

片側犬歯で噛んだときの頭蓋および頸椎の力学的応答

Dynamic responses to cranium and cervical vertebrae while biting with canine

中橋章泰, 藤本雅子*, 若城健介**, 小林八洲男, 杉村忠敬

Nakahashi Akihiro, Fujimoto Masako, Wakaki Kensuke, Kobayashi Yasuo, Sugimura Tadataka

Abstract: The mastication of hard substances is usually performed using the molars because the molar proper occlusal area, which increases the masticatory efficiency, is wide, and the threshold value regarding pain is higher in the molar periodontal ligaments than those of the anterior teeth. However, when the molar group is absent, chewing using the anterior teeth becomes necessary, and the continuation of this condition for a long time is apt to lead to facial and cranial deformation and become a cause of indefinite complaints. Therefore, to clarify this mechanism, strain in 10 sites: the maxillary molar and canine alveolar areas, zygomaticomaxillary suture area, body and temporal process area of the zygomatic bone, squamous part of the temporal bone, mastoid process area, zygomatic process area, and mandibular molar and canine alveolar area, and in a further sites: the bilateral laminae of the vertebral area of each cervical vertebra, was measured during occlusion forced by electrically stimulating the central area of the bilateral masseters in a monkey under anesthesia, and the following results were obtained. 1) Marked stress was concentrated in the zygomaticomaxillary suture area. 2) Since the sphenoid bone was markedly displaced in the antero-inferior direction, the entire cranium developed a rotation-like deformation in the postero-inferior direction. 3) Long these cranial deformation, since the atlas was also deformed in the antero-inferior direction, the second cervical vertebra could not function as the mechanical fulcrum of all cervical vertebrae, and so all cervical vertebrae were under a markedly imbalanced mechanical condition. 4) Therefore, it was considered that this condition causes the imbalance in cervical vertebral alignment, and leads to the development of sensory nerve disorders, becoming a cause of various indefinite complaints.

Key words : cranium, cervical vertebrae, biting, occlusion

緒言

咀嚼は咀嚼効率を高める固有咬合面積が広いこと、および、歯根膜の痛みに対する閾値が前歯よりも大きいために固い物質を咀嚼しやすいなどの理由から、通常は臼歯部でおこなわれる⁽¹⁾。しかし、臼歯群の喪失などにより、たとえ補綴物を装着していても、噛んでいる、あるいは噛みごたえを感じやすいなどの理由から、残存している前歯部で咀嚼することが多い。このような状態が長期間続くと、閉口筋群は本来の走行とは異なる方向へ機能する期間が長くなることから、頭頸部の筋群のバランスが徐々に崩れ、その結果、顔面骨や頭蓋骨の位置に変位が生じて、

顎関節部をはじめとする多くの部位に疼痛をともなう筋痙縮をおこすようになる⁽²⁾。

咀嚼の力学は臼歯部咀嚼でも前歯部咀嚼でも、通常、2類および3類のテコの協調作用によっておこなわれる⁽³⁾。前歯部で最も咬合力の大きい犬歯と咬合力および固有咬合面積が最も大きい、すなわち、咀嚼能率が最も大きい第一大臼歯とは約10mm程度離れているが、前歯部咀嚼が臼歯部咀嚼よりも為害作用が大きいのであれば、これらの二つの歯の位置の相違（へだたり）が頭蓋および頸椎におよぼす力学的影響には明らかな差が認められるはずである。

咀嚼は咀嚼効率の高い臼歯部でおこなうのは当然であり、前歯部咀嚼は生体にとって好ましくないことは一般的には認識されているが、その根拠を力学的に明確に証明した研究はほとんどおこなわれていない。そこで、これを解明するためにサルを用いて実験した。

材料および方法

1. 動物実験

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 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

原稿受付日:2009年月日, 受理日:2010年月日

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

に無拘束で立位に固定した。なお、本実験は、朝日大学歯学部動物実験倫理委員会の承認（朝動倫06-017）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) ひずみの記録

(1) 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、ならびに各頸椎の両側の横突起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、ならびに各頸椎の両側の横突起背側面（以後、椎弓板という）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±0.4 Ω, ゲージ率：2.02±1.0%, 共和電業）を貼付した（Fig. 1）。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。

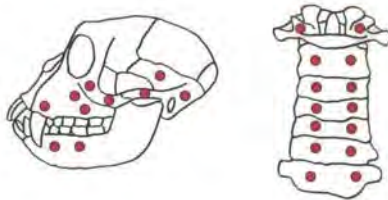


Fig. 1 Location of placement of the strain gauges

(2) 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。

(3) 主ひずみの量および方向の計算法

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 ）および方向を計算した。

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：50 msec）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、左側犬歯で厚さ3mmの金属板（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）を噛ませて歯軸方向の力が加わるようにしたときについておこなった（Fig. 2）。左側で金属板を噛ませたとき、作業側と非作業側とは咀嚼筋の活動に差が生じる。そこで、上下の犬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、左側犬歯で金属板を噛ませたときは非作業側を作業側の1/2の電圧で刺激した⁽⁴⁾。



Fig. 2 Location and direction of metal plate while biting

実験結果

各測定部位における3方向のひずみの性質および量から、主ひずみの量および方向を計算した（Table 1, +：伸展, -：圧縮）。

Table 1 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) at each measuring position caused during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

		Occlusion		Thin		Thick	
		ϵ_1	ϵ_2	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_1	ϵ_2
maxillary bone	canine alveolar area	142	-17	118	-28	56	-11
	first molar alveolar area	56	-51	61	19	46	-11
	zygomaticomaxillary area	284	-89	161	-76	241	-96
zygomatic bone	zygomatic body area	7	-107	-20	-135	39	-89
	zygomaticotemporal process area	309	-269	373	-398	331	-316
temporal bone	temporocycomatic process area	14	-29	7	-7	7	-7
	superior area of the mandibular fossa	59	-84	186	4	29	-44
	posterior area of the mandibular fossa	64	-34	97	-62	115	-100
mandibular bone	canine alveolar area	776	-1,801	759	-424	571	-406
	first molar alveolar area	1,065	-1,050	874	-649	717	-592

1. 主ひずみ量

1) 頭蓋のひずみ量

各部位における2つの主ひずみの成分の和（ $\epsilon_1 + \epsilon_2$ ）

、以後、総主ひずみ量という)について比較した(Table2).

