

일부 국내 어린이 음료의 우치 법랑질 침식력과 침식 위험 요소 평가

김보라^{1,2}, 민지현¹, 권호근^{1,2,3}, 김백일^{1,2,3}

¹연세대학교 치과대학 예방치과학교실, ²BK21 플러스 통합구강생명과학 사업단, ³구강과학연구소

Analysis of the erosive effects of children's beverages using a pH-cycling model

Bo-Ra Kim^{1,2}, Ji-Hyun Min¹, Ho-Keun Kwon^{1,2,3}, Baek-Il Kim^{1,2,3}

¹Department of Preventive Dentistry & Public Oral Health, Yonsei University College of Dentistry, ²Brain Korea 21 PLUS Project, ³Oral Science Research Center, Seoul, Korea

Received: August 26, 2013
Revised: September 25, 2013
Accepted: September 28, 2013

Corresponding Author: Baek-Il Kim
Department of Preventive Dentistry &
Public Oral Health, Yonsei University
College of Dentistry, 50 Yonsei-ro, Seoul
120-752, Korea
Tel: +82-2-2228-3070
Fax: +82-2-392-2926
E-mail: drkbi@yuhs.ac
*이 연구에 참여한 연구자는 "BK21 플러스 사업"의 지원비를 받았음.

Objectives: The aims of this *in vitro* study were (1) to assess the erosive potential of several children's beverages in comparison to cola and orange juice, by using an *in vitro* pH-cycling model, and (2) to investigate the factors related to dental erosion caused by the beverages.

Methods: Eight different children's beverages (Chorongi, Capri-sun, Grateful nature wisdom, I-kicker, Koal-koal koala, My friend pororo, Qoo, and Strong zzanggu), Cola, and an orange juice, which are available in the Korean market, were used. To characterize each test beverage, the pH, titratable acidity to pH 7.0, concentration of calcium and phosphorus, and degree of saturation with respect to hydroxyapatite (DS_{HAP}) were analyzed. Erosive potential of the test beverages was assessed by the depth of enamel loss observed in specimens subjected to pH cycling for 8 days. This cycle consisted of exposure to each beverage for 20 min, thrice daily, and to a remineralizing solution every day. The correlation between the depth of the enamel loss and the chemical properties of the beverages was assessed by Spearman's rank correlation coefficients and multiple linear regression tests ($P < 0.05$).

Results: The depth of enamel loss caused by the beverages was found to vary from 0.11 to 105.47 μm . Enamel loss with all the children's beverages tested was lesser compared to that with Cola ($P < 0.05$) but was similar or greater than that with orange juice, except in one beverage. The pH, concentration of calcium, and DS_{HAP} were significantly correlated with the depth of enamel loss ($\rho = -0.842$, $\rho = -0.796$, and $\rho = -0.867$, respectively; $P < 0.01$). Multiple regression analysis showed that pH and concentration of calcium were impact variables for the erosive potential of test beverages ($P < 0.05$).

Conclusions: The children's beverages tested had lower erosive potential than Coca Cola, but five (I-kicker, Grateful nature wisdom, Qoo, Capri-sun, and Chorongi) of them had higher erosive potential than orange juice. Moreover, among the chemical properties of beverages, significant factors affecting enamel loss were pH value and concentration of calcium.

Key Words: Beverage, Chemical properties, pH cycling, Tooth erosion

서론

최근 아동과 십대 초반 어린이의 치아 침식 유병률이 조사됨으로써 치아우식증 뿐만 아니라 치아 침식이 어린이의 구강 건강 문제로 꽤 자주 거론되고 있다. 일부 유럽 국가에서는 역학 연구를 통해 2-7세 아동의 32%가 1개 이상의 침식된 유치를 보유하고 있으며¹⁾, 12세의 15.7%, 15세의 30.7%가 1개 이상의 침식된 영구치를 보유하고 있다고 보고하였다²⁾.

비록 치아 침식 유병률과 외적 요인에 관한 역학 연구 결과가 일부 유럽국가에 국한되어 보고되고 있으나, 산성 음료의 치아 침식 가능성을 평가한 여러 *in vitro* 및 *in situ* 연구 결과가 과일 주스, 스포츠 음료 및 탄산 음료의 치아 침식 가능성을 뒷받침하고 있다³⁻⁵⁾. 또한 코호트 연구에서도 산성의 과일 음료 섭취와 탄산 음료의 소비가 침식의 발생률과 관련 있음이 보고되었다⁶⁾. 이러한 연구 결과를 근거로 다요인성 질환인 치아 침식의 주요한 외적 요인 중 하나로서 산성의 음료수를 과잉으로 섭취하는 행위가 치아의 탈회와 침식을 유발할 가능성이 있다는 사실이 잘 알려져 있다^{7,8)}.

