



頭蓋骨折に関する基礎的研究 : 骨小片を用いた材料力学的研究ならびに光弾性実験

藤田, 徳雄

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

1978-09-27

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙0545

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2000545>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	ふじ た とく お 雄 （兵庫県）
学位の種類	医学博士
学位記番号	医博ろ第463号
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位授与の日付	昭和53年9月27日
学位論文題目	頭蓋骨折に関する基礎的研究 —骨小片を用いた材料力学的研究ならびに光弾性実験—

審査委員	主査教授	溝井泰彦
	教授	廣畑和志 教授 島田桂吉

論文内容の要旨

I 緒言

頭蓋骨折は、頭蓋に作用した外力の大きさが頭蓋自体に生じる応力限界を越えた結果起こるものである。頭蓋骨折の発生の有無、骨折の形態等は加えられた外力の程度や種類を評価するうえできわめて重要であることはいうまでもなく、この方面の研究は多数認められている。しかし、一方、頭蓋骨折の成因機序を論ずるにあたっては、頭蓋自体の物理的特性、たとえば頭蓋全体の形態上の特性、頭蓋の厚さ、頭蓋骨の構築的および材料力学的特性などにもとずき応力の発生の状況が異なることをも考慮にいれておかねばならない。それには、性差、年齢差その他、個人差さらに病的変化などが影響することが考えられる。

法医学的に頭蓋の損傷と外力との因果関係を明らかにすることは、加害者に対する刑事責任の判定の根拠となるので、非常に重要なことであるが、その評価にあたっては上述の諸問題を考慮に含めることが是非必要である。しかし、従来、法医学的立場から行われたこの種の研究は少ない。私は今回、頭蓋骨小片を用いて、強度の個人差等を調べ、また、頭蓋全体の形態上の特性の解明の一助として光弾性実験を行い以下の知見を得た。

II 乾燥頭蓋骨小片の材料力学的強度試験

(i) 実験材料および実験方法

(ii) 実験材料 採取部位は右頭頂骨の正中側とその外側寄りの部分とし、1個の骨小片は長さ6.0 cm×幅1.0 cmの大きさとし、6ヶ月～83才の年齢分布をもつ51個体における102個の材料を用いて、最初に曲げ試験および硬度試験を行い、次いで、そのうち49例の正中側骨小片から、それぞれ厚さに等しい長さを1辺とする立方体を切り出して圧縮試験に用いた。

(Ⅱ) 曲げ試験の方法 三点支持法による荷重機を考案作製した。二点支持型の固定台に外板側を上面にして骨小片を載せ、その支持点間中央に、その撓みを測定するためにダイヤルゲージを装置した。最初に、骨小片の中央部の上面を静的に漸次荷重し、その撓み変化量を記録し、破折直前の荷重を最大荷重値とし、同時に最大撓みを読みとり、曲げの強さおよび曲げの弾性率を計算した。

(Ⅲ) 硬度試験の方法 硬度試験にはShoreの硬度計を使用し、そのダイヤルの目盛りの値を測定値とした。

(Ⅳ) 圧縮試験の方法 荷重機は新興通信社製T O M 5000型を使用し、チャックに骨小片を載せ、cross headの速度を1 mm/minの割合で荷重した。

(2) 曲げの試験および硬度試験の結果

(i) 年令差、性差および部位差について

(a) 曲げの強さの測定結果、若年層から30才代にかけて増加し、ここを頂点として以後は漸次減少し、60才以上では最も低い値を示し、個体差が著しく認められ、総平均値は 3.76 kg/mm^2 であった。性差についてみると、男性の平均値は 3.08 kg/mm^2 で、女性の平均値は 4.25 kg/mm^2 であったが、全体的にみて男性より女性の方が大きい値を示し、有意の差は認められなかった。また、部位差については、正中側部の平均値は 3.31 kg/mm^2 、外側寄りの部分の平均値は 4.03 kg/mm^2 を示し、全体的にみると、正中側部よりも外側寄りの部分の方が大きい値を示したが、有意の差は認められなかった。

