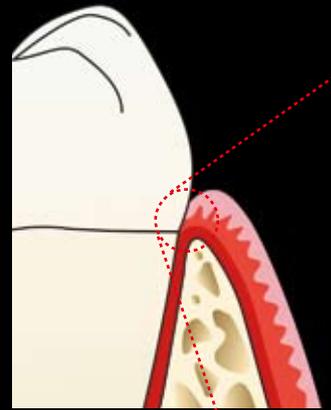


口腔内には多くの細菌が存在し、その種類は約700種類にも及ぶといわれています。これらの細菌はその産生物、栄養分などの基質とともに凝集し、バイオフィルムという生態系をつくり、共棲関係を保ちながら生息しています。

## ■バイオフィルムの形成～う蝕の発症、伝播

1 歯の表面に唾液中の糖タンパク質が静電気作用やその他の力によって吸着し、0.1～1 $\mu$ mのペリクルを形成します。歯肉溝や歯周ポケット内のセメント質表面にも、歯肉溝滲出液の糖タンパク質成分が付着してペリクルを形成します（図1、2）。

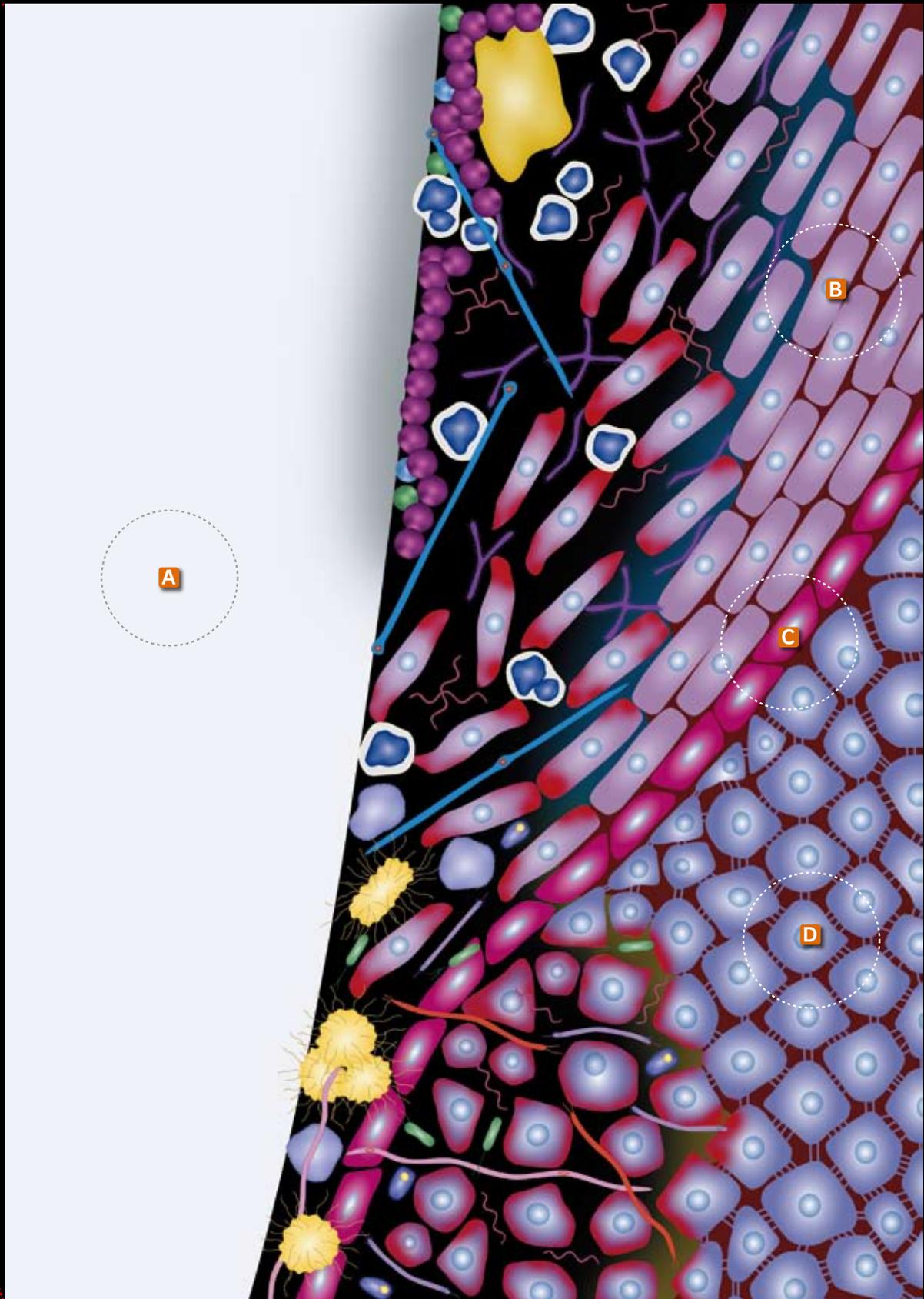


# バイオフィルムの形成と う蝕の発症メカニズム

2 ペリクルは歯の表面を保護する機能をもっていますが、反対に細菌の付着を誘導する性質ももっています。ペリクル表面の静電気作用やその他の作用により初期定着菌が付着します。まず、歯肉縁上の歯面に形成されたペリクルに *Streptococcus oralis* などのレンサ球菌が付着し、それらが生成する多糖体に他の菌が吸着し、初期のプラークを形成します（図3、4）。

3 初期定着菌にさまざまな菌が付着し、マイクロコロニーと呼ばれる集団を形成します。この頃、ミュータンスレンサ球菌 (*Streptococcus mutans* や *Streptococcus sobrinus*) も、初期付着した細菌の表面やペリクルに吸着します。