総 説

インプラントと軟組織のための診査, 診断法

市川 哲雄

Examination and Diagnosis for Implant Treatment and Soft Tissue for Prosthetic Treatment

Tetsuo Ichikawa

Abstract : This article describes image examinations concerned with implant treatment and soft tissue for restoring partially and completely edentulous patients.

Image examination is necessary for implant treatment, preoperative evaluation of bone quality and shape, assessment of osseointegration and fitness between implant and abutment, postoperative assessment of bone remodeling, and marginal bone loss. Contrast X-ray media, pilot hole preparation, standard radiography, and digital image processing were used to evaluate the procedures. Especially, evaluation of bone quality was discussed.

It is very important to evaluate soft tissue, for example, tongue, cheek, lips, and so on for restoring partially and completely edentulous patients. The evaluation is often forgotten during prosthetic treatment. Cephalography, ultrasonic measurement, and MRI were proposed for the evaluation, and the problems and overlook for the evaluation were discussed.

Key words : implant, bone quality and shape, cephalography, soft tissue

見地から述べる。

I. はじめに

最近, Evidence Based Medicine (EBM) が叫ばれている¹⁾。EBM は, 患者の治療において, 現在ある最良の根拠 (evidence), つまり, 系統的な研究や臨床疫学研究などより適切に利用できる外部の臨床的根拠を理解したうえで, 一人ひとりの臨床的専門技量を統合して治療を行うことを意味する。その evidence とは, 診査, 診断基準と治療結果との対比である。そのデータが整って初めて, EBM に基づいた治療ができる。したがって, まず, 診査, 診断基準というものを確立しなければならないし, 補綴治療のなかで最も遅れている分野かもしれない。本稿では診査, 診断基準のなかで, X線診査を主とする画像診断について, インプラント治療と欠損補綴における軟組織の

II. インプラント治療における画像診断

一般の補綴治療の場合, 画像診断することなく, 経験に基づいて治療が開始される場合を多々見受ける。一方, インプラント治療, 特にその設計段階において, 画像診断が必須となる。なぜなら, その設計が大きくインプラントの予後を左右することと, また, 一次手術 (インプラント体埋入) 時に下顎管, 上顎洞, あるいは対向の皮質骨へのパーフォレーションなどの偶発症を避ける意味においても不可欠である。図1に, われわれの行っている Pilot hole preparation (PHP) という術式^{2,3)}を含んだインプラント治療におけるX線画像診査, 診断の流れを示すとともに, 以下のように, 診査, 診断上の問題点について, 3つに分けて考察する。

徳島大学歯学部歯科補綴学第一講座
Department of Removable Prosthodontics, The University of
Tokushima School of Dentistry

図 1 Schematic chart of radiographic examination and diagnosis in implant treatment
インプラント治療におけるX線画像診査，診断の流れ

図 2 Pilot hole preparation
パイロットホールプレパレーション

1. インプラント埋入部位の顎骨形態をどのように評価するか

これは顎骨の形態をX線診査で推定し，最終的に，適切なインプラントを選択し，埋入位置を決定するための診査となる。

まず，問診，口腔内診査，診断用模型診査，スクリーニングを目的として，デンタルおよびオルソパントモグラフを撮影する。これらの情報をもとにインプラントの適否や成功の可能性を予測する。この場合のX線診査は，埋入するインプラントの長さをどの程度確保できるかの判断であって，頬舌的な顎骨の幅径や骨質までの情報はほとんど含まれない。この時点で埋入可能と判断された症例に対して，研究用模型上で，補綴学的見地から上部構造の設計をし，診断用ステントを作製する⁴⁾。

次に，PHPと呼ぶステップを踏む。本方法は，補綴学的に決定したインプラント埋入位置に，1次手術の約1カ月前，Pilot hole (PH) という直径1~2 mm程度の小孔を粘膜の上から顎骨にドリリングするものである。このPHの形成によって，顎骨内に骨の新生が認められ，インプラントのオッセオインテグレーションを獲得しやすくさせるとともに，このPHを参考にして，1次手術時に，適切な位置にインプラント窩を形成させるものである(図2)。

さらに，このPHを利用しながら精密なX線診査，つまり，セファログラム，CT，断層撮影，造影などを行う。スクリーニングの撮影は主に，歯列弓に平行の情報のみで，ここでの精密な撮影は，これに直角方向の情報を得ることを目的とする。セファログラムは前歯部のインプラ

