

## 修士論文の和文要旨

研究科・専攻	大学院 情報理工 学研究科 情報・ネットワーク工学 専攻 博士前期課程		
氏 名	鈴木 和樹	学籍番号	1731085
論文題目	少林寺拳法における逆突きの熟練度評価モデルの構築		
要 旨	<p>本研究では、少林寺拳法における逆突きを題材として、学習支援に用いることを想定した熟練度評価モデルの構築を目指した。</p> <p>まず、計測実験で得られた参加者のデータに対して、事前に熟練者 7 名に対して行った調査アンケートで、少林寺拳法において重要とされる指標について調べた。その結果、複数の熟練者が指摘する注目すべき重要な指標を選別した。その後、未経験者群と経験者群、熟練者群の 3 つのグループの被験者を対象に、加速度センサーを体に装着させモーションキャプチャも併用して逆突きの計測実験を行った。事前調査の指標に着目して分析を行った結果、全ての指標において未経験者群と経験者群・熟練者群の間で有意な差を確認した。また、一部の指標においては、経験者群と熟練者群の間でも有意な差を確認した。この結果から、経験者が熟練者になるうえで注意を払うべき指標を推定した。</p> <p>次に、実験によって未経験者群と経験者群・熟練者群の間で有意な差がみられた指標を用いて熟練度評価モデルを提案した。提案した評価モデルは、正規分布の性質を利用して経験者群の平均値を用いて経験者の平均値に近いほど高い点数を、遠いほど低い点数を算出するようにした。この熟練度評価モデルによって正しく参加者の熟練度を評価できるかを検証するために、6 名の熟練度の異なる参加者について熟練者の主観評価との比較実験を行った。結果として、構築した評価モデルは参加者の熟練度が上がるにつれて高い点数を付けることを確認した。また、熟練者の主観評価との平均二乗誤差平方根 (RMSE) を算出した結果、熟練者 3 人中 2 人の評価との誤差が 0.9 であり、最も大きな誤差でも 2.1 であった。スピアマンの順位相関係数も、各熟練者との間で 0.7 以上の強い相関が見られた。このことから、提案の評価モデルが熟練者の主観評価に近い評価を行える可能性を確認し、本研究で用いた熟練度評価モデルの提案手法の有効性が示唆された。</p>		

## 平成 30 年度 修士論文

---

少林寺拳法における逆突きの熟練度評価モデルの構築

---

学 籍 番 号 1731085  
氏 名 鈴木 和樹

電気通信大学 情報・ネットワーク工学専攻 コンピュータサイエンスコース

主任指導教員 伊藤 毅志 准教授

指導教員 小林 聡 教授

2019/03/14

## 目次

1 章	序論	4
1.1	本研究の背景	4
1.2	本研究の目的	5
1.3	本論文の構成	5
2 章	少林寺拳法	6
2.1	少林寺拳法とは	6
2.2	少林寺拳法における逆突き	6
3 章	動作計測装置	8
3.1	慣性センサの概要	8
3.2	Motion Capture の概要	8
3.3	本研究で用いる計測装置で取得できるデータ	9
4 章	関連研究	12
4.1	スポーツ・武道における動作計測に関する研究	12
4.2	熟練度の評価モデルに関する研究	13
5 章	予備調査	14
5.1	目的	14
5.2	方法	14
5.3	結果	15
5.4	考察	19
6 章	実験	21
6.1	目的	21
6.2	方法	21
6.3	分析	22
6.4	結果	28
6.5	考察	34
6.5.1	未経験者と経験者群・熟練者群について	34
6.5.2	経験者群と熟練者群について	35
7 章	熟練度評価モデル	37
7.1	目的	37
7.2	提案手法	37
7.3	検証	38
7.4	結果	40
7.5	考察	44
7.5.1	評価モデルと熟練者の主観評価の比較	44

7.5.2 評価指標の寄与率 .....	45
8章 結論 .....	46
8.1 結論 .....	46
8.2 今後の課題と展望 .....	46
参考文献 .....	48
謝辞 .....	50
付録 .....	51
付録 A：予備調査における熟練者への調査アンケート全文 .....	51
付録 B：実験における各種データ .....	55
付録 C：検証に用いた各種データ .....	67

# 1章 序論

## 1.1 本研究の背景

武道や茶道、華道などでは、技術面と精神面どちらも学ぶことが求められる。技術面については基本の「型（フォーム）」から学ぶことが重要であり、これは武道に限らず他のスポーツにおいても共通している。これら武道の学習においては、まずは良いと言われている型を反復練習によって習得することが求められ、その基本的な型に肉付けする形で応用的な技を身につけていく。その過程で、その型に込められた意味を理解し、解釈していくことによって精神面の修養を積んでいく。

本研究で題材とする少林寺拳法でも、初心者では基本的な型の修得が求められる。その土台の上でより高度な技術の学習が行われていく。その過程で型に込められた精神的な意味の理解が求められ、より深い武道の精神が培われていく。これを実現するためにも、基本となる型は反復して練習する必要がある、その型の習得には一定の時間が必要となる。

ここで挙げた型の修得と精神面の修養は、学習指導要領の改訂により2012年より始まった武道必修化の中の修得目標としても掲げられている[1]。その中でも武道必修化の狙いの本質は、伝統的な考え方や行動の仕方（所作）を身に付けさせることにありとされている。本来武道では、伝統的な考え方や所作を身につけるといった精神面の学習は「型⇒精神」の順で学ぶものであるため、伝統的な所作の精神を学ぶためには、初心者にはまず型の修得をさせる必要がある。

しかし現状、初心者が型を習得するには、そもそも一定の時間がかかる上に、学校教育の場における指導であるという点も含めると次の二つの問題が挙げられる。

一つ目は教える側のリソースの問題である。武道必修化に伴い、教員は新しい種目を自ら学んだうえで学生にそれを教える必要があるため、教員の負担は確実に大きくなることが予想される。そのうえ、教員数が2018~2020年から減少傾向になることが予想されており、今後教員一人当たりの負担は一層増える[2]。そのため、武道を教える教員のリソースが足りず、技術面・精神面の両面から学生に十分な指導を行う事が難しい。

二つ目は型の指導自体の難しさの問題である。学習者が型を修得するためには、見本と自分の体の動きの違いに気づき、自分の体の動きを調整して見本の動きに近づけることが求められる。しかし、型の修得は言語化することが難しいため、学習者自身は何がどこまで達成できているのかを実感することが難しい。ひたすら反復動作を強要されるだけの学習では、効率的な学習にはならず、学習者のモチベーションも上がらない。また、指導者がひとりひとりの学習者に合わせて、非言語的な体感の違いを指摘して指

導していくこともリソース的に難しい。型が習得されなければ、精神面の学習もおぼつかない。

こういった背景から武道の型の修得を効率的に促す手法が求められている。本研究では、少林寺拳法を題材として武道の学習における型の学習をモデル化し、熟練度を点数化して学習者に視覚的に提示することで効率的に習得支援を行う手法について考察する。

## 1.2 本研究の目的

本研究では、中学生武道必修化で採択されている武道の一つである少林寺拳法の逆突きを題材として、熟練度評価モデルの構築を目指した。本研究の目的は、少林寺拳法初段の実力までの逆突きの熟練度を評価できるモデルの構築である。実験では、熟練度の異なる選手に対して慣性センサとモーションキャプチャ(以下 MoCap)を用いた動作計測を行い、熟練度による違いが表れる身体部位について考察を行う。そして、熟練度によって違いの表れる部位を用いて熟練度評価モデルの構築を行う。最後に、各熟練度の参加者のデータを用いてモデルの点数と熟練者の主観評価の点数を比較することでモデルの精度に関する考察を行う。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

- 第一章 本研究の背景、目的、本論文の構成について述べる。
- 第二章 本研究で題材とする少林寺拳法について述べる。
- 第三章 本研究で用いた慣性センサと MoCap について述べる。
- 第四章 動作計測に関する研究と評価モデルに関する研究について述べる。
- 第五章 熟練者へ行った逆突きの着目すべき点に関する調査アンケートについて述べる。
- 第六章 計測実験について目的、方法、分析手法、結果を述べ、最後に考察を行う。
- 第七章 評価モデルについて、目的、方法、検証、結果を述べ、最後に考察を行う。
- 第八章 本研究の結論と今後の課題・展望について述べる。

## 2章 少林寺拳法

### 2.1 少林寺拳法とは

少林寺拳法とは、宗道臣が人づくりと平和で物心共に豊かな社会の実現を目的として 1947 年に香川県多度津町で創始した武道である [3]。宗道臣は、中国在住時に学んだ拳技に創意工夫を加えて、多くの人が楽しみながら学べるような新しい技術体系を目指して整理、再編して少林寺拳法を広めていった。少林寺拳法は人々の心身の修練と平和的手段による社会変革を目指して創始されたため、単純に腕力の強い人や技の上手な人を育てるためではなく、老若男女幅広く学べるように作られている。

### 2.2 少林寺拳法における逆突き

少林寺拳法における逆突きは、最も基本的な技のひとつとして入門後すぐに習う技である。逆突きは入門後だけでなく昇級・昇段審査の時にも必ず審査される技であり、段位問わず様々な技の中でも逆突きが用いられている。そのため、少林寺拳法の技の中でも初心者から熟練者までの間で使用頻度が高く、熟練度による違いが出やすい技であると言える。そのため、本研究のテーマ課題として設定した。

まず逆突きの動作の流れを図 1 に示す。逆突きは通常、構えた状態から「運歩」と呼ばれる前後に動く動作とセットで一連の突きの動作となる。本研究でもそれに倣い、実験で扱う逆突きを運歩とセットで行うことにした。以降、簡単のため本研究での逆突きとは以下の 3 つの動作を表し、各動作に着目する時は番号で呼称する。例えば“前に一歩入る”動作は、“手順 1”と表す。

1. 前に一歩入る
2. 逆突きを行う
3. 後ろに一歩下がる

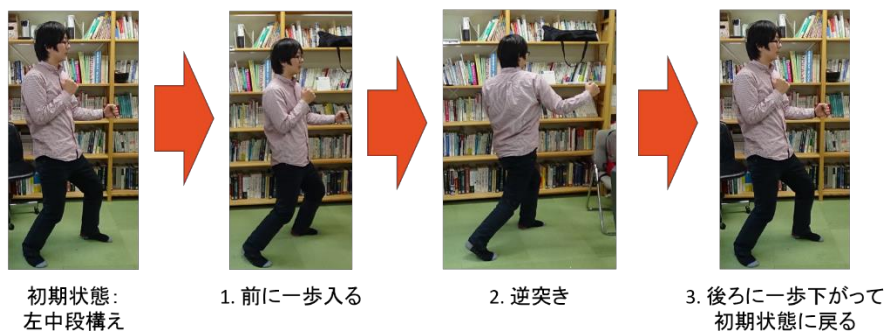


図 1 逆突きの動作の流れ

少林寺拳法の逆突きを指導する際には、幾つか重要な点が存在する。初心者の頃は、まずその重要な点に注意を払って学習していく。ここで重要な点とは、熟練者が指導する際に重視する点のことである。

本研究で構築する熟練度評価モデルでは、この重要な点を数値化・点数化することで熟練度を評価することを目的にしている。しかし、熟練者間で「重要な点」が必ずしも一致しない場合がある。そのため、複数の熟練者に対して逆突きを指導する際の重要な点を調査し、本研究で着目すべき点について考察することにした。この結果については、5章で詳述する。



## 3章 動作計測装置

### 3.1 慣性センサの概要

慣性センサは、主に加速度や角速度などの慣性系に関するデータを計測するための小型のセンサである。慣性センサによる計測では、センサを特定の部位に装着することでその部位の加速度や角速度が得られる。慣性センサは安価なものから比較的高価なものまで存在し、高価なものはサンプリングレートが 1kHz 以上で複数の異なるデータを同時に計測できるなど計測精度の面で優れている。慣性センサは小型かつ計測精度が高いため、スポーツの中でも素早い動作に対して動きを邪魔することなく特定の部位を精度良く計測することができる。その反面、計測部位が増えるのに伴ってセンサの数も増やさなければならない。それに加えて、センサの向きを座標軸としているためそのまま加速度・角速度を積分演算しても絶対座標系に関する位置情報の計算は難しい。そのため、地磁気センサを加えた慣性センサでなくてはスポーツなどの素早い動作において計測した加速度から位置情報を精度良く求めることは難しい。

### 3.2 Motion Capture の概要

Motion Capture は主に全身の動きを計測するために用いられる。MoCap の使用用途は様々で、スポーツや武道などの身体運動の計測だけでなく映像制作における CG や、工場における機械の挙動の評価にも用いられている。MoCap には大きく分けて光学式、慣性センサ式、機械式、磁気式、ビデオ式が存在する。ここでは一般的に使用される光学式と本研究で使用する慣性センサ式について概要や特徴を述べる。

まず光学式は複数台のカメラを設置した空間を構築したうえで、赤外線を反射するマーカーを装着した対象の位置情報を複数台のカメラによって捉えることで 3 次元座標をリアルタイムに算出する方法である[4]。対象の 3 次元座標を計測しているため、速度や加速度を算出するためには微分による処理が必要である。

光学式は、他の方式に比べて比較的精度が良く、カメラの精度にもよるがサンプリングレート 240Hz-360Hz で計測することができる。しかし、カメラの台数によってはマーカーが隠れてしまうことがあり、その場合自動補正によって補われるものの精度が落ちてしまう。他の方式と比べて計測には広い空間を必要とし野外などでの計測はマーカーの検出に影響が出るため基本的に困難であるなど計測場所の自由度は少ない。

一方、本研究で使用する慣性センサ式は慣性センサと地磁気センサを合わせたセンサを全身に装着し、計測された加速度・角速度から位置・姿勢を求める方法である。慣性センサ方式はボディースーツを装着することで対象の動作を計測するため、場所の自由度は光学式に比べて高い。しかし、対象の加速度・角速度から位置や姿勢を求める

ため光学式に比べて位置情報についての精度は劣る。また、装着した慣性センサの情報をもとにリアルタイムに位置情報を計算しているため、計測部位数にもよるが出力サンプリングレートは光学式に劣る。一般的には慣性センサ式のサンプリングレートは60Hz-120Hzのものが多く、高いものでも240Hz程度である。

### 3.3 本研究で用いる計測装置で取得できるデータ

本研究で用いる計測装置の基本スペックを以下に示す。本研究では逆突きの素早い回転動作を計測するために高精度の慣性センサを2つ用いる。それに加えて、手の角度や歩幅などの位置情報を含んだデータを計測するために慣性センサ式のMoCapを用いる。

- ・慣性センサ：株式会社スポーツセンシング DSP 乾式筋電センサ(加速度/角速度), サンプリングレート 1kHz, 無線形式, 加速度レンジ $\pm 16G$ , 角速度レンジ $\pm 2000dps$
- ・Motion Capture: Noitom Perception Neuron2.0, サンプリングレート 120Hz, 有線形式, 加速度レンジ $\pm 16G$ , 角速度レンジ $\pm 2000dps$