한국의 음료 시장에는 매년 어린이를 대상으로 하는 음료가 새롭게 출시되고 있다. 어린이 음료의 조성은 일반 감미 또는 착향 음료의 조성과 기본적으로 유사하다. 일반적으로 음료에는 맛과 청량감 향상, 보관 기간 증가를 위하여 다양한 과실농축액과 과일 산이 첨가된다. 첨가된 산은 칼슘 길레이트 작용과 같은 침식 활성도를 가지고 있으며^{9,10)}, 산 첨가로 인하여 음료의 pH가 5.5보다 낮게 유지되면 치아의 무기질 소실과 침식이 발생할 수 있다. 음료의 산도를 나타내는 지표로서 pH 뿐만 아니라 해리되지 않은 산까지 포함한 산의 총량인 적정 산도 또한 치아의 탈회와 침식 가능성을 나타내는 강력한 요인으로 보고되는데¹¹⁾, 이는 적정 산도가 음료의 pH 변화에 대한 저항 정도를 의미하기 때문이다.

어린이 음료에는 산 외에도 어린이의 성장과 건강에 도움이 되는 다양한 첨가제가 혼합되며 이에 대표적인 첨가제로 칼슘 제제와 비타민 계열이 있다. *In vitro* 및 *in situ* 연구를 통하여 치아 무기질의 구성요소인 칼슘을 첨가한 산성의 음료는 첨가하지 않은 음료 보다 법랑질의 탈회와 표면 소실 정도를 유의하게 감소시키는 것으로 확인되었다¹²⁻¹⁴⁾. 또한 과일에 풍부한 비타민 계열 중에서 비타민 C로 잘 알려진 아스코르브산의 탈회 가능성이 언급된 바 있어 첨가 시 치아 침식에 영향을 미칠 것이다¹⁵⁾. 다양한 첨가제가 혼합된 음료는 음료의 pH, 적정 산도, 칼슘, 인 및 무기질 포화도와 같은 화학적 특성에서 차이를 나타낼 것이며, 결국 어린이 음료마다 치아 침식 가능성이 다를 것으로 예상된다.

국내에서 평가된 어린이 음료의 치아 침식 가능성은 Shin과 Kim¹⁶⁾이 음료에 침식된 치아 법랑질의 표면경도 변화로 평가한 바 있으나, 음료의 다양한 화학적 특성과 침식 가능성의 관련성 및 위험 요인에 관한 정보는 제한적이다. 또한 음료의 침식 가능성 평가는 대부분 일정 시간 동안 치아 시편을 음료에 침적한 후, 치아의 경도 및 해부학적 형태 변화를 관찰해 왔으나 과도한 침식 시간은 임상적인 결과 해석이 어렵다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 실험실 상에서 pH 순환 모형을 적용하여

한국에서 시판되는 일부 어린이 음료의 법랑질 침식력을 대표적인 산성음료인 콜라 및 오렌지 주스와 비교하여 평가하고자 하였다. 또한 음료의 화학적 요인들 중에서 법랑질 침식 정도에 유의미한 영향을 미치는 위험 요인을 조사하고자 하였다.

연구재료 및 방법

1. 시험 음료의 선정

본 시험에 앞서, 국내 3사 대형 마트의 어린이 음료수 진열대에서 판매하고 있고 피피캡이 병에 부착되거나 빨대가 부착되어 있는 어린이 음료 14가지 종류를 확인하였다. 최종적으로 시험에 사용한 어린이 음료는 3개 또는 2개 마트에서 공통적으로 판매하여 손쉽게 구할 수 있는 음료 8가지 종류로 선정하였다. 어린이 음료의 법랑질 침식력을 대비할 대조군으로는 코카콜라와 오렌지 주스 1종을 선정하였다(Table 1).

2. 시편 준비

결함이 관찰되지 않는 건전한 우치 법랑질 순면에서 4×3 mm 크기의 법랑질 조각 120개를 다이아몬드 디스크(NTI-Kahla GmbH, Germany)가 장착된 저속 핸드피스(Lasungmedice, Seoul, Korea)를 사용하여 절단하였다. 절단된 법랑질 조각은 표면이 노출되도록 아크릴 레진(Jet™ Tooth Shade; Lang Dental MFG. Inc., Wheeling, IL, USA)에 매몰하였다. 그 후, 400-1,200 grit의 연마지(Allied High Tech Products Inc., Rancho Dominguez, CA, USA)를 사용하여 노출된 법랑질 표면을 평편하고 매끄럽게 연마한 후, 음료수에 노출될 시편 표면의 중앙부 1×3 mm 크기의 면적을 남겨두고 나머지 부분은 모두 내산성의 네일 바니시(Mix-nails, Mix&Match, Korea)를 도포하여 건전 법랑질을 보호하였다. 준비된 시편은 실험에 사용하기 전까지 100% 습윤 상태로 4°C 조건에서 보관하였다.

