

Review
KDRI Special Series



2020 한국인 영양소 섭취기준: 리보플라빈

이정은 ^{1,*}, 조진아 ^{2,*}, 김기남 ³

¹서울대학교 생활과학대학 식품영양학과

²충남대학교 생활과학대학 식품영양학과

³대전대학교 보건의료과학대학 식품영양학과

2020 Dietary Reference Intakes for Koreans: riboflavin

Jung Eun Lee ^{1,*}, Jin Ah Cho ^{2,*}, and Ki Nam Kim ³

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

²Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Department of Food and Nutrition, Daejeon University, Daejeon 34520, Korea



Received: May 15, 2022
Revised: Jun 17, 2022
Accepted: Jun 17, 2022
Published online: Jun 23, 2022

Correspondence to

Ki Nam Kim

Department of Food and Nutrition, Daejeon University, 62 Daehak-ro, Dong-gu, Daejeon 34520, Korea.

Tel: +82-42-280-2476

Email: kimkinam@dju.kr

*These two authors were equally contributed.


© 2022 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.


ORCID iDs

Jung Eun Lee 

<https://orcid.org/0000-0003-1141-878X>

Jin Ah Cho 

<https://orcid.org/0000-0001-9265-2409>

Ki Nam Kim 

<https://orcid.org/0000-0002-9485-567X>

ABSTRACT

Riboflavin and its derivatives, flavin mononucleotide (FMN) and flavin adenine dinucleotide (FAD), are key components of mitochondrial energy metabolism and oxidation-reduction reactions. Proposed dietary reference intakes for Koreans (KDRIs), that is, estimated average requirements (EARs), for riboflavin, based on current knowledge of riboflavin and riboflavin derivative levels, and glutathione reductase activity, are 1.3 mg/d for men aged 19–64 years and 1.0 mg/d for women aged 19–64 years. By applying a coefficient of variance of 10%, reference nutrient intakes (RNIs) were set at 1.5 mg/d for men aged 19–64 years and 1.2 mg/d for women aged 19–64 years. Likewise, EARs and RNIs of riboflavin intake were proposed for all age groups and women in specific life stages such as pregnancy. Mean adult riboflavin intake for adults aged ≥ 19 years was 1.69 mg/d in Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2020, which was 124.9% of EAR according to the 2020 KDRIs. In the 2015–2017 KNHANES study, the mean riboflavin intake from foods and supplements was 2.79 mg/d for all age groups, and 32.7% of individuals consumed less riboflavin than EAR according to the 2020 KDRIs. For those that used supplements, mean intakes were 1.50 mg/d for riboflavin from foods, 10.26 mg/d from supplements, and 11.76 mg/d from food and supplements, and 5.5% of individuals consumed less riboflavin than EAR. Although the upper limit of riboflavin has not been established, the merits of increasing supplement use warrant further consideration. Also, additional epidemiologic and intervention studies are required to explore the role of riboflavin in the etiology of chronic diseases.

Keywords: riboflavin; vitamin B₂; dietary reference intake; daily recommended intake; dietary supplementations

Conflict of Interest

There are no financial or other issues that might lead to conflict of interest.

서론

비타민 B₂로 명명되는 리보플라빈의 화학명은 7,8-Dimethyl-10-[(2S,3S,4R)-2,3,4,5-tetrahydroxypentyl]benzo[g]pteridine-2,4-dione (분자식: C₁₇H₂₀N₄O₆)이며, 주로 인산기와 결합한 플라빈 모노뉴클레오티드 (flavin mononucleotide, FMN) 또는 플라빈 아데닌 디뉴클레오티드 (flavin adenine dinucleotide, FAD)의 형태로 에너지 대사를 포함한 여러 가지 산화/환원 반응에 조효소로 작용한다 [1]. FAD와 FMN은 탄수화물, 지방, 아미노산의 대사경로에서 작용할 뿐만 아니라 트립토판이 나이아신으로 전환될 때, 비타민 B₆가 pyridoxal 5'-phosphate로 전환될 때도 필요해 리보플라빈 부족으로 인한 결핍증은 매우 광범위하게 나타날 수 있다. 대표적인 결핍증으로 구순 구각염, 설염, 지루성 피부염 및 빈혈을 들 수 있다 [2]. 그러나 임상적 결핍증을 나타내지 않는 최소 필요량에 대한 연구는 보고된 바가 없어, 혈액이나 적혈구의 리보플라빈, FAD, FMN 농도를 측정하거나 FAD 첨가 전후의 적혈구 글루타티온 환원효소 활성계수 (Erythrocyte Glutathione Reductase Activity Coefficient, EGRAC)를 측정하는 방법, 소변으로의 리보플라빈 배설량을 측정하는 방법이 리보플라빈의 평균필요량 설정에 주로 이용되고 있다 [3].

