

한국 성인의 비타민D 섭취량과 혈중 25OHD 농도 및 골밀도와의 관련성 : 2011 국민건강영양조사 결과 재분석

김미연¹ · 김미자² · 이선영^{1†}

충남대학교 식품영양학과,¹ 대전과학기술대학교 식품영양과²

Vitamin D intake, serum 25OHD, and bone mineral density of Korean adults: Based on the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES, 2011)

Kim, Mi-Yeon¹ · Kim, Mi-Ja² · Ly, Sun Yung^{1†}

¹Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Food and Nutrition, Daejeon Institute of Science and Technology, Daejeon 35408, Korea

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to estimate dietary intake of vitamin D and the relationship between serum 25-hydroxyvitamin D (25OHD) concentration and bone mineral density (BMD) in Korean adults using the 2011 data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey. **Methods:** Daily intake of vitamin D and ratio of subjects that consumed less vitamin D than adequate intake (AI) were estimated in 4,879 Korean adults. The relationship between daily intake of vitamin D and serum 25OHD and BMD were analyzed. **Results:** Average daily intakes of vitamin D were 3.84 ± 0.23 $\mu\text{g/day}$ for men and 2.22 ± 0.11 $\mu\text{g/day}$ for women. Approximately 72~97% of men and 80~99% of women consumed less than the AI of vitamin D for Koreans. Serum 25OHD concentration increased with age, and the ratios of serum vitamin D deficiency (< 20 ng/mL) were 47.8~81.1% for men and 59.4~92.8% for women. Average intake of vitamin D was higher in subjects aged < 50 yr than in those ≥ 50 yr, but lower in serum 25OHD concentration. In subjects aged < 50 yr, serum 25OHD was higher in subjects that consumed 10 $\mu\text{g/day}$ of vitamin D than in those that consumed less than 5 $\mu\text{g/day}$. In female subjects aged ≥ 50 yr, average intake of vitamin D was associated with higher bone mineral density. **Conclusion:** It was found that dietary intake of vitamin D could increase serum 25OHD concentration in young adults and bone mineral density in old women. Therefore, nutrition policies for enriched foods with vitamin D and nutrition education to consume more vitamin D-rich foods are needed to ameliorate vitamin D status of the Korean population. Adequate intake for Korean population aged < 50 yr might be adjusted upwardly up to 10 $\mu\text{g/day}$.

KEY WORDS: dietary intake of vitamin D, serum 25-hydroxyvitamin D, bone mineral density, Korean adults

서 론

2010년 국내 지역 코호트 기반 연구를 통해 본 50세 이상 성인의 요추 골다공증 유병률은 여성 24.0%, 남성 12.9%였다.¹ 2010년 국민건강영양조사 분석 결과 만 50세 이상 여성의 부위별 골다공증 유병률은 요추 28.8%, 대퇴경부 21.3%, 대퇴골 6.5%로 요추와 대퇴경부의 골밀도 저하로 인한 골다공증 유병률이 높았다.² 골밀도에 영향을 주는 영양소는 칼슘, 인, 칼륨, 비타민C, 비타민D 등 다양하게 보

고되고 있다.^{3,4} 이 중 특히 비타민D는 골밀도 유지를 위해 서 중요한 역할을 하는데 이는 비타민D가 부족하면 부갑상선 기능 항진증을 초래하여 골 손실이 일어나기 때문이다.⁵ 그 외에도 비타민D는 암세포의 성장을 억제시킬 뿐만 아니라 면역 작용을 조절하여 감염이나 자가 면역성 질환을 예방하는 역할을 한다.⁶ 그러므로 인체의 비타민D 영양 상태를 적절한 수준으로 유지하는 것은 매우 중요하다.

인체의 비타민D 영양상태를 가장 잘 반영하는 지표는 혈중 25OHD의 농도이다. 피부 밑에서 합성되는 비타민D

Received: September 28, 2016 / Revised: November 9, 2016 / Accepted: November 15, 2016

[†]To whom correspondence should be addressed.

tel: +28-42-821-6838, e-mail: sunly@cnu.ac.kr

© 2016 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.

와 식사와 보충제로 섭취하는 비타민D는 모두 간에서 비타민D의 주 순환형인 25OHD로 전환되므로 혈중 25OHD 농도는 인체의 비타민D에 대한 총 노출량을 반영하는 지표이다.^{7,8} 혈중 25OHD를 통해 한국인의 비타민D 결핍률 (< 20 ng/mL)을 조사한 Kim 등의 연구⁹에서는 남성이 33.8%, 여성이 66.2%의 결핍률을 보였으며, 49세 이상 성인을 대상으로 조사한 Whang 등의 연구¹⁰에서는 남성 50.4%, 여성 66.3%의 결핍률을 보여 한국인의 비타민D 결핍 비율이 모두 높은 것으로 보고되었다.

혈중 25OHD의 농도에 가장 큰 영향을 주는 요인은 자외선 조사량이지만 현대인들은 생활양식 변화로 실외활동량이 적어져 자외선 노출 시간이 줄어들고, 그로인해 비타민D의 피부 합성량이 감소되고 있다.¹¹⁻¹⁴ 또한 자외선 차단제의 사용, 스모그, 안개 등의 환경 요인이 모두 비타민D 합성량을 감소시키는 요인이나 점차 이러한 위해 요인의 영향은 늘어나고 있다.^{11,15-18} 다행히 환경요인 이외에도 식사로 섭취한 비타민D도 혈중 비타민D 농도와 양의 상관관계가 있다는 사실이 여러 연구에서 공통적으로 보고되고 있다.¹⁹⁻²¹ 그러므로 인체에서 비타민D의 영양상태를 평가하기 위해서는 식사로 섭취한 비타민D와 자외선 조사로 체내에서 합성된 비타민D의 양이 모두 고려되어야 한다. 그러나 비타민D의 급원 식품은 쇠고기, 달걀, 생선, 간, 버섯, 우유 및 유제품 등으로 상당히 제한적이며 비타민D가 다량 함유된 단일 식품도 많지 않기 때문에 음식을 통한 비타민D의 섭취에는 어려움이 있다.²² 2010년 한국인영양소 섭취기준 (KDRIs)에서는 0~50세 남녀 모두 충분섭취량을 5 µg/day, 50세 이상 성인의 충분섭취량을 10 µg/day로 설정하였다.²³ 선행연구에 의하면 고령인구비율이 높은 지역의 성인 남녀의 비타민D 섭취량은 각각 2.67 µg, 2.74 µg 이었으며²⁴ 50세 이상 폐경 여성을 대상으로 조사한 비타민D 섭취량은 50~64세 연령층에서 6.6 µg/day, 64세 이상 연령층에서 6.6 µg/day로 충분섭취량보다 부족한 것으로 보고하였다.²⁵ 그러나 아직까지 한국인의 혈중 25OHD와 비타민D 섭취량에 관한 연구결과는 상대적으로 매우 부족한 편이다.

이에 본 연구실에서 보완한 식품의 비타민D 함량 DB를 국민건강영양조사 자료 분석에 사용하여²⁶ 국민들의 비타민D 섭취량을 도출해보고자 하였으며 혈중 25OHD의 수준과 이와 관련된 변인들을 탐색하여 변인들 간의 상관성을 분석하고자 하였다. 또한 한국인의 비타민D 급원식품 중 다소비 식품을 알아보고 비타민D 섭취가 혈중 농도와 골밀도에 영향을 줄 수 있는지 확인하고자 하였다.

