

## 前方へ回転移動中の竹刀は撓むのか？:特定の胴張型での検証.

與谷謙吾, 前阪茂樹

鹿屋体育大学

キーワード: 剣道, ストレインゲージセンサ, 撓み量, 胴張型竹刀

### 【要旨】

本研究は剣道で使用される特定の胴張型の竹刀を対象に, 測定位置が異なる 2 つのストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)を用いて, 打突以前の前方へ回転移動中の撓みについて調査した. その結果, 実験 1 において, 竹刀は回転移動開始から早期に変化を示し, 回転移動方向と逆方向へ撓むことが明らかとなった. 一方, 竹刀の撓みの程度(ピーク)については, 各センサ間で違いが観察された. 実験 1 の結果を踏まえ, 実験 2 においては, その範囲を回帰式を用いて算出したところ, A33.5 が 0.3-0.5cm, B59.5 が 0.4-0.7cm となり, いずれも 1cm 未満の範囲であるものの, 計測位置によって撓み量が異なることが示唆された.

スポーツパフォーマンス研究, 11, 404-412, 2019 年, 受付日: 2019 年 3 月 11 日, 受理日: 2019 年 9 月 18 日

責任著者: 與谷謙吾 鹿屋体育大学 891-2393 鹿屋市白水町 1 番地 yotani@nifs-k.ac.jp

\*\*\*\*

## **Does the bamboo sword (shinai) used in kendo deflect during a forward swing? Investigation using a dobari type of shinai**

Kengo Yotani, Shigeki Maesaka

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: kendo, strain gauge sensor, amount of deflection, bamboo sword (shinai),  
*dobari*-type of shinai,

### **[Abstract]**

The present study examined the deflection of the dobari-type of bamboo sword (shinai) used in kendo. The center of gravity of dobari-type shinai is located more toward the grip side, compared to other shinais. Because of this, they are easier to handle and feel lighter to swing. The deflection of the shinai during a forward swing was measured using two strain gauge sensors (A33.5 and B59.5). The sensors were placed 33.5 cm and 59.5 cm, respectively, from the tip of the shinai. In Experiment

1, the shinai was deflected in the opposite direction to the swing. Differences in the amount of deflection were found when the sensors' measurements were compared (A33.5<B59.5). In Experiment 2, the amount of deflection was calculated. At A33.5, it ranged from 0.3-0.5 cm, whereas at B59.5, it ranged from 0.4-0.7 cm. These results suggest that when the shinai is deflected during a forward swing, the amount of deflection observed depends on the location of the measuring point.

## I. 緒言

剣道は「気剣体一致」をもとに、時々刻々と変化する相手から一本(有効打突)を得ることが求められる競技であり、これまでの剣道に関する調査は、その現場で主体となるヒトへ焦点が当てられてきた(橋爪ほか, 1989; Koshida et al., 2011; 倉田ほか, 1968; 百鬼ほか, 1977; 小野ほか, 1968-1969; 大矢ほか, 1996; 竹中ほか, 2016; 坪井, 1970; 與谷ほか, 2017). 一方, 有効打突の獲得といった場面で考慮した際, それはヒトの操作によって竹刀(モノ)が最終的に相手へ届くことであり, モノの特性に対する認識の有無によって少なからず勝敗へも影響すると考えられる. 例として, 陸上競技のやりに関する調査において, 競技成績はやりの特性(重心や素材)によって変わることが報告されている(前田, 2014). つまり, この事例はパフォーマンス発揮においてヒトのみならずモノの重要性をも指示するとともに, 全ての競技に共通する一例であると考えられる. その上で, 剣道においても竹刀の特性を調査することは, 剣道競技者が合理的に有効打突を得るための知見構築に資するテーマであると思われる. 同時に, それは従来の調査方向(ヒト)とは異なる新たな視点(モノ)から指導現場へフィードバックを行うための意義ある取り組みと言えよう.

