

剣道の正面打ちにおける各身体部位の動作についての検討

鈴木 大介, 三村 泰成, 廣井 美和*

Discussion about the motion of each body part by Men-strike of kendo

Daisuke SUZUKI, Yasunari MIMURA, Miwa HIROI

(Received on Jan. 31, 2020)

Abstract

A motion capture is also a technique to record the movement of a real person and object digitally. We analyzed the behavior of Kendo using motion capture system and force plate. As a content, it is about the motion of each body part in the Men-strike. As a result, I was able to analyze the characteristics of the position of the wrist and how to carry the foot. It was possible to visualize the behavior of each subject, it is considered to be effective in the scene of guidance. They will be able to understand their own characteristics and lead to higher levels. Also, it was possible to summarize the muscle tendon when delving in the motion of the Men-strike. It was confirmed that the vastus lateral muscle and the semimembranosus functioned greatly in any subject. In this way, we plan to establish a new method of guidance.

キーワード：剣道, 正面打ち, モーションキャプチャ, フォースプレート, 筋腱

1. はじめに

近年, 歩行解析・人間工学・スポーツなどの研究分野において, 映像処理が使用されている. モーションキャプチャは, 現実の人物や物体の動きをデジタル的に記録する技術で, スポーツなどでの選手たちの身体の動きのデータ収集や各種シミュレーションなどを用いた動作解析に利用されている.

剣道の指導をする際に, 感覚的な指導になる場面がある. 素振りでの手首の使い方や足の運び方など, 人それぞれやり方があるのに対し, 指導者自身の感覚で指導が行われている. しかしながら, うまく伝えることができないこともある. これまで, 剣道経験者と未経験者の下肢の動作解析を行ない, 報告したり. それに伴い, 新たに各身体部位がどのように作用しているのかも検討する必要があることが分かった. それゆえ本稿では, 選手一人一人に対して, 指導できる環境を整えることで, それぞれに合った指導につなげられるように検討する. それぞれの動きを視覚化することが出来れば, レベルアップさせることのできる指導に役立たせることも可能であると考えられる. 最終的には, モーションキャプチャシステムおよびフォースプレートを使用し, 剣道の動作解析をすることで, 視覚的なものを用いた指導につなげることを目指す.

2. 測定環境および被験者

2. 1 モーションキャプチャシステム

モーションキャプチャとは, 3次元グラフィックスにおける手法の一つで, 人などの動きを測定してコンピュータに取り込む技法のことである. 各シミュレーションなどに用いられ, 生身の人間の動きを再現するので, 非

*オムロンフィールドエンジニアリング株式会社

常にリアルな動作をさせることができる。使用したモーションキャプチャシステムは、パッシブの光学式である。光学式は、体の表面に目印となるマーカを取り付け、複数のカメラでマーカを撮影することで間接の位置を推定することができる。得られたマーカ群から、あらかじめ定義した人体の多関節モデルにマッピングすることで、人の位置、関節角度などを求めることができる。そして、カメラに備えてある LED から赤外線を発光し、マーカに赤外線が反射され、それをカメラで読み取るものである。マーカには再帰性反射材のシートが使用されている。

今回使用したモーションキャプチャシステムは以下のものである。

- モーションキャプチャシステム：Motion Analysis 社製 MAC3D System
- モーションキャプチャカメラ：Motion Analysis 社製 Raptor-E 7 台
- モーションキャプチャ制御ソフトウェア：Motion Analysis 社製 Cortex ver4.1

制御ソフトウェアの Cortex ver4.1 を使用するコンピュータは以下のとおりである。

- OS Windows 7 Professional 64 bit
- CPU Intel(R)xeon(r)2.40 GHz
- GPU Nvida Quadro 2000 K
- RAM 16 GB

なお、計測範囲は、約 2.4 m×1.2 m×2 m である。本研究室でのカメラの設置場所を図 1 に示す。

2. 2 床反力計

床反力計とは、床反力を測定する装置のことである。フォースプレートとも呼ばれる。フォースプレートはひびきゲージ方式である。直観性・温度性に優れ、静荷重による構成が可能という優れた特徴を持つ。零点変動がほとんどなく、安定した計測が可能である。本研究室には、2枚設置しており、1枚の大きさは400 mm×600 mm である。図 2 示すように左をフォースプレート 1、右をフォースプレート 2 とする。今回使用したフォースプレートは、テック技販の TF-4046-B であり、最高 10 kHz の計測が可能である。

