

7. 中学校1、2年次の柔道学習で指導される基本の投技における相対的頭部外傷リスクの検討

了徳寺大学 越田専太郎
了徳寺大学 石井 孝法
城西国際大学 松田 雅弘
首都大学東京 橋本 俊彦

キーワード：頭部外傷予防、受身、動作解析

7. Relative head injury risk sustained from basic judo throw techniques learning in 1st and 2nd years of junior high school.

Sentaro KOSHIDA (Ryotokuji University)
Takanori ISHII (Ryotokuji University)
Tadamitsu MATSUDA (Jyosai International University)
Toshihiko HASHIMOTO (Tokyo Metropolitan University)

Keyword : head injury prevention, judo breakfall, motion analysis

Abstract

Previous studies have reported that head injuries sustained during judo frequently occur when an opponent throws a novice judo practitioner, suggesting that identifying the relative head injury risk of the breakfall for judo throws may be important when teaching judo to young students in a school setting. Therefore, the objective of this study was to investigate the biomechanical parameters that represent head injury risk during the breakfall motion of various judo-throw techniques in novice judo practitioners. Seven male novice judo practitioners volunteered to attend the study (median age: 20 years, height: 1.69 m, weight: 69.4 kg). Forty-one reflective markers were assigned to the anatomical landmarks of the participants to define individual body segments. The kinematic data during the breakfall

motion for five judo-throw techniques (sasae-tsurikomi-ashi, hiza-guruma, ogoshi, tai-otoshi, and osoto-gari) was collected using a three-dimensional motion analysis method (500 Hz). We obtained the time course of the head resultant acceleration and head resultant rotational velocity through the breakfall motion and computed peak values of each biomechanical parameter. The Wilcoxon test with the Holm correction was performed to test the difference in each biomechanical parameter between the breakfalls for the different throws. The present study demonstrated that there was no significant difference between the peak values of the breakfalls for the different judo throws, suggesting that stress imposed to the head segment during breakfalls was not different among the throws. Previous epidemiological studies have indicated that being thrown with osoto-gari gives the greatest risk for sustaining a judo-related head injury in novice judokas. However, our results suggest that this throw may not carry the greatest risk of judo-related head injury among the basic judo throws. In addition, it is noteworthy that the peak values of neither the resultant acceleration or resultant angular acceleration during the breakfall exceeded the head injury tolerance levels that have been reported in the previous studies.

I. 緒言

柔道における重篤な事故の発生の多くが、頭部外傷に起因している。公益財団法人全日本柔道連盟¹⁰⁾は、2003年から2014年の12年間に同連盟の「障害保障・見舞金制度」に申請された頭部外傷の事例のうち、急性硬膜下血腫の手術が実施された例や死亡ないし後遺症が残存した重大事故事例は合わせて41件であったことを報告している。また、競技時の脳振盪発生も多く報告されており、宮崎¹⁵⁾は国民体育大会に出場するレベルの選手を調査した結果、約3分の1は脳振盪の経験を有していたと報告している。軽微な症状であったとしても、脳振盪の繰り返しは将来の重大な後遺症につながる可能性も指摘されているため^{16,18)}、柔道の安全な指導を考える上で有効な頭部外傷予防の方策を講じることは重要である。

柔道における頭部外傷の受傷機転は特徴的であり、先行研究は、主な受傷機転が後方に投げられた際の後頭部と畳の衝突であることを示唆している。特に、大外刈で後方に投げられた際の受傷が多く、Kamitani et al⁸⁾は2003年から2010年までに生じた重篤な頭部外傷例30例のうち少なくとも9例(30%)は、大外刈が原因であったことを報告している。さらに、これら頭部外傷の多くは柔道経験の浅い初心者によく発生しており、約60%が柔道経験3年未満であった。このことから、多くの柔道研究者および指導者は、未熟な受身技能と頭部外傷発生との関連を指摘しており、特に大外刈の受身動作を十分に習熟することの重要性を強調している^{4,15)}。

