

## 補綴主導型インプラント治療概念の変遷と今後

関根秀志

Transformation and future of restorative oriented implant procedure

Hideshi Sekine, DDS, PhD

### 抄 録

超高齢化が進む本邦では、健康寿命の延伸が重要課題と認識されている。そのなかで、口腔の健康が全身状態に大きく影響していることについての報告が数多くなされてきている。特に、歯を喪失した後に、適切な咬合を回復することが全身的栄養状態や認知症の発症頻度、さらに生命の生存率に関わっていることなどが示されている。補綴歯科治療の重要性が明らかとなり、期待されている。

われわれの日常生活と同様に、歯科医療の分野においてもデジタル化が急速に進んでいる。インプラント治療に関わるデジタル技術の開発と応用も同様に変化している。インプラント治療において、インプラント体埋入に関わる概念が顎骨主導型から補綴装置主導型に変容した。補綴装置主導型インプラント治療のワークフローはフィルム媒体をもちいたアナログ的手法からデジタル化した。歯科医療におけるコンピューター支援はさらにハイスピードで進んでいくものと考えられる。

### キーワード

治療概念の変遷, 歯科のデジタル化, コンピューター支援治療

### ABSTRACT

In Japan, where super aging is proceeding, extension of healthy life expectancy is an important issue. Many reports have been reported that oral health affects the general condition. Especially after the loss of teeth, restoration of proper artificial occlusion is related to systemic nutritional status and frequency of occurrence and survival rate of life. The importance of prosthodontic treatment is indicated.

Digitization of dentistry is progressing. Development and application of digital technology related to implant treatment are changing as well. In implant treatment, the concept related to implant placement has been transformed from a jawbone-oriented type to a prosthetic-oriented type. Workflow of prosthetic device-driven implant treatment was digitized from analog methods using film media. Computer aided dental procedure will be further advanced.

### Key words:

Therapeutic concept transformation, Dental digitalization, Computer aided dentistry

### I. はじめに

超高齢化が進む本邦では、健康寿命の延伸が重要課題と認識されている。そのなかで、口腔の健康が全身状態に大きく影響していることについての報告が数多くなされてきている。特に、歯を喪失した後に、適切

な咬合を回復することが全身的栄養状態や認知症の発症頻度、さらに生命の生存率に関わっていることなどが示されている。補綴治療の重要性が明らかとなり、期待されている。

一方、可撤性義歯やクラウンブリッジなどの従来型補綴治療に加え、優れた科学的根拠に裏づけされたオッセオインテグレートッドインプラントは広く普及

し、現在も学問として進歩し、臨床応用が発展している。従来の補綴方法に対するインプラントの利点については述べるまでもないが、さまざまな機能や審美的回復に対する患者の要望が高まるにつれ、インプラント関連器材や術式の開発が続き、適応症が拡大されている。また、機能回復が困難と判断される症例に対して、先進医療「インプラント義歯」と扱われていた治療の一部が2012年の診療報酬改訂で「広範囲顎骨支持型装置埋入手術」、「広範囲顎骨支持型補綴」として保険導入され、2016年の改正では「唇顎口蓋裂等」、さらにより狭い範囲へ適応症の拡大がなされている。そこで本稿では、オッセオインテグレーションタイプのインプラント治療の臨床導入からこれまでの変遷を確認するとともに、デジタル化によってもたらされることが期待される今後の発展について考察する。

## II. インプラントシステムの変遷

### 1. インプラント体の材料と結合様式

歯の欠損に対して生体適合性を有する材料を用い、口腔緒組織に支持された咬合を人工的に回復するインプラントを用いた歯科的対応の歴史は古く、さまざまなインプラントが開発され、臨床に応用されてきた。生体内許容性材料をインプラント体として使用し、骨組織との間に線維性結合組織を介する介在性骨結合を生じるインプラントシステムが初期に多用された。1970年代にはこのようなインプラントシステムにおける成功の基準が示されている。これに対して、純チタンなどの生体内安定性材料をインプラント体で使用し、一定の環境下で接触性骨結合を獲得するいわゆるオッセオインテグレーションタイプのインプラントシステムが開発された。このスクリュータイプの骨内インプラント体を使用するシステムは、現在まで主流として臨床に応用されている。インプラント体表面に骨組織が直接接触する状態が成立することから、臨床的に動かないインプラントと認識され、歯根膜の存在により被圧変位する天然歯と相容れないと認識され、無歯顎への応用に限定されて臨床応用された。新たに成功の基準が示され<sup>1)</sup>、臨床応用が進み、良好な治療成績が報告され、それらのレビューが評価されることによりインプラント治療についてのコンセンサスが提示されることとなり、部分的欠損部、単独歯欠損部へと適用が広がった。

