

下顎滑走運動

早崎 治明

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 小児歯科学分野

Mandibular Excursions

Haruaki Hayasaki

Department of Pediatric Dentistry, Developmental Medicine, Health Research Course,
Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences,
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544, Japan.

Abstract

Oral functions, including predation, mastication, swallow, speech, respiration, taste, smile and so on, are the most important subjects for dentistry because the main existing purpose of this science is to rehabilitate and/or habilitate them. Numerous attempts have been carried out to elucidate them, however none of them is completely explicated yet. Measurements of mandibular motion give a lot of suggestions to this purpose. In this article, the mandibular excursions, with occlusal contacts between maxilla and mandibular teeth, were explained and also the possibilities of clinical use for the oral functional examination of this movement were discussed.

Key words: mandibular excursion, oral function, protrusive excursion, lateral excursion

はじめに

下顎が果たす代表的な機能である咀嚼運動は、乳歯の萌出にともない離乳期に開始する。その後、乳歯列期、混合歯列期、永久歯列期へと推移するにつれ、骨格系や神経筋機構は発育を続け、顎顔面および歯列の形態が変化の中で、咬合機能は、形態と機能の調和を保ちながら発達してゆくと考えられる。しかし、発育にともなう咬合の変化の知見は形態に関するものが多く、機能的な側面からの解明は未だ十分とは言いがたい。下顎運動に関する研究は、咀嚼筋活動や咬合力という面からの検索とともに、咬合を機能的な側面から解明する上で、有効な手段の一つである。しかし、小児では、複雑な装置での測定が困難であること、与え

られた指示を理解することが難しいこと、また理解できても実際におこなうことが難しいことなどから、限界運動範囲や咀嚼運動の測定が散見される程度であった。乳歯列期小児については、1980年代はじめに咀嚼経路例を矢状面と前頭面で示した Wickwire ら¹⁾や Gibbs ら²⁾の報告は特筆に値するが、国内では切歯点前方部の限界運動範囲を、1986年に飯島がおこなっている^{3,4)}。しかし、小児に関して水平面も含めた下顎歯列全体の運動を三次元的に同時記録した世界最初の報告は下顎多点運動解析システムを開発した山崎⁵⁾によって1989年になされた(図1)。このシステムは、小型軽量の発光ダイオード(LED:図2)の三次元位置座標を非接触で測定し、その座標値をもとにして被



図1 セルスポットを応用した下顎多点運動解析システムと計測風景

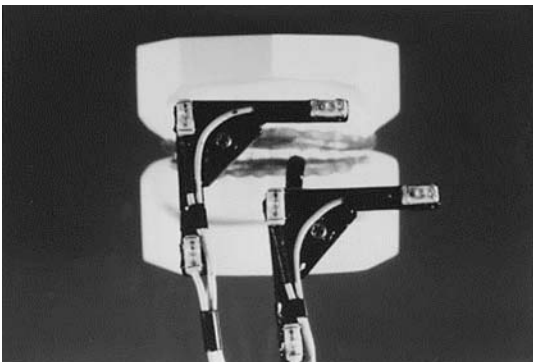


図2 上下顎歯列用 LED と歯列装着用シーネ (クラッチ)

験者の頭部動揺補正を行い、下顎任意点の運動軌跡を算出し、結果を描画および数値にて出力するものである。次のような点から低年齢の小児にも有用であると考えられる。(1) 被験者の歯列に装着するシーネと LED のフレームが、上下顎あわせて14 g と極めて軽量である。(2) 被験者から半導体受光素子を内蔵したセルスポットカメラまでの距離が75 cm と、心理的に圧迫感のない十分な非接触距離を有している。(3) 測定時には後頭部のヘッドレストを使用するのみで、頭部の締めつけや固定は一切必要としないこと、などである。このシステムの精度は、出力空間の三次元的歪を補正した後で平均60 μm であり、また、頭部動揺補正後の下顎任意点運動軌跡の誤差は100 μm 以下で、下顎任意点の運動測定にも十分なものであった^{6,7,8)}。

