

咬合平面の不均衡が頭蓋におよぼす力学的影響

Mechanical influence of occlusal plane imbalance on the cranium

但野正朗, 藤本雅子*, 若城健介**, 小林八洲男, 杉村忠敬

Tadano Masaaki, Fujimoto Masako*, Wakaki Kensuke**, Kobayashi Yasuo, Sugimura Tadataka

Abstract: To clarify mechanical changes in the cranium caused by the disharmony of the occlusal plane, strain in the cranium caused by the application of a lateral load to the mandibular first molar, in which a substance inserted from the lateral direction was forced to be bitten by electrically stimulating the bilateral masseters in a monkey under anesthesia, and X-ray images of monkey cranial deformation due to the asymmetry of the occlusal plane caused by the excess raising of the unilateral molar area of the maxilla, were compared, and the influence of the disharmony of the occlusal plane on the deformation of the cranium was evaluated, considering the treatment results of patients with indefinite complaints, and the following results were obtained: When disharmony of the occlusal plane occurred, not only the maxillary bone, but also palatine, zygomatic, sphenoid, and temporal bones and vomer deformed, and its influence extended to the occipital bone. Therefore, the palatine bone and vomer, which normally function smoothly.

Key words : occlusal plane, imbalance, cranium, occlusion, mastication

緒言

咬合平面は下顎中切歯と左右第2大臼歯遠心頰側咬頭とを含む仮想平面を意味したり、咬頭の接触によって生じた点を結ぶことによってできる仮想曲面を意味したりするが、究極的には補綴学的平面（カンペル平面）に平行な面であると定義されている⁽¹⁾。

この補綴学的平面（カンペル平面）は鼻翼下点と左右の外耳道上縁とを結ぶ仮想平面であることから、原則として、正常な上顎の咬合平面では左右差は認められないことになる。すなわち、上顎の咬合平面は床のような基準平面に対して同じ高さ（平行）でなければならない。しかし、臨床的な面からみると左右臼歯部の咬合平面が床に対して平行ではなく、左右どちらかに傾斜していることが多い。この原因は左右の臼歯群の歯冠部の長軸方向の長さの差や、対合歯の欠損などに由来する左右側の歯槽突起の形状によることが多い。

ところで、歯に加わる力は歯の長軸方向に加わるのが望ましい⁽²⁻⁴⁾。したがって、咬合平面に左右差のあるとき、すなわち、咬合平面が不均衡な状況で咬合や咀嚼をおこなうと、歯には予想外の方向か

ら力加わることがあり、これらが歯周組織に為害作用を与え、それが歯の寿命を縮める原因になると同時に、上顎骨はもとより頭蓋全体を変形させ、その結果、咬合や咀嚼に関与する筋群の左右上下前後のバランスが崩れ、ついには生体全体の機能に影響を与えることも考えられる⁽⁵⁾。また、生活習慣や癖、あるいは骨盤や腰椎などに疾患があることにより体軸が傾斜すると、その影響は頸椎や胸椎にまでおよび、それによって、咬合や咀嚼に関与する筋群が影響を受けることから、咀嚼筋群の収縮力の左右差が頭蓋の形状に影響を与え、その結果、咬合平面に左右差が生じることもある。生活習慣化した癖を回避することはきわめて難しいことから、ヒトの咬合平面は常に不均衡な状態に陥る可能性が高い。このような状況下で咬合や咀嚼を続けると、これらは生体に対してきわめて著しい為害作用を与えることになる。

そこで、実験的に咬合平面を不均衡にしたと想定した状況下で歯に荷重を加えたときのサル頭蓋の変形パターン、および、咬合平面の不均衡に由来すると考えられる、いわゆる咬合病の治療結果（ヒト）から、咬合平面の不均衡に由来する咬合病発症のメカニズムおよび治療法について検討した。

材料および方法

1. 動物実験

1) サル頭蓋のひずみ実験

(1) 実験動物の麻酔および固定

成熟期のニホンザル5頭（*Macaca fuscata*, 体重：4.3~10.7kg）をPentobarbital sodium(Nembutal, Abbott Laboratories, North Chicago, IL, USA)で全身麻酔し、サルが咬合するのに支障のないように無拘束で立位に固定した。

原稿受付:2009年2月2日, 受理:2009年11月5日

朝日大学歯学部口腔機能修復学講座口腔生理学分野,

*朝日大学歯学部口腔病態医療学講座口腔外科学分野,

**朝日大学歯学部口腔機能修復学講座歯科保存学分野

Department of Oral Physiology, Division of Oral Functional Science and Rehabilitation

*Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Division of Oral Pathogenesis and Disease Control

**Department of Operative Dentistry, Division of Oral Functional Science and Rehabilitation, School of Dentistry(Gifu), Asahi University

(2) ひずみの記録

(i) ストレインゲージの貼付

左側の上顎骨、頬骨、側頭骨および下顎骨を覆っている軟組織を、ストレインゲージを貼付するのに必要な範囲を電気メスを用いて除去し、上顎骨の犬歯および第一大臼歯の歯槽部ならびに頬骨上顎縫合部付近、頬骨の骨体部および頬骨側頭突起部（頬骨弓前方部）、側頭骨の側頭骨頬骨突起部（頬骨弓後方部）、鱗部および乳様突起部、下顎骨の犬歯および第一大臼歯の歯槽部に、通法にしたがって三軸ストレインゲージ（KFC-2-D17-11L300, 抵抗値： $119.6 \pm 0.4 \Omega$, ゲージ率： $2.02 \pm 1.0\%$, 共和電業）を貼付した。なお、貼付したストレインゲージの表面を防湿剤（Barrier B, BLH Electronics, Canton MA, USA）でコーティングした。

(ii) ひずみの記録法

各測定部位のひずみは、通法にしたがって多用途測定記録装置（RBL-85, 日本光電）のサーマルアレイレコーダー（WS-681G, 日本光電）で記録した。

(iii) 主ひずみの量および方向の計算

三軸ストレインゲージの各軸（左右、 45° および上下（体軸）の各方向）のひずみの量および性質（伸展あるいは圧縮）から、主ひずみの量（ ϵ_1, ϵ_2 ）および角度（ θ ）を計算した。

(3) 咬合の方法

サルは全身麻酔されているので、自発的に咬合することができない。そこで、両側の咬筋の中央部を電気刺激装置（SEN-3201およびSEN-3301, 日本光電）、アイソレーター（SS-201J, 日本光電）および双極性白金針電極（極間距離：10mm）を用いて、両側同時に電気刺激（Frequency：1 Hz, Delay：10 msec, Duration：50msec）して、開閉運動をさせた。なお、そのとき、左側上下第一大臼歯間に感圧紙（AフィルムとCフィルムとを重ねて噛ませる）を挿入して、印記された赤色の濃度を咬合圧測定器（FPD301, 富士写真フィルム）で測定し、咬合力が15 kgになるように電気刺激の強さを調整した。