연구방법

연구대상

본 연구에서는 제 5기 2차년도 (2011년) 국민건강영양조사에 참여하였던 성인 남녀의 자료를 분석하였다. 제 5기 2차년도 (2011년) 국민건강영양조사에 참여한 1세 이상 국민 8,518명 (남자 3,867명, 여자 4,651명) 중 만 19세 이상 성인 6,566명 (남자 2,839명, 여자 3,727명)을 1차 대상자로 선정하였다. 1차 대상자 중 건강 설문 조사에 응답하지 않은 자 636명 (교육수준 547명, 신체활동 15명, 음주여부 25명, 월 소득 49명), 검진조사가 이루어지지 않은 자 305명 (햇빛노출시간 24명, 신체계측 49명, 혈중 25OHD 농도 232명), 24시간 회상법에 의해 식품섭취 조사가 이루어지지 않은 자 746명을 제외한 4,879명 (남자 1,965명, 여자 2,914명)을 최종 분석에 이용하였으며, 대상자 선정과정은 Fig. 1에 제시하였다. 본 연구는 충남대학교 생명윤리위원회의 승인을 받아 수행하였다 (승인번호: 201509-SB-026-01).

일반적 특성

일반적인 특성은 국민건강영양조사의 건강설문조사 항목인 흡연, 음주, 신체활동 (격렬한, 중등도, 걷기), 영양조사 항목인 식이보충제 섭취, 검진조사 중 햇빛 노출시간 자료

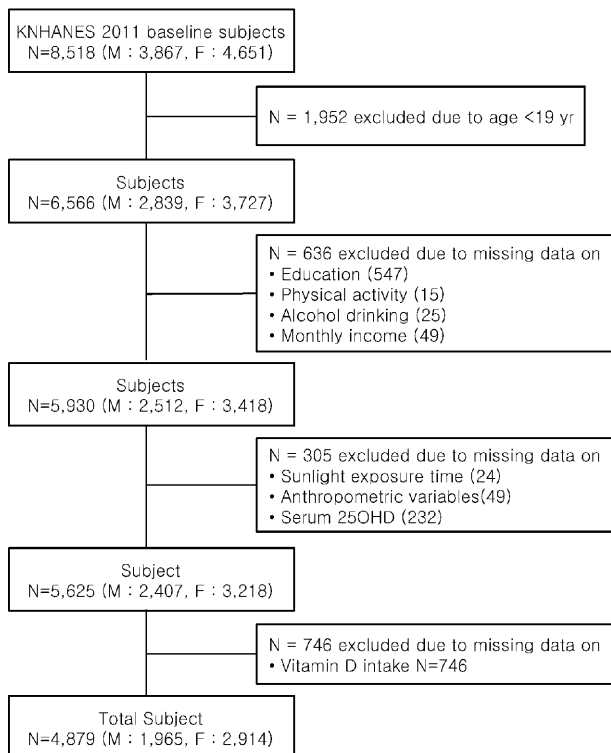


Fig. 1. Flowchart of subject inclusion and exclusion in the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2011

를 이용하여 분석하였다. 건강 설문조사 중 흡연상태는 현재 흡연자인 경우는 '예', 비흡연자나 과거 흡연자는 '아니오'로 조사되었으며, 음주상태는 최근 1년간 월 1잔 이상 섭취자는 '예', 그 미만은 '아니오'로 조사되었다. 신체활동은 강도에 따라 '격렬한 신체활동', '중등도 신체활동', '걷기'로 구분하여 각각의 실천 여부로 조사되었다. 영양조사 항목 중 식이보충제 섭취 여부로 최근 1개월 동안 주 1회 이상 식이보충제를 섭취한자는 '예', 섭취하지 않은 자는 '아니오'로 응답한 자료를 이용하였다. 검진 기본 설문의 안검사 설문 중 하나인 햇빛 노출 시간은 1일 2시간 미만, 2~5시간, 5시간 이상으로 구분하여 조사되었다.

열량 섭취량, 비타민D 섭취량과 급원 식품군

영양소 섭취량 중 열량은 24시간 회상법으로 조사된 1일 간의 식품섭취 자료를 활용하여 산출하였고, 비타민D의 1일 평균 섭취량은 본 연구실에서 보완한 식품 비타민D 함량 DB를 국민건강영양조사의 식품섭취량 조사 자료 분석에 이용하여 산출하였다. 기존 식품의 비타민D 함량 DB를 보완하기 위하여 2009년 한국영양학회에서 구축한 비타민D DB 1,191가지 식품 DB²⁷에 397개 식품을 추가하여 DB를 보완하고 분석에 사용하였다. 비타민D 섭취량은 한국 성인의 1일 평균 비타민D 섭취량과 열량 섭취량으로 보정한 1일 평균 비타민D 섭취량으로 산출하였다. 한국인 영양소섭취기준 대비 비타민D 섭취 상황을 알아보기 위하여 비타민D의 충분섭취량 (AI)미만 섭취자 분율을 조사하였다. 비타민D 섭취에 높은 기여를 하는 식품군을 알아보기 위해 국민건강영양조사 시 분류한 18식품군 (곡류 및 그 제품, 감자 및 전분류, 당류 및 그 제품, 두류 및 그 제품, 종실류 및 그 제품, 채소류, 버섯류, 과일류, 육류 및 그 제품, 난류, 어패류, 해조류, 유류 및 그 제품, 유지류, 음료 및 주류, 조미료류, 조리가공식품류, 기타)으로부터 섭취한 비타민D의 양과 기여도를 산출하였다.

혈중 25OHD 농도와 골밀도

혈중 25OHD 농도는 네오딘의학연구소에서 25-hydroxy-vitamin D ¹²⁵I RIA Kit (DiaSorin, USA)를 이용하여 방사면역측정법 (radioimmunoassay, RIA)으로 측정된 자료를 이용하였으며, 혈중 25OHD의 농도가 20 ng/mL 미만이면 결핍, 그 이상이면 정상으로 분류하였다.²⁸ 1일 평균 비타민D 섭취 수준이 혈중 25OHD 농도에 영향을 줄 수 있는지 알아보기 위하여 1일 평균 비타민D 섭취량을 2010년 한국인 영양소 섭취기준의 성인 기준치 (AI)인 5 µg과 10 µg을 경계로 5 µg미만, 5~10 µg 미만, 10 µg 이상의 군으로 나누어 각 군의 혈중 25OHD 농도를 비교 분석했으며, 분석

시 혈중 25OHD 농도에 영향을 주는 햇빛 조사시간을 통제하였다.

또한 비타민D 섭취수준이 골밀도에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 비타민D 섭취 수준 (5 µg 미만, 5~10 µg 미만, 10 µg 이상)에 따라 혈중 25OHD 농도로 통제된 골밀도 (전신, 대퇴부, 대퇴경부, 요추) 수치에 차이가 있는지 알아보았으며, 연령별 전신 골밀도, 대퇴골, 대퇴경부, 요추 골밀도를 비교분석하였다. 자료 분석에 사용된 전신 골밀도, 대퇴부, 대퇴경부와 요추 골밀도는 dual-energy X-ray absorptiometry (DXA, DISCOVERY-W fan-beam densitometer, Hologic Inc, Bedford, MA, USA)를 사용하여 측정된 결과를 이용하였다.

