

2014年度 修士論文

武術太極拳の競技会で高得点を獲得できる演武の
運動学的特徴：「弓歩沖拳」に着目して

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5013A065-3

羅 劉星

研究指導教員： 矢内 利政 教授

目次

| | |
|----------------------------|-------------|
| 第1章 緒言 | p.1 |
| 1-1 武術太極拳とは | |
| 1-2 研究小史 | |
| 1-3 武術太極拳の競技特性 | |
| 1-4 弓歩沖拳 | |
| 1-5 意義・目的 | |
| | |
| 第2章 方法 | p.18 |
| 2-1 被験者 | |
| 2-2 実験プロトコル | |
| 2-3 データ収集 | |
| 2-4 データ処理 | |
| 2-5 データ分析 | |
| 2-6 統計処理 | |
| | |
| 第3章 結果・考察 | p.41 |
| 3-1 拳の並進速度 | |
| 3-2 「沖拳」における各セグメント角速度の最大値 | |
| 3-3 動作の各時点の出現時刻 | |
| 3-4 動作の各局面の所要時間 | |
| 3-5 各セグメントが「沖拳」を開始するタイミング | |
| 3-6 コーチングへの応用 | |
| 3-7 本研究の限界 | |
| | |
| 第4章 まとめ | p.59 |
| | |
| 【参考文献】 | p.61 |
| | |
| 【謝辞】 | p.67 |

第 1 章 緒言

1 - 1 武術太極拳とは

武術太極拳は数千年前から中国の各地で狩猟や戦における体術や人身護衛術、あるいは道教などの修行の一環として発祥した。近年ではスポーツとして地域・世代を問わずに広く普及し、認知されるようになった。日本武術太極拳連盟の公表によると日本での愛好者人口は100万人以上と言われている。また、国際武術連盟への加盟国・地域の数は150以上に上る。

現在、世界中で行われているスポーツとしての武術太極拳は1950年代に中国政府の管轄のもと、武術太極拳の様々な流派の専門家が集まり、各流派を体系的に整理し、それぞれの特徴を取り入れて標準的な武術太極拳としてまとめたものである。(李, 2006)

武術太極拳という名称は日本での独特の言い方であり、国際的な正式名称は「武術」(ウーシュー、WUSHU)と呼ばれる。日本では「武術」の中の1つである太極拳の認知度が圧倒的に高いことから、日本武術太極拳連盟が普及活動の一環として意図的に武術の後に太極拳という名称をつけた。他にも「武術」のことを「カンフー」や「中国武術」、「中国拳法」などの様々な呼称で呼ぶ場合があるが、それらは正式名称ではない。本研究では紛らわしさを回避する為に、日本における「武術」に関する活動を統括している日本武術太極拳連盟が定めた「武術太極拳」という名称を用いることとする。

武術太極拳には健康スポーツとしての側面と競技スポーツとしての側面が存在する。健康スポーツとして、中国の公園で朝から高齢者たちが武術太極拳を楽しむ様子が有名であるが、日本でもスポーツクラブや地域の太極拳教室など、様々なところで武術太極拳が行われて

いる。また、アメリカのテキサス州ヒューストンにある「世界一の癌センター」と言われている M.D.アンダーソン癌センターでは運動療法の一環として武術太極拳が実施されている(The University of Texas MD Anderson Cancer Center online: mdanderson.org)。このように近年、武術太極拳が健康にいい影響があるとして世界中で注目されるようになってきた。その一方で、武術太極拳は競技スポーツとしても広く普及してきている。2002年に武術太極拳は国際オリンピック委員会の正式承認競技に認定された。また、アジア競技大会では1990年の北京大会、東アジア競技大会では1993年の上海大会から正式種目として実施されている。武術太極拳に関する国際的な競技会などの活動を管轄する国際競技団体として国際武術連盟が1990年に創立され、翌年の1991年から隔年で世界選手権が開催されている。このことから、これからは健康スポーツとしての武術太極拳に加えて、競技スポーツとしての武術太極拳にも注目が集まることが考えられる。

1 - 2 研究小史

これまでに行われてきた武術太極拳に関する研究は、武術太極拳を実施することが身体的・精神的な健康に対して、どのような効果をもたらすのかという問題を検証したものがほとんどである。これらの研究の成果によって、武術太極拳が精神的・身体的健康に大きく貢献すると数多くの報告がされている。

武術太極拳を実施することによる身体の生理機能への効果として、Ko ら(2006)は 20 名の健常女性(40.8±5.9 歳)に 10 週間に亘って 1 回 1 時間の武術太極拳を週 2 回の頻度で実施させた結果、総コレステロール及び LDL コレステロールが減少したと報告している。さらに Thomas ら(2005)は健常な男女それぞれ 44 名(69±3 歳)に 12 ヶ月間に亘って 1 回 1 時間の武術太極拳を週 3 回の頻度で実施させた結果、インスリン感受性が非介入群(男女計 78 名、69.1±3.2 歳)と筋力トレーニング群(男女計 65 名、68.9±2.8 歳)よりも増加したと報告している。加えて Goon ら(2009)は健常な男女計 30 名(45 歳以上)に 12 ヶ月間に亘って 1 回 1 時間の武術太極拳を週 2 回以上の頻度で実施させた結果、抗酸化酵素活性が向上したと報告している。

また武術太極拳の実施による身体の運動機能への効果に関しても Maciaszek ら (2007)は骨量減少症もしくは骨粗鬆症の年配男性 25 名(62.97±6.27 歳)に 18 週間に亘って 1 回 45 分間の武術太極拳を週 2 回の頻度で実施させた結果、非介入群(骨量減少症もしくは骨粗鬆症の年配男性 24 名、71.06±5.99 歳)と比較して身体のバランス能力が改善して、転倒リスクを軽減させたと報告している。また、同じ武術太極拳でも動作のスピードの変化によって身体の運動機能への効果が異なると報告されている。即ちゆっくりとした動きでは身体のバランス

能力を改善させるような効果が、また速い動きでは身体の筋力を改善させるような効果があると報告している。これは武術太極拳の動作のスピードによって筋収縮様態が異なる為であると考えられている(Wuら, 2009)。他にも武術太極拳が触覚鋭敏性を高める(Kerrら, 2008)ことや肩の外旋機能及び伸展機能が上昇し、肩の柔軟性が向上した(Cheungら, 2007)と報告がされている。このように武術太極拳は身体の運動機能の改善・向上に効果があることからリハビリテーションの一環として広く取り入れられている。Shenら(2008)は変形性膝関節症患者の歩行運動におけるリハビリテーションとして、変形性膝関節症患者男女計36名(64.4±8.3歳)に1回60分間の武術太極拳を6週間に亘って週2回の頻度で実施した結果、歩行運動や膝疼痛が改善されたと報告している。歩行運動における歩幅、歩調、歩行スピードの改善だけではなく、歩行運動時の疼痛改善も認められた。また、2型糖尿病患者のリハビリテーションとして、2型糖尿病患者男女計16名(66±8歳)に1回45分間の武術太極拳を16週間に亘って週1回の頻度で実施した結果、柔軟体操・ストレッチ運動群(2型糖尿病患者男女計14名、65±8歳)と比較して身体のバランス能力や身体機能、健康関連のQOLが改善したと報告されている(Tsangら, 2007)。さらにLanら(1999)は2型糖尿病患者男女計15名(63.2±8.6歳)のリハビリテーションとして6ヶ月間の武術太極拳(前半3ヶ月間は1回1時間を週2回、後半3ヶ月間は1回1時間を週1回)を実施した結果、非介入群(2型糖尿病患者男女計16名、60.7±12.2歳)に比べて健康関連のQOLが改善したと報告している。またLamら(2008)は冠動脈バイパス手術を受けた男性患者9名(55.7±7.1歳)に1年間に亘って1回1時間弱の武術太極拳を毎日リハビリテーションとして実施した結果、

歩行運動群(冠動脈バイパス手術を受けた男性患者 11 名、 57.2 ± 7.6 歳)に比べて最大酸素摂取量や換気閾値での酸素摂取量が向上したことから、武術太極拳が歩行運動よりも心肺機能を増強し得ると報告している。さらに喘息患者児童男女それぞれ 9 名(9.9 ± 1.7 歳)に 12 週間に亘って 1 回 40 分間の武術太極拳を週 3 回の頻度で行わせた結果、非介入群(喘息患者児童男女それぞれ 6 名、 9.3 ± 1.8 歳)と比較して努力性肺活量や最大呼気流量、1 秒間努力呼気流量が向上したことから、武術太極拳が肺機能を改善されることが可能であると報告している(Chang ら, 2008)。

これらの武術太極拳を実施することによる身体健康度への効果に加えて、高齢者や各種疾患患者の精神的健康度に対する太極拳の効果も数多く報告されている。12 週間に亘って武術太極拳を実施したことによって自覚ストレスが減少した(Taylor Piliae ら, 2006)ことや、健康関連の QOL や自尊心を増加させることが認められた(Lee ら, 2007、金ら, 2007)と報告されている。その他にも 6 週間に亘って 1 回 2 時間の武術太極拳を週 1 回の頻度で実施することによって慢性疾患患者群(80 名、18 歳以上)の自己管理能力が慢性疾患自己管理プログラム実施群(80 名、18 歳以上)の自己管理能力に比べて向上した(Siu ら, 2007)ことや、肥満患者群(BMI ≥ 30 の肥満女性、11 名)を対象に 10 週間に亘って 1 回 2 時間の武術太極拳を週 1 回の頻度で実施した結果、運動プログラム実施群(BMI ≥ 30 の肥満女性、10 名)と比較して自己効力感及び抑うつ状態が改善した(Dechamps ら, 2009)こと、また HIV 患者男女それぞれ 35 名(42.3 ± 8.3 歳)に 10 週間に亘って 1 回 1 時間の武術太極拳を週 1 回の頻度で実施した結果、疾患の症状や QOL の改善と抑うつ度の減少が認められている(Robins ら, 2006)。

高齢者や各種疾患患者の精神的健康度への効果に加えて、健常者を対象とした研究でも太極拳が精神的健康度に貢献すると認められている。太極拳熟練者男女それぞれ 20 名(37.7±14.3 歳)に 60 分間太極拳を実施させた結果、太極拳初心者男女それぞれ 17 名(33.2±9 歳)に比べて気分状態が上がり、不安感や唾液中コルチゾールの減少が認められた(Jin, 1989)。また、太極拳経験者男女それぞれ 12 名(平均年齢 36 歳)に 60 分間太極拳を実施させた結果、早歩き群・瞑想群・読書群(各群それぞれ 12 名、平均年齢 36 歳)に比べて気分状態が上がり、不安感や唾液中コルチゾールの減少が認められた(Jin, 1992)。さらに、大学生男女それぞれ 25 名に 15 週間に亘って 1 回 50 分間の太極拳を週 2 回の頻度で実施した結果、ピラティス実施群(大学生男女それぞれ 37 名)と屋外レクリエーション実施群(大学生男女それぞれ 19 名)よりも自己効力感や気分状態が上昇したことが報告されている(Caldwell ら, 2009)。これらのことから、太極拳を実施することでネガティブな感情が抑えられ、ポジティブな感情が上昇するということが認められた。

このように健康スポーツとしての武術太極拳が身体の生理機能や運動機能に加えて高齢者や疾患患者に限らず健常者の精神的健康度をも改善・向上させる効果があると近年の様々な研究から明らかにされている。武術太極拳を実施することによって身体的・精神的な健康度にいい影響を与えるのは武術太極拳が身体に過度な負担をかけない緩やかな動きが多いこと、動作の種類が豊富であることから、運動習慣を持たない者や運動が苦手な者でも、無理なく飽きることなく継続的に取り組めることが大きな利点であると述べられている(大平ら, 2010)。

上記したように健康スポーツとしての武術太極拳を対象にこれまで様々な研究が行われてきた。しかし、競技スポーツとしての武術太極拳に関する研究は極めて少ない。范ら(2013)は熟練者 20 名(50 代～70 代)と初心者 20 名(40 代～70 代)を対象に武術太極拳の基礎動作の比較研究を行っている。しかし、それらの対象者の年齢は 40 代～70 代と高齢であり、10 代後半～20 代前半が選手としての最盛期と言われている武術太極拳において、国際大会に参加するような競技力が高い選手の動きとは大きく隔たりがあると考えられる。その為、健康目的の愛好者である高齢者を対象とした研究で得られた知見を競技パフォーマンスの向上が目標である現役の選手に応用させるには疑問が生じる。

1 - 3 武術太極拳の競技特性

競技スポーツとしての武術太極拳は長さ 14 メートル、幅 8 メートルのコート(図 1)の中で、選手が約 40 個の動作を組み合わせた「套路」と呼ばれる一連の運動を演武する。そして、その出来栄えを動作の規格の是非、武術太極拳としての動作の表現力などを評価する演技レベル、難度動作の難易度の高低や成否などの観点から 10 人の審判員が採点して、順位が決定する採点競技である。つまり、競技スポーツとしての武術太極拳は競技会でより上位に進出する為に、高い点数を獲得することが目標・課題になる。



図 1：武術太極拳の競技会のコート

(200px-10th_all_china_games_floor)

武術太極拳の競技会での採点は 10 点満点で行われる。10 点満点の内訳は A 得点と呼ばれる得点が 5 点、B 得点と呼ばれる得点が 3 点、C 得点と呼ばれる得点が 2 点である。その為、競技会で高得点を獲得する為には A・B・C 得点それぞれで高い点数が要求される。A 得点は動作の規格の是非、C 得点は難度動作の成否を評価して、減点方式で採点を行い、点数が決定する。通常、競技力が高い選手は動作の規

