

선형계획법을 이용한 한국 성인의 최적 식품섭취패턴 설계 (Ⅱ) : 단계적 나트륨 목표섭취량 설정에 따른 최적 식품섭취패턴 조정

아사노가나¹, 양홍석², 이영미³, 김미영¹, 윤지현^{1,4†}

¹서울대학교 식품영양학과, ²서울대학교 경영학과, ³명지대학교 식품영양학과, ⁴서울대학교 생활과학연구소

Designing optimized food intake patterns for Korean adults using linear programming (Ⅱ): adjustment of the optimized food intake pattern by establishing stepwise intake goals of sodium

Kana Asano¹, Hongsuk Yang², Youngmi Lee³, Meeyoung Kim¹ and Jihyun Yoon^{1,4†}

¹Department of Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Business Administration, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Department of Food and Nutrition, Myongji University, Yongin, Gyeonggi 17058, Korea

⁴Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

ABSTRACT

Purpose: The Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs) suggest that the goal for the intake of sodium should be less than 2,000 mg, which is thought to be infeasible to achieve when eating the typical Korean diet. This study aimed to obtain the new intake goals for sodium with improved feasibility to achieve, and also to design optimized food intake patterns for Korean adults by performing linear programming. **Methods:** The data from a one day 24-hour dietary recall of the 2010 ~ 2014 Korea National Health and Nutrition Survey were used to quantify food items that Korean adults usually consumed. These food items were categorized into seven groups and 24 subgroups. The mean intakes and intake distributions of the food groups and the food subgroups were calculated for eight age (19 ~ 29, 30 ~ 49, 50 ~ 64, and over 65 years old) and gender (male and female) groups. A linear programming model was constructed to minimize the difference between the optimized intakes and the mean intakes of the food subgroups while meeting KDRIs for energy and 13 nutrients, and not exceeding the typical quantities of each of the food subgroups consumed by the respective age and gender groups. As an initial solution of the linear programming, the optimized intake of seasonings, including salt, was calculated as 0 g for all the age and gender groups when the sodium constraint was inserted not to exceed 2,000 mg. Therefore, the sodium constraint was progressively increased by 100 mg until the optimized intake of seasoning was obtained as the values closest to the 25th percentile of the intake distribution of seasonings for the respective age and gender groups. **Results:** The optimized food intake patterns were mathematically obtained by performing linear programming when the sodium constraint values were 3,600 mg, 4,500 mg, 4,200 mg, 3,400 mg, 2,800 mg, 3,100 mg, 3,100 mg, and 2,500 mg for the eight age and gender groups. **Conclusion:** The optimized food intake patterns for Korean adults were designed by performing linear programming after increasing the sodium constraint values from 2,000 mg to 2500 ~ 4,500 mg according to the age and gender groups. The resulting patterns suggest that current diets should be modified to increase the intake of vegetables for all the groups, milk/dairy products for the female groups, and fruits for the female groups except for the females aged 50 ~ 64 years.

KEY WORDS: linear programming, sodium intake, nutritional requirements, nutrition surveys, dietary pattern

서 론

나트륨의 과잉섭취는 고혈압, 심혈관계 질환, 위암 등의

질병과 관련성이 높으므로 [1,2] 세계보건기구 (World Health Organization, WHO)에서는 하루에 나트륨을 2,000 mg 미만으로 섭취하는 것을 권고하고 있다 [3]. 한국에서

Received: January 29, 2019 / Revised: July 20, 2019 / Accepted: August 9, 2019

† To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-880-8750, e-mail: hoonyoon@snu.ac.kr

© 2019 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.

도 나트륨의 과잉섭취에 따른 건강위험이 우려되므로 만 19세 이상 성인의 목표섭취량 (intake goal)을 하루 2,000 mg 미만으로 설정하고 있다 [4]. 그러나 한국인의 나트륨 섭취량은 매우 높은 편이다 [5]. 이에 2012년부터 보건복지부와 식품의약품안전처가 함께 나트륨 줄이기 범국민 운동을 추진하여 왔고 [6], 19세 이상 성인의 나트륨 섭취량은 2017년도 기준으로 평균 3,652 mg/일로 2012년 (5,566 mg/일)과 비해 크게 감소하였다 [7].

그러나 하루 2,000 mg 미만이라는 나트륨의 목표섭취량은 현실적으로 실현하기 매우 어려운 기준이다. 실제로 2015 한국인 영양소 섭취기준에서도 권장식사패턴에 맞추어서 나트륨을 섭취할 경우에도 조리 시 추가되는 소금, 간장, 된장, 고추장 등으로 나트륨의 목표섭취량을 크게 상회할 가능성에 대해 언급되어 있다. 또한 식단계획 시에는 김치, 장아찌류, 가공식품 등의 선택을 줄이고, 소금, 간장, 된장, 고추장 등의 사용을 최소화하며, 국물의 섭취를 제한하는 것을 권고하고 있다 [4]. 이와 같이 현재 제시되어 있는 나트륨의 목표섭취량은 현실과 맞지 않아 한국인의 식습관과 식문화를 고려한 보다 실현성이 높은 기준이 제시될 필요가 있다.

국가 영양정책 수립에 선형계획법을 활용하는 국가들이 늘어나고 있다. 호주의 경우, 2013년에 개정된 ‘호주인을 위한 식생활지침’에서 선형계획법을 이용하여 산출된 수치에 바탕을 두고 식품군별 하루 권장 섭취횟수를 제시하였다 [8]. 일본에서도 2015년에 선형계획법을 이용하여 산출된 수치를 바탕으로 일본인의 장수를 뒷받침하는 ‘건강한 식사’의 기준을 제시하였다 [9]. 영국에서도 2016년에 발표한 ‘Eatwell Guide’에 1일 식품섭취량에 대한 각 식품군의 상대적인 비율을 보여주는 접시 모양의 식생활 교육 모형을 제시하였는데, 각 식품군의 비율 산출에 선형계획법을 이용한 바 있다 [10]. 영양섭취기준만을 충족하는 식사는 현실적인 식품섭취 범위를 벗어날 수가 있으므로 [11,12] 영양적인 조건뿐 아니라 현재 식품섭취 상태도 함께 고려하기 위한 방법으로 선형계획법을 이용하고 있는 것이다.

경영학의 계량적 분석방법으로 알려진 선형계획법은 다양한 제약조건을 충족하면서 주어진 목적함수의 값을 최대화 또는 최소화하는 의사결정변수의 값을 구하는 수리계획법의 일종으로, 목적함수와 제약조건식이 모두 1차식으로 표현되는 가장 단순한 형태의 모형이다 [13]. 본 연구에 앞서 수행한 선행 논문 [14]에서는 이 선형계획법을 영양학 분야에 이용하여 현재 식품섭취패턴을 크게 벗어나지 않으면서 2015 한국인 영양소 섭취기준 [4]에 제시된 에너지와 13개 영양소 (탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 A,

티아민, 리보플라빈, 나이아신, 비타민 C, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 철)의 섭취기준을 충족하는 최적 식품섭취패턴을 설계하였다. 그러나 설계된 최적 식품섭취패턴에서 조미료의 최적섭취량이 실생활에서 실현 불가능한 0 g으로 산출되었다. 이는 나트륨의 제약조건으로 설정한 목표섭취량이 현재 한국인의 식품섭취패턴을 고려하지 않고 제시되었기 때문에 발생한 결과로 해석할 수 있다.

일본의 경우, 나트륨 섭취기준으로 만 18세 이상에서는 추정평균필요량 (estimated average requirement, EAR)과 목표량 (tentative dietary goal for preventing life-style related diseases, DG)을 설정하고 있다. 만 18세 이상 모두 하루 600 mg으로 추정평균필요량을 설정하였고, 목표량에 대해서는 만 18세 이상 남녀 각각 8 g 미만 (나트륨으로 환산 시 약 3,150 mg), 7 g 미만 (나트륨으로 환산 시 약 2,756 mg)으로 설정하였다. 목표량을 설정함에 있어 WHO에서 권장하는 하루 2,000 mg (식염상당량 5 g) 미만으로 목표량을 설정하는 것은 일본인의 실제섭취량의 분포를 감안하였을 때 현실적이지 않다고 판단한 것이다. 이에 WHO에서 제시된 기준과 실제섭취량 (중앙치)의 중간치를 산출하고 이에 가까운 값을 목표량으로 제시하였다 [15].