Table 2 Total principal strain($\mu \epsilon$) at each measuring position caused during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

Position		Occlusion	Thin	Thick
maxillary bone	canine alveolar area	159	146	67
	first molar alveolar area	107	80	57
	zygomaticomaxillary area	373	237	337
zygomatic bone	zygomatic body area	114	155	128
	zygomaticotemporal process area	578	771	647
temporal bone	temporozygomatic process area	43	14	14
	superior area of the mandibular fossa	143	96	73
	posterior area of the mandibular fossa	98	159	215
mandibula bone	canine alveolar area	1,777	1,183	977
	first molar alveolar area	2,115	1,523	1,509

(1) 上顎骨犬歯歯槽部

咬合時は圧縮よりも伸展する割合がきわめて大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると92%に、あつい金属板を噛ませると42%に減少した。減少する割合は、伸展する成分がきわめて大きかった。

(2) 上顎骨第一大臼歯歯槽部

咬合時は圧縮よりも伸展の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると75%に、あつい金属板を噛ませると53%に減少した。減少する割合は、圧縮する成分が大きかった。

(3) 上顎骨頬骨上顎縫合部付近

咬合時は圧縮よりも伸展の割合が大きかった。同部位は測定した上顎骨のなかで、総主ひずみ量が他の部位よりも2.4~3.5倍大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると64%に、あつい金属板を噛ませると90%に減少した。増減する割合は、伸展する成分が大きかった。

(4) 頬骨骨体部

咬合時は圧縮の割合が著しく大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると136%に、あつい金属板を噛ませると112%に増加した。この部位は、圧縮成分が相対的に大きかった。

(5) 頬骨側頭突起部(頬骨弓前方部)

咬合時は伸展の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると136%に、あつい金属板を噛ませると112%に増加した。増加する割合は、圧縮成分が相対的に大きかった。

(6) 側頭骨頬骨突起部(頬骨弓後方部)

咬合時は圧縮の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすいあるいはあつい金属板を噛ませると33%に減少した。減少する割合は、圧縮成分が相対的に大きかった。なお、同部位は測定した頭蓋のなかで、ひずみ量が最も小さかった。

(7) 側頭骨鱗部

咬合時は圧縮の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると63%に、あつい金属板を噛ませると51%に減少した。変動する割合は、伸展および圧縮の両成分とも著しかった。

(8) 側頭骨乳様突起部

咬合時は伸展の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると162%に、あつい金属板を噛ませると219%に増加した。増加する割合は、伸展および圧縮の両成分とも大きかった。

(9) 下顎骨犬歯歯槽部

咬合時は圧縮の割合が大きかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると67%に、あつい金属板を噛ませると55%に減少した。減少する割合は圧縮の成分が大きく、金属板を噛ませると圧縮成分は咬合時の約半分の大きさであった。

(10) 下顎骨第一大臼歯歯槽部

咬合時は伸展と圧縮との割合がほぼ等しかった。咬合時に比べて、うすい金属板を噛ませると72%に、あつい金属板を噛ませると62%に減少した。減少する割合は圧縮の成分のほうがわずかに大きかった。

以上のひずみ量の結果から、片側の犬歯で物質を噛ませると咬合時に比べて頬骨は全体的に増加するのに対して、側頭骨においては後方部は著しく増大するが、前方部は著しく減少することが、また、上顎骨および下顎骨は全体的に減少することが分かった。

2) 頸椎のひずみ量

咬合時、うすいあるいはあつい金属板を噛ませたときの第一頸椎から第七頸椎の左右椎弓板の主ひずみ量を計算し(Table3)、さらに、それらより総主ひずみ量を求めた(Table4)。

Table 3 Quantity of principal strain (ϵ_1, ϵ_2) at each measuring position caused during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

		Occlusion		Thin		Thick	
		Left	Right	Left	Right	Left	Right
I	ϵ_1	500	87	911	47	96	346
	ϵ_2	-500	-890	-341	-606	-1,493	-962
II	ϵ_1	-13	89	19	137	19	158
	ϵ_2	-38	-20	-62	0	-62	-38
III	ϵ_1	73	237	38	223	-17	153
	ϵ_2	-176	-100	-38	-52	-51	-51
IV	ϵ_1	38	18	28	81	28	107
	ϵ_2	-123	-69	-123	-21	-148	-22
V	ϵ_1	-65	117	-49	73	-32	45
	ϵ_2	-294	-82	-105	-14	-88	-28
VI	ϵ_1	-57	-33	120	98	71	52
	ϵ_2	-131	-86	-205	-132	-157	-154
VII	ϵ_1	162	36	17	4	34	8
	ϵ_2	9	-87	-51	-72	-68	-30

Table 4 Total principal strain($\mu \epsilon$) at each measuring position caused during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

	Occlusion		Thin		Thick	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right
I	1,000	977	1,252	653	1,589	1,308
II	51	109	81	137	81	196
III	249	337	76	275	68	204
IV	161	87	151	102	176	129
V	359	199	154	87	120	73
VI	188	119	325	230	228	206
VII	171	123	68	76	102	38

(1) 第一頸椎

咬合時は左側および右側の量には、ほとんど差は認められなかった。第一頸椎のひずみは両側ともきわめて大きく、両側のひずみの和は他の頸椎よりも著しく大きかった。うすい金属板を噛ませると両側のひずみ量の和はわずかに減少したが、あつい金属板を噛ませると咬合時よりも著しく大きくひずんだ。

(2) 第二頸椎

咬合時は左側よりも右側のほうが大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎に比べてきわめて小さく、第一頸椎の8%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると両側のひずみ量の和は咬合時の136%、173%と増加したが、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の約10%程度であった。

(3) 第三頸椎

咬合時は左側よりも右側のほうが大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎の30%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると、両側のひずみ量の和は咬合時の60%、46%に減少し、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の9%程度であった。

(4) 第四頸椎

咬合時は左側のほうが右側よりも大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎の13%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると、両側のひずみ量の和は咬合時の102%、123%に増加したが、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の11%程度であった。

(5) 第五頸椎

咬合時は左側のほうが右側よりも大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎の28%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると、両側のひずみ量の和は咬合時の43%、35%に減少し、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の7%程度であった。

