咀嚼運動から捉えた咬合面形態

筒井昌秀^{1,2}・筒井照子²

¹九州歯科大学歯科補綴学第2講座（指導：内田康也教授）

²筒井歯科医院（院長：筒井昌秀）

平成12年12月25日受理

Occlusal Morphology Viewed from Chewing Movements

Masahide Tsutsui^{1,2} and Teruko Tsutsui²

¹Second Department of Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Yasunari Uchida)

²Tsutsui Dental Office (Director: Masahide Tsutsui)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

Chewing movements were analyzed using mandibular movement analyzers; Gnathohexagraph with some modifications and Syrognathograph, in order to restore appropriate occlusal morphology for chewing movements.

In addition to the analysis of subjects with typical chewing patterns, effects of occlusal morphology on chewing movements were studied by making occlusal adjustments, creating occlusal interferences, etc.

The results showed that there were two types of chewing movements, chopping type and grinding type, and that the latter consists of two subtypes, one with inadequate guidance and the other with no guidance.

The mandible was found to move backward and downward upon opening in chewing movements unlike border movements, resulting in occlusal interferences in the areas regarded as interference-free in traditional occlusion theories. The study also demonstrated that ICP was reached with a time lag between the right and left side rather than simultaneously on both sides. The study thus provided detailed information on chewing movements.

The results obtained in this study differed in several aspects from the existing occlusion concepts based on the observations and measurements made on mounted models, which may be attributable to the failure of articulators to accurately reproduce movements of the living system.

Key words: Occlusion / Functional occlusion / Chewing movements / Morphology of occlusal table / Electro gnathanalyzer

緒 言

咬合に関する問題は歯科界で最も基本的な問題である。過去において、数多くの咬合論が述べられ臨床応用

されたが、理論通りにできる症例とできない症例を経験してきている。また、顎関節症あるいはtemporo mandibular disorder（以下TMDと略す）が咬合に関係しているか否かについてはいまだに論議されているが、矯

正治療を受けたのちに TMD 症状が多いという統計学的研究が報告されていたり¹⁾、一方では、咬合と全身機能とのかかわりが多くの臨床家の関心事であり、数多くの症例の TMD 症状が咬合の治療を行うことでおさまリ、全身機能がよみがえっていくという報告もある²⁾。

TMD には種々の原因が考えられるが、従来の咬合論の中で対応しきれない生体としての別の見方が不足していたからであろうと考えられる。

そのひとつは、従来の咬合論が生体を咬合器に移し変え、centric relation (CR) と inter cuspal position (ICP) との関係と限界運動路の分析を中心に考えてきたことにある³⁾と考えられる。一般に咀嚼運動路は限界運動路とは異なり、後者が ICP を起点として歯牙面を前、側方(詳細に言えば後方要素を含む)へ滑走するのに対して、咀嚼運動路は後、側方、下方へ動き、閉口時には下、側方、後方から ICP へ復位する。生体が日常生活の中で限界運動をするのはブラキシズムのグライディングの時などに限られている。したがって、咬合器を複雑にして下顎運動路を追いかけても、それは下顎運動の一部分を再現しているだけにすぎない。限界運動は今までに数多く研究されてきたが⁴⁾、時間差を含めた咀嚼運動の解明はいまだほとんどなされていないのが現状である。また、咀嚼、嚥下、発語の機能運動の中でも咀嚼運動は咬合面形態との関連性が大きい。咬合を再構成する場合、下顎の機能運動路が不明であれば生体的に調和した咬合面形態を回復することはできない。

そこで、本研究では、円滑な咀嚼運動をするためにどのような咬合面形態がよいのか、あるいは人為的に咬合面に干渉を与えた時、どのように咀嚼運動や顎頭の動きが変化するかを下顎運動解析機器(シロナソグラフと、改良を加えたナソヘキサグラフ)を用いて検討した^{5,6)}。

研究方法

1. 使用機器

下顎運動解析にはナソヘキサグラフ(Gnathohexagraph, GHG, ジーシー, 小野測器)とシロナソグラフ(Sirognathograph, SGG, カノープス, シーメンス)を使用した。

GHG は、フランクフルト平面を基準面として、下顎前歯のクラッチを利用して装着したフェイス・ボウの3つの LED (発光ダイオード) の動きを2台の CCD カメラで計測する。その LED に対する任意点(基本的には下顎中切歯間切縁、下顎左右第一大臼歯(以後 6|6)の中心窩および顎頭の上縁)の座標を入力することによ

図1 ナソヘキサグラフ (GHG)。

FH 平面を基準面とする。ヘッドフレームの LED とオルビタ・ポリオン・顎頭、及び下顎フェイス・ボウの LED と下顎中切歯、6|6 の位置を CCD カメラに読み取らせる。

り、下顎を剛体としてとらえ、その任意点の動きを再現している(図1)。このことにより3次元6自由度(X・Y・Z 軸の各方向への並進運動と各軸回りの回転運動)の運動をとらえることができる。したがって、下顎骨の立体的な動きが時間差(作業側と非作業側、あるいは咬合面との顎頭の動きの時間差など)を含めてデータとしてとらえられる。

従来の GHG のソフトは基準表示(前頭面、水平面、矢状面の3平面にスピード)と立体表示(基本的には両顎頭、下顎前歯、6|6 が等倍の位置で各々の動きが動画として表現できる)であった。立体表示は画期的ではあるが、従来のソフトでは何回かの咀嚼運動路をまとめて表現するだけであった。また、顎頭の動きが小さく、1サイクルごとの動きが正確にとらえられなかった。本研究では、第一の改良点として、個別のサイクル標記ができるソフトを考案、作製し個々人の機能運動時の顎頭の動きをサイクルごとに明示できるようにした。第二の改良点は、ICP、すなわち咀嚼のスタート位置の基準設定を加えることにより、ICP に相当する顎頭安定位置 stable condylar position (以下 SCP と略す)を明確にした。以上の改良により、顎頭の1つずつのサイクルの形、位置、動きの方向を観察することが可能になった。

