

剣道における踏み込み音の客観的検知の可能性 — 踏み込み方により踏み込み音の違いを客観的検知できるか —

下川美佳¹⁾, 金高宏文¹⁾, 竹中健太郎¹⁾, 津野天兵²⁾, 前阪茂樹¹⁾, 前田明³⁾

¹⁾鹿屋体育大学 スポーツ・武道実践科学系

²⁾鹿屋体育大学体育学研究科

³⁾鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系

キーワード: 剣道、踏み込み方、踏み込み音、周波数帯

【要 旨】

本研究では、剣道における踏み込み音の研究を進める前提として、踏み込み方により踏み込み音の違いを客観的に検知できるかについて実験的に検討することを目的とした。そのため、実践現場で見受けられる4種の踏み込み方による音の違いに着目し、ヒトの音に対する可聴領域(20Hz から 20000Hz までの周波数帯域)内の200Hz から 4900Hz を対象に踏み込み音について検討した。その結果、踏み込み方によって踏み込み音の振幅スペクトル量は、異なる周波数帯を有することが明らかとなった。

以上のことから、踏み込み方により踏み込み音の違いは、客観的に検知できる可能性があると考えられた。

スポーツパフォーマンス研究, 9, 359-368, 2017 年, 受付日: 2017 年 4 月 28 日, 受理日: 2017 年 8 月 21 日

責任著者: 下川美佳 鹿屋市白水1番地 鹿屋体育大学 shimo@nifs-k.ac.jp

* * * *

Objective identification of stepping-in sound in kendo

Mika Shimokawa, Hirofumi Kintaka, Kentaro Takenaka, Tenpei Tsuno,

Shigeki Maesaka, Akira Maeda

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: kendo, stepping-in methods, stepping-in sounds, frequency range

【Abstract】

The present study was an experimental examination of the possibility of identifying the stepping-in sound in kendo in relation to various stepping-in techniques, in preparation for a study of kendo stepping-in sounds. The present study analyzed the sounds associated with 4 stepping-in methods common in the practice of kendo. The sounds tested were in the frequency

range between 200 Hz and 4,900 Hz which are in the audible range, out of the full range of sound, which is between 20 Hz and 20,000 Hz. The results confirmed that the frequency spectrum of the stepping-in sounds differed, depending on the stepping-in method. This suggests that differences in the stepping-in sound can be identified objectively in relation to various stepping-in methods.

I. 研究の背景と目的

剣道は、竹刀を用いて相手と互いに有効打突を奪い合う競技である。有効打突とは、気剣体が一致した打突であり、充実した氣勢、適正な姿勢をもって、竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し、残心あるものとする(全日本剣道連盟、2013a)と定められている。気とは発声、剣とは打突、体とは踏み込み(全日本剣道連盟、1996)との解釈が一般的で、有効打突を評価する際には図1のように打突を眼で見て、耳で聞き判断することが求められている(全日本剣道連盟、2009b)。打突に伴う動作と音は、有効打突の判定において重要な観点と考えられる。これまでの有効打突に関する先行研究を概観すると、剣道の打突や打撃の動作解析によるものが多く、打突動作中に起こる音に関する報告は少ない。また、そのほとんどが発声や打撃音の評価によるものであった。

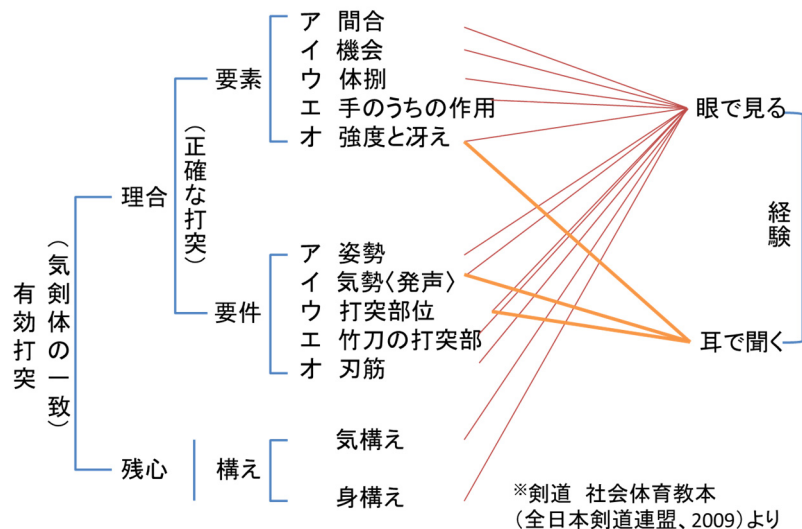


図1. 打突における評価の要素と要件

発声に関する報告では、有効打突時の発声がそれ以外の打突時の発声よりも長い(橋爪ほか、1990)ことや経験者は未経験者に比べ口の中で音の響きをより効率よく使い、発声継続時間が長い(東・益子、1990)ことなどが報告されている。

