

Erosioner i emaljen forårsaget af læskedrikke, mineralvand og appelsinjuicer in vitro

– relation til pH, bufferegenskaber og indhold af calcium, fosfat og fluorid

Mogens Joost Larsen, Irene Sørensen og Bente Nyvad

Det stigende forbrug af sodavand, juicer og mineralvand antages at føre til en øget forekomst af erosioner. Vi har derfor undersøgt nogle drikke på det danske marked og sammenlignet deres evne til at fremkalde erosioner med deres kemiske sammensætning. Vi har fundet at sodavand og appelsinjuice fremkalder erosioner, at også mineralvand, i hvert fald in vitro, kan skabe erosioner og at læskedrikkenes tendens til at erodere emalje vokser logaritmisk med drikkenes surhedsgrad. Det blev endvidere fundet at juice kan modificeres med calcium og fosfat, således at der ikke fremkalder erosioner. Det sandsynliggøres i artiklen at kun under helt specielle forhold, nemlig når drikkenes pH er over 4, kan drikkenes indhold af calcium, fosfat og fluorid have en begrænsende virkning på erosionen.

Artiklen er baseret på en artikel som tidligere er publiceret i *Caries Research* 1999; 33: 81-7.

Caries defineres som kemisk opløsning af de hårde tandvæv fremkaldt af bakteriers stofskifteprodukter. Heroverfor defineres erosioner som kemisk opløsning af tandvæv forårsaget af alt muligt andet (1,2). Histologisk adskiller de to læsioner sig ved at carieslæsionen er en gradvis demineralisering af emaljen med bevarelse af overfladen (3), mens emaljen ved erosionen opløses lag for lag uden nogen demineralisering af de dybere dele (4).

Der kan næppe være tvivl om at hver gang der optræder sure fødemidler og læskedrikke i munden, vil en beskeden opløsning af emalje finde sted (5-9) som følge af at emaljens opløselighed vokser voldsomt når pH falder (Fig. 1,2). For at sætte opløseligheden i perspektiv: Caries fremkaldes i pH-området omkring 5, hvor opløselighedskurven næppe har frigjort sig fra bundlinien (linien der illustrerer salivas calciumfosfatindhold og skærer kurven ved kritisk pH 5,5, falder i Fig. 2 sammen med bundlinien), mens mange af vore sure læskedrikke har pH-værdier omkring 3.

Ud over pH kan andre faktorer have betydning. Bufferkapaciteten, der defineres som en opløsnings evne til at fastholde sin pH-værdi, i dette tilfælde ved neutralisering, er gentagne gange blevet foreslået at have en betydelig opløsningsfremmende virkning (10). Drikke med en høj bufferkapacitet vil således kunne antages at fortsætte demineralisering betydeligt længere end drikke med ringe bufferkapacitet der hurtigt neutraliseres.

Et stort indhold af calcium og fosfat i læskedrikken kan antages at hæmme emaljens opløsning ganske betydeligt (8,11). Tiltroen til at calcium og fosfat kan forhindre erosioner, er så stor at der med nogen succes er udført omfattende eksperimenter med sådanne tilsætninger (12). Et af problemerne i denne sammenhæng er at fabrikanter ikke er umiddelbart interesserede i at modificere et velanskrevet og godt sælgende produkt med en tilsætning af calcium og fosfat. Endelig er fluorid påstået at kunne hæmme udviklingen af erosioner (8,13,14).

Formålet med de foreliggende eksperimenter var at undersøge hvorledes læskedrikkes, appelsinjuicers og mineralvandes erosionspotentiale afhænger af pH i drikken, og om bufferkapacitet og indhold af calcium, fosfat og fluorid har nogen væsentlig indflydelse på erosionsmønsteret.