SGG は下顎切歯部に付着したマグネットの動きを磁気センサーが検出し、下顎切歯の動きを3次元的(X・Y

・Z軸）に記録する機器である。

構造上異なる2つの機械を使って同じ症例を検討して、ほぼ同じチューニングサイクルを示したので咀嚼運動の臨床検査機器としてGHGを中心に使用した。GHGの精度は ± 0.15 mmである。

顎頭点の設定の誤差については、実際の顎頭の上縁を、皮膚の上から正確に触診し、可及的に同一の点を選択した。GHGでは、「近傍」のソフトによってその誤差を解消した。

II. 被験者

改良したGHGを用い、過去3年間に当歯科医院で顎機能検査を行った50名の患者の中で、咀嚼運動路が典型的な4名を被験者とした。

III. 実験方法

まず、GHGおよびSGGを使用し、全症例にガム（フリーゾーン：ロッテ）を無意識咀嚼、右咀嚼、左咀嚼させた時の咀嚼運動路について検討を行った。従来、咀嚼運動路は欧米人に多いチョッピングタイプ、日本人に多いグラインディングタイプの2種類があるとされていた。そこで、グラインディングタイプでは患者の理解を得たのちに、歯に種々の干渉を実験的に与えた修復物を接着し、その後の咀嚼運動の変化について検討した。また、病的に咬合面が咬耗したタイプでは咬合面の形態を再修復し、その後の咀嚼運動の変化について検討した。さらに、硬、軟性食品の咀嚼時の咀嚼運動も検討した。

結 果

I. 咀嚼運動のパターン

機能運動路は大きく基本的に4種類に分類された。

A. チョッピングタイプ（症例1：図2、3）

42歳女性でクレンチングタイプのTMD症状を訴えていた患者の治療後である。咀嚼運動は開閉口路とも作業側のみでサイクル運動し、グラインディングタイプに比べるとチューニングサイクルの幅が狭い。

B. グラインディングタイプ

咀嚼運動は開口時に一旦非作業側に開口し、ターニングポイントで作業側にまわり、後側方よりICPに入る。チューニングサイクルはチョッピングタイプに比較すると、幅が広い。

1. ガイドが適正なタイプ（症例2：図4）

28歳の女性で上顎左右犬歯が欠損しているが、TMD症状は認められない。ICPを伝わる部分が少し多いが、ほぼ正常に近いグラインディングタイプである。

2. ガイドの不足のタイプ（症例3：図5～8）

チョッピングタイプ（症例1）

図2 左咬み時の下顎前歯基準表示（GHG）。

ICPからの前、側方と最大開口時の限界運動路と咀嚼運動路を重ね合わせた。左上が水平面、左下が前頭面、右上が速度、右下が矢状面である。ほぼ正常なチョッピングタイプのチューニングサイクルをしている。

図3 同、サイクル個別（GHG）。

前頭面（両顎頭、6|6、下顎前歯）、右：作業側、左：非作業側。顎頭の動きは、従来言われているような前頭面で作業側が縦長いサイクル運動、非作業側が細長い前後運動をしている。

グラインディングタイプ（症例2）

図4 右咬み時の下顎前歯基準表示（GHG）。

ICPを伝わる部分が多いが、ほぼ正常に近いグラインディングタイプである。咬耗が進むとガイドの不足になるタイプである。

図 5 下顎模型の横断面。
ガイドの不足のグライディングタイプ (症例 3)
下顎の臼歯部は A 斜面より C 斜面の方が角度が強く咬耗している。これは作業側と非作業側の動きの時間差のためであると解釈している。

図 6 同。左咬み時の下顎前歯基準表示 (GHG)。
少しリシェイピングした後に GHG の資料をとったため、SGG と違ってワイドな chewing pattern が少し収束されている。

56 歳の男性で、主訴は左上臼歯部の咬耗による知覚過敏である。少しリシェイピングした後に GHG の資料をとったため、SGG と違ってワイドな chewing pattern が少し収束されている。個別のサイクルも幅が狭くなっているが、顎頭の動きは症例 1 のようなきれいな動きではない。

3. ガイドの欠如のタイプ (症例 4: 図 9~11)

45 歳の男性でブラキシズムがあり、朝、起床時に顎、口腔周囲筋、首、肩、後頭部にこり、疲れを訴えた。ICP で横に大きくすり切れて食べるガイドが欠如しているグライディングタイプである。サイクル個別を見ると、逆三角形型のチューイングサイクルをしていた。同じく個別サイクルでは作業側顎頭の動きが大きく、ICP 近く

図 7 同。サイクル個別 (SGG)。
ワイドなガイドの不足の horizontal chewing. 1 点で ICP に入る斜め卵型である。

図 8 同。サイクル個別 (GHG)。
SGG よりもサイクルの幅が狭くなっている。顎頭の動きは症例 1 のようにきれいなサイクルの動きではない。

の動きが、下顎前歯、下顎左右第一大臼歯の作業側、非作業側で異なっていた。

グライディングタイプには 2 種類がある。図 7, 8, 11 のようにサイクル個別で抜き出すとチューイングサイクルの幅は広くてもガイドの不足のように 1 点で ICP に入るタイプ、すなわち斜め卵型とガイドの欠如のように ICP で側方に大きくすり切れて咀嚼するタイプ、すなわち逆三角形型が存在する。

図 12~14 は 3 種類の前頭面でのチューイングパターンと ICP を起点として歯牙面で滑走する限界運動路、6 | 6 の模型横断面の関係を示している。咬合面に伝わる形はあきらかに異なっている。チョッピングタイプでは咀嚼運動は作業側のみでサイクル運動し、サイクルの

ガイドの欠如のグラインディングタイプ（症例4）
図9 下顎模型の横断面。
フラットに咬耗している。

図12 チョッピングタイプ（症例1）。
咀嚼運動は作業側のみでサイクル運動する。サイクルの幅は狭く、従って歯牙を咬耗させる量は少ない。

図10 同。左咬み時の下顎前歯基準標示（GHG）。
ICPで横に大きくすり切って食べる。ガイドが欠如している grinding type である。

図13 ガイドの不足のグラインディングタイプ（症例3）。
一旦非作業側に開口し、作業側よりICPに入ってくる。前者に比して歯牙を咬耗させやすく、干渉を拾いやすい。

