

## 上顎切歯への衝撃が上顎骨および頭蓋骨ひずみにおよぼす影響

杉本 勘太 桑原 茂久 本田 顕哲 田村 康夫

### Influence of Impact to the Upper Incisor on strain in the maxillary and Craniofacial Bones

SUGIMOTO KANTA, KUWABARA SHIGEHISA, HONDA KENTETSU and TAMURA YASUO

歯への衝撃は、歯牙破折や軟組織裂傷だけでなく、顎骨骨折や脳震盪を引き起こす事は広く知られている。しかしながら、歯へ衝撃が加わった時の上顎骨や頭頸部へのひずみの伝達方向や大きさについての検討はほとんど行われていなかった。

そこでヒト乾燥頭蓋を用いて、上顎切歯への衝撃が上顎骨および頭蓋骨に及ぼす影響についてひずみゲージを用いて検討した。

乾燥頭蓋を固定して、鉄球を落下させて、上顎切歯歯槽骨部の4カ所と、頭蓋骨の7カ所の計11カ所でひずみを測定した。球を上顎左側中切歯の歯冠部を近遠心方向に三等分し、それぞれの長軸方向および近遠心方向の midpoint に歯軸に対し垂直方向に近心側、中央、遠心側の3点（以下M衝撃、C衝撃、D衝撃）および切端中央に歯軸に対し垂直（以下軸衝撃）に自由落下させた。

1) 唇面からの衝撃では、口蓋側歯槽骨頂部ではC衝撃の主ひずみが最も大きく、唇側根尖部および唇側歯槽骨頂部ではM衝撃、口蓋側根尖部ではD衝撃の主ひずみが最も大きかった。一方、頭蓋骨においては、それぞれの測定部位で衝撃点による差は認められなかった。

2) 歯軸方向の衝撃では、C衝撃と比較すると歯槽骨では唇側歯槽骨頂部以外は軸衝撃の方が主ひずみは小さかった。また頭蓋骨では、正中から離れた部位の主ひずみは唇面、歯軸方向の間で差は認められなかった。

一方、大後頭孔後縁においては唇面からの衝撃ではひずみは0であったのに対し、軸衝撃でひずみが生じていた。以上より、歯への衝撃は歯の形態や衝撃部位により歯槽骨に生じるひずみの方向と大きさが異なることや、歯軸方向への衝撃は、唇面からの衝撃に比べ頭蓋底に強く伝わる事が明らかとなった。

キーワード：上顎切歯、衝撃、最大主ひずみ、乾燥頭蓋

*The purpose of this study was to clarify the affect of the impact to the upper anterior incisor on the alveolar and craniofacial bones of a human dry skull.*

*The upper central incisor was struck by a stainless steel ball (diameter 11 mm, weight 5.47 g), rolled down a 60 cm length gutter inclined 30°. The impact was given in two ways: parallel to the long axis of the incisor (LA impact), and at right angles to the labial surface of the incisor at three portions according to the impact (i.e., medial M-, central C- and distal D-) These were measuring points of the impact force and bone distortion on the craniofacial bones. The distortion gauges of the three axes diverged 45° were fixed at each reference point, the impact signals were rectified by dynamic strain amplifiers, and then the distortion (direction and magnitude) of each reference point was analyzed by Power Lab/8SP.*

*Among the reference points, the greatest magnitude of bone distortion was found at the alveolar bone crest using both impact methods, especially at the palatal side with right angle impact and at the labial side with impact parallel to the long axis of the tooth. Distortion of the medial part of the skull by the impact, which was given parallel to the long axis of the tooth, was more intensive than on the right angle.*

*Bone distortion at the foramen magnum by impact at the right angle of the tooth was not recognized, which showed*

almost zero level signals, but distortion by impact parallel to the long axis was apparently recognized. On the other hand, distortion measured at the lateral part of the skull showed little differences between the impact methods. Concerning the transfer direction of the impact, since distortion was found to spread in the direction toward the outside of the alveolar bone with both impact methods, the direction of distortion would change in relation to the tooth form and tooth rotation. The transfer direction of distortion in the skull induced by the impact was also observed just outside the measurement point of each bone.

These results suggest that the direction of distortion in the alveolar bone would change in relation to the tooth form and tooth rotation, and the impact parallel to the long axis of the tooth would influence the medial part of the skull more intensive than the impacts at right angles.

Key words: Upper central incisor, shock, distortion, Dry skull

## 緒言

顎口腔領域へのスポーツ外傷の割合は高く、この予防のためにはマウスガード装着が有効であることが広く認められている。そのため、ボクシング、アメリカンフットボールではマウスガードの装着が義務づけられ、また、空手、ラグビー、アイスホッケー等の顎口腔領域への外傷の割合の高いスポーツでは、一部装着が義務づけられるなど、義務化されるスポーツが年々増加傾向にある<sup>1)</sup>。しかし、外傷等で衝撃が歯に伝えられた場合、上顎骨や頭頸部への衝撃の伝播に与えるマウスガードの装着の有効性を検討したものは少なく、マウスガード装着によって外傷が減少した割合を調べたり、アンケート調査を行ったものが大部分である<sup>2,3)</sup>。我々はこれまでに歯列模型を用いてマウスガードの有効性を検討し、その結果、模型上においてはマ

ウスガードの装着が歯への衝撃を減少させ、有効である事が示唆された<sup>4)</sup>。

また歯への外傷が歯牙破折や軟組織裂傷のみならず、顎骨骨折や脳震盪を引き起こす事は広く知られている。しかし、下顎骨については報告されているが<sup>5)</sup>、歯へ衝撃が加わった時の上顎骨や頭頸部への衝撃の伝播、衝撃部位による主ひずみの変化についての検討はほとんど検討されていない。

そこで本研究はモデル実験として、ヒト乾燥頭蓋を用いて、上顎切歯への衝撃点の変化が上顎骨および頭蓋骨表面に発生する最大主ひずみの大きさと方向に与える影響についてひずみゲージを用いて検討した。