Materiale og metoder

Atten almindelige læskedrikke, mineralvand og appelsinjuicer blev udvalgt til undersøgelsen (Tabel 1). Drikkevarerne blev analyseret, idet pH, bufferkapaciteten og koncentrationen af calcium, fosfat og fluorid bestemtes. Erosionspotentialer i drikkevarerne og i destilleret vand undersøgte med anvendelse af 54 nyligt ekstraherede tænder der, før de an-

bragtes i 1,5 l af drikken hængende under en lille, 2 ml plastbeholder, var dækket med neglelak bortset fra en eksponeret rude på ca. 3×5 mm. Alle 1½-liter-flasker med de eksponerede tænder blev rystet kontinuerligt i de syv dage eksperimentet varede.

Efter eksponeringen blev tænderne skåret i 100 µm tykke snit, og læsionen blev beskrevet efter fotos, enten direkte i mikroskop eller efter at der var fremstillet mikroradiogrammer af snitpræparaterne.

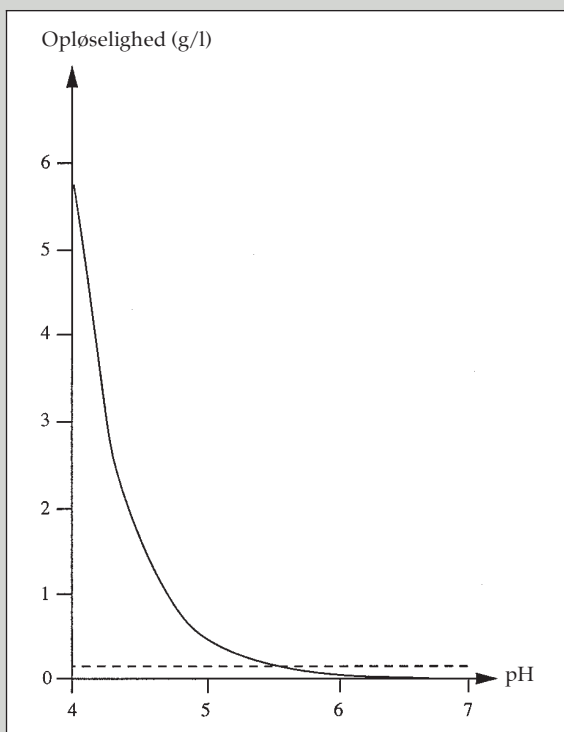


Fig. 1. Opløseligheden af enamelapatit målt i g/l som funktion af pH. Det fremgår at opløseligheden vokser voldsomt ved et pH-fald. En stiplet, vandret linie der svarer til salivas indhold af kalcium og fosfat og som skærer kurven ved kritisk pH, er markeret. Det bør erindres at caries udvikles i pH-området 4,5-5,5, mens erosioner i reglen fremkaldes under pH 4. (Kurven er fremstillet på basis af beregninger med et computerprogram (15) og gengivet fra Caries Research (21)).

Fig. 1. Solubility of enamel apatite in g/l as a function of pH. The solubility increases logarithmically with a lower pH. A dotted, horizontal line corresponding to the calcium and phosphate concentrations in saliva and intersecting the curve at critical pH of 5.5 is shown. Note that caries is developed at pH above 4.5 and erosions below pH 4. (The curve is based on calculations by a computer program (15). Reprinted from Caries Research (21)).

