Korean Journal of Clinical Dental Hygiene

Original Article

에너지 음료의 법랑질 부식 위험성 평가

김영석
경북대학교 치위생학과

Evaluation of the Tooth Enamel Erosion Potential of Energy Drinks

Young-Seok Kim
Department of Dental Hygiene, College of Science & Technology, Kyungpook University, Sangju city, 37224, Korea

Corresponding Author: 김영석, 37224 경상북도 상주시 경상대로 2559 경북대학교 치위생학과, Tel: (054)530-1424, Fax: (054)530-1429, E-mail: young1224@knu.ac.kr

Received: July 24, 2020
Revised: August 11, 2020
Accepted: August 14, 2020

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to evaluate the tooth enamel erosion potential of energy drinks by analyzing pH, buffering capacity, and change in fluorescence for seven energy drinks. **Method:** Measurement of the pH and titratable acidity of energy drinks was achieved by stirring with a pH meter. The erosive effect of energy drinks on enamel was measured using quantitative light-induced fluorescence. The pH of energy drink "Bacchus" was the lowest at 2.49±0.02; "MONSTER (sugar free)" had the highest pH at 3.59±0.06. The titratable acidity 5.5 and 7.0 values of the energy drinks were 2.5–7.5 and 7.5–10.5, respectively. **Results:** As a result of the enamel fluorescence loss test using quantitative light-induced fluorescence, it was observed that erosion changed after 6 hours in the HOTSIX group. However, there was no change over time in the other groups. **Conclusion:** It is necessary to reduce the risk of dental erosion through proper education and management of the low acidity and buffering capacity of energy drinks.

Key words: Dental erosion, Energy drinks, pH, Quantitative light-induced fluorescence-digital

색인: 에너지 음료, 적정산도, 자가형광탐지기술, 치아부식

Copyright © 2020 by Korean Journal of Clinical Dental Hygiene. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0)

1. 서론

최근 전세계적으로 음료시장의 흐름을 보면 고카페인이 포함된 에너지 음료의 소비가 매년 눈에 띄게 늘어나고 있다. 1900년대 초반에 처음으로 에너지 음료가 시판되었으나, 현재 판매되고 있는 고카페인 형태의 에너지 음료는 1997년에 유럽에서 처음 판매되기 시작해 매년 그 소비량이 크게 증가하고 있다(1,2). 이러한 에너지 음료를 찾는 소비자가 증가함에 따라 현재 국내 에너지음료 시장은 연 1,000억원 규모에 달하며, 지난 2015년 이후 연 평균 6% 수준의 성장세를 기록했고, 올해 1분기에는 전년 대비 38% 증가했다고 보고하였다.

많은 사람들이 에너지 음료가 활력과 집중력을 향상시켜 더 오랫동안 공부나 업무를 할 수 있도록 돕는다고 믿기 때문에 과업이나 공부 등으로 지친 학생과 근로자들에게 매력적인 음료로 각광받고 있다. 하지만 이러한 소비량의 증가와 함께 에너지 음료의 과다복용에 의한 부작용들도 보고되고 있다. 가장 널리 알려져 있는 부작용은 고카페인에 의한 신경계 흥분과 관련된 것으로 두통, 두근거림, 불면증과 같은 증상들이 있다(3). 특히 에너지 음료를 술과 함께 섞어마시는 경우에는 뇌뿐만 아니라 심장건강에도 악영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(4).

에너지 음료는 전신건강뿐만 아니라 구강건강에도 악영향을 미칠 수 있는데, 에너지 음료에는 유리당, 타타르 산, 말산, 젖산, 아스코르브산, 구연산 또는 인산등 다양한 산을 함유하고 있는데 이로 인해 에너지음료는 pH가 5.5 이하의 산도를 띄며, 치아의 법랑질을 부식시킬 위험성이 있다(5). 치아 부식은 치아 경조직의 점진적인 손실로, 박테리아와 관계없이 화학적인 작용에 의해 발생한다. 치아 부식은 치아간의 접촉으로 발생하는 교모나 비정상적인 기계적 접촉으로 인해 발생하는 마모와는 다른 현상이다(6). 치아 부식의 양상은 양측성이며 법랑질 표면이 분필상이나 거칠게 나타나지 않고 매끈하고 반짝거리는 모습을 보인다. 이러한 부식작용에는 다양한 요인이 연관되어 있다. 단순히 물질의 pH 뿐만 아니라 다양한 성분이 치아의 부식 활성도를 증가시킨다. 특히 음료의 부식 잠재력은 산의 유형에만 의존하지 않으며, 음료 내의 칼슘 및 인의 함량, 온도, 치아와의 접촉 시간 및 타액의 완충작용과 같은 다양한 요소의 복잡한 상호 작용이 영향을 미친다(7).