ント治療においては必須で、顎骨の矢状面形態、インプラントの矢状面の埋入方向、骨質などの情報をもたらす⁵⁾ (図 3)。CT は、spiral CT の出現で、撮影時間が短くなり利用されやすくなっている。しかも、三次元構築や埋入位置をシミュレーションできる専用のソフトもでており^{4,6)}、今後ますます利用されるであろう。断層撮影は多軌道撮影による大がかりな撮影法や、スキャノラ⁷⁾のような簡易型の撮影法などがある。造影はX線写真の歪みの補正と上部構造の形態と顎骨形態との位置関係を把握するために行われる。造影方法としては、ステントのなかに既知の長さのステンレススチール、鉛箔、スチール管を埋入する方法、全体の上部構造を映し出すためにステントを作る際に、流し込みレジンの粉末に硫酸バリウムを混入する方法などが使われている⁸⁾ (図 4)。PHP を行う場合には、PH のなかに、既知の長さの釘を挿入し撮影する。

以上のようなX線診査によって、インプラントのサイズを決定するための埋入相当部位の顎骨の形態をほぼ把握できる状態にあると考えられる。

2. 骨質の評価

術前の骨質評価、術中のオッセオインテグレーションの評価、術後の骨構造の変化についてであるが、これらは、

骨質をどのように評価するかという問題に帰着する。現在、一般的に使われている画像技術で、骨質をどの程度評価できるかということになる。最も鮮鋭に骨構造を映し出

図 3 Cephalometric diagnosis is useful in placing implants at anterior region

(a) : Implant placement is difficult because of narrow buccolingual width of alveolar ridge

(b) : Prosthetic positioning is inadequate for mandibular form

前歯部インプラントにおけるセファログラムの利用

(a) : 顎骨の頬舌の幅径が狭く、通常のインプラントが埋入できない症例

(b) : 補綴学的に決定した位置にインプラントを埋入できない症例

図 4 Contrast X-ray media

(a) : Radiopacity of resin with barium sulfate (mixture ratio 4:1, resin thickness : 3 mm), (b) : Panoramic radiography was taken with a diagnostic stent embedded stainless steel balls, (c) : Intraoral radiography was taken with a diagnostic pin of known length in the pilot hole, (d) : Panoramic radiography was taken with reamers in the pilot hole following sinus lift operation

各種造影法

(a) : 硫酸バリウムを混入した流し込み重合レジンの造影度 (レジンの厚さ約 3 mm), (b) : ステンレス球を埋入した診断用ステントを装着し、パノラマ撮影を行う, (c) : パイロットホール内に既知の長さの釘を挿入してデンタル撮影を行う, (d) : サイナスリフト後のパイロットホール内にリーマーを挿入してパノラマ撮影を行う

図 5-1 Intraoral radiography and the analysis for evaluating bone quality
骨質評価のためのデンタル撮影とその分析法

すことのできるデンタル写真において、Computed Radiography と Digital Image Processing の技術 (図 5) を用いた場合^{9,10)}について考察する。

1) 画像処理上の問題点

分析する画像を得る際に問題となる点は、大きく 3 つに分けられる。第 1 に、X 線フィルム—被写体—線源の位置関係が異なると、同一被写体でも同じ形と濃度で写ってこない。できる限りこの関係を保つためには、撮影用インジケータを用いて標準化しなければならない。われわれの用いたインジケータ (阪神技術研究所製) は最大 1.6% にその歪みに押さえることができた。第 2 に、現像条件の違いなどによって、同じ条件で撮影しても同じ濃度で写ってくるとは限らない。これを補正するために、カップーステップをフィルムに貼付して撮影し、骨やインプラントの濃度をカップーステップの濃度 (当量) に換算する。一般には、フィルムをデジタル化し、カップーステップの濃度を基準フィルムの濃度に一致するように、その変換式 (多項式) を最小二乗法で求めて、画像全体の濃度を変換する。第 3 に、画像をデジタル化するときの精度を画像の階調では 10 bit 以上、分解能もできるだけ高くする必要がある。

以上の点に注意してデジタル画像を得て、初めて、骨構造の変化を読み取ることができる。また、これらの画像を用いて、同一部位の濃度の変化量の計算 (サブトラクション) や輪郭抽出といった画像処理を行うことができる。このような方法で得たアパタイト焼結体インプラント埋入後の骨構造の経時的変化を示す (図 6)。徐々に、インプラント周囲の骨密度が上昇していることがわかり、しかも、アパタイト連結直後の変化が大きいことがわかる。一

図 5-2 Left : Intraoral radiography using a film folder
Right : copper steps with four kinds of thickness
左 : インジケータを用いたデンタル撮影
右 : 4 段階カップーステップ

