



静的荷重を受ける顔面骨の応力分布に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松本, 俊郎, 河田, 米栄, 藤田, 寿之, 土田, 雅久, 植村, 和嘉 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007828

静的荷重を受ける顔面骨の応力分布に関する研究

松本俊郎^{*}, 河田米榮^{**}, 藤田寿之^{**}, 土田雅久^{***}, 植村和嘉^{***}

Stress Distribution of Midfacial Bone under Static Loads

Toshiro MATSUMOTO^{*}, Yoneei KAWATA^{**}, Toshiyuki FUJITA^{**}, Masahisa TUCHIDA^{***},
Kazuyosi UEMURA^{***}

ABSTRACT

In order to investigate the behavior of facial bone under external force, the principal strains of human dried skulls were measured under static loads by strain gauges. Different loads were applied to the zygomatic and maxillary bones by a loading apparatus. The experimental results showed that the maximum tensile stress was recorded in the orbit region when the load was applied to the zygoma near the zygomaticofrontal suture and the maximum compression stress was recorded at the zygoma when the load was applied to the bone near the zygomaticozygomatic arch suture. The results is suitable to consider the mechanism of orbital blowout fracture.

Key Word: Facial Bone, Strain Gauge, Rosette Strain, Biomechanics, Fracture

1. はじめに

顔面部に外力が作用した場合、その歪は頬骨または上顎骨等の単一の骨にとどまらず縫合部を経て隣接の骨に伝達され広範囲に破損することが多い。そのため頬骨骨折¹⁾や頬骨上顎複合骨折など種々の呼称で表現され、その処置にあたって苦慮するところで種々の治療方法が試みられている。しかし、いまだ適切な術式が確立されるに至っていない。この問題の解決には外力による顔面骨の変形に関する力学的な検討が必要である。

そこで本研究では人の乾燥頭蓋骨を用いて静的荷重の方向や大きさを変化させた時、顔面骨の歪を測定した。荷重点を変えるだけでなく²⁾その方向を変化させることによる顔面部の種々の骨における応力を算出し考察した。

方向の設定は頭骸骨の眼窩部と外耳口部で形成される平面(眼耳平面)および人体の中央で左右対象に切断することにより形成される平面に平行な矢状平面を基準にして行った。その結果、頬骨前頭骨縫合部近くの頬骨への荷重では頬骨自身の応力は小さく眼窩内の骨に最大の引っ張り応力および圧縮応力が測定された。しかし同じ頬骨でも頬骨弓近傍の頬骨に荷重を加えた時頬骨骨体部に最大の応力が生じ荷重場所により変形の度合が変わることがわかった。荷重方向による応力の依存性は30度前後眼耳平面の上および下に変えた範囲内では見られなかった。

2. 実験

2.1 材料

実験には成人乾燥頭蓋骨2体を用いた。この試料の固定のために升型ブロックを用いた。この中空部に歯科用超硬石膏を練和して入れ、硬化する前に眼耳平面とブロックの側面が平行になるように後頭部を約4cm埋没して固定した。

試料上の一点で3方向の歪を測るためにロゼット歪ゲージを用いた。測定対象の大きさ、表面状態の検討の上

平成4年4月10日受理

* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

** システム制御工学科 (Department of system and control Engineering)

*** 奈良県立医科大学口腔外科学教室 (Department of Oral and Maxillofacial Surgery)

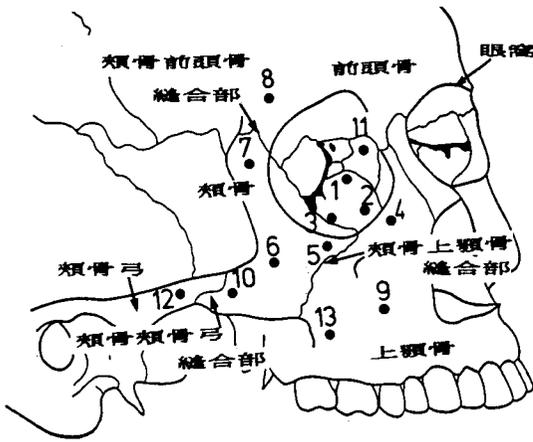


図1 歪ゲージの接着部位と各部の名称

ゲージ長さ2mmの90°三軸ゲージ(KFG-2-120-CI-11L3M2R, 共和電業製)を使用した。ゲージの接着処理において、シアノアクリレート系接着剤(アロンアルファ201, 東亜合成化学工業製)を用いた。接着の折り、ゲージの表面をポリエチレンフィルムで覆い、10秒程指先で押さえつけ骨表面に密着させた。ゲージを接着した場所を図1に示す。図のように頰骨、上顎骨、頰骨弓、眼窩内、前頭骨の上で13点の場所を選んだ。