本研究で用いる慣性センサは2つあり、それぞれの慣性センサの計測時刻はセンサ同士の間で同期されている。本研究で用いる慣性センサで取得できるデータの種類の、以下の3つである。

1. 加速度(X,Y,Z)…単位は $[m/s^2]$
2. 角速度(X,Y,Z)…単位は $[deg/s]$
3. 筋電位…単位は $[mV]$

慣性センサで得られる加速度と角速度の軸の向きを図2,図3に示す。



図 2 慣性センサの加速度の軸の向き

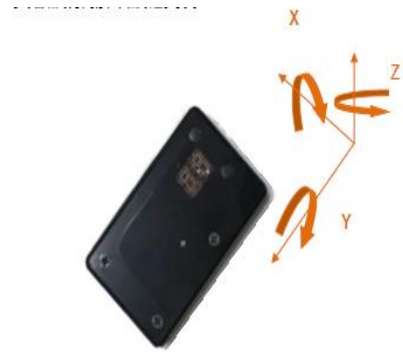


図 3 慣性センサの角速度の軸の向き

次に本研究で用いる MoCap で取得できるデータについて述べる。まずは本研究で用いる MoCap で計測している部位とその位置、座標軸を図 4 に示す。図 4 にあるスケルトンのボーンの横に記載されている数字の位置が計測点を表している。そして MoCap は各計測点に対して以下のデータを取得できる。

1. 位置(X,Y,Z)…単位は[m]
2. 速度(X,Y,Z)…単位は[m/s]
3. 加速度(X,Y,Z)…単位は[m/s<sup>2</sup>]
4. 角速度(X,Y,Z)…単位は[rad/s]
5. クォータニオン(X,Y,Z)…単位なし

本研究で用いる MoCap は慣性センサ式であるため位置情報は、絶対座標ではなく慣性センサから計算した値である。そのため、位置情報は図 4 の計測点 1 にあたる腰のセンサを root ノードとした相対的な 3 次元座標表現となっている。そのため、Z 座標については床からの高さではなく腰からの相対的な高さを表している。

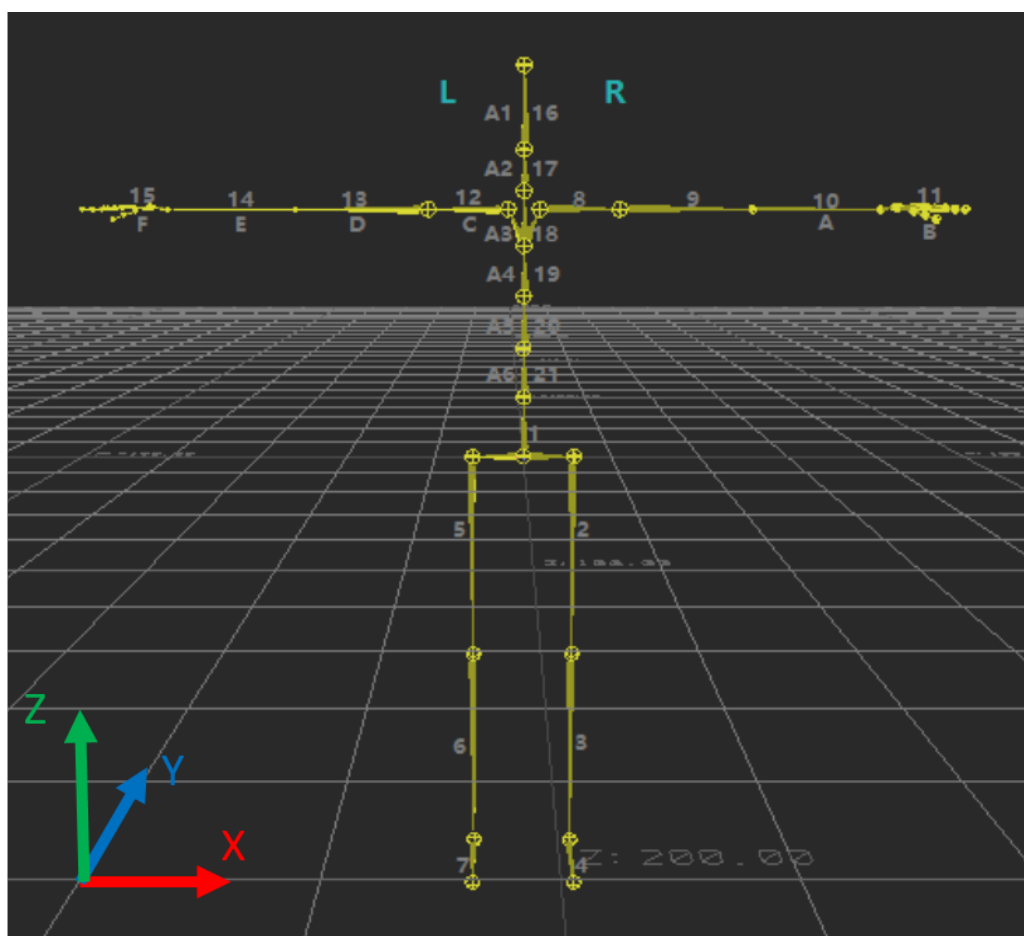


図 4 Perception Neuron で計測できる計測点の位置と座標軸

## 4章 関連研究

### 4.1 スポーツ・武道における動作計測に関する研究

計測技術の発達を背景に様々なスポーツ・武道において動作計測の研究が盛んに行われている。題材は多岐に渡り、スポーツでは野球やバスケットボール、フェンシングなど型（フォーム）が重要となる種目で特に多くの研究が行われている[5][6][7]。武道においてもスポーツ分野と同様に型が重要となる剣道や空手、少林寺拳法などで研究が行われている[8][9][10]。これらの研究の目的は主に、特定動作における未経験者と経験者、もしくは経験者と熟練者の2群間の特定部位の違いを数値的に明らかにすることである。動作計測の研究の延長として実験によって群間で違いの見られた特定部位の数値データを用いた学習支援システムの開発を目的とする研究も行われている[11][12][13]。しかし、スポーツ・武道の動作を一部分のみのデータだけで説明することは十分とは言えず、また一部分のデータのみを用いた学習支援も十分とは言えない。十分な学習支援を行うためには、学習者の動きを総合的に評価するシステムが必要である。

これまでの動作計測の研究では、動作計測機器として慣性センサ、もしくは MoCap のどちらか一方が用いられている。慣性センサは特定の部位を高精度で計測でき、MoCap は複数の部位をある程度の精度で計測することができる。計測したい動作に合わせて計測機器を使い分けることが重要である。斎藤らは、2つの慣性センサを用いて野球投球時の体幹回旋と前腕回内の角速度と投球スピードの関係を調査した[5]。結果として体幹回旋と体幹前傾が投球スピードに影響を与えることを確認した。この研究からも素早い回旋動作に対して、慣性センサの有効性が確認できる。しかし、慣性センサの欠点である多数の点を計測できない問題により、体幹背部と右前腕の2点と投球スピードの関係のみしか計測できていないため、その他の身体部位が投球スピードに与える影響を調査できていない。次に岩本らは MoCap を用いてボクシングのストレートパンチ時の腰の回旋角度や角速度、角度変位時間などを計測した[14]。結果として、未経験者と経験者の間で最大回旋角度と最大角速度で有意差があったが、角度変位時間では有意差はみられなかったとした。ここで有意差がみられなかった角度変位時間のようなタイミング・時間に関する指標は計測機器のサンプリングレートの影響を受けやすい。そのため、慣性センサに比べてサンプリングレートで劣る MoCap では計測データに影響が出る可能性がある。

これらの研究から、慣性センサと MoCap のどちらか一方のみを用いるだけでは、スポーツ・武道などの素早い動作が求められる分野において、学習者を総合的に評価するモデルを構築することは難しい。そのため、本研究では精度の高い慣性センサと全身を

計測できる MoCap を併用することで計測できる評価指標を増やし、対象を総合的に評価することを目指す。

## 4.2 熟練度の評価モデルに関する研究

動作計測の研究から発展し、動作の様々な部位を見て総合的に評価をするモデルに関する研究も行われている。その例として、MoCap を用いた剣道の打撃動作の標準的 3 次元モデルを構築した横山らの研究がある[15]。横山らは熟練者のデータを規格化・平均化処理することで熟練者の標準的モデルを作成した。

近年では、居合道を題材として横山らよりも幅広い熟練度を対象に評価モデルの構築を行った崔らと高橋らの研究がある[16][17]。崔らは未経験者と経験者を熟練度で分類することを目的として、多変量解析の一種である主成分分析とクラスター分析を用いて分類を行った。高橋らは熟練者の主観評価を客観的な指標に置き換えることを目的として、熟練者 1 名の主観評価結果から相関分析法により熟練者評価モデルを構築し、MoCap による計測データから構築した評価モデルと比較した。

これらの研究で用いられた手法は、評価指標に関する計測データから熟練度評価モデルを構築する際に有効であることが示唆された。しかし、高橋らの研究では実際に採点競技で用いられている型を題材としており、それにより評価指標が事前に決まっていたため、競技の評価指標をモデルにそのまま利用できた。しかし、評価指標が明確に定まっていない題材に対して高橋らの手法をそのまま用いることは難しい。評価指標が明確に定まっていないものの例として、学習支援などで題材となるバッターのスイングやバスケットボールのシュートフォーム、空手の突きなどが挙げられる。こういった曖昧な評価指標を計測によって明確にするために動作計測の研究は行われている。動作計測の研究では、まず熟練者に重要とされる部位などの評価指標を聞き取り調査することで計測部位の目安としている。調査の際に競技や題材によっては熟練者の間でも評価指標が異なることがある。そのため、本研究で題材とする少林寺拳法の逆突きで重要とされる部位などを複数人の熟練者に対して調査する必要がある。

次に崔らの研究では、モデルの評価が未経験者か経験者かの 2 値分類に留まっており、学習支援を行うためには不十分である。また、より熟練した時に変化する評価指標についても調査が必要である。

そこで、本研究では 4.1 節で述べた慣性センサと MoCap を併用することに加えて、未経験者・経験者・熟練者の 3 群に対して熟練度によって違いが現れる評価指標を調査し、それらの評価指標を用いて熟練度を数値化できるモデルの構築を目指す。

## 5章 予備調査

### 5.1 目的

熟練度評価モデルの作成に必要な評価指標を調べるため、少林寺拳法の指導者とされる四段以上の人を対象に調査アンケートを実施した。アンケート内容は、逆突きを指導する際に留意すべき点や重視される身体部位などについてであった。得られた調査結果をもとに熟練度評価モデルの作成に必要な評価指標を明らかにする。

### 5.2 方法

#### ・調査対象者

少林寺拳法四段~七段の指導者 7 名（経験年数 *Ave.*=28.43 年, *S.D.*= 11.15 年）

#### ・質問内容

調査対象者には「武道経験がない未経験者を対象に“逆突き”を指導する」という背景のもと以下の 6 項目の質問に回答させた。質問 3,6 については図 5 に示す身体部位の概略図を見て番号で回答させた。

1. 上述の状況「未経験者を対象に“逆突き”を指導する」において、指導者としてどういった手順で指導を行いますか？
2. 上述の状況において、未経験者が達成すべき目標はどのようなものがありますか？

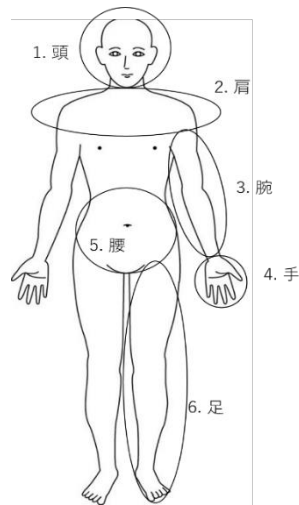


図 5 アンケートに用いた身体部位の概略図

3. 上記の達成目標を実現するためにどの部位に着目して指導することが重要だと考えますか？重要だと思う部位を 1~3 つお選び下さい。
4. 上記の質問でお選びいただいたそれぞれの部位について、具体的な指導方法をお書き下さい。(2 つ以上の部位を合わせた複合的な記述でも構いません。)
5. 未経験者と経験者の動作を比較した際にどのような違いが表れることが考えられますか？
6. 上記の質問でお答えいただいた違いは、こういった部位が関連していると考えられますか？1~3 つお選びください。

### 5.3 結果

自由記述形式の回答を分析するために以下に示すタグを用いてタグ付けを行ったところ回答内容を分類することができた。

- ・構え…“手の高さ”, “手の握り”
- ・手…“突きの軌道・引き”, “突き手と逆の手の引付”
- ・肩腰…“肩腰の回旋”, “肩腰の連動”, “体幹のブレ”
- ・足…“突いた時の両足の幅”, “前足の開き具合”
- ・その他…“スムーズさ”, “気合”, “動作の意味”

次にタグ付けの際に根拠となる記述と分類結果を 1 つのタグにつき 3 つ示す。1, 2 つしか記述が存在しなかったタグについては、その数までを示す。1 つの文章中に複数のタグに分類される記述があった場合には、対象のタグについての記述を示し、それ以外のタグについての記述は“…”で表す。



構えに関するタグ：手の高さに分類された記述

・構えでは、拳(手)は胸の高さ、

(熟練者 B, 質問 4)

・そこから、手の形や高さや…、

(熟練者 E, 質問 2)

構えに関するタグ：手の握りに分類された記述

・正しい拳の握り方、…、

(熟練者 D, 質問 2)

手に関するタグ：突きの軌道・引きに分類された記述

・手先の軌道が最初の構えからまっすぐ目標に向かって行き

真っ直ぐに戻ってくるように、

(熟練者 E, 質問 4)

・動作の最小化(無駄な動作がない)※突きの軌道が一直線か曲線か等、

(熟練者 B, 質問 5)

・突いた手は、出し際の軌道と同じ軌道で引かせます、

(熟練者 F, 質問 1)

手に関するタグ：突き手と逆の手の引きつけに分類された記述

・突く手と反対の手は胸、顎下あたりに引きつけさせます、

(熟練者 F, 質問 1)

・前へ運歩した後に突き手と逆の手を胸の前まで引き、…、

(熟練者 G, 質問 1)

肩腰に関するタグ：肩腰の回旋に分類された記述

- ・腰は帯が入れ替わるまで、肩はまっすぐに入れ替わるまで、  
(熟練者 A, 質問 1)
- ・美しいライン(軸)を使えて身体の入替えができるか、  
(熟練者 B, 質問 5)
- ・肩は突いた時に顎の下に肩があるようにする、  
腰は骨盤を動かさようにする、…、  
(熟練者 D, 質問 2)

肩腰に関するタグ：肩腰の連動に分類された記述

- ・後ろの膝が曲がり、腰が入り、肩が入れ替わるという順番ができるかどうか、  
(熟練者 A, 質問 2)
- ・足が動くことで腰が回転し、腰が回転することで手が出て突きを行う、  
という体の中の動きの連携が大事、  
(熟練者 E, 質問 4)
- ・運歩した力を突きに伝えるために足~腰~肩~拳の順で力を伝えていく  
感覚を伝える、  
(熟練者 G, 質問 4)

