

다양한 탄수화물 분해에 따른 xylitol-sensitive *Streptococcus mutans*와 xylitol-resistant *Streptococcus mutans*의 특성 비교

김지혜¹, 이영은², 안상현², 최연희¹, 송근배^{1*}
¹경북대학교 치의학전문대학원 예방치과학교실, ²대구보건대학 치위생과

Comparison of characteristics of xylitol-sensitive and xylitol-resistant *Streptococcus mutans* by use of various carbohydrates

Ji-Hye Kim¹, Young-Eun Lee², Sang-Hun Ahn², Youn-Hee Choi¹
and Keun-Bae Song^{1*}

¹Dept. of Preventive Dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University,

²Dept. of Dental Hygiene, Daegu Health College

요 약 본 연구는 다양한 탄수화물 아래에서 자일리톨 감성균주와 내성균주의 치아우식과 관련된 특성을 비교해보고자 하였다. 이를 위하여 1% 자일리톨이 첨가된 TYE 배지에서 *S. mutans*를 30일간 배양하여 자일리톨 내성균주를 형성하였으며, 이후 0.5% 포도당이 포함된 배지에 자당, 과당, 엿당을 첨가하여 성장, 산생성, 세포외부 다당류 합성 정도를 평가하였다. 자일리톨 내성균주는 자일리톨 감성균주에 비해 과당을 제외한 모든 탄수화물 상에서 최종 성장이 유의하게 낮았으며($p < 0.05$), 산생성에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 자일리톨 내성균주의 세포외부 다당류 합성은 과당을 제외한 모든 탄수화물 상에서 대체로 자일리톨 감성균주에 비해 낮았으며, 특히 엿당 상에서 뚜렷하게 낮았다. 이상의 결과들을 종합해 보았을 때, 자일리톨 감성균주와 내성균주의 독력인자 발현 정도는 탄수화물의 종류에 따라 차이를 보이는 하나, 자일리톨 내성균주의 독력이 자일리톨 감성균주에 비해 대체로 낮으므로, 자일리톨의 장기적인 섭취에 의해 형성된 구강 내 자일리톨 내성균주는 자일리톨 감성균주에 비해 치아우식예방에 더 유리할 것으로 생각된다.

Abstract The aim of this study was to investigate the capacity of the xylitol-sensitive(Xs) and xylitol-resistant(Xr) *S. mutans* to induce dental caries in the presence of various carbohydrate. *S. mutans* KCTC3065 was cultured with 0.4% glucose and 1% xylitol in TYE medium for 30 days at 37°C, 10% CO₂ to form Xr *S. mutans*. Both Xs and Xr strains were cultured in four different carbohydrate environments; 0.5% glucose containing basal culture TYE medium(G-TYE), G-TYE plus 0.5% sucrose, G-TYE plus 0.5% fructose, G-TYE plus 0.5% maltose. Then cell growth, acid production, and extracellular polysaccharides synthesis were analyzed. The final growth level and extracellular polysaccharides contents in the Xr strain were significantly lower than in the Xs strain in all carbohydrates except fructose. While, acid production was no significantly difference between Xs and Xr strain. These results indicate that the virulence of Xr strains is significantly lower than that of Xs strains, which supports Xr strains may be less cariogenic than Xs strains.

Key Words : Carbohydrates, Resistance, *Streptococcus mutans*

본 논문은 2010년도 기본연구지원사업(유형2)(201013010000) 연구비와 충치예방연구회의 일부 지원에 의하여 수행되었음.

*교신저자 : 송근배(Kbsong@knu.ac.kr)

접수일 11년 08월 22일

수정일 11년 09월 06일

게재확정일 11년 10월 06일

1. 서론

치아우식증은 치면세균막 내의 세균들이 음식으로 섭취한 탄수화물로부터 높은 농도의 유기산을 생산하고, 이 유기산들에 의해 법랑질이나 치면 탈회를 수반하여 유발된다. 사람의 구강 내에는 매우 다양한 종의 세균이 존재하지만 치아우식증과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려진 것은 *Streptococcus mutans*(*S. mutans*)가 대표적이다[1]. *S. mutans*는 다른 세균들보다 상대적으로 산내성 경향이 높고[2], 다양한 종류의 탄수화물을 발효시킬 수 있어 다량의 산을 생성할 수 있다[3]. 또한 자당으로부터 glucosyltransferase(GTF)를 이용하여 세포외부에 글루칸을 형성함으로써 치면에 집락화를 증진시키고, 탄수화물로부터 생성된 산과 지속적으로 접촉하게 되면서 법랑질 탈회를 가속화시킨다[4,5].

