

## 성인을 대상으로 D-리보오스 함유 비율을 달리한 설탕 섭취에 따른 Glycemic Index 및 혈당 반응 연구\*

김아름<sup>1\*\*</sup> · 이정숙<sup>1\*\*</sup> · 남혜경<sup>1</sup> · 경명옥<sup>2</sup> · 서승우<sup>2</sup> · 장문정<sup>1†</sup>  
국민대학교 식품영양학과,<sup>1</sup> 대한제당(주) 중앙연구소<sup>2</sup>

### Comparing the effects of intake of sugar containing different levels of D-ribose in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults\*

Kim, A-Reum<sup>1\*\*</sup> · Lee, Jung-Sug<sup>1\*\*</sup> · Nam, Hyekeyoung<sup>1</sup> · Kyung, Myungok<sup>2</sup> · Seo, Sheungwoo<sup>2</sup> · Chang, Moon-Jeong<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Food & Nutrition, Kookmin University, Seoul 02707, Korea  
<sup>2</sup>R&D Center, TS Corporation, Incheon 22300, Korea

#### ABSTRACT

**Purpose:** To compare the extent to which three different levels of D-ribose in sugar reduce the glycemic index (GI) and blood glucose response in healthy adults. **Methods:** Healthy adults (eight male and six female participants, n = 14) fasted for 14~16 h after eating the same dinner. Participants were then randomized to receive glucose, sucrose, sucrose containing 5% D-ribose (RB5), sucrose containing 10% D-ribose (RB10), or sucrose containing 14% D-ribose (RB14) every week on the same day for 10 weeks (repeating the sample twice). Blood samples were collected by finger prick before and 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min after starting to eat. **Results:** We observed a decreased glycemic response to sucrose containing D-ribose. GIs for sucrose, RB5, RB10, and RB14 were 67.39, 67.07, 47.57, and 45.62, respectively. GI values for sucrose and RB5 were similar to those for foods with a medium GI, and GI values for RB10 and RB14 were similar to those for foods with a low GI. The postprandial maximum blood glucose rise (Cmax) with RB14 was the lowest among the test foods. Cmax values for RB10 and RB14 were significantly lower than that for sucrose. **Conclusion:** The results of this study suggest that sucrose containing D-ribose has an acute suppressive effect on GI and Cmax. In addition, D-ribose active elements in sugar may be effective in preventing blood glucose spikes induced by sucrose intake.

**KEY WORDS:** D-ribose, blood glucose, glycemic index, healthy adults

## 서론

비만, 건강하지 못한 식사, 신체 활동량 감소는 당뇨, 심혈관계 질환, 암 등 비감염성질환의 원인이 되고 있다.<sup>1</sup> 대사 질환의 위험성을 나타낼 수 있는 지표 및 이들 만성질환에 영향을 줄 수 있는 요인은 지속적으로 연구되어 왔으며 식사 조절을 통해 이 질환들을 예방하는 것이 중요한 전략 중 하나로 대두되고 있다. 식후 혈당 수준은 공복 시 혈당보다 심혈관계 질환과 매우 유의적인 상관관계가 있음이 보고되고 있고,<sup>2,3</sup> 당뇨와 심혈관계 질환 예방에 있어서도

식후 고혈당을 억제하는 것이 이 질병들의 위험도를 낮추는 중요한 전략으로 보고되고 있다.<sup>4</sup>

식후 혈당 증가에 영향을 미치는 식이 요인 중 하나로 식품내 탄수화물의 조성 및 함량의 차이에 따라 분류되는 혈당지수 (glycemic index, GI)에 대한 관심이 대두되면서, GI와 건강과의 관련성에 관한 다양한 연구들이 수행되었다. GI가 낮은 식이 섭취 시 당뇨병과 심혈관계 질환의 위험도를 낮출 뿐만 아니라 혈당을 조절하는 효과가 있는 것으로 보고된<sup>5</sup> 반면, GI가 높은 식이는 인슐린 필요량을 증가시켜 고인슐린혈증을 악화시키는 것으로 보고되고 있

Received: September 7, 2017 / Revised: September 13, 2017 / Accepted: September 26, 2017

\*This research was supported by a grant from TS Corporation in 2017.

\*\*These authors contributed equally to this work.

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-910-4776, e-mail: cmoon@kookmin.ac.kr

© 2017 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다.<sup>6</sup> Riccardi 등<sup>5</sup>은 GI가 높은 식이에 비해 GI가 낮은 식이 섭취 시 당화혈색소 수준과 혈당이 유의적으로 낮았으며, 고혈당 증세를 보인 환자 수 역시 낮아지는 것으로 보고하여 식이 중 GI 수준이 낮을수록 혈당 조절을 개선하는 효과가 있다고 하였다. Ludwig 등<sup>7</sup>의 연구에서도 GI 또는 혈당부하 (glycemic load, GL)가 비만과 양의 상관관계를 보여 식이의 GI 또는 GL을 낮출수록 다음 식사 시 식품섭취량을 낮출 수 있는 요인이 되었다. 이와 같이 식후 혈당 상승은 대사증후군, 제2형 당뇨병, 비만 등 주요 만성질환의 발생에 높은 상관성을 보이고 있으므로 식후 혈당 상승을 억제시키는 것은 대사증후군 등과 같은 만성질환의 예방이나 관리에 있어서 매우 중요한 요소이다.

탄수화물 함유량이 많은 식품의 과다 섭취는 GI나 혈당 부하를 높일 뿐만 아니라 비만을 유발할 가능성이 높은 것으로 제시된 바 있어, 비만 유발에 있어서 당이 첨가된 가공식품의 증가도 주요 위험요인으로 대두되고 있다. 단맛을 내기 위해 가공식품 제조 시 가장 널리 사용되는 당은 설탕, 액상과당이 있으며 그 외 설탕대체제로 당알코올, 아스파탐, 아세설팜칼륨 등이 사용되고 있다.

국민건강영양조사 결과에 따르면 한국인의 당류 섭취량이 2007년 59.6 g에서 2016년 72.1 g으로 지속적인 증가를 보이고 있으며, 특히, 만 6세 이상에서는 음료를 통한 당 섭취 비율이 가장 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>8</sup> 설탕은 섭취 후 장내 sucrase에 의해 포도당과 과당으로 가수분해되어 흡수되며 과다 섭취 시 혈당 상승과 인슐린 분비를 촉진시키는 요인이 될 수 있다. 액상 가공식품에서 많이 사용되는 당은 주로 포도당과 과당이 혼합된 액상과당의 형태이며, 모든 연령대에서 음료를 통해 가장 많이 섭취하는 것으로 나타나고 있다.<sup>9</sup> 액상과당이 함유된 음료의 과잉 섭취는 소아천식, 성인의 만성 기관지염, 만성 폐쇄성폐질환 및 면역역상 관상동맥 발생에 영향을 미치며, 과당 음료의 과잉 섭취는 그렇지 않은 경우에 비해 심혈관계질환 발생의 위험이 2.8배 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>10</sup> 또한 비만 아동을 대상으로 액상과당 섭취를 제한한 경우 중성지방 수준이 감소하였고, 간 지방증 (hepatic steatosis)이 개선되는 효과를 보여<sup>11</sup> 액상과당의 과잉 섭취는 건강에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

가공식품의 당 함량 감소를 위해 주로 시도되고 있는 방법은 액상과당이나 설탕 등의 당을 대체 감미료로 대체하는 방법이다. 가공식품에 사용 가능한 대체 감미료로는 고감미 감미료류인 사카린, 아스파탐, 수크랄로스, 스테비아 유래로 만들어진 리바우디오사이드 (Rebaudioside A) 등이 있고, 당알코올류인 만니톨, 소르비톨, 자일리톨, 에리스

리톨, 올리고당류인 갈락토올리고당, 프락토올리고당, 이소말토올리고당, 대두올리고당, 자일로올리고당, 파라티노오스 등이 있으며, 단당류인 과당, 포도당, 타카토스, 알룰로스 등이 있다. 고감미 감미료의 경우에는 감미질이 설탕과는 다르고 단가가 높아 보편적으로 사용하지 않으나, 당알콜류의 경우는 체내에서 거의 흡수되지 않아 칼로리가 낮은 뿐만 아니라 충치 유발을 억제하는 효과가 있어, 과잉 섭취 시 위장 장애나 설사를 유발할 수 있다는 단점이 있음에도 불구하고 충치 예방을 위한 기능성 제품 개발에 주로 활용되고 있다.<sup>12</sup>

식품첨가물공전에 천연첨가물로 등재되어 있는 D-리보오스는 포도당을 원료로 세균 (*Bacillus pumilus*)에 의하여 발효 생산한 후 분리, 정제하여 얻어진 물질로써 설탕의 약 0.7배에 해당하는 감미도를 지닌 식품첨가물로<sup>13</sup> 세포내 합성뿐만 아니라 세포외 성장에도 중요한 기능을 하는 오탄당이다. D-리보오스는 DNA, RNA의 구성 물질로 단백질 합성이나 세포내 다른 구성 물질을 합성하는데 중요한 역할을 수행한다. D-리보오스 섭취 후 혈당 상승 억제 효과는 정상인 뿐만 아니라 당뇨병자들을 대상으로 한 연구<sup>14-16</sup> 및 동물을 대상으로 한 연구에서도 보고하고 있다.<sup>17-19</sup> 이외 D-리보오스 섭취 후 체중감소 효과,<sup>19</sup> 만성피로증후군 개선 효과,<sup>20</sup> 운동 후 산화적스트레스 물질의 합성 억제 효과<sup>21,22</sup> 등에 관한 연구들이 보고되고 있다.