(6) 第六頸椎

咬合時は左側のほうが右側よりも大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎の16%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると、両側のひずみ量の和は咬合時の181%、141%に増加したが、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の15%程度であった。

(7) 第七頸椎

咬合時は左側のほうが右側よりも大きかった。左右の合計のひずみ量は、第一頸椎の15%程度であった。うすい金属板やあつい金属板を噛ませると、両側のひずみ量の和は咬合時の49%、48%に減少し、あつい金属板を噛ませたときのひずみ量は第一頸椎の5%程度であった。

以上のことから、左側の犬歯で物質を噛ませると、第一頸椎は他の頸椎よりも著しく大きくひずみ、ひずみの性質は圧縮成分が伸展成分よりもきわめて大きかった。第二および第三頸椎では作業側よりも非作業側のほうが大きくひずむが、第四頸椎以下では逆に非作業側よりも作業側のほうが大きくひずんだ。左右の椎弓板のひずみ量は、第一頸椎を除いた第二頸椎から第七頸椎までは著しい差が認められなかった。

2. ひずみの方向

1) 頭蓋のひずみの方向

(1) 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。うすい金属板を噛ませたときも咬合時と同じ方向へ、あつい金属板を噛ませたときは、咬合時よりも反時計回りの方向へ伸展した(Fig.3).

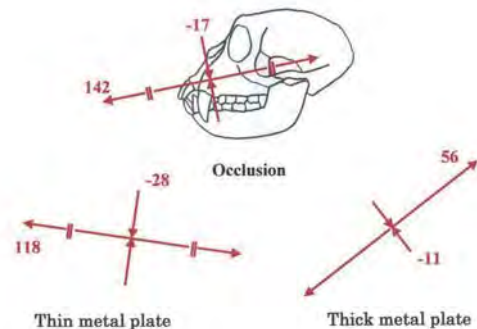


Fig. 3 Magnitude and direction of the principal strain on the maxillary canine alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(2) 上顎骨第一大臼歯歯槽部

上顎骨犬歯歯槽部とほぼ同じ方向へひずんだが、あ

つい金属板を噛ませたときの方向は犬歯歯槽部よりもより前後方向であった(Fig.4).

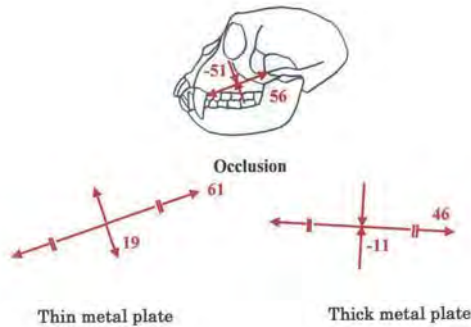


Fig. 4 Magnitude and direction of the principal strain in the maxillary first molar alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(3) 上顎骨頬骨上顎縫合部付近
咬合時には体軸方向へ伸展し、前後方向へ圧縮した。うすいあるいはあつい金属板を噛ませたときも咬合時と同じ方向へひずんだが、うすい金属板のときは咬合時よりも反時計回りに、そしてあつい金属板のときは時計回りに変わった(Fig.5).

(4) 頬骨骨体部
咬合させたときは前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。うすい金属板を咬ませたとき、同部位は全体的に圧縮し、あつい金属板を噛ませたときは咬合時と同方向へひずんだ(Fig.6).

(5) 頬骨側頭突起部(頬骨弓前方部)
咬合させたときは前後方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。うすい金属板を噛ませたときは咬合時よりも反時計回りに変わったが、あつい金属板を噛ませたときは咬合時と同じ方向へひずんだ(Fig.7).

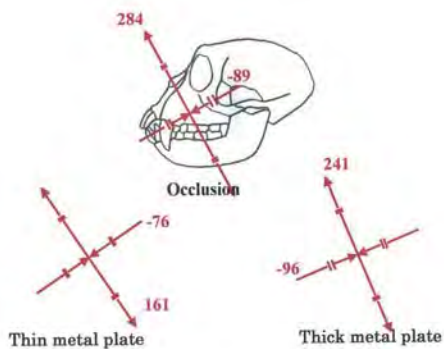


Fig. 5 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomaticomaxillary area of maxillary during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

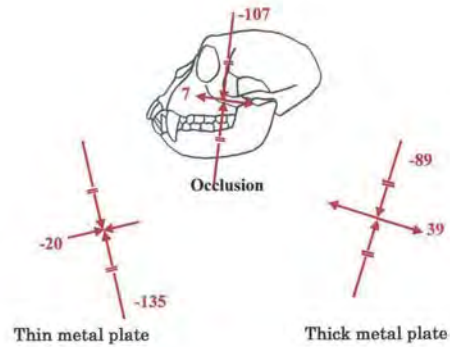


Fig. 6 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomatic body area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

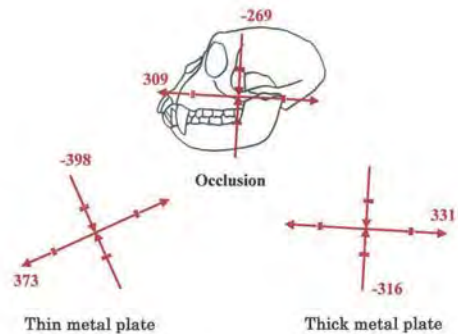


Fig. 7 Magnitude and direction of the principal strain in the zygomaticotemporal process area of zygomatic during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(6) 側頭骨頬骨突起部(頬骨弓後方部)
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噛ませたときは、咬合時よりも反時計回りに変わった(Fig.8).

(7) 側頭骨鱗部
咬合時は体軸方向に伸展し前後方向へ圧縮した。うすい金属板を噛ませたときは同部位は全体的に豊隆しながら強く伸展した。あつい金属板を噛ませたときは、咬合時とほぼ同方向へひずんだ(Fig.9).