図11 同。サイクル個別（GHG）。
作業側顎頭の動きが大きい。ICP近くの動きが、下顎前歯、6|6、作業側、非作業側で異なっている。

図14 ガイドの欠如のグラインディングタイプ（症例4）。
羊などの草食動物と同じように、ほとんど横に動いて食物をすり切っていくタイプ。咬耗しやすい。

チョッピングタイプ (症例1)
図15 咬合面上の実際の運動路。
模型とGHGの角度を同じにして組み合わせた図。

幅は狭くなっていた。従って歯を咬耗させる量は少ない。グライディングタイプでは一旦非作業側に開口し、作業側よりICPに入ってくる。チョッピングタイプに比して歯を咬耗させやすく、干渉を拾いやすい。ガイドの欠如したグライディングタイプでは羊などの草食動物と同じように、ほとんど横に動いて食物をすり切り、咬耗しやすい。

II. 咀嚼運動路と限界運動路の関係

図15は、症例1の上顎の模型にほぼ同じ角度の立体表示を組み合わせた図でICPを起点とした歯牙滑走時の側方と前方の限界運動、最大開口、咀嚼運動路と咬頭の関係を示している。限界運動は前下方と側下方にあるが、咀嚼運動は後側下方である。

図16～18は、グライディングタイプである症例2の下顎前歯部正中と6|6の頬・舌側咬頭および左右顎頭の限界運動と機能運動を重ね合わせた図である。

咬合面の限界運動と咀嚼運動は前頭面で見ると同じエリアを通過しているように見えるが、水平面、矢状面で見ると前方と後方の運動軌跡が逆のエリアであることが分かる。

限界運動路では、下顎前歯部ではほぼ左右対称性であるけれども、前頭面での臼歯部の角度は内側の方が急で外側がゆるやかで、水平面で内側が前方、外側が側方であり、左右対称ではない。

III. 咀嚼運動の作業側、非作業側の時間差について

図19～22は、2種類のグライディングタイプ (症例3, 4) の咀嚼時の6|6と左右顎頭の動きを、作業側、非作業側で時間で追った図である。開閉口路ともに、作業側顎頭が先に動き、続いて作業側下顎第一大臼歯、非作

図16 GHGでグライディングタイプ (症例2) の限界運動と咀嚼運動を重ね合わせた図。
前頭面、右咬み。下顎前歯と6|6の頬、舌側咬頭及び両顎頭の動きである。

図17 同。水平面。
歯牙滑走時の限界運動は前方と側方であるが、咀嚼運動は後サイクルである。作業側、非作業側での咀嚼運動路の違いが分かる。

図18 同。矢状面。
わずかに回転させている。咀嚼時の作業側顎頭は、この症例では後方成分のあるサイクル運動をしている。

グラインディングタイプ：ガイドの不足（症例3）

図19 GHGの前頭面の動きの時間差、開口。
6 | 6, 両顎頭の作業側, 非作業側を「6 作業側で ICP, 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm...と咀嚼したときの非作業側6」と両顎頭の位置を追った図である。顎頭は拡大している。

グラインディングタイプ：ガイドの欠如（症例4）

図21 同、開口。
症例3も同じであるが、顎頭は複雑な動きをしており、従来いわれているようないつもきれいなサイクルはしていない。

図20 同、閉口。
開閉口路ともに作業側顎頭が先に動き、作業側「6, 非作業側6」, 非作業側顎頭と続く。この作業側と非作業側の差が咬合面形態に関係する。

図22 同、閉口。
動きの順番は症例3と同じである。

表1 作業側「6」と非作業側「6」の垂直的距離の差。

「6」	開口			閉口		
	Grinding type		Chopping type	Grinding type		Chopping type
	症例3	症例4	症例1	症例3	症例4	症例1
ICP	0.06	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02
0.5 mm	0.12	0.35	0.08	0.40	0.57	0.35
1	0.27	0.57	0.14	0.71	0.99	0.74
2	0.23	0.82	0.44	1.04	1.10	0.99
3	0.02	0.95	0.64	1.17	1.20	1.20

グラインドタイプ：ガイドの不足（症例3）

図23 閉口時の前頭面図のA斜面とC斜面の計測。
P3（6舌側咬頭）がICPより1.05mm下方のときのP2（6頬側咬頭）とP1（6頬側咬頭）の前頭面での位置を示す（6作業側，6非作業側）。頬側咬頭の咀嚼運動路の方が、舌側咬頭よりも水平成分が多い。この作業側，非作業側の時間差と水平・垂直成分の違いが図5のA斜面とC斜面の咬耗の角度の違いになる。

業側下顎第一大臼歯，非作業側顆頭と続く。ターニングポイントでは両側がほぼ同時になっている。

表1はグラインディングタイプ（症例3と4）とチョッピングタイプ（症例1）の開閉口時の作業側と非作業側の垂直的な距離の差を示している。どのタイプにおいても，作業側の方が先に動き，非作業側の方が遅れている。

図23は，症例3の6作業側の舌側咬頭頂が，ICPより1.05mm下方にある時の6頬側咬頭頂と6非作業側頬側の咬頭頂のチューイングサイクル上の位置を示している。この位置よりICPまでの角度は各々図のようになり，作業側頬側咬頭の方が先にICPに入り，遅れて舌側咬頭，非作業側となる。

IV. 軟性食品と硬性食品

図24，25は，グラインディングタイプの人咀嚼したときのSGGである。スルメを右がみ咀嚼した時，大きくワイドにチューイングしている。一方，豆腐を食べた時には，あまり筋肉を使わずに縦に軽くかむため，テーブルの中の小さな隆線に関係している。図26はその時の模式図を示している。

V. チューイングサイクルの収束について

図27～36は，症例3の咬耗した臼歯部を基礎的治療としてリシェイピングし，その後確定的治療として一部金属にて歯冠修復を行った時のチューイングサイクルおよび顆頭の動きの変化である。限界運動路を大きく伝