식품의 GI 수준이 혈당 조절과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려지면서 건강에 관심이 많은 사람들을 중심으로 식품 내 GI 수준이 낮은 식품을 선택하려는 경향이 나타나고 있다. 이러한 관점에서 볼 때 대중적인 감미료로 이용하고 있는 설탕의 GI는 68로 중 GI (55 < GI < 70)에 해당하는 식품으로 비만, 고혈압, 당뇨 등의 대사증후군환자에게 섭취를 제한하고 있으므로,<sup>23</sup> 설탕을 보다 더 건강하게 섭취하는데 도움을 줄 수 있는 기능성 대체 감미료에 대한 다양한 연구가 요구된다.

D-리보오스 섭취와 건강과의 관련성에 관한 대부분의 선행연구는 D-리보오스 자체를 섭취한 후의 효과를 평가하는 연구들이 주를 이루고 있으며, 설탕에 D-리보오스를 첨가 한 후의 GI, 혈당 변화 및 건강과의 관련성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그러므로 본 연구는 D-리보오스의 함유 비율을 달리한 설탕 섭취가 GI 및 혈당 변화에 미치는 영향에 대한 분석을 통해 D-리보오스 함유 설탕의 기능성 감미료로서의 활용가능성을 구명하고, GI 저감 개선에 필요한 D-리보오스의 적정 함유 수준을 파악하고자 하였다.

## 연구방법

### 재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 포도당 (무수결정포도당, Dae-sang, Korea), 백설탕 (TS Corporation, Korea)과 D-리보오스 함유 설탕 (TS Corporation, Korea)으로 모두 순도 98% 이상의 제품을 사용하였다.

식품공전의 식품별 기준 및 규격에서 설탕류는 설탕과 기타 설탕으로 구분하며, 기타 설탕은 당도 86% 이상으로 명시하고 있다. 본 연구에서 설탕의 당도를 유지하면서 설탕보완제로 D-리보오스를 첨가할 수 있는 최대 함량은 14%이므로 이 범위 내에서 백설탕에 D-리보오스 첨가 비율을 결정하였다. 그러므로 백설탕에 첨가된 D-리보오스 함량은 각각 5% (RB5), 10% (RB10), 14% (RB14)이었다.

GI측정을 위한 혈당측정기와 혈당측정시험지는 Lifescan (Milpitas, CA, USA) 제품을 사용하였다.

### 피험자 선정

본 연구는 국제 임상시험기준에 준하여 임상실험 실시 기관인 국민대학교의 IRB 심의절차를 거쳐 승인을 받은 후 (KMU-201612-HR-130), 자발적으로 참여의사를 밝힌 만 19~29세의 건강한 성인 남녀를 대상으로 면담을 통해 동의를 얻은 후 수행하였다.

피험자 선정 절차는 1차적으로 본인과 직계 부모, 조부모의 각종 병력 (당뇨, 심혈관계 질환, 고혈압, 갑상선 질환 여부), 복용하는 약물 (건강기능식품, 단백질보충제 섭취 포함), 평균적인 운동량, 여성 참여자의 경우 임신 또는 실험 기간 동안 임신 가능성 여부, 월경 중 약물 복용 여부 등을 확인한 후 이에 해당하는 경우 선정대상에서 제외하였다. 이들 제외 기준에 해당하지 않는 대상자의 경우 키와 체중을 측정하여 체질량지수 (body mass index, BMI) 산출한 후 Inbody 측정기 (Inbody 720, BioSPACE, Co, Korea)로 체지방량, 체지방률, 근육량을 측정하였다. 남자의 경우 체지방률이 25% 이상이거나 체중에 대한 근육량의 비율이 50% 이상인 자, 여자의 경우 체지방률이 30% 이상이거나 체중에 대한 근육량 비율이 30% 미만인 자를 제외하여 1차 대상자를 선발하였고, 선정된 대상자들은 거주하는 지역의 보건소 및 가까운 병원에서 혈액검사를 시행하였다. 혈액검사 결과 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT),  $\gamma$ -GTP, 총 콜레스테롤, HDL-콜레스테롤, 중성지방 및 공복 시 혈당의 수치 (fasting blood glucose, FBS)가 정상 범위에 해당하지 않은 경우는 제외하였으며, 최종적으로 선정된 피험자는 총 17명 (남 8명, 여 9명)이었다. 최종적으로 선정된 피험자들은 실험 기간 동

**Table 1.** The Control food and test food composition (%)

	Glucose	Sucrose	RB5 <sup>1)</sup>	RB10 <sup>2)</sup>	RB14 <sup>3)</sup>
Glucose	100	-	-	-	-
Sucrose	-	100	95	90	86
D-ribose powder	-	-	5	10	14

1) RB5: sucrose with 5% D-ribose powder 2) RB10: sucrose with 10% D-ribose powder 3) RB14: sucrose with 14% D-ribose powder

안 표준시료 (포도당)와 비교시료 (백설탕, D-리보오스 함유 설탕)를 섭취하였다 (Table 1).

### 임상실험 식품 섭취방법

임상실험 기간인 10주 동안 혈당에 영향을 미치는 약물 및 건강기능성 식품 (단백질보충제 포함)를 섭취하지 않도록 하였다. 또한 실험 3일 전부터는 술을 섭취하지 않도록 하였으며 실험 전날에는 갑작스러운 고강도 신체활동 및 단순당을 함유한 식품, 설탕이나 당의 함량이 높은 가공식품의 섭취를 자제하도록 하였다. 연구대상자는 포도당, 백설탕, RB5 (D-리보오스 5% 함유 설탕), RB10 (D-리보오스 10% 함유 설탕), RB14 (D-리보오스 14% 함유 설탕)을 1주일 동안 한 가지씩 섭취하였으며, 2번 반복하여 총 10주간 임상실험을 진행하였다.

표준시료와 비교시료 섭취에 따른 연구대상자간의 편차를 최소화하기 위해 시료 섭취의 순서를 4군으로 분류한 후 1군은 ABCDE (포도당(A)-백설탕(B)-RB5(C)-RB10(D)-RB14(E)) 순으로, 2군은 BCDEA (백설탕(B)-RB5(C)-RB10(D)-RB14(E)-포도당(A)) 순으로, 3군은 CDEAB (RB5(C)-RB10(D)-RB14(E)-포도당(A)-백설탕(B)) 순으로, 4군은 DEABC (RB10(D)-RB14(E)-포도당(A)-백설탕(B)-RB5(C)) 순으로 섭취하도록 하였다. 각 군별로 대상자의 배정은 남녀로 구분한 후 체질량지수, 체지방률 및 근육량을 고려하여 각 군의 평균 BMI, 체지방률 및 근육량이 95% 신뢰 구간에 포함되도록 하였으며, 군별 시료 섭취 순서는 무작위기법을 적용하여 선정하였다.

표준시료와 비교시료의 섭취 용량은 혈당지수 (glycemic index, GI) 연구의 기본 항목인 유효성 탄수화물 50 g을 기준으로 산정한 용량을 정제수 250 mL에 완전히 녹여 섭취하도록 하였다.<sup>24</sup>

### GI 측정 실험

피험자 선정기준을 통과한 대상자는 12시간 이상 금식한 상태에서 임상실험에 참여하였으며, 혈당 측정치의 신뢰도를 높이기 위해 실험 전날 저녁식사를 동일하게 제공하였다. 저녁식사는 12시간 공복을 유지하기 위해 오후 8

시 이전에 모두 완료하도록 하였다. 피험자들이 섭취한 식사는 시판되는 도시락전문회사의 제품으로 식사 내용은 Table 2와 같았다. 혈당 안정도는 시료 섭취 30분 전과 시료 섭취 직전 피험자의 혈당 차이로 평가하였으며, 그 차이가 5 mg/dL 미만인 경우 실험을 실시하였다.

