

口腔衛生とチョコレートの評価

今井 奨

(国立予防衛生研究所・口腔科学部)

はじめに

ヒトのう蝕(虫歯)は、主として口腔に常在するう蝕原性細菌であるミュータンスレンサ球菌(*Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*)によって引き起こされる感染症であり、その発症にはスクロース摂取が密接に関わっている。

今回の本講演では、はじめにう蝕発生のメカニズムとう蝕予防方法について概説し、次に口腔衛生とチョコレートに関わりについて文献的に検証してみたい。

う蝕発生メカニズムとう蝕予防方法

う蝕の発症に関与する因子には四つの因子(宿主、う蝕原性細菌、食物、それに時間)があり、それらを輪で示したとき、四つの輪がオーバーラップしたところでう蝕は発症する(図1)。したがって、効果的にう蝕を予防するためには、それぞれの因子に対応した対処方法を組み合わせる必要が

ある。

歯を強くするためにはフッ素の応用、あるいは咬合面などのう蝕好発部位を埋めるためのシーラントの応用やレーザー照射などがある。口腔内細菌に対しては機械的除去、抗菌剤の応用、デキストラナーゼのような酵素剤の応用、グルコシルトランスフェラーゼ(GTF)阻害剤の応用、う蝕ワクチンの適用などがある。

また、基質(食物)、主としてスクロースに対しては、スクロース摂取の抑制、代用甘味剤の摂取、酵素阻害剤の摂取などが考えられる。そしてこれら三因子が接触する時間をできるだけ短くするために食後、就寝前のリンスおよびブラッシングの励行などがある。

う蝕発生のメカニズムは次のように考えられている。ミュータンスレンサ球菌がスクロースから粘着性のグルカンを合成して歯に強固に付着し、口腔内常在菌とともに歯垢を形成する。歯垢にスクロース、グルコース、フルクトースなど発酵性

の糖質が供給されるとそれらの糖質は歯垢細菌によって資化されて乳酸などの有機酸に代謝される。リン酸カルシウム系の結晶からなる歯は酸に弱く、酸性pHの状態が長く続くとついには歯は脱灰されてう蝕に至る。