따라서 *S. mutans*의 수 및 독력을 억제시켜 치아우식증을 예방하기 위한 다양한 노력들이 행해지고 있으며, 최근에는 자일리톨이 가장 주목을 받고 있다. 많은 임상연구에서 자일리톨의 섭취가 타액과 치면세균막 내의 *S. mutans*의 수적인 감소를 초래한다고 보고하고 있으며 [6-8], 여러 실험실 연구들 역시 자일리톨이 *S. mutans*의 성장 및 독력을 억제시켜 치아우식증을 예방한다고 보고하고 있다[9,10]. 그러나 Gauthier 등[11]은 *S. mutans*가 자일리톨에 지속적으로 노출되면 자일리톨에 대한 민감성을 상실하여 더 이상 증식억제가 일어나지 않는 균주가 형성된다고 주장하였으며, Trahan과 Mouton[12]은 자일리톨을 장기간 섭취한 사람의 구강 내에서도 자일리톨에 내성을 갖는 균주가 발견되었다고 보고하였다. 이처럼 자일리톨에 지속적으로 노출될 경우 더 이상 자일리톨에 의해 성장이 억제되지 않는 변이종이 형성되는데, 이러한 균주를 자일리톨에 내성을 가졌다고 하여 자일리톨 내성균주(xylicitol-resistant *S. mutans*: Xr)라고 하며, 자일리톨에 의해 성장이 억제되는 균주를 자일리톨 감성균주(xylicitol-sensitive *S. mutans*: Xs)라 한다.

자일리톨 내성균주가 더 이상 자일리톨에 의해 성장억제가 되지 않는다면 자일리톨의 치아우식 예방 효과는 소실되므로 자일리톨 내성균주의 독력에 관한 관심이 증대되고 있다. 최근 이 등[13]은 실시간 중합효소연쇄반응을 통하여 자일리톨 감성균주와 내성균주의 *gtf* 발현을 조사한 결과, 자일리톨 내성균주의 *gtfB*와 *gtfC* 발현은 감성균주에 비해 감소하는데 반해, *gtfD*의 발현은 오히려 증가하였다는 결과를 바탕으로 세 유전자들이 서로 독립적으로 작용하며, 이들 유전자들의 변형이 자일리톨의 치아우식 예방효과의 작용기전 중 하나라고 밝혔다. Trahan 등[14]은 치면세균막 내의 자일리톨 내성균주의 비율이

타액에 비해 현저히 낮다는 사실을 확인함으로써 자일리톨 내성균주가 감성균주에 비해 부착능력이 낮고, 이로 인하여 치면세균막으로부터 타액으로의 유리가 용이하게 되어 세균의 분포에 영향을 줄 수 있다고 하였다. 이 등 [15]도 자일리톨 내성균주는 감성균주와 성장 및 산생성, 수산화인회석 부착에는 차이를 나타내지 않지만, 자당의 존성 수산화인회석 부착능은 더 낮으며, 타액 유도성 응집은 더 높은 반응성을 보인다는 것을 확인함으로써, 자당의 노출이 빈번한 구강 내 환경에서 자일리톨 내성균주가 감성균주에 비해 치아 표면에 대한 부착 세균수가 적게 되고, 타액에 의해 응집이 잘되어 치면세균막 내에서 탈락되기 용이하게 됨으로 치아우식유발능이 더 낮을 수 있다고 하였다. 이에 반해, Assev 등[16]은 자일리톨 내성균주와 감성균주는 다당류 생성에 차이를 보이지 않았으며, 오히려 자일리톨 내성균주가 더 많은 유산을 생산한다고 보고하여 자일리톨 내성균주의 우식유발능력이 감성균주에 비해 약하지 않을 수도 있다고 하였다. Lavoie와 Trahan[17] 역시 실험균주의 경우 자일리톨 내성균주의 유리 표면에 대한 자당 의존적인 부착 능력이 감성균주에 비해 2배 더 높게 나타났다고 하였다. 이와 같이 상반되는 결과들로 인하여 자일리톨 내성균주의 우식유발능력이 자일리톨 감성균주에 비해 약화되었다고 단정지을 수는 없으며, 아직 확실한 결론을 얻지 못하고 있다. 그러므로 자일리톨 내성균주의 형성 기전 및 원인을 밝히고, 자일리톨 감성균주와의 특성 차이를 밝히는 것은 매우 중요하다.

또한 *S. mutans*와 탄수화물은 서로 밀접한 관련을 가지고 있으므로 자일리톨 내성균주의 형성 및 독력변화에도 탄수화물이 상당한 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 김 등[18]은 자당 존재 하에서 자일리톨이 *S. mutans*의 부착능은 감소시키지만 증식과 산생성에는 별다른 효과를 나타내지 못한다고 하였으며, Kakuta 등[19]과 김 등[20]은 과당 존재 하에서 자일리톨이 *S. mutans*의 성장을 억제시키지 못한다고 하여 에너지원으로 공급되는 탄수화물의 종류에 따라 자일리톨이 영향을 미치는 독립인자가 서로 다를 수 있음을 확인하였다. 이밖에도 Trahan 등[21]은 포도당, 과당, 자당, 유당에 자일리톨을 첨가하여 형성된 자일리톨 내성균주의 성장률이 탄수화물의 종류에 따라 차이를 나타낸다고 보고한 바 있어 자일리톨 내성균주의 형성기전 및 독력약화에 대한 증거를 확보하는데 있어 탄수화물이 중요한 요인이 될 수 있음을 시사하고 있다.

