

원저

대한구강보건학회지 : 제 30권 제 2호, 2006  
J Korean Acad Dent Health Vol. 30, No. 2, 2006

# 시판 액상음료 섭취 시 Telemetry를 이용한 치태 pH 변화 측정

서동구, 김해선, 정승화, 최충호<sup>1</sup>, 권호근, 김백일

연세대학교 치과대학 예방치과학교실, 구강과학연구소, 구강악안면경조직재생센터

<sup>1</sup>전남대학교 치과대학 예방치과학교실

색인 : 시판 액상음료, 치아부식증, 치태 pH, Telemetry

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 청량음료나 과일주스 같은 각종 시판 액상 음료(soft drinks)의 소비가 급격하게 증가되고 있다. 미국의 경우 탄산음료를 포함한 각종 음료의 소비량이 매년 30% 이상 증가하여 지난 50년 동안 무려 500% 이상 증가되었고, 우리나라도 마찬가지로 최근 소비량이 크게 증가하고 있는 추세이다<sup>1,2</sup>. 특히 이런 음료의 주된 소비계층이 어린이나 청소년들이기 때문에 치아부식증(dental erosion) 및 치아우식증 같은 치아 경조직의 영구적인 손상이 우려되고 있다<sup>3,4</sup>. 우리나라에서도 대표적인 시판음료인 과일주스, 탄산음료 및 유음료 등으로 인한 치아 유해성에 대한 연구들이 진행되어 왔다<sup>10,13</sup>.

시판 액상음료는 크게 탄산음료, 스포츠음료, 과일음료, 발효유, 유음료 등으로 나눌 수 있는데 유음

료를 제외한 나머지에서는 음료자체가 치아 법랑질의 탈회 임계 pH 이하의 산성도를 가지고 있으므로, 이러한 음료를 자주 섭취 하거나 취침 직전에 섭취 하면 치아표면의 탈회가 크게 증가하게 된다. 따라서 이런 산성 음료를 섭취한 후에 구강 내 정상 pH로 되돌아가기까지의 시간은 매우 중요하다<sup>10</sup>.

각종 음료의 탈회성을 평가하기 위해서 Stephen은 치태의 pH를 치아우식유발성을 평가하는 실험 변수로 사용하였는데<sup>15</sup>, 이는 당질을 섭취하고 나서 발효될 때 치태 내 pH가 떨어진 후 점차적으로 회복되어가는 Stephen curve로 널리 알려져 있다. 지금까지 치태 pH를 측정하기 위해서는 크게 3가지 방법이 이용되어 왔다. 첫 번째 방법은 antimony<sup>16,17</sup> 혹은 glass 전극을 치태표면에 직접 갖다 대어 pH를 측정하는 미세전극 접촉법(micro-touch)이고, 두 번째는 치태 표본을 채취하여 외부 실험실에서 pH를 측정하는 치태채취법(scraping method)<sup>18</sup>이며, 세

번째로는 미세전극을 매식한 가철성 장치를 구강내에 장착하여 전극 위에 직접 치태 침착을 유도한 뒤 치태 내 pH 변화를 측정하는 Telemetry 방법이 있다. 본 연구에서 사용한 Telemetry 방법은 스위스의 Graf와 Mühlemann<sup>19,20)</sup>에 의해서 최초로 개발된 방법이다. 이 방법은 일반적인 식품 섭취법에 의해 치아표면에서 가장 가까운 부위에서 치태 내 pH 측정이 가능할 뿐만 아니라 식품이 타액 분비에 미치는 영향도 소견에 포함될 수 있다. 또한 치태의 pH를 구강 내에서 연속적으로 측정 가능한 방법이며 가장 정밀하게 측정할 수 있는 방법이다. 스위스의 국제 치아 건강 식품 협회 (Toothfriendly Sweets International)에서는 가공식품의 치아우식유발성 및 치아부식유발성 평가를 위해 이러한 Telemetry 방법을 이용하며, 특정식품 섭취 후 치아표면의 치태 pH가 5.7 이하로 내려가지 않으면 치아건강마크 (Tooth Friendly Mark)를 부여하고 있다. 최근에는 대용 감미료인 Xylitol, Sorbitol, Maltitol, Isomalt 등의 우식비유발성 평가에도 이 방법을 활용하고 있다

21,22)

그 동안 국내의 선행연구들을 살펴보면 음료자체에 대한 pH 측정 및 범랑질의 탈회에 대하여 연구하였고, 소비자 평가원에서 음료의 안전성에 대한 실태조사를 시행하였다<sup>10,13,23)</sup>. 하지만 이러한 선행 연구들은 단순히 음료의 pH만을 측정하거나 치태 내 pH를 측정할 때도 미세전극 접촉법으로만 측정해왔다. 국내 연구 중에서 Telemetry를 이용해서 치태 내 pH를 원격 측정할 최초의 연구로는 10년 전 한과 그래프<sup>20)</sup>가 극소량의 자당이 함유된 식사의 우식유발성을 알아보기 위해서 국소의치를 변형한 형태의 방법을 사용한 적이 있었다. 그러므로 본 연구는 최근에 개발된 새로운 Telemetry 방법을 이용하여 각종 시판 음료의 시간에 따른 치태 내 pH 변화와 회복속도를 측정함으로써 치아 탈회 및 치아우식유발 위험성을 살펴보고자 하였다.

## 2. 연구재료 및 방법

### 2.1. 연구대상 및 재료

본 연구에 참여한 대상자는 연세대학교에 재학 중인 학생 중 연령층이 20대인 지원자를 받아 구강검사를 시행하여 현재 진행 중인 치아우식증이 없고 10% glucose 용액을 머금은 상태에서 pH가 5.0 이하로 이행되는 4명의 학생을 연구 피검자로 선정하였다. 모든 참여자들로부터 사전에 실험동의서를 받은 후 본 실험을 진행하였다. 피검자는 모두 여성이었으며, 평균연령은 23.2세였다. 피검자들에게 5분간 파라핀 왁스를 씹게 하여 측정할 자극성 타액 분비량은 1.26 ml/min이었다.