これまでに、受身動作は3次元動作解析装置または慣性センサを用いて分析され、頭部に作用する加速度や角加速度などを指標とした頭部外傷発生リスクの検討がなされている。先行研究では同じ後方への投技に分類できる大内刈の受身動作と比較したものが多^{3,5,6,12,19)}。さらにIshikawa et al⁵⁾は大外刈、大内刈、体落、背負投の4種類の投技を比較した結果、大外刈に対する受身動作において頭部の最大角加速度が最も高くなったことを報告している。これらの結果は、大外刈で投げられることによる頭部外傷リスクが、他の技と比較して相対的に高い可能性を示唆している。一方、石井ら⁶⁾は慣性センサを用いた予備的研究において、各種の受身動作時の合成角加速度を算出した結果、大外刈は最大値を示さなかったことを報告している。同様に、

Koshida et al¹¹⁾も熟練者を対象として大外刈を含む6種類の投技の受身動作を分析した結果、バイオメカニクスの観点からは必ずしも大外刈の頭部外傷リスクが高いとはいえないことを指摘している。つまり、過去のバイオメカニクス研究では、大外刈が他の技術と比較して頭部外傷発生が多い理由を十分に説明できているとはいえず、今後もエビデンスの蓄積が必要である。

2012年度より中学校保健体育において武道が必修化となり、初心者の柔道学習機会は増大している。そのため、学校体育における柔道の安全指導の社会的関心は特に高く、研究の必要性がある。ただし、バイオメカニクス研究の多くはダミー人形や柔道熟練者を対象としており、柔道初心者を対象とした受身動作の分析は十分ではない。柔道の頭部外傷が初心者に頻発する事実を考慮すれば、初心者を対象とした分析を検討する必要がある。また、最新の中学校学習指導要領解説〔保健体育編〕¹⁷⁾では、支釣込足、膝車、大腰、体落、大外刈の5種類の技を中学校1、2年次に学習する基本の投技として例示している。学校体育における柔道での頭部外傷を予防するためには、上記の投技に対する柔道の受身動作を適切に習得させると同時に、指導者が投技の相対的頭部外傷リスクを認識し、より安全な技術の指導を優先させるなどの取り組みも有効であろう。しかし、これらの技に対する受身動作の分析は十分ではない。そこで本研究では、柔道初心者を対象に、中学校1、2年次に学習する基本の投技に対する受身動作を測定し、頭頸部に作用する物理量を比較することで、各投技の相対的な頭部外傷リスクの推測及び比較を試みた。

II. 研究方法

1. 対象

本研究の対象は、8名の大学生男子柔道初心者であった。対象の特性の中央値〔範囲〕は、年齢：20歳〔19–22〕歳、身長：1.69〔1.63–1.78〕m、体重：69.4〔62.4–82.4〕kgであった。本研究に参加した対象は、いずれも同じ大学で開講された柔道授業（全15回）を受講し、単位を取得していた。また、全ての対象が動作の妨げとなるような既往および現病・外傷歴は有していなかった。研究に先立ち、参加者全員に研究の目的および予想される危険性を説明した後、書面による同意を得た。研究プロトコルは、了徳寺大学生命倫理委員会によって承認された。

2. 受身動作の測定

測定の準備として、全身のランドマーク41箇所（頭頂部、左右耳垂部、胸骨上部、第7頸椎棘突起部、左右肩前後面、左右肘内外側部、左右手関節内外側部、左右第3中手骨骨頭部、左右第10肋骨下縁部、左右上前腸骨棘、左右大腿骨大転子、左右膝内外側部、左右足関節内外側部、左右踵部（踵部）中央、左右第1および第5中足骨骨頭部、左右母趾先端部）に直径1.9cmの反射マーカを貼付した。また、対象は柔道着を裁断し作成した特別な柔道着および安全性を高めるために柔道用ヘッドギアを着用した（図1）。

全ての受身動作の測定は、了徳寺大学運動学動作実習室にて実施した。動作は、室内中央に敷いた柔道用畳（2.7m×3.6m）上で実施し、18台で構成された3次元動作解析装置 MAC3Dシステム（Motion Analysis Corp., Santa Rosa, CA, USA）により測定周波数500Hzにて座標データを得た。