호주 및 뉴질랜드에서는 2017년에 나트륨 섭취기준을 개정하였다. 개정하기 전에 제시된 2006년 영양섭취기준에는 나트륨의 섭취기준으로 만 18세 이상에서 충분섭취량 (adequate intake, AI)을 하루 460~920 mg, 만성질환 예방을 위해 권장되는 섭취량 (suggested dietary target, SDT)을 하루 1,600 mg, 상한섭취량 (upper level of intake, UL)을 하루 2,300 mg으로 제시하고 있었다 [16]. 2017년의 나트륨 섭취기준 개정 시에는 충분섭취량에 대한 검토는 이루어지지 않았으나 상한섭취량에 대해서는 이전에 제시된 기준은 제한적인 데이터에 기반을 두고 설정된 값을 지적하고 기준을 삭제하였다. 또한 하루 1,600 mg에서 2,000 mg으로 SDT를 상향 조정하였는데, 이는 2013년에 개정된 호주인을 위한 식생활지침의 식품군별 하루 권장 섭취횟수 설정 시 선형계획법을 이용하여 설계된 식사 모형과 WHO에서 권장된 섭취기준 등을 고려한 결과이다 [17].

미국 및 캐나다에서는 나트륨의 섭취기준으로 만 19세 이상에서는 충분섭취량 (adequate intake, AI)과 상한섭취량 (tolerable upper intake level, UL)을 제시하고 있다. 만 19세~50세에서 하루 1,500 mg, 만 51세~70세에서 하루 1,300 mg, 만 71세 이상에서 하루 1,200 mg으로 충분섭취량을 설정하였고, 이 모든 연령군에서 하루 2,300 mg을 상한섭취량으로 설정하였다 [18]. 또한 미국에서는 2010 식

생활지침에서 특정 영양소에 대해 제시된 권장 사항이 현재 식품섭취패턴에서 실현 가능한지에 대한 검토가 선형계획법을 이용하여 이루어졌다 [19-21]. 미국의 2010 식생활지침에서는 51세 이상인 사람, 여러 인종 중 아프리카계 미국인, 고혈압, 당뇨병, 신장병을 앓고 있는 사람에게 하루에 1,500 mg 미만의 나트륨 섭취를 권장하고 있다. 이 기준의 타당성을 선형계획법을 이용하여 검토하기 위하여 나트륨의 제약조건을 점차 낮춰가면서 최적 식품섭취패턴의 변화를 살펴본 연구 결과, 50세 미만의 집단에서는 나트륨의 제약조건이 하루 1,500 mg 미만일 때 최적 식품섭취패턴이 산출되지 않음이 보고된 바 있다 [19].

이와 같이 여러 나라에서 나트륨의 섭취기준 설정 시 WHO에서 제시한 권장량을 그대로 적용하는 것이 아니라 실제 섭취량이나 식품섭취패턴에 대하여 검토하고 보다 현실적인 기준을 제시하고 있다. 이에 본 연구에서는 선형계획법을 이용하여 제약조건 중 나트륨의 제약조건 변화에 따른 한국 성인의 최적 식품섭취패턴 변화를 살펴보고 보다 실현성이 높은 나트륨의 목표섭취량을 산출한 후, 이를 나트륨의 제약조건으로 설정하여 최적 식품섭취패턴을 설계하는 것을 목적으로 하였다.

연구방법

연구 자료

본 연구는 국민건강영양조사 제 5기 (2010~2012)와 제 6기 1,2차년도 (2013, 2014)로부터 총 24,141명의 1일 24시간 회상법 원시자료를 분석하였다. 국민건강영양조사는 질병관리본부 연구윤리심의위원회의 승인을 받아 수행되었다 (승인번호: 2010-02CON-21-C, 2011-02CON-06-C, 2012-01EXP-01-2C, 2013-07CON-03-4C, 2013-12EXP-03-5C). 또한 분석 대상자를 한국인 영양소 섭취기준의 연령 구분과 동일하게 성 (남, 여) 및 연령 (만 19~29세, 30~49세, 50~64세, 65세 이상)별 여덟 집단으로 분류하였다. 이에 대한 자세한 정보는 선행 논문 [14]에 제시된 바와 같다.

분석 내용 및 방법

식품군·식품품목 분류체계 설정

본 연구에서는 2015 한국인 영양소 섭취기준 [4]의 식사구성안에서 이용된 여섯 개 식품군 (곡류군, 고기·생선·달걀·콩류군, 채소류군, 과일류군, 우유·유제품류군, 유지·당류군)과 22개 식품품목 (곡류, 면류, 떡류, 빵류, 씨리얼류, 감자류, 기타, 과자류, 육류, 어패류, 난류, 콩류, 견과류, 채소류, 해조류, 버섯류, 과일류, 주스류, 우유, 유제품, 유지류, 당류)을 기초로 연구의 목적에 맞는 새로운

식품군·식품품목 분류체계를 설정하였다. 그 결과, 새로 설정한 식품군·식품품목 분류체계는 일곱 개 식품군과 24개 식품품목으로 구성되었다. 일곱 개 식품군은 곡류군, 고기·생선·달걀·콩류군, 채소·해조·버섯·곡류·서류군, 김치류군, 과일류군, 우유·유제품류군, 기타군으로, 24개 식품품목은 밥류, 면류, 빵류, 떡류, 육류, 어패류, 난류, 콩류, 채소류, 해조류, 버섯류, 곡류·서류, 김치, 장아찌, 과일류, 우유·유제품류, 유지류, 당류, 떡·빵·과자류, 알코올음료, 기호음료, 조미료, 견과류, 기타 곡류로 구성되었다.

본 연구에서는 식사패턴과의 연계를 고려하여 주로 주식으로 섭취하는 ‘곡류군’을 밥류 (식사구성안의 ‘곡류’에 해당), 면류, 빵류, 떡류로 분류하였다 [22,23]. 떡류는 주로 간식이나 식사대용으로 섭취하지만 [24] 떡국, 떡만둣국으로 섭취하는 가래떡은 주식의 개념으로 섭취하기 때문에 이러한 가래떡을 ‘곡류군’으로 분류하였다. 견과류는 다른 식재료와 혼합해서 부식으로 활용될 경우가 많고, 간식으로 먹는 경우도 있기 때문에, 본 연구에서는 견과류를 식사구성안의 ‘고기·생선·달걀·콩류군’에서 제외하고 ‘기타군’에 포함시켰다. ‘채소·해조·버섯·곡류·서류군’의 곡류·서류에는 식사구성안에서 ‘곡류군’의 감자류에 포함된 감자와 고구마, ‘곡류군’의 기타에 포함된 묵, ‘곡류군’의 곡류에 포함된 옥수수를 포함시켰다. 한국인의 식사패턴 기본형태 [22,25]를 고려하여 식품군에 ‘김치류군’을 추가하여 식사구성안에서 ‘채소류군’에 포함된 김치를 분리하였다.

식사구성안에서 ‘과일류군’에 포함된 주스류는 ‘기타군’의 기호음료로 분류하였다. ‘우유·유제품류군’은 식사구성안에서는 우유와 유제품으로 분류되었으나 본 연구에서는 일본의 선행연구 [26,27]에 따라 우유와 유제품을 분류하지 않고 우유·유제품류로 하였다. ‘기타군’으로 분류한 떡·빵·과자류에는 식사구성안에서 ‘곡류군’으로 분류된 떡국, 떡만둣국 이외로 섭취하는 가래떡과 떡 (팥소, 시루떡 등), 빵류 중 빵 (쪼빵, 팔빵 등), 씨리얼류, 과자류를 분류하였다. 조미료에는 간장, 된장, 고추장 등의 장류뿐 아니라 소금, 후추, 마요네즈, 토마토케첩, 식초 등도 함께 포함시켰다. 기타 곡류에는 식사구성안에서 ‘곡류군’의 기타에 포함된 밀가루, 전분, 빵가루, 부침가루, 튀김가루, 믹스를 포함시켰다. 이 식품군·식품품목 분류체계에 따라 분석 대상자가 세 끼니 (아침, 점심, 저녁)에서 섭취한 682개의 식품목록을 분류하였다 [14].

