

# ヒト歯硬組織の局所的力学特性に関する研究

桜 井 淳\*

## The study on regionally mechanical properties of human hard oral tissues

by Jyun SAKAI

歯牙は人体の中で最も硬い組織の一つであり、口腔内に位置し、歯列を形成して捕食や咀嚼、発音、呼吸等といった人体における機能の一端を担っている。ヒト歯牙においては、切歯、犬歯、小臼歯、大臼歯が存在し、それぞれが異なった形態と機能をもっている。また歯牙は、永久歯と乳歯が存在する二生歯性を有し、生後7ヶ月頃より乳歯が萌出し、6歳～11歳かけて歯根の吸収と脱落が起こり、永久歯に生え変わる。乳歯は、小児の最も成長・発育する時期に存在し、食物の消化と顎の健全な発育を促進する。また、永久歯萌出の空隙の確保も行っており、永久歯の健全な歯列の確保を担う。

他方、歯硬組織の力学的特性に関する研究は、Blackの研究以来多く行われているが、その多くは、引張りや圧縮といった一般的な力学試験によるものである。しかしながら、歯牙はその構造体が小さいこと、エナメル質と象牙質といった異なる2つの組織で構成されており、これらはその組織形態が緻密であることなどから、微小サイズの試験片を使用しなければならず、圧縮、引張りなどの通常の力学試験では測定が困難である。そのため、歯硬組織の力学的特性は、未だ明らかにはなっていない。また、臨床上では、歯根破折やアブフラクションがしばしば見受けられるものの、その発生機序や原因は未だ明らかになっておらず、バイオメカニクスの観点からの検討が必要と考えられる。

近年、工学分野において、微細な構造体や薄膜に

対しても実験が比較的容易な押し込み試験や、超音波試験の適用例が見受けられる。これら試験法の利点は、一般的な力学試験と比較して試験片の作製が容易であること、非破壊的に繰り返し実験が行えることであり、入手が困難な材料に対しても有用である。

そこで本研究では、歯牙硬組織であるエナメル質、象牙質を対象に、超音波試験、硬さ試験、超微小硬さ試験を行い、それぞれの組織における硬さと弾性率を明確にするとともに、組織観察を行い、組織構造と力学的特性との関係について検討を行った。本論文の構成を以下に示す。

本論文は「ヒト歯硬組織の局所的力学特性に関する研究」と題して、全8章より構成されている。

第1章「緒論」では、本研究で対象としたエナメル質、象牙質の力学的特性に関する従来の研究を概観し、それらの力学像についての基礎的知見を述べ、本論文の目的と意義ならびにその概要について述べた。

第2章「歯牙の解剖学的基礎」では、歯牙の形態、組織および構造についてその基礎的事項を述べた。

第3章「局所的力学特性の測定手法」では、本研究で用いた試験法の原理について説明した。超音波試験法では、超音波波動伝播理論について述べた後、走査型超音波顕微鏡を用いた超音波パルス反射法の測定原理について述べた。また、本研究で用いた音速測定方法は、本来の超音波顕微鏡の使用手法とは若干異なるため、その有効性について検証した。

\*新潟大学大学院自然科学研究科

現在 新潟工業短期大学

〔新潟大学博士（工学）平成16年3月24日授与〕

硬さ試験法ではビッカース硬さ試験による硬さ算出の原理について述べた後、インデンテーション法による破壊じん性値の算出について述べた。超微小硬さ試験法では、その測定原理について述べ、硬さの評価方法と弾性率の評価方法について述べた。

第4章「超音波による弾性率と異方性」では、走査型超音波顕微鏡による超音波パルス法を用い、ヒト永久歯および乳歯のエナメル質と象牙質の長軸方向に関する縦弾性率を求め、エナメル質においては、永久歯で平均縦弾性率が76.5 GPa、乳歯で68.5 GPaであることを明らかにした。さらにヒト歯牙の異方性についても検討を行い、ウシ歯牙との比較・検討を行った結果、エナメル質の長軸方向とそれに垂直な方向では弾性異方性が認められ、異方性の比率はヒトでは1.06、ウシでは1.18であることを明らかにした。

第5章「ヒト歯牙の微小硬さ」では、ヒト歯牙の永久歯と乳歯を対象に、ビッカース微小硬さ試験を行った。試験片は歯冠部直下より採取した角柱状試験片を用い、永久歯、乳歯それぞれの組織、すなわちエナメル質と象牙質の試験片採取方向による硬さについて比較・検討を行い、エナメル質では、永久歯の硬さが乳歯のそれと比較して若干高い値を示したが、統計学的に有意な差を認めなかった。象牙質では、歯軸方向において、乳歯の硬さが永久歯のそれより約20%高い値であることを明らかにした。また、走査型レーザー顕微鏡を用いた組織観察を行い、組織的知見も明示した。

第6章「微小硬さと破壊じん性」では、ヒト歯牙のエナメル質を対象に、ビッカース微小硬さ試験を行い、硬さと実験時に発生するき裂から破壊じん性値を求めた。試験片採取位置は歯冠部直下、中央部、歯頸部近傍とし、試験片採取位置と押し込み荷重について検討を行った。破壊じん性値は組織構造に依存し、歯冠部では他の部位と比較して破壊じん性値が高くなることを明らかにし、歯頸部近傍での破壊形態について、臨床上で未だ明らかになっていない歯根破折やアブフラクションとの関係についても若干の検討を行った。

第7章「超微小硬さ試験法による力学的特性」では、ヒト歯牙のエナメル質、象牙質を対象に超微小硬さ試験を行い、歯牙硬組織の横断面内における硬さと弾性率の分布について検討を行った。超微小硬度計を用い実験を行い、実験の際は、負荷速度4.4mN/sec、最大荷重100mN、荷重保持時間30secの条件下で行った。硬さと弾性率ともにDentin-Enamel Junction (以下DEJ) 近傍において急激な値の変化を示し、また、エナメル質では、DEJから歯牙表面に向かい、象牙質ではDEJから歯髄に向かい、硬さ、弾性率ともに高くなる傾向を示した。また、得られた結果について、組織的知見も加え考察を行った。

第8章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の展望について述べた。

終わりに、指導を賜った原利昭教授に深甚の謝意を表します。