

경구당부하(OGTT) 원리에 기반한 가당·무가당 음료 혈당 반응: 세 가지 장비 활용 비교 연구

Sugly and sugar-free beverage blood sugar reactions based on the OGTT principle: A comparative study on the utilization of three equipment

CHEMI

지도 교수 : 이은주 교수님

회장 : 한도경 / 부회장 : 차세연, 김선우

4학년 : 박슬기 송가은 이성하

3학년 : 한도경 차세연 김선우 김윤이 김다윤 김민철 박한별 배수진 백다영 변은빈 서은비 윤주원 이나영 이상미 이아름 이윤준 차소민

2학년 : 김고운 김민아 김수빈 김예나 김휘수 박소현 박예은 박진 배시은 이하영 임수현 전효은

1학년 : 김세은 김은을 박은지 양시은 엄태희 오승현 이하은 한다희 황소화



Introduction

코로나19 팬데믹 이후 건강에 대한 사회적 관심이 커지면서, 설탕은 없지만 기존 음료와 유사한 맛을 내는 '제로 음료'의 소비가 젊은 세대를 중심으로 빠르게 늘고 있다. 이는 '헬시 플래저'라는 새로운 소비 경향과 맞물려 제로 음료가 주류 소비 형태로 자리 잡게 된 배경이기도 하다.

이러한 인기를 뒤로하고, 제로 음료에 사용되는 '대체 감미료'의 인체 건강 영향에 대한 우려 또한 지속적으로 제기되고 있다. 세계보건기구(WHO)와 미국당뇨병학회(ADA)에서는 무설탕 감미료가 장기적인 체중 관리나 혈당 조절에 미치는 긍정적인 효과에 대한 근거가 불충분하다고 지적하고 있으며, 일부 연구에서는 특정 감미료가 장내 미생물 변화를 통해 인슐린 저항성 및 혈당 변화를 유발할 수 있다는 결과 또한 보고되었다.

특히 주목할 점은 제로 음료의 주요 소비층인 젊은 세대에서 당뇨병 및 당뇨병 전단계 유병률이 꾸준히 증가하고 있다는 사실이다. 이러한 상황은 단순히 설탕이 없다는 이유만으로 제로 음료를 혈당에 무해하다고 단정하기 어렵게 만들며, 실제 인체 혈당 변화 양상을 객관적으로 분석하는 것이 시급함을 시사한다.

본 연구는 이러한 필요성에서 출발하여 가당 및 무가당 '토레타' 음료 섭취가 인체 혈당 변화에 미치는 영향을 평가하고, POCT, 자동화 장비, CGM 등 세 가지 혈당 측정 장비를 사용하여 그 결과를 비교 분석하는 것을 목표로 한다.

Material and Methods

Table 1. Basic characteristics of study subjects

특성	전체 대상자 (Total, N=15)
성별 (Gender)	
남성 (Male), n(%)	2(13.3)
여성 (Female), n(%)	13(86.7)
연령 (Age, Years)	22.4 ± 0.7
신장 (Height, cm)	165.4 ± 7.5
공복혈당 (Fasting BG, mg/dL)	92 ± 8.4
흡연여부 (Smoking)	
비흡연, n (%)	11 (73.3)
흡연, n (%)	4 (26.7)

✓ 섭취 방법 및 통계 분석

가당 토레타 음료군과 무가당 토레타 음료군 간 혈당 반응을 비교하기 위해 교차 설계 (Crossover Design)를 적용하였다. 모든 참여자는 세 가지 조건을 모두 경험하였다. 1일차에는 무가당 음료, 2일차에는 가당 음료, 3일차에는 혼합 음료(무가당+가당)를 섭취한 후 혈당 반응을 측정하였다. 각 음료는 340mL 기준으로 섭취했다. <그림1>

Measurement Methods

1. 자동화 장비 (DOTTO 3000, LC Diagnostics) <그림2>

효소학적 헥소키나아제(Hexokinase) 방법으로, 포도당이 헥소키나아제에 의해 포도당-6-인산으로 전환되고, 이어 글루코스-6-포스페이트 탈수소효소(G6PDH) 반응을 통해 NAD(P)H가 생성된다. 생성된 NAD(P)H의 흡광도를 분광광도계로 측정하여 혈당 농도를 정량화한다.