Table 1. Control beverages and experimental children's beverages used in this study

Brand name	Flavour	Manufacturer
Coca-cola*	-	Coca Cola Korea
Tropicana orange juice*	Orange	Lotte Chilsung
Chorongi [†]	Grape	Woong-Jin
Capri-sun [†]	Alaska icetea	Nong-Shim
Grateful nature wisdom [†]	Apple & Carrot	Woong-Jin
I-kicker [†]	Orange	Korea Jinseng Corporation
Koal-koal koala [†]	Grape & Apple	Delmont
My friend pororo [†]	Tropical fruit	Cowell F&B Incorporation
Qoo [†]	Grape	Coca Cola Korea
Strong zzzanggu [†]	-	Cho-A Pharm

*Control beverages.

[†]Experimental children's beverages.

3. pH 순환 모형

모든 음료는 실온의 온도에서 사용하였다. 콜라는 매일 2시간 동안 교반하여 탄산가스를 모두 제거한 후 사용하였고, 음료의 침식 평가를 위하여 Min 등¹⁷⁾의 연구에서 제시한 pH 순환 모형을 적용하였다. 먼저 준비된 시편을 10가지 음료 군에 12개씩 배정한 후, 6개 시편씩 각각 배정된 음료 15 ml에 20분씩 하루 3회 침적하여 법랑질의 침식을 유도하였다. 매 음료 처치 후 시편은 2시간 40분씩 2회, 마지막 음료 처치 후에는 17시간 40분 동안 사람타액과 인공타액(gastric mucin 0.22%, KCl 14.93 mM, KH₂PO₄ 5.42 mM, NaCl 6.51 mM, CaCl₂ · 2H₂O 1.45 mM)을 1:1로 혼합한 재광화 용액에 침적하였으며, 이 과정을 pH 순환 모형의 1일 일정으로 8일 동안 반복 시행하였다. 이 때 사람 타액은 시험 시작 2일 전 서울시 소재 Y치과대학에 재학중인 72명의 자극성 타액을 수집한 후, 원심분리기로 분순물을 제거한 상등액을 재수집하여 냉동보관 후 실험에 사용하였다. 모든 음료수는 매 처치마다, 재광화 용액은 하루 1회 교체하였고, 모든 실험 용액은 실온에서 일정한 속도로 교반하여 사용하였다. 마지막 재광화 용액 처치 후, 모든 시편을 초음파 세척기(SH-1070; Saehanson, Seoul, Korea)를 사용하여 60 Hz 조건에서 10분 동안 세척하여 시편 표면에 형성된 생물막을 제거하였다.

4. 시험 음료의 화학적 특성 평가

4.1. 음료의 pH 및 적정 산도 측정

매일 음료 처치를 시작하기 전에 음료 40 ml의 pH를 pH meter (Orion 4 star; Thermo Orion, Beverly, CA, USA)를 사용하여 측정하였고, 총 8일 동안의 평균을 산출하였다.

각 음료의 적정 산도는 음료 20 ml에 0.1 M의 NaOH 용액을 100 µl씩 첨가하여 고유 pH를 7.0까지 증가시키기 위해 사용한 정도(mmol/l)를 산출하였고, 동일한 방법으로 3회 반복 측정하여 평균을 산출하였다.

4.2. 칼슘과 인의 함량 측정 및 음료의 무기질 상대 포화도 분석

시험 음료에 포함된 칼슘과 인의 함량은 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광기(ICPS-7510; Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다.

음료의 무기질 포화도(Degree of saturation with respect to hydroxyapatite, DS_{HAP})는 수산화인회석의 무기질 포화도에 대비한 상대 포화도로서 각 음료의 칼슘과 인의 함량 및 수소이온 농도와 컴퓨터 프로그램(PHREEQC, U.S. Geological Survey, USA)을 이용하여 산출하였다. 분석 프로그램에서 제공하는 무기질 포화도의 산출식은 $DS_{HAP} = ([Ca^{2+}]^5 [PO_4^{3-}]^3 [OH] / K_{sp})^{1/9}$ 이며, 이는 수산화인회석의 용해도 곱(solubility product, K_{sp}; 5.5×10^{-55})에 대한 각 음료의 이온 활성도를 산출한 것이다.

5. 법랑질 침식 깊이 측정

8일 동안의 pH 순환 모형 적용 후, 법랑질 표면에서 발생한 침식의 깊이는 대면적 고배율 비접촉 형상 측정기(New View 6300 system; Zygo Corporation, Middlefield, CT, USA)를 사용하여 측정하였다. 음료에 노출된 법랑질 표면의 형상을 스캐닝 한 후, 침식된 법랑질 전체 표면(1×3 mm)에서 1/3 지점과 중앙 및 2/3 지점에서 침식된 법랑질 깊이를 측정하여 평균을 산출하였다.