その後、1995年頃には下顎および頭部運動を三次元6自由度で計測できるシステムが市販されるに至り、現在まで数多くの報告がなされてきた。

1. 下顎滑走運動

下顎滑走運動は、上顎と下顎の歯が咬合接触しておこなわれる運動の総称であり、Posselt Figure^{9,10,11,12)}の上面をなし、下顎限界運動の上方限界運動路全体を指す。歯科が直接治療の対象とする上下の歯の形態が運動と密接にかかわること、食物の粉碎に直接関与することなどから、旧来より国内外において数多くの研究がなされてきた^{13,14,15,16,17,18)}。特に、補綴学の分野では古くから研究の対象とされており、またその解析に必要な下顎任意点の運動を、三次元的に同時解析できるシステムがいくつか開発され、主に成人での解析に応用されてきた。その多くは、咬頭嵌合位から前方(図3, 図4)、側方(図5, 図6)への滑走運動の動態を、数 mm の範囲の中でとらえ、切歯、犬歯、大臼歯など歯列上の点とともに、顎頭点を用い、下顎全体の動態についても解明されつつある。

前方滑走運動は、上顎と下顎の歯を接触させながら下顎を前方へ引く、または突き出す運動である^{19,20)}。一方、側方滑走運動は、下顎を左右に動かす運動であり、左右の外側翼突筋が左右で非対称的な活動することによりおこなわれる^{20,21,22,23,24,25,26,27)}。小児における前方および側方滑走運動は、成人に比べより平坦な運動が特徴である。また、下方への運動方向と切歯部被蓋関係(オーバーバイト、オーバージェット)との間に高い相関が確認されている。

2. 下顎滑走運動の応用

前述のとおり、下顎滑走運動は下顎の基本的な運動であり、歯が機能するために不可欠な咬合接触が認められることから、歯科において重要な研究課題である。この下顎滑走運動を利用した検査・診断方法を紹介する。

1. 下顎滑走運動面

下顎切歯点における限界運動は Posselt Figure として知られている。この Figure の上面は下顎滑走運動を記録することにより作成することが可能であり、これを下顎滑走運動面 (Curved Mesh Diagram of Mandibular Excursion: CMDME) と名づけた^{26,28,29,30)}。この CMDME は、下顎の任意の点で作成することが可能であり、その形態が異なることは限界運動が異なることを表している²⁶⁾。CMDME は、下顎滑走運動から作成されることから、咀嚼運動の終末路の関係について検討することができる(後述)。個性正常咬合を有する成人男性(図7)を例にとり、その作成方法について述べる。

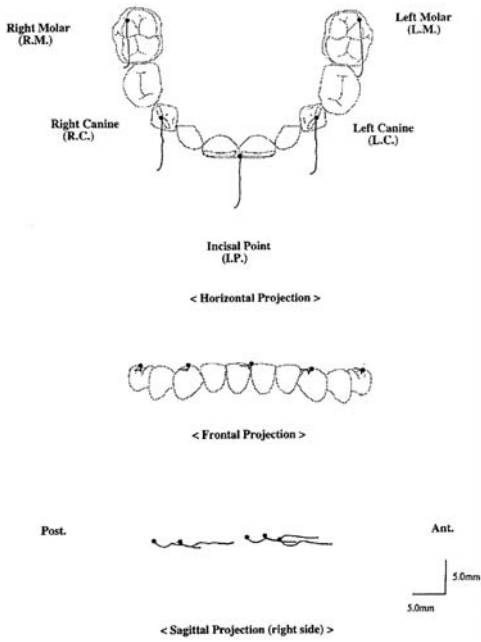


図3 乳歯列期小児の前方滑走運動例 (運動軌跡)

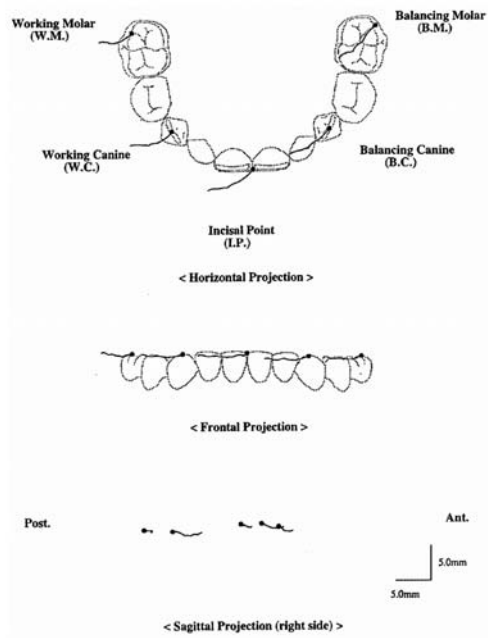


図5 乳歯列期小児の側方滑走運動例 (運動軌跡)