혈당측정은 오전 8시 30분부터 섭취를 시작하고, 섭취 시작 0분을 시작으로 15, 30, 45, 60, 90, 120분에 혈당측정기로 동일 시간대에 2번 반복 측정하였다. 혈당 측정은 채혈기에 1회용 채혈 침을 장착한 뒤 알코올 솜으로 소독한 손가락의 끝에서 손가락을 주물러 혈액을 모은 뒤에 소량(1~2방울정도)을 채혈하여 혈당 측정 시험지의 끝 부분에 혈액을 떨어뜨려서 2회 반복 측정하였다.

혈당을 측정하는 실험 동안에 연구 대상자들의 활동이 혈당에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실험이 종료 될 때까지 제한된 실험실 공간에서 안정된 상태를 유지하도록 하였고, 영화나 음악 등의 동영상 시청, 독서, 공부 등과 같은 가벼운 신체활동은 허용하였다.

## GI의 계산

GI의 계산은 Food and Agriculture Organization (FAO)에서 권유하는 방법인 Incremental Area Under the Curve (IAUC)를 사용하였다. IAUC는 혈당 측정 후 0분대의 혈당 수치를 기준으로 반응 곡선의 기준선 위 영역만을 이용하는 방법으로 GI의 표준편차 값이 가장 낮아서 높은 정확도를 가지고 있다.<sup>24,25</sup> 임상실험 식품에 사용한 포도당, 백설탕, RB5, RB10 또는 RB14를 섭취 한 후의 혈당 변화 곡선을 활용하여 각각의 IAUC를 계산하였고, 포도당의 IAUC를 기준으로 하여 각각의 비교시료에 대한 GI를 산출하여

비교하였다.<sup>24</sup>

## 통계분석

각 시료별 IAUC 산출은 SPSS 24를 활용하였고, 이외의 자료 분석은 SAS 9.4를 이용하였다.

실험 시료별 IAUC, GI 및 시간대별 혈당 값은 평균과 표준편차를 구하였다. 각 시료별 GI값의 분포를 적용하여 이상값 (Outer) 또는 평균  $\pm$  2SD (표준편차)에 해당하는 경우 통계 처리에서 제외한 후 14명 (남 8명, 여 6명)의 자료만을 최종적으로 분석하였다.

각 시료별로 IAUC와 GI 값의 상대적인 퍼짐 정도를 파악하기 위해 각 시료별로 변동계수(coefficient of variation, CV)를 산출하였고, 혈당 변화의 최대값인 Cmax 산출을 위해 각각의 시료별로 섭취 직전의 혈당값을 기준으로 시료 섭취 15분, 30분, 45분, 60분, 90분 및 120분대의 혈당값의 차이를 산출한 후 혈당 변화의 차이 값이 가장 큰 수치를 Cmax로 선정하였다.

실험시료간의 유의적인 차이를 확인하기 위해 반복측정 분산분석 (repeated measures ANOVA)을 실시한 후 유의적인 차이가 존재하는 경우 사후검정으로 Duncan's 다중검정 방법을 활용하였다. 모든 자료의 유의성 검증은 유의수준  $\alpha = 0.05$ 을 기준으로 하였다.

## 결 과

### 일반사항 및 혈액검사 결과

피험자들의 일반적인 사항, 체위 및 혈액검사 결과는 Table 3과 같다. 피험자의 평균 연령은 남자 24.83세, 여자

**Table 2.** Provided meals and Nutrition Facts Table

Provided meals <sup>1)</sup>		Nutrition Facts <sup>3)</sup>	
Dish	Weight (g)	Nutrient	Mean $\pm$ SD
Rice	270.0	C : P : F <sup>4)</sup>	55.0 : 18.0 : 25.0
Bulgogi	74.0	Energy (kcal)	769.05 $\pm$ 26.41
Breaded laver roll	25.0	Carbohydrate (g)	105.55 $\pm$ 5.80
Fish cake	17.0	Protein (g)	35.41 $\pm$ 1.74
Laver ( <i>gimgui</i> )	2.0	Total Fat (g)	21.77 $\pm$ 0.69
Kimchi bokkeum	26.0	Cholesterol (mg)	130.32 $\pm$ 76.73
Imitation crab ( <i>gemassal</i> ) / Rolled omelet ( <i>gyeran-mari</i> ) <sup>2)</sup>	24.0 / 19.0	Sodium (mg)	2,355.97 $\pm$ 622.68
Sea weed salad ( <i>tosnamul</i> ) / <i>Jangajji</i> ( <i>mujangajji</i> ) <sup>2)</sup>	19.0 / 17.7	Calcium (mg)	197.12 $\pm$ 73.35
Myeolchibokkeum / Pickled squid ( <i>ojingeo-jeosgal</i> ) <sup>2)</sup>	13.0 / 26.5	Potassium (mg)	935.52 $\pm$ 73.65
		Fiber (g)	5.79 $\pm$ 0.15

1) Rice, black rice, cooked/Bulgogi, beef bulgogi, cooked/Breaded laver roll, fried/Fish cake, fried/Laver, *gimgui* (salted roasted laver)/Kimchi, kimchi bokkeum, cooked/Imitation crab, *gemassal*/Rolled omelet, *gyeran-mari*/Sea weed salad, *tosnamul* (seasoned sea weed salad)/*Jangajji*, *mujangajji* (salting small radish roots)/Stir-fried, *myeolchibokkeum* (stir-fried dried small fish)/Pickled squid, *ojingeo-jeosgal* (salt-fermented and seasoned squid) 2) One of the two is provided for one meal. 3) Using data analytics Can 5.0 4) Carbohydrate, protein, total fat ratio

**Table 3.** Baseline characteristics of the subjects

Variables	Man (n = 8)	Women (n = 6)	Total (n = 14)
Age (yr)	24.83 ± 1.33 <sup>1)</sup>	21.63 ± 1.06	23.00 ± 2.00
Height (cm)	176.17 ± 5.91	162.38 ± 3.46	168.29 ± 8.37
Weight (kg)	67.80 ± 5.36	53.61 ± 5.47	59.69 ± 8.96
Lean body mass percent (%)	46.73 ± 2.00	39.58 ± 2.75	42.64 ± 4.37
Body fat percent (%)	16.87 ± 3.03	26.37 ± 4.65	22.30 ± 6.24
BMI <sup>2)</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	21.84 ± 1.26	20.31 ± 1.66	20.97 ± 1.65
Fasting blood glucose (mg/dL)	80.35 ± 6.62	85.18 ± 8.20	83.11 ± 7.69
AST <sup>3)</sup> (U/L)	22.78 ± 7.79	19.64 ± 5.32	20.99 ± 6.42
ALT <sup>4)</sup> (U/L)	14.98 ± 7.98	12.78 ± 3.63	13.72 ± 5.74
Total cholesterol (mg/dL)	165.97 ± 17.25	168.05 ± 17.61	167.16 ± 16.81
HDL-cholesterol (mg/dL)	62.27 ± 5.85	69.34 ± 16.13	66.31 ± 12.90
Triglyceride (mg/dL)	65.85 ± 19.23	74.30 ± 41.39	70.68 ± 32.92

1) Mean ± SD 2) BMI: body mass index 3) AST: aspartate aminotransferase 4) ALT: alanine aminotransferase

**Table 4.** Incremental area under the curve (IAUC) values in subjects after ingestion of the control food and test food (n = 14)

Variables	Glucose	Sucrose	RB5 <sup>4)</sup>	RB10 <sup>5)</sup>	RB14 <sup>6)</sup>
IAUC <sup>1)</sup>	3,729.93 ± 1,139.52 <sup>3)a</sup>	2,435.19 ± 790.26 <sup>b</sup>	2,387.69 ± 677.09 <sup>b</sup>	1,758.71 ± 663.31 <sup>c</sup>	1,673.62 ± 601.19 <sup>c</sup>
CV <sup>2)</sup>	30.55	32.45	28.36	37.72	35.92

1) Incremental area under the curve 2) CV: coefficient of variation 3) Mean ± SD 4) RB5: sucrose with 5% D-ribose powder

5) RB10: sucrose with 10% D-ribose powder 6) RB14: sucrose with 14% D-ribose powder

a b c: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by repeated measures ANOVA test followed by Duncan's test.