이미 오래전부터 과일주스나 탄산음료에 의한 치아의 부식 위험성에 대한 연구가 진행되었으며, 이후 다양한 음료에 대한 영향이 연구되고 있다(8). 이러한 과일주스나 탄산음료의 pH는 2-4정도 산성을 띄고 있어, 치아 법랑질의 탈회 임계치인 pH 5.5보다 낮아 부식가능성이 높은 것으로 알려져 있다(9,10).

하지만 대부분의 연구는 에너지음료에 함유된 카페인에 대한 부작용에만 초점을 맞추고 있으며 치아에 미치는 부작용에 대한 관심과 연구는 부족한 실정이다. 이러한 다양한 부작용 때문에 몇몇 나라에서는 미성년자에게 에너지음료의 판매를 금지하기도 하고 있다(11). 하지만 우리나라의 경우, 아직까지는 에너지음료에 대한 연령제한이 없으며, 최근 조사에 따르면 고등학교 3학년 학생의 24.2%가 주 3회 이상 섭취하고 있으며, 1주일에 적어도 1번 이상 고카페인 음료를 섭취하는 청소년의 비율이 2014년 12%, 2016년 13.8%로 증가하였다고 보고하였다(12). 이러한 청소년의 경우 아직 영구치의 석회화가 완성되지 않은 시기이기 때문에 낮은 산도의 음료에 의한 부식가능성이 더 커질 것으로 보인다(13,14).

따라서 본 연구는 국내에 시판되고 있는 일부 에너지 음료의 특성을 확인하고 치아에 미칠 수 있는 부식위험성을 확인해 보고자 한다.

https://doi.org/10.12972/kjcdh.20200008

2. 연구방법 및 연구 재료

2.1. 실험 음료의 선정

실험 음료의 선정기준은 국내에서 시판되는 에너지 음료로 시중에서 쉽게 구할 수 있는 음료 7종을 선정하였다(Table 1). 모든 실험 음료는 실험 직전까지 4 ℃에 냉장하여 보관하였다가 사용하기 24시간 전에 음료의 탄산을 제거하기 위하여 뚜껑을 열어놓았다

Table 1. The drinks used in experiment

Brand name	manufacturer
HOTSIX	Lotte
HOTSIX(grapefruit)	Lotte
MONSTER	Coca-Cola
MONSTER(citra)	Coca-Cola
MONSTER(sugar free)	Coca-Cola
Bacchus F	Dong-A
Vita500	Kwang-Dong

2.2. pH 측정

음료의 pH를 확인하기 위하여 pH meter(Orion star A214, Thermo Orion, CA, USA)를 이용하였다. 각 실험음료를 20 ㎖씩 교반하면서 pH를 3회 반복측정한 뒤, 평균값을 기록하였다.

2.3. 완충능 측정

실험음료의 완충능 평가를 위해 적정산도(Titratable acidity, TA)를 측정하고자 하였다(9,10) 이를 위해 1 M 수산화나트륨(Sodium hydroxide, NaOH)을 첨가하여 그 pH가 각각 5.5(TA5.5)와 7.0(TA7.0)이 될 때까지 첨가된 양을 측정하였다. 먼저 에너지음료 100 ㎖의 pH를 측정한 뒤, 1 M NaOH를 0.5 ㎖씩 첨가하며 pH의 변화를 확인하였다. pH 5.5가 될 때까지 필요한 1M NaOH 양을 먼저 기록한 뒤, pH 7.0이 될 때까지 추가적으로 반복하여 주입하고 첨가된 1 M NaOH의 양을 기록하였다. 실험 음료의 적정산도는 3회씩 반복·측정하였으며, 그 평균값을 계산하였다.

