

2011 年度 修士論文

柔道着が肘関節障害発生に及ぼす影響

The Effect of Judo Uniform; Kinematics and
EMG Analysis of Forearm during Seoi-Nage

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 スポーツ医科学研究領域

5010A074-9

日蔭 陽一郎

Hikage, Yoichiro

研究指導教員： 福林 徹 教授

- 目次 -

第 1 章	序論	1
第 2 章	研究 1	10
	〈背負投時のつり手における前腕回旋位の Model-Based Image-Matching 法を用いた比較検討〉	
第 3 章	研究 2	27
	〈背負投時のつり手における前腕筋活動の比較検討〉	
第 4 章	総合考察	35
第 5 章	結論	39
第 6 章	参考文献	41
	謝辞	46

第 1 章

序論

1. 今日における柔道

平成 20 年 3 月 28 日、文部科学省より学校体育における柔道などの武道が選択科目から必修科目に変更されることが発表され、平成 24 年 4 月から必修科目として全面実施となることが決定した。武道が必修化された目的は柔道などの武道が礼儀作法や相手への思いやりの習得機会につながると期待されたからである。

学校体育で必修化された柔道だが、現在、世界で行われている柔道は「日本伝講道館柔道」が正式名称で、明治 15 年(1882)嘉納治五郎によって創設されたものである。195 の国と地域が参加して結成されている国際柔道連盟は同連盟の規約第 1 条に「国際柔道連盟は嘉納治五郎によって創設された肉体と精神の教育体系を柔道と認める」と定めている。柔道には寝技中心の七帝柔道(高専柔道)や古流柔術の起倒流柔道が存在するが、単に「柔道」や世界における「Judo」は講道館柔道を指す。

柔道の基本理念は「精力善用」「自他共栄」であり、これらは嘉納治五郎が「柔道は心身の力を最も有効に使用する道である。その修行は攻撃防禦の練習に由つて身体精神を鍛錬修養し、斯道の神髓を体得する事である。さうして是に由つて己を完成し世を補益するが、柔道修行の究竟の目的である。」と述べたことに由来する。これを現在に置き換えると、柔道は競技における単なる勝利至上主義ではなく、身体・精神の鍛錬と教育を目的としているものであるといえる。

2. 本論文で用いられる専門用語

- ・ 組手：相手と組み合う際の柔道着のつかみ方。右手で相手の襟を持ち、左手で相手の袖を持つ場合を「右組」、その逆を「左組」という。
- ・ 取：技をかける側の人。
- ・ 受：技を受ける側の人。
- ・ つり手：相手の襟を持つ側の手をいう。右組の場合は右手、左組の場合は左手である。
- ・ 引き手：相手の袖を持つ側の手をいう。右組の場合は左手、左組の場合は右手である。
- ・ 崩し：技をかける際に、相手を投げやすい状態にする技術。
- ・ 背負投：相手を背後に背負って、右組の場合、右肩越しに投げる技である(図 1)。
- ・ 打ち込み：技の動作を繰り返す練習。相手を投げることはない。



(a)(b) 右組で組み、右足を受の右足内側に踏み込む。(c)(d)(e) 取は右手でつり込み、左手は肘をあげ、胸をはって左手を引きながら前に崩す。右足先を軸として、左足を回し、左手を引き、同時に右腕を曲げて肘を受の右腋下にいれ、左手は右腕の上にかぶせるように引き、体を密着させる。(f) 膝を伸ばし、腰を上げ、同時に右手は突き上げ、左手は下に引き、体を前に倒す。(g)(h) 受は肩越しに大きく回転する。

図 1 右組による背負投

3. 柔道における傷害

世界に広く普及している柔道だが、柔道の特性である、立った姿勢から相手を投げ倒す投技、相手を仰向けにして、上から抑えて起き上がれないようにする抑技、頸部を腕や脚で絞め、頸動脈、気管を圧迫する絞技、関節を曲げたり伸ばしたり、捻るなどをして制する関節技などのために、特に競技として取り組んでいる選手達にとって傷害は避けがたいものになっている。

学校管理下におけるスポーツ外傷発生調査¹⁾による柔道の外傷発生頻度(10万人/年間)は16,592件であり、ラグビーに次いで2番目に多いと報告されている。スポーツ安全保険におけるスポーツ外傷発生調査²⁾による外傷発生頻度(10万人/年間)では4,162件であり、アメリカンフットボール、ラグビーに次いで3番目に高い数値であった。また、柔道における外傷の特徴は足指部骨折8.5%、膝靭帯損傷8.2%、鎖骨骨折が7.6%と多く、肘捻挫5.2%、肩捻挫4.4%と多彩であると報告されている。西村らの調査におけるクラブ別傷害件数は総数1,768件中、柔道が849件(48.0%)と最も多かった³⁾。

傷害部位別発生頻度は全日本男子柔道強化選手および強化指定選手を対象とした調査によると膝25.3%、腰部14.2%、肘10.5%、肩8.6%、足首8.6%であった⁴⁾。恩田らの大学柔道選手を対象とした調査においては傷害総数1388件中、膝376件(27.1%)、足首202件(14.6%)、肩177件(12.8%)、腰157件(11.3%)、肘136件(9.8%)であった⁵⁾。宮崎による大学柔道選手を対象とした調査では傷害総数2,195件中、膝634件(28.9%)、足関節288件(13.1%)、肩・肩甲帯269件(12.3%)、腰234件(10.7%)、肘209件(9.5%)であった⁶⁾。

以上から、柔道選手における傷害は膝関節、足部・足関節、腰部、肩・肩甲帯、肘関節に好発している。この中でも膝関節、足部・足関節、肩・肩甲帯の傷害は接触などによる急性外傷によるものが多くを占める^{5~8)}と報告されている。それに対して、肘関節と腰部はOVER USEの影響による障害が強いと述べられている^{9,10)}。怪我の予防という観点から、接触などによる急性外傷は柔道の競技特性上防ぎ難いが、OVER USEの影響が強い肘関節

や腰部の障害は防ぐことができる可能性がある。しかし、腰部障害についても柔道の特性として、体幹の回旋動作の反復や相手の体重分の負荷など腰部への負荷を軽減することは難しいと考えられる。一方で、肘関節障害は選手の組手や得意技により障害の発生率に違いがあり^{9,11)}、これは技術的要素が強く関連していると推測できるため、指導法によっては障害を予防できる可能性がある。そこで、本研究は障害予防の観点から肘関節に着目した。

柔道の現場では選手たちが肘関節障害のために得意技の変更を余儀なくされ、競技能力の低下を招く例があり、医療の現場では変形性肘関節症などの肘関節障害に悩む柔道家もいる¹⁸⁾と述べられている。また、柔道の競技歴が浅い成長期の子供たちでさえ肘の障害が多くある¹⁹⁾ことから、肘関節障害を予防することは重要である。

4. 肘関節機能解剖

4-1. 肘関節の骨格

肘関節は腕橈関節，腕尺関節，近位橈尺関節の 3 つからなる．腕橈関節は上腕骨の小頭部と橈骨頭からなり，肘の屈伸および回旋運動に関与している．腕尺関節は上腕骨の滑車部，尺骨切痕，および肘頭，肘頭窩，鉤状突起，鉤状突起窩から構成され，屈伸運動を行う．近位橈尺関節は橈骨頭と尺骨からなり，前腕の回旋運動にかかわる¹²⁾．

4-2. 肘関節の靭帯

肘周囲靭帯である内側側副靭帯(MCL: Medial Collateral Ligament)と外側側副靭帯(LCL: Lateral Collateral Ligament)が肘関節の静的安定化機構として，力学的安定性の獲得に寄与している¹³⁾．MCL は，肘関節内側で上腕骨と尺骨を連結して，肘関節の外反を防止している¹⁴⁾．また，前斜走線維，後方線維，横走線維の三つの繊維から成り，前斜走線維が外反ストレスに対して最も制動に貢献している^{14~17)}．LCL は，上腕骨外顆より起こり，扇状に遠位に走っている．大部分は前方線維として橈骨頭周囲の輪状靭帯に付着し，後方線維は尺骨回外筋稜に停止して，外側側副靭帯尺骨線維と呼ばれている¹²⁾．

4-3. 肘関節の筋

肘関節は主に上腕の前面肘屈筋群(上腕二頭筋，上腕筋)，前腕屈曲回内筋群(尺側手根屈筋，浅指屈筋，長掌筋，橈側手根屈筋，円回内筋)，上腕後面の肘伸展筋群(上腕三頭筋，肘筋)，前腕回外伸展筋群(回外筋，長・短橈側手根伸筋，総指伸筋)の 4 つの筋群によって構成されている¹⁸⁾．

