



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사 학위논문

에너지 음료의 pH와 적정산도에
따른 치아 부식능

Effects of pH and titratable acidity on the
erosive potential of energy drinks

2014 년 2 월

서울대학교 대학원

치 의 학 과 치 의 학 전 문 대 학 원

홍 중 범

에너지 음료의 pH와 적정산도에 따른 치아 부식능

Effects of pH and titratable acidity on the
erosive potential of energy drinks

지도교수 진 보 형

이 논문을 치의학 석사 학위논문으로 제출함
2013 년 10 월

서울대학교 대학원
치 의 학 과 치 의 학 전 문 대 학 원

홍 종 범

홍종범의 석사 학위논문을 인준함
2013 년 11 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

1. 목 적

시중에서 판매되고 있는 에너지 음료의 pH와 적정산도(titratable acidity)를 측정하여 치아부식 발생 가능성을 알아보고자 한다. 구강과 유사하게 재현된 환경을 구성하여 우치 법랑질 시편에 부식 병소를 인공적으로 형성하여 무기질 소실 정도를 법랑질 표면 정도를 통해 측정하고자 한다.

2. 방 법

시판되고 있는 에너지 음료 중 시장 점유율을 바탕으로 유효기간이 1년 이상 남은 음료 3가지인 핫식스(롯데칠성, 한국), 레드불(Redbull GmbH, Austria), 번인텐스(코카콜라, 한국)를 선정하였다. 대조군으로 증류수를 사용하여 동일한 온도조건에서 pH와 적정산도를 측정하였다. pH는 pH electrode를 pH meter와 연결하여 측정하였고, 적정 산도는 20ml의 음료를 0.1M의 NaOH 용액을 이용하여 pH가 5.5에 도달할 때 까지 투입된 부피를 기록하여 측정하였다. 연구에 사용된 우치는 Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF, QLF Pro[®], Inspektor Research System BV, Amsteram, Netherlands)를 이용하여 감염, 파절, 혹은 다른 어떤 병소도 발견되지 않은 치아를 선별하여 진행되었다. 법랑질 표면의 미세 정도가 측정되고 293.89-364.48 Vickers hardness number (VHN) 범위의 미세 정도를 갖는 40개의 표본이 선택되었다. 이들은 10개 표본으로 이루어진 3개의 시험군과 10개의 표본으로 이루어진 1개의 대조군으로 무작위로 할당되었다. 각각의 실험음료와 인공 타액은 8일 동안 하루에 2번씩 10분간 순환되어 실험 전, 후의 표면경도의 차이를 측정하였다. 법랑질 표면의 미세경도 차이가 유의한지 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였으며, 유의성 단계는 $P < 0.05$ 이다.

3. 결 과

총 3종 에너지 음료의 평균 pH는 3.15 이었고, 적정산도는 레드불이 13.03 mL로 가장 높았고, 번인텐스의 적정산도는 11.53 mL, 핫식스의 적

정산도가 6.93 mL로 가장 낮았다. 법랑질 시편을 8일간 순환처리하여 측정한 법랑질 표면 경도 값은 레드볼을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 변인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다 ($P < 0.05$).

이와 같은 결과를 통해 볼 때 음료의 pH와 적정산도만으로 부식능을 예측하는 것은 한계가 있으며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 결론적으로 실험에서 사용된 국내 시판 에너지 음료는 치아 부식을 일으킬 가능성이 있다.

주요어 : 치아 부식, 에너지 음료, 적정산도, pH

학 번 : 2010-22512

목 차

1. 서론	1
2. 연구 재료 및 방법	3
2.1. 실험 음료 선정	3
2.2. 초기 pH 측정	3
2.3. 적정산도의 측정	4
2.4. 시편 준비	4
2.5. 실험 과정	4
2.6. 미세 경도 측정	5
2.7. 통계 분석	5
3. 연구 결과	7
3.1. 음료의 pH와 적정산도	7
3.2. pH-cycling 과정 이후 표면 경도 변화	7
4. 고안	9
5. 결론	15
참고문헌	16
Abstract	19

표 목 차

[Table 1] Drinks used in the experiments	3
[Table 2] Mean initial pH and titratable acidity in the test and control products	7
[Table 3] Comparisons of the surface microhardness for different groups before treatment and after pH cycling of drinks	8

1. 서 론

치아 부식은 구강내에서 세균과 관계없이 화학적 용해를 통해 법랑질 및 상아질이 소실되는 현상으로 정의된다. 치아 부식은 법랑질의 탈회로 시작되어 치아 경조직의 손실이 일어난 후 상아질이 노출되면 치질 손실이 더욱 심해지게 된다¹⁾. 치아 부식의 원인으로는 내인성 요인과 외인성 요인 2가지로 구분될 수 있다. 외인성 요인은 산성 음료, 음식 섭취²⁾, 산성 약제³⁾, 대기 중 산 등이 포함된다. 내인성요인은 위장질환이나 대사성 질환 등으로 인해 위산이 구강으로 역류하여 부식을 유발하는 것으로 치아에 심각한 손상을 일으킬 수 있다⁴⁾.

치아 부식을 일으킬 수 있는 요인 중 산성 음료로 인한 치아 부식에 대한 우려는 꾸준히 제기되어 왔으며 그 위험성 또한 많이 알려져있다⁵⁾. 최근 우리나라에서도 청량음료와 스포츠 음료 등 각종 주스류의 소비가 증가했으며, 그 중에서도 에너지 음료의 성장은 매우 빠르게 증가하고 있다. 1960년대 이후 에너지 음료 시장은 전세계적으로 수십억달러의 시장규모를 가지는 사업으로 성장했으며 생수 사업 이후에 가장 빠르게 성장하는 음료 시장으로 보고되고 있다⁶⁾.

에너지 음료에 대한 연구는 외국에서는 이미 많은 연구가 진행 되었으며, 에너지 음료가 치아 법랑질에 유의한 부식 효과가 나타난다고 보고하였다⁷⁾. Owens 등⁸⁾은 그 부식 정도가 코카콜라나 이온음료인 게토레이보다 심하다고 보고하였다. 하지만 우리나라에서는 산 음료에 대해서 치아 부식능에 대한 연구가 보고된 바 있으나 에너지 음료에 대한 치아 부식은 그 조사가 부족하여 최근에서야 관심을 받고 있다.

에너지 음료는 주요 성분은 카페인, 타우린, 구연산 등으로 구성되어있다. 섭취시 반응속도, 순간기억력과 같은 신체적, 정신적 능력을 일시적으로 향상시킬 수 있는 기능을 함유하고 있어서⁹⁾ 단기간의 활동을 증진시키기 위한 목적으로 10대-30대의 젊은 층에게 각광받고 있다. 주요 소비층이 젊은 세대이므로 현재와 같은 소비 추세는 젊은 층 특히 소아, 청소년에 대한 치아 부식 우려를 더욱 깊게 하고 있다.

이러한 에너지음료는 대부분 pH가 5.5 이하로 법랑질 구조를 파괴시킬 수 있는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 국내에서 에너지음료에 대한 수요가 증가함에 따라 에너지음료의 치아 손상 가능성을 알아볼 필요가 높아지고 있다. 따라서 이 연구에서는 국내에서 시판되는 에너지음료의 부식능력에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대해 알아보고 에너지음료에 따른 부식 정도를 확인해보고자 한다.

일반적으로 음식 혹은 음료의 pH는 치아 부식능의 주요 지표이다. 많은 연구에서 치아 부식은 산의 종류¹¹⁾, pH¹²⁾, 섭취 유형^{13,14)}, 그리고 음료의 적정 산도^{15,16)}에 관련되어 있다고 제시하고 있다. 적정 산도는 총 산 함량에 대한 측정치로서, pH 변화에 저항하는 능력을 나타낸다. 적정 산도가 높을수록 구강내에서 산성환경이 더 오래 지속될 수 있다. pH는 용액내에 존재하는 수소 이온의 수를 나타내는 지표이다. 구강내에서 치아 부식에 영향을 주는 요소를 예측하기 위해 다양한 요인들이 복합적으로 측정되어야 한다. 이 연구에서는 치아 부식의 주요 요인으로 알려져 있는 pH와 적정산도를 중심으로 치아 부식의 세부 요인에 대해 알아보고자 한다.

이 연구의 목적은 한국에서 판매되는 에너지 음료 중 선호도가 높은 제품을 몇가지 선정하여 초기 pH와 적정산도를 측정하고 in vitro 모델에서 pH-cycling을 통해 에너지 음료가 치아 법랑질 부식에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 실험 음료 선정

이 연구에서 사용된 에너지 음료는 한국에서 판매되는 핫식스, 레드불, 번인텐스를 이용하였다. 국내 에너지 음료는 핫식스가 62%로 시장을 점유하고 있는 가운데 레드불이 18.3%, 번인텐스는 6.6%로 그 뒤를 따르고 있다. 세 개의 음료가 국내 에너지 음료 시장의 90%를 장악하고 있는 실정으로 전체적인 에너지 음료 시장을 대표하기에 무리가 없다고 파악된다. 이러한 시장 점유율을 바탕으로 시장 경향, 경제적인 요인 등을 고려해 위의 3가지 음료가 선정되었다. 모든 음료는 실험 시기로부터 1년 이상의 유통기한이 남아있었다.

