

柔道時の頭部回転加速度

室伏 美希^{*1}, 藤原 敏^{*2}, 那須 亜矢子^{*2}, 南部 さおり^{*1}, 内山 翔太^{*1}, 西村 明儒^{*3}

Head rotational acceleration in judo practice

Miki MUROFUSHI^{*1}, Satoshi FUJIWARA, Ayako NASU,

Saori NANBU, Shota UCHIYAMA, and Akiyoshi NISHIMURA

^{*1} Yokohama City University School of Medicine
3-9, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-0004 Japan

Judo has high mortality rate than other sports, and the most common cause of death has been reported to be acute subdural hematoma caused by osoto-gari (large outer reap). The purpose of this study was to analyze the head movement of the uke (the person being thrown) of osoto-gari for examination of the mechanism of acute subdural hematoma caused in judo activity. In our experiment, the uke wear a headgear equipped with angular rate sensor to measure the angular velocity in the sagittal direction of the head of the uke at the time when the tori (the person who throws) threw by osoto-gari and calculated the angular acceleration. We used a high-speed camera to record behaviors of the tori and the uke. No marked change in the angular acceleration was observed when the uke was in the air from the time when he was thrown to the time when he did ukemi (breaking the fall). The peak angular acceleration was observed just after the palms made contact with the floor. Head movement of ushiro-ukemi (rear breakfall) was analyzed similarly. Also, in ushiro-ukemi, the peak angular acceleration was observed just after the palm made contact with the floor. However, each value was smaller than the threshold value of rupture of a bridging vein. The results showed that having the hand make contact with the floor and reduced the angular acceleration of the head and prevented excess rotation backward.

Key Words : Judo, Osoto-gari, Ushiro-ukemi, Acute subdural hematoma, Angular rate sensor

1. 緒 言

2012年4月より、学習指導要領が改訂され、中学校の保健体育で武道が必修となり、柔道、剣道、相撲などから選択することとされている⁽¹⁾。この中で柔道は他のスポーツに比べて死亡の発生頻度が高いとされている⁽¹⁾。柔道で発生した傷害では、頭部外傷が多く、特に急性硬膜下血腫が大部分を占めている。これらのうち硬膜下血腫の出血源が特定された症例では、架橋静脈 (bridging vein) の破綻であると報告されている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

事故状況の詳細が判明した中では、事故時の技として、大外刈りが多いとされる。柔道初心者は、柔道技を掛けられた際に衝撃を緩和する受身を十分に習得出来ていないことから、しばしば頭部を畳に衝突させ、頭部損傷を生じるといわれている⁽⁶⁾。最近の裁判例では、硬膜下血腫は頭部打撃がなくても矢状方向の回転加速度衝撃で発生すると認定されている (大阪地方裁判所 2011年10月5日判決, 横浜地方裁判所 2011年12月27日)。しかし、医学的には稀⁽⁷⁾と考えられている。村山ら⁽⁸⁾は、自動車衝突試験用ダミーに大外刈りを掛け、頭部を打撲させる実験を行い、投げられた際の頭部衝撃力は $4282.2 \sim 5525.9 \text{ rad/s}^2$ と報告している。石井ら⁽⁹⁾は、ヒトを対象とした頭部を打撃しない実験を行い、熟練者の頭部合成角加速度を測定し、最大値は、大外刈りで投げられた際には

^{*1} 非正員, 横浜市立大学 医学部医学科 法医学教室 (〒236-0004 横浜市金沢区福浦 3-9)

^{*2} 正員, 横浜市立大学 医学部医学科 法医学教室

^{*3} 非正員, 徳島大学 感覚運動系病態医学講座 法医学分野

E-mail: forensic@med.yokohama-cu.ac.jp

662±202rad/s², 基礎練習である立位後ろ受身では 207±69rad/s²と報告している. しかし, ダミーやヒトを対象として柔道中の頭部外傷発生を検討した実験は未だ少なく, 柔道による頭部外傷発生機序は解明されていない.

本実験では, 柔道による急性硬膜下血腫の発生機序の検討のため, 石井ら⁽⁹⁾と同様に大外刈りと立位後ろ受身を, 柔道有段者において実施して, 頭部運動の解析を行い, あわせて, 頭部を打撃しない受け手の頭部矢状方向の回転速度, 回転加速度, 回転速度変化幅を測定した.