## 対象および方法

骨および歯に欠損の認められないヒト乾燥頭蓋を実験に用いた。また歯と歯槽窩の間には歯根膜を想定し

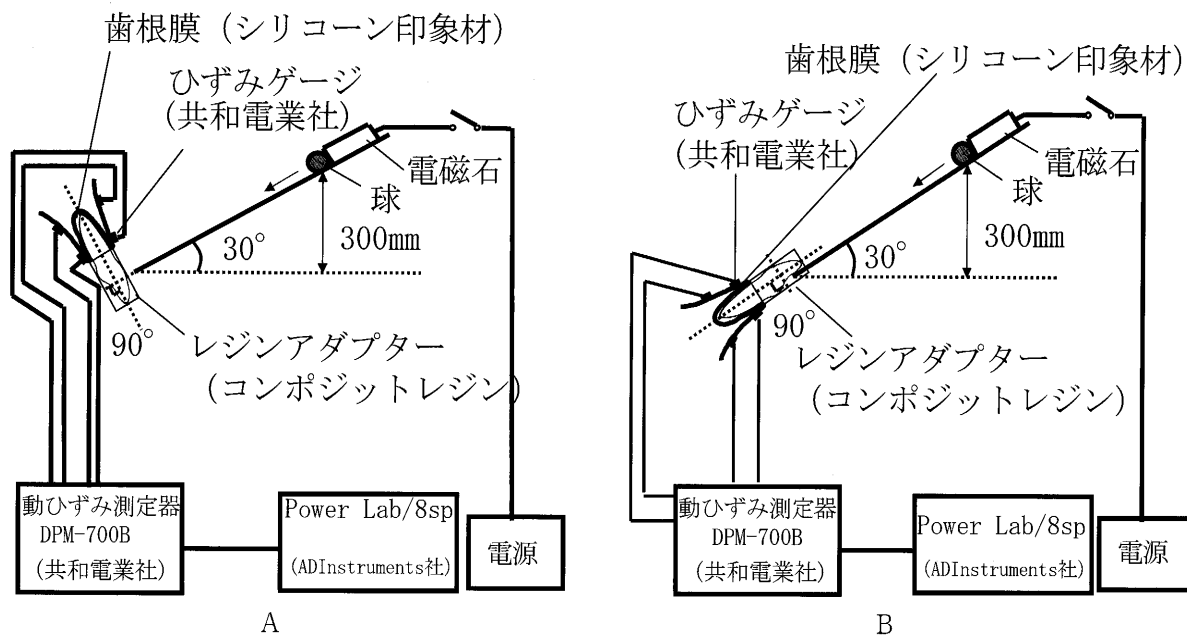


図1 本実験におけるブロックダイアグラム  
A：唇面への衝撃 B：軸方向への衝撃 (LA) 衝撃

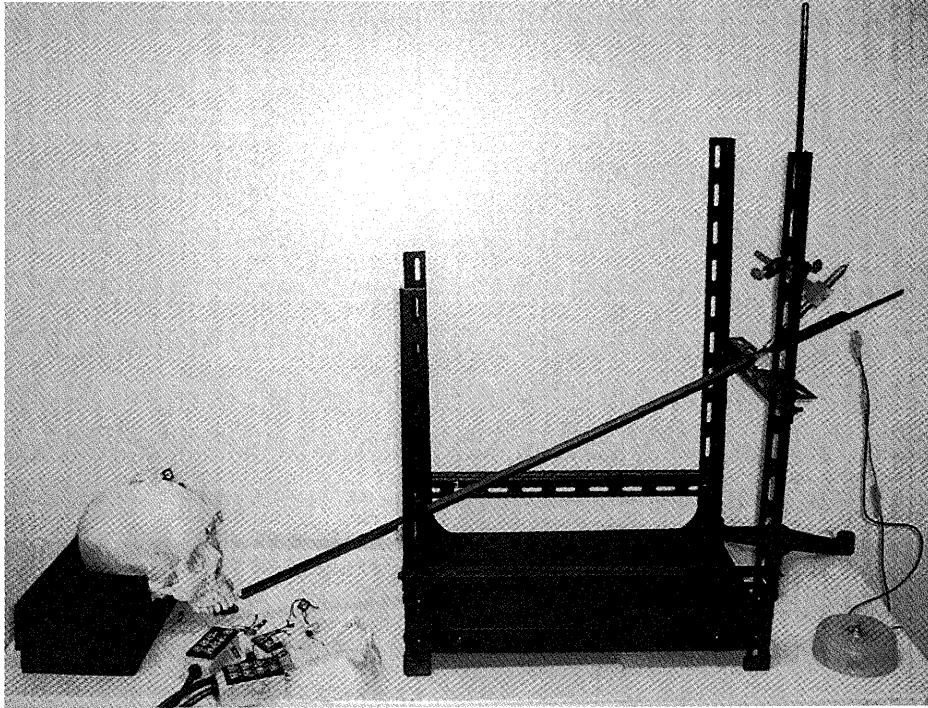


図2 実験風景

て、歯科用シリコン印象材（デュプリコン、松風社製）を用いて歯を固定した(図1). 図2に示すように乾燥頭蓋を14×30×9 cmのスポンジに固定し、歯への衝撃はプラスチック製のレールを用いて、長さ60 cm、角度30°の位置から直径11mm、重さ5.47gの鉄球を滑走させ、上顎左側中切歯の歯冠部唇面に歯軸に対し垂直方向および切端中心部に歯軸に対して平行に衝撃を与えた.

球の落下方法は、球を電磁石に接着させ、電磁石の電源を切断させることにより球を自然落下させ、衝撃の大きさの再現性を高めた. さらに、歯への衝撃もできるだけ一定にするため、上顎左側中切歯歯冠部を覆うレジンアダプタを作製した. 作製に際し唇面および切端が平坦になるように歯冠部をコンポジットレジン（クリアフィル AP-X、クラレメディカル社製）で覆って研磨した.