Table 1. Drinks used in the experiments

Groups	Drinks	Manufacturer
Energy drinks	Hotsix	Lottechilsung - Korea
	Redbull	Redbull GmbH - Austria
	Burnintense	Cocacola - Korea
Control	Distilled water	

2.2. 초기 pH 측정

각각의 음료의 pH는 pH electrode (Orion ROSSTM, 8102BNUWP, Beverly, USA)를 pH meter (Orion StarTM, Beverly, USA)에 연결하여 측정되었다. 전극은 시액을 이용해 매일 아침 교정되었다. 20mL 음료를 유리 비커에 넣고 자석교반기를 이용해 측정 사이에 1분간 섞어주었다. 전극은 증류수를 이용해 측정시마다 씻겨주었다. 이 과정은 각각의 음료

마다 3번씩 시행되었다.

2.3. 적정산도의 측정

적정산도는 각각의 음료 20mL를 유리 비커에 넣은 후 측정되었다. 각각의 음료는 37℃ incubator에 위치시켰다. 이후 0.1M NaOH 용액을 pH가 5.5에 도달할 때 까지 적정시켰다. 각각의 용액은 1분간 섞어주었다. NaOH의 부피가 기록되었다. 이 과정은 각각의 용액마다 3번씩 반복되었다.

2.4. 시편 준비

이 연구는 Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF, QLF Pro[®], Inspektor Research System BV, Amsterdam, Netherlands)를 이용하여 감염, 파절, 혹은 다른 어떤 병소도 발견되지 않은 발치된 소의 측절치를 이용하여 진행되었다. 표면에 5mm 직경의 구멍을 뚫은 후, 시편을 채득하여 1.2×1.0×0.8 cm로 측정된 틀에서 epoxy resin에 박혀진 상태로 고정시켰다. 표본은 silicone carbided paper (600-2,000 grid)를 이용해 평평하게 연마하였다. 모든 표본은 측정까지 100% 습도하에서 저장되었다.

2.5. 실험 과정

각각의 실험음료와 인공 타액은 8일 동안 하루에 2번씩 10분간 순환되었다. 구강 환경과 유사하게 특별히 실험 조건을 설계하여 음료와 인공 타액을 순환시켰다. 구강 환경과 유사한 37℃, 150 rpm의 교반기에서 음

료 150mL가 담긴 각각의 컨테이너에서 6개의 표본이 위치되었다. 시편은 휴식기 동안 인공 타액 내에서 처리되었다. 같은 과정이 8일 동안 반복되었다.

인공 타액은 0.021M $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ (Sigma Aldrich, Switzerland) 과 36 mM NaCl (Sigma Aldrich, USA), 0.96 mM CaCl_2 (Acros Organics, USA), sodium carboxy methylcellulose 1.0% (Sigma Aldrich, USA)를 담은 pH 7.0 용액을 섞어서 준비되었다¹⁷⁾.

2.6. 미세 경도 측정

표본의 법랑질 표면 미세경도는 Vickers microhardness tester (SHIMADZV, JP/HMV-2, Japan)을 이용하여 측정되었다. 9.81N, 40 배율 렌즈, 10초간 다이아몬드를 이용해 형성된 5개의 압입자국을 통해 평균 경도가 계산되었다. 법랑질 표면의 미세 경도가 측정되고 293.89-364.48 Vickers hardness number (VHN) 범위의 미세 경도를 갖는 40개의 표본이 선택되었다. 이들은 10개 표본으로 이루어진 3개의 시험군과 10개의 표본으로 이루어진 1개의 대조군으로 무작위로 할당되었다.

미세경도는 pH cycling 전후로 두 번씩 측정되었다. 표면의 다른 위치에서 5개의 압입자국이 형성되었다.

2.7. 통계 분석

법랑질 표면의 에너지 음료에 담그기 전과 후의 법랑질 표면의 미세경도 차이가 유의한지 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였다. 유의성 단계는 $P < 0.05$ 이다. 에너지 음료 집단들끼리 grouping 되는지를 살펴보기 위해 다중비교분석법으로 Kruskal-Wallis test를 시행

후 Mann-Whitney U test를 시행하였다. SPSS (Statistical Packages for Social Science, Ver. 19.0, Chicago, IL., USA) 통계 프로그램이 통계 분석에 사용되었다.

3. 연구 결과

3.1. 음료의 pH와 적정산도

3개 음료에서 번인텐스가 가장 낮은 pH (2.50), 핫식스가 중간 pH (3.40), 레드불이 가장 높은 pH (3.56)을 나타냈다. 하지만 적정산도는 pH와 다르게 나타났다. 레드불이 가장 높은 적정산도 (13.03 mL)를 나타냈고, 번인텐스가 중간 적정산도 (11.53 mL), 핫식스가 가장 낮은 적정산도 (6.93 mL)를 나타냈다.

Table 2. Mean initial pH and titratable acidity in the test and control products

Brand name	pH	Titratable acidity*
Hotsix	3.40 (0.04)	6.93 (0.25)
Redbull	3.56 (0.02)	13.03 (0.25)
Burnintense	2.50 (0.03)	11.53 (0.15)
Distilled water	6.67 (0.08)	

*mL of 0.1 M NaOH.

Standard deviation in parentheses.

3.2. pH-cycling 과정 이후 표면 경도 변화

pH-cycling 과정 이전에 293.89-364.48 VHN 범위의 미세 경도를 갖는 표본만을 사용했다. 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화(208.9 Δ VHN)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화(193.1 Δ VHN)를 보였다. 번인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 (142.1 Δ VHN)가 나타났다 (Table 3).

Table 3. Comparisons of the surface microhardness for different groups before treatment and after the pH cycling of drinks

Brand name	N	VHN*		Δ VHN
		Before treatment	After treatment	
Hotsix	10	336.3 \pm 12.7	143.2 \pm 21.8	193.1 \pm 28.6 ^a
Redbull	10	318.5 \pm 17.3	109.6 \pm 19.1	208.9 \pm 18.8 ^a
Burnintense	10	306.5 \pm 31.2	164.4 \pm 21.4	142.1 \pm 22.4 ^b
Distilled water	10	307.9 \pm 19.0	300.8 \pm 15.8	7.1 \pm 10.0 ^c

*Values are mean \pm SD.

Δ VHN=After treatment VHN - Before treatment VHN.

† Δ VHN is significantly different between drinks by Wilcoxon signed rank test (P=0.05).

^{a,b,c}The different characters shows statistically significant differences between groups by Mann-Whitney U test at P=0.05.

4. 고 안

국내 에너지 음료에 대한 수요는 점차적으로 증가하고 있고, 그 성장세는 더욱 가파르게 올라가고 있다. 에너지 음료 시장은 전세계적으로 수십억달러의 시장규모를 가지는 사업으로 성장한 것으로 보고되었다⁶⁾.

에너지 음료에 대한 연구는 외국에서는 이미 연구가 진행 되었으며, 에너지 음료가 치아 법랑질에 유의한 부식 효과가 나타난다고 보고하였다⁷⁾. Owens 등⁸⁾은 그 부식 정도가 코카콜라나 이온음료인 게토레이 보다 심하다고 보고하였다. 하지만 우리나라에서는 산 음료에 대해서 치아 부식능에 대한 연구가 보고된 바 있으나 에너지 음료에 대한 치아 부식은 그 조사가 부족하여 최근에서야 관심을 받고 있다.

법랑질은 pH 5.5 이하에서 부식된다고 알려져있다¹⁸⁾. 이 연구에서 사용된 실험 음료의 pH 값은 2.50-3.56이었다. 이 연구결과는 시장에서 판매되는 다른 음료 등이 법랑질을 부식시킬 수 있다는 결과¹⁹⁾와 유사하게 에너지 음료 역시 법랑질을 부식시키는 것으로 측정되었다.

실험에서 적정산도는 pH 5.5에 도달할 때 까지 가해진 NaOH의 부피로 측정되었다. 핫식스의 pH는 3.40, 적정산도는 6.93 mL 으로 나타났다. 레드불의 pH는 3.56, 그리고 가장 높은 적정산도인 13.03 mL 으로 나타났다. 번인텐스는 pH 2.50, 적정산도는 11.53 mL 이다. 연구결과는 pH와 적정산도가 크게 상관관계가 없다는 것을 나타낸다.

연구는 구강 환경과 유사하게 설계된 pH-cycling 과정을 이용해 진행되었다. pH-cycling 과정에 사용된 장치는 인공타액과 실험 용액을 동시에 수용할 수 있는 표본을 위해 특별히 설계된 장치이다. 구강 환경을 완벽히 재구성하는 것은 불가능하지만 이 제한을 해결하기 위해 매 실험마다 새로운 인공타액을 제작했고, 구강환경과 비슷한 온도로 하루 24시간 8일동안 교반기를 이용해 유사한 환경을 구성했다. 또한 실제 음용 조건을 재현하기 위해 음료와 치아의 접촉시간을 매회 10분으로 제한하였다. 실험 조건을 하루에 2번씩 10분간으로 제한시킨 이유는 10분간의

접촉으로 실제 음용 조건을 재현하려 하였고 나머지를 인공 타액 속에 순환시켜 실제 구강환경에서 나타날 수 있는 재광화를 최대한 이끌어내기 위함이었다. 하루 2번씩 노출시킨 것 역시 실험에 사용된 에너지 음료들이 모두 탄산 음료였기 때문에 탄산을 제거하지 않은 조건 하에서 과도한 부식을 방지하면서 실제 음용 조건을 재현하기 위한 설계 방법이었다.