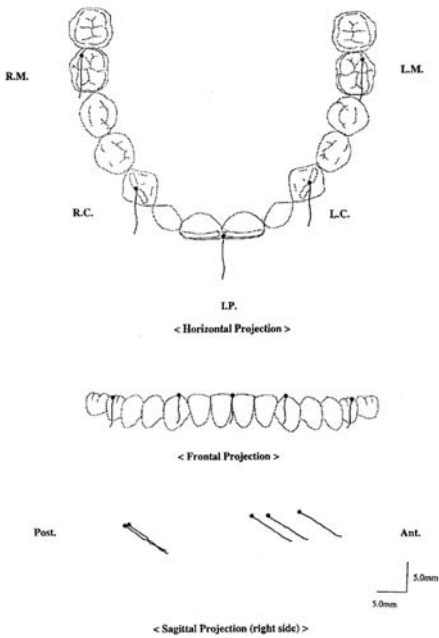


図4 永久歯列期の前方滑走運動例 (運動軌跡)

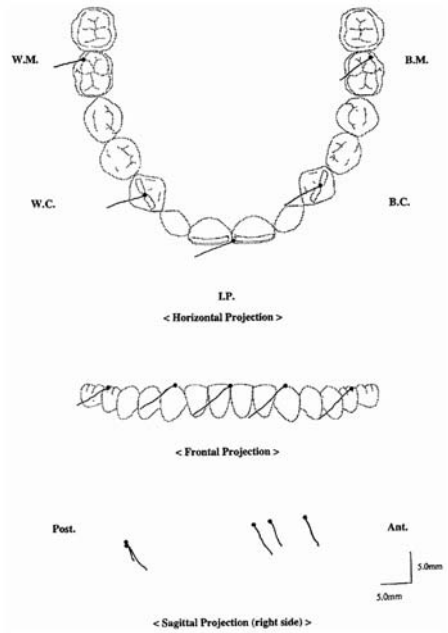


図6 乳歯列期小児の側方滑走運動例 (運動軌跡)



図7 個性正常咬合を有する成人男性例

CMDME 作成のための被検運動は、咬頭嵌合位を始点とする30秒間の任意の下顎滑走運動を4回(計120秒間)である。運動計測は、100Hzでおこなわれるため、合計12,000顎位を得ることができる。作成に際しては、上下の歯が近接している顎位が多いほど正確なCMDMEを得られることから、解析する運動を自由に追加できる。下顎切歯点をはじめとする下顎の任意のCMDMEは、その点の前後方向(咬頭嵌合位から

前方に15mm、後方に13mm:X軸方向)に28mm、左右方向(咬頭嵌合位から左右方向へ各14mm:Y軸方向)に28mmのメッシュ(格子)を0.1mm間隔で作成する(281×281=78,961点)。メッシュ上の各点について、水平面上での距離が最小距離となる顎位を12,000顎位の中から探索し、その最小となった顎位のZ座標値をそのメッシュのZ値とする。以上の過程により、水平面上で滑走運動の範囲に含まれるメッシュ上の点は、CMDMEを形成することになる。(図8:作成した下顎切歯点のCMDMEと滑走運動の軌跡(白細線))。作成したメッシュデータに面貼りをおこなうことにより、三次元的な曲面が得られ、これがCMDMEである(図9)。前方および左右側方滑走運動の経路は、すべてこのCMDMEに含まれる(図10)。CMDMEは次のような特徴を有している。1) Posselt figure^{9,10,11,12)}が下顎切歯点の可動域をあらわすのに対し、CMDMEは下顎の任意の点において、作成が可能であること(図11,12)。2)それぞれの計測点が作業側および平衡側として働くときの経路が異なることから、個々の計測点におけるCMDMEは左右非対称である。3)左右の同名歯においては正中を対称とした鏡像となる。4)図12で認められるように、計測点が上下の歯の咬合接触部位となっている場合、

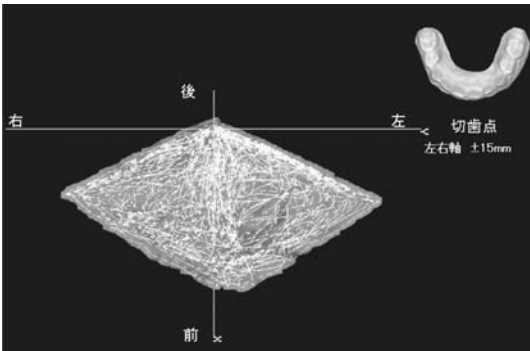


図8 下顎切歯点における下顎滑走運動面(前方・側方滑走運動)

