エナメル質のフッ素とりこみに及ぼすレーザー照射の影響 —EPM 線分析による—

Effect of Laser Irradiation on Fluoride Uptake in Enamel —by EPM Linear Scanning—

○田竈祥子 森岡俊夫 堤 裕之

○Shyoko Tagomori, Toshio Morioka, Hiroyuki Tsutsumi

九州大学歯学部予防歯科学講座

Department of Preventive Dentistry, School of Dentistry,
Kyushu University

ABSTRACT

Distribution of fluoride, phosphate and calcium in the enamel was investigated by means of EPM. Linear scanning of the enamel soaked into APF after laser irradiation showed a remarkable peak of fluoride profile within 20 μ m of surface zone, a lesser elevation of calcium profile and a reduced phosphate profile within 100 μ m zone. Therefore, the phenomena were indicated that a large amount of calcium fluoride was formed in the enamel. By washing 1M KOH for 24 hours, a reduction of acid resistance of the enamel only soaked into APF for 24 hours was observed, but the enamel soaked into APF after laser irradiation maintained a remarkable resistance against acid decalcification.

1. 緒 言

我々は前の報告においてレーザー照射後に APF 溶液を作用させた歯牙エナメル質が高い耐酸性を獲得するとともに高濃度のフッ素をとりこんでいることを報告した。

本報ではエナメル質に分布するフッ素、リン、カルシウムを電子線マイクロアナライザーを用いて線分析を行ない、3つの元素の濃度分布を調べた。また、一般に歯牙表面に高濃度のフッ化物溶

液を作用させた際に生成されるフッ化カルシウムを除去する目的で、レーザー照射後 APF を作用させた歯牙を 1M KOH 溶液で洗浄し、耐酸性の変化を調べ、エナメル質にフッ素がどのような化合物の形でとりこまれているのか、また、とりこまれたフッ素の安定性などについて検索した。

2. 材料および方法

(1) 歯牙エナメル質

EPM 線分析に用いた試料は前の報告の面分析に

用いた試料と同一のものである。耐酸性の実験に用いた歯牙は、同じく健全なヒトの抜去永久歯で、50個のエナメル質小片を1群5個として合計10群に分けた。各群にそれぞれAPF浸漬のみ、レーザー照射のみ、レーザー照射後APF浸漬、APF浸漬後レーザー照射およびコントロールと、さらにその後各々を1M KOH中に37℃にて24時間浸漬する処理を行った。

(2)レーザー照射とフッ化物溶液浸漬
前報と同じ方法で行った。

(3)EPMによるCa、P、Fの線分析

前報と同一の試料を用いて、レーザー照射のみ、APF浸漬のみ、レーザー照射後APF浸漬、APF浸漬後レーザー照射およびコントロールの5個の試料についてエナメル質表面から深部へCa、P、Fについて線分析を行った。

測定条件は前報と同じく、加速電圧15kV、試料電流30nAで、タイムコンスタントおよびX線強度はCa=0.5sec, 5kcps, P=0.5sec, 5kcps, F=2sec, 1kcpsで行った。

(4)耐酸性付与効果の判定

歯牙エナメル質ブロック(4×4×4mm)は、レーザー照射およびAPF浸漬後、直径約3mmの円形ウインドウを残して他の部分をすべてラッカーで被覆した。この試料を0.5M HClO₄溶液1ml中に入れ、室温にて30秒間脱灰し、溶出したCaイオンを原子吸光法にて測定し、Caイオンの溶出量の比(実験群/コントロール群)で耐酸性を比較した。値が小さいほど耐酸性が大きいことを示している。

3. 結 果

(1)EPMによるCa、P、Fの線分析

図1に示すように、エナメル質にAPF浸漬のみの処理を行った場合(図1-APF)、表面から10～15μmの深さにおいてフッ素のピークがみ

られ、表層のフッ素濃度が高いことが示された。CaとPについてはコントロール(図2-Control)と同様に表層と深部で均一な分布を示していた。また、レーザー照射のみの場合(図1-Laser)、F、P、Caともにコントロールと同じプロファイルであった。次にAPFに浸漬後レーザー照射を行ったもの(図1-APF+Laser)ではAPF単独の場合と同様に、表層でフッ素濃度が高く、Ca、Pは均一に分布していることが示された。