肩腰に関するタグ：体幹のブレに分類された記述

- ・突くときに体軸がぶれるかどうか、  
(熟練者 A, 質問 5)
- ・背中が曲がることなく、きれいな姿勢を心掛ける(背筋)、  
(熟練者 B, 質問 4)
- ・移動時、突きを行っているときに、丹田が上下しないこと、  
(熟練者 E, 質問 4)

足に関するタグ：突いた時の両足の幅に分類された記述

- ・膝については寄足をして曲がる ところまで,

(熟練者 A, 質問 4)

- ・前足を一步踏み出して突く, 後ろ足は寄足をする,

(熟練者 D, 質問 4)

- ・運歩は行わずに, その場で逆突きを行わせることから指導します

(足幅が狭くなったりしないようにするため),

(熟練者 F, 質問 1)

足に関するタグ：前足の開き具合に分類された記述

- ・前足は膝が開かないように, …,

(熟練者 E, 質問 4)

- ・前足が開かないように指導させます,

(熟練者 F, 質問 1)

その他に関するタグ：動作の意味に分類された記述

- ・順突きと逆突きの違いを理解し, 突き分けることができる,

(熟練者 B, 質問 2)

- ・動きの意味の説明(なぜ肩を出すのか, 運歩をするのか),

(熟練者 C, 質問 4)

その他に関するタグ：スムーズさに分類された記述

- ・一連の動作でスムーズに動く,

(熟練者 C, 質問 2)

- ・最初の目標は, 動作の開始(前に半歩移動する)から突きが終わって

元に戻るまで, スムーズに動けること,

(熟練者 E, 質問 2)

その他に関するタグ：気合に分類された記述

- ・気合の大きさ, タイミング,

(熟練者 C, 質問 2)

この中で“手の握り”，“気合”以外のタグは少なくとも 2 人以上が言及していた。  
次に指導で着目する身体部位と熟練度によって違いが出やすい身体部位に対する回答結果を表 1 に示す。

表 1 身体部位に関する調査の回答結果

	頭	手	腕	肩	腰	足	その他
指導時	0	2	0	3	4	7	1
熟練度	1	3	0	2	4	5	2

指導時に関する質問 3 では“足”が最も票数が多く、次に多かったのは“腰”であった。熟練度に関する質問 6 でも質問 3 と同様に“足”が最も票数が多く、次に多かったのは“腰”であった。3 番目に票数が多かった身体部位に関しては、指導時に関する質問では“肩”であったのに対して、熟練度に関する質問では“手”となり、質問 3,6 の間で異なる結果となった。

## 5.4 考察

調査結果で行ったタグ付けに用いたタグはどれも逆突きを指導する際に重要な点であり、評価モデルに利用できると考えられる。しかし、複数の熟練者の間で指導時に着目する部位に関して、共通する点と相違する点が存在することが分かった。複数の熟練者の間で共通して重要とされている点が、未経験者に最初に指導すべき点であると考えられる。そのため、まずはタグの中でも複数人が言及しており、票数の多い身体部位に関するタグから評価モデルに用いた。ただし、複数人が言及していたタグの中でも“動作の意味”と“前足の開き具合”については本研究で用いる計測機器では測定できないため対象から除外した。

表 2 分類されたタグと身体との対応関係の評価指標

分類されたタグ	身体との対応関係の評価指標	計測装置
肩腰の回旋	肩・腰の最大回旋角度	慣性センサ
	肩・腰の最大角速度	
肩腰の連動	肩・腰の回旋し始めの時間差	慣性センサ
突き手と逆の手の引きつけ	左腕の最小関節角度	MoCap
構えの時の手の位置	右手・左手の胴体の長さに対する高さ	MoCap
	右腕・左腕の初期関節角度	
	両手の高さの差	
突いた時の両足の幅	初期足幅と突き時の足幅の差	MoCap

次に分類されたタグについて計測するうえで必要なタグと身体との対応関係を表す評価指標を定義した。本研究では、肩腰の回旋に関する 4 つの評価指標に関しては岩本らの研究を、関節角度に関しては崔らの研究を参考に評価指標を定義した[14][16]。分類されたタグ毎に定義した評価指標を表 2 に示す。回旋動作を含む肩腰の回旋、時間・タイミングに関する肩腰の連動は、慣性センサで計測を行った。関節角度や高さ、足幅などの位置情報を含むタグについては MoCap で計測を行った。

## 6章 実験

### 6.1 目的

未経験者・経験者・熟練者の3群間において調査アンケートで得られたタグに関する評価指標を慣性センサと MoCap を用いて計測する。そして得られた評価指標のデータを分析することで熟練度による違いを明らかにし、タグに関する評価指標の有効性を確認する。

### 6.2 方法

#### ・実験参加者

実験参加者は以下の通りである。

未経験者 6 名…武道未経験者, 経験年数( $Ave.=0$  年,  $S.D.=0$  年)

経験者 12 名…少林寺拳法初段, 経験年数( $Ave.=2.61$  年,  $S.D.=0.52$  年)

熟練者 6 名…少林寺拳法四段以上, 経験年数( $Ave.=25.0$  年,  $S.D.=12.80$  年)

#### ・測定装置

慣性センサ: 株式会社スポーツセンシング DSP 乾式筋電センサ(加速度/角速度) $\times 2$

Motion Capture: Noitom Perception Neuron 2.0

#### ・手続き

実験参加者には実験で行う動作が逆突きであること、慣性センサ及び MoCap を身体に装着すること、身体を計測することなどの実験の説明を行った。その後、未経験者には教示動画を 30 分程度視聴させ、その場で逆突きの練習をさせた。この時使用した教示動画は中学校武道必修化指導書映像集の“左中段構え”と“内受け突きの攻者(逆突き)”の映像である[18]。

説明および教示の後に MoCap の身体計測マニュアルに従い、参加者の胴体の長さを計測した[19]。そして、参加者には慣性センサを図 6 に示す 2 ヶ所に服の下から慣性センサの Y 軸が上向きになるように貼り付けた。慣性センサを貼り付け後、服の上から MoCap を装着させた。慣性センサと MoCap を装着後、参加者には計測開始の合図として音に合わせて逆突きを 1 回行うように教示をした。計測は以下の流れで行った。



図 6 慣性センサの貼り付け位置

1. 参加者には初期状態として 左中段構えの状態にさせる.
2. その状態を MoCap の Zero 地点に設定する.
3. 計測開始の合図として音による合図をする.
4. 音に合わせて参加者に逆突きを 1 回行わせる.

これを 1 回の計測として、この一連の行動を各参加者 10 回行わせた。

### 6.3 分析

慣性センサや MoCap により取得したデータからタグに関する評価指標を算出する方法について述べる。評価指標の中でも右手と左手、腰と肩で同様の処理を行っているものについてはその旨を記載した。

・タグ名：肩腰の回旋

肩腰の回旋に関する 4 つの評価指標の計測イメージ図を図 7 に示す。

1. 評価指標名：肩の最大回旋角度  $\Phi_{maxShoulder}$

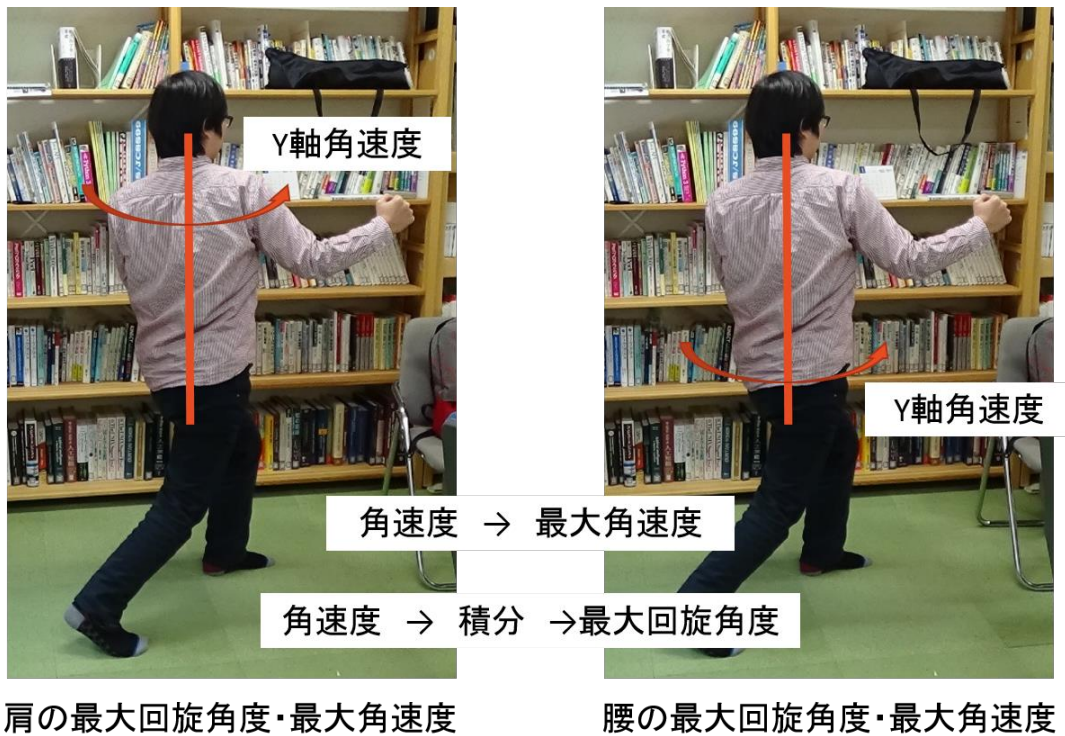


図 7 肩腰の回旋に関する評価指標の計測イメージ図

肩の最大回旋角度 $\Phi_{maxShoulder}$ を算出するためにまず、肩の慣性センサの Y 軸角速度を時刻 $t$ の関数 $\omega_{t \text{ sensorShoulder}Y}$ として表した。次に慣性センサから得られた Y 軸角速度 $\omega_{t \text{ sensorShoulder}Y}$ の値を積分して時刻 $t$ の時の角度を算出した。そして得られた角度の中から最大値を肩の最大回旋角度 $\Phi_{maxShoulder}$ とした。最大値を検出する範囲は、計測開始から最大計測時間である 5 秒とした。

$$\Phi_{maxShoulder} = \max_{0 \leq t \leq 5} \int_0^t \omega_{t \text{ sensorShoulder}Y} dt \quad (1)$$

## 2. 評価指標名：腰の最大回旋角度

腰の最大回旋角度については、腰の慣性センサで得られた Y 軸角速度 $\omega_{t \text{ sensorWaist}Y}$ に対して 1.と同様の処理を行い、腰の最大回旋角度 $\Phi_{maxWaist}$ を算出した。

$$\Phi_{maxWaist} = \max_{0 \leq t \leq 5} \int_0^t \omega_{t \text{ sensorWaist}Y} dt \quad (2)$$

## 3. 評価指標名：肩の最大角速度 $\omega_{maxshoulder}$



肩の最大角速度 $\omega_{maxShoulder}$ には、慣性センサのY軸角速度の最大値を用いた。

$$\omega_{maxShoulder} = \max_{0 \leq t \leq 5} \omega_{t \text{ sensorShoulder}Y} \quad (3)$$

4. 評価指標名：腰の最大角速度 $\omega_{maxWaist}$

3.と同様の手法で最大角速度を算出した。

$$\omega_{maxWaist} = \max_{0 \leq t \leq 5} \omega_{t \text{ sensorWaist}Y} \quad (4)$$

・ タグ名：突いた時の両足の幅

突いた時の両足の幅に関する評価指標の計測イメージ図を図8に示す。

5. 評価指標名：右足の引き寄せ距離  $D_{引き寄せ}$

ここでのX,YはそれぞれMoCapで得られる位置情報のX座標,Y座標を表している。また、添え字はその時刻のX,Yの値を表している。時刻 $p$ は右足が最大値を取った時の時刻である。また、時刻0は初期状態の時刻である。



構えの時の両足の距離



突いた時の両足の距離

図8 突いた時の両足の幅に関する評価指標の計測イメージ

$$D_{\text{引き寄せ}} = \sqrt{(X_p \text{ RLeg} - X_p \text{ LLeg})^2 + (Y_p \text{ RLeg} - Y_p \text{ LLeg})^2} - \sqrt{(X_0 \text{ RLeg} - X_0 \text{ LLeg})^2 + (Y_0 \text{ RLeg} - Y_0 \text{ LLeg})^2} \quad (5)$$

・タグ名：肩腰の連動

図 8 に肩腰の連動に関する評価指標の計測イメージ図を示す。

6. 評価指標名：肩と腰の回旋し始めの時間差 $t_{lag}$

まず肩 or 腰の回旋し始めとして慣性センサの Y 軸角速度が 50deg/s 以上なら 1, 50deg/s 未満なら 0 とする $x_t$ を定義した。

$$x_t \begin{cases} 0 & \omega_t \text{ sensorShoulderY} < 50 \\ 1 & \omega_t \text{ sensorShoulderY} \geq 50 \end{cases}$$

(6)

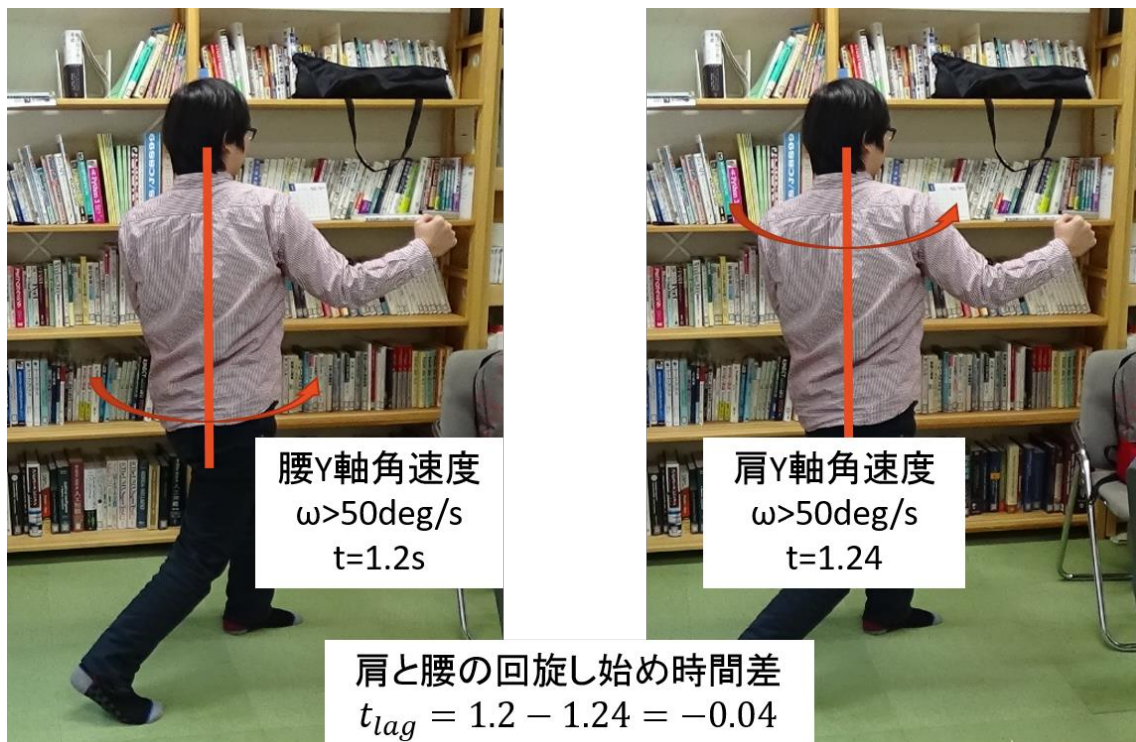


図 9 肩腰の連動に関する評価指標の計測イメージ



図 10 構えの時の手の位置に関する 5 つの評価指標の計測イメージ

次に回旋が持続しているかどうかを判別するために、 $x_t$  から  $x_{t+100}$  までの 100 データ分を乗算し 1 の時に時刻  $t$  の値を返し、それ以外なら 0 とする  $y_t$  を定義した。

$$y_t \begin{cases} 0 & x_t \cdot x_{t+1} \cdots x_{t+100} = 0 \\ t & x_t \cdot x_{t+1} \cdots x_{t+100} = 1 \end{cases} \quad (7)$$

