

最近のトピックス

生体力学と有限要素法

新潟大学歯学部歯科理工学教室

宮川 修

生体工学に含まれる分野は非常に広いが、その中でとくに力学的色彩の強い領域を生体力学 Biomechanics と呼ぶ。歯科領域においても例えば、顎骨折、補綴物の強さと生体支持組織の力学的負担、あるいは歯の矯正移動など、多くの力学的側面を有していることは言うまでもない。とくに、生体との親和性を重視した新しい材料が次々と開発されているインプラント義歯でも、その支持機構が天然の歯のそれと全く異質のものであるから、多分に生体力学的な問題を多数包含しているように思われる。

このような生体力学の問題の解明のために歯科領域の各分野においてこれまでも、各種の力学的、材料力学的手法の応用が試みられてきた。なかでもストレインゲージ及びこれを応用した各種センサーは医学、歯学の分野で最もポピュラーなものであろう。ただし、これは point by point の測定であり、またセンサーの大きさの故に、生体組織の各部の力学的な負担を全体にわたって系統的に把握するには必ずしも適していない。さらに、センサーを生体内に埋めこむことが困難であったり、許されないこともある。このような非破壊的でなければという制約もあってか、多くの場合は対象を模した模型上での実験的な研究、とくに光弾性実験による研究が主体をなしてきたが、これはモデルと実物との等価性という模型実験の基本的要件からみるとはなはだ不満足な点が多かったことも事実である。

これにたいして近年、電子計算機の発達とともに急速に発展し、工学の各分野に普及したものに有限要素法 FEM がある。これは構造力学の場合、対象とする領域を微少な部分（要素と言う）に分割し、各要素は有限個の点（節点と言う）で結合しているものと仮定し、力のつりあい条件から各節点での力と変位についての多元連立一次方程式をたて、これを計算機で解こうとするものである。もちろん、これは数値モデルによる近似計算であるが、この方法の妥当性の物理学的な根拠もすでに与えられ、分割する要素の数を多くしていけば真の解

に収束することが知られている。これによれば模型材料からの制約に煩わされることなく、対象とする領域の形状とその力学的特性を任意の近似度で再現し、自由にモデルを設定することができる。使用する計算機の性能と計算コストなどの事情さえ許せば、軟組織が有する非線形的弾性、あるいは粘弾性の性質をモデルにくみこむことも容易である。また、生体力学でもマクロなレベルでの応力で問題をとらえることが一般的であるが、これによれば不均質性や異方性のあつかいもできるので、もう少しセミマクロなレベルに立入ったアプローチも可能になる。

筆者はこれまでに橋義歯の場合の支台歯が負担する力を FEM によって検討し、また最近では、歯の矯正移動に関連して、矯正装置が装着された状態での歯に作用する力とその変位をシュミレーションするための FEM に基づく新しい方法を提案した（J. of Biomechanics に投稿中）。

航空機の強度計算に始まった FEM は、船舶、機械、建築、土木のみならず、電磁気学や流体力学などの工学の各分野に普及し、いまではほとんどの計算機センターのライブラリーにこのためのプログラムが常備されている。また最近では、これとは原理的に異なるが、同じような機能を果たす境界要素法 BEM なるものも注目されている。これは注目する領域の境界だけを要素分割するもので、計算のためのデータ作成と入力に FEM に比較して著しく簡単化・省力化される。そしてさらに、これらをパーソナルコンピューターによって行う試みもなされるほどに情報処理機器の進歩が著しく、近い将来には研究室レベルで力学的な解析をもっと手軽に行うことができるようになることも夢ではない。

FEM や BEM によって生体力学の問題はたしかに、これまで以上に多角的かつ系統的に問題にアプローチすることができるようになった。けれども、得られたデータが実際の生体の力学的レスポンスとどのように結びつくのであろうか。このことは FEM 以前の模型実験の時代とほとんど変わっていないように思われる。マイクロとマクロの境界の研究がなお必要ではなからうか。もちろん、これは筆者の能力を越えた範囲にあるので、その方面の方々をお願いしたい。