

テニス競技における競技力向上を支援する フットワークトレーニングシステムの開発

Development of a Footwork Training System for Enhancing Performance in Competitive Tennis

舟久保友花¹ 大沼巧¹ 中村ふみ子¹

Yuuka Funakubo¹, Takumi Ohnuma¹, and Fumiko Nakamura¹

¹ 沼津工業高等専門学校

¹ National Institute of Technology, Numazu College

Abstract: This study investigates the timing from visual perception to movement execution in tennis footwork using a custom evaluation device, "VISIT" and motion capture technology. Experiments with three tennis players derived reaction and movement times from knee angle data to analyze their relationship with overall performance scores. The results revealed that acceleration during movement time significantly impacts scores more than reaction time with individual performance varying by direction. These findings highlight the necessity of training systems that prioritize enhancing acceleration and addressing directional weaknesses to improve competitive performance.

1. はじめに

フットワークは多くのスポーツの競技力を左右する重要な要素である。特にテニス競技において、次の脚部の動作は、視覚的な情報をもとに予測され、方向転換や即時的なリカバリーを行う非定型的な動作によって遂行されることが多い。そのため、視覚からフットワークへの連動が大きくパフォーマンスに影響する[1]。しかし、バイオメカニクス分野でのテニス競技に関する研究は、打球時のフォーム(特に上肢)に特化したものが多く、フットワークにフォーカスした研究は少ない[2][3]。

本研究では、テニス競技におけるフットワークトレーニング手法の開発に向けて、次の動作の決定要因となる視覚情報の取得から、実行までの時間特性を調査する。

2. フットワーク能力評価機器「VISIT」

2.1 VISIT とは

フットワーク能力を評価するためのベンチマークとして、独自に開発したデジタル入出力 5 系統とタ

*連絡先：沼津工業高等専門学校電子制御工学科
〒410-8501 静岡県沼津市大岡 3600
E-mail: d21131@numazu.kosen-ac.jp

イマー機能を備えたフットワーク評価機器 (VISIT) を使用する。VISIT は、離れたところにあるスイッチまで移動する速度(往路の速度)と、スイッチを押してから中央に復帰するまでの速度(復路の速度)を測るフットワークトレーニング機器である。体力、筋力、反射神経、瞬発力、周辺視野等、様々な能力を鍛えることができる。このトレーニング機器は、地域のバドミントンコーチからの依頼を受け 8 年前に製作された。これを、テニスコートの規格に合わせて再設計し、使用する。

2.2 評価に使用する機器配置

スイッチの配置を図 1 に示す。中央に置く黒いスイッチは、テニスコートのセンターマーク上に置く。左右前方の緑と赤のスイッチは、ベースラインから前方(ネット方向)に 3.6m の位置で、なおかつ中央のスイッチ後方からの距離を 5.5m とする。左右後方の黄色と青のスイッチは、ベースラインから後方(ネットの逆方向)に 2.7m の位置で、なおかつ中央のスイッチ後方からの距離を 5.0m とする。中央のスイッチからの距離ではなく中央のスイッチ後方からの距離とした理由は、テニスにおける基本的な立ち位置が、ベースライン上ではなく、ベースライン後方であるためだ。各スイッチは、テニスコート上で

レー中に最大限動作する範囲を考慮して配置した。5色のLEDを取り付けたポールは、ネット際に配置した。

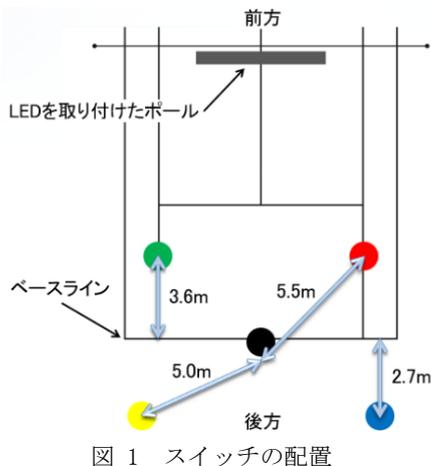


図2 コート上に配置した様子

VISITは、それぞれ5つのスイッチと5色のLEDを用いて、以下の手順で行う。

- ① 中央の黒いスイッチを押してスタート
- ② 前方LED(緑・赤・黄・青)の1つが点灯する
※点灯位置は毎回ランダムに決定される
- ③ 点灯したLEDに対応するスイッチを押す
- ④ 直ちに中央に戻り、黒いスイッチを押す
- ⑤ 次のLEDの指示を待ち、手順②に戻る
- ⑥ 手順②から⑤を10回繰り返す、計測終了
- ⑦ 結果スコアを表示