2. 3 被験者

本研究の被験者は、剣道経験者 3 名（1 名は指導者）で行なう。被験者の詳細を表 1 に示す。被験者に対し、普段から行なっている一挙動の正面打ちの動作の仕方を指導してから測定を行なった²⁾。しかしながら、経験者であるため、自分自身の感覚で行なってもらった。なお、使用した竹刀は、男子が長さ 119cm、重さ 515g、女子が長さ 119cm、重さ 443g である。これは、全日本剣道連盟で定められている一般用の規格（長さ 120 cm 以内、重さ 男子用：510 g 以上、女子用：420 g 以上）を満たしているものである。



Fig.1 Measurement environment



Fig.2 Force plate

Table.1 Participants information

Subject	Gender	Height cm	Weight kg	Carrier
A	Man	193	100	24
B	Man	170	60	10
C	Woman	154	50	10

3. 実験内容と結果

3. 1 正面打ちをした際の各身体部位の座標について

3. 1. 1 測定方法

7台のカメラを使用したモーションキャプチャシステムにより、マーカを取り付けた各被験者に、剣道の正面打ち動作をしてもらった。その様子を図3に示す。今回は、実戦を意識した動作として一挙動の正面打ちとする。一挙動の正面打ちとは、前進しながら竹刀を振り上げ、振り下ろす動作のことである。図4に一挙動の正面打ちの一連の動作について示す。それを解析し、左右の手首、腰、右足つま先、左足かかとの座標を抽出し、自分自身の正面打ちの際に各部位がどのように作用しているのかを検討する。今回示す結果は、被験者自身が普段通りに動作し、納得したものを採用している。