실험에 사용된 우치는 QLF를 이용하여 감염, 파절, 다른 병소가 없는 치아를 선별하여 진행하였고 무작위 할당을 통해 각 군마다 실험 조건을 최대한 균등하게 하였으나, 실험에 사용된 치아들 개개마다 부식에 대한 감수성이 다를 수 있을 수 있다. 이는 개개의 치아의 표면 경도 변화를 좀 더 발생시킬 수 있기 때문에 일괄적인 조건에서 실험을 진행하기에 한계가 있는 것으로 보인다.

pH-cycling 이후의 범랑질의 경도 변화는 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)를 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서는 레드불과 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 번인텐스는 그보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다. 이 결과는 부식에 영향을 줄 수 있을 것이라 조사했던 에너지 음료의 완충능과 부식의 정도 사이의 상관관계를 판단하기 어려운 것으로 파악된다.

Meurman과 Frank²⁰⁾는 prismatic enamel surface과 aprismatic surface와의 부식 차이를 나타내며 치아의 구조적 특성 또한 침식에 영향을 주는 요인중의 하나라고 하였다. 이는 부식의 영향이 음료의 완충능 뿐만 아니라 음료 내 칼슘, 인²¹⁾, 불소²²⁾ 등의 농도와 치아 자체의 유기성분 및 무기성분의 영향²³⁾, 그리고 치아의 산에 대한 감수성 및 형태적 차이 등의 요인에 의해서 기인할 수 있다는 것으로 추론할 수 있다²⁴⁾. 또한 치아 부식이 특징적인 하나의 요인이 아닌 음료와의 접촉 시간 등과의 복합적인 요인으로 작용할 수 있으므로 이에 대한 영향을 볼 수 있는 연구가 필요할 것이다.

음료 자체가 갖는 특성 뿐만 아니라 마시는 방법, 소비 빈도, 타액 특성, 치태 등의 요인 역시 치아 부식을 일으키는데 중요한 역할을 한다.

이러한 요소들간에 상관 작용은 복잡하고 임상 연구에서는 개인간에 부식능의 차에 대한 능력을 간과할 여지가 있다.

또한 부식능은 음료에서 산의 총량 뿐만 아니라 음료에서 구성하고 있는 산의 종류에 의해서도 영향을 받을 수 있다.²⁵⁾ 구연산, 젖산, 말산 등과 이들의 조합은 부식능에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되었다. Meurman JH²⁰⁾ 등에 따르면 우치 법랑질에서 말산은 구연산 보다 덜 부식 작용을 일으키는 것으로 나타났으나 이 작용은 초기 15-30분 동안에 유효했다. 그 이후에는 두 산 모두 비슷한 정도의 부식능을 일으키는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 음료에서 개개의 산에 대한 효과는 조사되지 않았다.

타액 박막(acquired pellicle)은 치아 부식의 진행에 영향을 줄 수 있는 또다른 요소이다. 타액 박막은 치아 표면에서 산의 확산을 막는 보호막 역할을 한다. 최대 보호 효과를 이루기 위해 타액 박막은 최소 24시간의 성숙 시간이 필요하다.²⁶⁾ 좀 더 재현성 있는 실험 설계를 위해서는 실험에 사용된 우치 표면의 박막을 재현할 수 있는 조건을 형성하게 된다면 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

소와 사람의 법랑질 구조 차이 역시 부식 병소의 확산의 중요한 역할을 한다. 우치 법랑질은 사람의 치아 보다 좀 더 다공성의 형태를 띄고 있으며, 이에 따라 산에 확산에 덜 저항적이며 병소가 더욱 빨리 진행되게 된다.²⁷⁾ 또한 소의 연령이 높아질수록 더 다공성이 증가할 수 있으며 실험에서는 미세구조적인 결함의 차이까지 통제하기는 어려웠으나, QLF를 이용하여 표면 결함이 있는 시편들을 최대한 선별하였다.

실험에 사용된 에너지 음료는 모두 탄산을 함유하고 있었다. 음료에서 탄산의 정도는 다른 요소들에 비해 부식능에 적은 영향을 끼치는 것으로 알려져있다.²⁸⁾ 그러나 간접적으로 탄산 음료는 음용 방법이나 타액 분비 자극에 영향을 끼칠 수 있을 수 있으므로 중요하지 않은 요소라고 볼 수는 없다. 탄산 음료의 특성상 음료를 빠른 속도로 마시기 어려우므로 좀 더 오랜 시간 구강내에서 잔존해야하며, 개인 마다 탄산의 맛을 만끽하기 위해 좀 더 음료를 구강내에 머금고 있을 수 있다. 탄산음료는 CO2

를 추가함에 따라 용액내에서 탄산을 형성하고 이를 통해 음료의 pH를 낮추는 작용을 하게 된다.

용해 속도는 온도가 증가할수록 증가한다. 실온 조건에서의 음료는 얼음처럼 차가운 음료에서 보다 부식능이 증가하게 된다.²⁹⁾ 이 연구는 음료의 온도를 실온에서 진행하였고 실제 음용조건은 다양하게 이루어질 수 있지만 표준화된 조건을 이루기 위해 온도를 제한적으로 유지한 채 진행하였다.

이 연구를 통해 에너지 음료의 대부분은 치아 부식을 일으킬 수 있으며, 음료의 pH와 적정산도는 치아 부식을 예측하는데 한계가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 어떤 인자가 부식에 영향을 끼치는 지는 밝혀지지 않았으므로, 이후 연구에서는 부식 발생의 작용기전 및 이에 작용하는 요인을 밝혀낼 필요가 있다.

산성 음료의 소비를 통한 부식능은 치과의사가 환자를 상담할 때 중요한 고려요소 이다. 음료와 치아의 접촉 시간의 증가는 부식이 일어날 수 있는 기회를 증가시킨다.³⁰⁾ 신맛에 의해 자극되는 타액 분비는 산을 세척하고, 부식을 제한시킬 수 있다. 그러나 제한된 타액 분비를 가진 사람들은 산과 치아의 접촉을 증가시킬 수 있고, 부식의 위험성을 증가시킨다. Sanchez 와 Fernandez De Preliasco³¹⁾에 따르면 부식된 치아를 갖는 어린이는 그렇지 않은 어린이에 비해 낮은 타액 분비율과 완충능을 가지는 것으로 나타났다. 입안에 음료를 머금고 있으면서 산과 치아의 접촉 시간을 증가시키는 행위는 부식 위험을 증가시킬 수 있다. 또한 Rios 등³²⁾에 따르면 산 음료에 노출된 직후 범랑질을 닦는 것은 치아 손실을 증가시키는 것으로 나타났다.

치아 부식을 보호하기 위해서는 예방 적인 노력이 더욱 중요할 수 있다. 부식에 대항하여 치아를 보호하는 요소는 타액분비율, 타액완충능, 타액 내의 유기 성분, 무기질 함량 등이 치아부식 억제에 영향을 미친다.³¹⁾ 치아 부식을 예방하기 위한 가장 확실한 방법은 산과의 접촉을 억제하는 것이다. 하지만 현실적으로 산 음료를 섭취하지 않는 것은 불가능하기 때문에 이를 섭취하는 소비자에게 음료의 정보를 정확히 제공할

필요가 있다. 여기에는 음료의 산성도와 치아 우식 유발 지수, 이로 인한 부작용과 주의사항에 대한 정보가 해당된다. 이에 따라 치아 부식에 영향을 끼치는 음료를 분명히하고 그 영향을 소비자에게 교육하여 음료 섭취를 조절할 수 있어야 하겠다.

이 연구는 몇가지 한계를 갖는다. 첫째, pH와 TA 두가지 요인으로만 음료의 부식정도를 확인하고자 하였다. 치아 부식의 다른 요인과의 관계 및 복합적 작용에 대해서도 확인할 필요가 있다. 둘째, 다양한 에너지 음료를 가지고 연구를 진행하지 못했다. 이로인해 각 요인에 대한 음료의 부식 경향성을 파악하기에는 부족함이 있었다. 셋째, 에너지 음료와 다른 음료와의 부식정도 차이를 확인하지 못했다. 에너지 음료의 법랑질 부식에 유의한 변화가 있다는 것을 확인할 수 있었고 다른 음료군에 비해 큰 부식 경향성을 보이는 것을 추측할 수 있었지만, 그 부식 정도가 다른 음료군에 비해 어느 정도인지 확인하기는 어려웠다. 또한 *in vitro* 연구가 갖는 모든 실험들이 그러하듯이 구강내의 조건들을 완벽히 재현할 수는 없기 때문에 실제 부식도와는 차이가 있을 것으로 보인다. 구강내에서 타액 박막의 보호효과와 함께 타액의 재광화 효과가 더욱 효과적으로 일어날 수 있기 때문에 부식 정도는 본 실험의 결과보다 덜할 것으로 예측할 수 있으며, 실제 사람에서는 개인 마다 부식에 대한 감수성에 차이가 보이기 때문에 인체에 그대로 적용할 수는 없을 것으로 사료된다.