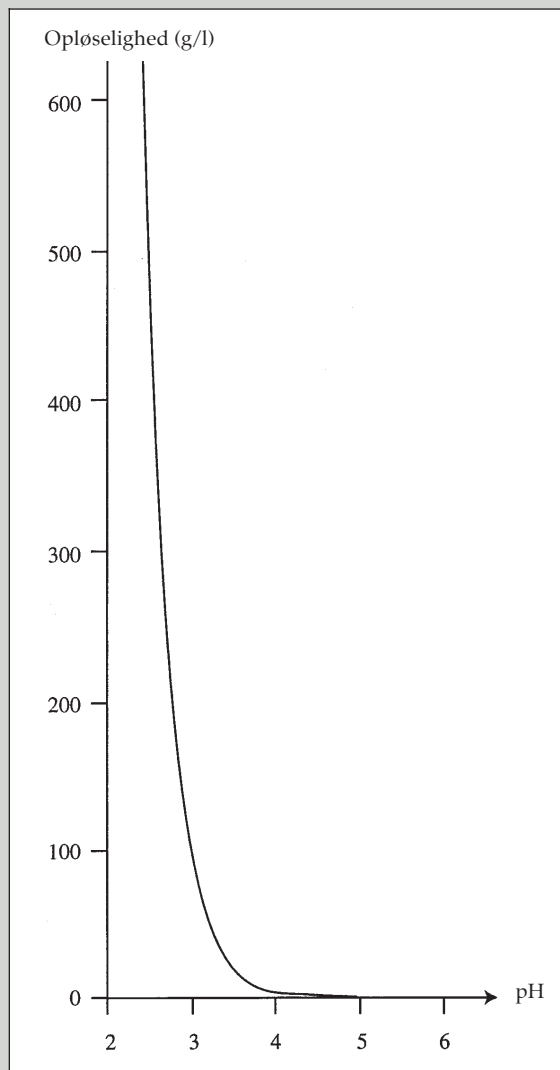


Fig. 2. Opløseligheden af enamelapatit målt i g/l som funktion af pH. Det fremgår at opløseligheden vokser voldsomt ved et pH-fald. Den vandrette linie der svarer til salivas indhold af kalcium og fosfat og som skærer kurven ved kritisk pH, falder her sammen med bundlinien. Det bør erindres at caries udvikles i pH-området 4,5-5,5, mens sodavand og læskedrikke hyppigt har pH i området 4-2,5. (Kurven er fremstillet på basis af beregninger med et computerprogram (15) og gengivet fra Caries Research (21)).

Fig. 2. Solubility of enamel apatite in g/l as a function of pH. The solubility increases logarithmically with a lower pH. The horizontal line corresponding to the calcium and phosphate concentrations in saliva and intersecting the curve at critical pH of 5.5 coincides with the bottom line. Note that caries is developed at pH above 4.5 and erosions below pH 4. (The curve is based on calculations by a computer program (15). Reprinted from Caries Research (21)).

Alle eksperimenter og analyser blev dupliseret. Et tidligere publiceret computerprogram (15) blev anvendt til at beregne emaljens opløselighed i det aktuelle pH-område. Brugen af humane tænder var godkendt af Videnskabsetisk Komité.

Resultater

Kemiske analyser

Læskedrikkene faldt i tre klart adskilte grupper (Tabel 1): 1) kuldioxidholdige læskedrikke med sødemidler (Schweppes, Fanta, Sprite, Coca-Cola, Pepsi, 7 Up), 2) appelsinjuicer med eller uden calciumfosfattsætning, og 3) mineralvande med og uden smagstilsætninger (Carlsberg Kurvand, Tuborg Blå, Aqua Minerale, Mårum, Apollinaris). Generelt havde de kuldioxidholdige læskedrikke med sødemidler et lavere pH, og nogle af dem havde en betydelig buffereffekt. I appelsinjuicerne lå pH omkring 4 med en stor bufferkapacitet, mens pH i mineralvandene varierede omkring pH 5, og deres buffering var svag, uanset om der var tilsat citron/limekoncentrat. Ved opskækning af drikkene fordampede en del kuldioxid. Det medførte en beskedent pH-stigning i læskedrikkene (ca.

0,03 pH-enheder) og en mere betydelig pH-stigning i mineralvandene (ca. 0,5 pH-enheder).

Koncentrationerne af calcium, fosfat og fluorid var gennemgående lave, undtaget i den juice hvor fabrikanten havde tilsat calciumfosfat. De fundne koncentrationer af calcium og fosfat i denne juice, hhv. 42,9 og 31,2 mmol/l eller 4,7 g calciumfosfat/l, svarer efter beregning (15) til opløseligheden af tandemalje ved pH 4 (cf. Fig. 1). Fluoridkoncentrationen var lav i alle drikkene, undtagen i Mårum mineralvand hvor den var 1,8 ppm.