なお、実験は何も噛ませないで咬合のみをさせたとき、咬合平面に左右差を想定するために、左側上下の第一大臼歯間に厚さ3mm（以後、うすい金属板という）あるいは7mmの金属板（以後、あつい金属板という）を下顎の第一大臼歯の歯軸に対して 60° あるいは 30° の方向から噛ませて、上下の第一大臼歯に側方力を加わえたときについておこなった（Fig.1）。左側で金属板を噛ませたとき、当然、作業側と非作業側とでは咀嚼筋の活動に差が生じる。そこで、上下の歯の間に金属板を介在させないで咬合させたときは左右の咬筋を同じ電圧で、それに対して、左側第一大臼歯で金属板を噛ませるときは非作業側を作業側の1/2の電圧で刺激した⁽⁶⁾。



Fig. 1 Method of load application on the maxillo-mandibular first molars from the lateral side

2) サル頭蓋の変位実験

(1) 実験動物への装置装着

成熟期のニホンザルをPentobarbital sodium (Nembutal, Abbott Laboratories, North Chicago, IL, USA)で全身麻酔し、サルの上顎の咬合平面が右上がりであり左下がりの傾斜がつくように左側上顎臼歯部へ過高な全部鑄造冠を装着した(Fig.2)。



Fig. 2 Prosthetic appliance to raise the right side of the occlusal plane

(2) 実験動物の頭蓋の変形測定

咬合平面に左右差をつけてから2～3週間おきに正面および側方からX線規格写真を撮影し、装置を装着する前との頭蓋の形態変化を観察した。また、X線規格写真撮影前に標準四肢導出法および単極四肢導出法によって心電図を記録した。

サルは全身麻酔されているので、ヒトのX線規格写真を撮影するときのようにイヤーロッドを使用することができない。そこで、サルの頭部は一切固定せず、肩および足だけを固定する装置を作製して撮影した。撮影時は眼窩（目線）は可能な限り床に平行になるように、また、頭軸は可能な限り床に垂直になるように調整した。なお、撮影されたX線規格写真による変位計測は、補綴物を装着する前の形状をトレースし、その用紙を補綴物装着3か月後のX線規格写真像に重ねてトレースし、比較した。そのとき、正面像では両側の頬骨弓最外側部を、また側面像では第二頸椎部を重ねてトレースした⁽⁷⁾。

なお、以上の動物実験は、朝日大学歯学部動物実

験倫理委員会の承認(朝動倫06-013, 06-018)を受けている。また、実験は「臨床研究に関する倫理指針」(厚生労働省)、「ニホンザルの飼育管理及び使用に関する指針」(自然科学研究機構・生理学研究所)を遵守しておこなった。

2. 咬合平面が不均衡な症例(ヒト)

1) 患者の年齢および性別

1923年生まれ的女性。

2) 主訴ならびに症状

朝はきわめて爽快であるが、午後から下顎が右に変位して、右側の上下犬歯で強く噛み締めがおきる。しかし、まれには左側でも同様のことがおきる。常にイライラしているので、家族に迷惑がかからないかを心配している。軟組織の症状として舌がピリピリ、ガラガラし、のどがいがらっぽくなり、その結果、咳が出やすくなる。なお、これらの症状は夕方から夜にかけてよりいっそうひどくなる。

3) パノラマレントゲン写真像

数本の歯を治療しているが欠損歯はない。なお、顎の変位などの異常は認めないが、左右の上顎第三大臼歯が埋伏している。

4) 模型上の咬合平面の所見

右の臼歯部が長く、左の臼歯部が短い、すなわち、咬合平面は左上がりであった(Fig.3)。

5) 治療方法

第二頸椎歯突起中央部と後頭骨下縁とを結ぶ線上に咬合平面ができるだけ位置するように^(7,8)、左側上顎臼歯部にミニスプリントを装着させ、さらに、咬合時、頭蓋の左右へ均等な力が加わるように右側下顎臼歯部にもスプリントを装着させ、適時、調整した。



Fig. 3 Maxillary occlusal plane in a patient with indefinite complaints

なお、本症例の治療については、朝日大学歯学部倫理委員会の承認(17021)を受けている。

実験結果

1. サル頭蓋のひずみ実験の結果

三軸の各方向のひずみの大きさおよび性質から、主ひずみの大きさ(ϵ_1 , ϵ_2)および主ひずみ角(θ)を計算した。

1) 主ひずみの量

咬合せたとき、総体的に最も大きかったのは下顎骨の犬歯歯槽部で、以下、下顎骨の犬歯歯槽部、

頬骨側頭突起部、頬骨骨体部の順であり、上顎骨大臼歯歯槽部、側頭骨乳様突起部および側頭骨頬骨突起部などのひずみは小さかった(Tables 1,2)。

Table 1 Total principal strain($\mu \epsilon$) during occlusion and while biting a thick or thin metal plate from direction of 60° and 30° against the tooth axis of the mandibular first molar

Position		Occlusion	Thin 60°	Thin 30°	Thick 60°	Thick 30°
Maxillary bone	Canine alveolar area	182	452	454	383	333
	First molar alveolar area	103	458	458	1,159	855
	Zygomaxillary area	373	296	172	141	141
Zygomatic bone	Zygomatic body area	495	374	321	358	532
	Zygomaticotemporal process area	555	766	812	795	421
Temporal bone	Temporozygomatic process area	57	46	35	28	28
	Superior area of the mandibular fossa	140	84	66	92	83
	Posterior area of the mandibular fossa	102	225	107	90	117
Mandibular bone	Canine alveolar area	1,700	1,083	1,326	1,238	1,433
	First molar alveolar area	2,022	1,509	1,708	834	1,345

+:Tension -::Compression ($\mu \epsilon$)

Table 2 Quantity of principal strain (ϵ_1 , ϵ_2) and principal angle(θ) at each measuring position caused by occlusion

Position		ϵ_1	ϵ_2	θ
Maxillary bone	Canine alveolar area	139	-23	17
	First molar alveolar area	54	-49	6
	Zygomaxillary area	282	-91	31
Zygomatic bone	Zygomatic body area	265	-230	30
	Zygomaxillary process area	295	-260	-6
Temporal bone	Temporozygomatic process area	21	-36	-30
	Superior area of the mandibular fossa	58	-82	-11
	Posterior area of the mandibular fossa	64	-38	33
Mandibular bone	Canine alveolar area	741	-957	-39
	First molar alveolar area	1017	-1005	-28

+:Tension -::Compression ($\mu \epsilon$)

咬合平面の左右差を想定するためにうすい金属板あるいはあつい金属板を噛ませたときのひずみ量を咬合せたときと比較すると、総体的に上顎骨の犬歯歯槽部および大臼歯歯槽部、頬骨側頭突起部ならびに側頭骨乳様突起部でひずみの増加が認められたが、上顎骨頬骨上顎縫合部、頬骨骨体部、および側頭骨鱗部ではひずみが減少した(Tables 1-6)。さらに、咬筋深部後方部の起始部位である側頭骨頬骨突起部および金属板を噛んだ力が直接加わる下顎骨でもひずみの減少がみられた。

本研究では下顎の第一大臼歯の歯軸に対して60°

(4)

