

剣道における右足踵部痛改善前後の踏み込みの動作と地面反力, 音の違い
-右足踵部痛を改善させたある剣道競技者の回顧的アプローチによる事例-

下川美佳¹⁾, 永原隆¹⁾, 本嶋良恵²⁾, 金高宏文¹⁾, 前田明³⁾, 竹中健太郎¹⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系

²⁾ 鹿屋体育大学スポーツパフォーマンス研究センター

³⁾ 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

キーワード: 傷害, 動作分析, 周波数, 打突, フォースプレート

【要 旨】

本研究では, 右足踵部痛を改善させたある競技者の踏み込みに着目し, その事例から踏み込み動作とその動作による地面反力, 踏み込み音の違いを検討して, 技術指導に活用可能な示唆を得ることを目的とした。その結果, ある競技者の右足踵部痛改善の要因は, 踏み込んだ瞬間に床面から右足が受ける衝撃力(地面反力)の低下であり, それには踏み込み脚大腿の挙上が低く, 踏み込み脚中足趾節関節が底屈した踏み込みフォームへの動作修正が影響したものと推察された。また, 踏み込み動作の修正とその力発揮の変容によって, 踏み込み音が高く大きな音に変化し, 打突評価が高まる可能性が示された。以上のことから, ある競技者が取り組んだ右足踵部痛を改善させるための踏み込み動作の変更は, 傷害予防と競技力向上の両面において有効な技術修正といえる。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 260-275, 2020 年, 受付日: 2020 年 1 月 30 日, 受理日: 2020 年 5 月 11 日

責任著者: 竹中健太郎 鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学 takenaka@nifs-k.ac.jp

**Changes in step-in action, ground reaction, and sound in order to
lessen pain in the right heel:
Analysis of how a kendoka reduced pain in the right heel**

Mika Shimokawa, Ryu Nagahara, Yoshie Motoshima, Hirofumi Kintaka,

Akira Maeda, Kentaro Takenaka

National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: injury, action analysis, frequency, strike, force plate

【Abstract】

The aim of the present study was to identify useful ideas for kendo coaching by examining changes in step-in form, ground reaction, and step-in sound of a kendoka who had decreased the pain in the right heel. The retrospective analysis suggested that a key for decreasing the pain was to reduce impact that the right foot received from the ground by adjusting the step-in form such that the step-in thigh was lowered and the metatarsophalangeal joint of step-in foot was in planter flexion. These changes in step-in form and method of exerting power, which made the step-in sound louder, may lead to receiving a higher striking score. The analysis further suggested that the changes in step-in form that this kendoka applied in order to decrease the pain in the right heel may also be useful for preventing injury and improving competitive power more generally.

I. 研究の背景と目的

剣道は、竹刀を用いて相手と有効打突を奪い合う競技である。剣道の有効打突は、気剣体の一致した打突といわれ(全日本剣道連盟, 2009), 気は気力や発声, 剣は竹刀操作や打突, 体は体さばきや体勢あるいは踏み込み足(全日本剣道連盟, 1996)と解釈される。そして、審判が気剣体一致の判断をする際には、打突に伴う動作を眼で見て、その時生じる全ての音を耳で聞き判断することが求められる(香田ほか, 2005; 全日本剣道連盟, 2009; 全日本剣道連盟, 2013)。そのため、打突に伴う動作や音は、有効打突の判定において重要な情報と考えられる。これまでの有効打突に関する先行研究を概観すると、打突の動作に焦点を当てたものが多く、その動作によって生じる音に着目したものは少ない。特に、打突時の動作によって生じる、発声、打突音、踏み込み音の内、踏み込み音には不明な点が多い。そこで筆者は、これまで競技力向上の観点から、踏み込み動作に伴って発生する踏み込み音に着目し、研究を進めてきた。それらの研究では、踏み込み動作の違いにより踏み込み音の有する周波数帯の振幅スペクトル量が異なり、その量はつま先や踵から床に接地する踏み込み動作で小さくなることが報告された(下川ほか, 2017)。また、踏み込み音の違いが打突の評価に影響を及ぼすとされ(下川ほか, 2018b)、音を手掛かりとした場合には「足裏全体で踏み込む動作」が審判に有効打突と判定されるために望ましいとの知見を示した。加えて、踏み込み音を含む、発声と打突音が複合した音の強さも有効打突の判定に影響を及ぼすと指摘される(橋爪, 2008)。したがって、踏み込み音の研究を進めるためには、その音の有する周波数帯の振幅スペクトル量と音の強さ^{注1)}に着目する必要があると考えられた。

一方、踏み込み動作は打突動作時に用いられる重要な足運びであり(田淵・安東, 1990)、踵部に強い衝撃を与え(田淵・安東, 1990)、剣道の傷害に多い右足踵部の疼痛(以下、右足踵部痛)と関連が深いとされる(磯崎ほか, 1988)。したがって、剣道における傷害予防の観点から右足踵部痛に着目し、踏み込み動作について検討することは重要な課題と考えられる。踏み込み動作は「足の裏全体で床面を踏み付ける前足(全日本剣道連盟, 2013)」とされており、現場ではその動作が指導されている。そのため、足裏全体で踏み込む動作は右足踵部痛を発生させるリスクの低い動作であると推測される。これまでの右足踵部痛と踏み込み動作に関する傷害者と非傷害者の比較により、傷害者は踏み込み足(右足)における地面反力の鉛直成分ピーク値が大きく(磯崎ほか, 1988)、踏み込み足接地時の右足関節角度が小さい(下腿がより前傾)(大崎ほか, 1986; 田淵・安東, 1990)など、踏み込み動作における地面反力やフォームが異なることが明らかとなっている。しかし、先に述べた踏み込み足接地時の右足関節角度に関しては、傷害者の方が大きい(下腿がより垂直に近い)という結果もあり(磯崎ほか, 1988)、一致した見解が得られていない。このような相反する結果は、傷害者と非傷害者の間の差が傷害の有無だけでなく、競技レベルなどの差に起因した可能性を示している。このことは、個人内において傷害の有無に起因する地面反力や動作の違いを評価することの重要性を示唆している。一方、下川ほか(2019)は、ある剣道競技者における踏み込み動作の修正に伴う右足踵部痛改善の経験から、踏み込み動作を「かかと踏み込み動作」から「足裏全体踏み込み動作」に変更することで衝撃力や地面反力を低下させ、右足踵部痛を改善させられる可能性を指摘した。このことから、踏み込み動作の変更にとりなう変化を個人内で評価することで、傷害の有無に起因する踏み込み動作やその動作による地面反力の違いをより適切に理解できると考えられる。