グラインディングタイプ（症例2）

図24 スルメを咀嚼した時のSGG。
右がみ，大きくワイドにチューイングしている。

図25 豆腐を食べた時のSGG（症例2）。
あまり筋肉を使わずに縦に軽くかむため，テーブルの中の小さな隆線に関係する。

図26 チューイングサイクルの違いの前頭面での模式図。
両方のサイクルを受け入れるための上下頬側咬頭の内，外斜面の間に三角形の空間が必要である。

図27 症例3の咬合面形態を修復させて行った図。上顎左側。初診。咬耗している。

図30 同。下顎左側。初診。山型に咬耗している。

図28 同。確定的治療終了後。
|7の近心舌側咬頭は初診後破折しており、その後確定的治療としてインレーに置き換えて形態を整えている。

図31 同。確定的治療後。
インレーにて歯冠修復を行った。軽い力で食物が噛み切れることが大事である。

図29 同。左咬み時の基準表示 (SGG)。初診。
初診時は開閉口ともに限界運動路を大きく伝わっている。グラインドして歯牙が咬耗していくことを表している。

図32 同。歯冠修復後。
ほとんど限界運動路を伝わらなくてICPに入っている。歯牙を咬耗させる度合いが少なくなったのは確かであろう。水平面で見たのが一番よくわかる。

図33 同。初診時の両顎頭のサイクル個別 (GHG)。作業側左顎頭は、SCPが安定せず、ICPのラインより下方で、サイクルも前後的にバラついている。右側の非作業側は前方へ往復運動をしているが形が安定していない。

図35 咬合の収束後のチューイングパターンの変化。前頭面。食物を剪断するとき下顎は上顎頬側咬頭をガイドにして側方より入ってくるため、広くてフラットなテーブルだとワイドで水平的なチューイングパターンになる (horizontal chewing)。

図34 同。歯冠修復後。作業側左顎頭はSCPが安定してきており、形は一定ではないが初診時よりはバラつきの少ないサイクル運動になっている。右側は前下方への安定した往復運動になっている。

図36 同。テーブルを小さくし咬頭を垂直化すれば、チューイングパターンは垂直化し、軌跡が狭まってくる (vertical chewing)。

わって側方から幅広くチューイングしていたものが、咬耗して広がったテーブルを元に戻し、グループをつけ、咬頭、裂溝を形作ることで、後側方より限界運動路を伝わらなくてICPに入るようになっている。また、治療前の顎頭はSCPが安定せず形も不規則であったが、治療後はSCPも安定し、形も一定してきている。

VI. 下顎運動時の干渉について

干渉には限界運動と機能運動時のものがあるが、人為的に干渉を与えた時の運動路の変化を検討した。

グラインディングタイプのほぼ標準的である症例2 (図4) の咬合面にアンレーを接着させ、種々の干渉およびガイドの欠如を与えた。

A. 閉口時の非作業側干渉と後方の干渉

6の舌側咬頭の内(B)斜面(図37)にアンレーを接着し、右噛みさせた時、閉口時の非作業側干渉と後方の干渉ができるようにした(図38~40)。被験者は左で噛めないため右噛みするが、装着した日より3、4日間右側のTMJの熱感、肩の重さ、痛み、側頭筋の痛みおよびだるさを訴えていた。5日目より左の首の筋がはって首がまわせないなどはあるけれども、筋肉の症状は1週間くらいで治まった。その後、6に打診痛が出たりした。左噛みすると乾燥したごはんを噛んでいる感じがするなどを訴えていたが、10日位でそれらの症状は消失した。この時の下顎運動の変化をGHGで検討した(図41)。アンレー装着後、右噛み時に閉口路でアンレーの限界運動路を伝わっているのが分かる。前頭面で(図42)干渉を

図 37 右側咀嚼時の下顎運動経路。

AB: A 斜面, BC: B 斜面, CD: C 斜面 (Shore NA 著, 丸山剛郎他訳の「顎関節機能異常と咬合治療」より引用改変)。従来は A, C 斜面で同時に剪断されると考えられていた。

図 40 同. アンレー接着後の $\frac{6}{6}$ の横断面（後方よりの図）。
6 の B 斜面を高くして、閉口時非作業側干渉を与えた。

図 38 症例 2.

6 舌側咬頭 B 斜面にアンレーを接着し、右咀嚼時の閉口時の非作業側干渉と後方の干渉を与えた。

図 41 同. 接着後の右噛み時の下顎前歯基準標示 (GHG).
閉口時の非作業側干渉と後方の干渉が来たチューニングサイクル。側方の干渉は前頭面で表現され、後方の干渉は水平面で表現されている。

図 39 同. アンレー接着前の $\frac{6}{6}$ の横断面（後方よりの図）。

図 42 同. 接着後の GHG と模型横断面を重ね合わせた図。
前頭面、後方よりの図。図 16 が同症例の干渉を与える前、6 の左側の限界運動がアンレーのためにガイドが強くなっている。何もしていない 6 の内側への限界運動路も同様に変化している。右がみで閉口時に限界運動路を伝って ICP に入っている。

図 43 同、接着後の水平面。

図 17 が干渉与える前の正常像である。閉口時に左側で一度前方に出てから ICP に入ってくる。開口時も一旦前方に出て閉口するのが興味深い。後方の干渉は限界運動路は変化しない。

図 46 症例 2.

6 の C 斜面をたちあげて、6 の C 斜面を抱え込んだアンレーを接着した。ICP は変わらない。

図 44 同、アンレー接着前の顎頭のサイクル個別。

右がみ (GHG)。作業側は後方へのサイクル運動、非作業側は前下方へ往復運動している。両側とも無駄のないほど安定したきれいな動きをしている。

図 47 同、接着後の右咬み時の下顎前歯基準標示 (GHG)。開口時の非作業側干渉。グライディングタイプのため右がみ時左に開口したいのだが、6 で干渉となりできないためリバースとなって開口する。

図 45 同、アンレー接着後の顎頭のサイクル個別。

右がみ (GHG)。きれいだったサイクル運動が乱れている。非作業側は SCP からの運動ではない。筋肉に負担がかかるであろうことは十分に納得できる。

図 48 同、接着後の左がみ時の下顎前歯基準標示 (GHG)。閉口時ガイドの過剰。閉口時に C 斜面を伝ってガイドの過剰になるのはわかるが、閉口に干渉がでると閉口もきれいなサイクルが出ていない。

