

我国 15 个省份成年人膳食镁摄入对糖尿病发病风险的影响

焦莹莹¹, 王柳森^{1,2}, 姜红如^{1,2}, 李惟怡^{1,2}, 王邵顺子¹, 贾小芳¹, 王志宏^{1,2}, 王惠君^{1,2}, 张兵¹, 丁钢强^{1,2}

1. 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 北京 100050

2. 中国营养学会 DRIs 修订专家委员会常量元素组, 北京 100053

摘要:

[背景] 目前国内外关于膳食镁与糖尿病风险关联的研究结果尚不一致, 我国的前瞻性研究也相对较少且研究人群较为局限。

[目的] 探讨我国 15 个省(自治区、直辖市)成年人膳食镁摄入量与糖尿病风险的关联, 为修订中国居民膳食镁参考摄入量提供一定的科学依据。

[方法] 选取 2009、2015 和 2018 年“中国健康与营养调查”中至少参加两次随访调查、有完整调查数据且基线未患糖尿病的 8061 名 18~64 岁成年居民作为研究对象, 利用连续“3 天 24 小时”膳食回顾和家庭食用油和调味品称重收集的食物消费数据, 结合食物成分表计算得到平均每日膳食镁摄入量。分别采用多因素 Cox 比例风险回归模型和限制性立方样条(RCS)模型分析不同膳食镁摄入水平与糖尿病风险的关联及其剂量-反应关系。依据《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 版)》标准定义糖尿病。

[结果] 共随访 47 237.46 人年, 平均随访 5.86 年, 其中 8061 名研究对象中, 糖尿病发病率为 8.86%。与镁摄入量最高五分位(Q5)的研究对象相比, 膳食镁摄入量越低的人群中, 女性、高收入、高文化程度、居住在城市、低身体活动水平的成年居民占比越高, 其能量、膳食纤维和膳食钙摄入量也更低。调整人口学特征、生活方式和膳食因素后, Cox 比例风险回归模型结果显示, 与最低五分位膳食镁摄入量(中位数: 168.82 mg·d⁻¹)人群相比, 第二(中位数: 220.96 mg·d⁻¹)、第三(中位数: 263.01 mg·d⁻¹)和第四(中位数: 312.33 mg·d⁻¹)五分位组人群发生糖尿病风险分别降低 45%(*HR*=0.55, 95%*CI*: 0.43~0.71)、39%(*HR*=0.61, 95%*CI*: 0.47~0.78)和 34%(*HR*=0.66, 95%*CI*: 0.51~0.78)。RCS 分析结果显示, 膳食镁摄入与糖尿病风险总体呈“U 型”曲线, 以镁摄入量第 5 百分位数为参考, 膳食镁摄入量低于 240 mg·d⁻¹ 时, 随着镁摄入量的增加, 糖尿病发病风险逐渐降低; 240 mg·d⁻¹ 时, 风险最低; 240~400 mg·d⁻¹ 时, 风险略有增加; 当摄入量大于 650 mg·d⁻¹ 时, 膳食镁与糖尿病风险关联无统计学意义。

[结论] 本研究结果提示膳食镁摄入量与糖尿病风险有关, 当膳食镁摄入量低于 240 mg·d⁻¹ 时, 膳食镁与糖尿病风险呈负相关, 且呈非线性关联。

关键词: 成年人; 膳食镁摄入; 糖尿病

Effects of dietary magnesium intake on risk of diabetes in Chinese adults in 15 provincial-level administrative regions JIAO Yingying¹, WANG Liusen^{1,2}, JIANG Hongru^{1,2}, LI Weiwei^{1,2}, WANG Shaoshunzi¹, JIA Xiaofang¹, WANG Zhihong^{1,2}, WANG Huijun^{1,2}, ZHANG Bing¹, DING Gangqiang^{1,2}

(1. National Institute for Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China; 2. DRIs Expert Committee on Macroelements, Chinese Nutrition Society, Beijing 100053, China)

Abstract:

[Background] At present, domestic and foreign studies on the association between dietary magnesium and diabetes risk are not consistent, and there are relatively few prospective studies in China and the study population is relatively limited.

[Objective] To explore the association between dietary magnesium intake and diabetes risk in Chinese adults in 15 provinces (autonomous regions, municipalities), and to provide a scientific basis for revising dietary magnesium intake reference for Chinese residents.