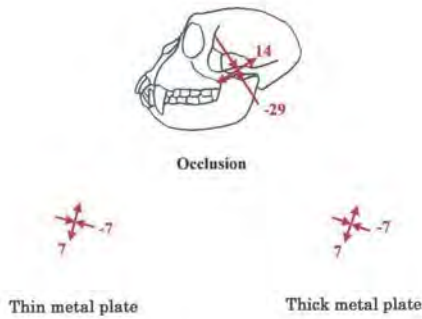


Fig. 8 Magnitude and direction of the principal strain in the temporocozygomatic process area of temporal during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

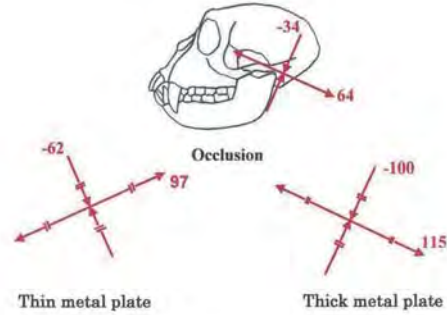


Fig. 10 Magnitude and direction of the principal strain in posterior area of the mandibular fossa of the temporal (mastoid process) during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

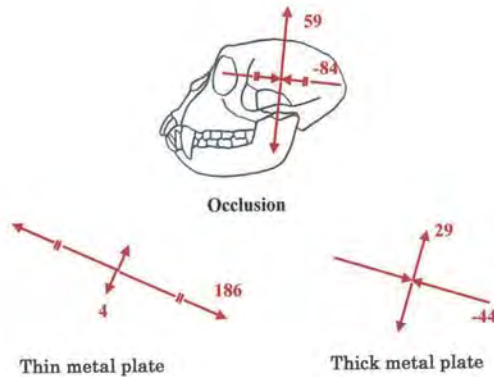


Fig. 9 Magnitude and direction of the principal strain in superior area of the mandibular fossa of the temporal during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

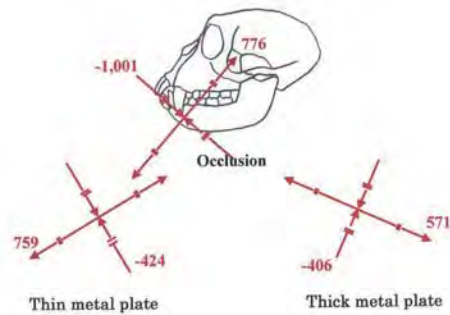


Fig. 11 Magnitude and direction of the principal strain in the mandibul canine alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(8) 側頭骨乳様突起部

咬合時は前上方から後下方へ伸展し、後上方から前下方へ圧縮した。うすい金属板を噛ませたときは咬合時よりも反時計方向へ変わったが、あつい金属板を噛ませたときは咬合時とほぼ同じ方向にひずんだ(Fig.10).

(9) 下顎骨犬歯歯槽部

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。うすい金属板を噛ませたときは咬合時とほぼ良く似た方向へひずんだが、あつい金属板を噛ませたときは咬合時とはまったく逆に前上方から後下方へ伸展し後上方から前下方へ圧縮した(Fig.11).

(10) 下顎骨第一大臼歯歯槽部

咬合時もうすいあるいはあつい金属板を噛ませたときも、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(Fig.12).

以上のことから、咬合させたとき、うすいあるいはあつい金属板を噛ませたとき、下顎骨犬歯歯槽部および側頭骨鱗部は噛ませる条件によってひずむ方向が著しく変わり、上顎骨の第一大臼歯歯槽部および頬骨上顎縫合部付近、ならびに下顎骨第一大臼歯歯槽部は噛ませる条件を変えてもひずむ方向にはほとんど差は認められなかった。他の部位は噛ませる条件を変えると、条件の違いによってわずかな差が認められることが分かった。

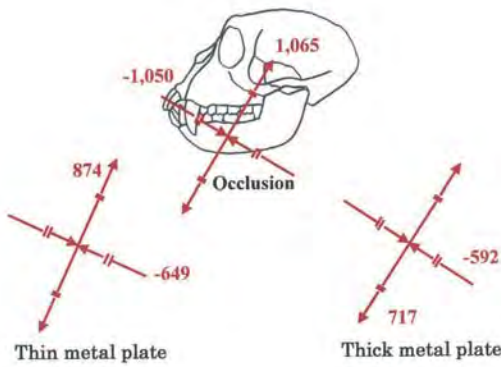


Fig. 12 Magnitude and direction of the principal strain in the mandibul first molar alveolar area during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

2) 頸椎のひずみの方向

(1) 第一頸椎

咬合時、左側は右側上方から左側下方へ、右側は左右方向へ伸展した。うすい金属板を噛ませたときは、咬合時とほぼ同じ方向へ伸展した。あつい金属板を噛ませると、左側は咬合時とほぼ同じ方向へ、左側は右上方から左下方へ伸展した(Fig.13)。

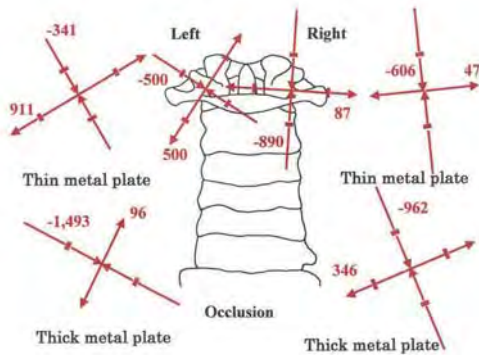


Fig. 13 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the first cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(2) 第二頸椎

咬合時、左側は全体に圧縮し、右側は上下方向へ伸展した。うすい金属板を噛ませたとき、左側は左上方から右下方へ、右側は左下方から右上方へ伸展した。あつい金属板を噛ませると、左側はうすい金属板を噛ませたときとほぼ同じ方向へ、左側は左上方から右下方へ伸展した(Fig.14)。

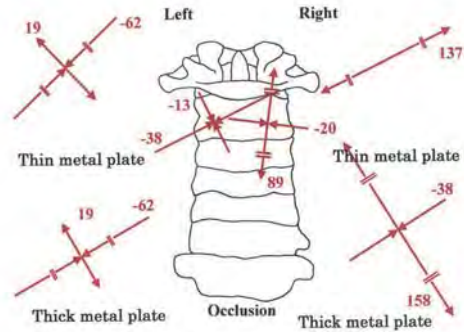


Fig. 14 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the second cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(3) 第三頸椎

咬合時、左側は右上方から左下方へ、右側は左側とはまったく逆に左上方から右下方へ伸展した。うすい金属板を噛ませたときは、咬合時とほぼ同じ方向へ伸展した。あつい金属板を噛ませると、左側は圧縮のみが、右側は、大幅に時計回りに変わった(Fig.15)。

