

頭部外傷の力学的評価とその臨床応用

I 頭蓋骨骨折とその副損傷

平川 公義

Evaluation of Head Injury from Mechanical View Point

I Skull Fracture and Its Complications

KIMIYOSHI HIRAKAWA

Department of Neurosurgery, Kyoto Prefectural University of Medicine

Summary

In skull fracture it is clinically important that the mechanical force which produce skull fracture might also produce brain injury, that cosmetic outlook is important, and that above all there are many complications. In the diagnosis of complications of skull fracture it will be useful to know the mechanical background.

Skull fracture occurs at the compression load of about 500 kg or load factor of about 100. Fracture may occur experimentally when the head dropped from the height of 100 cm onto the hard impact surface and from accident surveys when the impact speed exceeds 10 to 15 km/hr.

Skull fracture begins at the impact point and the fracture lines run along the direction of mechanical force. The fracture in the skull base follows the same principle with some variations according to the structural weakness. Therefore, there are particular symptoms and signs according to the relationship between impact points and the anatomy. For the convenience of the diagnosis the site of blow are divided into facial, mid frontal, lateral frontal, lateral, posterior lateral, occipital, and vertex blow.

Considering the direction of mechanical force, it is possible to recognize symptoms and signs as a pattern in the diagnosis of skull fracture and its complications.

Key words: skull fracture, orbital fracture, cranial nerve injury, basal fracture, biomechanics

I はじめに

おおよそ物体が衝撃により破壊される時には、衝撃条件と破壊度との間には、力学法則を介して一定の対応関係がある。生体の場合にも同様である。もし頭部外傷の場合にも力学法則が適用できるならば、衝撃の瞬間に定まる一次的な傷害や、次々に連鎖反動的に進行する二次的な病態が的確に説明できるはずである。本稿の目的は、頭部外傷の臨床像を力学的に、つまり物体並みに単純明快に割切って、解釈してみようということである。

なお力学的観点から頭部外傷を論ずるに際して必要な基本的な諸問題については、すでに別稿で述べたので、

ここでは省略する¹⁾。以下、本稿では頭蓋骨骨折の場合を取り扱い、脳傷害に関しては次稿で取り扱うことにする。

II 打撃の方向と骨折

1. 骨折の起こり方

頭蓋骨骨折の起こり方は、Gurdjianたちにより詳しく研究されたが²⁾、その原則は、西瓜をハンマーで叩き割った時にできるヒビ割れと同じである(Fig. 1)。骨折は打撃点を中心としておこる。ハンマーの径に一致して、中央に陥凹部分があり、これを中心に2~3本の線状のヒビ割れが周辺に向かって放射状に延び、対極へ集ま

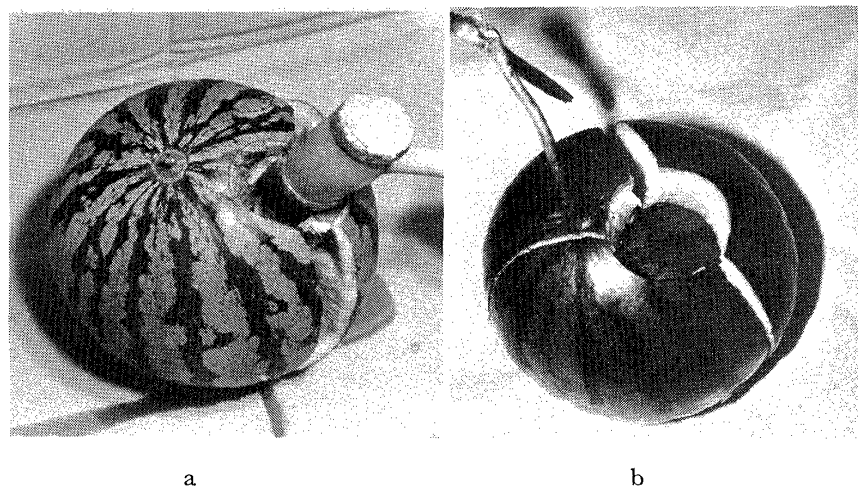


Fig. 1 Watermelon is a good model of skull fracture. The cracks show that the depressed fracture is located at the site of hammer blow and that multilinear stellate fractures run radiating towards the other pole. The impact and the fracture lines coincide in direction.