図1 測定環境

対象には柔道熟練者1名（参段、柔道経験20年以上）による支釣込足、膝車、大腰、体落、小内刈、大外刈の計6種類の投技に対して、各3回の受身動作を実施してもらった。貼付したマーカが外れるなど、その後の分析に影響すると考えられた場合は無効とし、再測定を実施した。投技の順序は対象毎にランダムに配置し、技の種類を事前に知らせた後、動作を測定した。なお、中学校学習指導要領の改訂に伴い、小内刈は中学校1, 2年次に学習する技術から3年次に学習する技術へと変更されている。そこで、本研究では小内刈を除いた、支釣込足、膝車、大腰、体落、大外刈の5種類の投技による受身動作のみを分析した。

3. データ分析

得られた動作データは、デジタルButterworth filterにより6Hzのローパスフィルタをかけノイズを除去した。支釣込足、膝車、および大外刈動作では、試技者が対象の脚に接触させる側（刈脚）の踵骨部マーカが対象者の膝マーカに矢状面上で最も近づいた瞬間、大腰および体落では、試技者の体幹が回旋し両足が接地した瞬間を開始時点、対象の受身動作時の頭部マーカが延長軸上での最下点となる時点を終了時点として、各開始時点から終了時点までの動作を分析の対象とした。

本研究では、先行研究^{5,6,19)}に則り頭頸部へ作用する力を推定する運動学的指標として、頭部中心の合成加速度 (m/s^2) および頭部セグメントの合成角加速度 (rad/s^2) の各最大値を算出し、各々の変数に対して3回の試技の平均値を求めた。いずれの変数も算出には数値解析ソフトウェアMATLAB (R2017b, The Mathworks Inc., Natick, MA, USA) による演算プログラムを用いた。なお、対象1名のデータが、全ての変数において異常値（中央値と比較して10倍以上）を示していたため、この時点で分析から除外した。

4. 統計解析

受身動作時の頭部合成（並進）加速度、頭部合成角加速度の各最大値について、各技間でWilcoxonテストによる対比較（各変数における検定数は10回）を実施した。また、本研究における有意水準 $\alpha=0.05$ をHolm法により補正した。これらの統計解析にはR 3.4.4 for mac (<http://www.gnu.org/>) を用いた。

III. 結果

頭部合成加速度の最大値および合成角加速度の最大値をそれぞれ、図2および図3に示した。最大頭部合成加速度 (m/s^2) の中央値（四分範囲）は、支釣込足31.0 (7.7)、膝車32.6 (11.8)、大腰23.6 (5.6)、体落31.3 (2.9)、大外刈42.1 (9.1)であった。また、最大頭部合成角加速度 (rad/s^2) の中央値（四分範囲）は、支釣込足209 (27.7)、膝車182.8 (31.4)、大腰183.0 (37.9)、体落211.6 (49.7)、大外刈230.0 (64.1)であった。いずれの比較においても対立仮説は採択されず、帰無仮説は保留された ($P>0.05$)。

IV. 考察

柔道の頭部外傷の多くは、初心者が投げられた際、頭部が畳に接触することで生じると考えられている。我々は、柔道初心者の受身動作時の頭頸部に作用する物理量から各投技による頭部外傷発生リスクを推測する取り組みは、柔道学習の技の指導順序を考える上で重要な情報となると