咬合平面の不均衡が頭蓋におよぼす力学的影響

あるいは30° の方向から金属板を噛ませて上下の第一大臼歯に側方力を加わえたが、このとき最も大きな差が認められたのは上顎骨および下顎骨の臼歯歯槽部、すなわち、側方力が直接加わった歯の歯槽部であった。上顎骨の臼歯部では60° あるいは30° の方向から荷重を加えるといずれもあつい金属板を噛ませたときが、また、下顎骨の臼歯部ではいずれの方向から荷重を加えてもうすい金属板を噛ませたときが大きくひずんだ。

Table 3 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) and principal angle(θ) at each measuring position while biting a thin metal plate from the direction of 60° against the tooth axis of the mandibular first molar

Position		ϵ_1	ϵ_2	θ
Maxillary bone	Canine alveolar area	292	-161	3
	First molar alveolar area	298	-559	-17
	Zygomatocmaxillary area	210	-86	38
Zygomatic bone	Zygomatic body area	199	-175	-31
	Zygomatocotemporal process area	288	-478	13
Temporal bone	Temporocozygomatic process area	23	-23	-35
	Superior area of the mandibular fossa	35	-49	-15
	Posterior area of the mandibular fossa	133	-92	-26
Mandibula bone	Canine alveolar area	419	-633	-32
	First molar alveolar area	636	-873	-17

+ : Tension - : Compression ($\mu \epsilon$)

Table 4 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) and principal angle(θ) at each measuring position while biting a thin metal plate from the direction of 30° against the tooth axis of the mandibular first molar

Position		ϵ_1	ϵ_2	θ
Maxillary bone	Canine alveolar area	290	-164	45
	First molar alveolar area	158	-300	-25
	Zygomatocmaxillary area	131	-41	34
Zygomatic bone	Zygomatic body area	78	-243	44
	Zygomatocotemporal process area	222	-390	21
Temporal bone	Temporocozygomatic process area	0	-35	22
	Superior area of the mandibular fossa	26	-43	11
	Posterior area of the mandibular fossa	50	-57	-31
Mandibula bone	Canine alveolar area	444	-882	-26
	First molar alveolar area	703	-1095	-13

+ : Tension - : Compression ($\mu \epsilon$)

Table 5 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) and principal angle(θ) at each measuring position while biting a thick metal plate from the direction of 60° against the tooth axis of the mandibular first molar

Position		ϵ_1	ϵ_2	θ
Maxillary bone	Canine alveolar area	223	-140	6
	First molar alveolar area	354	-805	-11
	Zygomatocmaxillary area	94	-47	27
Zygomatic bone	Zygomatic body area	41	-317	-27
	Zygomatocotemporal process area	90	-705	39
Temporal bone	Temporocozygomatic process area	14	-14	-30
	Superior area of the mandibular fossa	15	-77	-44
	Posterior area of the mandibular fossa	57	-33	-32
Mandibula bone	Canine alveolar area	405	-833	-26
	First molar alveolar area	671	-163	-13

+ : Tension - : Compression ($\mu \epsilon$)

Table 6 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) and principal angle(θ) at each measuring position while biting a thick metal plate from the direction of 30° against the tooth axis of the mandibular first molar

Position		ϵ_1	ϵ_2	θ
Maxillary bone	Canine alveolar area	232	-101	3
	First molar alveolar area	282	-673	-11
	Zygomatocmaxillary area	105	-36	38
Zygomatic bone	Zygomatic body area	-142	-390	-42
	Zygomatocotemporal process area	128	-293	23
Temporal bone	Temporocozygomatic process area	14	-14	-30
	Superior area of the mandibular fossa	13	-70	-42
	Posterior area of the mandibular fossa	56	-61	-35
Mandibula bone	Canine alveolar area	443	-990	-27
	First molar alveolar area	542	-803	-17

+ : Tension - : Compression ($\mu \epsilon$)

2) 主ひずみの方向

(1) 上顎骨臼歯歯槽部

咬合時には前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を60° あるいは30° の方向から噛ませると、咬合時よりもわずかに時計回りに変わった(Fig.4).

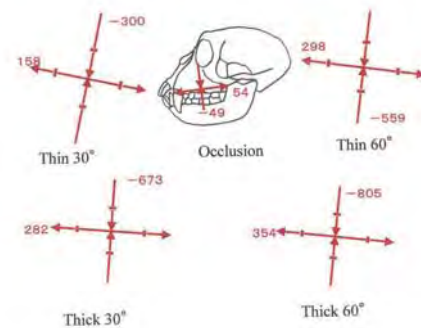


Fig. 4 Magnitude and direction of the principal strain in the maxillary first molar alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(2) 上顎骨犬歯歯槽部

咬合時には前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。あつい金属板を60°あるいは30°の方向から噛ませたとき、あるいはうすい金属板を60°方向から噛ませたときは咬合時よりも時計回りに変わったが、うすい金属板を30°の方向から噛ませたときは、咬合時よりもわずかに反時計回りに変わった(Fig.5)。

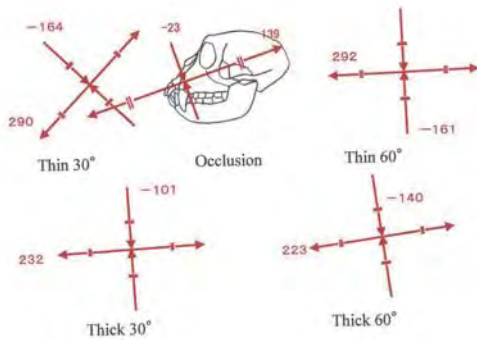


Fig. 5 Magnitude and direction of the principal strain in the maxillary canine alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(3) 上顎骨頬骨上顎縫合部

咬合時は前下方から後上方へ伸展し、前上方から後下方へ圧縮した。うすい金属板を60°方向から、あるいは、あつい金属板を30°方向から噛ませたときは、咬合時とほぼ同じ方向へひずんだが、あつい金属板を60°方向から噛ませたとき、あるいはうすい金属板を30°方向から噛ませたときは前上方から後下方へ伸展し、前下方から後上方へ圧縮した。なお、同部位は本研究でひずみを測定したうちで、方向が多様に変った部位であった(Fig.6)。

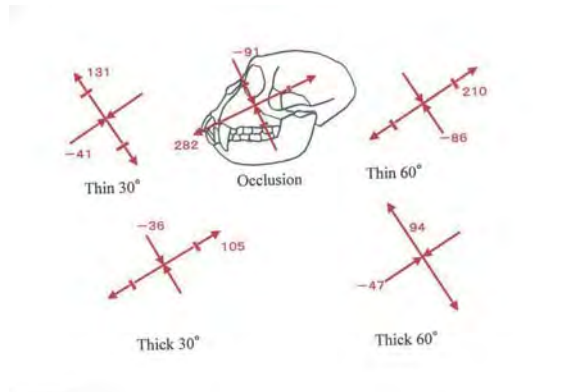


Fig. 6 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomaticomaxillary area of maxillary during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(4) 頬骨骨体部