이에 본 연구에서는 실제 구강 환경을 재현하기 위하여 포도당이 포함되어 있는 배지를 기본배지로 사용하고 자당, 과당, 엿당을 각각 첨가한 후, 이를 분해하는 자일

리톨 감성균주와 내성균주의 특성 및 치아우식증과 관련된 독력들을 비교하고자 하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 균주 배양 및 자일리톨 내성균주의 형성

0.4% 포도당(Sigma Chemical, MO, USA)이 포함된 TYE 액체배지(Tryptone yeast extract: Difco Laboratories, MD, USA; 1.7% tryptone: Difco Laboratories, MD, USA; 0.3% yeast extract: Difco Laboratories, MD, USA; 0.5% sodium chloride: Sigma Chemical, MO, USA; 0.25% potassium phosphate: Sigma Chemical, MO, USA) 10 ml에 자일리톨(Sigma Chemical MO, USA)을 최종농도가 1%가 되도록 첨가한 후, *S. mutans*를 접종하여 37°C, 10% CO₂에서 배양하였다. 24시간마다 0.1 ml의 세균배양액을 동일한 조성의 새로운 배지 10 ml에 재배양 하였으며, 이를 30일간 반복하고, 매 10일마다 MSB 배지에서 2일간 배양하여 타균에 대한 오염도를 확인하였다. 대조군(자일리톨 감성균주)은 자일리톨을 첨가하지 않고 동일한 조건으로 배양하였다.

2.2 자일리톨 내성균주 확인

0.2%의 포도당과 1%의 자일리톨이 첨가된 TYE 액체 배지 또는 0.2%의 포도당만 첨가된 TYE 액체배지 10 ml에 *S. mutans*를 접종하여 12시간 동안 배양하였으며, 매 시간마다 *S. mutans*의 성장 정도를 확인하였다. 자일리톨을 첨가한 배지와 첨가하지 않은 배지의 성장곡선이 동일한 경우 이를 자일리톨 내성균주로 정의하였으며, 자일리톨에 의해 성장이 뚜렷하게 억제되는 경우를 자일리톨

감성균주로 간주하였다.

2.3 탄수화물 처리

0.5%의 포도당이 포함된 TYE 액체배지를 기본배지로 하여, 자당, 과당, 엿당 세 가지의 탄수화물을 최종 농도가 0.5%, 총량이 10 ml이 되도록 첨가하였다.

2.4 성장 및 산생성 측정

*S. mutans*를 각각의 배지에 OD₆₀₀이 0.05가 되도록 접종하여 37°C, 10% CO₂에서 12시간 동안 배양하였으며, 매 시간마다 배양액의 흡광도를 600 nm의 파장에서 ELISA(ASYS, Austria)를 사용하여 측정하였다. 또한 산생성 정도를 알아보기 위하여 배양액을 5,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액의 산생성 정도를 pH meter(Radiometer Analytical, France)를 사용하여 측정하였다.

2.5 세포외 다당류 합성 분석

각각의 탄수화물이 함유된 배지에서 *S. mutans*를 12시간 동안 배양한 후 회수하여, 통상적인 절차들에 의해 고정, 탈수, 포매 과정을 거쳤다. 포매된 시료는 70 nm 두께의 초박절편기(Ultracut uct, Leica, Germany; Korea Basic Science Institute, Daejeon, Korea)를 사용하여 절편(ultrathin section)을 제작하고, 이중염색한 후, 생물전용 투과전자현미경(Bio-TEM)(Tecnai G2 Spirit, FEI Co., OR, USA; Korea Basic Science Institute, Daejeon, Korea)을 사용하여 *S. mutans*의 세포외부 다당류 합성 정도를 관찰하였다.

[표 1] 자일리톨 감성균주와 내성균주의 최종성장

[Table 1] Comparison of final growth of the xylitol-sensitive and xylitol-resistant *S. mutans*

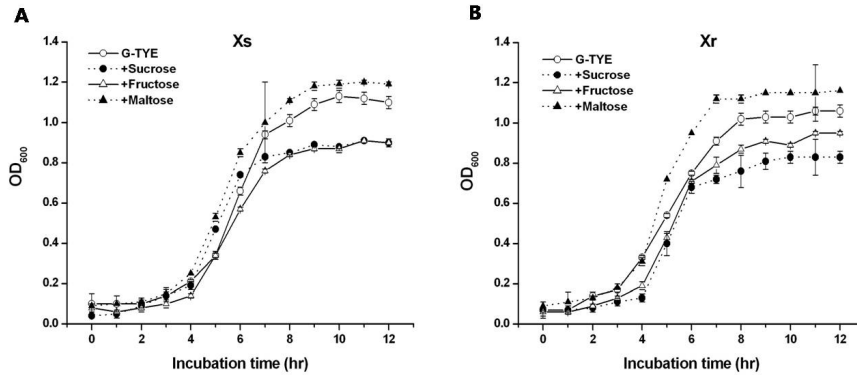
Sugar	Group	
	xylitol-sensitive	xylitol-resistant
Final growth OD ₆₀₀		
G-TYE [†]	1.10±0.033 ^a	1.06±0.012 ^{a, **}
+Sucrose	0.90±0.017 ^b	0.83±0.018 ^{b, **}
+Fructose	0.90±0.015 ^b	0.95±0.011 ^{c, **}
+Maltose	1.19±0.007 ^c	1.16±0.008 ^{d, **}
P-value [*]	0.001	0.001