方、その界面での骨密度のプロフィールをみると、骨からアパタイトへの界面での傾きが徐々になだらか、つまり不明瞭になっていくのもわかる。このように、骨変化を捉えることは可能であるが、これと臨床結果との対比についてはまだ十分なデータがそろっていない。

2) 骨質評価の問題点と今後の課題

以上のような画像診断をした結果と実際の骨質、および予後との関係を明らかにして初めて、画像診断の有効性をいうことができる。上記の方法で得た骨密度と、1 次手術時にインプラント窩を形成するときの臨床的な切削感で骨を硬いか柔らかいかを評価したときの結果を表 1 に示す¹¹⁾。Johansson ら¹²⁾は、X 線から求めた骨塩量とインプラント窩形成時のドリリングに必要な熱量とはほぼ比例していたと報告しているが、われわれの結果では有意な差は認めすることはできなかった。

最終的には、どのような骨質がインプラントにとって適切であるかということが最も重要な問題となる。骨質は、一般には骨量とか骨密度で表現されるが、よく使われている Lekholm の分類¹³⁾にしても、骨密度が高いか、低いかという単純な判断のみである。その定量的評価としては、われわれや Johansson などの用いた X 線写真濃度による測定 (MD 法)、DEXA (Dual Energy X-ray Absorptometry) 法、quantitative CT, MRI, 超音波法などがある¹⁴⁾。しかし、骨質は、厳密には既存の骨梁パターンなどのミクロの骨形態に属するものと、骨代謝の 2 つの面が考えられる。骨梁パターンは、骨梁の数、骨梁の幅、間隔、骨梁の方向を評価して、その性質を明らかにできる¹⁵⁾。その評価法としては、bone biopsy や μ CT、パイロットホール内を微細なファイバースコープで観察することなどが考えられる。骨代謝については、骨代謝マーカーなどの生化学検査が今後利用されうであろう。このように、さまざまな評価法とインプラントの術後経過のデータを集積する必要があると考えられる。

3. そのほかの評価

術後診査の場合、辺縁骨の高さの変化をよく用いる。近遠心のことは、デンタル写真を用いてだいたい評価できる

図 6 Changes of bone structure after implant placement

(a)～(d) : pseudo colored images, (e)～(g) : subtraction images

(a) : Just after implant placement, (b) : Just after abutment placement, (c) : Two months after abutment placement, (d) : Two years after superstructure placement, (e) : Bone change during the period between implant and abutment placements, (f) : Bone change during the period from abutment placement to 2 months following, (g) : Bone change during the period from two months to 2 years following abutment placement

インプラント埋入後の骨構造の変化

(a)～(d) は疑似カラー画像, (e)～(g) はサブトラクション画像

(a) : インプラント埋入直後, (b) : アバットメント連結直後, (c) : アバットメント連結 2 カ月後, (d) : 上部構造装着 2 年後, (e) : インプラント埋入直後からアバットメント連結直後までの骨構造変化, (f) : アバットメント連結直後からアバットメント連結 2 カ月後までの骨構造変化, (g) : アバットメント連結 2 カ月後から上部構造装着 2 年後までの骨構造変化

表 1 Operator's feeling at drilling and bone density
ドリリング時の術者の感覚と骨密度

1 次手術時の 術者の臨床判断	埋入部位における X線写真の gray 値
硬 い	73.0 ± 31.6
柔らかい	61.7 ± 20.2

n=52

が、精度良く、客観的に評価するとすれば、先ほど示したような標準化された撮影を行わなければならない。頬舌的なことは、断層撮影を用いなければわからないが、被爆線量も多く、しかも精度はかなり低下する。

インプラントのアバットメントや上部構造の接合度合いを評価する場合には、2 方向からの撮影が一般的に推奨されている (図 7)。

III. 軟組織の評価

顎口腔系の発育に従って、口腔の機能は習得され、また、お互いは関連しながら完成されていく。一方、加齢に伴って、歯の喪失、歯槽骨や顎骨の吸収、筋線維の萎縮、減少を引き起こす。これらの形態変化に対して、補綴治療

図 7 Examination of fitness between the implant and abutment. Intraoral radiography when gap of 200 μ m was made between the implant and abutment

From left to right : 60°, 90°, and 120° of the angle between the X-ray tube and the film (see changes at arrows)

アバットメントの適合度の診査

インプラントとヒーリングアバットメントとの間に約 200 μ m のギャップを作ったときのデンタル像。左から X 線照射器のコーンとのなす角度が 60°, 90°, 120° (矢印部の変化に注目)

