



Title	乳歯エナメル質の硬度と関連する因子 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	小石, 桃子
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(歯学)
Dissertation Number	甲第16444号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94919
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Momoko_Koishi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（歯学） 氏 名 小 石 桃 子

学 位 論 文 題 名
乳歯エナメル質の硬度と関連する因子

キーワード（5つ） 第一乳臼歯，エナメル質硬度，組織学的所見，元素分析，ナノインデ
ンテーション

エナメル質は生体組織の中でも最も硬く、92~96%の無機質からなる組織である。無機質の大部分はリン酸カルシウムからなるハイドロキシアパタイト結晶（ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ）で構成され、結晶の集合体はエナメル小柱を形成し、それらが複雑に組み合わせられてエナメル質となる。永久歯エナメル質のマルテンス硬さは 2263 ± 405.16 (N/mm²) と高剛性である。機械的特性は均質だと考えられていたが、現在、永久歯エナメル質は個体、部位、組成、小柱の走行、結晶、石灰化度などによって異なるとの考えが主流である。永久歯エナメル質と乳歯エナメル質は形成時期も異なり、機械的特性も異なる。しかし、乳歯エナメル質の機械的特性、特に硬度について近年の国内での報告は認められなかった。さらに、乳歯エナメル質の硬度と関連があると考えられる組成、小柱の走行について国内での報告はない。本研究ではヒト乳歯エナメル質の硬度についての詳細を明らかとし、硬度に影響をおよぼすと考えられるエナメル小柱の走行や組成についてもその関連を明らかとすることを目的とした。

本研究は環境省主導で行われた『子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）』の追加調査として実施され、北海道ユニットセンターに所属する約 7,500 人を対象とした。7,500 人のうちエコチル本体調査で行う乳歯調査のための乳歯回収に協力した 768 人に対し、脱落した第一乳臼歯を回収するため乳歯回収キットを送付した。2022 年 3 月から 12 月までに回収した 142 本のうち、う蝕、破折のない本研究の計測項目に適した上顎第一乳臼歯 8 本、下顎第一乳臼歯 14 本を使用し、ナノインデンテーション法による硬度の測定、組織像の観察、元素分析を行った。硬度測定については、頬舌側は Yang らの方法を使用し cuspal、middle、cervical の 3 ブロックに、咬合面は 4 つのブロックに分けて行った。頬舌側は 1 ブロック 2 列ずつ、咬合面は 1 ブロック 1 列ずつ、咬頭頂と裂溝は 2 列ずつ、1 歯につき合計 22 列測定した。またエナメル・象牙境から表層までを深層、中層、浅層に分け、1 列につき 3 点、合計 66 点測定した。組織像の観察は、光学顕微鏡と、走査型電子顕微鏡での観察を行った。さらに SEM-EDS(Scanning Electron Microscope-Energy dispersive X-ray spectrometry) を用いて O、F、Mg、Si、P、Ca の元素分析を行った。

本研究の乳臼歯エナメル質の平均硬度は、一般的な永久歯の臼歯のエナメル質の平均硬度より低い結果だった。上下では下顎が上顎より有意に高い硬度を示した。また個体差を認めた。頬側、舌側、咬頭頂、

咬合面での4部位で比較すると、上顎第一乳臼歯では咬合面で最も硬度が高く、下顎第一乳臼歯では各部位での有意差は認められなかった。さらに詳細に調査すると、舌側、咬頭頂で下顎の硬度が有意に高く、咬合面でのみ上顎が有意に高い結果となった。また、**cuspal**、**middle**、**cervical** で硬度を比較すると、上下顎の頬舌側ともに有意差は認められなかった。さらに咬合面と咬頭頂の機能咬頭、非機能咬頭に着目すると、上下顎の咬合面と咬頭頂ともに非機能咬頭が機能咬頭より高い硬度を示したが、いずれも有意差は認められなかった。しかし、機能側の咬合面で上顎の硬度が下顎に比べ有意に高く、非機能側の咬頭頂では下顎の硬度が上顎に比べ有意に高い結果を示した。深層、中層、浅層の比較では、上下顎ともに有意差は認められなかった。上下の比較では、浅層のみ下顎の硬度が有意に高い結果となった。また、舌側、頬側、咬合面、咬頭頂を層で分けて比較すると、上下顎いずれも咬合面の浅層の硬度が最も高い傾向を示した。

乳臼歯エナメル質の硬度と組織との関連については、横断像と縦断像、斜断像で硬度の比較を行ったが、硬度に有意差は認められなかった。さらにペーメル・ヘマトキシリン染色でも硬度の高い部位、低い部位で、それぞれに共通した特徴的な組織像は観察できず、硬度とエナメル小柱の走行との明らかな関連は認められなかった。

元素分析について、硬度測定時の圧子痕の中心点を点分析すると、**O**、**Mg**、**P**、**Ca** の含有を認めた。**F** は含有を認めない歯もあり、**Si** については、ほとんど含有していなかった。圧子痕の周辺を含めた面分析でも同じ傾向の結果を示した。硬度と **O**、**F**、**Mg**、**Si**、**P** 含有量とは、相関は認められなかった。一方、**Ca** 含有量と **Ca/P** については硬度と弱い負の相関が認められた。さらに詳しく硬度と **Ca/P** の関連を調査するために、上下顎で最も硬度が高い歯と低い歯において硬度と **Ca/P** の関連について解析を行った。平均硬度が高い歯では **Ca/P**、硬度の双方が均一であり、ほぼ同値のところに分布していたが、平均硬度が低い歯では **Ca/P** が同値であるものの、硬度の広い分散を認めた。

国外の研究結果は、本研究の硬度を大きく上回るものもあれば、本研究と近い硬度を示すものもあった。この要因としては各国の水道水フッロリデーションの有無が関与していると考えられた。また、本研究では硬度に個体による有意差を認めた。これは、歯の形成や石灰化時期の環境が硬度に影響を与えた可能性がある。乳歯は母体にいるときから、歯胚の形成や石灰化が開始されるため、乳歯のエナメル質硬度は母体の健康状態や栄養状態にも左右される。乳歯エナメル質も永久歯と同様に加齢とともに硬度が高くなる傾向があるとされており、脱落時期の差によっても硬度に違いが生じるとも考えられる。

部位での硬度比較については、上顎第一乳臼歯では咬合面の特に浅層で最も硬い結果を呈し、永久歯での先行研究と同様の傾向を示した。また、永久歯エナメル質は浅層、中層、深層で違いがあると結論づけるものもあれば、硬度は変わらないと結論づけるものもあるが、今回乳臼歯では浅層、中層、深層で有意差が認められなかった。これは乳歯が永久歯に比べエナメル質が菲薄であることと、歯胚形成から歯冠完成までの期間が短いことが原因と考えられる。

エナメル質の硬度と **Ca/P** はわずかに負の相関を示す結果であった。しかし、**Ca/P** と硬度の分布状況からは **Ca/P** 以外の要因の関与も推察された。

本研究では、第一乳臼歯エナメル質の硬度を部位別に測定し明らかにした。第一乳臼歯エナメル質の硬度は個体、部位によって異なり、上顎より下顎の平均硬度が有意に高く、部位による比較では上顎の咬合面が最も高い硬度を示した。エナメル小柱の走行など組織学的所見との関連は認められなかったものの、元素分析では **Ca** や **Ca/P** との弱い負の相関が示された。