* indicates overall significance over various carbohydrates by the Kruskal-Wallis test.

^{a,b,c,d} Same letter means there is no significant difference among various carbohydrates by Bonferroni-corrected Wilcoxon's rank sum test(p>0.008).

** differences between Xs and Xr were significant by the Mann-Whitney test(p<0.05).

G-TYE[†] = glucose based TYE medium.



[그림 1] 자일리톨 감성균주와 내성균주의 성장 곡선
 [Fig. 1] The growth curves of the xylitol-sensitive and xylitol-resistant *S. mutans*.
 G-TYE: glucose based TYE medium, Xs: xylitol-sensitive *S. mutans*, Xr: xylitol-resistant *S. mutans*.

2.6 통계분석

수합된 모든 자료는 통계분석용 소프트웨어인 SPSS 17.0 프로그램(SPSS Inc, IL, USA)을 이용하여 분석하였다. 탄수화물 종류에 따른 자일리톨 감성균주와 내성균주 각각의 성장 및 산생성 차이는 Kruskal-Wallis 검정을 통해 분석하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 인정되는 경우(p<0.05), Wilcoxon의 순위합 검정을 이용하여 사후 검정을 수행하였다. 사후검정의 통계적 유의성 판단에서는 Bonferroni 방법으로 유의수준을 보정하여 해석하였다. 또한 자일리톨 감성균주와 내성균주 사이의 성장 및 산생성 차이는 Mann-Whitney 검정을 이용하여 비교하였다. 모든 통계분석에서 유의성 판정을 위한 유의수준은 5%로 고려하였다.

3. 연구결과

3.1 탄수화물 종류에 따른 자일리톨 감성균주와 내성균주의 성장 비교

표 1과 그림 1은 다양한 탄수화물 아래에서 자일리톨 감성균주와 내성균주의 성장을 분석한 결과이다. 각 균주에서 탄수화물 종류에 따른 성장을 비교하였을 때, 자일리톨 내성균주는 배지에 첨가된 모든 탄수화물들 간에 유의한 차이를 나타낸 반면(p<0.008), 자일리톨 감성균주는 자당과 과당 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았으며(p>0.008), 두 균주 모두 엿당이 존재하는 경우 가장 높은 성장을 보였다.

각각의 탄수화물 상에서 자일리톨 감성균주와 내성균

[표 2] 자일리톨 감성균주와 내성균주의 산생성
 [Table 2] Comparison of acid production of the Xs and Xr *S. mutans*

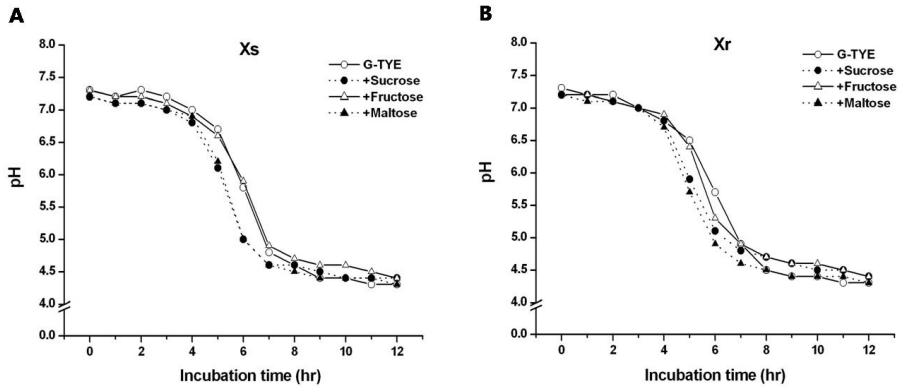
	Sugar	Group	
		xylitol-sensitive	xylitol-resistant
Final culture pH	G-TYE [†]	4.31±0.007	4.27±0.007
	+Sucrose	4.37±0.001	4.40±0.007
	+Fructose	4.43±0.001	4.43±0.007
	+Maltose	4.33±0.001	4.32±0.001
	P-value [*]	0.012	0.012

^{*} indicates overall significance over various carbohydrates by the Kruskal-Wallis test.

^{a,b,c,d} Same letter means there is no significant difference among various carbohydrates by Bonferroni-corrected Wilcoxon's rank sum test(p>0.008).