格や難度動作を失敗することが少ないので、A・C 得点では減点が少なくなり、選手の間で点数差がつかない場合が多い。一方、B 得点は武術太極拳としての動作の表現力などを表す演技レベルを、出場選手の中で相対的に評価して、基準となる選手(一番最初に演武した選手)の演技レベルに対してどれだけ上か、あるいは下かというものを段階的に評価して点数が決定する。通常、B 得点の点数が同じであることは稀であり、競技力の高い選手の間でも点数差が生まれる場合が多い。その為、武術太極拳の競技会での順位は、上位になればなるほど B 得点の点数差がそのまま順位を決定する場合が多くなる。武術太極拳の競技会において高得点を獲得し、他の選手よりも順位を上げる為には A・C 得点での減点を減らすことに加えて、B 得点での加点を増やすことが必要になる。

採点競技である武術太極拳には審判員が採点を行う際のルールである採点規則が存在する。その為、競技会において高得点を獲得する為には採点規則に記載されている採点基準を正確に把握し、その採点基準の要求通りに動作を実施する必要がある。A 得点や C 得点の減点を減らすには、A 得点では動作を規格通りに実施すること、C 得点では難度動作を成功させることが求められる。動作の規格の是非を採点する A 得点と難度動作の成否を採点する C 得点の採点基準について、採点規則では『弓歩や馬歩では、大腿部が水平でなければ減点』(A 得点)や『回転動作を伴う跳躍動作では、踏み切った瞬間の身体の向きから指定の角度以上、身体の向きが変化しなければ減点』(C 得点)などと具体的かつ明瞭に記載されている。その為、選手や指導者や審判員が A 得点や C 得点の採点基準を正確に把握し、共通の認識を持つことは容易である。一方で、競技会での順位、特に上位の順位に大き

く影響する B 得点の採点基準について、採点規則に記載されている内容は非常に抽象的である。その為、選手や指導者や審判員が明確に B 得点の採点基準を理解し、客観的な共通の認識を持つことが困難である。実際に武術太極拳の採点規則に記載されている、競技会で高い B 得点を獲得できる動作への全体的要求として

『動作が適正で、方法が正確で、勁力が充足し、力の使い方がスムーズで、力点が正確で手眼身法歩の調和がとれ(器械種目は身体と器械の調和も必要)、リズムが明確で風格が顕著で、動作と音楽が調和一致していること』(国際武術套路競技規則, 2005)

と記載されている。採点規則に記載されている B 得点の採点基準は「動作が適正」や「方法が正確」などと内容が抽象的であり、「何をどのようにすれば適正なのか」「何をどのようにすれば正確なのか」という具体性が欠けている。その為、選手や指導者や審判員たちの間でも B 得点の採点基準に対する客観的で明確な共通の認識がなく、どのような特徴を有する動きが高い B 得点を獲得できるか正確に認知されていない。また、B 得点の採点基準について、中国の体育大学における武術太極拳の教科書としても使用されている中国武術教程(2004, ①)では

『关于长拳中的“快”。快速有力，快速灵活固然是长拳的鲜明特点之一，但其中的快是讲究韵律感的快，合理的快。它要求动静分明，快慢结合，起伏转折，缓急有度。』

(意識：武術では「速い」ことが重要である。力強く速いことが武術の特徴の1つであることは当然であるものの、その速さはリズムがはっきりした速さ、合理的な速さでなければならない。リズムがはっきりした速さとは動と静が明確に分かれていて、速い時とゆったりの時があり、起伏があり、緩急があることである。)

と記載されている。つまり武術太極拳では動作が「はやい」ことが競技会で高得点を獲得する為には重要であるとされているが、その「はやさ」は「リズムや緩急が明確である」という要素も伴っていないと記されている。しかし、「リズムや緩急を伴ったはやさ」とは具体的にどういう「はやさ」なのか、という説明は明瞭性に乏しく、中国武術教程(2004,①)に記載されている採点基準の内容も抽象的である。このことが原因で、選手や指導者や審判員の間でも「リズムや緩急を伴ったはやさ」に対する客観的な共通の認識が存在しないという問題がある。その為、実際にどのような特徴を有する動きが、武術太極拳の競技会で高いB得点を獲得する為に必要な「リズムや緩急を伴ったはやい」動きを生み出しているかは不明である。

現在の武術太極拳の競技会における採点には、武術太極拳の採点規則や指導書に記載されているB得点に関する採点基準の内容が抽象的で具体性に乏しいという問題が存在する。その為、選手や指導者をはじめ、審判員の間でも明確に共通の認識を持ってB得点の採点基準を把握するのは困難である。そのことに加えて、競技スポーツとしてトップレベルの武術太極拳の動きを対象とした研究が皆無である為、競技会で高いB得点を獲得できる動きの特徴を、選手や指導者や審判員が客観的に正確に把握できていないという問題がある。そこで、実

際に競技会で高得点を獲得できる競技力が高い選手の動きを測定し、その特徴を明らかにすることで、採点基準が明瞭になり、採点の公平性や分かりやすさが明確になることに加えて、武術太極拳の競技会におけるパフォーマンスの向上に貢献するような知見を得られると考えられる。

1 - 4 弓歩沖拳

武術太極拳の競技会で選手が実施する「套路」は約 40 個の動作で構成されている。競技会で高得点を獲得する為には「套路」を構成する約 40 個の動作のそれぞれの出来栄を高めることが求められる。また、動作によっては「套路」中に必ず組み込まなければならない動作やその出現回数が指定されている動作がある。当然「套路」中に必ず組み込まれる動作や複数回出現する動作の出来栄を高めることが競技会での得点の向上に繋がることは明白である。武術太極拳には「五歩拳」と呼ばれる 5 つの基礎動作(中国武術教程, 2004, ②)が存在する。これらの 5 つの基礎動作は競技ルール上、「套路」中に必ず組み込まなければならない、ほとんどの「套路」において 5 つの基礎動作とも複数回出現する為、「套路」を構成する動作としては最重要動作と言っても過言ではない。「五歩拳」と呼ばれる 5 つの動作の中の 1 つの動作が「弓歩沖拳」(図 2)という動作である。武術太極拳の動作は上半身の形・動き(手型)と下半身の形・動き(歩型)の組み合わせによって構成されている。競技会のルールによって、どの手型が何回、どの歩型が何回「套路」の中で実施しなければならないか定められている。「套路」の中で 4 回以上実施しなければならないと、競技会のルールで定められており、歩型の中で最も数多く実施するよう要求されたものが「弓歩」である。「套路」の中で 5 回以上実施しなければならないと競技会のルールで定められており、手型の中で最も数多く実施するよう要求されたものが「沖拳」である(中国武術：習武練功 500 問, 2000)。競技会のルールとして、歩型の中で最も数多く実施しなければならない「弓歩」と手型の中で最も数多く実施しなければならない「沖拳」を組み合わせた動作が「弓歩沖拳」という動作である。

このことから「弓歩冲拳」は競技会のルールから考えて、武術太極拳の動作の中でも最も重要な動作の 1 つであると断定できる。「弓歩冲拳」の動作は静止立位の状態から両手で拳を作りながら、腰まで引き上げる(「抱拳」)。その後左手と左足を進行方向に出し、両大腿が水平になるまで両膝を曲げる。最後に右足を後ろに蹴りながら(「弓歩」)、左手を腰に引きながら体幹部を左回旋、右前腕を回内させながら、右拳を前に突き出す(「冲拳」)動きによって構成されている。



図 2：弓歩冲拳

中国武術教程(2004, ③)の中で「弓歩冲拳」の出来栄を高める為の要求として

『如冲拳动作，始于拳，起于梢节，中节(肘)随，根节(肩)催，拳走直线，用力通达，拧腰，顺肩，急旋臂，贯于拳面』

(意識：「弓歩冲拳」では拳を速く真っ直ぐ前に出すこと、力を入れること、腰を回旋させること、肩を送り出すこと、腕を急速に回旋させること、拳の面を素早く前に出すことが重要である)

というように記載されている。つまり「弓歩冲拳」では「腰を回すこと」「拳を速く前に突き出すこと」「腕を速く回転させること」などの体幹、冲拳をする方の上肢(右上肢)の動きが出来栄を高める為には

重要であることが記されている。さらに、国際武術連盟技術委員会が作成した国際武術連盟指定教材である武術初級教程(1997)では

『蹬腿，拧腰，顺肩，冲右拳要协调一致』

(意識：脚を蹴り出すこと、腰を回すこと、肩を送り出すこと、右拳と身体の動きを協調させること)

という記載がされている。加えて中国で著名な武術家である蔡龍雲が顧問を務めて編著された中華武術辞典(1987)では

『要求出拳快速有力，并用上拧腰，旋臂之力』

(意識：腰を回して、腕を急速に回旋させて拳の速さと力強さを満たさなければならない)

という記載がされている。これらの 3 つの指導書とも共通して「弓歩冲拳」の出来栄を高める為には「腰を回すこと」「拳を速く前に突き出すこと」「腕を速く回転させること」などの体幹、冲拳をする方の上肢(右上肢)の運動の様子が重要であると述べている。これらの複数の指導書と採点規則に記載されている内容から「弓歩冲拳」の出来栄を高める為には体幹、冲拳をする方の上肢(右上肢)の運動の様子、中でも「はやさ」に関連するものが重要であると考えられる。

武術太極拳は採点競技である為、武術太極拳で求められる「はやさ」とは審判員が動作を見て「はやい」と判断するような見た目の「はやさ」である。その「はやさ」とは「リズムや緩急が伴ったはやさ」とあると指導書には記載されている(中国武術教程,2004,①)。そのこと

から審判員が見た目で「はやい」と判断し得る動作の特徴として、動作の所要時間の短さや速度の大きさ、または動作中(局面)におけるそれらの変化の様子などのキネマティクスの特徴があると推測した。

「弓歩沖拳」は左足を進行方向に踏み込んで、右拳を前方に突き出す動作(パンチ動作)である。その為、右拳の速度を高めることが重要である(中国武術教程, 2004, ③)。スポーツ動作には身体の末端の速度を大きくすることが求められるものが数多く存在する。例えば、野球のピッチング動作やテニスのサーブ動作などの手部や打具から放たれたボール速度を高めることが重要である動作は、身体の末端の速度を高めることが必要である。身体の末端の速度を高める為には身体の各部位をムチのようにしならせながら連動運動させるいわゆる「投げ運動 (throw-like movement patterns: Ellen Kreighbaum & Barthels, 1990)」が適していると言われている。投げ運動は身体の近位部の速度が最大となるときに遠位部の運動が開始するように、近位部から遠位部へ順に運動を開始すること(遠位遅延)に加え、近位部から遠位部の順に最大速度が出現し、さらに近位部から遠位部にかけて速度が大きくなること(遠位速度加算)という3つのキネマティクスの特徴を有する。武術太極拳の「弓歩沖拳」についても、身体の末端(右拳)の速度を高めることが重要であることから、競技会で高得点を獲得できる上位群は投げ運動のようなキネマティクスの特徴を有する運動様式で右拳の速度を高めながら「弓歩沖拳」を実施している可能性があると考えられる。

1 - 5 意義・目的

現在、存在する武術太極拳の採点規則や指導書に記載されている内容を読んでも、具体的にどのような特徴を有する動きが競技会で高いB得点を獲得できるか把握するのが困難である。加えて、この問題を解決する為に、競技会で高得点を獲得できる動きを定量化した研究が存在しない。このことによって、どのような特徴を有する動きが競技会で高得点を獲得できるか、武術太極拳の選手や指導者や審判員の間でも客観的に認識されていないという問題が存在する。どのような特徴を有する動きが競技会で高得点を獲得できるか明らかにすることで、指導現場におけるコーチングやトレーニングに貢献でき、武術太極拳の競技パフォーマンスの向上に非常に有用であると考えられる。

そこで本研究の目的は「弓歩冲拳」の体幹・右上肢の「はやき」について、高得点を獲得できる上位群と獲得できない下位群を比較することで、競技会で高得点を獲得できる動きのキネマティクスの違いを明らかにすることであった。

第 2 章 方法

2 - 1 被験者

本研究の被験者は、2014 年の武術太極拳の全国大会(春：全日本武術太極拳競技会またはジュニアオリンピックカップ、夏：全日本武術太極拳選手権大会)に出場した 16 歳以上の男子現役選手 15 名であった。本研究は上位群と下位群の群間比較を行う為、以下のような基準で群分けを行った。武術太極拳の競技会では「10.00」点満点による採点が行われる。全国大会に出場する選手の中でも「9.00」が上位と下位の基準になる場合が多い。そこで本研究は 2014 年の武術太極拳の全国大会で「9.00」点以上を獲得した 7 選手を上位群(年齢： 22.4 ± 2.7 歳、身長： 169.1 ± 1.9 cm、体重： 62.9 ± 2.0 kg)、「9.00」点未満の 8 選手を下位群(年齢： 19.3 ± 3.8 歳、身長： 170.5 ± 1.3 cm、体重： 61.4 ± 1.8 kg)とした。また、春の大会と夏の大会で 8 点代と 9 点代を両方獲得していた選手はいなかった。上位群の 7 選手は全員春・夏の両全国大会で 9 点代であったのに対し、下位群の 8 選手は全員春・夏の両全国大会で 8 点代であった。このことから上位群と下位群の区別は十分にできていたと考えられる。本実験を実施するに当たり、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た。被験者には実験の主旨・内容・方法等を十分に説明し、書面による実験参加の同意を得た。また、被験者が未成年者の場合には、保護者にも実験内容を十分に説明し、書面による実験参加の承諾を得た。