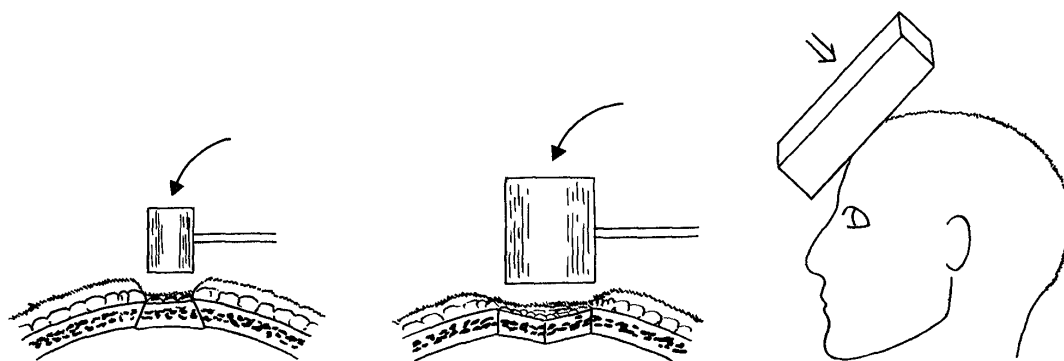


Fig. 2 The mode of skull fracture is classified into three types according to the size of the impact area; penetration fracture, comminuted depressed fracture, and remote linear fracture (Melvin)¹⁰⁾.

る。つまり陥凹骨折と線状骨折とである。

両者が同時にできるか、一方のみできるかは、打撃物体の大きさ（接触面積）と打撃の速さによって定まる。銃弾のように径が小さく、かつ高速の飛来物体では打ち抜かれた小孔ができるが、平らな物体では陥凹骨折よりも線状骨折がしやすい。

日常遭遇する程度の鈍的な衝突では、陥凹骨折になるか、線状骨折になるかの境界の接触面積は1平方インチといわれる¹⁶⁾。Melvinによれば、頭蓋骨骨折の様式は3型に分けられる(Fig. 2)¹⁶⁾。第1型は打ち抜き型の陥凹骨折である。面積1平方インチ以下の高速の衝撃によるもので、板間層の発達した前頭・頭頂骨に見られやすい。第2型は粉碎陥凹骨折である。第3型は線状骨折で、面積2平方インチ以上の平らな物体による打撃の場合である。荷重は分散され、頭蓋が広い範囲にわたって変形する場合である。

頭蓋骨の破壊は、局所の応力と歪の関係により定まる。したがって、骨折の型は、物体の形状、衝撃速度のみならず、頭皮・ヘルメット・路面などの緩衝条件、年齢、部位による骨の強さ、板間層の発達度、骨重量、骨縫合など多くの因子によって影響される。たとえヘルメットを被っていても、その防禦能力以上の打撃が加わると、もっとも打撃の強い瞬間には緩衝材は底つき状態となり、一枚の薄い紙を被ったと同じことで、クッションとしての機能を果たすことはできない。しかしそれでも接触面積は広くなる効果があるので、陥凹骨折は起こりがたくなる。

2. 頭蓋の変形と骨折

骨折は、通常張力のもっとも強い場所に生ずる。頭蓋骨は打撃点では内彎するが、そのすぐ外側では頭蓋は外へ凸の曲がりを生じ、その部位の引張り歪が大きくなるとひび割れが始まり、内外両側へ骨折線が伸びる (Fig.

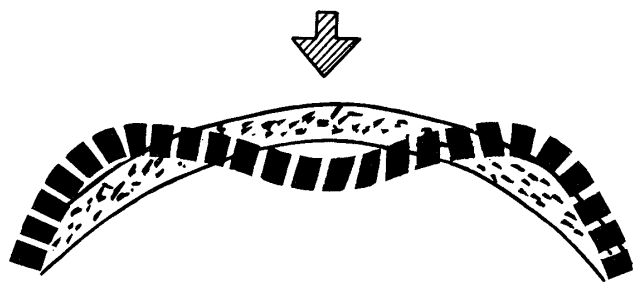


Fig. 3 The fracture begins near the site of impact where the tensile strain is maximum in the outer surface of the skull.