본 연구에서 사용한 액상 음료는 국내에서 시판되는 제품으로써 크게 탄산음료, 과즙음료, 스포츠음료, 발효음료, 가당 커피 등으로 분류할 수 있었으며, 각 음료군 중에서 시장점유율이 높은 제품을 중심으로 선정하였다. 각 음료군 별로 선택된 제품명과 그 세부 조성은 다음과 같다(Table 1).

### 2.2. 구강 내 장치의 제작

피검자를 대상으로 상·하악 인상을 채득한 후 석고를 부어 구강모형을 만든 뒤 아크릴릭 레진과 0.7 mm wire를 이용하여 하악 제 2소구치와 제 2대구치를 대상으로 구강 내 유지 장치를 제작하였다(Fig. 1). 하루 동안 장치를 장착해 보고 불편한 곳이 있는지 확인해서, 불편한 곳이 없으면 장치에 인공 Hydroxyapatite(HA, APP-100, 펜타ックス株式会社, Japan)가 위치될 window를 형성하고 미세전극이 들어갈 수 있는 공간을 형성하였다. 본 실험에서 사용한 미세전극 (MEPH-1, Beetrode, WP Instruments, USA)은 침단부 직경이 100  $\mu$ m, 길이가 5 mm인 제품을 사용했으며, 이것을 pH 측정기(720 pH/ISE meter, Orion Research Inc, USA)에 연결하여 사용하였다. 인공 HA를 3×3 mm로 만든 후 장치

Table 1. Products and compositions of testing drinks in experiments

Classification of soft drinks	Product name (Company)	Chemical composition
Carbonated drinks	Coca-cola <sup>®</sup> (Coca-cola korea)	liquefied fructose, carbonic acid gas, caramel color, phosphoric acid
Fruit drinks	Orange juice <sup>®</sup> (Lotte Chilsung)	concentrated orange juice, liquefied fructose, calcium, orange fragranc, citric acid, vitamine C
Sports drink	Gatorade <sup>®</sup> (Lotte Chilsung)	liquefied fructose, liquefied fructose, citric acid, DL-malic acid, tri-natrium citrate
Fermented drinks	Yoghurt <sup>®</sup> (Seoul milk)	skim milk, skim milk powder, whey powder, liquefied fructose
Sugared coffee	Nescafe regular <sup>®</sup> (Coca-cola korea)	concentrated coffee powder, sugar, whole milk powder, skim milk powder, sodium hydrogen carbonate

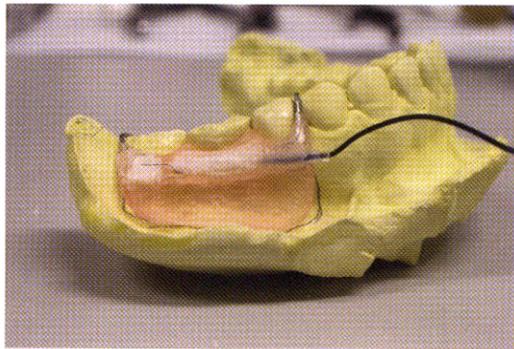


Fig. 1. Telemetric appliance with micro-electrode and artificial hydroxyapatite

에 형성된 window에 인공 HA를 위치시키고 변연 부위를 아크릴 레진으로 처리하여 장치에서 분리되지 못하도록 하였다. 인공 HA 부위에 미세전극 끝을 위치시키고 형성해 놓은 홈에 미세전극 전선 부위를 위치시킨 뒤 아크릴 레진으로 덮어 매몰시켰다. 완성된 장치는 하루 동안 물속에 보관해서 유해한 레진 성분이 모두 용출되도록 하였다.

2.3. 실험방법

미세전극위에 치태가 침착될 수 있도록 완성된 장치를 피검자에게 3일간 장착하도록 하였다. 이때 장치는 음식물 섭취나 양치 시에만 구강 내에서 제거하도록 하였고, 그 이외 시간에는 계속 장착하고 있도록 하였다. 치태가 얇게 전 미세전극의 면을 덮고

있는 것이 확인되면 본 실험을 시작하였다. 피검자를 의자에 앉히고 pH 측정기와 측정값을 읽어내는 컴퓨터를 연결한 후 피펫을 이용하여 시료 1 ml를 구강 내 장치의 미세전극 첨단부위에 뿌려준 후 30분 동안 pH 변화를 관찰하였다. 30분 후에는 피검자의 정상 구강 내 pH로 회복시키기 위하여 파라핀 왁스를 씹게 하였다. 피검자가 원래 구강 내 pH로 회복되면 위의 방법을 반복하여 다음 시험음료를 측정하였다.

각 음료별 치태 pH 변화는 5초 간격으로 30분 동안 연속해서 측정하여 시간별 pH 변화 정도를 평가하였다. 또한 Fejerskov 등<sup>25)</sup>과 Larsen과 Pearce<sup>26)</sup>는 pH 변화를 나타낸 그래프를 이용하여 다양한 면적을 구함으로써 pH 변화를 양적으로 나타내고자 시

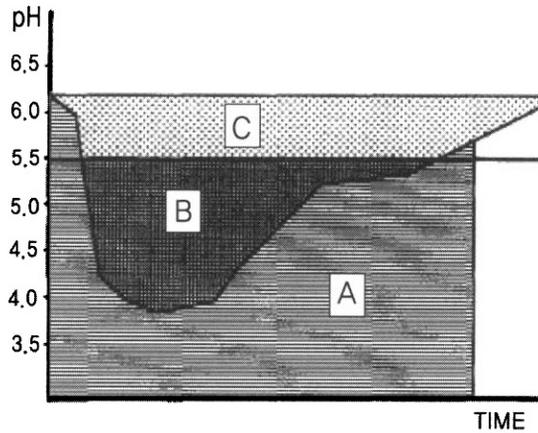


Fig. 2. Curve showing pH changes as they may occur in dental plaque after consumption of carbohydrates. Three areas have been used for comparison of cariogenic potentials of food containing carbohydrates: A, the area under the pH curve and a pH value(here pH 3); B, the area between a critical pH and the pH curve; C, the area between resting pH and a critical pH<sup>26)</sup>