통계방법

자료의 통계처리는 SPSS program package version 22.0을 이용하였다. 모든 통계 처리는 집락변수 (psu), 층화변수 (kstrata) 및 건강 설문, 검진조사, 영양조사의 연관성 가중치를 반영한 복합표본분석방법을 사용하였다. 건강설문조사, 식생활조사, 검진조사 결과와 비타민D의 AI 미만 섭취자 분율, 혈중 25OHD 농도의 결핍자 비율 분포의 차이는 교차분석을 실시하여 검증하였다. 에너지 섭취량으로 보정한 1일 평균 비타민D 섭취량, 연령별 혈중 25OHD 농도, 비타민D 섭취 수준에 따른 혈중 25OHD 농도 (햇빛 노출시간 보정) 및 골밀도 수준 (혈중 25OHD 농도 보정)을 검증하기 위해 복합표본설계 내 기술통계를 이용해 추정값과 표준오차를 산출하였고, 일반선형모형 (complex sample general linear model, CSGLM)을 이용해 유의성을 검증하였다. 또한 일반적 특성과 혈중 25OHD 농도의 상관분석도 일반선형모형 (complex sample general linear model, CSGLM)을 이용했다. 모든 통계 분석에서 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

일반적 특성

연구대상자의 남녀별 일반적 특성은 Table 1과 같다. 남성 흡연자 비율은 45.0%로 여성 흡연자 비율 6.4%에 비해 유의하게 높았으며, 음주율 또한 남성은 77.3%로 여성 42.0%보다 유의하게 높았다 ($p < 0.001$). 신체활동 여부에 있어서 격렬한 운동을 하고 있는 남성은 41.1%, 여성은 24.6%이었으며, 중등도 운동을 하고 있는 남성은 43.7%, 여성은 32.4%로 격렬한 신체활동과 중등도 신체활동을 하고 있는 남성의 비율이 여성에 비해 높았으나 ($p < 0.001$) 걷기를 실천하는 비율은 84% 정도로 남녀 간 차이

Table 1. Characteristics of participants

Characteristics			Total (N = 4,879)	Men (N = 1,965)	Women (N = 2,914)	χ^2 -value ³⁾
Smoking	Yes		913 (25.4) ¹⁾	765 (45.0)	148 (6.4)	957.654***
	No		3,966 (74.6)	1,200 (55.0)	2,766 (93.6)	
Drinking	Yes		2,536 (59.4)	1,453 (77.3)	1,083 (42.0)	629.829***
	No		2,343 (40.6)	512 (22.7)	1,831 (58.0)	
Physical activity	Strenuous	Yes	1,411 (32.7)	738 (41.1)	673 (24.6)	151.364***
		No	3,468 (67.3)	1,227 (58.9)	2,241 (75.4)	
	Moderate	Yes	1,766 (38.0)	813 (43.7)	953 (32.4)	66.841***
		No	3,113 (62.0)	1,152 (56.3)	1,961 (67.6)	
	Walking	Yes	4,054 (84.1)	1,662 (85.0)	2,392 (83.1)	3.187
		No	825 (15.9)	303 (15.0)	522 (16.9)	
Dietary supplement ²⁾	Yes		1,994 (36.3)	648 (29.9)	1,346 (42.5)	84.278***
	No		2,885 (63.7)	1,317 (70.1)	1,568 (57.5)	
Sunlight exposure time	< 2		2,894 (58.9)	989 (51.3)	1,905 (66.2)	129.167***
	2 ~ < 5		1,229 (26.8)	553 (29.9)	676 (23.8)	
	≥ 5		756 (14.3)	423 (18.8)	333 (10.0)	

1) All variables are expressed as number (percentage). 2) Whether the person took dietary supplement at least once per week in a month. 3) *** chi-square test p-value < 0.001 for differences between men and women

가 없었다. 식이보충제를 섭취하는 남성의 비율은 29.9%, 여성은 42.5%로 여성이 남성에 비해 식이보충제를 많이 섭취하고 있었다 ($p < 0.001$). 1일 2시간 미만으로 햇빛을 쬌하는 사람의 비율이 남성에서는 51.3%, 여성에서는 66.2%로 여성의 비율이 높았으나 2~5시간, 5시간 이상의 햇빛을 쬌하는 경우는 각각 남성이 29.9%, 18.8%, 여성이 23.8%, 10.0%로 남성의 햇빛 조사시간이 여성에 비하여 길었다 ($p < 0.001$).

비타민D 섭취와 혈중 25OHD 농도

연령과 성별에 따른 비타민D 섭취와 혈중 25OHD 농도에 대한 결과는 Table 2와 같다. 남녀의 1일 평균 비타민D 섭취량은 남성이 $3.84 \pm 0.23 \mu\text{g/day}$, 여성은 $2.22 \pm 0.11 \mu\text{g/day}$ 로 남성의 섭취량이 여성보다 많았다. 에너지 섭취량으로 보정하기 전 남성의 연령별 비타민D 섭취량은 30~49세 연령층에서 $5.57 \pm 0.51 \mu\text{g/day}$ 로 가장 많았고 65~74세 연령층에서 $2.12 \pm 0.28 \mu\text{g/day}$ 로 가장 적었다 ($p < 0.001$). 여성은 30~49세 연령층에서 에너지 보정 전 비타민D 섭취량이 $3.22 \pm 0.19 \mu\text{g/day}$ 로 가장 많았고, 75세 이상 연령층에서 $1.27 \pm 0.26 \mu\text{g/day}$ 로 가장 적었다 ($p < 0.001$). 에너지 섭취량으로 보정한 후 연령별 비타민D 섭취량은 에너지 섭취량이 적었던 65~74세 연령층과 75세 이상 연령층에서 증가하고 있었다 ($p < 0.001$). 2010년 한국인 영양소섭취기준에서 비타민D의 충분섭취량 (AI)은 19~49세 연령층은 $5 \mu\text{g}$ 으로, 50세 이상 연령층은 $10 \mu\text{g}$ 으로 제정되어 있다. 본 연구 대상자 중 한국인 영양소섭취기

준 중 비타민D 충분섭취량 미만 섭취자 비율은 남성 전체는 83.1%, 여성 전체는 89.8%로 상당히 부족한 상황이었으며 남녀 모두 30~49세에서 가장 낮았고 (남 71.6%, 여 80.2%) 남자는 65~74세 연령층에서 96.6%로 가장 높았으며, 여자는 75세 이상 연령층에서 98.5%로 비율이 가장 높았다. 연령별 혈중 25OHD 농도는 남녀 모두 19~29세 연령층에서 혈중 25OHD 농도가 가장 낮았고, 75세 이상 연령층에서 가장 높았으며, 연령이 높아질수록 혈중 25OHD는 유의하게 증가했다 ($p < 0.001$). 혈중 25OHD의 결핍수준을 20 ng/mL 미만으로 보았을 때 19~29세 연령층에서 남녀의 결핍비율은 각각 81.1%, 92.8%로 결핍률이 가장 높았고, 75세 이상 연령층은 남성이 47.8%, 여성이 59.4%로 결핍률이 가장 낮았다.