以上のことを踏まえ、右足踵部痛改善要因の検証と、その傷害改善のための踏み込み動作の変更が打突評価を高める可能性を探るためには、右足踵部痛改善前後の踏み込み動作に着目し、その動作による地面反力と踏み込み音の違いについて検討する必要がある。このことにより、剣道における傷害予防と競技力向上の両面から、踏み込み動作の技術指導に活用可能な知見の提示が期待される。

そこで、本研究は、右足踵部痛を改善させた競技者の踏み込みに着目し、右足踵部痛改善前後の踏み込み動作とその動作による地面反力、踏み込み音を事例的に比較する。具体的には、下川ほか(2019)の事例対象者である S 競技者に右足踵部痛改善前後の動作を回顧的に実施してもらい、右足踵部痛改善前後の踏み込み動作とその動作による地面反力、踏み込み音について検討し、技術指導に活用可能な示唆を得ることを目的とする。

II. 研究方法

1. 研究対象者

対象者は、剣道歴 10 年程度の時期(高校期)に右足踵部痛を初めて自覚し、その 3 年後に右足踵部痛を改善させた S 競技者とした。S 競技者は世界剣道選手権大会への出場経験を有する女子競技者(剣道経験年数 30 年以上、所有段位 7 段、身長 161cm、体重 62kg)であった。なお、対象者は踏み込み動作を変更した後(改善後)でも、長期稽古を行わない期間明けの稽古時に右足踵部痛を再発した経験を有する。対象者には、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、身体(足、踵部など)に違和感が出た場合には、十分な休息確保や測定を中止することとした。

2. 対象動作と試技数

対象動作は、竹刀を振る音や打突する音の発生を避けるため、竹刀の打ち込みを伴わない踏み込み動作とした。試技は、右足踵部痛改善前と改善後の動作を各 7 試行(計 14 試行)ランダムに行わせた。なお、対象動作は全て下川ほか(2019)が提示する運動意識を参考とし、回顧的に行ったものである。また、試技中の右足踵部の痛みについては、高校期が慢性的な痛みであった点において異なるが、踏み込み動作時に受ける瞬間的な痛みには違いがなく、長期稽古を行わない期間明けの稽古時に生じる痛みと同じ程度であった。

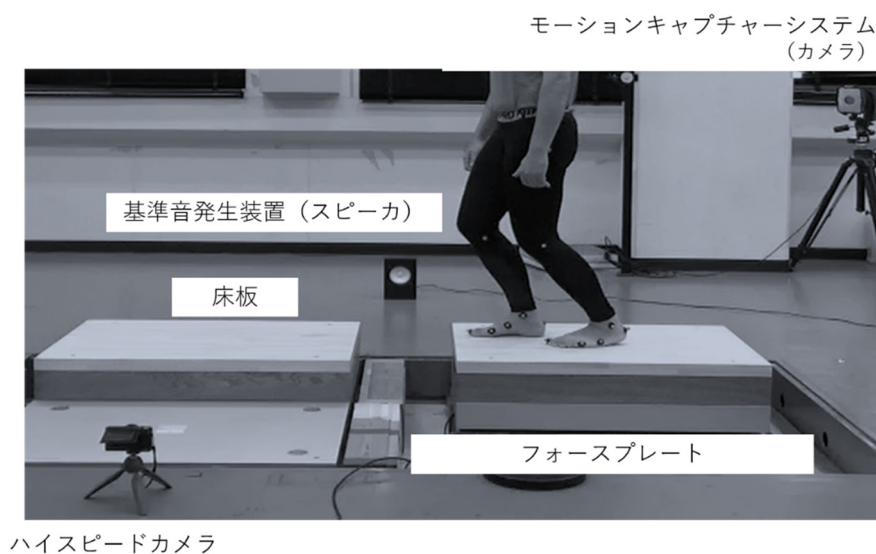


図 1. 実験環境 [動画 1], [動画 2]

- A : 踏み込み脚大腿挙上角度
- B : 踏み込み脚膝関節角度
- C : 踏み込み脚下腿角度
- D : 踏み込み脚足部角度
- E : 踏み込み脚中足趾節 (MP) 関節角度

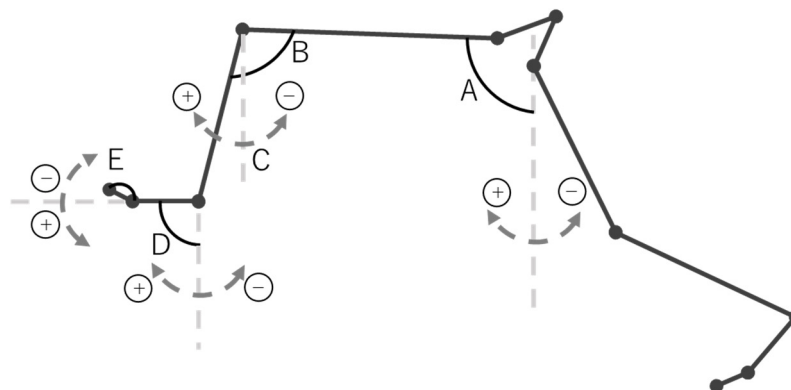


図 2. 脚の関節角度および部分角度

3. 測定

測定は, K 大学スポーツトレーニング教育研究センタースポーツコンディショニング室(図 1)で実施した. 動作, 地面反力, 音の測定方法の詳細は下記の通りとした.

(1) 踏み込み動作とその動作による地面反力

研究対象者は, タイツを着用し, 先行研究を参考に下肢と骨盤周辺の身体特徴点に計 26 点の反射マーカを貼付した(Nagahara et al. 2014). 踏み込み動作は, 6 台のカメラで構成された光学式三次元モーションキャプチャシステム(MAC3D, Motion Analysis, Santa Rosa, USA, 250 Hz)を用いて計測した. また, 2 台のフォースプレート(Type9287C, Kistler, Winterthur, Switzerland, 1000 Hz)をモーションキャプチャシステムと同期し, 蹴り脚と踏み込み脚それぞれの地面反力を計測した. フォースプレート上には, 一般的な剣道場で用いられるものと同等の特別に製作した木製の天板をボルトで固定し(図 1), 可能な限り剣道場での踏み込み動作を再現した.