도한 바 있다(Fig. 2). 따라서 본 연구에서는 Larsen 과 Pearce<sup>26)</sup>가 이용한 다양한 부분의 면적 중 기준 pH와 pH 곡선사이의 면적(Fig. 2에서 B)을 구함으로써 시간에 따른 각 음료에 의한 구강 내 pH 변화를 정량화시켰다. 시간은 초기 급격한 pH 변화와 계속적인 pH 변화를 반영하기 위해서 0-2분까지 시점과 0-30분까지의 두 가지 시점에서 분석하였다. 기준 pH는 법랑질의 용해가 시작되는 임계 pH인 5.5와 상아질의 용해가 시작되는 임계 pH인 6.2<sup>27)</sup>로 정하였고, 기준 pH와 pH 곡선사이의 면적(Fig. 2에서 B)을 Area Under the Curve(이하 AUC)로써 정의하였다<sup>25,26)</sup>.

2.4. 통계분석

실험 결과 pH가 6.2 이하로 떨어지지 않은 커피를 제외한 나머지 음료를 중심으로 통계 분석을 시행하였다. 커피를 제외한 각 음료별로 시간에 따른 pH 값의 차이가 존재하는지를 보기 위해서 반복 측정된 분산분석을 이용하여 분석하였으며, 다중비교를 위해 Duncan 검정을 실시하였다. 또한 각 음료별 AUC의 차이는 일요인분산분석을 이용하였으며, 다중분석으로는 Duncan검정을 이용하였다. 모든 통

계분석에는 SAS 8.1 통계팩키지(SAS Institute Inc, Cary, USA)를 활용하였다.

3. 연구성적

3.1. 시간에 따른 구강 내 치태 pH의 변화

각종 음료를 구강 내 장치에 투여한 후, 시간에 따른 pH 변화 양상을 살펴보면, 음료 자체의 낮은 pH로 인하여 음료를 구강 내 장치에 투입한 직후에는 pH의 급격한 감소가 나타났다. 콜라를 구강 내 장치에 투입한 직후 치태 pH가 4.69까지 급격하게 떨어졌다가 초기 20초 안에 빠르게 법랑질의 탈회 임계 pH인 5.5까지 회복되었으며, 그 후 30분 이내에 서서히 정상 pH로 회복되었다. 오렌지주스의 경우도 콜라와 마찬가지로 투입한 직후 pH가 5.43까지 내려갔다가 초기 10초 만에 법랑질의 탈회 임계 pH를 회복하였으며, 그 이후에도 꾸준히 pH 5.5이상으로 회복하였다. 한편 스포츠음료(Gatorade<sup>®</sup>)를 시료로 투입한 직후에는 pH 5.17까지 급격한 하강을 보였고, 40초가 지나서야 법랑질의 탈회 임계 pH인 5.5까지 회복되었으나, 조사기간인 30분 동안 상아질의 탈회 임계 pH인 6.2까지는 회복되지 못했다. 그

Table 2. pH changes in all drinks

Time	Cola		Orange juice		Yoghurt		Coffee		Gatorade	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
0	6.98	0.54	6.99	0.71	7.03	0.48	7.11	0.83	6.78	0.32
5sec	4.69	0.50	5.43	0.64	5.10	0.38	7.41	0.88	5.17	0.41
10sec	5.29	0.77	5.51	0.71	5.25	0.39	7.35	0.91	5.42	0.58
15sec	5.56	0.78	5.60	0.71	5.31	0.38	7.35	0.90	5.54	0.58
20sec	5.71	0.77	5.70	0.72	5.33	0.37	7.34	0.90	5.38	0.37
25sec	5.79	0.74	5.75	0.70	5.34	0.37	7.34	0.89	5.47	0.34
30sec	5.84	0.73	5.76	0.69	5.36	0.34	7.34	0.88	5.46	0.36
40sec	5.82	0.76	5.81	0.70	5.36	0.35	7.34	0.86	5.52	0.35
50sec	5.91	0.74	5.84	0.67	5.31	0.32	7.34	0.86	5.54	0.37
60sec	5.95	0.73	5.86	0.67	5.31	0.32	7.34	0.86	5.56	0.40
80sec	5.99	0.72	5.92	0.67	5.31	0.32	7.22	0.76	5.58	0.42
100sec	6.01	0.71	5.96	0.67	5.34	0.33	7.34	0.82	5.62	0.43
120sec	6.06	0.67	6.01	0.66	5.33	0.36	7.33	0.82	5.62	0.44
5min	6.10	0.61	6.23	0.70	5.37	0.41	7.27	0.80	5.72	0.34
10min	6.06	0.59	6.33	0.66	5.36	0.41	7.18	0.81	5.74	0.35
15min	6.12	0.53	6.42	0.73	5.47	0.35	7.10	0.82	5.77	0.36
20min	6.08	0.54	6.48	0.73	5.49	0.41	6.99	0.77	5.81	0.36
25min	6.09	0.60	6.53	0.76	5.54	0.39	6.99	0.82	5.85	0.35
30min	6.08	0.60	6.56	0.78	5.61	0.39	6.98	0.85	5.86	0.36

러나 요구르트를 시료로 투입한 직후에는 pH 5.10 까지 급격한 하강을 보인 후에 조금씩 pH가 회복되었으나, 조사시간인 30분 동안 범랑질 탈회 임계 pH 5.5까지의 회복은 이루어지지 않았다. 한편 가당 커피를 시료로 투입한 직후에는 pH가 오히려 상승하였으며 그 후 서서히 정상 pH로 내려갔으나, 상아질 탈회 임계 pH인 6.2 이하로는 내려가지 않았다(Table 2).