2.4. Quantitative light-induced fluorescence-Digital (QLF-D)를 이용한 치아 부식정도 측정

우식이나 결함이 없는 우치의 전치부를 3×5 mm^2 크기로 절단한 뒤, 아크릴레진에 매몰하였다.

sand paper를 이용하여 편평하게 연마한 법랑질 표면의 절반을 투명 테이프로 덮은 뒤, 내산성 바니쉬를 시편에 바르고, 투명 테이프를 제거하였다. 이후 각 실험음료 20 ㎖에 각각 침적한 뒤, 1, 2, 4, 6시간 마다 시편을 꺼내어 QLF-D(Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, The Netherlands)로 일반사진과 형광사진을 촬영하고 분석프로그램을 이용하여 무기질 소실 정도를 나태내는 형광 소실값 (△F)를 측정하였다.

2.5. 통계분석

시간에 따른 침적된 시편의 법랑질 형광 소실값(△F) 차이의 유의성검정을 위해 일원배치 분산분석을 사용하였고 사후 검정으로 tukey를 이용하였다. 통계분석은 SPSS 25.0(Statistical Package for Social Science 25.0, IBM, NY, USA) 통계프로그램을 사용하였다.

https://doi.org/10.12972/kjcdh.20200008

3. 연구결과

3.1. 실험 음료의 pH

실험 결과, 모든 에너지 음료는 pH 4.0 이하로 산성을 나타냈다. 특히 실험음료 중 박카스의 경우 pH가 2.49 ± 0.02로 가장 강한 산성을 나타났으며, 몬스터(무설탕) 음료가 3.59 ± 0.06로 가장 높게 나타났다(Table 2).

3.2. 실험 음료의 완충능

실험 음료의 적정산도의 경우 종류에 따라 그 결과가 다양하게 나타났다. 모든 음료의 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.0}$의 값이 2.5 ~ 10.5 ㎖로 나타났다. 핫식스의 경우 종류에 상관없이 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.0}$이 각각 2.5와 4.5 ㎖로 가장 완충능이 높았으며, 몬스터 음료의 경우 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.0}$이 각각 7.5와 10.5 ㎖로 완충능이 가장 낮게 나타났다(Table 2).

3.3. 실험 음료의 부식능

각 에너지 음료에 침적한 뒤 시간의 흐름에 따른 우치의 부식정도를 QLF-D로 측정한 결과, 핫식스를 제외한 모든 군에서 6시간 침적과정동안 부식이 일어나지 않은 것으로 나타났다. 핫식스의 경우 침적 2시간 이후부터 시간이 지남에 따라 부식이 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다(Table 3, Figure 1).

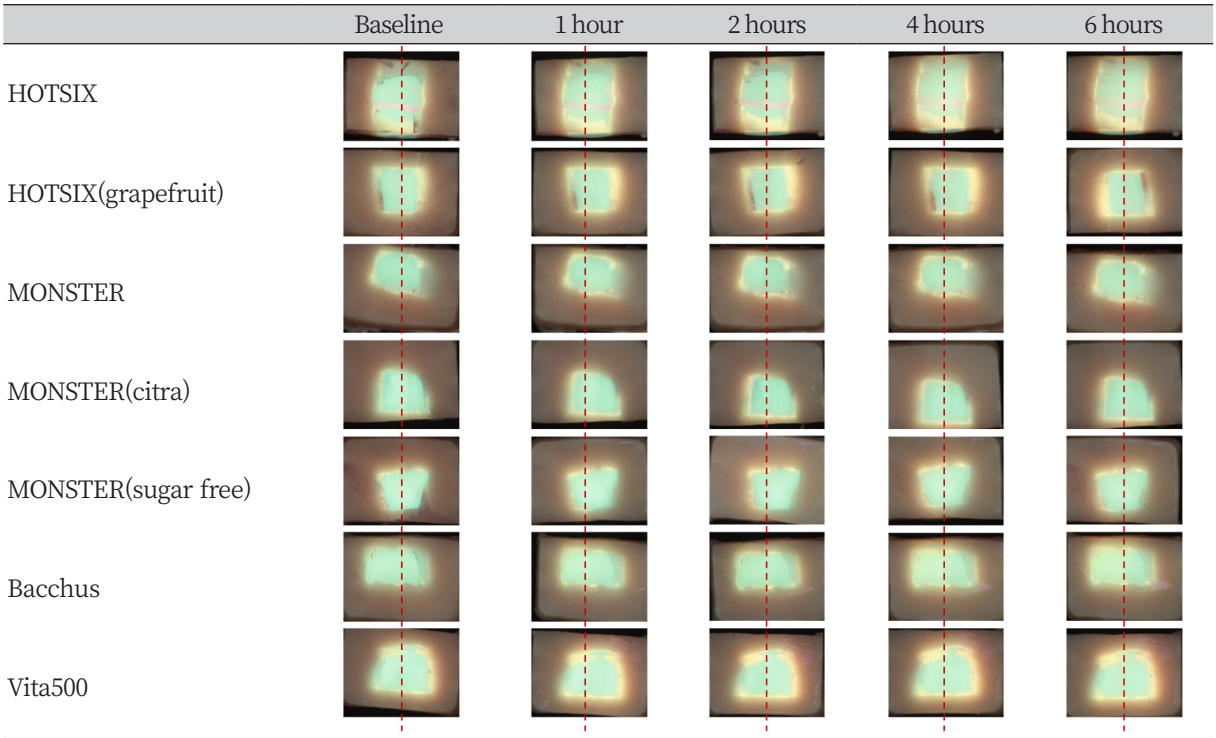
Table 2. pH, $TA_{5.5}$, $TA_{7.0}$ measured for test drinks.