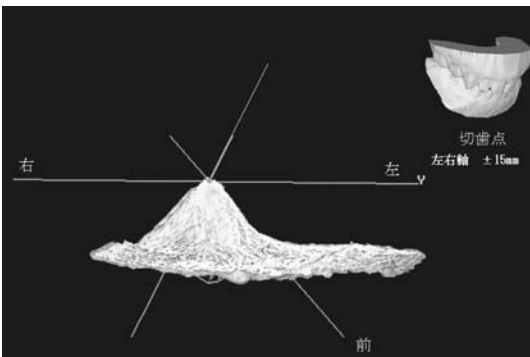


図9 個性正常咬合を有する成人男性例

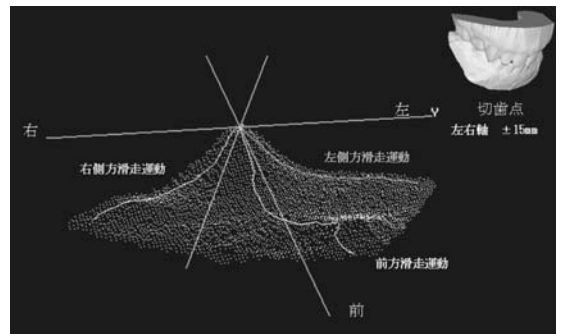


図10 個性正常咬合を有する成人男性例

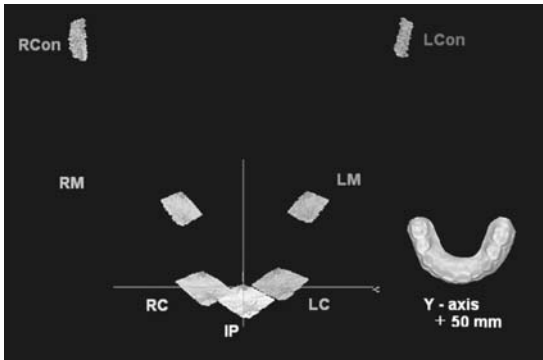


図11 切歯点，左右犬歯，臼歯，顎頭点における下顎滑走運動面（水平面）
IP:下顎切歯点，RC:右側犬歯，LC:左側犬歯，RM:右側臼歯，LM:左側臼歯，RCon:右側顎頭，LCon:左側顎頭

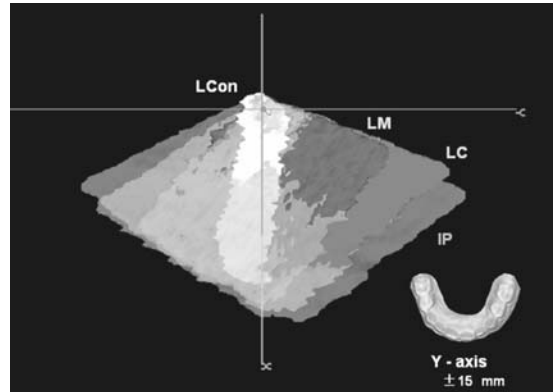


図13 下顎切歯点(IP)および左側犬歯(LC)，左側臼歯(LM)および左側顎頭(LCon)の重ね合わせ。計測点の前後的な位置により側方への運動方向が変化することがわかる

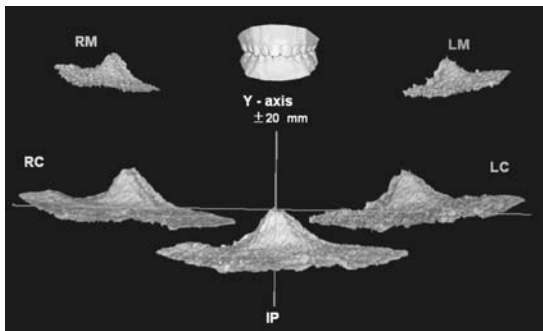


図12 前方から見た下顎滑走運動面
歯列上の5つの点

CMDME は下顎の計測点が上顎の歯の形態をあらわす。5) 左側または右側において、それぞれの計測点の重ね合わせは前後的な位置が運動にどのように影響を与えるかをあらわしている (図13)。6) 上記の所見については、形態や機能に異常がある場合、CMDME に異常な所見があらわれることが多い。