2. POCT 장비 (케어센스N, i-SENS) <그림3>

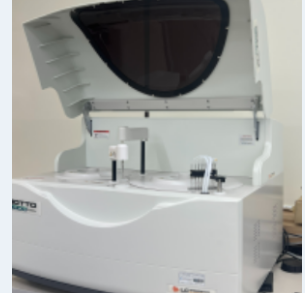
전기화학적 방식(Electrochemical method)으로, 혈액 내 포도당이 시험지에 도포된 포도당 산화효소 또는 포도당 탈수소효소에 의해 산화되면서 전자가 발생하고, 이 전기 신호를 전류로 환산해 혈당 농도를 계산한다.

3. CGM 장비 (케어센스어, i-SENS) <그림4>

효소 전기기반 전기화학적 센서를 사용하고, 피부에 삽입된 미세 센서가 간질액 내 포도당 농도를 감지하여 포도당 산화효소 반응을 통해 전기 신호를 발생시키고, 이를 무선 송신기를 통해 실시간 기록한다.



<그림1>



<그림2>



<그림3>



<그림4>

Results

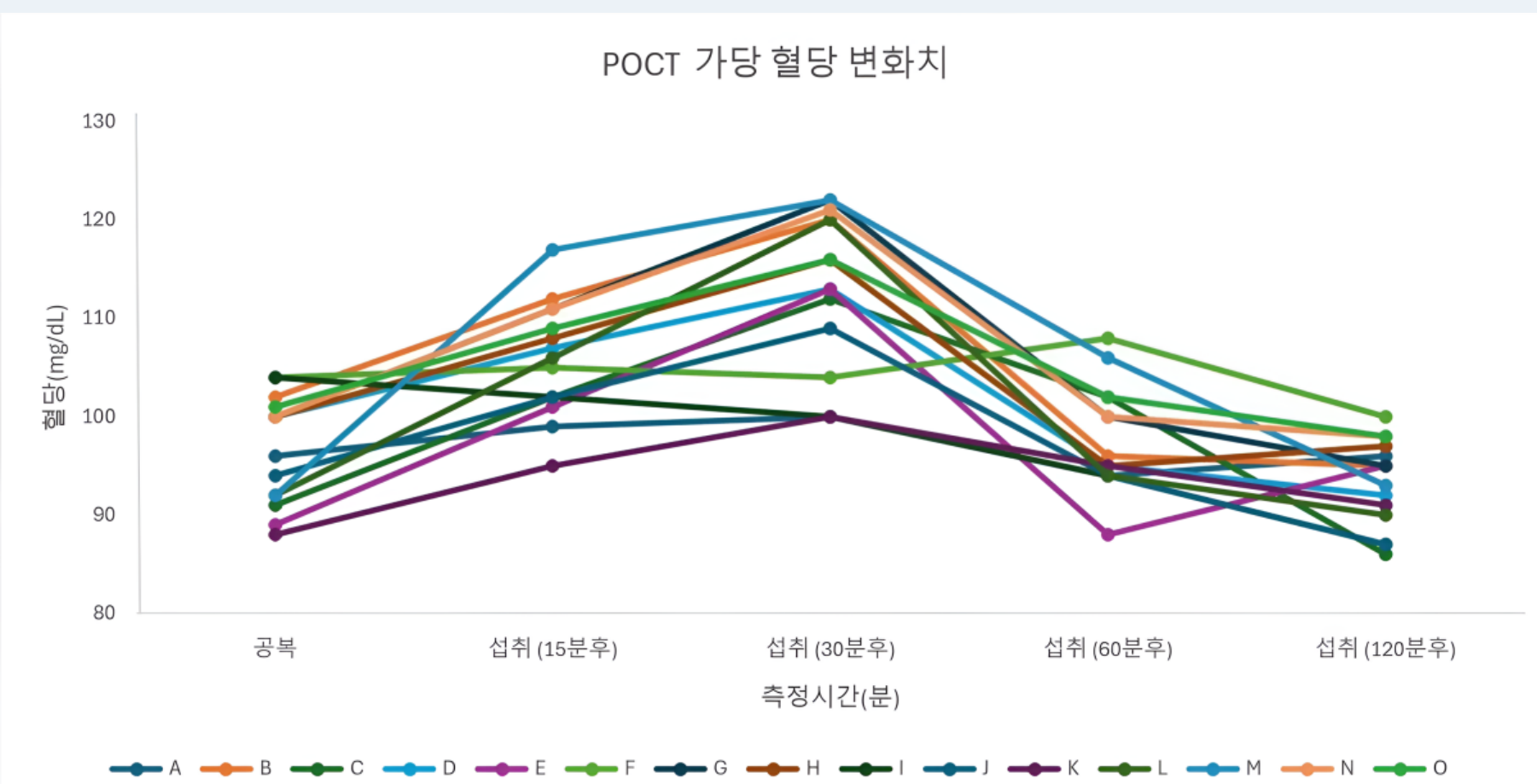


Fig. 1. Glycoscopic blood sugar change level using POCT

Results

Table 2. Analysis of changes in blood sugar levels and statistical significance

그룹	공복 평균 혈당(±SD)	섭취 후 평균 혈당(±SD)	변이계수 (CV)(%)	△MAX	P-value
무가당-POCT	96.9±5.1	95.9±3.4	3	+15	>0.05
무가당-자동화	90.7±7.9	92.5±7.9	8	+25	>0.05
무가당-CGM	109±9.9	110±14.1	8	+4	<0.05
가당-POCT	96.9±5.4	112.5±8.2	7	+4	<0.05
가당-자동화	89.6±8.6	94.8±8	8	+18	<0.05
가당-CGM	112.5±10.6	137±19.8	14	+31	<0.05
혼합-POCT	100.3±6	112.7±8.5	7	+33	<0.05
혼합-자동화	95.8±8	105.2±10.1	9	+31	<0.05
혼합-CGM	111±8.5	126.5±7.8	8	+16	<0.05