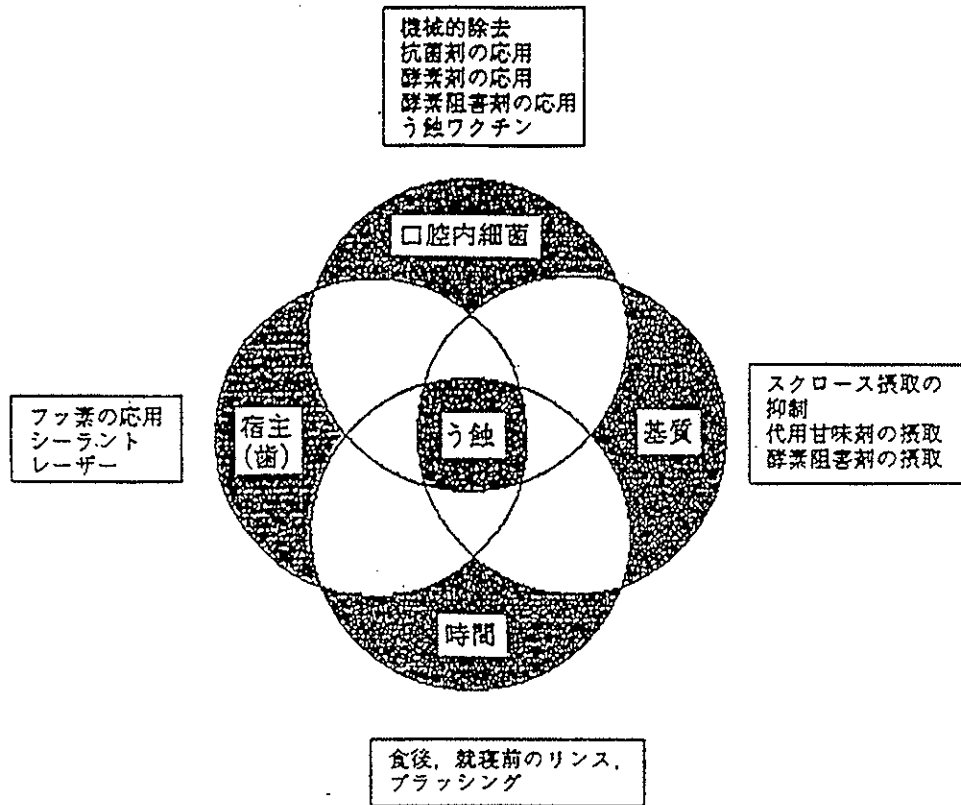


図1. う蝕発生過程に関与する4つの因子と対処方法

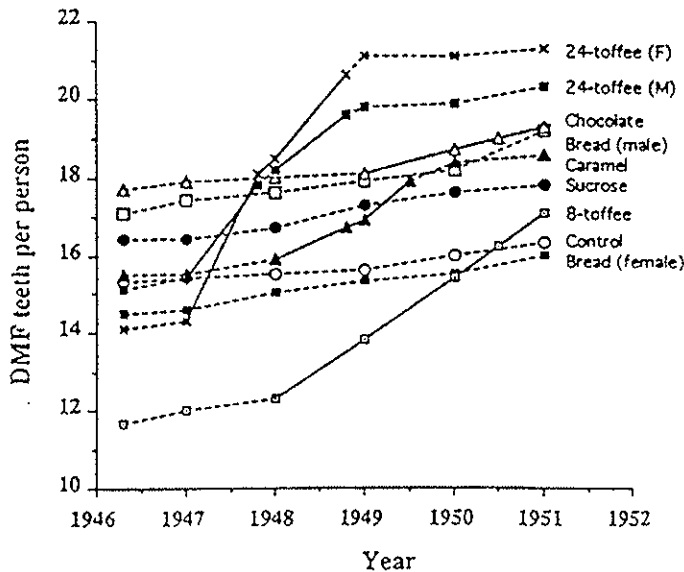


図2. スウェーデン・ビベホルム病院でのう蝕実験
 食事時のみの摂取 —— 食事時および食間での摂取
 Gustafsson et al., Acta Odontol. Scand. 11: 232-264 (1954)

う蝕とチョココレートの関係
 スウェーデン・ビベホルム病院でのヒト被験者によるう蝕実験は、いまだでは行うことが困難な貴重なう蝕実験である(図2)。数十名からなる各実験群の被験者にチョココレート、トフィー、キャラメルなどを食事のときの

み、あるいは食間に摂取してもらい、う蝕発生状況を五年間にわたり調べたものである。トフィー

1. キャラメルを食事時のみに規則正しく摂取した場合には、う蝕発生は低レベルを推移するが、食事および食間時摂取に切り替えるとう蝕の発生は急に高くなる。そして注目すべきは、チョココレートを食間時にも摂取したときのう蝕の増加率はトフィー、キャラメルのそれに比べて低いことである。すなわち、チョココレートにはう蝕発生を抑制する作用があるのではないかと考えられたのである。これが端緒になってチョココレートのう蝕抑制作用が研究されてきた。

GRAVENMADDE G. (Caries Res. 20: 433-436, 1986)

は二五〇%のココアの脱脂粉末から水抽出によつて、歯のエナメル質によく似た構造をもつヒドロキシapatiteの酸溶解性を抑える因子二〇〇%を得た。この因子は濃度依存的にヒドロキシapatiteの溶解性を抑制した。この因子の分子量は五〇〇以下で、耐酸性、耐アルカリ性を示す。多くのOH基をもっているが、タンニンではない。しかし、正確な構造や阻害メカニズムはわかっていない。

PAOLINO G. (Arch. Oral Biol. 30: 359-363, 1985)

はココア粉末がう蝕原性細菌 *S. mutans* のグルカン合成を抑制することを培養系で観察した。そこでココア粉末の水抽出物のGTFに及ぼす効果を調べたところ、その水抽出物は濃度依存的にGTFを抑制し、生成グルカン量が減少することがわかった。さらに部分精製GTFについて非水性グルカン合成と水溶性グルカン合成に及ぼす効果を調べると、両グルカン合成はそれぞれ八〇%および六八%抑制された。そして、この抑制機序が non-competitive inhibition であることも確かめられた。このようにココアの水抽出物にはヒドロキシapatiteの溶解性を抑制したり、*S. mutans* のGTF活性を抑える作用のあることがわかった。それでは動物を用いたう蝕実験においてもココア粉末は抑制的に働くのであろうか。