図14に示す成人女性の例では、下顎の正中が左偏しており右側の被蓋が浅くなっている。下顎切歯点，両側犬歯，臼歯および顎頭を水平面投影した CMDME (図15) は、下顎切歯点において左側への可動範囲が広く、より前方に向かってのに対し、右側では範囲が狭く、より側方に向かっての。この下顎切歯点で認められた傾向は、歯列上では両側の犬歯および臼歯においても認められ、特に右側臼歯においては、作業側として動くときの範囲は平衡側として働く場合の二分の一以下の可動域しかない。その原因と思われる所見が図16に認められる。左側の顎頭では細実線で示した咀嚼運動と CMDME の方向は同じであるものの、CMDME の前方範囲が左側より短い。一方、右側では左側に比べ CMDME の前方への可動範囲は広いものの、咀嚼運動時の顎路は遠心に向かっての。下顎に正中の偏位が認められることから、開口時には正中が一致する方向にしか動かず、被蓋の浅い右側でしか咀嚼機能が営めないことが示唆される。このように、CMDME は下顎運動を利用して、口腔機能の検査・



図14 下顎の正中が右偏し，右側の被蓋が浅い成人女性例

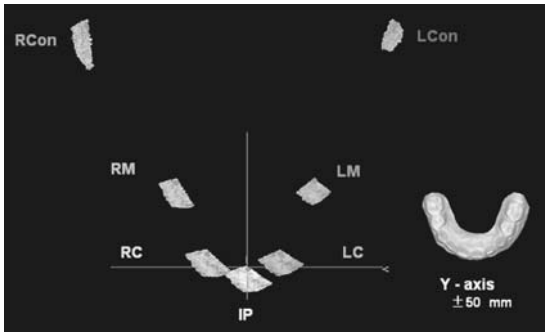


図15 左右のCMDMEは鏡像になっていない(水平面)。左側顎頭の前方向への運動制限が顕著である。

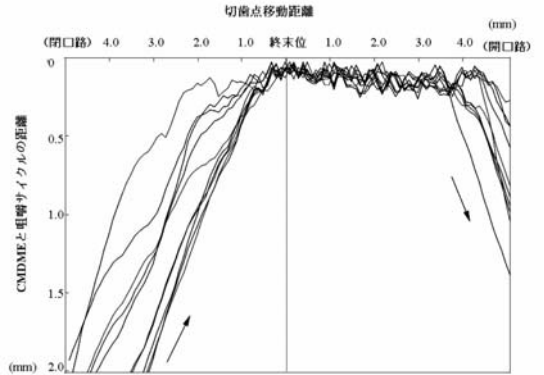


図18 選択した10サイクルとCMDMEの距離

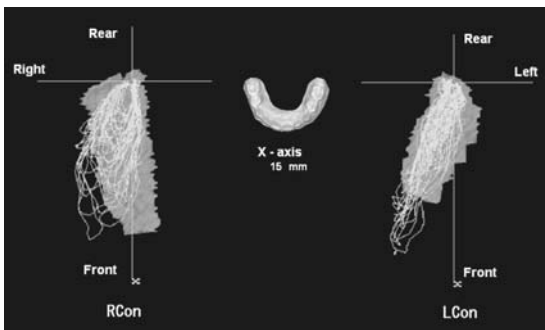


図16 左右の顎頭の比較。細実線は咀嚼運動の経路(水平面)。顎頭の運動方向が異なることがうかがえる。

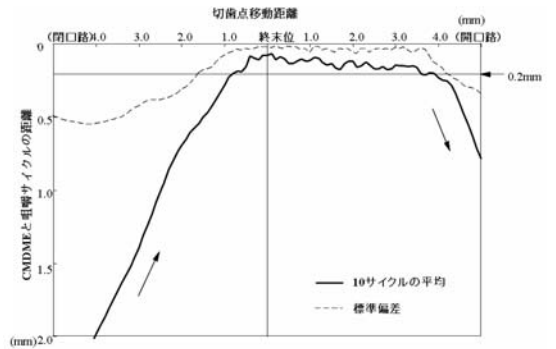


図19 CMDMEと咀嚼サイクルから上下の歯の接触滑走距離が求められる。

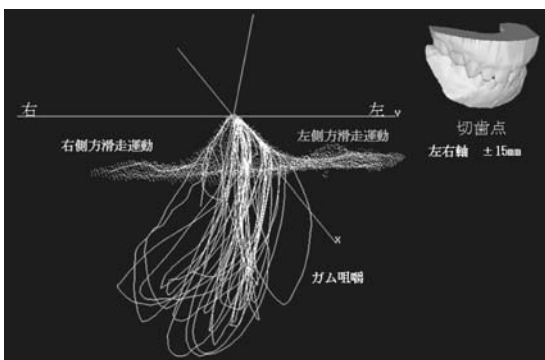


図17 下顎切歯点における咀嚼運動軌跡とCMDME

診断をおこないうる一つの解析方法であると考えられる。

II. 咀嚼運動における滑走距離

CMDMEは、この他にも口腔機能の検査・診断の一助となる側面を有している。図17に示すとおり、咀嚼運動の終末位付近の下顎運動は側方滑走運動に近似しており、必然的にCMDME上に含まれる。

シュガーレスガム new Trident (ワーナー・ランパート社製:約1.6g)を十分に軟化させた後、舌上にガムをおき、咬頭嵌合位を始点とした20秒間の咀嚼運動を計測する。この咀嚼運動経路を終末路付近における分割を避けるため、運動の最下点に近い点で各サイクルに分割する。この分割した各サイクルの咀嚼運動軌跡