식품군·식품품목별 섭취량 계산

성 및 연령별 여덟 집단에 대해 각 식품군·식품품목에 대한 1인 1일 평균섭취량과 섭취량 범위를 산출하였다. 식

품군·식품품목별 섭취량 산출 시 복합표본분석을 실시하였고 자료 분석에는 EXCEL 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA)과 SPSS 21.0 (IBM SPSS Inc., Armonk, NY, USA)을 이용하였다.

식품품목별 영양성분 프로파일 산출

24개 식품품목별로 대표식품을 선정하고, 식품품목을 구성하는 대표식품들의 1인 1일 평균섭취량의 합에 대하여 대표식품의 1인 1일 평균섭취량이 차지하는 비율을 산출하고 이를 대표식품별 가중치로 하였다. 또한 선정된 대표식품별로 100 g 당 에너지 및 영양소 (탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 A, 티아민, 리보플라빈, 나이아신, 비타민 C, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 철) 함량을 산출하여 이에 대표식품별 가중치를 곱한 값의 합을 식품품목별 영양성분 프로파일로 하고 여덟 집단 각각에 대하여 산출하였다. 식품품목별 영양성분 프로파일 산출에 관한 상세한 내용은 선행 논문 [14]에 제시하였다.

선형계획 모형 설정

초기 선형계획 모형 설정

본 연구에서 초기에 설정한 선형계획 모형은 선행 논문 [14]에 제시된 바와 같다. 영양섭취기준을 충족하면서 평균섭취량과의 차이가 최소화되는 식품품목별 최적섭취량 (X_i^{opt})을 의사결정변수로, 대상 집단에서 식품품목별 최적섭취량 (X_i^{opt})과 산출한 평균섭취량 (X_i^{obs}) 간의 편차의 최소화를 목적함수 (Y)로 하였다. 목적함수 Y 는 다음과 같은 수식으로 표현되고, 수식 중의 i 는 24개 식품품목에 해당된다.

$$\text{Minimize } Y = \sum_{i=1}^{i=24} [(X_i^{opt} - X_i^{obs}) / X_i^{obs}]$$

i : 식품품목 1~24 (1: 밥류, 2: 면류, 3: 빵류, 4: 떡류, 5: 육류, 6: 어패류, 7: 난류, 8: 콩류, 9: 채소류, 10: 해조류, 11: 버섯류, 12: 곡류·서류, 13: 김치, 14: 장아찌, 15: 과일류, 16: 우유·유제품, 17: 유지방, 18: 당류, 19: 떡·빵·과자류, 20: 알코올음료, 21: 기호음료, 22: 조미료, 23: 견과류, 24: 기타 곡류)

이 수식에서 절댓값으로 표현된 Y 를 1차 함수로 전환하기 위하여 새로운 의사결정변수로 식품품목별 최적섭취량과 실제섭취량 간의 차이를 나타내는 정의 편차 (P_i)와 부의 편차 (N_i)를 생성하였다. 새로운 의사결정변수 (P_i , N_i)는 다음과 같이 정의된다.

If $X_i^{opt} < X_i^{obs}$, then $N_i = (X_i^{obs} - X_i^{opt}) / X_i^{obs}$, and $P_i = 0$

If $X_i^{opt} > X_i^{obs}$, then $N_i = 0$ and $P_i = (X_i^{opt} - X_i^{obs}) / X_i^{obs}$

If $X_i^{opt} = X_i^{obs}$, then $N_i = 0$ and $P_i = 0$

Y' 라고 불리는 새로운 1차함수는 편차변수의 합으로 표현되고 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\text{Minimize } Y' = \sum_{i=1}^{i=24} (P_i + N_i)$$

선형계획법의 제약조건으로는 1) 식품군별 섭취량이 10th 백분위수 이상, 90th 백분위수 이하의 범위에 있어야 하고, 식품품목별 섭취량이 90th 백분위수 이하여야 함, 2) 에너지 섭취량이 에너지필요추정량과 같아야 함, 3) 13개 영양소 (탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 A, 티아민, 리보플라빈, 나이아신, 비타민 C, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨, 철) 중 권장섭취량이나 충분섭취량이 설정된 영양소에 대해서는 해당 영양소의 섭취량이 그 기준량 이상이어야 하고, 목표섭취량이나 상한섭취량이 설정된 영양소에 대해서는 해당 영양소의 섭취량이 그 기준량 이하여야 함, 4) 탄수화물, 단백질, 지방의 섭취량이 에너지적정비율의 범위에 있어야 함을 설정하였다. 또한 편차변수가 0 이상이 되도록 비음수 조건과 구조적 제약조건을 설정하였다.

나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화 검토

선행 논문 [14]에 제시한 바와 같이 초기 선형계획 모형으로 산출된 최적 식품섭취패턴에서 조미료의 최적섭취량이 모든 성 및 연령 집단에서 공통적으로 0 g으로 산출되었다. 이는 제약조건으로 설정한 나트륨의 목표섭취량이 현실적으로 실현하기 어려운 기준인 것을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 미국의 2010년 식생활지침에서 제시된 나트륨 섭취기준의 타당성을 검토하기 위해 나트륨의 제약조건을 100 mg/일 단위로 변화시키면서 이에 따른 최적 식품섭취패턴의 변화를 관찰한 선행연구 [19]의 방법을 현실적인 나트륨의 제약조건 설정에 이용하였다. 즉, 나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 100 mg 단위로 증가시키면서 이에 따른 최적 식품섭취패턴의 변화를 살펴보고 있다.

최종 선형계획 모형 설정

나트륨의 제약조건 변화에 따라 산출되는 24개 식품품목 중 조미료의 최적섭취량이 조미료의 실제섭취량의 25th 백분위수에 가장 가까운 경우의 나트륨 양을 나트륨의 새로운 제약조건으로 설정하였다. 선형계획법을 이용하여

Table 1. Mean intakes and intake distributions of seasonings including salt by age and gender groups (unit: g/day)

Groups		Mean	SE	5 th	10 th	25 th	50 th	75 th	90 th	95 th
Male (n = 11,345)	19 ~ 29 years (n = 1,212)	41.2	1.3	1.7	5.0	14.5	32.3	57.1	89.3	113.5
	30 ~ 49 years (n = 3,914)	47.4	1.0	4.4	8.4	19.5	36.4	63.1	97.0	125.3
	50 ~ 64 years (n = 3,126)	43.2	0.9	4.7	8.2	17.0	33.2	54.9	86.6	111.2
	Over 65 years (n = 3,093)	33.6	0.8	1.9	4.5	11.1	23.5	43.0	70.7	93.9
Female (n = 12,796)	19 ~ 29 years (n = 1,367)	31.4	1.0	1.2	3.3	10.8	23.8	41.9	67.7	88.3
	30 ~ 49 years (n = 4,413)	33.9	0.6	2.4	5.2	12.1	25.0	44.0	71.2	94.9
	50 ~ 64 years (n = 3,663)	31.4	0.7	2.8	5.0	11.1	22.3	41.4	66.5	86.1
	Over 65 years (n = 3,353)	24.2	0.7	0.8	2.3	7.3	16.4	31.2	52.9	70.7

Data were analyzed using complex sample module.