[Methods] A total of 8061 adults aged 18-64 who participated in at least two follow-up surveys



DOI 10.11836/JEOM22053

组稿专家

丁钢强(中国疾病预防控制中心营养与健康所), E-mail: dinggq@chinacdc.cn

基金项目

科技部国家重点研发计划(2020YFC2006300); 国际合作项目(R01-HD30880, DK056350, R24 HD050924, R01-HD38700); 国家财政项目(131031107000210002);

作者简介

焦莹莹(1996—), 女, 硕士;
E-mail: 2227085940@qq.com

通信作者

丁钢强, E-mail: dinggq@chinacdc.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2022-02-18

录用日期 2022-08-04

文章编号 2095-9982(2022)09-0981-07

中图分类号 R15

文献标志码 A

►引用

焦莹莹, 王柳森, 姜红如, 等. 我国 15 个省份成年人膳食镁摄入对糖尿病发病风险的影响[J]. 环境与职业医学, 2022, 39(9): 981-987.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22053

Funding

This study was funded.

Correspondence to

DING Gangqiang, E-mail: dinggq@chinacdc.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2022-02-18

Accepted 2022-08-04

► To cite

JIAO Yingying, WANG Liusen, JIANG Hongru, et al. Effects of dietary magnesium intake on risk of diabetes in Chinese adults in 15 provincial-level administrative regions[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(9): 981-987.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22053

in the China Health and Nutrition Survey in 2009, 2015, and 2018, had complete survey data, and did not report diabetes at baseline were selected as subjects. Food consumption data were collected from 3-day 24-hour dietary recalls and by weighing household cooking oil and condiments. The average daily dietary magnesium intake was calculated based on the food composition table. Multiple Cox proportional risk regression model and restricted cubic spline (RCS) model were used to analyze the association and dose-response relationship between dietary magnesium intake and diabetes risk. Diabetes was defined according to the *Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes (2020 edition)*.

[Results] A total of 47 237.46 person-years were followed up, with an average follow-up of 5.86 years. Among 8 061 subjects, the incidence rate was 8.86%. Compared with those in the top quintile of magnesium intake (Q5), those with lower dietary magnesium intake were more likely to be female, have higher income, higher education, live in urban areas, and have lower intakes of energy, dietary fiber, and dietary calcium. After adjusting for demographic characteristics, lifestyle, and dietary factors, compared with adults in the lowest quintile of dietary magnesium intake, the results of Cox proportional risk regression model showed that the second (median: 220.96 mg·d⁻¹), third (median: 263.01 mg·d⁻¹), and fourth (median: 312.33 mg·d⁻¹) quintile dietary magnesium intake reduced the risk of diabetes by 45% ($HR=0.55$, 95%CI: 0.43-0.71), 39% ($HR=0.61$, 95%CI: 0.47-0.78), and 34% ($HR=0.66$, 95%CI: 0.51-0.78), respectively. The results of RCS analysis showed that dietary magnesium intake and the risk of diabetes were U-shaped overall. Taking the 5th percentile magnesium intake as reference, when dietary magnesium intake was lower than 240 mg·d⁻¹, the risk of diabetes gradually decreased with the increase of magnesium intake; the risk was the lowest at 240 mg·d⁻¹, followed by a slight increase in risk at 240-400 mg·d⁻¹; and no statistical difference presented in the association between dietary magnesium and diabetes risk after 650 mg·d⁻¹.

[Conclusion] The study findings suggest an association between dietary magnesium intake and diabetes risk. The association is negative and non-linear when dietary magnesium intake is below 240 mg·d⁻¹.