**Table 5.** Glycemic index (GI) of sucrose, RB5, RB10 and RB14

(n = 14)

Variables	Sucrose	RB5 <sup>4)</sup>	RB10 <sup>5)</sup>	RB14 <sup>6)</sup>
GI <sup>1)</sup>	67.39 ± 17.22 <sup>3)a</sup>	67.07 ± 18.19 <sup>a</sup>	47.57 ± 14.28 <sup>b</sup>	45.62 ± 14.02 <sup>b</sup>
CV <sup>2)</sup>	25.55	27.12	30.02	30.73

1) GI: glycemic index 2) CV: coefficient of variation 3) Mean ± SD 4) RB5: sucrose with 5% D-ribose powder 5) RB10: sucrose with 10% D-ribose powder 6) RB14: sucrose with 14% D-ribose powder

a b: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by repeated measures ANOVA test followed by Duncan's test.

21.63세이었고, BMI는 남녀 각각 21.84 kg/m<sup>2</sup>, 20.31 kg/m<sup>2</sup>로 정상 범위에 속하였다.

공복 시 혈당은 남자 80.35 mg/dL, 여자 85.18 mg/dL로 정상 범위에 속하였으며, AST 수치는 남자 22.78 U/L, 여자 19.64 U/L, ALT는 남자 14.98 U/L, 여자 12.78 U/L로 모두 정상 범위에 속하였다. 총 콜레스테롤은 남자 165.97 mg/dL, 여자 168.05 mg/dL로 나타났으며, 중성지방은 남자 65.85 mg/dL, 여자 74.30 mg/dL, HDL-콜레스테롤은 남자 62.27 mg/dL, 여자 69.34 mg/dL로 피험자 모두 공복 시 혈당과 혈중 지질 수준 모두 정상 범위에 속하였다.

### D-리보오스 함유 설탕의 혈당지수 (GI)

피험자들이 섭취한 포도당, 백설탕, RB5, RB10, RB14의 IAUC값은 Table 4와 같다. 표준시료와 비교시료 섭취 후의 IAUC값을 보면 포도당 3729.93, 백설탕 2435.19, RB5 2387.69, RB10 1758.71, RB14 1673.62로 포도당의 IAUC

값이 백설탕, RB5, RB10, RB14에 비해 유의적으로 높았다. RB10, RB14의 IAUC값은 포도당, 백설탕, RB5의 IAUC값에 비해 유의적으로 낮은 값을 보여 표준시료와 비교시료 사이에 IAUC 값에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 각 시료별로 IAUC값의 퍼짐 정도를 파악하기 위해 산출한 변동계수 (coefficient of variation, CV)를 보면 포도당 30.55, 백설탕 32.45, RB5 28.36, RB10 37.72, RB14 35.92로 RB5가 가장 낮은 CV값을, RB10이 가장 높은 CV값을 보였으나, 모든 시료의 CV값의 차이는 10 내외이었다.

피험자들이 섭취한 표준시료와 비교시료 (백설탕, RB5, RB10, RB14)의 혈당반응값을 활용하여 GI값을 산출한 결과는 Table 5와 같다. 각각의 비교시료별 GI를 보면 백설탕 67.39, RB5 67.07, RB10 47.57, RB14 45.62이었고, 비교시료별 GI의 CV값은 백설탕 25.55, RB5 27.12, RB10 30.02, RB14 30.73으로 비교시료별 GI값의 CV가 5내외의

차이를 보여 각 시료별 자료의 퍼짐 정도에 차이를 보이지 않았다. 백설탕과 RB5의 GI값은 RB10, RB14의 GI에 비해 유의적으로 높았고, RB5의 GI는 67.07로 백설탕 67.39와 유사한 GI값을 보여 백설탕에 5%의 D-리보오스를 첨가한 경우 백설탕과 동일한 GI값을 보인 반면, D-리보오스를 10%, 14% 첨가할 경우 GI가 각각 55이하로 낮아질 뿐 아니라 백설탕의 GI에 비해 유의적으로 낮아지는 효과를 보였다.

일반적으로 GI가 70이상이면 고 GI, 56~69이면 중 GI, 55 이하이면 저 GI로 분류하는데, 백설탕과 RB5은 68미만의 GI 값을 보여 중 GI에, RB10과 RB14는 50미만의 GI값을 보여 저 GI에 해당하였다.

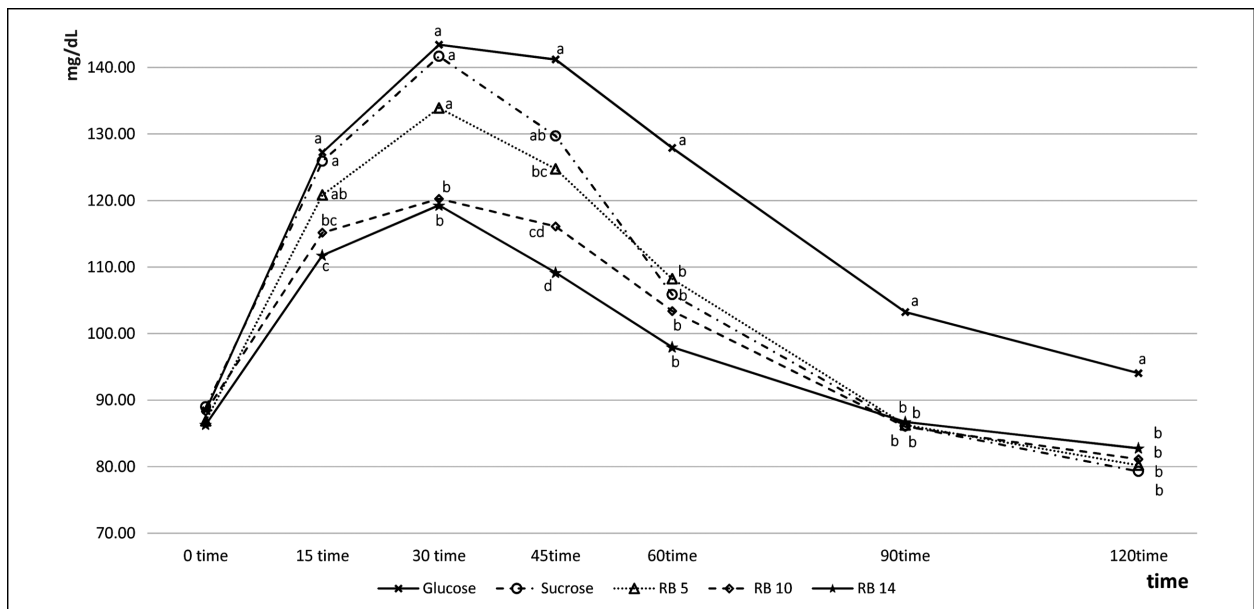
**D-리보오스 함유 설탕이 혈당 반응에 미치는 영향**

표준시료 및 비교시료를 섭취한 후의 혈당 변화는 Table 6, Fig. 1과 같다. Baseline의 혈당은 포도당 88.43 mg/dL, 백설탕 88.98 mg/dL, RB5 86.86 mg/dL, RB10 88.32 mg/dL, RB14 86.32 mg/dL로 표준시료와 비교시료 모두 정상 혈당의 수준이었다. 시료 섭취 후 15분대의 혈당상승값은 0분대에 비해 포도당 38.79 mg/dL, 백설탕 36.91 mg/dL, RB5 33.96 mg/dL, RB10 26.84 mg/dL, RB14 25.45 mg/dL로 RB14가 포도당, 백설탕 및 RB5에 비해 유의적으로 낮은 수준이었으며, RB10의 혈당상승값은 포도당과 백설탕에 비해 유의적으로 낮았으나, RB5, RB14의 혈당상승값과 비교 시에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 표