荷重方法は支点から両端まで1:3の比率になる天秤状の構造を有する装置を作成し短いさおの方に荷重針を取り付け他方に糸を固定して滑車を経由して分銅を吊下げ、荷重を負荷した。荷重の作用点(荷重点)には分銅の3倍の荷重がかかる。荷重負荷部位は、図2に示すように13点を設定した。荷重負荷の方向は、眼耳平面および正中面に平行な矢状面に対して定めることとし図3に示す。荷重の大きさは予備実験の結果から1050g(分銅で350g)、1950g(同じく650g)および3.0kg(同じく1.0kg)とした。

主歪(最大, 最小), 主応力およびその方向の算出については、ロゼットゲージより得られた個々の歪から、図4に示されるように平面歪、平面応力の関係式を使った。³⁾手順的には、これらの値は、ゲージからの歪出力をスカナ(5767日本電気三栄製)およびデータロガ(7V07日本電気三栄製)にいれ、内蔵のロゼット解析プログラムを使用して求めた。ヤング率(E)およびポアソン比(ν)は2489 kg/mm²および0.36とした。⁴⁾

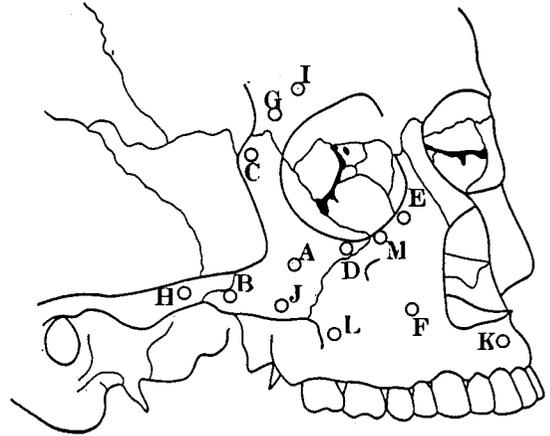


図2 荷重部位

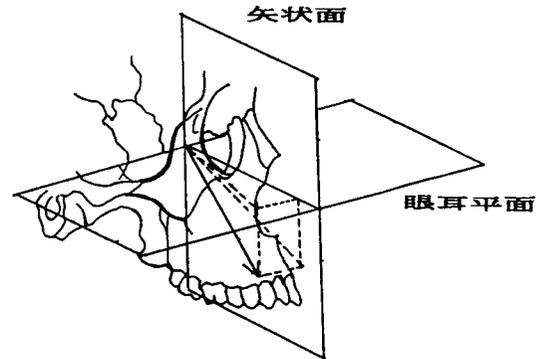


図3 荷重方向の設定

荷重部位は頰骨で頰骨前頭骨縫合部下部で、荷重方向は眼耳平面より下方、矢状面より右側方向に設定した場合

Principal strain,

$$\epsilon_{p, q} = (\epsilon_1 + \epsilon_2) / 2 \pm \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + \{2\epsilon_3 - (\epsilon_1 + \epsilon_3)\}^2} / 2$$

Principal stress,

$$\sigma_{p, q} = (E/2) [(\epsilon_1 - \epsilon_3) / (1 - \mu) \pm \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + \{2\epsilon_3 - (\epsilon_1 + \epsilon_3)\}^2} / (1 + \mu)]$$

Principal angle,

$$\phi_{p, q} = (1/2) \tan^{-1} [\{ (\epsilon_2 - \epsilon_3) - (\epsilon_1 - \epsilon_2) \} / (\epsilon_1 - \epsilon_3)]$$