5. 肘関節障害と組手・得意技との関係

肘関節障害はつり手に多く見られ、その中でも背負投を得意技としている選手のつり手に多く発生している^{9,11,19)}。つり手に多い要因は、つり手は引き手に比べ、常に相手をつかみ、肘の屈曲・伸展動作を多く繰り返しているためである¹⁹⁾と述べられている。また、背負投という技の特性上、つり手側の肘関節には相手の体重と力、自分の力による負荷がかかり、投げる際には肘関節に外反ストレスが加わる⁹⁾と考えられている。さらに、背負投の打ち込み練習は肘関節を強制外反させるような肢位になる¹⁹⁾とも述べられている。そのため、背負投を多用する選手は肘関節に対して外反ストレスが繰り返し加わり、それが障害につながると考えられている。

また、柔道の指導書や指導現場において背負投のつり手は「四指を巻き込むように」²⁰⁾や、「手首を内側に巻き込むように」²¹⁾などと指導される。四指を巻き込まなかったり、手首を内側に巻き込まなかったりなどの崩しをおろそかにすると手首や肘を痛める^{20~22)}といわれており、このような指導法は指導者自身の経験から得られたものと推察できる。

6. 柔道着について

以上から柔道における肘関節障害の要因は **OVER USE** や技術によるものと推測できるが、その他に、柔道選手に最も身近なものである柔道着が肘関節に対して影響を与えているのではないかと推察した。

まず、選手たちは相手の柔道着が小さいと技に入りにくいと感じている。つぎに、試合時において、柔道着のサイズは国際柔道連盟試合審判規定により決められているが、練習時には選手が規定通りの柔道着を着ていない場合も少なくない。さらに現場では柔道着を繰り返し使用していくうちに柔道着自体が縮むとも言われている。また、国際柔道連盟試合審判規定における柔道着の規定(図 2)には背負投に最も関連するであろう襟と胸部との間における規定がないため、もし柔道着の襟と胸部との間に十分な空間がなければ、背負投

においては「四指を巻き込むように」や「手首を内側に巻き込むように」などができなくなることを推測できる。

そして、肘関節障害は前腕の回旋位や前腕の筋が関与していることから、柔道着の大きさが手先の動きに変化を与え、これが肘関節障害の要因の一つにつながると仮説を立てた。

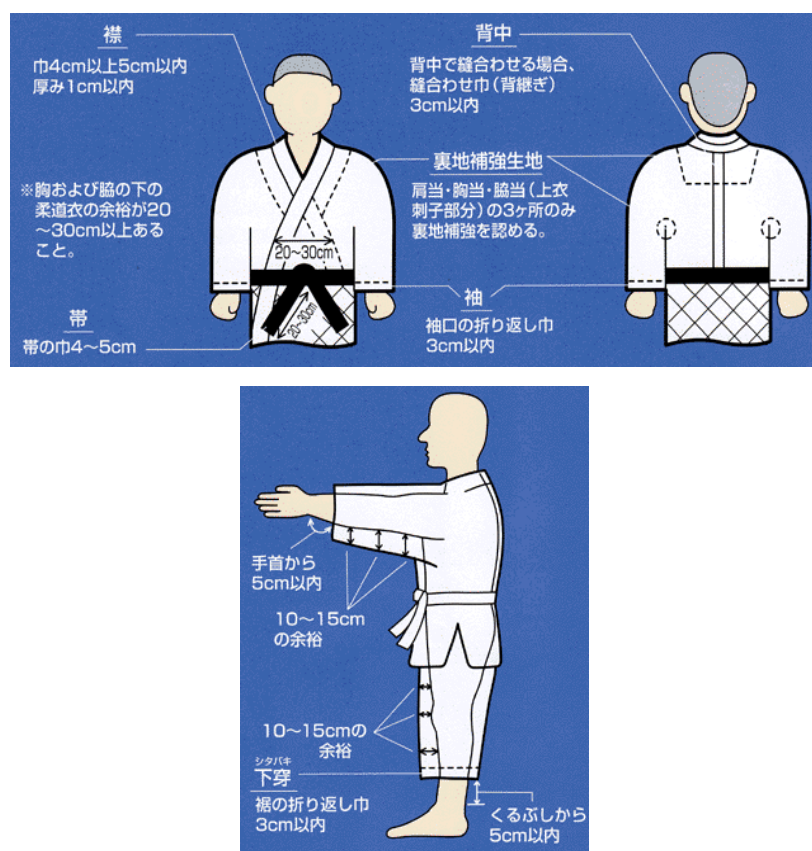


図2 国際柔道連盟試合審判規定における柔道着の規定(文献23より引用)

7. 目的

サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い，そのときのつり手における前腕の回旋位と筋活動を比較し，その結果から背負投における指導法の考察を試みることを目的とし，以下の比較検討を行った．

- ① サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い，そのときのつり手における前腕回旋位の Model-Based Image-Matching 法を用いた比較検討．
- ② サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い，そのときのつり手における前腕筋活動の比較検討．

第 2 章

研究 1

背負投時のつり手における前腕回旋位の
Model-Based Image-Matching 法を用いた比較検討

【緒言】

柔道選手たちは相手の柔道着が小さいと技に入りにくいと感じている。また、柔道選手の肘関節障害は背負投を得意技としている選手のつり手に多く、肘関節の安定性は前腕の回旋位に依存する²⁴⁾と報告されている。そのため、本研究では柔道着の大きさの違いが背負投時のつり手の動きに変化を与え、これが肘関節障害の要因の一つにつながると仮説を立てた。

そこで、本研究はサイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて、背負投時のつり手における前腕の回旋位を、近年、スポーツ医学の分野で注目されている Model-Based Image-Matching(MBIM)法を用いて比較検討することを目的とした。

MBIM 法は Krosshug ら²⁵⁾によって考案されたもので、これは事前のキャリブレーション作業や表面マーカーなどを必要とせず、人間の動きを複数の方向から撮影されたビデオ映像より再構築を行うことができる手法である。

【目的】

サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕回旋位を Model-Based Image-Matching 法を用いて比較検討を行った。

【方法】

1. 対象者

解析対象である取を大学男子柔道選手 2 名(21 歳, - 66kg 級)とした。2 名ともに右組みであった。受は大学男子柔道選手 1 名(21 歳, - 66kg 級)とした。また、対象者は運動に支障をきたす外傷・障害、神経系の異常のないものとした。

実験に際して、対象者には事前に研究の説明を文章と口頭で行い、研究に対する同意を得た。また、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を得た。

2. 柔道着の規定

本研究は受が柔道着を着用したときの胸及び脇の下の柔道着の余裕が **25cm** のものを大きい道着、**20cm** のものを小さい道着と定義した(図 3)。両方とも国際柔道連盟試合審判規定により試合で使用できるものである。取は柔道着を着用しなかった。

本研究で **25cm** のものを大きい道着としたのは、受である対象者が **30cm** の柔道着を着用したときに柔道着の袖が手に覆いかぶるほど大きかったため、袖の長さが手首までであった **25cm** のものを大きい道着と定義した。

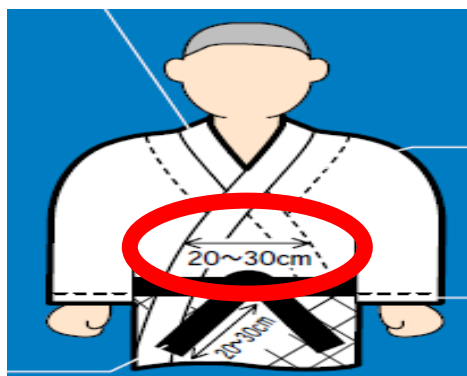
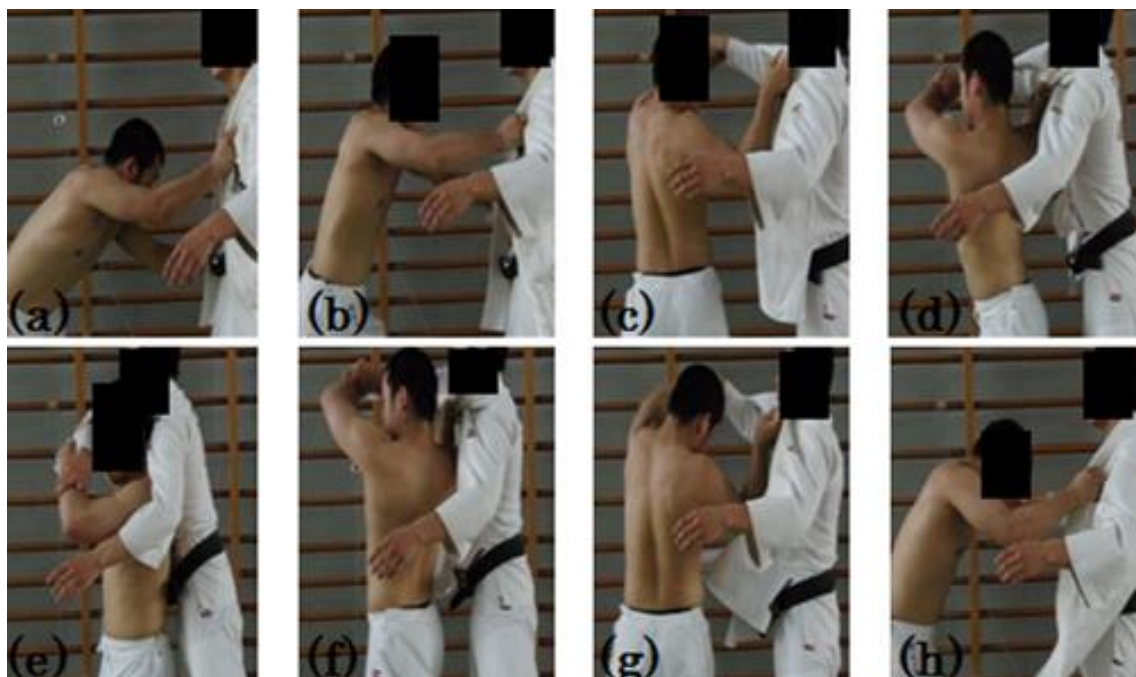


図 3 柔道着の規定

3. 課題動作

対象者は背負投の打ち込み(図 4)を大きい道着と小さい道着において各々10 試技行った.
試技は電子メトロノーム(ME-50, YAMAHA, Japan)により時間間隔を一定にした.