2-2 実験プロトコル

まず、被験者には本人が納得するまで十分なウォーミングアップを行わせた。その後、電磁ゴニオメータの磁気センサを被験者に貼付し、被験者の解剖学的ランドマークをデジタイズした。デジタイズ終了後、磁気センサが貼付してある状態で再度本人が納得するまで練習を行わせた。本番は被験者に「大会での演武と同様に『弓歩沖拳』を全力で実施して下さい」という教示を与え、「弓歩沖拳」を各自の全力で実施させた。被験者が普段の実力を発揮し、自分の「弓歩沖拳」が実施できたと納得できた 1 試技を収集できるまでデータ収集を行った。その 1 試技を各被験者の代表試技とし、分析対象とした。分析対象の 1 試技を収集する為に、各被験者とも 1 回もしくは 2 回「弓歩沖拳」を行った。

2-3 データ収集

本研究は被験者が武術太極拳の「弓歩沖拳」を行っている時の体幹・上肢の 3 次元的な位置と方位を記録する為、電磁ゴニオメータ (LIBERTY, POLHEMUS 社製) を用いて測定を実施した。電磁ゴニオメータはデータをパソコンに取り込む為のコントロールユニット、磁場を発生させる為のトランスミッタ、位置と方位を測定する為の磁気センサ、解剖学的ランドマークをデジタル化する為のスタイラスによって構成されている (図 3)。精度よく測定する為にはトランスミッタが発生させた磁場内で測定を行う必要があることから、磁場が歪まないように金属がない場所で測定した。電磁ゴニオメータの測定精度はトランスミッタと磁気センサの距離が 30 インチ (76cm) の場合、位置計測における誤差の RMS (Root Mean Square) が 0.76mm、角度計測における誤差の RMS が 0.15° と記されている (LIBERTY User manual)。また測定に先立ち、距離と方位が既値である 2 つの磁気センサを固定した木製の棒を用いて、位置の計測誤差・角度の計測誤差を測定した。測定結果より、位置の計測誤差が 1cm 未満、角度の計測誤差が 3° 未満になる範囲の中で試技を実施した。測定中に被験者の試技を阻害しないように電磁ゴニオメータのトランスミッタを被験者の後方約 40cm、高さ約 120cm の位置に地面と平行となるように設置した。また、有線である磁気センサが試技中に被験者の身体に接触し、試技の妨げにならないことを確認した上で、「弓歩沖拳」を実施した。電磁ゴニオメータのサンプリング周波数は 240Hz とした。また、「弓歩沖拳」の局面分けの為に高速度ビデオカメラ (EXILIM, CASIO 社製) を被験者の正面、電磁ゴニオメータのトランスミッタから垂直方向に 10m 離れたところに設置し、各試技を撮影した。サン

プリング周波数は 300Hz とした。被験者の動作面と高速度ビデオカメラの撮影面が平行になるように高速度ビデオカメラを設置した。電磁ゴニオメータと高速度ビデオカメラはランプを点滅させることで同期させた(図 4)。

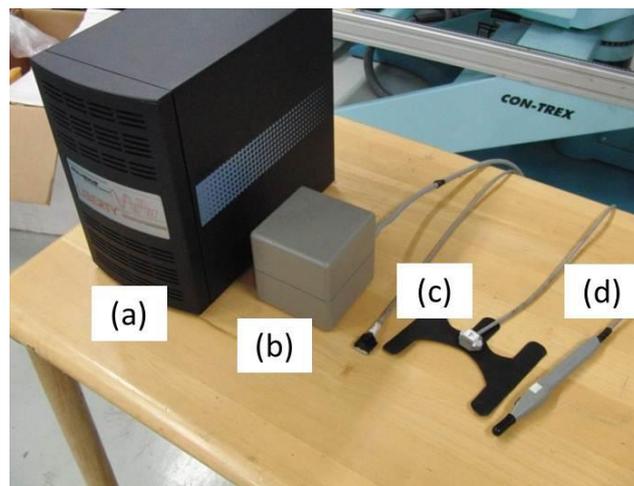


図 3：電磁ゴニオメータ

(a)コントロールユニット (b)トランスミッタ (c)磁気センサ
(d)スタイラス

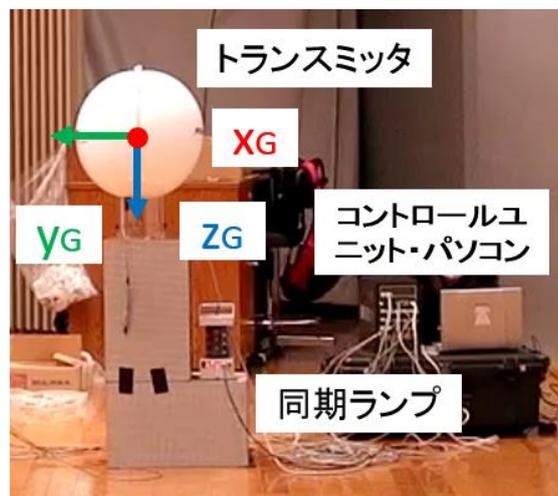


図 4：実験設定

本研究では、身体を骨盤、胸郭、右上腕骨、右前腕(橈骨・尺骨)からなる4セグメントモデルとして定義した。各セグメントの運動を計測するために、磁気センサを各被験者の骨盤の仙骨平坦部、胸郭の胸骨柄、右肩甲骨の肩峰平坦部、右上腕骨の遠位平坦部、右前腕骨の遠位平坦部の皮膚上に貼付した(図5)。骨盤の仙骨平坦部への貼付は磁気センサが固定された三角形のプラスチック製の固定具を骨盤の仙骨平坦部に装着することにより行い、右上腕骨の遠位平坦部への貼付は磁気センサが固定されたプラスチック製のカフを右上腕骨の遠位平坦部に装着することにより行った。また、測定精度を高める為に、皮膚の動揺による磁気センサの位置の変化を最小限に抑えられるように、各磁気センサの貼付は人体用の両面テープにて行い、さらにテーピングテープ(ニトリート, OMNIDYNAMIC, 日東メディカル社製)を用いて固定した。磁気センサが貼付された各セグメントの解剖学的座標系を定義する為に、骨盤では、右上前腸骨棘(RA)、左上前腸骨棘(LA)、恥骨結合(SP)の3点、胸郭では、胸骨柄(MS)、剣状突起(XP)、第7頸椎棘突起(C7)、第8胸椎棘突起(T8)の4点、左右肩甲骨においては、肩峰外側縁(AC)、肩甲棘内側縁(SP)、肩甲骨下角(IA)の各3点、左右上腕骨では、上腕骨内側上顆(ME)、上腕骨外側上顆(LE)の各2点、左右前腕では、肘頭(OL)、尺骨茎状突起(US)、橈骨茎状突起(RS)の各3点、合計23ヶ所の解剖学的ランドマークを触診することで同定し、スタイラスを用いてデジタイズすることによって、各セグメントに固定された磁気センサに対する3次元座標値として記録した。また左右肩甲上腕関節中心(GH)は、上肢下垂位から肩甲上腕関節を中心として、上肢が小さい弧を描くような運動を行っている際の瞬時螺旋軸を60Hzで繰り返し算出し、それらのPivot pointとして推定した(図6)。



骨盤のセンサ貼付位置



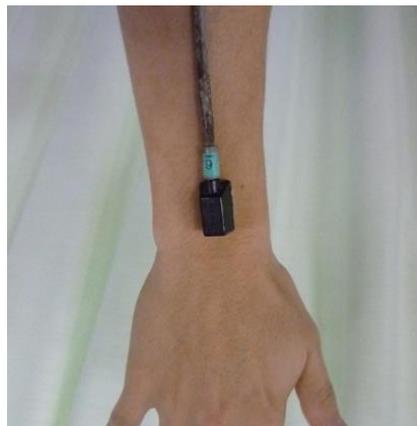
肩甲骨のセンサ貼付位置



胸郭のセンサ貼付位置

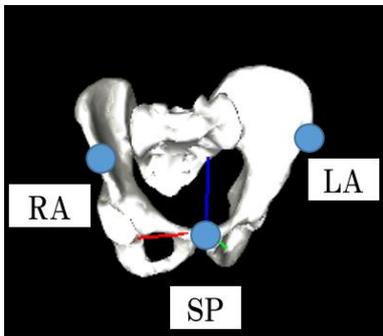


上腕骨のセンサ貼付位置

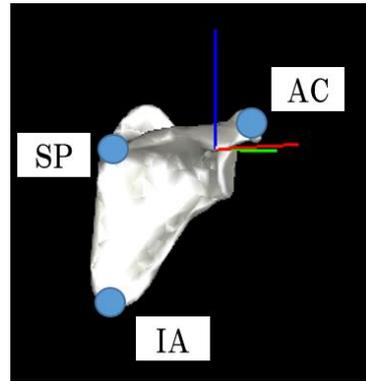


前腕骨のセンサ貼付位置

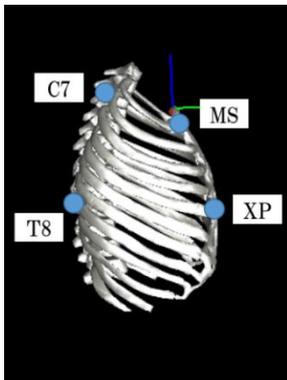
図5：各身体部位の磁気センサの貼付位置



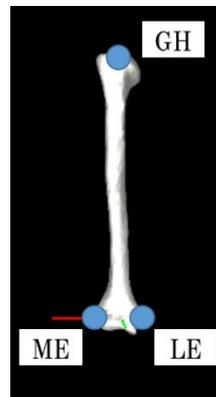
骨盤のデジタルポイント



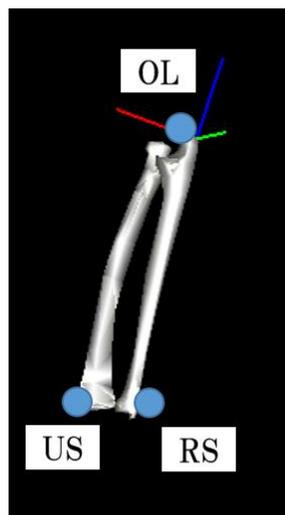
肩甲骨のデジタルポイント



胸郭のデジタルポイント



上腕骨のデジタルポイント



前腕骨のデジタルポイント

図6：各身体部位のデジタルポイント

2-4 データ処理

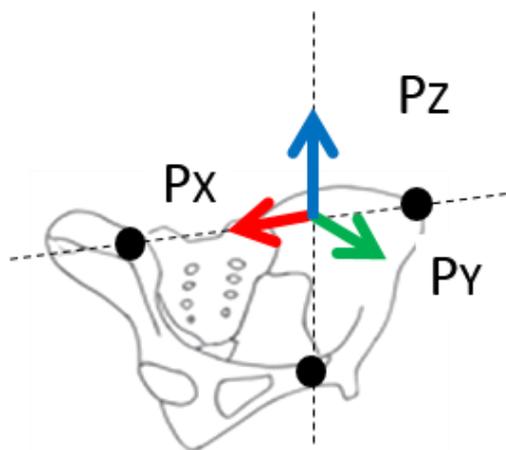
静止座標系(RG)はトランスミッタにより定義されており、高速度ビデオカメラに向かって垂直なベクトルを x_G 、鉛直軸下方向のベクトルを z_G 、 z_G と x_G のなす平面に垂直なベクトルを y_G とした(図4)。デジタル化によって計測された解剖学的ランドマークの座標値から各セグメントに固定された解剖学的座標系を定義した(図7)。

骨盤座標系は、SP からRA とLA の中点へ向かうベクトルを P_z とし、 P_z とLA からRA に向かうベクトルの外積により得られるベクトルを P_y とし、 P_y と P_z の外積により得られるベクトルを P_x と定義した。

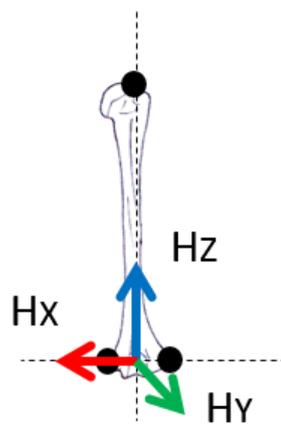
胸郭座標系は、XP とT8 の中点からMS とC7 の中点へと向かうベクトルを T_z とし、T8 からXP へ向かうベクトルと T_z との外積により得られるベクトルを T_x 、 T_z と T_x の外積によって得られるベクトルを T_y と定義した。

右上腕座標系は、RME とRLE の中点からRGH へ向かうベクトルを RH_z とし、RME からRLE へ向かうベクトルと RH_z の外積によって得られるベクトルを RH_y 、 RH_z と RH_y の外積によって得られるベクトルを RH_x と定義した。

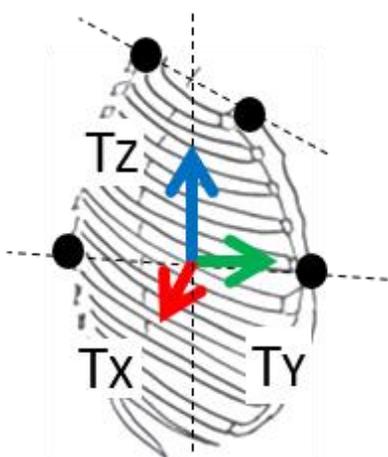
右前腕座標系は、RUS からROL へ向かうベクトルを RF_z 、RUS からRRS へ向かうベクトルと RF_z との外積によって得られるベクトルを RF_y とし、 RF_z と RF_y の外積によって得られるベクトルを RF_x と定義した。



