

〔原著〕 松本歯学 3: 113~116, 1977

圧縮応力に対する下顎骨の物理的性状

待田順治, 山岡 稔, 伊吹 薫, 小松正隆
久枝健二, 山本一郎, 梅津 彰

松本歯科大学 口腔外科学第2講座(主任 待田順治 教授)

Physical Characteristics of the Mandible against Compression Stress

JUNJI MACHIDA, MINORU YAMAOKA, KAORU IBUKI, MASATAKA KOMATSU,
KENJI HISAEDA, ICHIRO YAMAMOTO and AKIRA UMEZU

*Department of Oral Surgery II, Matsumoto Dental College
(Chief: Prof. J. Machida)*

Summary

The mandible was compared with the humerus, as the control, in below listed physical characteristics against compression stress. Nine adult dogs were examined. Immediately after the dog had been killed, bone specimens were taken from the mandible of beneath the first molar and from the surgical neck of the humerus, and were prepared to columns of 3 mm in diameter and 3 mm in height for spongy bone and of 2 mm and 5 mm for cortical one. Then the specimens were examined by the Autograph (Shimadzu IS 5000) in the Department of Dental Technology, Matsumoto Dental College.

Analyzing the compression stress-strain diagram, following results, as the means, were obtained; the strength ($\times 10^5\text{g/cm}^2$), proportional limit ($\times 10^5\text{g/cm}^2$) and modulus of elasticity ($\times 10^6\text{g/cm}^2$) were 1.13, 0.70 and 1.66 for the mandible spongy bone, 10.01, 7.74 and 32.96 for the mandible cortical one, 0.54, 0.43 and 1.08 for the humerus spongy bone, and 14.46, 9.59 and 35.66 for the humerus cortical one, respectively.

The differences between the spongy and cortical bones, and that between the mandible and the humerus were discussed.

緒 言

顎骨に加えらるる応力としては、骨折の原因となるような急激で強力な外的なものや、歯牙を介して加わる咬合圧のような比較的緩徐で内的なものなどがあげられる。

下顎骨が応力に対してどのように反応するかを知る目的で、私たちは成犬の下顎骨および対照としての上顎骨の圧縮応力に対する反応について実験したので、その大要を報告する。

実験材料および方法

実験には体重約 10 kg の健康な成犬 9 頭をもちいた。サイアミラールナトリウム 500 mg の筋肉内注射による全身麻酔を施したのちに、心臓内に空気約 30 ml を注入して屠殺し、ただちに下顎骨と上腕骨を摘出した。ついで下顎骨においては、第 1 大臼歯の近遠心根の間の海綿質および同部直下の下顎下縁の緻密質を、上腕骨においては、上腕骨外科頸部の海綿質と緻密質をそれぞれ摘出した。これらの骨片のうち、歯根・血管・神経などを含まない均質な部分から、木村^{1)~3)}の報告に準じて試験片を作製した。すなわち、海綿質では Meisinger 社製 No. 228 バーと歯科用ダイヤモンドディスクをもちいて直径 3 mm 高さ 3 mm の円柱を、緻密質では同じく No. 225 バーと歯科用ダイヤモンドディスクをもちいて直径 2 mm 高さ 5 mm の円柱を Havers 層板に平行な方向に作製した。各標本の断面積・高さは 0.01 mm 目盛のマイクロメーターをもちいて計測した。各犬からの標本数は、下顎骨・上腕骨とも左右側から 1 ケずつであった。

標本は作製後ただちに本学歯科理工学講座にあるオートグラフ（島津 IS 5000）をもちいて、圧縮応力と歪との関係を測定した。

実験条件は下記の通りであった。すなわち、加えられた荷重の最大値は海綿質では 20 kg、緻密質では 50 kg であり、荷重の低下速度は毎分 0.5 mm、記録紙の移動速度は毎分 200 mm であった。