その竹刀において, 競技現場では相手選手へ打突した瞬間, 視覚的に捉えられない期間(短時間)で曲り(撓み)が生じている様子を静止画像によって観察することができる(剣道一本集, URL 参照). 即ち, 竹刀は比較的, 弾性的特性を有していると考えられる一方で, その撓みが打突以前でも生じている現象なのかは明らかではない. 主として, 剣道の打突は, 竹刀を上方から下方へ振り下ろすことによって実施されるため, 竹刀移動の一連の経過のなかで前方へ回転移動中の竹刀については未知である. 特に, 剣道の試合において, 競技レベルが拮抗する両選手の相打ちの状況では, 竹刀が相手へ届いていたか否かの僅かな時間差で勝敗が決する. 仮に, 竹刀が回転移動中も撓みを呈す場合, その撓みの状態や程度に応じて竹刀と打突部位との時間的距離は影響を受けられるため, 競技者が逸早く打突する上での配慮として撓みに関する調査が仕掛け(攻め)のタイミング等を計る取組みに活かされてくるであろう. しかし, これまでの竹刀に関する調査は大変希少であり(坂井ほか, 2016a; 2018b; 2018c), 上記の撓みに関する現象は捉えられていない.

そこで本研究は, 打突以前の前方へ回転移動中の竹刀が撓むのかを明らかにすることを目的とした. その際, 実践を想定した調査では, 左右上肢, あるいは体幹・下肢等の多数の要素が竹刀へ影響する可能性が考えられるため, 本研究では単純な実験モデルから着手することとした. さらに, 本研究は, 前述の通り, 竹刀が有する弾性的特性を考慮して前方へ回転移動中も撓みが生じるという仮説をもとに, 先駆け調査として特定の竹刀を用いて撓みに関する評価をスレインゲージセンサを主軸に行った.

## II. 実験方法と結果

### 1-(1). 前方へ回転移動中の竹刀の撓みに関する調査 (実験 1)

実験材料は, 剣道の試合で使用される竹刀の中で胴張型(長さ120cm, 重さ522g, 颯, 台湾産桂竹, 西日本武道具, 未使用)を用いた. 竹刀はヒトが右手で保持する位置(竹刀下端から 30cm)を固定台へ取り付け, その位置から最下部(ヒトが左手で保持する位置)を後方へ引くことで前方に設置された打込み台へ竹刀が 90° の範囲で回転移動して打撃可能な状態で調査を行った(図 1).

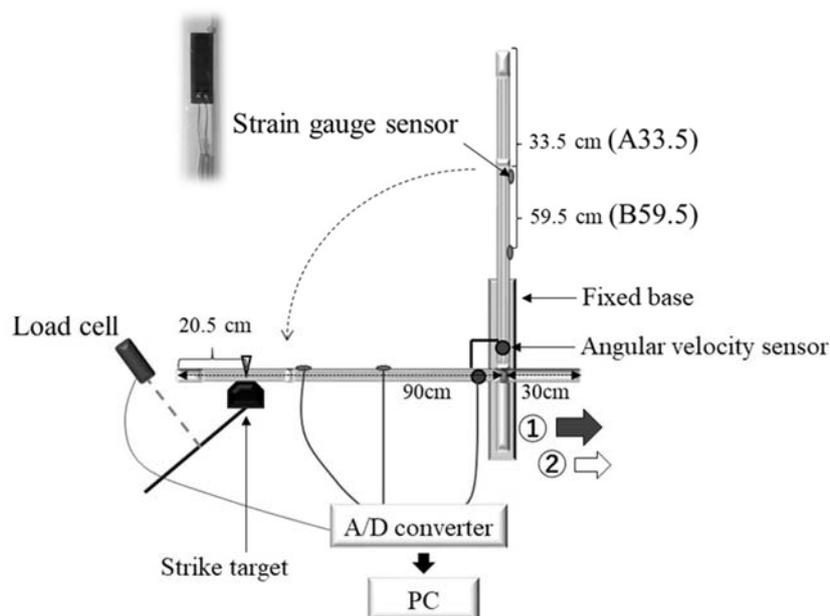


図 1. 実験セットアップの概要. A33.5: 竹刀先端から 33.5cm 位置のストレインゲージセンサ、B59.5: 竹刀先端から 59.5cm 位置のストレインゲージセンサ. (以下、同一表記) ①: 高速、②: 低速.

前方へ回転移動中の竹刀の撓みの有無を評価するため、竹の範囲の長さを概ね三等分し、打撃範囲(竹刀先端から中結)を除いて、竹刀先端から 33.5cm (A33.5)と 59.5cm (B59.5)の位置、かつ竹刀の弦側の竹表面にストレインゲージセンサ(特注, 4Assist, Japan)を貼り付けた. さらに、竹刀の移動開始を同定するために竹刀の第三節(固定軸付近)の位置へ角速度センサ(DL-120, 4Assist, Japan)を取り付けた. また、打撃時点を同定するため、打込み台に連結するチェーンにはロードセル(model 1269-F, Takei, Niigata, Japan)を取り付け、竹刀の打撃部位が竹刀先端から 20.5cm の位置(竹刀における物打の中心)で台を設置した.