**Table 6.** The changes in blood glucose variables of the control and test food (n = 14)

Variables	Glucose	Sucrose	RB5 <sup>3)</sup>	RB10 <sup>4)</sup>	RB14 <sup>5)</sup>
Baseline glucose (mg/dL)	88.43 ± 4.27 <sup>1)NS2)</sup>	88.98 ± 4.10	86.86 ± 4.50	88.32 ± 4.41	86.32 ± 4.89
Mean changes in blood					
at 15 min	38.79 ± 10.05 <sup>a</sup>	36.91 ± 11.18 <sup>a</sup>	33.96 ± 9.04 <sup>ab</sup>	26.84 ± 9.69 <sup>bc</sup>	25.45 ± 9.31 <sup>c</sup>
at 30 min	54.98 ± 16.42 <sup>a</sup>	52.68 ± 9.70 <sup>a</sup>	47.05 ± 8.09 <sup>a</sup>	31.93 ± 13.05 <sup>b</sup>	32.96 ± 6.19 <sup>b</sup>
at 45 min	52.77 ± 21.56 <sup>a</sup>	40.70 ± 16.93 <sup>b</sup>	37.88 ± 14.10 <sup>bc</sup>	27.77 ± 12.54 <sup>cd</sup>	22.84 ± 10.08 <sup>d</sup>
at 60 min	39.45 ± 19.30 <sup>a</sup>	16.88 ± 19.56 <sup>b</sup>	21.36 ± 13.45 <sup>b</sup>	15.07 ± 12.72 <sup>b</sup>	11.63 ± 13.75 <sup>b</sup>
at 90 min	14.79 ± 9.00 <sup>a</sup>	-2.88 ± 10.53 <sup>b</sup>	-0.61 ± 13.81 <sup>b</sup>	-2.36 ± 11.61 <sup>b</sup>	0.39 ± 9.49 <sup>b</sup>
at 120 min	5.61 ± 18.58 <sup>a</sup>	-9.71 ± 8.07 <sup>b</sup>	-6.66 ± 7.32 <sup>b</sup>	-7.20 ± 7.51 <sup>b</sup>	-3.57 ± 7.58 <sup>b</sup>
Cmax (maximal postprandial glucose rise)	61.73 ± 20.87 <sup>a</sup>	58.10 ± 16.81 <sup>ab</sup>	49.43 ± 14.03 <sup>b</sup>	37.25 ± 9.77 <sup>c</sup>	35.15 ± 9.31 <sup>c</sup>

1) Mean ± SD 2) NS: not significant at a = 0.05 3) RB5: sucrose with 5% D-ribose powder 4) RB10: sucrose with 10% D-ribose powder 5) RB14: sucrose with 14% D-ribose powder  
 a b c d: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by repeated measures ANOVA test followed by Duncan's test.



**Fig. 1.** Blood glucose responses after administration of the control food (glucose) and test food (sucrose, RB5, RB10 and RB14) RB5: sucrose with 5% D-ribose powder, RB10: sucrose with 10% D-ribose powder, RB14: sucrose with 14% D-ribose powder. a b c d: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by repeated measures ANOVA test followed by Duncan's test.

준시료와 비교시료 모두 시료 섭취 후 30분에 혈당의 상승이 가장 높았으며 시료간 차이를 보면 포도당이 54.98 mg/dL, 백설탕 52.68 mg/dL, RB5 47.05 mg/dL, RB14 32.96 mg/dL, RB10 31.93 mg/dL의 순이었고, RB10과 RB14의 혈당상승값은 포도당, 백설탕 및 RB5의 혈당상승값에 비해 유의적으로 낮은 수준이었다. 시료 섭취 후 45분대에도 포도당이 비교시료에 비해 유의적으로 높은 혈당반응값을 보였고, RB10, RB14만이 백설탕에 비해 유의적으로 낮았다. 시료 섭취 후 60분대 이후의 시간대에서는 포도당이 비교시료에 비해 유의적으로 높은 혈당반응값을 보였으며, 비교시료 사이의 혈당반응값에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 90분대의 경우 백설탕, RB5, RB10은 식품섭취 전에 비해 낮은 음의 값을 보였으며, 120분대에는 표준시료인 포도당을 제외한 모든 비교시료에서 식품섭취 전보다 낮은 음의 혈당반응값을 보였다.

혈당 상승의 Cmax 값은 포도당 61.73 mg/dL, 백설탕 58.10 mg/dL, RB5 49.43 mg/dL, RB10 37.25 mg/dL, RB14 35.15 mg/dL로 RB5, RB10, RB14의 Cmax는 포도당의 Cmax에 비해 유의적으로 낮았다. 백설탕, RB5의 Cmax 값은 RB10, RB14의 Cmax 값에 비해 유의적으로 높았다. 즉, RB10, RB14의 시료 섭취 시 포도당, 백설탕, RB5에 비해 혈당이 급격하게 증가하지 않은 것으로 나타났다.

이상의 결과 RB5, RB10, RB14의 시간별 혈당반응값은 포도당에 비해 유의적으로 낮은 수준이었으며, 백설탕에 비해서도 RB10, RB14는 유의적으로 낮은 혈당반응값을 보였다.

## 고 찰

본 연구는 만 19~29세의 건강한 성인 남녀를 대상으로 D-리보오스 함유 비율이 다른 설탕 섭취가 혈당 변화 및 혈당 지수 (glycemic index)의 저감 효과에 미치는 영향을 파악하기 위한 임상실험을 수행하였다. 본 연구 결과 실험 대상자들의 GI 수치는 백설탕 67.39, RB5 67.07, RB10 47.57, RB14 45.62로 나타나 백설탕과 D-리보오스를 5% 함유한 설탕에 비해 D-리보오스 함유량이 10% 이상인 설탕에서 GI값이 50이하로 유의적으로 낮아 혈당 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 선행연구<sup>23,26</sup>에서 백설탕의 GI는 평균적으로 68 정도였고, 본 연구의 백설탕 GI는 67.39로 이와 유사한 수준이었다. 백설탕에 5%의 D-리보오스를 첨가한 경우 67.07로 본 연구의 백설탕 GI와 선행연구<sup>23,26</sup>에서 제시한 백설탕의 GI와 유사한 수준으로 나타나 백설탕에 5% 정도의 D-리보오스를 첨가할 경우 GI를 감소시

키는 효과가 없었다. GI수치가 70 이상이면 고 GI 식품, 56~69이면 중 GI 식품, 55이하이면 저 GI식품으로 분류한다. 본 연구결과 백설탕과 RB5는 각각 67.39, 67.07로 중 GI식품에, RB10, RB14는 각각 47.57, 45.62로 55이하의 수치를 보여 저 GI식품에 해당하였다. 선행연구에서 D-자일로오스를 함유한 설탕의 GI는 설탕에 5% 함유 시 49.31, 10% 함유 설탕의 경우 50.37로 나타나 저 GI에 해당하였으며,<sup>27</sup> 자일로바이오스 10%, 14% 함유한 설탕의 GI 각각 53.6, 49.7,<sup>28</sup> 자일로올리고당을 7%, 10% 함유한 설탕의 GI 각각 54.7, 52.5로 보고하고 있어<sup>26</sup> 본 연구결과와 RB10, RB14와 마찬가지로 저 GI 식품에 해당하였다.

식품 내 GI값은 건강과 밀접한 관련이 있다는 다양한 연구가 수행되면서 GI값이 높은 식품을 섭취하였을 경우 식욕이 촉진되고 인슐린의 분비량이 많아져서 식욕 조절과 체내 대사에 부정적인 영향으로 체지방 증가를 초래할 수 있는 반면, 낮은 GI 식품의 섭취는 혈액 내 혈당 및 인슐린의 농도를 낮게 유지시켜 비만, 당뇨 및 심혈관질환의 예방과 증상 완화에 도움을 줄 수 있는 것으로 보고되어 있다.<sup>29-31</sup> D-리보오스는 건강한 또는 질병인을 대상으로 한 선행연구의 경우 CAD (coronary artery disease, 관상동맥질환)를 가진 환자에서 협심증을 개선시키는 것으로 보고되었고,<sup>32</sup> 당뇨병자를 대상으로 한 연구에서 D-리보오스의 섭취는 혈당의 감소를 유도하는 것으로 보고하고 있다.<sup>14,15,33,34</sup>

본 연구에서 포도당, 설탕, RB5, RB10, RB14 섭취 후의 시간대별 혈당 변화를 보면 RB10과 RB14의 혈당상승값이 포도당과 백설탕에 비해 유의적으로 낮았고, 시료 섭취 후 30분대의 혈당상승값은 표준시료 (포도당)에 비해 백설탕은 4.2%, RB5는 14.4%, RB10은 41.9%, RB14는 40.1% 정도 혈당 상승을 억제하는 효과를 보였으며, 특히 D-리보오스를 10% 이상 함유한 설탕을 섭취할 경우 40% 이상의 혈당 저감 효과를 보였고 이는 통계적으로 유의하였다. D-리보오스를 함유한 설탕의 경우 포도당과 설탕에 비해 혈당 상승이 낮고, 빠른 속도로 감소한 결과 GI를 낮추는 것으로 사료된다.

