

柔道用頭頸部保護具の有効性

紙谷 武^{*1}, 大宮 正毅^{*2}

Efficiency of Head and Neck Protective Equipment for Judo

Takeshi Kamitani^{*1}, Masaki Omiya

^{*1} Keio University, Faculty of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering,

Hiyoshi 3-14-1, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8522, Japan

Judo is the martial arts that can lead to severe head injuries. Bruising on the back of the head and acute subdural hematoma commonly occur in beginners thrown by Osotogari. Sports-related head injuries were studied by using head protective equipment, which has been evaluated previously. However, these studies treated the head as a rigid body, and evaluated only the impact on the head. As these studies did not consider the behavior of the neck in soft impacts—a major factor in acute subdural hematoma—their utility is limited. Therefore, in the present study, we examined the efficacy of protective equipment that suppresses neck extension, equipment that protects the head, and equipment with both the neck and head. Three shock-absorbing materials (hard urethane, soft urethane, low rebound material) were used. The cranial model used polycarbonate to enable the observation of the behavior of the brain, whereas the brain parenchyma model used silicone gel with similar physical qualities to the brain. Black marker was applied to the surface of the brain parenchyma model and the cranial model. The experimental apparatus was collided while maintaining the velocity of the head at 3.5 m/s. The behavior of this collision was captured by a high-speed camera and relative changes in marker distance were measured. The results indicated that the equipment with both head and neck protection suppressed the relative displacement. Thus, while developing equipment in the future, not only protection the head, but also suppression of neck extension should be considered.

Key Words : Judo, Acute subdural hematoma, Experiment

1. 結 言

スポーツによる重症頭部外傷は、アメリカンフットボール^{1,2)}、スノーボード^{3,4)}、レスリング⁵⁾などで散見されている。柔道は相手を投げたり倒したりして勝負を決する激しい格闘技であるため、時として重症頭部外傷が発生する。近年柔道による重症頭部外傷は、諸家らによって報告されており^{6,7)}、(1) 9割以上が急性硬膜下血腫である、(2) 中学1年生や高校1年生などの初心者が多い、(3) 技の種類は後ろ技である大外刈りが多い、(4) 打撲部位は後頭部が50%であるという4つの特徴を有する⁶⁾。つまり初心者が大外刈り(図1)で投げられて後頭部を打撲し、急性硬膜下血腫を発症するのが最も典型的である。投げられて頭部を畳に打撲した場合、頭蓋骨の反発に比べて、脳実質は慣性力の影響で反発が遅れる。そのため両者にはずれが生じ、これより両者を繋いでいる架橋静脈が損傷され出血し発症すると考えられている⁷⁾。急性硬膜下血腫は致死率が高く、その予防策を講

^{*1} 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

^{*2} 正員, 慶應義塾大学 理工学部
E-mail: takeshikamijp@yahoo.co.jp

じることは柔道界のみならず，社会的に喫緊の課題である。

現在柔道による頭部外傷の予防には，受身の徹底練習，頸部筋力訓練，指導方法の見直し，指導者安全講習会受講義務化，第三者委員会の設置などが報告されている⁷⁻¹⁰。一方，他のスポーツでは，頭部外傷の予防に保護具の有効性が数多く検討されており¹¹⁻¹³，評価研究も施行されている¹⁴⁻¹⁷。しかしこれらの研究では頭部を剛体とみなし，頭部で発生する衝撃値のみを評価している。一方で，著者らの研究¹⁸で，初心者の場合，頸部の筋力が弱いため，後方受け身時に頸部伸展がおこり，その結果，畳への頭部衝突速度が加速されていることがわかっている。そのため，急性硬膜下血腫発生を防止するためには，頸部挙動についても考慮する必要がある。

そこで本研究では頸部挙動に注目し，頭部のみを保護するのではなく，頸部の伸展抑制とその組み合わせ保護具について検討を行い，それぞれの有効性について評価することを目的とした。