このときの衝撃の大きさは超小型圧電型加速度ピックアップ(PV-90B, RION社製)を用いて計測した結果、0.23Nであった. またさらに垂直方向衝撃においては図3に示すように上顎左側中切歯の歯冠部を近遠心方向に三等分し、それぞれの長軸方向および近遠心方向の midpoint に歯軸に対し垂直方向に近心側、中央、遠心側の3点に衝撃を负荷した. (以下 M 衝撃, C 衝撃, D 衝撃) また切端中央に歯軸に対し垂直 (以下 LA 衝撃) に衝撃を与えた.

上顎骨および頭蓋骨表面のひずみの測定は、図4、5に示すように、衝撃を受けた上顎切歯歯槽骨部では

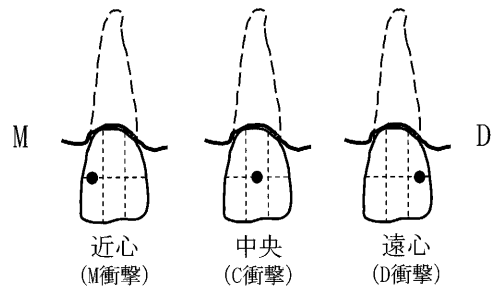


図3 唇面への衝撃における衝撃点

上顎左側中切歯唇側歯槽骨頂、唇側根尖相当部、口蓋側歯槽骨頂および口蓋側根尖相当部の計4カ所に、頭蓋骨では前頭鼻骨縫合部、眼窩底、眼窩下縁、冠状縫合と矢状縫合の交点、蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点、頬骨側頭縫合部および大後頭孔後縁の計7カ所に三軸ひずみゲージ（共和電業社製）を用いて行った（以下の図の写真は模式的に頭蓋模型で示した）. ひずみゲージの接着は通法に従って接着部位を清掃し、strain gage cement（共和電業社製）にて接着後、コーティング材

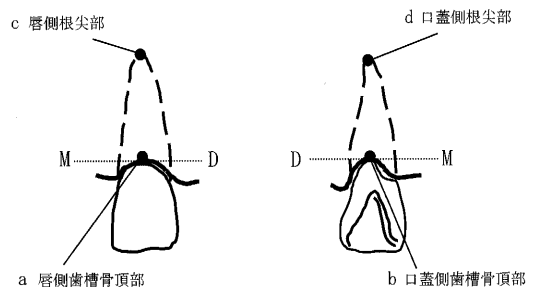


図4 歯槽骨における計測部位

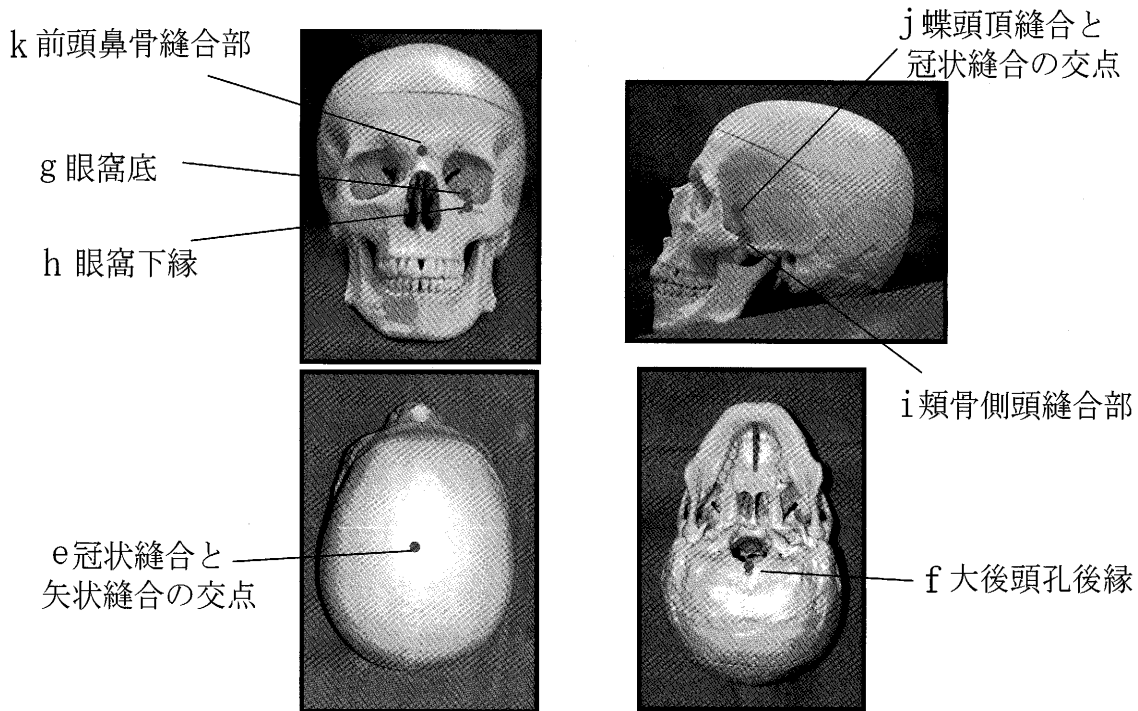


図5 顔面頭蓋骨における計測部位

(AK-22, 共和電業社製)を用いて防湿処理を行った。

ひずみゲージはブリッジボックスを介して動ひずみ測定器 (DPM-700B, 共和電業社製) に接続し, 球の上顎左側中切歯に対する衝撃による上顎骨および頭蓋骨のひずみを測定すると共に, 測定結果を Power Lab/8 SP (ADInstruments 社製) にて解析した。