さらに、チタン製インプラント体の表面にハイドロキシアパタイトなどの生体内活性材料をコーティングし、骨組織との間に化学的結合を獲得するタイプのイ

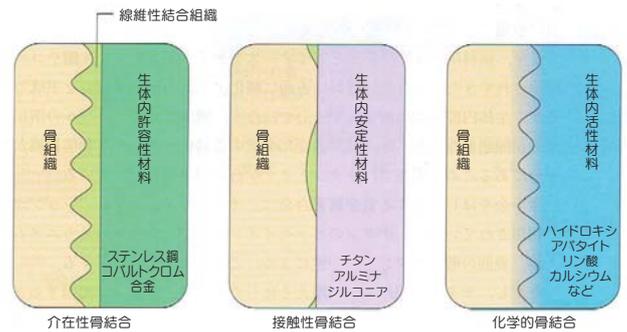


図1 各種インプラント材料の骨内治癒機転

医歯薬出版 よくわかる口腔インプラント学 p. 51

ンプラントシステムが開発され、臨床に応用されている（図1）。加えて、ジルコニアなどの機械的性質に優れ、アレルギー反応を生じる可能性の低いセラミック系材料のインプラント体への応用が始まっている。

### 2. インプラント体の形態的变化

人工歯根としての機能が求められるインプラント体は、過去には多様な形態のものが開発されてきたが、現在ではスクリュー型が主流である。

#### 1) インプラント体形状

オッセオインテグレーションタイプとして第一に開発されたインプラント体は、純チタン製の円柱の表面にネジ山を加工したストレート形状であった。さらに、インプラント体の外形が先端に向かい先細りとなるテーパー型が開発された。テーパー型のインプラント体は、インプラント体埋入時の締め付けトルクが埋入深度の深まるにつれて急激に高まることから、骨質が軟らかい部位への適用を目的とした。加えて、インプラント体の隣接する天然歯の歯根への接触回避やインプラント体先端の顎骨外への露出の予防などの効果が期待されることから、臨床応用が高まっている。

#### 2) インプラント体表面の変化

純チタン製ストレート形状で第一に開発されたインプラント体は、機械加工によるネジ構造が付与されており、その表面には回転切削加工による一方向の切削傷が残るものであり、また再表層はごく薄い酸化チタンの不動態皮膜で覆われていた。その後の研究から、インプラント体表面で生じる骨新生は、平滑面より粗面のほうが早期に獲得されることが報告された<sup>2,3)</sup>。そのためオッセオインテグレーションの獲得に有利であることから、現在、多くのインプラント体の表面にさまざまな粗面加工が施されている（図2）。

また、インプラント体表面が親水性であることが

機械加工	旋盤加工
コーティング (Ti) (HAP)	プラズマ溶射 プラズマ溶射, スパッタリング法, プラズマ溶射後にスパッタリング など
サンドブラスト	アルミナ粉末, チタン粉末, アパタイト 粉末, $\beta$ -TCP 粉末
エッチング	酸エッチング (フッ酸, フッ酸+硫酸, 塩酸など)
ブラスト+エッチング	サンドブラスト後に酸エッチング
陽極酸化	電気化学的 surface 処理
ワイヤ放電加工	放電加工

図2 チタンインプラントの表面処理  
医歯薬出版 口腔インプラント治療指針 2016 p. 3

オッセオインテグレーションの早期獲得に影響する研究結果が報告され<sup>4)</sup>, そのためのインプラント体表面の管理法の工夫や表面処理のための機器の開発がなされている。