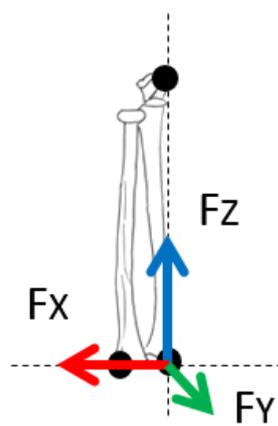
骨盤座標系



上腕骨座標系



胸郭座標系



前腕骨座標系

図7：各身体部位の解剖学的座標系

関節角度

セグメント間の相対的な方位は、解剖学的な関節運動に沿うように定義されたオイラー角・カーダン角によって算出した。

骨盤角度は、静止座標系から骨盤座標系への変換を定められた順序で連続して行うカーダン角として定義した。回転の順序は、はじめに静止座標系と一致する移動座標系 $R_{p0}(X_{p0}, Y_{p0}, Z_{p0})$ を Z_{p0} 軸周りに θ_p 回転させ、次に1回目の回転で得られた座標系 $R_{p1}(X_{p1}, Y_{p1}, Z_{p1})$ を X_{p1} 軸周りに φ_p 回転させ、最後に2回目の回転で得られた $R_{p2}(X_{p2}, Y_{p2}, Z_{p2})$ を Y_{p2} 軸周りに ψ_p 回転させ、 $R_{p3}(X_{p3}, Y_{p3}, Z_{p3})$ を算出した。 θ_p , φ_p , ψ_p をそれぞれ骨盤回旋角度、骨盤前後屈角度、骨盤左右側屈角度とした。1回目の回転で得られた座標系 R_{p1} の回転行列を $A(R_{p1}/R_{p0})$ 、2回目の回転で得られた座標系 R_{p2} の回転行列を $A(R_{p2}/R_{p1})$ 、3回目の回転で得られた座標系 R_{p3} の回転行列を $A(R_{p3}/R_{p2})$ とした。以下の行列を用いて、座標系 R_{p0} に対する R_{p3} の回転行列 $A(R_{p3}/R_{p0})$ を求めた。

$$A(R_{p1}/R_{p0}) = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & -\sin \theta_p & 0 \\ \sin \theta_p & \cos \theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(R_{p2}/R_{p1}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_p & -\sin \varphi_p \\ 0 & \sin \varphi_p & \cos \varphi_p \end{bmatrix}$$

$$A(R_{p3}/R_{p2}) = \begin{bmatrix} \cos \psi_p & 0 & \sin \psi_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \psi_p & 0 & \cos \psi_p \end{bmatrix}$$

$$A(Rp3/Rp0) = A(Rp1/Rp0) \cdot A(Rp2/Rp1) \cdot A(Rp3/Rp2)$$

$$A(Rp3/Rp0)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_p \cos \psi_p - \sin \theta_p \sin \varphi_p \sin \psi_p & -\sin \theta_p \cos \varphi_p & \cos \theta_p \sin \psi_p + \sin \theta_p \sin \varphi_p \cos \psi_p \\ \sin \theta_p \cos \psi_p + \cos \theta_p \sin \varphi_p \sin \psi_p & \cos \theta_p \cos \varphi_p & \sin \theta_p \sin \psi_p - \cos \theta_p \sin \varphi_p \cos \psi_p \\ -\cos \varphi_p \sin \psi_p & \sin \varphi_p & \cos \varphi_p \cos \psi_p \end{bmatrix}$$

…(式 1-1)

また、静止座標系に対する骨盤座標系の方位と R_{p0} に対する R_{p3} の方位が一致することから、基準座標系に対する骨盤座標系の方位は次のようにも表せる。

$$A(Rp3/Rp0) = A(Rp/RG)$$

$$A(Rp3/Rp0) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

…(式 1-2)

式 1-1 と式 1-2 から θ_p 、 φ_p 、 ψ_p を算出した。

$$\theta_p = -\tan^{-1}(a_{31}/a_{33})$$

$$\varphi_p = \sin^{-1}(a_{32})$$

$$\psi_p = -\tan^{-1}(a_{12}/a_{22})$$

胸郭角度は、骨盤座標系から胸郭座標系への変換を定められた順序で連続して行うカーダン角として定義した。回転の順序は、はじめに骨盤座標系と一致する移動座標系 $Rt0(xt0, yt0, zt0)$ を $Xt0$ 軸周りに θ_t 回転させ、次に 1 回目の回転で得られた座標系 $Rt1(xt1, yt1, zt1)$ を $Yt1$ 軸周りに φ_t 回転させ、最後に 2 回目の回転で得られた $Rt2(xt2, yt2, zt2)$ を $Zt2$ 軸周りに ψ_t 回転させ、 $Rt3(xt3, yt3, zt3)$ を算出した。 θ_t , φ_t , ψ_t をそれぞれ胸郭前後屈角度、胸郭左右側屈角度、胸郭回旋角度とした。1 回目の回転で得られた座標系 $Rt1$ の回転行列を $A(Rt1/Rt0)$ 、2 回目の回転で得られた座標系 $Rt2$ の回転行列を $A(Rt2/Rt1)$ 、3 回目の回転で得られた座標系 $Rt3$ の回転行列を $A(Rt3/Rt2)$ とした。以下の行列を用いて、座標系 $Rt0$ に対する $Rt3$ の回転行列 $A(Rt3/Rt0)$ を求めた。

$$A(Rt1/Rt0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_t & -\sin \theta_t \\ 0 & \sin \theta_t & \cos \theta_t \end{bmatrix}$$

$$A(Rt2/Rt1) = \begin{bmatrix} \cos \varphi_t & 0 & \sin \varphi_t \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi_t & 0 & \cos \varphi_t \end{bmatrix}$$

$$A(Rt3/Rt2) = \begin{bmatrix} \cos \psi_t & -\sin \psi_t & 0 \\ \sin \psi_t & \cos \psi_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(Rt3/Rt0) = A(Rt1/Rt0) \cdot A(Rt2/Rt1) \cdot A(Rt3/Rt2)$$

$A(Rt3/Rt0)$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varphi_t \cos \psi_t & -\cos \varphi_t \sin \psi_t & \sin \varphi_t \\ \sin \theta_t \sin \varphi_t \cos \psi_t + \cos \theta_t \sin \psi_t & -\sin \theta_t \sin \varphi_t \sin \psi_t + \cos \theta_t \cos \psi_t & -\sin \theta_t \cos \varphi_t \\ -\sin \theta_t \cos \varphi_t \cos \psi_t + \sin \theta_t \sin \psi_t & \sin \theta_t \cos \varphi_t \sin \psi_t + \sin \theta_t \cos \psi_t & \cos \theta_t \cos \varphi_t \end{bmatrix}$$

…(式 2-1)

また、骨盤座標系に対する胸郭座標系の方位と $Rt0$ に対する $Rt3$ の方位が一致することから、骨盤座標系に対する胸郭座標系の方位は次のようにも表せる。

$$A(Rp3/Rp0) = A(Rt/Rp) = A(Rp/RG)^{-1} \cdot A(Rt/RG) = A(Rp/RG)^T \cdot A(Rt/RG)$$

$$A(Rt3/Rt0) = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

…(式 2-2)

式 2-1 と式 2-2 から θ_t 、 φ_t 、 ψ_t を算出した。

$$\theta_t = \tan^{-1}(b_{23}/b_{33})$$

$$\varphi_t = \sin^{-1}(b_{13})$$

$$\psi_t = -\tan^{-1}(b_{12}/b_{11})$$

右上腕角度は、胸郭座標系から右上腕座標系への変換を定められた順序で連続して行うオイラー角として定義した。回転の順序は、はじめに胸郭座標系と一致する移動座標系 $Rh0(xh0,yh0,zh0)$ を $zh0$ 軸周りに θ_h 回転させ、次に 1 回目の回転で得られた座標系 $Rh1(xh1,yh1,zh1)$ を $yh1$ 軸周りに ϕ_h 回転させ、最後に 2 回目の回転で得られた $Rh2(xh2,yh2,zh2)$ を $zh2$ 軸周りに ψ_h 回転させ、 $Rh3(xh3,yh3,zh3)$ を算出した。 θ_h , ϕ_h , ψ_h をそれぞれ肩関節水平内外転角度、肩関節内外転角度、肩関節内外旋角度とした。1 回目の回転で得られた座標系 $Rh1$ の回転行列を $A(Rh1/Rh0)$ 、2 回目の回転で得られた座標系 $Rh2$ の回転行列を $A(Rh2/Rh1)$ 、3 回目の回転で得られた座標系 $Rh3$ の回転行列を $A(Rh3/Rh2)$ とした。以下の行列を用いて、座標系 $Rh0$ に対する $Rh3$ の回転行列 $A(Rh3/Rh0)$ を求めた。

$$A(Rh1/Rh0) = \begin{bmatrix} \cos \theta_h & -\sin \theta_h & 0 \\ \sin \theta_h & \cos \theta_h & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(Rh2/Rh1) = \begin{bmatrix} \cos \phi_h & 0 & \sin \phi_h \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_h & 0 & \cos \phi_h \end{bmatrix}$$

$$A(Rh3/Rh2) = \begin{bmatrix} \cos \psi_h & -\sin \psi_h & 0 \\ \sin \psi_h & \cos \psi_h & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(Rh3/Rh0) = A(Rh1/Rh0) \cdot A(Rh2/Rh1) \cdot A(Rh3/Rh2)$$

$A(Rh3/Rh0)$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_h \cos \varphi_h \cos \psi_h - \sin \theta_h \sin \psi_h & -\cos \theta_h \cos \varphi_h \sin \psi_h + \sin \theta_h \cos \psi_h & \cos \theta_h \sin \varphi_h \\ \sin \theta_h \cos \varphi_h \cos \psi_h + \cos \theta_h \sin \psi_h & -\sin \theta_h \cos \varphi_h \sin \psi_h + \cos \theta_h \cos \psi_h & \sin \theta_h \sin \varphi_h \\ -\sin \varphi_h \cos \psi_h & \sin \varphi_h \sin \psi_h & \cos \varphi_h \end{bmatrix}$$

…(式 3-1)

また、胸郭座標系に対する右上腕座標系の方位と $Rh0$ に対する $Rh3$ の方位が一致することから、胸郭座標系に対する右上腕座標系の方位は次のようにも表せる。

$$A(Rh3/Rh0) = A(Rh/Rt) = A(Rt/RG)^{-1} \cdot A(Rh/RG) = A(Rt/RG)^T \cdot A(Rh/RG)$$

$$A(Rh3/Rh0) = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

…(式 3-2)

式 3-1 と式 3-2 から θ_h 、 φ_h 、 ψ_h を算出した。

$$\theta_h = \tan^{-1}(c_{23}/c_{13})$$

$$\varphi_h = \tan^{-1}(\sqrt{c_{13}^2 + c_{23}^2}/c_{33})$$

$$\psi_h = -\tan^{-1}(b_{32}/b_{31})$$

右前腕角度は、右上腕座標系から右前腕座標系への変換を定められた順序で連続して行うカーダン角として定義した。回転の順序は、はじめに右上腕座標系と一致する移動座標系 $Rf0(xf0,yf0,zf0)$ を $yf0$ 軸周りに θ_f 回転させ、次に 1 回目の回転で得られた座標系 $Rf1(xf1,yf1,zf1)$ を $xf1$ 軸周りに φ_f 回転させ、最後に 2 回目の回転で得られた $Rf2(xf2,yf2,zf2)$ を $zf2$ 軸周りに ψ_f 回転させ、 $Rf3(xf3,yf3,zf3)$ を算出した。 φ_f を肘関節屈曲伸展角度、 ψ_f を前腕回内回外角度とした。1 回目の回転で得られた座標系 $Rf1$ の回転行列を $A(Rf1/Rf0)$ 、2 回目の回転で得られた座標系 $Rf2$ の回転行列を $A(Rf2/Rf1)$ 、3 回目の回転で得られた座標系 $Rf3$ の回転行列を $A(Rf3/Rf2)$ とした。以下の行列を用いて、座標系 $Rf0$ に対する $Rf3$ の回転行列 $A(Rf3/Rf0)$ を求めた。

$$A(Rf1/Rf0) = \begin{bmatrix} \cos \theta_f & 0 & \sin \theta_f \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_f & 0 & \cos \theta_f \end{bmatrix}$$

$$A(Rf2/Rf1) = \begin{bmatrix} \cos \varphi_f & -\sin \varphi_f & 0 \\ \sin \varphi_f & \cos \varphi_f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(Rf3/Rf2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_f & -\sin \psi_f \\ 0 & \sin \psi_f & \cos \psi_f \end{bmatrix}$$

$$A(Rf3/Rf0) = A(Rf1/Rf0) \cdot A(Rf2/Rf1) \cdot A(Rf3/Rf2)$$

$A(Rf3/Rf0)$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_f \cos \psi_f + \sin \theta_f \sin \varphi_f \sin \psi_f & -\cos \theta_f \sin \psi_f + \sin \theta_f \sin \varphi_f \cos \psi_f & \sin \theta_f \cos \varphi_f \\ \cos \varphi_f \sin \psi_f & \cos \varphi_f \cos \psi_f & -\sin \theta_f \\ -\sin \theta_f \cos \psi_f + \cos \theta_f \sin \varphi_f \sin \psi_f & \sin \theta_f \sin \psi_f + \cos \theta_f \sin \varphi_f \cos \psi_f & \cos \theta_f \cos \varphi_f \end{bmatrix}$$

…(式 4-1)

また、右上腕座標系に対する右前腕座標系の方位と $Rf0$ に対する $Rf3$ の方位が一致することから、右上腕座標系に対する右前腕座標系の方位は次のようにも表せる。

$$A(Rf3/Rf0) = A(Rf/Rh) = A(Rh/RG)^{-1} \cdot A(Rf/RG) = A(Rh/RG)^T \cdot A(Rf/RG)$$

$$A(Rf3/Rf0) = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix}$$

…(式 4-2)