竹刀は特定の男性検者によって操作され、可能な限り一定速度で回転移動させることを条件に事前練習を踏まえ、固定台が竹刀の移動や打撃時の衝撃に耐え得る可能な範囲で速く竹刀を移動させて打撃する試行を 5 回(①)、それよりも遅い打撃試行を 5 回(②)行わせた(図 1). 全ての試行で得られた電気信号は、オンラインでアナログ/デジタル(A/D)変換器(16bit, PowerLab, ADInstruments, Japan)を介してパーソナルコンピューター(PC)へサンプリング周波数 2kHz で取り込まれ、波形表示解析ソフト(Chart6, ADInstruments, Japan)を用いて分析に供した. 尚、各試行における竹刀の移動時間や角速度( $90^\circ$  / 移動時間)のパラメータは表 1 の通りとなり、以後の説明に関しては回転移動の区分として①を「高速」、②を「低速」の表記で統一し、竹刀の回転移動中の撓みについて検討を行った.

表 1. 竹刀の移動開始から打突までの 5 試行分の回転移動時間、並びに回転角速度の平均±標準偏差

	回転移動時間 (msec)	回転角速度 (deg/sec)
遅い打突 (低速)	435.7 ± 16.1	206.8 ± 7.6
速い打突 (高速)	360.0 ± 38.0	252.3 ± 26.9

1-(2). 結果

図 2 は竹刀が前方へ回転移動中の各ストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)の記録例を示す. 各センサにおける正電位への変化は, 竹刀の撓みが竹刀の弦側(センサを取り付けた方)へ変化していることを反映し, 本実験によって竹刀が移動方向と逆側へ撓みを生じさせていることが明らかとなった. 各センサにおける撓み開始時点は, A33.5 が約 25.7 msec (低速: 34.6 msec, 高速: 16.7 msec), B59.5 が約 6 msec (低速: 6.2 msec, 高速: 5.8 msec)であり, 各速度ともに A33.5 よりも B59.5 の方が先行する傾向がみられた. その後, 各センサは正電位でピークを示し, 回転移動以前の電位を基準にピークとの差分値 ( $\Delta$ )を算出した結果, 低速よりも高速で高い傾向を示した(図 3).

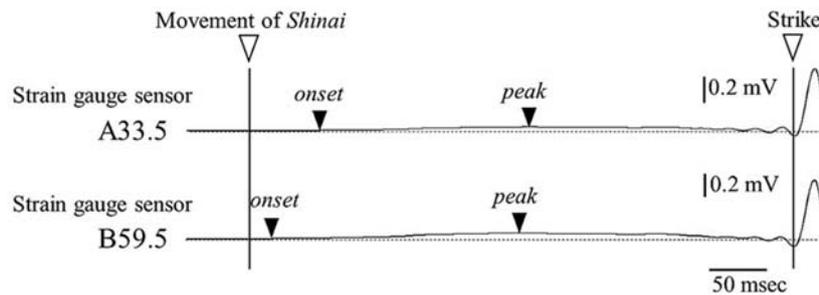


図 2. 竹刀が前方へ回転移動中の各ストレインゲージセンサの記録例.  
Onset: 各センサが反応開始した時点、Peak: 各センサの回転移動中の電位ピーク時点.

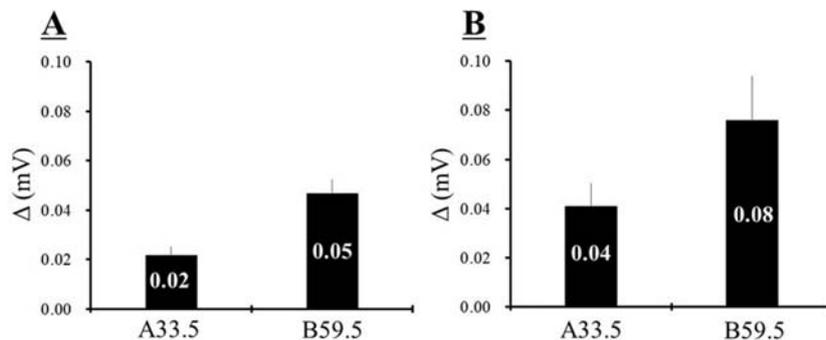


図 3. 低速(A)、並びに高速(B)における各ストレインゲージセンサのピーク値.