Histologisk undersøgelse

Eksposering af tænderne i drikkene i syv dage fremkaldte erosioner af forskellig dybde (Fig. 3). Hvor erosionen nåede ind til dentinen, fremgik det at denne havde en opbremsende effekt, idet penetrationen gennem dentinens organiske komponenter var begrænset (Fig. 3C). Vurderingen af erosionsdybderne i Fig. 4 skal ses i dette lys: Læsioner kunne i dette eksperiment sjældent blive dybere end 1,5 mm uden at nå ind i dentinen.

Tabel 1. Buffereffekt og koncentrationer af nogle uorganiske ioner og pH i læskedrikke, mineralvand og appelsinjuicer.

Produkt	pH	Buffer-	Kalcium-	Fosfat-	Fluorid-
		effekt*	koncentration	koncentration	koncentration
		mmol/l	mmol/l	mmol/l	ppm
Schweppes Indian Tonic	2,48	47	0,43	0	0,41
Schweppes Dry Grape	2,76	47	0,58	0,18	0,33
Fanta Appelsin	2,86	32	0,38	0,13	0,20
Sprite Light	2,98	16	0,36	0	0,58
Coca-Cola	2,40	9	0,26	5,47	0,20
Pepsi Cola	2,53	8	0,09	5,46	0,45
7 Up	3,20	15	0,19	0	0,58
Appelsinjuice MD	3,84	78	2,97	3,55	0,80
Appelsinjuice MD/calcium	4,03	78	42,90	31,20	0,09
Carlsberg Kurvand/citron-lime	4,02	5	1,18	0	0,06
Carlsberg Kurvand	4,59	2	1,15	0	0,09
Tuborg Blue/citron-lime	5,42	0	0,35	0	0,20
Tuborg Blue Special	5,44	0	0,38	0	0,35
Aqua Minerale/citron-lime	5,01	0	0,34	0	0,52
Aqua Minerale	5,11	0	0,33	0	0,55
Apollinaris/citron-lime	4,44	0	0,42	0,01	0,17
Maarum	5,38	0	0,90	0	1,78
Apollinaris	4,88	0	3,03	0,01	0,41
Destilleret vand	5,60				

*Buffereffekt er defineret som mængden af base der er nødvendig for at bringe pH fra den initialt observerede værdi til 5,5.

I Fig. 4 ses dybden af de fremkaldte erosioner afsat som funktion af pH i den drik der havde fremkaldt erosionen. Det fremgår at jo lavere pH, jo dybere var erosionen. Som nævnt ovenfor kunne de dybeste erosioner ikke blive dybere uden at nå ind i dentin. Mineralvandene fremkaldte ligeledes erosioner, dog i beskedent omfang. Ses der i første omgang bort fra appelsinjuicerne, vil en tænkt kurve gennem punkterne være krum og bøje stejlt opad i det lave pH-område, ganske parallelt med kurven i Fig. 2.

Appelsinjuicen der indeholder calcium og fosfat, fremkaldte ingen erosioner. En beregning med et computerprogram (15) viste at denne juice var overmættet mht. fluorapatit og mættet mht. hydroxylapatit og derfor ude af stand til at opløse emaljeapatit. I modsætning hertil var erosionerne fremkaldt af den kalkiumfri juice dybere end forventet og svarede til de erosioner der var fremkaldt af læskedrikke én pH-enhed lavere. Denne forstærkede effekt kan tilskrives appelsinjuicens store buffereffekt. Ud over at appelsinjuicen uden calcium og fosfat havde den højeste bufferkapacitet og fremkaldte den dybe erosion, blev nogen klar effekt af drikkenes bufferkapacitet ikke fundet.

Det var ikke muligt at spore nogen effekt af drikkenes

fluoridindhold. Dog fremkaldte den mineralvand der indeholdt 1,8 ppm fluorid, næsten ingen erosion.