6. 통계 분석 및 법랑질 침식 깊이와 관련된 음료의 화학적 요인 분석

통계 분석에 사용된 모든 자료는 Shapiro-Wilk test로 정규성 검정을 시행하였고, 음료 군의 평균 법랑질 침식 깊이는 일요인 분산분석(one-way ANOVA)과 Games-Howell 사후 분석방법을 실시하여 집단간 차이를 검정하였다. 법랑질 침식 깊이와 음료의 화학적 요인 간의 관련성은 Spearman 순위 상관계수를 통하여 확인하였으며, 다중 선형 회귀분석을 통하여 법랑질 침식 깊이에 영향을 미치는 화학적 요인을 확인하였다. 모든 통계 분석은

Table 2. Baseline pH, titratable acidity to pH 7.0, concentration of Ca and P, and degree of saturation with respect to hydroxyapatite measured for test beverages

Beverages	pH	TA (mmol/l)	Ca (mmol/l)	P (mmol/l)	DS _{HAP}
Coca-cola	2.41	9.00	0.24 (0.00)	5.20 (0.04)	9.48×10^{-4}
Tropicana orange juice	3.71	126.83	1.88 (0.01)	5.72 (0.05)	3.03×10^{-2}
Chorongi	2.80	24.17	0.11 (0.00)	0.36 (0.00)	5.87×10^{-4}
Capri-sun	2.75	40.83	0.42 (0.01)	0.30 (0.00)	1.02×10^{-3}
Grateful nature wisdom	3.55	34.33	0.42 (0.00)	1.22 (0.02)	6.83×10^{-3}
I-kicker*	3.44	39.00	1.50 (0.01)	1.09 (0.00)	1.04×10^{-2}
Koal-koal koala*	3.46	37.00	5.61 (0.02)	0.26 (0.00)	1.24×10^{-2}
My friend pororo*	3.62	36.50	5.03 (0.04)	1.28 (0.03)	2.64×10^{-2}
Qoo*	3.19	38.00	6.14 (0.01)	0.44 (0.00)	9.38×10^{-3}
Strong zzanggu*	3.69	34.00	10.68 (0.15)	0.07 (0.00)	1.56×10^{-2}

TA, Ca, and P-values indicate mean values (standard deviations).

TA, titratable acidity to pH 7.0; Ca, calcium; P, phosphorus; DS_{HAP} degree of saturation with respect to hydroxyapatite.

*Presence of calcium additives, as indicated by the manufacturer.

유의수준 0.05에서 PASW statistics 18.0 패키지 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 시행하였다.

연구성적

1. 시험 음료의 화학적 특성 평가 결과

실험에 사용된 음료는 pH 2.41-3.71 범위에서 산성을 나타냈고, 음료의 적정 산도는 9.00-126.83 mmol/l이었다. pH와 적정 산도는 대조군인 콜라가 가장 낮았고 오렌지 주스에서 가장 높았다. 시험 어린이 음료는 이 범위 내에서 다양하게 분포하고 있었다 (Table 2).

본 시험 음료에 함유된 칼슘의 함량은 대조군인 콜라 및 오렌지 주스에 비하여 튼튼 짱구, 쿠우, 코알코알 코알라, 내친구 뽀로로 순서로 어린이 음료에서 높았고, 8가지 어린이 음료 중 나머지 아이키커, 자연은 슬기, 카프리션의 칼슘 함량은 오렌지 주스보다 낮았던 반면 콜라보다는 높았다. 10가지 시험 음료 중에서 시험 어린이 음료인 초롱이가 가장 낮았으며 가장 높았던 튼튼 짱구의 칼슘 함량은 콜라보다 약 43배, 오렌지 주스보다 약 6배 높은 수준이었다. 반면, 인의 함량은 콜라와 오렌지 주스가 실험군인 어린이 음료보다 높았고 튼튼 짱구가 가장 낮았다. 음료의 무기질 포화도 (DS_{HAP})는 모든 음료에서 수산화인회석에 비하여 낮은 불포화도로 나타나 치아에서 무기질 용해가 발생할 수 있는 조건인 것으로 나타났다($DS_{HAP} < 1$).

2. 법랑질 시편의 침식 결과

8일 동안 pH 순환 모형을 적용한 후 법랑질 시편 표면에서 발생한 침식 깊이는 0.11-105.47 μm 범위 내에서 다양하게 나타났다

Table 3. The mean values of depths of enamel loss determined by non-contact interferometer after pH-cycling for 8 days

Beverages	Depth of enamel loss Mean (SD)
Strong zzzanggu	0.11 (0.07) ^a
Koal-koal koala	12.44 (3.56) ^b
My friend pororo	14.06 (4.38) ^b
Tropicana orange juice	17.79 (3.91) ^b
I-kicker	31.87 (3.98) ^c
Grateful nature wisdom	33.40 (4.10) ^{c,d}
Qoo	40.67 (6.63) ^d
Capri-sun	62.03 (9.23) ^e
Chorongi	74.60 (12.86) ^e
Coca-cola	105.47 (14.98) ^f
P-value	<0.0001

Mean values (standard deviation) derived from 11 samples of Strong Zzanggu and Capri-sun, and from 12 samples of the rest of 10 beverages.