2-(1). 竹刀の撓み量(範囲)の推定 (実験 2)

実験 1 で使用した竹刀を用い, ストレインゲージセンサが同位置に取り付けられた状態で, 竹刀の弦が下向きの状態で床と水平になるようヒトが両手で保持する位置を台へ固定した(図 4A).

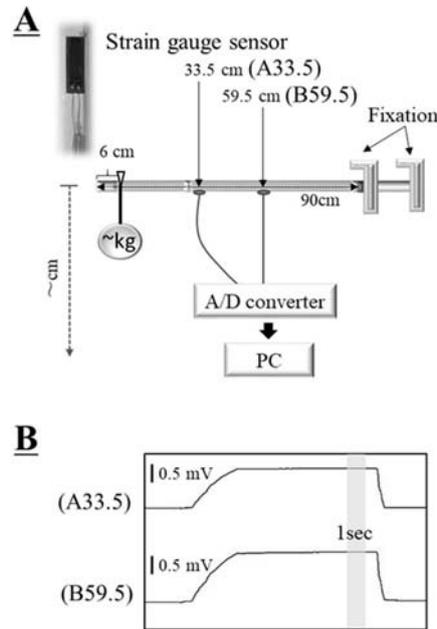


図 4. (A)実験セットアップ、(B)各ストレインゲージセンサの記録例.

本実験では、実験 1 において回転移動による影響が固定軸から竹刀先端までの範囲で撓みが生じている可能性を考慮し、竹刀先端側へ重りをかけ、竹刀の振れ(動揺)が安定した状態から定規を用いて検者の目視にて水平位置(0)から下降(撓み)した分の範囲を 1 ミリ単位で計測した. 重りは 0.5, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0kg を使い、軽い重りから漸増して荷重を行った. その際、荷重中の各ストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)の電気信号は、オンラインで A/D 変換器 (16bit, PowerLab, ADInstruments, Japan)を介して PC へサンプリング周波数 2kHz で取り込まれ、波形表示解析ソフト(Chart6, ADInstruments, Japan)を用いて各センサが安定した 1 sec の平均電位を計測した(図 4B). これらの計測項目を用いて各パラメータ間で関連性を調査し、得られた回帰式によって図 3 で明らかになった前方へ回転移動中の竹刀の撓み量(範囲)を推定した.

## 2-(2). 結果

本実験では、重りの荷重に伴って竹刀が弦側へ撓むため、全てのストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)で正電位への変化を示した(図 4B). さらに、各センサの電位は荷重に伴って直線的に上昇した. また、荷重なし(0kg)の電位(0mV)を基準に全ての荷重中の電位を標準化した結果、A33.5、並びに B59.5 において、各荷重(kg)とその際の電位(mV)との関連性は正方向への直線関係を示し、決定係数 ( $R^2$ )は 0.9943-0.9966 であった(図 5A). 一方、荷重に伴う竹刀の撓みの範囲(cm)については、前者と同様に両者間で直線的な関係がみられ、 $R^2$  が 0.9941 を示した(図 5B).

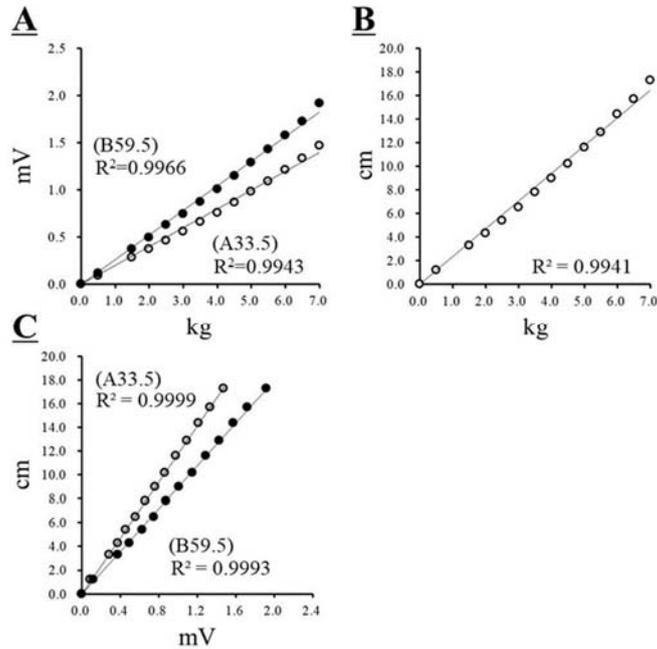


図 5. (A)各重り(kg)での荷重と各ストレインゲージセンサの平均電位(mV)との関連性. (B)各荷重と竹刀が下降(撓み)した分の長さ(cm)との関連性. (C)各平均電位と撓みとの関連性.