시료 투입 직후 기록된 최저 pH 순서별로 살펴보면 콜라(pH 4.69), 요구르트(pH 5.10), 스포츠음료(pH 5.17), 오렌지주스(pH 5.43), 커피(pH 7.41) 순으로 나타났다. pH 변화가 심했던 초기 2분간의 음료별 pH 변화량을 검정하기 위해서 0초, 20초, 40초, 60초, 80초, 100초, 120초에서 측정된 pH 값들을 종속변수로 두고 반복측정된 분산분석을 시행하고 Duncan 검정으로 다중분석을 시행한 결과 각 시간에서의 커피를 제외한 나머지 음료들간의 pH는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다

( $p > 0.05$ ).

음료를 투여하고 난 후, 피검자들의 구강 내 치태의 pH 변화를 초기 2분간(Fig. 3)과 전체 조사시간인 30분(Fig. 4) 동안의 시간별 평균값으로 나타낸 그래프를 살펴보면 요구르트와 스포츠음료에서는 시료 투입 직후 pH가 급격하게 떨어졌다가 약간 상승한 뒤 그 이후에는 변화가 거의 없거나 아주 완만하게 회복되어지는 양상을 보였다. 한편 콜라와 오렌지주스에서는 급격한 pH 하강 후 요구르트와 스포츠음료에 비해 빠른 pH 상승을 보여서, 상대적으로 구강 내 정상 pH로 빠르게 회복되었다. 커피의 경우 pH가 오히려 구강 내 정상 pH보다 상승하였으며, 그 후 초기 pH로 회복되는 양상을 확인할 수 있었다.

### 3.2. 음료별 치아의 탈회 임계 pH 선과 pH 곡선사이의 면적(AUC) 비교

각종 음료를 적용시킨 뒤 시간에 따른 구강 내 치

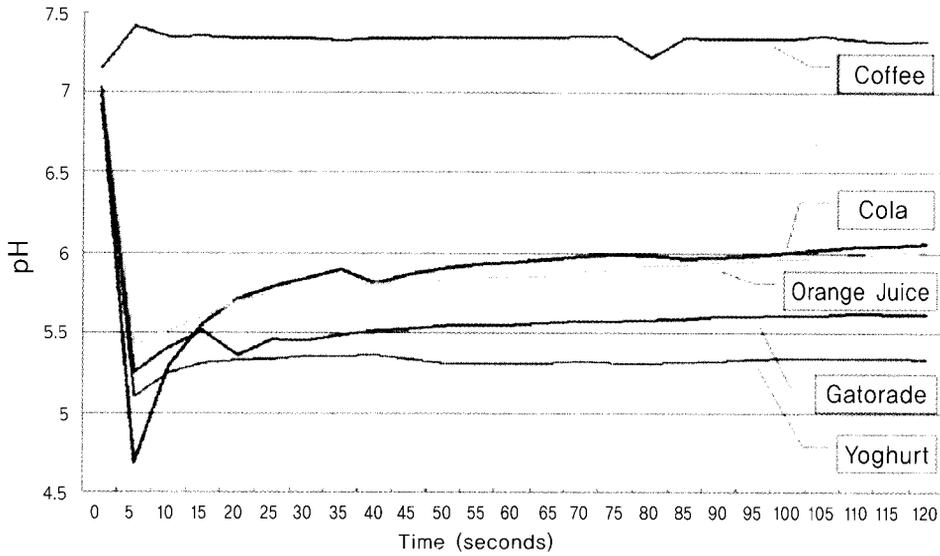


Fig. 3. pH changes in all drinks for 2 minutes.

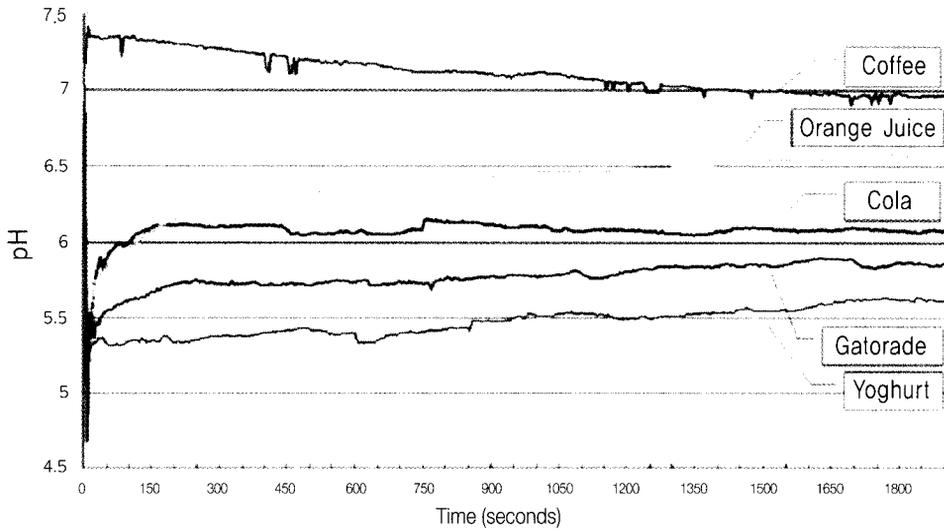


Fig. 4. pH changes in all drinks for 30 minutes.

태의 pH 변화를 나타낸 그래프에서 pH 5.5와 pH 6.2를 0-2분과 0-30분으로 구분하여 기준 pH와 pH 곡선사이의 면적을 구함으로써 치태의 pH의 변화를 계량화시켜서 측정하였다(Fig. 5, 6). 각 음료의 초기 탈회능력을 평가하기 위해서 측정 시간을 2분 이내로 한정하여 AUC를 살펴본 결과 기준 pH 5.5와 6.2 모두 요구르트가 가장 큰 값을 나타냈다. 즉,

요구르트가 다른 음료들에 비해서 가장 오랫동안 치태의 pH를 5.2 또는 6.2 이하로 유지시키는 음료임을 알 수 있었다. 두 번째로 높은 AUC 값을 보인 음료는 스포츠음료였으며, 세 번째는 콜라와 오렌지주스로서 거의 비슷한 정도의 AUC를 나타냈다. 한편, 커피의 경우 모든 피검자에서 구강 내 평균 pH보다 더 높은 값을 나타내었으므로 AUC를 산출하지 못