^{a-f}Different superscript letters denote significant differences between groups by Games-Howell post hoc test ($P < 0.05$).

다(Table 3). 콜라에 노출된 시편이 가장 깊게 침식되었고, 8개 종류의 어린이 음료에 의한 침식 깊이는 콜라의 0-73% 수준으로 모두 유의하게 얕았다($P < 0.05$). 이 중 5가지 어린이 음료 초롱이, 카프리션, 쿠우, 자연은 슬기, 아이키커의 침식 깊이는 오렌지 주스보다 통계적으로 유의하게 얕았다($P < 0.05$). 나머지 3가지 음료 중에서 코알코알 코알라와 내 친구 뽀로로는 오렌지 주스와 통계적 차이 없이 유사한 정도의 침식 깊이를 보였으며 나머지 튼튼 짱구에 노출된 시편들만이 콜라와 오렌지 주스보다 법랑질 침식 깊이가 얕았고($P < 0.0001$) 이는 거의 침식되지 않은 수준이었다.

3. 침식 깊이와 음료의 화학적 특성과의 관련성 및 위험 요인 분석 결과

음료의 화학적 요인 중에서 pH ($\rho = -0.842$)와 칼슘의 함량 ($\rho = -0.796$), 음료의 무기질 포화도($\rho = -0.867$)가 법랑질 침식 깊이와 높은 음의 상관성을 나타냈고, 이는 통계적으로 유의하였다($P < 0.01$, Table 4). 다중선형 회귀분석 결과, 연구에 사용된 음료의 pH ($B = -59.24$, $P < 0.0001$)와 칼슘 함량($B = -0.06$, $P = 0.038$)만이 법랑질 침식 깊이에 영향을 미치는 유의미한 위험 요소인 것으로 나타났으며, 두 요인이 법랑질 침식 정도를 94% 설명하고 있는 것으로 나타났다($P < 0.0001$).

고 안

본 연구의 첫 번째 목적은 연령과 상관없이 널리 소비되고, 침식 가능성이 잘 알려진 콜라와 오렌지 주스 두 가지 음료와 비교하여 국내 시판중인 일부 어린이 음료가 나타내는 침식 가능성을 평가하는 것이었다. 본 연구 결과에서 실험에 사용된 어린이 음료는 콜라보다 모두 치아 침식 정도가 약했다. 이 중 5가지 어린이 음료가 오렌지 주스보다 강한 침식 정도를 보였던 반면, 단 한 가지 어린이 음료만이 콜라와 오렌지 주스 보다 치아 침식 정도가 약했다. 이 결과는 한국에서 시판되는 어린이 음료 중에서 실험에 사용된 어린이 음료는 대부분 침식 가능성이 있는 것으로 해석할 수 있다.

연구에 사용된 음료는 칼슘 첨가제 포함 여부에 따라 크게 두 분류로 구분할 수 있다. 본 연구 결과에서는 쿠우와 아이키커를 제외하고 칼슘이 첨가된 음료는 모두 칼슘을 첨가하지 않은 음료보

Table 4. Spearman's rank correlation coefficients between depth of enamel loss and chemical properties of test beverages

Chemical properties	Rho coefficient	P-value
pH	-0.842	0.002
Ca concentration	-0.796	0.006
P concentration	0.285	0.425
TA	-0.236	0.511
DS_{HAP}	-0.867	0.001

Ca, calcium; P, phosphorus; TA, titratable acidity to pH 7.0; DS_{HAP} , degree of saturation with respect to hydroxyapatite.

다 법랑질 침식 깊이가 얇았고, 칼슘 함량은 법랑질 침식 깊이의 예측인자 중 하나로 나타났다. 칼슘 첨가와 관련하여 많은 연구에서 낮은 pH의 음료에 칼슘을 첨가하는 것이 음료의 탈회 및 침식 정도를 감소시킨다는 것이 밝혀진 바 있다^{12,13,18}. 특히 pH 4 이하의 음료에 칼슘과 인을 첨가하는 경우, 아파타이트의 용해에 대항하는 효과를 나타내는 것으로 보고되었다¹⁹. 따라서 음료의 치아 침식 억제에 위한 방법으로 음료의 유통기한을 축소시키게 되는 pH 상향 대신 칼슘 첨가가 추천되기도 한다²⁰.