(a) 右組で組む. (b) 右足を受の右足内側に踏み込む. (c) (d) (e) 取は右手でつり込み, 左手は肘をあげ, 胸をはって左手を引きながら前に崩す. 右足先を軸として, 左足を回して, 左手を引き, 同時に右腕を曲げて肘を受の右腋下にいれ, 左手は右腕の上にかぶせるように引き, 体を密着させる. (f) (g) (h) (a)の位置まで戻り, 同じように繰り返す.

図 4 背負投の打ち込みの一連動作

4. 映像収集・映像編集

実験は柔道場で行い，課題動作をハイスピードカメラ(210Hz，EX-FH20，CASIO，Japan)4 台にて撮影した(図 5)．

実験で得られた 4 つの映像は質の低下を避けるために元の形式から非圧縮 AVI ファイルへと変換した．つぎに，この非圧縮 AVI ファイルを Adobe Premiere Pro (version 1.5, Adobe Systems Inc, San Jose, California)を用いて非圧縮 TIFF ファイルへと変換した．そして，このファイルを Adobe After-Effects (version CS4, Adobe Systems Inc)を用いて同期化し，AVI ファイルとして保存した．その後，各映像のキーフレームを決め，手作業で映像の同期をした．

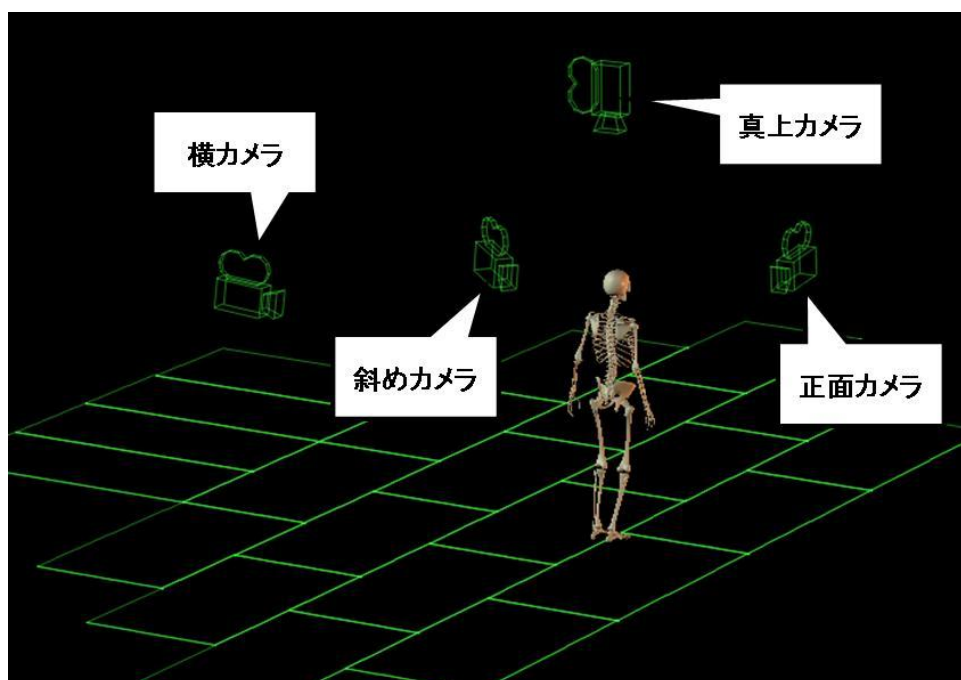


図 5 実験環境の模式図

5. Model-based image-matching 法

Model-based image-matching(MBIM)法は市販されている 3 次元モデリングソフトウェア Posers 4, Posers Pro Pack(Curious Labs, Inc, Santa Cruz, CA, USA)に基づいて, 実験環境の実際の寸法に合わせて仮想環境を構築するものである. 本ソフトウェアの特徴として, ビデオ映像の取り込み, ビデオ映像の視野分割やカメラモデル(並進 6 自由度, 回転 6 自由度, 可変焦点レンズを含む)があらかじめ備えられている. また, 複数のモデル(異なった衣装を着た男性・女性・骨格モデルや小道具)もあらかじめ備えられている.

仮想環境は本ソフトウェア内にあらかじめ備えられている球体や立方体などさまざまな構造物を変形させて構築した. その後, カメラモデルを用いて各ビデオ映像のフレームごとに映像の背景を手作業で仮想環境とマッチングさせた. そして, Zygote Media Group Inc (Provo, Utah)の骨格モデル(図 6-a)を使用して対象者の映像と骨格モデルのマッチングを行った. この骨格モデルは断層構造となっており, 前足部, 後足部, 下腿部, 大腿部, 骨盤, 腹部, 胸部, 頸部, 頭部, 鎖骨部, 上腕部, 前腕部, 手部から構成される 21 のセグメントから成り(図 6-b), 骨盤が親セグメントとされている. 骨盤の動きは静止座標系を回転 3 自由度, 並進 3 自由度を有している. その他のセグメントはそれぞれに隣接するセグメントに対して回転 3 自由度を有している. 例えば, 上腕部であれば前腕部と隣接している. 本研究では骨盤, 腹部, 胸部を一つの剛体とした. 骨格モデルのマッチングは頸部から始め, 鎖骨, 上腕部, 前腕部, 手部の順に近位から遠位へと **frame by frame** でマッチングを行った(図 7). マッチングの前に骨格モデルを対象者の身体情報にあわせるため, 対象者から事前に 14 項目を測定し, 骨格モデルを調整した(表 1).

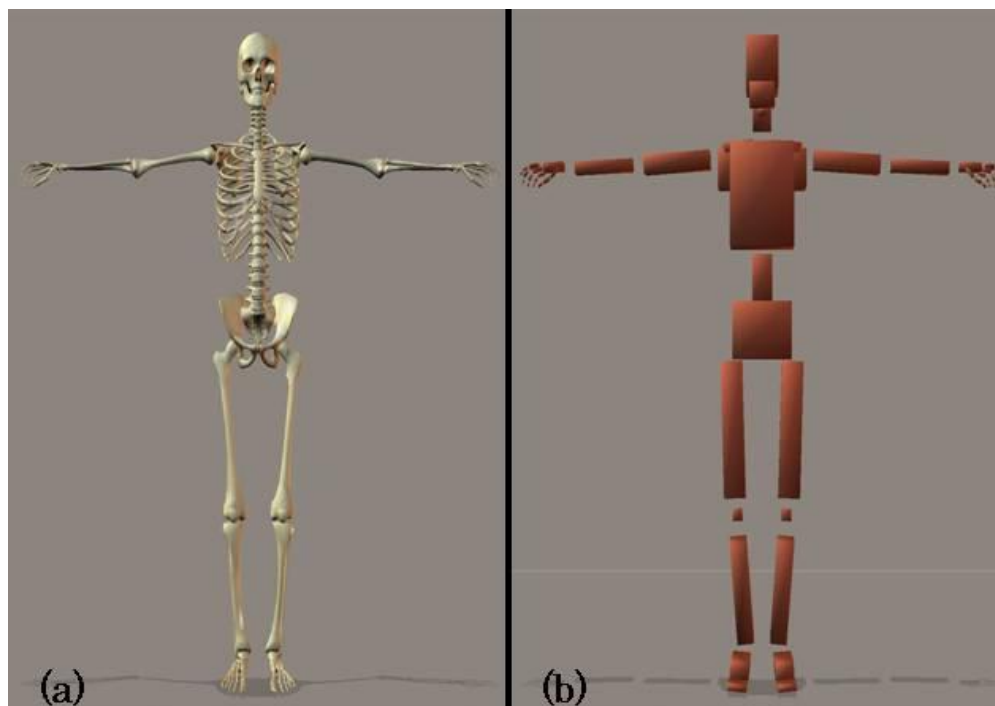


図 6 Zygote Media Group Inc (Provo, Utah)の骨格モデル

表 1 身体情報計測項目

身体計測データ

- ①氏名
- ②身長(cm)
- ③体重(kg)
- ④立位－肩関節90度外転位での両中指先端部間の距離(cm)
- ⑤立位－肩峰外側端から上腕骨外側上顆までの距離(cm)
- ⑥立位－上腕骨外側上顆から橈骨茎状突起(遠位端)までの距離(cm)
- ⑦立位－地面から外果遠位端までの距離(cm)
- ⑧立位－地面から大腿骨外側上顆までの距離(cm)
- ⑨立位－地面から大転子近位端までの距離(cm)
- ⑩立位－地面から腸骨稜近位端までの距離(cm)
- ⑪立位－地面から肩峰外側端までの距離(cm)
- ⑫立位－足長(踵からつま先までの距離)
- ⑬立位－腸骨稜外側端間の距離(骨盤の広さ)(cm)
- ⑭立位－肩峰外側端間の距離(cm)

