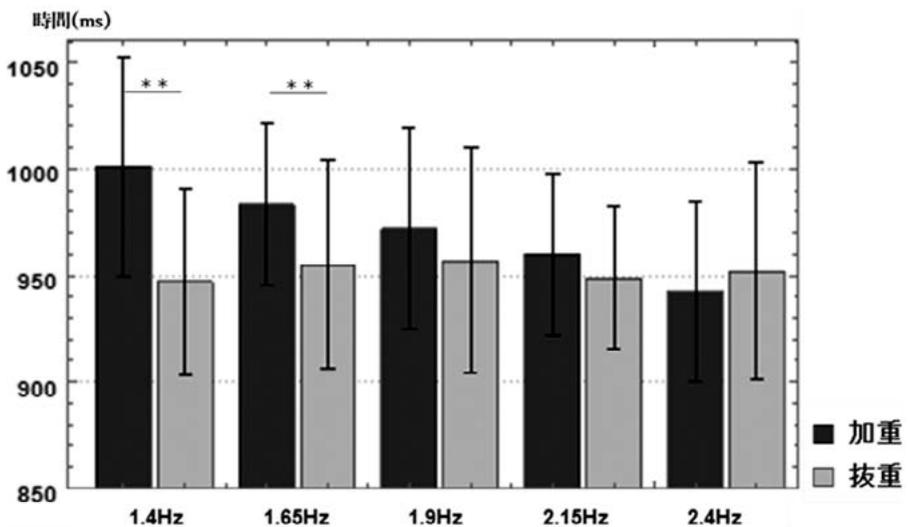


図4：目標到達時間

縦軸が目標到達時間 (ms)、横軸が各試技の運動周波数を示している。また、黒色のバーが加重条件、灰色のバーが抜重条件を示している。1.4と1.65Hzの運動周波数の試技において2つの条件間に有意な差が認められた (** $p < 0.01$)。

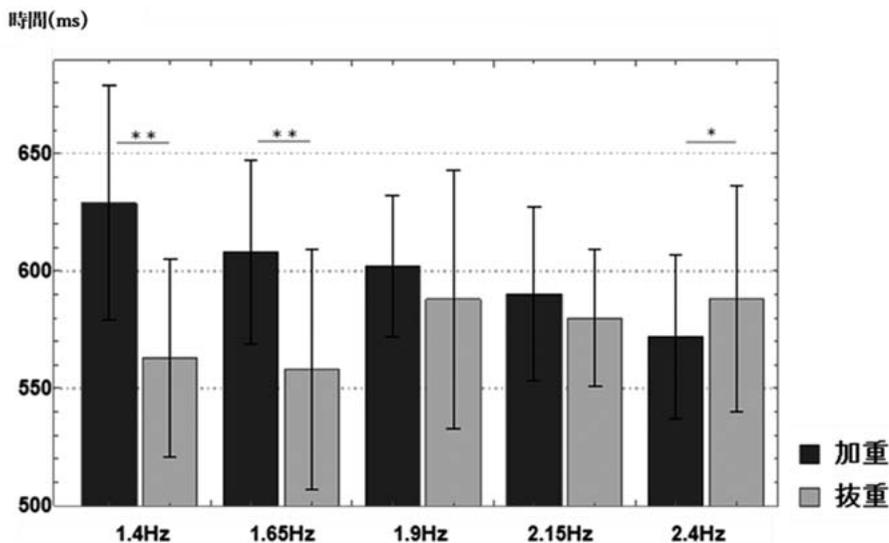


図5：最大速度到達時間

縦軸が最大速度到達時間 (ms)、横軸が各試技の運動周波数を示している。また、黒色のバーが加重条件、灰色のバーが抜重条件を示している。1.4と1.65Hzの運動周波数の試技において2つの条件間に有意な差が認められた ($*p<0.01$)。また、2.4Hzの運動周波数の試技においても2つの条件間に有意な差が認められた ($*p<0.05$)。

1.9と2.15Hzでは全体の平均の差が縮まり、特に、2.4Hzでは有意な差はないものの、全体の目標到達時間の平均値が逆転している事が分かる。更に、その2.4Hzにおける個人のデータを確認すると、10名中6名の対象者においてこの逆転が確認された。また、横方向最大速度到達時間の2つの条件間においても、目標到達時間と類似した関係を示し、2.4Hzで全体の平均の逆転が確認され、こちらでは有意な差も認められた ($*p<0.05$)。

以上のことから、全ての運動周波数において加重条件よりも抜重条件の方が早く動き出していることが分かる。更に、1.4と1.65Hzの運動周波数では、抜重条件の方が目標や最大速度へ早く到達している事が分かる。しかし、1.9から2.4Hzでは動き出しは抜重条件の方が早かったものの、目標や最大速度への到達が遅くなった対象者が一部見受けられた。つまり、2つの条件間で目標到達時間および最大速度到達時間の逆転が生じた対象者は抜重条件よりも加重条件の方が早く目標まで移動しているのである。

Fujii et al. (2013)は、準備動作を用いた反応サイドステップタスクにおいて、加重状態から実

施するよりも、抜重状態から実施した時の方が動き出しや目標や最大速度に到達する時間は速くなると報告していた。しかし、本研究では準備動作がどの運動周波数で行われた場合においても、動き出しは抜重条件の方が早い、1.9Hz以上の高周波になった際に、目標や最大速度に到達する時間は遅くなる現象が確認された。

5. 結論

本研究では、準備動作中の運動周波数、すなわち上下運動の運動周波数の違いが主動作であるサイドステップにどのように影響を及ぼすのかを検討してきた。また、グラフィック型言語プログラミングソフトのLabVIEWにより、LED点灯のタイミングを制御し、加重または抜重状態をより厳密に抽出する事を可能にし、それぞれの力学的な状態の違いを検討する事で以下の結論を導いた。

これまでは準備動作中に抜重状態から反応する事が動き出しや目標への到達が早くなるとされていた。これに対して本研究では準備動作中の運動周波数の違いがサイドステップに影響を

及ぼすことを明らかにした。特に、1.9Hz以上の高い運動周波数の準備動作を行った際に、目標や最大速度に到達するまでの優劣関係が、加重と抜重条件の間で逆転する現象が確認された。

謝辞

本研究は中京大学特定研究助成、2020年度中京大学体育学研究所の共同研究費を得て行われた。

参考文献

阿江通良, 藤井範久(2002). バイオメカニクス 20講. 朝倉書店
Fujii, K., Yoshioka, S., Isaka, T., & Kouzaki, M. (2013). Unweighted state as a sidestep

preparation improve the initiation and reaching performance for basketball players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23: 1467-1473.

Uzu, R., Shinya, M., & Oda, S. (2009). A split-step shortens the time to perform a choice reaction step-and-reach movement in a simulated tennis task. *Journal of Sports Sciences*, 27(12): 1233-40.

Wakatsuki, T., & Yamada, N. (2020). Difference Between Intentional and Reactive Movement in Side-Steps: Patterns of Temporal Structure and Force Exertion. *Frontiers in Psychology*, 11: 2186.