また、打撃音に関する報告では、打撃音と竹刀先端速度との関連性および打撃音と竹刀打撃部との関連性が認められている(今福ほか、1998)。さらに、打撃動作で打撃音をコントロールできる可能性についても報告されている(今福ほか、1998)。しかし、踏み込み音に注目した報告は見当たらなかった。

実践現場では、打突を実践する者や打突を受ける者以外の第三者である審判員などが、強度と冴えを判断する場合は、打突と踏み込みの音に頼らざるを得ないと推察される。その際、第一に打突音が重要視されと考えるが、踏み込み音が加わった複合した音を視聴し、判断していると推察する。つまり、踏み込み音の違いが少なからず打突の評価に影響を及ぼしていると予測される。したがって、踏み込み音に着目することは競技力向上の視点において有用であり、特に、細部に至る技術形態に目が向く者にとっては貴重な資料となり得ると推察する。また、審判員の判定は客観性と豊富な経験が必要とされる(全日本剣道連盟、2009a)ことから、踏み込み音に関する客観的な資料も必要とであると考える。しかしながら、踏み込み方による踏み込み音の客観的な違いは明らかとなっておらず、検知の可能性も不明である。

一方、図2に示した等ラウドネス曲線において、ヒトの音に対する聴覚系の基本特性として、可聴領域は 20Hz から 20000Hz であり、3000Hz から 4000Hz 近辺の音に対して感度が高いことが報告されている(塗木ほか、2004)。

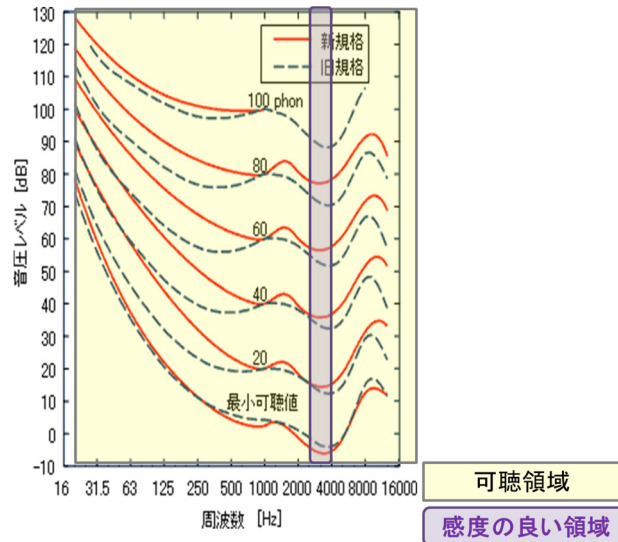


図2. 等ラウドネス曲線と人間の可聴領域の基本特性

そこで、本研究では実践現場で見受けられる4種の踏み込み方による音の違いに着目し、ヒトの音に対する可聴領域(20Hzから20000Hzまでの周波数帯域)内の200Hzから4900Hzを対象に踏み込み音の違いを客観的に検知できるかについて単一事例の実験により検討することとした。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は、健常なK大学男子剣道部員1名(剣道経験年数17年, 所有段位3段, 身長181cm, 体重71kg)とした。なお、剣道経験を有し、踏み込み条件を確実に実施し得る者を対象とした。

本研究は鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認(第3-54号)を得た上で、被検者には事前に本研究の趣旨を詳細に説明し、測定参加の同意を得た。なお、足に違和感が出た場合は、十分な休息確保や測定中止することとした。

2. 対象動作と試技数

対象動作は、右コテ打ちを想定した踏み込み動作とした。踏み込み方については、実践現場で見受けられる以下の4種類の踏み込み方(以後、踏み込み条件)の指示を与え、各10試行した。なお、対象動作である空間打突の打突部位は、打撃時の目線が上になるメン打ちよりも、下になるコテ打ちの方が踏み込み方を調整しやすいと被検者が回答したため選定した。