そして最後に肩腰の時間差  $t_{lag}$  として肩と腰それぞれの回旋し始めとして最初に現れた  $y_t$  の差を算出した。

$$t_{lag} = \min_{0 \leq t \leq 5} y_t \text{ Waist} - \min_{0 \leq t \leq 5} y_t \text{ Shoulder} \quad (8)$$

・タグ名：構えの時の手の位置

構えの時の手の位置に関する 5 つの評価指標のイメージ図を図 10 に示す。

7. 評価指標名：胴体の長さに対する左手の高さ  $\gamma_{LHand}$

左手の高さは胴体の長さによって MoCap から得られる手の Z 座標に差が出てしまう可能性を排除するため、事前に測定した胴体の長さの割合として左手の高さ  $\gamma_{LHand}$  を算出した。ここでの  $Z_{LHand}$  は左手の Z 座標を表している。

$$\gamma_{LHand} = \frac{Z_{LHand}}{\text{Body size}} \quad (9)$$

8. 評価指標名：胴体の長さに対する右手の高さ $\gamma_{RHand}$

1.と同様に右手の高さ $\gamma_{RHand}$ についても胴体の長さに対する割合として算出した。

$$\gamma_{RHand} = \frac{Z_{RHand}}{Body\ size} \quad (10)$$

9. 評価指標名：左腕の初期角度

左手の初期角度は、時刻 $t = 0$ の時の左手・肘・肩の3つの座標点をベクトル表示した後に、内積から関節角度 $\Phi_0\ LHand$ を算出した。

$$\Phi_0\ LHand = \arccos \frac{\vec{a}_0\ LHand\ Elbow \cdot \vec{b}_0\ LHand\ Elbow}{|\vec{a}_0\ LHand\ Elbow| |\vec{b}_0\ LHand\ Elbow|} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (11)$$

10. 評価指標名：右腕の初期角度

3.と同様に右手の時刻 $t = 0$ の時の右手・右肘・右肩の3つの座標点をベクトル表示した後に、内積から関節角度 $\Phi_0\ RHand$ を算出した。

$$\Phi_0\ RHand = \arccos \frac{\vec{a}_0\ RHand\ Elbow \cdot \vec{b}_0\ RHand\ Elbow}{|\vec{a}_0\ RHand\ Elbow| |\vec{b}_0\ RHand\ Elbow|} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (12)$$

11. 評価指標名：両手の高さの差 $\Delta Z$

両手の高さの差 $\Delta Z$ として MoCap で得られる右手の Z 座標と左手の Z 座標の差分を算出した。

$$\Delta Z = Z_{RHand} - Z_{LHand} \quad (13)$$

・タグ名：突き手と逆の手の引きつけ

突き手と逆の手の引きつけに関する評価指標の計測イメージ図を図 11 に示す。

12. 評価指標名：左肘の最小角度 $\Phi_{min}\ LHand$



図 11 突き手と逆の手の引きつけに関する指標の計測イメージ

左肘の最小角度 $\Phi_{min\ LHand}$ を算出するために、まず時刻 $t$ における左肘の角度を算出した。そして、 $0 \leq t \leq 5$ の範囲で最小となる角度を $\Phi_{min\ LHand}$ とした。

$$\Phi_{min\ LHand} = \min_{0 \leq t \leq 5} \arccos \frac{\vec{a}_t\ LHand\ Elbow \cdot \vec{b}_t\ LHand\ Elbow}{|\vec{a}_t\ LHand\ Elbow| |\vec{b}_t\ LHand\ Elbow|} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (14)$$

## 6.4 結果

各タグに関する評価指標の計測結果についてそれぞれ群の平均値、 $S.D.$ 、変動係数を示す。群の平均値と $S.D.$ は、参加者1名につき10回分のデータを含む参加者のデータを群毎に纏めて平均値と $S.D.$ を算出した。変動係数は、群の平均値と $S.D.$ を用いて算出した。

分散分析などのパラメトリック分析を行う前にそれぞれの評価指標の3群間のデータについてコルモゴロフ・スミルノフ検定を行い、正規分布との適合度を調べた。その結果、経験者については全ての評価指標において $p > .05$ となり、帰無仮説は保留されたためデータの分布は正規分布に従っていると仮定できた。熟練者は右手初期角度のみ、未経験者については、腰の角度・腰の角速度・右手の高さ・両手の高さの差の4つの評価指標において $p < .05$ となり、帰無仮説が棄却されたためデータの分布が正規分布とはいえない結果となった。しかし、未経験者と熟練者のその他の評価指標については $p > .05$ で帰無仮説は保留されたため正規分布に従っていると仮定できた。

最後に、3群間で平均値の差が有意であるかを調べるために、3群全てが正規分布と仮定できる評価指標については有意水準0.5%で一元配置分散分析(以下ANOVA)とTukeyの多重比較を行った。未経験者のみ正規分布に従っていない評価指標について

は、ノンパラメトリック分析の一つであるクラスカル・ウォリス検定を行った。検定の結果、有意差があった場合には、未経験者-経験者および未経験者-熟練者の間でウィルコクソンの順位和検定を行った。正規分布に従っていると仮定できた群間ではt検定を行い、有意差を調べた。

まずは表3に「肩腰の回旋」に関する4つの評価指標の計測結果を示す。

表3 肩腰の回旋に関する評価指標の計測結果

評価指標名	参加者群	群の平均値	群の <i>S.D.</i>	群の変動係数
肩の最大 回旋角度 [deg]	未経験者群	76.31	16.84	0.2206
	経験者群	104.4	12.39	0.1186
	熟練者群	99.78	10.94	0.1096
腰の最大 回旋角度 [deg]	未経験者群	62.35	17.53	0.2811
	経験者群	90.16	16.40	0.1819
	熟練者群	83.60	8.937	0.1069
肩の 最大角速度 [deg/s]	未経験者群	368.6	65.95	0.1789
	経験者群	731.3	114.0	0.1558
	熟練者群	738.5	86.56	0.1172
腰の 最大角速度 [deg/s]	未経験者群	418.4	181.0	0.4325
	経験者群	619.3	134.1	0.2165
	熟練者群	553.3	70.51	0.1274

次に表4に肩腰の回旋に関する各評価指標の有意差検定の結果を示す。

表 4 肩腰の回旋に関する指標の有意差検定の結果

評価指標名	有意差検定名	検定結果	群間名	多重比較検定	多重比較結果
肩の最大回旋角度	ANOVA	$F(2,237)=91.9$ $p<.01$	未-経	Tukey	$p<.01^{**}$
			未-熟	Tukey	$p<.01^{**}$
			経-熟	Tukey	$p>.05$
腰の最大回旋角度	Kruskal-Wallis	自由度 2 $p<.01$	未-経	Wilcoxon rank sum	$p<.01^{**}$
			未-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01^{**}$
			経-熟	t 検定	$p<.01^{**}$
肩の最大角速度	ANOVA	$F(2,237)=316.7$ $p<.01$	未-経	Tukey	$p<.01^{**}$
			未-熟	Tukey	$p<.01^{**}$
			経-熟	Tukey	$p>.05$
腰の最大角速度	Kruskal-Wallis	自由度 2 $p<.01$	未-経	Wilcoxon rank sum	$p<.01^{**}$
			未-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01^{**}$
			経-熟	t 検定	$p<.01^{**}$

肩腰の回旋に関する 4 つの評価指標についてそれぞれ ANOVA で平均値を比較した。まず肩の最大回旋角度について ANOVA の結果、 $F(2,237)=91.9, p<.01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間では  $p>.05$  で平均値に有意差はなかった。

次に腰の最大回旋角度についてクラスカル・ウォリス検定の結果、自由度 2、 $p<.01$  で平均値に有意差があった。次に群間での有意差を調べるためにウィルコクソンの順位和検定を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。経験者-熟練者の間での平均値の比較では t 検定を用いて比較を行った結果、 $p<.01$  で有意差があった。

肩の最大角速度について ANOVA の結果、 $F(2,237)=316.7, p<.01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間では  $p>.05$  で有意差がなかった。

最後に腰の最大角速度についてクラスカル・ウォリス検定の結果、自由度 2、 $p<.01$  で平均値に有意差があった。次に群間での有意差を調べるためにウィルコクソンの順位和検定を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。t 検定を用いて経験者-熟練者の平均値の比較を行ったところ  $p<.01$  で有意差があった。

表 5 に「肩腰の連動」に関する指標の計測結果を示す。肩と腰の回旋し始めの時間差は、正の値の場合に肩が先に動いてから腰が動くまでの時間を表しており、逆に負の値の場合には腰が先に動いてから肩が動くまでの時間を表している。

表 5 肩腰の連動に関する評価指標の計測結果

評価指標名	参加者群	群の平均値	群の <i>S.D.</i>	群の変動係数
肩と腰の回旋し始めの時間差 [s]	未経験者群	0.01878	0.08266	4.401
	経験者群	-0.01976	0.02264	-1.146
	熟練者群	-0.04173	0.03331	-0.7982

次に表 6 に肩腰の連動に関する評価指標の有意差検定の結果を示す。

表 6 肩腰の連動に関する評価指標の有意差検定の結果

評価指標名	有意差検定名	検定結果	群間名	多重比較検定	多重比較結果
肩と腰の回旋し始めの時間差	ANOVA	$F(2,237)=25.5$ $p < .01$	未-経	Tukey	$p < .01$ **
			未-熟	Tukey	$p < .01$ **
			経-熟	Tukey	$p < .05$ *

肩と腰の回旋し始めの時間差について ANOVA の結果、 $F(2,237)=25.5, p < .01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p < .01$  で平均値に有意差があった。また、経験者-熟練者の間では  $p < .05$  で有意差があった。

「突いた時の両足の幅」に関する評価指標の計測結果を表 7 に示す。

表 7 突き時の両足の幅に関する評価指標の計測結果

評価指標名	参加者群	群の平均値	群の <i>S.D.</i>	群の変動係数
右足の引き寄せ距離 [m]	未経験者群	0.03539	0.1109	3.134
	経験者群	0.08498	0.08451	0.9945
	熟練者群	0.08929	0.04670	0.5230

次に肩腰の回旋に関する評価指標の有意差検定の結果を表 8 に示す。



表 8 突き時の運歩の幅に関する評価指標の有意差検定の結果

評価指標名	有意差検定名	検定結果	群間名	多重比較検定	多重比較結果
右足の引き寄せ距離	ANOVA	$F(2,237)=8.747$ $p<.01$	未-経	Tukey	$p<.01$ **
			未-熟	Tukey	$p<.01$ **
			経-熟	Tukey	$p>.05$

右足の引き寄せ距離について ANOVA の結果、 $F(2,237)=8.747, p<.01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間では  $p>.05$  で有意差がなかった。

「構えの手の位置」に関する評価指標の計測結果を表 9 に示す。胴体に対する左手/右手の高さは、腰(0%)から首(100%)にかけて左手/右手が存在する高さを割合で表しており、値が低いほど腰に、高いほど首に近いことを表している。

表 9 構えの手の位置に関する評価指標の計測結果

評価指標名	参加者群	群の平均値	群の S.D.	群の変動係数
胴体に対する左手の高さ [%]	未経験者群	0.7084	0.2361	0.3333
	経験者群	0.6064	0.1225	0.2020
	熟練者群	0.5701	0.1155	0.2026
胴体に対する右手の高さ [%]	未経験者群	0.7440	0.1992	0.2678
	経験者群	0.8352	0.1137	0.1362
	熟練者群	0.8215	0.09611	0.1170
左腕の初期角度 [deg]	未経験者群	98.56	20.31	0.2061
	経験者群	114.8	12.26	0.1068
	熟練者群	110.9	6.809	0.06138
右腕の初期角度 [deg]	未経験者群	64.58	11.40	0.1766
	経験者群	71.08	11.14	0.1568
	熟練者群	80.00	12.07	0.1509
両手の高さの差 [m]	未経験者群	0.01499	0.1876	12.52
	経験者群	0.1284	0.07113	0.5538
	熟練者群	0.1420	0.03000	0.2112

次に表 10 に構えの手の位置に関する各評価指標の有意差検定の結果を示す。

表 10 構えの手の位置に関する評価指標の有意差検定の結果

評価指標名	有意差検定名	検定結果	群間名	多重比較検定	多重比較結果
胴体に対する左手の高さ	ANOVA	$F(2,237)=12.9$ $p<.01$	未-経	Tukey	$p<.01$ **
			未-熟	Tukey	$p<.01$ **
			経-熟	Tukey	$p>.05$
胴体に対する右手の高さ	Kruskal-Wallis	自由度 2 $p<.01$	未-経	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
			未-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
			経-熟	t 検定	$p>.05$
左腕の初期角度	ANOVA	$F(2,237)=25.2$ $p<.01$	未-経	Tukey	$p<.01$ **
			未-熟	Tukey	$p<.01$ **
			経-熟	Tukey	$p>.05$
右腕の初期角度	Kruskal-Wallis	自由度 2 $p<.01$	未-経	t 検定	$p<.01$ **
			未-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
			経-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
両手の高さの差	Kruskal-Wallis	自由度 2 $p<.01$	未-経	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
			未-熟	Wilcoxon rank sum	$p<.01$ **
			経-熟	t 検定	$p>.05$

「構えの手の位置」に関する評価指標について ANOVA による平均値の比較を行った。まず胴体に対する左手の高さについて ANOVA の結果、 $F(2,237)=12.9, p<.01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間では  $p>.05$  で有意差がなかった。

次に胴体に対する右手の高さについてクラスカル・ウォリス検定の結果、自由度 2、 $p<.01$  で平均値に有意差があった。次に群間での有意差を調べるためにウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。経験者-熟練者の間ではどちらも正規分布に従っていると仮定できるため t 検定を用いたところ、 $p>.05$  で有意差がなかった。