咬合時は前下方から後上方へ伸展し、前上方から後下方へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を第一大臼歯に対して60°あるいは30°の方向から噛ませても、同じ方向へ変形しなかった。すなわち、あつい金属板を60°方向から噛ませると、体軸方向に伸展し前後方向へ圧縮した。そして、あつい金属板を30°の方向から噛ませると、同部位は完全に圧縮し、圧縮する程度は体軸方向よりも前後方向で強かった。また、うすい金属板を60°方向から噛ませると前後方向に伸展し、体軸方向に圧縮した。そして、うすい金属板を30°の方向から噛ませたときは、うすい金属板を60°方向から噛ませたときよりもわずかに時計回りに変わった。同部位も、本実験で測定した部位では噛む条件を変えると多様に変形する部位であった(Fig.7)。

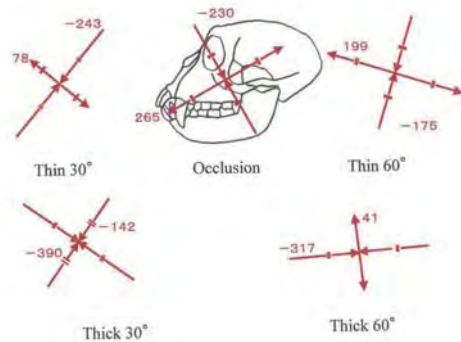


Fig. 7 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomatic body area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(5) 頬骨側頭突起部

咬合時には上顎骨の大白歯部と同じく、前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を60°あるいは30°の方向から噛ませると、上顎骨の臼歯部ではわずかに前上方から下後方へ伸展する方向が変わったが、頬骨側頭突起部では下前方から後上方へ伸展する方向に変わった(Fig.8).

(6) 側頭骨頬骨突起部

咬合時には体軸方向に伸展し、前後方向へ圧縮した。うすい金属板を60°方向から噛ませると咬合時と同方向へひずんだが、あつい金属板を60°方向あるいは30°の方向から噛ませたときは、咬合時とまったく逆に前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。なお、うすい金属板を30°方向から噛ませると、体軸方向へ圧縮のみが認められた(Fig.9).

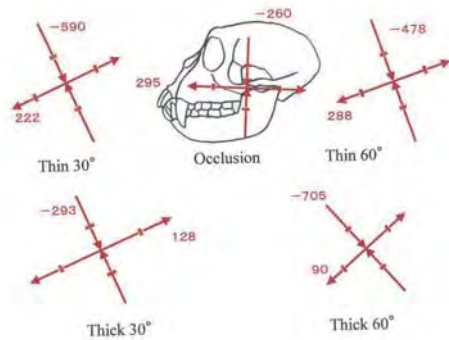


Fig. 8 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomaticotemporal process area of zygomatic during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

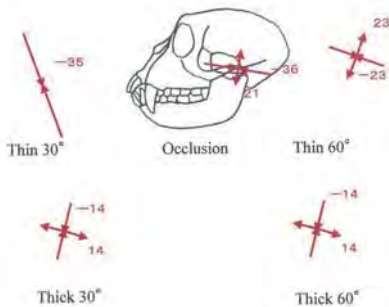


Fig. 9 Magnitude and direction of the principal strain in the temporocozygomatic process area of temporal during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(7) 側頭骨鱗部

咬合時は前上方から下後方へ伸展し、前下方から後上方へ圧縮した。うすい金属板を30°方向から噛ませたときは咬合時と同じように変形したが、それ以外の場合では体軸を対称として時計回りの方向へ変わった(Fig.10).

(8) 側頭骨乳様突起部

咬合時は前下方から後上方へ伸展し、前上方から後下方へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を60°あるいは30°の方向から噛ませると、伸展する方向は前後方向へ変わった(Fig.11).

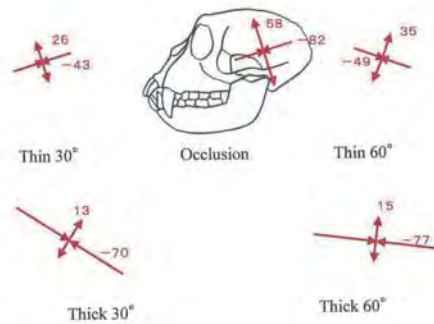


Fig. 10 Magnitude and direction of the principal strain in superior area of the mandibular fossa of the temporal during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

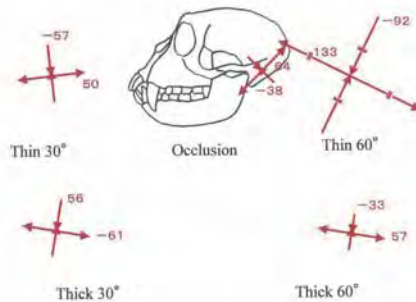


Fig. 11 Magnitude and direction of the principal strain in posterior area of the mandibular fossa of the temporal (mastoid process) during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

(9) 下顎骨大白歯歯槽部

咬合時は前下方から後上方へ伸展し、前上方から後下方へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を60°あるいは30°の方向から噛ませると、主ひずみの方向はやや反時計回りに変わった(Fig.12).

(10) 下顎骨犬歯歯槽部

咬合時には前下方から後上方へ伸展し，前上方から後下方へ圧縮した．うすいあるいはあつい金属板を60°あるいは30°の方向から噛ませても，咬合時とほぼ同じであった (Fig.13) ．

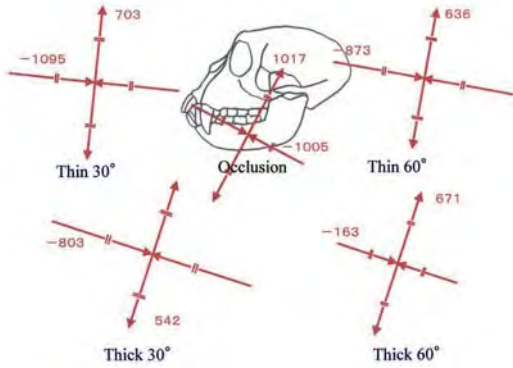


Fig. 12 Magnitude and direction of the principal strain in the mandibular first molar alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

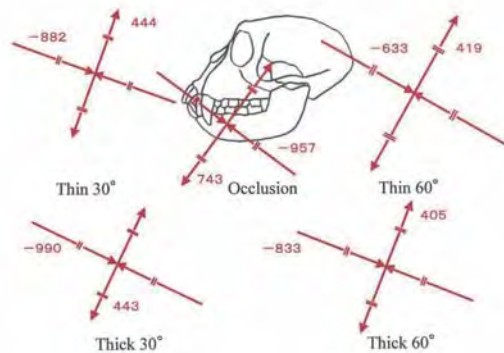


Fig. 13 Magnitude and direction of the principal strain in the mandibular canine alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses from directions of 60° and 30°

2. サル頭蓋の変形実験の結果

1) X線規格写真正面像の比較

左側上顎臼歯部を過高にした実験において，補綴物を装着する前 (Fig.14,Left)，および，過高な補綴物を装着して3か月後のX線規格写真像 (Fig.14,Right)を比較した．この2枚のX線規格写真像を比較するために，補綴物を装着する前のX線規格写真をトレースし，それに補綴物を装着後3か月のX線規格写真の両側の頬骨弓最外側端を可能