Fig.3 The subject with markers

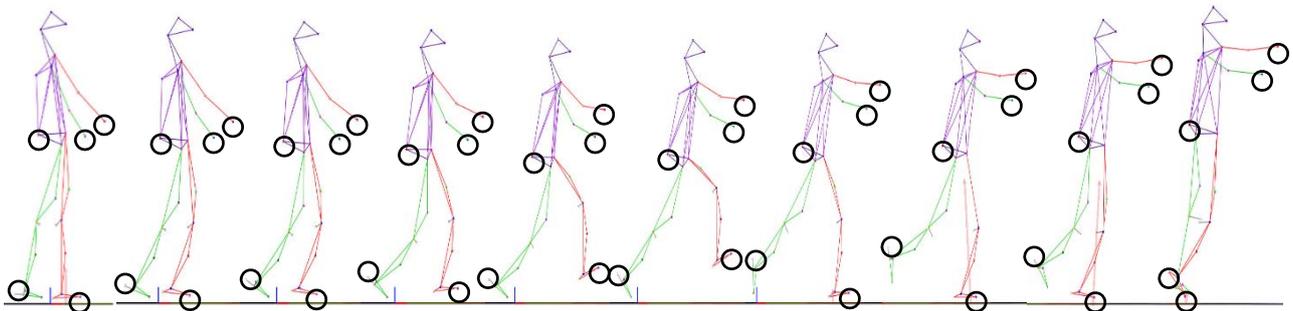


Fig.4 A series of behaviors of ikkyodou Men-strike

3. 1. 2 手首の位置の結果

一挙動の正面打ちにおける各被験者の左右の手首の位置の結果を図5、図6、図7に示す。

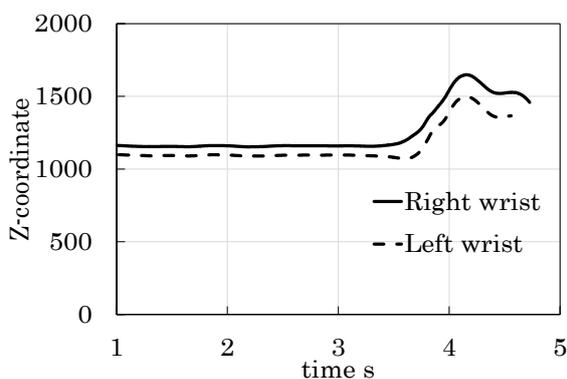


Fig.5 Result of the wrist position of subject A

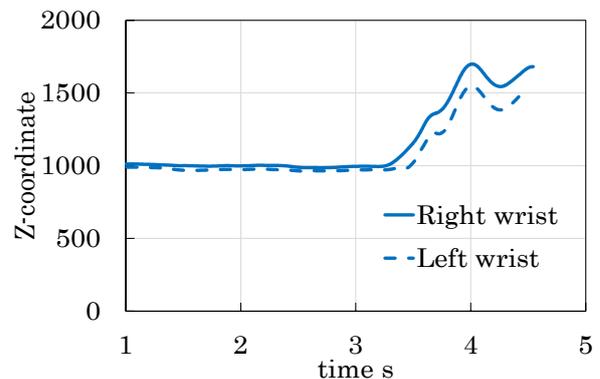


Fig.6 Result of the wrist position of subject B

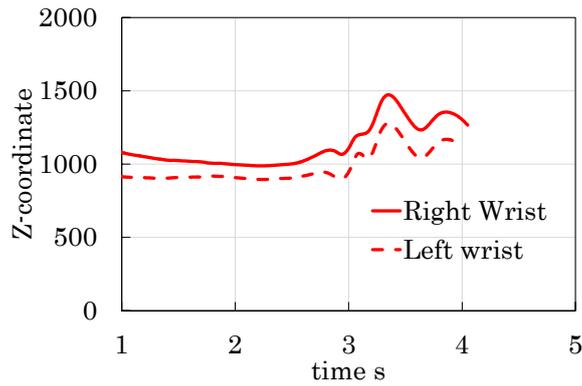


Fig.7 Result of the wrist position of subject C

被験者 A は、構えの位置である右手 1180，左手 1100 の Z 座標から左右の手の位置が変化することなく，打突の動作に入っているのに対し，被験者 B は，右手の位置と左手の位置がともに Z 座標 1020 の高さであり，竹刀の剣先が移動し，打突開始時には両方ほぼ同じ位置にある．これにより，被験者 B は打突をする直前，右手を動かすクセがあることが確認できる．被験者 C は，構えの位置が右手 1120，左手 950 と少し離れている．そのため，打突するまでに右手の位置が下がっていることがわかり，打突前の動作が大きいことがわかる．また，打突の瞬間に両手が上下移動してしまうクセがあることが確認できる．それぞれの打突後の手の伸ばし方は，被験者 A，C は最高点の後に前に伸ばしているのに対し，被験者 B は上に伸ばしていることがわかった．これによって，打突後のクセも確認できた．

