

## 咬合高径の維持に関する神経機構の研究

著者	八木 孝和, 宮脇 正一
雑誌名	鹿児島大学歯学部紀要
巻	31
ページ	81-91
発行年	2011
別言語のタイトル	A neural study of maintain in occlusal vertical dimension
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/17045">http://hdl.handle.net/10232/17045</a>

## 咬合高径の維持に関する神経機構の研究

八木 孝和<sup>1)</sup>, 宮脇 正一<sup>2)</sup>

1) 鹿児島大学医学部・歯学部附属病院発達系歯科センター 矯正歯科

2) 鹿児島大学大学院医歯学総合研究科健康科学専攻 発生発達成育学講座 歯科矯正学分野

## A neural study of maintain in occlusal vertical dimension

Takakazu Yagi<sup>1)</sup>, Shouichi Miyawaki<sup>2)</sup>

1) Department of Orthodontics Dentistry, Kagoshima University medical and Dental Hospital

2) Department of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics, Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences

8-35-1 Sakuragaoka , Kagoshima 890-8544, Japan

### Abstract

Occlusal vertical dimension (OVD) refers to the vertical position of the mandible in relation to the maxilla when the upper and lower teeth are contacted at the maximum intercuspation position. The OVD is the fundamental factor to perform oral functions such as mastication and swallowing.

This paper consists two parts which describes the definition and the decision of OVD in physiological approach in human and the mechanism of the adjustment of the OVD in the bite raised Guinea pig.

First part, we discuss the physiological approach to dependency on centric occlusal sensation and mastication force control.

Second parts, in order to examine how strict the OVD is adjusted in the young guinea pig, these animals were raised by fixation of a bite-raising appliance in lower incisors. The space produced between upper and lower molars was filled due to eruption of molars. After removal of the appliance, the animals reduced the raised OVD until it attained to the observed OVD level in controlled animals. Next study, it was demonstrated how the OVD was affected by the changing the muscle spindle sensation. The neurons in the trigeminal mesencephalic nucleus (MesV) were damaged for blocking input from muscle spindle in the OVD-raised guinea pigs. The result showed those animals with MesV lesions reduced very slight in the OVD. It is suggested that MesV neurons relates to the regulation ability of the OVD. Third study, in order to examine how OVD effects on jaw movement, bite-raised guinea pigs were monitored their mastication after removing appliance. The most closed position of the jaw was lower in the bite-raised animals than in controls, but other researches were similar in both groups.

These researches suggest that the OVD is controlled in rigorous manner and the physiological approach focused on the muscle spindle to control the OVD is the most important concept in the orthodontic, prosthetic and periodontal treatment.

**Key words:** Occlusal vertical dimension, Trigeminal mesencephalic nucleus, Guinea pig, Tooth eruption, Muscle spindle

## 1. はじめに

咬合高径 (Occlusal Vertical Dimension: OVD) の設定はインプラントを含む補綴, 保存, 矯正, 小児など歯科臨床においては必須事項であり, 咬合関係を調整する治療は歯科医療現場では盛んに行われており, 歯科医療の中心的課題の一つである。ヒトにおいて咬合高径を本人が自覚している以上に高くまたは低くすると, 頭痛, 筋肉痛, プラキズムや顎関節痛などの症状を呈することが知られており<sup>1,2</sup>, 特に補綴分野を中心に古くから感覚<sup>3,4</sup>や形態学的<sup>5</sup>な指標など様々な方法で咬合高径を決定してきた。また, 小児・矯正治療では過蓋咬合や開咬の治療の際に咬合高径を改善するためにさまざまな工夫を凝らして行っている。例えば, 成長期の治療では顎関節部分に空隙ができる装置を日常使用することで, 骨の成育ならびに筋の適応を期待する<sup>6</sup>。また, 成人期の治療では, 咬合高径そのものをあまり変化させず, 前歯部の圧下や臼歯部の挺出を同時に行いながら咬合平面の傾きやオーバーバイト (OB) を改善することを試みてきた<sup>6,7</sup>。今日の臨床経験による蓄積から, 成長期であれば咬合高径を変化させるが, 成人期は補綴臨床においても咬合高径そのものはあまり変化させない傾向にある<sup>8</sup>。その背景となる咬合高径の決定因子の解明は, 形態学および生理学的な手法を用いて, さまざまな探求が行われてきた。ヒトを用いた研究では主に義歯を用いた研究が多く, ヒトは一意的な咬合高径を有するのではなく, 至適な範囲 (comfortable zone) を有することが示唆された<sup>9-14</sup>。動物を用いた研究では形態の変化や筋組織の変化が観察されてきた<sup>15-18</sup>。しかし, どのように咬合高径を制御しているのかについては不明な点が多い。

本論文では, モルモット臼歯が継続的に萌出し続けるという特性に着目し<sup>19</sup>, 咬合高径に人為的な変化を与えた場合の神経生理学的研究<sup>20,21</sup>から, 咬合高径の維持に関する神経機構の一端について矯正学的な観点を交えて紹介する。

## 2. 咬合高径について

咬合高径に対する定義は, 2つの構造物 (上顎と下顎) が接触時の2つの点の間の距離とされている<sup>22</sup>。この概念を理解するためには, 歯の萌出に着目すれば分かりやすいとされている。持続的な歯の萌出を抑制する働きには, 歯根膜に存在する線維群が関与するが, 歯がある一定の高さまで萌出すると, 上下顎歯の接触 (咬頭嵌合位) を迎える。この現象は, もっとも上下顎の位置が安定した地点で歯の萌出が停止するあるい