혈중 25OHD 농도와 상관성 분석

혈중 25OHD 농도에 영향을 미치는 변수를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 남성은 식이보충제를 섭취한 자만 양의 상관관계를 보였으며, 여성은 흡연자와 음의 상관관계, 식이 보충제 섭취자와 5시간 이상 햇빛 조사와는 양의 상관관계를 보였다.

1일 비타민D 섭취량에 따른 혈중 25OHD 농도

연구대상자를 50세 전과 후로 나누어 각각에서 비타민D의 1일 평균 섭취량과 햇빛 노출 시간으로 보정한 혈중 25OHD 농도와의 관계를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 비타민D 섭취 수준을 $5 \mu\text{g}$ 미만, $5 \sim 10 \mu\text{g}$ 미만, $10 \mu\text{g}$ 이상으

Table 2. Mean energy and vitamin D intakes and mean serum 25OHD concentration of Koreans, in 2011, by age and gender

Sex	Age	N	AI of 2010 KDRI (μg)	Energy intake (kcal)	Vitamin D intake (μg)			Serum 25OHD	
					Unadjusted	Adjusted for energy intake	Less than AI (%)	Level (ng/mL)	Deficiency ratio (%) ²⁾
Men	19 ~ 29	212	5	2,503.89 ± 82.42 ¹⁾	4.36 ± 0.60	4.34 ± 0.59 ¹⁾	80.3	16.47 ± 0.41	81.1
	30 ~ 49	654	5	2,670.25 ± 50.53	5.57 ± 0.51	5.21 ± 0.50	71.6	17.84 ± 0.32	66.9
	50 ~ 64	603	10	2,415.90 ± 46.40	4.60 ± 0.35	4.76 ± 0.34	86.6	19.41 ± 0.41	57.8
	65 ~ 74	356	10	2,057.21 ± 46.11	2.12 ± 0.28	3.03 ± 0.31	96.6	20.01 ± 0.45	52.8
	≥ 75	140	10	1,690.50 ± 56.74	2.54 ± 0.51	4.20 ± 0.56	93.7	20.12 ± 0.63	47.8
	Total	1,965		2,267.55 ± 27.16	3.84 ± 0.23	4.31 ± 0.25	83.1	18.77 ± 0.27	65.9
	F-value ³⁾			47.196***	15.304***	7.650***		14.293***	
Women	19 ~ 29	317	5	1,786.15 ± 50.74	2.44 ± 0.22	2.33 ± 0.21	88.2	13.73 ± 0.30	92.8
	30 ~ 49	1,097	5	1,776.76 ± 28.82	3.22 ± 0.19	3.12 ± 0.18	80.2	15.91 ± 0.26	82.1
	50 ~ 64	862	10	1,667.11 ± 27.22	2.60 ± 0.19	2.64 ± 0.19	94.2	17.80 ± 0.29	69.2
	65 ~ 74	432	10	1,477.60 ± 30.48	1.56 ± 0.22	1.86 ± 0.21	96.3	18.77 ± 0.51	60.6
	≥ 75	206	10	1,331.08 ± 40.03	1.27 ± 0.26	1.77 ± 0.27	98.5	19.14 ± 0.65	59.4
	Total	2,914		1,607.74 ± 17.10	2.22 ± 0.11	2.34 ± 0.11	89.8	17.07 ± 0.23	77.8
	F-value			32.512***	14.510***	8.388***		41.078***	

1) Data are expressed as mean ± SEs. 2) Cut-off point (deficiency level) for serum 25OHD concentration was 20 ng/mL. 3) F-value was based on the results from the complex samples general linear model; comparison among age groups.

***p < 0.001

Table 3. Regression coefficient (95% CI) for association between serum vitamin D concentration and variables according to the sex

Characteristics			Men (N = 1,965)		Women (N = 2,914)	
			β (95% CI)	P-value	β (95% CI)	P-value
Smoking	Yes		-0.884 (-2.051, 0.283)	0.136	-4.586 (-6.199, -2.973)	< 0.001
	No					
Drinking	Yes		0.711 (-0.422, 1.844)	0.216	1.632 (-0.053, 3.317)	0.058
	No					
Physical activity	Strenuous	Yes	-0.331 (-1.600, 0.938)	0.606	0.314 (-1.470, 2.098)	0.728
		No				
	Moderate	Yes	1.190 (-0.054, 2.434)	0.061	-0.246 (-1.695, 1.202)	0.737
		No				
	Walking	Yes	-0.591 (-2.127, 0.946)	0.448	1.111 (-0.121, 2.343)	0.077
		No				
Dietary supplement (one month)	Yes		2.515 (1.507, 3.524)	< 0.001	2.597 (1.506, 3.689)	< 0.001
	No					
Sunlight exposure time	< 2					
	2 ~ 5		-0.701 (-1.811, 0.409)	0.213	0.552 (-0.618, 1.721)	0.352
	≥ 5		1.193 (0.016, 2.370)	0.047	1.441 (0.249, 2.633)	0.018

P-value was based on the results from the complex samples general linear model.

로 분류한 후 섭취수준에 따른 혈중 25OHD 농도를 비교 해본 결과 50세 미만 남성의 경우 각각 17.41 ± 0.34 ng/mL, 18.06 ± 0.67 ng/mL, 19.22 ± 0.64 ng/mL로 비타민D를 5 μg 미만으로 섭취한 군 보다 10 μg 이상 섭취한 군의 혈중 25OHD 농도가 유의하게 높았다 ($p < 0.01$). 50세 미만 여성에서도 1일 평균 비타민D 섭취량이 10 μg 이상인 군의 혈중 25OHD (17.01 ± 0.84 ng/mL) 농도가 5 μg 미만 섭취 군 (15.25 ± 0.32 ng/mL)에 비해 유의하게 높았다 (p

< 0.05). 그러나 50세 이상 연구대상자에서는 남녀 모두 유의한 결과를 보이지 않았다.

식품군별 비타민D 섭취량과 기여도

식품군별 비타민D 섭취량과 기여도는 Table 4와 같다. 남성의 비타민D 섭취량에 가장 크게 기여하는 식품군은 어패류로 기여도는 70.30% 였으며, 그 다음 순서로 난류 (15.52%), 유류 및 그 제품 (4.94%), 육류 및 그 제품 (4.67%)

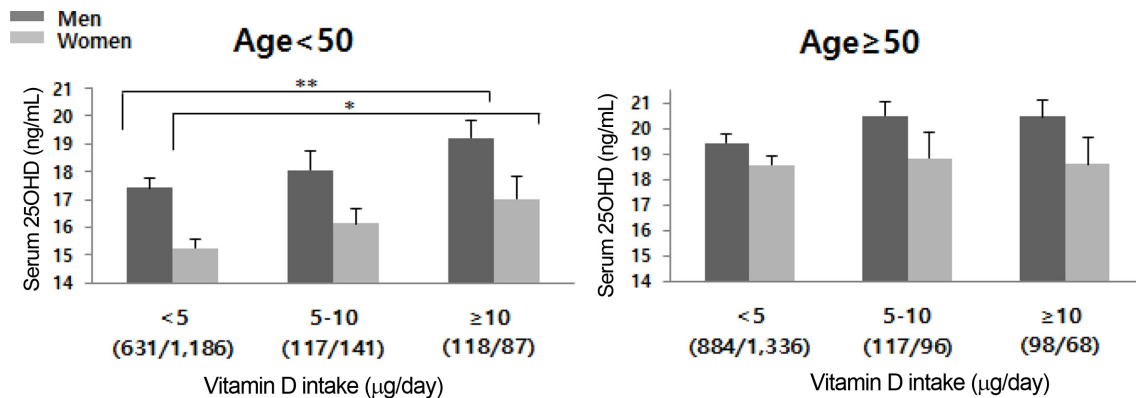


Fig. 2. Sun exposure-adjusted serum 25OHD concentrations by vitamin D intake level. Serum 25OHD concentrations is expressed as mean \pm SE. Results from the complex samples general linear model. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table 4. Contribution of vitamin D-rich food groups towards the daily mean intake of vitamin D in Korean adults