な限り重ね合わせてトレースして2枚のX線規格写真像の差を観察した．

その結果，頭頂部はわずかに左側へ，すなわち補綴物を装着した側へ変位した．これに対して，両側の眼窩は補綴物を装着する前よりもわずかに右側，すなわち，非装着側へ変位した (Fig.15) ．

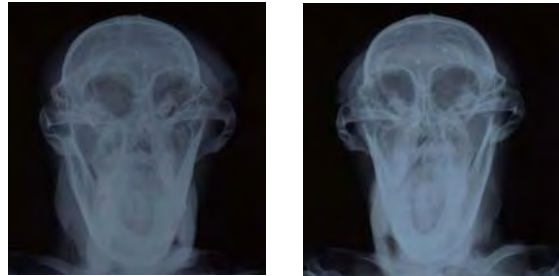


Fig.14 Frontal X-ray images before inserting prosthesis(left), and frontal X-ray images 3 months after inserting a prosthesis with which the left maxillary molar area(right) was excessively raised

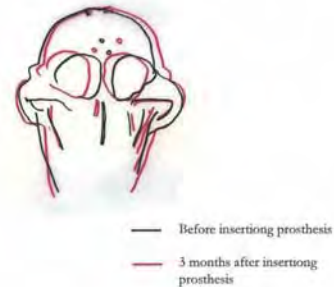


Fig.15 Comparison of the frontal images before inserting prosthesis(black), with frontal images 3 months after inserting a prosthesis with which the left maxillary molar area(red) was excessively raised

2) X線規格写真側面像の比較

正面からのX線規格写真に引き続き，補綴物装着前 (Fig.16,Left) および補綴物装着3か月後の側面像を撮影した (Fig.16,Right) ．なお，補綴物の影響の比較は，正面像を比較したときと同じ方法でおこなった．ただし，重ね合わせるときは，いずれの第二頸椎を重ね合わせてトレースした．

その結果，頭部はわずかに後方へ，また，第5および第6頸椎部がやや後方へ変位していた．なお，側方像は正面像に見られたような著しい特徴は認められなかった (Fig.17) ．



Fig.16 Lateral X-ray images before inserting prosthesis(left), and lateral X-ray images 3 months after inserting a prosthesis with which the left maxillary molar area(right) was excessively raised

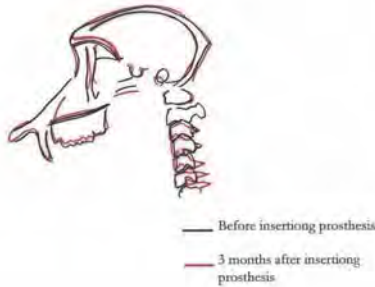


Fig. 17 Comparison of the lateral images before inserting prosthesis(black), with latera images 3 months after inserting a prosthesis with which the left maxillary molar area(red) was excessively raised

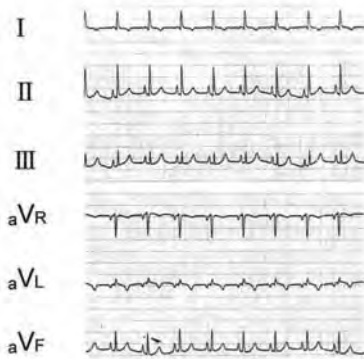


Fig. 18 Waveforms of the electrocardiograms before inserting a prosthesis with an excess height

3) 心電図の所見

過高な補綴物を装着する以前は正常であった(Fig.18)が、過高な補綴物を装着して咬合平面を不均衡にすると明らかな不整脈が認められた(Fig.19).

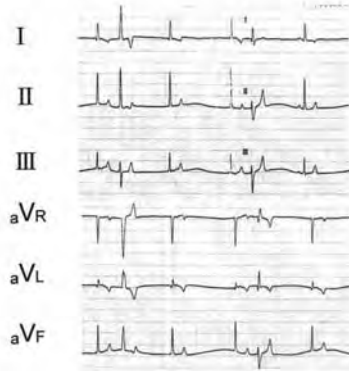


Fig. 19 Waveforms of the electrocardiograms after inserting a prosthesis with an excess height

4) その他の所見

過高な金属冠を装着する前は比較のおとなしかったが、装着後は性格がきわめて激しくなった。

3. ヒトを用いた実験(治療)の結果

低い側である左側上顎臼歯部にスプリントを装着すると、右側の上下顎間に隙が生じるため、右側の下顎臼歯部にもスプリントを装着した。装着直後は強い違和感を訴えたが、2、3か月後には食事の時以外は睡眠中もスプリントを装着するようになった。それにともなって、症状はほぼ改善され、イライラしなくなり生活が楽しめるようになった。しかし、スプリントをはずすと、数時間で初診時の状態に戻るため、スプリントは常にははずせない、と述べている。このような状況から、現在では食事をするとき以外はスプリントを装着している。

考 察

咬耗、ブラキシズム、歯周組織の損傷、咀嚼筋群の疼痛や痙攣、顎関節機能障害、肩こりおよび慢性頭痛などを症状とする症候群は、咬合病(Occlusal disease)と呼ばれるようになり、この咬合病の主たる原因は早期接触であり、その部位に過大な咬合圧が加わると、感覚受容器のなかでとくに下顎の位置の調節に関係するセンサーが中枢を刺激し、現時点で最も効率が良く、かつストレスの少ない位置で咬頭嵌合するように下顎を変位させる⁽¹⁾。下顎の位置の調節に関与するのは顎関節、筋膜および閉口筋群の感覚機能によるが、顎関節部の感覚は自由神経終末、ルフィニ小体、ゴルジ小体、パチニ小体および

クラウゼ終末などによる。このうち、自由神経終末は関節部の疼痛を知覚するセンサーなので、下顎の位置を知覚するセンサーはきわめて複雑な回路によるものと考えられる⁽⁹⁾。咬合病の直接の原因が早期接触であるとするならば、そして、最もストレスの少ない部位で咬合するように下顎の位置を誘導するのであれば、当然、そのセンサーは早期接触をしている歯の歯根膜であり、その感覚が中脳路核（歯根膜閉口筋反射）、三叉神経主知覚核や脊髄路核（緊張性歯根膜閉口筋反射）を経て、閉口筋群が早期接触している点を軸として下顎が回転しながらその時点で最も咬合接触面積の大きな咬合位である咬頭嵌合位へ移動する。したがって、早期接触をしている部位と咬頭嵌合位との距離、回転する大きさおよび左右の閉口筋群の活動量の差などにより、左右の筋群の疲労する割合に差が生じることにより筋痛が発生する。さらにそれだけではなく、左右の筋群の機能時の筋長に差があると、当然、収縮力に差が生じるために左右の同名筋でも起始および停止している骨の位置にも左右差が生じる。起始あるいは停止している骨にはさらに他の筋も付着しているので、その影響は全身におよぶ⁽⁵⁾。また、ヒトは習慣によっても、また多くの他の原因によって骨盤をはじめとする骨格系を変位させることが多い。骨には筋が付着しているので骨の位置が変われば左右上下前後の筋群の長さにも差が生じる。このことにより胸椎や頸椎の位置にも変化がおき、頭部と体幹とを連結している筋群の方向にも左右差が生じるため、頭位も変位する。このことは、当然、下顎の位置を決める筋群の活動にも影響を与え、その結果、姿勢にも影響を与えつつ咬合位も変わる。すなわち、咬合位は口腔内の環境によっても、また、口腔外の、いわば全身的な理由からも影響を受けやすい。