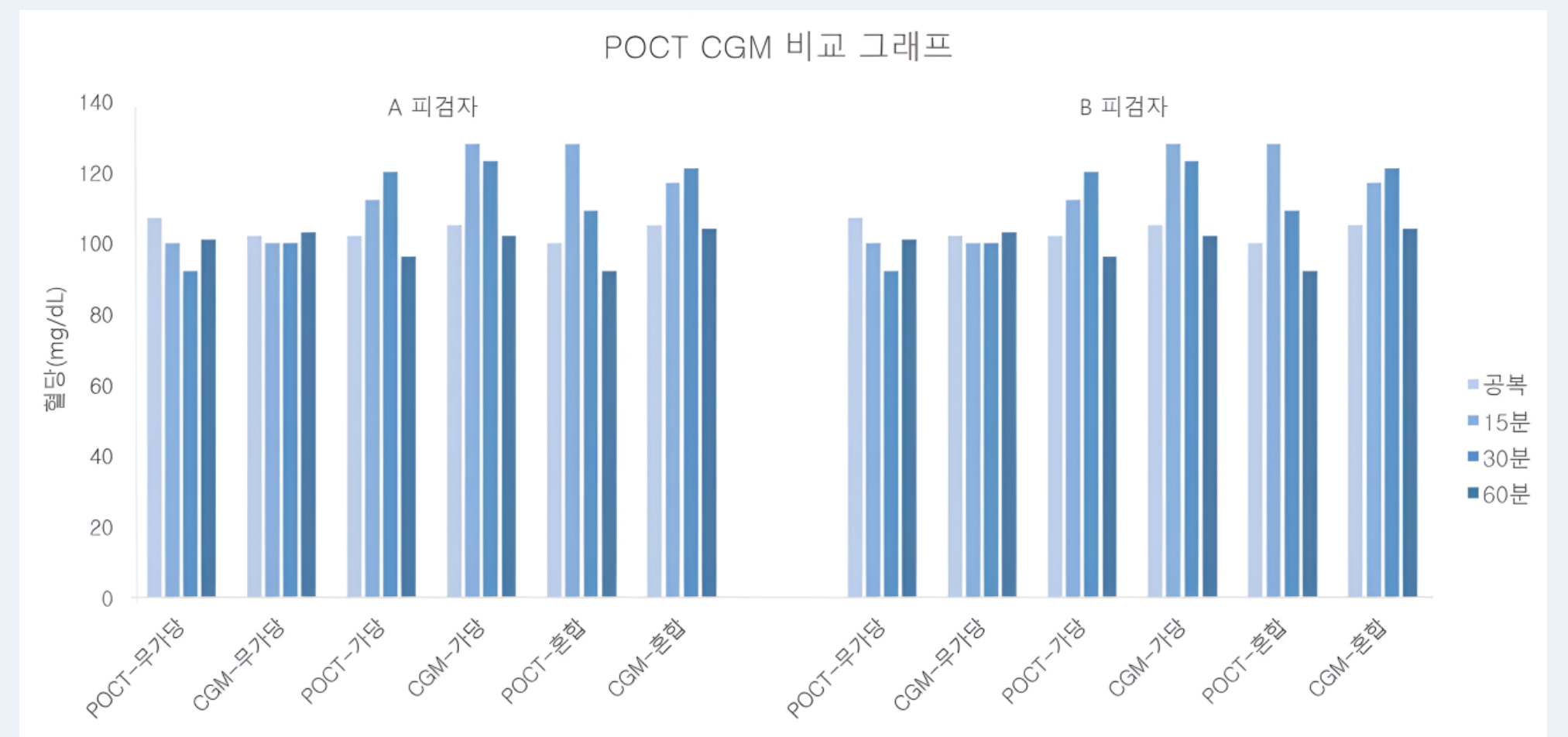


Fig. 2. Time-by-time blood sugar mean comparison graph of POCT and CGM