ここに多量のスクロースが存在すると、ミュータンスレンサ球菌は不溶性グルカンを形成するため、強い粘着性をもつう蝕病原性の高いプラーク（バイオフィルム）が形成されます（図5）。バイオフィルム中ではミュータンスレンサ球菌がスクロースを代謝し、乳酸などの酸を産生します。このpHが約5.5以下になるとエナメル質の脱灰が起こり、酸はエナメル質中に浸透していきます（図6）。

4 プラークは、さまざまな病原性のある細菌によって構成され、不溶性グルカンなどの菌体外多糖により抗菌薬や殺菌・消毒薬からも守られている、病原性の高いバイオフィルムとなります。内部では飲食から摂取するスクロースだけでなく不溶性グルカンを代謝し酸を産生し続けており、象牙質へ酸は入り込んでいきます（図7）。成熟したバイオフィルムから一部の細菌は遊離し、唾液を介して口腔内外に伝播し、さらなる感染を引き起こしていきます（図8）。



**A** 歯面 **B** 上皮細胞 **C** 基底細胞 **D** 結合組織(有棘細胞)

歯肉縁上の歯面にレンサ球菌などの病原細菌が付着・定着し、バイオフィルムが形成された後、偏性嫌気性菌が付着します。ここから歯肉縁下のバイオフィルムの形成は始まります。的確なブラークコントロールにより歯肉縁上のバイオフィルムを取り除くことにより、偏性嫌気性菌が付着できず、その後の歯周病原細菌の付着も妨げることから、歯肉縁上のバイオフィルムを形成させないことが重要です。

偏性嫌気性菌が付着後、*Porphyromonas gingivalis* や *Tannerella forsythia* などの歯周病原細菌が付着すると、歯周組織を破壊する毒素や内毒素から上皮細胞などが破壊され、付着の喪失が起こります。

