

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

與谷謙吾*, 泉富葵**, 前阪茂樹***,

An investigation of kendo strikes performance during kinesthetic after-effects using weighted-Bokuto

Kengo YOTANI*, Fuki IZUMI**, Shigeki MAESAKA***,

Abstract

The aim of study was to investigate impact-force and muscle activation patterns of upper limbs during kendo strike by a Shinai (510 g) at before and after the *Suburi* (swing) using weighted-Bokuto (1800 g) in kendo athletes (11 men). The impact-force was significantly larger at after than at before swing ($P<0.05$), which was especially observed immediately after swing. In muscle activation patterns by electromyography, the timing of recruitment of muscles exhibited significant change at before and after the swing ($P<0.05$). Furthermore, the change was also observed immediately after swing. On the other hand, no significant differences were observed in the amount. These results suggest that swing using weighted-Bokuto is altered the impact-force and/or the timing of muscle activation patterns, whereas the effect is relatively short.

Keywords: Upper limbs, Electromyogram, Muscle activation patterns

要約

本研究は、大学剣道選手（男性11名）を対象に、筋運動感覚残効を伴う重い木刀（1800 g）での素振りが竹刀（510 g）による打突時の衝撃力、並びに上肢の筋活動様式へ与える影響について検討した。その結果、衝撃力は、素振り直後の変化が顕著であり、素振りの前よりも後で有意に大きくなった（ $P<0.05$ ）。筋活動様式における活動のタイミングは、素振りの前後で有意に変化した（ $P<0.05$ ）。加えて、その変化は、衝撃力の変化が顕著であった同時期にも認められた。一方、活動量への変化は明らかにできなかった。従って、本研究の重い木刀での素振り影響は、衝撃力や筋活動のタイミングを変化させるが、その効果は比較的短いことが示唆された。

キーワード：上肢、筋電図、筋活動様式

I. 緒言

「気剣体の一致」を有効打の判定条件としている剣道競技では、従来から神経-筋協応能に関連するトレーニングが重要であると報告されている（倉田ら、1968；小野ら、1968-a；小野ら、1969-

b）。これらの機能は日々の練習によって培われるため、現場指導においては競技で使用される竹刀を用いた取り組みが大半を占める。一方、それ以外の取り組みとしては、竹刀の重量よりも重い素振り用の木刀を用いてのトレーニングがあり、実

* 鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系

** 鹿屋体育大学 体育学部

*** 鹿屋体育大学 スポーツ・武道実践科学系

際の試合現場においても試合直前で重い物での素振りをする光景が散見される。このような取り組みは、剣道に限ったことではなく、野球やソフトボール等においても同様に重量の重いマスコットバットを用いた素振りが行われる。

ヒトは物体を動かす（操作する）際、その物の重量を推定・判断する過程に筋運動感覚が関与すると考えられている（中島, 1981）。これは筋（筋紡錘）、腱（ゴルジ腱器官）、関節内部（ルフィニ小体）等からフィードバックされる感覚であり、工藤（1989）の報告によってその感覚の知覚は使用する道具の重量の変更などにより混乱（歪み）を生じさせることが指摘されている。例えば、先行する運動経験において、普段使用する用具の重量と異なる用具を使用することで、その経験した負荷（重さ）と対照的に、その後の普段用具の重さが軽くも重くも感じ、このような現象は筋運動感覚残効と定義されている。この現象を利用した野球のバッティング調査においては、通常よりも重いバットを振った後での打撃時のバットコントロール（タイミング調節）は低下するとの報告がなされている（Nakamoto et al., 2012）。また、このバットの重量に焦点を当てた報告では、通常使用するバットの重量よりも約±12%の範囲内での条件がスイング速度の向上に繋がると指摘されている（DeRenne et al., 1992）。

従って、重い道具でのスイング（振る）は、使用に注意が必要と考えられるが、剣道での木刀を用いた練習に対しても同様に該当するかは明らかではない。特に、剣道で使用される素振り用の木刀は、通常使用する竹刀よりも重いことが現状であるため、従来からの取り組みの有効性を検証することは重要であると思われる。仮に、工藤（1989）や DeRenne et al.（1992）が主張する重量範囲内を超えた重量の木刀で素振りを実施した場合、素振り前よりも後で竹刀の重量感が軽減し、それに伴って有効打に必要なと感じる打撃力が軽く（低下）するのではないかとと思われる。