### 3) インプラント体とアバットメントとの連結機構

インプラント体とアバットメントとが接する界面には, インプラントシステムごとにさまざまな構造が付与されている。オッセオインテグレーションタイプとして開発されたインプラント体は, インプラント体に六角形のナット状回転防止機構が付与されており, アバットメントがインプラント体の外側に嵌合するエクスターナルコネクション (外部連結) 構造であった。また, インプラント体とアバットメントとが平面同士で接合する構造は, バットジョイントと呼ばれている。この連結機構は, 構造が単純であり, 部品の互換性を確保することが容易であり, 広く臨床応用された。しかし, アバットメントを締結するアバットメントスクリューへの応力集中から, スクリューの緩みを生じやすいこと, エクスターナルコネクションではインプラント体上面のプラットフォームとアバットメントの界面にマイクロギャップが存在し, 細菌の漏洩等の発生からインプラント体頸部周囲の骨組織の吸収を助長することなどが指摘されている。

一方, その後, インプラント体の内部に回転防止機構が付与されており, そこにアバットメントが嵌合するインターナルコネクション (内部連結) 構造が開発されている。さらにこのインターナルコネクションには, バットジョイントのものほかに, インプラント体内部の嵌合部分に傾斜が施されており, アバットメントの連結が強固なテーパジョイントが開発されている。エクスターナルジョイントと比較して, 嵌合部分が深く設計されたインターナルジョイントは, アバットメントスクリューの緩みを生じづらく, 装着が容易

であり, 広く普及している。特に, テーパージョイントでは, アバットメントスクリューの締結によりアバットメントとインプラント体の界面にくさび効果を生じ, より強固な連結が得られるとされている。また, テーパージョイントのインプラントシステムの多くは, アバットメントの嵌合部分をインプラント体外周より一回り細く設計するプラットフォームシフト構造が付与されており, 界面周囲の組織安定性がさらに高いことが指摘されている。

インプラント体とアバットメントの連結部にはインプラントシステムごとに寸法的な誤差の存在が報告されている<sup>5)</sup>。装着される補綴装置が単独歯の場合, 連結部が強固であり, 誤差による遊びが少ないことが望まれる。一方, 多数歯欠損部へ大型の上部構造をスクリュー固定する場合, 誤差による遊びがまったくない部品を用いて, 受動的適合を確保することには, きわめて高い技工技術を要する。スクリュー固定することにより上部構造にたわみを生じた場合, そのたわみもとの形態に戻ろうとする内部応力が持続的に生じることとなり, アバットメントスクリューの緩みや破損, インプラント体頸部周囲の支持骨の吸収に発展する危険性を生じる。テーパジョイントに比較して寸法誤差が大きいバットジョイントでは, 連結部分に存在する一定の範囲の遊びが受動的適合の獲得を容易にすることが考えられる。

このように, インプラント体とアバットメントとの連結部には, 構造的な特徴があり, 治療計画立案にあたり, 検討を要する事項の一つとなる。

## III. インプラント治療概念の変遷

### I. EBM から NBM へ

欠損補綴に関わる歯科治療のみならず一般の医療サービスにおいて, 治療方法とその効果を医療面接により, 十分な患者の理解を得ることが求められる。また, 複数の治療方法が考えられる場合, それぞれの治療方法がもたらす治療結果を患者に示し, 患者本人がそれを十分に理解した上で治療方法を選択する, いわゆるインフォームドチョイスの過程を経ることが望まれる。治療方法ごとの結果を, 科学的根拠に基づき, 術者の主観にたよらず, 客観的に比較・検討できる状況を整えて医療を進めるアプローチはエビデンスベースドメディシン (evidence based medicine: EBM) と呼ばれ, 患者の QOL 向上に大きく貢献することが指摘されている。

これに対し, 治療方法の選択を客観的な科学的根拠

に基づくだけでなく、患者ごとの精神的、社会的背景を考慮し、患者自身による病態に対する“語り”に耳を傾け、治療方針に反映させることが注目されている。このような手法をEBMに対して、ナラティブベースドメディスン（narrative based medicine: NBM）と呼ぶ。