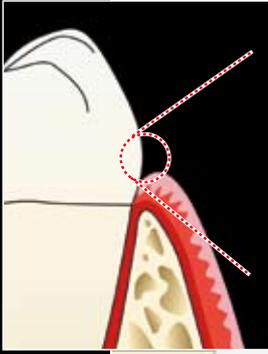


図1 歯面への糖タンパクの吸着

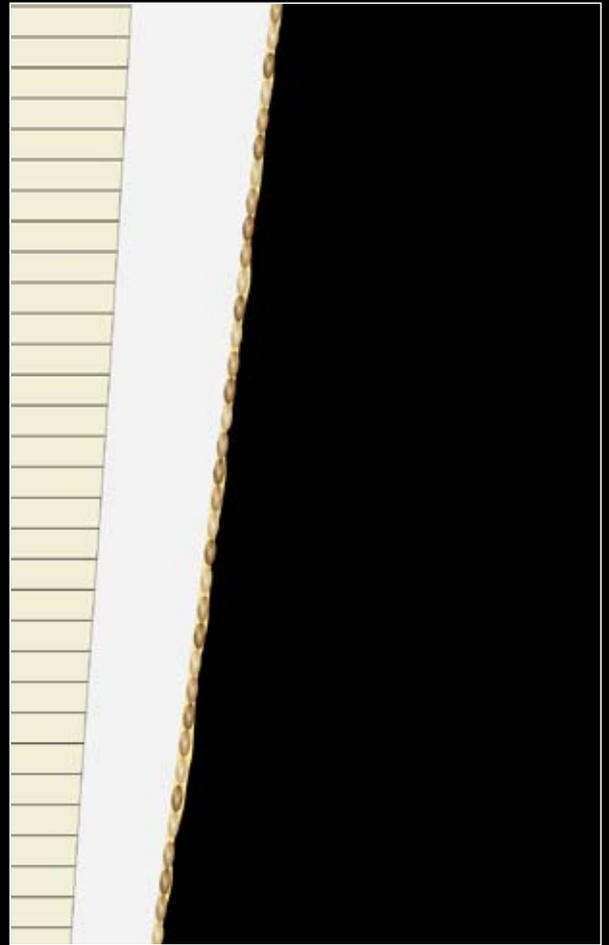


図2 ペリクルの形成

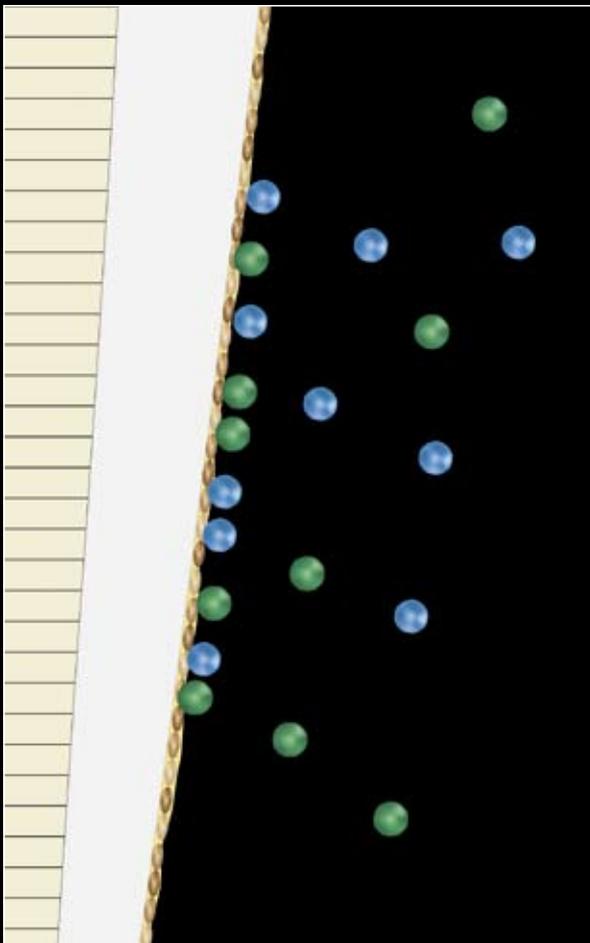


図3 ペリクルへの初期定着菌の付着

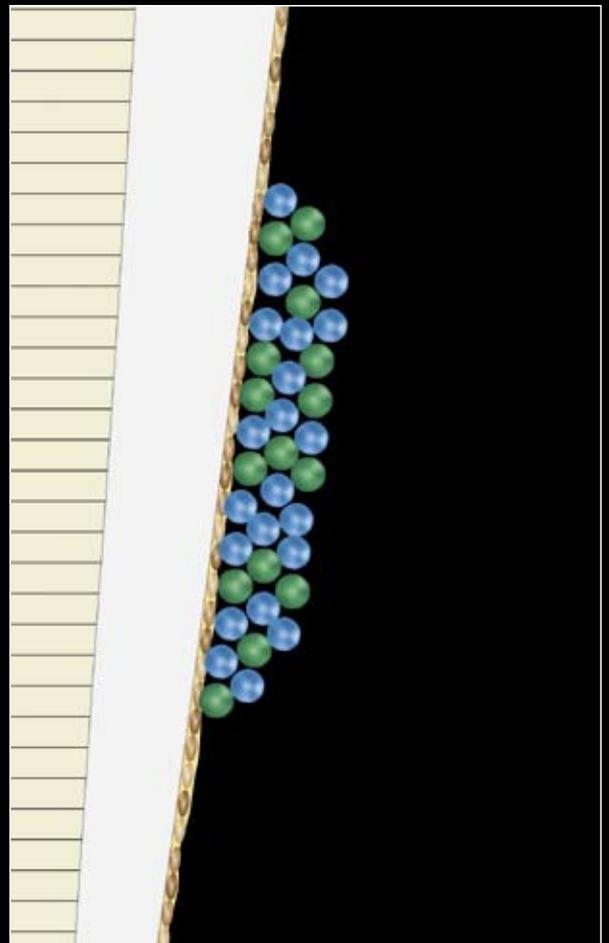


図4 初期定着菌の増殖

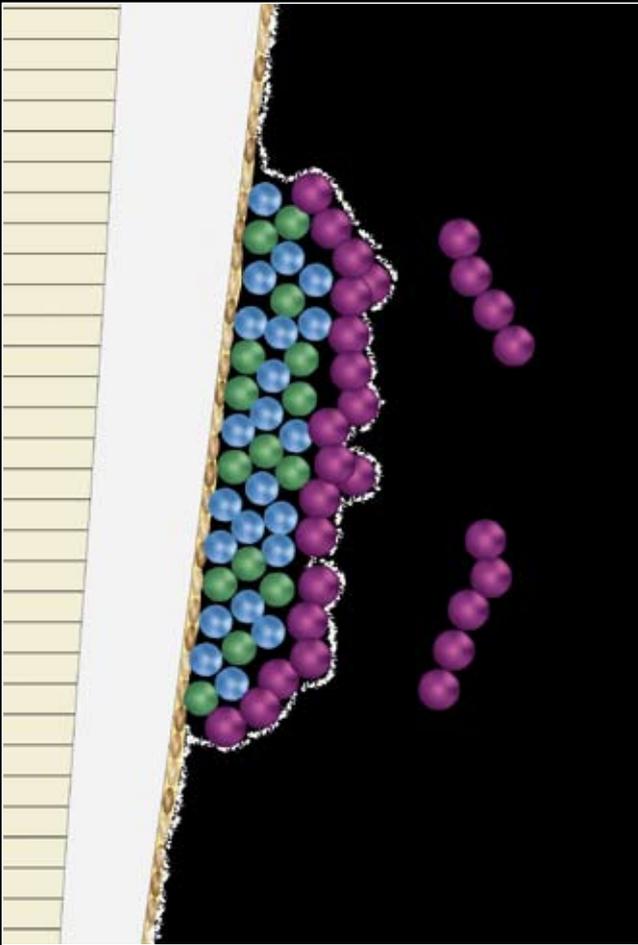


図5 スクロース摂取によるミュータンスレンサ球菌の定着

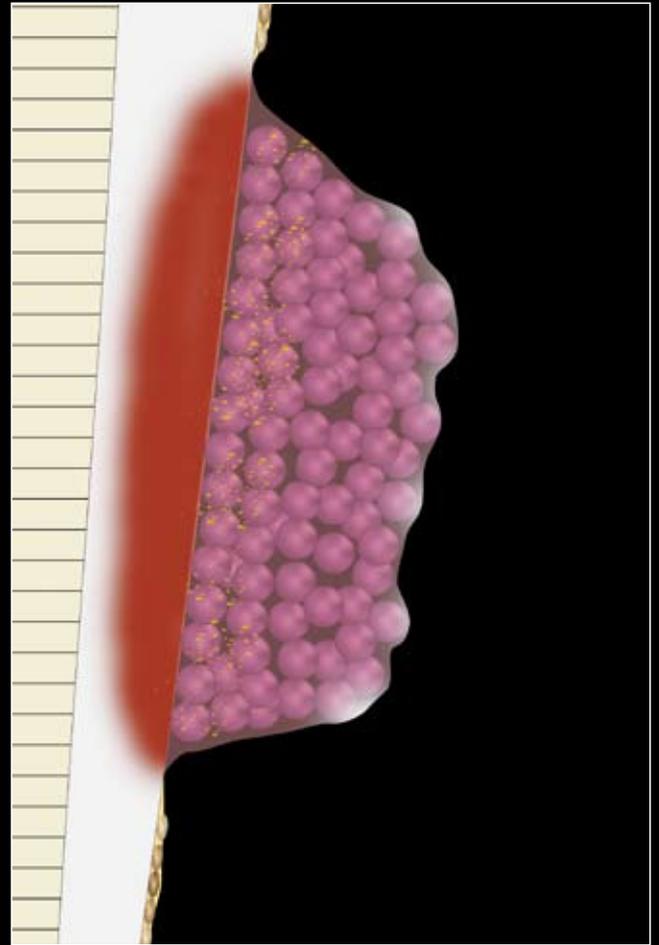