Diskussion

Den foreliggende undersøgelse har vist at der er en tæt sammenhæng mellem pH i den erosionsfremkaldende læskedrik og emaljens opløselighed ved det pågældende pH, således at erosionens dybde vokser eksponentielt med pH-faldet. Endvidere fandtes at mineralvand har en beskedent erosionsfremkaldende virkning. Appelsinjuice uden calcium og fosfat fremkaldte dybere erosioner end forventet (Fig. 4), sandsynligvis forårsaget af den store bufferkapacitet i forbindelse med pH 4.

Det skal straks noteres at den påvirkning tænderne her er blevet udsat for, er meget intens og langvarig og uden relation til hvad der normalt finder sted in vivo i munden. Den intense påvirkning er imidlertid nødvendig for at fremkalde erosion i forbindelse med eksponering for mineralvandene. Det er et åbent spørgsmål om mineralvande overhovedet fremkalder erosioner in vivo. At de øvrige sure læskedrikke og appelsinjuice in vivo fremkalder erosioner ved hyppig indtagelse, kan man dog ikke betvivle.

Som en »functional food« mhp. profylakse mod osteoporose

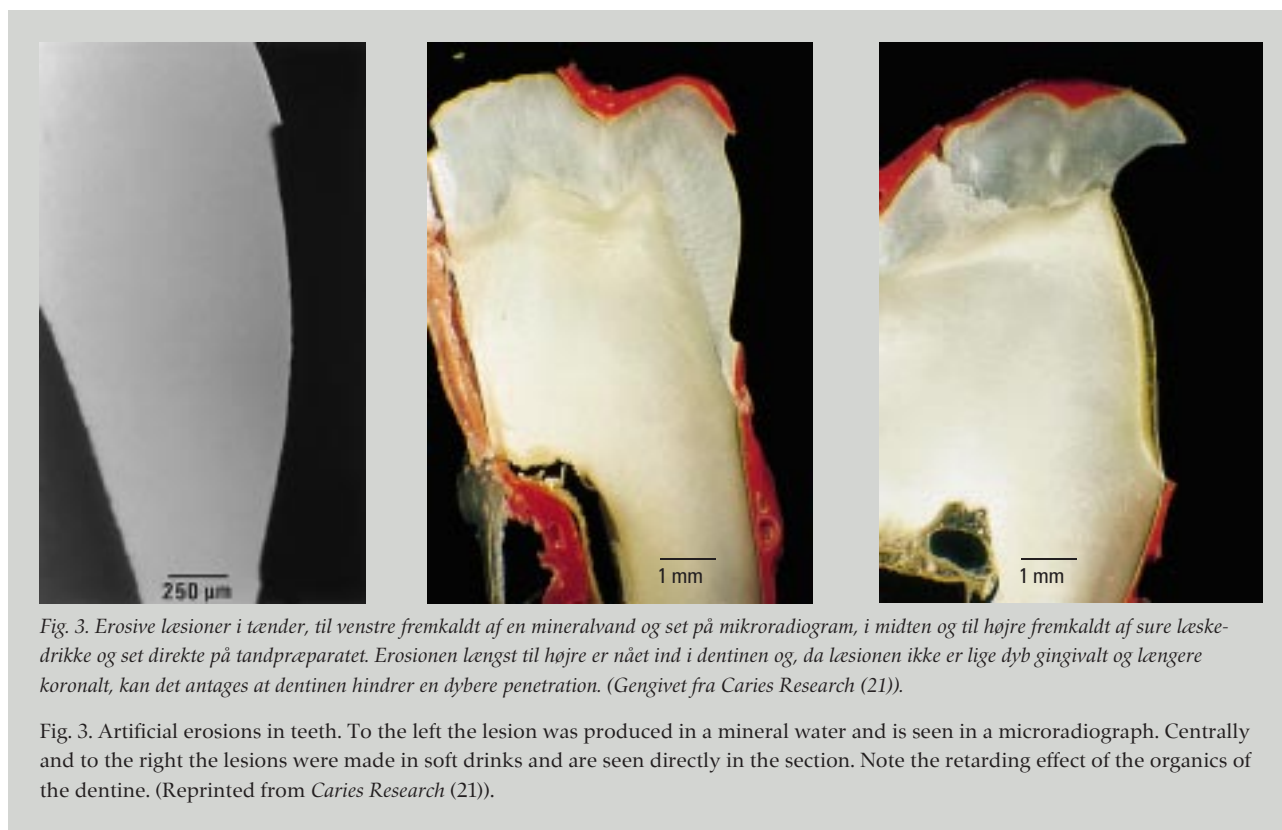


Fig. 3. Erosive læsioner i tænder, til venstre fremkaldt af en mineralvand og set på mikroradiogram, i midten og til højre fremkaldt af sure læskedrikke og set direkte på tandpræparatet. Erosionen længst til højre er nået ind i dentinen og, da læsionen ikke er lige dyb gingivalt og længere koronalt, kan det antages at dentinen hindrer en dybere penetration. (Gengivet fra *Caries Research* (21)).

Fig. 3. Artificial erosions in teeth. To the left the lesion was produced in a mineral water and is seen in a microradiograph. Centrally and to the right the lesions were made in soft drinks and are seen directly in the section. Note the retarding effect of the organics of the dentine. (Reprinted from *Caries Research* (21)).

har MD Foods lanceret den kalciumfosfatholdige juice med koncentrationer af de pågældende ioner der svarer til de koncentrationer der findes i komælk og angives på mælkekartonerne. Ved beregning fremgår at denne juice er mættet mht. emaljeapatit, og rent eksperimentelt vist her at der ikke fremkaldtes nogen erosion selv efter syv dages intens påvirkning. Til sammenligning findes i saliva ca. 1 mmol/l