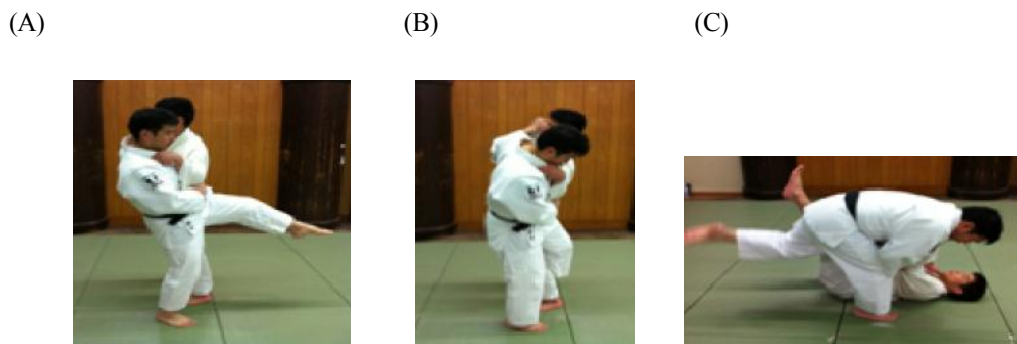


Figure1: The *osoto-gari* throwing technique. The player raises his leg high (A) and hooks the opponent's leg using a reaping motion (B). If the opponent cannot correctly perform *ukemi* (the falling technique), the back of his head may strike the mat (C).

2. 実験方法

頭部保護具は表1に示す3種類の衝撃緩衝材（Hard Urethane, Soft Urethane, Low Rebound）を使用し，単層のみでなく，これらの複合による積層についても評価した。また，図2に示すように，頸部保護具は伸展を抑制させる効果をもたせた。さらに，頭頸部を組み合わせた保護具においても検討した。

柔道における急性硬膜下血腫は中学1年生に最も多く認められるため⁹，平均的な中学1年生男子の体格を模擬して作製された人体簡易モデルを用いた。また，図3に示すように，頭部衝突時の脳実質の挙動を観察するために，ポリカーボネート製の頭蓋部と，シリコンゲル（KE-1056:信越シリコン）製の脳実質部を用いて実験を行った。脳実質部と頭蓋部の表面には，それぞれ黒色のマーカーを施し，その距離を測定し脳-頭蓋間の相対変位とした。頸部は，Hybrid III (AM50%tile) ダミーモデルを使用した。実験装置下部には，ベアリングと軸が固定されており，そこを中心に回転運動ができるようになっている。これによって被疑者が後方転倒し，後頭部を畳に衝突させるという矢状面での挙動が模擬されている。

衝突直前速度である頭部並進速度 3.5m/s ¹⁴で頭部と畳とを衝突させ，その時の頭頂部の脳実質モデルと頭蓋骨マーカーの挙動をハイスピードカメラにて撮影速度 1000fps で撮影し，それぞれのマーカーによる相対変位発生の様子を観察した（図4）。撮影した動画は Bilinear 法を用いて画像補間を行い，分解能 0.15mm/pixel とすることで画像処理のために十分な解像度を得た。

Table 1 Properties of shock absorbing materials

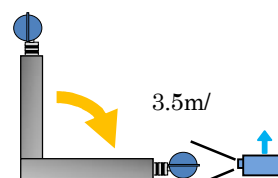
Material	Hard Urethane	Soft Urethane	Low Rebound
Elastic modulus [KPa]	30.3	10.0	3.7
Coefficient of restitution [-]	0.719	0.690	0.437
Weight [g]	41.0	38.4	40.0
Thickness [mm]	40	40	40



Figure 2 Neck protective equipment



Figure 3 Skull-brain model



High-speed camera

Figure 4 Device for measuring the relative displacement

3. 実験結果

表 2 に脳実質と頭蓋骨との相対変位（脳－頭蓋相対変位）の最大値を緩衝材別にまとめる．コントロール群と比較したところ，すべての保護具で相対変位は減少していた．特に，発生相対変位最大値が小さかったのは，頭部と頸部の組合せ保護具であった．一方，頸部のみを抑制した保護具では，発生相対変位最大値は小さくなく，予防効果は不十分であった．保護具の種類，単層・積層による有意差は認められなかった．

Table 2 Maximum of the relative displacement

Material	Maximum of the relative displacement [mm]
Nothing	14.94±0.70
Hard Urethane	12.43±0.28
Soft Urethane	12.70±0.66
Low Rebound	13.74±0.53
Hard-Low	12.41±0.25
Soft-Low	14.04±0.10
Neck Protector	13.43±0.03
Neck-Hard	11.98±0.62

4. 考 察

本研究で行った実験では，頭部と頸部を組合せた保護具が，発生相対変位最大値が小さく，頭蓋内相対変位抑制に有効であった．初心者の方受身の最大の特徴は，背部が接地した瞬間頸部が伸展し，頭部回転速度が速くなることである．その結果，畳との衝突後の頭蓋における反発速度も速くなるため，頭蓋と脳実質との相対変位が大きくなる．そのため，初心者においては，この頸部伸展が急性硬膜下血腫の病態のひとつと考えられる¹⁸⁾．頭部と頸部を組合せた保護具が，頭蓋内相対変位抑制効果が高かったのは，背部接地後の頸部伸展を抑制し，頭部回転速度の増加を抑制できたためと考えられる．したがって，急性硬膜下血腫発生の予防には，頸部伸展を抑制することが効果的である．