3)⁹⁾ 頭蓋の変形は4 msec以内に終わる。頭蓋を円ないし楕円と仮定した力学モデルの示すところによれば、外彎による歪は打撃点から45度の範囲に、板間層では18度の範囲にもっとも大きい¹⁾。また別のモデルでは、打撃点の周囲30度と、打撃と反対側の点を中心に40度の範囲に歪が大きく現れる⁹⁾。対極側の構造が一樣でない場合には応力集中と変形が起こるので、骨の薄い部分とか、不規則な突端に歪が大きく現れ、骨折を起こす可能性がある¹⁶⁾。打撃点から離れた部位に発生する contrecoup fracture¹²⁾もこれにより理解できる。また頭蓋底においても、打撃の方向と骨折線の方向との関係は、前述の一般原則に従って生ずるもので、病理学的にも確認されている⁴⁾。

Ⅲ 骨折を惹き起こす外力の大きさ

ヒトの頭蓋骨を用いて行われた力学実験の結果によれば、成人の頭蓋骨は、平均500 kgの荷重をのせて圧縮すると骨折を起こす。頭蓋の重量を約5 kgと想定すると、荷重倍数は100である。衝撃で骨折を発生せしめた場合にも、同じく約100 Gの平均加速度で骨折を起こす。

骨折は頭蓋骨を1 mの高さから鉄板の上に落としたり、人間が気を失って本当にまともに固い路面に頭を打ちつけた場合に発生する。臨床統計的に墜落事故を調査した結果もほぼ同様である。平地での転倒は、速度に換算すると10～15 km/hの速度である。交通事故の調査でも、衝突の瞬間の車速が10 km/hを超えると頭蓋骨骨折が発生しうることがわかっている¹⁴⁾。このようにヒトの頭蓋骨は大変弱い。手拳も兇器となりうる¹⁵⁾。しかし日常それほど骨折を起こさないのは、頭皮をはじめ、四肢、軀幹を用いたクッションのお蔭である。

物体の力学的な強さは、歪と弾性率の積で表わされる。ヒトの頭蓋骨はサンドウィッチ構造をなし、厚さも部位により異なる。したがって弾性率や歪を実測して分布図でも作らない限り、頭蓋骨のどこが強いかを正確に知ることは難しい。

だが多少の誤りを承知で単純化すれば、骨の薄いところ

ろは弱く、孔があると応力集中により壊れやすい。側頭骨は頭頂骨より弱い。頭蓋底を透光して、透けて見えるところは骨折を起こしやすい。視神経管上壁はその好例である。骨折線は多少迂回してもこのような弱いところを通る。頭蓋底は一見丈夫そうである。しかし厚みもまちまち、小孔も多いので、意外に壊れやすい。“頭蓋底骨折は強大な外力の加わった時に生ずるもので、重症である”といういい方は間違っている。

なお骨折は局所の歪エネルギーが20～80 lbs·in/cm³に達すると生ずるといわれる¹⁶⁾。

Ⅳ 骨折の臨床的意義

頭蓋骨骨折の存在は、少なくとも骨折を起こすほどの外力が頭部に加わったことを示している。頭蓋骨は脳を入れる容器である。容器が傷つくほどの外力であるから脳も傷害を受けるに違いないと考えたくなるが、両者は必ずしも一致しない。この問題は次稿で取り扱う。

頭蓋骨骨折は日時の経過とともに自然に癒合するので、脳への影響を無視すれば骨折の存在自体は問題ではない。骨折が臨床的に意味を持つのは、(1)陥凹など頭蓋変形による美観上の問題が発生する場合、(2)骨病変が続発する場合(骨髄炎など)、(3)隣接組織が損傷を受ける場合であるが、最後の項目がもっとも重要である。

頭蓋骨との解剖学的関係に基づいて隣接組織とその病態とを例示すれば、①硬膜損傷(髄液漏、頭蓋内気腫)、②血管損傷(硬膜外血腫、静脈洞閉塞、動静脈瘻、動脈瘤)、③脳神経損傷、④脳損傷(てんかん、拡大性頭蓋骨折、尿崩症)、⑤眼窩内損傷などを挙げることができる。副損傷を落ちなく算えるためには、解剖学的に順に列挙すればよいのであるが、副損傷をすべて網羅することがここでの目的ではない。