(2) 踏み込み音

打突や踏み込み音を調査するため, 以下の測定方法を採用した(下川ほか, 2018a). 基準音を発生させた環境の音圧レベルは 63dB であった. 踏み込み音は基準音発生装置(GWINSTEK 社製, AFG-2005)により 100Hz(静音時:63dB)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. また, 音の強さは騒音計(ARGM855 デジタル騒音計, 通常 A 特性による最大値)により計測した. なお, ビデオカメラで収集した音は, 最初に音が発生した時点を基点と定めた上で, 基点後約 1 秒(30/30 コマ)を分析の対象として映像編集を施した. 基点前については約 0.5 秒(15/30 コマ)とした.

4. 解析

(1) 踏み込み動作とその動作による地面反力

反射マーカの座標データと地面反力データは、バターワース型ローパスデジタルフィルタで平滑化処理を行った。その際の遮断周波数は、それぞれ 20Hz, 100 Hz とした。キネマティクスデータとして、下川ほか(2019)が示した観察的評価と、右足踵部痛に関する先行研究(磯崎ほか, 1988; 大崎ほか, 1986; 田淵・安東, 1990)の結果を参考に、踏み込み脚大腿最大挙上角度, 踏み込み膝関節の最大屈曲角度, 踏み込み脚接地直前の膝関節角度, 下腿角度, 足部角度, 中足趾節(MP)関節角度を算出した(図 2)。踏み込み脚の大腿, 下腿, 足部角度は、それぞれ膝関節中心から股関節中心へ向かうベクトル, 足関節中心から膝関節中心へ向かうベクトル, MP 関節中心から足関節中心へ向かうベクトルの絶対座標系における鉛直線とのなす角度として求め、膝関節角度, MP 関節角度は、それぞれ大腿座標系に対する下腿ベクトルの内外側軸周りの角度, 足部座標系に対する爪先ベクトルの内外側軸周りの角度として算出した。地面反力については、踏み込み脚の加速力, 減速力, 鉛直力の最大値と平均値を算出した。また、踏み込み脚の接地から 20ms までにおける前後方向と鉛直方向の平均力について求めた。接地, 離地の判定は、20N の鉛直力を基準とした。

(2) 踏み込み音

踏み込み動作によって発生した音に関しては、FFT モジュールの高速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について検討した。音源からサンプリング周波数 16kHz-40kHz, ブロックサイズ 32768 データ, 入力音圧 ± 10V でデータの収集を行った。右足が踏み込まれた地点を基点に 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 100Vrms 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。また、各音は 200Hz から 4900Hz の周波数帯について 100Hz 毎の振幅スペクトルと音の強さの最大値について平均値を求めた(下川ほか, 2018a)。

(3) 統計処理

右足踵部痛改善前と改善後の踏み込み動作やその動作による地面反力, 踏み込み音の周波数(200Hz-4900Hz)および音の強さにおける平均の差の検定には、対応のない t 検定を用い、有意水準は 5%未満とした。なお、音の強さに関する 100Hz 毎(200Hz-4900Hz)の検定は、Bonferroni 法による補正を行い、有意水準を 0.1%未満とした。また、差の大きさを評価するための効果量(Effect size, ES)として Cohen's d を求めた(水本・竹内, 2010)。Cohen's d の解釈は、0.2 以下を trivial(ほとんどない), 0.2 以上 0.6 未満を small(小程度), 0.6 以上 1.2 未満を moderate(中程度), 1.2 以上を large(大程度)とした(Hopkins et al. 2009)。