음료에 노출된 후 부식은 pH와 적정산도와 관계가 없다는 것은 pH와 적정산도 모두 부식능을 예측하기에는 한계가 있는 것을 의미한다. 산의 농도와 세기는 모두 부식 정도에 영향을 줄 수는 있다. pH는 용액의 산에서 농도와 세기 둘 다에 의해서 결정될 수 있다. 적정산도는 용액을 중성 pH로 만들기 위해 필요한 염기의 양을 의미한다. 높은 적정 산도는 높은 완충능과 일치하게 된다. 음료의 pH와 적정산도는 Jendottir 등이 보고한 값과 유사하게 나타났다.³³⁾ Jendottir 등은 치아 부식에서 중량 손실 정도가 pH와 적정산도 둘다와의 상관관계가 있다고 보고했었다. 음료의 다양한 구성성분들은 부식의 정도에 영향을 줄 수 있다. 칼슘

과 불소는 법랑질의 용해도를 바꿔서 부식의 정도를 제한할 수 있다. 단순히 pH와 적정산도에 따라 부식능이 비례한다고 보기는 어려우나 충분한 상관관계가 있는 것으로 보여지며 복합적인 관계에 대한 연구는 추후 진행되어야 할 것으로 보인다.

5. 결 론

이 연구의 목적은 각각의 에너지 음료가 치아 경조직에 어떻게 영향을 끼치는지 pH-cycling 과정과 pH 및 적정산도를 측정하는 과정을 통해 알아보려고 하였다.

1. 총 3가지 음료의 평균 pH는 3.15 였으며, 레드불의 적정산도는 13.03 mL로 가장 높았고, 핫식스의 적정산도는 6.93 mL로 가장 낮았다.

2. 시편에서 법랑질의 경도 변화는 유의한 수준으로 일어났다. 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 번인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다 ($P < 0.05$).

결론적으로 음료의 pH와 적정산도만으로 부식능을 예측하는 것은 한계가 있으며, 추가적인 연구가 필요한 것으로 검토되었다.

참 고 문 헌

1. Imfeld T. Dental erosion: Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 1996;104:151-155.
2. Zero DT. Etiology of dental erosion-extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 1996;104:162-177.
3. Rogalla K, Finger W, Hanning M. Influence of buffered and unbuffered acetylsalicylic acid on dental enamel and dentine in human teeth: an in vitro pilot study. *J Clin Pharmacol* 1992;14:339-346.
4. Scheutzel P. Etiology of dental erosion-intrinsic factors. *Eur J Oral Sci*, 1996;104:178-190.
5. Järvien VK, Rytömaa II, Heinonen OP. Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 1991;70:942-947.
6. Heckman MA, Sherry K, Gonzalez de Mejia E. Energy drinks: An assessment of their market size, consumer demographics, ingredient profile, functionality, and regulations in the united states. *Compr Rev Food Sci Food saf* 2010;9:303-317.
7. Kitchens M, Owens BM. Effect of carbonated beverages, coffee, sports and high energy drinks, and bottled water on the in vitro erosion characteristics of dental enamel. *J Clin Pediatr Dent* 2007;31(3):153-159.
8. Owens BM, Kitchens M. The erosive potential of soft drinks on enamel surface substrate: an invitro scanning electron microscopy investigation. *J Contemp Dent Pract* 2007;8(7):11-20.
9. Alford C, Cox H, Wescott R. The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *J Amino Acids* 2001;21:139-150.
10. 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.

11. Muller RF, Gortner RA. The influence of sugar content on pH in vivo decalcification of rat molar teeth by acid beverages. Arch Biochem Biophys 1949;20:153-158.
12. Johansson AK, Lingström P, Imfeld T, Birkhed D. Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. Eur J Oral Sci 2004;112:484-489.
13. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM. Factors influencing the development of dental erosion in vitro: enamel type, temperature and exposure time. J Oral Rehabil 1999;26:624-630.
14. Youn HJ, Jeong SS, Hong SJ, Choi CH. Surface microhardness changes by commercial drinks on sund enamel of bovine teeth. J Korean Acad Oral Health 2006;30:23-36.
15. Grenby TH, Mistry M, Desai T. Potential dental effects of infants' fruit drinks studied in vitro. Brit J Nutr 1990;64:273-283.
16. Cairns AM, Watson M, Creanor SL, Foye RH. The pH and titratable acidity of a range of diluting drinks and their potential effect on dental erosion. J Dent 2002;30:313-317.
17. Bennick A, Cannon M. Quantitative study of the interaction of salivary acidic proline-rich proteins with hydroxy apatite. Caries Res 1978;12:159-169.
18. Meurman JH, Ten Cate JM. Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. Eur J Oral Sci 1996;104:199-206.
19. 최대영, 신승철. 우리나라 시판 식품료의 수소이온농도지수 측정실험. 대한구강보건학회지 1996;20:399-410.
20. Meurman JH, Frank RM. Progressive and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. Caries Res 1991;25:81-87.

21. Ramalingam L, Messer LB, Reynolds EC. Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. *Pediatr Dent* 2005;27:61-67.
22. Rijkom HV, Ruben J, Vierira A, Huysmans MC, Truin GJ, Mulder J. Erosion-inhibiting effect of sodium fluoride and titanium tetrafluoride treatment in vitro. *Eur J Oral Sci* 2003;111:253-257.
23. Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon AM. Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Arch Oral Biol* 2003;48:753-759.
24. Sharpe AN. Influence of the crystal orientation in human enamel on its reactivity to acid as shown by high resolution microradiography. *Arch Oral Biol* 1967;12:583-592.
25. Rees JS, Burford K, Loyn T. The erosive potential of the alcoholic lemonade Hooch. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1998;6:161-4.
26. Nieuw Amerongen AV, Oderkerk CH, Driessen AA. Role of mucins from human whole saliva in the protection of tooth enamel against demineralization in vitro. *Caries Res* 1987;21:297-309.
27. Arends J, Christofferesen J, Ruben J, Jongebloed WL. Remineralisation of bovine dentine in vitro. *Caries Res* 1989;23:309-14.
28. Larsen MJ, Pearce EL. A computer program for correlation dental plaque values, cH^+ , plaque titration, critical pH, resting pH and the solubility of enamel apatite. *Arch Oral Biol* 1997;42:475-480.
29. 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;27:875-80.
30. Johansson AK, Lingström P, Birkhed D. Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high-and

- low-erosion groups. Eur J Oral Sci 2002;110:204-11.
31. Sanchez GA, Fernandez De Preliasco MV. Salivary pH changes during soft drink consumption in children. Int J Pediatr Dent 2003;13:251-7.
 32. Rios D, Honório HM, Magalhães AC, BuzalafMAR, et al. Influence of toothbrushing on enamel softening and arasive wear of eroded bovine enamel: an in situ study. Braz Oral Res 2006;20:148-54.
 33. Jensdottir T, Bardow A, Holbrook P. Properties and modification of soft drinks in relation to their erosive potential in vitro. J dent 2005;33:569-75.

Abstract

Effects of pH and titratable acidity on the erosive potential of energy drinks

Jong-bum Hong

School of Dentistry

Seoul National University

Objectives. The aim of this study was to evaluate possibility of dental erosion by measuring pH and titratable acidity of energy drinks on the market. Experimental condition was designed similar to the oral environment, and artificial enamel lesion formed on bovine tooth. The degree of loss of minerals was measured by the enamel surface microhardness.

Materials and methods. 3 energy drinks on the market remaining more than one year validity period were selected, which were Hot six (Lotte chilsung, Korea), Red bull (Redbull GmbH), and Burn intense (Coca-Cola, Korea). The pH and titratable acidity were measured using distilled water as a control at the same temperature condition. The pH of each drink was measured using the pH electrode

connected to a pH meter. the titrable acidity was measured by recording the volume of 0.1M NaOH solution which was pipetted in 20ml of each drink until the pH reached 5.5. Bovine tooth used in the study was selected without disinfection, cracks or any lesions under Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF). The surface microhardness of the enamel specimens was determined, and 40 specimens with microhardness numbers in the ranged of 293.89–364.48 Vickers hardness number (VHN) were selected. They were randomly allocated to 3 test groups of 10 specimens and 1 control group of 10 specimens. Each experimental drink and artificial saliva combination was cycled for 10 minutes two times a day for 8 days. Microhardness were analyzed twice, before and after pH cycling. Differences in the microhardness of the enamel surface were analyzed by a Wilcoxon signed rank test. The level of significance was $P < 0.05$.

Results. Total 3 drinks average pHs were 3.15, Redbull's titrable acidity was the highest 13.03 mL, Burn intense's titrable acidity was 11.53 mL, and Hotsix's titrable acidity was the lowest 6.03 mL. Red bull had been eroded most (208.9 Δ VHN), and Hot six had similar surface hardness change (193.1 Δ VHN). Burn intense had less surface hardness change (142.1 Δ VHN, $P < 0.05$).