重要なことは、副損傷発生と打撃の部位・方向との間に一定の関係があるということである。副損傷には頭部のどの部位からも発生しうることがある。硬膜外血腫とかてんかんなどである。この場合には統計的に多発する部位がある。一方、一定部位の骨折でのみ発生する副損傷もある。副損傷は骨折の直下に、骨折は打撃部の直下ないし近傍に生ずるものであるゆえに、打撃部位と副損傷発生とは対応関係がある。解剖学的位置関係を考慮すれば、打撃部位によって特定の傷害パターンがありはしないかとの推測が成り立つ。これは臨床統計的に確認されている。

1. 傷害パターン認識の手掛り

傷害パターンを知る第1の手掛りは、頭のどこに打撃が加わったかを知ること、第2の手掛りは、既知の局在徴候

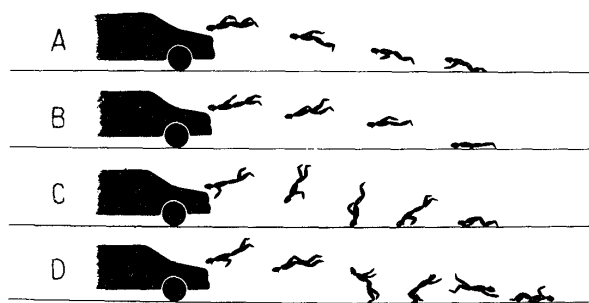


Fig. 4 From the dummy experiment at Japan Automobile Research Institute¹⁷⁾. The victim in front of car is thrown out to the road in 4 ways. The victim in the forth type shows the greatest acceleration value in the head. To know the exact pattern of the impact is helpful to understand the pattern of craniocerebral injury.

から合併しやすい他の徴候の有無を確認することである。

打撃部位の推定は、(1)事故状況の確認、(2)視診、(3)レ線診断により行う。事故状況は関係者の記憶の新しいうちに聴取するのがよいが、不正確なことも多い。外傷手段によっては傷害に類型がある。

車に真正面からはねられるという複雑な状況を想定したダミー実験の場合も、4通りの受傷パターンに分けられてしまう (Fig. 4)¹⁷⁾。受傷様式により傷害程度は異なるので、単に“交通事故”と記載する以上の詳しい状態聴取と記載を行うことが必要である。これにより外力評価と傷害評価を併せて行うことができる。視診による頭部ならびに全身の創傷分布は、事故状況ならびに打撃の作用方向を教えてくれる。表面の傷が複数個あれば、どちらが意味のある傷かを判断する必要がある。最終的にはレ線診断で確定する。西瓜の実験からわかるように、レ線フィルム上に見える幾本かの骨折線の交点が打撃部位である。骨折線は判読の難しい場合があるが²⁴⁾、問題なのは軽症だから頭蓋単純撮影は必要あるまいとして、副損傷や後遺症を見逃す場合である。これは外力の評価の誤りに基づく。

V 打撃部位による傷害パターン

1. 顔面への打撃

頭部外傷者の顔面損傷の合併は多い。眼窩周辺の骨折に関しては、1901年に LeFort が上顎骨折の実験に基づいて行ったという分類が有名であるが、実用的には、眼窩外側の骨折と両側に影響する正中寄りの骨折とに分ければよい¹⁸⁾。

眼窩の下外側面を構成するのは頬骨であるが、構造力

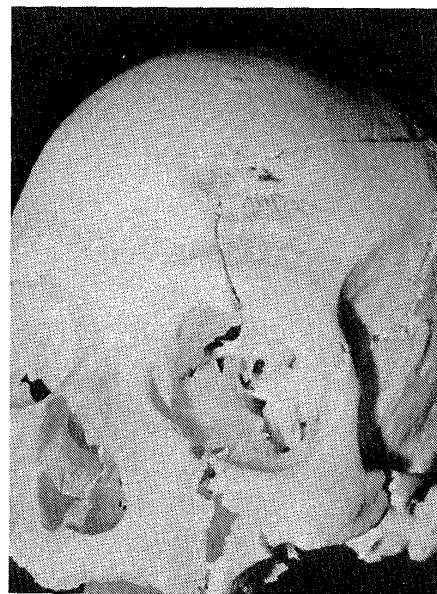


Fig. 5 A static compression test demonstrates linear fractures in the left forehead at the site of the compression and the typical fracture dislocation of the zygoma. Notice also the fracture of the floor of the orbit.