3. 1. 3 腰と右足つま先，左足かかとの位置の結果

各被験者の一挙動の正面打ちをした際の腰の位置の結果を図 8，右足つま先の位置の結果を図 9，左足かかとの結果を図 10 に示す．

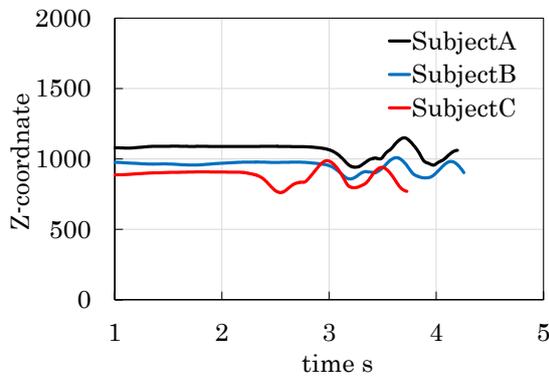


Fig.8 Result of the sacral position of subject

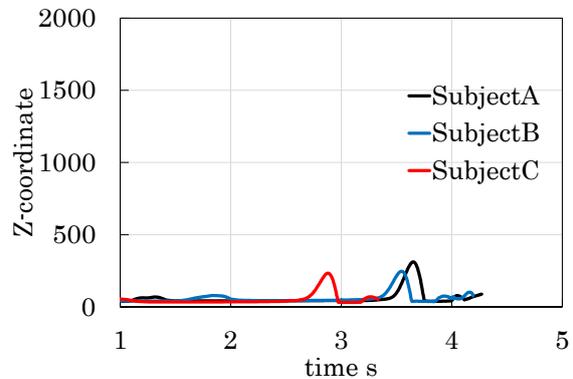


Fig.9 Result of the toe position of subject

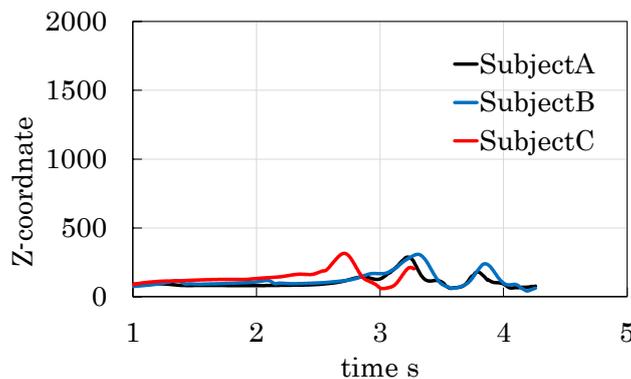


Fig.10 Result of the heel position of subject

腰の位置の結果においては、すべての被験者が最初にZ座標が下がっているところで一挙動の正面打ちが完了している状態である。その後、測定範囲内において、2度上下に振れがあることが確認できる。これは、正面打ちをした後に抜けていく上下運動である。この動作を基準とするならば、打突をして抜けていく際の速さについて検討できるものと考えられる。また、この腰の位置がきちんとした位置になっている場合、打突時の姿勢に直結するものであると考えられており、踏み込み動作や上半身の動作に影響してくるものと考えられる。

打突時の右足の踏み込みの注意点として、“高く上げすぎないように”や“できるだけ床と水平になるように”などと指導している。それを踏まえても、どの被験者も床に対して同じような軌道で動作していることが確認できる。また、踏み込んだ際の右足が、最高点よりも前になっていることできちんと打突していることが確認できる。最高点よりも手前になってしまうと前のめりになってよい打突とは言えないとされているので、結果を見てもその通りに実践できていると考えられる。左足のかかとも大きく跳ね上がることなく、床に水平に移動していることがわかる。つまり、打突をしているときは、前に行くように蹴られていることが確認でき、打突する姿勢はよいことがわかる。

3. 2 床反力による下肢の動作測定

3. 2. 1 測定方法

下肢の動作測定を行う際には、図 2 で示したフォースプレートを使用した。この時のサンプリング周波数は10kHzである。一挙動の正面打ちにおける蹴り脚と踏み込み脚の動作を測定する。

測定する動作は以下の2種類とする。

1. フォースプレート 1 に左足を置いてから一挙動の正面打ちを踏み込む際に生じる蹴り脚の強さ(動作 1)
2. フォースプレート 1 からフォースプレート 2 に一挙動の正面打ちを踏み込む際に生じる踏み込み脚の強さ(動作 2)