図6 不溶性グルカンの形成・酸の産生とエナメル質の脱灰

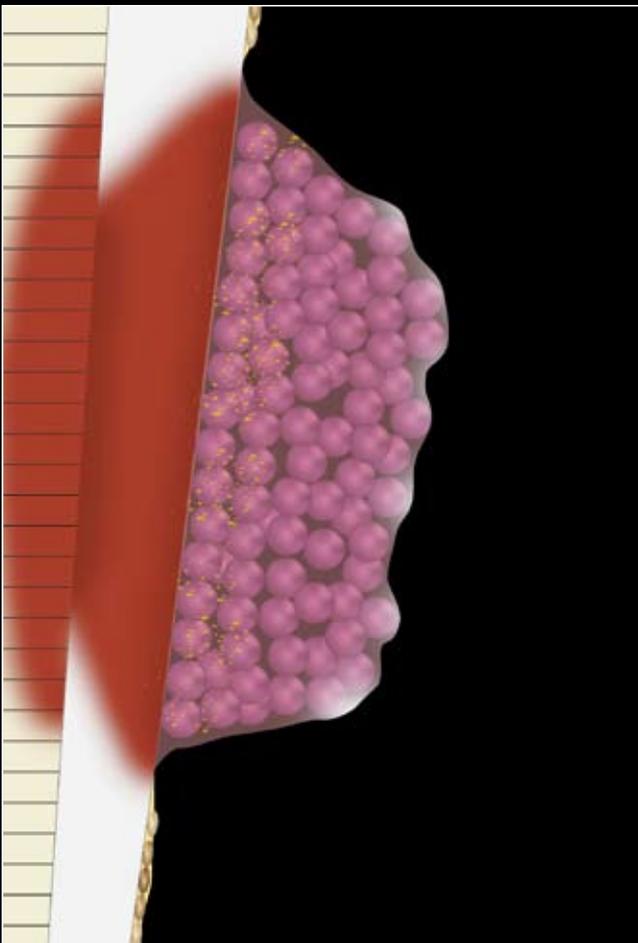


図7 エナメル質および象牙質の脱灰

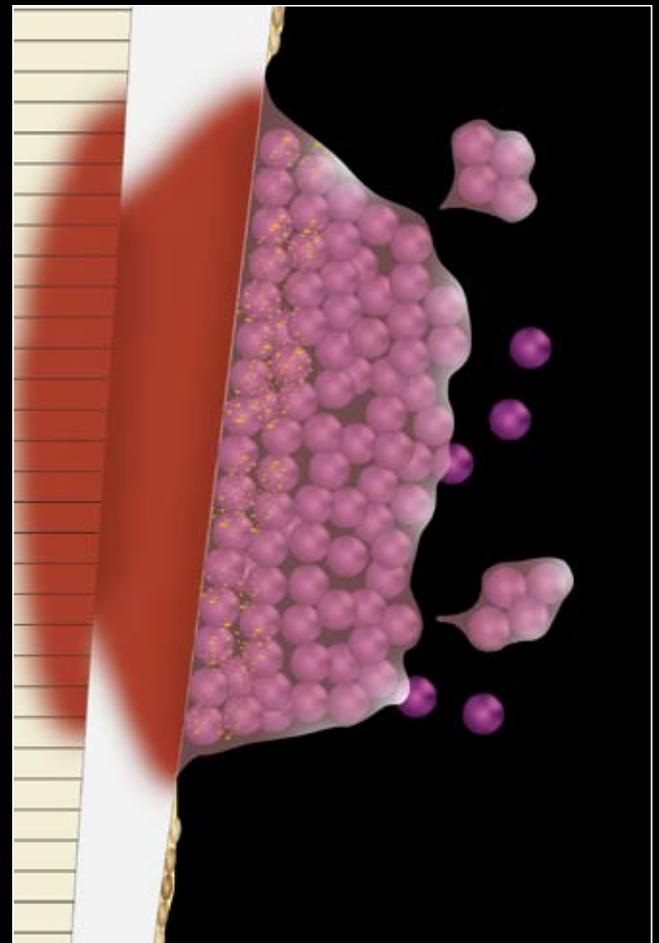


図8 バイオフィルムの成熟。ミュータンスレンサ球菌の遊離・伝播

# う蝕について もっと知りたい!

## う蝕の発症

う蝕は、Keyesによって提唱された「細菌」、「歯（宿主）」、「スクロース（砂糖）」の3つの要因（図9）と、脱灰が起こるまでの時間的な要因、さらに、食習慣やセルフケアなどの生活習慣が関連し、発症します。

## ■う蝕病原菌

う蝕を引き起こす細菌は、大きく分けるとミュータンスレンサ球菌と乳酸桿菌があります。