左腕の初期角度について ANOVA の結果、 $F(2,237)=25.2, p<.01$  で平均値に有意差があった。Tukey の方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p<.01$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間での平均値には、 $p>.05$  で有意差がなかった。

右腕の初期角度についてクラスカル・ウォリス検定の結果、自由度 2、 $p<.01$  で平均値に有意差があった。次に群間毎の有意差検定を行った。未経験者と経験者は正規分布

に従っているためt検定を行った結果、 $p < .01$  で平均値に有意差があった。熟練者と他の2群の平均値を比較するためにウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、未経験者-熟練者、経験者-熟練者の間で  $p < .01$  で平均値に有意差があった。

最後に両手の高さの差についてクラスカル・ウォリス検定の結果、自由度2、 $p < .05$  で平均値に有意差があった。群間の有意差を求めるためにウィルコクソンの順位和検定を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p < .05$  で平均値に有意差があった。しかし、経験者-熟練者の間ではt検定の結果、 $p > .05$  で有意差がなかった。最後の「突き手と逆の手の引きつけ」に関する指標の計測結果を表11に示す。

表 11 突き手と逆の手の引きつけに関する評価指標の計測結果

評価指標名	参加者群	群の平均値	群の S.D.	群の変動係数
左腕の最小角度 [deg]	未経験者	64.84	17.40	0.2683
	経験者	46.26	12.73	0.2752
	熟練者	39.70	12.83	0.3232

次に表12に突き手と逆の手の引きつけに関する評価指標の有意差検定の結果を示す。

表 12 突き手と逆の手の引きつけに関する評価指標の有意差検定の結果

評価指標名	有意差検定名	検定結果	群間名	多重比較検定	多重比較結果
左腕の最小角度	ANOVA	$F(2,237)=54.34$ $p < .01$	未-経	Tukey	$p < .01$ **
			未-熟	Tukey	$p < .01$ **
			経-熟	Tukey	$p < .05$ *

左腕の最小角度についてANOVAの結果、 $F(2,237)=54.34, p < .01$  で平均値に有意差があった。Tukeyの方法を用いて多重比較を行ったところ未経験者-経験者と未経験者-熟練者の間で  $p < .01$  で平均値に有意差があった。また経験者-熟練者の間では  $p < .05$  で平均値に有意差があった。

## 6.5 考察

### 6.5.1 未経験者と経験者群・熟練者群について

未経験者群と少林寺拳法を経験したことのある 2 群(経験者群・熟練者群)の計測結果について考察を行う。表 4, 6, 8, 10, 12 の結果より、全ての評価指標において未経験者とは他 2 群の間では平均値に有意差がみられた。このことから、熟練度に影響を与える評価指標を定義できたことを確認した。そして、未経験者とその他 2 群で有意な差が見られた評価指標は、熟練度評価モデルの評価指標として利用できると考えられる。

次にそれぞれの評価指標の変動係数の値に関して考察を行う。表 9 の左手の高さと表 11 の左手の最小角度に関する指標を除く全ての評価指標で、未経験者群、経験者群、熟練者群の順で値が小さくなっていることを確認した。各評価指標において熟練度が高くなるにつれて平均値に対する値のばらつきが小さくなっていることから、本実験で定義した評価指標においては熟練するほど値が収束していくと考えられる。

最後に左手の最小角度は変動係数が、未経験者が最も小さく熟練者が最も大きい値を取ったことについて考察する。左手の引きつけの変動係数がこのような結果になったのは、熟練者毎の“良い形”が異なっていることが影響していると考えられる。それに伴って、熟練者から指導を受ける経験者も熟練者からの指導の違いによって値のばらつきがやや大きくなってしまったと考えられる。つまり、左手の引きつけは他の指標と比べて指導者の違いがしやすい評価指標であると考えられる。そのため、教示ビデオのみを見て実践した未経験者群は、他の 2 群に比べてと変動係数が小さくなったと考えられる。

### 6.5.2 経験者群と熟練者群について

経験者群と熟練者群の間で有意差があった評価指標について考察を行う。まず、経験者群と熟練者群の間で有意差があった評価指標は、腰の角度、腰の角速度、肩と腰の回旋し始めの時間差、右腕の初期角度、左腕の最小角度の 5 つであった。腰の角度、腰の角速度の 2 つの指標については熟練者群の平均値が経験者群の平均値を下回っていた。腰の回旋動作は少林寺拳法の逆突きでは重要視されており、回旋の度合いが大きくキレがあるほど良いとされている。それでも、熟練者群が経験者群に比べて最大回旋角度・最大角速度ともに下回っているのは身体的な影響が考えられる。熟練者群は、経験者群に比べて身体的な衰えの影響を受けているため、自身の身体的な限界を知ったうえで最適な腰の回旋を行っていると考えられる。

もう一つの肩腰に関する評価指標である肩と腰の回旋し始めの時間差の結果について見ていく。この指標はタイミングに関するデータを比較しているため、前述の 2 つの指標のような身体的な衰えの影響を受けにくい指標であると考えられる。表 5, 表 6 の結果を見ると、熟練者が経験者よりも腰と肩の回旋し始めの時間の差が有意に大きかった。少林寺拳法では足から腰へ、腰から肩・腕へ順番に力を伝えることが重要とさ

れており、その点については熟練者への調査アンケートの結果にも見られた。結果からも熟練者は経験者よりも順番に力を伝えることに注力しているといえる。

次に右腕の初期角度と左腕の最小角度について考察していく。この 2 つの評価指標も前述の肩腰の回旋し始めの時間差と同様に身体的な衰えの影響を受けにくい指標であると考えられる。そしてこの 2 つの指標は構えにおける突き手の角度と逆手の角度を表しており、熟練度が高くなるにつれて構えがより洗練されることが結果より確認できた。

上述の結果から、経験者群は肩腰の回旋し始めの時間差、右腕の初期角度、左腕の最小角度の 3 つに特に注意を払い、動きを修正していく必要がある。また、熟練者側も初段付近の選手を指導する際に、これら 3 つの評価指標に着目することで経験者の動きをより熟練者らしい動きに近づけることができると考えられる。

## 7章 熟練度評価モデル

### 7.1 目的

実験により得られた経験者のデータから初段までの熟練度を評価できる評価モデルを構築する。そして、構築した評価モデルが熟練度の異なる参加者のデータに対してつけた評価と熟練者の主観評価を比較することで構築したモデルの精度を検証する。

### 7.2 提案手法

経験者群のデータは正規分布に従っていることを仮定しているため、正規分布の性質を利用して熟練度を 10 段階で評価できる方法を提案する。まず正規分布の性質として、平均値と S.D.の間で $\mu \pm \sigma$ の範囲には約 68%のデータが入っており、 $\mu \pm 2\sigma$ の範囲には約 95.5%、 $\mu \pm 3\sigma$ の範囲には 99.6%のデータが入っているというものがある。この性質を利用して、ある指標に関するデータ $x$ が得られた時に、データを式(15)により算出した $z$ スコアに変換し、 $z$ スコアの値が分布のどの位置に存在するかによって点数を決定した。

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (15)$$

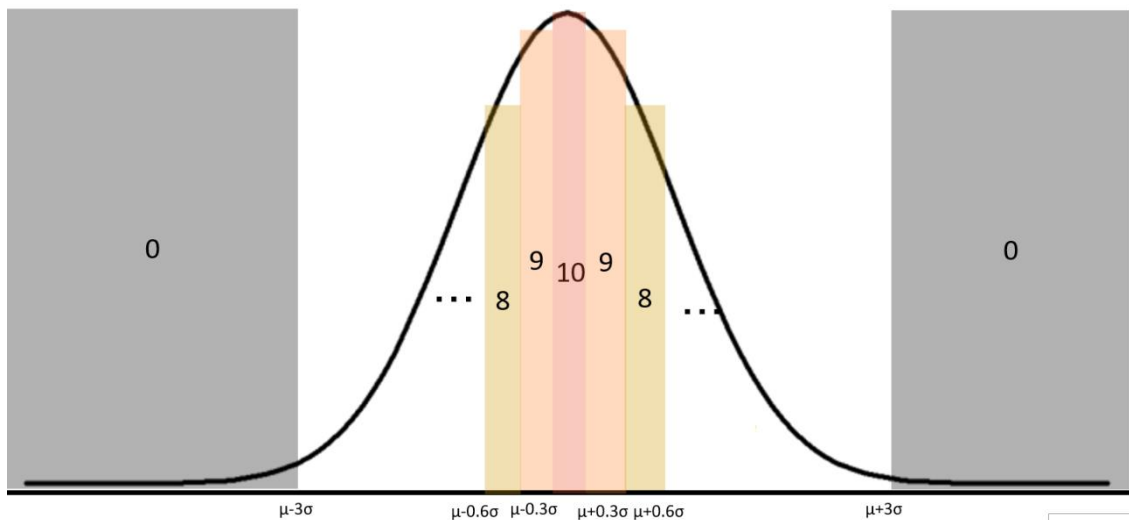


図 12 評価モデルの正規分布によるスコア付けの概略図

評価モデルのスコア付けの間隔については図 12 に概略図を示す。具体的には、99% 信頼区間の外側を 0 点とするため、 $\mu \pm 3\sigma$  よりも外側を 0 点、 $\mu \pm 0.3\sigma$  の範囲を 10 点として  $\pm 0.3\sigma$  刻みで 9,8,7...点となるようにスコアの間隔を設定した。つまり、経験者の平均値に近いほど点数が高くなり、離れるほど点数が低くなる。ただし、「肩腰の回旋」の 4 つの評価指標については通常、肩や腰は回転していればしているほど良いとされているため、この 4 つの評価指標のみ  $\mu \pm 0.3\sigma$  以上の値についても 10 点となるように設定した。

このようにして各指標に関するスコアを 0-10 点の間で付けたのちに図 13 に示すように、指標をタグ毎に纏めて平均してのタグのスコアとした。この時、スコアは小数点第一位で四捨五入した。最後に、5 つのタグのスコアを平均したものを総合点として算出した。

### 7.3 検証

検証における参加者の内訳を以下の表 13 に示す。実験で計測した参加者とは別に熟練度の異なる参加者を 6 人用意し、実験と同様の手順で一回だけ逆突きのデータを計測した。この時、ビデオカメラで逆突きの様子を撮影した。参加者の服装に関して熟練者の主観評価時に帯の色による先入観をできるだけ取り除くために、経験者についてはジャージもしくは帯を取って計測した。

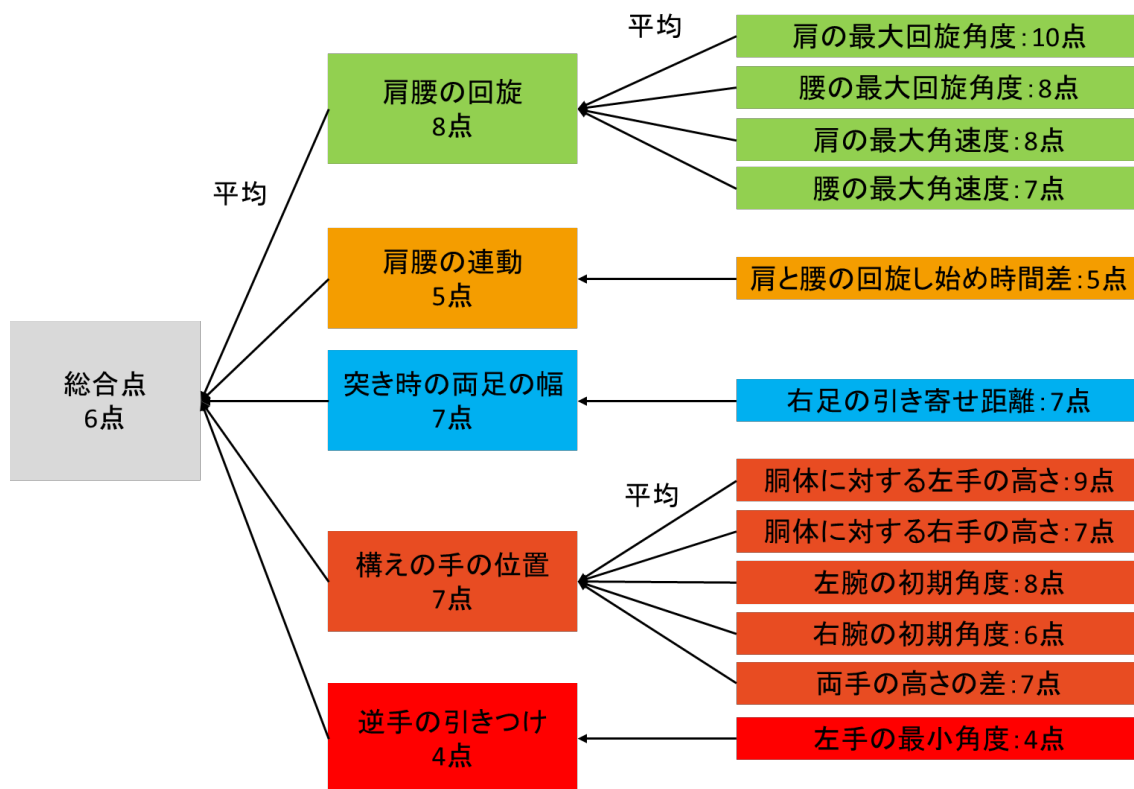


図 13 評価モデルのスコア付けの流れ

表 13 検証における参加者の熟練度

参加者名	級位・段位	経験年数
参加者 A	なし	0 年
参加者 B	なし	0 年
参加者 C	6 級	1 年
参加者 D	4 級	1 年
参加者 E	初段	2 年
参加者 F	初段	3 年

表 13 にある参加者 A から参加者 F までの熟練度の異なる参加者の逆突きのデータをもとに熟練度評価モデルでスコア付けを行った。それとは別に参加者 A から参加者 F までの逆突きの様子を撮影した動画をもとに、熟練者 3 人に 10 点満点で主観評価をさせた。この時、熟練者には“あなたが思い浮かべる平均的な初段の選手を 10 点満点として採点してください”という教示を与えた。それに加えて、スコア付けをする際にもどのような点に着目して点数を付けたのかについてコメントをするように教示した。

3 人の熟練者の主観評価の結果と評価モデルの評価結果の比較を行う。まず評価モデルにより採点された  $n$  人( $=1, \dots, N$ )の点数を  $Z_n^{Model}$ 、熟練者の主観評価結果を  $Z_n^{proA}$ 、 $Z_n^{proB}$ 、 $Z_n^{proC}$  とした。そして、評価モデルにより採点された点数と熟練者の主観評価結果の二乗平均平方根誤差(RMSE)を求めた。この時に用いた RMSE の式(16)を以下に示す。

$$E_Z^{p-mo} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Z_n^{pro} - Z_n^{Model})^2} \quad (16)$$

次にスピアマンの順位相関係数を用いて、評価モデルが熟練度を正しく評価できているのか調べた。スピアマンの順位相関係数は、熟練者の主観評価の実測値から求めた順位と評価モデルの予測値から求めた順位の相関係数を比較するものである。