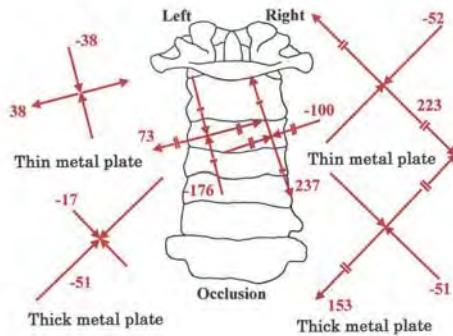


Fig. 15 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the third cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(4) 第四頸椎

咬合時、左側は左上方から右下方へ、右側はほぼ左右方向へ伸展した。うすい金属板を噛ませたとき、左側は咬合時よりも反時計回りに、右側は大幅に時計回りに変わった。あつい金属板を噛ませたときは、両側ともうすい金属板を噛ませたときと同方向へ伸展した(Fig.16)。

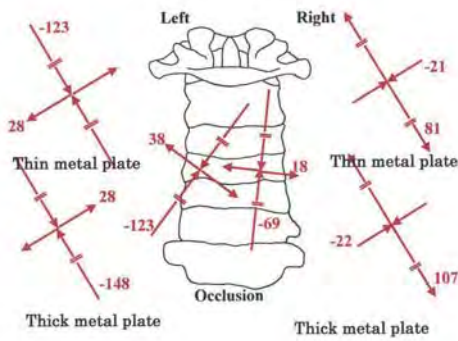


Fig. 16 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the fourth cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

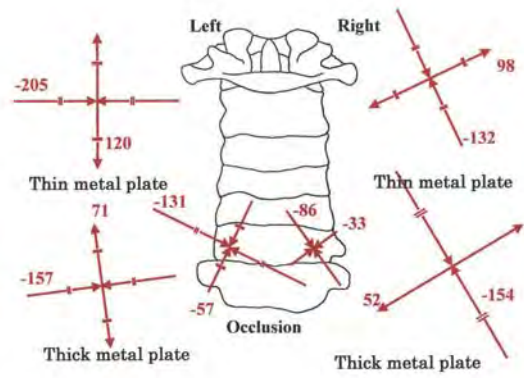


Fig. 18 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the sixth cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(5) 第五頸椎

咬合時、左側は体軸方向に強く、左右方向に弱く圧縮した。右側はほぼ体軸方向へ伸展した。うすい金属板を噛ませたとき、およびあつい金属板を噛ませたときも、咬合時とほぼ同じ方向へ変形した(Fig.17)。

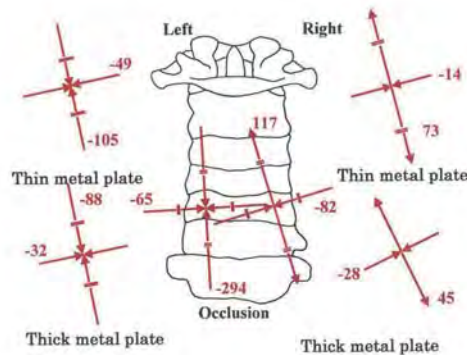


Fig. 17 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the fifth cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

(6) 第六頸椎

咬合時、左側は左上方から右下方に強く、右上方から左下方へ弱く圧縮した。右側も左上方から右下方へ強く、左下方から右上方へ弱く圧縮した。うすい金属板を噛ませたとき、左側は体軸方向へ、右側は左下方から右上方へ伸展した。あつい金属板を噛ませたときも、うすい金属板を噛ませたときと同方向へひずんだ(Fig.18)。

(7) 第七頸椎

咬合時、左側は体軸方向へ弱く、左右方向へ強く伸展した。右側は右上方から左下方へ伸展した。うすい金属板を噛ませたとき、左側は体軸方向へ伸展し、左右方向へ圧縮した。右側は右上方から左下方へ強く圧縮し、左上方から右下方へ弱く伸展した。あつい金属板を噛ませたときとまったく逆の現象が認められた。すなわち、左右方向へ伸展し、体軸方向へ圧縮した。右側は左上方から右下方へ弱く伸展した(Fig.19)。

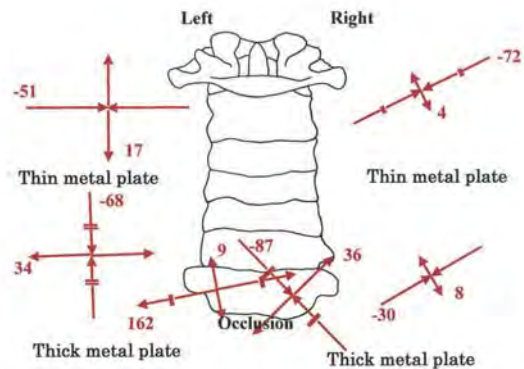


Fig. 19 Magnitude and direction of the principal strain on the both sides laminae of the vertebral arch in the seventh cervical vertebrae during occlusion and while biting metal plates with different thicknesses

以上の結果から、咬合時、うすい金属板を噛ませたとき、および、あつい金属板を噛ませたとき、すべて同じ方向へひずんだのは第一および第五頸椎の両側であった。また、うすい金属板とあつい金属板

を噛ませたとき、同じ方向へひずんだのは第一頸椎、第四頸椎および第五頸椎で、これらは左側も右側もそれぞれ同方向へひずんだ。第二頸椎および第六頸椎はいずれも左側（作業側）で同じ方向へひずむことが分かった。

考 察

咀嚼は咀嚼効率を高める固有咬合面積が広いこと、および歯根膜の痛みに対する閾値が前歯よりも大きいので固い物質を咀嚼しやすいなどの理由から、通常は臼歯部でおこなわれる⁽¹⁾。咀嚼という動作は片側でおこなわれ、長い間、第三類のテコによる運動であると説明されてきた。しかし、支点を咀嚼側の顎関節部に、力点を咀嚼側の咬筋および内側翼突筋に設定する第三類のテコでは、前歯で咀嚼するときが最も効率的であることになる。ところが、実際の咬合力や咀嚼力は第一大臼歯が最も大きいことは明らかであるから、実際の咀嚼は第三類のテコによる運動だけでは説明できず、現在では第三類のテコと、非咀嚼側の顎関節部に支点を、そして、主に咀嚼側の咬筋および内側翼突筋に力点を設定する第二類のテコによる運動とが混在した運動によっておこなわれると説明されている⁽³⁾。