※①から②、⑤から⑥の時間の間隔は一定

2.3 評価方法

フットワークの評価スコアは式(1)のように、10回の試行で得られた往路の速度と復路の速度の積を合計した値として定義した。この式(1)を、フットワーク能力の評価のために用いる。

$$Score = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{g[i]} \times v_{r[i]}) \quad \dots (1)$$

ここで、 n は1回の計測における総計測回数、 $v_{g[i]}$ [m/s]は四隅のスイッチへ移動する往路の速度、 $v_{r[i]}$ [m/s]は中央のスイッチへ復路する復路の速度、 i は試行番号を表すカウンタ ($i = 1 \sim n$)である。

3. 実験

テニス選手のフットワークを解析するために、慣

性式モーションキャプチャを被験者に装着してデータ計測実験を行った。フットワーク評価のベンチマークとしてVISITを使用した。

3.1 実験方法

被験者のフットワークを解析するために、慣性式モーションキャプチャ(Perception Neuron 2, Noitom)を使用した。サンプリングレートは1Hzとした。全身の17か所にセンサを取り付け、計測結果は体の動作をとらえることのできる3D上の骨格データとして形成され、フレーム毎の角度、位置データが出力される。そのデータをもとに、必要な関節角度や位置情報を取得した。

- ① 被験者にVISITの説明をする
- ② 被験者にモーションキャプチャを装着し、キャリブレーションを行う
- ③ データ計測を一人3回行う
- ④ 各計測の間の休憩時間は約2分とする

本研究の対象は、本校の硬式テニス部に所属する健全な男子学生3名とした。実験前には十分な準備運動を行った。対象者には実験前に研究の目的および方法を説明し、書面による同意を得た。また、本研究は沼津工業高等専門学校のヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認(承認番号: 2025-S08)を受け実施した。以下の表1に対象者の、年齢、身長、体重といった対象者属性値を示す。

表1 対象者属性値

ID	年齢	身長(cm)	体重(kg)
A	18	172	60
B	16	165	48
C	16	165	51

被験者は全員、中学の三年間でソフトテニスを経験しており、硬式テニスは被験者Aが2.5年、被験者Bが7年、被験者Cが1年経験していた。

3.2 実験結果

無線環境の悪化により、被験者Cのみデータ計測の回数が2回となった。

式(1)により導出された評価スコアを表2に示す。

表2 VISIT 評価スコア

ID	一回目	二回目	三回目
A	67.91	62.81	63.58
B	66.09	64.04	67.10
C	31.52	37.20	

この評価スコアが、フットワーク能力を示すものとして解析した。

4. データ解析

4.1 反応時間と動作時間

モーションキャプチャにて取得した右膝の角度の時系列データを用いて、VISIT 動作中の、スイッチ間を走っている時間(動作時間)と中央に復帰してから動き出すまでの時間(静止時間)を導出した。膝の角度(図 3)が一定時間 40° を下回っている区間を静止時間と仮定した。静止時間は、中央のスイッチに復帰してから LED 点灯後、対応する色のスイッチへと動き出すまでの反応にかかった時間であるため、反応時間と呼ぶ。そのため、反応時間が短いほど反射神経が良いと判断できる。

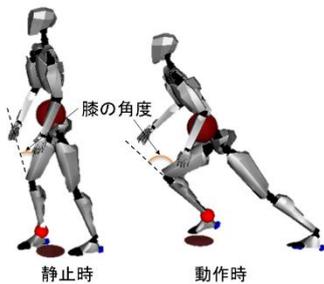


図 3 膝の角度

被験者ごとに一番スコアの高かった動作(被験者 A:一回目, 被験者 B:三回目, 被験者 C:二回目)を解析した。反応時間と動作時間を表したグラフを図 4 に示す。グラフ内の斜線の部分が反応時間, 色付けされた部分を動作時間としている。色分けは、LED・スイッチの色ごとにされている(図 4)。