5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, 95th: 5th, 10th, 25th, 50th, 75th, 90th, and 95th percentile of the observed distribution in seasonings including salt obtained by analyzing the data of a one day 24-hour recall from the 2010 ~ 2014 Korea National Health and Nutrition Survey

산출된 조미료의 최적섭취량은 실생활에서 실현 불가능한 0 g이 아니라 실제섭취량을 고려한 값이어야 한다. 이에 조미료의 실제섭취량에서 양쪽 극단적 값을 뺀 사분위수 범위 (25th 백분위수 ~ 75th 백분위수)를 살펴보았다. 30 ~ 49세 남성을 예로 들면, 50th 백분위수, 즉 중앙값 (36.4 g)에 가까운 값을 조미료의 최적섭취량으로 할 경우, 나트륨의 제약조건 (5,500 mg)은 현재 나트륨 섭취량과 비슷한 수준으로 높아 이를 나트륨의 보다 실현성이 높은 목표섭취량으로 설정하기에는 무리가 있다. 따라서 사분위수 범위에서 최소치로 볼 수 있는 1사분위 (25th 백분위수)에 해당되는 값과 가까운 조미료의 실제섭취량을 조미료의 최적섭취량으로 하였다. 성 및 연령별 여덟 집단의 조미료의 평균섭취량 및 섭취량 범위는 Table 1에 제시하였다.

한국 성인의 최적 식품섭취패턴 산출

설정한 초기 선형계획 모형의 제약조건 중 나트륨의 제약조건을 100 mg 단위로 증가시키기에 따라 산출되는 해 (solution), 즉 24개 식품품목에 대한 최적섭취량을 성 및 연령 집단별로 산출하였다. 이러한 해의 산출에는 Microsoft EXCEL SOLVER 프로그램 (Frontline System Inc., NV, USA)을 이용하였다.

결 과

나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화

성 및 연령별 여덟 집단 각각에 대해 조미료의 최적섭취

량이 실제섭취량의 25th 백분위수에 가까워질 때까지 나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 100 mg 단위로 증가시키면서 나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화를 알아보았다. 여덟 집단 중 조미료의 최적섭취량이 실제섭취량의 25th 백분위수에 가까울 때의 나트륨의 제약조건이 가장 높게 설정된 30 ~ 49세 남성과 가장 낮게 설정된 65세 이상 여성의 결과를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 제시하였다.

나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화에 대해 살펴보면, 30 ~ 49세 남성에서는 나트륨의 제약조건을 증가시키기에 따라 어패류, 김치, 우유·유제품류의 최적섭취량이 크게 변화하였다. 나트륨의 제약조건에 상한 값을 증가시키기에 따라 우유·유제품류의 최적섭취량은 감소하는 반면에 어패류의 최적섭취량은 증가하는 경향을 보였다. 또한 나트륨 제약조건에 상한값을 증가시키기에 따라 산출되는 김치의 최적섭취량은 초기에는 증가하였다가 평균섭취량과 동일하게 된 후에는 변하지 않았다.

65세 이상 여성에서는 나트륨의 제약조건을 증가시키기에 따라 김치, 과일류, 우유·유제품류의 최적섭취량이 크게 변화하였다. 과일류와 우유·유제품류의 최적섭취량은 나트륨 제약조건에 상한값을 증가시키면서 서서히 감소하는 경향을 보였다. 김치의 최적섭취량은 처음에 증가했다가 평균섭취량과 동일한 값이 되고나서는 변하지 않았다.

한국 성인의 최적 식품섭취패턴

나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 100 mg 단위로 증가시키면서 산출된 조미료의 최적섭취량이 실제섭취량

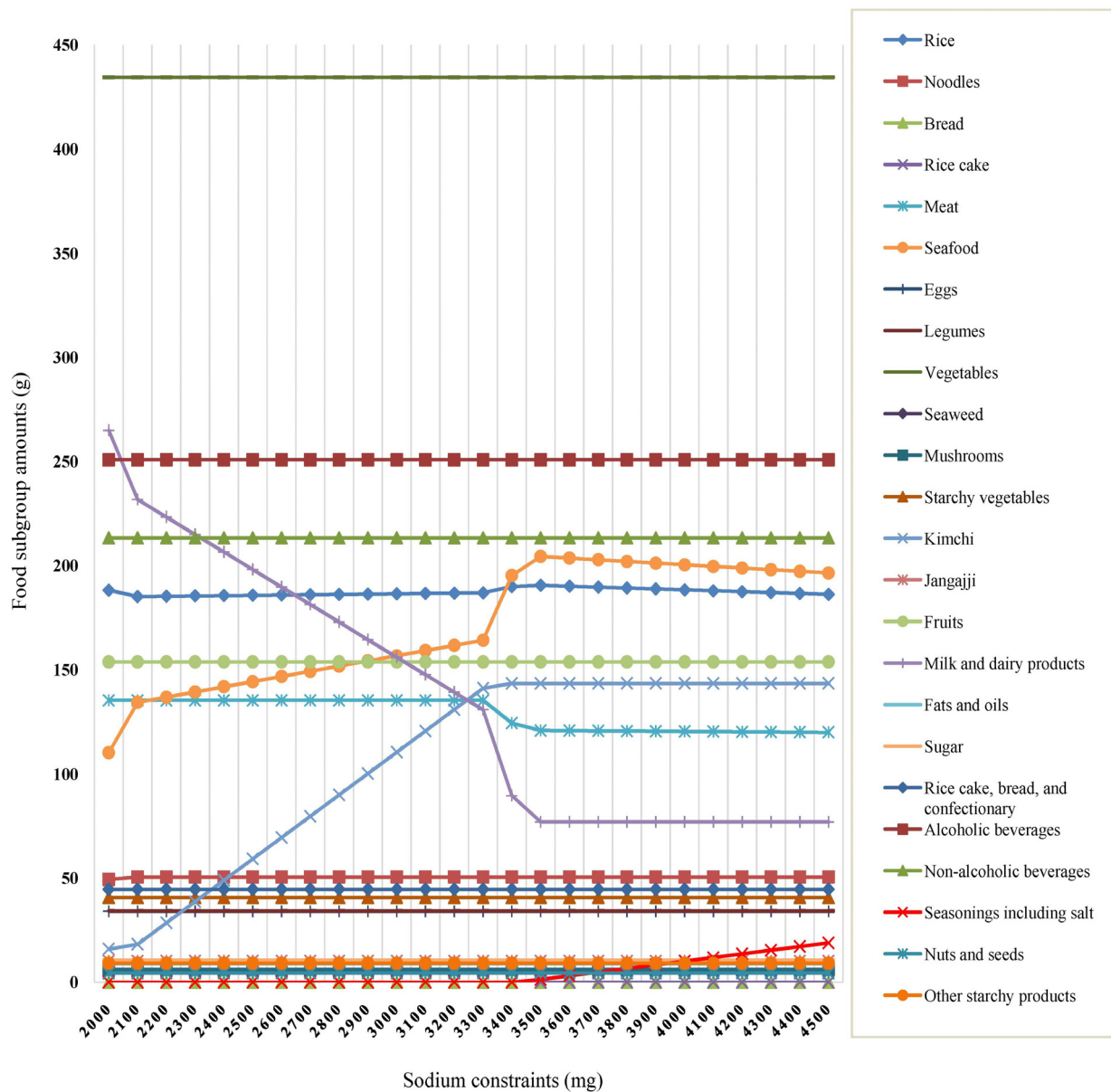


Fig. 1. Optimized food intake patterns by change the sodium constraints for Korean males aged 30 ~ 49 years

의 25th 백분위수에 가장 가까운 경우의 나트륨 양은 19 ~ 29세 남성, 30 ~ 49세 남성, 50 ~ 64세 남성, 65세 이상 남성, 19 ~ 29세 여성, 30 ~ 49세 여성, 50 ~ 64세 여성, 65세 이상 여성 각각 3,600 mg, 4,500 mg, 4,200 mg, 3,400 mg, 2,800 mg, 3,100 mg, 3,100 mg, 2,500 mg이었다 (Table 2). 이를 나트륨의 제약조건으로 선형계획법을 실시하여 산출된 최적 식품섭취패턴을 평균섭취량과 비교한 결과를 남녀 각각 Table 3과 Table 4에 제시하였다.