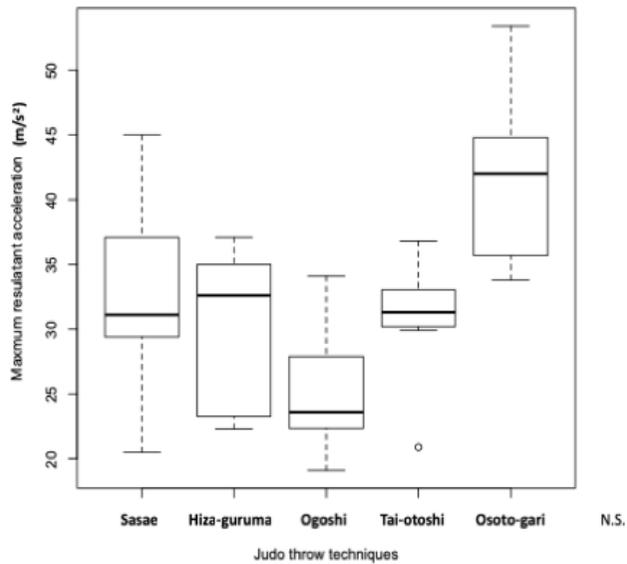


図2 頭部最大合成加速度の比較 (N=7)：箱の最上端および最下端は、各々第3四分位数、第1四分位数をあらわしている。また、上側のひげおよび下側のひげは第1四分位数-1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以上、第3四分位数+1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以下の範囲での最大値および最小値を示している。丸は外れ値をあらわしている。Sasae：支釣込足、Hiza-guruma：膝車、Ogoshi：大腰、Tai-otoshi：体落、Osoto-gari：大外刈、N.S.：Not significant

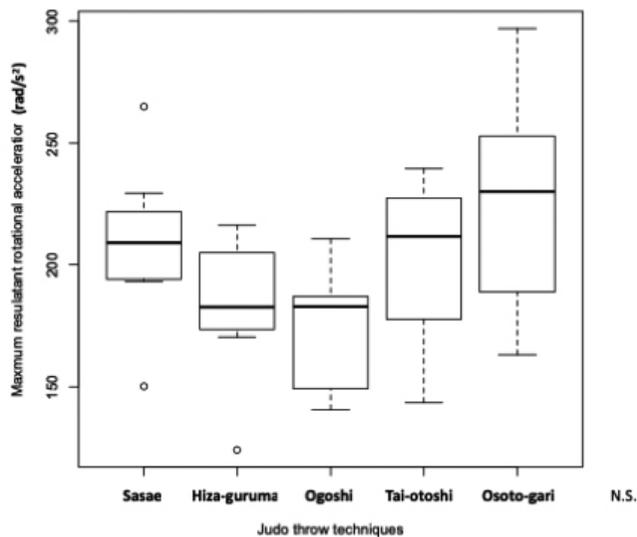


図3 頭部最大合成角加速度の比較 (N=7)：箱の最上端および最下端は、各々第3四分位数、第1四分位数をあらわしている。また、上側のひげおよび下側のひげは第1四分位数-1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以上、第3四分位数+1.5×(第3四分位数-第1四分位数)以下の範囲での最大値および最小値を示している。丸は外れ値をあらわしている。Sasae：支釣込足、Hiza-guruma：膝車、Ogoshi：大腰、Tai-otoshi：体落、Osoto-gari：大外刈、N.S.：Not significant

考えた。そこで本研究では、中学校学習指導要領解説〔保健体育編〕において、中学校1、2年次に指導される基本の投技に対する受身動作時の頭部加速度、角加速度の最大値を比較し、各技の相対的頭部外傷リスクを検討した。

疫学研究において、大外刈で投げられた状況での頭部外傷の発生数は、他の投技と比較して顕著に高いことが示されている⁸⁾。しかし、過去のバイオメカニクス研究の結果は、これらの疫学研究の結果と必ずしも一致はしていない^{5,11)}。今回の我々の研究においても、大外刈で頭部に加わる最大合成加速度および最大合成角加速度の中央値は相対的にやや高い傾向を示したものの、統計学的な差は認められなかった。つまり、少なくとも本結果からは、大外刈が他の技と比較して頭部外傷リスクが高い技術であるとはいえない。疫学研究は、明らかに大外刈で頭部外傷発生数が増大することを示しているが、初心者への指導に際して大外刈のみを危険視することには、議論が必要かもしれない。

頭部外傷は頭部接触がない状態でも生じることが知られており、頭部が畳に接触していない場合の外傷発生はあり得る。ただし、柔道における頭部接触が生じない状況での頭部外傷発生については、否定的な見解が多い²⁰⁾。いくつかの先行研究は、脳振盪などの頭部外傷発生の可能性が高くなる閾値（Injury tolerance level）を並進加速度で90-95g、角加速度で4500 - 5500 rad/s²としているが^{1,2,22)}、本研究では、全ての値でこれらの閾値を大きく下回った。この結果は、柔道の基本技の約束練習において、頭部が畳に接触することなしで頭部外傷が生じる可能性が低いこと、したがって予防には頭部接触を防ぐ取り組みが有効であることを示している。また先行研究は、初心者が投げられた際に、熟練者と比較して体を丸める傾向があることを確認している^{13,23)}。Koshida et al¹³⁾は初心者の大外刈に対する受身動作は体幹屈曲角度が大きいこと、さらに股関節屈曲のタイミングが早く、相手の刈脚が接触した直後から屈曲が始まる傾向にあることを示した。バイオメカニクスの観点からみれば、体を丸くすることで慣性モーメントが小さくなれば、矢状面上での身体重心の角速度が増大する。つまり初心者が示す体幹や股関節を屈曲する動作の傾向は、後方に投げられる際の頭部衝突の可能性を増大させ、頭部損傷のリスクを高めているのかもしれない。