以上の傾向をもとに、いずれも各荷重に応じて直線的な変化を示すことを考慮し、各センサ(A33.5, B59.5)の電位(mV)と撓み分の範囲(cm)との関連性について調査した. その結果,  $R^2$  が 0.9993-0.9999 の関係を示し(図 5C), 各直線において以下の回帰式を得た.

- A33.5 の電位(mV)と範囲(cm):  $y = 11.813 x$
- B59.5 の電位(mV)と範囲(cm):  $y = 9.0155 x$

これらの式を用い、図 3 で明らかになった撓みの電位( $\Delta$  mV)を  $x$  へ代入して  $y$  を算出したところ、低速では A33.5 が 0.3cm, B59.5 が 0.4cm, 高速では A33.5 が 0.5cm, B59.5 が 0.7cm となり(図 6), いずれも A33.5 よりも B59.5 で大きな撓みを生じさせていることが明らかとなった.

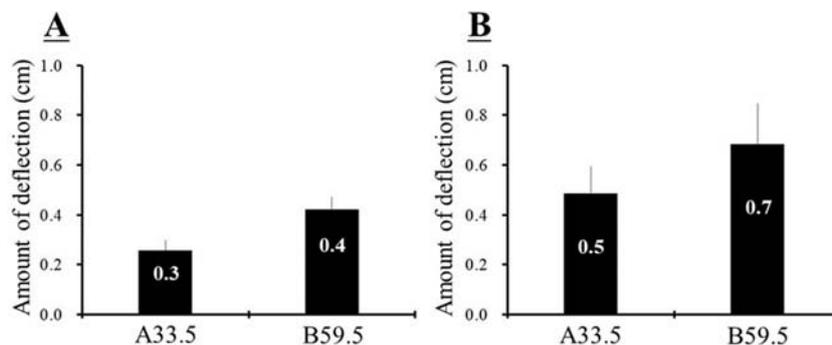


図 6. 図 3 で得られた撓み量の推定.

### III. 考察

本研究では剣道における打突以前の前方へ回転移動中の竹刀が撓むのかを胴張型を対象にストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)を用いて調査し、主要な2つの知見を得た。各センサは竹刀の回転移動開始から早期に変化し、回転移動方向と逆へ撓むことが示唆された。また、各試行(低速, 高速)ともに、撓み量はA33.5よりもB59.5が大きいことが明らかとなった。

ニュートンの運動方程式(第2法則)において、物体は外部から力が働くとその力の向きと大きさに比例した速度変化を生じさせる。一方、力が作用する以前の物体は慣性力によって同じ運動状態を保ち続けようとする。坂井ほか(2016a)は2棒連結モデルを例とし、棒1と棒2の連結部を稼働(回転)ができる状態で棒1を時計回りに加速させると、棒2の連結していない先端は後方(反時計回り)へ加速することを理論的に示唆している。これらの現象はゴルフのダウンスイング中のクラブでも観察され、スイング方向と逆方向へ撓むことが明らかとなっている(平野・左海, 1992)。竹刀の素材は一般の木材よりも強い耐久性を備えた変形しやすい竹であることを考慮すると(高橋ほか, 2010)、本研究における前方へ回転移動中の竹刀の後方への撓みは一般的な現象と考えられた。

その一方で、本研究の実験モデルは、竹刀を操作する位置を力点、固定軸を支点、固定軸から竹刀先端までを作用点と捉えることができる。その際、力点での操作(力)が一定と仮定するならば、各センサは支点からの距離に依存してテコの原理における逆比(反比例)の関係で影響を受ける。例えば、支点から力点までの距離は30cm、支点から各センサまでの距離が56.5cm(A33.5)と30.5cm(B59.5)のなかで力を1とする場合、A33.5の位置( $A:1=30:56.5$ )へ約0.53、B59.5の位置( $B:1=30:30.5$ )へ約0.98の負荷がかかり、各センサ間で約1.8倍の違いが生じる。同様に、本研究での各センサ間で撓み量の違い(A33.5 < B59.5)には約1.5倍と近似した差を示し、固定軸(支点)を中心に竹刀操作(力点)による釣合いの影響が撓み量に反映されたものと推察される。しかし、これらは剛体的な概念であることに加え、本研究が竹刀を構成する4ピースの竹のうち1ピース分での評価となっているため推測の域を出ない。また、本研究で用いた胴張型は、右手で保持する上部の張り節が竹刀全体のなかで最も太い形状が特徴的であり(KENPRO, URL 参照)、今後、それよりも張り節が細い直刀型といった他の竹刀形状との比較、評価が課題となる。さらに、竹の種類(真竹や桂竹等)によっても結果が変わると思われるため、ヒトへフィードバックするための段階的なデータ構築が必要になると考えられた。