咬合関係が原因で不定愁訴をもつヒトの口腔内を観察すると、早期接触、上顎臼歯部や下顎臼歯部の過長、咬合時の前歯の強い接触、上顎歯列の高さの左右差および上下顎歯列の不正等がみられる。本研究では、これらのうち、臨床的にとくに多く認められる上顎歯列の高さに左右差があるケースについて、不定愁訴発現のメカニズムおよびその治療法について検討した。

咬合病の発症のメカニズムを検討するためには、ヒトから得られたデータを基に分析して明らかにするのが望ましい。しかし、本研究の目的は咬合の不調和により頭蓋を構成する骨が変位することによるゆがみが咬合病発症に如何に関与しているかを解明することであり、そのデータをヒトに求めることは不可能である。そこで、咬合形式がヒトにきわめて近いと思われるサルを用いて実験をおこなった。ヒトを頭蓋とサルの頭蓋とは解剖学的に異なる点もあるが、サルから得られたデータと咬合の不調和に由来すると考えられる症状を主訴とする患者さんを治療した結果とを比較すると、サルから得られたデー

タはヒトの咬合病発症のメカニズムを解明するためには十分有益であると考えられる。

ひずみを測定する実験ではニホンザルを5頭使用したが、麻酔の深度や固定の微妙な差などによってデータにばらつきが生じたため、本論文で使用したデータは5頭のうち最も平均的なデータを示した検体についてまとめた。

歯に咬合力が加わると、頭蓋を構成する骨は加わる力の大きさおよび方向にしたがって変形し、ひいては、頭蓋全体が変形する^(8,10-20)。歯に加わる力は必ずしも歯軸方向とは限らず、あらゆる方向から加わるが、上顎第一大臼歯に力が加わると、上顎骨は主に前後方向へ伸展する。それ以前に、咬合・咀嚼をするためには咬筋、側頭筋および内側翼突筋の閉口筋群が収縮する。咬筋のほとんどは頬骨側頭突起、すなわち頬骨弓の前部に起始している。咬合・咀嚼時、きわめて強い筋力を発揮する咬筋が収縮することにより咬筋の起始部である頬骨側頭突起部は下方へ強く引っ張られる。このことは頬骨骨体部を後下方へ回転様に変位させることになるため、上顎骨と頬骨との上部縫合部に隙が生じる。一方、上顎の第一大臼歯をはじめとする臼歯群に加わった咬合力・咀嚼力によって生じた上顎骨の変形は、まるでその隙を埋めるかのように前後方向へ伸展する(Fig.4)。このとき、加わった力の大きさあるいは力の方向によって、上顎骨の頬骨上顎縫合部はきわめて複雑に変形・変位をしてこれに対応している。このことは、本実験において厚さの異なる、また噛ませる方向を変えたとき、同部位の変形がきわめて多様であったことから理解できる(Fig.6)。また、上顎骨の歯槽部をとって後方へ伝わった力は、上顎結節部へ集中する⁽²¹⁾。一方、歯に加わった力は上顎骨の外側面ばかりではなく内側面を複雑に変形させる。このことについて杉村ら⁽²²⁾は、本実験と同様に麻酔下のサルの咬筋を電気刺激して咬合せたり特定の歯で物質を噛ませたときの上顎骨骨口蓋および口蓋骨のひずみを測定し、上顎骨骨口蓋は物質を噛ませる部位や物質の厚みによって伸展ひずみが生じる方向には作業側と非作業側とはばらつきがあり、これらのひずみは後方へ移動し口蓋骨へ伝わると、ばらばらの方向へ伸展していた作業側と非作業側とのひずみは、口蓋骨でほぼ平行に調整されると述べている。したがって、本実験で歯に荷重を加えた方向や噛ませる物質の厚みを変えて、歯にきわめて複雑な力を加えても、それらによって生じた複雑な変形は、ある程度までは口蓋骨や鋤骨でほぼ平行に調整され後方へ伝達されることが考えられる。では、口蓋骨や鋤骨はなぜ、そのような調整をする必要があるのだろうか。口蓋骨および鋤骨の後方には蝶形骨があり、これは頭蓋底に位置する単一の骨で、外方は側頭骨、上方は頭頂骨、前方は前頭骨、篩骨、頬骨、上顎骨、鋤骨および口蓋骨に、そして後方は後頭骨と接している。このように多くの骨と接している蝶形骨は、

と接している。このように多くの骨と接している蝶形骨は、解剖学的にはまさに頭蓋の中心的位置にあるといっても過言ではない。また、その形態は左右の大翼と頭蓋底の一部を形成する底部とから構成されている。また、蝶形骨はきわめて複雑な形態をしているが、これは形成過程で多くの骨が合成してきたことを考えると、蝶形骨の位置は頭蓋として、また、構造物としてはきわめて複雑な力加わるために力を緩衝しやすいように多くの骨によって構成され、頭蓋として形をなしてきて力学的に比較的安定した時期になって骨化するのであろう。したがって、生後も頭蓋における位置的理由から、同部位には比較的大きな力加わるものと考えられる。すなわち、翼状突起後面の翼突窩とこれに接する上顎骨の一部と翼状突起外側板の下縁に起始する内側翼突筋は、咬合・咀嚼時、咬筋よりも大きく活動することもある⁽⁶⁾。また、咬合・咀嚼時、咬筋の強い収縮により頬骨が後方へ強く変位し、前方から蝶形骨を強く圧迫する。さらに、側頭筋が強く収縮することによって側頭骨が後上方から強く蝶形骨を圧迫する。すなわち、蝶形骨は前方からと後方からとに圧迫され、さらに内側翼突筋の強い収縮によって下方へ変位しやすい^(2,3)。このような位置にある蝶形骨は、多くの骨と接していること、およびその内部に生体にとってきわめて大切な機能を果たしているトルコ鞍や下垂体窩などがあるため、これらが正常に機能するためには蝶形骨の底部は可能な限り床に平行であることが必要であり、蝶形骨が大きく変形・変位することは望ましくない。さらに、蝶形骨の底部が床に平行であること、すなわち、蝶形骨の底部の高さに左右差がないことは、咬合・咀嚼によって生じた力が口蓋骨および鋤骨によって可能な限り正中線に平行に調整された外力がスムーズに蝶形骨に伝わり、さらに蝶後頭軟骨結合部を介して後頭骨の大後頭孔の前縁に伝播することが望ましい(Fig.20)。

