

平成 21年 6月 16日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18500349

研究課題名（和文） 有限要素シミュレーションによる眼窩吹き抜け骨折発生メカニズムの解明

研究課題名（英文）：Elucidation of Biomechanical Etiology for Blowout Fracture Using Finite Element Analysis

研究代表者：永竿 智久（NAGASAO Tomohisa）

慶應義塾大学・医学部・講師

研究者番号：20245541

研究成果の概要：眼窩壁骨折（吹抜け骨折）の重篤度に影響する因子としては、外力の強さ以外に 外力の作用する方向 打撃を受ける眼窩周辺の部位 打撃を受ける顔面骨の形態的特徴 といった要素が影響する。本実験においては、これらの因子と骨折の程度に関する相関につき有限要素シミュレーションを用いて定量的な解析を行った。この結果、 俯角より外力が作用すると広い範囲に骨折が生じやすいこと 外力の眼窩の内圧上昇を介した間接的作用と、眼窩壁を経由した直接的作用には相補性が存在すること 上顎骨に欠損を有する場合、広範囲に骨折が生じやすいこと が解明された。これらの所見は吹抜け骨折の診断ならびに予防に有用である。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	330,000	2,130,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：バイオメカニクス・顔面骨骨折

1. 研究開始当初の背景

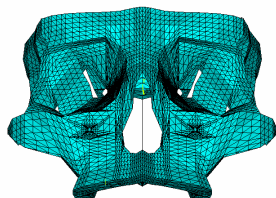
吹抜け骨折は頭頸部外科医が日常的に遭遇する外傷類型の一つであり、眼窩周辺に強い外力が作用した際に、その外力が直接的に眼窩壁に作用するか、もしくは眼窩内圧の上昇を介して間接的に壁に作用するかの機転により発生する。吹抜け骨折は複視や眼球陥没などの重篤な症状を呈し、臨床的に大きな問題となる場合が多い。このため数十年来吹抜け骨折のバイオメカニズムの原因につき研究がなされて来た。しかし多くの研究においては外力の作用方式と骨折程度の関係は定性的に論じられるのみにとどまり、吹抜け骨折の発生に関する詳細なメカニズムに関しては未だ解明されていないかった。

2. 研究の目的

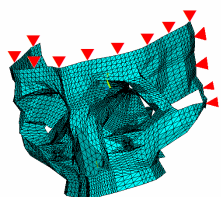
上記の様な背景のもと、吹抜け骨折発生の詳細なメカニズムを解明するために本研究は行われた。具体的には、(1)外力の作用する方向が変化すると、骨折の程度はどのように変化するのか (2)眼窩周辺において打撃を受ける部位が変化すると、眼窩内において骨折が発生する部位はそれに伴って変化するのか (3)先天奇形その他の原因によって一部に欠損を有する顔面骨においては、吹抜け骨折は正常の頭蓋と比較して発生しやすいのか に関して解明することを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

CT データに基づいて、患者頭蓋の形態を正確に反映する顔面骨 CAD (Computer Aided Simulation) モデルを図 1 ならびに図 2 の如く作成する。これらのモデルを使用して図 3 に示す如く衝撃が眼窩縁に加わる 3 次元シミュレーションを行い、結果として眼窩縁に発生する骨折範囲を、有限要素法を

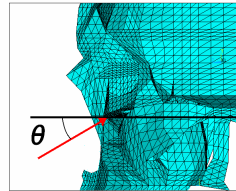


(図 1) 作成された CAD モデルの例

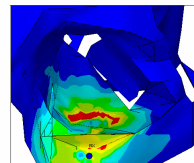


(図 2) CAD モデルを固定した所見

用いて計算する。この計算の結果、骨折が発生する部位を(図 4)に示したように予測することができる。



(図 3) 外力負荷



(図 4) 骨折発生部位の予測

こうして計算された予測骨折面積を評価することにより、「研究の目的」に記した諸点につき解明をおこなう。

4. 研究成果

(1). 当初の研究目的に属する成果

吹抜け骨折の発生メカニズムにつき、以下の点について解明した。それぞれの有する臨床的意義とともに、所見を列記する。骨折程度は衝撃の加わる角度により影響を受けることを解明した。

俯角より眼窩下壁に衝撃が作用した場合、水平方向より作用した場合よりも広範囲に骨折が発生する(下記 雑誌論文 6 に発表)。

(本所見の有用性)

本所見は外傷防止のための防具の開発のために有用な所見である。自動車運転時やコンタクトスポーツ施行時には眼窩打撲に起因する吹抜け骨折を防止するために効率的な防具の装着が必要である。本所見の示すように、下方より衝撃が加わった場合に眼窩底に広範囲にわたる骨折が発生しやすいから、重篤な吹抜け骨折の発生を防止するためには下方より衝撃が加わった際にその衝撃を吸収するような防具を開発すればよい。こうした知識はレーザーヘルメットやボクサーのヘッドギアを開発する上で重要である。また、本所見は法医学的な意義をも有する。刑事的な外傷状況にあってはある外傷所見を有する状況において、その状況がどのような機

転により発生したのかを推測することが必要である。本所見により、俯角より衝撃が加わった際に重篤な骨折が生じることが示されたが、この所見を逆に辿ることにより、骨折の程度に基づいて受傷機転をある程度予測することができる。すなわち眼窩底に広範囲にわたる骨折が認められた場合、衝撃はやや下方より顔面に加わったと解釈することができる。