歯の欠損に対する治療方法は多様であり、インプラント治療があらゆる患者に対して最良ではない。特に、インプラント治療は患者にとってさまざまな負担の大きな治療であることから、従来型の補綴治療との比較を検討しながら、インプラント治療の安全性と有効性が担保されていることを確認することが求められる。また、患者の口腔内環境は経年的に変化することが避けられない。口腔内の変化に加え、患者の加齢に伴う社会的な変化や優先する要望の変化などに対して、可能な限り負担の少ない対応を可能とする再治療性、修理容易性に富んだ治療方法の選択がなされることが求められる。

## 2. 顎骨主導から補綴主導へ

介在性骨結合によるインプラント治療から接触性骨結合によるインプラント治療へ移行した当初では、インプラント体がオッセオインテグレーションを獲得することが強く求められた。現在、主流として使用されているインプラント体と比較して、当初のインプラント体の形態や表面性状はオッセオインテグレーションの獲得しづらいものであった。そのため、オッセオインテグレーション獲得のために少しでも有利な条件でインプラント体埋入を行うため、骨質と骨量の条件を優先した顎骨主導の治療が広く実施された。そのような治療方針の下、無事にオッセオインテグレーションを獲得したインプラント治療患者の中・長期の経過では、インプラント体の埋入位置や方向が、上部構造の機能や審美性の確保に向いておらず、スクリュー破折や緩みなどの補綴的トラブル、自浄性・清掃性が確保できないことによる炎症性変化、上部構造の大きさや範囲に生じる制限による感覚・発音の問題や舌・頬咬などの問題を生じ、治療結果に対する患者のQOL向上に乏しい症例が存在することが指摘された。

その反省から、インプラント治療の適用範囲のみならず、現在歯を含む口腔全体を総合的に評価し、回復する咬合を具体的な最終ゴールに設定した治療を行う補綴主導型インプラント治療（restorative driven implant treatment, top down treatment）が推奨されることとなった<sup>6,7)</sup>。具体的には患者の希望に配慮した最終補綴装置のデザインを模型上で診断用ワック

スアップし、それをもとに製作した診断用ガイドプレート装着した状態でCTを含むエックス線画像検査を行う。これにより、最終補綴装置を適切に支持することが可能なインプラント体埋入位置の計画を行うことが可能となり、その埋入計画を実施するための製作した外科用ガイドプレートをインプラント体埋入手術に応用することにより、一貫した最終ゴールを実現できるワークフローが考案された。

## 3. 学際的治療計画と最小限治療負担

補綴主導型インプラント治療の定着とともに、幅広い歯科的治療を併用し、より良い治療結果に導くための手法が提案された。口腔外科的あるいは歯周外科的アプローチをインプラント治療に組み入れることにより、患者の希望に対して緻密に対応することが可能となり、患者の訴えに対する高度な対応が可能となり、患者のQOLの向上に直結することが目的となった。硬組織の管理により従来インプラント体埋入が困難と診断された骨量の乏しい部位に対して、さまざまな骨増生法がインプラント治療に併用されることとなった。また、歯周病治療に適用される軟組織増生処置をインプラント治療に併用することにより、審美性の向上ないし清掃性の向上の獲得が期待された。

インプラント治療に加えて、付加的な口腔外科的あるいは歯周病的処置を併用することは、治療ステップを増加させることとなり、患者のみならず術者の負担を大きくすることとなった。

現在では、造成した組織の長期的な経過から治療効果の評価が行われている。長期的な経過の中で、造成した組織の吸収・喪失が報告されている。治療に伴う侵襲を可能なかぎり小さくすることが求められている。治療効果を十分に推測し、治療方法を検討することが望まれている。

## IV. コンピューター支援によるインプラント治療

補綴主導型インプラント治療において、診断用ワックスアップに基づいた診断用ガイドプレートを利用した画像診断が不可欠となった。当初、診断用ガイドプレート装着状態でのエックス線検査により得られた画像がフィルム媒体であった折には、フィルムのトレースを経てインプラント体埋入部位の検討・考察が行われた。