*Streptococcus mutans*や*Streptococcus sobrinus*といったミュータンスレンサ球菌は、スクロースから不溶性グルカンを合成します。このグルカンは粘着性があり、歯面に強固に付着します。同時に乳酸などの有機酸をつくり、歯面の脱灰が起こります。

また、ミュータンスレンサ球菌は、スクロースを摂取しなくてもグルカンの中や菌体内に蓄えられている多糖体から持続的に乳酸をつくり出すことができますので、う蝕の予防には、病原性バイオフィルムをすべて除去することが重要です。

乳酸桿菌は、乳酸を産生し、また、低いpHの環境下でも生存することができる性質をもっています。しかし、

ミュータンスレンサ球菌と違い、グルカンによる強い付着能がありません。そのため、平滑歯面ではみられません。小窩裂溝のような付着能がなくても定着しやすい部位ではその病原性を発揮します。また、う窩や軟化象牙質から多く検出されることから、う蝕の拡大にかかわっているともいわれています。

## ■スクロース（砂糖）

スクロース（砂糖、シヨ糖）を頻繁に、かつ、多量に摂取することでう蝕を誘発することは広く知られていますが、それは、ミュータンスレンサ球菌が歯面へ定着・固着されるためです。

ミュータンスレンサ球菌は産生する酵素により、スクロースから水に溶けないグルカン（非水溶性グルカン）と水に溶けるグルカン（水溶性グルカン）をつくります。

非水溶性グルカンは粘着性が高く、ここにさまざまな細菌を付着・定着させます。また、水に溶けない性質のため産生された酸をバイオフィルム内に停留させ、歯面の脱灰を持続させる環境をつくります。