식품품목의 최적섭취량이 평균섭취량보다 높거나 낮게

산출된 결과는, 한국인 성인이 최적섭취량에 따라서 식생활을 영위하기 위해서는 해당 식품품목의 섭취를 늘리거나 줄여야 한다는 것을 의미한다. 성 및 연령별 여덟 집단 모두에서 채소류에 있어서는 평균섭취량보다 최적섭취량이 높게 산출되었다. 남성의 경우, 채소류 이외에 19 ~ 29세에서 곡류, 30 ~ 49세와 50 ~ 64세에서 어패류, 19 ~ 29세와 65세 이상에서 우유·유제품류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 높게 산출되었다. 30 ~ 49세, 50 ~ 64세 남성에서 우유·유제품류의 최적섭취량이 각각 평균섭취량과 동

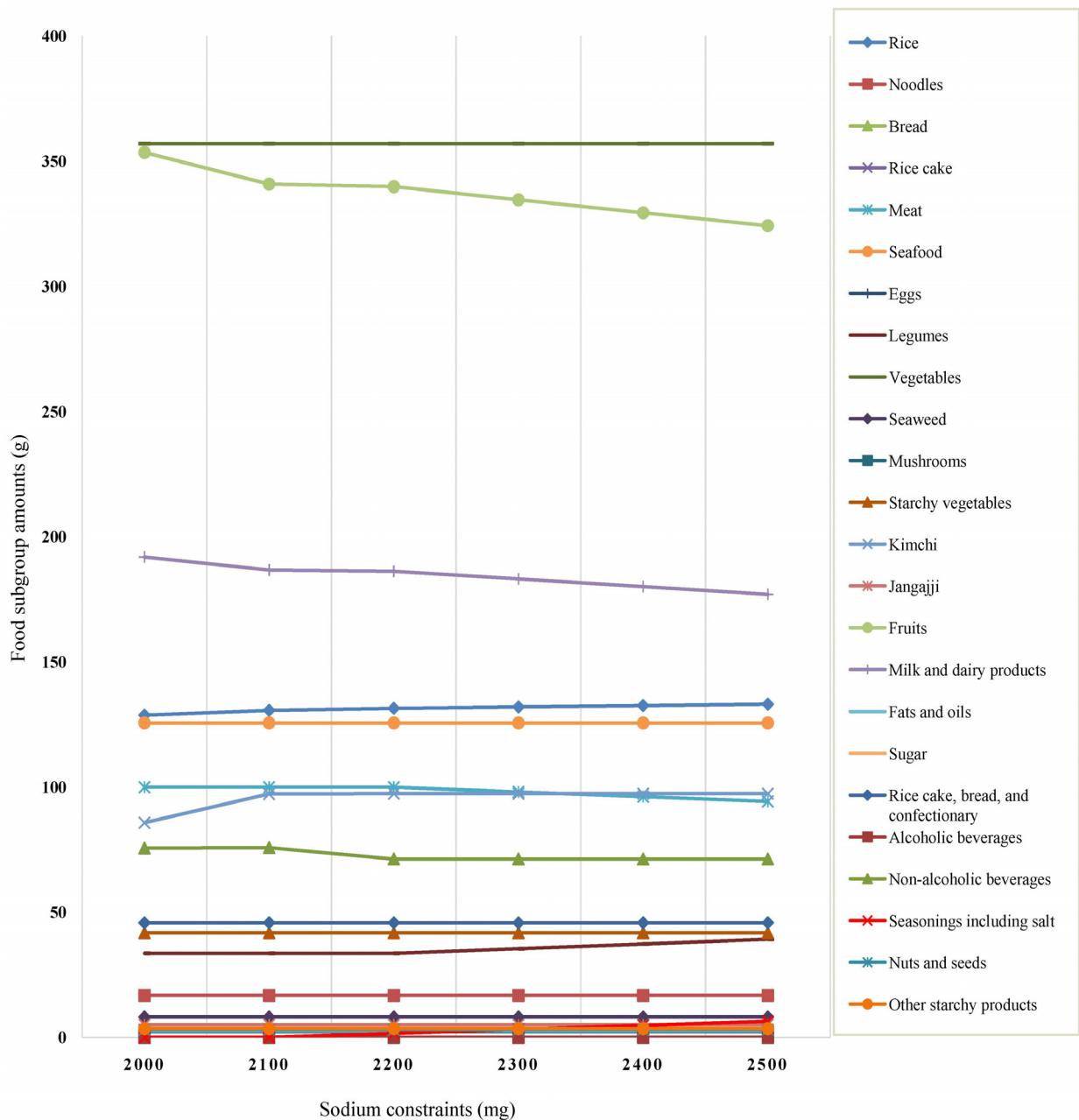


Fig. 2. Optimized food intake patterns by change the sodium constraints for Korean females aged over 65 years

Table 2. Sodium constraint values, obtained when the optimized intake of seasoning was closest to the 25th percentile of the intake distribution of seasonings using linear programming

Groups	19 ~ 29 years	30 ~ 49 years	50 ~ 64 years	Over 65 years
Male	3,600 mg	4,500 mg	4,200 mg	3,400 mg
Female	2,800 mg	3,100 mg	3,100 mg	2,500 mg

일한 76.98 g, 57.82 g으로 나타나 다른 연령대에 비해 낮게 산출되었다. 30 ~ 49세, 50 ~ 64세, 65세 이상에서 곡류, 30 ~ 49세에서 육류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 낮게

산출되었다.

여성의 경우, 모든 연령대에서 채소류 이외에 우유·유제품류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 높게 산출되었다.

Table 3. Comparison of food subgroup amounts between observed and optimized food intake patterns among Korean male adults

Food group	Food subgroup	19 ~ 29 years		30 ~ 49 years		50 ~ 64 years		Over 65 years	
		Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)
Grains	Rice	201.36	239.55	229.38	186.19	257.65	187.88	267.84	164.08
	Noodles	53.87	53.87	50.52	50.52	36.81	36.81	28.78	28.78
	Bread	10.65	10.65	7.34	0.00	4.56	0.00	2.87	0.00
	Rice cake ²⁾	2.59	0.00	2.48	0.00	3.51	0.00	2.38	0.00
Meat, fish, eggs, and legumes	Meat	164.59	164.59	135.44	120.03	91.74	91.74	68.23	187.25
	Seafood	62.81	62.81	82.24	196.45	84.69	210.00	62.25	157.76
	Eggs	36.68	36.68	34.14	34.14	22.20	22.20	13.35	13.35
	Legumes	27.33	27.33	34.26	34.26	35.09	35.09	32.29	32.29
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables	Vegetables	184.92	272.22	224.74	434.43	244.03	252.03	207.86	433.06
	Seaweed	8.86	8.86	9.35	9.35	11.82	11.82	8.36	8.36
	Mushrooms	6.15	6.15	6.12	6.12	4.44	4.44	3.51	3.51
	Starchy vegetables	30.17	30.17	40.68	40.68	43.18	43.18	38.68	38.68
Pickled vegetables	<i>Kimchi</i>	100.36	100.36	143.58	143.58	151.25	151.25	138.79	138.79
	<i>Jangajji</i>	11.63	11.63	10.22	10.22	7.49	7.49	5.51	5.51
Fruits	Fruits	98.70	98.70	153.87	153.87	176.92	176.92	147.46	147.46
Milk and dairy products	Milk and dairy products	113.39	348.72	76.98	76.98	57.82	57.82	49.11	92.60
Others	Fats and oils	10.15	10.15	8.78	8.78	5.76	5.76	3.48	3.48
	Sugar	8.64	8.64	10.57	10.57	9.07	9.07	6.22	6.22
	Rice cake, bread, and confectionary	42.24	42.24	44.63	44.63	44.36	44.36	40.95	40.96
	Alcoholic beverages	181.91	181.91	250.89	250.89	232.06	232.06	109.86	109.86
	Non-alcoholic beverages	257.57	257.57	213.32	213.32	127.31	127.31	86.90	86.90
	Seasonings including salt	41.18	13.57	47.42	18.92	43.16	17.45	33.60	11.26
	Nuts and seeds	3.01	3.01	4.38	4.38	6.03	6.03	4.55	4.55
	Other starchy products	12.85	12.85	9.14	9.14	6.48	6.48	3.39	3.39

1) Data were analyzed using complex sample module.

2) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

Table 4. Comparison of food subgroup amounts between observed and optimized food intake patterns among Korean female adults

Food group	Food subgroup	19 ~ 29 years		30 ~ 49 years		50 ~ 64 years		Over 65 years	
		Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)
Grains	Rice	129.47	129.47	166.19	177.34	194.60	159.85	225.51	133.22
	Noodles	40.42	40.42	35.41	35.41	25.77	25.77	16.79	16.79
	Bread	12.44	12.44	8.09	8.09	5.26	0.00	1.52	0.00
	Rice cake ²⁾	3.02	0.00	2.55	0.00	2.13	0.00	1.94	0.00
Meat, fish, eggs, and legumes	Meat	110.63	194.84	81.80	81.80	56.95	56.95	39.95	94.35
	Seafood	48.71	48.71	58.86	58.86	55.27	151.67	44.00	125.71
	Eggs	26.50	26.50	25.41	25.41	17.06	17.06	8.31	8.31
	Legumes	17.60	17.60	26.41	26.41	28.26	28.26	22.98	39.22
Vegetables, seaweed, mushrooms, and starchy vegetables	Vegetables	149.45	300.32	195.64	396.28	207.91	427.03	163.13	357.02
	Seaweed	7.09	7.09	11.27	11.27	11.08	11.08	8.20	8.20
	Mushrooms	5.36	5.36	6.32	6.32	5.00	5.00	2.84	2.26
	Starchy vegetables	31.66	31.66	42.38	42.38	53.80	53.80	41.79	41.79

1) Data were analyzed using complex sample module.

2) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

Table 4. continued

Food group	Food subgroup	19 ~ 29 years		30 ~ 49 years		50 ~ 64 years		Over 65 years	
		Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)	Observed intake ¹⁾ (g/day)	Optimized intake (g/day)
Pickled vegetables	<i>Kimchi</i>	59.60	59.60	99.73	99.73	106.13	106.13	97.44	97.44
	<i>Jangajji</i>	10.86	10.86	8.23	8.23	6.44	6.44	5.03	5.03
Fruits	Fruits	118.34	332.64	196.22	216.60	263.53	263.53	141.37	324.32
Milk and dairy products	Milk and dairy products	98.57	305.27	85.27	217.41	79.08	133.29	45.93	176.97
Others	Fats and oils	7.67	7.67	5.97	5.97	4.66	4.66	2.57	2.57
	Sugar	7.19	7.19	6.52	6.52	5.85	5.85	3.81	3.81
	Rice cake, bread, and confectionary	40.20	40.20	43.32	43.32	51.83	51.83	45.83	45.83
	Alcoholic beverages	92.22	92.22	76.86	76.86	38.87	38.87	11.10	0.00
	Non-alcoholic beverages	248.33	248.33	160.67	160.67	110.06	110.06	71.30	71.30
	Seasonings including salt	31.40	10.72	33.91	12.33	31.41	10.66	24.23	6.41
	Nuts and seeds	2.68	2.68	3.82	3.82	5.67	5.67	3.06	3.06
	Other starchy products	10.65	10.65	7.41	7.41	5.33	5.33	3.51	3.51

1) Data were analyzed using complex sample module.

2) Including 'Galaetteok' eaten as 'Sliced rice cake soup' and 'Rice cake and mandu soup'

30~49세에서 곡류, 19~29세와 65세 이상에서 육류, 50~64세와 65세 이상에서 어패류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 높게 산출되었다. 과일류는 50~64세를 제외한 집단에서 최적섭취량이 평균섭취량보다 높게 산출되었다. 50~64세와 65세 이상에서 곡류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 낮게 산출되었다.

고 찰

본 연구에 앞서 수행한 선행 논문 [14]에서는 나트륨의 목표섭취량이 현재 한국인의 식품섭취패턴을 고려하지 않고 제시되었기 때문에 선형계획법을 이용하여 설계한 최적 식품섭취패턴에서 조미료의 최적섭취량이 0 g으로 산출되었다. 이에 본 연구에서 나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 100 mg 단위로 증가시키면서 산출되는 최적 식품섭취패턴에서 조미료의 최적섭취량이 실제섭취량의 25th 백분위수에 가장 가까운 경우의 나트륨 양 (19~29세 남성, 30~49세 남성, 50~64세 남성, 65세 이상 남성, 19~29세 여성, 30~49세 여성, 50~64세 여성, 65세 이상 여성 각각 3,600 mg, 4,500 mg, 4,200 mg, 3,400 mg, 2,800 mg, 3,100 mg, 3,100 mg, 2,500 mg)을 보다 실현성이 높은 나트륨의 목표섭취량으로 제시하였다. 2015 한국인 영양소 섭취기준 [4]에서는 나트륨을 하루에 약 2,000~2,400 mg으로 섭취하면 위암 및 심혈관계 질환의 위험률과 사망률을 낮출 수 있다는 과학적인 근거 [28-30]를 기반으로

현실적인 섭취량은 높더라도 노력해서 섭취를 줄이기 위한 기준으로 목표섭취량을 설정하고 있다. 나트륨의 경우, 한국인의 식습관 특성상 실제섭취량과 목표섭취량 간의 차이가 매우 커 본 연구에서 현재 식품섭취패턴을 고려하여 산출한 값은 목표섭취량보다 높게 설정되었다. 그러나 이렇게 산출한 보다 실현성이 높은 나트륨의 목표섭취량은 나트륨의 섭취량을 단계적으로 줄이기 위한 지표로 활용할 수 있을 것이다. 또한 향후 한국인의 식품섭취패턴에 대한 최신 자료를 반영하면서 나트륨의 단계적 목표섭취량을 서서히 낮춰가면서 최종적으로 2,000 mg을 달성할 수 있도록 지속적인 모니터링이 필요하리라 사료된다.

일본과 호주 및 뉴질랜드에서는 나트륨 섭취기준 설정함에 있어 WHO에서 권고하는 섭취기준 이외에 실제섭취량도 함께 고려하였다. 일본에서는 나트륨의 섭취기준 설정시 나트륨을 과잉섭취하고 있는 현실과 WHO에서 제시된 기준에서의 타협점으로 실제섭취량 (중앙치)과 WHO에서 제시된 기준과의 중간치를 산출하고 이에 가까운 값을 식염상당량 (salt-equivalent)의 기준으로 제시하였다 [15].

호주 및 뉴질랜드에서도 2013년부터 새로운 방법론적 틀을 개발하여 2006 영양섭취기준에서 제시한 나트륨의 섭취기준 (SDT: 하루 1,600 mg, UL: 하루 2,300 mg)의 타당성에 대해 검토하였다. 이 방법에서 체계적인 문헌 검토 뿐만 아니라 선형계획법을 이용하여 현재 식품섭취패턴에서의 실현 가능성을 검토하는 작업도 함께 수행되었다 [17]. 호주 및 뉴질랜드에서는 선형계획법의 제약조건으로 본

연구에서 수행한 방법과 달리 영양소에 대해서는 권장섭취량 혹은 평균필요량이 제시된 영양소 (단백질, 비타민 A, 티아민, 엽산, 비타민 C, 칼슘, 마그네슘, 철, 아연, 요오드)의 섭취기준만 설정하였다. 나머지 영양소에 대해서는 선형계획법을 이용하여 설계된 최적 식품섭취패턴을 토대로 각 식품군을 구성하는 식품으로 1주일치 샘플식단을 만들고 샘플식단별로 영양소 함량을 계산한 후 각 영양소의 1주일치의 평균값을 구하고 산출된 값을 검토하였다 [31]. 그 결과, 나트륨의 경우 19~30세에서 남성 1,900~2,200 mg, 여성 1,700~2,000 mg으로 나타나 2006 영양섭취기준에서 제시한 나트륨의 SDT (하루 1,600 mg)를 넘는 값으로 산출되었다 [17]. 이와 같이 선형계획법을 이용하여 실제 식품섭취패턴을 고려한 결과와 체계적인 문헌 검토를 통해 2017년에 나트륨의 SDT를 2,000 mg으로 상향 조정하였다.