を、CMDMEの水平面上に投影し、最も近い位置にあるメッシュの座標を求め、両者のZ座標の差を咀嚼運動終末位とCMDMEとの距離と定義する。図18に10サイクルにおけるこの距離を示した。下顎は必ずしも剛体でないことから、滑走していると考えられる距離にある程度の幅を持たざるを得ない。このシステムの精度にもとづき200 μ m (0.2mm)以下の距離を滑走運動と規定した場合、図19に示すとおり、咀嚼運動における咬合接触距離は閉口時に約0.4mm、開口時は約3.4mmである。この結果は、今までに報告した平均1.5-4.0mmの範囲^{31,32,33,34}に入っており、ほぼ妥当な結果であると考えられる^{30,35}。

Ⅲ. 咬合接触面積の観察^{36,37)}

下顎運動にともなう上下の歯の咬合接触の変化は非常に興味深い^{35,38)}。しかし、その再現は、精密な運動計測と形態計測がなければ実現しない。そこで咀嚼終末位(咀嚼サイクルの最上方の点と定義)を挟み、咀嚼終末位前後3.0mmの範囲における咀嚼運動中の咬合接触面積を定量し、その変化を検討した。また、咀嚼運動中の任意の下顎位における咬合接触をコンピュータグラフィックス出力する試みもおこなった。図20はブラックシリコンにおける咬合採得(A)とシミュレーションにおける咬頭嵌合位(B)であるが、両者はほぼ同じであり、0.2mm間隔で自動計測した歯列形態の咬合接触を再現できていることが示唆された。この方法を用いて計測をおこなった成人では、主咀嚼側と非主咀嚼側に有意な差は認められなかった。また、咀嚼サイクルをチョッピングタイプとグライディングタイプの二者に大別し、その咬合接触面積の違いを検討した結果、両タイプで差は認められなかった。このことから、運動軌跡の前頭面観では接触滑走に違いが

あると思われる両タイプだが、三次元的には両タイプともに同様の接触がみられる可能性が示唆された。咀嚼終末位付近における咬合接触率の個体間、個体内変動の変化からは、咀嚼終末位の近接域では各個体のもつ形態要素の影響が大きいことが考えられた。また、成人では特に咀嚼終末位で変動が小さくなっていた。この接触面積については、個人内および個人間の変動はともに咀嚼終末位で著しく小さく^{36,37)}、咀嚼終末位が咬頭嵌合位で収束している様子がうかがわれた。このことから、現在臨床で修復後におこなわれている咬合の確認について、咀嚼運動終末路の一部として咬頭嵌合位でおこなわれることが妥当であることが示された³⁷⁾。

まとめ

口腔機能の解明は歯科(医)にとって非常に重要な課題である。従来、歯科における臨床の体系は形態の修復および回復に主眼がおかれる傾向があり、機能の異常が語意となっている「病気」という概念や意識が、歯科医療従事者にも患者サイドにも欠落した感があった。機能と表裏一体にある形態を治療と結びつけて考えるとき、形態の修復および回復が機能にどのように影響するかは不可欠な知識であり、医科でおこなわれている機能に関する、検査、診断、治療および治療効果(成績)が歯科における日常の臨床の場でおこなわれることが必要である。口腔機能の解明の1つとして、下顎運動の計測および解析は有効な1つの手段であることは間違いない。今回示した下顎滑走運動は口腔機能の、そして下顎運動のほんの一部である。これらが研究的な側面をもちながらも日常臨床における検査、診断方法として確立することが必要であろう。