	pH	$TA_{5.5}$	$TA_{7.0}$
HOTSIX(grapefruit)	3.42±0.05	2.5	4.5
HOTSIX	3.21±0.05	2.5	4.5
MONSTER	3.55±0.05	7.5	10.5
MONSTER(sugar free)	3.59±0.06	5	7.5
MONSTER(citra)	3.17±0.01	3	4.5
Vita500	2.84±0.07	5.5	7
Bacchus	2.49±0.02	5	6.5

pH, $TA_{5.5}$, and $TA_{7.0}$ indicate mean value

Table 3. Mean △F data for each group measured over 6 h.

	Baseline	1 hour	2 hours	4 hours	6 hours
HOTSIX	0	0	-3.5±3.0	-3.9±3.4	-4.1±3.6
HOTSIX(grapefruit)	0	0	0	0	0
MONSTER	0	0	0	0	0
MONSTER(citra)	0	0	0	0	0
MONSTER(sugar free)	0	0	0	0	0
Bacchus	0	0	0	0	0
Vita500	0	0	0	0	0



(left area: exposure area, right area: control area)

Fig. 1. Fluorescence images of the enamel specimen for each treatment group over 6h

4. 고안

이번 연구 결과 모든 에너지음료는 pH 4이하의 산성으로 나타났다. 이러한 결과는 선행연구들의 결과와 마찬가지로 에너지 음료에 들어있는 다양한 산의 종류에 의해 산성을 나타내는 것으로 보인다(15). 또한 완충능의 결과 비슷하게 나타났는데 선행연구에서는 핫식스의 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.7}$이 각각 1.71과 2.94로 나타났다(15). 하지만 핫식스는 가장 높은 완충능을 보인 제품으로 다른 에너지 음료의 경우 더 많은 NaOH 용액을 필요로 하여 낮은 완충능을 보이는 것으로 나타났으며 특히 몬스터 음료의 경우 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.7}$이 각각 7.5와 10.5로 핫식스에 비해 3배 가량 낮은 완충능을 보였다.

이번 연구에서 법랑질의 부식정도를 확인하기 위해 사용한 QLF-D는 많은 연구에서 치아우식증 뿐만아니라 치아 부식이나 마모를 탐지하는데에 널리 사용하고 있다. 이번연구에서는 치아의 마모정도를 확인하기 위해서 무기질 소실정도를 나타내는 ΔF를 사용하였다. 일반적으로 ΔF는 치아우식증의 정도를 확인하기 위해서 사용되는 지표이지만, 치아부식에 대한 QLF-D의 타당성연구에 따르면 transverse microradiography(TMR)의 ΔZ와 QLF-D의 ΔF의 상관성은 0.91로 매우 높게 나타나, TMR을 대신하여 비파괴적이며, 장기적인 연구에서 효과적으로 사용할 수 있는 지표라고 보고하였기에 이번연구에서 ΔF를 치아부식을 나타내는 지표로 사용하였다(16).