水溶性グルカンは水に溶けやすく細菌に分解されやすい性質ですが、この水溶性グルカンが産生されたところ

図9 う蝕の発生要因  
カイスの3つの輪 (Keyes ; 1969)  
感染症の3要因

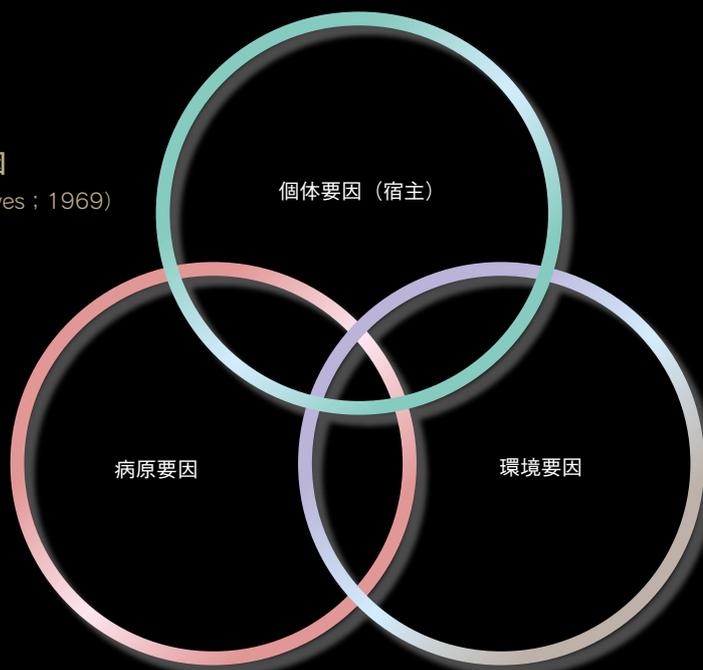
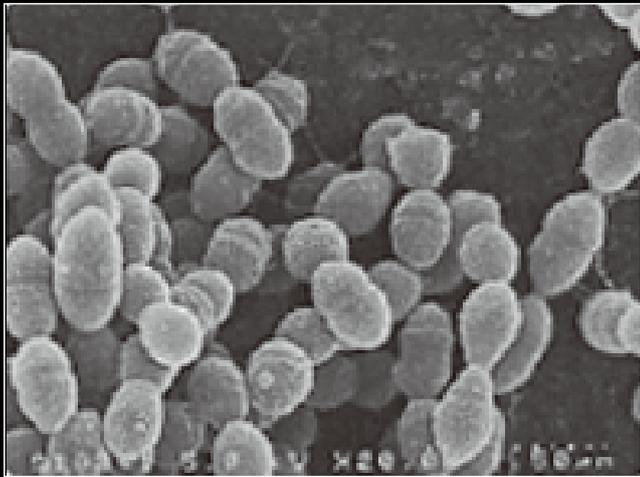
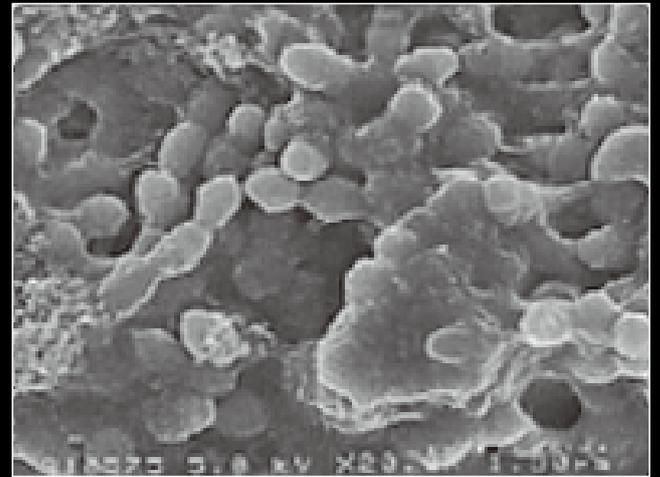


図 10 スクロースとブドウ糖のグルカン形成の違い



**ミュータンスレンサ球菌にブドウ糖を添加**  
 ブドウ糖培養したミュータンスレンサ球菌。ミュータンスレンサ球菌はブドウ糖では非水溶性グルカンを産生しないため、ミュータンスレンサ球菌同士のみが凝集している。粘着性が少ないので比較的除去しやすい。



**ミュータンスレンサ球菌にスクロースを添加**  
 スクロース培養したミュータンスレンサ球菌を放置した状態。バイオフィームは密になり、強固に付着している。成熟したバイオフィームの中部では、グルカンを分解しそれを栄養として酸を産生し続ける。

図 11 各種糖質甘味料のう蝕誘発性

	グルカン形成	酸産生	う蝕になりやすさ
スクロース	◎	◎	強
グルコース (ブドウ糖) フルクトース (果糖)	×	◎	中
代用糖 (キシリトールなど)	×	×	無

ろに枝分かれするように非水溶性グルカンが合成されていくため、これも歯面への固着に関与しています。

この非水溶性グルカン、水溶性グルカンは、スクロース以外の糖類からは作り出すことができません。そのため、菌や酸の貯蔵庫となるグルカンを作り出すスクロースの摂取が問題視されるのです (図10、11)。

### ■歯 (宿主)

エナメル質は、ハイドロキシアパタイトの結晶で構成されているエナメル小柱から成っています。エナメル小

柱は六角柱状をしていて表面の直径は3~6μmで、密集して並んでいます。

配列している小柱の間には、約0.1μmほどの隙間が存在します。この隙間をエナメル小柱間隙といいます。エナメル小柱間隙は、細菌を通すほどの大きさはありませんが、酸やイオンは透過します。長期間にわたり歯面に付着したバイオフィームから酸性された酸は、エナメル質の表層を脱灰させるだけでなくエナメル小柱間隙を通り、その下の象牙質まで到達し、脱灰させることがあります。