- (1) 踏み込み A: 被検者が通常行っている踏み込み [【動画1】](#)
- (2) 踏み込み B: 床にかかとから接地する踏み込み [【動画2】](#)
- (3) 踏み込み C: 足裏全体で床に接地する踏み込み [【動画3】](#)

(4) 踏み込み D: 床につま先から接地する踏み込み [【動画 4】](#)

3. 測定(計測音の収集および環境)

踏み込み音は、基準音発生装置(GWINSTEK 社製, AFG-2005、図 3)により 100Hz (73.4db)の基準音を発生させながら、ビデオカメラ(SONY 社製, HDR-CX675)を用いて収集した。



図3. 基準音発生装置

測定は、図 4 に示すように被検者の踏み込む位置は、おおよそ試合場の中心付近(×)に踏み込むよう指示した。ビデオカメラは、主審が試合開始時におおよそ立つ位置(全日本剣道連盟)である試合場の境界線から内側 1m の位置とした。また、踏み込み地点とビデオカメラの距離が全試技同じ 4m となるようにした。

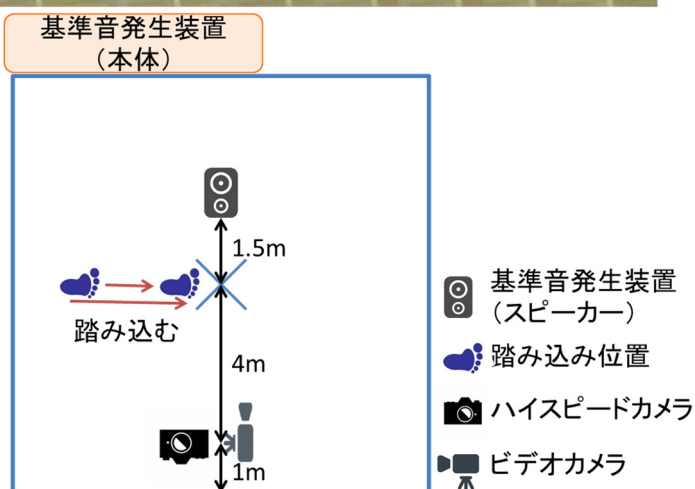


図 4. 測定環境

なお、指示を与えた踏み込み方(床に最初に接地する箇所)の確認は、ハイスピードカメラ(CASIO 社製, EXILIM EX-F100PRO)を用いて撮影速度 480fps(動画画質:HS480、画像サイズ:224×160)で撮影した。

4. 解析

踏み込み音の解析については、FFT モジュールのフーリエ変換アルゴリズム(National Instruments 社製, データ収集ソフトウェア DasyLab)を用いて、FFT フーリエ解析の振幅スペクトル(V_{rms})について検討した。音源からサンプリング周波数 20kHz、ブロックサイズ 32768 個、入力音圧 $\pm 10V$ でデータの収集を行った。踏み込み発生時を基点に 32768 データを FFT モジュールの振幅スペクトルと位相スペクトルを使用して、高調波ひずみアドオンモジュールへ送り込み、基準波の振幅スペクトルと位相スペクトルを定義された周波数間隔で計算した。なお、基準波に対応する振幅スペクトルと位相スペクトルを共に算出した。基準波が 100Hz での大きさを 100 V_{rms} とし、100Hz から 4900Hz 迄の周波数帯について、基準波の倍数周波数(100Hz 毎)の大きさを求めた。

各試技の踏み込み音は、200Hz から 4900Hz の周波数帯について 100Hz 毎に振幅スペクトルの平均値を求めた。踏み込み方と周波数との影響を検討するために、統計ソフト SPSSver.22 を用い、(踏み込み条件×周波数帯)の二元配置分散分析により有意差検定を行った。主効果が有意となった場合、多重比較には Bonferroni 法を用いて検定した。なお、有意水準は 5%未満とした。

III. 結果

図5は、200Hz から 4900Hz までの各踏み込み条件における周波数毎の踏み込み音の振幅スペクトル量(平均値)を示したものである。横軸は周波数(Hz)、縦軸は振幅スペクトル量(V_{rms})である。