式 4-1 と式 4-2 から θ_f 、 φ_f 、 ψ_f を算出した。

$$\theta_f = \tan^{-1}(d_{13}/d_{33})$$

$$\varphi_f = \tan^{-1}(-d_{23}/\sqrt{d_{13}^2 + d_{33}^2})$$

$$\psi_f = \tan^{-1}(d_{21}/d_{22})$$

セグメント角速度

静止座標系に対する各セグメント座標系の方位変化から各セグメントの角速度ベクトルを算出し、それぞれのセグメント座標系について表した。セグメントMのnフレーム目の角速度を算出するために、n-1フレーム目の座標系(R_{n-1})に対するn+1フレーム目の座標系(R_{n+1})の方位A(R_{n+1}/R_{n-1})を算出した。

$$A_{(R^{M_{n+1}}/R^{M_{n-1}})} = A^T(R^{M_{n-1}}/R_G) \cdot A(R^{M_{n+1}}/R_G)$$

$$A_{(R^{M_{n+1}}/R^{M_{n-1}})} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{bmatrix}$$

…(式5-1)

式5-1からR^{M_{n-1}}に対するR^{M_{n-1}}からR^{M_{n+1}}へ回転した時の回転軸u'の各成分と回転角度βを算出した。

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{e_{11} + e_{22} + e_{33} - 1}{2} \right)$$

$$u'_x = \frac{e_{32} - e_{23}}{2 \sin \beta}$$

$$u'_y = \frac{e_{13} - e_{31}}{2 \sin \beta}$$

$$u'_z = \frac{e_{21} - e_{12}}{2 \sin \beta}$$

得られた回転角度からセグメントMの角速度を算出し、角速度ベクトル($\underline{\omega}^{M'}$)を算出した。

$$\beta^M = \frac{\beta}{1/120}$$

$$\underline{\omega}^{M'} = \beta^M \cdot \begin{bmatrix} u'_x \\ u'_y \\ u'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta^M u'_x \\ \beta^M u'_y \\ \beta^M u'_z \end{bmatrix}$$

算出された角速度ベクトルを静止座標系に投影し、静止座標系におけるセグメントMの角速度ベクトル($\underline{\omega}^M$)の各軸成分(ω_x^M , ω_y^M , ω_z^M)と角速度ベクトルの大きさを算出した。

$$\underline{\omega}^M = A(R_n/R_G) \cdot \underline{\omega}^{M'}$$

$$\omega^M = \sqrt{\omega_x^{M^2} + \omega_y^{M^2} + \omega_z^{M^2}}$$

$\underline{\omega}^M$ をセグメント M の n フレーム目の座標系へ投影し、セグメント座標系における角速度ベクトルの各軸成分を合計した大きさをセグメント M のセグメント角速度(S^M_{xyz})として算出した。

$$R_n = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix}$$

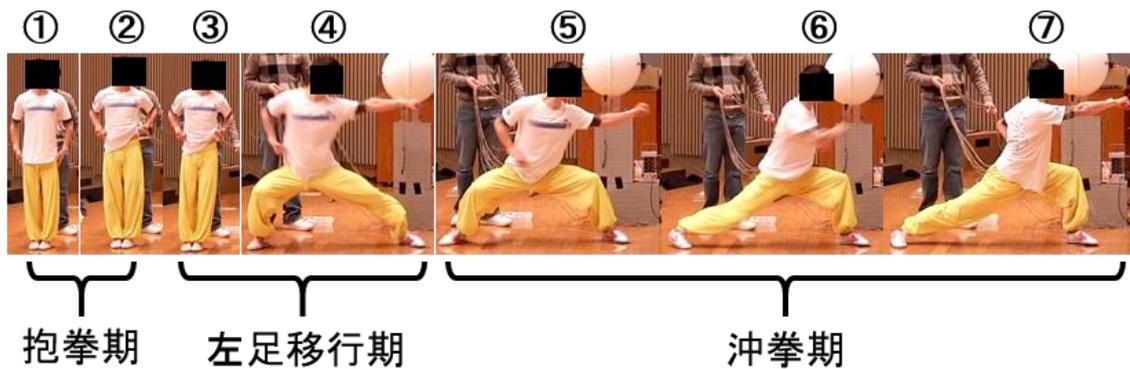
$$S^M_{xyz} = \underline{\omega}^M \cdot \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix}$$

2-5 データ分析

本研究では、「リズムや緩急が伴ったはやさ」を明らかにする為に「弓歩沖拳」を「抱拳期」「左足移行期」「沖拳期」の3局面に局面分けした。全ての被験者において「抱拳」を開始した瞬間を「弓歩沖拳」の動作開始とした。「抱拳」の開始(動作開始)は右前腕のセグメント角速度が、静止立位におけるセグメント角速度の平均値に標準偏差の3倍の値を足した基準を超えた瞬間と定義した。「抱拳」が終了した瞬間は右肘関節が最大屈曲した瞬間と定義した。「抱拳」開始から「抱拳」終了までを「抱拳期」とした。高速度ビデオカメラの映像から「抱拳」終了後に左足の足裏全体が離地して進行方向へ移行し始めた瞬間(左足離地)から左足の足裏全体が接地する瞬間(左足接地)までの時間を「左足移行期」とした。「沖拳」の開始は骨盤・胸郭・右上腕・右前腕のいずれかが、最初に「沖拳」の運動を行う為に、静止立位におけるセグメント角速度の平均値に標準偏差の3倍の値を足した基準を超えた瞬間と定義した。「沖拳」の終了は骨盤・胸郭・右上腕・右前腕のいずれかが、最後に「沖拳」の運動における角変位が最大に達した瞬間を「沖拳」の終了(動作終了)とした。「沖拳」の開始から「沖拳」の終了までを「沖拳期」とした。全ての被験者において「沖拳」の終了を「弓歩沖拳」の動作終了とした。(図8)

動作全体の見た目の様子を調べる為に「弓歩沖拳」の①抱拳開始(動作開始)②抱拳終了③左足離地④左足接地⑤沖拳開始⑥沖拳終了(動作終了)の6つの動作時点が出現する時刻を算出した。加えて、動作の各局面の所要時間を算出する為に「抱拳期」「左足移行期」「沖拳期」の所要時間を算出した。また、動作全体だけでなく、「弓歩沖拳」の主要局面であり、「弓歩沖拳」の出来栄えにも大きく影響する「沖拳」

について、「沖拳」を行う際の各セグメントの運動の速度は各セグメント角速度の最大値として算出した。また、「沖拳」はパンチ動作である為、拳の並進速度も重要であると考えられる。そこで、右前腕の遠位骨端の並進速度(静止座標系に対する橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の midpoint の並進速度)の最大値を算出した。加えて、各セグメントがどのように連動して「沖拳」を実施しているか検証する為に、各セグメントが「沖拳」の運動を開始した時刻を算出した。



- ① 抱拳開始(動作開始) ② 抱拳終了 ③ 左足離地 ④ 左足接地 ⑤ 沖拳開始
- ⑥ 各セグメント角速度・拳の並進速度の最大値 ⑦ 沖拳終了(動作終了)

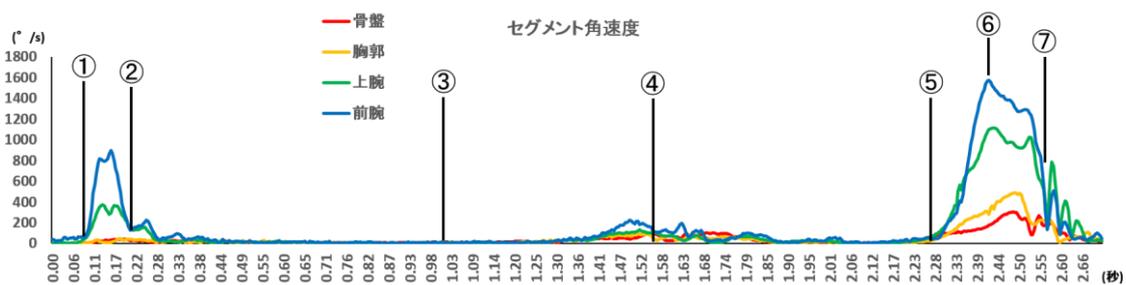


図 8：弓歩沖拳の局面分け

2 - 6 統計処理

拳の並進速度の最大値は対応のない t 検定を用いて群間比較を行った。また、①「沖拳」時の各セグメントにおけるセグメント角速度の最大値(2×4: グループ(上位群・下位群)×セグメント(骨盤・胸郭・右上腕・右前腕))と②動作の各時点の出現時刻(2×6: グループ(上位群・下位群)×時点(抱拳開始・抱拳終了・左足離地・左足接地・沖拳開始・沖拳終了))と③各局面の所要時間(2×3: グループ(上位群・下位群)×局面(抱拳期・左足移行期・沖拳期))と④各セグメントが「沖拳」の運動を開始した時刻(2×4: グループ(上位群・下位群)×セグメント(骨盤・胸郭・右上腕・右前腕))について、2元配置の分散分析を行った。交互作用が認められた場合には事後検定として Bonferroni 法による単純主効果検定、交互作用が認められなかった場合には事後検定として Bonferroni 法による多重比較検定を行った。有意水準は全て 5%未満とした。統計量の算出は SPSS(12.0 J for Windows)を用いて行った。

第3章 結果・考察

3-1 拳の並進速度

「弓歩沖拳」の「沖拳」における拳の並進速度の最大値を対応のない t 検定を用いて、上位群と下位群を群間比較した結果、上位群と下位群の間に有意差はなかった ($p>0.05$)。上位群の拳の並進速度は $6.4\pm 0.5\text{m/s}$ 、下位群の拳の並進速度は $6.1\pm 0.4\text{m/s}$ であった。(図 9)

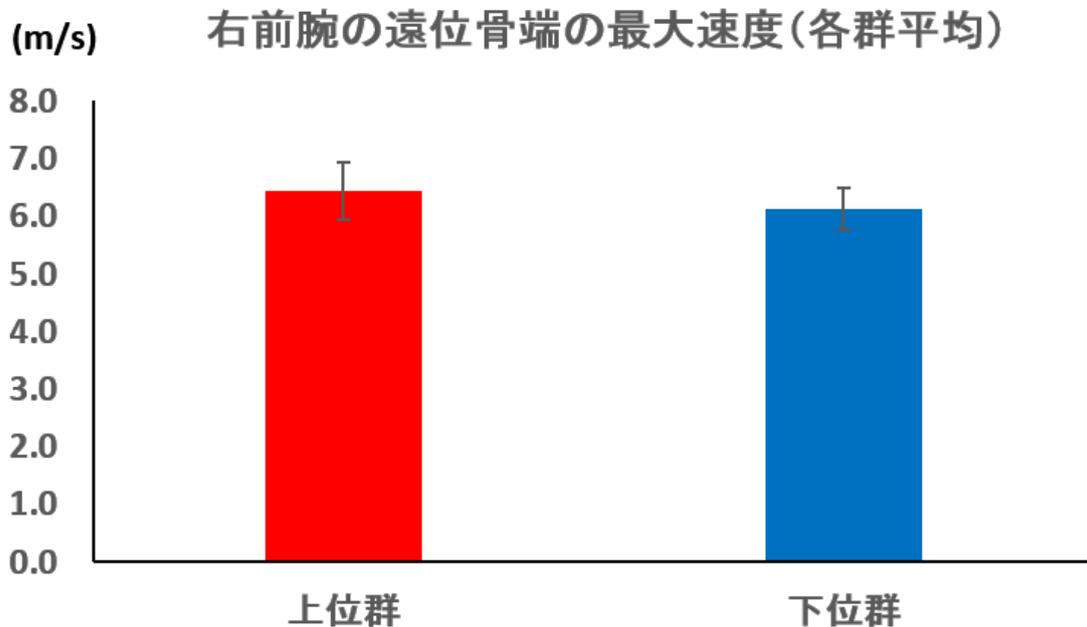


図 9：拳の並進速度

この結果は、「沖拳」を実施する際に、上位群と下位群が同程度の速度で拳を並進させていたことを示している。指導書にも記載されていたように、「弓歩沖拳」はパンチ動作であること、武術太極拳は「はやさ」が重要である(中国武術教程, 2004, ①)ことから、拳の並進速度が重要である(中国武術教程, 2004, ③)と考えられる。しかし、全国大会の上位の選手間では拳の並進速度の最大値に群間差はなく、競技会

における上位群と下位群の点数差は拳の並進速度の最大値の差に起因していないことが示された。つまり、拳の並進速度の大きさは高得点を獲得する為に必要とされる「はやさ」ではないことが考えられる。

3-2 「沖拳」における各セグメント角速度の最大値

「沖拳」を行った際のセグメント角速度の最大値についての2元配置の分散分析の結果、セグメントの主効果が認められ($p < 0.01$)、グループの主効果は認められなかった($p > 0.05$)。また、有意な交互作用は認められなかった($p > 0.05$)。事後検定の結果として、隣接する全セグメント間で遠位のセグメントの方が近位のセグメントよりもセグメント角速度の最大値が大きかった(骨盤-胸郭： $p < 0.01$ 、胸郭-上腕： $p < 0.01$ 、上腕-前腕： $p < 0.01$)。「沖拳」を実施した際の上位群の各セグメント角速度の最大値は骨盤が $313 \pm 22^\circ/\text{s}$ 、胸郭が $597 \pm 219^\circ/\text{s}$ 、右上腕が $1280 \pm 218^\circ/\text{s}$ 、右前腕が $2000 \pm 636^\circ/\text{s}$ であった。また、下位群の各セグメント角速度の最大値は骨盤が $249 \pm 60^\circ/\text{s}$ 、胸郭が $489 \pm 103^\circ/\text{s}$ 、右上腕が $1174 \pm 103^\circ/\text{s}$ 、右前腕が $2181 \pm 746^\circ/\text{s}$ であった。(図 10)