Keywords: Adults; dietary magnesium intake; diabetes

糖尿病是全球重要的公共卫生问题。国际糖尿病联盟报告显示,到2040年全球患病人数将达到6.42亿^[1]。除了久坐的生活方式和遗传因素外,食物、营养素摄入不足在糖尿病的发生发展中也发挥重要作用^[2]。国外一些前瞻性研究发现膳食镁摄入与糖尿病风险之间呈负相关^[3-6],但在个别研究中未发现两者间的关联^[7-8]或仅在女性中有关联^[9-10],且大多发现显著性关联的报道是针对白种人的研究。我国关于膳食镁与糖尿病的队列研究也发现了两者的负相关关系^[2,11],但相关研究甚少且研究人群较为局限。此外,已有的国内外研究大多使用自我报告的糖尿病数据,很少利用血生化指标判定^[12]。因此,本研究利用“中国健康与营养调查”2009、2015和2018年的随访数据,分析膳食镁摄入量与我国成年人糖尿病风险的关联,为修订我国居民膳食镁参考摄入量提供一定的科学依据。

1 对象与方法

1.1 资料来源

“中国健康与营养调查”是中国疾病预防控制中心营养与健康所和美国北卡罗莱纳大学合作的纵向追踪研究,于1989年启动,迄今已经完成11轮随访。该项目采用分层多阶段整群随机抽样的方法在黑龙江、山东、河南、广西、辽宁、江苏、湖北、湖南、贵州、北京、上海、重庆、陕西、云南和浙江共15个省(自治区、直辖市)进行,每轮调查针对同一人群,从社区、家庭和个人三个层面收集营养健康相关信息,包括人口统

计学、生活方式、疾病史、膳食、经济、社区条件等内容,调查方案见参考文献[13-15]。其中,2009、2015和2018年增加了血液样品的采集和检测。该项目通过中国疾病预防控制中心营养与健康所伦理审查委员会审查(审查号:2015-017),所有调查对象在调查前均签署知情同意书。

1.2 研究对象

选择2009、2015和2018年调查中至少参加两轮调查,且基线未患糖尿病的18~64岁人群作为研究对象,删除人口学信息缺失和膳食数据缺失者、每日能量摄入异常(男性: >25 104.00 kJ 或 <3 347.20 kJ; 女性: >16 736.00 kJ 或 <2 510.40 kJ)及体重指数(body mass index, BMI)异常(<14.0 kg·m⁻² 或 >45.0 kg·m⁻²)者、基线患有中风和癌症者,最终纳入研究对象8 061例。

1.3 评价指标

1.3.1 膳食镁摄入量的计算与评价 每轮调查均采用连续“3天24小时”膳食回顾法收集个人食物消费数据,同时结合家庭称重记账法收集3 d的食用油与调味品使用量,将家庭食用油和调味品消费量按家庭中个人能量消费比分配至个人,再利用2004年和2009年《中国食物成分表》^[16-17]将相应年份收集的各种食物及食用油和调味品的消费量转换为能量和营养素摄入量,最后利用调查期间的人日数计算平均每天能量和营养素摄入量。其中,能量、膳食纤维、钙和镁纳入本研究分析中。

考虑到疾病发生后饮食的潜在变化会混淆膳食

镁摄入量与糖尿病之间的关联,此研究剔除了发病结局时点当次观测的膳食镁摄入量,即研究对象如果是2009年进入队列,在2015年发病,则采用2009年的膳食镁摄入量,若在2018年发病,则采用2009和2015年的膳食镁摄入值的平均值;研究对象如果是2015年进入队列,在2018年发病,则采用2015年的镁摄入量。

1.3.2 糖尿病的诊断标准 采集血样前禁食8~12 h,通过静脉穿刺法采集血液,并立即检测空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)和糖化血红蛋白(hemoglobin A1c, HbA1c)。FPG采用葡萄糖氧化酶-苯酚和氨基苯酮法测定,HbA1c采用高效液相色谱法测定。根据《中国2型糖尿病防治指南(2020版)》诊断标准^[18]:FPG浓度 $\geq 7.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和(或)HbA1c质量分数 $\geq 6.5\%$ 定义为2型糖尿病。此外,已确诊为糖尿病正在接受治疗者也判定为2型糖尿病。