또한 칼슘과는 별개로 본 연구 결과에서 음료의 pH가 치아 침식력에 큰 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다. 음료의 pH에 관하여 그 수치가 4.0 이하일 때, 아파타이트의 용해도가 급격히 증가한다는 것이 *in vitro* 연구를 통해 밝혀진 바 있으며¹⁹, 본 연구의 회귀분석 결과에서도 pH가 침식의 예측인자로 나타났다. 또한 칼슘이 첨가되었음에도 아이키커와 쿠우는 칼슘이 첨가되지 않은 대조 음료인 오렌지 주스보다 침식 깊이가 깊었고, 특히 쿠우는 10가지 음료 중에서 4번째로 깊은 침식을 유발한 것으로 나타났다(Table 3). 이들 음료의 화학적 특성을 살펴보면, 아이키커는 오렌지 주스보다 pH, 칼슘과 인, DS_{HAP} 가 낮았고, 쿠우의 pH와 DS_{HAP} 는 이 음료보다 침식 깊이가 얇은 음료 보다 유사하거나 낮아 pH의 영향력이 크다는 것을 확인할 수 있다.

상관성 분석 결과에서 DS_{HAP} 은 다른 화학적 요소에 비해 침식 정도와 상대적으로 큰 정도의 유의한 상관성을 나타냈다. 그러나 회귀분석 결과에서 이 요소는 침식의 예측인자로 포함되지 않았다. Lussi 등²¹의 연구에서 산성 음료 및 의약품의 DS_{HAP} 가 이를 산출해내는 요인들과 강력한 상관성을 가지는 것으로 나타났는데, 실제로 본 연구에서도 도표에 제시되지는 않았지만 DS_{HAP} 가 이를 산출해 내는데 필요한 pH ($\rho=0.879$, $P=0.001$) 및 칼슘 함량($\rho=0.742$, $P=0.014$)과 유의미한 상관성을 나타냈다. 이는 DS_{HAP} 이 pH, 칼슘 및 인의 함량으로 산출되는 값이므로 이 세 가지 요소에서 서로 간에 관련성이 발견될 수 있고 이 때문에 pH와 칼슘 함량 뿐만 아니라 DS_{HAP} 도 침식 깊이와의 사이에서 관련성이 관찰된 것으로 보인다. 따라서 만약 pH와 칼슘 함량 요소를 통제된 상태에서 DS_{HAP} 과 법랑질 침식 깊이의 편상관관계를 분석한다면, 실제 DS_{HAP} 은 법랑질 침식 정도와 관련이 없는 것으로 나타날 수 있을 것으로 추정된다.

또한 침식 깊이는 칼슘 함량과 높은 음의 상관관계를 나타냈음에도 인의 함량과는 유의미한 관련성을 나타내지 못하였다. 침식 가능성은 DS_{HAP} 를 결정하는 칼슘과 인의 함량 비율에 따라서 다르고, 동일한 DS_{HAP} 환경 하에서도 칼슘 함량이 많음에 따라 $[Ca]/[PO_4]$ 가 클 때 침식 보호 정도가 크다는 결과가 보고된 바 있다²². 본 실험에 사용된 음료 내 인의 함량은 칼슘 함량이 나타내는 경향과 상이 하였으며, 음료 내 두 요인의 비율 또한 음료마다 매우 다른 정도로 확인되었다. 이러한 이유로 인의 함량과 침식 깊이 사이에서 유의미한 상관관계가 발견되지 않은 것으로 사료된다.

본 연구에서 침식에 영향을 미치는 요인 중의 하나로 추정된 적정 산도는 대조군으로 사용한 트로피카나 오렌지 주스에서 가

장 높았고(126.83 mmol/l) 콜라에서 가장 낮게 측정되었다(9.00 mmol/l). 이는 기존 선행 연구에서 콜라와 오렌지 주스의 적정 산도의 차이가 2-6배 정도로 나타난 것에 비하면 다소 큰 차이이다. 일반적으로 적정 산도는 pH 상승에 사용하는 염기의 양과 농도 뿐만 아니라 유기산의 경우 주변의 온도에 따라 산의 해리 정도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러므로 선행연구 결과와 본 연구 결과의 적정 산도 수치를 직접적으로 비교하는 것은 어려울 수 있겠으나, 콜라에 비해서 오렌지 주스의 적정 산도 값이 더 크다는 경향성은 유사하다고 볼 수 있다^{19,21,23}.