平均反応時間は、被験者 A が 0.797[s], 被験者 B が 0.986[s], 被験者 C が 1.069[s]であった。平均動作時間は、被験者 A が 3.900[s], 被験者 B が 3.694[s], 被験者 C が 4.778[s]であった。

4.2 スwitchの色ごとの反応時間・動作時間

4.1にて導出した反応時間と動作時間を、スイッチの色ごとに分けてグラフ化した。左から順に、全てのスイッチ, 緑(左前)のスイッチ, 赤(右前)のスイッチ, 黄(左後ろ)のスイッチ, 青(右後ろ)のスイッチ

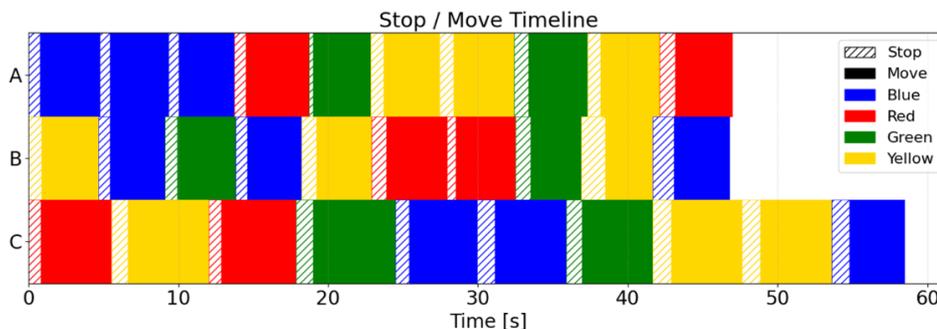


図 4 モーションデータより導出した反応時間と動作時間

ッチ, 黄(左後ろ)のスイッチ, 青(右後ろ)のスイッチとなっており, 図 5 が反応時間, 図 6 が動作時間を表すグラフである。

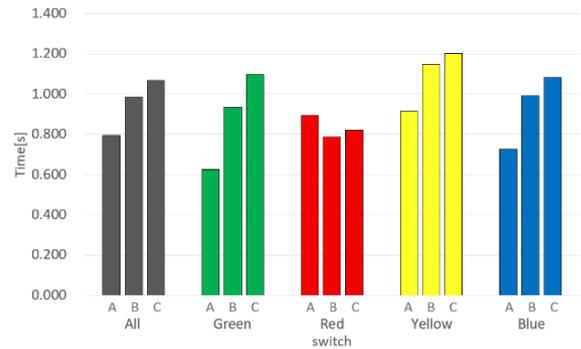


図 5 スwitchの色ごとの反応時間

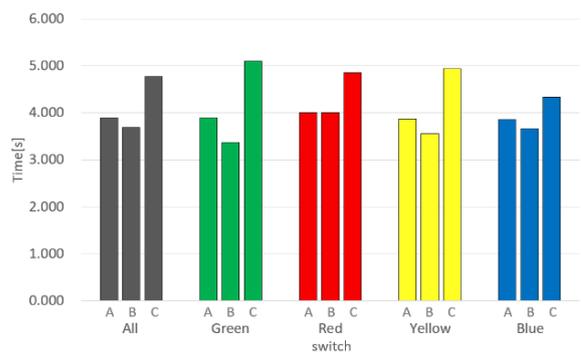


図 6 スwitchの色ごとの動作時間

図 5 より, ほとんどのスイッチで被験者 A の反応が速く, 特に緑のスイッチへの反応が速い。被験者 B と被験者 C に関しては, 赤のスイッチへの反応がほかの色と比べて速くなっている。

図 6 より, 被験者 A はスイッチごとの動作時間のばらつきが少ないことが観察できた。被験者 B は緑のスイッチへの動作が速いが, 被験者 C は緑のスイッチへの動作が一番遅くなっている。

4.3 動作時間と VISIT 往復時間の差

モーションキャプチャの角度データより導出した動作時間から VISIT に記録された往路の時間と復路の時間の合計を引いた値を図 7 のようにグラフ化し,

考察した。モーションキャプチャの膝角度 40°の閾値から静・動を区別した動作時間は、膝の角度が激しく変化しており動作しているとみなせる時間である。VISIT に記録された往路の時間は、LED 点灯からスイッチが押されるまでの時間であり、復路の時間は四隅のうちの 1 箇所のスイッチが押されてから中央のスイッチが押されるまでの時間である。