は停止したように臨床上, 確認できる位置となり, 閉口筋の繰り返しによる収縮サイクルによって, 下顎が上顎に対して垂直的に安定した位置が決定されることにより生じる。言い換えるならば, 咬合高径は顎顔面の発育や歯列の完成に伴い, 顎関節の形態, 歯の萌出能力や咀嚼筋系全体の平衡バランスに依存していると言える<sup>23</sup>。咬合高径は生涯を通じて安定していると信じられ, 臨床上解剖学的な基準を求めて検査が行われることも多いが<sup>24-26</sup>, 最近の長期にわたる研究から加齢により減少することが分かっていた<sup>22</sup>。臨床的な咬合高径の決定方法のうち代表的なものは, 咬合間距離 (フリーウェイスペース) を利用する方法<sup>24</sup>, 発音を利用する方法<sup>27,28</sup>, 顔面計測を用いる方法<sup>25,26</sup>などが挙げられる。しかし, これらの方法から決定される咬合高径は, 特定の一つの手法で正確な診断が行えるのではなく, 複数の手法を組み合わせで行い, 最終的に想定した咬合高径が, 患者自身にとって違和感がなく, 「ちょうど良い」と感じる至適な領域 (comfortable zone)<sup>9-12</sup>に存在しているのかを咬合感覚を用いて調整する作業が必要である。この至適な領域を客観的に評価する生理学的な方法として, 無歯顎者を対象に研究が行われている<sup>3,4,13</sup>。古典的な方法は, 義歯のロウ堤上に高さを調整できるねじを組み込んで, このスクリューを調整して高さを決定するスクリュー法と呼ばれる方法である<sup>3,4</sup>。この方法では客観的な数値評価が難しいことから, 次に試みられたのが, 知覚心理学手法を応用した恒常法で1mm刻みに用意したレジンプロックを順次置いて, 患者がちょうど良い高さと感じる範囲を決定して, 上下の弁別閾から中央値を求める方法である。この方法は, 正確な数値を得るためには最も優れていることが分かっている<sup>14</sup>。

## 3. モルモットを用いた咬合挙上実験

### 3-1) 咬合挙上方法及挙上後の変化

まず, これらの研究において使用した動物の特性について述べる。はじめに述べたように, この動物は無歯根であるので, 歯は萌出し続けることが分かっている<sup>19</sup>。通常, 歯が継続的に萌出する場合, その歯を常にすり減らさないと, 咬合高径は維持できずに周囲組織の粘弾性を上回って咀嚼運動ができなくなり, 生存できないことになる。従って, モルモットは, 常にその歯をすり減らしながら自らの咬合高径を維持し, 調整する能力を有していることになる。つまり, ラットなどの有歯根動物に比べると, より咬合高径を維持する感覚に優れている可能性がある。この動物の前歯部

に咬合挙上板を装着し、臼歯を離開させると、顎顔面に対して10%程度の咬合高径の挙上であれば、約1週間から10日間で臼歯が咬合し、通常の食生活を営む。本実験では、雄性 Hartley 系モルモット（4週齢から5週齢）を用いることで、ヒトであれば咬合高径の変化に適応しやすい成長期が想定された。実験に供したモルモットは実験用のケージ内で飼育し、室温25°、07:00から19:00まで光源のある環境で1週間馴化された。なお、各ゲージは2匹まで収容し、水及び固形飼料を自由摂取させ、装置装着前より顎顔面高さにおいて、10%（約3mm）と5%（約1.5mm）の咬合挙上が行われた。

側面頭部 X 線規格写真は以下の設定にて撮影した。X 線発生装置には軟性 X 線発生装置（HA-80R type, HITEX co., LTD., 大阪市）を用い、撮影条件は、X 線発生装置からフィルム面までの幾何学的条件については、花田らの方法<sup>29</sup>を用いて、焦点から ear-rod 間の中心まで250mm、ear-rod 間の中心からフィルム面まで25mmとし、二次電圧(40kV)、二次電流(10mA)、曝射時(4.0秒)と設定し、X 線用フィルムには歯科用オ

クルーザル X 線フィルム (Ekta speed plus EO-42p, 57 × 76mm ; Kodak) を用いた。さらに頭部固定装置を用いて頭部が一定の規格条件下に保持した。エーテル麻酔下にて、装置装着前（装置撤去10日前）および装置撤去後（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 20, 25, 30日目）に側面頭部 X 線規格写真を撮影した。得られた X 線写真から解剖学的に基準となる9箇所<sup>30</sup>の計測点を手動にて計測し、基準座標系を設定して算出した。（図1）

咬合挙上状態が得られた後、装置を撤去した直後から、咀嚼筋筋電図は開口筋と閉口筋の間でリズムカルな交代性活動を示し、この時期の1回の活動量もコントロール群と比較してはるかに大きな値を示す傾向があった。また、ヒトでよく認められる歯軋りに似た音も観察されており、いわゆるブラキシズム様下顎運動を繰り返していた可能性が認められた。モルモットは元来、歯をすり減らしながら咬合高径を維持し、調整していることから、前頭面から下顎の咀嚼時の運動軌跡をみると、ヒトの顎運動の軌跡とは異なり、8の字様の運動を行うことが知られている<sup>31,32</sup>。この運動は

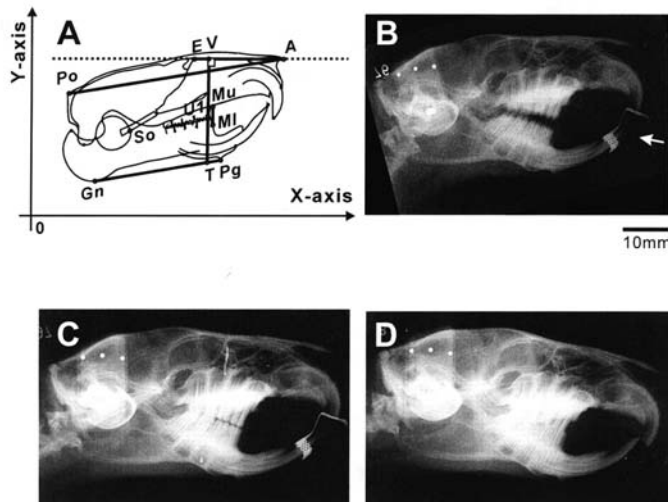


図1. ランドマークポイント(A), 頭部エックス線規格写真(B), 咬合挙上後、10日目の咬合状態(C)および装置撤去後5日目の状態(D).  
Yagi T et al. J DENT RES 2003;82:127-130より引用

#### 図の説明

- (A): V-T 間: 咬合高径, Mu-MI 間: 臨床歯冠距離, Po-A 間: 前後径と規定  
 (B): 咬合挙上装置 (矢印) を前歯部に装着  
 (C): 装置装着後10日が経過した状態。臼歯部が咬合した状態が確認できる。  
 (D): 装置撤去後5日が経過した状態。臼歯部の咬合高径が低下し、前歯部が通常のオーバージェット状態になっている。

自然に歯をすり減らしやすい環境を生み出していると考えられる。従って、モルモットにとっては通常の咀嚼様運動に等しい手段で、3日から5日間という短期間にほぼコントロール群と同じ高さまで歯をすり減らして咬合高径を維持することが分かった。