^{**} The differences between Xs and Xr were significant by the Mann-Whitney test(p<0.05).

G-TYE[†] = glucose based TYE medium.



[그림 2] 자일리톨 감성균주와 내성균주의 산생성 곡선

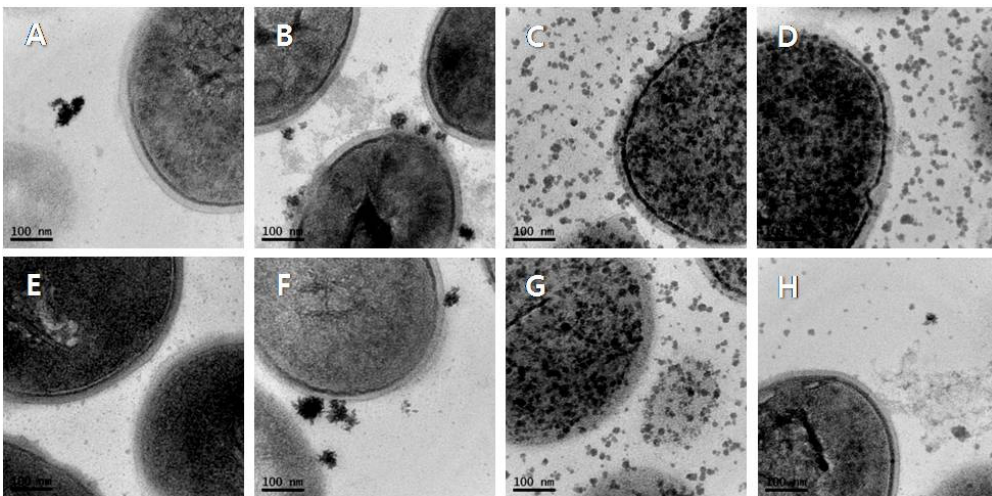
[Fig. 2] The pH curves of the xylitol-sensitive and xylitol-resistant *S. mutans*.

G-TYE: glucose based TYE medium, Xs: xylitol-sensitive *S. mutans*, Xr: xylitol-resistant *S. mutans*.

주의 성장을 비교하였을 때는, 포도당이 포함된 기본배지와 자당, 엿당 상에서는 자일리톨 내성균주의 성장이 감성균주에 비해 유의하게 낮았으나($p < 0.05$) 과당 상에서는 자일리톨 내성균주의 성장이 감성균주에 비해 유의하게 높았다($p < 0.05$).

3.2 탄수화물 종류에 따른 자일리톨 감성균주와 내성균주의 산생성 비교

표 2와 그림 2는 각각의 탄수화물 조건하에서 *S. mutans*의 산생성을 관찰한 결과이다. 자일리톨 감성균주와 내성균주 모두 탄수화물들 간에 전체적으로 산생성에 유의한 차이를 보였으나 두 균주 사이에서는 유의한 차이를 관찰할 수 없었다.



[그림 3] 자일리톨 감성균주와 내성균주의 세포외부 다당류 합성정도

[Fig. 3] Extracellular polysaccharide formation of xylitol-sensitive and xylitol-resistant *S. mutans* in the presence of various carbohydrates.

(A)~(D) xylitol sensitive *S. mutans*; (E)~(H) xylitol resistant *S. mutans*; (A) and (E) glucose based TYE medium(G-TYE); (B) and (F) G-TYE+0.5% sucrose; (C) and (G) G-TYE+0.5% fructose; (D) and (H) G-TYE+0.5% maltose.

3.3 탄수화물 종류에 따른 자일리톨 감성균주와 내성균주의 다당류 합성능 비교

그림 3은 탄수화물 종류에 따른 자일리톨 감성균주와 내성균주의 세포외부 다당류 합성 정도를 투과전자현미경으로 관찰한 결과이다. 자일리톨 감성균주의 경우 과당과 엷당 존재 시 가장 많은 다당류가 관찰되었으며, 자일리톨 내성균주의 경우 역시 과당 존재 시 가장 많은 다당류가 관찰되었으나, 엷당 상에서는 과당에 비해 적은 양의 다당류가 형성되었다. 각 탄수화물 상에서 자일리톨 감성균주와 내성균주의 다당류 합성정도를 비교하였을 때에는 과당의 경우 별다른 차이를 보이지 않았으나, 엷당의 경우에는 자일리톨 내성균주의 다당류 합성이 감성균주에 비해 현저히 적었다. 포도당이 포함된 기본배지와 자당 역시 자일리톨 내성균주에 비해 적은 양의 다당류를 합성하는 것으로 나타났다.