そこで本研究は、大学剣道選手を対象に、筋運

動感覚残効を伴う重い木刀（1800 g）での素振りが竹刀による打突時の衝撃力に及ぼす影響やその際の上肢の筋活動様式へ与える影響について検討することを目的とした。

II. 実験方法

II-A. 被験者及びプロトコール

被験者は、剣道を専攻する健康な男子体育学専攻学生11名（年齢 22 ± 3 歳，身長 171.6 ± 5.7 cm，体重 69.6 ± 9.2 kg，競技歴 14.8 ± 1.9 年）とした。被験者には、予め本研究の目的及び実験の内容の説明を行い、その上で実験参加の同意を得て実施した。

被験者の前方には人体を模した打ち込み台を置き、また、竹刀（3尺9寸：120 cm，重さ510 g）で打突する部位にはそれを固定するためのチェーンにロードセル（model 1269-F, Takei, Niigata, Japan）を連結して設置した。被験者の右肘関節にはエレクトロゴニオメータ（DL-210, 4Assist, Inc., Japan）を装着し、左右の上腕二頭筋および右上腕三頭筋に筋電図用表面電極を置いた。打突様式は、剣道の引き技モデルを採用し（與谷ら, 2007），被験者は右肘関節角度を一定（90°）にした状態から自身のタイミングで速やかに、且つ有効（一本）と感じる打突を10回行わせた。その後、素振り用の重い木刀（木刀：117 cm，1800 g；竹刀の+28%）を用いて同様のフォームで20回の素振りを行わせ、その直後に再度、竹刀による打突を10回実施させた。この時、筋電図、右肘関節角度、ロードセルによる打突時の衝撃力を記録し、アナログ/デジタル（A/D）変換器（16bit, PowerLab/8sp, ADInstruments, Japan）を介してパーソナルコンピュータ（PC）に取り込んだ。尚、被験者には、木刀による素振り後の竹刀の重さ等の感覚について内省報告も実施した。

II-B. 竹刀による打突、並びに木刀による素振り

全ての課題遂行中は、立位による下肢への影響を除くため、椅子に座位した状態で遂行させた。

被験者は、打ち込み台の打突位置から1m離れた場所で竹刀による打突を行うこととし、その際、被験者の右肘関節に設置したエレクトロオニゴメータの記録より、1試行ごとに打突前の右肘関節角度(90°)を確認させた(角度確認から打突まで概ね10秒以内)。尚、これらの取り組みは木刀での素振り前後の打突においても同様に実施し、本試行(10回)を実施する以前に被験者への十分な確認を行った。木刀による素振りは、打突時と同様のフォームで、尚且つフォームが可能な限り前後に乱れない程度の被験者自身のリズムで素振りを実施させ、さらに、木刀の移動軌跡が打突時と同程度の範囲で実施するよう指示した。

II-C. 木刀による素振り後の打突感覚に対する内省報告

全ての課題が終了した後、被験者には、木刀による素振り後の打突において、竹刀の重量を含めた打突に対する感覚の変化を口頭での内省報告により調査した。その結果、素振り直後の打突時(約1-2試行)において、竹刀の重量は最も軽く感じ、その後の試行から素振り前の打突時の感覚に戻ったとの回答を得た。従って、被験者には本研究が意図する筋運動感覚残効を生じさせることができたと考えられた。

II-D. 筋電図の記録

被験者の左右上腕二頭筋(L-BB, R-BB)、右上腕三頭筋(R-TB)から表面電極双極導出法により筋電図を記録した。電極にはディスボ型電極(DL-140, 4Assist, Inc., Japan)を使用し、電極設置前にはその部位周辺を消毒用のエタノールで脱脂した。記録の際、近接の機器からの干渉波やアーチファクト等のノイズが混入していないかを、モニターで確認して実験を開始した。導出された電気信号は筋電図記録システム(DL-720, 4Assist, Inc., Japan)を通し、A/D変換器を介してPCに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