この実験結果を図2と図3に示す。この結果から、10日間の咬合挙上期間では動物が新しく設定した咬合高径に適用できなかったこと、コントロール群のグラフと比較して分かるように咬合挙上を開始した高さに戻すのではなく、コントロール群の点線の上昇に一致するように厳密に高さを合わせていることが示唆され

ている。また、すり減らして咬合を低下させている期間において、極端に下げないで、特定の高さに調節していたことが分かる。これは、ヒトを用いた実験で認められた至適領域がモルモットにも存在することを意味し、この領域に到達すると、積極的なすり減らし行動をやめて、元来の咬合高径維持のための行動に変化する。また、成長による咬合高径変化に厳密な適合を示していることから、内在する咬合高径決定因子が生体内に存在することを意味している。ヒトの実験で認められた至適領域を有していると考え、咬合高径をコントロール群と比較して極端に低下していない事

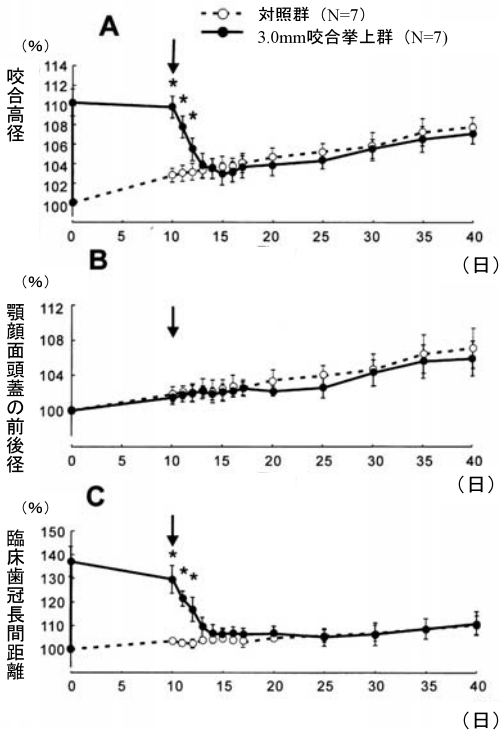


図2. 3mm 挙上時の咬合高径の経時的変化 (\* : 危険度1%で有意差有り)

Yagi T et al. J DENT RES 2003;82:127-130より引用

図の説明

- 3mm 咬合高径 (顎顔面の垂直高径の約10%) を挙上した場合の顎顔面形態の垂直的・前後的变化
- (A): 咬合挙上前の長さを100%とした咬合高径(V-T間距離)
- (B): 咬合挙上前の長さを100%とした前後径(Po-A間)
- (C): 咬合挙上前の長さを100%とした臨床歯冠距離(Mu-MI間)

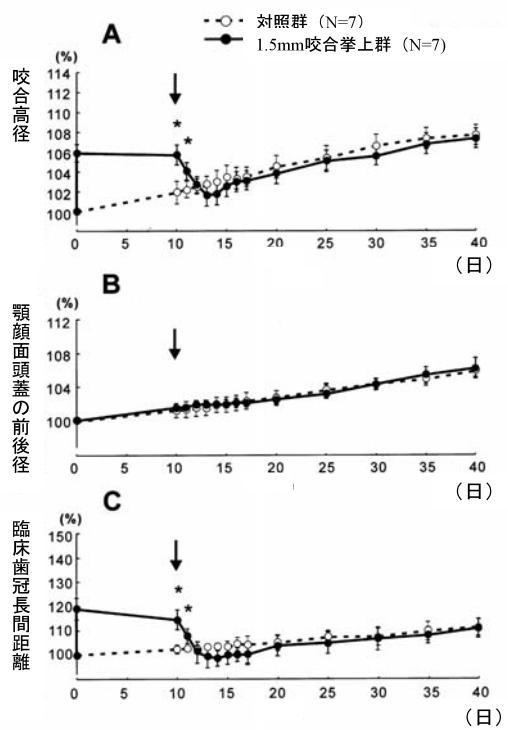


図3. 1.5mm 挙上時の咬合高径の経時的変化 (\* : 危険度1%で有意差有り)

Yagi T et al. J DENT RES 2003;82:127-130より引用

図の説明

- 1.5mm 咬合高径 (顎顔面の垂直高径の約5%, 臨床歯冠長) を挙上した場合の顎顔面形態の垂直的・前後的变化
- (A): 咬合挙上前の長さを100%とした咬合高径(V-T間距離)
- (B): 咬合挙上前の長さを100%とした前後径(Po-A間)
- (C): 咬合挙上前の長さを100%とした臨床歯冠距離(Mu-MI間)

実から、咬合高径の最も至適なポイントは上限に近いことが示唆されている<sup>33</sup>。これらの結果を矯正臨床にあてはめると、下顎骨体や歯槽性の垂直成長の旺盛な青年期に咬合高径を挙上する治療は、上下臼歯部を挺出させる空隙量を、成長によって見込まれる垂直的発育量と同量に見積もることができれば、安定した咬合挙上量を確保できる可能性がある。また、最も至適なポイントが上限付近に存在するために、生理的な機能を損なうことなく咬合挙上量が維持できる可能性があることを意味している。逆に、成長の見込みのない成人期や挺出の見込みがない乳臼歯咬合完成期に咬合挙上を行っても、安定した挙上状態を獲得することは難しいことも示している<sup>29</sup>。

### 3 - 2) 筋紡錘からの求心性入力への遮断 (三叉神経中脳路核を破壊した場合の咬合高径の変化)

次に、咬合高径は、単に静的な上下顎の解剖学的対向関係で成立しているのではなく、咀嚼機能をはじめとする様々な口腔機能に関与している。従って、咬合

高径が不適切な高さにあると、顎関節や咀嚼筋（特に閉口筋）へ大きな負荷が生じて、機能障害として様々な臨床症状を引き起こすことになる。例えば、歯の位置異常や顎変形症に至るほど垂直的な異常を生じている症例では緊密な咬合の獲得ができないために、咀嚼運動へも影響することが知られている<sup>34</sup>。また、咀嚼運動の効率性や咬合異常と筋活動についても密接な関係があり<sup>35,36</sup>、咀嚼運動は口腔感覚を司る歯根膜の機械的受容器、顎関節のゴルジ腱器官および咀嚼筋中の筋紡錘から中枢への求心性入力により影響を受けることが知られている<sup>37,38</sup>。咀嚼運動自体は、上下顎の歯がタイミング良く適度な強さで接触することが求められることから、咬合高径の変化に対する位置感覚もこれらの感覚受容器から中枢へ伝達されると言える。特に、無歯顎患者で咬合高径の変化が認識できること<sup>33</sup>、開咬症状を示す患者では閉口筋の弛緩が疑われることから<sup>7</sup>、咬合高径の認識には筋感覚の関与が大きいことが推察されてきた。筋肉中の感覚器は、筋紡錘と腱器官があげられるが、筋紡錘は骨格筋の長さを感じし