kalcium og 5 mmol/l fosfat (1,16), altså langt mindre. De 42,9 mmol/l kalcium og 31,2 mmol/l fosfat svarer til ca. 4,7 g kalciumfosfat per liter. Fig. 1 og 2 viser at disse ikke ubetydelige mængder kalcium og fosfat rækker fra pH 4 og op til kurven, og det indses at det er håbløst at mætte de læskedrikke der har pH under 3,5. Det kan beregnes at der for at mætte en drik ved pH 2,5 med kalciumfosfater kræves 500 g kalciumfosfat per liter (Fig. 1) eller 5.000 mmol/l kalcium og 3000 mmol/l fosfat. Hverken teoretisk eller eksperimentelt havde de 5,5 mmol/l fosfat i colaerne nogen nævneværdig erosionsbegrænsende effekt.

Som nævnt ovenfor ville de dybeste erosioner have været dybere hvis ikke dentinen havde hæmmet den videre penetration. Betragtes Fig. 4, kunne punkterne under pH 3 meget vel have ligget højere og have gjort ligheden med kurven i Fig. 2 endnu større.

Kliniske implikationer

Mange forskere betragter erosion som et stigende problem (for oversigt se 17). Det er imidlertid vanskeligt at danne sig et præcist indtryk af problemets omfang. Der er ikke gennemført undersøgelser som systematisk har beskrevet prævalens og incidens af erosion i forskellige befolkningsgrupper. På baggrund af den sparsomme litteratur vi har kunnet opspore, angives prævalensen af erosion med dentinaffektion hos teenagere at variere mellem 2 og 30% (18,19). I en stikprøve af 26-50-årige fandt man en prævalens på 8-13% (20). Resultaterne af disse undersøgelser kan ikke umiddelbart sammenlignes, idet undersøgelserne benytter forskellige kliniske registreringskriterier.

Det er sandsynligt at forekomsten af erosion stiger i takt med et øget forbrug af sure læskedrikke. I henhold til Bryggeriforeningen (22) toppede konsumtionen af sure læskedrikke i Danmark i 1997 med et årligt forbrug på 103 l sodavand per indbygger, hvoraf cola udgjorde næsten to tredjedele. Dertil kommer 13 l juice. Tandlæger bør derfor være opmærksomme på tidlige kliniske tegn på erosion i emaljen, således at en eventuel videreudvikling kan bremses gennem forebyggende foranstaltninger.