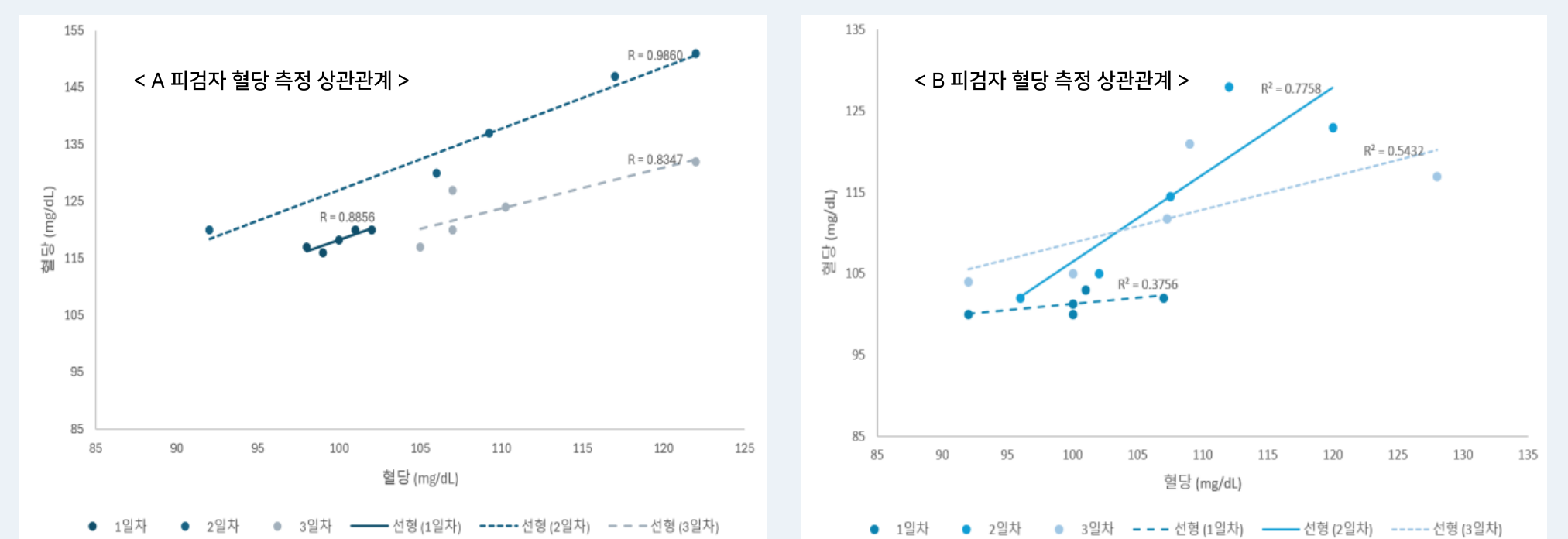


Fig. 3. Average correlation coefficient between POCT and CGM blood sugar in subjects A and B