리보플라빈은 한국인에게서 섭취 부족 우려가 있는 대표적인 영양소로 국민건강통계에서 에너지, 칼슘, 철, 비타민 A와 함께 영양섭취부족자 분율을 산출할 때 고려하는 영양소이다. 2020년 국민건강영양조사에 따르면 리보플라빈 평균필요량 미만 섭취자 (2015 영양소 섭취기준 적용)는 27.7%로, 2010년 43.8% 대비 점차 감소하고 있는 추세이다 [4]. 또한 최근 비타민 보충제를 복용하는 인구가 늘어남에 따라 식품으로부터 섭취되는 리보플라빈 외에도 복합비타민제 혹은 건강기능식품으로부터 섭취하는 리보플라빈의 섭취량에 대한 평가 역시 고려될 필요가 있다. 리보플라빈은 에너지 대사에 중요한 영양소로 체위변화에 따른 에너지 요구량의 변화에 밀접하게 관련이 있다.

따라서 본 논문에서는 2020 한국인 영양소 섭취기준 개정 시 리보플라빈의 평균필요량과 권장섭취량 설정의 근거를 제시하고, 2020 영양소 섭취기준 대비 리보플라빈 섭취 수준에 대한 평가를 통해 향후 영양소 섭취기준 개정에 있어 고려할 점에 대해 논의하고자 한다.

리보플라빈 섭취기준 제정 배경 및 영양상태 평가방법

결핍예방과 함께 과잉섭취로 인한 위해 및 만성질환 위험 감소를 목적으로 2010년 한국인 영양소 섭취기준의 개념이 도입되었고, 리보플라빈의 평균필요량과 권장섭취량이 설정되었다. 리보플라빈은 식사 또는 영양보충제의 형태로 섭취하게 되는데, 적절한 리보플라빈 섭취수준을 평가하는 방법으로 첫째, 적혈구의 리보플라빈, FAD, FMN의 농도, 둘째, EGRAC 측정법, 셋째, 공복, 무작위, 또는 24시간 소변 중 리보플라빈 농도를 측정하는 것이다. 적혈구 리보플라빈 수준은 형광측정법과 미생물 측정법을 이용하여 분석하는 방법으로 400 nmol/L (15 µg/100 mL) 이상을 적정수준, 270 nmol/L (10 µg/100 mL) 이하를 결핍으로 한다. 그러나 판정 범위가 작아 검사의 민감도로 인한 판정 오류의 문제가 지적된 바 있다 [5]. EGRAC 방법은 FAD 첨가 후 EGRAC 값이 1.2 이하인 경우 적정수준, 1.4 이상이면 결핍으로 판정하는 방법이다. 이 방법의 경우 리보플라빈의 조효소로서의 생화학적 기능성 평가가 가능해 2003년 영

Table 1. Revised reference values of riboflavin intake (mg/d): 2020 KDRIs

Sex	Age	2020 KDRIs				2015 KDRIs				Revised value
		EAR	RNI	AI	UL	EAR	RNI	AI	UL	
Infants	0-5 (mon)			0.3				0.3		
	6-11			0.4				0.4		
Children	1-2 (yrs)	0.4	0.5			0.5	0.6			0
	3-5	0.5	0.6			0.6	0.7			0
Males	6-8 (yrs)	0.7	0.9			0.7	0.9			
	9-11	0.9	1.1			0.9	1.1			
	12-14	1.2	1.5			1.2	1.5			
	15-18	1.4	1.7			1.4	1.7			
	19-29	1.3	1.5			1.3	1.5			
	30-49	1.3	1.5			1.3	1.5			
	50-64	1.3	1.5			1.3	1.5			
	65-74	1.2	1.4			1.3	1.5			0
75+	1.1	1.3			1.3	1.5			0	
Females	6-8 (yrs)	0.6	0.8			0.6	0.7			0
	9-11	0.8	1.0			0.8	0.9			0
	12-14	1.0	1.2			1.0	1.2			
	15-18	1.0	1.2			1.0	1.2			
	19-29	1.0	1.2			1.0	1.2			
	30-49	1.0	1.2			1.0	1.2			
	50-64	1.0	1.2			1.0	1.2			
	65-74	0.9	1.1			1.0	1.2			0
75+	0.8	1.0			1.0	1.2			0	
Pregnancy		+0.3	+0.4			+0.3	+0.4			
Lactation		+0.4	+0.5			+0.4	+0.4			0

KDRIs, Dietary Reference Intakes for Koreans; EAR, estimated average requirement; RNI, referent nutrient intake; AI, adequate intake; UL, upper limit.