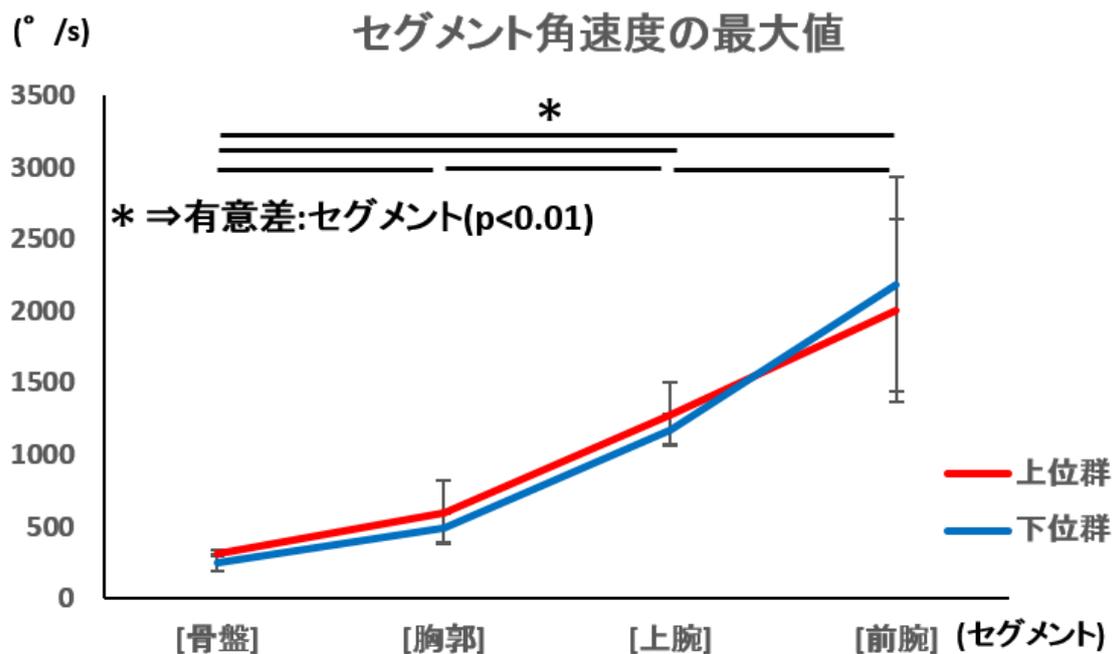


図 10：セグメント角速度の最大値

この結果は上位群と下位群の「沖拳」における各セグメントのセグメント角速度の最大値は同程度だったこと、さらに、上位群も下位群も身体の近位から遠位にかけてセグメント角速度の最大値が上昇していたことを示している。身体の近位から遠位にかけて速度が大きくなるようなキネマティクス的特徴のことを遠位速度加算という。上位群と下位群は「沖拳」を実施する際に、各セグメントが同程度の速度で運動していたこと、また上位群と下位群の両群とも遠位速度加算が生じていたことから、これらの結果は両群の「沖拳」そのものに関する技術は同レベル程度の技術を有していたということを示唆している。今回の被験者は下位群の選手でも全国大会に出場できるような高い競技力を有する選手たちであったことから、両群ともに高いレベルの「沖拳」に関する技術を有していたことが考えられる。また、競技会において高い競技力を有する選手間の得点差は「沖拳」を実施する際の各身体部位における動きの速度の大きさでは決定されないことも示唆された。これらのことから高い競技力を有する選手間でも得点差に繋がる B 得点を決定する「リズムや緩急が伴ったはやさ」とは動作の速度の大きさ自体ではないことが示された。

3 - 3 動作の各時点の出現時刻

「弓歩沖拳」における動作の各時点の出現時刻についての 2 元配置の分散分析の結果、グループ ($p < 0.01$)・時点 ($p < 0.01$)ともに有意な主効果が認められた。また、有意な交互作用も認められた ($p < 0.01$)。事後検定の結果として、左足離地 ($p < 0.01$)・左足接地 ($p < 0.01$)・沖拳開始 ($p < 0.01$)・沖拳終了(動作終了) ($p < 0.01$)の出現時刻について上位群の方が遅いという群間差が見られた。上位群の各時点の出現時刻は「抱拳」開始(動作開始)を 0.00 ± 0.20 秒として「抱拳」終了は 0.15 ± 0.24 秒後、左足離地は 0.94 ± 0.16 秒後、左足接地は 1.40 ± 0.14 秒後、「沖拳」開始は 1.93 ± 0.27 秒後、「沖拳」終了(動作終了)は 2.38 ± 0.23 秒後に出現した。下位群の各時点の出現時刻は「抱拳」開始(動作開始)を 0.00 ± 0.03 秒として「抱拳」終了は 0.13 ± 0.04 秒後、左足離地は 0.64 ± 0.16 秒後、左足接地は 1.21 ± 0.20 秒後、「沖拳」開始は 0.79 ± 0.25 秒後、「沖拳」終了(動作終了)は 1.63 ± 0.34 秒後に出現した。(図 11)

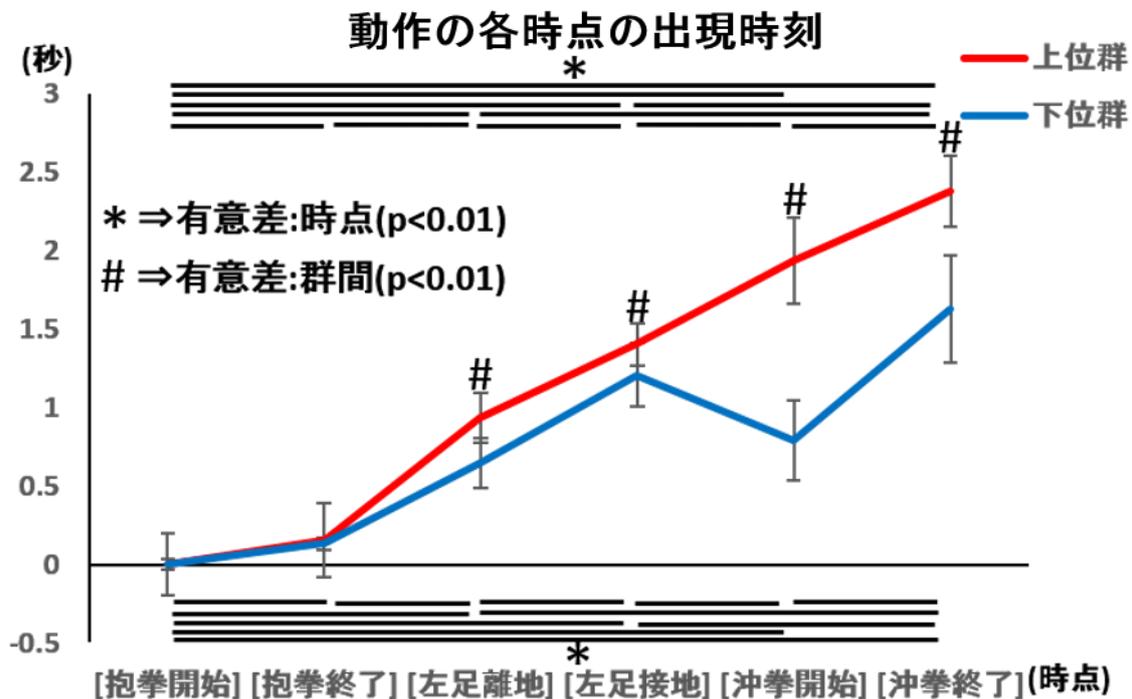


図 11 : 「弓歩冲拳」の各時点の出現時刻

この結果は左足離地以降の各時点の出現時刻は上位群の方が下位群よりも遅かったこと、上位群の方が下位群よりも動作全体の所要時間は約 0.75 秒長かったこと、また、上位群が左足接地の約 0.53 秒後に「冲拳」を開始していたのに対し、下位群は左足接地の約 0.42 秒前に「冲拳」を開始していたことが上位群と下位群の大きな違いとして示された。「弓歩冲拳」について、競技会での得点が高い上位群の方が下位群よりも動作全体の所要時間が長かったことから、動作全体の所要時間の短さは競技会で高得点を獲得する為に重要とされる「はやさ」の指標ではないことが示された。また、上位群と下位群はともに「弓歩冲拳」を実施する際に「抱拳期」と「左足移行期」の間に一時的な静止局面が存在する。武道の世界では「残心」と呼ばれる概念がある。「残心」とは「動作が終了した後も心身ともに油断せず注意

を払っている状態、美しい所作を継続させること」と説明される。武術太極拳の競技会では、高得点を獲得する為に必要な「リズムや緩急が伴ったはやさ」を強調する「表現力」として「しっかり動作を止める・決める」ことで「動作のメリハリをつける」ことが重要であると言われ、演技レベルを評価する B 得点に大きく影響する(中国武術教程,2004,①)。その為、武術太極拳では「表現力」を高める為に、動作が完了した後に身体の動きを意図的に一定期間止める場合が多い。武術太極拳の「表現力」を高める為に、上位群と下位群はともに「抱拳期」と「左足移行期」の間に一時的な静止局面を作っていたと考えられる。本研究では動作局面の間にみられる一時的な静止局面を「間」と呼ぶこととする。上位群の「抱拳期」と「左足移行期」の間にある「間」は 0.79 ± 0.2 秒であった。上位群は下位群よりも「抱拳期」と「左足移行期」の間にある「間」が約 0.28 秒長く、さらに左足接地後に 0.53 ± 0.21 秒の「間」を作ってから「沖拳」を開始していた。それに対し、下位群の「抱拳期」と「左足移行期」の間にある「間」は 0.51 ± 0.1 秒であった。下位群は上位群よりも「抱拳期」と「左足移行期」の間の「間」が約 0.28 秒短いことに加えて、左足接地の 0.42 ± 0.21 秒前に「沖拳」を開始していた。このことから、上位群は動作の各局面間に「間」を作って、各局面を明確に分けていたのに対し、下位群は左足がまだ接地していない時に「沖拳」を開始することで「左足移行期」と「沖拳期」が重なり、「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」が存在しないことが明らかになった。上位群の動作全体の所要時間が長かったことは動作の各局面を明確に分ける為に「間」を長くしていたことに加えて、下位群が作っていなかった「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」を作っていたことが原因であると示された。

3-4 動作の各局面の所要時間

「弓歩沖拳」における各局面の所要時間についての2元配置の分散分析の結果、グループ($p<0.01$)・局面($p<0.01$)ともに有意な主効果が認められた。また、有意な交互作用も認められた($p<0.01$)。事後検定の結果として、「沖拳期」のみ上位群の方が短いという群間差が見られた($p<0.01$)。上位群の各局面の所要時間は「抱拳期」が 0.15 ± 0.07 秒、「左足移行期」が 0.46 ± 0.15 秒、「沖拳期」が 0.45 ± 0.25 秒であった。下位群の各局面の所要時間は「抱拳期」が 0.13 ± 0.04 秒、「左足移行期」が 0.56 ± 0.18 秒、「沖拳期」が 0.84 ± 0.30 秒であった。(図12)

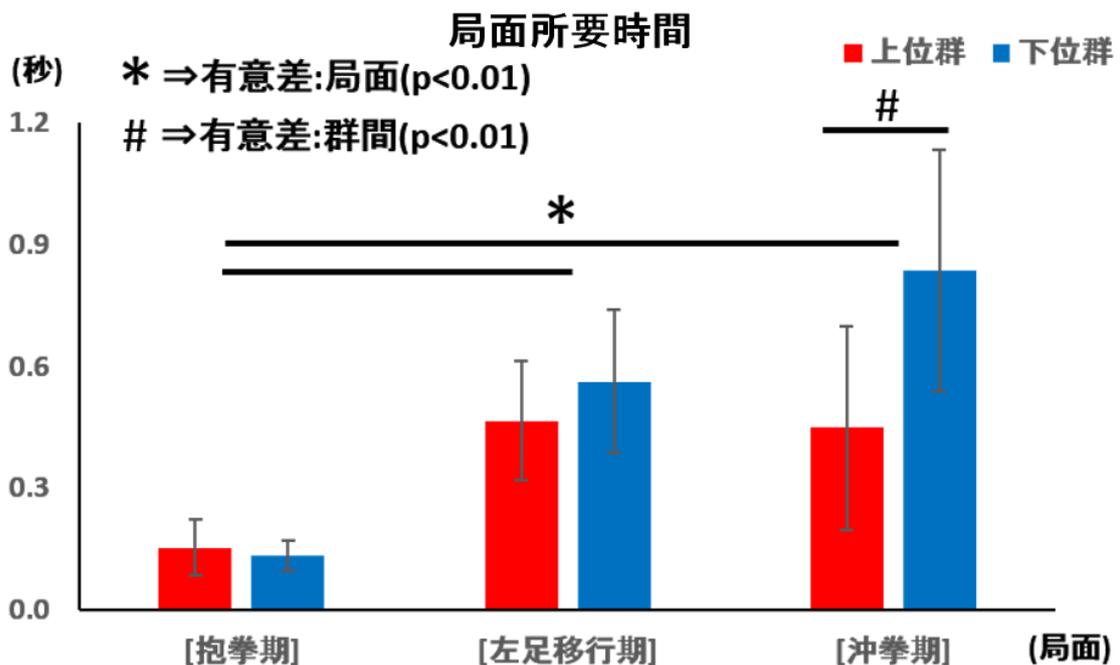


図12: 「弓歩沖拳」の各局面の所要時間

この結果は上位群と下位群では「抱拳期」と「左足移行期」の所要時間に有意差はなく、「弓歩沖拳」の主要局面である「沖拳期」の所要時間のみ、上位群の方が下位群よりも約 0.39 秒短かったことを示している。競技会での得点が高い上位群の方が下位群よりも動作の主要局面である「沖拳期」の所要時間が短かったことから、動作の主要局面の所要時間が短いことが競技会で高得点を獲得する為には重要である「リズムや緩急が伴ったはやさ」の指標である可能性があると示された。各局面の所要時間の結果・考察と「弓歩沖拳」の各時点の出現時刻の結果・考察と合わせて考えると、上位群は局面間に存在する「間」を長くすること、あるいは局面間に「間」を作った上で、動作の主要局面の所要時間を短くすることによって、下位群よりも動作全体の所要時間の長さに対する動作の主要局面の所要時間の短さを際立たせて、動作の主要局面の所要時間の短さを明確に強調することで「リズムや緩急が伴ったはやさ」を生み出していたことが示唆された。このことが上位群と下位群の競技会での得点差に繋がっていた可能性があると考えられる。