4. 고찰

자일리톨은 자연계에 존재하는 5탄당 알콜로 설탕과 같은 정도의 단맛을 가지고 있으면서 치아우식증의 주요 원인균인 *S. mutans*에 의해 대사되지 않기 때문에 치아우식 예방을 위한 설탕대체 감미료로 주목받고 있다[22]. 이전의 많은 임상 연구들은 자일리톨의 섭취가 타액과 치면세균막 내 *S. mutans*의 수적인 감소를 초래하여 치아우식 예방에 효과적이라고 하였으며[6-8], 여러 실험실 연구에서도 성장배지에 자일리톨을 첨가할 경우 *S. mutans*의 성장이 뚜렷하게 억제된다고 보고하였다[9,10]. 그러나 장기간의 자일리톨 섭취 이후 구강 내 *S. mutans*의 수가 초기 수준으로 회복되는 것이 관찰되어 자일리톨 내성균주에 대한 중요성이 대두되었으며, 내성균주의 형성으로 *S. mutans*의 수적인 감소가 나타나지 않음에도 불구하고 우식 예방 효과가 지속적으로 나타나 내성균주의 독력이 약화되었을 것이라고 추정되고 있다. 한편, *S. mutans*는 탄수화물을 대사하여 증식에 이용하고, 다양한 독력인자들을 생산하여 치아우식증을 유발하는 것으로 알려져 있어 *S. mutans*와 탄수화물, 치아우식증은 서로 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

이에 본 연구에서는 자일리톨 감성균주와 내성균주의 특성 차이에 있어 탄수화물이 미치는 영향을 알아보기 위하여 다양한 탄수화물 상에서 두 균주의 특성을 비교한 결과, 두 균주 모두 기본 배지에 비해 두 분자의 포도당이 결합된 구조인 엷당이 포함된 배지에서 더 높은 성장을 보이고, 자당과 과당이 포함된 배지에서 더 낮은 성장을 보여 정 등[23]과 김 등[24]의 결과와 일치하였다.

이러한 결과는 *S. mutans*의 강력한 독립인자인 글루칸과 프럭탄은 자당이 포도당과 과당으로 분해된 뒤 각각 GTF와 fructosyltransferase(FTF)의 작용에 의해 생산되므로[4,5], 자당과 과당 상에서는 성장 보다는 글루칸과 프럭탄 합성에 주로 이용되는 데에서 기인하는 것으로 판단되며, 내성균주 역시 이러한 특성에는 변화가 없는 것으로 보인다.

또한 본 연구에서는 과당을 제외한 모든 탄수화물 아래에서 자일리톨 내성균주의 최종성장이 자일리톨 감성균주에 비해 낮게 나타났으며, 세포외부 다당류 합성 정도를 투과전자현미경으로 관찰한 결과에서도 자일리톨 내성균주의 다당류 합성은 과당을 제외한 탄수화물 상에서 자일리톨 감성균주에 비해 대체로 감소되어 있었다. 이와 같은 결과는 전자현미경을 통해 자일리톨 내성균주와 감성균주의 다당질 축적양상이 서로 차이를 보인다고 보고한 Lafleche와 Trahan[25]의 연구와 자일리톨 내성균주가 감성균주보다 부착능력이 감소하여 치면세균막으로부터 타액으로의 유리를 용이하게 한다고 하였던 Trahan 등[14]의 보고와 일치하는 것으로 자일리톨 내성균주가 감성균주에 비해 부착력과 응집력이 낮기 때문에 치아우식유발력이 감소한다고 보고한 Söderling과 Trahan[26]의 주장을 지지한다고 하겠다. 특히 엷당은 주식으로 섭취하는 쌀을 비롯한 곡류에 많이 함유되어 있는 전분이 타액 중의 아밀라아제에 의해 분해되어 형성됨으로 엷당이 포함된 배지에서 자일리톨 내성균주의 다당류 합성이 감성균주에 비해 현저히 낮다는 것은 내성균주의 우식원성이 감소할 수 있다는 것을 나타내는 의미 있는 결과라 판단된다.

*S. mutans*의 또 다른 독립인자 중의 하나인 산생성의 경우, 모든 탄수화물 상에서 두 균주 사이에 유의한 차이가 없어, 자일리톨 내성균주가 감성균주에 비해 더 많은 유산을 생산한다고 보고한 Assev 등[16]의 결과와는 다소 차이를 보였다. Soyer와 Frank[27]은 유리된 젖산을 측정함으로써 pH 감소가 *S. mutans*의 성장과 관련이 있음을 보고하였으나, 본 실험에서는 산생성 결과는 성장결과와 같이 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 이는 향후 *S. mutans*의 산생성과 관련된 유전자 연구를 통하여 좀 더 명확한 결론을 얻을 수 있을 것이라 생각한다.