図49 同、アンレー接着前の下顎前歯サイクル個別。
右がみ（GHG）、きれいなサイクル運動をしている。

図51 同 アンレー接着前の下顎前歯サイクル個別。
左がみ（GHG）、きれいなサイクル運動をしている

図50 同、接着後の下顎前歯サイクル個別。
右がみ（GHG）、開口時、「6」のアンレーが「6」のC斜面にぶつかるため、非作業側に開口できなくて開口時リバースになる。

図52 同、接着後の下顎前歯サイクル個別。
左がみ（GHG）、開口時に形が乱れる（ガイドの過剰）と開口もストレートにあいている。

つけている左側の内方への限界運動路の角度が強くなっているが、咬合面形態を変えていない右側も同じく角度が変わっている。

図43の水平面は後方の干渉を表す（図17が同症例の装着前の水平面）。後方に干渉をつけても限界運動路は変わらなかった。被験者は咀嚼の障害や筋肉痛などのTMD症状を訴えているが、後方の干渉は咬合器診断だけでは違いが出ないため異常なしと診断される可能性がある。機能運動路は「6」で干渉を避けて前方よりICPに入るのは理解できるが、開口時も一度前方に開口している。

図44、45は顎頭の機能運動路である。術前の正常時に比して干渉を与えた後は明らかにサイクルが乱れ、SCPも安定せず余分の動きをしていることが分かる。

B. 開口時の非作業側干渉、閉口時作業側C斜面の抱

え込み

「6」の舌側咬頭を高くして、上顎の舌側咬頭外斜面を抱え込んだアンレーを接着した（図46）。被験者は、接着直後より左腰、首筋のはった感じと左TMJの熱感を訴えた。右噛みすると開口しにくいので左噛みをしたが、ゆっくり噛むのでひどい疲労を訴え、1週間経っても慣れなかった。

下顎のC斜面をたちあげて上顎のC斜面を抱え込むと、開口時の非作業側でリバースのチューイングになり、閉口時の作業側でガイドの過剰になり窮屈な咬合になった（図47、48）。

図49、50はアンレー接着前と接着後の右噛みの下顎前歯の個別サイクルである。術前のきれいなサイクルに比して、術後の開口時は非作業側に動かなく、リバースがでている。開口時の非作業側では、水平成分が強く開

図53 アンレー接着前（後方よりの図）。
左がみ $\frac{6}{6}$ の模型横断面と限界運動と咀嚼動能の関係を示す。

図54 同。アンレー接着後（後方よりの図）。
 $\frac{6}{6}$ でのガイドの過剰と限界運動と咀嚼運動の関係がわかる。

図55 症例2。
56の頬側のテーブルを大きくしクロスバイトにした。

図56 同。接着後の左がみ。下顎前歯基準標示（GHG）。
ICPが不安定になり、チューニングサイクルも不規則になり、
バラバラと方向性を見失っている状態である。

図57 同。接着直後の下顎前歯サイクル個別。左がみ（GHG）。
種々のサイクルの形が出て、不規則である。

図58 同。接着より1週間の下顎前歯サイクル個別。左がみ（GHG）。
開口時のガイドの過剰は残っているが、サイクルのバラつきが
少なくなっている。筋肉などによって元に戻り、慣れてきたも
のと思う。

口するため (図 19, 21), C 斜面の立ち上がりは干渉を引き起こす。図 51~54 は同じ患者の左噛みである。閉口時, 下顎 C 斜面の立ち上がりは上顎 C 斜面を抱え込んで ICP に入っているのが分かる。

C. 作業側閉口時 A 斜面のガイドの欠如

「56」の頬側をはり出してテーブルを大きくし、 $\frac{56}{56}$ のクロスバイトを作った。テーブルを大きくしただけで、「56」の A 斜面を抱え込んではいない (図 55)。

作業側閉口時, A 斜面のガイドを欠如させると, ICP に入ってくるときの道しるべがなくなり, どこに入ってもいかわからなくなる (図 56, 57)。したがって, ICP が不安定になり, サイクル個別でのチューイングサイクルの形もリバースやクロスオーバーが生じ, あるいはターニングポイントも右にひかれたりするなどバラつきが多かった。しかし, 被験者は前 2 つの実験ほどの不快感を示さなかった。図 58 は 1 週間後の左噛みのサイクル個別である。サイクルのバラつきが少なくなり, 筋肉などによって一部咬合面の形態が悪くても, 本来のチューイングに戻りつつあることを示している。

考 察

I. 中枢よりの咀嚼運動のパターン

丸山は (1992)⁷⁾, 生体にはチューイングパターンの制御システムがあり, 中枢と末梢から影響を受けていると述べている。さらに Lee (1984)⁸⁾ も同様のことを述べている。また, Lewin (1985)⁹⁾ は, 正常な咀嚼運動パターンを大きく分けて “chop stroke” coning と “grinding” coning の 2 つがあるとした。前者のチョッピングタイプは作業側のみで閉開口するため, 食物をすりつぶす作業もあるが, 切る運動のウェイトが大きい。

グラインディングタイプは一旦非作業側に大きくまわって開口するため, 作業側での閉口路も大きく側方から ICP に入ってくる。丸山 (1988)¹⁰⁾ は, これを肉食の狩猟民族と雑穀類をすりつぶして食べる農耕民族の差と説明している。以上のことに関しては, 著者らも同じように解釈している^{6, 11)}。

しかし, グラインディングタイプのチューイングサイクルをサイクル個別で抜き出すと, 1 点で ICP に入る斜め卵型と ICP で側方に大きくすり切れて咀嚼する逆三角形型の 2 種類が存在する。丸山⁷⁾ は異常なチューイングサイクルを 5 種類に分けガイド不足の症例の咬耗が進むとガイドの欠如になって行くとしている。しかし, 上記のサイクル個別の形からすると, 本来のサイクルの形