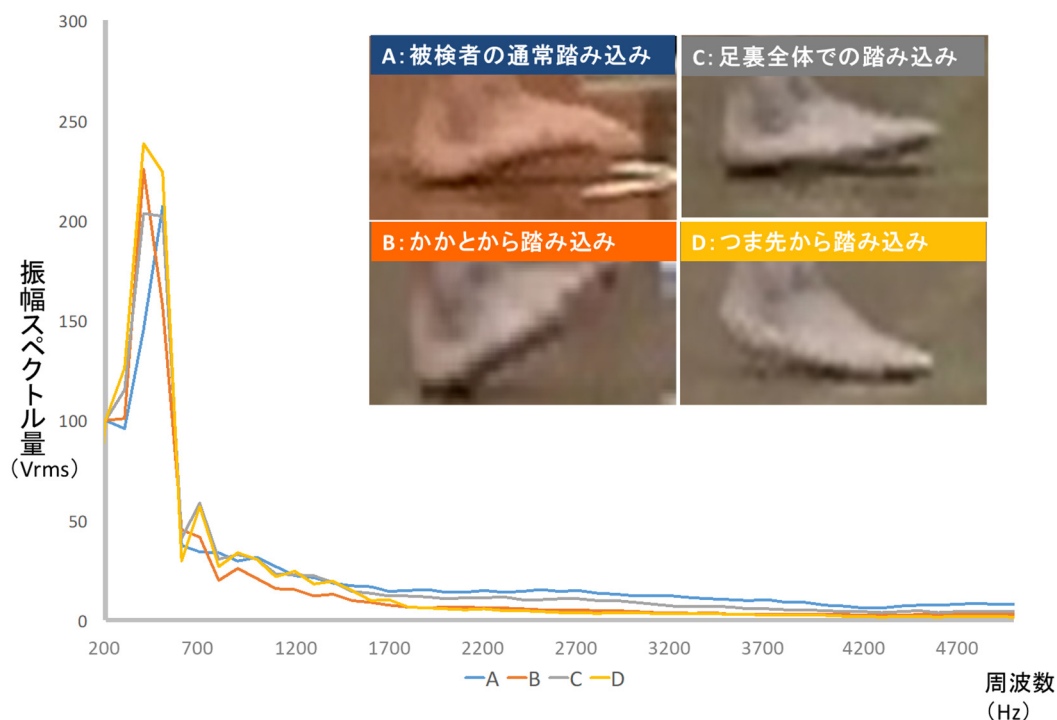


図5. 各踏み込み条件の周波数毎の振幅スペクトル量 (平均値)

表1. 踏み込み条件間の多重比較 (200Hz-4900Hz)

周波数	多重比較	周波数	多重比較
200Hz	D>C>B,A	2600Hz	A,C,B,D A>B,D C>D
300Hz	D>B>C>A	2700Hz	A,C,B,D A>B,D
400Hz	D>A,C>B	2800Hz	A,C,B,D A>B,D
500Hz	B,C,A>D B>A	2900Hz	A,C,B,D A>B,D
600Hz	C,D>B>A	3000Hz	A,C,B,D A>B,D
700Hz	A,C,D,B A>D,B C>B	3100Hz	A,C,B,D A>B,D
800Hz	D,C,A,B D>B	3200Hz	A,C,B,D A>B,D
900Hz	A,D,C>B	3300Hz	A,C,B,D A>B,D
1000Hz	A,C,D,B A,C>B	3400Hz	A,C,B,D A>B,D
1100Hz	D,C,A>B	3500Hz	A,C,B,D A>B,D
1200Hz	C,A,D,B C,A>B	3600Hz	A,C,B,D A>B,D
1300Hz	D,C,A,B	3700Hz	A,C,B,D
1400Hz	A,D,C,B A>B	3800Hz	A,C,B,D
1500Hz	A,C,D,B A>D,B	3900Hz	A,C,B,D
1600Hz	A,C,D,B A>B	4000Hz	A,C,B,D
1700Hz	A,C,D,B A>D,B	4100Hz	A,C,B,D
1800Hz	A,C,B,D A>B,D	4200Hz	A,C,B,D
1900Hz	A,C,B,D A>B,D	4300Hz	A,C,B,D
2000Hz	A,C,B,D A>B,D	4400Hz	A,C,B,D
2100Hz	A,C,B,D A>B,D	4500Hz	A,C,B,D
2200Hz	A,C,B,D A>B,D	4600Hz	A,C,B,D
2300Hz	A,C,B,D A>B,D	4700Hz	A,C,B,D
2400Hz	A,C,B,D A>B,D	4800Hz	A,C,B,D
2500Hz	A,C,B,D A>B,D C>D	4900Hz	A,C,B,D