解析を行った。

II-E. データ分析及び統計処理

衝撃力、右肘関節角度、筋電図の各電気信号は、A/D変換機を介してPCに取り込み、波形表示解析ソフトを用いて解析を行った。衝撃力は、ロードセルによる打突前の基準値に対して打突直後、連続的に最も大きくなった値との差分(N)によって算出された。筋電図においては、打突に伴う各筋の活動開始からロードセルが反応するまでの期間を対象に、筋活動様式(筋活動開始のタイミングやその期間の筋放電量)を評価した。筋放電活動開始時点の計測には、積分累積法を用い(Ando et al., 2009)、各筋電図信号は整流平滑化後、ロードセルが反応する以前の二乗平均平方根(root mean square: RMS)の最高値(100%閾値)を同定し、その閾値から戻って5%以上の連続した活動が観られる時点を活動開始として同定した。尚、その開始時点は視覚的にも確認を行いつつ、各筋放電活動開始からロードセルが反応するまでの時間(タイミング)、並びにその期間の筋放電量(RMS)を算出し、RMSにおいては、本実験開始前に測定した最大随意収縮中のRMS(100%)を用いて正規化され、%RMSで評価した。データ処理の取り扱いにおいては、被験者による内省報告の回答を受け、木刀による素振り前あるいは後の各試行(1-10回)ごとの被験者間の平均値±標準偏差を求め、これらのデータより、竹刀による打突時の衝撃力、並びに筋活動様式を比較した。統計処理は二元配置分散分析(素振り前後×各試行)を行い、主効果が有意な場合はBonferroni法による多重比較を行った。尚、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

竹刀による打突時の衝撃力は、試行1-2回目で木刀による素振り前よりも後が大きくなる傾向を示し、交互作用はみられなかったものの、素振り前後で主効果($P<0.05$)が認められた(図1)。

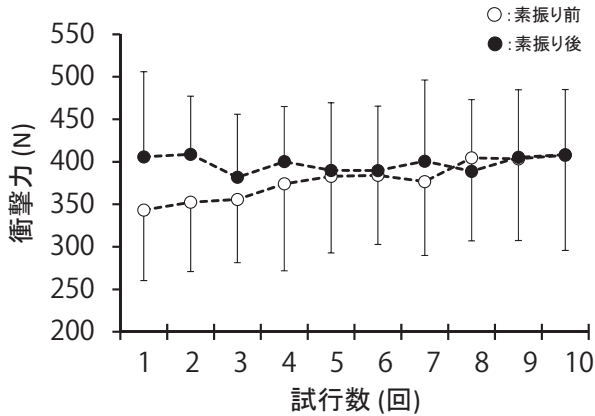


図1. 重い木刀による素振り前後での各試行間における打突時の衝撃力の変化.

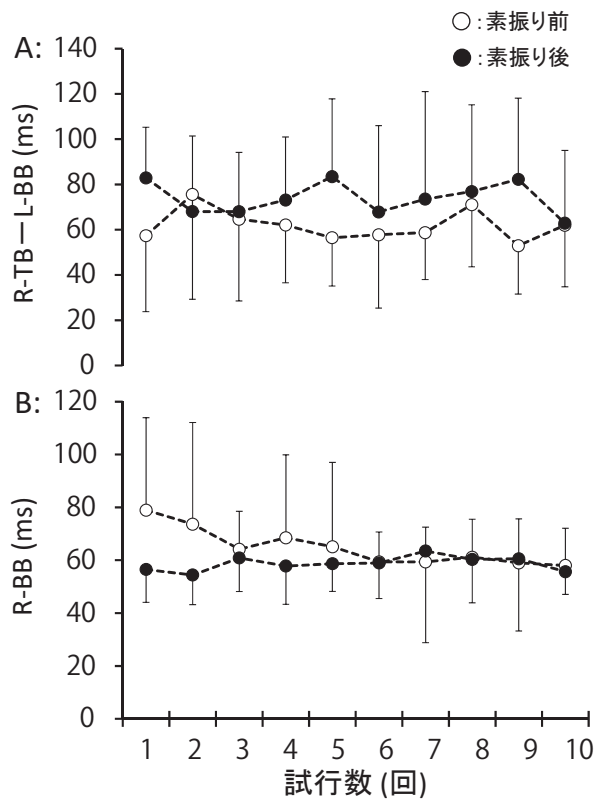


図2. 重い木刀による素振り前後での各試行間における筋活動のタイミングの変化. A: 竹刀の回転に伴う右上腕三頭筋(R-TB)と左上腕二頭筋(L-BB)の活動開始時間の差分(R-TB-L-BB), B: 0 msを打突時として打突直前に竹刀のブレーキ(止め)に作用する右上腕二頭筋(R-BB)の活動開始のタイミング.