画像データのデジタル化が進み、画像データをコンピューターに取り込み、診断用ソフトウェアで活用するワークフローが、臨床で一般化されるに至ってい

る。外科用ガイドについては、フィルムベースで作製される診断用ガイドプレートをモディファイしたことから、コンピューターシミュレーションしたデータを基に製作される外科用ガイドを使用するいわゆるガイドドサージェリーが一般に普及した。

外科用ガイドプレートは、当初、CT 画像データを基に製作された。現存歯を外科用ガイドプレートの支持に利用する場合、検査画像上の金属アーティファクトの影響を受け、歯冠形態が十分に再現されず、外科用ガイドプレートの適合に大きく影響された。現在では、エックス線画像データと顎模型のスキャニングデータを重ね合わせるにより、現存歯への適合性が極めて高い外科用ガイドプレートの製作が可能となっている。このような CT データを用いたコンピューターシミュレーションからデジタル技工により作製される、高精度な外科用ガイドプレートの応用が、広く浸透している。

インプラント体埋入手術に伴う重篤な医療トラブルは、昨今、減少傾向であることが報告されている<sup>8)</sup>。画像診断から外科的処置にいたるワークフローへのデジタル技術の適用の影響が大きいと考えられる。

## V. インプラント治療におけるデジタル技術の応用

現存歯に対する歯冠修復処置におけるデジタル技術の応用が浸透するのと同様に、インプラント治療における補綴装置の製作過程におけるデジタル技術の応用が進んでいる。

従来、貴金属系材料を鋳造成形してインプラント上部構造を製作する技法が多用されてきた。デジタル技術の歯科領域への進展に伴い、CAD/CAM 技術を応用した補綴装置の製作が普及しつつある。歯科用金属の適用による金属アレルギーの発症や金属価格の高騰などにより、金属を用いない補綴装置製作手法がさまざまに検討されている。インプラント上部構造の製作に関わる CAD/CAM 技工で使用する材料は、主にチタンとジルコニアであり、金合金の鋳造・ろう付け技法を用いた従来の上部構造製作過程から大きく変容している。特に、大型補綴装置の適合確認過程において、分割して製作した鋳造体を口腔内で位置確認するワークフローから、フレームワーク研削前に模型の精度を確認する治具を適用する手法が広く臨床に応用されている。

## VI. おわりに

欠損歯列は、その放置により欠損拡大を生じる進行性の病態であるという観点から、補綴歯科治療による人工的咬合再構成の意義はきわめて高いと考えられる。従来型補綴歯科治療に加えインプラント治療は臨床的な選択肢の一つとして、定着している。一方、歯科医療へのデジタル技術の応用が進む中、インプラント治療のワークフローは大きく変容しており、その傾向は衰えることなく、急加速していくことと推測される。生体が受け入れるオッセオインテグレーション獲得の条件は変わることが無いことから、技術革新に対応した医療サービスが求められる。

## 文 献

- 1) Albrektsson T et al. The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; 1: 11-25.
- 2) Buser D et al. Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants. *Clin Oral Implants Res* 1997; 8: 161-172.
- 3) Adde R et al. Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5: 347-359.
- 4) Brunette DM. Principles of cell behavior on titanium surface and their application of implanted devices. 1st ed. Springer Verlag, Heidelberg, 2001, 485-512.
- 5) Ma T et al. Tolerance measurements of various implant components. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12: 371-375.
- 6) Garber DA et al. Resorption-driven implant placement with restoration-generated site development. *Compend Contin Educ Dent* 1995; 16: 798-802.
- 7) 古谷野 潔ほか. インプラントと咬合. 松本直之, 末次恒夫監修/先端医療シリーズ・歯科医学 歯科インプラント, 東京: 先端医療技術研究所; 2000, 37-45.
- 8) 白田 慎ほか. インプラント手術関連の重篤な医療トラブルについて 第 2 回調査報告. *日本顎顔面インプラント学会誌* 2017; 16: 89-100.

著者連絡先: 関根 秀志

〒 963-8611 福島県郡山市富田町字三角堂  
31-1 奥羽大学歯学部歯科補綴学講座  
Tel: 024-932-9342  
Fax: 024-991-7786  
E-mail: h-sekine@den.ohu-u.ac.jp