は硬組織の部分を再建するわけであるが、機能の主体は軟組織であり、それらに調和していなければならない。このように、歯科は硬組織の科学といわれるが、機能する作用点は硬組織であっても、それを作用できるようにするのは軟組織、つまり、舌、頬粘膜、口唇、軟口蓋となる。たとえば、インプラントで歯を再建したとしても、残存している舌、頬、口唇の機能に調和していなければ意味をなさな

図 8 Examination of soft tissue using cephalography
セファログラムにおける顎口腔系の軟組織の診査

図 9 Midsagittal MRI images (from left to right : during utterances of /a/, /i/, and /e/)
正中矢状面の MRI 像 (左から/a/, /i/, /e/発音時)

い。有床義歯でも、頬と舌との筋中立帯（ニュートラルゾーン）に人工歯を排列し、軟組織と調和した義歯形態を与えることが重要である¹⁶⁾。

セファログラムを代表とする多くの形態計測値は、有歯顎者の計測に基づいている。こういった形態分析は相関係数で0.8前後程度は得られており、ある範囲の角度なり、大きさに収束する^{17,18)}。したがって、これらのデータは咬合平面の設定や咬合採得の指標に役に立つものと考えられる。しかし、無歯顎者や多数歯欠損患者には高齢者が多く、高齢者の場合には、今の状態に至った習慣なり、習得された機能というものが存在する。したがって、これらを見捨て、有歯顎者のデータに基づいてのみ形態回復した場合に、残存する機能に調和しない場合がでてくる。このような分析に、軟組織の画像診査を加えることによって、より機能に調和した補綴治療が期待できる。

軟組織の観察方法としては、セファログラム、MRI、超音波法などがあげられる。

セファログラムでは、舌、軟口蓋、上気道形態、口唇などが観察できる¹⁹⁾。舌は硫酸バリウムを表面に塗布することにより明瞭に観察される。舌安静時には口蓋形状と舌形状は類似して観察され、後方部にはドンダースの空隙²⁰⁾といわれているスペースを観察できる。残存顎堤の高さや粘膜の厚さも、ある程度、規格化されて計測できるが、左右差については困難と考えられる。咬合高径や前歯の唇舌的な排列に関係する上下口唇の形態、咬合高径や臼歯部の排列位置、咬合平面に関係する舌位、睡眠時無呼吸症候群 (Obstructive Sleep Apnea Syndrome)²¹⁾に関係するであ

図 10 Measurement of tongue shape using ultrasonic system

Markers were attached to the ultrasonic probe and the mandible (a). Both images of tongue (b) and markers (c) were tracked and were superimposed

超音波断層法による舌形状の計測
超音波プローブと下顎に標点をつけ (a)、その舌 (b) と標点 (c) の画像を追跡し、舌形状と下顎運動の対応をとる

ろう上気道形態や舌骨の位置を観察できる (図8)。

MRI は非常に鮮明に軟組織を映し出し (図9)、その活動状態も把握できるようになっている²²⁾。歯との関係を観察するために歯冠造影法も提案されている²³⁾。

超音波法もその進歩はすさまじく、血流量まで把握できるようになっている。われわれは、下顎底部に超音波端子を置き、同時に顔面等を撮影することによって、舌形状と顔面や下顎との対応をとった²⁴⁾ (図10)。

軟口蓋の運動、いわゆる鼻腔閉鎖機能は、ファイバース

コープによって直視で観察できる。

このように、軟組織に関しても種々の観察方法が提案されているが、それらをどのように診断に役立てていったらよいのか、また、設計上のどの点に関連しているかを示すデータは明らかに不足している。

IV. さいごに

インプラントと軟組織のための診査、診断法について述べた。

何度もいうように、インプラント治療は画像診断なしに行うことはできない。顎骨形態を把握するためには、顎口腔系の正常解剖を理解し、読影力を高めることが肝要である。そして、骨質を含めた画像診査結果に、咬合力や下顎運動などの機能面、最終の補綴装置の構造、歯肉や唾液などの状態などのデータを加味して、インプラント治療の計画をたてることになる。当然、咀嚼機能や審美性に適したインプラントの埋入位置と顎骨形態と骨質に適した位置とは必ずしも一致しない。したがって、サイナスリフトなどの前処置、あるいは1次手術時の骨移植やGBRなどの必要性をあらかじめ診査の結果、予測しなければならない。

軟組織の機能と形態の計測や評価は難しく、そのほかの形態計測や顎機能に比べて遅れている。しかし、あくまで、これらは対として考え、診査、診断、治療計画、治療、予後判定の一連の流れを確立していかなければならない。