Food group	Vitamin D intake (contribution, %)			F-value ³⁾
	Total (N = 4,879)	Men (N = 1,965)	Women (N = 2,914)	
Fish and shellfish	2.44 \pm 0.14 ¹⁾ (67.52 ²⁾)	2.72 \pm 0.23 (70.30)	2.15 \pm 0.13 (64.28)	5.215*
Eggs	0.61 \pm 0.02 (16.93)	0.60 \pm 0.04 (15.52)	0.62 \pm 0.03 (18.56)	0.173
Dairy products	0.19 \pm 0.02 (5.44)	0.19 \pm 0.03 (4.94)	0.20 \pm 0.02 (6.02)	0.074
Meat & product	0.19 \pm 0.01 (5.42)	0.18 \pm 0.01 (4.67)	0.21 \pm 0.02 (6.29)	1.811
Mushrooms	0.16 \pm 0.03 (4.57)	0.17 \pm 0.06 (4.45)	0.15 \pm 0.03 (4.71)	0.291
Grain & grain products	0.00 \pm 0.00 (0.02)	0.00 \pm 0.00 (0.02)	0.00 \pm 0.00 (0.01)	0.100

1) Data are shown as mean \pm SEs, and adjusted for energy intake. 2) Contribution is also expressed as percentage (%). 3) F-value was based on the results from the complex samples general linear model.

* $p < 0.05$

등으로 나타났다. 여성의 비타민D 섭취량에 가장 크게 기여하는 식품군은 어패류로 기여도는 64.28%였으며, 그 다음 순서로 난류 (18.56%), 육류 및 그 제품 (6.29%), 유류 및 그 제품 (6.02%) 등으로 나타났다. 남녀에 있어 비타민 D 섭취량에 유의한 차이가 있는 군은 어패류가 유일했으며, 그 외에 식품군에서는 남녀 간 섭취량에 유의한 차이가 없었다.

골밀도

성별, 연령별 골밀도 검사결과는 Table 5와 같다. 남성의 골밀도는 모든 부위에서 여성의 골밀도 보다 유의하게 높은 수치를 보였으며 여성에서는 50세 이후 연령층에서 골밀도가 빠르게 감소하고 있었다. 남성의 전신 골밀도, 대퇴골밀도, 대퇴경부골밀도, 요추골밀도는 19~29세 연령층에서 가장 높았고, 75세 이상 연령층에서 가장 낮았다 ($p < 0.001$). 여성의 전신골밀도, 대퇴골밀도, 요추골밀도는 30~49세 연령층까지 증가하다가 50세 이후부터 연령이 증가할수록 감소하여 75세 이상 연령층에서 가장 낮았으며, 대퇴경부 골밀도는 19~29세 연령층에서 가장 높았고, 75세 이상 연령층에서 가장 낮았다 ($p < 0.001$).

1일 비타민D 섭취에 따른 골밀도

남녀 대상자를 50세 미만과 50세 이상 연령층으로 나누어 비타민D 섭취수준에 따른 골밀도를 분석한 결과 남녀 모두 50세 미만 연령층과 50세 이상 연령층의 남성에서는 유의한 차이를 보이지 않아, 유의미한 차이를 보이는 50세 이상 여성군만 분석에 이용하였다.

50세 이상 여성의 비타민D 섭취량과 골밀도 (bone mineral density, BMD)와의 관련성을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 1일 평균 비타민D 섭취 수준을 5 μ g 미만, 5~10 μ g 미만, 10 μ g 이상으로 분류하였을 때 전신 골밀도는 각각 1.01 ± 0.01 g/cm², 1.02 ± 0.02 g/cm², 1.05 ± 0.02 g/cm²로 비타민D를 1일 5 μ g 미만으로 섭취한 자보다 10 μ g 이상 섭취자의 총 골밀도가 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 요추 골밀도에서도 비타민D를 1일 10 μ g 이상 섭취한 군의 골밀도 (0.90 ± 0.04 g/cm²)가 5 μ g 미만 섭취군 (0.81 ± 0.01 g/cm²)에 비해 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 그러나 대퇴부 골밀도, 대퇴경부 골밀도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 5. Bone mineral density at the total hip, femur neck, lumbar spine and wholebody of subject

Sex	Age	N	WTBMD ²⁾	THBMD ³⁾	FNBM ⁴⁾	LSBMD ⁵⁾
Men	19 ~ 29	82	1.18 ± 0.01 ¹⁾	0.97 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.99 ± 0.02
	30 ~ 49	260	1.18 ± 0.01	0.97 ± 0.01	0.82 ± 0.01	0.96 ± 0.01
	50 ~ 64	243	1.16 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.76 ± 0.01	0.94 ± 0.01
	65 ~ 74	147	1.15 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.72 ± 0.01	0.93 ± 0.02
	≥ 75	46	1.12 ± 0.01	0.83 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.90 ± 0.03
	Total	778	1.16 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.77 ± 0.01	0.94 ± 0.01
	F-value ⁶⁾		4.611**	18.502***	42.677***	2.546*
Women	19 ~ 29	124	1.10 ± 0.01	0.87 ± 0.01	0.77 ± 0.01	0.97 ± 0.01
	30 ~ 49	442	1.13 ± 0.01	0.88 ± 0.01	0.74 ± 0.01	0.99 ± 0.01
	50 ~ 64	342	1.05 ± 0.01	0.82 ± 0.01	0.67 ± 0.01	0.86 ± 0.01
	65 ~ 74	176	0.97 ± 0.01	0.74 ± 0.01	0.59 ± 0.01	0.75 ± 0.01
	≥ 75	75	0.93 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.67 ± 0.02
	Total	1,159	1.04 ± 0.01	0.79 ± 0.01	0.66 ± 0.00	0.85 ± 0.01
	F-value		84.983***	76.415***	160.365***	111.033***

1) Data are shown as mean ± SE (g/cm²). 2) WTBMD: wholebody total bone mineral density 3) THBMD: total hip bone mineral density 4) FNBM: femur neck bone mineral density 5) LSBMD: lumbar spine bone mineral density 6) F-value was based on the results from the complex samples general linear model.