一方、レーザー照射後APF浸漬を行ったもの(図1-Laser+APF)では、表面から約20μmの深さまで高い濃度でフッ素が存在しており、この場合の濃度はAPF単独(図1-APF)の場合よりも明らかに高いことが示された。また、20～100μmの深さにおいても高いフッ素濃度が維持されているが、おそらくこれは、スキャンの位置がレーザー照射によって生じたと思われる微小亀裂と一致しているため、この部分にはフッ素が多量にとりこまれているからであろうと考えられる。Caのプロファイルでは、表層において小さなピークがあり、さらにFと同様に亀裂部分と思われる約100μmの深さまで濃度のやや高い部分があることが認められた。Pについては、F、Caのプロファイルとは逆に、表層で濃度が著しく低く、さらに20～100μmの深さの亀裂と思われる部分においてもやや濃度が低くなっていることが示された。これらの結果は、前の報告の中で示したカラーマッピングによるF、P、Caの濃度分布と一致していた。

(2)KOH溶液に浸漬後のエナメル質耐酸性

レーザー照射のみ、APF浸漬のみ、APF浸漬後レーザー照射したもの、レーザー照射後APF浸漬を行ったものおよびコントロールのエナメル質について、蒸留水で1分間洗浄した場合と、1M KOHに24時間浸漬した場合で耐酸性を比較した。その結果、表1に示すようにコントロール群、レーザー照射群およびAPF浸漬後レーザー照射群については蒸留水で1分間洗浄した場合と1M KOHで24時間洗浄した場合で耐酸性に差は認められな

かった。しかし、APF 浸漬群については、蒸留水で洗浄した場合、非常に高い耐酸性を示していたが、KOH 浸漬後では耐酸性が著しく低下した。一方、レーザー照射後 APF 浸漬群では、蒸留水で洗浄した場合、APF 浸漬群よりもさらに高い耐酸性を示し、しかも KOH 浸漬後に若干の耐酸性の低下が認められたがなお高い耐酸性は維持されていた。

4. 考 察

歯牙表面にフッ化物溶液を塗布してエナメル質の酸に対する溶解性を低下させ、ウ蝕予防を行う方法は、現在臨床の場で最もよく利用されている。

しかし、エナメル質に多量のフッ素を、しかも安定した形でとりこませることは難しく、より効果的なフッ化物塗布方法が望まれている。

一般に、フッ素濃度の高い APF 溶液を歯面に作用させると、フッ化カルシウムが生成される。フッ化カルシウムは酸性域においては溶解性が低く、その上フッ化カルシウムの結晶粒子が微細でさらに致密な層を形成しているほど、外部からの化学的侵蝕に対し防御作用が高いといわれている。また、フッ化カルシウムが徐々に溶出して低濃度のフッ素供給源となり、エナメル質のハイドロキシアパタイトの OH 基とフッ素が置換して、安定なフルオロアパタイトを生成することも知られている。エナメル質の表面に沈着したフッ化カルシ

図1. レーザー照射と APF 処理を併用した場合におけるエナメル質内の F、P、Ca の濃度分布 (EPM 線分析による)

Table 1. Combined effect of laser and fluoride on acid resistance of enamel

Treatment	Dissolved Ca^{2+} Ratio	
Control	1.00	(0.98±0.07)
Laser	0.61±0.07	(0.55±0.06)
APF	0.37±0.09	(0.71±0.05)
APF+Laser	0.53±0.05	(0.52±0.03)
Laser+APF	0.11±0.01	(0.24±0.06)

Dissolved Ca^{2+} Ratio : Experiment/Control
() : soaked in 1M KOH for 24 hours

ウムの溶出除去方法としては 1M KOH 溶液による 24 時間洗浄が行なわれている (Caslavsky, 1975)。今回の実験において APF 作用群で KOH 処理により耐酸性が低下したのは、エナメル質表面に生成されたフッ化カルシウムが溶解除去されたためであると考えられる。

一方、レーザー照射後 APF 浸漬を行ったものについては、EPM 線分析の結果から明らかなように、エナメル質表層に多量のフッ化カルシウムが生成されていることが示され、KOH 処理により耐酸性が若干低下したこともまたフッ化カルシウムの存在を裏づけている。このように、KOH 処理後の耐酸性の低下は著しいものではなく、依然として高い耐酸性が維持されている。これはフッ化カルシウムが完全に除去されなかったためか、あるいはフッ化カルシウム以外にエナメル質に耐酸性を付与している別の要因があるのか、この点についてはさらに検索を進める予定である。