が異なっており, ガイドの不足の咬耗が進んだからといってガイドの欠如になるとは考えられない。

したがって, 著者はグラインディングタイプには, 脳幹パターンジェネレーター⁷⁾ より 2 種類が存在し, チョッピングタイプとあわせると 3 種類のチューイングパターンが存在すると考える。3 種類のチューイングパターンの違いによって, 咬合面形態 (咬頭の高さ), 咬耗の形, 筋肉, 関節の動きが種々異なっており, それが臨床的には TMD や歯周病の疾病の違いから進行, 治療方法の違いにつながることを予想している。

Lundeen ら (1982)¹²⁾ はチョッピングタイプが正常で, ガイドの欠如をブラキシズムのある磨耗した咬合としている。今までの報告^{7, 8, 12)} はガイドの欠如を全て異常としたところに歯科界の咬合のとらえ方に問題があったと考える。

人類学的にも, 生活習慣の違いに最も適するように形成された顎骨や筋肉の違いが, 歯の形やチューイングパターンの違いになって発現する^{13, 14)}。それゆえに, 狩猟民族に多いチョッピングタイプの咬合様式を全て日本人にあてはめるのは危険である。

咀嚼運動は, ある程度中枢と末梢が調和しておくべきであって, チューイングパターンにこのような差があるから, 咬合面形態が同じでよいはずはない。ガイドが欠如したグラインディングタイプの人に山型の咬頭の高いテーブルを与えると過剰な側方圧を歯牙に与えるか, あるいは動けずクレンチングしてしまうかのいずれかであろう。

II. 咀嚼運動路と限界運動路の関係

下顎運動の大半は嚥下, 発語, 咀嚼の機能運動に含まれる。限界運動はブラキシズムによるグラインディングタイプ以外 1 日に何回もしないであろう。したがって下顎の運動といえば, まず機能運動がイメージされるべきであり, 限界運動に比重が大きすぎたのではないかと考えられる。

咀嚼運動は限界運動ではなく, 限界運動と咀嚼運動は別のルートを通る^{11, 15)}。限界運動は主に前方, 側方にあるが, 咀嚼運動は後下方である。左右対称に, そして前方にもスムーズに動ける限界運動も必要である。しかし, 後下方にサイクル運動できる機能運動も必要である。すなわちチョッピングタイプでは作業側のみのサイクル運動, グラインディングタイプでは作業側, 非作業側両方にまたがるため, 両方のルートに干渉のないことが大切である。

機能時の作業側顎頭は個人差が大きく, この動きだけ

が正常であるという範囲はまだ分らない。

咬合面の滑走限界運動と機能運動は前頭面でみると同じエリアを通過しているようにみえるが、水平面、矢状面でみると前方と後方の逆のエリアであることがよく分かる。咬合器では、このうち下顎前歯部や顎頭の前方と側方の限界運動を主に表現している。

従来の咬合器による診断では、生体のどこの部分の診査をし、どこの部分の診査がされていないかを明らかにする必要がありと考えられる。

Ⅲ. 咀嚼運動の作業側、非作業側の時間差

咀嚼運動時の作業側、非作業側、顎頭、咬合面の動きは、同時に動くのではなくて作業側顎頭から作業側咬合面、非作業側咬合面から非作業側顎頭の順に動いてゆく。作業側・非作業側の咬合面ではICPとターニングポイントとはほぼ同タイムである。これは、咀嚼運動時には、作業側が時間差をもって先に運動しないとスムーズな咀嚼はできないからである。

通常、食物の介在している作業側の方に力が加わっているため、歯根膜の弾性などで歯が沈んでいるはずである。作業側・非作業側が同じ位置にあるとすれば、非作業側の歯牙が先にICPに入ってしまう。作業側だけが咬合していないと力が入らないし、食物は噛み砕けない。すなわち作業側で力をかけて食物を噛み砕いた後に、非作業側が咬合するのである。このように、食物を噛み砕く時には非作業側はなるべく干渉にならないようにできている。さらに、食物を切る運動は垂直成分の強い方が軽く切れるため、下顎の咬合面に乗っている食物を頬側でつぶした後に舌側で切り落とす作業にも適している。

咀嚼運動の時間差に関する研究ではLundeen (1982)ら¹²⁾が有名であり、このデータが信じられてきたと考えられる。しかし、両顎頭に時間差があれば、当然咬合面にも作業側と非作業側の時間差があるはずである¹³⁾。また、咀嚼運動はA斜面とC斜面で剪断するのであるが、剪断しながら同時にICPに入るとされてきた¹⁶⁾。しかしそうであれば、図5のようなA斜面とC斜面の角度の違いの咬耗はおこらない。GHGのデータによると、この作業側と非作業側のICPの近くでの時間差とチューニングの水平・垂直成分の違いが、咬耗の形(図10、15)や咬合面の形態に大きな影響及ぼすものと考えられる。

即ち咀嚼運動は、作業側の方が先に水平成分が大きく横からICPに入り、非作業側の方が遅れて垂直成分が強く入ってくる。これが頬側と舌側の咬耗の形に影響し、A斜面の方が水平で、C斜面の方が垂直成分が強いのはこのためであると考えられる。したがって、咀嚼運動は

A、C斜面とも食物を剪断するが、上下顎のA斜面の咬頭、隆線の間ではさみのようにすり切り、C斜面との間で紙切り機のように一点切り落とすと考えている。

C斜面が咬耗し垂直的に上顎を抱え込んで行くと、作業側ではまり込んで動きにくい咬合になり、非作業側の開口時の干渉になる。これは歯冠修復時の形態においても同様である。

Ⅳ. 軟性食品、硬性食品

軟性食品と硬性食品の咀嚼サイクルの違いは、今まででも数多く報告されている^{9,10)}が、食品の硬軟と咬合面形態との関係に言及した報告は見当たらない。

硬性食品は、筋肉を使ってワイドで大きな咀嚼をする。軟性食品は、あまり筋肉を使わずに軽く噛んでいる。したがって、硬性食品の咀嚼時は上下顎の頬舌側咬頭の位置、高さ、幅が大きく関与するため、それらの形態を十分に配慮することにより硬いものは咀嚼できる。しかし、軟性食品の咀嚼時は咬合面テーブルの中を幅狭く咀嚼するため、小さな副隆線などの干渉を拾いやすくなっている。硬性食品は食べられるがワカメが噛み切れない、などの理由は、テーブルの中の小さな隆線に問題があると考えられる。