STRALFORS (Arch. Oral Biol. 11: 149-161, 1966)

はハムスターのう蝕がココア粉末で抑制されることを観察し、それがココアのどの画分によつて抑制されるかを一連の実験で調べた。五〇%スクロースを含むう蝕誘発食をコントロールとし、その二〇%をココア粉末に置換すると、う蝕抑制率が八四%にもなることを観察した。ココア粉末の置換率を二%、五%、一〇%にすると、う蝕抑制率はそれぞれ四二%、六〇%、七五%と濃度依存的に上昇することもわかった。逆にココアバターがう蝕を増大することも観察された。次にココア粉末を水あ

るいはアルコールで洗浄した後、う蝕抑制率をみると、それぞれ三七%および五九%で、アルコール洗浄後の粉末のほうが高い抑制率を示した。また、ココア粉末の水抽出物には四二%のう蝕抑制作用があるのに対してアルコール抽出物には逆に九%のう蝕増強作用が認められた。また、ハムスターのう蝕を抑制する作用がココアの水抽出物の透析内液にあるのか透析外液にあるのかを調べると、結局どちらにも存在することが観察された。なお、タンニンを除去してもう蝕抑制作用が残存すること、活性炭カラム

表1 種々のスナック食品のう蝕誘発指数

Test food	Buccal caries induction potential*	Sulcal caries induction potential*	Mean caries induction potential†
Raisins	1.90	1.56	1.73
Granola bar no. 1	1.69	0.43	1.06
SLS diet (reference)	1.00	1.00	1.00
Granola bar no. 2	1.42	0.53	1.00
Soda crackers	1.17	0.73	0.95
Chocolate-coated wafer	1.10	0.44	0.77
Granola bar no. 3	0.92	0.39	0.66
Chocolate-coated cookie with caramel	0.51	0.67	0.59
Chocolate caramel peanut bar	0.49	0.56	0.53
Milk chocolate	0.38	0.58	0.48
Chocolate-coated fudge bar	0.29	0.62	0.46
Aged cheddar cheese	0.03	0.69	0.36

*Caries induction potential = mean carious enamel units caused by a test product / mean carious enamel units caused by the SLS diet.

†Equals the mean (50/50 weighting) of the buccal and sulcal caries induction potentials.

Morrissey et al., J. Am. Dent. Assoc. 109: 589-591 (1984)

を通過することによつてう蝕抑制作用が消失することもみている。さらに STRALFORS (Arch. Oral Biol. 12: 959-962, 1967) はココア・マスを主成分とするチョコレートにハムスターのう蝕を抑制す

表2 種々の食品の平均う蝕誘発指数

Test food	CPI
<i>Low cariogenic potential grouping</i>	
Gelatin dessert	0.4
Corn chips	0.4
Peanuts	0.4
Bologna	0.4
Yoghurt	0.4
<i>Moderate to high cariogenic potential grouping</i>	
Pretzels	0.5
Potato chips	0.6
Saltines	0.6
Natural snack	0.6
Cornstarch	0.7
Rye crackers	0.7
Fried cake	0.7
Milk chocolate	0.8
Graham crackers	0.8
Sponge cake with filling	0.8
Bread	0.9
Sucrose	1.0
Granola cereal	1.0
French fries	1.1
Bananas	1.1
Cupcakes	1.2
Raisins	1.2

¹ Number of sulcal lesions, severity of sulcal lesions; number of buccal-lingual lesions, severity of buccal-lingual lesions.