次に、筋活動様式のタイミングについて、打突に伴う竹刀の前方への回転、並びに打突直前のブレーキを検討した。まず、①打突に伴う竹刀の前方への移動(回転運動)は、R-TB(右の押手側)及びL-BB(左の引手側)の筋活動によって生じる。また、②剣道では、打突直後の残心や打突

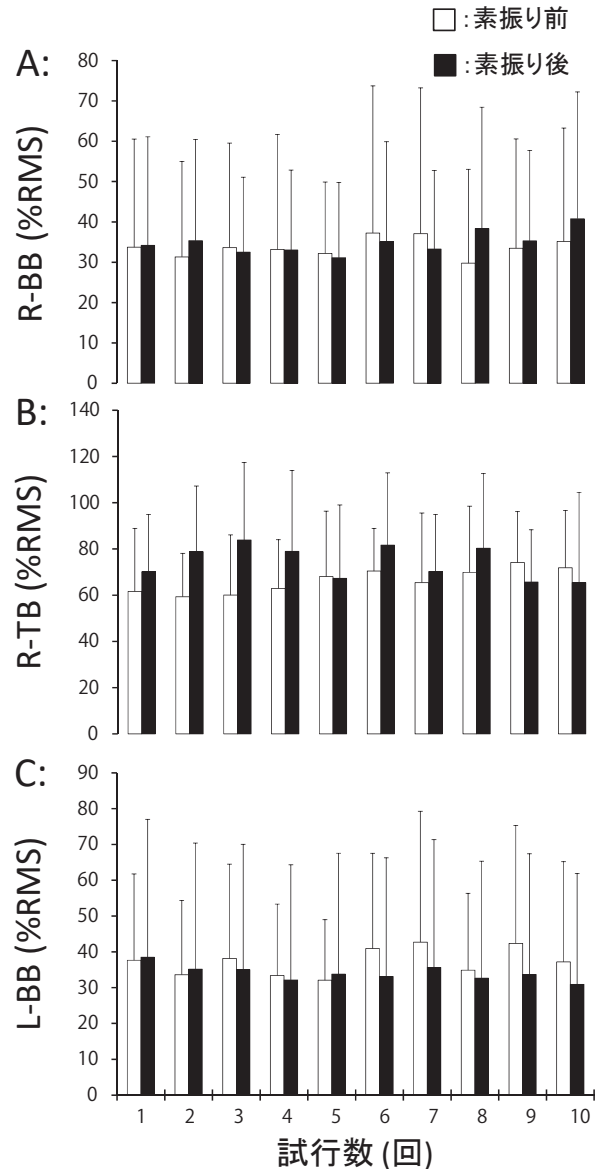


図3. 重い木刀による素振り前後での各試行間における筋活動量(%RMS)の変化. A: 右上腕二頭筋(R-BB), B: 左上腕三頭筋(R-TB), C: 左上腕二頭筋(L-BB)における各筋活動開始から打突時点までの%RMS.

後の攻防へ転移するための竹刀操作を行うため、打突着前に竹刀の回転とは逆方向への筋活動(R-BB: 押手側の拮抗筋)が生じる。以上の2点の筋活動のタイミングについて、竹刀の回転におけるR-TBとL-BBの差分、並びにR-BBの長さを衝撃力の傾向(試行1-2回目)と並行して検討したところ、いずれも試行1-2回目で素振り前後間の時間差が大きくなり、衝撃力と同様に素振り前後で主効果($P < 0.05$)のみが認められた(図2-A, B)。一方で、%RMSについては、各筋ともに顕著

な特徴はみられず, 統計的な差異についてもみられなかった (図3)。

IV. 考察

本研究は, 筋運動感覚残効を伴う重い木刀での素振りが竹刀による打突時の衝撃力に及ぼす影響やその際の上肢の筋活動様式について検討した。主要な見解として, 衝撃力は, 素振り前後の試行1-2回目で変化が大きかった。また, 筋活動様式においては, 活動量 (%RMS) でなく各筋の活動のタイミングに違いが観察され, 衝撃力の変化が生じた同時期にも素振りの前後間で差異が認められた。