3. 2. 2 蹴り脚と踏み込み脚の結果

蹴り脚動作である動作 1 の結果を図 11、踏み込み脚動作である動作 2 の結果を図 12 に示す。

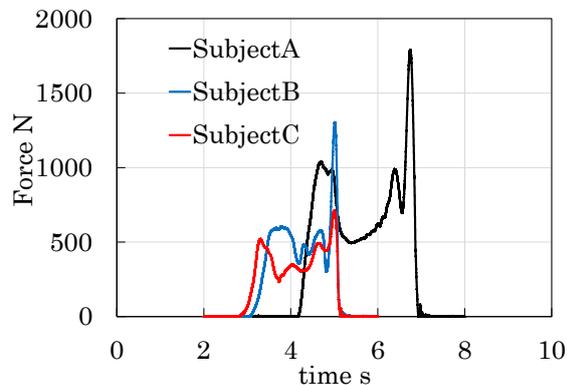


Fig.11 Comparison of a floor reaction force of motion 1

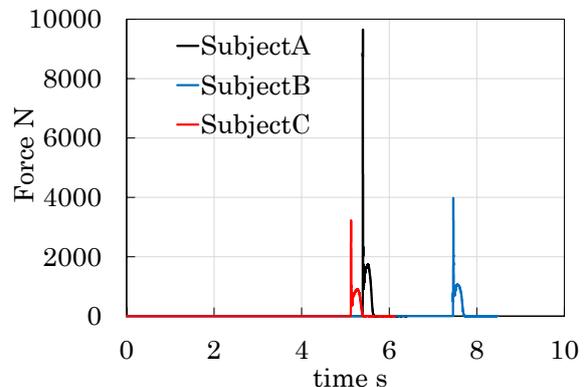


Fig.12 Comparison of a floor reaction force of motion 2

踏み込み脚の結果より、打突しようとする際には、必ずタメが存在し、その後、蹴り脚のピークが存在することが確認できた。このタメから蹴り脚のピークまでの時間が 0.3s から 0.5s となっている。この時間が短ければ早く打突することが可能となり、それぞれの打突における上達度合にも影響を及ぼすことが考えられる。踏み込み脚の結果を確認してみると、それぞれ踏み込んだ際の瞬間的なピークの後に小さなピークを確認できた。これは、右足の裏全体で踏んだ後に、かかとが離れた際にできるピークである。被験者 A の踏み込みの強さにおいては、体格や経験年数なども影響しているものと考えられる。

3. 2. 3 蹴り脚と踏み込み脚動作の比較

各被験者の動作 1 と動作 2 を比較したものをそれぞれ図 13、図 14、図 15 に示す。

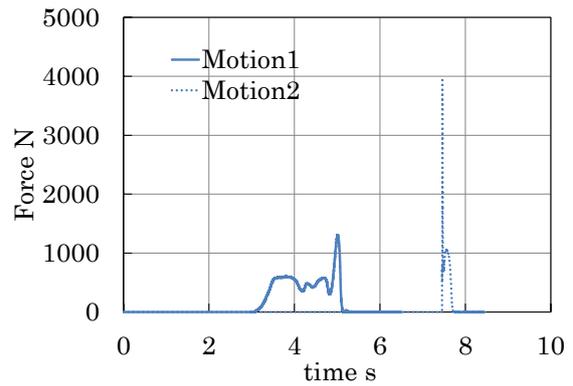
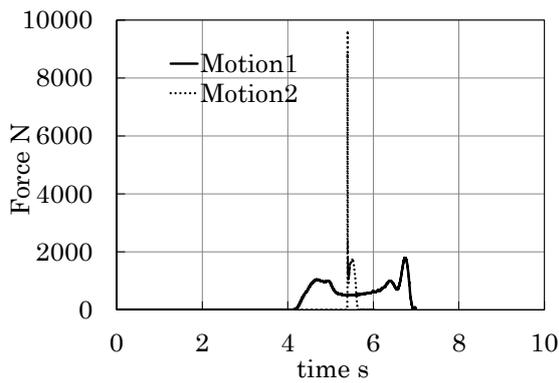


Fig.13 Combination result of motion 1 and motion 2 of subject A Fig.14 Combination result of motion 1 and motion 2 of subject B

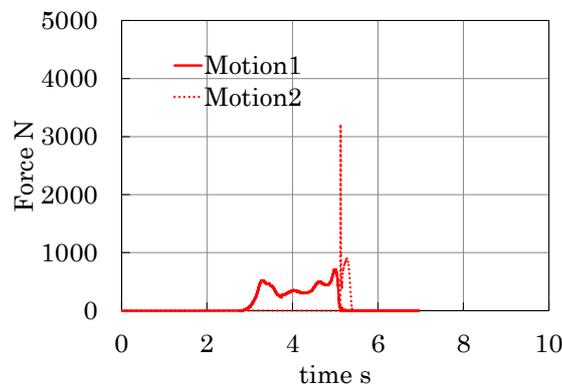


Fig.15 Combination result of motion 1 and motion 2 of subject C

この結果は、左足の蹴り脚、右足の踏み込み脚を表しており、一挙動の正面打ちの一連の動作を表している。各被験者の結果を比較すると、蹴り脚に比べ、踏み込み脚のほうが3倍から5倍大きいことが確認できる。蹴り脚については、構えの状態からつま先のみで蹴ることになるため、値は小さく、踏み込み脚は、足の裏全体で踏むことになるので、このような差が出ていることが確認できた。