Where

$\epsilon_{1, 2, 3}$ = Strain in gauges No. 1, 2, 3

μ = Poisson's ratio

E = Young's modulus

P = Maximum value

q = Minimum value

図4 ロゼットゲージより得られた歪より主歪, 主応力を求めるための式

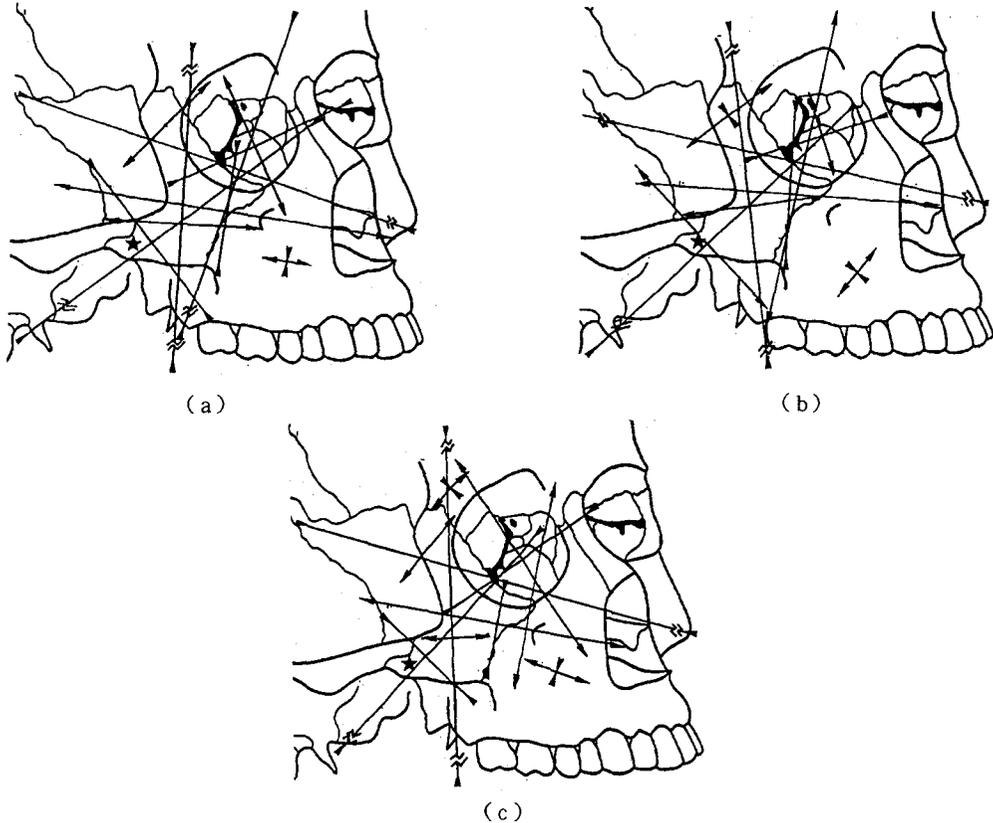


図5 頬骨頬骨弓縫合部近傍の頬骨に荷重を加えた場合の主応力の分布
 荷重点は★印で示す。荷重方向は、(a)眼耳平面に平行、矢状平面より
 50°(b)眼耳平面から上方30°、矢状平面より50°(c)眼耳平面から下方20°、
 矢状平面より50° ← → 引っ張り応力、 → 圧縮応力 — 2.5 kg/cm²

3. 実験結果

顔面頭蓋の上で種々の荷重負荷部位に対応して生じる顔面部の主応力分布について得られた結果を述べる。

(1) 右側頬骨-頬骨弓縫合部近傍の頬骨部 (図2(B)) に対する負荷

荷重方向は矢状面より50度に固定して眼耳平面に平行な場合、同じく30度上からの場合、そして、20度下からの場合の3通り行った。その結果を図5(a),(b)および(c)に示す。荷重の大きさはいずれも3.0 kgである。図5(a)は眼耳平面に平行で矢状面より外側50°の方向より圧縮荷重を加えた時得られた主応力の結果である。引っ張り応力の最大値(32 kg/cm²)は、頬骨上で頬骨上顎骨縫合部近傍(図1(5))で測定され、圧縮応力の最大値(67 kg/cm²)は上顎骨眼窩下壁(同図(3))で得られ

た。図5(b)は眼耳平面より上方向30°で矢状面に関しては(a)と同じである。引っ張り応力は頬骨上で頬骨上顎骨縫合部近傍(同図(5))に比較的大きな値28.8 kg/cm²を測定したが、他の部位では、著しく大きな値は得られなかった。他方圧縮応力では頬骨骨体部(同図(6))で比較的大きな値61.5 kg/cm²を測定した。図5(c)の荷重方向は矢状面については(a)と同様で眼耳平面より下方20°の方向に圧縮荷重を加えた場合である。上顎骨眼窩下壁(同図(3))で比較的大きな圧縮応力(62.9 kg/cm²)が表れている。引っ張り応力は頬骨上顎骨縫合部近傍(同図(5))で27.2 kg/cm²であった。頬骨部で荷重負荷部位に近接した部位(同図(10))でも圧縮応力が大きく表れた(35.5 kg/cm²)。眼耳平面に関して(a),(b)および(c)の三つの条件で荷重したが場所により応力が大きく表れる場所はほぼ同様であった。