국의 National Diet and Nutrition Surveys (NDNS)에서 활용되었다 [6]. 그러나 EGRAC의 경우 연령별 판정기준이 다름에도 불구하고 대부분의 연구가 성인을 대상으로 한 결과로 성별, 연령별, 생애주기별 영양소 섭취기준 설정에 일관적으로 적용하기 어려우며, 운동선수나 활동량이 많은 사람에게 적용할 수 없다는 제한점을 가지고 있다 [7]. 24시간 소변의 리보플라빈 배설량 분석은 체내 저장량이 포화되고 남은 리보플라빈은 소변으로 배설된다는 원리를 이용한 것으로 HPLC 형광검출법이나 미생물측정법을 사용해 총 리보플라빈 배설량이나 크레아티닌으로 보정한 배설량을 분석하는 방법이다. 이는 리보플라빈 섭취량 분석과 함께 리보플라빈 영양상태 평가에서 가장 널리 사용되는 방법으로, 리보플라빈 섭취량과 소변으로 배설되는 리보플라빈 양과의 상관관계를 분석하여 체내 포화수준을 결정하고 이를 평균필요량 설정에 사용했다 [8].

2020 리보플라빈 섭취기준 설정의 근거

2020년 한국인 영양소 섭취기준에서 2020 리보플라빈 평균필요량은 19-64세 성인 남자 1.3 mg/d, 19-64세 성인 여자 1.0 mg/d로 제안되었다. 이는 2020 일본 성인의 리보플라빈 평균필요량과 유사한 수준 (남자 18-49세 1.3 mg/d, 50-64세 1.2 mg/d, 여자 18-64세 1.0 mg/d)이고 [9], 탄수화물의 섭취 비중이 낮은 미국 성인의 평균필요량 (19-70세 남자 1.1 mg/d, 여자 0.9 mg/d) [10] 보다 다소 높은 수준이다 (Table 1).

비록 제한적이기는 하나 우리나라 사람들을 대상으로 한 몇 가지 연구가 있다. 1994년 발표된 Hwang [11]의 연구에서 우리나라 남자 대학생 8명을 대상으로 리보플라빈을 함유한 실

험식사를 제공한 결과, EGRAC 값을 1.2 이하로 유지할 수 있는 리보플라빈 섭취량이 1.02 mg/1,000 kcal로 보고되었다, 1996년에 발표된 농촌 성인여성을 대상으로 한 두 편의 연구 [12,13]에 따르면, EGRAC 평균이 1.22일 때 리보플라빈 평균 섭취량이 0.87-1.02 mg/d로 평균 필요량과 유사한 수준이었다. 이후 2015년 보고된 20-64세 성인 412명을 대상으로 한 Choi 등 [14]의 연구에서 식사와 보충제로 섭취한 리보플라빈 섭취량은 2.87 mg/d이었다. 이 중 149명을 대상으로 측정된 리보플라빈 소변배설량은 평균 205.1 µg/g 크레아티닌이었고, 리보플라빈 소변배설량이 27 µg/g 크레아티닌 미만인 리보플라빈 결핍 추정 비율은 11%였다. 리보플라빈을 양호하게 섭취했다고 할 수 있는 리보플라빈 소변배출량이 27 µg/g 크레아티닌 이상인 남녀의 리보플라빈 섭취량의 중앙값 (median)은 각각 1.37 mg/d와 1.33 mg/d로 보고되었다. 이를 근거로 2020 성인의 리보플라빈 평균필요량은 2015 한국인 영양소 섭취기준과 동일한 수준으로 설정하였는데, 이는 2020년에 리보플라빈의 새로운 섭취기준 값을 설정하기에는 리보플라빈 섭취량이 5년 전과 비교해 부족하다는 증거나 임상적 결핍 사례가 보고된 바가 없으며, 주요 식품급원의 섭취량이 감소되고 있다는 근거가 없었기 때문이었다 [3].