前歯は単位面積あたりの咬合力は臼歯よりも大きいにもかかわらず、咀嚼が臼歯群で主におこなわれるのは、1) 前歯で咀嚼するためには、多くの筋群が機能するきわめて複雑な運動である下顎の前方移動が必要であること。2) 前歯部が強く咬合接触すると歯根膜閉口筋反射が強く起き、とくに、圧刺激に対する前歯部の閾値は臼歯部の閾値よりもかなり低いので、不快感が強く、不定愁訴発現の大きな要因になること。3) 前歯部咀嚼は、臼歯部咀嚼よりも顎関節に加わる圧が大きくなること。などの理由による。一般に臼歯部が欠損すると咬合の高さが低くなり、その結果、下顎は遠心位に後退し、過蓋咬合（閉口過剰）になり、その結果、前歯群に負担がかかり、外傷性関節炎が生じやすくなるが、この理由は咬合の変化によって神経筋系の相関関係が乱れるためである⁽²⁾。前歯部で咀嚼をおこなうのは必ずしも臼歯部の欠損だけの理由だけではないが、前歯部咀嚼が習慣化すると臼歯部欠損と同じような状況になり、各種の有害作用が発現する可能性が高いことから考えても、臼歯部で咀嚼することは理にかなっている。しかし、咬合治療時に経験する前歯部咀嚼に由来するであろう不定愁訴の発現は頭部ならびに頸部に限らず、きわめて広範な範囲にわたっている。

従来、咬合および咀嚼時に頭蓋および頸椎に生じるひずみをサルを用いて報告した研究はすべて臼歯部に荷重を加えたもので⁽⁵⁻¹⁶⁾、前歯部に荷重を加えた報告はほとんど認められない。しかし、咬合や咀嚼を研究するためには、前歯部で噛むことによって

生じる不定愁訴に悩むヒトが多いということからも、前歯部で噛むことの不適切さの根拠を明確にすることが必要である。そこで、前歯部で物質を噛ませたときに頭蓋および頸椎に生じる力学的特性を検討した。

実験にはニホンザルを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。

実験は咬合時、および、うすいあるいはあつい物質を犬歯で噛ませたときについておこなった。通常、前歯で噛ませる実験では歯冠の大きな中切歯で噛ませるべきであるが、サルが咀嚼するときは犬歯で物質を把持し、舌および頬粘膜ですぐに臼歯部へ移動させ咀嚼し、中切歯および側切歯はほとんど使用していない。そのため、上顎の前歯群に比べて下顎の前歯部はきわめて小さく、十分な咀嚼力が頭蓋へ加わらないと考えられる。また、サルでは側切歯と犬歯との間に顎間上顎縫合があり、中切歯および側切歯は顎間骨に歯槽窩がある。したがって、中切歯や側切歯で物質を噛ませると、それらの歯の歯槽部に生じるひずみは顎間骨と上顎骨との間の縫合によって緩衝され、本研究の主たる目的である咬合力や咀嚼力が直接上顎骨へ加わったことによる頭蓋および頸椎の力学的応答の正確なパターンを検討することができない。そこで、上顎骨に歯槽をもつ前歯として、犬歯で物質を噛ませた。

杉村ら⁽¹⁶⁾は、あつい金属板を第一大臼歯で噛ませたとき、頬骨上顎縫合部および頬骨骨体部は後下方へ変位し、このとき、頬骨上顎縫合部よりも頬骨骨体部のほうが強く後下方へ変位するので、これら両骨間に空隙ができ、それを埋めるように上顎骨は、全体として頬骨上顎縫合部の下部を支点として後方へ回転様に変位すると報告している(Fig.20,Left)。しかし、犬歯で噛ませると、これとはまったく逆に、頬骨上顎縫合部のほうが頬骨骨体部よりも強くやや下方へ変位した(Fig.20,Right)。このとき、頬骨骨体部に生じるひずみは頬骨上顎縫合部よりもきわめて小さい(Table1)ため、隣接する上顎骨と頬骨との間には空隙はできず、その結果、上顎へ生じた応力をスムーズに分散することができないため、頬骨上顎縫合部にはきわめて大きなストレスが生じる。臨床で、咬合時に前歯に強い早期接触があるようなとき、眼窩下周辺に強い違和感を訴える症例を経験するが、それは上述した理由によるものと考えられる。

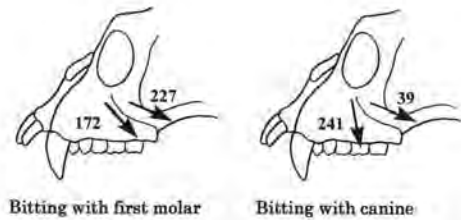


Fig. 20 The displacement direction of the maxillary and zygomatic bones while biting metal plates in different area

犬歯で物質を噛ませたとき、上顎骨と頬骨との変位にもなって、蝶形骨も変位する。杉村ら⁽¹¹⁾は、本研究と同様の方法で蝶形骨の変位方向を検討し、咬合時にはほぼ下方へ変位し、どのような方向から第一大臼歯に荷重を加えても変位する方向にはほとんど差は認められなかったと報告している(Fig.21,Left)。本実験で得られた頬骨および側頭骨が変位する方向から検討すると、犬歯で物質を噛ませたとき、蝶形骨は第一大臼歯で物質を噛ませたときよりも全体的にやや前下方へ変位すると考えられる(Fig.21,Right)。

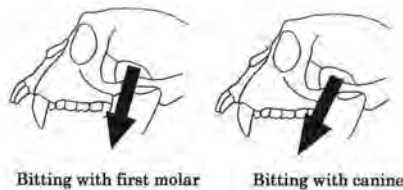


Fig. 21 The displacement direction of the sphenoid bone while biting metal plates in different areas

実際に前歯で物質を噛もうとすると、下顎は前方へ移動するので、蝶形骨翼状突起の翼突窩に起始している内側翼突筋も下顎の変位に伴って前方へ変位する。また、内側翼突筋は時には咬筋よりも強く収縮する⁽⁴⁾ので、蝶形骨はかなり強く前下方へ変位すると考えられる。蝶形骨が前下方へ変位すると、蝶形骨と後方の後頭骨との間(蝶形後頭軟骨部)に隙がでやすくなる(Fig.22)。このとき、後頭骨の変