⑦～⑪は、地面と垂直になる距離を計測。

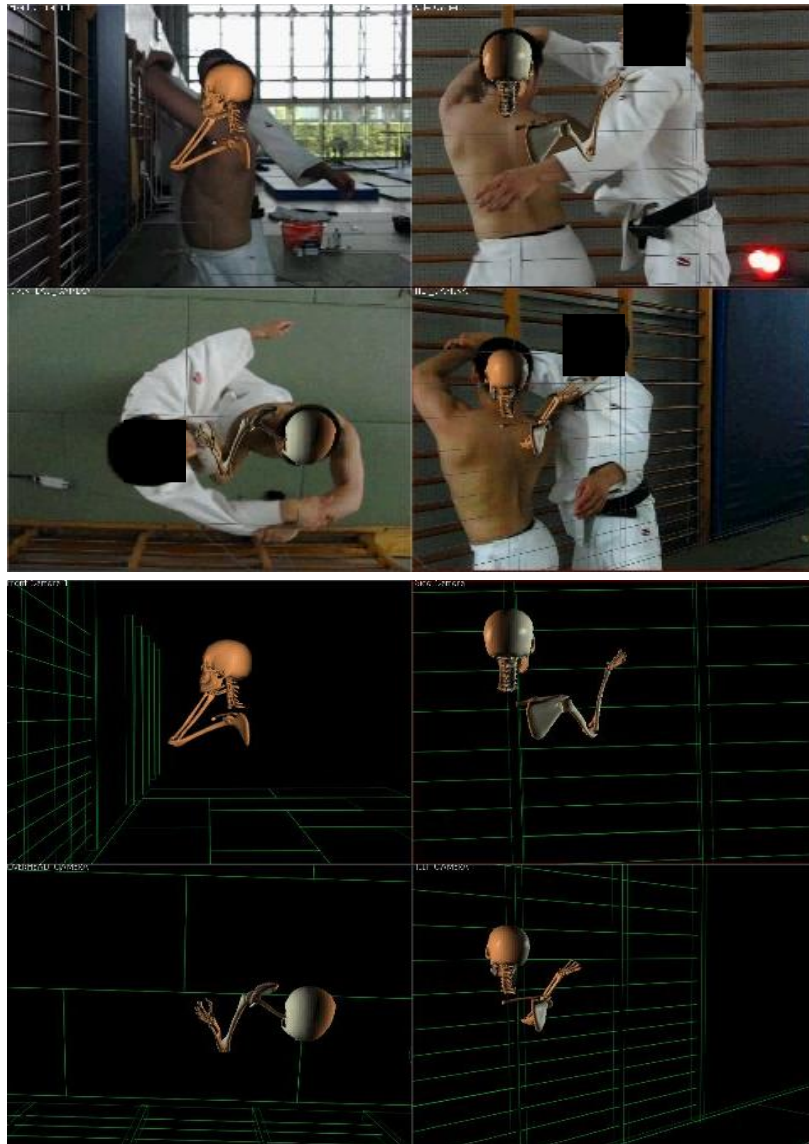


図 7 背景および骨格モデルのマッチング

6. MBIM 法の信頼性・精度

先行研究から MBIM 法は、検者内、検者間共に卓越した信頼性があった²⁶⁾。また、表面マーカーと bone-pin マーカーとの比較研究において表面マーカーは bone-pin マーカーと比べて約 4° の誤差があった²⁷⁾ が、MBIM 法では 3° 以下の誤差であった²⁶⁾。この研究では MBIM 法では比較的難しいとされている回旋動作も、解剖学的ランドマークにあわせてマッチングを行うことによって、正確に関節角度を算出することができる²⁶⁾と述べられている。

7. 解析項目

動作の安定していた 6 試技目の体幹回旋角度 90°～180° における前腕回旋角度を解析した。また、体幹回旋角度 90°～111° を区間 A, 112°～134° を区間 B, 135°～157° を区間 C, 158°～180° を区間 D と分類した(図 8)。

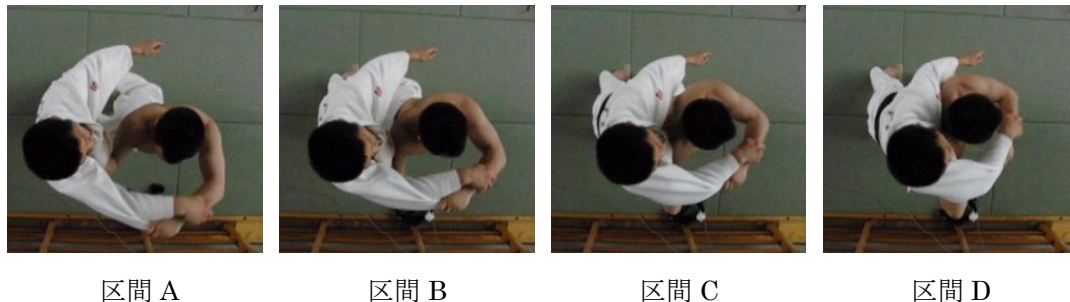


図 8 体幹回旋角度 90° ～180° の一例

8. 関節角度の算出

前腕回旋角度は Barrentine ら²⁸⁾に準じ，上腕軸と手関節横軸(尺骨，橈骨茎状突起を結んだ線)のなす角度とし，正になる値が回内，負になる値が回外と定義した(図 9).

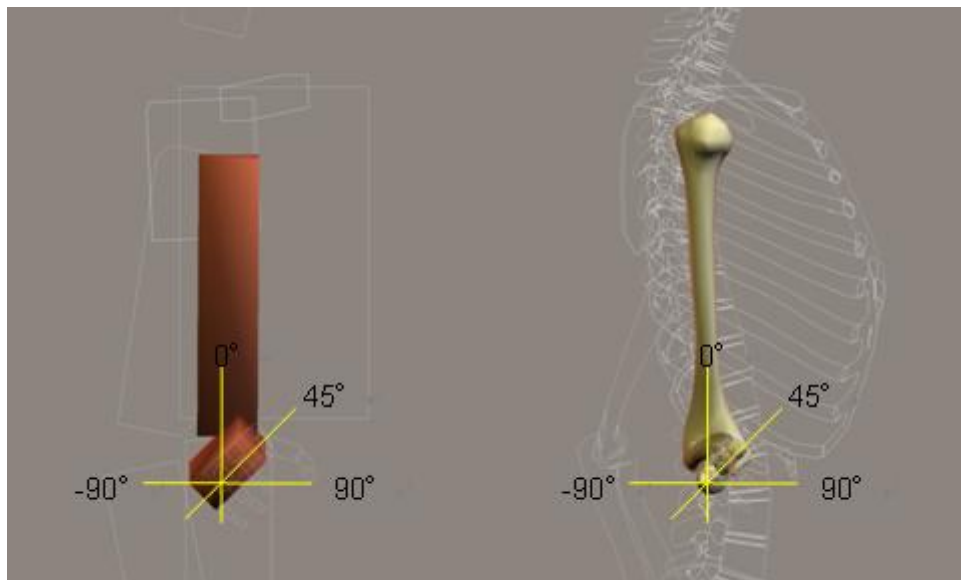


図 9 前腕回旋角度の定義

【結果】

対象者 A と対象者 B の前腕回旋角度を図 10 と表 2 に示した. 対象者 A における前腕回旋位は, 大きい道着を着用させた場合, 区間 A において回外 $34.0 \pm 2.1^\circ$, 区間 B において回外 $23.7 \pm 3.6^\circ$, 区間 C において $21.1 \pm 1.9^\circ$, 区間 D において $23.0 \pm 0.0^\circ$ であり, 常に前腕回外位を示した. 小さい道着を着用させた場合, 区間 A において回内 $15.8 \pm 4.5^\circ$, 区間 B において回内 $30.4 \pm 7.4^\circ$, 区間 C において回内 $43.2 \pm 3.7^\circ$, 区間 D において回内 $38.3 \pm 0.9^\circ$ であり, 常に前腕回内位を示した.