> : $p < .05$, : $n.s.$

踏み込み条件と周波数帯について分析を行った結果、200Hzから4900Hzの周波数帯の100Hz毎の振幅スペクトルの平均値で、踏み込み条件と周波数帯の間に交互作用が認められた ($F(144,1764) = 20.679$, $MSe = 672.095$, $p < .01$)。また、踏み込み条件 ($F(3,1764) = 85.635$, $MSe = 2783.212$, $p < .01$) 並びに周波数帯 ($F(48,1764) = 2229.451$, $MSe = 72459.393$, $p < .01$) において主効果が認められた。主効果が有意であったため多重比較を行った結果、踏み込み条件間において5%水準で有意差が見られた(表1)。

踏み込みAは、700Hz・1500Hz・1700Hzから3500Hzの間の周波数帯において、踏み込みBと踏み込みDより有意に高い値を示した ($p < .05$)。踏み込みBは、900Hzから1100Hzの間の周波数帯において、踏み込みAと踏み込みCより有意に低かった ($p < .05$)。踏み込みCは、200Hz・600Hzにおいて、踏み込みAと踏み込みBより高い値を示した。踏み込みDは、200Hz・300Hz・400Hzにおいてその他の踏み込み方より有意に高かった ($p < .05$)。

IV. 考察

本研究では、踏み込み音の研究を進める前提として、踏み込み方により踏み込み音の違いを客観的に検知できるかについて実験的に検討することとした。そのために、実践現場で見受けられる踏み込み条件による音の違いに着目し、ヒトの音に対する可聴領域(20Hzから20000Hzまでの周波数帯域)内の200Hzから4900Hzを対象に踏み込み音の違いを検討した。

その結果、一人の被検者であるが、200Hzから4900Hzの周波数帯域において、踏み込み方の違いにより踏み込み音が異なることが明らかになった(図5, 表1)。特に、踏み込みAは、ヒトの感度の良い領域とされる3000Hzから4000Hzの周波数帯に関連する1700Hzから3600Hzの帯域において、踏み込みBと踏み込みDの踏み込

み方の音とは異なることを示した。また、踏み込み D は 200Hz から 400Hz の周波数帯において、踏み込み B では 900Hz から 1100Hz の周波数帯において、その他の踏み込み方の音とは異なることが示唆された。一方、踏み込み C は 200Hz・600Hz 以外の周波数帯において、踏み込み A と差異が認められなかったことから、踏み込み C と踏み込み A は似通った音であることが予測される。また、被検者自身も踏み込み C は、踏み込み A に最も近いと内観している。さらに、剣道の踏み込み足は、足の裏全体で床面を強く踏み付ける前足(全日本剣道連盟、2013b)と説明されていることを踏まえ、踏み込み C の指示内容である「足裏全体で接地する踏み込み」が一般的であると推察される。また、踏み込み A は、踏み込み C を被検者が長い年月をかけ熟練させた結果とも捉えることが出来よう。

また、音は空気の振動であり、机を叩けば音が出るのは、机の振動によって空気が振動したためである(日本音響学会、2017)とされている。これを剣道の踏み込み音に置き換えると、足の裏全体で床面を強く踏み付ける動作(踏み込み足)による床の振動によって、空気が振動し音が出ているものと推察する。したがって、踏み込み方によって踏み込み音が異なることは、この床への振動が異なることに要因があると予測される。巽ほか(1985)は、剣道競技者群(剣道部所属学生)と対照群(体育科男子学生)の踏み込み時の足底圧と足底分布について足底部を4つに区分して検討した。その結果、剣道競技者群の垂直方向の足底力は対照群に比べ大きい値を示した。また、剣道競技者群と対照群とでは、圧力分布のタイプが異なることを指摘している。具体的には、剣道競技者群は、足の指の付け根と踵付近で踏み込むタイプと足裏全体で踏み込むタイプが見受けられ、対照群では踵付近で踏み込むタイプと強い圧力分布が見られないタイプであったことを報告している。本研究における4種の踏み込み方を巽ほか(1985)のタイプに照らし合わせると、踏み込み B は対照群の踵付近で踏み込むタイプであり、踏み込み C は剣道競技者群の足裏全体で踏み込むタイプであったと推測する。また、ハイスピードカメラによる床に最初に接地する箇所の確認から踏み込み A は、剣道競技者群の足の指の付け根と踵付近で踏み込むタイプである可能性が窺えた。したがって、音が生まれる仕組みと踏み込み足の圧力分布を鑑みると、床に与える圧力分布の異なりによる床への振動の違いが、4種の踏み込み方による音(それぞれが有する周波数領域)の差異の一要因として挙げられよう。