### IV. 結論

本研究では打突以前の前方へ回転移動中の竹刀(特定の胴張型)が撓むのかをストレインゲージセンサ(A33.5, B59.5)を主軸に調査した。その結果、(実験1)竹刀は回転移動開始から早期に変化し、その移動方向と逆へ撓むことが明らかとなった。また、(実験2)撓み量に関しては各センサの計測位置によって異なる(A33.5 < B59.5)ことが示唆された。

### 文献

- ・ 橋爪和夫, 勝木豊成, 佐々木弘 (1989) 剣道の発声に関する研究—気剣体の一致を中心として—。武道学研究. 22: 23-32.
- ・ 平野祐一, 左海伸夫 (1992) 打つ科学。大修館書店。東京: 102-103.

- ・ 剣道一本集:  
<https://search.yahoo.co.jp/image/search?rkf=2&ei=UTF-8&p=%E5%89%A3%E9%81%93+%E4%B8%80%E6%9C%AC%E9%9B%86>
- ・ KENPRO: <https://www.ken-pro.jp/product-shinai-sae.html>
- ・ Koshida S, Matsuda T, Kawada K (2011) Lower extremity biomechanics during kendo strike-thrust motion in healthy kendo athletes. J Sports Med Phys Fitness. 51: 357-365.
- ・ 倉田博, 柳本昭人, 小野三嗣 (1968) 剣道選手における神経筋協応能の特徴について. 体力科学. 17: 132-133.
- ・ 前田正登 (2014) 競技用ヤリの静特性に関する評価研究: 複合素材ヤリの曲げ剛性に着目して. 身体行動研究. 3: 1-8.
- ・ 百鬼史訓, 藤田紀盛, 宮下節, 佐藤成明 (1977) 剣道における打撃動作中の足底力に関する研究—踏み込み動作について—. 武道学研究. 10: 113-114.
- ・ 小野三嗣, 尾谷良行, 高橋泰光, 坪田修三, 倉田博 (1968a) 剣道における神経筋協応能について(第1報). 体力科学. 17: 1-13.
- ・ 小野三嗣, 柳本昭人, 山下富士男, 倉田博 (1969b) 剣道選手における神経筋協応能について(第2報). 体力科学. 18: 72-82.
- ・ 大矢稔, 百鬼史訓, 横山直也, 山神眞一 (1996) 剣道の正面打撃動作における打撃目標の高低差と打撃力について. 武道学研究. 29: 27-35.
- ・ 坂井伸之, 牧琢弥, 竹田隆一 (2016a) 武道・スポーツの基礎となる棒の力学: 特に慣性力の重要性. 武道学研究. 49: 1-13.
- ・ 坂井伸之, 竹田隆一, 井上あみ, 柴田一浩 (2018b) 実践的面打ちを習得するために基本打ちの練習は必要か?. 武道学研究. 51: 1-9.
- ・ 坂井伸之, 牧琢弥, 竹田隆一, 柴田一浩 (2018c): 武道・スポーツの基礎となる棒の力学II: 多段階ブレーキ効果. 武道学研究. 51: 11-20.
- ・ 高橋勤子, 福田徳生, 山口知宏, 門川泰子 (2010) 竹繊維で強化した木質成形体の機械的特性. 愛知県産業技術研究所研究報告. 9: 14-17.
- ・ 竹中健太郎, 前田明, 下川美佳, 前阪茂樹 (2016) 剣道鍛錬者の打撃から踏み込みまでの時間について. スポーツパフォーマンス研究. 8: 438-448.
- ・ 坪井三郎 (1970) 剣道に関する動的姿勢の研究(面打撃の動作分析・速度・加速度). 武道学研究. 2: 47-51.
- ・ 與谷謙吾, 泉富葵, 前阪茂樹 (2017) 筋運動感覚残効を伴う重い木刀での素振りが剣道の打突パフォーマンスに与える影響. 学術研究紀要. 55: 67-73.

## 謝辞

本研究は、鹿屋体育大学教育研究経費の支援、並びに幸尾勇利氏の御協力によって行われた。記して謝意を表する。