3. 3 筋腱解析の検討

3. 3. 1 測定方法

一挙動の正面打ちにおける踏み込み動作と蹴り脚についての下肢の筋腱について検討を行なった。測定方法として、被験者がフォースプレートに対し、踏み込み動作及び蹴り脚動作を行ない、その動作をカメラで撮影したものを、ソフト上でモデルを作成し、筋骨格モデルを表示させ、逆動力解析により筋腱の検討を行なう。動作解析の手順を図 16 に示す。これは、右足でフォースプレートを踏み込んだことで各筋腱が作用している様子を表している。

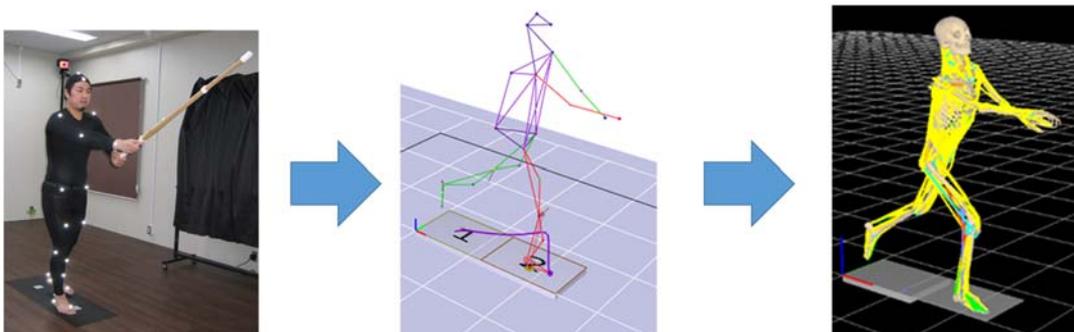


Fig.16 Procedure of motion analysis

3. 3. 2 踏み込み脚の筋腱解析結果

踏み込み動作における下肢の筋腱に大きく負荷のかかる上位5つをまとめたものを表2に示す。その結果、全ての被験者が外側広筋、半膜様筋が大きく作用していることが確認できた³⁾。各被験者の外側広筋の結果を図17、半膜様筋の結果を図18に示す。踏み込む前、踏み込んだ瞬間及び床に足の裏がついているところで筋腱が作用していることが確認できる。特に踏み込んだ際の筋腱が大きくなっていることが確認できる。外側広筋及び半膜様筋は、それぞれが作用している筋腱でどちらも同じような結果が出ていることがわかる。

Table.2 Result of muscle-tendon complex of a muscle of depression motion

Ranking	Subject A	Subject B	Subject C
1	Vastus lateralis muscle	Vastus lateralis muscle	Vastus intermedius muscle
2	Soleus muscle b	Semimembranosus	Vastus lateralis muscle
3	Semimembranosus	Vastus intermedius muscle	Vastus medialis muscle
4	Vastus medialis muscle	Vastus medialis muscle	Semimembranosus
5	Biceps femoris	Soleus muscle b	Biceps femoris