先行研究において, 筋運動感覚残効は先行する運動期間に影響する反面, その期間と同等の持続性は得られず, 即時的な (早期に消失する) 効果であると報告されており (Cratty & Duffy 1969; Cratty & Amatelli 1969; 落合, 1976), これらの報告は本研究の衝撃力における短期的な変化と一致する。一方, 本研究における衝撃力の傾向は, 我々が仮説立てた打突が軽くなる (低下する) という傾向から外れて素振り前よりも後で大きくなった。その可能性として, まず一つ目に活動後増強の影響が挙げられる。活動後増強とは筋へ高い負荷をかけて運動を行った後に観察される筋力発揮の向上であり (Robbins, 2005), 先行研究において, ダイナミックなパフォーマンス (砲丸投げ (Judge et al., 2013) や垂直跳び (Terzis et al., 2012)) を遂行する際, 準備運動として高負荷を与えることでその後のパフォーマンス (飛距離や高さ) が向上することが報告されている。しかし, この現象は, 負荷を与える時間よりも比較的長く持続する特徴を有するため (Wilson et al., 2013), 本研究の衝撃力における短期間の向上を活動後増強の影響のみで説明することは難しいと思われる。一方, 本研究の打突課題は, 前方への並進運動 (振り下し) といったバットスイングのような精密な運動調節を必要としないシンプルな動作様式であるため, 被験者自身の有効打と感じる知覚

的な歪みから衝撃力を向上させる傾向を示したのかもしれない。

さらに, 本研究の筋活動様式では, 活動のタイミングに変化がみられたものの, その量 (%RMS) への影響は認められなかった。先行研究において, 手関節や肘関節などを用いて特定のターゲットに対して素早い動作を行う際には, 参加する各筋の活動パターンに各々の役割があり, 早期に参加する筋の活動は運動開始時の加速 (Hallett & Marsden, 1979; Brown & Cooke, 1981; Flament et al., 1984; Hoffman & Strick, 1990) を, その後の拮抗筋の活動は特定のターゲットで動作を制御させる役割 (Engelhorn, 1983; Mustard & Lee, 1987) を有すと考えられている。一方, 野球のバットスイングに関する調査において, 重いバット (1588g) での素振りはその後の通常バット (964g) の素振り時に上肢のモーションを変化させることが報告されている (Southard & Groomer, 2003)。従って, 本研究においては, 先行動作としての竹刀の回転に関与する R-TB と L-BB の活動が加速の役割を, また拮抗筋である R-BB がその後の竹刀制御の役割に該当すると思われる。さらに, これらの筋活動様式は, 被験者自身が日々のトレーニングによって習得した活動パターン (タイミング) であると思われるが, いずれの計測項目においても素振り後にタイミングが変化した点を考慮すると, 本来の打突に至るまでの上肢の動きに変化が生じているものと推察された。加えて, 本研究の %RMS の結果は, 素振りの前後間で変化がみられず, これは野球のバッティングにおける筋運動感覚残効の状況下で調査された報告と傾向が一致した (Ohta et al., 2014)。

以上のことより, 本研究の筋運動感覚残効を伴う重い木刀での素振りは竹刀による打突時の衝撃力を短期的に向上させ, 上肢の筋活動のタイミングのみを変化させることが明らかになった。一方, 本研究のリミテーションとして, これらの結果は, 統計上の交互作用は認められず, 上記の焦点が傾向のみに留まることに注意を払う必要があ

る。また、本研究で得られた衝撃力の向上に関わる要因は今回の筋活動様式から明らかにすることはできず（衝撃力と各計測項目との間に相関関係無）、今後、方法上の事前準備（十分なウォーミングアップ）やカウンターバランスによる検証への配慮（木刀での素振り→通常の竹刀での打突、通常の竹刀での→木刀での素振り等）、さらに、右肘関節以外の関節角度（左肘関節や肩関節）の統制も考慮した検討が必要になると考えられる。従って、本研究の結果を現段階で現場へ応用する際には、即時的な打突力向上を意図とするか、これまでのトレーニングによって培われた打突時の上肢の動作様式を重視するかの選択が必要になると考えられた。