Ⅲ. 結果

(1) 右足踵部痛改善前と改善後における地面反力の比較

1) 踏み込み動作における地面反力

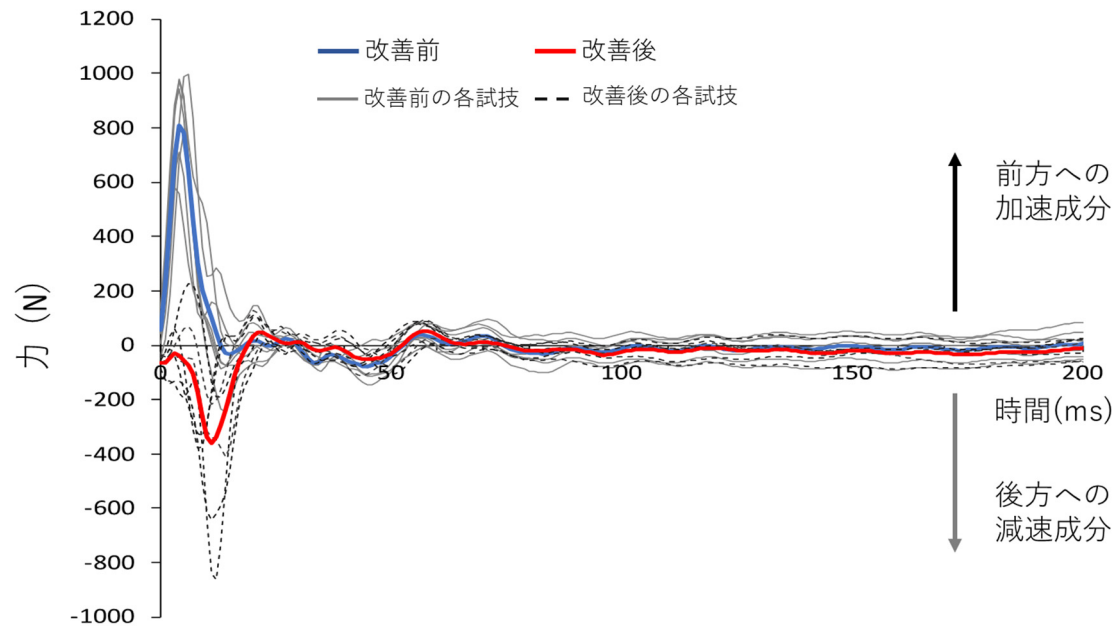


図 3. 右足踵部痛改善前と改善後における前後方向の地面反力

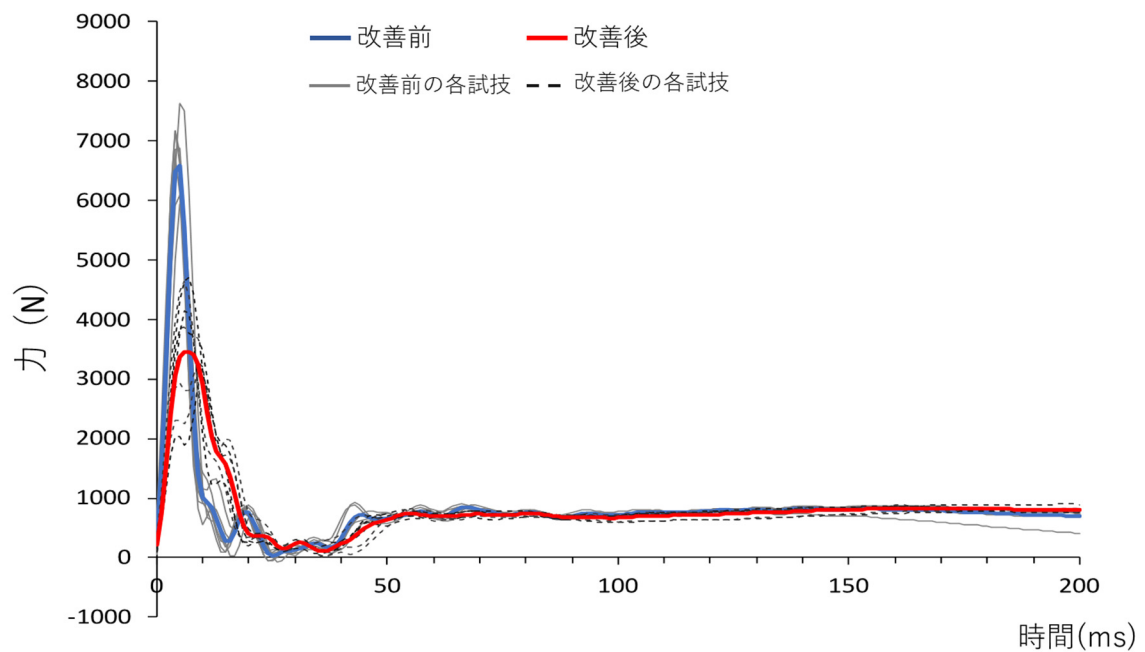


図 4. 右足踵部痛改善前と改善後における鉛直方向の地面反力

S 競技者の右足踵部痛改善前後の踏み込み動作における, 前後方向と鉛直方向の地面反力の平均値の波形を図 3 と図 4 に示した. 改善前の前後方向の地面反力は, 右足接地直後に前方への加速成分のピーク($853.8 \pm 150.7\text{N}$)が出現した. 一方, 改善後では, 右足接地直後には大きな値は見られず, 接地後 5ms 以降に後方への減速成分が増加し, 10ms 前後に減速成分のピーク($-433.5 \pm 222.9\text{N}$)が出現した. 鉛直方向の地面反力に関しては, 右足踵部痛改善前後ともに右足接地後にピークが出現したが, 改善後($3844.6 \pm 635.1\text{N}$)は改善前($6803.7 \pm 565.0\text{N}$)と比べて緩やかに立ち上がり, ピークの値は半分程度であった.

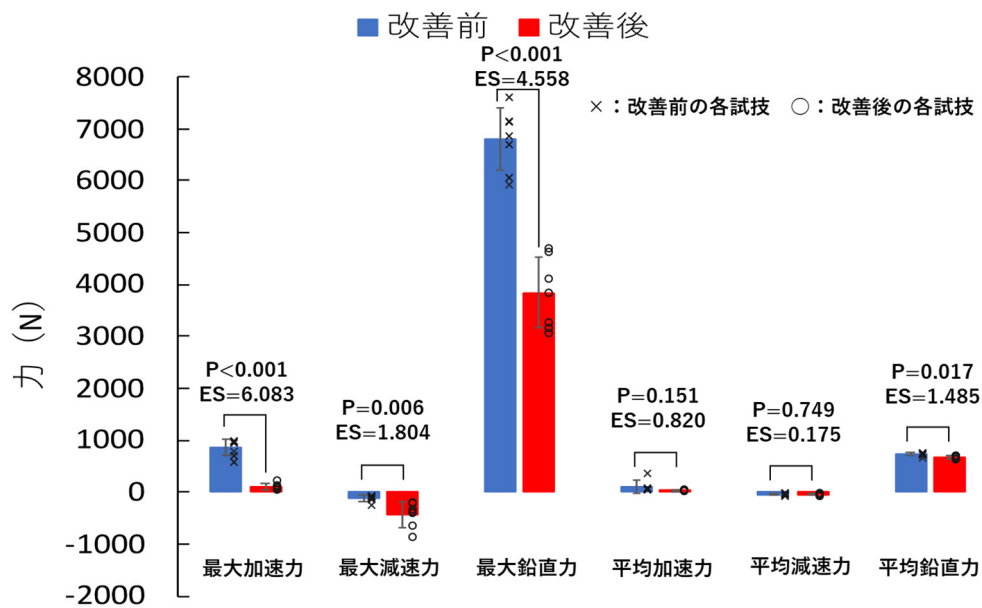


図 5. 踏み込み動作毎の各地面反力

S 競技者の踏み込み動作による地面反力の値を右足踵部痛改善前と改善後で比較した(図 5, 図 6). 最大加速力は, 改善前が $853 \pm 163\text{N}$, 改善後が $110 \pm 58\text{N}$ であり, 改善後が有意に小さかった(効果量大). 最大減速力は, 改善前が $-116 \pm 62\text{N}$, 改善後が $-433 \pm 241\text{N}$ であり, 改善後が有意差に大きかった(効果量大). 最大鉛直力は, 改善前が $6804 \pm 610\text{N}$, 改善後が $3845 \pm 686\text{N}$ であり, 改善後が有意に小さかった(効果量大). 平均加速力は, 改善前が $103.4 \pm 113.5\text{N}$, 改善後が $37.5 \pm 8.4\text{N}$ であり, 有意差は認められなかったが, 効果量では中程度の差が認められた. 平均減速力は, 改善前が $-41.2 \pm 21.1\text{N}$, 改善後が $-44.7 \pm 19.0\text{N}$ で平均値に有意差は見られなかった. 平均鉛直力は, 改善前が $730 \pm 31\text{N}$, 改善後が $685 \pm 30\text{N}$ であり, 改善後が有意に小さい値であった(効果量大).