(b) 曲げの弾性率の測定結果 若年層から40才代にかけて漸次値は高くなり、ここを頂点として以後減少し、個体差が著明に認められ、総平均値は 272 kg/mm^2 であった。性差についてみると、男性の平均値は 232 kg/mm^2 、女性の平均値は 312 kg/mm^2 で全体的にみると男性より女性の方が大きい値を示したが、有意の差は認められなかった。また、部位差については、正中側部の平均値は 258 kg/mm^2 、外側寄りの部分の平均値は 256 kg/mm^2 、両者間に有意の差は認められなかった。

(c) 硬度試験の結果、硬度は著明な年令群別変化を示さなかった。平均値は55.0であった。性差についてみると男性の平均値は55.2、女性の平均値は55.0、男女間に有意の差は認められず、また、部位差については正中側部の平均値は53.5、外側寄りの部分の平均値は56.5を示し、両者間に有意の差は認められなかった。

(3) 圧縮試験の結果 板間層の圧縮強さの平均値は 3.0 kg/mm^2 で、20才以上ではほぼ等しい値であったが、9才以下では著しく低い値(0.3 kg/mm^2)を示した。これに対して、骨小片全体の圧縮強さの平均値は 17.1 kg/mm^2 で、最大値は30才代(28.3 kg/mm^2)において認められ、60才代が最小値(7.8 kg/mm^2)を示しているが一般に著しい年令的差異があるとはいえない。次に板間層の圧縮強さならびに骨小片全体の圧縮強さの性差について検討したところ、いずれもほとんど性差は認められなかった。

Ⅲ 光弾性実験

(1) 円型模型における2次元光弾性実験

① 実験方法

(i) 試験片の作製 エポキシレザンの既製板(厚さ6.0 mm)を切り抜いて、頭蓋の前額断を想定した形の試験片を作製した。

② 実験結果

(i) 側方荷重 模型の3時と9時の方向に荷重を加えた場合の等色線図が得られた。この図のうえでは12時と6時の位置に0次の等色線を認め、また、3時と9時の位置に4次の縞次数を認めた。等色線図から外周における自由周辺部の応力分布を描き、次いで円偏光を形成している光学系から $\frac{1}{4}$ 波長板を除き、偏光子の傾斜を 10° づつ変化させ、その際の暗い点の軌跡を等傾線とした。

(ii) 垂直荷重 模型の12時と6時の方向に加重を加え等色線図が得られた。この図では12時と6時の位置に4次の等色線を認め、3時と9時の位置に0次の縞次数を認めた。等色線図から外周における自由周辺部の応力分布を描き、次いで等傾線をトレースした。これにより主応力線を作図した。

(2) 頭蓋骨小片の3次元光弾性実験

① 実験方法

(i) 試験片の作製 前述の強度試験に用いた乾燥頭蓋骨小片のうちから任意に4個を取り出して、それらと同大の模型を作った。

(ii) 実験装置と応力凍結法 応力の凍結は自動温度調節器付電気炉で行った。荷重装置の一部を電気炉内に固定し電気炉外から荷重できるようにした。先に作成した試験片を電気炉内の荷重装置内に入れ、3点支持荷重ができるようにセットした。エポキシ模型内部に発生した応力を凍結するために応力凍結プログラムを用いた。

② 実験結果

(i) 標本№1 薄い前頭側の方が後頭側に比して縞次数の高い等色線を現わした。

(ii) 標本№2 荷重部に縞模様が限局して存在しているのを認めた。

(iii) 標本№3 後頭側に比較して前頭側にわずかではあるが縞次数が多く認められた。

(iv) 標本№4 後頭側より前頭側にやや多い縞次数を認めた。

(3) 頭蓋球体模型における3次元光弾性実験

① 実験方法

(i) 頭蓋球体模型の作製 頭蓋を球体と考え単純モデルを作製した。すなわち、外径が130 mm、厚さ10 mmの球体に大後頭孔を想定した直径15 mmの円型の孔をあけ、その孔の縁の対照部位に後頭顆を想定した10 mm×15 mm×30 mm大の2個の隆起部をもたせた。