노인의 리보플라빈 평균필요량은 2010, 2015 영양소 섭취기준 설정 당시 에너지 필요량이 감소되더라도 노인기 소화흡수율의 저하나 대사율 감소 및 간기능 저하를 감안하여 성인과 동일한 수준으로 설정되었으나, 리보플라빈의 경우 티아민과 나이아신과 함께 에너지 대사에 영향을 받는 영양소로 에너지 대사를 고려할 필요가 있어 2020 영양소 섭취기준에서는 노인기 대사체중 감소를 감안하여 체중비율을 적용하였다. 비록 노인의 리보플라빈 요구량은 젊은 성인과 차이가 없다고 하더라도 [15,16] 우리나라 노인들을 대상으로 한 Lim과 Yoon [17]의 연구에 따르면 95명의 60-83세의 노인이 평균 0.92 mg/d의 리보플라빈을 섭취하였고, 24시간 리보플라빈 소변배설량은 175.6 µg (293.4 µg/g 크레아티닌)으로 생화학적 리보플라빈 영양상태가 양호하였다. 따라서, 2020 노인의 리보플라빈 평균필요량은 성인의 평균필요량으로부터 에너지 대사를 감안한 체중비율을 적용하여 외삽하였고, 64-74세 남녀 모두 2015년 한국인 영양소 섭취기준 리보플라빈 평균필요량 대비 0.1 mg/d, 75세 이상은 0.2 mg/d 더 낮게 설정되었다. 외국의 리보플라빈 평균필요량 설정 사례를 보면, 현재 미국과 유럽의 경우 성인과 동일한 수준으로 제안하고 있고, 일본의 경우 노인에서 체중비율을 적용하고 있다 [9]. 이에 따라 노인에서 2020년 리보플라빈 섭취기준을 적용하는 경우 2015년 섭취기준과 비교할 때보다 리보플라빈 결핍 비율 감소가 예상되므로 리보플라빈 영양상태에 대한 추이 분석 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. 성장기 아동의 경우, 평균필요량을 설정하기 위한 별도의 근거가 충분하지 않아 기준체중과 성장계수를 고려하여 성인의 평균섭취량에서 외삽하여 적용하였다. 또 연령별, 성별 리보플라빈 권장섭취량은 다른 영양소와 마찬가지로 각 생애주기 구간별 평균필요량에 변이계수 10%를 적용하여 평균필요량의 120% 수준으로 설정하였다 [3].

한국인의 리보플라빈 섭취 현황

최근 2020 국민건강영양조사 결과, 19세 이상 우리나라 성인의 리보플라빈 평균 섭취량은 1.69 mg/d이며, 이는 권장섭취량 대비 124.9%였고, 70세 이상에서 권장섭취량 대비 섭취비율이 가장 낮았다 (남자 93.8%, 여자 96.1%) [18].

Table 2. Riboflavin intakes (mg/d) from food and dietary supplements in Koreans (2015–2017 KNHANES)

Sex- and age-specific groups	All			Non-users			Users				
	No.	Food & Dietary supplement (Mean ± SE)	% less than 2020 EAR	No. (%)	Food (Mean ± SE)	% less than 2020 EAR	No. (%)	Food (Mean ± SE)	Dietary supplement (Mean ± SE)	Food & Dietary supplement (Mean ± SE)	% less than 2020 EAR
Males & Females (yrs)											
1–2	134	1.04 ± 0.06	9.3	111 (82.8)	0.92 ± 0.05	10.9	23 (17.2)	0.92 ± 0.09	0.82 ± 0.17	1.73 ± 0.23	0.0
3–5	244	1.25 ± 0.07	8.8	209 (85.7)	1.17 ± 0.07	10.4	35 (14.3)	0.95 ± 0.07	0.71 ± 0.11	1.67 ± 0.14	0.0
Males (yrs)											
6–8	126	1.63 ± 0.12	9.3	107 (84.9)	1.43 ± 0.07	10.4	19 (15.1)	1.03 ± 0.10	1.84 ± 0.73	2.87 ± 0.73	2.5
9–11	100	2.12 ± 0.44	15.3	95 (95.0)	1.67 ± 0.09	16.2	5 (5.0)	1.46 ± 0.37	8.06 ± 6.43	9.52 ± 6.66	0.0
12–14	110	2.19 ± 0.45	33.0	107 (97.3)	1.74 ± 0.09	33.6	3 (2.7)	1.88 ± 0.26	26.63 ± 15.33	28.50 ± 15.48	0.0
15–18	116	3.25 ± 1.40	39.5	108 (93.1)	1.65 ± 0.08	41.9	8 (6.9)	1.50 ± 0.32	26.34 ± 18.70	27.84 ± 18.44	3.1
19–29	261	1.82 ± 0.12	43.0	249 (95.4)	1.62 ± 0.07	44.7	12 (4.6)	1.86 ± 0.40	4.29 ± 1.84	6.14 ± 1.96	6.7
30–49	733	3.34 ± 0.38	31.9	635 (86.6)	1.71 ± 0.04	35.7	98 (13.4)	1.85 ± 0.09	12.66 ± 2.48	14.51 ± 2.50	6.1
50–64	480	3.26 ± 0.60	38.0	401 (83.5)	1.63 ± 0.09	44.1	79 (16.5)	1.76 ± 0.12	10.13 ± 3.39	11.89 ± 3.44	5.7
65–74	167	2.48 ± 0.38	50.9	134 (80.2)	1.20 ± 0.06	60.7	33 (19.8)	1.65 ± 0.14	6.01 ± 1.46	7.66 ± 1.48	11.0
75+	93	1.61 ± 0.42	65.1	82 (88.2)	1.09 ± 0.11	67.7	11 (11.8)	0.80 ± 0.17	5.64 ± 3.59	6.44 ± 3.67	40.9
Females (yrs)											
6–8	127	1.18 ± 0.05	11.9	117 (92.1)	1.11 ± 0.05	12.1	10 (7.9)	1.07 ± 0.15	0.86 ± 0.17	1.92 ± 0.22	10.1
9–11	129	1.51 ± 0.07	13.5	119 (92.2)	1.42 ± 0.07	14.9	10 (7.8)	1.62 ± 0.15	0.70 ± 0.16	2.32 ± 0.15	0.0
12–14	102	2.88 ± 1.08	35.6	98 (96.1)	1.31 ± 0.06	37.5	4 (3.9)	1.35 ± 0.17	31.88 ± 16.58	33.23 ± 16.49	0.0
15–18	102	1.30 ± 0.08	43.9	98 (96.1)	1.26 ± 0.08	46.0	4 (3.9)	1.63 ± 0.27	0.61 ± 0.20	2.24 ± 0.28	0.0
19–29	269	2.36 ± 0.39	34.0	243 (90.3)	1.31 ± 0.05	36.6	26 (9.7)	1.50 ± 0.19	9.35 ± 3.34	10.86 ± 3.36	12.7
30–49	996	2.98 ± 0.36	29.5	839 (84.2)	1.31 ± 0.02	34.0	157 (15.8)	1.35 ± 0.06	10.82 ± 2.14	12.17 ± 2.14	4.7
50–64	459	4.13 ± 0.63	29.3	357 (77.8)	1.25 ± 0.04	37.8	102 (22.2)	1.31 ± 0.07	11.70 ± 2.34	13.01 ± 2.35	2.9
65–74	73	5.19 ± 2.65	47.0	61 (83.6)	0.99 ± 0.09	60.9	12 (16.4)	1.01 ± 0.25	18.37 ± 9.66	19.38 ± 9.67	0.0
75+	77	3.10 ± 1.74	80.9	70 (90.9)	0.63 ± 0.06	87.8	7 (9.1)	0.85 ± 0.16	24.44 ± 15.81	25.29 ± 15.75	19.5
All persons 1+	4,898	2.79 ± 0.15	32.7	4,240 (86.6)	1.45 ± 0.02	36.6	658 (13.4)	1.50 ± 0.04	10.26 ± 0.99	11.76 ± 1.00	5.5