By these results, to predict the erosion performance have limitation using only pH and titrable acidity of the drink, and further studies should be needed. In conclusion, Energy drinks on the market in the experiment are likely to cause dental erosion.

keywords : Dental erosion, Energy drinks, Titratable acidity, pH
Student Number : 2010-22512



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사 학위논문

에너지 음료의 pH와 적정산도에
따른 치아 부식능

Effects of pH and titratable acidity on the
erosive potential of energy drinks

2014 년 2 월

서울대학교 대학원

치 의 학 과 치 의 학 전 문 대 학 원

홍 중 범

에너지 음료의 pH와 적정산도에 따른 치아 부식능

Effects of pH and titratable acidity on the
erosive potential of energy drinks

지도교수 진 보 형

이 논문을 치의학 석사 학위논문으로 제출함
2013 년 10 월

서울대학교 대학원
치 의 학 과 치 의 학 전 문 대 학 원

홍 종 범

홍종범의 석사 학위논문을 인준함
2013 년 11 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

1. 목 적

시중에서 판매되고 있는 에너지 음료의 pH와 적정산도(titratable acidity)를 측정하여 치아부식 발생 가능성을 알아보고자 한다. 구강과 유사하게 재현된 환경을 구성하여 우치 법랑질 시편에 부식 병소를 인공적으로 형성하여 무기질 소실 정도를 법랑질 표면 정도를 통해 측정하고자 한다.

2. 방 법

시판되고 있는 에너지 음료 중 시장 점유율을 바탕으로 유효기간이 1년 이상 남은 음료 3가지인 핫식스(롯데칠성, 한국), 레드불(Redbull GmbH, Austria), 번인텐스(코카콜라, 한국)를 선정하였다. 대조군으로 증류수를 사용하여 동일한 온도조건에서 pH와 적정산도를 측정하였다. pH는 pH electrode를 pH meter와 연결하여 측정하였고, 적정 산도는 20ml의 음료를 0.1M의 NaOH 용액을 이용하여 pH가 5.5에 도달할 때 까지 투입된 부피를 기록하여 측정하였다. 연구에 사용된 우치는 Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF, QLF Pro[®], Inspektor Research System BV, Amsteram, Netherlands)를 이용하여 감염, 파절, 혹은 다른 어떤 병소도 발견되지 않은 치아를 선별하여 진행되었다. 법랑질 표면의 미세 정도가 측정되고 293.89-364.48 Vickers hardness number (VHN) 범위의 미세 정도를 갖는 40개의 표본이 선택되었다. 이들은 10개 표본으로 이루어진 3개의 시험군과 10개의 표본으로 이루어진 1개의 대조군으로 무작위로 할당되었다. 각각의 실험음료와 인공 타액은 8일 동안 하루에 2번씩 10분간 순환되어 실험 전, 후의 표면경도의 차이를 측정하였다. 법랑질 표면의 미세경도 차이가 유의한지 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였으며, 유의성 단계는 $P < 0.05$ 이다.

3. 결 과

총 3종 에너지 음료의 평균 pH는 3.15 이었고, 적정산도는 레드불이 13.03 mL로 가장 높았고, 번인텐스의 적정산도는 11.53 mL, 핫식스의 적

정산도가 6.93 mL로 가장 낮았다. 법랑질 시편을 8일간 순환처리하여 측정한 법랑질 표면 경도 값은 레드볼을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 변인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다 ($P < 0.05$).

이와 같은 결과를 통해 볼 때 음료의 pH와 적정산도만으로 부식능을 예측하는 것은 한계가 있으며, 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 결론적으로 실험에서 사용된 국내 시판 에너지 음료는 치아 부식을 일으킬 가능성이 있다.

주요어 : 치아 부식, 에너지 음료, 적정산도, pH

학 번 : 2010-22512

목 차

1. 서론	1
2. 연구 재료 및 방법	3
2.1. 실험 음료 선정	3
2.2. 초기 pH 측정	3
2.3. 적정산도의 측정	4
2.4. 시편 준비	4
2.5. 실험 과정	4
2.6. 미세 경도 측정	5
2.7. 통계 분석	5
3. 연구 결과	7
3.1. 음료의 pH와 적정산도	7
3.2. pH-cycling 과정 이후 표면 경도 변화	7
4. 고안	9
5. 결론	15
참고문헌	16
Abstract	19

표 목 차

[Table 1] Drinks used in the experiments	3
[Table 2] Mean initial pH and titratable acidity in the test and control products	7
[Table 3] Comparisons of the surface microhardness for different groups before treatment and after pH cycling of drinks	8

1. 서 론

치아 부식은 구강내에서 세균과 관계없이 화학적 용해를 통해 법랑질 및 상아질이 소실되는 현상으로 정의된다. 치아 부식은 법랑질의 탈회로 시작되어 치아 경조직의 손실이 일어난 후 상아질이 노출되면 치질 손실이 더욱 심해지게 된다¹⁾. 치아 부식의 원인으로는 내인성 요인과 외인성 요인 2가지로 구분될 수 있다. 외인성 요인은 산성 음료, 음식 섭취²⁾, 산성 약제³⁾, 대기 중 산 등이 포함된다. 내인성요인은 위장질환이나 대사성 질환 등으로 인해 위산이 구강으로 역류하여 부식을 유발하는 것으로 치아에 심각한 손상을 일으킬 수 있다⁴⁾.

치아 부식을 일으킬 수 있는 요인 중 산성 음료로 인한 치아 부식에 대한 우려는 꾸준히 제기되어 왔으며 그 위험성 또한 많이 알려져있다⁵⁾. 최근 우리나라에서도 청량음료와 스포츠 음료 등 각종 주스류의 소비가 증가했으며, 그 중에서도 에너지 음료의 성장은 매우 빠르게 증가하고 있다. 1960년대 이후 에너지 음료 시장은 전세계적으로 수십억달러의 시장규모를 가지는 사업으로 성장했으며 생수 사업 이후에 가장 빠르게 성장하는 음료 시장으로 보고되고 있다⁶⁾.

에너지 음료에 대한 연구는 외국에서는 이미 많은 연구가 진행 되었으며, 에너지 음료가 치아 법랑질에 유의한 부식 효과가 나타난다고 보고하였다⁷⁾. Owens 등⁸⁾은 그 부식 정도가 코카콜라나 이온음료인 게토레이보다 심하다고 보고하였다. 하지만 우리나라에서는 산 음료에 대해서 치아 부식능에 대한 연구가 보고된 바 있으나 에너지 음료에 대한 치아 부식은 그 조사가 부족하여 최근에서야 관심을 받고 있다.

에너지 음료는 주요 성분은 카페인, 타우린, 구연산 등으로 구성되어있다. 섭취시 반응속도, 순간기억력과 같은 신체적, 정신적 능력을 일시적으로 향상시킬 수 있는 기능을 함유하고 있어서⁹⁾ 단기간의 활동을 증진시키기 위한 목적으로 10대-30대의 젊은 층에게 각광받고 있다. 주요 소비층이 젊은 세대이므로 현재와 같은 소비 추세는 젊은 층 특히 소아, 청소년에 대한 치아 부식 우려를 더욱 깊게 하고 있다.

이러한 에너지음료는 대부분 pH가 5.5 이하로 법랑질 구조를 파괴시킬 수 있는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 국내에서 에너지음료에 대한 수요가 증가함에 따라 에너지음료의 치아 손상 가능성을 알아볼 필요가 높아지고 있다. 따라서 이 연구에서는 국내에서 시판되는 에너지음료의 부식능력에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대해 알아보고 에너지음료에 따른 부식 정도를 확인해보고자 한다.

일반적으로 음식 혹은 음료의 pH는 치아 부식능의 주요 지표이다. 많은 연구에서 치아 부식은 산의 종류¹¹⁾, pH¹²⁾, 섭취 유형^{13,14)}, 그리고 음료의 적정 산도^{15,16)}에 관련되어 있다고 제시하고 있다. 적정 산도는 총 산 함량에 대한 측정치로서, pH 변화에 저항하는 능력을 나타낸다. 적정 산도가 높을수록 구강내에서 산성환경이 더 오래 지속될 수 있다. pH는 용액내에 존재하는 수소 이온의 수를 나타내는 지표이다. 구강내에서 치아 부식에 영향을 주는 요소를 예측하기 위해 다양한 요인들이 복합적으로 측정되어야 한다. 이 연구에서는 치아 부식의 주요 요인으로 알려져 있는 pH와 적정산도를 중심으로 치아 부식의 세부 요인에 대해 알아보고자 한다.

이 연구의 목적은 한국에서 판매되는 에너지 음료 중 선호도가 높은 제품을 몇가지 선정하여 초기 pH와 적정산도를 측정하고 in vitro 모델에서 pH-cycling을 통해 에너지 음료가 치아 법랑질 부식에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 실험 음료 선정

이 연구에서 사용된 에너지 음료는 한국에서 판매되는 핫식스, 레드불, 번인텐스를 이용하였다. 국내 에너지 음료는 핫식스가 62%로 시장을 점유하고 있는 가운데 레드불이 18.3%, 번인텐스는 6.6%로 그 뒤를 따르고 있다. 세 개의 음료가 국내 에너지 음료 시장의 90%를 장악하고 있는 실정으로 전체적인 에너지 음료 시장을 대표하기에 무리가 없다고 파악된다. 이러한 시장 점유율을 바탕으로 시장 경향, 경제적인 요인 등을 고려해 위의 3가지 음료가 선정되었다. 모든 음료는 실험 시기로부터 1년 이상의 유통기한이 남아있었다.