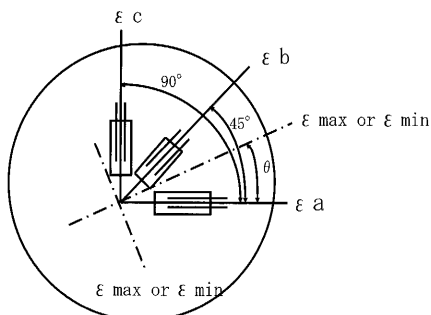
尚使用した三軸ひずみゲージとは, 加えられた力に応じて発生するひずみを電気信号として検出するものであり, 三軸それぞれから測定したひずみ量から図6に示した計算式よりその部位での表面的な最大ひずみの大きさとその方向を計測することができる。今回の実験に使用した三軸ひずみゲージの構造, 計算式およびひずみ曲線の一部を図6, 7に示す。

また表示される計測結果において, 最大主ひずみのプラスの値は引張りのひずみを, マイナスの値は圧縮

のひずみを示す。

一方, 縫合部ではその近心付近骨表面よりも主ひずみが大きくなる傾向がみられたため, さらに各縫合部の近心寄りの骨表面に主ひずみゲージを貼り, C 衝撃でその両部位での主ひずみを計測, 比較した。

なお計測は10回行ってその平均値をひずみとし, 統計量の検定は分散分析およびマン・ホイットニー検定を用いた。距離と衝撃との関係については相関関係で評価した。



$$\text{最大主ひずみ } \epsilon_{\max} = 1/2[\epsilon_a + \epsilon_c - 2\sqrt{((\epsilon_a - \epsilon_c)/2)^2 + (\epsilon_b/2)^2}]$$

$$\text{主ひずみの方向 } \theta = 1/2 \tan^{-1} \left[ \frac{2\epsilon_b}{\epsilon_a - \epsilon_c} \right]$$

図6 主ひずみゲージの構造と計算式

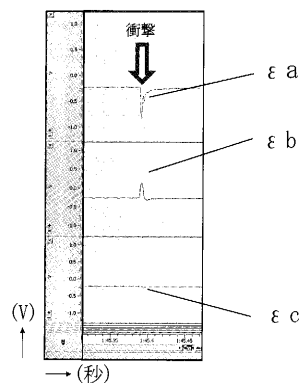


図7 衝撃時の主ひずみ曲線の一部 (口蓋側歯槽骨頂部)

## 結果

各部位における最大主ひずみの大きさを図8に, 最大主ひずみの大きさとその方向を表1に示す。

唇面からの衝撃において, 歯槽骨部では唇側歯槽骨頂部, 唇側根尖部ではM 衝撃が最も主ひずみが大き

く、口蓋側歯槽骨頂部はC衝撃、口蓋側根尖部はD衝撃が有意に大きな主ひずみが生じた。

頭蓋骨ではほとんど差はみられなかった。

LA衝撃ではC衝撃と比較すると歯槽骨では唇側歯槽骨頂部以外はLA衝撃の方が有意に主ひずみが小さく、また頭蓋骨では、正中から離れた部位である蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点、頬骨側頭縫合部において、C衝撃とLA衝撃の間に有意な違いは認められなかった。しかし大後頭孔後縁においてはC衝撃では、ひ

ずみはほとんど0であったのに対しLA衝撃で有意にひずみが出現した。

図9～12に最大主ひずみをベクトルで示す。衝撃点と計測点を骨表面を直線で結び、それを0度として方向を求めた。衝撃方向の中で見ると、M衝撃では唇側根尖部が最も主ひずみが大きく、次いで口蓋側歯槽骨頂部であった。C衝撃では口蓋側歯槽骨頂部が最も大きく、次いで唇側根尖部の順であった。