3-5 各セグメントが「沖拳」を開始するタイミング

各セグメントが「沖拳」を開始した時刻について 2 元配置の分散分析の結果、グループ ($p < 0.01$)・セグメント ($p < 0.05$)ともに有意な主効果が認められた。また、有意な交互作用も認められた ($p < 0.05$)。事後検定の結果として、各セグメントが「沖拳」の運動を開始した時刻は上位群の方が全セグメントで遅かった(骨盤： $p < 0.01$ 、胸郭： $p < 0.01$ 、上腕： $p < 0.01$ 、前腕： $p < 0.01$)。また、上位群は全セグメントが有意な時間的遅延なく「沖拳」の運動を開始していた(骨盤-胸郭、骨盤-上腕、骨盤-前腕、胸郭-上腕、胸郭-前腕、上腕-前腕： $p = 1.00$)。下位群も全セグメントが有意な時間的遅延なく「沖拳」の運動を開始していた(骨盤-胸郭、骨盤-上腕、骨盤-前腕： $p > 0.05$ 、胸郭-上腕、胸郭-前腕、上腕-前腕： $p = 1.00$)。左足接地の瞬間を 0.00 秒として、上位群は骨盤が 0.62 ± 0.19 秒後に、胸郭が 0.61 ± 0.26 秒後に、右上腕が 0.59 ± 0.17 秒後に、右前腕が 0.61 ± 0.16 秒後に「沖拳」の運動を開始していた。下位群も左足接地の瞬間を 0.00 秒として、骨盤が -0.46 ± 0.19 秒後に、胸郭が -0.07 ± 0.31 秒後に、右上腕が -0.05 ± 0.30 秒後に、右前腕が -0.01 ± 0.28 秒後に「沖拳」の運動を開始していた。(図 13)

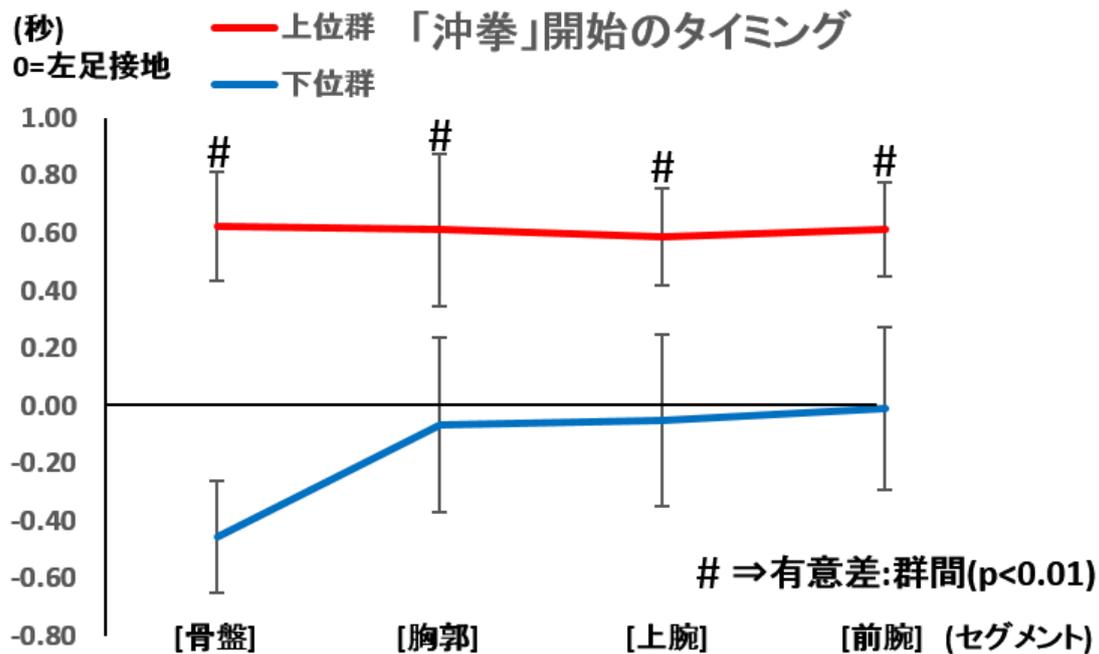


図 13：各セグメントが「沖拳」を開始するタイミング

※縦軸の「0.00」は左足接地の瞬間

この結果は「弓歩沖拳」の動作全体の中において、「沖拳」を開始するタイミングが、上位群は左足接地の約 0.59 秒後に全セグメントが「沖拳」の運動を約 0.03 秒以内に開始していたのに対し、下位群は左足接地の約 0.46 秒前から骨盤が「沖拳」の運動を開始し、左足接地の直前(0.07~0.01 秒前)に胸郭・右上腕・右前腕が「沖拳」の運動を開始していたことを示している。つまり、上位群は「左足移行期」と「沖拳期」の間に約 0.59 秒（動作全体の所要時間の約 25%）の「間」が存在していたのに対し、下位群は左足が接地する約 0.46 秒前から骨盤が「沖拳」の運動を開始することによって、「左足移行期」と「沖拳期」が動作全体の所要時間の約 28%重なっていたことが明らかになった。また、上位群と下位群はともに「沖拳」を行う際には各セグメントが時間的遅延なく「沖拳」の運動を開始していたことが明らかに

なった。身体の各部位が同時に運動を開始するような特徴を持つ運動様式は「押し運動 (Ellen Kreighbaum & Barthels,1990)」と呼ばれる。「押し運動」で動作を実施することによる利点は身体の末端から放たれたボールなどの正確性を高めることや発揮する力を高めることに適している点である。その為、バスケットボールのフリースローやウェイトリフティングやジャンプ動作などのような動作で「押し運動」を用いて動作が実施されている。武術太極拳の競技会で高得点を獲得できる動作への要求として「リズムや緩急が伴ったはやさ」に加えて「力強さ」や「力点が正確である」ことも要求される(中国武術教程, 2004, ①, ③、国際武術套路競技規則, 2005)。このことから上位群と下位群は「押し運動」で「沖拳」を実施することによって、競技会で高得点を獲得する為に要求される「力強さ」や「力点が正確であること」を強調していたと考えられる。

上位群は左足接地後に各セグメントが時間的遅延なく運動開始することで「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」を作っていたのに対し、下位群は各セグメントが時間的遅延なく運動開始していたものの、左足接地の前に骨盤が「沖拳」の運動を開始していたことにより、「左足移行期」と「沖拳期」が重なって「間」がなかった。この結果は、上位群には「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」が存在するが、下位群には存在しないという結果と、「沖拳期」の所要時間は上位群の方が下位群よりも短かったという結果を説明する要因になり得る結果であった。動作全体の所要時間に対する「沖拳期」の所要時間を割合に換算すると、上位群は動作全体の所要時間に対する「沖拳期」の所要時間は約 19%であるのに対し、下位群は約 51%であった。これらの上位群と下位群の動作全体の所要時間に対する「沖拳期」の

所要時間の割合の差は、上位群と下位群における骨盤の運動開始のタイミングの差が生み出している可能性があると考えられる。統計学的には下位群も各セグメントが時間的遅延なく運動開始する「押し運動」で「沖拳」を実施しているが、各セグメントの運動開始のタイミングを見てみると、最初に「沖拳」の運動を開始したセグメント(骨盤)の約 0.39 秒後に次のセグメント(胸郭)が「沖拳」の運動を開始していた。一方、上位群は全セグメントが「沖拳」の運動を約 0.03 秒以内に開始していた。つまり、上位群と下位群はともに各セグメントを時間的遅延なく運動開始させて「沖拳」を実施しているが、上位群は約 0.03 秒の間に全セグメントが運動開始していたのに対し、下位群は全セグメントが運動開始するのに約 0.45 秒要していた。このことから上位群の方がより同時に、全セグメントを時間的遅延なく運動開始させて「沖拳」を実施することによって、「沖拳期」の所要時間を短縮させていたことが考えられる。一方で、下位群は体幹部(骨盤・胸郭)のセグメント間に大きな運動開始のタイムラグが存在した分、全セグメントが運動開始するのに約 0.45 秒要していたと考えられる。この全セグメントが運動開始するのに要した時間分、下位群は「沖拳期」の所要時間が長くなっていたと考えられる。

これらの結果を生み出していると考えられる、「沖拳」を実施する際の上位群と下位群における骨盤の運動の違いを明らかにする為に、骨盤が「沖拳」の運動を開始してから最大速度に達するまでの加速に要した時間(加速時間)を算出したところ、上位群(約 0.22 ± 0.07 秒)の方が、下位群(約 0.73 ± 0.33 秒)よりも有意に短かった($p < 0.01$)。このことから上位群は「沖拳」を実施する際に骨盤を急激に加速させていたことが明らかになった。上位群が骨盤を急激に加速させることがで

きた理由として、運動を開始するタイミングが考えられる。上位群は左足が接地した後に骨盤が「沖拳」の運動を開始していたのに対し、下位群は左足が接地する前に骨盤が「沖拳」の運動を開始していた。下位群の左足離地から左足接地までの所要時間は約 0.57 秒であったが、骨盤は左足が接地する約 0.46 秒前から「沖拳」の運動を開始していた。つまり、下位群は左足が宙に浮いている時に骨盤が「沖拳」の運動を開始していたことになる。一方で、上位群は左足が接地した後に、つまり両足が接地している状態で「沖拳」の運動を開始していた。このことによって上位群は地面に接している左右の下肢に作用する地面反力を身体の鉛直軸周りに偶力のように作用させ、回転を生み出していたものと考えられる。それに対し、下位群は左足が接地する前に、つまり右足しか接地していない状態で「沖拳」の運動を開始していた。このことによって下位群は地面に接している右の下肢に作用する地面反力のみを身体の鉛直軸周りに作用させ、重心移動させながら回転を生み出していた。下位群はこのようにして、身体の重心を移動させながら体幹の鉛直軸周りの回転(回旋)を生み出していたと考えられる。これらのメカニズムによって、下位群は左足が接地する前に、右足のみに作用した地面反力を用いて重心移動させながら長い時間を要して骨盤を回旋させ続けていたことで、骨盤を急激に加速させることができなかつたのではないかと考えられる。

3-6 コーチングへの応用

上記の結果・考察から競技会で高得点を獲得できる上位群と獲得できない下位群が行う「弓歩沖拳」のキネマティクスの違いは、上位群の方が下位群よりも動作全体の所要時間は長かったが、動作の主要局面である「沖拳期」の所要時間は短かったことであった。上位群の方が動作全体の所要時間が長かった原因として、「弓歩沖拳」の「抱拳期」と「左足移行期」の間にある「間」の所要時間が長かったことに加えて、「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」を作っていたことが示された。また、「弓歩沖拳」の主要動作であり、動作の出来栄に大きく影響する(中国武術教程, 2004, ③)「沖拳」については上位群と下位群はともに各身体部位を同時に運動開始させて「押し運動」で「沖拳」を行っていたが、下位群は左足が接地する前に骨盤が「沖拳」の運動を開始し、左足が接地する直前に胸郭が「沖拳」の運動を開始していたことによって、体幹部(骨盤-胸郭)のセグメント間に大きな運動開始のタイムラグが存在していた。その分全セグメントが運動開始を完了するまでに上位群よりも長時間を要していた。つまり、上位群は下位群よりも同時に全セグメントが運動開始して「沖拳」を実施していたことが明らかになった。そのことによって、「沖拳期」の所要時間は上位群の方が下位群よりも短かったと考えられる。また、「沖拳」における拳の並進速度や各セグメント角速度の大きさに上位群と下位群の間で差はなく、両群とも身体の近位から遠位にかけて速度が上昇する遠位速度加算が生じていた。これらの結果から、上位群は局面間に「間」を作った上で、動作の主要局面の所要時間を短くすることによって、動作全体の所要時間に対する動作の主要局面の所要時間の短さを強調させて、「リズムや緩急が伴ったはやさ」を演出し

ていたことが示唆された。これらのことから速度的な『速さ』ではなく、時間的な『早さ』が高い競技力を有する選手間の競技会での得点差になる「リズムや緩急を伴ったはやさ」を説明することできると考えられる。