선행연구에 의하면 이번 연구에서 각 실험음료에 6시간동안 침적한 우치시편을 QLF-D로 촬영하여 △F를 측정한 결과, 핫식스를 제외한 모든 군에서 부식이 일어나지 않은 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 핫식스에 치아시편을 12시간 동안 담가둔 뒤 시편에서 나온 칼슘 농도를 측정한 결과 다른 에너지 음료에 비해 높은 칼슘 농도가 측정되었으며, 표면 경도 이번연구와 마찬가지로 감소한 것으로 나타났다(17, 18). 또한 김영석 등의 연구에 의하면 소주에 단독으로 부식했을 때는 치아 부식이 없었으나, 소주와 핫식스를 섞은 용액에 부식했을 때는 시간의 흐름에 따라 부식이 심해진다고 보고하였다(19). 이번 연

구에서도 시간이 지남에 따라 시편의 부식이 점차 심해지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 다른 에너지 음료의 경우 핫식스보다 낮은 pH와 적정산도를 나타냈음에도 불구하고 시간의 흐름에 따라 부식이 전혀 나타나지 않았다. 이렇게 pH와 완충능과 부식이 비례하여 나타나지 않는 것은 선행연구와 일치하였다(15). 정문진 등(15)이 연구한 선행연구에 따르면 에너지 음료의 pH와 이에 의한 치아의 표면 경도 감소 간에는 상관성이 없다고 보고하였다. 이는 치아 부식에 있어 단순히 pH와 적정산도만이 법랑질 부식에 영향을 주는 것이 아니라 그 이외에도 산의 종류와 함량, 칼슘, 인, 불소등의 농도가 영향을 미쳤을 것으로 보인다(20). 하지만 에너지 음료에 침적한 시편에서 부식이 발생하지 않은 것은 에너지음료에 치아시편을 침적했을 때 치아부식이 나타났다고 보고한 선행연구들과는 다른 결과였다. 비록 똑같은 음료를 가지고 실험한 연구는 없었지만 대부분의 연구에서는 에너지 음료에 침적 시 치아시편의 부식이나 법랑질 경도의 감소가 나타난 것으로 보고하였다(15, 17-19). 이러한 차이는 다양한 원인이 있겠지만, 실험디자인이나 실험에 사용한 음료 등의 차이로 사료된다.

이번 연구에서는 단순침적만을 통해 에너지음료의 부식가능성을 확인해보고자 하였기 때문에, 이는 실제 구강내에서 발생하는 재광화와 탈회 과정 및 타액의 완충작용 등 다양한 변수들을 반영할 수 없었다. 또한 QLF-D 하나만을 이용하여 치아부식정도를 확인하였기 때문에 추후 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 추가적인 연구가 시행되어야 할 것이며, 음료에 포함되어 있는 칼슘이나 인의 함량에 대해서도 조사해봐야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 이번 연구에서 사용한 에너지 음료 중 하나를 제외하면 부식이 발생하지 않았다. 하지만 다른 에너지 음료의 경우에도 낮은 pH와 완충능을 가지는 것으로 나타났기 때문에 치아 부식의 위험성이 있다고 할 수 있겠다.

5. 결론

시중에서 판매되고 있는 다양한 에너지 음료의 부식 위험도를 확인하기 위하여 음료의 pH, 완충능, 그리고 치아 부식 정도를 확인하기 위한 QLF-D를 이용하여 △F 값을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 에너지 음료 7종의 pH는 2.49 ± 0.02에서 3.59 ± 0.06 범위 안으로 나타나 pH 4.0 이하의 산성으로, 치아 부식 가능성이 있는 것으로 나타났다.

2. 적정산도 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.0}$에 필요한 1M의 NaOH의 양은 2.5 ~ 10.5 ㎖으로 다양하게 나타났으며, 이 중 핫식스의 $TA_{5.5}$와 $TA_{7.0}$가 각각 2.5 ㎖, 4.5 ㎖로 가장 적게 나타났으며, 몬스터의 경우 각각 7.5 ㎖와 10 ㎖으로 가장 크게 나타나 치아 부식 가능성이 제일 큰 것으로 나타났다.

3. QLF-D를 이용하여 우치 시편의 부식정도를 비교한 결과, 핫식스에 6시간 침적 후 △F가 -4.1 ± 3.6로 나타났으며, 시간의 흐름에 따라 값이 커지는 것으로 나타났다. 하지만 다른 에너지 음료에서는 치아 부식이 관찰되지 않았다.