본 연구는 포도당, 자당, 과당, 엷당과 같은 주요 탄수화물 아래에서 자일리톨 감성균주와 내성균주의 특성을 비교함으로써 실제 구강 내 환경을 최대한 동일하게 재현하였다는 데 의의가 있다. 그러나 연구에 표준균주를 사용하였기 때문에 실제 구강 내에 존재하는 *S. mutans*의 특성과는 다소 차이가 있을 것이다. 향후 연구에서는 실제 구강 내에서 분리한 균주를 대상으로 다양한 탄수화

물이 복합적으로 섞여 있을 경우에 자일리톨 감성균주와 내성균주의 특성을 평가하여야겠으며, 이를 평가하는데 있어 다양한 실험방법과 새로운 분석방법들을 통하여 보다 심층적인 연구가 진행되어야 하겠다. 또한 단순히 자일리톨 감성균주와 내성균주의 독력을 비교하는 단계에서 나아가 자일리톨을 처리하였을 경우에 두 균주의 독력을 비교함으로써 장기적인 자일리톨 섭취에도 치아 우식 예방 효과가 지속되는지를 평가하는 연구가 진행되어야 하겠다.

References

- [1] van Houte J, "Role of micro-organisms in caries etiology", J Dent Res, Vol. 73, No. 3, pp. 672-281, 1994.
- [2] Hamilton IR, Buckley ND, "Adaptation by *Streptococcus mutans* to acid tolerance", Oral Microbiol Immunol, Vol. 6, No. 2, pp. 65-71, 1991.
- [3] Whiley RA, Beighton D, "Current classification of the oral streptococci", Oral Microbiol Immunol, Vol. 13, No. 4, pp. 195-216, 1998.
- [4] Dibdin GH, Shellis RP, "Physical and biochemical studies of *Streptococcus mutans* sediments suggest new factors linking the cariogenicity of plaque with its extracellular polysaccharide content", J Dent Res, Vol. 67, No. 6, pp. 890-895, 1988.
- [5] Ooshima T, Matsumura M, Hoshino T, Kawabata S, Sobue S, Fujiwara T, "Contributions of three glycosyltransferase to sucrose-dependent adherence of *Streptococcus mutans*", J Dent Res, Vol. 80, No. 7, pp. 1672-1677, 2001.
- [6] Mäkinen KK, Alanen P, Isokangas P, Isotupa K, Soderling E, Mäkinen PL, "Thirty-nine-month xylitol chewing-gum programme in initially 8-year-old school children: a feasibility study focusing on mutans streptococci and lactobacilli", Int Dent J, Vol. 58, No. 1, pp. 41-50, 2008.
- [7] Thaweboon S, Thaweboon B, Soo-Ampon Sm, "The effect of xylitol chewing gum on mutans streptococci in saliva and dental plaque", Southeast Asian J Trop Med Public Health, Vol. 35, No. 4, pp. 1024-1027, 2004.
- [8] Söderling E, Mäkinen KK, Chen CY, Pape HR Jr, Loesche W, Mäkinen PL, "Effect of sorbitol, xylitol, and xylitol/sorbitol chewing gums on dental plaque", Caries Res, Vol. 23, No. 5, pp. 378-384, 1989.
- [9] Vadeboncoeur C, Trahan L, Mouton C, Mayrand D, "Effect of xylitol on the growth and glycolysis of acidogenic oral bacteria", J Dent Res, Vol. 62, No. 8, pp. 882-884, 1983.
- [10] Verran J, Drucker DB, "Effects of two potential sucrose-substitute sweetening agents on deposition of an oral streptococcus on glass in the presence of sucrose", Arch Oral Biol, Vol. 27, No. 8, pp. 693-695, 1982.
- [11] Gauthier L, Vadeboncoeur C, Mayrand D, "Loss of sensitivity to xylitol by *Streptococcus mutans* LG-1", Caries Res, Vol. 18, No. 4, pp. 289-295, 1984.
- [12] Trahan L, Mouton C, "Selection for *Streptococcus mutans* with an altered xylitol transport capacity in chronic xylitol consumers", J Dent Res, Vol. 66, No. 5, pp. 982-988, 1987.
- [13] Mi-Na Lee, Young-Jae Kim, Sung-Hoon Lee, Chong-Chul Kim "Quantitative comparison of mRNA expression of glucosyltransferase(GTF) between xylitol-resistant(X^R) and xylitol-sensitive(X^S) mutans streptococci", J Korean Acad Pediatr Dent, Vol. 33, No. 1, pp. 77-84, 2006.
- [14] Trahan L, Söderling E, Dréan MF, Chevrier MC, Isokangas P, "Effect of xylitol consumption on the plaque-saliva distribution of mutans streptococci and the occurrence and long-term survival of xylitol-resistant strains", J Dent Res, Vol. 71, No. 11, pp. 1785-1791, 1992.
- [15] Hong-Mo Lee, Jung-Wook, Ki-taeg Jang, Sang-Hoon Lee, Se-Hyun Hahn, Chong-Chul Kim, "A study on the cell property of xylitol-resistant *Streptococcus mutans* and xylitol-sensitive *Streptococcus mutans*", J Korean Acad Pediatr Dent, Vol. 30, No. 4, pp. 554-562, 2003.
- [16] Assev S, Stig S, Scheie AA, "Cariogenic traits in xylitol-resistant and xylitol-sensitive mutans streptococci", Oral Microbiol Immunol, Vol. 17, No. 2, pp. 95-99, 2002.
- [17] Lavoie L, Trahan L, "Sucrose mediated hard surface adherence of xylitol-sensitive and xylitol-resistant *Streptococcus mutans* fresh isolate and laboratory strains", J Dent Res, Vol. 67, pp. 325, 1988.
- [18] Baek-II Kim, Hyung-Gyoo Kim, Myoung-Shin Kang, Woo-Sung Sohn, Chong-Youl Kim, "Effects of sucrose/xylitol mixture on the growth and adhesiveness of *Streptococcus mutans*", Journal of Korean academy of oral health, Vol. 18, No. 1, pp. 169-181, 1994.
- [19] Kakuta H, Iwami Y, Mayanagi H, Takahashi N, "Xylitol inhibition of acid production and growth of mutans streptococci in the presence of various dietary