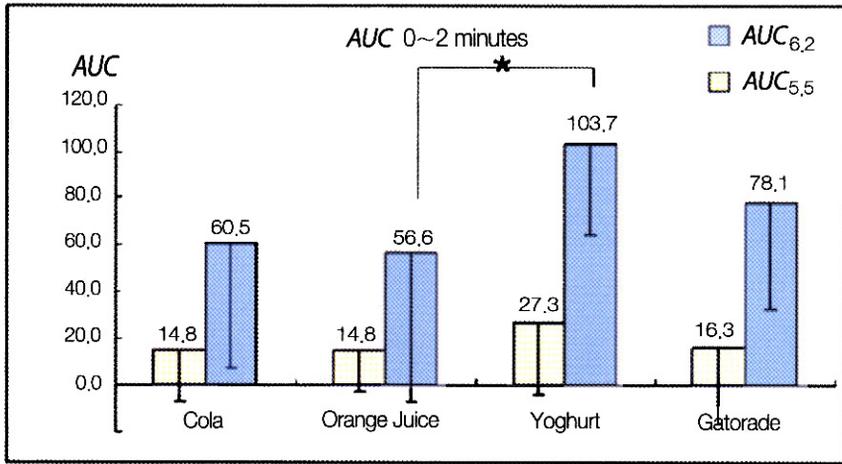


Fig. 5. Areas under the curve for pH 5.5 and pH 6.2 for the time intervals 0-2 minutes(mean value minus the standard deviation, \*p < 0.05 by ANOVA with Duncan test).

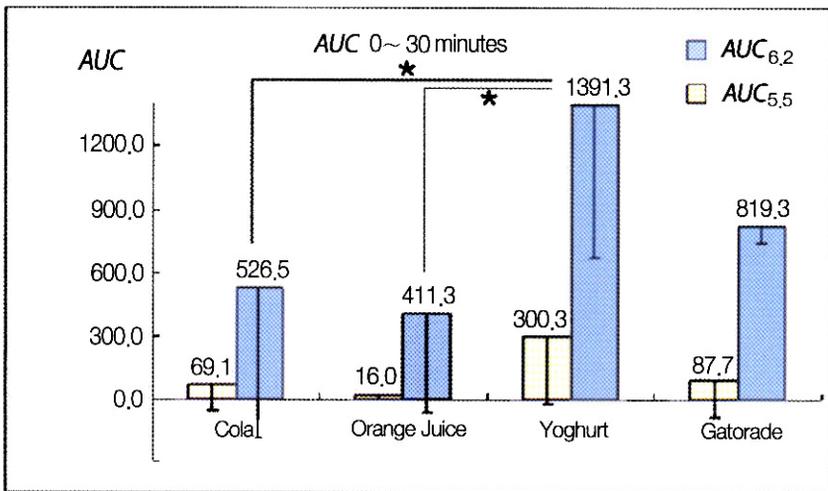


Fig. 6. Areas under the curve for pH 5.5 and pH 6.2 for the time intervals 0-30 minutes(mean value minus the standard deviation, \*p < 0.05 by ANOVA with Duncan test).

하였다. 커피를 제외한 각 음료 간에 AUC 값을 일요인분산분석으로 검정한 결과 초기 2분 동안에는 AUC<sub>6.2</sub>에서 오렌지주스와 요구르트 사이에서만 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p=0.048).

측정 시간 30분 동안 각 음료별 AUC를 비교한 결과, 요구르트, 스포츠음료, 콜라, 오렌지주스, 커피 순으로 나타났다. 각 음료간에 AUC 값을 일요인분산분석으로 검정한 결과 AUC<sub>6.2</sub>에서는 요구르트와 콜라(p=0.013), 요구르트와 오렌지주스(p=0.007)

사이에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

#### 4. 고 안

구강 내의 pH의 변화 중에서 특히 치태의 pH 변화는 치태의 산생성 능력과 치아우식유발가능성의 연구에 있어서 중요한 요인으로 여겨진다. 이러한 치태 내 pH 변화를 관찰하기 위하여 많은 방법들이 개발되어져 왔으며 현재 가장 신뢰성이 높은 방법이

Telemetry법이다. 기존의 미세전극접촉법과 치태 채취법에서는 pH를 측정할 때 실험용 치태의 내부 형태를 붕괴시키는 단점이 있었다. 그래서 Graf와 Mühlemann<sup>19,20)</sup>은 치태 내부구조의 교란없이 치태 pH를 연속적으로 측정하는 방법으로 Telemetry법을 고안하였다. Shields와 Mühlemann<sup>28)</sup>은 wire Telemetry를 이용하여 치태 pH와 불소농도를 측정하였는데 이때 만들어진 Stephen curve는 치태의 위치나 당질류의 종류와 발효정도, 피검자의 나이나, 타액분비율에 따라 곡선의 크기와 모양이 다르다고 보고하였다. Graf와 Mühlemann<sup>19,20)</sup>은 1970-80년대에 많은 논문들을 내놓았는데 몇몇 종류의 식품들을 Telemetry법으로 연구하여 실험 치태의 pH가 5.5 이하로 내려가지 않는 식품의 경우 "Safe for Tooth"라고 하였다. 또한 Imfeld<sup>29)</sup>는 치태 내 산생성이 작은 식품을 "Tooth Friendly"라고 명명하였다.

Telemetry법을 이용하여 구강 내 치태 pH 변화를 살펴보면 식품이나 음료가 범랑질 탈회 임계 pH인 5.5 이하로 내려가는 경우 치아탈회 및 치아우식 유발에도 많은 영향을 미친다. 최근에 경제발달 및 소비경향의 변화로 인하여 각종 액상 음료의 소비가 증가되고 있고 이로 인한 치아부식증 및 치아우식증의 증가가 큰 문제가 되고 있다<sup>3,5-7)</sup>. 특히 성장기에 있는 유아나 청소년의 경우 이러한 음료를 가장 많이 소비하는 계층이므로 이러한 영향이 더 클 것이다. 한국 청소년의 음료 소비실태와 소비의식을 살펴보면 청소년의 경우 여자는 콜라를 선호하고, 남자의 경우 스포츠음료를 더 선호하는 것으로 나타났으며 섭취 빈도는 평균 주 5회 정도 섭취하는 것으로 나타났다<sup>23)</sup>.