D衝撃でも、口蓋側歯槽骨頂部が最も大きく、次い

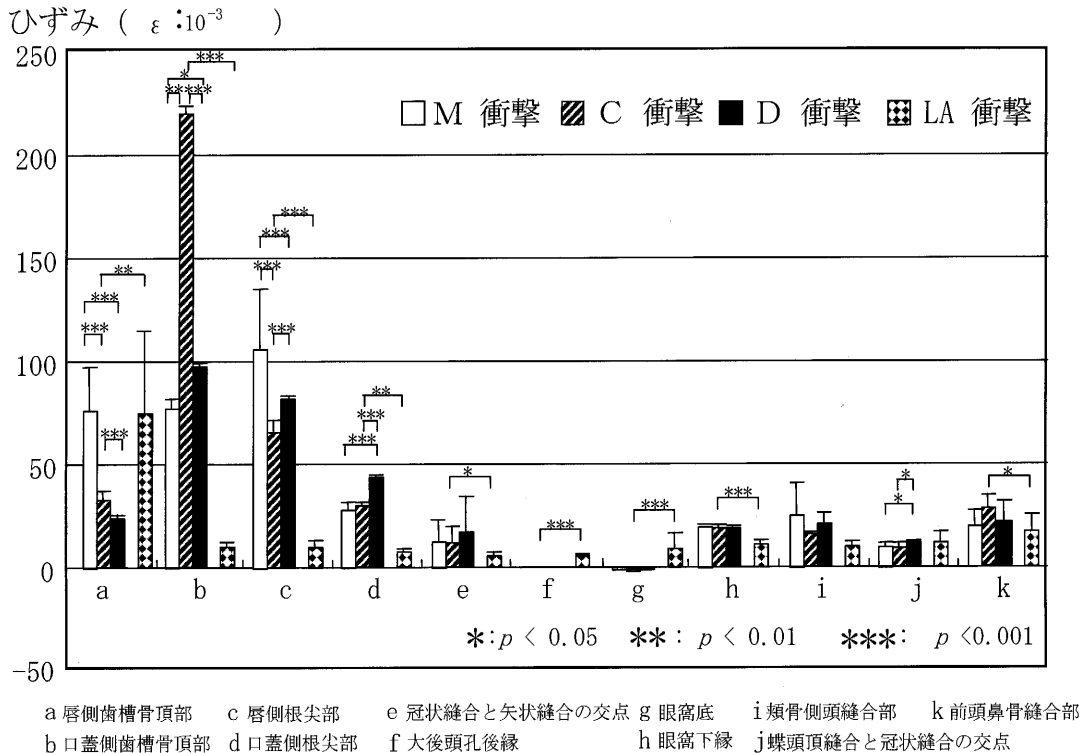


図8 各部位における最大主ひずみ

	唇面からの衝撃						LA衝撃	
	M衝撃		C衝撃		D衝撃		最大主ひずみ	角度
	最大主ひずみ	角度	最大主ひずみ	角度	最大主ひずみ	角度		
a 唇側歯槽骨頂部	73.9±23.6	-33.7±8.4	32.5±4.4	-40.9±2.2	23.4±1.4	-47.5±1.0	71.2±39.9	-64.5±32.6
b 口蓋側歯槽骨頂部	77.4±4.4	-71.4±37.5	219.6±4.3	-81.7±0.1	96.8±2.2	-81.5±0.2	10.0±1.9	-52.8±6.0
c 唇側根尖部	106.4±28.8	-15.7±1.0	65.3±6.2	-10.4±0.3	81.9±1.9	-2.5±0.2	9.8±3.5	70.9±9.2
d 口蓋側根尖部	28.6±3.2	-88.2±0.6	30.2±1.3	-79.8±0.6	43.7±1.2	-79.9±0.2	7.5±1.4	-20.3±35.5
e 冠状縫合と矢状縫合の交点	13.1±10.0	21.4±8.2	12.2±8.2	26.2±15.3	17.3±17.4	36.5±28.6	5.7±1.3	-70.2±3.8
f 大後頭孔後縁	0	0	0	0	0	0	5.6±1.2	-70.1±3.8
g 眼窩底	-1.3±0.9	-68.9±3.2	-1.4±0.6	-69.1±2.2	-1.3±0.6	-67.5±3.1	9.0±7.3	-63.2±4.6
h 眼窩下縁	19.9±0.5	-27.1±9.1	18.9±2.1	-25.7±9.4	19.5±0.9	-26.4±8.9	10.9±2.9	30.7±6.2
i 頬骨側頭縫合	25.9±15.0	60.9±17.3	16.6±0.7	45.8±4.0	20.7±5.4	48.9±19.9	10.0±2.8	72.5±3.2
j 蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点	10.4±8.7	-8.7±4.7	9.4±2.2	-6.9±5.1	11.4±1.0	-10.7±3.2	12.0±4.9	-45.6±44.3
k 前頭鼻骨縫合	20.1±7.5	-21.9±35.8	28.4±6.0	-3.0±1.0	22.3±9.2	-12.9±25.4	17.3±7.8	-32.1±37.0

(  $\epsilon$  max:  $10^{-3}$  ) (角度: 度) (mean ± S.D.) n=10

表1 衝撃方法による各部位の主ひずみと方向

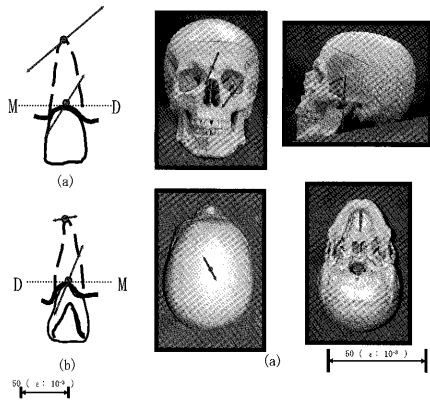


図9 M衝撃における最大主ひずみのベクトル表示  
(a) 唇側面観 (b) 舌側面観

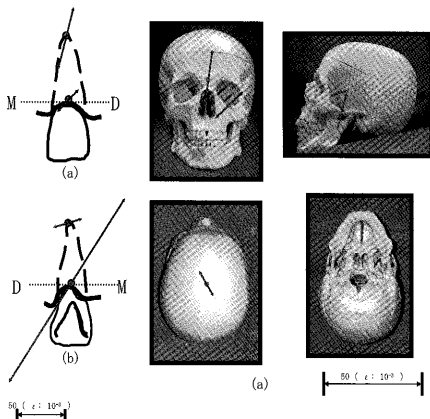


図10 C衝撃における最大主ひずみのベクトル表示  
(a) 唇側面観 (b) 舌側面観

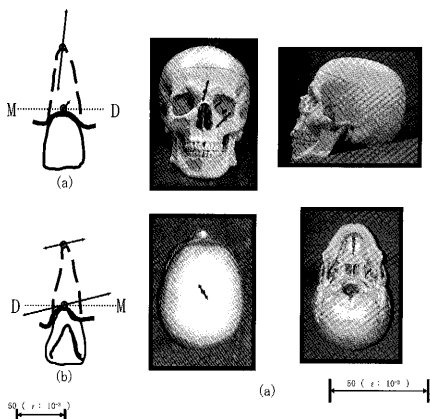


図11 D衝撃における最大主ひずみのベクトル表示  
(a) 唇側面観 (b) 舌側面観

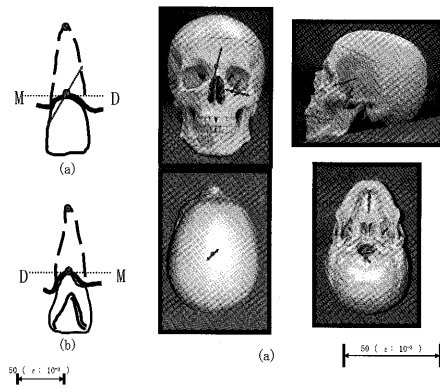


図12 LA衝撃における最大主ひずみのベクトル表示  
(a) 唇側面観 (b) 舌側面観

で唇側根尖部に大きい主ひずみが生じていた。また、LA衝撃では唇側歯槽骨頂部が最も大きく、次いで前頭鼻骨縫合部の順であった。

また、C衝撃における縫合部とその近心付近での主ひずみと比較した結果、縫合部の方が有意に大きな主ひずみが生じていた(図13)。一方縫合部における衝撃点から計測点までの骨表面の距離と主ひずみの大きさとの関係についてみると、図14に示すように、主ひずみと距離との間には  $Y = -5.58X + 30.56$ 、重相関係数  $R^2 = 0.74$  の相関が認められた。つまり、衝撃点からの距離が遠ざかるほど主ひずみが小さくなることが示唆された。