1.3.3 混杂因素评价 本研究涉及的人口学资料、生活方式、膳食情况等信息均由经统一培训、考核合格的调查员利用专门的调查问卷采用面对面调查方式获得。年龄分为18~49、50~64岁两组;家庭人均年收入按三分位数划分为低($< 5\,766.81$ 元)、中($5\,766.81\sim 15\,382.71$ 元)、高($> 15\,382.71$ 元)三组;受教育程度分为小学及以下、中学、大学及以上三组;居住地分为城市和农村;目前吸烟和过去一年饮酒情况分为是和否两组;身体活动水平包括休闲性身体活动、交通性身体活动、职业性身体活动和家务性身体活动,利用各项活动相应的代谢当量(metabolic equivalent, MET)与每周参加各种身体活动的时间($\text{h}\cdot\text{周}^{-1}$)的乘积评估身体活动量($\text{MET}\cdot\text{h}\cdot\text{周}^{-1}$)^[19-20],并按三分位数划分为低($< 96.24\text{ MET}\cdot\text{h}\cdot\text{周}^{-1}$)、中($96.24\sim < 228.96\text{ MET}\cdot\text{h}\cdot\text{周}^{-1}$)、高($\geq 228.96\text{ MET}\cdot\text{h}\cdot\text{周}^{-1}$)三组;基线能量、膳食纤维和

膳食钙摄入量按连续性变量调整;BMI通过体重(kg)/身高(m)²计算,划分为 < 18.5 、 $18.5\sim < 24.0$ 、 $\geq 24.0\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 三组^[21]。

1.4 统计学分析

应用SAS 9.4软件和Stata SE15.0软件进行数据的整理和分析。定量和定性变量分别采用均数 $\pm$ 标准差和百分比(%)进行描述。利用卡方检验、方差分析对不同膳食镁摄入水平研究对象的人口学特征差异进行单因素分析;将膳食镁摄入量按五分位(quintile, Q)划分Q1~Q5,疾病结局为患糖尿病,生存时间为研究对象进入队列至发病的时间,通过多因素Cox比例风险回归模型分析膳食镁与糖尿病风险的关联,并将膳食镁各摄入水平的中位数值以连续型变量形式代入模型进行趋势性检验;采用在膳食镁摄入量第5、25、50、75和95百分位数处5个节点的限制性立方样条曲线模型(restricted cubic spline, RCS),判断糖尿病发病风险随连续性变量膳食镁摄入增加的变化趋势。检验水准双侧 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基线特征

本研究共纳入8061名研究对象,人群膳食镁摄入量的中位数为 $263.01\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$,根据膳食镁摄入量五等分组研究对象的基线特征见表1。与镁摄入量最高五分位(Q5)的研究对象相比,膳食镁摄入量越低的人群中,女性、高收入、高文化程度、居住在城市、低身体活动水平的成年居民占比越高,另外,其能量、膳食纤维和膳食钙摄入量也更低。其他变量包括年龄、BMI、基线FPG和HbA1c在不同膳食镁摄入水平组差异无统计学意义。

表1 根据膳食镁五分位数的成年人基线特征

Table 1 Characteristics of adult participants according to quintiles of dietary magnesium intake

基线特征(Baseline characteristics)	膳食镁摄入量五分位(Quintile of dietary magnesium intake)					P
	Q1(n=1 612)	Q2(n=1 612)	Q3(n=1 613)	Q4(n=1 612)	Q5(n=1 612)	
糖尿病发病率(Diabetes incidence rate)/%	8.93	7.13	8.37	9.06	10.79	
膳食镁摄入量(Dietary magnesium intake)/(mg·d ⁻¹) ^a	168.82 (146.01, 184.01)	220.96 (210.97, 231.91)	263.01 (252.16, 274.20)	312.33 (298.34, 329.90)	411.41 (373.63, 475.26)	
年龄/岁(Age/years) ^b						0.91
18~49	56.82	56.27	57.35	57.44	56.08	
50~64	43.18	43.73	42.65	42.56	43.92	
性别(Sex) ^b						<0.001
女性(female)	70.78	62.22	55.30	48.20	40.63	
男性(Male)	29.22	37.78	44.70	51.80	59.37	