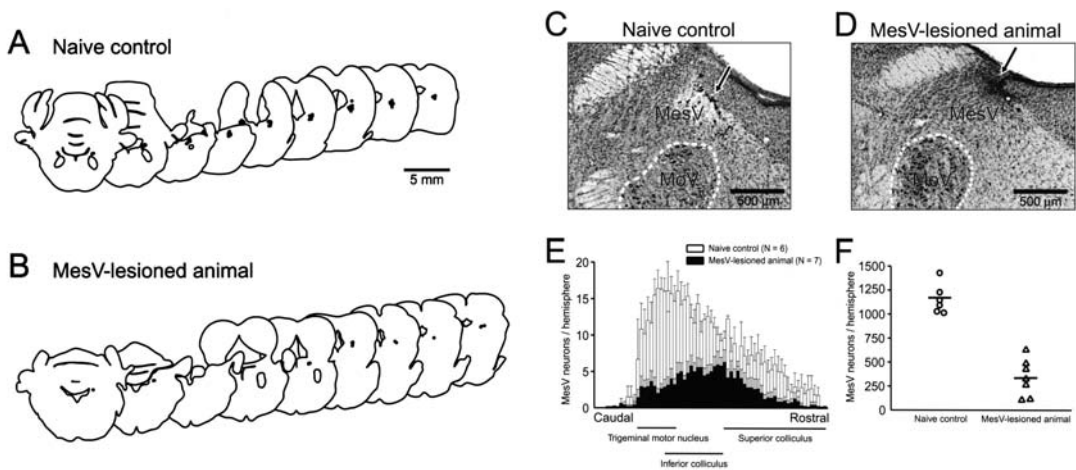


図4. 三叉神経中脳路核ニューロンの数と分布状態

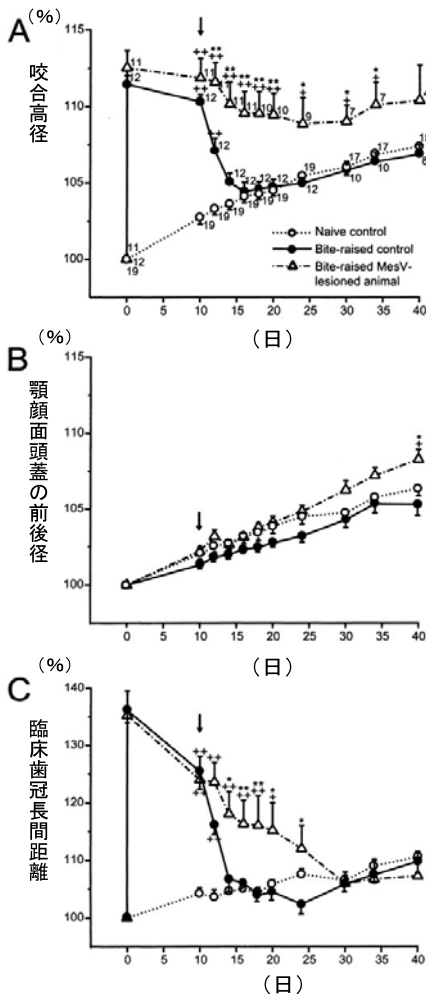
Zhang W et al. J DENT RES 2003;82:565-569より引用

#### 図の説明

- (A) : naïve 対照群：三叉神経中脳路核ニューロンの縦断的位置
- (B) : 三叉神経中脳路核ニューロンを凝固した実験群の三叉神経中脳路核ニューロンの縦断的位置
- (C) : naïve 対照群の三叉神経中脳路核ニューロンの位置をニッスル染色した断面図
- (D) : 三叉神経中脳路核を凝固した実験群の三叉神経中脳路核ニューロンの位置をニッスル染色した断面図
- (E) : naïve 対照群 (白抜き) と三叉神経中脳路核を凝固した実験群 (黒塗り) の三叉神経中脳路核ニューロンの細胞体分布
- (F) : naïve 対照群 ( ) と三叉神経中脳路核を凝固した実験群 ( ) の三叉神経中脳路核ニューロンの細胞体分布 (水平バーは各群の平均値)

ているのではなく、伸張速度の変化を検出していることが知られている<sup>39,40</sup>。筋紡錘は筋紡錘囊と呼ばれる紡錘形のカプセルに包まれており、カプセル内の錘内筋と呼ばれる細い筋線維が筋の長軸上に走行している。この筋線維の収縮を制御する $\gamma$ 運動神経と錘外筋線維(骨格筋)に存在する $\alpha$ 運動神経および両方に存在する $\beta$ 運動神経が連携して筋の収縮全体を調整する。特に、咀嚼筋では、筋紡錘からの感覚神経が $\alpha$ 運動ニューロンにシナプスしている下顎張反射と呼ばれる反射弓が知られている<sup>41-43</sup>ことから、咬合高径の変化は、咀嚼筋の長さに影響を与えるため、開閉口運動を行うと咀嚼筋中の筋紡錘への情報入力に変調を与えている可能性が高い。従って、咀嚼筋中で閉口筋に分布

の多いことが知られている<sup>44-47</sup>筋紡錘の関与を調べるために、3-1)の実験を基本形として、筋紡錘からの感覚神経細胞が存在する<sup>40,48,49</sup>三叉神経中脳路核に対する求心性入力の変断実験が、Zhang Weiらのグループにより行われた<sup>21</sup>。三叉神経中脳路核に対する求心性入力の変断実験では、3-1)と同様の4週齢から6週齢の雄性Hartley系モルモットを対象とした咬合挙上モデルを作製し、咬合挙上装置を撤去後、全身麻酔下で下顎前歯部にアイソニックトランスデューサー(TD-111T, 日本光電, 東京, 日本)を歯科用セメントで固定し、垂直方向の下顎運動の軌跡をモニターされた。さらに、脳頭蓋定位固定装置で頭部を固定した後に、硝子コーティングしたエルジロイ電極を用いて、中脳