본 연구에서 나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 100 mg 단위로 증가시키면서 산출된 조미료의 최적섭취량이 실제섭취량의 25th 백분위수에 가장 가까운 경우의 나트륨 양으로 선형계획법을 이용하여 최적 식품섭취패턴을 산출한 결과, 30~49세, 50~64세 남성에서 우유·유제품류의 최적섭취량이 각각 평균섭취량과 동일한 값으로 산출되었고, 그 값은 다른 연령대에 비해 낮았다. 또한 50~64세, 65세 이상 여성에서는 산출된 최적섭취량과 평균섭취량을 비교하였을 때 다른 연령대와 달리 우유·유제품류의 최적섭취량뿐 아니라 어패류의 최적섭취량도 평균섭취량보다 높게 나타났다.

30~49세, 50~64세 남성에서 나트륨의 제약조건 변화에 따라 산출된 최적 식품섭취패턴에서 우유·유제품류의 최적섭취량 변화를 살펴보면, 30~49세의 경우 우유·유제품류의 최적섭취량이 감소함에 따라 어패류의 최적섭취량이 증가하는 것을 확인할 수 있다 (Fig. 1). 50~64세 남성의 경우 나트륨 제약조건 기준의 증가와 상관없이 우유·유제품류의 최적섭취량은 평균섭취량과 동일한 값으로 산출되었으나, 어패류의 최적섭취량은 나트륨의 제약조건이 2,000 mg 때부터 이미 높은 값으로 산출되었다. 이는 우유·유제품류, 어패류는 단백질, 칼슘의 주공급원이기 때문에 우유·유제품류 대신에 어패류로 이러한 영양소가 충족된 것으로 추측할 수 있다. 또한 30~49세, 50~64세 남성의 어패류 평균섭취량이 각각 82.24 g, 84.69 g으로 19~29세, 65세 이상 남성의 어패류 평균섭취량 (각각 62.81 g, 62.25 g)에 비해 높았고 (Table 3), 어패류의 최적섭취량의 상한 기준으로 설정한 실제섭취량의 90th 백분위수도 30~49세 남성 217 g, 50~64세 남성 230 g으로 19~29세, 65세 이상 남성의 실제섭취량의 90th 백분위수

(각각 172 g, 175 g)에 비해 높게 나타났다 [14]. 상한 기준이 높으면 그만큼 최적섭취량이 높게 설정될 수 있으므로 30~49세, 50~64세 남성에서는 19~29세, 65세 이상 남성에 비해 우유·유제품류의 최적섭취량은 낮고 어패류의 최적섭취량이 높게 산출된 것으로 추정된다.

또한 50~64세, 65세 이상 여성에서 우유·유제품류와 어패류의 최적섭취량이 평균섭취량보다 높게 산출된 것은 영양소의 제약조건 중 하나인 칼슘의 제약조건의 하한기준과 관련이 있는 것으로 사료된다. 2015 한국인 영양소 섭취기준 [4]에서는 여성의 칼슘 권장섭취량의 하한기준으로 19~29세, 30~49세, 50~64세, 65세 이상 각각 700 mg/일, 700 mg/일, 800 mg/일, 800 mg/일로 제시되었고 50~64세와 65세 이상의 여성은 19~29세와 30~49세 여성보다 권장섭취량이 100 mg 높게 설정되었다. 이는 50세 이상 여성의 경우, 폐경으로 인한 골손실 및 골절예방에 칼슘 섭취가 도움이 된다고 보고한 연구 결과에 근거하여 2010 한국인 영양섭취기준 [32]에 제시된 권장섭취량 (700 mg/일)에서 100 mg 상향조정한 결과이다 [4]. 50~64세, 65세 이상의 여성에서는 상대적으로 높은 이러한 칼슘 권장섭취량 때문에 칼슘 함량이 높은 우유·유제품류, 어패류의 최적섭취량이 높게 산출되었다고 할 수 있다.

나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화에 대해 살펴보면, 김치의 최적섭취량은 나트륨의 제약조건을 증가시키에 따라 처음에는 점차 높아졌다가 평균섭취량과 동일하게 되면 더 이상 높아지지 않았고, 조미료의 최적섭취량은 김치의 최적섭취량이 평균섭취량에 도달하였을 때부터 증가하였다. 본 연구에서는 조미료의 최적섭취량에 착안하여 최종적인 나트륨의 제약조건을 결정했는데, 김치와 같이 나트륨 함량이 높은 식품품목에 대해서도 제약조건의 범위를 더 짧게 하거나 하나의 값으로 설정하는 등 여러 방법에 대해 고려할 필요가 있겠다.

아프리카 서부에 위치한 베냉에서 식생활지침 개발을 위하여 선형계획법을 이용하여 영양섭취기준을 충족하면서 현재 식품섭취패턴을 크게 벗어나지 않는 식품군의 섭취횟수를 제시한 연구 [33]에서는 현재의 식품섭취패턴으로는 칼슘의 제약조건을 충족하지 못하였다. 때문에 우유·유제품류의 제약조건을 하나의 값 (19세 이상 성인에서는 200 g, 19세 미만의 어린이 및 청소년에서는 100 g)으로 설정하고 칼슘의 권장섭취량의 70%를 충족할 수 있는 식품섭취패턴을 산출하였다. 이와 같이 선형계획법을 이용하면 영양섭취기준을 충족하면서 현재 식품섭취패턴을 반영한 최적 식품섭취패턴을 산출할 수 있으나 산출되는 해는 평균섭취량에 의존하므로 대상자의 식생활이 바람직하지 않은 경우 이를 반영한 결과가 산출될 수도 있다. 따

라서 현재 식품섭취패턴을 반영할 수 있는 선형계획법의 장점은 이와 같이 한계점이 될 수도 있기 때문에 이러한 선형계획법의 특징을 잘 파악하여 이용할 필요가 있다.

본 연구에서 분석에 이용한 국민건강영양조사 식품섭취조사 자료는 조사 대상자가 전날에 섭취한 하루치 식사에 대해 24시간 회상법을 이용하여 조사되었기 때문에 산출한 식품섭취량은 분석 대상자의 일상섭취량을 반영하지 못하였다는 한계점이 있다. 이에 정확한 식품섭취량을 산출하기 위해서는 최소 2일 이상 조사한 24시간 회상법 원시자료를 이용하는 것이 바람직하므로 분석 결과 해석 시 유의해야 한다. 또한 분석 당시 공개된 제5기 (2010~2012)와 제6기 1, 2차년도 (2013, 2014)의 국민건강영양조사 식품섭취조사 자료에는 식이섭유의 데이터베이스가 없었으므로 [34] 본 연구에서는 제약조건으로 식이섭유에 관한 기준을 포함하지 못하였다. 그러나 현재 공개되어 있는 제6기 (2013~2015)의 국민건강영양조사 식품섭취조사 자료에는 식이섭유 데이터베이스가 마련되었으므로 향후 식이섭유를 제약조건으로 포함시켜 분석할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 경영학 분야에서 이용되는 선형계획법을 영양학 분야에 이용하여 현재의 식품섭취패턴을 고려한 현실적인 나트륨의 목표섭취량을 나트륨의 제약조건으로 성 및 연령별 최적 식품섭취패턴을 산출하였다는 점에서 의의가 있다.