最後に、3 人の熟練者の主観評価によって得られた点数を平均したものを目的変数として、熟練度評価モデルの算出した各指標の点数を説明変数とした重回帰分析を行い回帰係数と切片を求めた。回帰係数では目的変数への貢献度は分かるものの、そのままでは単位が揃っていないため単純な比較ができない。そのため、説明変数と目的変数の単位を、式(16)を用いて揃えた上で重回帰分析を行い、標準回帰係数を求めた。



## 7.4 結果

熟練度評価モデルと熟練者 3 人による評価結果を表 14 に示す。ここに示した熟練者の平均点を重回帰分析の目的変数として用いた。

表 14 熟練者の主観評価と評価モデルの採点結果

参加者名	熟練者 A	熟練者 B	熟練者 C	熟練者平均	評価モデル
参加者 A	3	2	5	3.3	4
参加者 B	3	3	7	4.3	3
参加者 C	5	8	7	6.7	7
参加者 D	7	7	10	8	7
参加者 E	9	9	10	9.3	9
参加者 F	10	10	10	10	10

次に表 15 に評価モデルと熟練者 3 人の主観評価の結果の間での RMSE の算出結果を示す。

表 15 熟練者評価と評価モデルによる採点の RMSE

	熟練者 A	熟練者 B	熟練者 C
$E_z$	0.9	0.9	2.1

次に各熟練者による採点と評価モデルによる採点の間のスピアマンの順位相関係数の結果を表 16 に示す。

表 16 スピアマンの順位相関係数の結果

	熟練者 A	熟練者 B	熟練者 C	評価モデル
熟練者 A	1			
熟練者 B	0.92	1		
熟練者 C	0.88	0.77	1	
評価モデル	0.94	0.92	0.77	1

次に評価モデルの各評価指標の点数の内訳を表 17 に示す。表 17 にある評価モデルの算出した各指標の点数を重回帰分析の説明変数として用いた。

表 17 評価モデルの点数の内訳

参加者名	肩の最大回旋角度	腰の最大回旋角度	肩の最大角速度	腰の最大角速度	肩と腰の回旋時間差	右足の引きよせ	胴体に対する左手の高さ	胴体に対する右手の高さ	右手の初期角度	左手の初期角度	両手の高さの差	左手の最小角度
参加者 A	3	3	0	5	6	3	0	6	7	5	0	6
参加者 B	0	3	0	10	5	1	3	6	7	10	7	0
参加者 C	10	7	7	9	6	5	6	6	5	10	10	10
参加者 D	10	10	10	9	8	7	8	8	4	10	10	10
参加者 E	10	10	10	9	8	7	8	8	4	10	10	10
参加者 F	10	10	10	10	10	10	9	9	10	9	10	10

重回帰分析の結果、得られた各評価指標に対応する回帰係数と標準回帰係数、切片を表 18 に示す。

表 18 各指標の回帰係数と切片

	切片	肩の最大回旋角度	腰の最大回旋角度	肩の最大角速度	腰の最大角速度	肩と腰の回旋時間差	右足の引き寄せ	胴体に対する左手の高さ	胴体に対する右手の高さ	右手の初期角度	左手の初期角度	両手の高さの差	左手の最小角度
回帰係数	1.62	-0.089	-0.0013	0.39	0.071	0.22	0.17	0.15	0.16	-0.11	0.011	-0.026	-0.073
標準回帰係数 [%]	3.86e <sup>-16</sup>	-0.059	0.059	0.34	0.20	0.36	0.15	0.074	0.13	-0.18	0.013	-0.039	-0.03

各指標の回帰係数について、目的変数への貢献度が最も高い指標は肩の最大角速度であり、次いで肩腰の時間差、右足の引き寄せであった。負の回帰係数で最も貢献度が高い指標は右腕の初期角度であった。

次に各指標の標準回帰係数については、最も寄与率の高い指標は肩と腰の回旋時間差であり、次いで肩の最大角速度、腰の角速度であった。負の標準回帰係数で最も寄与率が高い指標は右手の初期角度であった。

熟練者3人が表14に示した点数をつけた根拠などについてのインタビュー結果を纏めた。まずは熟練者Aの評価コメントを纏めたものを表19に示す。熟練者Aは評価の際に、「構え」、「運歩」、「体重移動」、「肩腰の入れ替え」、「突きの軌道・引き」、「残心」の項目に分けて評価を行っていた。

表 19 熟練者Aの評価基準とその詳細

評価基準	評価基準の詳細
構え	体勢、足の位置、重心について
運歩	前後への移動時に丹田（へその下あたり）が上下していないかどうか
体重移動	運歩から突きまでの間に前足に重心が移動しているか
肩腰の入れ替え	肩腰の回旋具合と、一部参加者には回転軸がぶれていないか
突きの軌道・引き	真っ直ぐに突いて、突いた時と同じ軌道で引いているか
残心	同じ位置に重心が上下せずに戻れているか

次に熟練者 B の評価コメントを纏めたものを表 20 に示す。熟練者 B は具体的な評価基準については明言していなかったが、各参加者へのコメントを調査アンケートの時に使用した分類タグで分類したところ評価に用いている指標を分類することができた。分類できなかったタイミングに関する指標については、新しいタグを導入した。

表 20 熟練者 B の評価基準とその詳細

分類タグ	コメントから読み取った指標
構え	構えた時の足幅は適切か
肩腰の回旋	肩腰の回旋具合が十分か不十分
肘の角度	突きの反対側の手の角度
肩腰の連動	肩腰の回転と突きのタイミングは適切か
突きの軌道・引き	突いた軌道と同じ軌道で引けているか
運歩と肩腰の連動	運歩し終わってから肩腰の回転までのタイミングは適切か

最後に熟練者 C の評価コメントを纏めたものを表 21 に示す。熟練者 C は初段の平均的な逆突きというものの定義が難しいため、逆突きを行う上でできたら良いと考える基準を 10 個挙げて加点方式で採点を行っていることがコメントより確認できた。評価に用いられた 10 項目は、少林寺拳法の当て身の 5 要素と呼ばれるものを 3 つに分類した 1.角度 2.速度・位置・間合い 3.虚実 と 4.力を引き出すためのフォームに分けて評価していた。

表 21 熟練者 C の評価基準とその詳細

評価基準	評価基準の詳細
1. 角度	拳の軌跡が真っ直ぐ、突きの反対側の脇がしまっている
2. 速度・位置・間合い	突きのキレがある、腰の回転が十分である、寄足が十分である
3. 虚実	号令に合わせて動いている
4. 力を引き出すフォーム	顎が引けている、すり足している、手先の動きではなく体幹と連動している

最後に、熟練者間で共通している評価指標について言及数で分類したものを表 22 に示す。

表 22 熟練者の間での指標毎の言及数

言及数	評価基準の詳細
1人	残心、突き時の体重移動、顎が引けているか 号令に合わせて動いているか、運歩後から回旋までのタイミング
2人	構え時の体勢、移動時の上下動 肩腰と突きの連動タイミング、突きの反対側の手の角度、突き時の足幅
3人	肩腰の回旋具合、突きの軌道・引き

## 7.5 考察

### 7.5.1 評価モデルと熟練者の主観評価の比較

評価モデルと熟練者の主観評価について考察を行う。表 14 の結果より、評価モデルは熟練度が上がるにつれて高い点数をつけることができている。表 15 の RMSE の結果について、熟練者 A, B とのモデルの採点結果の間で 0.9 であり、最も大きい誤差で熟練者 C の 2.1 であった。RMSE は 0 に近いほど予測精度が高いことを表しており、熟練者 A, B の行った主観評価との RMSE は 1 点以内であり、評価モデルを用いても熟練者の主観評価に近い採点が行われているといえる。熟練者 C との間で RMSE が 2.1 と比較的大きな誤差であった原因は熟練者 C の採点方式が加点方式であるためと考えられる。熟練者 C は表 21 に示した項目 1 つにつき 1 点を加点する方式を取っており、他の熟練者に比べて全体的な点数が高い。そのため、評価モデルの採点結果と比べて、未経験者の点数について誤差が大きくなってしまったと考えられる。

表 16 のスピアマンの順位相関係数の結果から、各熟練者と評価モデルの間で 0.7 以上の強い相関が見られたことから評価モデルが熟練者の主観評価に近い精度で採点できたといえる。

熟練者の主観評価についても考察を行う。熟練者 3 人の採点結果は、それぞれの点数は異なるものの熟練度が上がるにつれて点数が高くなっている。その他、表 16 のスピアマンの順位相関係数の結果から、各熟練者間での相関係数は 0.7 以上の強い相関を示していた。

熟練者間で点数にばらつきが見られることについては、様々な要因が考えられるが、主に題材と教示内容の難しさと熟練者自身の良い突きの違いが挙げられる。まず題材と教示内容の難しさについては、通常の少林寺拳法の競技では逆突き単体を採点することはなく、逆突きを含む総合的な技の組み合わせを 10 点満点で評価する。加えて、平均的な初段の拳士を 10 点満点とするといった教示を行ったため、熟練者毎に想定する初段の拳士に違いが生まれてしまったことが原因と考えられる。

次に、表 20 から表 23 の熟練者の評価基準についての結果から、熟練者の中で評価基準が共通している部分と異なっている部分が存在することが分かった。そのため、熟練者の中で評価点に差が生まれたと考えられる。

#### 7.5.2 評価指標の寄与率

表 18 の重回帰分析の結果について考察を行う。各指標の標準回帰係数については、最も寄与率の高かったのは肩と腰の回旋し始めの時間差であった。肩腰の連動は、実験前の調査アンケートでも複数の熟練者が言及していた指標であり、表 22 に示した主観評価を行った熟練者のコメントでも 2 人が言及している指標である。今回の寄与率の結果からも、肩腰の連動は少林寺拳法の逆突きにおいて重要とされる指標の一つであることが確認できた。次いで大きかった肩と腰の最大角速度は、肩腰の回旋のキレを表している。少林寺拳法では調査アンケートや表 22 のコメントにもある通り、肩腰の回旋が十分かどうか重要な指標の一つである。初心者のころは十分に肩腰を回旋させているかを測る角度が着目されがちである。しかし、熟練度が上がるにつれて肩腰の回旋については角度だけでなく角速度、つまり肩腰の回旋のキレも重要な指標の一つであるといえる。

ここで逆に負の標準回帰係数で最も寄与率が高かった指標の右腕の初期角度について考察を行う。負の標準回帰係数であることから、経験者の平均値に近づくほど点数が悪くなってしまう指標であるといえる。表 9 にある右腕の初期角度の計測結果においても熟練度が下がるごとに角度が急になっており、経験者群と熟練者群の間で有意差があった。このことから、初段程度の経験者になっても適切な逆突きを行うために構え、特に右腕の初期角度には注意を払う必要があるといえる。

## 8章 結論

### 8.1 結論

本研究では、少林寺拳法における逆突きを題材として、学習支援に用いることを想定した少林寺拳法における逆突きの熟練度評価モデルの構築を目指した。初めに、未経験者群と経験者群、熟練者群の3群について逆突きの計測実験を行った。計測実験で得られた参加者のデータに対して、事前に熟練者7名に対して行った調査アンケートで、少林寺拳法において重要とされる指標についての分析を行った。分析の結果、全ての指標において未経験者群と経験者群・熟練者群の間で有意な差を確認した。また、一部の指標においては、経験者群と熟練者群の間でも有意な差を確認した。この結果から、経験者が熟練者になるうえで注意を払うべき指標が明らかになった。

次に、実験により未経験者群と経験者群・熟練者群の間で有意差があった指標を用いて熟練度評価モデルの構築を行った。構築した評価モデルは、正規分布の性質と経験者群の平均値を用いて経験者の平均値に近いほど高い点数を、遠いほど低い点数を算出するものであった。熟練度評価モデルが正しく参加者の熟練度を評価できるかを検証するために、6名の熟練度の異なる参加者について熟練者の主観評価との比較実験を行った。結果として、構築した評価モデルは参加者の熟練度が上がるにつれて高い点数を付けることができた。また、熟練者の主観評価との二乗平均平方根誤差 RMSE を算出した結果、熟練者3人中2人の評価との誤差が0.9であり、大きな誤差でも2.1であった。スピアマンの順位相関係数も、各熟練者との間で0.7以上の強い相関が見られた。このことから、評価モデルは熟練者の主観評価に近い評価を行えたことを確認した。

本研究の結論として、熟練者の主観評価に近い精度で初段までの熟練度を評価できるモデルを構築できた。このことから、評価指標・評価基準が曖昧な動作に対して本研究で用いた熟練度評価モデルの構築手法は有効である可能性が示唆された。

### 8.2 今後の課題と展望

今後の課題として、表22の熟練者の評価コメントにある2人以上が言及しているもののうち、本研究で実装できなかった“突きの軌道・引き”、“構え時の体軸”、“移動時の上下動”、“肩腰と突きのタイミング”を指標として定義する必要がある。今回定義できなかった指標があるため、本研究で行った熟練者の評価結果を目的変数、定義した評価指標を説明変数とした重回帰分析についても説明変数が十分とは言えない。本研究で定義した指標以外の指標について熟練者がコメントしており、逆突きを正しく評価するためには上述した指標を追加し、モデルの精度を高める必要がある。

熟練度評価モデルの評価方法について、本研究で構築したモデルは重みづけせずに各指標を均等に評価している。また、平均値から離れた距離についても等間隔で減点していく方式を取っている。指標に応じて減点の間隔や重みを変化させることができればより高い精度で熟練度を評価できるモデルを構築できるだろう。

本研究では少林寺拳法における基本の形の形成段階を支援するために初段までの熟練度を評価できるモデルを作成した。本研究では熟練者についてのデータが十分ではなかったため行うことはできなかったが、この手法を熟練者についても行うことで熟練者までの熟練度を評価できるモデルを作成することが期待できる。

本研究で構築したモデルを用いて学習支援を行うことは勿論、本研究の取った熟練者へのアンケート、3群にわたっての計測実験、評価モデルの作成というフローは、少林寺拳法に限らず他の題材にも応用できると考えられる。スポーツ・武道の分野において、一部分だけの動作計測にとどまらず、本研究の手法を用いて総合的に参加者を評価するモデルを構築したうえでの学習支援の効果について検証・考察が行われることが期待できる。



## 参考文献

- [1] 文科省：中学校学習指導要領解説 保健体育編,  
[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2011/01/21/1234912\\_009.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2011/01/21/1234912_009.pdf) (2008).
- [2] 山崎博敏：今後の小中学校教員需要の動向について,国立教員養成大学・学部大学院附属学校の改革に関する有識者会議（第1回）配付資料2,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/koutou/077/gijiroku/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2016/09/21/1377405\\_1\\_3.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/077/gijiroku/__icsFiles/afieldfile/2016/09/21/1377405_1_3.pdf) (2016).
- [3] 一般社団法人 SHORINJI KEMPO UNITY：少林寺拳法 読本, 財団法人少林寺拳法連盟 (2010).
- [4] 株式会社 OptiTrack：モーションキャプチャを深く知る,  
<https://www.optitrack.co.jp/knowhow.html> (参照 2019-1-18).
- [5] 斎藤健治, 井上一彦, 井上伸一：加速度センサにより計測した野球投球時の体幹および前腕の運動と投球スピードの関係,人間工学,vol.48,No.1,pp40-47 (2012).
- [6] 安松谷亮宏, 曾我真人, 瀧寛和：バスケットボールのシュート時の熟練者と初心者の全身フォーム比較分析と学習支援環境の設計, 人工知能学会全国大会, Vol.25, pp1-4, (2011).
- [7] F. Malawski, B. Kwolek. "Real-Time Action Detection and Analysis in Fencing Footwork." 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.520-523, (2017).
- [8] 大野達哉, 中村充, 中野雅貴, 他：剣道の正面打撃動作に関する研究-腰の移動に着目して-, 武道学研究, vol.47, No.2, pp85-101 (2014).
- [9] 大道等：“突き”動作の重心三次元解析, 武道学研究, Vol.20, No.2, pp185-186, (1987).
- [10] 喜福康郎, 池上康男：少林寺拳法, 空手の有段者および未経験者の突きのフォームのフィルム分析, 日本体育学会, Vol.33, 17-1005-0576, pp.452, (1982).

