

## 1. スポーツ頭部外傷（脳振盪）の病態

荻野雅宏\*<sup>1</sup>, 村山晴夫\*<sup>2</sup>, 新郷哲郎\*<sup>1</sup>  
荒川明子\*<sup>1</sup>, 米澤元樹\*<sup>1</sup>, 金 彪\*<sup>1</sup>

### ●はじめに

一般に頭部外傷の症候や転帰には様々な要因が関与すると考えられており、模式的に図1のようにまとめることができる<sup>1)</sup>。

力学的な要因については、自動車の衝突安全の分野で長らく検討が続けられてきた。加速度の大きさと持続時間をもとにした Wayne State Tolerance Curve が提唱され、また衝撃の指標として Head Injury Criterion (HIC) が導入された<sup>2)</sup>。しかし、これらは直線加速度に限った検討であって、回転加速度の関与は考慮されていない。

頭部にかかった外力は、鉛直方向と接線方向の2つに分けて考えることができよう【図2左】。前者は直線加速度を生み、後者が回転加速度を生むが、特に後者は、いかなるヘルメットやヘッドギアを装着しても、効果的に減じることはできない。スポーツ頭部外傷では脳振盪と急性硬膜下血腫が問題となることが多いが、これらはいずれも、この回転加速度が主たる要因と考えられている【図2右】。

### ●回転加速度と脳損傷

動物モデルを使った実験系では、外傷性脳損傷には直線加速度よりも回転加速度の関与の大きいことが知られていた。1980年、関野らはサルを用いた頭部外傷モデルで、純粋な直線加速度が脳損傷を生じにくい一方、回転加速度が脳損傷に直結すると報告し<sup>3)</sup>、これは Ommaya らの結果<sup>4)</sup>ともよく相関するものであった。近年のシミュレー

ションモデルでも、同様のことが示されている。Zang らは2006年、側頭部への衝撃を模したモデルにおいて、強い剪断力を生じるのは圧倒的に回転加速度であることを示した<sup>5)</sup>。

アメリカンフットボールの試合中の衝突を2方向のビデオから再現し、力学的な検討を行った報告<sup>6)</sup>や、選手のヘルメットにセンサーを装着し、リアルタイムで衝撃を測定した報告<sup>7,8)</sup>があるが、いずれも脳振盪と診断されたケースでは、そうでない場合に比して直線加速度、回転加速度とも高値を示すことが一般的であり、両者を分けて対策することは非現実的であろう<sup>9)</sup>。

近年はセンサーが小型化する一方で精度も増し、また Bluetooth などを介したデータの収集も容易になりつつある。今後の研究の進展に期待したい。

### ●受身が加速度に与える影響

わが国において、スポーツによる頭部外傷としてしばしば話題にのぼる種目のひとつが柔道である。日本スポーツ振興センターによる2009～2011年の統計によれば、競技人口当たりの頭部外傷の発生頻度は、柔道がラグビーに次いで多かった。永廣らはわが国の柔道による頭部外傷をレビューし、中学・高校の1年生が、大外刈をかけられて重傷に至る例が多いことを報告した<sup>10)</sup>。入部後もない下級生が、受身をとれずに頭部を強打する可能性が示唆された。

Murayama らは、自動車事故の実験に用いられるダミーならびに黒帯の有段者にセンサーを装着し、実際の投技が頭部に与える加速度を計測した。大外刈は大内刈に比べて大きな回転加速度を与え<sup>11)</sup>、これは床材に工夫を加えても減じることは

\*<sup>1</sup> 獨協医科大学脳神経外科

\*<sup>2</sup> 獨協医科大学スポーツ科学

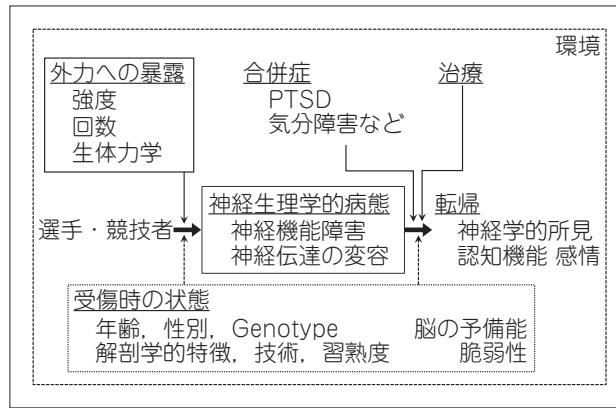


図1 軽症頭部外傷の概念図（文献1を改変）

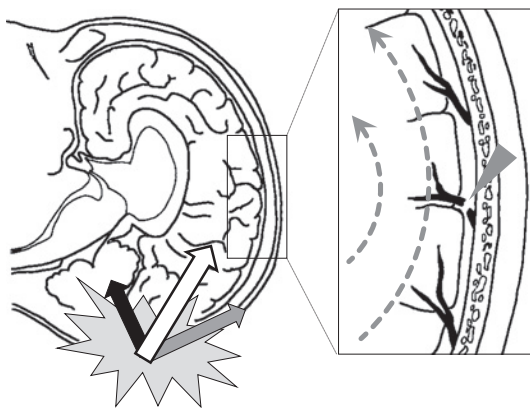


図2 左：後頭部を強打すると，脳には直進加速度（黒矢印）と回転加速度（灰矢印）が加わる．右：回転加速度は架橋静脈を伸展・損傷し（矢頭），硬膜下血腫をきたす一方，脳実質に歪みを生じ（破線），神経線維の伸展・離断を生じる．