学的にはきわめて弱い関節結合をしている。上顎、側頭、前頭との各縫合を支点として宙吊りになっている。したがって顔面外側の打撃では、容易に頬骨の転位骨折を起こす。この際障害は次の2個所に集中する。

頬骨弓骨折は頬骨への打撃または頬骨弓直接の打撃により生ずる。診断は頬骨弓の陥凹、圧痛、開口制限（咬筋の絞扼）により容易である。レ線撮影により確認され、早期手術により患者に喜ばれる¹⁹⁾。頬骨転位骨折の今一つの部位は、頬骨上顎縫合である。骨折線は眼窩下孔より眼窩底に伸びる (Fig. 5)。障害は眼窩内容の上顎洞方向への脱出絞扼による眼筋麻痺（主として上転麻痺）と下眼窩神経領域の感覚障害である。“動眼神経の不思議な部分麻痺”というものではない。発生機序より容易に納得できるように、これは muscle entrapment syndromeである。変位した頬骨の関節部に圧痛がある。

野球の球が眼窩の真正面に衝った時、眼窩底破裂骨折 (blow-out fracture) を起こし、同様の症候を呈する²²⁾。眼窩内圧上昇により菲薄な眼窩底に骨折を生ずるとされるが、藤野によれば、頬骨骨折の部分現象として捉える方が容易である。眼窩内圧上昇により得られる骨折時の1/5の弱い打撃力 (56.8 kg) で発生しうるからである⁶⁾。

眼窩を構成する骨はきわめて薄いので、内側面でも容易に骨折を起こす。眼窩内組織の損傷は常に考慮されねばならない。

正中寄りの打撃の場合、顔面の中1/3の骨折者の25%は



Fig. 6 The roof of the optic canal is different in thickness between the skulls. See also the other part of the skull base.

髄液漏を伴うという。篩骨骨折のためである。両側頸静脈圧迫による流量増加が目安となる⁷⁾。下顎骨骨折については、関節突起による頭蓋底骨折の可能性を指摘するにとどめる。

2. 前頭部への打撃

頭蓋円蓋部の骨折では、硬膜外血腫は常に考慮されねばならない。硬膜外血腫の16%は前頭部である。

前頭蓋窩底骨折時の傷害は複雑である。副損傷としては髄液漏をはじめ、数多くの障害が挙げられる。しかし前頭打撃でこれらのすべてが発生するわけでもない。

繰り返して述べるように、骨折の方向は打撃の方向と一致する。したがって正中部の打撃とやや側面に打撃を受けた時とでは、骨折線の走行が異なり、したがって副障害も異なる。

前頭正中部の打撃では、骨折線は正中線をトルコ鞍方向に向かって延びる。ここには副鼻腔や篩板などがあるので、これらの損傷により、髄液漏、頭蓋内気腫、嗅覚障害が発生する。

前頭部のやや外側、すなわち眼窩の上外側部への打撃では同側の視力障害が発生する頻度が高い。骨折線は視神経管の長軸に沿ってトルコ鞍方向に延びる。前頭部への打撃では、所詮視神経管に歪が加わるものであるが、この方向では特に歪が強く、特異的に視神経管骨折、つまり外傷盲を惹き起こす。したがって眼窩外上方に打撃点があれば必ず対光反射を調べる心構えが要る。実験によれば、視神経管上壁は上方から下方へ、頭蓋底側から

眼窩側へ押し潰すように変形するので、管の芯である視神経にも瞬間的に強い歪が加わると予想される¹⁰⁾。

視神経管上壁の骨はきわめて薄く、弱い。骨の曲げの弾性率と曲げの強さを円蓋部のそれと較べると、各々約1/2ならびに1/10であり、骨折を起こしやすい。つまり、通常円蓋部に骨折を生じないような弱い衝撃でも骨折を起こす可能性がある¹⁰⁾。

視神経管を構成する骨の構造は、人によりずいぶん異なるものである。今2個の頭蓋骨に透過光をあて、内頭蓋底を比較してみよう (Fig. 6)。一方の頭蓋骨では視神経管上壁はきわめて薄く、衝撃により容易に上下方向に歪み、骨折を起こすに違いない。ところが他方の頭蓋骨では、上壁は厚く、骨折を起こしがたい。骨折線は構造上弱いところを走るのも、もし骨折を起こすとすれば視神経管ならば眼窩側であろう。頭蓋骨骨折による副損傷発生は、頭蓋骨の構造差により生まれつき定まっているという推論も可能である。