謝辞

本研究は、鹿屋体育大学教育研究経費によって行われた。記して謝意を表する。

参考文献

- Ando, S., Yamada, Y., Tanaka, T., Oda, S., Kokubu, M. (2009) Reaction time to peripheral visual stimuli during exercise under normoxia and hyperoxia. *Eur. J. Appl. Physiol.* 106: 61-69.
- Brown, S. H., Cooke, J. D. (1981) Amplitude- and instruction-dependent modulation of movement-related electromyogram activity in humans. *J. Physiol.* 316: 97-107.
- Cratty, B. J., Amatelli, F. E. (1969) Figural aftereffects elicited by gross action patterns: the role of kinesthetic aftereffects in the arm-shoulder musculature. *Res. Q.* 40: 23-29.
- Cratty, B. J., Duffy, K. E. (1969) Studies of movement aftereffects. *Percept. Mot. Skills* 29: 843-860.
- DeRenne, C., Ho, K. W., Hetzler, R. K., Chai, D. X. (1992) Effects of warm up with various weighted implements on baseball bat swing velocity. *J. Strength Cond. Res.* 6: 214-218.
- Engelhorn, R. (1983) Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition. *Res. Q. Exerc. Sport.* 54: 315-323.
- Flament, D., Hore, J., Vilis, T. (1984) Braking of fast and accurate elbow flexions in the monkey. *J. Physiol.* 349: 195-202.
- Hallett, M., Marsden, C. D. (1979) Ballistic flexion movements of the human thumb. *J. Physiol.* 294: 33-50.
- Hoffman, D. S., Strick, P. L. (1990) Step-tracking movements of the wrist in humans. II. EMG analysis. *J. Neurosci.* 10: 142-152.
- 工藤孝幾 (1989) 筋運動感覚残効. 運動行動の心理学, 高分堂出版社: 東京, pp. 140-144.
- 倉田博, 小野三嗣, 柳本昭人 (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.
- Judge, L. W., Bellar, D., Craig, B., Gilreath, E., Cappos, S., Thrasher, A. (2013) The influence of post activation potentiation on shot put performance of collegiate throwers. *J. Strength Cond. Res.* 12.
- Mustard, B. E., Lee, R. G. (1987) Relationship between EMG patterns and kinematic properties for flexion movements at the human wrist. *Exp. Brain Res.* 66: 247-256.
- Nakamoto, H., Ishii, Y., Ikudome, S., Ohta, Y. (2012) Kinesthetic aftereffects induced by a weighted tool on movement correction in baseball batting. *Hum. Mov. Sci.* 31: 1529-1540.
- 中島昭美 (1981) 運動感覚. 新版心理学辞典, 平凡社: 東京.
- 落合優 (1976) 運動残効. 松田岩男編. 運動心理学入門, 大修館書店: 東京, pp. 60-63.
- Ohta, Y., Ishii, Y., Ikudome, S., Nakamoto, H. (2014) Warm-up with weighted bat and adjustment of upper limb muscle activity in bat swinging under movement correction conditions. *Percept. Mot. Skills* 118: 96-113.
- 小野三嗣, 尾谷良行, 高橋泰光, 坪田修三, 倉田博 (1968-a) 剣道における神経筋協応能について

て (第1方). 体力科学 17: 1-13.

小野三嗣, 柳本昭人, 山下富士男, 倉田博 (1969-

b) 剣道選手における神経-筋供協応能について

(第2方). 体力科学 18: 72-82.

Robbins, D. W. (2005) Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *J. Strength Cond. Res.* 19: 453-458.

Southard, D., Groomer, L. (2003) Warm-up with baseball bats of varying moments of inertia: effect on bat velocity and swing pattern. *Res. Q. Exerc. Sport*, 74: 270-276.

Terzis, G., Karampatsos, G., Kyriazis, T., Kavouras, S. A., Georgiadis, G. (2012) Acute effects of countermovement jumping and sprinting on shot put performance. *J. Strength Cond. Res.* 26: 684-690.

Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., Jo, E., Lowery, R. P., Ugrinowitsch, C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J. Strength Cond. Res.* 27: 854-859.

與谷謙吾, 今泉英徳, 桐本光, 北田耕司, 田巻弘之, 萩田太, 竹倉宏明 (2007) 竹刀を用いた光刺激に対する引き技の筋電図反応時間及び打撃動作時間の分析. *日本生理人類学会誌* 12: 139-146.