得られた圧縮応力-歪曲線より、1) 圧縮強さ、2) 比例限度を求め、さらにこれらの値より 3) 圧縮弾性率 (E) を下記の式⁷⁾により計算した。

$$E = \frac{W/S}{\Delta l/l}$$

但し、W：応力、S：試料の断面積、
 Δl ：試料の縮み、l：試料の長さ

なお各犬における測定値は、それぞれの標本の左右の平均値とした。

実験結果

図 1 は下顎骨緻密質の試験片について得られた応力-歪曲線の 1 例である。縦軸は荷重の大きさ、横軸は試料の被圧縮長さを示している。

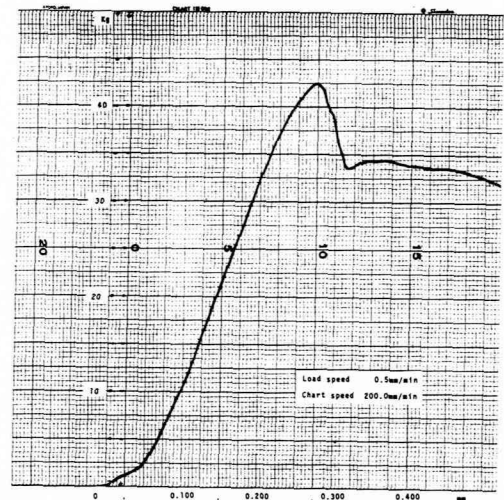


図 1：下顎骨緻密質の応力-歪曲線

表 1. 実験結果の平均値と標準偏差（かっこ内）

	圧縮強さ $\times 10^5 \text{g/cm}^2$	比例限度 $\times 10^5 \text{g/cm}^2$	弾性率 $\times 10^6 \text{g/cm}^2$
下顎骨			
海綿質	1.13 (0.50)	0.70 (0.34)	1.66 (0.63)
緻密質	10.01 (1.45)	7.74 (1.67)	32.96 (20.32)
上腕骨			
海綿質	0.54 (0.24)	0.43 (0.20)	1.08 (0.49)
緻密質	14.46	9.59	35.66

得られた結果の平均値と標準偏差は表 1 のごとくである。これをみると、まず圧縮強さは、下顎骨・上腕骨とも、緻密質は海綿質の約 10 倍であった。圧縮弾性比例限度の値を圧縮強さと比較する

と、下顎骨の海綿質で61.9%、緻密質で77.3%、上腕骨ではそれぞれ79.6%と66.4%であった。また圧縮弾性率は、下顎骨・上腕骨ともに、緻密質の方が海綿質の約20倍大きい値であったが、下顎骨での値と上腕骨のそれとの差はわずかであった。

考 察

骨の強度や弾性率は、応力に対する骨の反応を規制する因子の一種であり、これらに関する知見は口腔外科学にとっても基礎的で重要なものである。しかしこの種研究の報告は多くはない。それらのいくつかをみると、木村は牛¹⁾や馬の上腕骨²⁾・大腿骨³⁾の緻密質についての圧縮・引張・曲げ試験などを、黄^{5) 6)}は兎・犬・猫などの管状のままの大腿骨に関して同様な研究を、それぞれおこなっている。人に関しては、横尾・杉山¹⁰⁾が胎児の大腿骨・上腕骨、横尾¹¹⁾が成人の腰椎の海綿質についてそれぞれ圧縮試験をおこなっている。

このように骨の強度や弾性率に関する研究は四肢骨についてのものが多い。その最大の理由は大きい試験片が得やすいことであろう。なおこれらのうち黄の研究^{5) 6)}は大腿骨を横断したのみで緻密質も海綿質も含んだものである点で、また横尾・杉山¹⁰⁾のは石灰化が不十分な胎児についてのものである点で、本研究の結果と比較することは不可能である。

一方、下顎骨に関しては、山本ら⁹⁾が人の海綿質のみについて報告している。しかし彼らの実験は保存骨についてのものと思われるので、このような研究の材料としては不相当といえる。したがって、犬についての実験とはいえ、新鮮な下顎骨について、他の骨と比較しつつ、おこなった実験は本研究が最初と考えられる。

物体の強度などを表現する方法は、元来金属について研究されてきたものである。金属は微小な結晶の集合である場合が多く、物理的性質も均質・等方と考えられている⁷⁾。

これに反して、骨組織の構造は決して均質とはいえない。骨基質は多量の膠原線維が密集して成り、それらの間に磷酸カルシウム・炭酸カルシウムなどが結晶の形で沈着している。緻密質においては、多数の線維が重積されて層をなしており、層板間の空隙はほとんど認められない。しかし海

綿質においては、比較的少数の線維とそこに沈着しているカルシウム塩から成る骨小柱が無秩序に走り、骨小柱間は空隙として残されている。さらにそれらの間には、石灰化していない結合織・血管・神経・骨髄などの軟組織が含まれている。また本研究においては、被験動物の年齢・種・性別などの因子も関わり、実験結果にバラつきが生じ、標準偏差が大きくなったと思われる。

したがって、骨とくに海綿質の強度などについての実験は、金属材料などに関するものと比較すると正確なものとはいえず、不可避の制約があることを念頭においておく必要がある。それにもかかわらず、本研究のようにこの問題に一定の傾向があることが知られ、興味ある知見が得られたことは注目すべきである。

圧縮強さは、加えられた圧縮応力に物質が破壊されることなく耐えうる最大の応力であり、これが大きいほどその物質は圧縮応力に強く抵抗できることを示している。緻密質の圧縮強さは、本実験の下顎骨では $10.01 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ 、上腕骨では $14.46 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ であったが、木村の牛の四肢骨¹⁾ ($18 \times 10^5 \text{g/cm}^2$) や馬の四肢骨^{2) 3)} ($15 \times 10^5 \text{g/cm}^2$) での値と比較しても大差がなかった。これは緻密質の構造が比較的均一であることを示していると思われる。しかし海綿質での圧縮強さは、山本ら⁹⁾の人下顎骨では $1.40 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ 、本実験での下顎骨は $1.13 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ であるのに対して、上腕骨では $0.54 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ 、さらに横尾の人腰椎では $0.19 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ と、差が認められる。