2. 実験方法

本実験では, 大外刈りを掛けられた際の受け手の頭部角速度を測定し, 角加速度を算出した. 被験者は, 掛け手(初段, 柔道歴6年)と受け手(三段, 柔道歴10年)とし, 任意の協力を得て, 柔道用畳(かすみ, 郁栄商会)を敷いた武道場において実験を行った. 左側頭部前方に画像解析追跡用マーカーと, 頭頂部矢状面に角速度計(ARS-12K, Diversified Technical System Inc.)を設置したラグビー用のヘッドギア(図1, AA09556_10_S, Canterbury of New Zealand Ltd.)を受け手に装着させた上で, 掛け手が大外刈りを掛けた. その際, データ収録装置 SLICE MICRO (Diversified Technical System Inc.)を用いて, 収録周波数 1000Hz で角速度を測定し, 角加速度を算出した. また, 高速度カメラ(SA3 model 120K-M2, 株式会社フォトロン)を用いて, 撮影速度 1000fps (frame per second)で掛け手と受け手の挙動を撮影し, 運動解析ソフト(TEMA 2D, Image Systems AB)を用いて画像解析を行った. 角速度, 角加速度のデータと撮影画像を照合し, 技の開始から終了までの時間, 頭部運動と角速度, 角加速度について解析した. 後ろ受身でも同じ有段者を被験者として, 同様の方法で実験, 解析を行った. 実験は各々3回行った.

本実験は, 横浜市立大学医学研究倫理委員会の承認(受付番号 A130725015)を受けている.

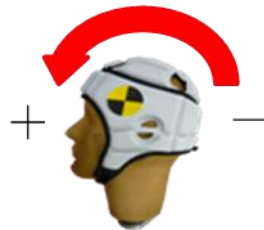


Fig.1 Sensing direction of angular rate sensor

3. 実験結果

大外刈りと後ろ受身を3回実施した際に測定した, 受け手(被験者)の手掌が着床した直後の前屈(正值), 後屈(負値)時の頭部角速度と角速度から算出した角加速度を表1, 2に示す. 大外刈りでは前屈時のピーク 2.53rad/s を P_1 , 後屈時のピーク -9.27rad/s を P_2 とし, P_1 - P_2 を角速度変化幅⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾として, 表3に示す. 後ろ受身では前屈時のピーク 7.00rad/s を P_3 , 後屈時のピーク -4.33rad/s を P_4 とし, P_3 - P_4 を角速度変化幅として, 表4に示す.

大外刈り, 後ろ受身ともに角速度, 角加速度は, 前屈時よりも後屈時で絶対値が大きかった.

大外刈りと後ろ受身をそれぞれ3回実施したうちの一例の, 角速度, 角加速度波形を図2, 3に示す.

大外刈りを掛けた際の受け手の頭部の角速度を図2(a), 角速度から算出した角加速度を図2(b)に示す. 技を掛け始めてから, 受け手が畳に手掌を着床し技の終了までの時間は, 1700msであった. 技の掛け手が受け手の膝裏を刈り, 受け手の両足底面が完全に畳から離れた1300ms (T_1) から手掌着床する1420ms (T_2) までの間は, 角速度, 角加速度ともに顕著な変化は認められなかったものの, 1420ms (T_2) で手掌が着床した直後に変化が認められた.

後ろ受身時の被験者の頭部角速度を図 3 (a), 角速度から算出した角加速度を図 3 (b) に示す. 被験者が立位から後ろ受身を終了するまでの時間は, 1600ms であった. 臀部が着床した 960ms を T₃, 手掌を着床した 1370ms を T₄ とした. 手掌を着床した直後に変化が認められた.