요 약

본 연구는 선형계획법을 이용하여 나트륨의 제약조건 변화에 따른 최적 식품섭취패턴 변화를 살펴보고 보다 실현성이 높은 나트륨의 목표섭취량을 구하고, 이를 나트륨의 제약조건으로 최적 식품섭취패턴을 설계하는 것을 목적으로 수행되었다. 주요 결과는 다음과 같다. 나트륨의 제약조건 (2,000 mg)을 100 mg 단위로 증가시키면서 선형계획법을 이용하여 조미료의 최적섭취량을 성 및 연령별 여덟 집단에 대해 산출하였다. 조미료의 최적섭취량이 조미료의 실제섭취량의 25th 백분위수에 가장 가까운 경우의 나트륨 양은 남성 19~29세, 30~49세, 50~64세, 65세 이상에서 각각 3,600 mg, 4,500 mg, 4,200 mg, 3,400 mg, 여성 19~29세, 30~49세, 50~64세, 65세 이상에서 각각 2,800 mg, 3,100 mg, 3,100 mg, 2,500 mg으로 산출되었다. 이를 나트륨의 제약조건으로 하였을 때 성 및 연령별 여덟 집단의 최적 식품섭취패턴이 선형계획법을 이용하여 수학적으로 설계되었다. 결론적으로 나트륨의 제약조건을 2,000 mg으로부터 500~2,500 mg 정도 성 및 연령별로 상향 조정하였을 때 실현성이 높은 최적 식품섭취패턴이 설계되

었다. 이 최적 식품섭취패턴에서는 여덟 집단 모두 공통적으로 채소류, 여성에서 우유·유제품류, 50~64세를 제외한 여성에서 과일류의 섭취량을 현재보다 더 늘릴 필요가 있는 것으로 나타났다.

ORCID

아사노가나: <https://orcid.org/0000-0002-7097-5888>

양홍석: <https://orcid.org/0000-0003-2473-6015>

이영미: <https://orcid.org/0000-0001-9965-0748>

김미영: <https://orcid.org/0000-0002-2475-3723>

윤지현: <https://orcid.org/0000-0002-9479-9305>

References

1. Meneton P, Jeunemaitre X, de Wardener HE, MacGregor GA. Links between dietary salt intake, renal salt handling, blood pressure, and cardiovascular diseases. *Physiol Rev* 2005; 85(2): 679-715.
2. Kurosawa M, Kikuchi S, Xu J, Inaba Y. Highly salted food and mountain herbs elevate the risk for stomach cancer death in a rural area of Japan. *J Gastroenterol Hepatol* 2006; 21(11): 1681-1686.
3. World Health Organization. Guideline: sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization; 2012.
4. Ministry of Health and Welfare (KR); The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans 2015. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2015.
5. Park YH, Chung SJ. A comparison of sources of sodium and potassium intake by gender, age and regions in Koreans: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2010-2012. *Korean J Community Nutr* 2016; 21(6): 558-573.
6. Korea Health Promotion Foundation. Health promotion research brief 2016. The policy trends of sodium reduction and future tasks. Seoul: Korea Health Promotion Foundation; 2016.
7. Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2017: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VII-2). Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2018.
8. National Health and Medical Research Council (AU); Australian Government Department of Health and Ageing. Eat for health Australian Dietary Guidelines summary. Canberra: National Health and Medical Research Council; 2013.
9. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). About popularization of 'healthy meal patterns' for supporting longevity of Japanese. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2015.
10. Buttriss JL. The eatwell guide refreshed. *Nutr Bull* 2016; 41(2): 135-141.
11. Soden PM, Fletcher LR. Modifying diets to satisfy nutritional requirements using linear programming. *Br J Nutr* 1992; 68(3): 565-572.

12. Briend A, Darmon N, Ferguson E, Erhardt JG. Linear programming: a mathematical tool for analyzing and optimizing children's diets during the complementary feeding period. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2003; 36(1): 12-22.
13. Ragsdale CT. Managerial decision modeling. 6th edition. Mason (OH): South-Western; 2011.
14. Asano K, Yang H, Lee Y, Yoon J. Designing optimized food intake patterns for Korean adults using linear programming (I): analysis of data from the 2010 ~ 2014 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *J Nutr Health* 2018; 51(1): 73-86.
15. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). Report of the investigative commission for 'Dietary Reference Intakes for Japanese (2015)'. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2015.
16. National Health and Medical Research Council (AU); Australian Government Department of Health and Ageing. New Zealand Ministry of Health. Nutrient Reference Values for Australia and New Zealand. Canberra: National Health and Medical Research Council; 2006.
17. National Health and Medical Research Council (AU); Australian Government Department of Health; New Zealand Ministry of Health. Australian and New Zealand nutrient reference values for sodium: a report prepared for the Australian Government Department of Health and the New Zealand Ministry of Health. Canberra: National Health and Medical Research Council; 2017.
18. Institute of Medicine (US). Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. Washington, D.C.: The National Academies Press; 2005.
19. Maillot M, Drewnowski A. A conflict between nutritionally adequate diets and meeting the 2010 dietary guidelines for sodium. *Am J Prev Med* 2012; 42(2): 174-179.
20. Maillot M, Monsivais P, Drewnowski A. Food pattern modeling shows that the 2010 Dietary Guidelines for sodium and potassium cannot be met simultaneously. *Nutr Res* 2013; 33(3): 188-194.
21. Maillot M, Drewnowski A. Energy allowances for solid fats and added sugars in nutritionally adequate U.S. diets estimated at 17-33% by a linear programming model. *J Nutr* 2011; 141(2): 333-340.
22. Hur IY, Moon HK. A study on the menu patterns of residents in Kangbukgu (I): whole menu patterns and menu patterns by meal. *Korean J Community Nutr* 2001; 6(4): 686-702.
23. Hur IY, Moon HK. A study on the menu patterns of residents in Kangbukgu (II): compared by the sex, age and health risk. *Korean J Community Nutr* 2001; 6(5): 809-818.
24. Kim CH, Lee JH. The study on the consumers' perception and purchasing behavior of rice cake as a meal. *Korean J Culinary Res* 2007; 13(2): 59-68.
25. Moon HK, Chung HR, Cho EY. Analysis of menu patterns from the Korean National Nutrition Survey in 1990. *Korean J Diet Cult* 1994; 9(3): 241-250.
26. Okubo H, Sasaki S, Murakami K, Yokoyama T, Hirota N, Notsu A, et al. Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for Japanese adults through the use of linear programming optimization models. *Nutr J* 2015; 14(1): 57.
27. Ministry of Health, Labour and Welfare (JP). Report of the investigative commission about the way of 'healthy meal patterns' for supporting longevity of Japanese. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare; 2014.
28. Park JH, Kim YC, Koo HS, Oh SW, Kim S, Chin HJ. Estimated amount of 24-hour urine sodium excretion is positively correlated with stomach and breast cancer prevalence in Korea. *J Korean Med Sci* 2014; 29 Suppl 2: S131-S138.
29. Aburto NJ, Ziolkowska A, Hooper L, Elliott P, Cappuccio FP, Meerpohl JJ. Effect of lower sodium intake on health: systematic review and meta-analyses. *BMJ* 2013; 346: f1326.
30. Mozaffarian D, Fahimi S, Singh GM, Micha R, Khatibzadeh S, Engell RE, et al. Global sodium consumption and death from cardiovascular causes. *N Engl J Med* 2014; 371(7): 624-634.
31. National Health and Medical Research Council (AU). A modeling system to inform the revision of the Australian guide to healthy eating. Canberra: National Health and Medical Research Council; 2011.
32. Ministry of Health and Welfare (KR); The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans. 1st revision, Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010.
33. Levesque S, Delisle H, Agueh V. Contribution to the development of a food guide in Benin: linear programming for the optimization of local diets. *Public Health Nutr* 2015; 18(4): 622-631.
34. Yeon S, Oh K, Kweon S, Hyun T. Development of a dietary fiber composition table and intakes of dietary fiber in Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *Korean J Community Nutr* 2016; 21(3): 293-300.