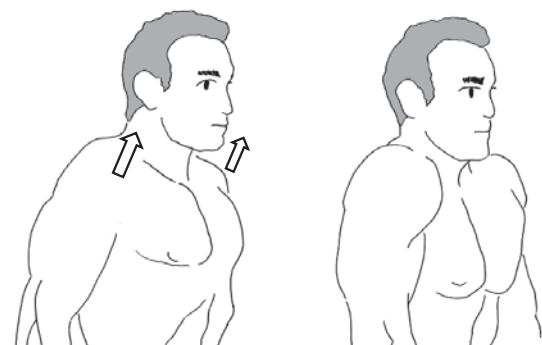


図3 いわゆる shoulder shrug. 両肩を持ちあげ，首をすくめるような姿勢をとると，頭頸部が体幹に強く固定される．

なかった<sup>12)</sup>。また，正しく受身をとる有段者は，これが不能なダミーでの検討に比べ，回転加速度，直線加速度ともはるかに低い値を示した（未発表データ）。

ラグビーやアメリカンフットボールでも，以前から「shrug」あるいは「bull neck」と呼ばれる，両肩を上げて頸部をすくめるような姿勢【図3】の重要性が説かれている。この姿勢により頭頸部を強固に支持することができる。正しい姿勢と技術によって衝撃に備えることが，外傷の発生予防に寄与することを強調したい。

### ●受傷後の神経生理学的病態

受傷後に脳内でどのような病態が展開されるかについては，今なお一定の説はない。一般に「二

次性脳損傷」と呼ばれるこの病態は，中枢神経に力学的な衝撃が加わったのち，引き続き生じる病態生理学的なプロセスと考えられている。直後のみならず遅れて影響が出る場合もあり，脳振盪の症候や経過とも一致する。

動物モデルにおける検討では，神経細胞の細胞膜が破綻するとカリウムイオンならびにグルタミン酸などの興奮性アミノ酸が細胞外へと排出され，神経の興奮とそれに引き続く抑制が生じる。受傷後24時間以内にはエネルギーの需要供給バランスが崩れ，脳血流や糖代謝にも変化が生じる。これらの結果，軸索輸送や神経機能に障害が出ることが報告されている。このような異常は10日間ほど持続し，幼若脳ほど感受性が高く，反復損傷では回復が遅れることも指摘されている<sup>13)</sup>。

二次性脳損傷にはほかにもさまざまなプロセスが関係していると言われ，今後の研究課題である。

## ●まとめ

脳振盪（と急性硬膜下血腫）が問題視されるスポーツ頭部外傷では回転加速度が主因とされ、これは頭頸部を正しく保持することで減じうる。一方で、受傷後の神経生理学的病態には諸説があって、実際の臨床例では重症頭部外傷と何を共有しているかも不明である。治療としては一部の症状を緩和する以外の方策はなく、現場においては受傷自体を予防する、あるいは（回転）加速度を減じることによって焦点が当てられよう。

### 文 献

- 1) Levin, HS, Robertson, CS: Mild traumatic brain injury in translation. *J Neurotrauma* 30: 610-617, 2013.
- 2) Namjoshi, DR, Good, C, Cheng, WH et al.: Towards clinical management of traumatic brain injury: a review of models and mechanisms from a biomechanical perspective. *Dis Model Mech* 6: 1325-1338, 2013.
- 3) 関野宏明, 中村紀夫, 神田龍一ほか：回転衝撃による実験頭部外傷. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 20: 127-136, 1980.
- 4) Ommaya, AK, Hirsch, AE: Tolerances for cerebral concussion from head impact and whiplash in primates. *J Biomech* 4: 13-21, 1971.
- 5) Zhang, J, Yoganandan, N, Pintar, A et al.: Role of translational and rotational acceleration on brain strain in lateral head impact. *Biomed Sci Instrum* 42: 501-506, 2006.
- 6) Pellman, EJ, Viano, DC, Tucker, AM et al.: Concussion in professional football: Reconstruction of game impacts and injuries. *Neurosurgery* 53: 799-814, 2003.
- 7) Rowson, S, Brolinson, G, Goforth, M et al.: Linear and angular head acceleration measurements in collegiate football. *J Biomech Eng* 131: 061016, 2009.
- 8) Broglio, SP, Surma, T, Ashton-Miller, JA: High school and collegiate football athlete concussions: a biomechanical review. *Ann Biomed Eng* 40: 37-46, 2012.
- 9) Greenwald, RM, Gwin, JT, Chu, JJ et al.: Head impact severity measures for evaluating mild traumatic brain injury risk exposure. *Neurosurgery* 62: 789-798, 2008.
- 10) 永廣信治, 溝渕佳史, 本藤秀樹ほか：柔道における重症頭部外傷. *Neurological Surgery* 39: 1139-1147, 2011.
- 11) Murayama, H, Hitosugi, M, Motozawa, Y et al.: Rotational acceleration during head impact resulting from different judo throwing techniques. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 54: 374-378, 2014.
- 12) Murayama, H, Hitosugi, M, Motozawa, Y et al.: Simple strategy to prevent severe head trauma in judo—Biomechanical Analysis—. *Neurol Med Chir* 53: 580-584, 2013.
- 13) 永廣信治, 溝渕佳史：スポーツ頭部外傷を可視化する. *脳神経外科ジャーナル* 12: 957-964, 2014.