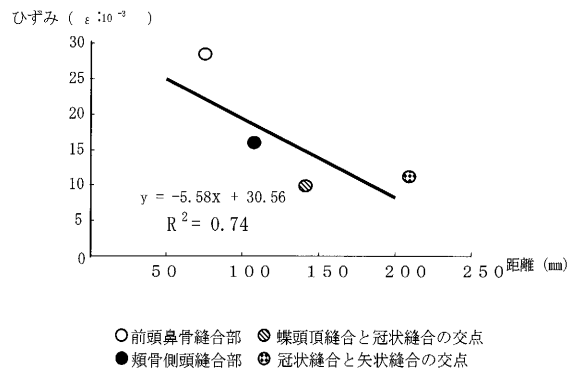


図14 衝撃点からの距離と縫合部における主ひずみとの相関

### 考 察

ヒト乾燥頭蓋を用いて衝撃による影響を調べた研究は他にも数多くあり<sup>6-11)</sup>、それらの研究の多くが上下顎を一体にして矯正用結紮線やゴムバンド、スプリング等で咀嚼筋の解剖学的な走行に沿って下顎骨を牽引している。下顎骨のみを用いた研究もあるが<sup>12,13)</sup>今回は上顎骨への影響のみを検討した。なぜなら上顎と下顎は顎関節を通して結合しており、乾燥頭蓋では顎関

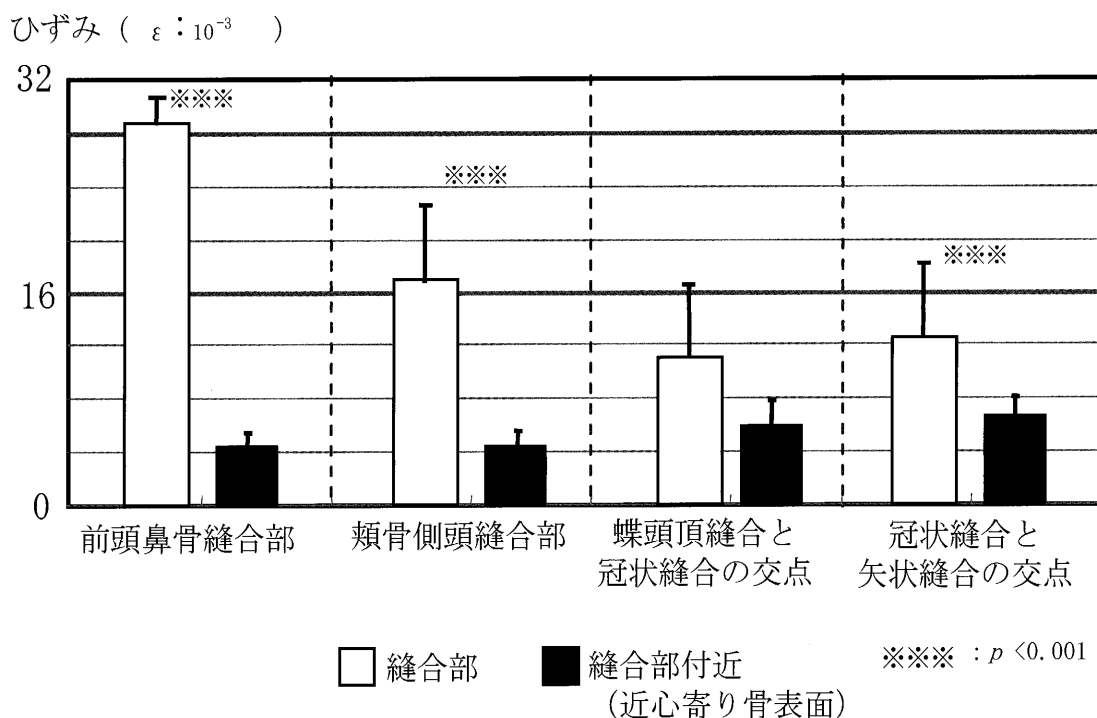


図13 C 衝撃における縫合部とその近心部の比較

節の複雑な状態を再現することが困難であり、下顎の主ひずみについては実際の生体とは全く異なり、このような方法で調べるのは困難であると推測されたからである。

主ひずみの測定部位に関して、顎顔面での骨折の好発部位は6割以上が下顎骨に集中しているが、今回は前述したように下顎骨を使用しないため、前田らの報告<sup>9)</sup>を参考にして、下顎骨以外の好発部位であり衝撃により骨がより大きく変形する部位を選択した<sup>14-18)</sup>。

乾燥頭蓋骨の固定について、尾上ら<sup>7)</sup>のように頭頂部を固定すると、力の伝達経路が変化し拘束条件の影響が大きいという報告があることから、大後頭孔のみで支持させた。実際のヒトでは頭蓋骨と頸椎は硬組織では固定されておらず、衝撃により頭蓋骨は可動する。そのため今回は衝撃を受けた時の可動性を維持するために、弾力のあるスポンジで頭蓋底を固定した。

衝撃とは普段の環境が短時間に变化したことによるもので、衝撃力とは物体に打撃などを加え、きわめて短時間に著しい加速度の変化を生じさせる力のことを言う<sup>19,20)</sup>。今回はプラスチック製のレールを用いて鉄球を上顎左側中切歯の歯冠部に追突させた。岡は<sup>12)</sup>静的および動的荷重により生ずるヒト下顎骨の主ひずみ様相は、荷重部位を一定にすれば極めて僅少の相違点を除いて、同一傾向を示すと報告しているが、静的な荷重はそのかけた時間により主ひずみの大きさが変化していくため、動的荷重を用いた。