건강한 성인 남자를 대상으로 D-리보오스를 시간당 166.7 mg/kg 제공 시 혈당은 섭취 전에 비해 25% 감소하였고, 혈중 인슐린은 D-리보오스 섭취 전 8.4 µU/ml에서 D-리보오스 섭취 후 10.4 µU/ml로 증가한 것으로 보고하였다.<sup>33</sup> 또 다른 종류의 5탄당인 D-자일로오스, L-아라비노오스를 함유한 설탕 섭취 후의 혈당 변화를 본 선행연구<sup>27,35,36</sup>에서도 D-자일로오스, L-아라비노오스를 함유한 설탕을 섭취 후 30분대에 가장 높은 혈당 값을 보였으나, 대조군인 설탕 섭취군에 비해 유의적으로 낮은 혈당반응값을 보였다. 이

당류인 자일로바이오스를 함유한 설탕 또는 자일로올리고당을 함유한 설탕 섭취 시에도 30분대의 혈당이 포도당 섭취 시에 비해 낮은 것으로 보고<sup>26,28</sup> 하고 있어 본 연구결과와 유사하였다. 설탕에 함유된 감미료의 비율에 따른 혈당의 변화를 보면 50 g의 설탕에 D-자일로오스 5 g, 7.5 g 함유 시 시간대별 혈당 상승 및 감소 속도가 유사하였고,<sup>35</sup> D-자일로오스를 5%, 10% 함유한 설탕 섭취 시에도 D-자일로오스 함유 비율에 따른 혈당의 상승 및 감소 속도에 차이를 보이지 않았다.<sup>27</sup> 이외 자일로바이오스를 10%, 14% 함유한 설탕, 자일로올리고당을 7%, 10% 함유한 설탕 섭취 시에도 이들 비율에 따라 시간대별 혈당의 상승 및 감소 값에 차이를 보이지 않고 유사한 경향의 혈당변화곡선을 보였다.<sup>26,28</sup> 그러나 본 연구에서는 D-리보오스의 함량에 따라 혈당 변화에 차이를 보여 시료 섭취 후 15분대에는 RB5에 비해 RB14의 혈당상승값이 유의적으로 낮았고, 30분대에는 RB5에 비해 RB10과 RB14의 혈당상승값이 유의적으로 낮아 D-리보오스 함량이 10% 이상일 때 혈당 저감화 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 동물실험 연구에서 L-아라비노오스를 1.25%, 2.5%와 5% 첨가 시 각각의 혈당 상승억제율은 0%, 35%, 65%로 L-아라비노오스 첨가량이 증가할수록 혈당 상승을 억제하는 효과 역시 높아지는 것으로 보고되었다.<sup>37</sup> 그러나 본 연구에서 D-리보오스의 경우 5% 첨가 시의 혈당 변화는 백설탕과 유사하였으며, 10%, 14% 첨가 시에는 백설탕과 D-리보오스 5% 첨가한 경우보다 낮았으나, D-리보오스 10%와 D-리보오스 14% 첨가에 따른 혈당의 변화에는 차이를 보이지 않았다. 선행 연구에서 D-자일로오스, 자일로바이오스 및 자일로올리고당을 함유한 설탕의 경우 각각 5%, 7%, 10% 이상 첨가하더라도 함유 수준에 따라 혈당 변화에 차이를 보이지 않는 것으로 보고하고 있다.<sup>26-28</sup> 본 연구에서도 D-리보오스를 10%, 14% 함유한 설탕의 경우 두 시료 간에 시간대별 혈당 변화에 유의적인 차이를 보이지 않아 선행 연구와 유사하였다.

표준시료와 비교시료 (RB5, RB10, RB14)의 Cmax 값의 변화를 보면 포도당에 비해 RB5, RB10, RB14의 Cmax는 유의적으로 낮아 포도당에 비해 RB5는 20%, RB10은 40%, RB14는 43% 정도 낮았으며, 백설탕에 비해 RB10, RB14의 Cmax는 각각 36%, 40% 정도 유의적으로 더 낮았다. 즉, 포도당과 백설탕에 비해 D-리보오스를 10% 이상 함유한 설탕의 Cmax가 35% 이상 더 낮은 것으로 보아 10% 이상의 D-리보오스를 첨가할 경우 당 부하 억제 효과가 있는 것으로 나타났다. L-아라비노오스의 혈당 변화에 따른 Cmax를 비교한 결과도 본 연구와 마찬가지로 설탕에 L-아라비노오스를 첨가한 경우의 Cmax 값이 유의적으

로 낮았으며,<sup>36</sup> 자일로바이오스와 자일로올리고당의 경우도 설탕에 첨가 시 포도당 또는 설탕에 비해 Cmax 값이 유의적으로 낮은 것으로 보고하고 있어 본 연구결과와 유사하였다.<sup>26,28</sup>

L-아라비노오스, D-자일로오스 섭취 시 동물실험 결과 이들 감미료가 함유된 설탕 섭취 후 소장에서 분비되는 sucrase의 활성을 L-아라비노오스는 56.2%, D-자일로오스는 52.1%로 억제시켰다고 보고하고 있으며,<sup>37</sup> Enzyme-inhibitor-substrate (EIS) complex를 활용한 *in vitro* 실험에서도 L-아라비노오스를 함유한 설탕의 경우 2시간 후에도 sucrase의 활성을 80% 정도 억제시켜 포도당의 흡수를 지연시키는 것에 기인하는 것으로 나타났다.<sup>36</sup> L-아라비노오스, D-자일로오스는 maltase, lactase, glucoamylase, pancreatic amylase의 활성에는 영향을 미치지 않고 비경쟁적인 방법으로 sucrase를 저해하는 것으로 보고하고 있다.<sup>37</sup> 뿐만 아니라 L-아라비노오스, D-자일로오스 함유 설탕 섭취 시 백설탕을 섭취할 때보다 섭취 후 15분~45분 사이에 혈중 인슐린의 농도를 낮추는 것으로 보고하고 있다.<sup>35,37</sup> 반면, D-리보오스 섭취 후 혈당 저감화 효과는 다수의 연구에서 혈중 인슐린 농도 증가에 기인한 것으로 보고하고 있다. Bierman 등<sup>14</sup>은 8명의 당뇨병환자를 대상으로 하루 40~50 g의 리보오스 섭취 시 혈당이 감소한다고 보고하였고, Steinberg 등<sup>15</sup>은 건강인과 당뇨병환자를 대상으로 15 g의 D-리보오스를 경구 투여 시 혈당이 감소하였고, 당뇨병환자들에서 인슐린의 면역반응성이 정상인보다 2.6배 더 높은 것으로 나타났지만, 혈중 인슐린 농도에는 차이를 보이지 않았다. Gross와 Zollner<sup>33</sup>는 166.7 mg/kg BW/hr로 D-리보오스를 정맥 투여와 구강으로 섭취할 경우 혈당은 25% 감소하였고, D-리보오스를 구강으로 섭취 시 혈중 인슐린의 농도는 증가하였으나, 정맥 투여 시 혈중 인슐린 농도에 변화가 없는 것으로 보고하고 있어, D-리보오스 투여에 따른 혈당의 감소는 혈중 인슐린 농도의 변화에 기인하지 않는다고 하였다. 반면 D-리보오스를 정맥 투여하였을 때 혈당과 인슐린이 저하되었다는 보고도 있었으며, 혈당 저하 효과는 실험 쥐, 개, 사람에서도 동일한 결과를 보였다는 연구결과가 있다.<sup>17-19</sup> D-리보오스 제공 방법에 따라 혈당 감소에 영향을 미칠 수 있는 혈중 인슐린 농도의 변화에 서로 상반된 결과를 보이고 있어 D-리보오스에 의한 혈당 감소는 위장관내에서 분비되는 호르몬인 인슐린의 작용에 의한 가능성은 희박한 것으로 사료된다. 그러나 Segal 등<sup>38</sup>은 *in vitro* 연구에서 D-리보오스가 phosphoglucomutase 활성을 억제하여 글리코겐 분해 속도를 감소시켰으며, 이로 인해 혈당 저하 효과가 있음을 보고하여 리보오스의 혈당 저감 효과는 간에서 포도당 대사의 변화에 기인하는 것으로 보았으며,



Sahlin 등<sup>39</sup>은 리보오스가 간내 글리코겐 분해를 억제시켜 혈당 상승을 억제시키는 것으로 보고하고 있다. 소화기관 내 D-리보오스의 흡수율은 포도당에 비해 67% 정도로 낮으나, D-자일로오스 15%에 비해 높은 수준으로 보고하고 있어, D-리보오스의 혈당 저감 효과는 흡수율 감소에 기인하기 보다는 간과 다른 조직에서의 인슐린 분비의 자극 또는 글리코겐 분해를 억제시키는 작용에 의해 혈당 저하를 촉진하는 것으로 보여진다.