上顎に部分欠損が存在する場合、同程度の衝撃に対して広範囲に骨折が発生することを解明した。

例えば排膿目的で上顎内側壁に対孔を形成した場合、眼窩縁に衝撃が加わると広範囲に骨折が発生することが解明された(論文2に発表)

(本所見の有用性)

難治性の上顎洞炎に対しては上顎内側壁の削開が排膿目的で行われるが、こうした操作を行うことで吹抜け骨折のリスクは上昇する。この知識を有用に活用することで、上顎洞炎に対する排膿術の適応を決定することができる。

眼窩壁を介した直接作用(Buckling Mechanism)と、眼窩内容の上昇に起因する間接作用には相互作用が存在することを解明した。

上記2種のメカニズムが同時に作用する場合には、それぞれが単独に作用する場合に比較してより広範な骨折が発生することが解明された(論文1に発表)

(本所見の有用性)

眼窩縁ならびに眼球に同時に衝撃が作用すると重篤な骨折が発生しやすいことが証明されたことになる。この知識を応用することにより、骨折の所見に基づいて受傷機転を推測したり、吹抜け骨折の程度を軽減させるような顔面防具などの開発につながる。

(2) . 副次的に解明したテーマ

本実験を行うにあたって頭蓋シミュレーションモデルを作成したが、その作成段階において、または作成したモデルを応用することにより、以下の点が解明された。

Le Fort I型上顎骨切術において、どのような径の固定ネジを使用すれば固定した骨片が最も安定するのかを解明した。

固定部位の骨圧に近いネジ径を有す

る固定ネジを使用した場合に、固定骨片の安定性は最も高くなることが確認された(論文4に発表)

(本所見の有用性)

上顎変形に対する上顎骨切術は高頻度に行われる治療ではあるが、術後に固定された上顎骨片が次第にずれて来る場合もあり、問題になる。本実験の所見を応用してネジの半径を工夫することで、こうした合併症を減少させることが可能になる。

頬骨骨折の観血的整復を行うにあたっての新しい固定法を考案し、その有効性についての理論的証明を行った(論文3に発表)

一般的に使用される固定スクリューに加えて、キルシュナー鋼線を使用することで固定骨片の安定性が向上することを理論的に証明した。さらに臨床症例の評価により、同理論の正当性につき証明を行った。

(本所見の有用性)

頬骨骨折の観血的治療においては、固定された頬骨片の安定性が悪く、骨折部に変形を生じる場合が多い。本所見を応用して頬骨骨片の固定を行うことで、こうした術後の「ずれ」の程度を軽減し、良好な結果を得ることが可能となる。

眼窩下壁の解剖について解析を行い、年齢ならびに性と、眼窩下壁における湾曲・裂の相関に関する影響を解明した。年齢が高くなるにつれ、眼窩の最陥没点は外側に移動する傾向が存在することが示された(論文5に発表)

(本所見の有用性)

眼窩骨の骨折に対する修復手術を行う際には、本来の形態に骨構造を再建する必要がある。この再建を行うためのイメージングに有用である。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

1 . Nagasao T, Miyamoto J, Tamaki T. Interaction between hydraulic mechanism and buckling mechanism in blowout fracture.

Annals of Plastic Surgery, 2009 (in press)

(査読あり)

2 . Nagasao T, Miyamoto J, Tamaki T, Kanazaki S, Ogawa K.

Inferior meatal antrostomy impairs dynamic stability of the orbital walls. Auris Nasus Larynx, 2009 (in press) (査読あり)

3 . Nagasao T, Tamada I, Miyamoto J, Ogata H, Kaneko T, Nagasao M, Nakajima T.

Effectiveness of additional transmalar Kirschner wire fixation for a zygoma fracture.

Plast Reconstr Surg. 119:1010 -1019.2007 (査読あり)

4 . Nagasao T, Miyamoto J, Hikosaka M, Nagasao M, Tokumaru Y, Ogawa K, Nakajima T.

Appropriate diameter for screws to fix the maxilla following Le Fort I osteotomy: an investigation utilizing finite element analysis.

J Craniomaxillofac Surg. 35:227 -233. 2007 (査読あり)

5 . Nagasao T, Hikosaka M, Morotomi T, Nagasao M, Ogawa K, Nakajima T.

Analysis of the orbital floor morphology. J Craniomaxillofac Surg. 35:112 -119. 2007 (査読あり)

6 . Nagasao T, Miyamoto J, Nagasao M, Ogata H, Kaneko T, Tamaki T, Nakajima T.

The effect of striking angle on the buckling mechanism in blowout fracture.

Plast Reconstr Surg. 117:2373 -2380; discussion 2381, 2006 (査読あり)

〔学会発表〕(計1件)

1 . 永竿智久、宮本純平、木村章子、緒方寿夫、金紅梅、玉木保、中島龍夫。

頬骨骨折において、プレート固定のほかに Kワイヤー固定を行うことで骨折片の安定性を格段に向上しうる(第2報) 第15回日本形成外科学会基礎学術集会 埼玉(大宮) 2006年10月12・13日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

永竿 智久 (NAGASAO Tomohisa)

慶應義塾大学・医学部・講師

研究者番号:20245541

(2)研究分担者

中島 龍夫 (NAKAJIMA Tatsuo)

慶應義塾大学・医学部・教授

研究者番号:40095633

(平成18年度のみ)

玉木 保 (TAMAKI Tamotsu)

日本工業大学・機械工学科・教授

研究者番号:10049695

(3)連携研究者