KNHANES, Korea National Health and Nutrition Examination Survey; EAR, estimated average requirement.

Table 2는 2020 리보플라빈 섭취기준 설정을 위해 2015–2017 국민건강영양조사 자료 [19,20]를 기반으로 식품과 보충제로부터의 리보플라빈 섭취량을 분석한 것이다. 보충제를 포함한 리보플라빈 섭취량은 1세 이상 평균 2.79 mg/d이었고, 전체의 32.7%가 2020 영양소 섭취기준 평균필요량보다 적게 섭취하는 것으로 나타났다. 리보플라빈을 함유하는 보충제를 복용하는 군과 복용하지 않는 군으로 나누어 분석하면 2020 평균필요량 미만 섭취자 비율은 보충제를 복용하지 않는 경우 36.6%에 비해 보충제를 복용하는 경우 5.5%로 섭취기준 충족에 있어 보충제 섭취의 영향이 큰 것으로 나타났으며, 보충제 섭취자들의 보충제로부터의 리보플라빈 섭취량은 평균 10.26 mg/d로 이들이 식품으로부터 섭취하는 1.50 mg에 비해 약 6.8배 높은 수준이었다.

성별, 연령별로 보면, 보충제로부터 섭취하는 양을 포함하더라도 2020 평균필요량 미만으로 섭취하는 비율이 가장 높은 군은 75세 이상 노인군으로, 여자 노인의 80.9%와 남자 노인의 65.1%로 나타났으며, 리보플라빈 함유 보충제를 복용하는 비율은 75세 이상 남녀 각각 9.7%와 10.0%로 보충제 복용자 중 평균필요량 미만 섭취자의 비율은 남녀 각각 40.9%와 19.5%였다. 19–64세 성인에서 리보플라빈 함유 보충제 섭취 비율은 남자 12.8%, 여자 16.5%였고, 보충제를 복용하지 않는 성인 남성의 경우 식품으로부터 섭취하는 리보플라빈은 19–29세 1.62 mg/d, 30–49세 1.71 mg/d, 50–64세 1.63 mg/d인데 비해, 보충제를 복용하는 경우 19–29세 6.14 mg/d (식품으로부터 1.86 mg/d), 30–49세 14.55 mg/d (식품으로부터 1.85 mg/d), 50–64세 11.89 mg/d (식품으로부터 1.76 mg/d)로 식품으로부터 섭취하는 양의 2.3배에서 6.9배에 달하는 것으로 관찰되었다. 성인 여성의 전체의 보충제 포함 평균 리보플라빈 섭취량은 19–29세 2.36

mg/d, 30-49세 2.98 mg/d, 50-64세 4.13 mg/d로 각각 34.0%, 29.5%, 29.3%가 평균필요량 미만을 섭취하는 것으로 나타났다. 반면 보충제를 복용하는 경우 성인 여성의 평균 리보플라빈 섭취량은 19-29세 10.86 mg/d, 30-49세 12.17 mg/d, 50-64세 13.01 mg/d이었다. 남녀 성인 모두 보충제 섭취군 중 평균필요량 미만 섭취자의 비율이 보충제를 섭취하지 않는 군에 비해 크게 낮음을 알 수 있었다 [19,20].