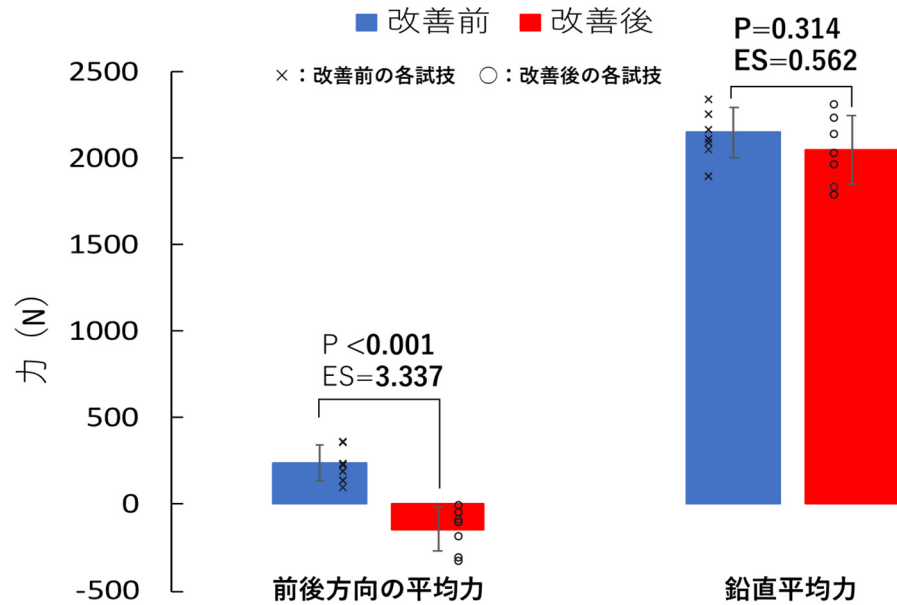


図 6. 踏み込み動作毎の接地 20ms 後における前後方向および鉛直の平均力

接地後 20ms における前後正味平均力は、改善前が $240 \pm 103\text{N}$ 、改善後が $-142 \pm 126\text{N}$ であり、平均値に有意差が認められ、改善前では加速力が発揮されていたのに対して、改善後では減速力が発揮されていた(効果量大)。接地後 20ms における鉛直平均力は、改善前が $2149 \pm 144\text{N}$ 、改善後が $2052 \pm 196\text{N}$ であり、平均値に有意な差は認められなかったが、効果量では小程度の差が認められた。

(2) 右足踵部痛改善前と改善後における動作の比較

1) 踏み込み動作における脚の関節角度および部分角度

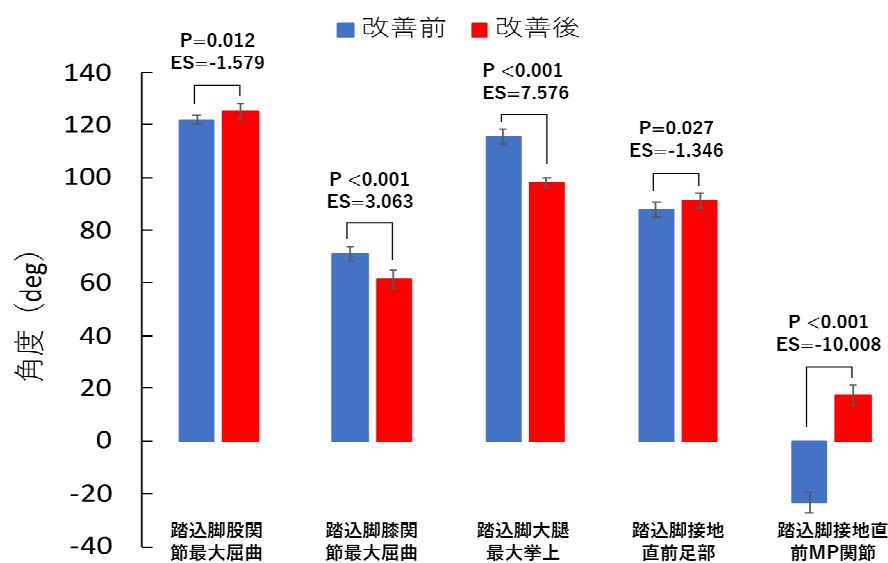


図 7. 踏み込み動作毎の脚の関節および部分角度

S 競技者の踏み込み脚の関節, 部分角度を, 右足踵部痛改善前と改善後で比較した(図 7). 踏み込み動作における接地前の踏み込み脚大腿最大挙上角度は, 改善前が $115.4 \pm 2.8 \text{deg}$, 改善後が $97.9 \pm 1.8 \text{deg}$ であり, 改善後の方が有意に小さかった(効果量大). 踏み込み動作における接地前の踏み込み脚膝関節最大屈曲角度は, 改善前が $70.8 \pm 2.8 \text{deg}$, 改善後が $61.4 \pm 3.3 \text{deg}$ であり, 改善後の方が有意に小さかった(効果量大). 踏み込み脚接地直前膝関節角度は, 改善前が $89.1 \pm 1.3 \text{deg}$, 改善後が $89.1 \pm 3.1 \text{deg}$ であり, 有意な差は認められなかった. 踏み込み脚接地直前下腿角度は, 改善前が $-6.3 \pm 3.0 \text{deg}$, 改善後が $-8.2 \pm 3.3 \text{deg}$ であり, 有意な差は認められなかったが, 効果量では小程度の差が認められた. 踏み込み脚接地直前足部角度は, 改善前が $87.8 \pm 2.7 \text{deg}$, 改善後が $91.4 \pm 2.7 \text{deg}$ であり, 改善後の方が有意に大きかった(効果量大). 踏み込み脚接地直前 MP 関節角度は, 改善前が $-23.1 \pm 3.9 \text{deg}$, 改善後が $17.3 \pm 4.2 \text{deg}$ であり, 改善後有意に増加した(効果量大).

(3) 右足踵部痛改善前と改善後における踏み込み音の比較

1) 各踏み込み音が有する周波数帯の振幅スペクトル量

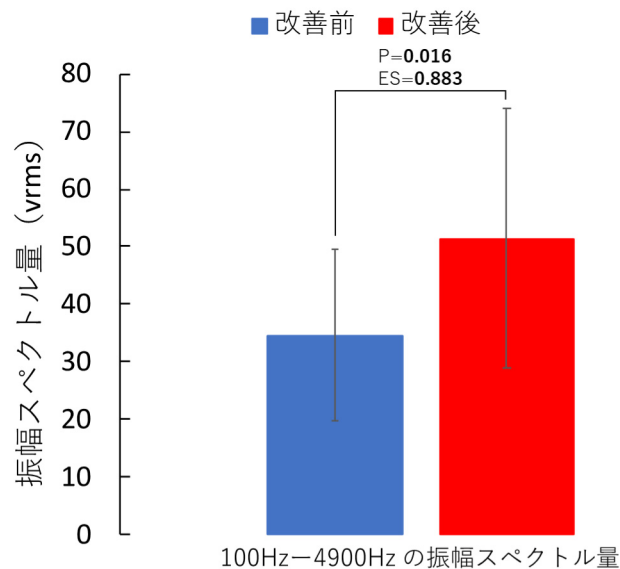


図 8. 踏み込み動作毎の振幅スペクトル量

S 競技者の踏み込み動作による各踏み込み音が有する振幅スペクトル量の平均値を, 右足踵部痛改善前と改善後で比較した(図 8). 踏み込み動作による踏み込み音の振幅スペクトル量は, 改善前が $34.6 \pm 14.9 \text{rms}$ で, 改善後が $51.4 \pm 22.5 \text{rms}$ であり, 改善後の方が有意に大きかった(効果量中).