续表 1

基线特征(Baseline characteristics)	膳食镁摄入量五分位(Quintile of dietary magnesium intake)					P
	Q1(<i>n</i> =1 612)	Q2(<i>n</i> =1 612)	Q3(<i>n</i> =1 613)	Q4(<i>n</i> =1 612)	Q5(<i>n</i> =1 612)	
家庭人均收入水平(Household income per capita) ^b						<0.001
低(Low)	28.16	33.31	34.72	34.18	36.29	
中(Medium)	30.09	33.13	34.16	35.73	33.56	
高(High)	41.75	33.56	31.12	30.09	30.15	
受教育程度(Education) ^b						<0.001
小学及以下(Primary school and below)	30.52	32.38	33.48	32.26	32.75	
中学(Middle school)	47.02	48.57	48.48	51.24	52.36	
大学及以上(College and above)	22.46	19.04	18.04	16.50	14.89	
城市(Urban) ^b	37.59	36.23	32.73	33.44	30.27	<0.001
目前不吸烟(Current non-smoker) ^b	80.83	75.25	71.92	65.88	63.15	<0.001
过去一年不饮酒(Non-drinker in the past year) ^b	78.23	70.72	66.40	63.90	59.62	<0.001
身体活动水平(Physical activity level) ^b						<0.001
低(Low)	38.77	35.11	33.42	32.01	27.36	
中(Medium)	35.73	33.50	33.48	32.75	31.20	
高(High)	25.50	31.39	33.11	35.24	41.44	
能量(Energy)/(kJ·d ⁻¹) ^c	6 256.82±1 780.59	7 801.41±1 844.09	8 772.30±1 996.71	9 893.09±2 283.72	11 871.72±3 253.84	<0.001
膳食纤维(Dietary fiber)/(mg·d ⁻¹) ^c	7.34±3.26	9.45±3.94	11.29±4.90	13.43±6.30	19.29±11.31	<0.001
膳食钙(Dietary calcium)/(mg·d ⁻¹) ^c	234.92±104.16	309.39±115.19	369.98±146.29	420.74±196.81	559.31±327.56	<0.001
BMI/(kg·m ⁻²) ^b						0.39
<18.5	5.02	4.34	5.33	4.71	4.22	
18.5~<24.0	51.99	51.18	52.70	51.43	49.57	
≥24.0	42.99	44.48	41.97	43.86	46.22	
FPG浓度(FPG concentration)/(mmol·L ⁻¹) ^c	5.08±0.65	5.09±0.63	5.07±0.64	5.09±0.64	5.07±0.64	0.72
HbA1c质量分数(HbA1c level)/% ^c	5.45±0.43	5.43±0.45	5.43±0.45	5.45±0.47	5.47±0.43	0.16

[注] a: $M(P_{25}, P_{75})$; b: 构成比(%); c: $\bar{x} \pm s$ 。
[Note] a: Median (P_{25}, P_{75}); b: Proportion (%); c: $\bar{x} \pm s$.

2.2 膳食镁摄入对糖尿病风险的影响

本研究先做了性别和膳食镁摄入与糖尿病风险的交互作用分析,结果显示无统计学意义($P=0.39$),即不存在交互作用,进一步将性别作为混杂因素在模型中进行调整。共随访 47 237.46 人年,平均 5.86 年,共发现糖尿病 714 例,发病率为 8.86%。COX 比例风险回归模型分析结果显示(表 2),以最低五分位 Q1 组为参考,在模型 1 中,最高五分位 Q5 组研究对象的糖尿病风险降低了 23%($HR=0.77$, 95% CI : 0.61~0.97);在模型 2 中, Q5 组糖尿病的发病风险有所升高,但仍具有统计学意义($HR=0.78$, 95% CI : 0.62~0.99);在模型 3 及之后的模型中, Q5 组的镁摄入量与糖尿病风险的关联无统计学意义;调整所有混杂因素后,与 Q1 组相比, Q2、 Q3 和 Q4 组研究人群发生糖尿病的风险分别减

少 45%($HR=0.55$, 95% CI : 0.43~0.71)、39%($HR=0.61$, 95% CI : 0.47~0.78)和 34%($HR=0.66$, 95% CI : 0.51~0.78)。所有模型线性趋势检验均无统计学意义($P>0.05$)。

2.3 膳食镁摄入量与糖尿病风险的剂量-反应关系分析

限制性立方样条模型分析结果显示(图 1),膳食镁摄入量与糖尿病风险之间的整体关联和非线性关联均具有统计学意义($P<0.05$),且镁摄入量在 400 mg·d⁻¹ 之前呈“U 型”关系,以膳食镁摄入的第 5 百分位数(146.08 mg·d⁻¹)为参考,膳食镁摄入量低于 240 mg·d⁻¹ 时,随着镁摄入量的增加,糖尿病发病风险逐渐降低;240 mg·d⁻¹ 时,风险最低;240~400 mg·d⁻¹ 时,风险略有增加;在 400 mg·d⁻¹ 之后,曲线趋于平缓;当摄入量大于 650 mg·d⁻¹ 时,膳食镁摄入量与糖尿病风险的关联无统计学意义。