*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001

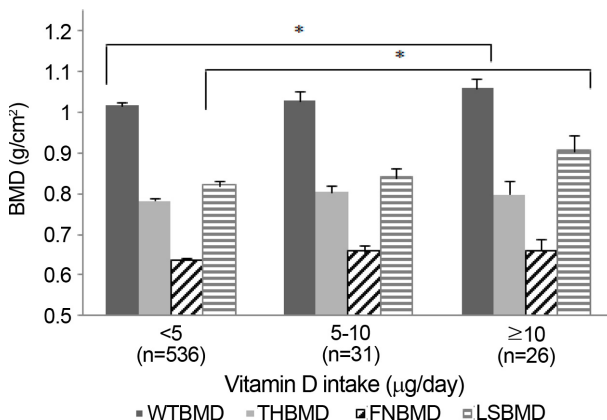


Fig. 3. Serum 25(OH)D concentration-adjusted bone mineral density by vitamin D intake level in women over 50 yr. Bone mineral density is expressed as mean ± SE. WTBMD: wholebody total bone mineral density, THBMD: total hip bone mineral density, FNBM: femur neck bone mineral density, LSBMD: lumbar spine bone mineral density. Results from the complex samples general linear model. *p < 0.05

고 찰

본 연구는 2011년 국민건강영양조사 자료를 이용하여 한국 성인의 비타민D 섭취량을 파악하고 혈중 25OHD 농도와 관련성이 있는지를 규명하기 위해 수행되었다. 최근까지 한국에서는 국민건강영양조사에서 비타민D 섭취량 분석이 이루어지지 않아 섭취 수준의 적정성과 혈중 농도와의 상관성분석에 대한 연구가 수행되지 못하였으므로 본 연구에서는 본 연구실에서 보완한 비타민D DB를 이용하여 한국성인의 비타민D 섭취량을 산출하였다. 그 결과

본 연구대상자들의 1일 비타민D 평균 섭취량은 여성 (2.22 ± 0.11 μg/day)보다 남성 (3.84 ± 0.23 μg/day)이 유의하게 많았으며 연령별 분석 시 남녀 모두 50세 미만 연령층 보다 50세 이상 연령층의 섭취량이 유의하게 낮았다.

스웨덴 성인의 비타민D 평균 섭취량을 조사한 연구결과 남성이 6.1 μg, 여성은 4.8 μg이었으며,²² 2007~2009년 미국 남성의 비타민D 섭취량은 6.15 ± 0.27 μg, 여성이 4.36 ± 0.15 μg으로 모두 한국인에 비해 많았다.²⁹ 연령별 비타민D 평균 섭취량을 조사한 일본의 2003~2009년 국민건강영양조사에 따르면 남성의 비타민D 섭취량은 18~29세가 6.7 μg, 30~49세는 7.6 μg, 50~69세는 10.3 μg, 70세 이상은 9.8 μg이었으며, 여성은 각각 6.3 μg, 6.5 μg, 8.9 μg, 8.4 μg으로 본 연구결과와 상이하게 50세 전보다 50세 이후의 대상자들의 비타민D 섭취량이 더 많았다.³⁰ Okubo 등의 연구³¹에 따르면 일본의 50세 미만 남성과 여성의 생선 섭취량은 각각 83 g/day, 63 g/day였으며 50세 이상에서는 각각 124 g/day, 97 g/day로 일본인의 비타민D 주요 급원식품인 생선의 섭취가 50세 이상 연령층에서 유의하게 많았던 것이 그 차이의 원인으로 볼 수 있다.

2010년 한국인영양소섭취기준에서 성인의 비타민D의 충분섭취량 (AI)을 19~49세 연령층에서는 5 μg/day, 50세 이상 연령층에서는 10 μg/day로 설정하였다. 따라서 한국인의 AI 미만 섭취자 비율은 50세 미만 (71.6~88.2%)보다 50세 이상 (86.6~98.5%)의 대상자에서 훨씬 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 오스트레일리아인을 대상으로 한 연구에서도 비슷하게 나타났다. 오스트레일리아인 중 31~50세, 51~70세, 70세 이상 연령층의 충분섭취량은 각각 5 μg/

day, 10 µg/day, 15 µg/day으로 연령이 증가할수록 높게 설정되어있고, 비타민D 보충제 섭취를 포함한 충분섭취량 미만 섭취자 비율은 남성의 경우 77.2%, 92%, 98.9%, 여성의 경우 78.8%, 90.2%, 95.5%로 연령이 증가할수록 증가하였다.³² 반면 2007~2010년 미국인의 국민건강영양조사를 분석한 연구결과에 따르면 권장량 (RDA) 미만 섭취자 비율은 50세 미만 연령층군에 비해 50세 이상 연령층군에서 적은 것으로 나타났다.³³ 이러한 차이는 한국 국민건강영양조사에서는 비타민D 섭취량에 보충제를 통한 섭취량이 산출되지 않았고 미국의 조사에서는 보충제로 섭취한 비타민D가 반영되었기 때문인 것으로 생각된다.

섭취한 비타민D가 한국인의 비타민D 영양상태에 어느 정도 영향력이 있는지 알아보려고 혈중 비타민D의 농도를 살펴 보았다. 본 연구에서 혈중 25OHD 농도의 결핍률 (< 20 ng/mL)을 분석한 결과 남성은 47.8~81.1%, 여성은 59.4~92.8%로 여성의 결핍률이 높은 것으로 나타났으며, 특히 50세 미만 연령층의 결핍률이 높았다. 또한 50세 미만 연령층 군에서는 비타민D 섭취량이 5 µg 미만인 경우보다 10 µg 이상으로 섭취한 군에서 혈중 25OHD 농도가 유의하게 높게 나타나 비타민D 섭취 수준이 혈중 비타민D 수준에 반영될 수 있음을 알 수 있었다. 비타민D 섭취가 혈중 25OHD 농도에 미치는 영향을 연구한 Cranney 등의 연구³⁴에서는 비타민D 섭취량이 2.5 µg 증가할 때마다 혈중 25OHD 농도가 1~2 nmol/L 증가하였다고 하였다. 따라서 젊은층의 비타민D 영양상태를 개선시키기 위해서는 비타민D 섭취량을 높일 필요성이 있으며 국민들의 비타민D 섭취수준을 높이기 위해 한국인영양소섭취기준을 적절한 수준으로 유지하는 것도 필요할 것이라고 생각한다. 그러나 50세 이상 연령층군에서는 비타민D 섭취량이 적어도 혈중 농도가 오히려 높아 두 변수 간에 상관성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 2009년 국민건강영양조사 결과를 재분석하였던 Yoo 등²⁶의 논문에서도 동일하게 도출되었으며 그 원인으로 50대 이상 국민들의 햇볕 조사 시간이 50세 이하 연령층 보다 길었기 때문으로 보고하고 있다.

비록 혈중 비타민D 농도에는 영향을 주지 않았지만 50세 이상 여성의 비타민D 섭취량이 5 µg/day 미만보다 10 µg/day 이상 일 때 총 골밀도와 요추 골밀도가 높아졌다. 비타민D는 소장에서 칼슘 결합단백질을 합성해 칼슘흡수를 증가시키는 역할을 하므로 비타민D가 부족하면 칼슘흡수가 저하되고 그로 인해 이차적으로 부갑상선 호르몬의 기능이 항진되어 골밀도 저하의 위험성을 높이게 된다.³⁶ 비타민D 섭취가 골밀도에 미치는 영향을 연구한 Adams 등³⁶은 60세 이상 여성노인에게 1주에 2회에 걸쳐 50,000 IU의 비타민D를 5주 동안 공급하였더니 척추와 대퇴골 골

밀도가 4~5% 증가하였다고 보고하였다. 또한 Dawson 등은³⁷ 65세 이상 노인에게 3년 동안 비타민D를 17.5 µg/day 공급하였을 경우 골밀도가 높아지는 것으로 보고하였다. 따라서 연령별로 효과의 차이가 있기는 하지만 비타민D 섭취량의 증가는 혈중 비타민D 농도의 상승이나 골밀도 증가를 위하여 도움이 될 것으로 보인다.