Table 1. Drinks used in the experiments

Groups	Drinks	Manufacturer
Energy drinks	Hotsix	Lottechilsung - Korea
	Redbull	Redbull GmbH - Austria
	Burnintense	Cocacola - Korea
Control	Distilled water	

2.2. 초기 pH 측정

각각의 음료의 pH는 pH electrode (Orion ROSSTM, 8102BNUWP, Beverly, USA)를 pH meter (Orion StarTM, Beverly, USA)에 연결하여 측정되었다. 전극은 시액을 이용해 매일 아침 교정되었다. 20mL 음료를 유리 비커에 넣고 자석교반기를 이용해 측정 사이에 1분간 섞어주었다. 전극은 증류수를 이용해 측정시마다 씻겨주었다. 이 과정은 각각의 음료

마다 3번씩 시행되었다.

2.3. 적정산도의 측정

적정산도는 각각의 음료 20mL를 유리 비커에 넣은 후 측정되었다. 각각의 음료는 37℃ incubator에 위치시켰다. 이후 0.1M NaOH 용액을 pH가 5.5에 도달할 때 까지 적정시켰다. 각각의 용액은 1분간 섞어주었다. NaOH의 부피가 기록되었다. 이 과정은 각각의 용액마다 3번씩 반복되었다.

2.4. 시편 준비

이 연구는 Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF, QLF Pro[®], Inspektor Research System BV, Amsterdam, Netherlands)를 이용하여 감염, 파절, 혹은 다른 어떤 병소도 발견되지 않은 발치된 소의 측절치를 이용하여 진행되었다. 표면에 5mm 직경의 구멍을 뚫은 후, 시편을 채득하여 1.2×1.0×0.8 cm로 측정된 틀에서 epoxy resin에 박혀진 상태로 고정시켰다. 표본은 silicone carbided paper (600-2,000 grid)를 이용해 평평하게 연마하였다. 모든 표본은 측정까지 100% 습도하에서 저장되었다.

2.5. 실험 과정

각각의 실험음료와 인공 타액은 8일 동안 하루에 2번씩 10분간 순환되었다. 구강 환경과 유사하게 특별히 실험 조건을 설계하여 음료와 인공 타액을 순환시켰다. 구강 환경과 유사한 37℃, 150 rpm의 교반기에서 음

료 150mL가 담긴 각각의 컨테이너에서 6개의 표본이 위치되었다. 시편은 휴식기 동안 인공 타액 내에서 처리되었다. 같은 과정이 8일 동안 반복되었다.

인공 타액은 0.021M $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ (Sigma Aldrich, Switzerland) 과 36 mM NaCl (Sigma Aldrich, USA), 0.96 mM CaCl_2 (Acros Organics, USA), sodium carboxy methylcellulose 1.0% (Sigma Aldrich, USA)를 담은 pH 7.0 용액을 섞어서 준비되었다¹⁷⁾.

2.6. 미세 경도 측정

표본의 법랑질 표면 미세경도는 Vickers microhardness tester (SHIMADZV, JP/HMV-2, Japan)을 이용하여 측정되었다. 9.81N, 40 배율 렌즈, 10초간 다이아몬드를 이용해 형성된 5개의 압입자국을 통해 평균 경도가 계산되었다. 법랑질 표면의 미세 경도가 측정되고 293.89-364.48 Vickers hardness number (VHN) 범위의 미세 경도를 갖는 40개의 표본이 선택되었다. 이들은 10개 표본으로 이루어진 3개의 시험군과 10개의 표본으로 이루어진 1개의 대조군으로 무작위로 할당되었다.

미세경도는 pH cycling 전후로 두 번씩 측정되었다. 표면의 다른 위치에서 5개의 압입자국이 형성되었다.

2.7. 통계 분석

법랑질 표면의 에너지 음료에 담그기 전과 후의 법랑질 표면의 미세경도 차이가 유의한지 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였다. 유의성 단계는 $P < 0.05$ 이다. 에너지 음료 집단들끼리 grouping 되는지를 살펴보기 위해 다중비교분석법으로 Kruskal-Wallis test를 시행

후 Mann-Whitney U test를 시행하였다. SPSS (Statistical Packages for Social Science, Ver. 19.0, Chicago, IL., USA) 통계 프로그램이 통계 분석에 사용되었다.

3. 연구 결과

3.1. 음료의 pH와 적정산도

3개 음료에서 번인텐스가 가장 낮은 pH (2.50), 핫식스가 중간 pH (3.40), 레드불이 가장 높은 pH (3.56)을 나타냈다. 하지만 적정산도는 pH와 다르게 나타났다. 레드불이 가장 높은 적정산도 (13.03 mL)를 나타냈고, 번인텐스가 중간 적정산도 (11.53 mL), 핫식스가 가장 낮은 적정산도 (6.93 mL)를 나타냈다.

Table 2. Mean initial pH and titratable acidity in the test and control products

Brand name	pH	Titratable acidity*
Hotsix	3.40 (0.04)	6.93 (0.25)
Redbull	3.56 (0.02)	13.03 (0.25)
Burnintense	2.50 (0.03)	11.53 (0.15)
Distilled water	6.67 (0.08)	

*mL of 0.1 M NaOH.

Standard deviation in parentheses.

3.2. pH-cycling 과정 이후 표면 경도 변화

pH-cycling 과정 이전에 293.89-364.48 VHN 범위의 미세 경도를 갖는 표본만을 사용했다. 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화(208.9 Δ VHN)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화(193.1 Δ VHN)를 보였다. 번인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 (142.1 Δ VHN)가 나타났다 (Table 3).

Table 3. Comparisons of the surface microhardness for different groups before treatment and after the pH cycling of drinks

Brand name	N	VHN*		Δ VHN
		Before treatment	After treatment	
Hotsix	10	336.3 \pm 12.7	143.2 \pm 21.8	193.1 \pm 28.6 ^a
Redbull	10	318.5 \pm 17.3	109.6 \pm 19.1	208.9 \pm 18.8 ^a
Burnintense	10	306.5 \pm 31.2	164.4 \pm 21.4	142.1 \pm 22.4 ^b
Distilled water	10	307.9 \pm 19.0	300.8 \pm 15.8	7.1 \pm 10.0 ^c

*Values are mean \pm SD.

Δ VHN=After treatment VHN - Before treatment VHN.

† Δ VHN is significantly different between drinks by Wilcoxon signed rank test (P=0.05).

^{a,b,c}The different characters shows statistically significant differences between groups by Mann-Whitney U test at P=0.05.

4. 고 안

국내 에너지 음료에 대한 수요는 점차적으로 증가하고 있고, 그 성장세는 더욱 가파르게 올라가고 있다. 에너지 음료 시장은 전세계적으로 수십억달러의 시장규모를 가지는 사업으로 성장한 것으로 보고되었다⁶⁾.

에너지 음료에 대한 연구는 외국에서는 이미 연구가 진행 되었으며, 에너지 음료가 치아 법랑질에 유의한 부식 효과가 나타난다고 보고하였다⁷⁾. Owens 등⁸⁾은 그 부식 정도가 코카콜라나 이온음료인 게토레이 보다 심하다고 보고하였다. 하지만 우리나라에서는 산 음료에 대해서 치아 부식능에 대한 연구가 보고된 바 있으나 에너지 음료에 대한 치아 부식은 그 조사가 부족하여 최근에서야 관심을 받고 있다.

법랑질은 pH 5.5 이하에서 부식된다고 알려져있다¹⁸⁾. 이 연구에서 사용된 실험 음료의 pH 값은 2.50-3.56이었다. 이 연구결과는 시장에서 판매되는 다른 음료 등이 법랑질을 부식시킬 수 있다는 결과¹⁹⁾와 유사하게 에너지 음료 역시 법랑질을 부식시키는 것으로 측정되었다.

실험에서 적정산도는 pH 5.5에 도달할 때 까지 가해진 NaOH의 부피로 측정되었다. 핫식스의 pH는 3.40, 적정산도는 6.93 mL 으로 나타났다. 레드불의 pH는 3.56, 그리고 가장 높은 적정산도인 13.03 mL 으로 나타났다. 번인텐스는 pH 2.50, 적정산도는 11.53 mL 이다. 연구결과는 pH와 적정산도가 크게 상관관계가 없다는 것을 나타낸다.

연구는 구강 환경과 유사하게 설계된 pH-cycling 과정을 이용해 진행되었다. pH-cycling 과정에 사용된 장치는 인공타액과 실험 용액을 동시에 수용할 수 있는 표본을 위해 특별히 설계된 장치이다. 구강 환경을 완벽히 재구성하는 것은 불가능하지만 이 제한을 해결하기 위해 매 실험마다 새로운 인공타액을 제작했고, 구강환경과 비슷한 온도로 하루 24시간 8일동안 교반기를 이용해 유사한 환경을 구성했다. 또한 실제 음용 조건을 재현하기 위해 음료와 치아의 접촉시간을 매회 10분으로 제한하였다. 실험 조건을 하루에 2번씩 10분간으로 제한시킨 이유는 10분간의

접촉으로 실제 음용 조건을 재현하려 하였고 나머지를 인공 타액 속에 순환시켜 실제 구강환경에서 나타날 수 있는 재광화를 최대한 이끌어내기 위함이었다. 하루 2번씩 노출시킨 것 역시 실험에 사용된 에너지 음료들이 모두 탄산 음료였기 때문에 탄산을 제거하지 않은 조건 하에서 과도한 부식을 방지하면서 실제 음용 조건을 재현하기 위한 설계 방법이었다.