Mundorff et al., Caries Res.24:344-355 (1990)

表3 ラットう蝕データ

	Smooth surface caries (E)	Fissure caries (T)
Normal chocolate		
Feeder	8.0 ± 4.2	2.8 ± 1.9
Ad libitum	16.6 ± 5.1	4.4 ± 1.3
Casein chocolate		
Feeder	2.3 ± 1.1	0.4 ± 0.5
Ad libitum	7.9 ± 2.5	2.0 ± 1.0

Reynolds and Black, Caries Res. 21:445-451 (1987)

らはラットを用いたう蝕実験で二種の食品のCPIを算出した(表2)。これらの食品は低う蝕誘発群と中等度・高う蝕誘発群とに分けられた。ミルクチョコレートは後者に属し、そのC

M. MUNDORFF

る作用があるか否かを調べた。四〇%スクロース含有ミルクチョコレートを二〇%含む餌と、四〇%スクロース含有ダークチョコレートを二〇%含む餌で飼育すると、それぞれ三五%と七三%のう蝕抑制率が観察された。ダークチョコレートとミルクチョコレートのう蝕抑制率に差が見られるが、これは fat-free のココアの比率がダークチョコレートで二〇%、ミルクチョコレートで四%であり、この差がう蝕抑制率の差の原因としてい

る。ともあれ、STRALFORSの一連のう蝕実験によつてココア粉末の水抽出物のみならずチョコレートにもう蝕抑制作用のあることが実証された。GRENBAY (Caries Res. 29: 418-423, 1995) はラットを使つてミルクチョコレートとブレーンチョコレートの cario-genicity (う蝕原性) を餌の量と頻度を正確にコントロールできる electric system を用いて調べた。この実験では餌に含まれるスクロースの量を一八・七五%に合わせた。ブ

レーンチョコレート三三%を含む餌の場合のう蝕スコアは対照のスクロースの場合のう蝕スコアに対して、有意差はないが平均で一五%低かった。ブレーンチョコレートとミルクチョコレートの比較ではミルクチョコレートの場合のう蝕スコアのほうが三〇%低かった(危険率5・5%)。MORRISSEYらは、種々のスナック食品のう蝕誘発性をラットのう蝕実験で比較した。表1は、スクロース二〇%を含む SLS Diet をコントロールとし、そのう蝕誘発ポテンシャル(CPI)を1・〇として種々のスナックのCPIを表している。レーズンが一・七三で最も高く、ミルクチョコレートが〇・四八、チョコレートをコントロールしたスナック類が〇・四六、〇・七七であった。

表4 *S. mutans* PS-14 感染SDラットのう蝕スコア

Group	Diet	Rats	Mean (\pm SEM) cans score			
			buccal	sulcal	approximal	total
D	56% starch chocolate	10	0.8 \pm 0.3	17.7 \pm 1.5	0	18.5 \pm 1.8
E	56% sucrose chocolate	13	12.2 \pm 1.1	69.2 \pm 1.6	1.5 \pm 0.7	82.8 \pm 2.8
F	56% erythritol chocolate	16	0	6.7 \pm 0.8	0	6.7 \pm 0.8

Amount of starch, sucrose or erythritol contained in the diet of each group is 23.8%. Values for sulcal and total scores from group F are significantly less ($p < 0.01$) than those from groups E and D.

Kawanabe et al., Caries Res.26:358-362 (1992)

PIは0.8であった。

REYNOLDSらは2%の可溶性カゼインである

Sodium caseinateを飲料水に加えて与

えると、ラットのう蝕が有意に

低下することを観察した(表

3)。次いで、チョコレートの中

に可溶性カゼインを添加し、

餌としてラットに与えたときの

う蝕スコアを通常のチョコレ

ート食餌を与えたときのう蝕スコ

アと比較した。

通常のチョコレ

ート食餌は5%のカゼインを含んでいるが、カゼインチョコレート食餌ではカゼインを一六・六%に増加させてある。この実験では餌の与え方も二

通りの方法、すなわちプログラム化されたフィードで与える方法と、自由に摂取させる方法を採用した。その結果、平滑面う蝕でも、咬合面にできる裂溝う蝕でも、通常のチョコレート食餌に比べてカゼインチョコレート食餌を与えたときのほうが有意に低いう蝕スコアを示した。また、もう一つの結論として、餌の摂取方法によつてう蝕スコアが大幅に変わることも示した。すなわち、通常のチョコレート食餌の自由摂取時のう蝕スコアはフィードによる規則正しい摂取時のう蝕スコアの約二倍を示した。カゼインチョコレートの場合でも自由摂取時のほうがフィードによる摂取時の約三〜五倍のう蝕スコアを示した。