表 2 膳食镁摄入与糖尿病发病风险的相关性 [HR(95%CI)]

Table 2 Association of dietary magnesium intake with risk of diabetes [HR (95%CI)]

模型(Model)	膳食镁摄入量五分位(Quintile of dietary magnesium intake)					$P_{趋势}$ (P_{trend})
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
模型1(Model 1)	1.00	0.54(0.42~0.69)*	0.57(0.44~0.72)*	0.60(0.48~0.77)*	0.77(0.61~0.97)*	0.83
模型2(Model 2)	1.00	0.54(0.42~0.69)*	0.57(0.45~0.72)*	0.60(0.47~0.77)*	0.78(0.62~0.99)*	0.90
模型3(Model 3)	1.00	0.56(0.43~0.72)*	0.61(0.48~0.79)*	0.67(0.51~0.88)*	0.92(0.69~1.22)	0.22
模型4(Model 4)	1.00	0.56(0.43~0.72)*	0.61(0.48~0.79)*	0.67(0.51~0.88)*	0.92(0.68~1.26)	0.30
模型5(Model 5)	1.00	0.55(0.43~0.71)*	0.61(0.47~0.78)*	0.66(0.51~0.78)*	0.88(0.65~1.20)	0.45

[注]*: 与 Q1 相比, $P < 0.05$ 。模型 1 调整年龄、性别、受教育程度、城乡和收入; 模型 2 在模型 1 的基础上进一步调整吸烟、饮酒和身体活动水平; 模型 3 在模型 2 的基础上进一步调整能量; 模型 4 在模型 3 的基础上进一步调整膳食纤维和钙; 模型 5 在模型 4 的基础上进一步调整 BMI。

[Note]*: Compared with Q1, $P < 0.05$. Model 1 is adjusted for age, sex, education, urban and rural areas, and income. In model 2, smoking, drinking, and physical activity levels are further adjusted based on Model 1. Model 3 is further adjusted for energy based on Model 2. Model 4 is further adjusted for dietary fiber and calcium on the basis of Model 3. Model 5 is further adjusted for BMI on the basis of Model 4.

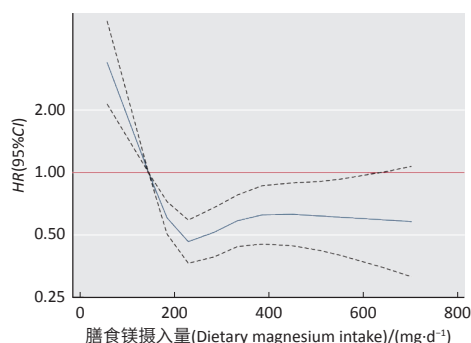


图 1 基于限制性立方样条模型分析成年人膳食镁摄入量与糖尿病风险的剂量-反应关系

Figure 1 Dose-response relationship between dietary magnesium intake and risk for diabetes mellitus in Chinese adults based on RCS model

3 讨论

本研究利用“中国健康与营养调查”2009、2015 和 2018 年的调查数据分析了我国 15 个省(自治区、直辖市)18~64 岁成年人膳食镁摄入与糖尿病的关系。在平均 5.86 年的随访中,糖尿病的发生率为 8.86%,经多因素调整后发现,我国成年人膳食镁摄入与糖尿病发病风险呈负相关,与国内外一些研究结果一致。Weng 等^[2]对中国台湾 30 岁及以上成人进行 4.6 年的随访发现,与最高五分位组相比,低摄入量的镁明显增加了糖尿病的发病风险($HR=2.61$, 95%CI: 1.41~4.79)。Hruby 等^[3]对美国 26~81 岁的人群进行了为期 6.9 年的随访,发现与膳食镁摄入量最低五分位组相比,最高五分位组糖尿病的发病风险明显降低($RR=0.49$, 95%CI: 0.27~0.88)。也有一些研究未发现膳食镁与糖尿病的关联性。一项包含 59 798 名日本人群的前瞻性研究表明,膳食镁摄入量与 2 型糖尿病之间无关联性,研究认为可能与镁摄入的食物来源有关,在日