文 献

- 1) Wickwire, N. A., Gibbs, C. H., Jacobson, A. P., Lundeen, H. C.: Chewing patterns in normal children. *Angle Orthod.*, 51, 48-60, 1981
- 2) Gibbs, C. H., Wickwire, N. A., Jacobson, A. P., Lundeen, H. C., Mahan, P. E., Lupkiewicz, S. M.: Comparison of typical chewing patterns in normal children and adults. *J. Am. Dent. Assoc.*, 105, 33-42, 1982
- 3) 飯島英世: 小児の下顎運動範囲に関する研究. *小児歯科学雑誌*, 24, 163-178, 1986
- 4) 飯島英世, 三輪全三, 小野芳明, 他: 光位置検出器を用いた小児用顎運動測定装置に関する研究.



図20 咬合接触の推移
ブラックシリコン(A)と咬頭嵌合位(B)と咀嚼終末位(C)

- 口腔病学会雑誌, 53, 232-245, 1986
- 5) 山崎要一: セルスポットを応用した下顎多点運動解析システムの開発と乳歯列期小児の側方滑走運動に関する研究. 小児歯科学雑誌, 27, 395-414, 1989
 - 6) 山崎要一: 6自由度下顎運動測定による小児期顎口腔機能の観察. 鹿児島大学歯学部紀要, 24, 41-51, 2004
 - 7) 中田稔, 山崎要一, 早崎治明: 6自由度顎運動測定器の臨床への展開 小児の顎機能診査への6自由度顎運動測定器の適用. 日本補綴歯科学会雑誌, 42, 921-927, 1998
 - 8) 中田稔, 早崎治明, 西嶋憲博, 他: コンピュータ・シミュレーションの歯科への応用の現在と未来 小児の咬合誘導におけるコンピュータ・シミュレーションの活用. The Quintessence, 14, 1695-1702, 1995
 - 9) Posselt, U., Thilander, B.: Influence of the innervation of the temporo-mandibular joint capsule on mandibular border movements. Acta. Odontol. Scand., 23, 601-613, 1965
 - 10) Posselt, U.: Terminal hinge movement of the mandible. Acta Odontol. Scand., 14, 49-63, 1956. reprinted in J. Prosthet. Dent., 7, 787-797, 1957 and 86, 2-9, 2001
 - 11) Posselt, U.: Recent trends in the concept of occlusal relationship. Int. Dent. J., 11, 331-342, 1961
 - 12) Posselt, U.: Range of movement of the mandible. J. Am. Dent. Assoc., 56, 10-13, 1958
 - 13) Hayasaki, H., Saitoh, I., Iwase, Y., Inada, E., Hasegawa, H., Tokutomi, J., Matsumoto, Y., Yamasaki, Y.: Movement of the instantaneous center of rotation and the position of the lateral excursion center during lateral excursion. Cranio., 26, 253-262, 2008
 - 14) Terajima, M., Endo, M., Aoki, Y., Yuuda, K., Hayasaki, H., Goto, T. K., Tokumori, K., Nakasima, A.: Four-dimensional analysis of stomatognathic function. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop., 134, 276-287, 2008
 - 15) Sinn, D. P., de Assis, E. A., Throckmorton, G. S.: Mandibular excursions and maximum bite forces in patients with temporomandibular joint disorders. J. Oral. Maxillofac. Surg., 54, 671-679, 1996
 - 16) 細貝暁子, 河野正司, 山田一尋, 林豊彦, 子田浩: 側方滑走運動における下顎頭の運動様相 下顎頭骨変化の有無による検討. 日本顎口腔機能学会雑誌, 9, 210-212, 2003
 - 17) 中野雅徳: 加齢という観点からみた顎口腔機能の評価 咬合評価のための顎運動測定. 日本補綴歯科学会雑誌, 46, 451-462, 2002
 - 18) Hochman, N., Ehrlich, J., Yaffe, A.: Tooth contact during dynamic lateral excursion in young adults. J. Oral Rehabil., 22, 221-224, 1995
 - 19) 早崎治明, 山崎要一, 中田稔: 小児の下顎前方滑走運動に関する研究. 小児歯科学雑誌, 29, 379-388, 1991
 - 20) Hayasaki, H., Yamasaki, Y., Nishijima, N., Naruse, K., Nakata, M.: Characteristics of protrusive and lateral excursions of the mandible in children with the primary dentition. J. Oral Rehabil., 25, 311-320, 1998
 - 21) 山崎要一: 小児における外傷歯の治療. 歯科放射線, 44, 180-181, 2004
 - 22) 早崎治明, 他: 小児の下顎運動に関する研究(第4報) 乳歯列・永久歯列における側方滑走運動の比較. 小児歯科学雑誌, 27, 816, 1989
 - 23) 早崎治明, 他: 小児の下顎運動に関する研究(第5報) 歯牙年齢 2A と 3A の滑走運動の比較. 小児歯科学雑誌, 28, 878, 1990
 - 24) Yamasaki, Y., Hayasaki, H., Nishi, M., Nakata, S., Nakata, M.: Condylar motion in children with primary dentition during lateral excursion. Cranio., 20, 172-180, 2002
 - 25) 澤味規, 早崎治明, 中田志保, 中田稔: 小児の下顎滑走運動面の面積について. 小児歯科学雑誌, 42, 19-26, 2004
 - 26) Hayasaki, H., Nakata, S., Nishijima, N., Okamoto, A., Minematsu, K., Yamasaki, Y., Nakata, M.: CMDME (curved mesh diagram of mandibular excursion) method for visualization and diagnosis of mandibular movement. J. Oral Rehabil., 25, 672-676, 1998
 - 27) 早崎治明, 中田志保, 山崎要一, 他: 下顎滑走運動面と咀嚼運動終末路の関連性に関する研究. 日本顎口腔機能学会雑誌, 3, 147-152, 1997
 - 28) Hayasaki, H., Sawami, T., Saitoh, I., Nakata, S., Yamasaki, Y., Nakata, M.: Length of the occlusal glide at the lower incisal point during chewing. J. Oral Rehabil., 29, 1120-1125, 2002
 - 29) Hayasaki, H., Sawami, T., Saitoh, I., Iwase, Y., Nakata, S., Nakata, M.: Length of the occlusal glide