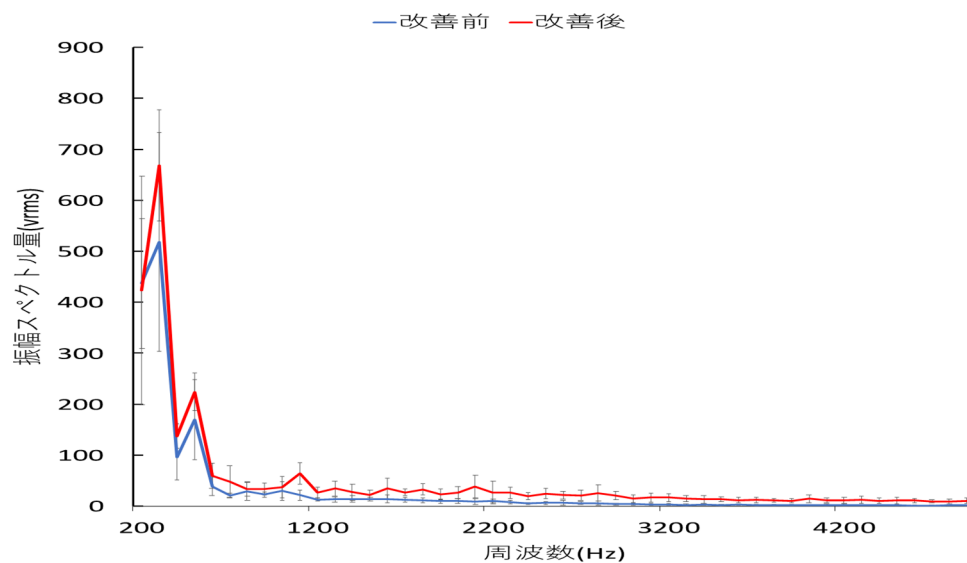


図 9. 各踏み込み音の有する周波数帯毎の振幅スペクトル量 (平均値)

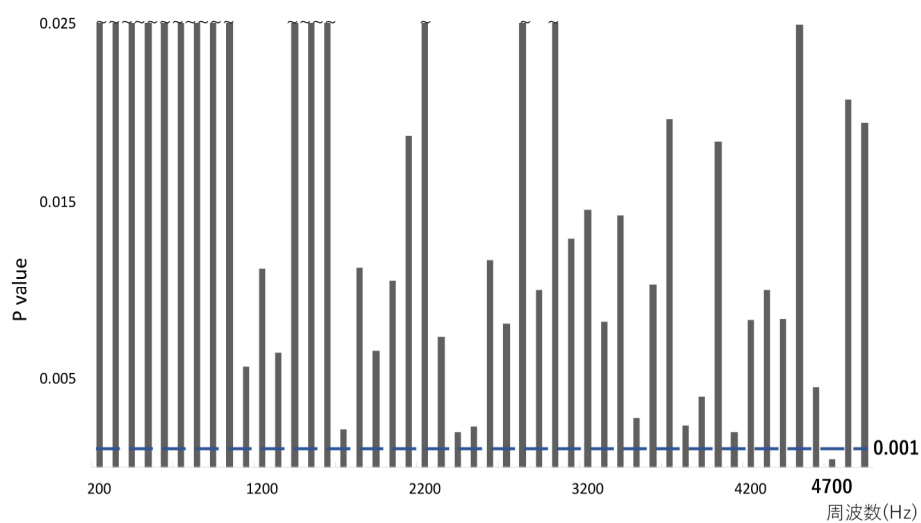


図 10. 各踏み込み音の有する周波数帯毎の振幅スペクトル量における比較(P value)

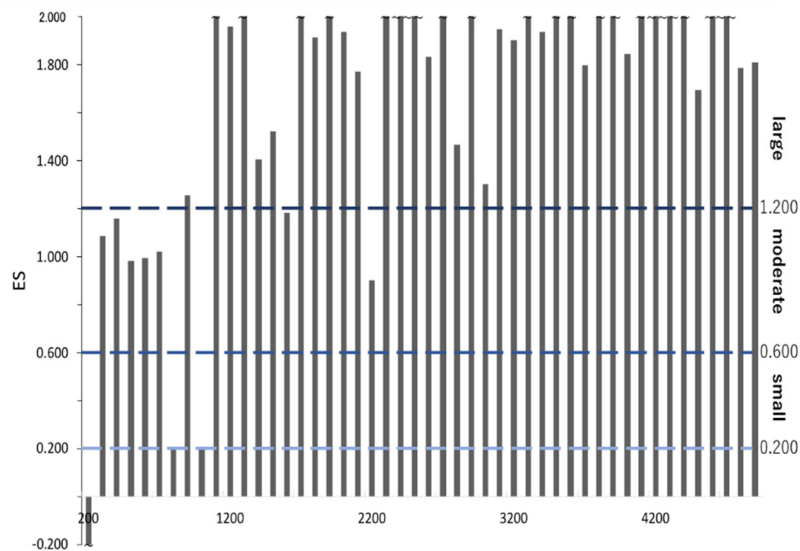


図 11. 各踏み込み音の有する周波数帯毎の振幅スペクトル量における効果量(Effect size)

また、各踏み込み音が有する周波数帯ごとの振幅スペクトル量の平均値(図 9)を、右足踵部痛改善前と改善後で比較した。周波数帯ごとの振幅スペクトル量の平均値においては、4700Hz の周波数帯で改善後の方が有意に大きかった(図 10, 図 11)。その他の周波数帯において有意な差は認められなかったが、900Hz, 1100Hz から 1500Hz, 1700Hz から 2100Hz, 2300Hz から 4600Hz, 4800Hz および 4900Hz の各周波数帯において効果量の差は大きかった(図 11)。また、300Hz から 700Hz, 1600Hz, 2200Hz の各周波数帯において中程度、200Hz と 800Hz の周波数帯において小程度の差が認められた(図 11)。