2013-2015, 2016-2017 국민건강영양 통계결과에서도 유제품과 난류, 육류, 가공류와 생선류의 동물성 식품을 리보플라빈의 대표적인 식품 급원으로 보고하였으며, 이 외에 두류, 녹색채소류, 곡류 등도 리보플라빈의 급원 식품으로 알려져 있다 [21]. 2015 한국인 영양소 섭취기준의 1회 분량 [22] 을 적용하여 국가표준식품성분표 DB에 근거한 1회 분량 당 리보플라빈 함량을 분석해 보면, 45 g 당 1.54 mg의 리보플라빈을 함유한 쇠간이 1위로 이는 성인의 권장섭취량을 상회하는 양이었다. 그 외 라면 1개에는 0.86 g, 우유 1컵에는 0.32 mg, 고등어 70g (1토막)에는 0.32 mg, 달걀 1개에는 0.28 mg의 리보플라빈이 함유되어 있다. 2020년 국민건강영양조사 자료에 따르면 1세 이상 우리나라 사람들의 섭취 빈도를 감안한 리보플라빈 급원 식품으로 기여도가 높은 식품은 달걀, 라면, 돼지고기, 우유, 간장, 쇠고기, 배추김치, 닭고기, 고춧가루, 시리얼 순이었고, 남성의 경우 라면이, 여성의 경우 달걀이 가장 기여도가 높은 식품군으로 꼽혀 성별에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다. 또 다른 대표적 급원식품인 우유로부터의 리보플라빈 섭취기여도는 여성에서 2위로 남성에서 5위로 나타났다 [18].

향후 리보플라빈 섭취기준 개정을 위한 제언

최근 영양보충제 복용률이 증가되고 있고, 리보플라빈의 경우 비타민 보충제 외에도 다양한 건강기능성 식품에도 포함되어 있으며, 보충제로부터의 섭취수준이 식이 섭취량을 훨씬 초과하고 있어 리보플라빈 영양상태 평가 시 보충제로부터 섭취하는 수준에 대한 평가가 반드시 필요하다 하겠다. 과량의 리보플라빈을 섭취하는 경우 사람의 위장관에서 리보플라빈 흡수 능력의 한계가 있고 [23], 과잉으로 섭취된 대부분의 리보플라빈은 소변으로 배설된다는 점 [24], 편두통 치료로 400 mg의 리보플라빈을 보충했을 때 일부에서 설사 등 경미한 증세의 심각한 부작용은 관찰되지 않았다는 점 [25-27]에서 현재 리보플라빈의 상한섭취량은 설정되지 않았으나, 독성이 없다는 결론을 내리는 것 역시 자료가 부족하다는 점은 인지되어야 한다.

2020 한국인 영양소 섭취기준 개정에 있어 리보플라빈의 경우 만성질환 예방에 대한 부분은 고려되지 않았다. 리보플라빈 영양불량이 단일탄소 대사를 저하시키고 암 발생을 증가시킬 수 있다는 가설을 토대로 여러 코호트 연구가 진행되었으나 일관성 있는 결과가 관찰되지 않았다 [28-31]. 또 최근 글루타민 환원효소의 조효소로 지질의 과산화 방지에 대한 리보플라빈의 항산화 기능과 이에 따른 신경세포 보호작용이 조명되면서 인지기능 저하 [32] 및 황반변성 등에 관한 연구 [33,34]가 진행된 바 있으나 일관성 있는 연구 결과의 부족으로 본 개정에서는 활용되지 못하였다. 그 밖에 호모시스테인 대사와 관련하여 심혈관계 질환에 관한 연구도 진행되었으나 이 역시 통계적 유의성 부족으로 개정의 근거로는 부족하였다 [35]. 향후 만성질환과 관련한 보다 많은 연구 자료가 필요하며, 연구자료들의 축적을 통해 만성질환과의 관련성에 대한 부분도 검토될 수 있을 것으로 판단된다.