D-리보오스 섭취에 의한 혈당 저감화 효과 이외 건강과 관련된 기능적인 효과를 평가한 연구들을 보면 쥐에게 리보오스를 13주간 반복 투여 시 체중 감소 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며,<sup>41</sup> D-리보오스 섭취는 만성피로증후군 환자들의 만성피로증후군의 증상이 개선되거나<sup>20</sup> 심장 질환자의 심장 에너지 대사 기능을 개선하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>32</sup> 또한 운동 시 D-리보오스 섭취는 에너지 보충제로서의 효과가 있다는 연구와 그렇지 않다는 상반된 연구가 존재하나,<sup>22,42,43</sup> D-리보오스 섭취 시 glutathione 수준과 산화적스트레스 물질의 합성을 억제하는 효과가 있어 운동 후 회복 시의 피로회복에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되었다.<sup>21,22</sup> D-리보오스의 보충은 체내 산화적 스트레스를 억제하는 효과와 더불어 노화로 인해 감소한 ATP의 재생산을 강화시킴으로써 피부노화를 억제하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>44</sup> 이와 같이 D-리보오스가 혈당 개선효과 이외에 건강과도 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있는데 이는 D-리보오스가 오탄당으로 세포내 ATP 합성 및 단백질 합성 과정 등 다양한 대사 기능을 조절하는 중요한 구성물질 중의 하나이기 때문인 것으로 본다.

그러나 과량의 D-리보오스의 섭취는 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 제2형 당뇨병환자들의 경우 혈당을 저하시키는 약과 함께 D-리보오스를 섭취할 경우 심한 저혈당증세를 유발할 수 있을 뿐만 아니라,<sup>45</sup> D-리보오스 대사의 이상으로 인해 소변을 통한 D-리보오스와 요산의 농도를 증가시키는 것으로 보고하고 있어<sup>46</sup> 제2형 당뇨병환자들뿐만 아니라 신장질환자들에게 D-리보오스의 섭취에 주의해야 할 것으로 사료된다. 건강인을 대상으로 한 다수의 연구에서 D-리보오스 제공량은 하루 2 g ~ 60 g까지 그 범위가 매우 다양하며, D-리보오스 과잉 섭취로 인한 부정적인 효과는 보고되고 있지 않다.<sup>14,15,21,22,32,33,43,47</sup> 본 연구에서 사용한 D-리보오스 함량은 설탕의 5%, 10%, 14%로 각각 2.5 g, 5 g, 7 g으로 선행연구들에서 최대로 제공한 60 g보다 낮은 수준이며, 대체 감미료로 사용되는 L-아라비노오스, D-자일로오스와 유사한 비율로 설탕에 첨가하였으므로 극단적으로 설탕을 과잉섭취하는 경우를 제외

하고 일반적인 수준으로 D-리보오스 함유 설탕을 섭취할 시 부작용 발생의 가능성은 희박할 것으로 사료된다.

본 연구는 선행연구와 달리 D-리보오스 자체를 제공한 것이 아니라 D-리보오스를 함유한 설탕을 섭취시켰다. 그 결과 선행연구와 마찬가지로 D-리보오스 함유 설탕의 섭취는 혈당 저감화 효과가 있는 것으로 나타났으며, D-리보오스 함량에 따라 혈당 저감 효과에 차이를 보여 D-리보오스를 5% 함유한 설탕보다는 D-리보오스를 10% 이상 함유 시 GI가 50 이하로 저 GI에 해당하였다. 또한 혈당 변화의 Cmax 뿐만 아니라 IAUC 역시 RB5 보다 RB10, RB14에서 유의적으로 낮았으나, RB10과 RB14 사이에서는 당 저감화 효과에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러므로 설탕에 D-리보오스를 14% 첨가하는 것보다는 D-리보오스를 10% 정도 첨가하는 것이 비용적인 측면을 고려할 때 더 적절한 것으로 보인다.

최근 식품의약품안전처에서는 당 섭취 저감화 사업을 실시하면서 첨가당의 섭취를 하루 50 g 미만 섭취할 것을 권고하고 있다.<sup>48</sup> 주요 첨가당인 설탕은 중 GI 식품으로 과다 섭취 시 대사증후군과 같이 건강에 부정적 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 수준으로 섭취를 제한할 필요가 있다. 설탕에 기능성 감미료인 D-리보오스를 10% 첨가하는 것만으로도 저 GI식품으로 분류될 수 있으므로 혈당 조절과 관련이 있는 당뇨병, 심혈관계질환 및 대사증후군환자들 뿐만 아니라 비만예방 및 저 GI 식이가 요구되는 사람들 역시 활용이 가능할 것이다. 그러므로 D-리보오스와 같이 혈당 저감 효과가 있는 대체 감미료를 첨가한 기능성 설탕의 개발을 고려할 필요가 있을 것이다.

## 요 약

본 연구는 10 주 동안 건강한 20대 성인 남녀 14명을 대상으로 D-리보오스 함유 비율이 다른 설탕 (D-리보오스 5%, 10%, 14% 함유) 섭취가 혈당 반응과 GI에 미치는 영향을 분석하여 혈당 저감화 효과를 확인하고자 하였다.

설탕과 D-리보오스함유 설탕의 혈당반응값을 비교하였을 때 D-리보오스 함유 설탕인 RB5, RB10, RB14 순으로 낮아졌으며 RB10, RB14는 설탕에 비해 유의적으로 낮은 혈당반응값을 보였다. 백설탕, RB5, RB10, RB14의 GI는 각각 67.39, 67.07, 47.57, 45.62로 설탕과 RB5는 중 GI 식품으로, RB10과 RB14는 저 GI 식품으로 분류되었으며, RB10, RB14의 GI는 설탕과 RB5의 GI에 비해 유의적으로 낮았다. 혈당 변화에 따른 Cmax를 보면 포도당 61.73 mg/dL에 비해 RB5, RB10, RB14가 각각 49.43 mg/dL, 37.25 mg/dL, 35.15 mg/dL로 유의적으로 낮았으나, 설탕의 Cmax

58.18 mg/dL과 비교 시 RB10, RB14의 Cmax는 유의적으로 낮았으나, RB5와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 D-리보오스 함유 설탕의 혈당 상승 억제 효과는 D-리보오스를 5% 함유 시 보다는 D-리보오스를 10% 이상 함유할 때 더 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 D-리보오스를 10%, 14% 함유한 설탕의 GI값과 혈당 변화율이 유사하게 나타나고 있으므로 D-리보오스 14% 함유보다는 D-리보오스 10% 함유하는 것이 혈당 저감화 효과 및 비용적인 측면을 고려할 때 기능성 설탕의 비율로 더 적절할 것으로 사료된다.