한편 본 연구의 목적 하에서 시험에 사용된 10가지 음료의 적정 산도는 침식 깊이와 관련이 없는 것으로 나타났는데, 적정 산도와 침식 가능성의 관련성 및 이 요인의 침식 예측력에 대해서는 아직도 학계에서는 이견이 있는 상태이다. Jensdottir 등²⁴은 음료의 적정 산도와 치아의 무게 소실 정도 사이에서 유의미한 상관성을 발견했고, Kim 등²⁵은 적정 산도가 치아 경도 감소와 관련성이 있음을 보고하였다. 반면 Lussi 등²¹은 적정 산도가 다양한 범위의 pH에서 존재하는 H^+ 이온의 총량을 나타내는 요인이라는 점에서 완충능과 구분하였고 이들의 연구 결과에서 적정 산도는 법랑질 경도 감소와 관련 없는 것으로 나타났다. pH는 직접 활용 가능한 H^+ 함량이므로, 더 낮은 pH의 음료는 노출 초반에 치아 법랑질을 더 빠르게 용해 시킬 것이다. 반면 *in vitro* 연구를 통해 해리되지 않은 산(HA)은 전극을 찌지 않기 때문에 경조직 표면층을 통과하여 내부로 확산되고 이후 해리되어 표면하방부가 용해되는 원동력으로 작용할 수 있다고 보고되었다^{26,27}. 따라서 음료에 침식된 치아는 음료에 함유된 H^+ 에 의해 치아 표층부의 무기질이 용해되고, 중성의 해리되지 않은 산은 표층부 보다는 하방의 탈회를 유도할 것으로 추측할 수 있다. 또한 음료의 pH 및 적정 산도와 침식 가능성 간의 관련성에 관한 여러 연구에서 보다 짧은 시간 동안 나타나는 음료의 침식 효과는 pH와 관련성이 있고, 보다 긴 시간 동안의 침식 효과는 적정 산도와 관련이 있다고 보고된 바 있다^{24,28,29}. 이에 따르면 본 연구에서 적용한 20분이라는 노출 시간은 치아 구조 소실에 대한 적정 산도의 분별력을 구분해 낼 정도의 긴 시간이 아닐 수도 있다.

본 연구에서는 어린이 음료 중 하나인 튠튼 썬의 침식 깊이 분석 시, 한 개 시편에서 심한 손상이 발견되어 이를 배제하였지만, 이는 분석 결과에 영향을 미치지 않았을 것으로 사료된다. 한편 본 연구의 pH 순환 모형은 음료에 치아를 단순히 노출시키는 시간을 증가시킴에 따라서 탈회 및 침식력을 평가하는 기존 *in vitro* 연구의 제한점을 어느 정도 보완할 수 있는 것으로 사료되었다. 그러나 본 연구의 실험 역시 실제 구강 내에서 나타나는 음료의 세정도, 혀의 움직임, 타액의 점조도 및 유출량 등과 같은 미세 상황을 반영하지 못하고 지속적인 손상이 가해지도록 계획되었으므로 임상적 상황의 재현에는 여전히 한계점이 존재할 수 있었다.

그럼에도 불구하고 본 연구에서 나타난 법랑질 침식 깊이는 그 수치가 가지는 자체적인 의미 보다는 치아 침식으로 인한 치아 구조의 소실은 한번 발생하면 재생될 수 없다는 점에서 의미가 크다. 또한 치아 침식으로 인한 치아 구조의 소실은 치아 우식과 다

르게 원인 물질에 노출된 구강 내 모든 부위에서 영향을 받을 수 있다는 점에서 중요하다.

흔히 일반 대중들은 음료에 포함된 물질이 유발하는 유해성에 대한 이해도가 부족한 경우가 많다. 따라서 향후에도 학계에서는 새롭게 개발되고 출시되는 음료들의 치아 침식 가능성을 지속적으로 평가하고 보고할 필요가 있다고 사료된다. 이 결과들이 음료 제조 회사와 대중들에게 구강건강에 대한 위험가능성을 알리고, 위해가 낮은 음료의 개발과 구강관리행위 향상에 도움을 줄 수 있는 경로가 될 수 있을 것으로 보인다.

결론

본 연구는 pH 순환 모형을 적용하여 국내에서 시판되는 어린이 음료 8종류의 우치 법랑질 침식 정도를 콜라 및 오렌지 주스와 비교하고, 법랑질 침식 정도에 유의미한 영향을 미치는 음료의 위험 요인을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내에서 시판되는 8종류의 어린이 음료는 모두 콜라보다 침식 정도가 약하였다. 그러나 아이키키, 자연은 슬기, 쿠우, 카프 리쎌, 초롱이 5가지 어린이 음료는 오렌지 주스보다는 침식 정도가 컸고, 코알코알 코알라와 내친구 뽀로로는 유사한 정도의 침식 정도를 보였던 반면 튠튼 짱구만은 거의 침식되지 않은 정도로 오렌지 주스보다 유의하게 침식력이 약하였다.

2. 법랑질 침식 정도에 유의미한 영향을 미치는 산성 음료의 화학적 요인은 pH와 칼슘 함량이었다.