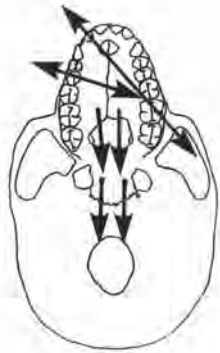


Fig. 20 Role of the palatine and sphenoid bones and vomer with regard to occlusal and masticatory forces

したがって、もし、どのような方向から歯に荷重が加わっても、上顎骨では上顎結節付近に埋伏歯のような咬合力・咀嚼力の伝播過程に障害になるようなものがあれば、伝播方向に乱れが生じ(Fig.21)、口蓋骨や鋤骨はバランスのとれた力を蝶形骨に伝えることができず、したがって、蝶形骨はたとえ蝶後頭軟骨結合部で可能な限り調整してもバランスのとれた力を大後頭孔の前縁に伝えることができなくなり、伝播された力は後頭骨の辺縁に分散する(Fig.22)ため、後頭骨に揺れが生じる。



Fig. 21 Transmission direction of occlusal and masticatory forces on the external surface of the maxillary bone (black : normal, red : abnormal)

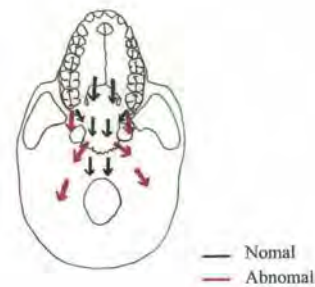


Fig. 22 Transmission direction of occlusal and masticatory forces on the external surface of the cranial bottom (black : normal, red : abnormal)

このことは、後頭骨を変位させ、正常であれば床に平行であるべき後頭骨の項平面に左右差ができることになる。このことは頭位が傾くことの原因にもなり、後頭骨の後縁の左右に付着している筋群の伸展状況に差が生じ、咬合に異常のある人では後頭骨下縁に圧痛を訴える人が多いことと関連していると思われる。さらに、頭位が変位することによって左右の眼窩が床に平行にならないために正確な距離感

覚に異常を来すために、このような人は本能的に左右の眼窩を床に平行になるように頭位をさらに変位させる。このようなことを可能にできるのは、可動性のある頸椎や胸椎があるからで、この姿勢にはかなりの無理があるため、このようときには第5頸椎から第7頸椎、および第1胸椎付近に圧痛を訴えることが多い。すなわち、後頭骨が揺れることから、その直下にあつて、いわば頭蓋の台座として機能している環椎にもその影響が生じ、環椎の変形・変位によって環椎の椎孔に入り込んでいる軸椎の歯突起も複雑に変位することから、同部位近辺の筋、靭帯および膜組織に過大な負担がかかり疲労し、その結果、臨床的にはコリが生じるため、同部位を圧すると痛み（圧痛）が生じる。

ところで、本実験から、歯に側方力を加えると上顎骨の頬骨上顎縫合部、頬骨骨体部、側頭骨の頬骨突起部、鱗部および乳様突起部では、力を加える方向および上顎の歯と下顎の歯との距離によってひずむ方向や大きさに差が認められた。これらの部位はいずれも骨縫合に近い部位で、上顎骨の頬骨上顎縫合部は前述したとおり、咬筋の収縮に伴う頬骨の後下方への変位に伴って生じた隙を埋めるように変形するが、このように変形するのは咬合時、うすい金属板を60°方向からあるいはあつい金属板を30°方向から噛ませたときであり、それ以外のときはむしろ上顎結節の方向へ向かうように変形したことから、変形するパターンは一様ではなく、多岐にわたっていることが分かる(Fig.6)。他の部位も咬合時の条件によって骨は多様に変化することが明らかになった(Figs.7,9-11)が、このことは、うすいあるいはあつい物質を方向を変えて噛むとき、最も機能を発揮する方向に分布する筋線維が主体的に活動するためにそれらの筋群に起始あるいは停止している骨も主体的に機能している筋線維の方向に変形・変位する。そして、容易に変形・変位することができるのはその骨の周辺が動くだけのスペースが必要であることから、骨縫合に近い部位が多様に変形・変位する割合が多いと思われる。そして、多様に変形・変位できるということは、それだけ多様に筋線維も機能するために、筋線維は疲労してくる。したがって、それらの部位に圧を加えると痛むことは、十分に理解できる。ヒトも咬合に異常があるとき、本実験で得られたと同部位に圧痛を訴える場合がきわめて多い(Fig.23)。本研究の主たる目的として、本来、上顎の歯冠頂に板のような平面を当てたとき、その平面は床に平行であるべき咬合平面に傾斜があることを想定して、麻酔下のサルの上顎中央部を電気刺激して上下顎の第一大臼歯に側方力を加えたときの頭蓋の変形を観察した。歯に側方力を加えたときの結果についての考察は以上であるが、咬合平面に異常が認められ、強い不定愁訴をもつ症例における治療は、まず咬合平面の左右差を解消することから始めた。そこで、理想的な咬合平面だと思われる上顎の平面



Fig. 23 Areas in which the bone strain direction readily changes with occlusal conditions

When occlusal abnormalities are present, many people have a complaint of tenderness in these areas.

(8)よりも長い歯は削合し、その平面よりも短い歯にはその平面に達するスプリントを装着させた。そのとき、当然、その平面に合うように下顎にもスプリントを装着させたり長い歯は削合した。スプリントを装着し始めたときはかなり苦痛を訴えたが、2、3か月経過してスプリントを装着していると身体が楽になることが分かってきてからは食事のとき以外はすべての時間、装着するようになった。これは、咬合平面の左右差がほとんど無くなったことから、咬合・咀嚼時に生じた力がほとんど分散せずに上顎骨、口蓋骨、鋤骨、蝶形骨、蝶後頭軟骨部を経て、きわめてスムーズに後頭骨の大後頭孔の前縁に達し、頭位の位置変化を環椎をとおして第二頸椎歯突起へ伝えることができていることによると思われる。また、実験的にサルの上顎左側臼歯部に過大な金属冠を装着して3ヶ月飼育した実験では、頭頂部は過大な冠を装着した側へ変位した。これは、閉口時、過大な金属冠を装着している左側の歯が最初に接触するために左側からの強い力が正常な伝播方向からはずれて後頭骨下縁に達し、同部位の筋、腱および膜などに過大な緊張を与えるために頭頂部は反射的に左側に変位したものと考えられる。また、この実験で最も大きく変形したのは眼窩であった。前述したように、頭位は左側へ傾いたことから、頭部全体も左側へ傾くと思われたが、眼窩の位置は反対の右側へ変位していた。これは左右の眼窩が頭位の変位と同様に左側へ傾くと左右の眼窩に傾斜がついてしまうことになる。正確な距離感覚を得るためには、両眼窩を結ぶ線は床に対して平行であることが必要で

ある。しかし、頭位が左へ傾き、両眼窩を結ぶ線も左下がりになれば両眼窩を結ぶ線は床に平行にならず、正確な視野および距離の感覚を保つことができなくなる。そこで、左右の眼窩は頭位とは関係なく常に床に平行な状態を保つように変位しているのであろう。