#### 図の説明

A: 咬合高径の変化量

- (○): Naïve control: 三叉神経中脳路核を破壊せず咬合高径も挙上しない対照群
- (●): Bite raised control: 三叉神経中脳路核は破壊せず、咬合高径は挙上する対照群
- (△): Bite raised MesV-lesioned animal: 三叉神経中脳路核を破壊し、咬合高径も挙上する実験群

三叉神経中脳路核を破壊した咬合挙上群(●)は装置撤去後、わずかに咬合高径が減少した状態でとどまり、その後、上昇した。咬合高径のみを挙上した群(●)は装置撤去後、すみやかに咬合高径を減少し、特別な処置を行わないnaïve対照群(○)(三叉神経中脳路核の凝固処置を行わず、咬合高径も挙上しない群)と同じ高さで減少をやめ、その後、成長に合わせた上昇をしている。

B: 前後の頭蓋骨前後径の変化

すべての群がほぼ同じ成長変化を示している。

C: 臨床歯冠長間距離の経時的変化

三叉神経中脳路核破壊群は三叉神経中脳路核を破壊していない咬合挙上群と比較して臨床歯冠の短縮の効果は減弱している。ただし、三叉神経中脳路核破壊群も徐々にではあるが臨床歯冠長間は対照群と同様の長さになっている。

図5. 顎顔面頭蓋の咬合高径と前後径および臨床歯冠長の経時的変化 (\*\*: 危険度1%で有意差有り, \*: 危険度5%で有意差有り)

Zhang W et al. J DENT RES 2003;82:565-569より引用

部分でニューロン活動を記録し、開口に反応する細胞の存在する領域を三叉神経中脳路核 (MesV) と同定された。この三叉神経中脳路核領域を電氣的に破壊 (凝固) した後に、3-1)と同様の手法で咬合高径の変化量が調べられた。(図4) (なお、この実験結果は、現在、日本大学薬理学教室の小林真之先生の許可を得て掲載するものである。)

結果 (図5) は、咬合挙上後の減少量が三叉神経中脳路核を破壊しなかった挙上群と比較して少なく、高い位置で維持されていることが示されている。また、対照群として三叉神経中脳路核を破壊しなかった咬合挙上群は、図2の結果と比較しても遜色がない咬合高径の変化を認める。以上の結果から、咬合高径の調整には筋紡錘による関与が明確に示されている。閉口筋に存在する筋紡錘は開口時の下顎位置や開口速度を調整する役割を担っているため、咬合高径が挙上された状態では、本来の筋力が発揮できない (不快) ことを脳に伝えている可能性がある。三叉神経中脳路核には、歯根膜感覚や顎関節からの感覚も投射しているため<sup>48</sup>,

歯根膜感覚などを排除できていない本実験だけで、咬合高径の維持・調節に關する主たる因子として筋紡錘だけを取り上げるのは困難である。しかし、歯根膜感覚がない無歯顎のヒトでも咬合高径を認識できることや筋無力症のような筋感覚入力 of 異常を疑う症例では開咬になることから、咬合高径の決定には筋紡錘からの感覚入力の関与が大きいが示唆されている。このことは、加齢や筋無力症などにより本来の咬合高径が不明瞭な患者に対して、筋紡錘からの入力を賦活化させるような筋機能訓練が行えれば、より効果的に咬合異常の改善を図ることが可能であることが示されている。

### 3 - 3) 咬合挙上後の顎運動に与える影響

では、顎運動にはどのような変化が認められるのか。前述したとおり、咬合高径の変化は筋の長さ変化に対する加速度も影響を与えるため、筋紡錘への情報入力自体が変化する。従って、下顎張反射を介して、中枢性に咀嚼運動や咬合力に変化を及ぼすことが類推され

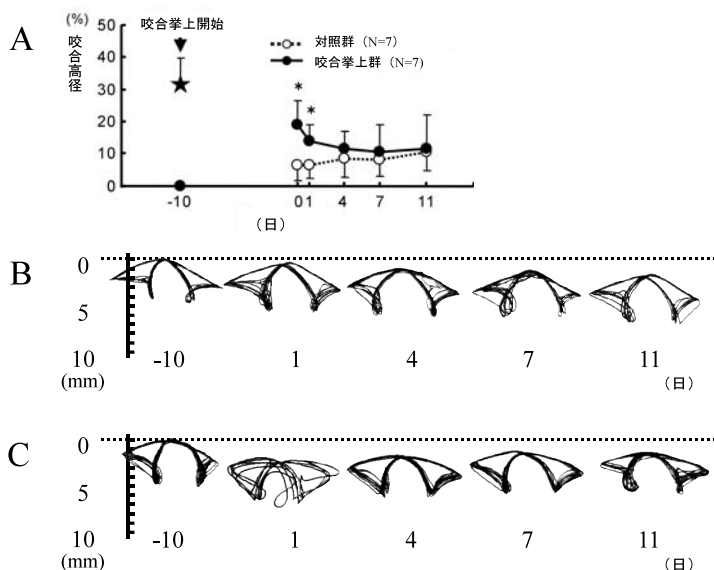


図6. 咬合高径の経時的変化と前頭面でみた咀嚼時の下顎運動の軌跡 (\* : 危険度5%で有意差有り)

Kanayama H et al. Archives of Oral Biol 2010;55:89-94より引用

#### 図の説明

A : 咬合高径の経時的変化 (-10日で咬合挙上装置を装着し、0日で装置撤去する。)

B : 対照群の下顎運動軌跡、水平の点線は装置装着前 (-10日) の最も上下顎が近づいている、仮想咬頭嵌合位を示す。

C : 咬合挙上群の下顎運動軌跡



る。咀嚼力調整のメカニズムについては、麻酔下のウサギを用いた実験から咀嚼する物の硬さや厚みに応じて無意識のうちに中枢性に調整されることが知られている<sup>50-52</sup>。また、三叉神経中脳路核を破壊するとその能力は低下する<sup>51,53</sup>。ウサギの歯を削除して咬合高径を低下させた急性実験では、歯根膜感覚を遮断した場合も含めて閉口筋活動は減衰することが知られている<sup>54</sup>。この結果は、咀嚼筋の長さが実験的に作られた咬合高径よりも長くなってしまい、咀嚼筋の長さ変化に対する加速度が落ちるため、筋紡錘の感度も低下したことが考えられる<sup>55</sup>。逆に、咬合挙上を行うと咀嚼筋が伸展された状態になるため、筋紡錘の感度は上昇し、咀嚼筋活動量も上昇することが期待される。しかし、この研究については未だ結論をみていない。