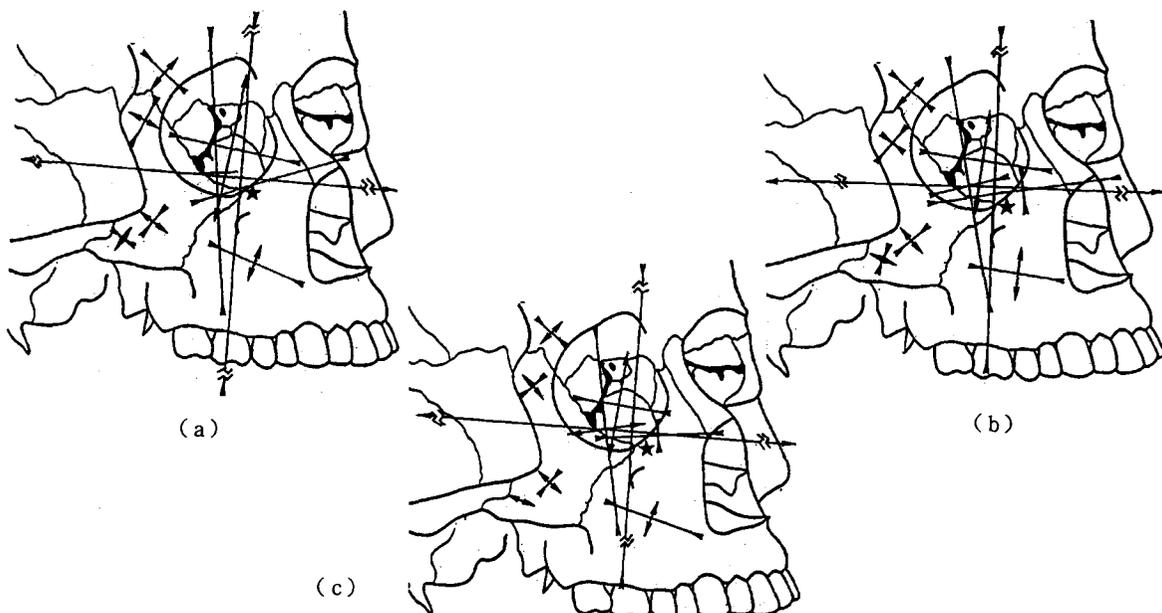


図6 上顎骨眼窩下縁に荷重した場合の主応力の分布

荷重方向は(a)眼耳平面に平行, 矢状面より 0° (b)眼耳平面から下方 20° , 矢状面より 0° (c)眼耳平面に平行, 矢状面より 30° ←→ 引っ張り応力, → 圧縮応力, — 2.5 kg/cm^2 , ★荷重点を示す.

(2) 右側上顎骨眼窩下縁(図2(M))に荷重した場合

この部位に荷重を加える方向として, 眼耳平面および矢状面から共に 0° の方向, 眼耳平面より上方 20° で矢状面から 0° の方向, そして眼耳平面と 0° で矢状面と 30° の3方向とした. これらの結果を各々図6(a),(b)および(c)に示す. 荷重量は 3.0 kg である. 図6(a)では荷重負荷部位近傍の眼窩下壁特に上顎骨上部に比較的大きな圧縮応力が生じ 47.9 kg/cm^2 の最大圧縮応力が測定された(図1(2)), このように眼窩内の上顎骨では大きい圧縮荷重が表れたのに対し上顎歯近傍(同(9))では 8.1 kg/cm^2 の圧縮応力で小さかった. 頬骨部ではさらに小さな圧縮応力で $0.6 \sim 2.6 \text{ kg/cm}^2$ の範囲であった. 引っ張り応用についても同様の傾向で眼窩内下壁で大きな応力が測定された. 最大の引っ張り応力は眼窩下壁で 68.1 kg/cm^2 であった. 図6(b)では眼耳平面より上 20° の方向から荷重を加えた結果で, やはり眼窩下壁の上顎骨部で大きな応力が測定された. 応力の最大は前の実験と同じで眼窩内(図1(2))で測定された圧縮応力で 35.2 kg/cm^2 , 引っ張り応力で 66.6 kg/cm^2 であった. 頬骨上では応力は小さかった. 図6(c)は眼耳平面を 0° に戻し矢状面について 30° の方向から荷重を加えた結果である. 前2者の結果と同様で眼窩内の応力は大きく頬骨上では小さな値が測定された.

4. ま と め

外力による顔面骨部の応力をロゼットゲージ法により測定した結果は以下のようにまとめられる.

- (1) 頬骨部は顔面骨組織が比較的強固につくられているため骨体部に種々の方向より荷重を加えても応力について荷重方向の依存性は認められなかった.
- (2) 頬骨への荷重負荷は眼窩下壁に大きく影響することが圧縮応力の測定から明らかになった.
- (3) 上顎骨の眼窩付近への荷重に対しては荷重点近傍の眼窩下壁の応力が大きくなり最大の引っ張り応力および最小の圧縮応力を示した. 頬骨への影響は少なかった.
- (4) 眼窩床骨折の発生機序を考察する上で有益な結果が得られた.

参 考 文 献

- 1) 植村和嘉他, 日口外誌 32 (1986) 146.
- 2) 広瀬洋二他, 城歯大紀要 15 (1986) 696.
- 3) J. W. Dally, W. F. Riley, Experimental Stress Analysis (McGRAW-HILL, 1965)
- 4) 嶋田 淳, 日口外誌 32 (1986) 1362.