対象者 B は両条件共に前腕回内位を示したが, 大きい道着を着用させた場合, 区間 A において回内 $15.3 \pm 1.0^\circ$, 区間 B において回内 $15.6 \pm 0.9^\circ$, 区間 C において $16.9 \pm 0.4^\circ$, 区間 D において $18.1 \pm 1.4^\circ$ であった. 小さい道着を着用させた場合は, 区間 A において回内 $62.3 \pm 3.9^\circ$, 区間 B において回内 $71.7 \pm 4.1^\circ$, 区間 C において回内 $76.4 \pm 2.6^\circ$, 区間 D において回内 $73.0 \pm 0.0^\circ$ であった.

大きい道着を着用させた場合と小さい道着を着用させた場合の背負投の映像を図 11, 12 に示した. また, 対象者 A の大きい道着で行ったときの較正前の映像と MBIM 法を用いた三次元動作再構築の映像を図 13 に示した.

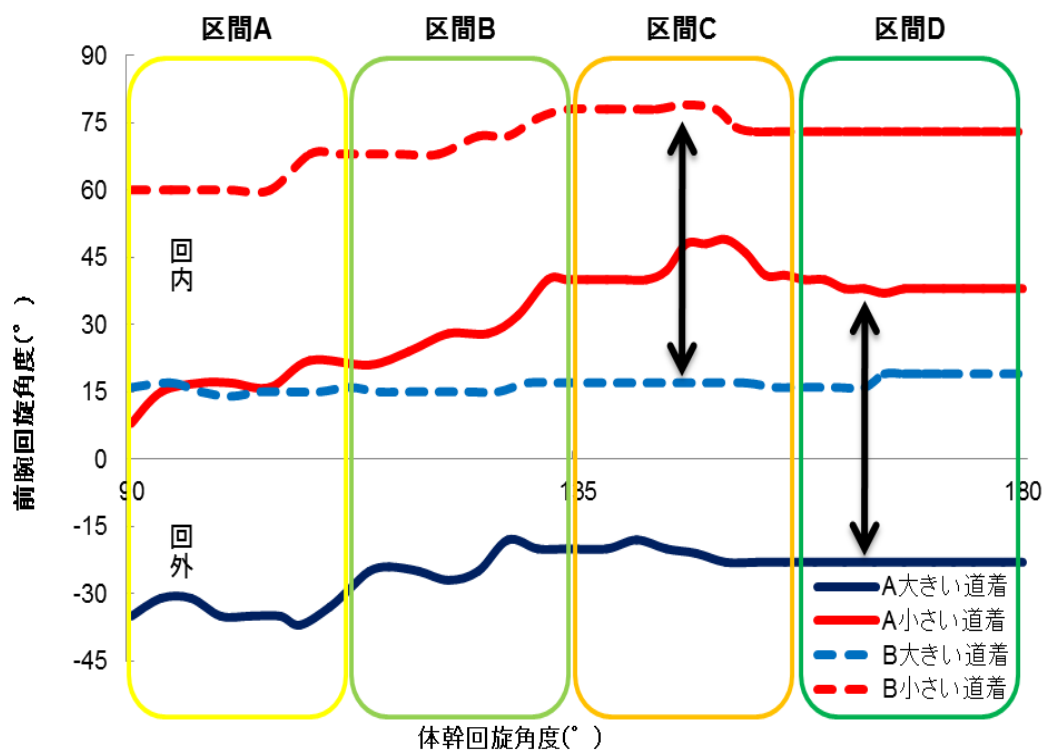


図 10 対象者 A と対象者 B の前腕回旋角度

表 2 対象者 A と対象者 B の前腕回旋角度(°)

対象者A	大きい道着	小さい道着
区間A	回外 $34.0 \pm 2.1^\circ$	回内 $15.8 \pm 4.5^\circ$
区間B	回外 $23.7 \pm 3.6^\circ$	回内 $30.4 \pm 7.4^\circ$
区間C	回外 $21.1 \pm 1.9^\circ$	回内 $43.2 \pm 3.7^\circ$
区間D	回外 $23.0 \pm 0.0^\circ$	回内 $38.3 \pm 0.9^\circ$
対象者B	大きい道着	小さい道着
区間A	回内 $15.3 \pm 1.0^\circ$	回内 $62.3 \pm 3.9^\circ$
区間B	回内 $15.6 \pm 0.9^\circ$	回内 $71.7 \pm 4.1^\circ$
区間C	回内 $16.9 \pm 0.4^\circ$	回内 $76.4 \pm 2.6^\circ$
区間D	回内 $18.1 \pm 1.4^\circ$	回内 $73.0 \pm 0.0^\circ$

平均±標準偏差



区間A



区間B



区間C



区間D

図 11 対象者 A の大きい道着で背負投を行ったときの横からの映像(左)

小さい道着で背負投を行ったときの横からの映像(右)



区間A



区間B



区間C



区間D

図 12 対象者 B の大きい道着で背負投を行ったときの真上からの映像(左)
小さい道着で背負投を行ったときの真上からの映像(右)

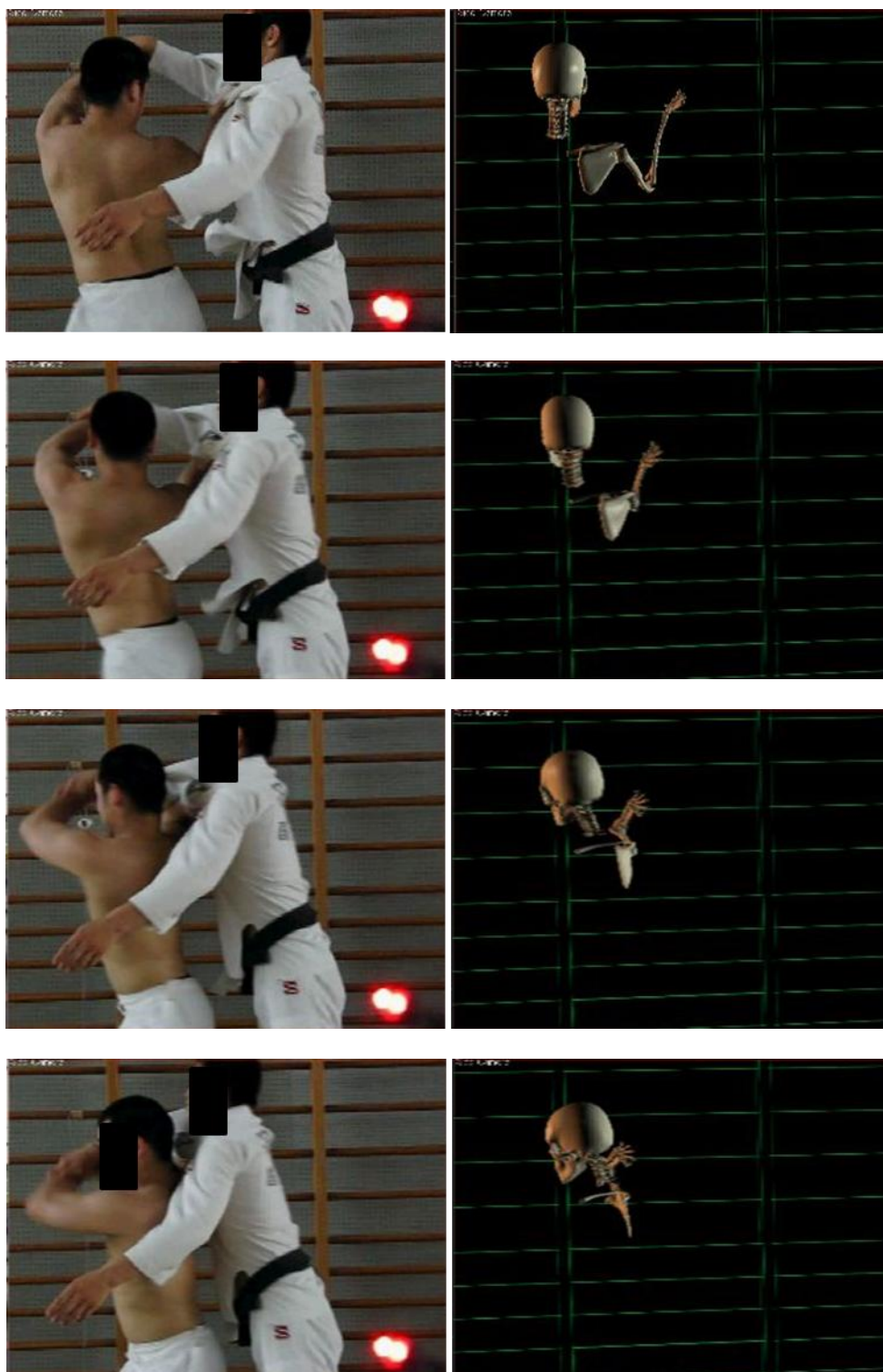


図 13 対象者 A の大きい道着で行ったときの較正前のビデオ映像(左)