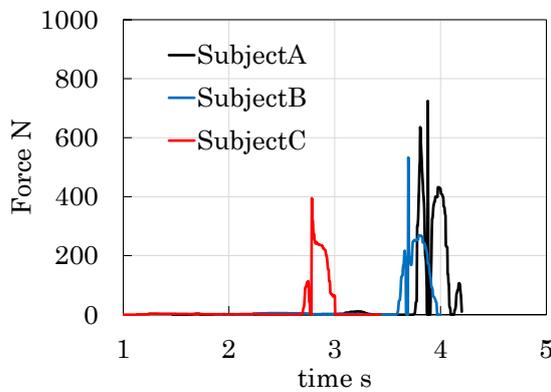


Fig.17 Results of the vastus lateral muscle of the subject

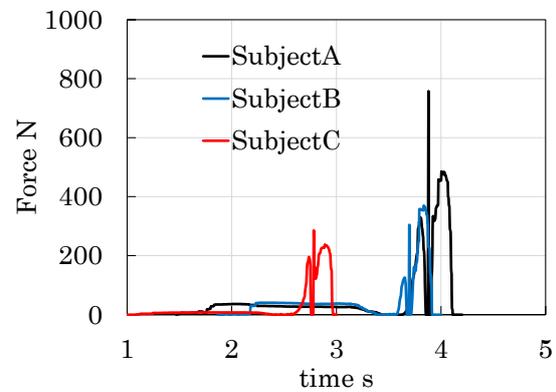


Fig.18 Results of the semimembranosus of the subject

3. 3. 3 蹴り脚の筋腱解析結果

剣道をしている者がケガしやすいと言われている蹴り脚のアキレス腱を検討した。動作1における各被験者の結果を図19に示す。それぞれの結果のピークについては、アキレス腱に最大に負荷がかかっているところになる。さらに、アキレス腱以外の下肢の動作に大きく負荷のかかる上位5つの筋腱についてまとめたものを表3に示す。その結果、外側広筋、ヒラメ筋が作用していることが確認できた。瞬間的な負荷については、アキレス腱が大きくなるが、下肢の部分で大きな筋肉のところには負荷がかかっている傾向にある。

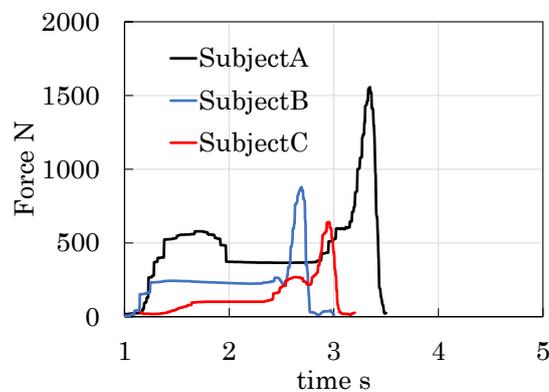


Fig.19 Muscle-tendon complex Analysis

Table.3 Result of tendon of a muscle of motion 1

Ranking	Subject A	Subject B	Subject C
1	Vastus lateralis muscle	Soleus muscle b	Vastus lateralis muscle
2	Soleus muscle a	Vastus lateralis muscle	Soleus muscle b
3	Tibialis posterior muscle	Vastus intermedius muscle	Tibialis posterior muscle
4	Soleus muscle b	Flexor hallucis longus muscle	Peroneus longus muscle
5	Gastrocnemius muscle	Gastrocnemius muscle	Soleus muscle a

4. おわりに

剣道の正面打ちにおける各身体部位の動作を視覚化することができた。感覚的な指導だけでなくデータを用いて指導することにより、基本的な動作の理解を深めることができると考えられる。また、一つ一つの動きに見られるクセを検討し、より効率的な動作にアプローチさせていくことも検討していく。しかしながら、剣道の試合においては、1本にしなれば試合に勝利することはできない。今回の身体部位への動作を考慮し、剣道試合・審判規則に記載している第2節第12条の有効打突⁴⁾の条件にある“竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し”の課題をクリアできたときに、よりよい成果として挙げられるものと考えている。下肢の筋腱について検討した結果、蹴り脚と踏み込み脚ともに動作結果が類似していることが確認できた。また、下肢の筋腱の負荷がどこにかかっているかがわかったことにより、ケガ防止に繋げていけるのではないかと考えている。

5. 参考文献

- 1)鈴木大介, 三村泰成, 廣井美和, 剣道の素振りを含めた下肢の動作解析 平成27年度スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, B-32
- 2)香田郡秀, 心・技・体を強くする! 剣道 練習メニュー200, 2012, 池田書店
- 3)河合良訓, 原島広至, 肉単 (ニクタン) 語源から覚える解剖学英単語集, 2004, 秀研社
- 4)全日本剣道連盟, 剣道試合・審判規則 剣道試合・審判細則 2012.4,p.6