逆に、硬い食品が食べにくいというのは脳幹パターンジェネレーターから指示されたサイクル運動と上下のテーブルの位置、大きさ、咬頭の高さが合っていないためと考えられる¹⁷⁾。また、筋肉の弱い人はテーブルの中の小さな副隆線の形を拾いやすく、術者側からみれば他と変わりなくうまく作っていると思うのに、患者は当たる、すべる、違和感があるなどと訴えるのは上記のことに関係している部分もあると思う。

形としては硬性食品と軟性食品のサイクルの幅の違いを受け入れる遊び、いわゆる上下顎の頬側咬頭内、外斜面の間に三角形の空間が必要である¹⁷⁾。すなわち、臼歯部にもオーバージェットとオーバーバイトが必要である。

Ⅴ. チューイングサイクルの収束について

本研究の結果、広がった咬合面テーブルを狭め、グループをつけ咬頭と窩の形を形づくり、食べ物の流れる溝を作り、軽い力で噛み切れるようにすることで、限界運動路を大きく伝わっていた咀嚼運動路は前頭面では幅がせばまり、水平面では後方サイクルに変わり限界運動路を伝わる部分が減少することが分かった。咀嚼運動路を収束させることは、顎口腔系全体への許容量を超えた非生理的な力の減少、即ち咬耗、歯牙へのジグリングフォース、歯周への負担が軽減し、ひいては顎頭の動きが安定し関節、筋肉への負担が減少することにつながる

る。これは Lee (1984)⁸⁾ の唱える verticalization あるいは naturalization であるが、あくまでも脳幹パターンジェネレーターの中での収束であって、中枢よりのサイクルを超えて収束するとガイドの過剰やリバース、クロスオーバーとなりうまく噛めないし、関節、筋肉に負担をかけてしまう。

VI. 正しい咀嚼運動とは

I～Vにおいて、正しい咀嚼運動について研究を行った。

全身の中での最適な下顎位が採れ、関節、筋肉などに問題がないとすれば、限界運動は左右対称にスムーズに軽く動ける側方と前方のガイド、および適当なディスクルージョンがなければならない。

咀嚼運動は、中枢と末梢の調和した verticalization されたチューニングサイクル、限界運動路の中にあって、限界運動路をできるだけどらない咀嚼運動路と、多種類の硬さの食べ物が食べられる上下顎の頬側咬頭内、外斜面に三角形の空間が必要である。すなわち、臼歯部にもオーバージェットとオーバーバイトが必要である。

これらの条件を満たした中での咀嚼運動を詳細に述べると、以下ようになる。グライディングタイプの人々が右側咀嚼をした時の例である。

1. 食物が口腔内に入ると、下顎は左側後下方に開口する。舌で右側臼歯部の咬合面テーブル上に食塊をのせる。右側作業側が先に垂直成分が強く開口し、左側非作業側が遅れて水平成分強く開口する。したがって、開口の干渉は作業側の B 斜面よりも非作業側の A、C 斜面に出やすい。

2. ターニングポイントで非作業側が追いついてサイクルの中での位置が左右の同じ位になる。

3. 右側後下方より開口する。右側下顎の頬側咬頭が上顎の A 斜面を目標にして、隆線の後横よりすり切って ICP に入っていく。頬側の食物は齧頰部へ落ちる。

4. 上下 B 斜面で圧断する。

5. 遅れて上下 C 斜面が ICP に垂直的に入って食塊を舌房へ切りおとす。

6. 非作業側が垂直成分強く ICP に入る。

理想的な咀嚼運動が詳細に分かれないと、どのような咬合面形態がよいのか分からない。静止画でみると、動画として時間を考慮に入れて 4 次元でみるとは違ってみる。

VII. 下顎運動時の干渉およびガイドの欠如について

咀嚼運動は、理想的な咀嚼運動路に障害があるとその障害をたどることもあるが、避けることもある。従来の

咬合器による咬合診断では、後方に干渉があって咀嚼できなくても、正常と判断してしまっていた。また、開口、閉口路のどちらかに干渉があれば両方の形が違ってくる生体の反応が興味深い。前歯部で閉閉路とも一旦前方に運動するため、前方の限界運動路に問題はないと思われる。しかし、上顎前歯部の動揺、フレアーアウト、あるいはポーセレンが欠けたりというトラブルがあれば後方の干渉を疑ってみる必要がある。また、症例 2 はバイトが浅いため前方に閉閉口するが、バイトが深ければ上下的な単なる往復咀嚼運動になったり、クレンチングの原因になる。非作業側の閉口時干渉（非作業側 B 斜面の干渉）は限界運動で干渉になるものが、全て咀嚼運動で干渉になるわけではない。それは非作業側の閉口運動は垂直成分が強いからである。また、非作業側の閉口運動は、水平成分が強いため下顎の C 斜面が立ちあがって上顎の C 斜面を抱え込むと、閉口時非作業側干渉をおこしやすい。作業側では、閉口時にガイドの過剰になり、動きにくい咬合によりクレンチングをおこす。下顎の C 斜面の立ち上がりを 1 点残して抱え込まないようにリシェイピングすると、臨床の中で症状が軽快することが多い。さらに、従来言われているように咀嚼時に作業側の A 斜面と C 斜面が同時に ICP に入るのであれば、立ちあがっている C 斜面は閉口時の干渉となり、避けてリバースなどの形で出ているはずである。リバースが出ないのは頬側、舌側の動きの時間差があるからである。

従来の限界運動を主体とした咬合論の中で考えられた理想的だとされた咬合面形態は、平滑な咀嚼運動を行うための上下 A 斜面の三角形の空間が少ない。また上顎大臼歯頬側遠心咬頭と舌側近心咬頭が中心でつながりすぎており、下顎大臼歯頬側遠心咬頭がはまり込んで後方の干渉になる。さらに下顎 C 斜面が立ち上がりすぎているため、閉口時非作業側干渉になり、閉口時作業側のガイドの過剰になる。したがって、グライディングタイプからすると窮屈な咬合になり、クレンチングする可能性が大きい。