그러나 한국인이 섭취하는 식품 중 비타민D를 함유하고 있는 식품의 가짓수는 상당히 제한적이고 다른 나라에서 주요 비타민D 급원식품으로 이용되고 있는 우유와 유제품의 섭취량이 절대적으로 적기 때문에 현재로서는 충분섭취량에 도달하기 어려운 실정이다. 따라서 국민들의 비타민D 영양상태 개선을 위해서는 비타민D 강화식품의 활용을 검토할 시점이라고 사료된다. 강화식품을 통한 비타민D 영양상태 개선효과는 여러 연구를 통하여 확인되고 있다. 이란인을 대상으로 8주 동안 비타민D를 강화한 빵을 섭취시킨 결과, 혈중 25OHD 농도가 39.0 nmol/L 증가했으며,³⁸ 영국인을 대상으로 밀가루 100 g에 비타민D 10 µg을 강화하여 섭취시킨 결과, 혈중 25OHD 결핍 비율은 93%에서 50%로 감소하였다.³⁹ 따라서 한국인들의 비타민D 영양상태 개선을 위해서 비타민D가 강화된 식품의 섭취를 제안할 수 있으며 정부에서 식품정책을 통하여 일정 식품에 비타민D를 강화하도록 함이 바람직할 것으로 보인다. 현재 한국에서도 우유, 두유, 버터 등에 비타민D를 임의 강화하고 있으나 의무화 되어있지 않아 한국인의 비타민D 영양상태를 개선시키기에는 많이 부족한 상황이다. 그러므로 식품 강화 정책을 통해 한국인의 다소비 식품 중 일부에 비타민D를 강화시키고 그 식품의 소비를 촉진하여 비타민D 영양상태를 향상시킬 필요가 있다. 아울러 비타민D 섭취를 증가시키는 방법으로 한국인의 비타민D 주요 급원 식품인 어패류, 난류, 버섯류, 유류 및 그 제품 등의 섭취를 증가시키는 방법을 강구해야한다.

본 연구에서는 한국 성인을 대상으로 비타민D 섭취량을 조사하여, 비타민D 섭취량과 혈중 25OHD 농도와 골밀도와의 관련성에 대한 자료를 제시하였다. 그러나 2011년도 국민건강영양조사에는 비타민D 섭취량이 조사되어 있지 않고 식이보충제의 내용도 조사되어있지 않아 식이보충제를 포함한 비타민D 섭취량을 알 수 없으므로 한국인의 정확한 비타민D 섭취량을 구할 수 없다는 제한점이 있다. 이러한 제한점에도 불구하고 본 연구에서 밝혀진 바와 같이 우리나라 성인 대부분이 비타민D 섭취량이 부족하며 영양상태가 취약한 것으로 나타났으므로 비타민D 섭취 증가와 비타민D 결핍 예방에 대한 다양한 대책 마련이 있어야 할 것으로 생각된다. 또한 본 연구 결과 50세 미만 성인의 비타민D 섭취량이 10 µg/day 이상일 때 혈중 25OHD

가 유의하게 높아졌으므로 2010년 대비 2015년도 한국인 영양소섭취기준에서 65세 미만 성인의 비타민D 충분섭취량을 10 $\mu\text{g/day}$ 로 상향조정된 것은 적절한 개정으로 볼 수 있다.

요 약

본 연구는 국민건강영양조사 5기의 2011년 자료를 이용하여 만 19세 이상 남녀를 대상으로 비타민D 섭취량과 혈중 25OHD 농도, 골밀도와의 관계를 분석하였다. 평균 비타민D 섭취량은 남성이 $3.84 \pm 0.23 \mu\text{g/day}$, 여성은 $2.22 \pm 0.11 \mu\text{g/day}$ 로 나타났으며, AI 미만 섭취 비율은 남성은 71.6~96.6%, 여성은 80.2~98.5%로 모두 높게 나타났으며 여성이 남성에 비해 더 높았다. 혈중 25OHD 농도는 연령이 높아질수록 증가했으며, 혈중 25OHD의 결핍수준을 20 ng/mL 미만으로 보았을 때 남성은 47.8~81.1%, 여성은 59.4~92.8%의 결핍률을 보였고 젊은 층의 결핍률이 더 높았다. 50세 미만과 이상으로 나누어 비타민D 섭취량과 혈중 25OHD 농도, BMD와의 관계를 조사한 결과 50세 미만 연령층군에서는 비타민D 섭취량이 10 $\mu\text{g/day}$ 이상인 군이 5 $\mu\text{g/day}$ 이하인 군에 비하여 유의하게 혈중 25OHD 농도가 더 높았으며, 50세 이상 여성에서는 비타민D 섭취량이 10 $\mu\text{g/day}$ 이상인 군이 5 $\mu\text{g/day}$ 이하인 군에 비하여 골밀도가 유의하게 높게 나타났다. 즉, 한국 성인 남녀의 비타민D 섭취량 수준은 상당히 취약한 상태이나 식사를 통한 비타민D가 혈중 25OHD 농도를 상승시킬 수 있음을 보여주고 있다. 그러므로 한국인이 비타민D 섭취량을 늘릴 수 있도록 강화식품 정책 등을 통해 비타민D 섭취량을 늘리는 방안을 모색하여야 한다. 특히, 2010년에 비해 2015년 한국인영양소섭취기준에서 19~49세 연령층의 비타민D 충분섭취량을 5 μg 에서 10 μg 으로 상향조정된 것은 바람직한 방향으로 개정된 것으로 판단된다.