실험에 사용된 우치는 QLF를 이용하여 감염, 파절, 다른 병소가 없는 치아를 선별하여 진행하였고 무작위 할당을 통해 각 군마다 실험 조건을 최대한 균등하게 하였으나, 실험에 사용된 치아들 개개마다 부식에 대한 감수성이 다를 수 있을 수 있다. 이는 개개의 치아의 표면 경도 변화를 좀 더 발생시킬 수 있기 때문에 일괄적인 조건에서 실험을 진행하기에 한계가 있는 것으로 보인다.

pH-cycling 이후의 법랑질의 경도 변화는 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)를 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서는 레드불과 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 번인텐스는 그보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다. 이 결과는 부식에 영향을 줄 수 있을 것이라 조사했던 에너지 음료의 완충능과 부식의 정도 사이의 상관관계를 판단하기 어려운 것으로 파악된다.

Meurman과 Frank²⁰⁾는 prismatic enamel surface과 aprismatic surface와의 부식 차이를 나타내며 치아의 구조적 특성 또한 침식에 영향을 주는 요인중의 하나라고 하였다. 이는 부식의 영향이 음료의 완충능 뿐만 아니라 음료 내 칼슘, 인²¹⁾, 불소²²⁾ 등의 농도와 치아 자체의 유기성분 및 무기성분의 영향²³⁾, 그리고 치아의 산에 대한 감수성 및 형태적 차이 등의 요인에 의해서 기인할 수 있다는 것으로 추론할 수 있다²⁴⁾. 또한 치아 부식이 특징적인 하나의 요인이 아닌 음료와의 접촉 시간 등과의 복합적인 요인으로 작용할 수 있으므로 이에 대한 영향을 볼 수 있는 연구가 필요할 것이다.

음료 자체가 갖는 특성 뿐만 아니라 마시는 방법, 소비 빈도, 타액 특성, 치태 등의 요인 역시 치아 부식을 일으키는데 중요한 역할을 한다.

이러한 요소들간에 상관 작용은 복잡하고 임상 연구에서는 개인간에 부식능의 차에 대한 능력을 간과할 여지가 있다.

또한 부식능은 음료에서 산의 총량 뿐만 아니라 음료에서 구성하고 있는 산의 종류에 의해서도 영향을 받을 수 있다.²⁵⁾ 구연산, 젖산, 말산 등과 이들의 조합은 부식능에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되었다. Meurman JH²⁰⁾ 등에 따르면 우치 법랑질에서 말산은 구연산 보다 덜 부식 작용을 일으키는 것으로 나타났으나 이 작용은 초기 15-30분 동안에 유효했다. 그 이후에는 두 산 모두 비슷한 정도의 부식능을 일으키는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 음료에서 개개의 산에 대한 효과는 조사되지 않았다.

타액 박막(acquired pellicle)은 치아 부식의 진행에 영향을 줄 수 있는 또다른 요소이다. 타액 박막은 치아 표면에서 산의 확산을 막는 보호막 역할을 한다. 최대 보호 효과를 이루기 위해 타액 박막은 최소 24시간의 성숙 시간이 필요하다.²⁶⁾ 좀 더 재현성 있는 실험 설계를 위해서는 실험에 사용된 우치 표면의 박막을 재현할 수 있는 조건을 형성하게 된다면 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

소와 사람의 법랑질 구조 차이 역시 부식 병소의 확산의 중요한 역할을 한다. 우치 법랑질은 사람의 치아 보다 좀 더 다공성의 형태를 띄고 있으며, 이에 따라 산에 확산에 덜 저항적이며 병소가 더욱 빨리 진행되게 된다.²⁷⁾ 또한 소의 연령이 높아질수록 더 다공성이 증가할 수 있으며 실험에서는 미세구조적인 결함의 차이까지 통제하기는 어려웠으나, QLF를 이용하여 표면 결함이 있는 시편들을 최대한 선별하였다.

실험에 사용된 에너지 음료는 모두 탄산을 함유하고 있었다. 음료에서 탄산의 정도는 다른 요소들에 비해 부식능에 적은 영향을 끼치는 것으로 알려져있다.²⁸⁾ 그러나 간접적으로 탄산 음료는 음용 방법이나 타액 분비 자극에 영향을 끼칠 수 있을 수 있으므로 중요하지 않은 요소라고 볼 수는 없다. 탄산 음료의 특성상 음료를 빠른 속도로 마시기 어려우므로 좀 더 오랜 시간 구강내에서 잔존해야하며, 개인 마다 탄산의 맛을 만끽하기 위해 좀 더 음료를 구강내에 머금고 있을 수 있다. 탄산음료는 CO2

를 추가함에 따라 용액내에서 탄산을 형성하고 이를 통해 음료의 pH를 낮추는 작용을 하게 된다.

용해 속도는 온도가 증가할수록 증가한다. 실온 조건에서의 음료는 얼음처럼 차가운 음료에서 보다 부식능이 증가하게 된다.²⁹⁾ 이 연구는 음료의 온도를 실온에서 진행하였고 실제 음용조건은 다양하게 이루어질 수 있지만 표준화된 조건을 이루기 위해 온도를 제한적으로 유지한 채 진행하였다.

이 연구를 통해 에너지 음료의 대부분은 치아 부식을 일으킬 수 있으며, 음료의 pH와 적정산도는 치아 부식을 예측하는데 한계가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 어떤 인자가 부식에 영향을 끼치는 지는 밝혀지지 않았으므로, 이후 연구에서는 부식 발생의 작용기전 및 이에 작용하는 요인을 밝혀낼 필요가 있다.

산성 음료의 소비를 통한 부식능은 치과의사가 환자를 상담할 때 중요한 고려요소 이다. 음료와 치아의 접촉 시간의 증가는 부식이 일어날 수 있는 기회를 증가시킨다.³⁰⁾ 신맛에 의해 자극되는 타액 분비는 산을 세척하고, 부식을 제한시킬 수 있다. 그러나 제한된 타액 분비를 가진 사람들은 산과 치아의 접촉을 증가시킬 수 있고, 부식의 위험성을 증가시킨다. Sanchez 와 Fernandez De Preliasco³¹⁾에 따르면 부식된 치아를 갖는 어린이는 그렇지 않은 어린이에 비해 낮은 타액 분비율과 완충능을 가지는 것으로 나타났다. 입안에 음료를 머금고 있으면서 산과 치아의 접촉 시간을 증가시키는 행위는 부식 위험을 증가시킬 수 있다. 또한 Rios 등³²⁾에 따르면 산 음료에 노출된 직후 범랑질을 닦는 것은 치아 손실을 증가시키는 것으로 나타났다.

치아 부식을 보호하기 위해서는 예방 적인 노력이 더욱 중요할 수 있다. 부식에 대항하여 치아를 보호하는 요소는 타액분비율, 타액완충능, 타액 내의 유기 성분, 무기질 함량 등이 치아부식 억제에 영향을 미친다.³¹⁾ 치아 부식을 예방하기 위한 가장 확실한 방법은 산과의 접촉을 억제하는 것이다. 하지만 현실적으로 산 음료를 섭취하지 않는 것은 불가능하기 때문에 이를 섭취하는 소비자에게 음료의 정보를 정확히 제공할

필요가 있다. 여기에는 음료의 산성도와 치아 우식 유발 지수, 이로 인한 부작용과 주의사항에 대한 정보가 해당된다. 이에 따라 치아 부식에 영향을 끼치는 음료를 분명히하고 그 영향을 소비자에게 교육하여 음료 섭취를 조절할 수 있어야 하겠다.

이 연구는 몇가지 한계를 갖는다. 첫째, pH와 TA 두가지 요인으로만 음료의 부식정도를 확인하고자 하였다. 치아 부식의 다른 요인과의 관계 및 복합적 작용에 대해서도 확인할 필요가 있다. 둘째, 다양한 에너지 음료를 가지고 연구를 진행하지 못했다. 이로인해 각 요인에 대한 음료의 부식 경향성을 파악하기에는 부족함이 있었다. 셋째, 에너지 음료와 다른 음료와의 부식정도 차이를 확인하지 못했다. 에너지 음료의 법랑질 부식에 유의한 변화가 있다는 것을 확인할 수 있었고 다른 음료군에 비해 큰 부식 경향성을 보이는 것을 추측할 수 있었지만, 그 부식 정도가 다른 음료군에 비해 어느 정도인지 확인하기는 어려웠다. 또한 in vitro 연구가 갖는 모든 실험들이 그러하듯이 구강내의 조건들을 완벽히 재현할 수는 없기 때문에 실제 부식도와는 차이가 있을 것으로 보인다. 구강내에서 타액 박막의 보호효과와 함께 타액의 재광화 효과가 더욱 효과적으로 일어날 수 있기 때문에 부식 정도는 본 실험의 결과보다 덜할 것으로 예측할 수 있으며, 실제 사람에서는 개인 마다 부식에 대한 감수성에 차이가 보이기 때문에 인체에 그대로 적용할 수는 없을 것으로 사료된다.