- [11] 林敬佑, 吉田健治, 堀内匡: モーションセンサを用いた打撃動作の認識と可視化に関する検討, 日本知能情報ファジィ学会誌, vol.27, No.6, pp936-941 (2015).
- [12] 河田俊, 安田和弘, 岩田浩康: フリースロー初心者のための BF 型セット・フォーム習得支援 RT の開発, 日本機械学会論文集, Vol83, No.851 (2017).
- [13] Shih-Yu Huang, Kuei-Pin Kuo, Yi-Hsuan Lin. "A golf swing analysis system using Wii balance board and Kinect sensors for novice players." *Multimedia Tools and Applications*, Vol.74, pp.10679-10696, (2015).
- [14] 岩本直也, 藤大樹, 勝平純司, 他: ボクシング・ストレートパンチの動作分析—三次元動作分析システムを用いて—, 理学療法科学, vol.27, No.3, pp.341-344 (2012).
- [15] 横山直也, 百鬼史訓, 久保哲也, 他: 剣道における正面打撃動作の標準的 3 次元動作モデルの構築, 武道学研究, vol.33, No.3, pp.39-50 (2001).
- [16] 崔 雄, 高橋健太郎: 身体動作の特徴パラメータを用いた居合道の熟練度に関する定量化, 武道学研究, vol.45, No.1, pp.35-45 (2012).
- [17] 高橋淳二, 板東央晃, ロペスギヨーム: 居合道における熟練度評価基準の分析とモーションキャプチャ計測による定量評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.21, No.3, pp.541-548(2016).
- [18] 日本武道協議会: 日本武道協議会設立 40 周年記念 中学校武道必修化指導書映像集, Vol.3.
- [19] Noitom: Perception Neuron 2.0 Skeleton measurement, <https://www.aiuto-jp.co.jp/download.php?id=49> (参照 2019-1-18) .

## 謝辞

本研究を進めるにあたり研究の方針・内容の指導，実験機材の購入など多大な協力をして頂いた伊藤毅志先生には心より御礼申し上げます。また，伊藤毅志研究室の皆様にも多大なご助力を賜りましたことを深く感謝致します。

そして忙しい中，実験参加者としてご協力して下さった電気通信大学少林寺拳法部，東京農工大学少林寺拳法部の監督並びに学生の皆様，八王子富士森道院，八王子西道院の皆様にも心より御礼申し上げます。

## 付録

### 付録 A：予備調査における熟練者への調査アンケート全文

図 A-1, A-2, A-3 に熟練者への調査アンケートの回答を示す。分類した際に行ったタグの色分けについて以下に示す。

- ・構え…“手の高さ”，“手の握り”
- ・手…“突きの軌道・引き”，“突き手と逆の手の引付”
- ・肩腰…“肩腰の回旋”，“肩腰の連動”，“体幹のブレ”
- ・足…“突いた時の両足の幅”，“前足の開き具合”
- ・その他…“スムーズさ”，“気合”，“動作の意味”

表 A-1 熟練者への調査アンケートの回答：経験年数と段位

熟練者名	現在の段位をお教えください。	少林寺拳法をどれくらい続けてきましたか？経験年数をお教えください。
熟練者A	准範士六段	34年
熟練者B	四段	9年
熟練者C	大拳士五段	約30年
熟練者D	正範士七段	46年
熟練者E	五段	25年
熟練者F	六段	25年間
熟練者G	5段	30年

表 A-2 熟練者への調査アンケートの回答：質問 1-3 について

<p>上述の状況「未経験者を対象に”逆突き”を指導する」において、指導者としてどういった手順で指導を行いますか？なるべく具体的にお書きください。</p>	<p>上述の状況において、未経験者が達成すべき目標はどのようなものがありますか？具体的にお書きください。</p>	<p>上記の達成目標を実現するためにどの部位に着目して指導することが重要だと考えますか？重要だと思う部位を1~3つお選び下さい。（身体部位の大まかな位置は、図1をご参照下さい。）（選択肢にない場合”そ</p>
<p>開足中段で基本の突きを繰り返して練習したのち、左前・右前になる。腰を回転して肩を入れ替える練習をする。突きを加える。</p>	<p>後ろの膝が曲がり、腰が入り、肩が入れ替わるという順番ができるかどうか。</p>	<p>肩;腰;足</p>
<p>逆突き指導手順 1 歩行の歴史と仕方から順・逆の違いを知る①現代人の歩き方＝逆突き②江戸時代以前の歩き方（なんば歩き）＝順突きやってみせ、させてみる③開足中段構えを学ぶ①正しく姿勢を保ちながら肩幅、歩幅間隔に足を開く。その時、膝を曲げる、あるいは腰を落とすように立つ。②両手を前にだし「頂戴！」の形から肘を引きつけ脇を締める。手はペットボトルの水を飲む前の形（縦拳）で構える。③開足中段構えからの逆突き①左右に体重移動（振り身）をさせてみる②1の動作の応用。体重移動をし、体重のかかった足（軸足）に対して、反対の手でボーリングの球を投げる動作をする。・左足軸足なら、右手で投げる。※腰の回転を学ぶ③フィニッシュの手を拳に変える。（縦拳）④構えから③のフィニッシュで突きを練習する 4 左中段からの逆突き①3の④フィニッシュの形で静止させ、足を自然と後ろに引く②左中段構えを学ぶ。③左中段構えから、逆突きを練習する</p>	<p>必ず押さえなければならない原則はしっかり押さえ、形ができていれば、OK（達成）とする。 細かくは、 ①正しい構えができる。 ②順突きと逆突き違いを理解し、突き分けができる。 ③ついた後、①に戻ることができる。</p>	<p>手;足;背骨、背筋、背中</p>
<p>1、「逆」の意味の説明。（「順」も併せて行う） 2、後ろの肩をできるだけ前に出させ、腕を「突き」のように伸ばす。 3、目の前にいる相手に届くイメージで両方の足を前に動かし、運歩をさせる。 4、実際の突きに近づけるために、上記2と3の内容を順番を逆にして（①3、②2の順番）、ひとつの動作に完成させる。 5、4に適切なタイミングで「気合」を出させる。</p>	<p>1、「逆」の意味の理解。 2、後ろの肩を十分に前に出す。 3、大きく運歩をする。（前に入る） 4、一連の動作でスムーズに動く。 5、「気合」の大きさ、タイミング。</p>	<p>肩;足</p>
<p>拳の握り方→開足中構→左右の突き→体幹の動き確認→左右の構え→順突と逆突</p>	<p>正しい拳の握り方 膝をまける 身体の中から動く 肩腰を動かして突く</p>	<p>肩;腰;足</p>
<p>初めに、開足中段構えからの振り子突きにおいて、①正中線の移動→②回転軸を中心に肩や腰を回転→③回転力により肘が押し出され、手先が前に出ることで突きを行い→④元に戻る。の4つの工程を口頭説明と体感実践により習得させ、次に、左前、右前のそれぞれの構えから、同様の動作により、逆突きを行うように指導します。その際に、半歩前に移動して突きを行うことや、後ろ足は寄せ足をするなどを追加で指導します。</p>	<p>最初の目標は、動作の開始（前に半歩移動する）から、突きが終わって元に戻るまで、スムーズに動くこと。目標物（手やサンドバッグなど）を設定して、正しい間合いで目標物を突いて、バランスを崩さずに元に戻れるところを到達点としています。 そこから、手の形や高さや体の姿勢、速度や力の連携、移動時に重心が上下しないか、など、理想に近づけるようにアドバイスしますが、最終的な「理想の突き」というのは、それぞれの拳士が自分で見つけるものと思っているので、こちらの理想を押し付けすぎないように気を付けています。</p>	<p>手;腰;足</p>
<p>運歩は行わずに、その場で逆突きを行わせる事から指導します。（足幅が狭くなったりしないようにするため） 突く手と反対の手は胸、顎下あたりにひきつけさせます。 突いた手は、出し際の軌道と同じ軌道で引かせます。 前足が開かないように指導させます。</p>	<p>足幅が適切であること。 前足が開いていないこと。 反対の手をひきつけられていること。</p>	<p>足</p>
<p>前へ運歩した後に突き手と逆の手を胸の前まで引き、腰を回転させながら逆突きを行うように指導します。</p>	<p>しっかり腰が回転できるか？と突きの引きを、しっかり意識する。</p>	<p>腰、足</p>

表 A-3 熟練者への調査アンケートの回答：質問 4-6 について

<p>上の質問でお選びいただいたそれぞれの部位について、具体的な指導方法をお書きください。(2つ以上の部位を合わせた複合的な記述でも構いません。)</p>	<p>未経験者と経験者の動作を比較した際にどのような違いが表れることが考えられますか？具体的にお書きください。</p>	<p>上の質問でお答え頂いた違いは、どういった部位が関連していると考えられますか？1-3つお選び下さい。(身体部位の大まかな位置は、図1をご参照下さい。)(選択肢にない場合、"その他"の欄に違いが表れる部</p>
<p>膝については、寄足をして曲がるころまで。腰は帯が入れ替わるまで。肩はまっすぐに入れ替わるまで。</p>	<p>突くときに体軸がぶれるかどうか。</p>	<p>頭;腰</p>
<p>①構えでは、拳(手)は胸の高さ ②中段構え、左中段構えの正しい、足位(足) ③背中が曲がることなく、きれいな姿勢を心がける(背筋)</p>	<p>①背筋が立っているか ②美しいライン(軸)を使って体の入れ替えができるか ③動作の最小化(無駄な動作がない)※突きの軌道が一直線か曲線か等</p>	<p>手;足;背骨、背筋、背中</p>
<p>1、的確な動きの指導。 2、動きの意味の説明。(なぜ、肩を出すのか、運歩をするのか)</p>	<p>1、経験年数(練習頻度) 2、動きの意味の理解度 3、動きに対する実直な意欲</p>	<p>肩;手;足</p>
<p>肩は突いた時に顎の下に型があるようにする、腰は骨盤を動かすようにする、前足は一步踏み出して突く、後ろ足は寄足をする</p>	<p>体幹と足・膝の動きが大きいのが経験者、小さいのが未経験者</p>	<p>肩;腰;足</p>
<p>手：手先の軌道が最初の構えからまっすぐに目標に向かって行き、まっすぐに戻ってくるように。拳の当たる面が平面になっているように。 足：前足は膝が開かないように、後ろ足は寄せ足がされて、足先が突きの方向を向いているように、両足とも、床にしっかりと踏ん張れる状態であること。 腰：移動時、突きを行っているときに、丹田が上下しないこと。 全体：足が動くことで腰が回転し、腰が回転することで手が出て突きを行う。という、体の中の動きの連携が大事。</p>	<p>・まずは、突きがまっすぐ出て、まっすぐ戻ってくるかどうか、未経験者と経験者の違いだと思っています。格闘センスのある未経験者であっても、なかなかまっすぐな突きはできないようです。 ・未経験者は、突きの目標が動いて遠ざかった時に、体が前傾してでも無理をして届かそうとしますが、経験者は、自分の体勢を維持して当たらなくても突きを完了して元の体勢に戻れる人が多いと感じます。 ・世の中には異常に格闘センスの高い素人という人もいて、テレビやゲームの格闘シーンを見ているだけでそれなりに動いてしまう人がいるのですが、実際に相手と対峙した時の間合いの取り方とか、タイミングの取り方というのは、やはり修行がいるのではないかと思います。</p>	<p>手;目(動体視力)、脳(反応)</p>
<p>前足で踏ん張らずに、前足の股関節付近の骨で、回転をとめるようにする。</p>	<p>足幅。前足の開き具合。</p>	<p>腰、足</p>
<p>運歩した力を突きに伝えるために足～腰～肩～拳の順で力を伝えて行く感覚を伝える</p>	<p>足～の力の連動が経験者ではないと出来ないとします。</p>	<p>腰、足</p>

付録 B：実験における各種データ

全参加者の各評価指標に関するデータを表 B-1 から表 B-12 まで示す。

表 B-1 肩の最大回旋角度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	59.44	8.870	0.1492
未経験者 B	74.17	11.30	0.1523
未経験者 C	59.00	5.352	0.09071
未経験者 D	77.45	5.528	0.07137
未経験者 E	89.19	8.597	0.09639
未経験者 F	98.63	11.19	0.1134
経験者 A	114.7	13.60	0.1186
経験者 B	118.3	5.257	0.04444
経験者 C	110.2	9.830	0.08918
経験者 D	105.0	4.480	0.04266
経験者 E	82.42	7.858	0.09534
経験者 F	116.6	8.985	0.07703
経験者 G	97.45	4.651	0.04773
経験者 H	91.46	5.129	0.05608
経験者 I	108.4	5.193	0.04791
経験者 J	106.9	6.002	0.05616
経験者 K	96.64	2.997	0.03100
経験者 L	105.0	5.761	0.05485
熟練者 A	91.09	8.764	0.09622
熟練者 B	89.69	3.218	0.03588
熟練者 C	94.23	3.463	0.03674
熟練者 D	101.9	5.885	0.05777
熟練者 E	111.5	3.416	0.03065
熟練者 F	110.4	11.30	0.1024



表 B-2 腰の最大回旋角度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	60.68	12.76	0.2103
未経験者 B	45.10	8.015	0.1777
未経験者 C	53.76	7.445	0.1385
未経験者 D	51.05	2.576	0.05048
未経験者 E	73.46	8.070	0.1098
未経験者 F	90.07	10.53	0.1169
経験者 A	90.20	7.519	0.08336
経験者 B	90.53	14.68	0.1622
経験者 C	81.10	5.308	0.06545
経験者 D	77.86	4.410	0.05664
経験者 E	114.2	7.160	0.06268
経験者 F	95.66	6.727	0.07032
経験者 G	84.66	3.153	0.03725
経験者 H	69.06	7.389	0.1070
経験者 I	64.90	6.699	0.1032
経験者 J	96.67	4.960	0.05127
経験者 K	109.9	3.430	0.03122
経験者 L	107.2	4.474	0.04176
熟練者 A	76.13	3.139	0.04123
熟練者 B	81.82	3.198	0.03909
熟練者 C	77.53	7.031	0.09069
熟練者 D	78.99	5.355	0.06778
熟練者 E	93.78	6.986	0.07449
熟練者 F	93.34	5.0971	0.05461