② 実験結果

頭頂相当部と頭蓋底部から後頭顆への移行部に非常に高い縞次数が輪状に密集して認められた。一方、赤道部、すなわち、側頭相当部等では低次数の等色線が認められた。この等色線写真をもとにして描いた頭蓋球体模型の自由周辺部の応力分布においては、頭頂部および後頭顆相当部の外側に高い値が示された。つづいて等傾線を描きこれをもとにして主応力線を作図した。

IV 総括ならびに考察

長管骨では部位別強度差がみられるとの報告がある。Evans は長管骨を3つの部位に分け、各部位の引張りの強さを調べた結果、骨幹の中央部が最も強くなっていると報告し、また、横尾は大腿骨、胫骨および上腕骨の各部位の圧縮強さは、いずれの骨においても骨幹の中央部が強くなっていると述べている。

しかし、頭蓋骨の部位別強度に関する文献は見られず、本実験結果と比較検討することはできなかった。実験結果では正中側部より外側寄りの部位の方が曲げの強さおよび硬度は大きな値を示したが、有意の差は認められなかった。しかし、頭蓋の部位的厚さの相違、板間層の多少、頭蓋穹隆部固有の彎曲の相違、その他種々の因子が複雑に作用していることが考えられ、この結果をもって一概にそれらの強弱を断定することは困難と思われる。また、曲げの弾性率および最大撓みについても有意の差は認められなかった。

性差に関しては、曲げの強さおよび曲げの弾性率が男性よりも女性の方が大きい値を示したが、有意の差が認められなかった。また、硬度および圧縮の強さについても有意の差は認められなかった。しかし、いずれの測定値も個人差が著しいため、頭蓋骨小片における強度の優劣を性差に求めることはむずかしいものと思われた。

次に本実験の成績を年齢差という観点からみると曲げの強さは加齢とともに徐々に強くなり、30才代において最も強く、40才から60才代以上になると再び弱くなっている。曲げ弾性率についても加齢とともに値は上昇して、20才ないし40才代で高く、50才および60才以上では著しく低下した。また、圧縮強さの年代別平均値でも30才代が最も高い値を示した。しかし、圧縮強さはいずれの年代においても著しい値のばらつきが認められる。この原因は頭蓋が外板および内板の微密質と板間層からなっていて、それらの厚さが著しい個人差を有していることが大きな要因となっているものと考えられる。

光弾性実験の等色線写真において縞次数が高く、かつ、それが密集する部位が応力集中点を現わし、その構造物に破壊が起こる場合はその点から破壊が始まると考えてよい。実際には頭蓋とまったく同じ形態の模型で実験を行うことはできず、球体模型についての基礎的研究とせざるを得なかったが、本実験において頭頂部から頭蓋底部に荷重した場合、頭頂部と頭蓋底部に大きな応力集中がみられ、次いで側頭部に起こることを認めている。これは頭頂部に打撃が加わったときに頭蓋底につき上げ型輪状骨折が生じる機序を明らかに示している。また、水平方向に荷重した場合、対側部を固定していると同部にかなりの応力集中がみられるが、これは打撃部位のみならず、遠隔の部位にも骨折が起こりうることを示唆している。

次に頭蓋に外力が作用した時、その局所における応力の分布状態を知るために頭頂骨小片に相当するエポキシレジン模型の中央に荷重を加えたところ、厚さの厚い後寄りの部分に比して前寄りの部分に大きな応力集中がみられたが、これは実際の頭部外傷の例にみられる打撃部位付近から出発した骨折線が、厚さの薄い方向に走っていることと一致している。すなわち、頭蓋の骨折にはその厚さと形が非常に重要な位置を占めていることが考えられる。

V 結 論

(1) 頭蓋頭頂の一定部位の乾燥骨小片について、曲げの強さ、曲げの弾性率、およびShore 硬度を測定した結果、いずれも著しい個体差を認め、また、前二者では年齢差が認められ、性差および部位差はみられなかった。後者は年齢差、性差、および部位差についての明らかな結果は得られなかった。