음료에 노출된 후 부식은 pH와 적정산도와 관계가 없다는 것은 pH와 적정산도 모두 부식능을 예측하기에는 한계가 있는 것을 의미한다. 산의 농도와 세기는 모두 부식 정도에 영향을 줄 수는 있다. pH는 용액의 산에서 농도와 세기 둘 다에 의해서 결정될 수 있다. 적정산도는 용액을 중성 pH로 만들기 위해 필요한 염기의 양을 의미한다. 높은 적정 산도는 높은 완충능과 일치하게 된다. 음료의 pH와 적정산도는 Jendottir 등이 보고한 값과 유사하게 나타났다.³³⁾ Jendottir 등은 치아 부식에서 중량 손실 정도가 pH와 적정산도 둘다와의 상관관계가 있다고 보고했었다. 음료의 다양한 구성성분들은 부식의 정도에 영향을 줄 수 있다. 칼슘

과 불소는 법랑질의 용해도를 바꿔서 부식의 정도를 제한할 수 있다. 단순히 pH와 적정산도에 따라 부식능이 비례한다고 보기는 어려우나 충분한 상관관계가 있는 것으로 보여지며 복합적인 관계에 대한 연구는 추후 진행되어야 할 것으로 보인다.

5. 결 론

이 연구의 목적은 각각의 에너지 음료가 치아 경조직에 어떻게 영향을 끼치는지 pH-cycling 과정과 pH 및 적정산도를 측정하는 과정을 통해 알아보려고 하였다.

1. 총 3가지 음료의 평균 pH는 3.15 였으며, 레드불의 적정산도는 13.03 mL로 가장 높았고, 핫식스의 적정산도는 6.93 mL로 가장 낮았다.

2. 시편에서 법랑질의 경도 변화는 유의한 수준으로 일어났다. 레드불을 처리한 시편에서 가장 큰 경도 변화($208.9 \Delta\text{VHN}$)을 보였고, 핫식스를 처리한 시편에서 비슷한 경도 변화($193.1 \Delta\text{VHN}$)를 보였다. 번인텐스는 그 보다 적은 경도 변화 ($142.1 \Delta\text{VHN}$)가 나타났다 ($P < 0.05$).

결론적으로 음료의 pH와 적정산도만으로 부식능을 예측하는 것은 한계가 있으며, 추가적인 연구가 필요한 것으로 검토되었다.

참 고 문 헌

1. Imfeld T. Dental erosion: Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 1996;104:151-155.
2. Zero DT. Etiology of dental erosion-extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 1996;104:162-177.
3. Rogalla K, Finger W, Hanning M. Influence of buffered and unbuffered acetylsalicylic acid on dental enamel and dentine in human teeth: an in vitro pilot study. *J Clin Pharmacol* 1992;14:339-346.
4. Scheutzel P. Etiology of dental erosion-intrinsic factors. *Eur J Oral Sci*, 1996;104:178-190.
5. Järvien VK, Rytömaa II, Heinonen OP. Risk factors in dental erosion. *J Dent Res* 1991;70:942-947.
6. Heckman MA, Sherry K, Gonzalez de Mejia E. Energy drinks: An assessment of their market size, consumer demographics, ingredient profile, functionality, and regulations in the united states. *Compr Rev Food Sci Food saf* 2010;9:303-317.
7. Kitchens M, Owens BM. Effect of carbonated beverages, coffee, sports and high energy drinks, and bottled water on the in vitro erosion characteristics of dental enamel. *J Clin Pediatr Dent* 2007;31(3):153-159.
8. Owens BM, Kitchens M. The erosive potential of soft drinks on enamel surface substrate: an invitro scanning electron microscopy investigation. *J Contemp Dent Pract* 2007;8(7):11-20.
9. Alford C, Cox H, Wescott R. The effects of red bull energy drink on human performance and mood. *J Amino Acids* 2001;21:139-150.
10. 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.

11. Muller RF, Gortner RA. The influence of sugar content on pH in vivo decalcification of rat molar teeth by acid beverages. Arch Biochem Biophys 1949;20:153-158.
12. Johansson AK, Lingström P, Imfeld T, Birkhed D. Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. Eur J Oral Sci 2004;112:484-489.
13. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM. Factors influencing the development of dental erosion in vitro: enamel type, temperature and exposure time. J Oral Rehabil 1999;26:624-630.
14. Youn HJ, Jeong SS, Hong SJ, Choi CH. Surface microhardness changes by commercial drinks on sund enamel of bovine teeth. J Korean Acad Oral Health 2006;30:23-36.
15. Grenby TH, Mistry M, Desai T. Potential dental effects of infants' fruit drinks studied in vitro. Brit J Nutr 1990;64:273-283.
16. Cairns AM, Watson M, Creanor SL, Foye RH. The pH and titratable acidity of a range of diluting drinks and their potential effect on dental erosion. J Dent 2002;30:313-317.
17. Bennick A, Cannon M. Quantitative study of the interaction of salivary acidic proline-rich proteins with hydroxy apatite. Caries Res 1978;12:159-169.
18. Meurman JH, Ten Cate JM. Pathogenesis and modifying factors of dental erosion. Eur J Oral Sci 1996;104:199-206.
19. 최대영, 신승철. 우리나라 시판 식품료의 수소이온농도지수 측정실험. 대한구강보건학회지 1996;20:399-410.
20. Meurman JH, Frank RM. Progressive and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. Caries Res 1991;25:81-87.

21. Ramalingam L, Messer LB, Reynolds EC. Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. *Pediatr Dent* 2005;27:61-67.
22. Rijkom HV, Ruben J, Vierira A, Huysmans MC, Truin GJ, Mulder J. Erosion-inhibiting effect of sodium fluoride and titanium tetrafluoride treatment in vitro. *Eur J Oral Sci* 2003;111:253-257.
23. Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon AM. Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion. *Arch Oral Biol* 2003;48:753-759.
24. Sharpe AN. Influence of the crystal orientation in human enamel on its reactivity to acid as shown by high resolution microradiography. *Arch Oral Biol* 1967;12:583-592.
25. Rees JS, Burford K, Loyn T. The erosive potential of the alcoholic lemonade Hooch. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1998;6:161-4.
26. Nieuw Amerongen AV, Oderkerk CH, Driessen AA. Role of mucins from human whole saliva in the protection of tooth enamel against demineralization in vitro. *Caries Res* 1987;21:297-309.
27. Arends J, Christofferesen J, Ruben J, Jongebloed WL. Remineralisation of bovine dentine in vitro. *Caries Res* 1989;23:309-14.
28. Larsen MJ, Pearce EL. A computer program for correlation dental plaque values, cH^+ , plaque titration, critical pH, resting pH and the solubility of enamel apatite. *Arch Oral Biol* 1997;42:475-480.
29. 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;27:875-80.
30. Johansson AK, Lingström P, Birkhed D. Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high-and

- low-erosion groups. Eur J Oral Sci 2002;110:204-11.
31. Sanchez GA, Fernandez De Preliasco MV. Salivary pH changes during soft drink consumption in children. Int J Pediatr Dent 2003;13:251-7.
 32. Rios D, Honório HM, Magalhães AC, BuzalafMAR, et al. Influence of toothbrushing on enamel softening and arasive wear of eroded bovine enamel: an in situ study. Braz Oral Res 2006;20:148-54.
 33. Jensdottir T, Bardow A, Holbrook P. Properties and modification of soft drinks in relation to their erosive potential in vitro. J dent 2005;33:569-75.

Abstract

Effects of pH and titratable
acidity on the erosive potential
of energy drinks

Jong-bum Hong

School of Dentistry

Seoul National University

Objectives. The aim of this study was to evaluate possibility of dental erosion by measuring pH and titratable acidity of energy drinks on the market. Experimental condition was designed similar to the oral environment, and artificial enamel lesion formed on bovine tooth. The degree of loss of minerals was measured by the enamel surface microhardness.

Materials and methods. 3 energy drinks on the market remaining more than one year validity period were selected, which were Hot six (Lotte chilsung, Korea), Red bull (Redbull GmbH), and Burn intense (Coca-Cola, Korea). The pH and titratable acidity were measured using distilled water as a control at the same temperature condition. The pH of each drink was measured using the pH electrode

connected to a pH meter. the titrable acidity was measured by recording the volume of 0.1M NaOH solution which was pipetted in 20ml of each drink until the pH reached 5.5. Bovine tooth used in the study was selected without disinfection, cracks or any lesions under Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF). The surface microhardness of the enamel specimens was determined, and 40 specimens with microhardness numbers in the ranged of 293.89–364.48 Vickers hardness number (VHN) were selected. They were randomly allocated to 3 test groups of 10 specimens and 1 control group of 10 specimens. Each experimental drink and artificial saliva combination was cycled for 10 minutes two times a day for 8 days. Microhardness were analyzed twice, before and after pH cycling. Differences in the microhardness of the enamel surface were analyzed by a Wilcoxon signed rank test. The level of significance was $P < 0.05$.

Results. Total 3 drinks average pHs were 3.15, Redbull's titrable acidity was the highest 13.03 mL, Burn intense's titrable acidity was 11.53 mL, and Hotsix's titrable acidity was the lowest 6.03 mL. Red bull had been eroded most (208.9 Δ VHN), and Hot six had similar surface hardness change (193.1 Δ VHN). Burn intense had less surface hardness change (142.1 Δ VHN, $P < 0.05$).

By these results, to predict the erosion performance have limitation using only pH and titrable acidity of the drink, and further studies should be needed. In conclusion, Energy drinks on the market in the experiment are likely to cause dental erosion.

keywords : Dental erosion, Energy drinks, Titratable acidity, pH
Student Number : 2010-22512