Table 1 Angular velocity and angular acceleration in osoto-gari

	Angular velocity [rad/s]		Angular acceleration [rad/s ²]	
	Flexion	Extention	Flexion	Extention
Osoto-gari 1	4.47	-8.19	358.68	-458.38
Osoto-gari 2	3.28	-10.23	225.58	-423.50
Osoto-gari 3	2.53	-9.27	371.30	-372.07
Average ± standard deviations	3.43±0.98	-9.23±1.02	318.52±80.74	-417.98±43.42

Table 2 Angular velocity and angular acceleration in ushiro-ukemi

	Angular velocity [rad/s]		Angular acceleration [rad/s ²]	
	Flexion	Extention	Flexion	Extention
Ushiro-ukemi 1	7.00	-4.33	386.67	-633.97
Ushiro-ukemi 2	5.00	-7.85	379.02	-183.11
Ushiro-ukemi 3	4.43	-10.36	314.73	-271.80
Average ± standard deviations	5.48±1.35	-7.51±3.03	360.14±39.51	-362.96±238.85

Table 3 Change in angular velocity in osoto-gari

	Change in angular velocity [rad/s]
Osoto-gari 1	12.66
Osoto-gari 2	13.51
Osoto-gari 3	11.80
Average ± standard deviations	12.66±0.86

Table 4 Change in angular velocity in ushiro-ukemi

	Change in angular velocity [rad/s]
Ushiro-ukemi 1	11.33
Ushiro-ukemi 2	12.85
Ushiro-ukemi 3	14.79
Average ± standard deviations	12.99±1.73

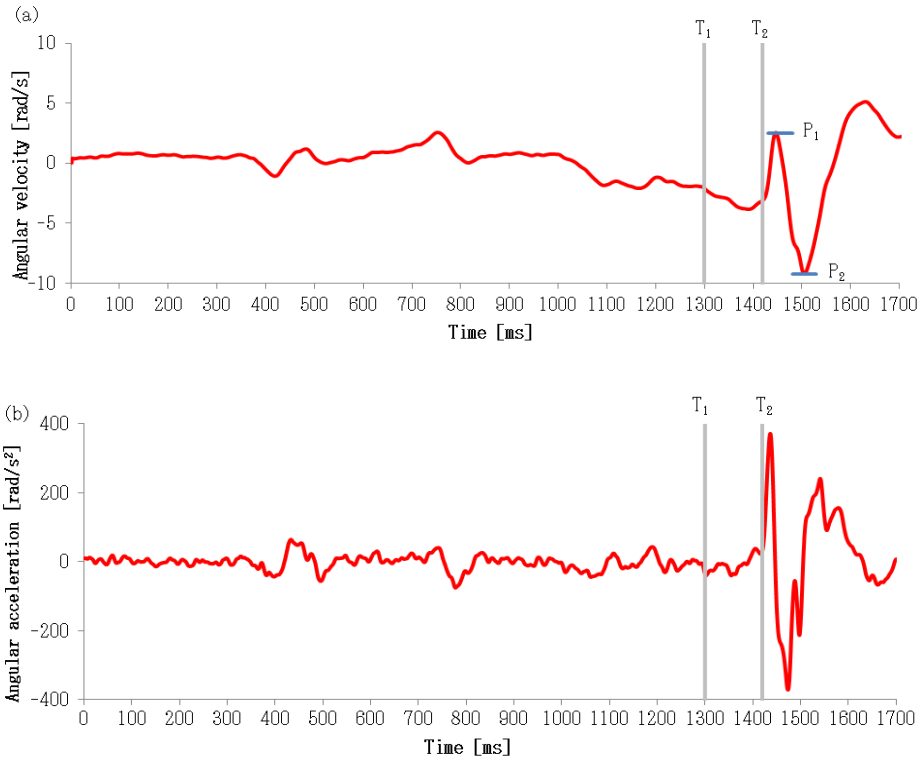


Fig.2 The trace of angular velocity (upper : a) and angular acceleration (lower : b) in osoto-gari