上眼窩裂骨折による動眼神経、滑車神経損傷は、上眼窩裂減圧術により麻痺の回復した例の存在から想定できようが、脳幹での脳と頭蓋との相対運動による引き抜き損傷も考慮しなければならない。

前頭部の強い衝撃では、骨折線はトルコ鞍近傍へ延びる。トルコ鞍部の構造は複雑で局所的な構造の強度差があるので、骨折線の方向は微妙に変わる。

3. 側頭部への打撃

側頭部の打撃による硬膜外血腫はもっとも頻度が高い

(67%).

頭蓋底を横走る骨折は、打撃の加わった位置により三つの場合がある。打撃点が前寄りの場合、骨折線は前頭蓋窩を横走る。副損傷は前頭打撃の場合と同様であってもよいが、特異的ではない。打撃点が中程の場合骨折線は中頭蓋窩を横走り、中頭蓋窩の小孔に終わる。棘孔では中硬膜動脈損傷の危険性がある。三叉神経損傷は明確ではない。骨折線はトルコ鞍を超え、他側に延びることもある。打撃点が後寄りの場合には、錐体の縦骨折を起こす。

側頭骨錐体の骨折には、縦骨折 longitudinal fracture (80%) と横骨折 transverse fracture (20%) があり、症候学的に異なることが知られている²¹⁾³⁾。縦骨折は側頭骨鱗部から乳突部上方への打撃により生じ、骨折線は打撃方向に従って錐体の長軸に沿って延びる。中耳が損傷されるので中耳出血、鼓膜破裂があり、伝音性難聴を伴う。前庭機能は保たれる。顔面神経は彎曲部を中心に10~40%に損傷されるが、自然の回復も多い。

骨折線が錐体尖に達する場合には、第Ⅶ、Ⅷ脳神経損傷の他に、両側第Ⅶ神経麻痺を生ずるといわれる。

4. 後頭部への打撃

後頭部打撃により生ずる骨折線は大後頭孔へ向かって伸びる。途中、横静脈洞損傷による硬膜外血腫は常に念頭に置く。力学モデルの示すところによれば、後頭部打撃では打撃部の骨外層で圧縮力をもっとも強いが、張力は大後頭孔の内面でもっとも強い。骨折はそのいずれからでも発生するという²¹⁾。

打撃が強いと、骨折線は大後頭孔を超えて真直ぐ斜台へ伸びるか、または急に角度を変え、錐体の長軸を横切るように走る。錐体の横骨折である。受傷直後の激しいめまい、嘔吐とともに、聾に陥る。前庭機能は障害され、顔面神経は30~50%に障害され、縦骨折の場合よりも高度である。致死例も多い。

聴覚、顔面神経損傷のある時には、骨折の正確な走行を知るためには、打撃の方向に着目するとともに、側頭骨の断層撮影により骨折線の走行を確認することが必要である¹³⁾。