- sugars under strictly anaerobic conditions”, Caries Res, Vol. 37, No. 6, pp. 404-409, 2003.
- [20] Kyoung-Hee Kim, Byung-Cho Jeong, Chong-Suk Oh, Kyu-Ho Yang, “The effect of xylitol and carbohydrates on *Streptococcus mutans*”, J Korean Acad Pediatr Dent, Vol. 29, No. 4, pp. 561-567, 2002.
- [21] Trahan L, Bourgeau G, Breton R, “Emergence of multiple xylitol-resistant(Fructose PTS-) mutants from human isolates of mutans streptococci during growth on dietary sugars in the presence of xylitol”, J Dent Res, Vol. 75, No. 11, pp. 1892-1900, 1996.
- [22] Tanzer JM, “Xylitol chewing gum and dental caries”, Int Dent J, Vol. 45, No. 1, pp. 65-76, 1995.
- [23] Sun-Young Chung, Ji-Hye Kim, Youn-Hee Choi, Keun-Bae Song, “Comparison of virulence in xylitol-resistant mutans streptococci exposed to various carbohydrates”, Journal of Korean academy of oral health, Vol. 35, No. 1, pp. 1-9, 2011.
- [24] Ji-Hye Kim, Young-Eun Lee, Sun-Young Chung, Sang-Hun Ahn, Youn-Hee Choi, Keun Bae Song, “The effect of xylitol on the use of various carbohydrates by *Streptococcus mutans*”, Journal of Korean academy of oral health, Vol. 34, No. 1, pp. 1-8, 2010.
- [25] Lafleche RG, Trahan L, “EM study of the polysaccharides of xylitol-sensitive and xylitol-resistant *Streptococcus mutans* fresh isolates”, J Dent Res, Vol. 67, pp. 325, 1988.
- [26] Söderling E, Trahan L, “Altered agglutination pattern of xylitol-resistant *Streptococcus mutans* 10449 cells”, J Dent Res, vol. 71, pp. 734, 1992.
- [27] Soyer C, Frank RM, “Influence of culture media on the growth of *Streptococcus mutans* ATCC 25175 in the presence of various carbohydrates and their derivatives”, J Biol Buccale, Vol. 7, No. 3, pp. 295-301, 1979.

김 지 혜(Ji-Hye Kim)

[정회원]



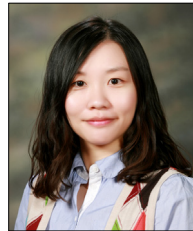
- 2006년 2월 : 대구가톨릭대학교 의학과(의학석사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 경북대학교 치의학전문대학원 예방치과 학교실 연구원

<관심분야>

기초예방치의학, 임상예방치의학, 치과재료학

이 영 은(Young-Eun Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 경북대학교 대학원 치의학과(치의학박사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : 대구보건대학 치위생과 교수

<관심분야>

기초예방치의학, 임상예방치의학, 치과재료학, 구강보건학

안 상 헌(Sang-Hun Ahn)

[정회원]



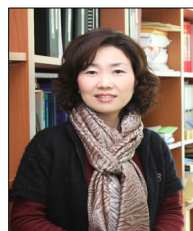
- 2006년 8월 : 경북대학교 대학원 치의학과(치의학석사)
- 2006년 5월 ~ 2010년 12월 : 동국대학교 의과대학 치의학과 부교수
- 2011년 1월 ~ 현재 : 대구보건대학 치위생과 교수

<관심분야>

기초예방치의학, 임상예방치의학, 구강보건학, 치아질환, 치과보존수복학

최 현 희(Youn-Hee Choi)

[정회원]



- 2001년 8월 : 연세대학교 대학원 보건학과(보건학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 치의학전문대학원 치의학과 교수

<관심분야>

연구방법론, 기초예방치의학, 비감염병역학, 임상예방치의학, 임상역학

송 근 배(Keun-Bae Song)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 대학원
치의학과(치의학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 경북대학
교 치의학전문대학원 치의학과
교수

<관심분야>

기초예방치의학, 임상예방치의학, 구강보건학, 치아질환,
의료법학