本饮食中,镁的主要来源是谷物(17%)、蔬菜(15%)、豆类(12%)、调味品和香料(11%)以及鱼贝类(10%)^[7]。有研究认为从乳制品和动物性食品中摄取镁可能有降低 2 型糖尿病风险的作用^[11]。另外,种族差异也可能是膳食镁与糖尿病关联的影响因素。研究表明亚洲人群膳食镁摄入与糖尿病的关联弱于西方人群,可能归因于亚洲人群较低的 BMI^[5]。

目前关于膳食镁摄入量与糖尿病风险的剂量-反应关系研究,结果尚不一致。部分研究发现二者呈非线性关系。Xu 等^[22]通过 RCS 随机效应模型对 15 项前瞻性研究分析发现,以 $115 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 的膳食镁摄入量为参考,当镁摄入量低于 $260 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,糖尿病发病风险随着镁摄入量的增加明显降低,而当镁摄入量高于 $300 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 后,这一趋势减缓。Ma 等^[23]通过阈值效应模型对 1036 名基线未患糖尿病的美国成年人 5 年随访数据的分析发现,当膳食镁摄入量低于 $325 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,可以改善胰岛素敏感性,在高于 $325 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 后,镁与胰岛素敏感性无统计学关联。本研究发现膳食镁与糖尿病呈非线性关系,当镁摄入量低于 $240 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,随着镁摄入量的增加,糖尿病的发病风险明显降低,在 $400 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 之后,曲线趋于平缓。而在其他相关研究中发现膳食镁与糖尿病呈线性关系。一项 meta 分析表明,随着镁摄入量每增加 $100 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$,糖尿病风险降低 8%~13%^[24]。另外一项包含美国 3 个研究队列的分析发现,膳食镁每增加 $50 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$,糖尿病的风险分别降低 6%、2%和 3%,均呈线性关联^[25]。

目前,在前瞻性研究和随机干预试验中均发现了镁对糖尿病的保护作用,胰岛素抵抗在一定程度上介导了两者间的关系。有研究发现,高镁摄入可能通过对钙稳态和氧化应激的影响来保持胰腺 β 细胞功能,

从而在胰岛素分泌中发挥作用^[26]。此外,适量的膳食镁摄入还可以积极影响肠道菌群组成,进而影响宿主的代谢,有助于防止糖尿病的发展^[27]。尽管镁在维持人体健康方面起着重要作用,但是镁缺乏仍然是一个全球公共健康问题。在欧洲和美国开展的膳食调查显示,镁的每日摄入量普遍低于推荐量^[28],1991—2015年我国成年人膳食镁摄入量呈下降趋势^[29],可能归因于饮食结构的不平衡或肠道吸收受损^[30]。

目前还没有确凿的证据表明膳食镁对健康有益的推荐量。Xu等^[22]的meta分析表明,300 mg·d⁻¹的膳食镁摄入量是预防糖尿病的必要剂量。自1997年以来获得的平衡数据表明,对于体重70 kg的健康个体,镁的推荐膳食允许量为250 mg·d⁻¹,并根据体重增加或减少^[31]。德国女性和男性的平衡数据表明,女性的标准镁需求低于200 mg·d⁻¹,男性低于250 mg·d⁻¹^[31]。大多关于膳食镁与心血管疾病、高血压和代谢综合征等慢性疾病风险关联的研究中,当平均最低摄入量小于250 mg·d⁻¹时,关联性最为显著^[32],与本研究结果近似。本研究显示当镁摄入量低于240 mg·d⁻¹时,风险关联更为显著。该数值可作为预防糖尿病必要剂量的参考数值,同时为预防非传染性慢性病的建议摄入量提供科学参考。