Model-based image-matching 法を用いた三次元動作再構築(右)

【考察】

本研究の結果より受が2種類の柔道着を着用したとき、背負投における前腕の回旋位に違いが見られた。

現在、表面マーカーを用いた動作解析が関節角度の評価に最も多く用いられている方法である。しかし、本研究の課題動作である背負投は技をかける際に受や受の柔道着に接触するため表面マーカーを用いた動作解析では、マーカーに接触することによる誤差やマーカー自体が取れるといったことが引き起こされる。それに対して、本研究で用いた MBIM 法は表面マーカーを必要とせずに対象者の 3 次元キネマティクスを再構築できるため、背負投の動作解析には最適であったと考えられる。また、本研究は先行研究²⁶⁾に習い、軟部組織の下にあらず、前腕の動きを正確に追うことができる肘頭、橈骨茎状突起、尺骨遠位端、中手骨遠位端の位置をランドマークとして関節のマッチングを行った。

Pomianowski ら²⁴⁾によると前腕回外位と回内位を比較した場合、回内位のほうが肘関節の弛緩性があるとしている。また、離断性骨軟骨炎発生要因の一つとして腕橈関節の接触圧の増加が考えられているが、Diab ら³⁹⁾は回外位と比較して、回内位において腕橈関節の接触圧が増加すると報告している。ただし、この実験は肘関節伸展位で行われた。一方で、Morrey ら²⁹⁾は腕橈関節の接触圧はすべての屈曲角度(0~120°)で、回外位よりも回内位のほうが大きいと報告している。

本研究結果から、対象者 A は大きい道着の場合、前腕は回外位であり、小さい道着は回内位であった。そのため、大きい道着を受に着用させて背負投を行わせたほうが、肘関節への負荷を軽減できる可能性がある。一方で、対象者 B は対象者 A と同じような回内変位量を示したが両条件共に回内位であった。先行研究において回内位間の比較における腕橈関節の接触圧の差は報告されていないが、肘関節の弛緩性は完全回内位に近づくにつれて弛緩性が増す²⁴⁾と報告されている。また、肘関節は前腕の過度な回内が起こる動作の繰り返しを行うことにより、肘関節の弛緩が増加し、慢性的に過剰な負荷を受ける²⁴⁾と示唆さ

れている。

指導書などの背負投におけるつり手は「四指を巻き込むように」²⁰⁾や、「手首を内側に巻き込むように」²¹⁾などと指導されており、これらをおろそかにすると手首や肘を痛める^{20)~22)}といわれている。本研究における対象者 2 名も、大きい道着においては指導書どおりに背負投を行っていたと視覚的に捉えることができるが、小さい道着では、「四指を巻き込むように」や「手首を内側に巻き込むように」ができていないと視覚的に捉えることができる。このことから、小さい道着におけるつり手の回内位は能動的に回内位にしたのではなく、柔道着と胸部との間に十分な空間がないため、つり手を巻き込むことができず、受動的に回内位になったと推察できる。

以上から、小さい道着は大きい道着に比べ、肘関節に対する負荷が増加していると推測し、大きい道着を着用させて背負投を行うことで、肘関節に対する負荷を軽減できると示唆された。

本研究結果より柔道着の違いが前腕の回旋位に変化をもたらしたが、本研究では対象者数が 2 名と少なかった。これは MBIM 法における骨格モデルのマッチングには多大な時間を必要とするためであり、先行研究においても述べられている²⁶⁾。

今後は対象者数を増やし、障害予防の確立を目指していく必要がある。

【結語】

- ・ サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕回旋位を Model-Based Image-Matching 法を用いて比較検討した。
- ・ 小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、前腕の回旋は大きい道着と比較して回内方向へ変位した。
- ・ 大きい道着を着用させて背負投を行うことで、肘関節に対する負荷を軽減できると示唆された。

第 3 章

研究 2

背負投時のつり手における前腕筋活動の比較検討

【緒言】

背負投は技の特性上，肘関節に対して外反ストレスが加わると考えられている^{9,11,19)}．また，肘関節への外反ストレスは前腕の内側筋群である尺側手根屈筋によって特に制動される^{17,31,32)}．そこで，本研究は背負投を行ったときのつり手における前腕の筋活動を表面筋電図を用いて評価することを目的とした．

【目的】

サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い，そのときのつり手における前腕筋活動の比較検討を行った．

【方法】

1. 対象

大学男子柔道選手 8 名(20.7 ± 0.49 歳, 164.9 ± 3.3 cm, 64.9 ± 2.0 kg ; 平均 $\pm$ 標準偏差)を対象とした。全例右組みであった。また、対象者は全員、運動に支障をきたす外傷・障害、神経系の異常のないものとした。

実験に際して、対象者には事前に研究の説明を文章と口頭で行い、研究に対する同意を得た。また、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を得た。

2. 柔道着の規定

第 2 章と同様とした。

3. 課題動作

第 2 章と同様とした。

4. 動作解析

矢状面からハイスピードカメラ(210Hz, EX-FH20, CASIO, Japan)にて課題動作を撮影し、動作解析システム(Frame Dias System, DKH Co, Ltd. Japan)を用いて、背負投の各動作時間を算出した。また、測定動作と筋電図とを同期させるため LED 型シンクロナイザ(DKH Co, Ltd. Japan)を用いて、画面上に光信号によるトリガーが写るように同期を行い、同様にパーソナルコンピュータにも記録した。

5. 筋電図測定

筋電図測定には表面筋電計 ME6000(MEGA Electronics Ltd, Finland)を用い, アナログ出力用アダプタ(MEGA Electronics Ltd, Finland)を経由し, A/D 変換器(Power Lab, AD Instruments, Japan)を通してパーソナルコンピュータに記録した. サンプルング周波数は 1000Hz とした. 筋電図測定の対象筋は, 右側の尺側手根屈筋(FCU: Flexor Carpi Ulnaris)から直径 10mm の銀-塩化銀電極(Blues Sensor M, Ambu, Denmark)を用いて電極間距離 30mm にて双極導出した. なお, アース電極としてさらにもう一つの電極を二つの電極の間に貼付した. FCU の電極貼付位置は Aldo³³⁾に準じ, FCU を軽く収縮させ筋腹の位置を確認し決定した(図 14). 筋電図を正規化するために, 5 秒間の等尺性最大随意収縮(MVC: Maximum Voluntary Contraction)時の筋活動を記録し, 最も安定した中間 1 秒の値を採用した. 測定に先立ち, 電極貼付部の皮膚抵抗を低減させるため剃毛し, 消毒用エタノールで脱脂し, 皮膚表面の角質を除去する前処理を行った. また, モーションアーチファクトによるノイズの混入を最小限とするために, アンダーラップ・伸縮テープを用いて電極ケーブルを皮膚上に固定した.

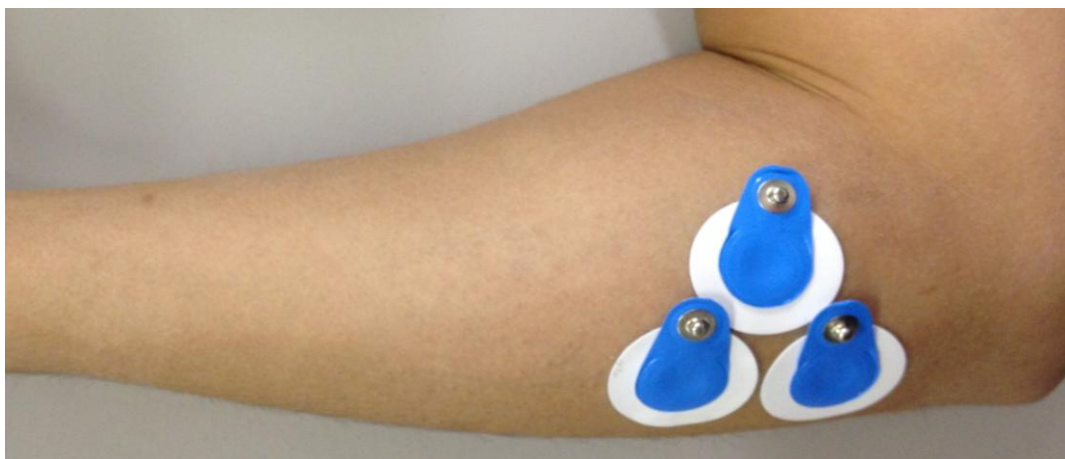


図 14 電極貼付位置

6. 筋電図解析

筋電図の解析は、専用ソフト(Chart 5.0 for Windows, AD Instruments, Japan)を用いて行った。全波整流波形処理を行い、フィルタ処理は Low-Pass filter を使用し、低域遮断周波数を 10Hz とした。

背負投の打ち込みの 1 回の動作ごとに二乗平均平方根(RMS: Root Mean Square)を求め、各回を平均して平均 RMS を求めた。そして、それらをあらかじめ計測しておいた MVC 発揮中の RMS より正規化(%MVC)することで背負投の筋活動を評価した。

7. 統計処理

背負投の打ち込みにおける FCU を大きい道着で行った場合と小さい道着で行った場合の比較に関して、対応のある t 検定を行った。尚、有意水準は 5%未満とした。

【結果】

大きい道着を受に着用させて背負投を行った場合と小さい道着で行った場合の代表的な EMG 波形を図 15, 筋活動量を図 16 に示した. 大きい道着で行った場合における FCU の % MVC は $33.3 \pm 0.1\%$ であり, 小さい道着で行った場合は $51.7 \pm 0.2\%$ であった. 大きい道着で行った場合よりも小さい道着で行ったほうが有意に筋活動は大きかった ($p < 0.01$).