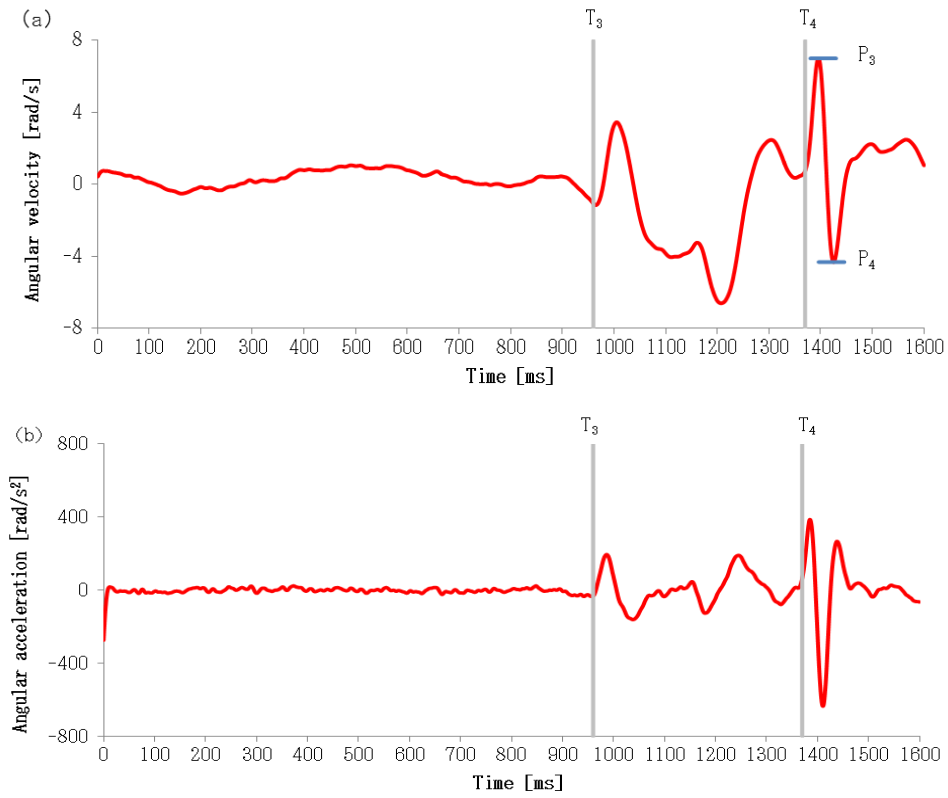


Fig.3 The trace of angular velocity (upper : a) and angular acceleration (lower : b) in ushiro-ukemi

高速度カメラで撮影した、大外刈りの技の掛け手と受け手の挙動と後ろ受身の被験者の画像を示す。

大外刈りでは、右上の数字は組みの状態を 0ms とした後の経過時間を示している。0~1400ms までは 100ms ごと、1400~1700ms までは 10ms ごとの画像を示した (図 4)。

これをみると 800ms で掛け手は右足を最も振り上げ、1200ms で上体をかぶせながら受け手の膝裏を刈り始めている。1300ms~1410ms は受け手の膝裏が刈られ、両足底面が完全に畳から離れてから手掌着床前までに要した時間であり、1420ms で手掌が着床している。

後ろ受身では、右上の数字は、立位を 0ms とした後の経過時間を示している。0~1000ms までは 100ms ごと、1000~1600ms までは 10ms ごとの画像を示した (図 5)。

同図をみると 960ms で被験者の臀部が着床後、1000ms で足底面が畳から離れ、下肢の伸展を始めていることがわかる。そして、1250ms で手を下ろし始め、1370ms で手掌が着床している。