References

- Shin CS, Choi HJ, Kim MJ, Kim JT, Yu SH, Koo BK, Cho HY, Cho SW, Kim SW, Park YJ, Jang HC, Kim SY, Cho NH. Prevalence and risk factors of osteoporosis in Korea: a community-based cohort study with lumbar spine and hip bone mineral density. *Bone* 2010; 47(2): 378-387.
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2010: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-1). Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2011.
- Tucker KL, Chen H, Hannan MT, Cupples LA, Wilson PW, Felson D, Kiel DP. Bone mineral density and dietary patterns in older adults: the Framingham osteoporosis study. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 245-252.
- Nieves JW. Osteoporosis: the role of micronutrients. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(5): 1232S-1239S.
- Sowers M. Epidemiology of calcium and vitamin D in bone loss. *J Nutr* 1993; 123(2 Suppl): 413-417.
- Lips P. Vitamin D physiology. *Prog Biophys Mol Biol* 2006; 92(1): 4-8.
- Davis CD. Vitamin D and cancer: current dilemmas and future research needs. *Am J Clin Nutr* 2008; 88(2): 565S-569S.
- Brannon PM, Yetley EA, Bailey RL, Picciano MF. Vitamin D and health in the 21st century: an update. proceedings of a conference held September 2007 in Bethesda, Maryland, USA. *Am J Clin Nutr* 2008; 88(2): 483S-592S.
- Kim S, Lim J, Kye S, Joung H. Association between vitamin D status and metabolic syndrome risk among Korean population: based on the Korean National Health and Nutrition Examination Survey IV-2, 2008. *Diabetes Res Clin Pract* 2012; 96(2): 230-236.
- Hwang YC, Ahn HY, Jeong IK, Ahn KJ, Chung HY. Optimal serum concentration of 25-hydroxyvitamin D for bone health in older Korean adults. *Calcif Tissue Int* 2013; 92(1): 68-74.
- Holick MF. McCollum Award Lecture, 1994: vitamin D--new horizons for the 21st century. *Am J Clin Nutr* 1994; 60(4): 619-630.
- Thuesen B, Husemoen L, Fenger M, Jakobsen J, Schwarz P, Toft U, Ovesen L, Jørgensen T, Linneberg A. Determinants of vitamin D status in a general population of Danish adults. *Bone* 2012; 50(3): 605-610.
- Cinar N, Harmanci A, Yildiz BO, Bayraktar M. Vitamin D status and seasonal changes in plasma concentrations of 25-hydroxyvitamin D in office workers in Ankara, Turkey. *Eur J Intern Med* 2014; 25(2): 197-201.
- Darling AL, Hart KH, Gibbs MA, Gossiel F, Kantermann T, Horton K, Johnsen S, Berry JL, Skene DJ, Eastell R, Vieth R, Lanham-New SA. Greater seasonal cycling of 25-hydroxyvitamin D is associated with increased parathyroid hormone and bone resorption. *Osteoporos Int* 2014; 25(3): 933-941.
- Matsuoka LY, Wortsman J, Dannenberg MJ, Hollis BW, Lu Z, Holick MF. Clothing prevents ultraviolet-B radiation-dependent photosynthesis of vitamin D3. *J Clin Endocrinol Metab* 1992; 75(4): 1099-1103.
- Matsuoka LY, Wortsman J, Hollis BW. Use of topical sunscreen for the evaluation of regional synthesis of vitamin D3. *J Am Acad Dermatol* 1990; 22(5 Pt 1): 772-775.
- Kreiter SR, Schwartz RP, Kirkman HN Jr, Charlton PA, Calikoglu AS, Davenport ML. Nutritional rickets in African American breast-fed infants. *J Pediatr* 2000; 137(2): 153-157.
- Yu A, Kim J, Kwon O, Oh SY, Kim J, Yang YJ. Associations between serum 25-hydroxyvitamin D and consumption frequencies of vitamin D rich foods in Korean adults and older adults. *Korean J Community Nutr* 2014; 19(2): 122-132.
- Delvin EE, Imbach A, Copti M. Vitamin D nutritional status and related biochemical indices in an autonomous elderly population. *Am J Clin Nutr* 1988; 48(2): 373-378.
- Villareal DT, Civitelli R, Chines A, Avioli LV. Subclinical vitamin D deficiency in postmenopausal women with low vertebral bone

- mass. *J Clin Endocrinol Metab* 1991; 72(3): 628-634.
21. McKenna MJ, Freaney R, Meade A, Muldowney FP. Hypovitaminosis D and elevated serum alkaline phosphatase in elderly Irish people. *Am J Clin Nutr* 1985; 41(1): 101-109.
22. Spiro A, Buttriss JL. Vitamin D: an overview of vitamin D status and intake in Europe. *Nutr Bull* 2014; 39(4): 322-350.
23. The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans. 1st revision. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010.
24. Choe JS, Paik HY. Seasonal variation of nutritional intake and quality in adults in longevity areas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2004; 33(4): 668-678.
25. Heo J, Park Y, Park HM. Dietary intake of nutrients and food in postmenopausal Korean women. *J Korean Soc Menopause* 2011; 17(1): 12-20.
26. Yoo K, Cho J, Ly S. Vitamin D intake and serum 25-hydroxyvitamin D levels in Korean adults: analysis of the 2009 Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV-3) using a newly established vitamin D database. *Nutrients* 2016; 8(10): 610.
27. The Korean Nutrition Society. Food values 2009. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2009.
28. Dawson-Hughes B, Heaney RP, Holick MF, Lips P, Meunier PJ, Vieth R. Estimates of optimal vitamin D status. *Osteoporos Int* 2005; 16(7): 713-716.
29. Harnack LJ, Steffen L, Zhou X, Luepker RV. Trends in vitamin D intake from food sources among adults in the Minneapolis-St Paul, MN, metropolitan area, 1980-1982 through 2007-2009. *J Am Diet Assoc* 2011; 111(9): 1329-1334.
30. Tsuboyama-Kasaoka N, Takizawa A, Tsubota-Utsugi M, Nakade M, Imai E, Kondo A, Yoshida K, Okuda N, Nishi N, Takimoto H. Dietary intake of nutrients with adequate intake values in the dietary reference intakes for Japanese. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 2013; 59(6): 584-595.
31. Okubo H, Sasaki S, Murakami K, Yokoyama T, Hirota N, Notsu A, Fukui M, Date C. Designing optimal food intake patterns to achieve nutritional goals for Japanese adults through the use of linear programming optimization models. *Nutr J* 2015; 14: 57.
32. Jayaratne N, Hughes MC, Ibiebele TI, van den Akker S, van der Pols JC. Vitamin D intake in Australian adults and the modeled effects of milk and breakfast cereal fortification. *Nutrition* 2013; 29(7-8): 1048-1053.
33. Moore CE, Radcliffe JD, Liu Y. Vitamin D intakes of adults differ by income, gender and race/ethnicity in the U.S.A., 2007 to 2010. *Public Health Nutr* 2014; 17(4): 756-763.
34. Cranney A, Horsley T, O'Donnell S, Weiler H, Puil L, Ooi D, Atkinson S, Ward L, Moher D, Hanley D, Fang M, Yazdi F, Garrity C, Sampson M, Barrowman N, Tsertsvadze A, Mamaladze V. Effectiveness and safety of vitamin D in relation to bone health. *Evid Rep Technol Assess (Full Rep)* 2007; (158): 1-235.
35. Koo JO, Lim HS, Jung YJ, Yoon JS, Lee YR, Lee JH. Understanding basic nutrition. Seoul: Powerbook; 2008.
36. Adams JS, Kantorovich V, Wu C, Javanbakht M, Hollis BW. Resolution of vitamin D insufficiency in osteopenic patients results in rapid recovery of bone mineral density. *J Clin Endocrinol Metab* 1999; 84(8): 2729-2730.
37. Dawson-Hughes B, Harris SS, Krall EA, Dallal GE. Effect of calcium and vitamin D supplementation on bone density in men and women 65 years of age or older. *N Engl J Med* 1997; 337(10): 670-676.
38. Nikooyeh B, Neyestani TR, Zahedirad M, Mohammadi M, Hosseini SH, Abdollahi Z, Salehi F, Mirzay Razaz J, Shariatzadeh N, Kalayi A, Lotfollahi N, Maleki MR. Vitamin D-fortified bread is as effective as supplement in improving vitamin D status: a randomized clinical trial. *J Clin Endocrinol Metab* 2016; 101(6): 2511-2519.
39. Allen RE, Dangour AD, Tedstone AE, Chalabi Z. Does fortification of staple foods improve vitamin D intakes and status of groups at risk of deficiency? A United Kingdom modeling study. *Am J Clin Nutr* 2015; 102(2): 338-344.