結 論

個々の患者の咀嚼運動と調和する咬合面形態を回復するために、典型的な咀嚼運動をする症例をコントロールとして、咬合面形態に人為的に微細な変化を与えた場合の咀嚼運動路に生ずる変化を検討した。なお、咀嚼運動路解析装置としては改良を加えた下顎運動解析装置・ナソヘキサグラフにシロナソグラフを併用した。

得られた結果は、以下の通りである。

1. 咀嚼運動には、チョッピングタイプとグライディングタイプが存在するが、両タイプとも咀嚼終末には下顎機能咬頭は対向する上顎頬側咬頭内斜面と接触し、その斜面に誘導されてICPへ復位した。

2. グライディングタイプの歯が咬耗するとガイドの不足が生じる。従来はさらに咬耗が進むと単にガイドの欠如になるものと考えられていたが、両者間には本来のサイクル運動路形態そのものに差異があり、ガイドの欠如は、単純にガイドの不足の延長上に存在するものではないことが判明した。

3. 限界運動路に対して咀嚼運動路は、開口と同時に後下方へ偏位するため、後下方へスムーズにサイクル運動ができる咬合面形態が必要不可欠である。

4. 1回のチューイングサイクルの過程で、作業側および非作業側それぞれにおける顎頭および咬合面間には時間差が認められた。作業側顎頭、同咬合面、非作業側咬合面および同顎頭の順に偏位し、同一順序でICPへ復位した。

5. 咀嚼終末運動路は、作業側では水平成分が強く、非作業側では垂直成分が強かったが、開口時においては逆に、作業側では垂直成分が強く、非作業側では水平成分が強かった。

6. 上下機能咬頭が対咬する窩に同時に嵌合して食物を粉碎するのではないことがわかった。食物はまず上顎頬側咬頭内斜面と下顎頬側咬頭外斜面(A斜面)で擦り切られ、上顎舌側咬頭内斜面と下顎頬側咬頭内斜面(B斜面)で圧断され、最後に上顎舌側咬頭外斜面と下顎舌側咬頭内斜面(C斜面)で切り落とされる。

7. 咀嚼運動路は軟性食品では小さく狭く、硬性食品では大きく広いサイクルを描いてICPへ復位する。したがって、上下A斜面間には両タイプの食品咀嚼を円滑に行い得る楔状のスペースが必要であることがわかった。

8. 非作業側臼歯B斜面上に人為的な変化を与えた場合、非作業側の閉口時における咀嚼運動サイクルは垂直成分が強いため、その変化が微細な場合はサイクル運動に影響はなかった。しかし、下顎C斜面の傾斜を急峻にすると、開口時には非作業側咬頭に干渉が生じ、逆に閉口時には同部が過剰なガイドとなる傾向がみられた。また、近遠心咬合面における下顎咬頭と上顎窩との関係では、窩の遠心隆線近心斜面を急峻に形成し過ぎると、開口時の後下方への自由な動きを抑制するため、円滑な咀嚼運動を不可能にすることが判明した。

以上の結果にみられるように、本研究ではこれまでに言われてきた咬合、咬交理論とは幾つかの点で異なった

結果が得られた。これは従来の理論が、本研究方法とは異なり、生体の動きを咬合器上にトランスファーした状態で観察・計測されたため、咬合器が生体の動きを正確に再現し得なかったことも一因として考えられる。

稿を終わるに臨み、ご指導ならびに御校閲の労を賜りました九州歯科大学歯科補綴学第2講座内田康也教授に深く感謝致します。

引用文献

- 1) 依田哲也：顎関節症における咬合の位置づけ。日本歯科医師会雑誌 52: 629-632, 1999.
- 2) 丸山剛郎：咬合と全身の健康—臨床生理咬合に立脚して—。医歯薬出版、東京、2000、1-17.
- 3) 保母須弥也、羽賀通夫、高山寿夫：咬合学。クインテッセンス出版、東京、1995、130-424.
- 4) 長谷川成男、坂東永一監修：臨床咬合学事典。医歯薬出版、東京、1997.
- 5) 筒井照子、筒井昌秀、神本 洋：下顎の後方運動についての臨床的解釈 1. ザ・クインテッセンス 17: 1609-1617, 1998.
- 6) 筒井照子、筒井昌秀、神本 洋：下顎の後方運動についての臨床的解釈 4. ザ・クインテッセンス 17: 2215-2225, 1998.
- 7) 丸山剛郎：咀嚼運動の臨床的制御とその異常—臨床生理咬合に基づく—。ザ・クインテッセンス 11: 51-57, 1992.
- 8) Lee, R.: Advance in occlusion. John Wright・PSG Inc, Boston, 1982, 51-81.
- 9) Lewin, A.: Electroganathographics: Atlas of diagnostic procedures and interpretation. Quintessence Chicago, 1985, 46-48.
- 10) 丸山剛郎：臨床生理咬合。医歯薬出版、東京、1988、257-293.
- 11) 筒井照子、筒井昌秀、神本 洋：下顎の後方運動についての臨床的解釈 5. ザ・クインテッセンス 18: 1005-1018, 1999.
- 12) Lundeen, H. C. Gibbs, C. H.: Advances in occlusion. John Wright・PSG Inc, Boston, 1982, 2-32.
- 13) 馬場悠男：「ピテカントロプス展」。読売新聞社、東京、1996、38.
- 14) 西原克也：顎口腔疾患とバイオメカニクス 1. ザ・クインテッセンス 13: 123-134, 1994.
- 15) 筒井照子、筒井昌秀、神本 洋：下顎の後方運動についての臨床的解釈 2. ザ・クインテッセンス 17: 1853-1864, 1998.
- 16) Shore N. A.: Temporomandibular joint dysfunction and occlusal equilibration. 2nd ed. J. B. Lippincott Co., Philadelphia, 1976.
- 17) 筒井昌秀、筒井照子、小牟禮由香里：機能からとらえた新しい咬合治療のあり方。日本歯科医師会雑誌 53: 498-516, 2000.