ヒトの場合も高い歯がある側へ頭位は傾くが、通常はこのような極端なX線規格写真像は認められない。ヒトの場合は眼窩の変位は眼窩の変位としてではなく、眼窩の変位を頸椎や胸椎の変形・変位でこれを補正しているのではないかと考えられる。これは、姿勢を維持する二足歩行のヒトと四足歩行のサルとの姿勢の違いに起因しているものと考えられる。しかし、咬合平面が不均衡なヒトでは視野の狭窄や色覚の異常を訴えることも多いことから、変形・変位にもきわめて多くのパターンがあると考えられる。いずれにしても、サルの場合は不整脈が認められ、かつ行動が荒々しくなったこと、また、ヒトではイライラして落ち着かず、常に不安を感じ、ざりとてどの分野で診察を受ければ良いのか分からない、いわゆる不定愁訴の症状が見られることから、咬合の不調和は神経系に対して何らかの影響を与えていることは明らかである。

結 論

咬合平面の不調和によって頭蓋に生じる力学的変化を明らかにするために、麻酔下のサルの両側の咬筋を電気刺激して下顎第一大臼歯に側方方向から物質を噛ませて側方荷重を加えたときの頭蓋のひずみ、上顎の片側の臼歯部を過高にして咬合平面を不均衡にしたサルの頭蓋の変化をX線規格写真像により比較し、さらに、不定愁訴を訴える症例の治療結果から、咬合平面の不調和が頭蓋の変形におよぼす影響について検討し、以下の結論を得た。

咬合平面が不調和になると上顎骨はもとより、口蓋骨、鋤骨、頬骨、蝶形骨および側頭骨などが変形・変位し、その影響は後頭骨にまでおよぶ。したがって、咬合・咀嚼時、複雑に変形した上顎骨のひずみを、正常であればそのひずみをスムーズに蝶形骨に伝播する機能を果たしている口蓋骨や鋤骨がその機能を十分に発揮することができず、このことが、さらに蝶形骨をも変形・変位させ、その結果、後頭骨を不安定な状況にし、頭蓋の力学的な変化を正確に頸椎に伝えることができなくなる。これらのことが筋群のバランスを崩し、特定の個所に疲労を集中させ、それが圧痛の原因になると考えられる。そして、この筋群の感覚、頭蓋の骨群の変形・変位および頭位の不安定に由来する頸椎の変形などにより、頸部、肩部および背側部などに痛みやしびれ等を発症させ、ひいては不定愁訴の原因になると思われる。したがって、咬合平面は常に調和のとれた状態にし、咬合・咀嚼によって生じた力が障害無く頭蓋底を伝播し、

スムーズに大後頭孔の前縁に到達することが望ましいことを示唆する結論を得た。

文 献

- (1) 保母須弥也, 高山寿夫; 保母須弥也編. 新編咬合学辞典. 第1版. 東京: クイントエッセンス; 1998;291-294,290.
- (2) Mülemann HR. Periodontometry a method for measuring tooth mobility. *Oral Surg.*1951;4:1220-1233.
- (3) Parfitt GJ. Measurement of the physiological mobility of individual teeth in an axial direction. *J Dent Res.*1960;May-June:608-618.
- (4) Parfitt GJ. The dynamics of a tooth in function. *J Periodont.*1961;32:102-107.
- (5) 杉村忠敬, 山田好秋; 杉村忠敬編. 口腔生理学概説—生体の仕組みと働き—. 第1版. 東京: 学建書院; 2007;1-2,153-154.
- (6) Sugimura T, Inada J, Yoshida Y and Weij WA. Coordination patterns in rabbit masticatory muscles. *Jpn J Oral Biol.*1997;39:263-267.
- (7) 楊 坤憲, 松田宗久, 安達 潤, 山仲 徹, 小林八洲男, 杉村忠敬. 片側第一大臼歯で咬合物質を噛ませたときのサル頸椎の力学的応答. *顎顔面バイオメカ.* 2003;9:5-22.
- (8) 杉村忠敬, 藤本雅子, 若城健介. 歯に加わる側方力が頭蓋へ及ぼす力学的影響. *顎顔面バイオメカ.* 2006;12:59-61.
- (9) 中村嘉男, 森本俊文, 中村嘉男編. 基礎歯科生理学. 第4版. 東京: 医歯薬出版; 2006;330-331.
- (10) 天野仁一郎. 咬合, 咀嚼運動および嚥下運動時の顎骨のひずみについて. *歯基礎誌.* 1970;12:52-87.
- (11) 石田 晃. 咬合力・咀嚼力および矯正力に対する頭蓋の力学的反応機構に関する実験的研究. *歯基礎誌.* 1972;14:323-341.
- (12) 丸川邦男. 咬合時のサル生体頭蓋の力学的反応について. *歯科医学.* 1985;48,809-825.
- (13) Hylander WL. In-vivo bone strain as an indicator of masticatory bite force in *Macaca fascicularis*. *Arch Oral Biol.* 1986;31:149-157.
- (14) Hylander WL and Crompton AW. Jaw movements and patterns of mandibular bone strain during mastication in the monkey *Macaca fascicularis*. *Arch Oral Biol.* 1986;31:841-848.
- (15) Hylander WL, Johnson KR and Crompton AW. Loading patterns and jaw movements during mastication in *Macaca fascicularis*: A bone-strain, electromyographic, and cineradiographic analysis. *Am J. Phys Anthropol.*1987;72:287-314.
- (16) Hylander WL and Johnson KR. The relationship between masseter force and masseter electromyogram during mastication in monkey *Macaca fascicularis*. *Arch Oral Biol.*1989;34:713-722.

-
- (17) Iwasaki K. Dynamic responses in adult and infant monkey craniums during occlusion and mastication. *J Osaka Dent Univ.* 1989;23:77-97.
- (18) 橋本和典, 杉村忠敬. サル頭蓋の咬合力緩衝機構における咬合物質の大きさの影響 について. *歯科医学.* 1991;54:301-314.
- (19) Hylander WL, Johnson KR and Crompton AW. Muscle force recruitment and biomechanical modeling: An analysis of masseter muscle function during mastication in *Macaca fascicularis*. *Am J. Phys Anthropol.* 1992;88:365-387.
- (20) Bouvier M and Hylander WL. The mechanical or metabolic function of secondary osteonal bone in the monkey *Macaca fascicularis*. *Arch Oral Biol.* 1996;41:941-950.
- (21) 杉村忠敬, 藤本雅子, 若城健介. 咬合時のサル上顎骨, 頬骨および側頭骨の力学的 応答. *顎顔面バイオメカ.* 2005;11:51-53.
- (22) 杉村忠敬, 稲田條治. 咬合時のサル骨口蓋の力学的 特性. *補綴誌.* 1997;41:385-392.
- (23) 杉村忠敬, 稲田條治, 松本俊郎. 咬合物質の厚さに対する蝶形骨体翼の力学 的 反応. *顎顔面バイオメカ.* 1995;1:22-29.