咀嚼力と同様に咀嚼運動についても、筋紡錘からの情報入力の変化により何らかの影響を認める可能性がある。そこで、咬合挙上後の顎運動軌跡に変化があるのか調べるために、金山らのグループにより3-1と同様の咬合挙上を行ったモルモットの下顎運動を調べられた<sup>56</sup>。その結果、1回咀嚼サイクル、最大開口位お

よび咀嚼運動軌跡は変化を認めず、最大開口量は咬合挙上装置を外した直後のみ実験群が小さいことが示されている。つまり、最大開口位は咬合挙上の影響を受けていない。(図6, 7) (なお、この研究資料は松本歯科大学生理学分野の増田裕次先生および大阪大学歯学部口腔解剖学第二教室の加藤隆史先生の許可を得て掲載するものである。) 咀嚼時の最大開口量が減少していた理由として、本来の咬合高径より高い状態に設定されていたために、顎顔面の成長が追いつかず、皮膚の粘弾性以上には開かないこと、開口量に応じて咬合力が変化することが知られていることから<sup>57-59</sup>、成長を上回る不適切な咬合高径は筋紡錘からの入力あるいは歯根膜からの入力の変調を検出して、生体防御の観点から、歯やその周囲組織が破壊的な影響を受けないように制御している可能性がある。また、咀嚼リズムや下顎運動そのものは中枢性のパターンジェネレーターに強く支配されていて<sup>60-63</sup>、咬合高径の変化に影響を受けないことを意味している。これらは、補綴治療や矯正治療で咬合の再構成を行う際に、咬合高径を変化させる場合には、単に下顎運動を調べるだけでは

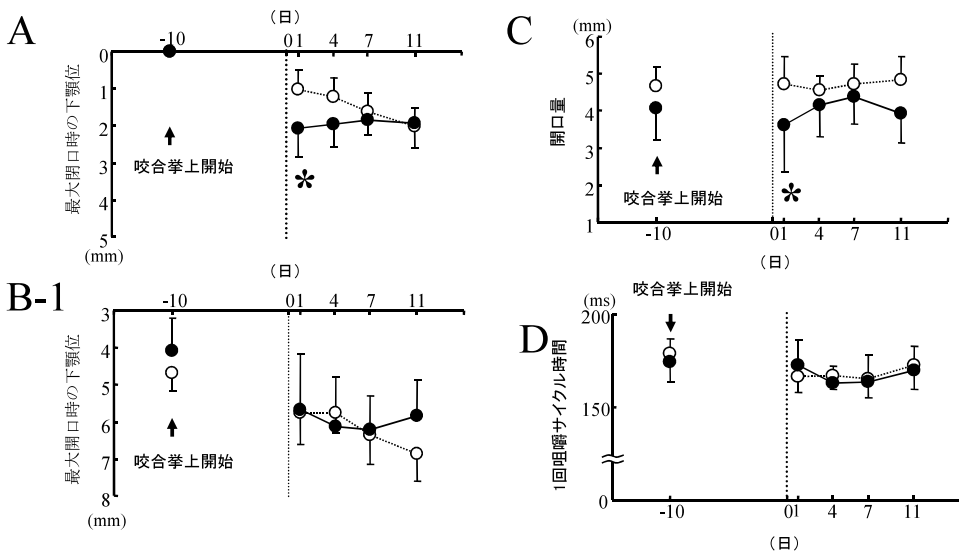


図7. (A): 最大閉口時の下顎位の経時的変化, (B): 最大開口時の下顎位, (C): 最大開口量と (D): 1回咀嚼サイクル時間 (\*: 危険度5%で有意差有り)

Kanayama H et al. Archives of Oral Biol 2010;55:89-94より引用

#### 図の説明

最大閉口時の下顎位と開口量は装置除去から1日間は対象群より有意に小さいが、その他は変化が無い事が分かる。

なく、咬合力や開口量についても調べる必要性があることを示唆しており、矯正治療で咬合挙上を組み込んだ際には咀嚼運動パターンそのものは影響を受けないことに留意すべきである。

#### 4. まとめ

これらの研究結果と日常臨床経験から、成長期においては、顎顔面の成長に起因する閉口筋長の延長により、新しく付与された咬合高径への適応が可能であることが示唆されるが、許容範囲を超えた延長量は、維持できずに顎顔面の形態や顎関節などへの負担を増やす可能性がある。また、成人期では、厳密に規定された一定の領域にのみ適応する中枢性機構が口顎を有する生物に存在する可能性が考えられる。実験対象としたモルモットは、無歯根であるために歯が萌出し続けるという特殊な能力を持っている。この動物の特性は、常にある一定の高さに咬合高径を維持し続けなければ、食事が摂取できなくなる可能性があるため、生存理由として、ヒトよりもより咬合高径の変化に対する感受性が高く、脳が活性化されやすい状態に常にいることが考えられる。

歯根膜の感覚がどの程度、咬合高径の維持に関与しているのかについては、咬合挙上モデル動物で歯根膜感覚を除去する適切な方法が未だ見つかっていないため、今後の検討課題となるであろうと思われるが、ヒトの歯がなぜ萌出し続けないで、ある一定の範囲でとどまるのか？咬合高径は無歯顎のヒトでもある一定の範囲で良好と感じるのかについては、今回の一連の研究から筋紡錘が関与している可能性が高いことが示唆された。咬合高径を低下させる研究も盛んではあるが、動物モデルとしては主に歯を抜くまたは咬合面削除という手技が中心で、ある一定期間低下させて、歯根膜感覚を除去し、その後回復させた場合の変化を見る実験は認められず、この点においても咬合高径を決定している因子について、まだまだ探求の余地が残っていると思われる。