表 B-3 肩の最大角速度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	286.3	47.85028	0.16713
未経験者 B	400.9	42.51159	0.10605
未経験者 C	358.9	56.16566	0.15648
未経験者 D	365.5	49.56554	0.13561
未経験者 E	430.0	64.49819	0.15001
未経験者 F	370.1	40.76667	0.11014
経験者 A	832.8	91.40	0.1097
経験者 B	736.8	71.54	0.09710
経験者 C	755.1	128.0	0.1696
経験者 D	719.7	53.23	0.07396
経験者 E	661.5	50.5	0.07638
経験者 F	732.3	117.3	0.1602
経験者 G	618.5	105.5	0.1707
経験者 H	727.3	66.10	0.09089
経験者 I	752.4	41.34	0.05495
経験者 J	687.4	40.82	0.05937
経験者 K	914.6	143.9	0.1574
経験者 L	637.8	41.59	0.06521
熟練者 A	708.9	44.65	0.06298
熟練者 B	624.4	23.12	0.03702
熟練者 C	850.2	53.62	0.06307
熟練者 D	737.9	86.67	0.1175
熟練者 E	787.4	57.86	0.07348
熟練者 F	722.0	24.12	0.03341

表 B-4 腰の最大角速度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	324.1	55.55	0.1714
未経験者 B	230.1	38.86	0.1689
未経験者 C	772.4	96.55	0.1250
未経験者 D	410.0	52.89	0.1290
未経験者 E	381.8	57.49	0.1506
未経験者 F	392.3	62.08	0.1583
経験者 A	844.6	50.89	0.06026
経験者 B	596.2	55.65	0.09335
経験者 C	409.5	54.37	0.1328
経験者 D	492.5	57.30	0.1163
経験者 E	694.0	61.98	0.0893
経験者 F	689.4	134.8	0.1955
経験者 G	445.1	20.80	0.04672
経験者 H	655.5	47.48	0.07243
経験者 I	617.9	72.99	0.1181
経験者 J	633.5	51.05	0.08059
経験者 K	704.8	111.4	0.1581
経験者 L	648.7	27.93	0.04306
熟練者 A	469.8	27.08	0.05763
熟練者 B	611.4	30.54	0.04995
熟練者 C	556.8	95.85	0.1721
熟練者 D	516.3	30.75	0.05954
熟練者 E	605.7	64.47	0.1064
熟練者 F	559.8	22.83	0.04077

表 B-5 肩と腰の回旋し始めの時間差に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	-0.04160	0.02390	-0.5746
未経験者 B	0.09170	0.1682	1.834
未経験者 C	0.01990	0.01580	0.7943
未経験者 D	0.01240	0.03490	2.815
未経験者 E	0.01090	0.05912	5.424
未経験者 F	0.01940	0.02976	1.534
経験者 A	-0.01290	0.01300	-1.008
経験者 B	-0.03460	0.01412	-0.4081
経験者 C	-0.00540	0.03653	-6.764
経験者 D	-0.00410	0.01314	-3.204
経験者 E	-0.03450	0.01558	-0.4516
経験者 F	-0.00960	0.01761	-1.835
経験者 G	-0.02180	0.02043	-0.9371
経験者 H	-0.00280	0.01457	-5.202
経験者 I	-0.02470	0.00943	-0.3817
経験者 J	-0.04510	0.01918	-0.4253
経験者 K	-0.02030	0.02995	-1.475
経験者 L	-0.02130	0.01207	-0.5669
熟練者 A	-0.08720	0.02705	-0.3102
熟練者 B	-0.02380	0.01280	-0.5376
熟練者 C	-0.02780	0.02094	-0.7534
熟練者 D	-0.05960	0.01661	-0.2788
熟練者 E	-0.01920	0.01967	-1.0243
熟練者 F	-0.03280	0.03742	-1.141

表 B-6 右足の引き寄せ距離に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	0.0001478	0.03840	259.7
未経験者 B	-0.001806	0.05892	-32.63
未経験者 C	-0.03739	0.06149	-1.644
未経験者 D	0.2255	0.04868	0.2158
未経験者 E	-0.01808	0.08455	-4.677
未経験者 F	0.04395	0.1009	2.295
経験者 A	0.1099	0.01917	0.1744
経験者 B	0.03819	0.02074	0.5431
経験者 C	0.06293	0.05915	0.9400
経験者 D	0.1733	0.03522	0.2032
経験者 E	0.2177	0.02082	0.09564
経験者 F	0.2049	0.05072	0.2475
経験者 G	-0.009030	0.02722	-3.015
経験者 H	0.01884	0.04804	2.550
経験者 I	-0.02373	0.03085	-1.300
経験者 J	0.08551	0.03568	0.4172
経験者 K	0.03610	0.03066	0.8492
経験者 L	0.1051	0.02986	0.2840
熟練者 A	0.1043	0.03726	0.3574
熟練者 B	0.1087	0.03307	0.3042
熟練者 C	0.04779	0.02189	0.4580
熟練者 D	0.04888	0.03321	0.6794
熟練者 E	0.09245	0.03192	0.3452
熟練者 F	0.1336	0.05119	0.3831

表 B-7 胴体に対する左手の高さに関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	0.7344	0.06967	0.09486
未経験者 B	0.5560	0.06564	0.1181
未経験者 C	0.3241	0.05131	0.1583
未経験者 D	1.054	0.04853	0.04603
未経験者 E	0.8457	0.03457	0.04088
未経験者 F	0.7359	0.05120	0.06958
経験者 A	0.4544	0.02591	0.05703
経験者 B	0.6118	0.05532	0.09043
経験者 C	0.8442	0.02500	0.02962
経験者 D	0.6819	0.04074	0.05975
経験者 E	0.7441	0.03955	0.05315
経験者 F	0.4375	0.03856	0.08815
経験者 G	0.6716	0.02050	0.03052
経験者 H	0.6241	0.04794	0.07681
経験者 I	0.5647	0.01365	0.02416
経験者 J	0.5192	0.06007	0.1157
経験者 K	0.5577	0.05090	0.09126
経験者 L	0.5129	0.04962	0.09674
熟練者 A	0.7555	0.03872	0.05126
熟練者 B	0.4695	0.01677	0.03572
熟練者 C	0.5461	0.02472	0.04527
熟練者 D	0.6019	0.03762	0.06249
熟練者 E	0.4242	0.05837	0.1376
熟練者 F	0.6238	0.03561	0.05710

表 B-8 胴体に対する右手の高さに関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	0.5524	0.04798	0.08687
未経験者 B	0.8826	0.04144	0.04696
未経験者 C	0.6911	0.02988	0.04324
未経験者 D	0.6825	0.02112	0.03095
未経験者 E	0.5531	0.03373	0.06099
未経験者 F	1.102	0.01944	0.01764
経験者 A	0.7334	0.02298	0.03134
経験者 B	0.6004	0.04301	0.07164
経験者 C	0.8726	0.02791	0.03198
経験者 D	0.8252	0.04339	0.05258
経験者 E	1.013	0.02331	0.02301
経験者 F	0.7621	0.02309	0.03030
経験者 G	0.9583	0.02368	0.02471
経験者 H	0.7820	0.02921	0.03736
経験者 I	0.9132	0.02758	0.03021
経験者 J	0.7561	0.02515	0.03326
経験者 K	0.9131	0.02303	0.02523
経験者 L	0.8935	0.02755	0.03083
熟練者 A	0.9397	0.04840	0.05150
熟練者 B	0.7918	0.01234	0.01559
熟練者 C	0.8145	0.01592	0.01955
熟練者 D	0.8481	0.02426	0.02860
熟練者 E	0.6602	0.07167	0.1086
熟練者 F	0.8744	0.04005	0.04581

表 B-9 左腕の初期角度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	83.23	2.061	0.02477
未経験者 B	94.88	6.878	0.07249
未経験者 C	110.6	2.406	0.02175
未経験者 D	100.5	3.775	0.03756
未経験者 E	70.34	5.445	0.07740
未経験者 F	131.8	5.991	0.04547
経験者 A	125.8	2.457	0.01954
経験者 B	130.0	2.466	0.01897
経験者 C	81.49	3.394	0.04165
経験者 D	109.3	2.496	0.02283
経験者 E	122.4	2.499	0.02042
経験者 F	117.1	2.690	0.02297
経験者 G	110.7	3.123	0.02822
経験者 H	113.9	2.911	0.02555
経験者 I	116.0	1.926	0.01661
経験者 J	110.0	2.081	0.01891
経験者 K	123.6	5.080	0.04110
経験者 L	117.2	3.992	0.03405
熟練者 A	102.1	3.603	0.03528
熟練者 B	107.0	1.065	0.00995
熟練者 C	111.0	4.528	0.04079
熟練者 D	116.2	1.889	0.01626
熟練者 E	109.8	5.043	0.04595
熟練者 F	119.5	3.810	0.03188



表 B-10 右腕の初期角度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	74.74	4.914	0.06575
未経験者 B	59.23	3.280	0.05537
未経験者 C	79.60	5.425	0.06816
未経験者 D	48.27	2.961	0.06134
未経験者 E	66.91	3.503	0.05236
未経験者 F	58.70	4.285	0.07300
経験者 A	83.75	2.769	0.03306
経験者 B	76.10	2.615	0.03436
経験者 C	57.23	1.815	0.03171
経験者 D	69.21	2.508	0.03624
経験者 E	85.98	2.806	0.03264
経験者 F	46.33	2.954	0.06376
経験者 G	73.19	1.701	0.02324
経験者 H	76.53	3.936	0.05142
経験者 I	80.51	1.657	0.02059
経験者 J	71.57	0.857	0.01198
経験者 K	69.28	1.402	0.02023
経験者 L	63.28	3.203	0.05062
熟練者 A	91.79	3.263	0.03555
熟練者 B	87.84	1.984	0.02259
熟練者 C	90.18	1.308	0.01451
熟練者 D	70.85	2.379	0.03358
熟練者 E	80.07	3.974	0.04963
熟練者 F	59.29	2.294	0.03870

表 B-11 両手の高さの差に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	-0.1110	0.02476	-0.2230
未経験者 B	0.1862	0.04600	0.2471
未経験者 C	0.2019	0.03495	0.1731
未経験者 D	-0.2268	0.02476	-0.1092
未経験者 E	-0.1580	0.02809	-0.1778
未経験者 F	0.1978	0.02189	0.1107
経験者 A	0.1451	0.01034	0.07125
経験者 B	-0.006480	0.01889	-2.915
経験者 C	0.01589	0.01069	0.6726
経験者 D	0.07741	0.00895	0.1157
経験者 E	0.1553	0.01505	0.09692
経験者 F	0.1699	0.01749	0.1029
経験者 G	0.1462	0.00597	0.04082
経験者 H	0.09004	0.02286	0.2539
経験者 I	0.1916	0.01807	0.09427
経験者 J	0.1421	0.03980	0.2800
経験者 K	0.2087	0.03265	0.1565
経験者 L	0.1979	0.02671	0.1350
熟練者 A	0.1105	0.01729	0.1564
熟練者 B	0.1773	0.00852	0.04805
熟練者 C	0.1561	0.02052	0.1314
熟練者 D	0.1404	0.02024	0.1442
熟練者 E	0.1275	0.02931	0.2299
熟練者 F	0.1403	0.02443	0.1741

表 B-12 左腕の最小角度に関する全参加者のデータ

参加者名	平均値	<i>S.D.</i>	変動係数
未経験者 A	70.94	2.830	0.03989
未経験者 B	71.33	4.049	0.05676
未経験者 C	84.51	3.489	0.04128
未経験者 D	36.07	3.849	0.1067
未経験者 E	48.42	1.334	0.02755
未経験者 F	77.77	1.379	0.01773
経験者 A	38.53	3.245	0.08422
経験者 B	37.64	13.39	0.3557
経験者 C	44.99	5.194	0.1155
経験者 D	53.07	3.411	0.06427
経験者 E	76.54	1.665	0.02175
経験者 F	46.31	3.705	0.08001
経験者 G	40.58	3.671	0.09047
経験者 H	27.38	2.558	0.09343
経験者 I	44.57	6.617	0.1485
経験者 J	50.73	2.827	0.05573
経験者 K	53.68	3.473	0.06469
経験者 L	41.15	3.051	0.07415
熟練者 A	39.47	3.698	0.09370
熟練者 B	20.72	4.678	0.2257
熟練者 C	53.97	3.341	0.06191
熟練者 D	55.85	3.784	0.06776
熟練者 E	33.49	4.073	0.1216
熟練者 F	34.70	2.341	0.06746

## 付録 C：検証に用いた各種データ

検証時に用いた参加者 A-F までの各種評価指標に関するデータを表 C-1 から表 C-5 まで示す。

表 C-1 検証参加者の肩腰の回旋に関する評価指標の各種データ

	肩の最大回旋角度	腰の最大回旋角度	肩の最大角速度	腰の最大角速度
参加者 A	77.45	51.05	365.5	410.0
参加者 B	59.00	53.76	358.9	772.4
参加者 C	105.9	84.63	594.6	570.4
参加者 D	91.97	68.81	569.0	495.9
参加者 E	100.8	95.66	719.4	689.4
参加者 F	106.9	96.67	731.2	660.1

表 C-2 検証参加者の肩腰の連動に関する評価指標のデータ

	肩と腰の回旋し始めの時間差
参加者 A	0.0109
参加者 B	0.0124
参加者 C	-0.047
参加者 D	-0.005
参加者 E	-0.029
参加者 F	-0.019

表 C-3 検証参加者の突いた時の両足の幅に関する評価指標のデータ

	突き時の右足の引き寄せ距離
参加者 A	0.2700
参加者 B	-0.1172
参加者 C	0.2166
参加者 D	0.1819
参加者 E	0.1848
参加者 F	0.08551

表 C-4 検証参加者の構え時の手の位置に関する評価指標の各種データ

	胴体に対する 左手の位置	胴体に対する 右手の位置	左腕の初期 角度	右腕の初期 角度	両手の高さの 差
参加者 A	1.054	0.6825	92.40	60.27	0.2268
参加者 B	0.3240	0.6911	110.6	84.60	0.2019
参加者 C	0.7929	-0.9939	115.8	53.65	0.1105
参加者 D	0.6815	0.8246	110.6	52.85	0.07726
参加者 E	0.5220	0.7621	117.1	50.02	0.1355
参加者 F	0.5392	0.7761	111.0	71.57	0.1421

表 C-5 検証参加者の突き手と逆の手の引きつけに関する評価指標のデータ

	左腕の最小角度
参加者 A	30.07
参加者 B	84.51
参加者 C	47.37
参加者 D	35.50
参加者 E	46.31
参加者 F	48.73