참고문헌

1. Wiegand A, Müller J, Werner C, Attin T. Prevalence of erosive tooth wear and associated risk factors in 2-7-year-old German kindergarten children. *Oral Dis* 2006;12:117-124.
2. Arnadottir IB, Holbrook WP, Eggertsson H, Gudmundsdottir H, Jonsson SH, Gudlaugsson JO, et al. Prevalence of dental erosion in children: a national survey. *Community Dent Oral Epidemiol* 2010;38:521-526.
3. Ehlen LA, Marshall TA, Qian F, Wefel JS, Warren JJ. Acidic beverages increase the risk of *in vitro* tooth erosion. *Nutr Res* 2008;28:299-303.
4. Hunter ML, West NX, Hughes JA, Newcombe RG, Addy M. Erosion of deciduous and permanent dental hard tissue in the oral environment. *J Dent* 2000;28:257-263.
5. West NX, Maxwell A, Hughes JA, Parker DM, Newcombe RG, Addy M. A method to measure clinical erosion: the effect of orange juice consumption on erosion of enamel. *J Dent* 1998;26:329-335.
6. Dugmore CR, Rock WP. A multifactorial analysis of factors associated with dental erosion. *Br Dent J* 2004;196:283-286; discussion 273.
7. Jensdottir T, Arnadottir IB, Thorsdottir I, Bardow A, Gudmundsson K, Theodors A, et al. Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among Icelanders. *Clin Oral Investig* 2004;8:91-96.
8. Lussi A, Jaeggi T, Zero D. The role of diet in the aetiology of dental erosion. *Caries Res* 2004;38 Suppl 1:S34-44.
9. McClure FJ, Ruzicka SJ. The destructive effect of citrate vs. lactate ions on rats' molar tooth surfaces, *in vivo*. *J Dent Res* 1946;25:1-12.
10. West NX, Hughes JA, Addy M. Erosion of dentine and enamel *in vitro* by dietary acids: the effect of temperature, acid character, concentration and exposure time. *J Oral Rehabil* 2000;27:875-880.
11. Lussi A, Jaggi T, Schärer S. The influence of different factors on *in vitro* enamel erosion. *Caries Res* 1993;27:387-393.
12. Hara AT, Zero DT. Analysis of the erosive potential of calcium-containing acidic beverages. *Eur J Oral Sci* 2008;116:60-65.
13. Hughes JA, West NX, Parker DM, Newcombe RG, Addy M. Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink. 3. Final drink and concentrate, formulae comparisons *in situ* and overview of the concept. *J Dent* 1999;27:345-350.
14. Hooper S, West NX, Sharif N, Smith S, North M, De'Ath J, et al. A comparison of enamel erosion by a new sports drink compared to two proprietary products: a controlled, crossover study *in situ*. *J Dent* 2004;32:541-545.
15. Touyz LZ. The acidity (pH) and buffering capacity of Canadian fruit juice and dental implications. *J Can Dent Assoc* 1994;60:454-458.
16. Shin YH, Kim YJ. Study on the primary tooth enamel erosion caused by children beverage. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2009;36:227-236.
17. Min JH, Kwon HK, Kim BI. The addition of nano-sized hydroxyapatite to a sports drink to inhibit dental erosion: *in vitro* study using bovine enamel. *J Dent* 2011;39:629-635.
18. Davis RE, Marshall TA, Qian F, Warren JJ, Wefel JS. *In vitro* protection against dental erosion afforded by commercially available, calcium-fortified 100 percent juices. *J Am Dent Assoc* 2007;138:1593-1598; quiz 1615.
19. Larsen MJ, Nyvad B. Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999;33:81-87.
20. Grenby TH. Lessening dental erosive potential by product modification. *Eur J Oral Sci* 1996;104:221-228.
21. Lussi A, Megert B, Shellis RP, Wang X. Analysis of the erosive effect of different dietary substances and medications. *Br J Nutr* 2012;107:252-262.
22. Barbour ME, Parker DM, Allen GC, Jandt KD. Enamel dissolution in citric acid as a function of calcium and phosphate concentrations and degree of saturation with respect to hydroxyapatite. *Eur J Oral Sci* 2003;111:428-433.
23. Wongkhantee S, Patanapiradej V, Maneenut C, Tantbirojn D. Effect of acidic food and drinks on surface hardness of enamel, dentine, and tooth-coloured filling materials. *J Dent* 2006;34:214-220.
24. Jensdottir T, Bardow A, Holbrook P. Properties and modification of soft drinks in relation to their erosive potential *in vitro*. *J Dent* 2005;33:569-575.
25. Kim EJ, Lee HJ, Lee EJ, Bae KH, Jin BH, Paik DI. Effects of pH and titratable acidity on the erosive potential of acidic drinks. *J Korean Acad Oral Health* 2012;36:13-19.
26. Gray JA. Kinetics of enamel dissolution during formation of incipient caries-like lesions. *Arch Oral Biol* 1966;11:397-422.
27. Featherstone JD, Duncan JF, Cutress TW. A mechanism for dental caries based on chemical processes and diffusion phenomena during *in-vitro* caries simulation on human tooth enamel. *Arch Oral Biol* 1979;24:101-112.
28. Rugg-Gunn AJ, Maguire A, Gordon PH, McCabe JF, Stephenson G. Comparison of erosion of dental enamel by four drinks using an intra-oral applicance. *Caries Res* 1998;32:337-343.
29. Jensdottir T, Holbrook P, Nauntofte B, Buchwald C, Bardow A. Immediate erosive potential of cola drinks and orange juices. *J Dent Res* 2006;85:226-230.