#### 謝辞

すべての研究に携われ、研究指導をしていただきました大阪大学名誉教授の森本俊文教授および松本歯科大学生理学分野の増田裕次教授ならびに本論文に研究データを提供していただきました日本大学薬理学教室の小林真之先生と大阪大学歯学部口腔解剖学第二教室の加藤隆史先生に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1 Christensen, J. : Effect of occlusion-raising procedures on the chewing system. *Dent Pract Dent Rec* 20, 233-238, 1970
- 2 Costen, J. B. : A syndrome of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint. *Ann Otol Rhin Laryng* 43, 15, 1934
- 3 Lytle, R. B. : Vertical relation of occlusion by the patient's neuromuscular perception. *J Prosthet Dent* 14, 9, 1964
- 4 Timmer, L. H. : A reproducible method for determining the vertical dimension of occlusion. *J Prosthet Dent* 22, 621-630, 1969
- 5 Koka, S. : Vertical dimension of occlusion. *Int J Prosthodont* 20, 342, 2007
- 6 Proffit, W. R., Fields, H. W. : Chap 7, Orthodontic Treatment Planning, In *Contemporary orthodontics*. 3rd ed., Proffit, W. R., Fields, H. W. ition, 196-239, Mosby, St.Louis, 2007
- 7 高田健治：高田の歯科矯正の学び方；第20章永久歯列期の矯正歯科治療，初版，410-455，MEDIGIT，大阪，2010
- 8 中村公雄，多田純夫，藤井康伯，森田和子，宮前守寛，佐々木猛，重村 宏：現代の臨床補綴；第10章咬合 ，新版，250-253，クインテッセンス出版，東京，2006
- 9 Brill, N. Fujii,H., Stoltze, K., Tryde, G., Kato, H., Moller,E. : Dynamic and static recordings of the comfortable zone. *J Oral Rehabil* 5, 145-150, 1978
- 10 Fujii, H., Stoltze, K., Tryde, G., McMillan, D. R., Brill, N. : A comparative study of three different approaches to the comfortable zone. *J Oral Rehabil* 4, 125-130, 1977
- 11 McMillan, D. R. et al. : A new intra-oral screw jack. *J Oral Rehabil* 4, 119-124 , 1977
- 12 Tryde, G., Stoltze, K., Brill, N.: Horizontal stabilization of upper and lower borders of the comfortable zone. *J Oral Rehabil* 5, 9-13, 1978
- 13 Abekura, H., Tokuyama, H., Hamada, T., Morimoto, T. : Comfortable zone of the mandible evaluated by the constant stimuli method. *J Oral Rehabil* 23, 330-335 , 1996
- 14 Nakai, N., Abekura, H., Hamada, T., Morimoto, T. : Comparison of the most comfortable mandibular

- position with the intercuspal position using cephalometric analysis. *J Oral Rehabil* 25, 370-375, 1998
- 15 McNamara, J. A., Jr. : Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial region. *Am J Orthod* 64, 578-606, 1973
- 16 Rowe, T. K., Carlson, D. S. : The effect of bite-opening appliances on mandibular rotational growth and remodeling in the rhesus monkey (*Macaca mulatta*). *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98, 544-549, 1990
- 17 Ohnuki, Y., Kawai, N., Tanaka, E., Langenbach, GE., Tanne, K., Saeki, Y. : Effects of increased occlusal vertical dimension on daily activity and myosin heavy chain composition in rat jaw muscle. *Arch Oral Biol* 54, 783-789, 2009
- 18 Kawasaki, K., Saeki, Y., Ohnuki, Y. : Effect of an increase in occlusal vertical dimension on the rate of cyclic actin-myosin interaction in guinea-pig masseter muscle. *Arch Oral Biol* 42, 505-512, 1997
- 19 Holmstedt, J. O., McClugage, S. G., Jr., Clark, J. S. & Guevara, M. J. : Osteodentin formation in continuously erupting teeth of guinea pigs. *J Dent Res* 56, 1569-1576, 1977
- 20 Yagi, T., Morimoto, T., Hidaka, O., Iwata, K., Masuda, Y., Kobayashi, M., Takada, K. : Adjustment of the occlusal vertical dimension in the bite-raised guinea pig. *J Dent Res* 82, 127-130, 2003
- 21 Zhang, W., Kobayashi, M., Moritani, M., Dong, J., Yagi, T., Maeda, T., Morimoto, T. : An involvement of trigeminal mesencephalic neurons in regulation of occlusal vertical dimension in the guinea pig. *J Dent Res* 82, 565-569, 2003
- 22 Misch, C. E. : 第28章インプラント補綴に対する上顎の義歯と咬合への配慮 ; インプラント補綴 (Dental Implant Prosthetics), 初版, 総監訳 前田芳信, 600-619, 永末書店, 京都, 2007
- 23 Dawson, P. E.: Chap 5, Vertical dimension, In Evaluation, diagnosis, and treatment of occlusal problems. 2nd ed, 56-71, Mosby, St Louis, 1989
- 24 Niswonger, M. E. : The rest position of the mandible and centric relation. *J Am Dent Assoc* 21, 10, 1934
- 25 Mc Gee, G. : Use of facial measurements in determining vertical dimension. *J Am Dent Assoc* 35, 342-350, 1947
- 26 Misch, C. E. : Clinical indications for altering vertical dimension of occlusion. Objective vs subjective methods for determining vertical dimension of occlusion. *Quintessence Int* 31, 280-282, 2000
- 27 Pound, E. : Let /S/ be your guide. *J Prosthet Dent* 38, 482-489, 1977
- 28 Silverman, M. M. : Accurate measurement of vertical dimension by phonetics and the speaking centric space: Part two. *Dent Dig* 57, 308-311, 1951
- 29 Hanada, K. : A study on growth and development of the dentofacial complex of the living rat by means of longitudinal roentgenographic cephalometrics.. *J. Jpn. Stomatol. Soc.* 34, 18-74 , 1967
- 30 Engstrom, C., Jennings, J., Lundy, M., Baylink, D. J. : Effect of bone matrix-derived growth factors on skull and tibia in the growing rat. *J Oral Pathol* 17, 334-340, 1988
- 31 Byrd, K. E., Luschei, E. S. : Cerebellar ablation and mastication in the guinea pig (*Cavia porcellus*). *Brain Res* 197, 577-581, 1980
- 32 Byrd, K. E. Mandibular movement and muscle activity during mastication in the guinea pig (*Cavia porcellus*). *J Morphol* 170, 147-169, 1981
- 33 森本俊文: 咬合高径の生理的意義. *松本歯学* 30, 117-128, 2004
- 34 Toro, A., Buschang, P. H., Throckmorton, G., Roldan, S. : Masticatory performance in children and adolescents with Class I and II malocclusions. *Eur J Orthod* 28, 112-119, 2006
- 35 Takada, K., Miyawaki, S., Tatsuta, M. : The Effects of Food Consistency on Jaw Movement and Posterior Temporalis and Inferior Orbicularis Oris Muscle Activities during Chewing in Children. *Archives of Oral Biology* 39, 793-805 , 1994
- 36 Takada, K., Yashiro, K., Sorihashi, Y., Morimoto, T., Sakuda, M. : Tongue, jaw, and lip muscle activity and jaw movement during experimental chewing efforts in man. *Journal of Dental Research* 75, 1598-1606, 1996
- 37 Motrimoto, T., Takada, K. in *Neurophysiology of Ingestion* Vol. 6, DA Booth Ed, 79-97, Pergamon Studies in Neuroscience, Oxford, New York, Seoul, Tokyo, 1993
- 38 中村嘉男: 咀嚼運動の生理学 ; 第12章咀嚼運動の末梢性調節, 初版, 136-170, 医歯薬出版, 東京, 1998