본 연구에서는 우리가 일상에서 쉽게 접할 수 있는 대표적인 액상 음료인 커피, 요구르트, 스포츠음료, 오렌지주스, 콜라를 마셨을 때 구강 내 치태 pH 변화를 살펴보기 위해서 미세전극을 구강 내 장치에 내장시켜 이용하였다. 본 연구에서 예비조사 때 음

료 자체 pH를 측정한 결과 콜라는 2.47, 오렌지주스는 3.87, 스포츠음료는 3.05, 요구르트는 3.64, 커피는 6.59로 커피를 제외한 나머지 음료들은 범랑질 탈회 임계 pH(5.5)보다도 상당히 낮은 pH를 나타냈다. Telemetry법으로 평가한 결과 커피를 제외한 나머지 모든 음료에서 치태 pH가 시료 투입 직후 초기에 범랑질 탈회 임계 pH인 5.5 이하로 급격하게 하강했으며, 정상 pH로 회복되는 양상은 음료마다 다양하게 나타났다. 요구르트와 스포츠음료의 pH 변화 곡선은 다른 음료와는 달리 정상 pH로 회복되는 양상이 아주 천천히 이루어짐을 알 수 있었다. 반면에 콜라와 오렌지주스의 경우 초기에 pH 하락 정도는 요구르트나 스포츠음료에 비하여 컷으나 정상 pH 이상으로 회복되는 속도는 더 빨랐다. 이러한 pH 변화양상에 영향을 미치는 요인들로는 각 음료에 첨가된 산의 종류, 해리도 차이, 그 음료에 반응하는 타액완충능 그리고 타액분비량 등으로 예상할 수 있다. 대부분의 기호성 음료에는 하나 이상의 식품첨가용 산이 함유되어 있는데 이들은 보통 다염기산(polybasic acid)의 형태를 갖고 있다. 이들 다염기산은 크게 유기산과 무기산으로 구분할 수 있는데 콜라에는 무기산인 인산(pKa: 12.67)이 첨가되어 있으며 오렌지주스와 스포츠음료에는 구연산(pKa: 4.76)과 같은 유기산이 주로 함유되어 있다. 최<sup>30)</sup>와 Yoshimura 등<sup>31)</sup>은 무기산인 경우 수소이온의 초기 농도는 높지만 해리도가 높아서 구강 내 노출 시 산이 빨리 해리되어 pH의 회복이 빠른 반면, 유기산의 경우 초기 수소이온의 농도는 상대적으로 낮지만 해리도가 낮아서 서서히 해리되며 그 결과 구강 내 pH의 회복속도는 느리다고 보고하였다. 또한 이들 다염기산은 칼슘과 결합(chelation)하는 능력이 크기 때문에 치아 표면에 부식을 유발시킬 수 있는 가능성이 매우 크며, 비록 현저하게 희석된다하더라도 계속해서 낮은 pH를 유지시킨다고 보고되고 있다<sup>32,33)</sup>. 한편 오렌지주스의 경우 유기산의 신 맛으로 인

한 자극 때문에 타액분비가 일부 증가되어 구강 내에서 타액의 완충력이 높아져서 pH의 회복이 상대적으로 빠른 것으로 보여졌다.

구강 내 치태 pH 변화를 상아질의 탈회 시작점인 pH 6.2와 법랑질 탈회 시작점인 pH 5.5를 기준으로 해서 이하 곡선의 면적(AUC)을 비교함으로써 pH 변화정도를 계량화해서 비교해 보았다. 그 결과 요구르트의 AUC가 0-2분과 0-30분 동안 pH 5.5나 6.2 모두에서 가장 큰 값을 나타내 가장 오랫동안 낮은 pH를 유지하고 있었음을 알 수 있었다. 스포츠음료가 두 번째로 높은 AUC를 나타냈으며, 콜라나 오렌지주스는 거의 비슷한 수준으로 그 다음을 차지하였다. 본 연구 결과 흔히 건강음료로 여겨지는 요구르트와 스포츠음료는 pH가 낮으면서도 섭취 후 구강 내 정상 pH로 회복되는 속도는 상대적으로 늦어서 치아탈회 및 우식 유발 가능성이 높은 음료로 사료되었다. 특히 스포츠음료의 경우 일반적으로 알려진 바처럼 중성의 pH가 아니라 음료 자체의 pH가 낮을 뿐만 아니라 pH 회복 속도도 더더서 치아 탈회 및 부식 유발성이 큰 음료로 평가되었다. 최근의 다른 선행연구들에서도 스포츠음료의 치아부식력에 대한 위험성이 지적된 바 있었다<sup>8,34,35</sup>. 또한 요구르트는 성인보다는 어린이들이 선호하는 음료이기 때문에 음용 횟수가 증가하거나 장시간 동안 구강 내에 머금고 있는 경우 치아 탈회가 급격히 증가될 수 있다. 특히 소아의 경우 성인에 비해서 음료를 섭취하는 양은 적지만 치아의 석회화 정도 및 타액에 의한 재광화 능력이 성인에 비하여 낮기 때문에 상대적으로 치아우식증에 이환될 가능성이 높다<sup>10,31</sup>.