以上のような問題点を明らかにしていくためには、歯科補綴学だけの問題として捉えるのではなく、歯科学全体の学際的な課題とするべきであろう。

文 献

- 1) 山下 敦. 歯科医学教育の改革への提言. 歯界展望 92 : 169-184, 1998.
- 2) Miyamoto M, Horiuchi M, Ichikawa T et al. Pilot hole preparation : Technical note presenting a new technique for proper implant positioning. Int J Oral Maxillofac Implants 9 : 319-325, 1994.
- 3) Horiuchi M, Ichikawa T, Kanitani H et al. Pilot-hole preparation for proper implant positioning and the enhancement of bone formation. J Oral Implantology 21 : 318-324, 1995.
- 4) 平 健人, 立川敬子, 塩田 真ほか. インプラント治療における術前診断の重要性とステントの意義. クインテッセンス・デンタル・インプラントロジー 4 : 313-318, 1997.
- 5) 西連寺永康, 篠田宏司. 合目的なX線写真を撮影するには. 川原春幸監修, 口腔インプラント学 289-296, 東京 : 医歯薬出版, 1991.
- 6) Verstreken K, Cleynenbreugel JV, Marchal G et al. Computer assisted planning of oral implant surgery : a three dimensional approach. Int J Oral Maxillofac Implants 11 : 806-810, 1996.
- 7) 山内六男, 都尾元宣, 澤田尚昌ほか. 欠損部顎堤診査に対する顎顔面断層X線撮影装置 Scanora®の有用性. 補綴誌 42 : 246-253, 1998.
- 8) Takeshita F, Tokoshima T, Suetsugu T. A stent for pre-surgical evaluation of implant placement. J Prosthet Dent 77 : 36-38, 1997.
- 9) Ichikawa T, Horiuchi M, Miyamoto M et al. Radiographic analysis of 2-piece apatite implant : Standardized radiographs and digital image processing. Int J Oral Maxillofac Implants 6 : 63-69, 1991.
- 10) Ichikawa T, Horiuchi M, Horisaka Y et al. Radiographic analysis of 2-piece apatite implant Part I. Preliminary report of two-year observation. Int J Oral Maxillofac Implants 9 : 214-222, 1994.
- 11) 市川哲雄, 堀内政信, 堀坂寧介ほか. 骨質がアパタイトインプラントの術後経過に及ぼす影響. 日口腔インプラント誌 8 : 25-31, 1995.
- 12) Johansson P, Strid KG. Assessment of bone quality from cutting resistance during implant surgery. Int J Oral Maxillofac Implants 9 : 279-288, 1994.
- 13) Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In : Brånemark P-I, Zarb GA, Albrektsson T, editors, Tissue-Integrated Prosthesis 199-209, Chicago : Quintessence, 1985.
- 14) 福永仁夫, 谷澤龍彦, 伊東昌子ほか. 骨質の評価法の現状と展望. The Bone 10 : 20-32, 1996.
- 15) 中村利孝. 骨質とは. The Bone 10 : 33-40, 1996.
- 16) Ichikawa Y, Sato S, Morikawa Y et al. Prosthetic management for edentulous glossectomy patients. Quintessence Int 27 : 599-602, 1996.
- 17) 早川 巖. 頭部X線規格写真計測法の補綴学的応用に関する研究. 補綴誌 19 : 294-298, 1976.
- 18) Dawson PE. オクルージョンの臨床 523-535, 東京 : 医歯薬出版, 1973.
- 19) 根津 浩. 歯科矯正学 バイオプログレッシブ診断学 6-77, 東京 : ロッキーマウンテンモリタ, 1984.
- 20) Nagle RJ, Sears VH. Denture prosthetic complete dentures 270-271, Saint Louis : C.V. Mosby, 1962.
- 21) Lowe AA, Ozbek MM, Miyamoto K et al. Cephalometric and demographic characteristics of obstructive sleep apnea : an evaluation with partial least squares analysis. Angle Orthod 67 : 143-153, 1997.
- 22) 市川哲雄, 薦田淳司, 松本直之. 舌運動とその計測方法. 歯科ジャーナル 35 : 309-317, 1992.
- 23) 和久本雅彦, 正木信夫, 本多清志ほか. MRI 用歯冠造影プレートの摩擦子音構音への影響. 電子情報通信学会技術研究報告 SP : 97-123, 1998.
- 24) 市川哲雄, 森川葉子, 堀内政信ほか. 超音波計測法を用いた舌形状の動的計測. 補綴誌 40 : 917-921, 1995.