Resultaterne fra nærværende undersøgelse peger på at forebyggelse af erosioner mest effektivt kan ske ved at nedsætte forbruget af sure læskedrikke. Alternativt kan det anbefales at substituere med mindre sure drikke, fx mineralvand eller kalciumfosfatholdig appelsinjuice.

For fuldstændighedens skyld bør det nævnes at erosioner ikke kun optræder i forbindelse med indtagelse af sure læskedrikke, men også kan skyldes overdreven indtagelse af sure frugter, kronisk tendens til sure opstød og opkastning, eller syrepåvirkning i arbejdsmiljøet.

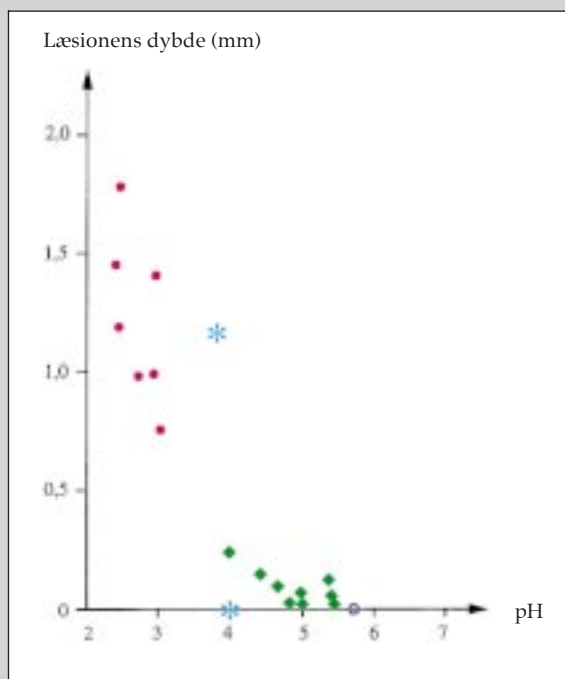


Fig. 4. Diagram visende dybden af de fremkaldte erosioner som funktion af drikkens pH. Signaturer: Syrlige sodavand (●), appelsinjuicer med eller uden kalciumfosfattsætning (*), mineralvand med eller uden smagstilsætning (◆) og destilleret vand (○). Ses bort fra de to appelsinjuicer, kan der gennem punkterne trækkes en krumme kurve parallelt med opløselighedskurven i Fig. 1. Appelsinjuicen uden kalcium og fosfat inducerede en erosion dybere end ventet, mens juicen med kalcium og fosfat ikke eroderede emaljen. (Gengivet fra *Caries Research* (21)).

Fig. 4. Diagram showing the depth of the artificial erosive lesion as a function of pH of the drink. Signatures: Acidic soft drinks (●); orange juice with or without calcium phosphate supplementation (*); mineral water with or without taste addition (◆); and distilled water (○). If the two orange juices are ignored a curve through the points follows the shape of the solubility curve in Fig. 1. The orange juice without calcium phosphate supplementation induced an erosion deeper than expected, while the juice with calcium phosphate did not erode the enamel. (Reprinted from *Caries Research* (21)).

English summary

Erosions in enamel caused by soft drinks, orange juice and mineral waters in vitro relative to pH, buffers and contents of calcium, phosphate and fluoride

The aim of the present study was to describe the depth of artificial erosive lesions relative to pH, buffer capacity and content of calcium, phosphate and fluoride for some soft drinks, orange juices and mineral waters. Eighteen drinks available on the Danish market were selected for the study. Human teeth covered with nail varnish except for 3×5 mm windows, were exposed to 1.5 l of the gently agitated drink for seven days. The buffer capacity in the drinks was determined by titration, while pH and the concentrations of calcium, phosphate and fluoride were determined by chemical analysis. For comparison, the solubility of apatite was calculated using a previously published computer program (Fig. 1,2). It was found that the lesions varied greatly, some lesions even extending into the dentine which appeared to halt the further penetration (Fig. 3). The mineral waters were found to cause slight erosions. Further, the depth of the erosive lesion increased logarithmically with lower pH (Fig. 4), parallel with the solubility curve (Fig. 2). The buffer capacity was found to increase the dissolution only where the capacity was very high, namely in the orange juice (Fig. 4). Orange juice containing 42.9 mmol/l calcium and 31.2 mmol/l phosphate – which correspond to the concentrations in dairy milk – did not cause any erosion. Apart from this, no real effect of calcium, phosphate and fluoride was found.