한편 어머니들이 이유식 시기로의 전환기 때 젖병에 요구르트를 넣어 수유를 한다든지, 자녀들에게 탈수로 인한 수분공급을 위하여 스포츠음료를 젖병을 이용하여 공급하는 경우가 간혹 있을 수 있다. 이 경우 소아는 요구르트나 스포츠음료를 장기간 입안에 머금고 있기 때문에 치아가 산에 접촉하게 되는

시간이 증가되며 탈회의 위험성이 급격하게 증가하게 된다<sup>7,10,31</sup>. 그 결과 유치의 상악 전치부에 급격한 치질 손실을 유발하는 우유병 우식증이 발생할 수도 있다. 또한 운동선수와 같이 스포츠음료의 음용을 많이 하는 집단의 경우 치아부식이나 치아우식증에 대한 특별한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 국내 시판되는 모든 음료들을 조사하지는 못했고, Telemetry 연구의 특성상 많은 피검자를 대상으로 실험할 수 없었다는 점이다. 그러므로 향후에는 좀 더 다양한 음료들과 다양한 유형의 피검자들을 대상으로 한 추후연구가 필요하다고 생각된다. 이상의 결과들로 비추어 볼 때, 각종 시판 음료 섭취 시 다음과 제안 및 고려가 필요하다고 사료된다. 첫째 소비자들에게 특히 요구르트와 스포츠음료에 의한 치아 손상 가능성에 대해서 주지시켜야 할 것이고, 둘째 제조업체에서는 음료의 pH를 높이려는 방안을 모색해야 하며<sup>35</sup>, 세 번째 시판 액상 음료에도 음료의 산성도를 표시하는 등의 관련 제도 마련이 필요하다고 사료된다. 또한 음료의 바람직한 섭취방법으로는 소량씩 계속해서 마시는 방법(sipping)보다는 가능한 짧은 시간 내에 섭취하도록 하는 것이 바람직하다고 사료된다<sup>36</sup>.

## 5. 결 론

본 연구는 Telemetry를 이용하여 국내 시판되는 5가지 종류의 시판 액상 음료들에 대해서 시간에 따른 구강 내 치태 pH 변화를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 커피를 제외한 콜라, 오렌지주스, 스포츠음료, 요구르트에서는 시료 투입 직후 치태 pH가 법랑질의 탈회 임계 pH인 5.5 이하로 급격하게 떨어졌다.
2. 콜라는 시료 투입 직후 치태 pH가 4.69까지 급격하게 떨어졌으나 20초 후에는 pH 5.5를 회복했

- 으며 그 후 완만하게 정상 pH로 회복하였다.
3. 오렌지주스는 시료 투입 직후 치태 pH가 5.43까지 급격하게 떨어졌다가 10초 후에는 pH 5.5를 회복했으며 그 후 완만하게 상승하였다.
  4. 요구르트는 시료 투입 직후 치태 pH가 5.10까지 급격하게 떨어졌고, 20분이 경과한 후에도 pH 5.5까지 상승하지 못했다.
  5. 스포츠음료는 시료 투입 직후 치태 pH가 5.17까지 급격하게 떨어졌고, 40초 경과 후에도 pH 5.5를 회복하였으며, 조사기간인 30분 동안 상아질의 탈회 임계 pH인 6.2까지는 회복되지 못했다.
  6. 커피는 투입 직후 pH가 7.41까지 상승을 보인 후

점차 6.98까지 서서히 하강하였다.

7. 구강 내 치태의 pH 변화를 나타낸 pH 곡선에서 0-2분, 0-30분 동안 pH 5.5와 6.2를 기준으로 그 이하 면적을 AUC로써 나타냈을 때, 모든 경우에서 AUC 값은 요구르트, 스포츠음료, 콜라, 오렌지주스 순으로 나타났다.

본 연구결과 시판 액상 음료를 많이 섭취하는 청소년기 아동이나 소아뿐만 아니라 그들의 보호자들에게도 요구르트나 스포츠음료와 같은 음료에 대한 치아 탈회 및 우식유발 가능성에 대하여 주지시켜야 할 것으로 사료되었다.

## 참고문헌

1. Jacobson MF. Liquid candy-How soft drinks are harming American's health. [online] [http://www.cspinet.org/new/pdf/liquid\\_candy\\_final\\_w\\_new\\_supplement.pdf](http://www.cspinet.org/new/pdf/liquid_candy_final_w_new_supplement.pdf). 2006.01.05.
2. Euromonitor International. Soft Drinks in South Korea. [online] <http://www.giikorea.co.kr/korean/eo33438-soft-drinks.html>. 2006.01.05.
3. Dugmore CR, Rock WP. The prevalence of tooth erosion in 12-year-old children. *Br Dent J* 2004;196(5):279-282.
4. Jensdottir T, Amadottir IB, Thorsdottir I, et al. Relationship between dental erosion, soft drink consumption, and gastroesophageal reflux among Icelanders. *Clin Oral Investig* 2004;8(2):91-96.
5. Harding MA, Whelton H, O' Mullane DM, Cronin M. Dental erosion in 5-year-old Irish school children and associated factors: a pilot study. *Community Dent Health* 2003;20(3):165-170.
6. Shenkin JD, Heller KE, Warren JJ, Marshall TA. Soft drink consumption and caries risk in children and adolescents. *Gen Dent* 2003;51(1):30-36.
7. Moazzez R, Smith BG, Bartlett DW. Oral pH and drinking habit during ingestion of a carbonated drink in a group of adolescents with dental erosion. *J Dent* 2000;28(6):395-397.
8. von Fraunhofer JA, Rogers MM. Effect of sports drinks and other beverages on dental enamel. *Gen Dent* 2005;53(1):28-31.
9. Miyazaki H, Morimoto M. Changes in caries prevalence in Japan. *Eur J Oral Sci* 1996;104(4):452-458.
10. 김정호, 정태성, 김신. 수증 유산균 발효유의 범랑질 침식효과에 대한 연구. *대한소아치과학회지* 2004;31(4):556-563.
11. 이창윤, 김신, 정태성. 오렌지주스의 치아 범랑질 침식효과에 대한 연구. *대한소아치과학회지* 2004;31(4):617-623.
12. 이경호, 박수진, 정태성, 김신. 탄산음료의 범랑질 침식효과에 대한 연구. *대한소아치과학회지* 2005;32(1):144-151.
13. 김동원, 홍영관, 류해일. 탄산음료속의 Carbon Dioxide 및 Fluorine이 치아에 미치는 영향. *과학교육연구* 2001;32(1):1-9.
14. 백대일, 문혁수, 신승철, 김광수. 치아를 지키는 감미료. *서울:건강*;1998:15-37.
15. Stephen RM. Changes in hydrogen-ion concentration on tooth surfaces and in carious lesions. *J Am Dent Assoc* 1940;27:718-723.
16. Stephen RM, Miller BF. A quantitative method for evaluating physical and chemical agents which modify production of acids in bacterial plaques on human teeth. *J Dent Res* 1943;22:45-51.
17. Stephen RM. Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity. *J Dent Res* 1944;23:257-266.
18. Fosdick LS, Campaigne EE, Fancher O. Rate of acid formation in carious areas: the aetiology of dental caries. *Ill Dent J* 1941;10:86-95.
19. Graf H, Mühlemann HR. Glass electrode telemetering of pH changes of interdental human plaque. *J Dent Res*