(2) 板間層の厚さならびにその構築には大きな個人差があり、また、外板と内板の厚さならびにその構築にも大きな個人差があり、それらが圧縮強さを著しく左右し、個体差等の原因となっていることがわかった。

(3) 平面円型模型を用いた2次元光弾性実験において、頭頂部から垂直荷重を加えた場合は12時と6時の

位置に、側方荷重の場合は3時と9時の位置に最も大きい応力集中が認められた。

(4) 頭蓋球体模型を用いた3次元光弾性実験では垂直荷重を加えた場合に12時と6時の位置に、次いで赤道部に大きい応力集中が認められた。

(5) 頭蓋骨小片模型を用いた3次元光弾性実験の場合では、応力集中は厚さの薄い前頭寄りの部分に大きく、また、形態の影響も認められた。

論文審査の結果の要旨

頭蓋骨折の発生を左右する頭蓋側の因子としては、頭蓋全体の形態上の特性、頭蓋の厚さ、頭蓋縫合の影響とともに、頭蓋を構成している骨の構築及び材料力学的特性などがあり、それらに性差、年令差、その他の個体差などの存在する可能性が考えられる。申請者は、多数例の頭蓋の一定部位から得た骨小片を用いて、各種の材料力学的試験を行い、その強度の個体差などをしらべ、一方、頭蓋全体の形態上の特性を解明するための一助として光弾性実験を行っている。

まず、材料力学的試験のためには、頭頂骨の一定部位から得た一定大の骨小片について、曲げ試験、硬度試験及び圧縮試験を行った。曲げの強さ及び曲げ弾性率の総平均値は、それぞれ 3.67 kg/mm^2 及び 272 kg/mm^2 であったが個体差があり、又年令別に見ると、いずれも若年層から徐々に値が上昇して30～40才代を頂点として以後減少し、これは骨の厚さの年令的変動にはほぼ一致している。又、撓み率が年令とともに減少することが、曲げ弾性率の年令的变化の原因になっていると考えられた。男性よりも女性の方が一般に高い値を示したが、統計学的に有意とはいえない。硬度の年令差は明瞭ではなかった。圧縮試験によって得られたstress-strain曲線は2段波を描き、これは頭蓋骨が板間層と内外板の緻密質とから成り立っているため、初期には板間層、後期には緻密層が破壊されることによって生ずる故であるので、両破壊点について検討したところ、板間層の占めるパーセント、板間層の構築の粗密、内外板の厚さや密度などの個体差によって、圧縮強さが大きく左右されているものと考えられた。

次に光弾性実験については、頭蓋の忠実なモデルによる実験は不可能であるため、頭蓋の球体としての特性をしらべる目的で2つの実験を行っている。まず第1は、頭蓋の前額断における平面応力を解析する目的で、エポキシレザンの板を外径100 mm、内径80 mmの輪状板とし、一箇所に頭蓋底の後頭顆を想定した一對の突出部を設けて、側方並びに垂直荷重を加え、偏光系に入れて等色線図、応力分布図、等傾線図及び主応力線図を作製した。その結果、側方からの荷重に対して主応力が3時と9時の位置はもちろん、12時と6時の位置にも発生していることを認め、また、垂直荷重の際には、12時と6時の位置のほか、3時と9時の部位にも応力集中を認めることができた。次に、大後頭孔と後頭顆相当部を有する球体模型を作製して3次元光弾性実験を行ったところ、頭頂部荷重における自由周辺部の応力分布は、頭頂部及び後頭顆相当部の外側に高い値が示され、高所から頭頂を下にして転落した場合などに認められる頭蓋底輪状骨折の発生の理論的説明の根拠を提出することができた。又、頭蓋骨小片モデルによる3次元実験においては、骨の厚さと形が応力発生に影響することを示した。

以上の諸実験成績は、頭蓋骨折の発生には、頭蓋骨の厚さ、構築上及び材料力学的特性、並びに頭蓋の

球体としての特性などが関与していることを明らかにしたものであり、頭蓋骨折についての基礎的な諸問題について重要な知見を得たものとして価値ある業績であると認める。よって本研究者は医学博士の学位を得る資格があると認める。