요약

리보플라빈 (비타민 B₂)은 한국인에게 섭취 부족의 우려가 있는 비타민으로서 에너지 대사를 포함한 산화/환원 반응의 조효소로서 작용한다. 적절한 섭취수준을 평가하는 방법으로는 적혈구에서의 리보플라빈 농도나 EGRAC, 혹은 소변의 리보플라빈 농도를 측정하는 것이다. 적혈구 리보플라빈 수준은 400 nmol/L (15 µg/100 mL) 이상을 적정수준, 270 nmol/L (10 µg/100 mL) 이하를 결핍으로 하거나 EGRAC 값이 1.2 이하인 경우 적정수준, 1.4이상이면 결핍으로 판정한다. 2020 한국인 영양소 섭취기준 개정 시 19-64세 성인의 2020 리보플라빈 평균필요량은 남자 1.3 mg/d, 여자 1.0 mg/d로 설정되었으며, 64-74세 남자 1.2 mg/d, 여자 0.9 mg/d, 75세 이상 남자 1.1 mg/d, 여자 0.8 mg/d로 성인 보다 낮게 설정되었다. 2020 국민건강영양조사 결과 19세 이상 우리나라 성인의 리보플라빈 평균 섭취량은 1.69 mg/d이며, 권장섭취량 대비 124.9% 였고, 보충제 섭취자들의 보충제로부터의 리보플라빈 섭취량은 평균 10.26 mg/d로 식품으로부터 섭취하는 1.50 mg에 비해 약 6.8배 높은 수준이었다 [18]. 2020 한국인 영양소 섭취기준에서 연령별, 성별 리보플라빈 권장섭취량은 각 생애주기 구간별 평균필요량에 변이계수 10%를 적용하여 평균필요량의 120% 수준으로 설정되었다 리보플라빈의 대표적 식품 급원으로는 유제품, 난류, 육류, 가금류와 생선류의 동물성 식품과 두류, 녹색채소류, 곡류 등이 있으며 2020 국민건강영양조사에 따르면 한국인의 리보플라빈 급원 식품으로 기여도가 높은 식품은 달걀, 라면, 돼지고기, 우유, 간장, 쇠고기, 배추김치, 닭고기, 고추가루, 시리얼 순이다. 최근 리보플라빈의 경우 비타민 보충제 외에도 다양한 건강기능성 식품 섭취로 인해 보충제를 섭취하는 사람들의 경우 보충제로부터의 섭취수준이 식품으로부터의 섭취량을 훨씬 초과하고 있어 리보플라빈 영양상태 평가 시 보충제로부터 섭취하는 수준에 대한 평가가 향후 반드시 필요하다. 또한 2020 한국인 영양소 섭취기준 개정에서는 만성 질환 예방에 대한 부분은 아직 과학적 증거의 불충분으로 고려되지 않았으나 향후 만성질환과 관련된 역학연구 및 중재연구가 더 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

1. Rivlin RS. Riboflavin. In: Coates PM, Betz JM, Blackman MR., editors. Encyclopedia of Dietary Supplements. 2nd ed. London and New York: Informa Healthcare; 2010. p.691-699.
2. McCormick DB. Riboflavin. In: Erdman JW, Macdonald IA, Zeisel SH, editors. Present Knowledge in Nutrition. 10th ed. Washington, D.C.: Wiley-Blackwell; 2012. p.280-292.
3. Ministry of Health and Welfare; The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans 2020: vitamins. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2020.
4. Korea Health Statistics 2020: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VIII-2). Cheongju: Korea Disease Control and Prevention Agency; 2021.
5. Ramsay VP, Neumann C, Clark V, Swendseid ME. Vitamin cofactor saturation indices for riboflavin, thiamine, and pyridoxine in placental tissue of Kenyan women. *Am J Clin Nutr* 1983; 37(6): 969-973. [PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
6. Hill MH, Bradley A, Mushtaq S, Williams EA, Powers HJ. Effects of methodological variation on assessment of riboflavin status using the erythrocyte glutathione reductase activation coefficient assay. *Br J Nutr* 2009; 102(2): 273-278. [PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
7. Gibson RS. Assessment of the Status of thiamin, riboflavin, and niacin. In: Principles of Nutritional Assessment. 2nd ed. New York (NY): Oxford University Press; 2005. p.545-568.
8. The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans, 1st revision. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010.

9. Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. DRI Dietary Reference Intakes for Japanese. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan; 2020. (Japanese).
10. Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes: thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B₆, folate, vitamin B₁₂, pantothenic acid, biotin, and choline. Washington, D.C.: National Academy Press; 1998.
11. Hwang GH. A study on the metabolism of riboflavin in Korean men. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 1994; 23(4): 594-603.
12. Lim WJ, Yoon JS. Effects of dietary intake and work activity on seasonal variation of riboflavin status in rural women. *Korean J Nutr* 1996; 29(9): 1003-1012.
13. Lim WJ, Yoon JS. A longitudinal study on seasonal variation of riboflavin status of rural women: dietary intake, erythrocyte glutathione reductase activity coefficient, and urinary riboflavin excretion. *Korean J Nutr* 1996; 29(5): 507-516.
14. Choi JY, Kim YN, Cho YO. Evaluation of riboflavin intakes and status of 20-64-year-old adults in South Korea. *Nutrients* 2014; 7(1): 253-264.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
15. Boisvert WA, Mendoza I, Castañeda C, De Portocarrero L, Solomons NW, Gershoff SN, et al. Riboflavin requirement of healthy elderly humans and its relationship to macronutrient composition of the diet. *J Nutr* 1993; 123(5): 915-925.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
16. Horwitt MK, Harvey CC, Hills OW, Liebert E. Correlation of urinary excretion of riboflavin with dietary intake and symptoms of ariboflavinosis. *J Nutr* 1950; 41(2): 247-264.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
17. Lim WJ, Yoon JS. A Study on urinary riboflavin excretion of elderly women in Taegu and rural area in the suburbs of Taegu. *Kor J Food Nutr*. 1992; 21(4): 334-340.
18. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Report presentation of the Korea National Health and nutrition examination survey (KNHANES). Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2020.
19. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Report presentation of the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) VI: 2013-2015. Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2015.
20. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Report presentation of the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) VII: 2016-2017. Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2017.
21. Saedisomeolia A, Ashoori M. Riboflavin in human health: a review of current evidences. *Adv Food Nutr Res* 2018; 83: 57-81.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
22. Ministry of Health and Welfare; The Korean Nutrition Society. Dietary reference intakes for Koreans 2015. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2015.
23. Zempleni J, Galloway JR, McCormick DB. Pharmacokinetics of orally and intravenously administered riboflavin in healthy humans. *Am J Clin Nutr* 1996; 63(1): 54-66.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
24. McCormick DB. Two interconnected B vitamins: riboflavin and pyridoxine. *Physiol Rev* 1989; 69(4): 1170-1198.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
25. Schoenen J, Lenaerts M, Bastings E. High-dose riboflavin as a prophylactic treatment of migraine: results of an open pilot study. *Cephalalgia* 1994; 14(5): 328-329.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
26. Schoenen J, Jacquy J, Lenaerts M. Effectiveness of high-dose riboflavin in migraine prophylaxis. A randomized controlled trial. *Neurology* 1998; 50(2): 466-470.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
27. Boehnke C, Reuter U, Flach U, Schuh-Hofer S, Einhäupl KM, Arnold G. High-dose riboflavin treatment is efficacious in migraine prophylaxis: an open study in a tertiary care centre. *Eur J Neurol* 2004; 11(7): 475-477.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
28. Dugué PA, Bassett JK, Brinkman MT, Southey MC, Joo JE, Wong EM, et al. Dietary intake of nutrients involved in one-carbon metabolism and risk of gastric cancer: a prospective study. *Nutr Cancer* 2019; 71(4): 605-614.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
29. Agnoli C, Grioni S, Krogh V, Pala V, Allione A, Matullo G, et al. Plasma riboflavin and vitamin B-6, but not homocysteine, folate, or vitamin B-12, are inversely associated with breast cancer risk in the European prospective investigation into cancer and nutrition-varese cohort. *J Nutr* 2016; 146(6): 1227-1234.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)

30. Egnell M, Fassier P, Lécuyer L, Zelek L, Vasson MP, Hercberg S, et al. B-vitamin intake from diet and supplements and breast cancer risk in middle-aged women: Results from the prospective Nutrinet-Sante Cohort. *Nutrients* 2017; 9(5): 488.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
31. Kweon SS, Shu XO, Xiang Y, Yang G, Ji BT, Li H, et al. One-carbon metabolism dietary factors and distal gastric cancer risk in Chinese women. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2014; 23(7): 1374-1382.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
32. Sheng LT, Jiang YW, Pan XF, Feng L, Yuan JM, Pan A, et al. Association between dietary intakes of B vitamins in midlife and cognitive impairment in late-life: the Singapore Chinese Health Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2020; 75(6): 1222-1227.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
33. Merle BM, Silver RE, Rosner B, Seddon JM. Dietary folate, B vitamins, genetic susceptibility and progression to advanced nonexudative age-related macular degeneration with geographic atrophy: a prospective cohort study. *Am J Clin Nutr* 2016; 103(4): 1135-1144.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
34. Glaser TS, Doss LE, Shih G, Nigam D, Sperduto RD, Ferris FL 3rd, et al. The association of dietary lutein plus zeaxanthin and B vitamins with cataracts in the age-related eye disease study: AREDS report No. 37. *Ophthalmology* 2015; 122(7): 1471-1479.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)
35. Bertoia ML, Pai JK, Cooke JP, Joosten MM, Mittleman MA, Rimm EB, et al. Plasma homocysteine, dietary B vitamins, betaine, and choline and risk of peripheral artery disease. *Atherosclerosis* 2014; 235(1): 94-101.
[PUBMED](#) | [CROSSREF](#)