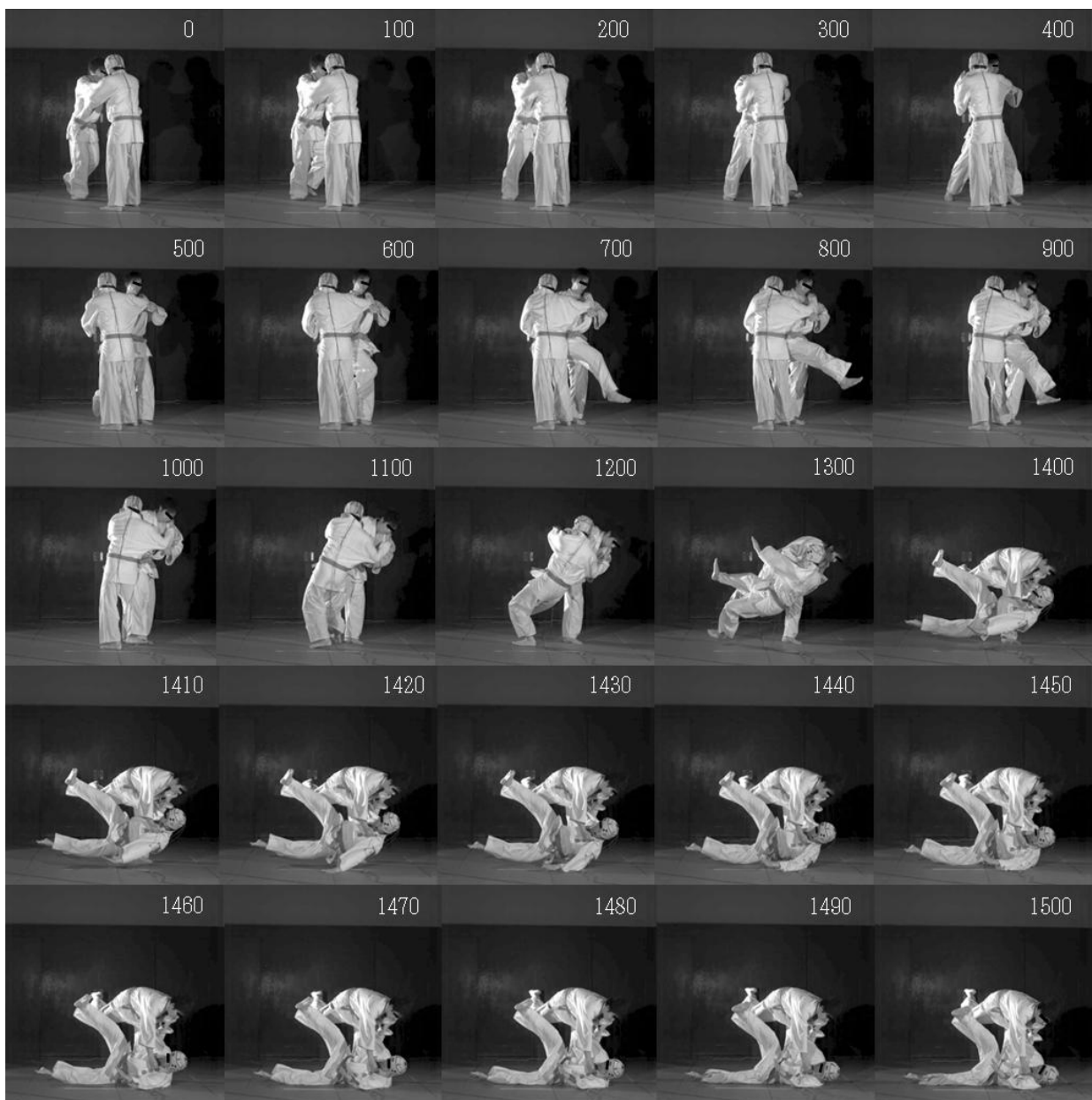


Fig.4 Image sequence of osoto-gari

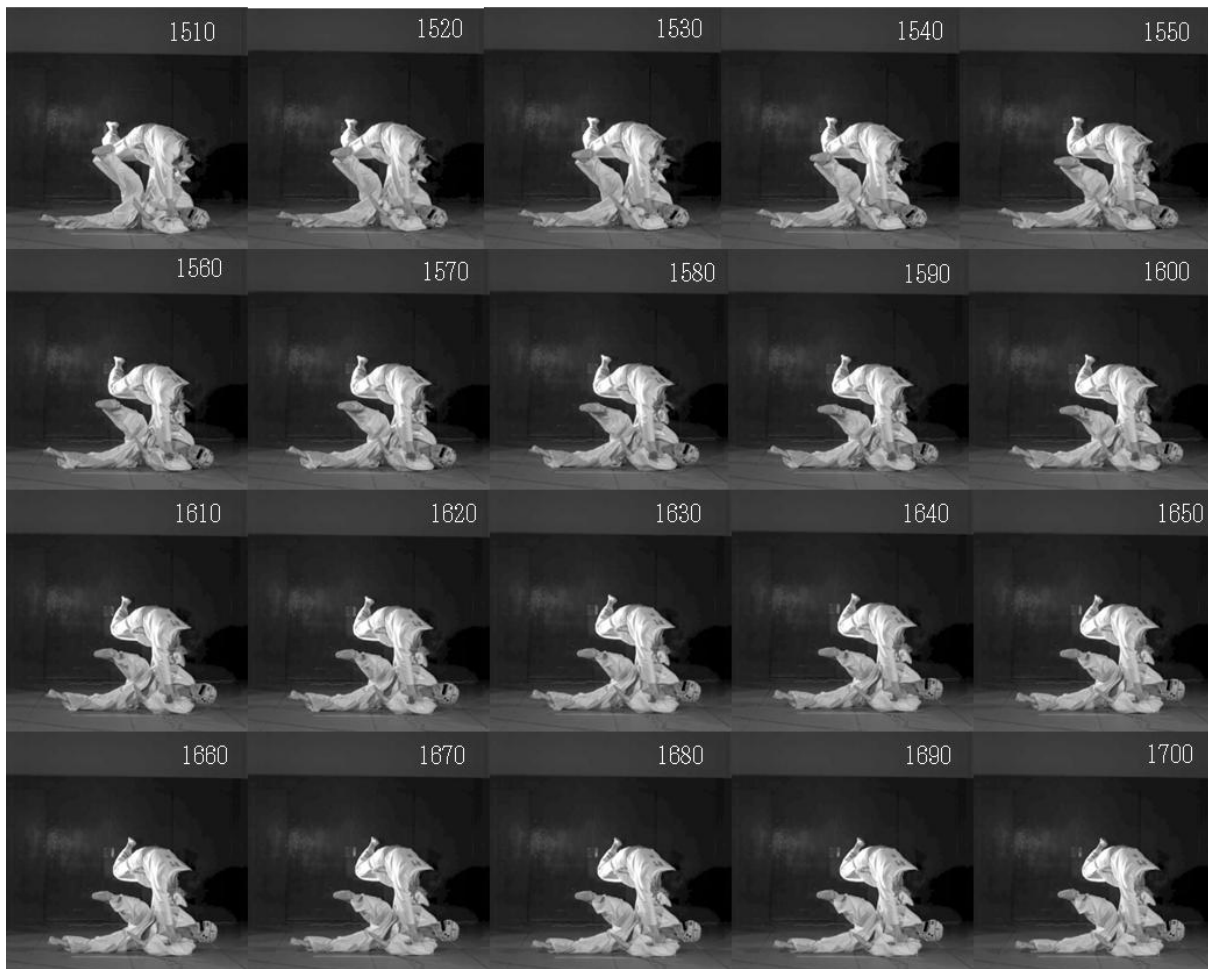


Fig.4 (Continued)

4. 考 察

本実験では、柔道による急性硬膜下血腫発生機序解明のため、大外刈り、立位後ろ受身時に生じる頭部運動を有段者において検討した。

急性硬膜下血腫の出血源のひとつである架橋静脈の断裂は、矢状方向の回転加速度で発生し、解剖学上、架橋静脈が脳表面から前内側方向に走行し、上矢状静脈洞 (superior sagittal sinus) に流入する⁽¹²⁾ことから、前頭部打撃時の後屈運動よりも後頭部打撃時の前屈運動で生じやすいとされている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。大外刈りでは T_1 - T_2 間の受け手の両足底面が完全に畳から離れた浮揚時には、顕著な変化は認められず、1420ms で手掌が着床した直後 (T_2 以降) に最初に前屈時 (正值) に角加速度のピークを認め、続いて後屈時 (負値) に角加速度のピークを認めた (図 2 (b), 図 4)。後ろ受身でも手掌が着床した 1370ms の直後 (T_4 以降) に最初に前屈時 (正值) に角加速度のピークを認め、続いて後屈時 (負値) に角加速度のピークを認めた (図 3 (b), 図 5)。大外刈り、後ろ受身のいずれの動作においても、手掌を着床した直後の角速度と角加速度の正負のピーク値 (表 1, 2) は、前屈時 (正值) よりも後屈時 (負値) で絶対値が大きかった。しかしながら、本実験で得られた角加速度は Löwenhielm⁽¹¹⁾により報告されている架橋静脈の断裂閾値 4500rad/s^2 や村山ら⁽⁸⁾が報告する頭部打撲時の衝撃力の閾値 $4232.2 \sim 5525.9\text{rad/s}^2$ より小さい値であり、角速度変化幅 (表 3, 4) も Löwenhielm⁽¹¹⁾により報告されている閾値 50rad/s や相場ら⁽⁶⁾により報告されている急性硬膜下血腫の発生傷害値 41.0rad/s より小さい値であった。これは、受身動作をとることで、後方への過度な回転による頭部の打撃を手掌を着床させて防ぎ、頭部の角加速度を減速させた⁽¹⁵⁾ためであると考えられる。