## References

- World Health Organization. Sugars intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2015.
- Glucose tolerance and mortality: comparison of WHO and American Diabetes Association diagnostic criteria. The DECODE study group. European Diabetes Epidemiology Group. *Diabetes Epidemiology: Collaborative analysis Of Diagnostic criteria in Europe*. *Lancet* 1999; 354(9179): 617-621.
- Beisswenger P, Heine RJ, Leiter LA, Moses A, Tuomilehto J. Prandial glucose regulation in the glucose triad: emerging evidence and insights. *Endocrine* 2004; 25(3): 195-202.
- Jenkins DJ, Wolever TM, Collier GR, Ocana A, Rao AV, Buckley G, Lam Y, Mayer A, Thompson LU. Metabolic effects of a low-glycemic-index diet. *Am J Clin Nutr* 1987; 46(6): 968-975.
- Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(1): 269S-274S.
- McKeown NM, Meigs JB, Liu S, Saltzman E, Wilson PW, Jacques PF. Carbohydrate nutrition, insulin resistance, and the prevalence of the metabolic syndrome in the Framingham Offspring Cohort. *Diabetes Care* 2004; 27(2): 538-546.
- Ludwig DS, Majzoub JA, Al-Zahrani A, Dallal GE, Blanco I, Roberts SB. High glycemic index foods, overeating, and obesity. *Pediatrics* 1999; 103(3): E26.
- Korea Health Industry Development Institute. Sugar database compilation for commonly consumed foods. Cheongju: Ministry of Food and Drug Safety; 2015.
- Latulippe ME, Skoog SM. Fructose malabsorption and intolerance: effects of fructose with and without simultaneous glucose ingestion. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2011; 51(7): 583-592.
- DeChristopher LR, Uribarri J, Tucker KL. Intake of high fructose corn syrup sweetened soft drinks, fruit drinks and apple juice is associated with prevalent coronary heart disease, in U.S. adults, ages 45-59 y. *BMC Nutr* 2017; 3(1): 51.
- Ibarra-Reynoso LD, López-Lemus HL, Garay-Sevilla ME, Malacara JM. Effect of restriction of foods with high fructose corn syrup content on metabolic indices and fatty liver in obese children. *Obes Facts* 2017; 10(4): 332-340.
- Kim JH. Spotlight functional sweeteners. *Food Ind Nutr* 2010; 15(2): 26-28.
- Ministry of Food and Drug Safety (KR). Food additive standard [Internet]. Cheongju: Ministry of Food and Drug Safety; [cited 2016 Nov 29]. Available from: [http://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/foodAdditive/foodAdditiveRvly.do?page\\_gubun=1&procs\\_cl=1&menu\\_no=306&menu\\_grp=MENU\\_GRP01](http://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/foodAdditive/foodAdditiveRvly.do?page_gubun=1&procs_cl=1&menu_no=306&menu_grp=MENU_GRP01).
- Bierman EL, Baker EM, Plough IC, Hall WH. Metabolism of D-ribose in diabetes mellitus. *Diabetes* 1959; 8(6): 455-458.
- Steinberg T, Poucher RL, Sarin RK, Rees RB, Gwinup G. Oral administration of D-ribose in diabetes mellitus. *Diabetes* 1970; 19(1): 11-16.
- Han C, Lu Y, Wei Y, Liu Y, He R. D-ribose induces cellular protein glycation and impairs mouse spatial cognition. *PLoS One* 2011; 6(9): e24623.
- Hetenyi G Jr, Ishiwata K. Effect of D(-)-ribose on the turnover of glucose in dogs. *Am J Physiol* 1968; 214(6): 1333-1339.
- Ishiwata K, Hetenyi G Jr, Vranic M. Effect of D-glucose or D-ribose on the turnover of glucose in pancreatectomized dogs maintained on a matched intraportal infusion of insulin. *Diabetes* 1969; 18(12): 820-827.
- Ismail ZB, Abu-Baker N, Alzoubi K, Al-Zhgoul M, Al-Essa MK, Khlouf S, Al-Saleh A, Al-Omari B, Abu-Tayeh R, Shomaf M, Battah A, Al-Hadidi K. Evaluation of alpha-D-ribofuranose (D-ribose) toxicity after intravenous administration to rabbits. *Hum Exp Toxicol* 2012; 31(8): 820-829.
- Teitelbaum JE, Johnson C, St Cyr J. The use of D-ribose in chronic fatigue syndrome and fibromyalgia: a pilot study. *J Altern Complement Med* 2006; 12(9): 857-862.
- Seifert JG, Subudhi AW, Fu MX, Riska KL, John JC, Shecterle LM, St Cyr JA. The role of ribose on oxidative stress during hypoxic exercise: a pilot study. *J Med Food* 2009; 12(3): 690-693.
- Lee YH, Shin KO, Kim KS, Kim YI, Woo JH. The effects of D-ribose supplementation on the production of blood fatigue factors after maximal intensity exercise. *J Life Sci* 2011; 21(5): 729-733.
- Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 5-56.
- Brouns F, Björck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, Wolever TM. Glycaemic index methodology. *Nutr Res Rev* 2005; 18(1): 145-171.
- Wolever TM, Vorster HH, Björck I, Brand-Miller J, Brighenti F, Mann JI, Ramdath DD, Granfeldt Y, Holt S, Perry TL, Venter C, Xiaomei Wu. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57(3): 475-482.
- Nam H, Kyung M, Seo S, Jung S, Chang MJ. Effect of different levels of xylooligosaccharide in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults. *J Nutr Health* 2015; 48(5): 398-406.
- Moon SH, Lee KS, Kyung MO, Jung SW, Park YJ, Yang CK. Study on the proper D-xylose concentration in sugar mixture to reduce glycemic index (GI) value in the human clinical model. *Korean J Food Nutr* 2012; 25(4): 787-792.
- Lee JS, Kim AR, Nam H, Kyung M, Seo S, Chang MJ. Effect of varying levels of xylobiose in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults. *J Nutr Health* 2016; 49(5): 295-303.
- Brand-Miller JC, Holt SH, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic index and obesity. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 281S-285S.

30. Hodge AM, English DR, O'Dea K, Giles GG. Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2004; 27(11): 2701-2706.
31. Ludwig DS. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr* 2000; 130(2S Suppl): 280S-283S.
32. Pliml W, von Armim T, Stäblein A, Hofmann H, Zimmer HG, Erdmann E. Effects of ribose on exercise-induced ischaemia in stable coronary artery disease. *Lancet* 1992; 340(8818): 507-510.
33. Gross M, Zöllner N. Serum levels of glucose, insulin, and C-peptide during long-term D-ribose administration in man. *Klin Wochenschr* 1991; 69(1): 31-36.
34. Tao SU, Rong-Qiao HE. An insight of D-ribose metabolic imbalance in Type 2 diabetes mellitus. *Prog Biochem Biophys* 2015; 42(4): 390-392.
35. Bae YJ, Bak YK, Kim B, Kim MS, Lee JH, Sung MK. Coconut-derived D-xylose affects postprandial glucose and insulin responses in healthy individuals. *Nutr Res Pract* 2011; 5(6): 533-539.
36. Shibamura K, Degawa Y, Houda K. Determination of the transient period of the EIS complex and investigation of the suppression of blood glucose levels by L-arabinose in healthy adults. *Eur J Nutr* 2011; 50(6): 447-453.
37. Seri K, Sanai K, Matsuo N, Kawakubo K, Xue C, Inoue S. L-arabinose selectively inhibits intestinal sucrase in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals. *Metabolism* 1996; 45(11): 1368-1374.
38. Segal S, Foley J. The metabolism of D-ribose in man. *J Clin Invest* 1958; 37(5): 719-735.
39. Sahlin K, Broberg S, Ren JM. Formation of inosine monophosphate (IMP) in human skeletal muscle during incremental dynamic exercise. *Acta Physiol Scand* 1989; 136(2): 193-198.
40. Naitö Y. Biochemical studies on d-ribose, with special reference to the mechanism of absorption of sugars from intestinal tract. *J Biochem* 1944; 36(1): 131-161.
41. Griffiths JC, Borzelleca JF, St Cyr J. Sub-chronic (13-week) oral toxicity study with D-ribose in Wistar rats. *Food Chem Toxicol* 2007; 45(1): 144-152.
42. Eijnde BO, Van Leemputte M, Brouns F, Van Der Vusse GJ, Labarque V, Ramaekers M, Van Schuylenberg R, Verbessem P, Wijnen H, Hespel P. No effects of oral ribose supplementation on repeated maximal exercise and de novo ATP resynthesis. *J Appl Physiol* (1985) 2001; 91(5): 2275-2281.
43. Yoon JW, Lee SE, Park H. Effect of D-ribose supplementation on run-to-exhaustion time and antioxidative capacity under sea level or high altitude condition. *J Exerc Nutr Biochem* 2009; 13(1): 45-50.
44. Shecterle LM, St Cyr JA. Dermal benefits of topical D-ribose. *Clin Cosmet Investig Dermatol* 2009; 2: 151-152.
45. Cleveland Clinic Wellness (US). Ribose supplement review [Internet]. Cleveland (OH): Cleveland Clinic Wellness; [cited 2017 Aug 10]. Available from: <http://www.clevelandclinicwellness.com/Features/Pages/Ribose.aspx>.
46. Su T, He R. D-ribose, an overlooked player in type 2 diabetes mellitus? *Sci China Life Sci* 2014; 57(3): 361.
47. Seifert J, Frelich A, Shecterle L, St Cyr J. Assessment of hematological and biochemical parameters with extended D-ribose ingestion. *J Int Soc Sports Nutr* 2008; 5(1): 13.
48. Ministry of Food and Drug Safety (KO). The first comprehensive plan for the sugar reduction ('16-'20). Cheongju: Ministry of Food and Drug Safety; 2016.