本研究のこれらの結果から武術太極拳の指導現場での指導方法に提案できる方策として2つのことが考えられる。

まず競技会で高得点を獲得できない選手は、どのようにして動作を実施すれば、採点規則や指導書に記載されている競技会で高得点を獲得できる動作への要求を満たせるか正確に認知していないという問題があるのではないかと考えられる。その為の下位群の選手は採点規則や指導書に記載されている「はやい」という要求を「とにかく短い時間で動作を完了させること」あるいは「とにかく速い速度で動作を実施すること」というような理解をしていて、動作全体を通して他の局面との関係から「はやさ」を強調するような「表現力」を知らない可能性があると考えられる。動作を早く完了させようとすることで左足が接地する前に骨盤が「沖拳」の運動を開始して、下位群の方が動作全体の所要時間が短くなった可能性があると考えられる。一方で、競技会で高得点を獲得できる選手は「はやい」という要求を「とにかく短い時間で動作を完了させること」あるいは「とにかく速い速度で動作を実施すること」というような理解をせず、動作全体を通して他の局面との関係から「はやさ」を強調する為に、動作の局面間に「間」を作った上で動作局面の所要時間を短くすることによって、その短さを強調することで動作の「リズムや緩急」を際立たせていたことが考えられる。また、「弓歩沖拳」の主要局面である「沖拳期」の所要時間を短くする為に上位群は各身体部位をより同時に運動開始させて

「沖拳」を実施していたことが示された。このことから競技会で高得点を獲得できない選手に対して指導を行う時には、競技会で高得点を獲得する為には、速度的な『速さ』ではなく、時間的な『早さ』が重要であり、これらの『早さ』を強調する為の「表現力」や「リズムや緩急」のつけ方を理解させることが重要になると考えられる。

次に下位群の「沖拳期」の所要時間が長くなったことの原因として、左足が接地する前に骨盤が「沖拳」の運動を開始していたことによって、体幹部(骨盤-胸郭)のセグメント間に大きな運動開始のタイムラグが存在した「押し運動」で「沖拳」を実施していたことが挙げられる。上位群のように、より同時に各身体部位が運動開始する「押し運動」で「沖拳」を実施することが重要であると考えられる。これらの動きの改善に加えて、より同時に各身体部位を運動開始させ、さらにその加速を高める為にも筋力などの身体の基礎運動能力を高めることも非常に重要であると考えられる。

3-7 本研究の限界

本研究は「弓歩沖拳」という武術太極拳の競技会において高頻度で実施される重要な基礎動作について、競技会で高得点を獲得できる上位群と獲得できない下位群で動きの比較を行い、そのキネマティクスの違いを明らかにした。しかし、実際の競技会では約40個の動作を組み合わせた「套路」を演武し、その全体の出来栄について採点が行われる。その為、上位群と下位群の得点差が「弓歩沖拳」1つの動作の違いに起因するとは限らないことが本研究の限界である。競技会において高頻度で実施されるその他の基礎動作や配点が大きい難度動作などの出来栄も加味しないと競技会での得点差を直接反映することにはならないと考えられる。「弓歩沖拳」について競技会で高得点を獲得できる選手と獲得できない選手の動きの比較を行った本研究の意義は大きいですが、競技会での得点差の原因を究明する為にはその他の動作についても研究を行う必要があると考えられる。

第4章 まとめ

本研究の目的は武術太極拳の競技会で高得点を獲得できる動きの特徴を明らかにする為に、武術太極拳の基礎動作であり、競技会において高頻度で用いられる「弓歩沖拳」の体幹・上肢の動きの「はやさ」について高得点を獲得できる上位群と獲得できない下位群の動きを比較することで、そのキネマティクスの違いを明らかにすることであった。

本研究の結果から競技会で高得点を獲得できる上位群と獲得できない下位群の「弓歩沖拳」の違いは、上位群の方が動作全体の所要時間は長い、動作の主要局面の所要時間が短かった。さらに上位群は「左足移行期」と「沖拳期」の間に「間」が存在したが、下位群には存在しなかった。また、「沖拳」については上位群と下位群はともに「押し運動」で「沖拳」を行っていたが、上位群の方がより同時に各身体部位が運動開始していた。「沖拳」における拳の並進速度と各セグメント角速度の大きさに上位群と下位群の間で差はなく、両群とも身体の近位から遠位にかけて速度が上昇する遠位速度加算が生じていた。これらのことから動作の動きの速さは競技会において高い競技力を有する選手間での得点差には直接結びつかないこと、上位群は動作局面の間に「間」を作った上で、動作の主要局面の所要時間を短くすることによって、その短さを強調させて動作の「リズムや緩急」を際立たせていたと考えられる。つまり、武術太極拳では速度的な『速さ』ではなく時間的な『早さ』が高い競技力を有した選手間の競技会での得点差になる「リズムや緩急を伴ったはやさ」を反映している可能性があると考えられる。

武術太極拳の指導現場で「弓歩沖拳」を指導する場合は動作の局面

間に「間」をしっかり作ることと各身体部位をより同時に運動開始させて、短時間で「沖拳」を実施することを指導する必要がある。動きの改善に加えて、短時間で動作を実施する為に各身体部位の急激な加速を生む筋力などの身体の基礎運動能力を高める必要があると考えられる。

【参考文献】

- (1) 李 自力：日中太極拳交流史に関する研究—「簡化二十四式太極拳」の誕生日から日本への太極拳移入の経緯について—：日本体育大学紀要 35 卷 2 号(2006)147-158
- (2) Ko GT, Tsang PC, Chan HC. A 10-week Tai-chi program improved the blood pressure, lipid profile and SF-36 scores in Hong Kong Chinese women. *Med Sci Monit.* 2006;12:CR196-CR199.
- (3) Thomas GN, Hong AW, Tomlinson B, Lau E, Lam CW, Sanderson JE, Woo J. Effects of Tai Chi and resistance training on cardiovascular risk factors in elderly Chinese subjects: a 12-month longitudinal, randomized, controlled intervention study. *Clin Endocrinol.* 2005;63:663-669.
- (4) Goon JA, Aini AH, Musalmah M, Anum MY, Nazaimoon WH, Ngah WZ. Effect of Tai Chi exercise on DNA damage, antioxidant enzymes, and oxidative stress in middle-age adults. *J Phys Act Health.* 2009;6:43-54.
- (5) Maciaszek J, Osinski W, Szeklicki R, Stemplewski R. Effect of Tai Chi on body balance: randomized controlled trial in men with osteopenia or osteoporosis. *Am J Chin Med.* 2007;35:1-9.

(6) Wu G, Ren X. Speed effect of selected Tai Chi Chuan movement on leg muscle activity in young and old practitioners. *Clin Biomech.* 2009;24:415-421.

(7) Kerr CE, Shaw JR, Wasserman RH, Chen VW, Kanojia A, Bayer T, Kelley JM. Tactile acuity in experienced Tai Chi practitioners: evidence for use dependent plasticity as an effect of sensory-attentional training. *Exp Brain Res.* 2008;188:317-322.

(8) Cheung SY, Tsai E, Fung L, Ng J. Physical benefits of Tai Chi Chuan for individuals with lower limb disabilities. *Occup Ther Int.* 2007;14:1-10.

(9) Shen CL, James CR, Chyu MC, Bixby WR, Brismee JM, Zumwalt MA, Poklikuha G. Effects of Tai Chi on gait kinematics, physical function, and pain in elderly with knee osteoarthritis-a pilot study. *Am J Chin Med.* 2008;36:219-232.

(10) Tsang T, Orr R, Lam P, Comino EJ, Singh MF. Health benefits of Tai Chi for older patients with type 2 diabetes: the 'Move It For Diabetes study'-A randomized controlled trial. *Clin Interv Aging.* 2007;2:429-439.

- (11) Lan C, Chen SY, Lai JS, Wong MK. The effect of Tai Chi on cardiorespiratory function in patients with coronary artery bypasses surgery. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:634-638
- (12) Lam P, Dennis SM, Diamond TH, Zwar N. Improving glycaemic and BP control in type 2 diabetes. The effectiveness of tai chi. *Aust Fam Physician.* 2008;37:884-887.
- (13) Chang YF, Yang YH, Chen CC, Chiang BL. Tai Chi Chuan training improves the pulmonary function of asthmatic children. *J Microbiol Immunol Infect.* 2008;41:88-95.
- (14) Taylor Piliae RE, Haskell WL, Waters CM, Froelicher ES. Change in perceived psychosocial status following a 12-week Tai Chi exercise program. *J Adv Nurs.* 2006;54:313-329.
- (15) Lee LY, Lee DT, Woo J. Effect of Tai Chi on state self-esteem and health-related quality of life in order Chinese residential care home residents. *J Clin Nurs.* 2007;16:1580-1582
- (16) 金 信敬, 鳥羽研二, 折茂 肇. 太極拳運動実施高齢者の健康関連 QOL — 同年代国民標準値との比較 — . *日老医誌* 2007;44:339-344.

(17) Siu AM, Chan CC, Poon PK, Chui DY, Chan SC. Evaluation of the chronic disease self-management program in a Chinese population. *Patient Educ Couns.* 2007;65:42-50.

(18) Dechamps A, Gatta B, Bourdel-Marchasson I, Tabarin A, Roger P. Pilot study of a 10-week multidisciplinary Tai Chi intervention in sedentary obese women. *Clin J Sport Med.* 2009;19:49-53.

(19) Robins JL, McCain NL, Gray DP, Elswick RK Jr, Walter JM, McDade E. Research on psychoneuroimmunology: tai chi as a stress management approach for individuals with HIV disease. *Appl Nurs Res.* 2006;19:2-9.

(20) Jin P. Changes in heart rate, noradrenaline, cortisol and mood during Tai Chi. *J Psychosom Res.* 1989;33:197-206.

(21) Jin P. Efficacy of Tai Chi, brisk walking, meditation, and reading in reducing mental and emotional stress. *J Psychosom Res.* 1992;36:361-370.

(22) Caldwell K, Harrison M, Adams M, Triplett NT. Effect of Pilates and taiji quan training on self-efficacy, sleep quality, mood, and physical performance of college students. *J Bodyw Mov Ther.* 2009;13:155-163.

- (23) 大平 雅子、戸田 雅裕、田 麗、森本 兼囊：太極拳が精神的・身体的健康に及ぼす効果：日衛誌,65, 500-505 (2010)
- (24) 范 永輝、安好 敏子：健康法としての太極拳における身体軸制御方略の研究—弓歩と独立歩における熟練者と初心者の比較—：四国大学紀要.(A)39:27-38,2013
- (25) 公益社団法人日本武術太極拳連盟：国際武術套路競技規則 2005年版：公益社団法人日本武術太極拳連盟,p7 (2005)
- (26) 全国体育院校教材委員会：中国武術教程：人民体育出版社,p 588,① (2004)
- (27) 全国体育院校教材委員会：中国武術教程：人民体育出版社,p 70,② (2004)
- (28) 全国体育院校教材委員会：中国武術教程：人民体育出版社,p 51,③ (2004)
- (29) 弓 雲武：中国武術；習武練功 500 問：北京体育大学出版社,p37 (2000)
- (30) 国際武術連盟技術委員会：武術初級教程：人民体育出版社,p16 (1997)

(31) 蔡 龍雲：中華武術辭典：安徽人民出版社,p60 (1987)

(32) Ellen Kreighbaum, Katharine M. Barthels：BIOMECHANICS：
Macmillan Publishing Company New York,p596-623 (1990)

(33) The University of Texas MD Anderson Cancer Center

<http://www.mdanderson.org/>

(2015 年 2 月 19 日)

【謝辞】

本研究は指導教員である矢内利政先生のご指導の下行われました。研究の知識や経験に乏しい不器用な私に対し、研究の機会を与えて下さった上に、最後まで丁寧に根気強くご指導して頂きました。研究だけでなく、人としての振る舞いなどの面でも大変勉強になりました。ゼミの時から含めて4年半、大変お世話になりました。矢内先生の下で学べたことが私の誇りです。博士課程はコーチング分野に進みますが、矢内研究室で学んだことを忘れず、邁進していきたいと思っています。矢内利政先生に心より感謝申し上げます。

川上先生、土屋先生、志々田先生には快く副査を引き受けて頂きました。ご多忙にもかかわらず、私の研究をより良いものにする為にアドバイスを頂きました。心より感謝申し上げます。土屋先生には来年度からお世話になりますので、宜しくお願い致します。

研究室の近田先生、佐藤さん、茂木さん、上坂さんには本論文を作成するのにあたり、何から何まで丁寧にアドバイスして頂きました。出来の悪い私に嫌な顔一つせず、丁寧に教えて頂きました。複合グループでなければ本論文は完成しなかったと思っています。心より感謝申し上げます。特に佐藤さんには研究面だけでなく、進路の相談や様々なことでお世話になりました。いい先輩に出会えて幸運だったと思っています。

研究室の皆様にも感謝申し上げます。谷中さん、杜さん、丸山さんには実験の手伝いなどで大変お世話になりました。森下さんや城所さんや江間さんにはいろいろ声をかけて頂き、大変感謝しております。また同期の塩田君、小平君、埴君、福田さんとは苦楽を共にし、ここまで一緒にやってきたことはいい思い出になりました。

被験者を快く引き受けてくれた選手の皆様にも感謝を申し上げます。本当にありがとうございました。わざわざ寒い中、遠い所沢まで来て下さり、感謝してもしきれません。これからもいろいろなことでお世話になるかもしれません。これからも一緒に日本の武術界を大いに盛り上げていきましょう。

チームのみんなにもお礼を言いたいと思います。子供たちがいたから、ここまで頑張れました。毎週毎週子供たちの頑張る姿を自分への戒めとして、辛い時も苦しい時も自分を鼓舞することが出来ました。これからも共に歩み、エキサイティングな競技生活を送りましょう。

最後に私を生み、ここまで育ててくれた両親に感謝を申し上げます。普通に就職し、安泰な社会人生活を送ることも出来たにも関わらず、快く大学院への進学を後押ししてくれました。おまけに博士課程への進学も応援してくれて本当に感謝しています。この恩は少しずつこれからの成果で返して行きます。いつも応援してくれてありがとう。

心より愛を込めて

2015.2.19 羅 劉星