したがって、受け手が投げ始められてから受身をとるまでの浮揚時には、頭部角加速度には顕著な変化が認められず、受身をとった直後に角加速度に変化が認められても、その角加速度は架橋静脈を破綻させるほどの大きさとはならないものと考えられた。



Fig.5 Image sequence of ushiro-ukemi



Fig.5 (Continued)

文 献

- (1) 内田 良, “柔道事故と頭部外傷—学校管理下の死亡事故例 110 件からのフィードバック—”, 愛知教育大学教育創造開発機構紀要, Vol.1 (2011), pp.95-103.
- (2) 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”, *American Journal of Sports Medicine*, PreView, published on June 13 (2013), pp.1-7.
- (3) 那須亜矢子, 藤原 敏, 南部さおり, 西村明儒, “柔道と急性硬膜下出血—受傷機転の検討—”, 第 81 回日本法医学学会学術関東地方集会講演要旨集, (2012-6), p.24.

- (4) 那須亜矢子, 藤原 敏, 南部さおり, 西出美里, 青村 茂, 西村明儒, “柔道頭部外傷—事故データによる検討—”, 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集, Vol.12-39 (2012-11), pp.464-467.
- (5) 那須亜矢子, 藤原 敏, 南部さおり, 西出美里, 西村明儒, 青村 茂, “柔道による頭部外傷例の検討”, 日本機械学会 第 25 回バイオエンジニアリング講演会論文集, No.12-48, 3A05(2013), pp.471-472.
- (6) 相場一希, 大宮正毅, 射手矢岬, 紙谷 武, 戸松泰介, “柔道における後頭衝突時の急性硬膜下血腫発生評価指標の比較と頭部保護具の効果”, 日本機械学会論文集 (A 編), Vol.78(2012), pp.30-40.
- (7) Ommaya, A.K., and Gennarelli, T.A., “Cerebral concussion and traumatic unconsciousness”, *Brain*, Vol.97 (1974), pp.636-654.
- (8) 村山晴夫, 一杉正仁, 本澤養樹, 石井美久, 三宅恵介, 小山勝弘, “柔道の投技における並進および回転頭部加速度の測定”, 武道学研究, Vol.46 (2013), p.110.
- (9) 石井孝法, 越田専太郎, 橋本俊彦, 阿江通良, “柔道固有の動作における熟練者と初心者の頭部角加速度—頭部外傷予防について—”, 武道学研究, Vol.46 (2013), p.109.
- (10) 山中嘉仁, 宮崎祐介, 西田佳史, 山中龍宏, “乳児の頭部外傷における虐待・偶発事故判別に向けたダミーを用いた実験的研究” 日本機械学会シンポジウム講演論文集, No.09-45, (2009), pp.301-305
- (11) Löwenhielm, P., “Strain tolerance of the Vv.cerebri sup. (bridging veins) calculated from head-on collision tests with cadavers”, *Z Rechtsmedizin*, Vol.75 (1974), pp.131-144.
- (12) *Gray's Anatomy of the Human Body*, ed. 29 Philadelphia, Lee & Febiger (1973), pp.687-688.
- (13) Depreitere, B., Lierde, C.V., Verschuere, P., Delye, H., Berckmans, D., Verpoest, I., Sloten, J.V., Van der Perre, G., and Goffin, J., “Cerebral bridging vein rupture in humans”, *IUTAM Proceedings on Impact Biomechanics : From Fundamental Insights to Applications*, Vol.124 (2005), pp.305-312.
- (14) Depreitere, B., Lierde, C.V., Sloten, J.V., Audekercke, B.Y., Van der Perre, G., Plets, C., and Goffin, J., “Mechanics of acute subdural hematomas resulting from bridging vein rupture”, *J Neurosurg*, Vol.104 (2006), pp.950-956
- (15) 重岡孝文, 三浦修史, “後ろ受け身の習熟に関する研究: 中腰からの後ろ受け身について”, 鹿屋体育大学学術研究紀要, Vol.26 (2001), pp.1-13.