後頭骨骨折時の下位脳神経損傷の報告は少ない。生存しえない例が多いのであろう。

5. 頭頂部への打撃

頭頂部の骨内面は滑らかであり、骨折による副損傷は、上矢状静脈洞の破綻による硬膜外血腫ないしは静脈洞閉塞が主なものである。

6. 脊椎からの打撃

真逆様に墜落するもの、尻もちを付くのも力の作用方

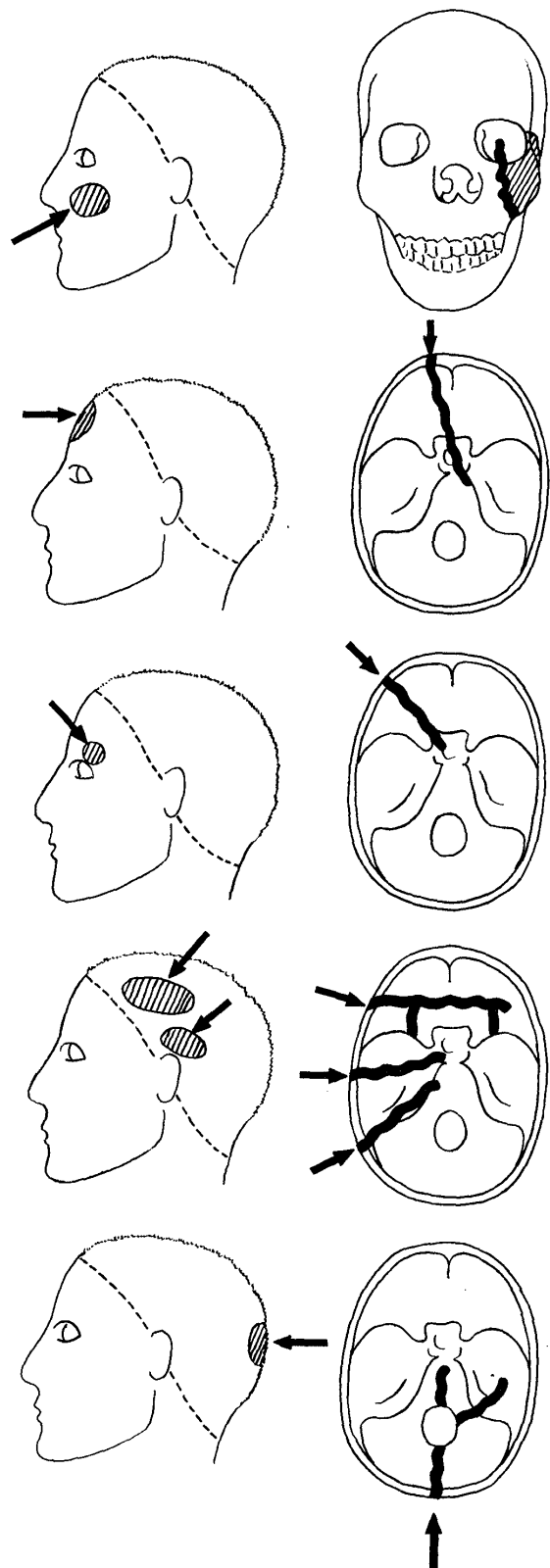


Fig. 7 The injury patterns by the difference of impact points are schematically presented.

向としては同じことで、衝撃が激しい場合脊椎が頭蓋底にめり込むような力が作用することがある。後頭蓋窩の

床に歪が集中し、大後頭孔を取り囲むような古典的な輪状骨折 ring fracture が発生する。骨折線により脳橋と延髄が離断されることがある。骨折がなくても、頭突きにより、頭蓋脊椎移行部で脳幹が絞扼され死亡する例もある²⁰⁾。

7. 鞭打ち機転

頸椎骨折ないし環軸椎脱臼では、頸・延髄損傷ないし椎骨動脈損傷による血行障害の可能性はある。

8. 複雑な損傷

骨折線が深く頭蓋底の中央にまで伸びることは稀ではない。トルコ鞍の骨折は頭蓋骨骨折の 1.4 % に発生するというが、脳神経損傷、内分泌損傷、内頸動脈損傷、髄液漏など各種の副損傷の合併をみる⁵⁾。

頭蓋底の輪状骨折は、上下方向の外力のみでなく過伸展過屈曲損傷によっても、あるいは頭蓋に捻転力や剪断力が作用した場合にも発生する。Voigt & Sköld は 77 例の分析から、発生機転により 8 型に分けている²³⁾。そのいずれの機転であれ、骨折の走行は頭蓋底の構造に応じて、ほぼ同様である。臨床的には脳実質の合併損傷が強く、重篤な経過をたどる。

Ⅶ ま と め

頭蓋骨骨折の発生様式は外力条件により規定される。外力の評価から骨折の可能性を、打撃の部位から骨折線の走行を推定することができる。解剖学的関係を考慮するならば、打撃部位から骨折の副損傷に関する傷害パターンを推測することが可能である (Fig. 7)。打撃部位による傷害パターンを念頭に置くことにより、多彩な臨床症候の蔭にひそむ障害を発見することが可能となり、診断治療計画を立てることも容易となる。