2) 踏み込み音の強さ

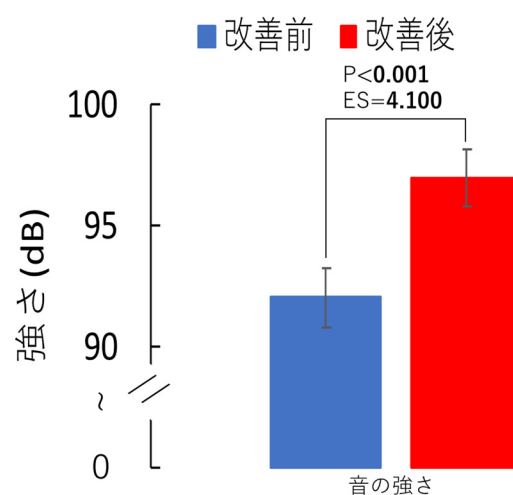


図 12. 踏み込み毎の音の強さ

S 競技者の踏み込み動作による各踏み込み音の強さの平均値を、右足踵部痛改善前と改善後で比較した(図 12). 踏み込み動作による踏み込み音の強さは、改善前が $92.0 \pm 1.2\text{dB}$ 、改善後が $97.0 \pm 1.2\text{dB}$ であり、改善後の方が有意に大きかった(効果量大).

IV. 考察

本研究の目的は、下川ほか(2019)の事例対象者(S 競技者)の右足踵部痛改善前後の踏み込みに着目し、踏み込み動作とその動作による地面反力、踏み込み音の違いを検討して、技術指導に活用可能な示唆を得ることであった.

S 競技者の右足踵部痛改善後の地面反力は、改善前と比較して接地直後の前後方向の成分が抑制され、その後発揮された減速力も小さな値であり(改善前では大きな加速力)、鉛直力については、接地直後の立ち上がりが緩やかになり、ピークについては改善前のおよそ半分程度であった. 先行研究によれば、右足踵部痛の原因は、踏み込んだ瞬間に床面から右足が受ける衝撃力(地面反力)(恵土ほか, 1986; 大崎ほか, 1986)とされている. 一方、磯崎ほか(1988)は、踵部障害者群と非障害者群を比較し、垂直方向(z 軸)の地面反力において非傷害者より傷害者の方が大きい傾向を示すと指摘しており、改善後に鉛直地面反力のピーク値が減少した本研究の結果と相反するが、物理的には前後方向の地面反力に関しても値が小さいほうが踵部の受ける合力が小さくなり、踵部痛を発生させるリスクが低い. これらのことから、本研究の結果は、先行研究を支持するものであり、右足踵部痛改善の背景には、発揮された地面反力のピーク値減少があると考えられる.

S 競技者の右足踵部痛改善後の踏み込み動作は、改善前と比較すると、踏み込み脚大腿の挙上が低く、接地直前における踏み込み脚足部がより大きな角度(MP 関節側がより高い)となっており、接地直前における踏み込み脚 MP 関節がより底屈していた. このことから、改善前と改善後では動作が異なり、改善後には大腿部を高く上げず、つま先が下がった足部の姿勢(つま先から踵までがより水平に近い)で接地するように変化していた(図 13). 特に、踏み込み脚 MP 関節がより底屈した(つま先が下がった足部の姿勢)は、S 競技者が踏み込み動作を変更させる際の「右足指を丸める意識(下川ほか, 2019)」が影響したものと考えられた. 先行研究によれば、傷害者と非傷害者では打突フォームが異なり(磯崎ほか, 1988; 大崎ほか, 1986; 田淵・安東, 1990)、右足踵接地時の打突フォームの差異が右足踵部痛発生の一因とされる(田淵・安東, 1990). 下川ほか(2019)の事例対象者は、踵部への衝撃を和らげるために、実践的な経験から「体の重心を低く維持すること」と「右の足裏全体で床を踏み着けること」を意識し、踏み込み動作が修正されたと報告している. この点は、本研究の右足踵部痛改善後の踏み込み動作における、踏み込み脚大腿の挙上が低く、接地直前に踏み込み脚 MP 関節が底屈していた結果と一致する. また、このような動作は大腿部の下降範囲が小さく、接地時の足部の持つ速度を抑制し、つま先と踵が同時に接地することで、足裏のより多くの軟部組織が接地直後に力を緩衝することにつながり、接地直後の地面反力のピークを抑制すると考えられ、本研究で得られた地面反力の結果とも一致する. 一方、先行研究によれば、右足接地時の踏み込み脚下腿角度は、傷害者と非傷害者と異なるとされるが、傷害者の方がより垂直に近い(磯崎ほか, 1988)との指摘と、傷害者の方がより前傾している(田淵・安東, 1990)との報告があり、一致した見解は得られていない. 本研究においては、接地直前の踏み込み脚下腿角度については、

改善前後で有意な差は認められなかった。これらの結果から、接地時の下腿角度と右足踵部痛は関係しない可能性がある。

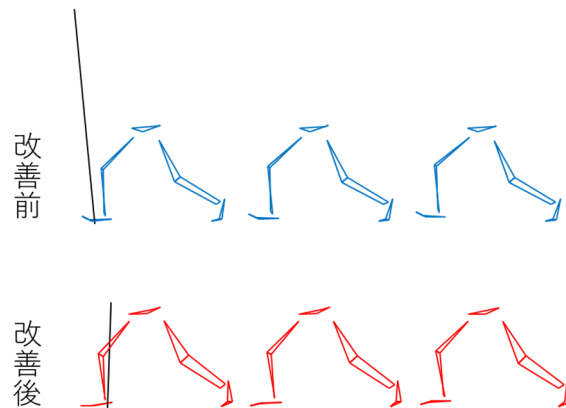


図 13. 右足接地後 3 フレームにおける踏み込み動作と地面反力の比較

S 競技者の右足踵部痛改善前と改善後の踏み込み音の比較では、高音域^{注 2}で変化が見受けられ、改善後に大きな音が発生していた。これは、改善後の踏み込み動作の方が剣道の打突における、より良い音を発生させられることを示している。踏み込み音は、足の裏で床面を強く踏みつける動作による床の振動によって、空気が振動し生まれる(下川ほか, 2017)。つまり、床を振動させる動作や床に加える力によって、いかようにも変化する。先行研究によれば、踵踏み込み動作より足裏全体踏み込み動作による音の方が、高音域で大きな傾向にあり(下川ほか, 2017)、踵踏み込み動作の音は $82.2 \pm 0.1 \text{ dB}$ で、足裏全体踏み込み動作の音は $84.6 \pm 0.3 \text{ dB}$ と報告されている(下川ほか, 2018b)。本研究の結果では、下川ほか(2017; 2018b)の指摘する各踏み込み音の特徴と同様の傾向が示された。また、足裏全体で床に接地する踏み込み音は打突の評価を高め(下川, 2019)、打突時に生じる音は、大きければ大きいほど審判員の判定に対して何らかの効果が期待できる(橋爪, 2008)とされる。以上ことを踏まえ、右足踵部痛改善前より改善後の方が、踏み込み音の影響から打突評価は高まる可能性がある。さらに、踏み込み動作やその動作による地面反力を踏まえて考えると、つま先を下げ、足部がより地面に対して平行になるような接地が地面反力のピークを抑制しつつ、より高く大きな音を生じさせていたと解釈できる。