Litteratur

1. Larsen MJ, Bruun C. Caries chemistry and fluoride – Mechanism of action. In: Thylstrup A, Fejerskov O, editors. Textbook of clinical cariology. Copenhagen: Munksgaard; 1994. p. 231-57.
2. Imfeld T. Dental erosion. Definition, classification, and links. Eur J Oral Sci 1996; 104: 151-5.
3. Appelbaum E. The radiopaque surface layer of enamel and caries. J Dent Res 1940; 19: 41-6.
4. Sognaes RF. Dental hard tissue destruction with special reference to ideopathic erosions. In: Sognaes RF, editor. Mechanism of hard tissue destruction. Washington: Am Ass Adv Sci; 1963. p. 91-153.
5. Holloway PJ, Mellanby M, Stewart RJC. Fruit drinks and tooth erosion. Br Dent J 1958; 104: 305-9.
6. Meurman JH, Härkönen M, Näveri H, Koskinen J, Torkko H, Rytömaa I, et al. Experimental sports drinks with minimal dental erosion effect. Scand J Dent Res 1990; 98: 120-8.
7. Meurman JH, Rytömaa I, Kari K, Mutomaa H. Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks. Caries Res 1987; 21: 353-9.
8. Meurman JH, ten Cate JM. Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. Eur J Oral Sci 1996; 104: 199-206.
9. Rytömaa I, Meurman JH, Koskinen J, Laakso T, Gharazi L, Turunen R. In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. Scand J Dent Res 1988; 96: 324-33.
10. Lussi A, Jäggi T, Schärer S. The influence of different factors on in vitro enamel erosion. Caries Res 1993; 7: 387-93.
11. Zero DT. Etiology of dental erosion – extrinsic factors. Eur J Oral Sci 1996; 104: 162-77.
12. Grenby TH. Lessening dental erosive potential by product modification. Eur J Oral Sci 1996; 104: 221-8.
13. Sorvari R, Meurman JH, Alakuijala P, Frank RM. Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. Caries Res 1994; 28: 227-32.
14. Spencer AJ, Ellis LM. The effect of fluoride and grapefruit on the etching of teeth. J Nutr 1950; 43: 107-15.
15. Larsen MJ. An investigation of the theoretical background for the stability of the calcium phosphate salts and their mutual conversion in aqueous solutions at pH 5-10. Arch Oral Biol 1986; 31: 757-61.
16. McCann HG. Inorganic components of salivary secretions. In: Harris RS, editor. Art and science of dental caries research. Oxford: Academic Press; 1968. p. 55-74.
17. Nunn JH. Prevalence of dental erosion and the implications for oral health. Eur J Oral Sci 1996; 104: 156-61.
18. Milosevic A, Young PJ, Lennon MA. The prevalence of tooth wear in 14-year-old school children in Liverpool. Community Dent Health 1993; 11: 83-6.
19. O'Brien M. Children's dental health in the United Kingdom 1993. Office of Population Censuses and Surveys. London: HMSO; 1994.
20. Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P. Dental erosion in a population of Swiss adults. Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 286-90.
21. Larsen MJ, Nyvad B. Enamel erosion by some soft drinks and orange juice relative to pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. Caries Res 1999; 33: 81-7.
22. Bryggeriforeningen. Tal fra Bryggeriforeningen. <http://www.bryggeriforeningen.dk> 1999.

Forfattere

Mogens Joost Larsen, docent, dr. odont., MPH, Irene Sørensen, tandlæge, og Bente Nyvad, lektor, dr. et lic.odont. Afdeling for Tandsygdomslære, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet