総

説

歯科材料とくに金属材料の諸問題

三 浦 維 四

東京医科歯科大学医用器材研究所金属材料部門

Some Problems on Dental Alloys

Ishi Miura

Division of Metallurgy, Institute for Medical and Dental Engineering,
Tokyo Medical and Dental University

I. はじめに

歯科材料という学問分野は歯学と工学・理学との間にある学際領域に属する。したがって学際領域に属するためのいくつかの特徴がある。その最大のものに両側からの研究は進むが完全に融合した研究がしにくいということがある。

これからの研究者は2カ国語（ここでいう国語とは外国語のことではなく専門語、術語のことである）、3カ国語を自由に話せることが重要になってくると思われるが、これは言葉自体も英語など、少なくとも2国語をマスターすることが望ましいことと似ている。

研究者の負担は年とともに増大している。これはワンマンバスの運転手や航空機の機長などをみればわかることである。研究者にとって年とともに非常に多くの複雑な機器が登場し、われわれはこれらを自由に使いこなさなければならない。むかしの研究者はその点では非常に楽だったと思わざるを得ない。われわれはこれらの機器を駆使して何をなすべきかについて考えてみたい。

II. 力学的性質

材料を扱うとき、いろいろな性能を要求されるが一般論として述べると、要求される条件には2

つの基本的なものがあり、そのひとつは強さなどに関する力学的性質であり、もうひとつはその材料をとりまく環境に負けないための耐環境性——一般的には耐食性である。

歯科材料は一般には機能性材料と考えられており、それに分類されることが多いが、よく考えてみると構造成材料とみることができる。したがって強さや展延性に関する力学的性質が重要になってくる。

一般に歯科材料の強さは引張強さであらわされることが多い。この引張強さは簡単な言い方をすれば、材料が破壊するときの強さである。歯科材料は破壊するまで使うことはまずないのに、なぜ引張強さを用いるかの疑問があると思われるが、これは本当は弾性限度あるいは降伏強さを用いるのが理に適っているのであるが、むかしの測定機器ではこれらの値を測定するのが、大変面倒で簡単に求めることができず、引張強さと降伏強さは大体比例することが多かったので便宜的に引張強さの項で求められてきたが、現在では測定機器の進歩とともに降伏強さが容易に求められるようになってきたので降伏強さ（耐力）として用いることが多くなってきている。

ところで、引張強さにせよ、降伏強さにせよ、歯科材料として、どの程度のものが要求されるか

については確かな値はほとんど知られていない。一般的には経験に基づいて、使用個所によって4種に区分することが多いようであるが、一般的にいうと強度そのものについては恐らく問題となることは少ないと思われる（鋳造欠陥など、特殊な事情で強度が著しく落ちたとき以外）。

問題は疲労とくに腐食疲労の問題であり、この現象はとくに重要である。むかし、英国のジェット機のコメットが大気圏より飛び立ち成層圏を飛行するため、大気圧の差がくり返し機体にかかり、普通の設計上の静的な力学計算では十分すぎる位十分であった機体が破壊したことは有名である。歯科の場合でも、このように普通では破壊などほとんど考えられないわずかな力でも破壊にいたる場合も考えられるが、疲労に関する研究はほとんどないのが現状である。

とくに口腔内では口腔液その他による腐食環境にあるので、腐食疲労の現象がおこる可能性もあるが、この説明はほとんどなされていない。破壊された修復物に対する原因の説明は航空機の事故原因の説明と同様に重要と思われるが、この点についてもほとんどなされていない。この破壊原因の説明は多くの専門家によってなされる必要がある。設計ミスによるのか、材料不適格によるのか、この原因の説明は材料学や補綴学などに重要なことと思われる。

力学的性質についての問題はたくさんあるが、私がとくに興味をもっているのはクラスプである。クラスプに要求される条件というのは鉤歯に与える影響をできるだけ小さくし、しかも義歯を安定させるだけの機能をもつことといわれる。しかし、クラスプの弾性エネルギーが歯牙の動揺に与える問題こそ疲労に関する問題そのものであり、この定量化と義歯を安定させるに必要な弾性エネルギーの2つの条件からクラスプの設計が行われるべきであると考えられる。

この問題の解決にはコンピューターの助力が必要で、歯学、材料学、情報処理の3カ国語を話せる人の努力を必要としていると思われるが、現在の経験を生かした設計にとって、上記のような数

学的裏づけが望ましいように思われる。

クラスプに限らず、義歯の設計に必要な歯科学とくに義歯の力学の発達が望ましいと思われる。

橋や建築物の設計は一般に条件が固定されており普遍的なことが多いが、たとえば歯科のブリッジは橋と比べるときわめて個性的であり、一般的計算はほとんど不可能と思われ、そのためにはコンピューターの助力がどうしても必要であり、また、最近流行の最適設計のひとつとしてFEM（有限要素法）の応用が大事なのではないかと思われる。

これらの技術が進歩すると、それこそ、CAD/CAM（Computer Aided Design, Computer Aided Manufacture）の世界となり、歯科補綴学にとって大きな力となることが考えられる。

Ⅲ. 耐 環 境 性

歯科材料は一般に口腔内で使う場合と、生体内で使う場合の2つに区分できると思われる。ここでは便宜上、前者を口腔材料、後者をバイオマテリアルつまり生体材料とよぶこととする。この2者は力学的性質については大きな差異を認めることはないが、耐環境性については、大きな違いがあるように思われるので、この節では口腔材料と生体材料との2つに分けて考えることとする。

1. 口腔材料

口腔材料について、耐環境性の問題を考えてみると、ひとつの大きな問題があることに気づく。それは口腔材料が腐食・変色した場合でも、その機能が失われなければ十分と考えるべきなのか、それともいくらでも表面が曇ったり変色して美観が失われることがあったら、その材料は不適格と考えるべきなのかという問題である。この問題は恐らく使用個所によってその基準が変わるのではないかと思われるが、この判定基準をまず第一に確立しないと論議が先に進まないように思われる。腐食 corrosion と曇り・変色 tarnish は区別して用いることがあるが曇りは金属表面の大気中でのごくわずかな酸化であり、変色は腐食のごく

初期の段階に属すると解すべきなのであろうか。

耐環境性の問題で次に問題となるのは耐環境性の判定の方法——つまり試験法である。

歯科の場合、材料をとりまく環境に特殊性はないので、一般的な耐食性という言葉で表現するのが妥当と思われるが、耐食性の試験法の優劣は実際の腐食とどれだけ正確に比例しているかにかかっていると思われる。一般的にいうと歯科の場合の耐食性の試験法はいろいろな問題を含んでいる。

腐食試験法は大きく分けて(1)腐食環境をどのように設定するか(2)腐食の進行程度をどのように判定するか(3)の2つの項目になるとと思われる。

このうちの(2)の腐食程度の判定法は古典的な方法と電気化学的な方法とに分けられる。

古典的な方法は腐食試験後の表面状況の観察と重量変化を求めることになっている。私の友人で金属の腐食を専門にやってきた東大教授は、この古典的な方法が一番確かだと笑っていつている。金属材料の場合の腐食は電気化学的な現象によっておこると考えられているので、電気化学的な方法で判定するのが理に適っていると一般に考えられている。これらの方法については多くの研究発表があるので、それらを参考にしていきたい。

ここで、私がとくに強調したいのは(1)の腐食環境の設定の問題である。口腔材料の腐食試験の問題はこの腐食環境つまり腐食液とその腐食条件にあるといっても過言ではないように思われる。この腐食液とその腐食条件の選択は口の中での実際の腐食と比例関係にあらねばならない。

しかし、これは言うはやさしいが、行うことは大変むずかしい問題である。

むかし、アルミニウム合金を船舶用に使おうという用途開発の研究があった。このとき、実験室的に各種アルミニウム合金を人工海水中につけて腐食の進行状況を調べるとともに、軽金属協会が主体となって、実際にアルミニウム合金を海水中に浸漬して10年間の各時期ごとにデータをとったことがある。これなどは海水の移動その他多くの

影響が実現され、いわゆる *in vivo* の状態が再現されたものとして、腐食試験法としては完全に近いものといえることができる。

しかし、歯科の場合は海水と違って、個人差があり、また同一個人にあっても部位によって腐食条件がかなり違うことが知られている。この困難をいかに解決するか腐食の問題はかかっているように思われる。

むかし、口腔材料の腐食試験法として、37℃に保たれた1% NaCl, 0.05% HCl, 1% 乳酸, 0.1% Na₂S の水溶液中で浸漬試験を行う方法がとられたことがある。当時は歯科理工学の黎明期でデータも少なく関係者の苦労が偲ばれるが、この方法が実際の腐食とどのような対応性があり、意味づけができるかとなると返答に窮してしまう。

実地との対応性をみるためには、先ほどの海水での実地試験と同じく、口腔内での腐食の進行がどのようなものであるかの研究が必要なのではないかと考えられる。現在は単発的な報告が知られているが、素性の明らかな材料での系統的な研究が必要のように思われる。

さて、腐食試験法は短期間に、しかも簡単な操作でより実際に近い値を得られることが望ましいが、口腔内の腐食状況をシミュレートする方法の開発が必要で、これらの研究はこれからの問題である。

また、腐食液についても、納得できるような腐食液の開発が望まれており、何種類かの人工唾液はその努力の一つと思われるが、蛋白質が時間とともに変質する問題や存在イオンの意味など、一般に普及し得ない原因があるように思われる。

腐食液の問題は、腐食液の選択の仕方によってある場合にはA合金は適格であり、B合金は不適格であるのに、腐食液を変えると反対の結果になるということがあり、この問題は材料の採否についての政治的な問題も含んでいるといえることができる。

2. 生体材料

口腔材料では、おもに使用した材料自体の腐食のことが話題になってきた。ところが歯科インプ

ラント——たとえば人工歯根や顎顔面補綴のように、生体内に埋入される材料になると、事情が異なってきた、材料から生体内に溶出するイオンのことが重要な問題となってくる。

一般に、口腔材料においても口腔内に溶出するイオンがある場合には大事になってくることもあり、また生体材料においても材料自体の腐食が大事なことはいうまでもないことである。

しかし、たとえば昭和60年3月30日 薬審第294号として厚生省の薬務局で定められた歯科鑄造用ニッケルクロム合金の承認基準では「ニッケルの溶出試験は各種試験法で 1.0 mg/cm^2 を越えてはならない」と定めているが、これはかなり緩やかで恐らくほとんどのニッケルクロム合金は合格するものと予想されるが、これは口腔内に溶出するイオンの為害性は小さいものとの判断から生じていると思われる。

しかし、生体内でのイオンの溶出の影響については不明なことが多く、定量的なデータが少ないようにみうけられる。現在までにかなり再現性に乏しいと思われるような臨床試験結果やアレルギー問題などが示されているが、これからの研究は再現性のある結果が積み重ねられていくことが重要と考えられる。

しかし、生体組織内におけるイオンの溶出が無視できるくらい小さいことが望ましいことは当然であって、このためには生体材料はとくに耐食性にすぐれたものであることが要求される。

腐食状況については、生体の組織液や血液や細胞培養液などは Na イオンと Cl イオンが中心で、これに K, Mg など多くの微量の陽イオンと陰イオンを含むことが知られており、これは昔人類は海中に住んでいたためといわれているが、海水に近い水溶液に強い材料が生体材料として適当であることが知られる。

材料と腐食環境が反応することが、腐食生成物

をつくり、またイオンが生体内に溶出することになるので、腐食生成物を作らないことが生体親和性の第一の条件であり、海水に対して強い材料は人体への為害性と生体親和性の点ですぐれているということができる。

金属材料でいえば、金や白金は海水に対して非常に強いことはいうまでもないが、最近話題として取り上げられているチタンは NaCl, KCl その他に対して非常に耐食性がよいことが知られており、これらの点からはチタンは口腔材料のみならず、生体材料としてもすぐれた素質をもつ材料であるということができる。

IV. 終わりに

歯科材料に関する問題として、おもに強さ（力学的性質）と耐食性の問題について述べてきた。材料に要求される性質はこれだけではなく、使用する目的に応じて細かい問題がいろいろと存在するが、これらの各論については紙枚の関係で省略させていただくことにしたい。

最後に、歯科材料学という学問はまだ緒についたばかりで、研究者の層も薄く、また歯学と工学とが完全に結びついた研究はこれからのようにみうけられる。今まで述べてきた問題が少しでも早く解決して、歯科材料学の基礎がしっかりすることがすぐれた材料の開発につながるものと考えられる。

また、前に本紙の「最近の歯学」¹⁾においても述べたように、「歯工学」というような分野の開発も歯科理工学者に限らず、歯学研究者にとって重要な目標であると考えられる。

文 献

- 1) 三浦維四：歯科理工学の反省と展開。口病誌 54: 542, 1987.