一方，頸部のみを保護した場合，脳-頭蓋相対変位の最大値はあまり減少しなかった．これは，頭頸部は体幹に比べて前方へ傾斜しているため，背部接地時に頭部と畳との間に隙間ができる．本研究で用いた頸部保護具では，

頸部伸展を十分に抑制できなかったため、この隙間分だけ、頭部回転速度が加速され、頭部が畳に衝突したためと考えている。したがって、この隙間を埋めるためにも頭部保護具が必要であり、急性硬膜下血腫発生の予防には、頭部と頸部の保護具を組み合わせた保護具が有効であると考えられる。

頭頸部保護具の問題点は、隣接関節（頸部遠位部）への負荷が増大する可能性があることである。つまり、急性硬膜下血腫は予防できるが、頸椎捻挫などの新たな損傷が発生する危険性がある。このことは今後頭頸部保護具を作成する上で検討が必要である。

5. 結 言

- 1) 頸部挙動に着目し柔道用頭頸部保護具を検討したところ、頭部と頸部を組合せた保護具で、脳-頭蓋相対変位最大値が小さく、頭蓋内相対変位抑制に有効であった。
- 2) 柔道用頭頸部保護具には、頭部のみを保護するのではなく、頸部の伸展抑制を組み合わせることが効果的である。しかし、隣接関節への負荷が増大し、新たな損傷を引き起こす可能性があるため注意が必要である。

6. 文 献

- (1) Boden, B.P. et al., "Catastrophic head injuries in high school and college football players", *American Journal of Sports Medicine*, Vol.35, (2007), pp. 1075-1081.
- (2) Cantu, R.C., Mueller, F.O., "Catastrophic football injuries: 1977-1998", *Neurosurgery*, Vol.47, (2000), pp. 673-677.
- (3) Fukuda, O. et al., "Head injuries in snowboarders compared with head injuries in skiers. a prospective analysis of 1076 patients from 1994 to 1999 in Niigata, Japan", *American Journal of Sports Medicine*, Vol.29,(2001), pp. 437-440.
- (4) Prall, J.A., Winston, K.R., "Severe snowboarding injuries", *Injury*, Vol.26, (1995), pp. 539-542.
- (5) Boden, B.P. et al., "Catastrophic injuries in high school and college baseball players", *American Journal of Sports Medicine*, Vol.32, (2004), pp. 1189-1196.
- (6) Kamitani, T. et al., "Catastrophic head and neck injuries in judo players in Japan from 2003 to 2010", *American Journal of Sports Medicine*, Vol.41(8), (2013), pp.1915-1921.
- (7) 永廣信治 他, "柔道における重症頭部外傷", *Neurological Surgery*, Vol.39,(2011), pp.1139-1147.
- (8) 廣橋賢次, "柔道における頭部外傷及び脊椎・脊髄損傷について", *骨・関節・靭帯*, Vol.13,(2000), pp.239-246.
- (9) 二村雄次, "柔道による子どもの教育と死亡事故 西欧との比較", *季刊教育法*, Vol.168, (2011), pp.26-37.
- (10) 宮崎誠司, "各スポーツでの頭部外傷の現状と対策 柔道", *臨床スポーツ医学*, Vol.25, (2008), pp.351-354.
- (11) 谷諭, "頭部外傷・脳震盪 発症メカニズムとその予防", *臨床スポーツ医学 臨時増刊号*, Vol.25, (2008), pp. 38-42.
- (12) Mueller BA et al., "Injuries of the head, face, and neck in relation to ski helmet use", *Epidemiology*, Vol.19, (2008), pp. 270-276.
- (13) Engsberg, J.R. et al., "Spinal cord and brain injury protection: testing concept for a protective device", *Spinal cord*, Vol.47, (2009), pp. 634-639.
- (14) Macnab, A.J. et al., "Effect of helmet wear on the incidence of head/face and cervical spine injuries in young skiers and snowboarders", *Injury Prevention*, (2002), pp.324-327.
- (15) Hagel B. et al., "The effect of helmet use on injury severity and crash circumstances in skiers and snowboarders", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, (2005), pp. 103-108.
- (16) 小山憲路, 元田英一, "頭部衝撃試験機による頭部保護帽の衝撃吸収性能", *日職災医師誌*, Vol.55, (2007), pp.69-73.
- (17) 相場一希 他, "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.1631-1641.
- (18) 紙谷武 他, "柔道における後方受身挙動実験", *臨床スポーツ医学*, 投稿中