位方向が重要な問題になるが、本実験においては後頭骨のひずみは記録しなかった。

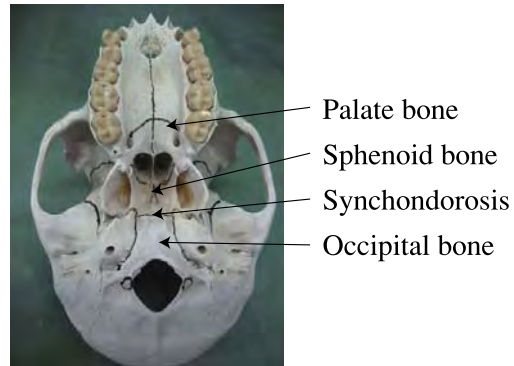


Fig. 22 The position of the sphenoid and occipital bones and spheno-occipital cartilage area in the cranial base (monkey)

咀嚼時の後頭骨の変位に関して、藤本ら⁽¹⁷⁾は、家兎に固形飼料を咀嚼させたときの後頭骨のひずみの大きさおよび方向を測定し、固形飼料を咀嚼したとき、家兎の後頭骨は左右方向へ揺れると報告している。前歯部で物質を噛ませると、臼歯部で咀嚼するときよりも下顎骨は前方へ移動することから、咀嚼筋群が機能する方向は体軸方向とは異なり、後上方から前下方へ変わるため、臼歯部で噛ませたとき(Fig.23,Left)よりも横揺れは少なく、むしろ、蝶形後頭軟骨部を境に後頭骨は下方へ回転様に強く変位すると考えられる(Fig.23,Right)。本実験において、側頭骨の後方部位である乳様突起部のひずみが物質を噛ませることによって著しく増大した(Table1)が、これは、後頭骨が前下方へ回転様に変位することによって、同部位を強く圧縮することによるといえる(Fig.23,Right)。すなわち、臼歯で物質を噛ませると頭部は蝶形骨を力学の中心として前方部も後方部も左右方向へ変位すると考えられるのに対して、前歯部で物質を噛ませると蝶形骨の強い前下方への変位から、蝶形後頭軟骨部が疎になり、それを埋めるように後頭骨はきわめて強く前下方へ変位する(Fig.23)と考えられる。

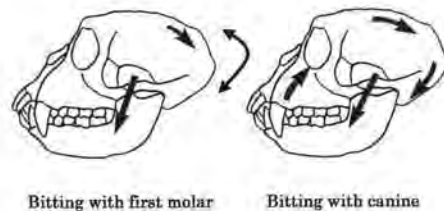


Fig. 23 The displacement direction of the cranium while biting metal plates in different areas

ヒトの頭蓋と頸椎との位置関係は、基本的にはサルとほとんど変わらない(Fig.24)ので、本実験で得られた結果を、臨床的意義も含めてヒトに適応して考察した。

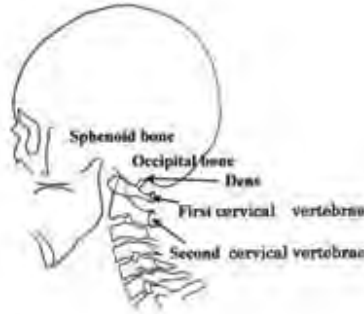


Fig. 24 Position of the occipital bone, dens, first and second cervical vertebra (human)

前歯部で物質を噛ませると後頭骨が前下方へ強く回転するので、後頭骨の後頭孔の直下であり頭蓋の台座として機能している第一頸椎は、後頭骨の変位に伴って全体的に前下方へ変位する(Fig.25)。この方向へ変位するため、頭部の左右の振れは少なく、後頭骨はほぼ真っ直ぐ下方へ変位すると考えられる。ところで、第一頸椎と第二頸椎との関係について、揚ら⁽¹⁵⁾は、左側の第一大臼歯で物質を噛ませると、頭部は咀嚼側である左側へ傾くため、台座として機能している第一頸椎は左側へ傾き、左右両側の椎弓板はいずれも強く圧縮する。そして、第二頸椎では非作業側(右側)の椎弓板に強いひずみが生じる。これは第一頸椎の椎孔の前方へ入り込んでいる第二頸椎歯突起が第一頸椎の椎孔の右側前方を強く支え、頭部が過度に咀嚼側(左側)へ傾かないように機能していると報告している。しかし、前歯部で物質を噛ませたときの第二頸椎椎弓板ひずみの量から考えると、通常、歯突起が第一頸椎の前内壁とほぼ接するように位置している第一頸椎と第二頸椎との関係



Fig. 25 The displacement direction of the occipital bone and first cervical vertebra

は、後頭骨の前下方への変位に伴って第一頸椎が変位すると第二頸椎歯突起は通常は接している第一頸椎の前内壁から離れ、第二頸椎には大きな力が加わらないと考えられる(Table3)。このことは、第一頸椎は頭位に伴って変位しやすいが、第二頸椎は第一頸椎と共に変位していないことを示唆するものであり、頸椎全体のバランスが保ちにくいことを示している。

さらに揚ら⁽¹⁵⁾は、各頸椎の力学的な特徴から第一頸椎は動きの主体となる頭部の台座として、そして、第二頸椎は台座として機能している第一頸椎が際限なく動くのを止めるストッパーとして機能していると思われる。さらに、第三頸椎は上部の第二頸椎や下部の第四頸椎とはかなり異なった力学的特性から、激しく動く第二頸椎の動きの緩衝体として機能し、第四および第五頸椎は、第三頸椎だけでは緩衝しきれなかった応力を調整する役割を果たしていると思われる。そして、第六および第七頸椎は動きの大きい上部の頸椎とその動きを調整している中部の頸椎とを支え、頸椎全体の支台あるいは土台として機能していると述べている。これに対して、犬歯部で物質を噛ませると、第二頸椎以下のひずみは第一頸椎のひずみよりも著しく小さく、かつ、第二および第三頸椎では非作業側のひずみは作業側よりも大きく、第四頸椎以下では作業側のほうが非作業側よりも大きかった。このことは、犬歯(前歯部)で物質を噛ませると臼歯で噛ませたときよりも軽度ではあるが咀嚼側に傾き、大白歯で物質を噛ませたときの第二頸椎歯突起の機能を第二頸椎と第三頸椎とがおこない、第四頸椎以下の頸椎群が頸椎全体のバランスを保つように機能していることを示している。