- during chewing in children with primary dentition. *J. Oral Rehabil.*, 30, 1138-1141, 2003
- 30) Hayasaki, H., Nakata, S., Nishijima, N., Okamoto, A., Minematsu, K., Yamasaki, Y., Nakata, M.: A calculation method for the range of occluding phase at the lower incisal point during chewing movements using the curved mesh diagram of mandibular excursion (CMDME). *J. Oral Rehabil.*, 26, 236-242, 1999
- 31) 前田聡, 荒木久生, 宮田隆: 咬合性外傷を有する歯周疾患患者の中心域滑走について. *日本歯周病学会会誌*, 36, 357-365, 1994
- 32) 山内六男, 山村理, 川野襄二, 他: 唇顎口蓋裂患者の補綴処置に伴う口腔機能の回復. *日本補綴歯科学会雑誌*, 31, 1465-1476, 1987
- 33) 笹原広重, 石井広志, 斎藤孝親, 他: 咬合音の高周波成分における滑走時間と咬合接触時の滑走距離との関係について. *日本口腔診断学会雑誌*, 5, 91-97, 1992
- 34) 呉文元: 側方限界運動方向における顆路と歯牙路との関係. *九州歯科学会雑誌*, 41, 384-398, 1987
- 35) Hayasaki, H., Okamoto, A., Iwase, Y., Yamasaki, Y., Nakata, M.: Occlusal contact area of mandibular teeth during lateral excursion. *Int. J. Prosthodont.*, 17, 72-76, 2004
- 36) 岩瀬陽子, 早崎治明, 中田志保, 中田稔: 小児におけるガム咀嚼運動のサイクル分割方法に関する研究. *小児歯科学雑誌*, 38, 1025-1033, 2000
- 37) 岩瀬陽子, 早崎治明, 岡本篤剛, 中田志保, 中田稔: 乳歯列期小児の咀嚼終末位における咬合接触の解析. *小児歯科学雑誌*, 38, 281, 2000
- 38) Okamoto, A., Hayasaki, H., Nishijima, N., Iwase, Y., Yamasaki, Y., Nakata, M.: Occlusal contacts during lateral excursions in children with primary dentition. *J. Dent. Res.*, 79, 1890-1895, 2000