本研究の対象は大学生初心者であった。したがって、本結果は中学校の柔道初心者の結果と一致しない可能性がある。特に、若年層の柔道選手の場合、大学生と比較して頸部筋力が十分でない可能性がある¹⁴⁾。このことは、頭部が畳に衝突するリスクを増大させるだろう。ただし、現実的には中学生初心者を対象として受身動作を直接測定する研究の実施は、危険性が伴う。今後はシミュレーションなどの研究手法による取り組みも検討する必要がある。

受身動作時に頭頸部に生じる負荷の大きさには、試技者（投げる側）のレベルや技術的特性、投げられる側との体格差が反映するかもしれない。疫学研究では中学校1年次や高校1年次など、練習環境の競技レベルが上がった時期に事故が頻発することを報告しており⁸⁾、これは相手との競技レベルの差が頭部外傷リスクを増大させる可能性を示唆している。また、柔道競技の特性から、投げられた際に加わる負荷に試技者の特徴が反映されることは容易に想像できる。さらに、互いの体格差が頭部外傷リスクに関係することを示唆する報告もみられる⁷⁾。今後の研究において、試技者の身体的および技術的特徴や、対象との体格差と受身動作メカニクスの関連性に着目し、受傷リスクの高い試技者の身体的・技術的特徴を明らかにする取り組みも必要だろう。

これまでの研究において、柔道時に頭部に加わる負荷は、実験室で得られた測定値から推定されている。つまり実験室で得られた値が実際の柔道現場で投げられた際に頭部に加わる負荷の大

きをどれほど反映しているかは明らかではない。近年センサー技術の向上に伴い、実際のスポーツ場面で選手に暴露される頭部衝撃の大きさおよび頻度を、直接測定する試みが実施されている^{9,21)}。柔道の頭部外傷予防研究においても、通常の稽古時および試合時に頭部に加わる負荷の大きさや頻度について経時的に調査する取り組みが望まれる。

V. 結論

中学校1、2年次に学習する基本の投技の受身動作を比較した結果、頭部に加わる物理量に統計的な差は認められなかった。本研究の結果からは、大外刈による頭部外傷発生のリスクが高いことを説明できない。

参考文献

- 1) Broglio, S.P., Schenebel, B., Sosnoff, J., Shin, S., Fend, X., He X. et al. Biomechanical properties of concussions in high school football. *Medicine and Science in Sports and Exercises*, 42, 2064-2071, 2010.
- 2) Guskiewicz, K.M., Mihalik, J.P., Shankar, V., Marchall, S.W., Crowell, D.,H., Oliaro S.M., et al. Measurement of head impacts in collegiate football players : relationship between head impact biomechanics an acute clinical outcome after concussion. *Neurosurgery*, 61, 1244-1253, 2007.
- 3) Hashimoto, T., Ishii, T., Okada, N., & Ito, M. Impulsive force on the head during performance of typical ukemi techniques following different judo throws. *Journal of Sports Sciences*, 33, 1356-1365, 2015.
- 4) Hitosugi, M., Murayama, H., Motozawa, Y., Ishii, K., Ogino, M., & Koyama, K. Biomechanical analysis of acute subdural hematoma resulting from judo. *Biomedical Research* (Tokyo), 35, 339-344, 2014.
- 5) 石井孝法・越田専太郎・阿江通良. 柔道固有の動作における受の頭部角加速度：初心者の頭部外傷予防について. 日本体育学会予稿集, 64, 296, 2013.
- 6) Ishikawa, Y., Anata, K., Hayashi, H., Yokoyama, T., Ono, T., and Okada, S. Effects of different throwing techniques in judo on rotational acceleration of uke's head. *International Journal of Sport and Health Science*, <https://doi.org/10.5432/ijshs.201713>, 2018 (2018年10月1日ダウンロード)
- 7) 紙谷武・宮崎祐介・稲次基希・大宮正毅. 頭部物理モデルを用いた柔道における後頭部衝突時の頭蓋内挙動観察実験. 日本臨床スポーツ医学会誌. 24, 443-450, 2016.
- 8) Kamitani, T., Nimura, Y., Nagahiro, S., Miyazaki, S., and Tomatsu, T. Catastrophic head and neck injuries in judo players in Japan from 2003 to 2010. *The American Journal of Sports Medicine* 41, 1915-1921, 2013.
- 9) King, D., Hume, P., Gissane, C., Brughelli, M., and Clark, T. The influence of head impact threshold for reporting data in contact and collision sports : systematic review and original data analysis. *Sports Medicine*, 46, 151-69, 2016.
- 10) 公益財団法人 全日本柔道連盟：柔道の安全指導, 公益財団法人 全日本柔道連盟, p10, 第四版, 2015.