以上のことから、踏み込み方により踏み込み音の違いの客観的検知は可能であり、踏み込み C (足裏全体で接地する踏み込み)の踏み込み方を熟練させることが有効であると推察された。また、踏み込み方により踏み込み音が異なることの客観的な提示は、細部に至る技術形態に目が向く者にとって有用であり、踏み込み方を選択する一資料として活用が期待される。さらに打突における判断の客観的な資料になり得るとも考える。

なお、今回は踏み込み音の周波数帯の振幅スペクトル量の計測のみを実施し、踏み込み音の大きさに関する計測を行っていない。今後は、被験者数を増やすとともに、周波数帯の振幅スペクトル量に音の大きさの計測を加えて検討する必要があるだろう。

付記

本研究は、共同研究者6名で研究構想を練り、本論全体を前田の指導のもと、筆者の下川がとりまとめるとともに、査読過程における論文修正に際しても総括及び編集委員会との窓口として対応した。竹中、前阪、前田は、結果の論議・考察に参加し、論文全体の推敲にも加わった。また、津野は二次元配置分散分析および解析ソフトの妥当性も検証した。金高は、踏み込み音の測定および分析、結果の論議・考察に参加し、論文全体の推敲にも加わった。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JS17K13140 若手研究(B)の助成を受けたものである。

文献

- ・ 橋爪和夫、勝木豊成、佐々木弘(1987)剣道の発声に関する基礎的研究. 武道学研究、20(2):49-50
- ・ 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(1):23-32
- ・ 橋爪和夫、勝木豊成、佐々木弘(1990)剣道試合での発声の質・頻度・長さの考察. 武道学研究、23(2):143-144
- ・ 橋爪和夫、勝木豊成、佐々木弘(1992)剣道試合での発声の質・頻度・長さに関する研究. 武道学研究、25(1):50-56
- ・ 橋爪和夫(2007)剣道試合における有効打突の「耳で聞く」に関する研究. 武道学研究、40:23
- ・ 橋爪和夫(2008)剣道の打突時の音の大きさと耳で聞くことだけによる有効打突の判定との関連性に関する研究. 武道学研究、41(1):33-38
- ・ 東憲一、益子幸江(1990)剣道の発声に関する研究—音響的分析手法を用いた基礎的研究—. 武道学研究、23(2):145-146
- ・ 今福一寿、金子敬二、庄内慶一、志方泰、杉本雅彦(1999)「小手」打撃スピードの変化に伴う打撃音・打撃圧・打撃動作の関係. 武道学研究、32:59
- ・ 今福一寿、杉本雅彦、志方泰(1997)剣道の打撃における「冴え」の判定に関する研究—音響工学による打撃音分析からの研究—. 武道学研究、30:27
- ・ 今福一寿、杉本雅彦、志方泰(1998)剣道の打撃音と打撃動作の関係について. 武道学研究、31:49
- ・ 塗木淳夫、上野裕司、辻村誠一、湯ノ口万友(2004)騒音レベル一定の純音に対する脳波応答の検討. 生体医工学、42(4):54-60
- ・ 大崎雄介、渡辺雅敏、恵土孝吉(1986)剣道の打突動作と踵部障害. 武道学研究、19(2):157-158
- ・ 杉本雅彦、今福一寿、志方泰(1999)剣道の打撃音による技能差の分析. 1999 年電子情報通信学会総合大会、A-10-14:263
- ・ 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
- ・ 巽申直、谷部淳子、服部恒、加藤清彦(1985)剣道の踏み込み時の足底力と足底圧分布について. 日本体育学会大会号、36:748
- ・ 日本音響学会(2017)音なんでも小事典 脳が音を聴くしくみから超音波顕微鏡まで. 株式会社講談社. p.268
- ・ 全日本剣道連盟(1996)幼少年指導要領〔改訂版〕. サトウ印書、第6刷. p.153.
- ・ 全日本剣道連盟(2013a)剣道指導要領. プリ・テック株式会社、初版6刷. p.54.
- ・ 全日本剣道連盟(2013b)剣道指導要領. プリ・テック株式会社、初版6刷. p.165.
- ・ 全日本剣道連盟(2009a)剣道社会体育教本「改訂版」. プリ・テック株式会社、改訂版第1版. p154.

- ・ 全日本剣道連盟(2009b) 剣道社会体育教本「改訂版」. プリ・テック株式会社、改訂版第1版. p155.
- ・ 図2: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2003/pr20031022/pr20031022.html