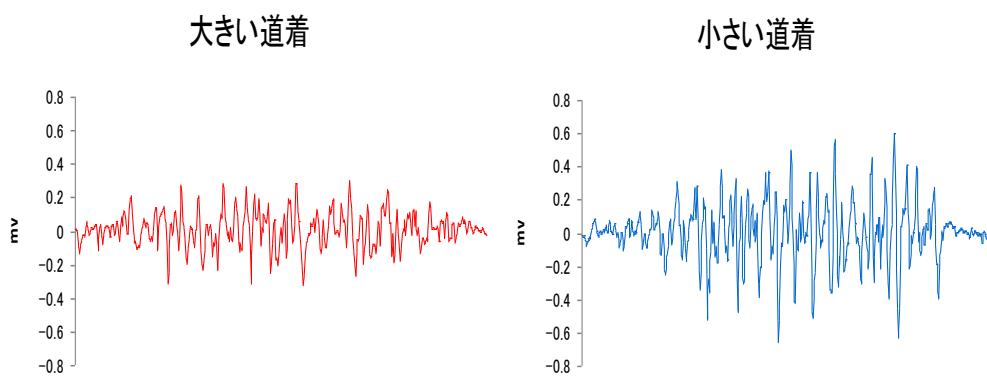


図 15 EMG 生波形の一例

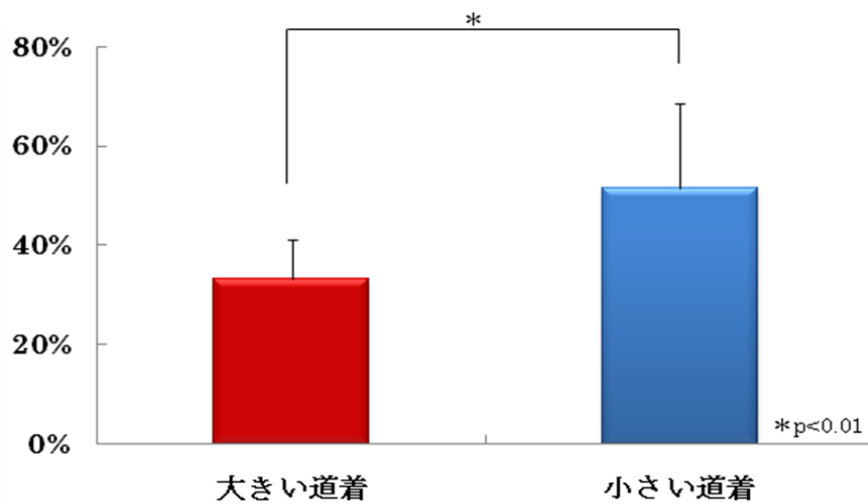


図 16 FCU の%MVC

【考察】

本研究の結果より受が 2 種類の柔道着を着用したとき、背負投の打ち込みにおける FCU の筋活動に違いが見られた。

背負投をかけると肘関節に対して外反ストレスがかかると考えられている^{9,11,19)}。これは背負投のつり手の動きが野球の投球時における late cooking 期に類似しているからだと推察できる。

野球の筋電図を用いた研究によると、投球動作で外反ストレスが最大となるとときに前腕屈筋群の筋活動が大きくなると報告されている³⁴⁾。また、肘関節に対する外反ストレスは FCU によって制動される^{17,31,32)}。これらの報告から、肘関節に対して外反ストレスが繰り返し加わることで、それを制御するために活動する FCU の使いすぎが引き起こされ、その結果、肘関節の慢性障害が引き起こされることが考えられている。

しかし、投球動作は Open-Kinetic-Chain 動作といえるが、背負投は柔道着を握っており、相手の体重などもあるので Closed- Kinetic-Chain 動作に近いといえる。そのため、実際に外反ストレスがかかっているかどうかを評価できない。ただし、筋活動が大きければそれだけ筋に負荷がかかっているといえるため、その負荷が繰り返し筋に加わることで使いすぎによる慢性障害が引き起こされることが推測できる。

本研究の結果より、小さい道着のほうが大きい道着に比べ FCU の筋活動が大きいため、より負荷がかかっているといえる。それが繰り返し FCU に加わることで使いすぎによる慢性障害が引き起こされることが推察する。

【結語】

- ・ サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕の筋活動を比較検討した.
- ・ 小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、前腕の筋活動は大きい道着と比較して有意に大きかった.
- ・ 大きい道着を着用させて背負投を行うことで、肘関節に対する負荷を軽減できると示唆された.

第 4 章

総合考察

先行研究¹⁹⁾から柔道選手の肘の障害は内側側副靭帯損傷、内側上顆炎、尺骨神経障害、離断性骨軟骨炎などが考えられる。

内側側副靭帯損傷は特に前斜走線維に多いとされている。肘関節を屈曲させると内側側副靭帯は伸張され、肘伸展位よりも肘屈曲位で外反角度が増大する^{35,36)}。また、前斜走線維の制動の割合も肘屈曲位で増大する^{35,36)}。さらに、20～120°において前斜走線維が外反制動に貢献している¹⁶⁾。以上より、屈曲動作を繰り返すことで内側側副靭帯が伸張され、その結果として損傷が起これと考えられている。

尺骨神経障害は尺骨神経領域に障害が生じる病態を呈する。Byl ら³⁷⁾によると、肘屈曲角度が増加することにより尺骨神経の伸張率が増大すると述べられている。また、野球における投球動作の研究によるとワインドアップ期から加速期までの間(このとき肘関節は屈曲位)、肘部管で尺骨神経が伸張される³⁸⁾と報告している。以上から、肘屈曲位において尺骨神経が繰り返し伸張されることにより障害が引き起こされと考えられている。

内側上顆炎は前腕屈筋群の上腕骨内側上顆付着部での炎症をさす。特徴的な症状として、屈筋の収縮時痛がある。肘関節に対する外反ストレスは尺側手根屈筋によって制動される^{17,31,32)}。また、野球における投球動作の研究によると加速期直前(最も外反ストレスが加わる区間)で屈筋・回内筋筋活動が最大となった³⁴⁾と述べられている。以上から、外反ストレスが加わるような動作を繰り返すことで、それを制御するために尺側手根屈筋の使いすぎが引き起こされ、内側上顆炎が発生すると考えられている。

離断性骨軟骨炎は上腕骨小頭が離断する疾患であり、特徴的な症状として、肘の外側部痛や伸展制限がある。これは橈骨頭と上腕骨小頭が接触することにより発生すると考えられており、前腕回外位よりも回内位のほうが腕橈関節の接触圧は大きい²⁹⁾。そのため、過度な回内運動によって腕橈関節の接触圧が高まることで、離断性骨軟骨炎発生の一要因になるといわれている。

以上が肘関節障害の発生原因であるが、背負投は自身の肘関節を屈曲させながら相手の

腋窩周辺に肘関節を入れていく動作であるため、これらの障害の発生要因になりうる動作であるといえる。このことから、肘関節障害予防のためには背負投を控えることが一番の予防策だが、競技選手にとって背負投は代表的な得意技であり、柔道を象徴とする技であるため背負投を控えることは困難である。そこで本研究は、柔道で唯一体に身に着けており、指導者の力量に左右されない柔道着に着目した。

本研究では、サイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕の回旋位と筋活動を比較し、その結果から練習方法の考察を試みることを目的とし、研究を進めた。

第 2 章においてはサイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕の回旋位を Model-Based Image-Matching 法を用いて比較検討を行った。その結果、小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、大きい道着と比較して前腕は回内方向へ変位した。回内変位量が増加すれば腕橈関節の接触圧は高まる可能性がある。また、肘関節は前腕の過度な回内が起こる動作の繰り返しを行うことにより、肘関節の弛緩が増加し、慢性的に過剰な負荷を受けると示唆されているため、大きい道着を着用させて背負投を行わせたほうが肘関節への負荷を軽減できる可能性があると考えられた。