後頭骨の前方への変位に伴って第一頸椎も前方へ変位することによって、後頭骨と第一頸椎との間が狭くなる。このことは、椎間孔を通る神経群を傷害するため、視神経の圧迫、内障眼、不眠、妄想、気力倦怠および神経性頭痛などをおこす原因となる⁽¹⁹⁾。

通常、各脊柱間には緩衝帯として機能する椎間板があるが、第一頸椎と第二頸椎との間、すなわち、第一椎間板腔には椎間板はない(Fig.26)。

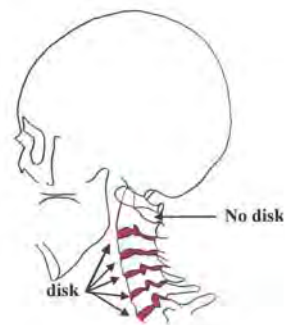


Fig. 26 Anatomical character of the first diske space

この理由は、前歯部で物質を噛ませたときのひずみの量から推察すると、第一頸椎が変位しても第二頸椎はその影響をほとんど受けないことを示している、このことは、第一頸椎はきわめて動きやすい骨であることを示唆するものである。したがって、第一頸椎の下部に椎間板があると第一頸椎は頭位に合わせて十分に動くことができなくなるため、第一椎間板腔には椎間板は必要ないと考えられる。このことは、頭部の動きの自由度を高めるためにはきわめて理にかなった解剖学的特徴であると考えられるが、後頭骨と第一頸椎との間、および第一頸椎と第二頸椎との間に椎間板が欠如しているということは別の意味で大きな問題を含んでいる。すなわち、第一頸椎の動きが大きいということから頸骨神経のうち椎間板のない第一椎間板腔にあるC2の神経根は、C3の枝とともに大後頭神経を形成し、これは、耳の後方の後頭部、乳様突起部、および耳下腺の知覚を支配している(Fig.27)。

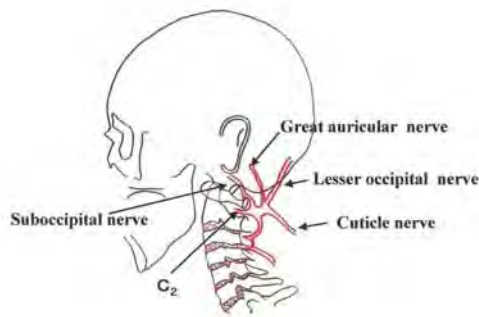


Fig. 27 Regions innervated by C2

したがって、回旋椎であり、頸筋群の張力をコントロールしているC2に障害がおきると、心臓、肝臓、胃などに多くの神経分枝を送っている迷走神経に障害が生じやすくなる⁽¹⁹⁾。また、歯科の分野においても、咬合に異常があるとき、乳様突起部、およびその前部、東洋医学でいう「翳風(えいふう)」や後頭骨の下縁付近に強い圧痛や肩部、背側部および腕や手に強い痛みや麻痺を訴えるが、これは後頭骨の変位に伴って、第一頸椎および第二頸椎が変位して第一椎間板腔を圧迫することによってC1、C2およびC3が障害を受けたことによるものと考えられる。

結 論

片側犬歯で物質を噛ませると頬骨上顎縫合部に強い応力が集中して、蝶形骨が前下方へ強く変位するため、頭蓋全体は後下方へ回転様の変位をする。このような頭蓋の変位に伴って頭部の台座として機能している第一頸椎も前下方へ変位するので、第二頸椎歯突起が頸椎全体の力学的な支点として機能でき

ず、頸椎全体がきわめて不均衡な力学的状態になる。このことが頸椎の配列のバランスを狂わせ、頸椎間を通過する運動神経群および知覚神経群に障害を与え、不定愁訴をはじめ多くの症状を生じさせる原因のひとつになると考えられる。

文 献

- (1) 覚道幸男, 船越正也. 図説歯学生理学. 第2版. 東京: 学建書院:331-332,2007.
- (2) Ramfjord.S, Ash MM; 覚道幸男, 三谷春保, 稗田豊治訳. オクルージョン-咬合治療の理論と臨床-. 第3版東京: 医歯薬出版:245,1986.
- (3) 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:133,2007.
- (4) Sugimura T, Inada J, Yoshida Y and Weij WA. Coordination patterns in rabbit masticatory muscles. Jpn J Oral Biol 39:263-267,1997.
- (5) 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 48:809-825,1985.
- (6) Hylander WL. In-vivo bone strain as an indicator of masticatory bite force in Macaca fascicularis. Arch Oral Biol 31:149-157,1986.
- (7) Hylander WL and Crompton AW. Jaw movements and patterns of mandibular bone strain during mastication in the monkey Macaca fascicularis. Arch Oral Biol 31:841-848,1986.
- (8) Iwasaki K. Dynamic responses in adult and infant monkey craniums during occlusion and mastication. J Osaka Dent Univ. 23:77-97,1989.
- (9) 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. 54:301-314,1991.
- (10) Saijo S and Sugimura T. Dynamic response of the adult monkey maxilla to occlusal forces. J Osaka Dent Univ. 27:1-22,1993.
- (11) 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 1:22-29,1995.
- (12) 杉村忠敬, 稲田條治, 松本俊郎. 咬合時のサル側頭骨頬骨突起基部の力学的応答. 顎顔面バイオメカ. 2:51-58,1996.
- (13) 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 41:385-392,1997.
- (14) 井上 暁, 川本達雄. 片側で咬合したときの左右椎弓板の力学的反応. 歯科医学. 63:113-128,2000.
- (15) 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. 9:5-22,2003.
- (16) 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.

11:51-53,2005.

- (17) 藤本雅子, 若城健介, 兼松宣武, 杉村忠敬. 家兎咀嚼時の頭頸部の力学. 第14回顎顔面バイオメカ抄録集. 48-50,2006.
- (18) 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. 12:59-61,2006.
- (19) Rene Cailliet; 萩島秀男訳. Head and Face Pain Syndromes. 第1版. 東京: 医歯薬出版; 15-19,2001.