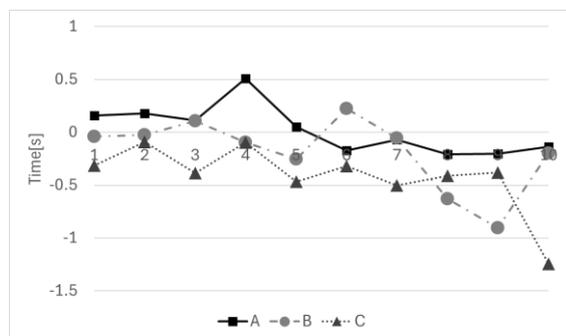


図 7 実効移動時間

平均時間は、被験者 A が 0.021[s]、被験者 B が 0.188[s]、被験者 C が -0.422[s]であった。この値は、LED 点灯から反応して動き出すまでの時間と、スイッチ押下から静止するまでの時間が反映されている。

5. 考察

5.1 動作開始後の加速能力の重要性

被験者ごとの平均反応時間と平均動作時間をまとめたものを表 3 に示す。

表 3 平均反応時間・平均動作時間

ID	平均反応時間(s)	平均動作時間(s)
A	0.797	3.900
B	0.986	3.649
C	1.069	4.778

評価スコアと平均反応時間、平均動作時間の比較から、反応時間より動作時間の俊敏さが現 VISIT の評価スコアには反映されていることが分かる。つまり、反応して動き出すまでの時間よりも、動き出しからの加速の仕方が重要視されていると考えられる。

5.2 スイッチごとの得意・不得意

4. 2 より、被験者はそれぞれ反応時間と動作時間において、得意・不得意とするスイッチがあるということがわかった。そのため、自身が不得意な方向を把握し、それを意識したフットワーク練習をすることが、フットワーク能力の向上に繋がるといえる。

5.3 実効移動時間

モーションキャプチャの角度データより導出した動作時間から、VISIT に記録された往路の時間と復路の時間の合計を引いた値を実効移動時間とする。この値が大きいほど、膝が動き出すのが早いため、助走を始めるタイミングが早いといえる。また、動作しながらスイッチへ手を伸ばして押せているため、上半身のバランス感覚が良いことが示唆される。

6. むすび

テニスの選手のフットワーク能力において、経験年数が多い方が膝の動いている時間が長く、移動速度も高かった。これらの結果から、動作開始後に加速が上手くできることが重要な要素であると確認できた。また、方向による得意不得意をなくすことも、フットワーク能力の向上に繋がることが明確になった。

また、手部によるボタンを押す操作のタイミングがスコアに何らかに関与しているという考察結果から、フットワーク能力には、上半身のバランス感覚も関係することが示唆された。分析開始直後は下半身(特に膝)に注目してデータ解析を行ったが、今後は上半身においても解析をすることで、新たなトレーニングシステムの評価方法が発見できる可能性がある。

本研究におけるフットワークトレーニングシステムの開発において、動作開始後の加速能力を高めることや、選手ごとに不得意な方向を改善することができる仕組みを組み込むことが必要であることが明らかとなった。助走のタイミングや上半身のバランス感覚においては、今後より詳しく調査する必要がある。

謝辞

本実験に参加いただきました沼津高専の硬式テニス部有志の皆様、心より深く感謝致します。

参考文献

- [1] 亀谷亮輔, 宇津亮太, 進矢正宏, 小田伸午: 技能レベルの違いから見たテニスのフットワークの空間制御の比較, 京都滋賀体育学研究, No.25, pp.1-10, (2009)
- [2] 岡村麻人, 石井壮郎, 林昌希, 青木義満, 黒瀬龍之介, 窪田辰政, 三橋大輔: よりよい動作を素早く提案するシステム-家庭用デジタルビデオカメラを利用して-, スポーツパフォーマンス研究論文, Vol.9, pp.146-156, (2017)
- [3] 大村陸, 青木悠祐: テニスにおけるフォアハンドストローク計測に基づく熟練手技解析, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol.2019, 1P1-R03