従来病歴に外力条件が記載されることはなく、打撃力の作用方向に考慮が払われることはなかった。しかし傷害パターンならびに傷害度を評価する上で、外力条件に関する記載は意味を持っていることを強調したい。頭蓋骨骨折に関連した問題は多いと思われるが、本稿では、力学的観点より“打撃部位と傷害パターン”という考え方に重点を置いて説明を加えた。

文 献

- AKKAS, N.: Dynamic analysis of a fluid-filled spherical sandwich shell—A model of the human head. *J Biomech* 8: 275–284, 1975
- BARBER, H. O.: Dizziness and head injury. *Can Med Assoc J* 92: 974–978, 1965
- CHAN, H. S.: Mathematical model for closed head impact. Proc 18th Stapp Car Crash Conference 18: 557–578, 1974
- COURVILLE, C. B.: Coup-contrecoup mechanism of craniocerebral injuries. Some observations. *Arch Surg* 45: 19–43, 1942
- DULOLIN, A. B. & POIRIER, V. C.: Fracture of the sella turcica. *Am J Roentgenol* 127: 969–972, 1976
- 藤野豊美, 佐藤 武: 眼窩床骨折・眼球損傷と周辺組織損傷に関する研究. 昭和 47 年度日本自動車研究所年報. p71, 日本自動車研究所, 東京, 1972
- GEORGIADIS, N. G.: The management of acute mid facialorbital injuries. *Clin Neurosurg* 19: 301–311, 1972
- GURDJIAN, E. S. & LISSNER, H. R.: Deformation of the skull in head injury studied by the “stresscoat” technique. Quantitative deformations. *Surg Gynecol Obstet* 83: 219–233, 1946
- GURDJIAN, E. S.: Impact head injury. Mechanistic, clinical and preventive correlations. C. C. Thomas, Springfield, 1975, pp 370
- 平川公義: 視神経管骨折の力学的研究. 脳神経 33: 697–711, 1970
- 平川公義: 頭部外傷の力学的解析. pp 3–33, 木本誠二監修: 現代外科学大系<年刊追補> 1977–B, 中山書店, 東京, 1977
- HIRSCH, C. S. & KAUFMAN, B.: Contrecoup skull fracture. *J Neurosurg* 42: 530–534, 1975
- KASEFF, L. G.: Tomographic evaluation of trauma to the temporal bone. *Radiology* 93: 321–327, 1969
- 益沢秀明, 中村紀夫, 平川公義, 橋爪敬三, 淵之上徳郎, 佐野圭司: 頭蓋骨外傷の力学. 日外会誌 71: 1327–1329, 1970
- 松倉豊治: 手拳は兇器である. 総合臨床 20: 472–476, 1971
- MELVIN, J. W. & EVANS, F. G.: A strain energy approach to the mechanics of skull fracture. Proc 15th Stapp Car Crash Conference 15: 666–685, 1971
- 日本自動車研究所対歩行者安全対策研究委員会編: 補助事業報告書 (その 2). 自動車の安全性向上に関する研究「対歩行者安全車の研究」 p 273, 日本自動車研究所, 東京, 1972
- NOTERMAN, J., MAYER, R., DAELEMANS, P., D’HAENS, J., JOOSEN, E., VANRECK, J. & WACKENS, G.: Les dislocation de la face et du crane. A propos de 20 cas. *Neurochirurgie* 23: 145–154, 1977
- 大野恒男: 頬骨弓骨折. 災害医学 4: 15–24, 1961
- SCHNEIDER, R. C., GOSCH, H. H., NORRELL, H., JERVA, M., COMBS, L. W. & SMITH, R. A.: Vascular insufficiency and differential distortion of brain and cord caused by cervicomedullary football injuries. *J Neurosurg* 33: 363–375, 1970
- SHUGAR, T. A.: Transient structural response

- of the linear skull-brain system. Proc 19th Stapp Car Crash Conference 19: 581-614, 1975
- 22) SMITH, B. & REGAN, W. F., JR.: Blow-out fracture of orbit: Mechanism and correction of internal orbital fracture. *Am J Ophthalmol* 44: 733-739, 1957
- 23) VOIGT, G. E. & SKÖLD, G.: Ring fracture of the base of the skull. *J Trauma* 14: 494-505, 1974
- 24) WEBBER, R. L. & FOLIO, J.: Radiographic detectability of occipital and temporal-parietal fractures induced in cadaver heads. *J Trauma* 16: 115-124, 1976