海綿質間におけるこの差は、動物種の相異よりは、骨の部位によって加わる力の程度が異なることに原因していると考えられる。戸渡⁸⁾のウシ大腿骨についての研究においても、股関節に面している骨頭で $2.26 \times 10^5 \text{g/cm}^2$ 、ついで内側顆 ($1.29 \times 10^5 \text{g/cm}^2$)、外側顆 ($0.85 \times 10^5 \text{g/cm}^2$) であり、筋付着部である大転子で最小 ($0.24 \times 10^5 \text{g/cm}^2$) であった。これは加わる荷重が大きい部位からの順といえよう。

これらを考慮すると、下顎骨の海綿質は歯牙を介して咬合力などの作用を受けているために、反応的に強固な構造となり、圧縮強度が他の骨よりも大となっているものと考えられる。

比例限度は応力と、それによる歪とが比例している範囲の最大限度である。この限度が大きいほ

どその物質は大きい応力に対しても、規則的に歪んでいることを示している。この限度は弾性限度と近似しているので、その物質が弾性を保っている範囲をもおおよそ示している。海綿質における比例限度の絶対値は、下顎骨の方が上腕骨より大であった。その理由は前記同様日常加わる応力の差によると思われるが、この問題については他に報告がなく十分なことは不明である。緻密質の比例限度を圧縮強さに対する割合でみると、本実験での下顎骨、上腕骨、さらに木村²⁾の四肢骨いずれも約70%ではほぼ同じ値であった。

圧縮弾性率は弾性体に加えられた圧縮応力と歪の比をあらわす定数で、これが大きいほど圧縮さすのに必要な力が大であることを示している。海綿質の圧縮弾性率は、本研究の下顎骨 ($1.66 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) では上腕骨 ($1.08 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) や横尾¹¹⁾による人の腰椎 ($0.8 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) についての値よりも大であった。その原因は、海綿質の圧縮強度の項で述べた理由と同様に、生体において加えられている荷重の差によるものと思われる。しかし、緻密質では、本研究の下顎骨 ($32.96 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) と上腕骨 ($35.66 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) の間では差がなかったが、木村の馬の四肢^{2) 3)}での値 ($90, 94 \times 10^6 \text{g/cm}^2$) の約0.4倍であった。しかしこの差の原因は不明である。

以上のように海綿質での値を緻密質のそれらと比較すると、下顎骨・上腕骨とも、圧縮強度・比例限度では約1/10であるのに、弾性率は約20倍であった。海綿質と緻密質におけるこのような差は、前記したように、骨層板の配列が両者間で異っていることによると思われる。この事実は骨の力学的構造を論ずる際に考慮しなければならない重要なことと思われる。しかし下顎骨をはじめ多くの骨では海綿質の体積の方が大であるため、問題は複雑であることもうかがわせる。

また種々な骨における海綿質を比較すると、骨に加えられる応力が骨の種類により異なり、力学

的構造にも差が生ずるものと考えられ、本研究での成績はそれを支持するものと思われる。

結 論

下顎骨の物理的性質を研究する目的で、成犬9頭の下顎骨について圧縮応力-歪曲線を分析した。その結果、緻密質に比して海綿質での値は、圧縮強さ・比例限度で約0.1倍、弾性率では約20倍であった。また下顎骨海綿質での値は、対照としての上腕骨海綿質の値のそれぞれ約2倍であった。

稿を終るにあたり、この研究に多大の御協力を賜った松本歯科大学歯科理工学講座高橋重雄教授および永沢 栄助手に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 木村晴夫 (1952) 牛の四肢長骨の緻密骨質の引張試験. 京府医大誌, 51: 365—372.
- 2) 木村晴夫 (1952) 馬の上腕骨の緻密骨質の圧縮試験及び引張試験. 京府医大誌, 51: 432—434.
- 3) 木村晴夫 (1952) 馬の緻密骨質の強度に関する研究. 京府医大誌, 51: 447—473.
- 4) 森 於菟, 小川鼎三, 大内 弘, 森 富 (1976) 解剖学1. 第10版, 22—25, 金原書店, 東京.
- 5) 黄 令熹 (1953) 管状骨の圧縮試験に関する基礎的研究. 京府医大誌, 52: 730—732.
- 6) 黄 令熹 (1953) 各種小動物の管状骨の圧縮試験. 京府医大誌, 52: 736—744.
- 7) 多田政忠 (1971) 物理学概説. 104—115, 学術図書出版社, 東京.
- 8) 戸渡孝一郎 (1972) 海綿骨質の圧縮試験. 解剖誌, 47: 64.
- 9) 山本美朗, 広瀬洋二, 神谷健治, 田中昭裕, 服部千秋, 石川雅夫, 角田豊作 (1974) ヒトの下顎骨の強度に関する研究 第1報 下顎骨の圧縮強度について. 第19回日本口腔外科学会総会講演.
- 10) 横尾定美, 杉山吉克 (1952) 人の胎児の大腿骨及び上腕骨の圧縮試験. 京府医大誌, 51: 197—200.
- 11) 横尾定美 (1952) 海綿骨質の圧縮試験. 京府医大誌, 51: 273—276.