- 39 伊藤文雄：筋感覚 - 骨格筋からのメッセージ - ；第3章筋紡錘の応答と第4章筋紡錘の感度調節，40-80，名古屋大学出版会，名古屋，1994
- 40 Inoue, H., Morimoto, T., Kawamura, Y. : Response characteristics and classification of muscle spindles of the masseter muscle in the cat. *Exp Neurol* 74, 548-560, 1981
- 41 Nozaki, S., Iriki, A., Nakamura, Y. : Trigeminal mesencephalic neurons innervating functionally identified muscle spindles and involved in the monosynaptic stretch reflex of the lateral pterygoid muscle of the guinea pig. *J Comp Neurol* 236, 106-120, 1985
- 42 Szentagothai, J. : Anatomical considerations on monosynaptic reflex arcs. *J Neurophysiol* 11, 445-454, 1948
- 43 Appenteng, K., Conyers, L., Moore, J. A. : The monosynaptic excitatory connections of single trigeminal interneurons to the V motor nucleus of the rat. *J Physiol* 417, 91-104, 1989
- 44 Hosokawa, H. : Proprioceptive innervation of striated muscles in the territory of cranial nerves. *Tex Rep Biol Med* 19, 405-464, 1961
- 45 Kubota, K., Masegi, T. : Muscle spindle distribution in snout musculature of the Japanese shrew-mole. *Anat Rec* 172, 703-709, 1972
- 46 Kubota, K., Masegi, T. : Muscle spindle supply to the human jaw muscle. *J Dent Res* 56, 901-909, 1977
- 47 Odagiri, N., Kubota, K., Shibani, S. : Density of muscle spindles in the jaw muscles of the Japanese flying squirrel and the guinea pig. *Ann Anat* 175, 263-270, 1993
- 48 Nomura, S., Mizuno, N. : Differential distribution of cell bodies and central axons of mesencephalic trigeminal nucleus neurons supplying the jaw-closing muscles and periodontal tissue: a transganglionic tracer study in the cat. *Brain Res* 359, 311-319, 1985
- 49 Jerge, C. R. : Organization and function of the trigeminal mesencephalic nucleus. *J Neurophysiol* 26, 379-392, 1963
- 50 Morimoto, T., Inoue, T., Masuda, Y., Nagashima, T. : Sensory components facilitating jaw-closing muscle activities in the rabbit. *Exp Brain Res* 76, 424-440, 1989
- 51 Komuro, A., Morimoto, T., Iwata, K., Inoue, T., Masuda, Y., Kato, T., Hidaka, O. : Putative feed-forward control of jaw-closing muscle activity during rhythmic jaw movements in the anesthetized rabbit. *J Neurophysiol* 86, 2834-2844, 2001
- 52 Hidaka, O., Morimoto, T., Masuda, Y., Kato, T., Matsuo, R., Inoue, T., Kobayashi, M., Takada, K. : Regulation of masticatory force during cortically induced rhythmic jaw movements in the anesthetized rabbit. *J Neurophysiol* 77, 3168-3179, 1997
- 53 Masuda, Y., Tachibana, Y., Inoue, T., Iwata, K., Morimoto, T. : Influence of oro-facial sensory input on the output of the cortical masticatory area in the anesthetized rabbit. *Exp Brain Res* 146, 2002
- 54 Morimoto, T., Nakamura, O., Masuda, Y. : Effects of reducing the tooth height on jaw-closing muscle activity, bite force and muscle spindle discharges during mastication in the rabbit. In *Alpha and Gamma Motor Systems*, 1st ed., A. Taylor, M.H. Gladden, R. Durbaba Ed., 409-411, Plenum, 1995
- 55 森本俊文：咀嚼運動からみた咬合高径の生理学，東北矯正歯科学会雑誌，16，53-59，2008
- 56 Kanayama, H., Masuda, Y., Adachi, T., Arai, Y., Morimoto, T. : Temporal alteration of chewing jaw movements after a reversible bite-raising in guinea pigs. *Arch Oral Biol*, 55, 89-94, 2010
- 57 Lindauer, S. J., Gay, T., Rendell, J. : Effect of jaw opening on masticatory muscle EMG-force characteristics. *J Dent Res* 72, 51-55, 1993
- 58 Morimoto, T., Abekura, H., Tokuyama, H., Hamada, T. : Alteration in the bite force and EMG activity with changes in the vertical dimension of edentulous subjects. *J Oral Rehabil* 23, 336-341, 1996
- 59 Mackenna, B. R., Turker, K. S. : Jaw separation and maximum incising force. *J Prosthet Dent* 49, 726-730, 1983
- 60 Lund, J. P., Kolta, A. : Generation of the central masticatory pattern and its modification by sensory feedback. *Dysphagia* 21, 167-174, 2006
- 61 Lund, J. P., Kolta, A. : Brainstem circuits that control mastication: do they have anything to say during speech? *J Commun Disord* 39, 381-390, 2006
- 62 Lund, J. P., Kolta, A., Westberg, K. G., Scott, G. : Brainstem mechanisms underlying feeding behaviors. *Curr Opin Neurobiol* 8, 718-724, 1998
- 63 Nakamura, Y., Katakura, N. : Generation of masticatory rhythm in the brainstem. *Neurosci Res* 23, 1-19, 1995