Conclusion

본 연구는 가당 토레타와 무가당 토레타 섭취 후 혈당 반응의 차이를 비교하고, 세 가지 혈당 측정 장비의 특성을 평가하였다. 그 결과, 가당 음료는 혈당을 유의하게 상승시키는 반면, 무가당 음료는 혈당에 거의 영향을 미치지 않았다. 이는 가당 음료의 혈당 스파이크 유발 효과와, 대체 감미료가 혈당에 미치는 영향이 제한적이라는 점을 확인해 준다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 연구 대상자가 건강한 성인으로 제한되어 있어, 당뇨병 환자나 다른 대사질환을 가진 집단에 결과를 일반화하기 어렵다. 둘째, 단일 브랜드(토레타) 음료만을 실험에 사용하였으므로, 다른 가당·무가당 음료에 동일하게 적용할 수 있을지는 불확실하다. 셋째, 본 연구는 단기간의 혈당 반응만을 평가하였으므로, 대체 감미료의 장기적인 대사 영향에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

또한, 자동화 장비, POCT, CGM 모두 전반적으로 일관된 혈당 측정 결과를 제공하였으나, 각각의 특성과 한계가 뚜렷하게 드러났다. 자동화 장비는 정확도가 높았고, POCT는 간편성과 즉시성이 우수했으며, CGM은 혈당 변동성을 실시간으로 민감하게 반영한다는 장점을 보였다. 따라서 본 연구는 음료 섭취에 따른 혈당 반응 분석에서 측정 장비의 선택이 연구 목적에 따라 달라질 수 있음을 시사하며, 향후 당뇨병 예방 및 식이 관리 연구에서 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Reference

- World Health Organization. Use of non-sugar sweeteners: WHO guideline. Geneva: World Health Organization; 2023.
- Debras C, Deschasaux-Tanguy M, Chazelas E, et al. Artificial Sweeteners and Risk of Type 2 Diabetes in the Prospective NutriNet-Sané Cohort. *Diabetes Care*. 2023;46(9):1681-1690.
- Park SE, Kim J, Lee J, et al. Diabetes fact sheets in Korea 2024: prediabetes prevalence in young adults. *Diabetes Metab J*. 2025;49(1):24-33.
- Kim JY, Lee H, et al. Trends and metabolic characteristics of type 2 diabetes among young adults (2010-2020). *Endocrinol Metab*. 2025 Mar 1;49(2):172-182.
- Kim HY, et al. Increasing incidence and prevalence of type 1 and type 2 diabetes among Korean young populations, 2008-2021. *J Korean Med Sci*. 2024;40:e241.
- Malik VS, Popkin BM, Bray GA, Després JP, Willett WC, Hu FB. Sugar-sweetened beverages, obesity, type 2 diabetes mellitus, and cardiovascular disease risk. *Circulation*. 2010;121(11):1356-1364.
- Imamura F, O'Connor L, Ye Z, et al. Consumption of sugar sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juice and incidence of type 2 diabetes: systematic review, meta-analysis, and estimation of population attributable fraction. *BMJ*. 2015;351:h3576.
- Battelino T, Danne T, Bergenstal RM, et al. Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: recommendations from the International Consensus on Time in Range. *Diabetes Care*. 2019;42(8):1593-1603.
- Sacks DB, Arnold M, Bakris GL, et al. Guidelines and recommendations for laboratory analysis in the diagnosis and management of diabetes mellitus. *Clin Chem*. 2011;57(6):e1-e47.
- 단행본 질병관리청. (2023), 「청소년의 제로음료 섭취」