また頭蓋骨は乾燥しているため、本研究で用いた衝

撃力よりも大きな力が作用すると歯や顎骨が破折してしまう恐れがあるため、破折不い程度の大きさの衝撃力を今回用いた。また半田<sup>21)</sup>らは、衝撃力は加衝装置の性状によりその大きさ、作用時間が異なり、鉄球はボールバック等と比べると作用時間が短いと報告しており、鉄球を加衝装置として用いた。これにより、できるだけ加衝時間に左右されない衝撃による主ひずみを測定することができたと考えられる。

本来頭蓋骨は特殊な臓器の集合体で、脳、嗅覚器(鼻)、目、耳、および口腔器官によって構成され、これらの諸臓器を保護する骨組みである。このうち頭蓋冠(脳頭蓋)を構成する骨はほぼ均一な厚さを持っているが、頭蓋底および顔面骨ではこれを構成する骨ははるかに不規則な大きさや厚さを有している。また数も種類も多く、その結果骨縫合も豊富である<sup>9,22)</sup>。乾燥頭蓋では脳などの構成組織や、皮膚、口腔内組織などの軟組織がなく、実際のヒトの外傷とは主ひずみの様相は異なると思われる。しかし実際のヒトは使えないため、少しでもヒトに近づけるために今回はその中でも歯を支持し、歯に直接影響を与えるであろう歯根膜を想定して小笠原ら<sup>10)</sup>の研究を参考にして歯科用シリコンを用いて、できるだけ実際の外傷の状況に近づけた。

実験結果については、唇面からの衝撃で唇側歯槽骨頂部、唇側根尖部ではM衝撃が最も主ひずみが大きく、口蓋側歯槽骨頂部はC衝撃、口蓋側根尖部はD衝撃が有意に大きな主ひずみが生じた。これらの結果

には、上顎中切歯の形態、つまり根が遠心に湾曲しているため<sup>23)</sup>と考えられた。つまりM衝撃では歯が近心に回転する力が働くため、根尖部は強く歯槽骨内面唇側に当たり、D衝撃は歯が遠心に回転する力が働き根尖部が強く歯槽骨内面口蓋側に当たり、また、口蓋側歯槽骨頂部においてはC衝撃が直接骨に伝わるため最も大きくなると考えられた。

また、唇面からの衝撃においてはM、C、D衝撃全て、口蓋側歯槽骨頂部、唇側根尖部の主ひずみの大きさが上位にあった。これは、唇面から歯冠部に衝撃を受ける際に前述のように口蓋側歯槽骨頂部に直接衝撃が伝わり、また口蓋側歯槽骨頂部が支点となり歯の歯冠部が口蓋方向に、根尖部が唇側方向という様な矢状方向に回転するためと考えられる。

一方、頭蓋骨においては、M、C、D衝撃間では主ひずみは蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点以外で有意な差はなく、その主ひずみの角度は頭蓋骨の全ての部位で有意な差は認められなかった。よって中切歯唇面への外傷による衝撃において、頭蓋骨ではM、C、D衝撃間で差はないものと思われる。また、LA衝撃においては、切端からの衝撃により、歯がクサビの様に働き、骨の厚みが薄い唇側歯槽骨頂部<sup>24)</sup>が裂ける様な力が加わるため、最も大きな主ひずみが生じると思われた。

C衝撃とLA衝撃を比較すると、歯槽骨では骨の厚みが最も薄い唇側歯槽骨頂部以外はLA衝撃の方が有意に主ひずみが小さく、また頭蓋骨では、正中から離れた部位である蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点と頬骨側頭縫合部の主ひずみはC衝撃、LAの間で差は認められなかった。しかし脳頭蓋底に近い大後頭孔後縁においてはC衝撃では、主ひずみはほとんどゼロであったのに対しLA衝撃で有意に主ひずみが出現したことより、脳に対する影響は、唇面からのC衝撃よりもLA衝撃の方が大きいと考えられた。

また主ひずみが縫合部で縫合部近心付近の骨表面よりも大きくなる傾向がみられたことについては、衝撃により生じた主ひずみは骨においては縫合部を介して衝撃を緩和させて伝達するためと推測される。

主ひずみと距離との間には有意に相関が認められた。このことから、衝撃点からの距離が遠くなるほど、主ひずみが小さくなることが明らかとなった。この点について松尾ら<sup>8)</sup>は加わった衝撃の減衰要素は伝達距離、縫合部、歯根膜や関節円板などによると報告しているが、本研究においても縫合部で衝撃を緩和させ、距離に比例して主ひずみが減少する点で同様の結果が得られた。また、蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点、頬骨側頭縫合部では、主ひずみの方向は縫合に沿うように生じていた。このことから歯への衝撃は縫合部におい

て衝撃を受け止め、緩和させていることが推測される。

## 結 論

上顎切歯への衝撃が上顎骨および頭蓋骨に及ぼす影響を骨主ひずみから検討した結果、以下の結果を得た。

- 1) 歯に対する衝撃の部位、方向によりその伝わり方は異なっていた。つまり唇面からの衝撃では、口蓋側歯槽骨頂部に直接衝撃が伝わり、また、口蓋側歯槽骨頂部が支点となり歯が矢状方向に回転した。またM衝撃、D衝撃では歯は近心、遠心に回転するような主ひずみが生じていた。
- 2) 頭蓋骨においては、M、C、D衝撃間では主ひずみは蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点以外では有意な差はなく、方向は頭蓋骨の全ての部位で有意な差は認められなかった。
- 3) 頭蓋骨への衝撃による主ひずみは、衝撃部位からの距離に比例して減少する傾向が認められた。また縫合部では縫合部近心付近骨表面よりも主ひずみが大きくなった。
- 4) 蝶頭頂縫合と冠状縫合の交点、頬骨側頭縫合部では、全ての衝撃方法において、主ひずみの方向は縫合に沿うように生じていた。