以上のことから、下川ほか(2019)における事例対象者の実施した踏み込み動作の変更は、傷害予防と競技力向上の両面において有効な技術の修正であったといえる。特に、右足のつま先を下げ踏み出すことにより、足部がより地面に対して平行になるような接地(つま先と踵が同時に接地)となり、「足の裏全体で踏み込む動作(全日本剣道連盟, 2013)」に至った。つまり、剣道指導要領に示される「足の裏全体で踏み込む動作(全日本剣道連盟, 2013)」の実践が、右足踵部痛の発生するリスクを低下させ、打突評価を高めることが示された。

なお、本研究は右足踵部痛を改善させた経験を有する S 競技者に限定した調査であり、対象とした動作は回顧的に実施したため、この結果を参考にすることは可能であるがそのまま活用することには限界がある。そのため、右足踵部痛を有する複数の剣道競技者を対象とした、右足踵部痛改善の取り組みとそ

の調査とが同時並行の検討が今後の課題である。同様の事例を重ねることで、踏み込み脚下腿角度が右足踵部痛の要因になり得るかの検証が可能と考えられる。

V. まとめ

本研究は、右足踵部痛を改善させたある競技者の右足踵部痛改善前後の踏み込みに着目し、踏み込み動作とその動作による地面反力、踏み込み音の違いを検討し、以下の結果を得た。

- 1) 右足踵部痛改善後の地面反力は、改善前の前方への加速力からより値が小さい後方への減速力が発揮されるようになり、鉛直力のピーク値が半減した。
- 2) 右足踵部痛改善後の踏み込み動作は、改善前と比較して踏み込み脚大腿の挙上が低く、接地直前における踏み込み脚足部がより大きな角度であり、接地直前における踏み込み脚 MP 関節がより底屈した。
- 3) 右足踵部痛改善前と改善後の踏み込み音では高音域で変化が見受けられ、改善後に大きな音が発生した。

以上のことから、ある競技者の右足踵部痛改善の要因は、踏み込んだ瞬間に床面から右足が受ける衝撃力(地面反力)の低下であり、それには踏み込み脚大腿の挙上が低く、踏み込み脚 MP 関節が底屈した踏み込みフォームへの動作修正が影響したものと推察された。また、踏み込み動作の修正とその力発揮の変容によって、踏み込み音が高く大きな音に変化し打突評価が高まる可能性が示された。したがって、ある競技者の右足踵部痛を改善させるための踏み込み動作の変更は、傷害予防と競技力向上の両面において有効な技術の修正といえる。特に、右足のつま先を下げ踏み出すことが右足踵部痛の発生するリスクを低くし、打突評価を高めることが推察された。

^{注1}この論文において、音の強さとは物理量を示し単位は d B とする。また、人が音を聞いた場合や聞くことを前提とした心理量を含む場合の音の強さは音の大きさとする(下川, 2019)。

^{注2}この論文において高音域とは 2600Hz 以上 4900Hz 以下の周波数帯域とする(下川, 2019)。

付記

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

- ・ 香田郡秀, 吉谷修, 有田祐二, 鍋山隆弘(2005)剣道における有効打突の構成要素に関する研究—現代的意義と視点の設定—. 筑波大学体育科学系紀要, 28:73-78.
- ・ 磯崎芳史, 百鬼史訓, 本多庸悟(1988)剣道における踏込み動作と右足踵部障害との関連について. 武道学研究, 21(1):31-39.
- ・ 水本 篤, 竹内 理(2010)効果量と検定力分析入門—統計的検定を正しく使うために—. 外国語教育メディア学会 関西支部 メソドロジー研究部会 2010 年度報告論集, 47-73.

- ・ Nagahara R, Matsubayashi T, Matsuo A, Zushi K (2014) Kinematics of transition during human accelerated sprinting.. Biol Open 3:689-699.
- ・ 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.
- ・ Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Med Sci Sports Exerc, 41: 3-13.
- ・ 大崎雄介, 渡辺正敏, 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.
- ・ 下川美佳, 金高宏文, 竹中健太郎, 津野天兵, 前阪茂樹, 前田 明(2017)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. スポーツパフォーマンス研究, 9:359-368.
- ・ 下川美佳, 金高宏文, 竹中健太郎, 赤崎房生, 前田 明(2018a)剣道における打撃音と踏み込み音およびそれらの複合音の相違. 武道学研究, 51(1):35-43.
- ・ 下川美佳, 金高宏文, 竹中健太郎, 幾留沙智, 前田 明(2018b)剣道における踏み込み音の違いが打突の冴えや強度の評価に及ぼす影響. スポーツパフォーマンス研究, 10:311-324.
- ・ 下川美佳(2019)大学剣道における女子競技者の踏み込み音が打突の評価に及ぼす影響. 筑波大学鹿屋体育大学, 博士論文.
- ・ 下川美佳, 金高宏文, 竹中健太郎, 近藤亮介, 濱中 良, 前田 明(2019)剣道における踏み込み動作の修正が右足踵部痛を緩和させた事例. スポーツパフォーマンス研究, 11:413-424.
- ・ 田淵俊彦, 安東三次(1990)剣道の打突動作に関する研究—高校・大学剣道部員の踵障害について—. 津山高専紀要, 28:11-16.
- ・ 全日本剣道連盟(1996)幼少年指導要領〔改訂版〕第6刷. サトウ印書.
- ・ 全日本剣道連盟(2009)剣道社会体育教本「改訂版」改訂版第1版. プリ・テック株式会社.
- ・ 全日本剣道連盟(2013)剣道指導要領初版6刷. プリ・テック株式会社. 全日本剣道連盟:剣道指導.