第 3 章においてはサイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕筋活動の比較検討を行った。その結果、小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、大きい道着と比較して前腕の筋活動は有意に大きかった。筋活動が大きければそれだけ筋に負荷がかかっているといえるため、その負荷が繰り返し筋に加わることで使いすぎによる慢性障害を引き起こされると推察した。

以上より、大きい道着を受に着用させて背負投を行うことが肘関節に対する負荷を軽減できると考えられる。このことから、背負投を指導する際は指導書に書かれている通り、つり手を巻き込むことの徹底、つまり前腕回外位にすることと、指導者が柔道着と胸部と

の空間が十分できるような柔道着で選手たちに稽古を行わせることが，肘関節障害予防の一助になると考えられる．

第 5 章

結論

本研究はサイズの大きさが違う 2 種類の柔道着を受に着用させて背負投を行い、そのときのつり手における前腕の回旋位と筋活動を比較し、その結果から背負投における指導法の考察を試みることを目的とし、以下の結果を得た。

- ① 小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、前腕の回旋は大きい道着と比較して回内方向へ変位した。
- ② 小さい道着を受に着用させて背負投を行った場合、前腕の筋活動は大きい道着と比較して有意に大きかった。

これらより、大きい道着を着用させて背負投を行うことで、肘関節に対する負荷を軽減できると示唆された。そのため、指導者が柔道着と胸部との空間が十分できるような柔道着で選手たちに稽古を行わせることが、肘関節障害予防の一助になると考えられる。

第 6 章

参考文献

- 1) 奥脇透. 学校管理下におけるスポーツ外傷発生調査. 平成 22 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究. 2003; 2: 5-11
- 2) 福林徹. スポーツ安全保険におけるスポーツ外傷発生調査. 平成 22 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究. 2003; 2: 12-26
- 3) 西村典子, 中村豊, 有賀誠司, 麻生敬, 恩田哲也, 宮崎誠司. スポーツ選手の傷害調査. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 2003; 15: 60-66.
- 4) 平野嘉彦, 堀安高綾, 村松常司, 藤井省太, 西田孝宏, 米田實, 村松成司. 柔道選手の傷害に関する研究—活動内容・部位・発生状況などからみた傾向—. 柔道科学研究. 1995; 3: 23-28
- 5) 恩田哲也, 有賀誠司, 寺尾保, 中村豊, 有賀誠司, 佐藤宣践, 岩川武久. 大学柔道選手における傷害発生の実態調査. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 1999; 11: 44 - 51
- 6) 宮崎誠司. 柔道選手における上肢の損傷と対策. 臨床スポーツ医学. 2001-3; 19-3: 241-245
- 7) 宮崎誠司, 中村豊, 佐藤宣践, 白瀬英春, 山下泰裕, 中西英敏, 恩田哲也, 有賀誠司. 大学柔道選手の膝関節傷害の 11 年間の推移について. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 2001; 14: 58-62
- 8) Koshida S, Deguchi T, Miyashita K, Iwai K, Urabe Y. The common mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in judo: a retrospective analysis. Br J Sports Med. 2010; 44: 856-861
- 9) 戸松秦介, 中村豊, 岡義範, 今井望. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 1991; 3: 79-82
- 10) 山路修身, 今井望, 有馬亨, 宮崎誠司. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 1992; 4: 46-51,
- 11) 紙谷武, 柏口新二, 三島真爾, 岡田知佐子, 高松晃, 松田達男, 大谷俊太郎. 柔道における変形性肘関節症の特徴—CT 画像による検討—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2010; 18-4: S175

- 12) 小出清一, 福林徹, 河野一郎. スポーツ指導者のためのスポーツ医学. 南江堂. 2000: 61-65
- 13) 岩崎倫政. 肘関節靱帯の解剖とバイオメカニクス. 臨床スポーツ医学. 2011; 28-5: 493-495
- 14) Safran MR, McGarry MH, Shin S, Han S, Lee TQ. Effects of elbow flexion and forearm rotation on valgus laxity of the elbow. J Bone Joint Surg Am. 2005; 87: 2065-74
- 15) Mihata T, Safran MR, McGarry MH, Abe M, Lee TQ. Elbow valgus laxity may result in an overestimation of apparent shoulder external rotation during physical examination. Am J Sports Med. 2008; 36: 978-82
- 16) Søjbjerg JO, Ovesen J, Nielsen S. Experimental elbow instability after transaction of the medial collateral ligament. Clin Orthop Relat Res. 1987; 218: 186-90
- 17) Udall JH, Fitzparrick MJ, McGarry MH, Leba TB, LeeTQ. Effects of flexor-pronator muscle loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched, and resected medial ulnar collateral ligament. J shoulder Elbow Surg. 2009; 18: 773-8
- 18) 財団法人日本体育協会. 公認アスレチックトレーナー専門科目テキスト第 2 巻運動器の解剖と機能. 文光堂. 2007: 69-80
- 19) 紙谷武, 柏口新二, 三島真爾, 岡田知佐子, 高松晃, 松田達男, 大谷俊太郎. 成長期柔道選手における肘関節検診. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2011; 19-2: 296-300
- 20) 岡野功, 佐藤哲也. バイタル柔道投技編. 日貿出版社. 1972: 94-95
- 21) 工藤一三. 連続分解写真による柔道の技法投技編. 株式会社日貿出版社. 1968: 58-59
- 22) 佐藤宣践. 外国人柔道修行者の実態に関する研究(その 3). 日本武道学会第 24 回大会. 1991: 35

- 23) 早川繊維工業株式会社.全日本柔道連盟試合服装規定参考資料
- 24) Pomianowski S, O'Driscoll SW, Neale PG, Park MJ, Morrey BF, An KN. The effect of forearm rotation on laxity and stability of the elbow. *Clin Biomech.* 2001; 16: 401-407
- 25) Krosshug T, Bahr R. A model-based image-matching technique for three-dimensional reconstruction of human motion from uncalibrated video sequences. *J Biomech.* 2005; 38: 919-929
- 26) Mok KM, Fong DT, Krosshug T, Hung AS, Yung PS, Chan K. An ankle joint model-based image-matching motion analysis technique. *Gait Posture.* 2011; 34: 71-5
- 27) Reinschmidt C, van Den Bogert AJ, Murphy N, Lundberg A, Nigg BM. Tibiocalcaneal motion during running, measured with external and bone markers. *Clin Biomech.* 1997; 12: 8-16
- 28) Barrentine SW, Matsuo T, Escamilla RF, Fleisig GS, Andrews JR. Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *J Appl Biomech.* 1998; 14: 24-39.
- 29) Morrey BF, An KN, Stormont TJ. Force transmission through the radial head. *J Bone Joint Surg Am.* 1988; 70: 250-6.
- 30) Mihata T, Safran MR, McGarry MH, Abe M, Lee TQ. Elbow valgus laxity may result in an overestimation of apparent shoulder external rotation during physical examination. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 978-82
- 31) Park MC, Ahmad CS. Dynamic contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86-A(10): 2268-74
- 32) Lin F, Kohli N, Perlmutter S, Lim D, Nuber GW, Makhsous M. Muscle contribution

to elbow joint valgus stability J Shoulder Elbow Surg 2007; 16: 795-802

- 33) Aldo O. Perotto. 筋電図のための解剖ガイド四肢・体幹. 西村書店. 1985: 48-49
- 34) Werner SL, Fleisig GS, Dillman CJ, Andrews JR. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. J Orthop Sports Phys Ther. 1993; 17: 274-8
- 35) Morrey BF, An KN. Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. Am J Sports Med. 1983; 11: 315-9.
- 36) Hotchikiss RN, Weiland AJ. Valgus stability of the elbow. J Orthop Res. 1987; 5: 372-7
- 37) Byl C, Puttlitz C, Byl N, Lotz J, Topp K. Strain in the median and ulnar nerves during upper-extremity positioning. J Hand Surg. 2002; 27: 1032-40
- 38) Aoki M, Takasaki H, Muraki T, Uchiyama E, Murakami G, Yamashita T. Strain on the ulnar nerve at the elbow and wrist during throwing motion. J Bone Joint Surg Am. 2005; 87: 2508-14
- 39) Diab M, Poston JM, Huber P, Tencer AF. The biomechanical effect of radial shortening on the radiocapitellar articulation. J Bone Joint Surg Br. 2005; 87: 879-83.

謝辞

本論文作成にあたり，多大なるご指導およびご高閲を賜りました福林徹教授には心より感謝いたします．また，土屋純教授，金岡恒治准教授におかれましてもご指導いただき，誠にありがとうございます．

また，本実験実施にあたり，多くのアドバイスを頂きました早稲田大学福林研究室・笹木正悟さん，Oslo Sports Trauma Research Center・Tron Krosshug 氏におかれましても，ご指導いただき誠にありがとうございます．

本実験に参加して頂いた対象者の皆様，福林研究室の皆様に心より御礼申し上げます．