カゼインチョコレートのほうがう蝕スコアが低い理由はカゼインが歯垢中でpHの低下を抑制しているためと考えられている。

これらの結果はチョコレートの成分組成を工夫することにより、チョコレートのう蝕誘発性を低下させることが可能であることと、摂取の仕方によつてう蝕を減らすことも可能であることを示唆している。

これまでのデータはスクロースを含むチョコレートについてであったが、次にスクロースの代わりに代用甘味剤を含むチョコレートについて考えてみたい。KAWANABEらは相対甘味度がスクロースの約八〇%のエリスリトールという四単糖の糖アルコールを四二・五%含有するチョコレート

を餌の中に五六%混合して、ラットでう蝕実験を行うと、そのう蝕スコアはでんぶんチョコレートあるいはスクロースチョコレートを五六%含有する食餌の場合のう蝕スコアよりも有意に低いことを観察した(表4)。

近年、食品の第三次機能すなわち生体調節作用を重視した機能性食品が多数創出されてきている。

厚生省は一九九一年に栄養改善法施行規則の一部を改正して、特別用途食品の中に「特定保健用食品」を設けた。特定保健用食品とは「特別用途食品のうち、食生活において特定の保健の目的で摂取するものに対し、その摂取により当該保健の目的が期待できる旨の表示をするもの」である。

う蝕予防に関してはオリゴ糖、糖アルコールなどの代用甘味剤の開発とそれを用いた食品の開発が盛んに行われている。現在までに実際に食品に使用されている成分を表5に示した。代用甘味剤としての働きをもつ成分や、*S. mutans*のGTF阻害作用をもつ成分もある。

これらの成分を用いて、現在までに歯の健康維持に関する特定保健用食品としてガム二種、チョコレート二種が市販されている。これらはいずれも心配のない、歯の健康維持を考慮した食品である。パッケージには健康表示とともに特定保健用食品専用のマークが付けられている。また、任意団体の日本トウモロコシ協会が独自に検

表5 う蝕予防に関連した特定保健用食品の「関与する成分」

オリゴ糖	バラチノース	代用甘味剤、GTF阻害作用
	グルコシルシュクロース マルトシルシュクロース	代用甘味剤、GTF阻害作用
糖アルコール	マルチトール	代用甘味剤
	エリスリトール	代用甘味剤
	還元バラチノース	代用甘味剤
配糖体イソプレノイド 及びビタミン類	ウーロン茶ポリフェノール	GTF阻害作用
アルコール	茶ポリフェノール	GTF阻害作用 細菌増殖抑制作用

定方法により、ガム、キャンデーなどのスナック類で、虫歯の心配のない食品に「歯に信頼」マークを付けて市販している。すでに三〇品目ほどの

食品が認定されている。チョコレートの認定例はいまのところない。

う蝕予防のためには、上述の認定マークの付いた、う蝕の心配のない食品を摂取することはもちろん重要であるが、どのように食べるかもまた重要である。前述の動物実験(表4)やビペホルム病院でのう蝕実験(図2)で見たように、同じ食品を摂取しても規則正しい摂取の場合には、自由摂取の場合に比べてう蝕発生率が低い。自由摂取の場合には食品中の発酵されやすい糖質が歯垢細菌によって有機酸に代謝され、歯垢が酸性状態におかれる時間が長くなるからであろう。口腔の微小環境をつねに歯のエナメル質が脱灰されやすいような酸性環境下におくことがいかに歯の健康維持にとって不利であるかをこれらの研究は示唆している。

おわりに

カカオ粉末の中にもう蝕抑制成分が含まれていることが多くの動物実験で確認されてきた。しかし、その成分が何であるか化学的に解明されてはいない。

カカオ・マスを主成分とするチョコレートにもう蝕を軽減させる働きのあることもわかってきた。

また、成分組成を工夫したり、機能性食品素材を用いることでチョコレートのう蝕誘発性を減じ

たり、あるいはなくしたりすることが可能であることも示された。とはいえ、スクロースを含んだチョコレート数の比率は高いので、そのようなチョコレートを摂取する場合には摂取の仕方を工夫すること、食後のブラッシングを励行することが健全な口腔衛生を維持するために重要である。乳歯で五六%、永久歯で八五%を超えて横ばい状態にあるう蝕有病者率が減少傾向に転ずるのを願うしだいである。