- 11) Koshida S., Ishii, T, and Matsuda, T. Biomechanics of head-neck segment during breakfall motion of various judo-throw techniques. *Proceedings of the 2017 International Budo Conference*. 2017.
- 12) Koshida S., Ishii, T, Matsuda, T., and Hashimoto, T. Biomechanics of judo backward breakfall for different throwing techniques in novice judokas. *European Journal of Sports Science* 17, 417-424, 2017.
- 13) Koshida S., Ishii, T, Matsuda, T., and Hashimoto, T. Kinematics of judo breakfall for osoto-gari : consideration for head injury prevention. 35, 1059-1065, 2017.
- 14) Lavallee, A., V., Ching, R., P., and Nuckely, D., J. Developmental biomechanics of neck musculature. *Journal of Biomechanics*, 46, 527-34, 2013.
- 15) 宮崎誠司. スポーツ現場における脳震盪の頻度と対応：特集 脳震盪をめぐるスポーツ現場での対策-予防・再発予防に向けた具体的な取り組み-. *臨床スポーツ医学*, 27, 303-308, 2010.
- 16) Manley, G., Gardner, A.J., Schneider, K.J., Guskiewicz, K.M., Bailes, J., Cantu, R.C., et al. A systematic review of potential long-term effects of sport-related concussion. *British Journal of Sports Medicine*. 51, 969-977, 2017.
- 17) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 保健体育編, 東山書房, 2018.
- 18) Montenigro, P.H., Alosco, M.L., Martin, B.M., Daneshvar, D.H., Mez, J., Chaisson, C.E., et al. Cumulative head impact exposure predicts later-life depression, apathy, executive dysfunction, and cognitive impairment in former high school and college football players. *Journal of Neurotrauma*. 34, 328-340, 2017.
- 19) Murayama, H., Hitosugi, M., Motozawa, Y., Ogino, M., and Koyama, K. Rotational acceleration during head impact resulting from different judo throwing techniques. *Neurologia medico-chirurgica*, 54, 374-378.2014.
- 20) 日本武道学会柔道専門分科会企画 シンポジウム：受身の最新研究から学校柔道安全確保の道を探る. *武道学研究*. 48 : pp249-253, 2016.
- 21) O' Connor, K.L., Rowson, S., Duma, S.M., and Broglio, S.P. Head-impact-measurement devices : A systematic review. *Journal of Athletic Training*. 52, 206-227, 2017.
- 22) Ommaya, A.K., Goldsmith, W., Thibault, L. Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *British Journal of Neurosurgery*. 220-242, 2002.
- 23) 藪根敏和, 大宅和幸, 有山篤利, 藤野貴之：柔道のよい受身動作の解明と、動作の学習法と評価法に関する検討. *京都教育大学紀要*. 119, 71-85, 2011.

謝辞

本研究はJSPS科研費（基盤C）JP16k01668の助成を受けた。また、測定の実施にあたりNAC image technology Inc., に測定協力を受けた。心より深謝する。