以上のことから歯の唇面近心、中央、遠心および切端からの衝撃の伝わり方は異なることが明らかとなった。

本論文の要旨は、第35回朝日大学歯学研究科発表会（平成16年11月11日、岐阜）において発表した。本論文の一部は、第40回日本小児歯科学会大会（平成14年6月6、7日、千葉）、第13回日本スポーツ歯科医学会学術大会（平成14年12月15日、大分）、第41回日本小児歯科学会大会（平成15年5月29、30日、新潟）、The 3rd International Symposium on Sport Dentistry and Dental Trauma in conjunction with the 14th Annual meeting of Japan Sports Dentistry（平成15年7月26、27日、京都）、第82回 IADR（平成16年3月10～14日、ハワイ）、第42回日本小児歯科学会大会（平成16年5月20、21日、福岡）、第15回スポーツ歯科医学会学術大会（平成16年9月26日、神奈川）、第20回日本歯科医学会総会（平成16年10月29～31日、神奈川）において発表した。

## 引用文献

- 1) 山田純子, 前田芳信. マウスガードに関する装着の義務について(2003年度). スポーツ歯学. 2004; 7: 93-97.
- 2) 柿原秀年, 飯沼光生, 広瀬永康, 杉本勘太, 田村康夫. 空手スポーツ少年団における外傷とマウスガードに関する調査. 小児歯誌. 2002; 40: 475-484.



- 3) 兵庫県学校歯科医会. マウスガード使用によるスポーツ活動影響基礎調査(その1) — 歯科医師のマウスガードに関する意識調査—. 歯界月報. 2003; 626: 8-13.
- 4) 飯沼光生, 柿原秀年, 長谷川信乃, 杉本勸太, 田村康夫. マウスガードの衝撃吸収効果について. スポーツ歯学. 2003; 6: 16-20.
- 5) Nomura T, Gold E, Powers MP, Shingaki S and Katz JL. Micromechanics/structure relationships in human mandible. *Dental Materials*. 2003; 19: 167-173.
- 6) 熊澤裕子. ヒト乾燥頭蓋における咬合力の減衰に関する研究. 神奈川歯学. 1992; 26: 412-419.
- 7) 尾上祐悦, 前田憲昭, 石川俊明, 本田公亮, 吉岡 濟, 堤 定美. 顔面骨の骨折に関する生体力学的研究 — 第1報 静的荷重下の歪分布の計測—. 日口外誌. 1987; 33: 1932-1937.
- 8) 松尾悦郎, 豊田 實, 神永美穂子, 西田尚史, 服部慎太郎, 和田 力, 木村茂之. 頭蓋に関する動的応力解析の基礎的検討 — 第1報 導入の可能性と基礎的検討—. 神奈川歯学. 1992; 27: 247-255.
- 9) 林 幸男, 中村一郎, 宗 邦雄, 難波夏生, 小林喜平, 石立哲也, 兵藤行志. 実験的に負荷した片側噛みしめ時の咀嚼筋張力と乾燥頭蓋骨に生ずる主ひずみ分布. 補綴誌. 2000; 44: 244-253.
- 10) 小笠原嘉一. ヒト乾燥頭蓋における接触点の衝撃減衰能力に関する研究. 神奈川歯学. 1984; 18: 449-469.
- 11) 前田憲昭, 尾上祐悦, 堤 定美, 吉岡 濟. 顎顔面骨の骨折に関する生体力学的研究 — 第2報 マウスガードの開発—. 日口外誌. 1988; 34: 205-213.
- 12) 岡 達. 静的および動的荷重による人下顎骨表面の歪について. 口科誌. 1957; 6: 74-92.
- 13) 佐伯克彦, 嘉藤幹夫, 大東道治. 有限要素法による小児期のスポーツ外傷時の応力解析 — 下顎骨損傷へのマウスガード装着の効果について—. 小児歯誌. 2000; 40: 683-692.
- 14) 杉山武央, 村田 琢, 乾眞登可, 松村佳彦, 中瀬 実, 関田素子, 中川敏幸, 野村城二, 田川俊郎. 三重大学医学部口腔外科における過去9年間の顎顔面骨折に関する臨床統計的検討 — 旧来との比較も含めて—. 日口診誌. 2001; 14: 46-51.
- 15) 竹内 学, 後藤康之, 小関健司, 林 泰仁. 名古屋第二赤十字病院歯科口腔外科における顎顔面骨骨折入院症例の臨床統計的観察, 北海道歯誌. 1997; 18: 147-152.
- 16) 高田英記, 片山幸太郎, 雨宮悟志. 自衛隊仙台病院スポーツ歯科外来4年間の診療実績について. 日口診誌. 2000; 13: 352-356.
- 17) 山口利浩, 白土雄司, 田代英雄. 顔面骨骨折患者の時代的変遷. 日口外誌. 1994; 40: 278-283.
- 18) 進藤真希子, 栗田 浩, 小林啓一, 倉科憲治, 小谷朗. 顎顔面骨折に関する臨床的検討(2) 他部位の併発外傷の頻度, 特に頭部外傷について. 口科誌. 1999; 48: 80-82.
- 19) 佐藤 武. 身体に作用した衝撃はどこに行くか. バイオメカニズム学会誌. 1990; 14: 68-72.
- 20) 森井秀男. マウスプロテクターに関する研究 — 歯に対する衝撃吸収能について—. 日大歯学. 1998; 72: 331-338.
- 21) 半田 潤, 川村慎太郎, 小川 透, 中島一憲, 保科早苗, 深町元秀, 小島一郎, 清川由紀, 澁澤真美, 島田 淳, 武田友孝, 石上恵一. スポーツ外傷の発生要因 — 第2報 スポーツにおける飛来物の相違が顎顔面頭蓋の衝撃力ならびにマウスガードの効果に与える影響—. 歯科学報. 2002; 102: 555.
- 22) 尾崎 公, 戸田善久, 平井五郎. *Sicher 口腔解剖学*. 東京: 医歯薬出版; 1986: 7-102.
- 23) 古橋九平. 歯の進化から探る… ヒトの歯の形態学. 第1版. 東京: 医歯薬出版; 1987: 89.
- 24) 野間弘康. *カラーアトラス 抜歯の臨床*. 第1版第6刷発行. 東京: 医歯薬出版; 1998: 44.