이러한 결과를 종합해 볼 때, 에너지 음료의 낮은 pH와 적정산도에 의해 치아 부식 가능성이 있으며, 실제 치아 부식에는 그 외의 다양한 요인이 작용할 것으로 보인다. 에너지 음료의 치아 부식 가능성이 있기 때문에 과도한 에너지 음료의 섭취는 자제하고, 섭취 후 구강위생관리를 통해 부식 가능성을 낮춰야 할 것으로 보인다.

References

1. Pomeranz JL, Munsell CR, Harris JL. Energy drinks: an emerging public health hazard for youth. J Public Health Pol 2013;34(2):254-271. 10.1057/jphp.2013.6.
2. Boyle M CV. Monster on the loose. Fortune. Fortune 2006;154(13):116-122.
3. Walsh M, Marquardt K, Albertson. Adverse effects from ingestion of Redline (R) energy drinks. Clin Toxicol 2006;44(5):642.
4. Reissig CJ, Strain EC, Griffiths RR. Caffeinated energy drinks--a growing problem. Drug Alcohol Depen 2009;99(1-3):1-10. 10.1016/j.drugalcdep.2008.08.001.

5. Jager DH, Vieira AM, Ruben JL, Huysmans MC. Influence of beverage composition on the results of erosive potential measurement by different measurement techniques. Caries Res 2008;42(2):98-104. 10.1159/000116118.
6. Imfeld T. Dental erosion. Definition, classification and links. Eur J Oral Sci 1996;104(2):151-5. 10.1111/j.1600-0722.1996.tb00063.x.
7. Benjakul P, Chuenarrom C. Association of dental enamel loss with the pH and titratable acidity of beverages. J Dent Sci 2011;6(3):129-133. 10.1016/j.jds.2011.05.001.
8. Birkhed D. Sugar content, acidity and effect on plaque pH of fruit juices, fruit drinks, carbonated beverages and sport drinks. Caries Res 1984;18(2):120-127. 10.1159/000260759.
9. Lussi A, Jaggi T, Scharer S. The influence of different factors on in vitro enamel erosion. Caries Res 1993; 27(5):387-393. 10.1159/000261569.
10. ten Cate JM, Imfeld T. Dental erosion, summary. Eur J Oral Sci 1996;104(2 (Pt 2)):241-244. 10.1111/j.1600-0722.1996.tb00073.x.
11. Oddy WH, O'Sullivan TA. Energy drinks for children and adolescents. BMJ 2009;339:b5268. 10.1136/bmj.b5268
12. Oh JW, Chung JY. Energy drink consumption and dietary-, lifestyle-, and mental health-related behaviors in korean adolescents: based on the 10th–13th Korea youth risk behavior web-based survey. Korean J Health Promot 2019;19(3):145-154.
13. El Aidi H, Bronkhorst EM, Huysmans MC, Truin GJ. Dynamics of tooth erosion in adolescents: a 3-year longitudinal study. J Dent 2010;38(2):131-137. 10.1016/j.jdent 2009.09.012.
14. Lussi A, Jäggi T. Erosion—diagnosis and risk factors. Clin Oral Investig 2008; 12(1):5-13.
15. Jeong MJ, Jeong SJ, Son JH, et al. A study on the enamel erosion caused by energy drinks. J Dent Hyg Sci 2014;14(4):597-609.
16. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. The validation of quantitative light-induced fluorescence to quantify acid erosion of human enamel. Arch Oral Biol 2004;49(4):285-294. 10.1016/j.archoralbio.2003.11.008.
17. Kim MK, Jeon JH, Park HJ, et al. Effect of energy drinks on the dental enamel erosion and mouse teeth growth. KSBB J 2014;27(2):112-117.
18. Kim EJ, Kim HY, Shin SI, et al. Effects of energy drinks on enamel erosion. Korean Journal of Clinical Dental Hygiene 2015;3(1):21-28.
19. Kim YS. Difference of dental erosive potential according to the type of mixed drink. J Korea Acad Industr Coop Soc 2020;21(1):739-744. 10.5762/KAIS.2020.21.1.739.
20. Hooper SM, Hughes JA, Newcombe RG, Addy M, West NX. A methodology for testing the erosive potential of sports drinks. J Dent 2005;33(4):343-348. 10.1016/j.jdent.2004.10.002.