- 1965;44:1139(Abstract No. 3).
20. Graf H, Mühlemann HR. Telemetry of plaque pH from interdental area. *Helv Odontol Acta* 1966;10(2):94-101.
  21. McNutt K. Sugar replacers and the FDA noncariogenicity claim. *J Dent Hyg* 2000;74(1):36-40.
  22. Stosser L, Tietze W, Kunzel W, Limberger K. Intraoral pH measurement by determination of acidogenic potentials of dietary materials. *Oralprophylaxe* 1990;12(4):145-153.
  23. 소비자안전센터 식의약안전팀. 어린이 음료 및 발효유 안전성 실태조사 요약. 서울:한국소비자보호원;2005:5-6.
  24. 한수부, 한스 그래프. 저당 식단 시 치태 pH 원격측정 방법에 의한 우식유발 잠재성 연구. *대한구강보건학회* 1995;19(4):525-530.
  25. Fejerskov O, Scheie AA, Birkhed D, Manji F. Effect of sugarcane chewing on plaque pH in rural Kenyan children. *Caries Res* 1992;26(4):286-289.
  26. Larsen MJ, Pearce EI. A Computer program for correlating dental plaque pH values, cH+, plaque titration, critical pH, resting pH and the solubility of enamel apatite. *Arch Oral Biol* 1997;42(7):475-480.
  27. 김진범. 충치예방을 위한 불소의 활용. 서울:대한나래출판사;2003:22.
  28. Shields WF, Mühlemann HR. Simultaneous pH and fluoride telemetry from the oral cavity. *Helv Odontol Acta* 1975;19(1):18-26.
  29. Imfeld T. "Safe for Teeth" confectionery and the International Sympadent Federation. *Rev Belge Med Dent* 1992;47(3):59-66.
  30. 최홍식. 식품과 현대인의 식생활. 서울:지구문화사;1999:66.
  31. Yoshimura N, Okazaki M, Nakagawa N. Simultaneous estimation of the dissociation constant and concentration by a linear least-squares method with non-negative constraint. *Anal Sci* 2000;16(12):1331-1335.
  32. Bartlett DW, Bureau GP, Anggiansah A. Evaluation of the pH of a new carbonated soft drink beverage: an in vivo investigation. *J Prosthodont* 2003;12(1):21-25.
  33. 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(7-8):313-317.
  34. 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.
  35. Ramalingam L, Messer LB, Reynolds EC. Adding casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate to sports drinks to eliminate in vitro erosion. *Pediatr Dent* 2005;27(1):61-67.
  36. 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(6):484-489.

Abstract

## Measurement of intra-plaque pH and recovery speed of soft drinks by Telemetry

Dong-Gu Seo, Hae-Sun Kim, Seung-Hwa Jeong, Choong-Ho Choi<sup>1</sup>, Ho-Keun Kwon, Baek-II Kim  
*Department of Preventive Dentistry and Public Oral Health, Oral Health Research Center,  
 Research Center for Orofacial Hard Tissue Regeneration, College of Dentistry, Yonsei University*  
<sup>1</sup>*Department of Preventive Dentistry, College of Dentistry, Chonnam University*

**Key Words :** intra-plaque pH, soft drink, telemetry

**Objectives:** The soft drinks affect directly on the teeth decalcification and cariogenicity. The purpose of this study was to measure intra-plaque pH by telemetry during the intake of several soft drinks in Korea.

**Methods:** Telemetry was used for measuring continuous intra-plaque pH change with micro-electrode for four subjects. By using this method, intra-plaque pH change and recovery speed was measured during intake of carbonated drinks(Coca-Cola®), sports drinks(Gatorade®), orange juice, yoghurt and sweetened can coffee. For measuring change of pH, Area Under the Curves(*AUC*) were calculated for 0-2 and 0-30 minutes by critical pHs.

**Results:** The plaque pH of Coca-cola was rapidly decreased to pH 4.69 directly after injection and after 20 seconds recovered to critical pH 5.5. In orange juice, plaque pH was also rapidly decreased to pH 5.43 directly after injection and after 10 seconds recovered to pH 5.5. Plaque pH of yoghurt was decreased to pH 5.10 directly after injection; however, it did not recover to pH 6.2 until 30 minutes. Plaque pH of sports drink(Gatorade®) was also rapidly decreased to pH 5.17 directly after injection and recovered critical pH 5.5 after 40 seconds. In sweetened can coffee, plaque pH was raised to pH 7.41 directly after injection and then decreased slowly to 6.98. According to the measurement of plaque pH changes by *AUC*, yoghurt, gatorade, cola, orange juice and coffee, in that order, were the highest values of *AUC* for 0-2 minutes and 0-30 minutes. There were significant differences in *AUC*<sub>6.2</sub> between yoghurt and orange juice for 0-2 minutes and in between yoghurt and cola, orange juice during 0-30 minutes.

**Conclusions:** These results show that yoghurt has the high potential for tooth decalcification and cariogenicity. Therefore, there is necessary special caution to children and their parents against frequent intake of soft drinks or drinking before sleeping.