本研究中选取三轮“中国健康与营养调查”的随访数据,基于大规模的人群数据纵向探索膳食镁与糖尿病的关系,其证据等级相对于横断面研究更高;但对膳食镁这一连续性变量进行分位数划分,分类数及分类界值往往存在主观性,可能会造成研究结果的偏倚^[33],因此本研究进一步构建了限制性立方样条模型分析连续性膳食镁摄入量与糖尿病风险的剂量-反应关系。研究还存在一些局限性:(1)本研究虽然调整了性别、收入、能量摄入等混杂因素,但种族遗传等其他潜在的混杂因素未考虑,仍存在残差混杂;(2)血样数据只有一次测量值,且未进行口服葡萄糖耐量试验,以此判定糖尿病可能会存在误差。(3)本研究中,研究对象进入队列时间不同(2009或2015年),为相对基线,不同年份的膳食调查因生活水平提高或调查方法等原因可能不完全一致,将研究对象合并分组可能会存在偏倚,但本研究在模型中调整了收入、能量等膳食因素可以解释部分偏倚;(4)研究使用连续“3天24小时”膳食回顾法收集的膳食数据计算膳食镁摄入量,可能存在回顾偏倚,且通常无法评估日常膳食摄入量,调查长期的膳食行为,最好使用食物频率法收集膳食信息。但相对于食物频率法收集的食物消费频率,

“3天24小时”法收集的具体的食物摄入量在计算营养素时更为精确。

综上,本研究提示膳食镁摄入量与糖尿病风险有关,当膳食镁摄入量低于240 mg·d⁻¹时与糖尿病为负相关关系且呈非线性关联。

(志谢:感谢“中国健康与营养调查”项目组所有参与的工作人员和调查对象对于本工作的支持与配合。)

参考文献

- [1] International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas[EB/OL]. [2021-12-08]. <http://www.diabetesatlas.org>.
 - [2] WENG LC, LEE NJ, YEH WT, et al. Lower intake of magnesium and dietary fiber increases the incidence of type 2 diabetes in Taiwanese[J]. *J Formos Med Assoc*, 2012, 111(11): 651-659.
 - [3] HRUBY A, MEIGS JB, O'DONNELL CJ, et al. Higher magnesium intake reduces risk of impaired glucose and insulin metabolism and progression from prediabetes to diabetes in middle-aged americans[J]. *Diabetes Care*, 2014, 37(2): 419-427.
 - [4] HATA A, DOI Y, NINOMIYA T, et al. Magnesium intake decreases Type 2 diabetes risk through the improvement of insulin resistance and inflammation: the Hisayama study[J]. *Diabet Med*, 2013, 30(12): 1487-1494.
 - [5] HOPPING BN, ERBER E, GRANDINETTI A, et al. Dietary fiber, magnesium, and glycemic load alter risk of type 2 diabetes in a multiethnic cohort in Hawaii[J]. *J Nutr*, 2010, 140(1): 68-74.
 - [6] KIM DJ, XUN PC, LIU K, et al. Magnesium intake in relation to systemic inflammation, insulin resistance, and the incidence of diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(12): 2604-2610.
 - [7] NANRI A, MIZOUE T, NODA M, et al. Magnesium intake and type II diabetes in Japanese men and women: the Japan public health center-based prospective study[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2010, 64(10): 1244-1247.
 - [8] HODGE AM, ENGLISH DR, O'DEA K, et al. Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2004, 27(11): 2701-2706.
 - [9] OBA S, NANRI A, KUROTANI K, et al. Dietary glycemic index, glycemic load and incidence of type 2 diabetes in Japanese men and women: the Japan Public Health Center-based Prospective Study[J]. *Nutr J*, 2013, 12(1): 165.
 - [10] KIRII K, MIZOUE T, ISO H, et al. Calcium, vitamin D and dairy intake in relation to type 2 diabetes risk in a Japanese cohort[J]. *Diabetologia*, 2009, 52(12): 2542-2550.
 - [11] VILLEGAS R, GAO YT, DAI Q, et al. Dietary calcium and magnesium intakes and the risk of type 2 diabetes: the Shanghai Women's health study[J]. *Am J Clin Nutr*, 2009, 89(4): 1059-1067.
 - [12] KAO WH L, FOLSOM AR, NIETO FJ, et al. Serum and dietary magnesium and the risk for type 2 diabetes mellitus: the atherosclerosis risk in communities study[J]. *Arch Intern Med*, 1999, 159(18): 2151-2159.
 - [13] “中国健康与营养调查”项目组. 1989—2009年中国九省区居民膳食营养摄入状况及变化趋势(一)健康与营养调查项目总体方案[J]. *营养学报*, 2011, 33(3): 234-236.
- “The China Health and Nutrition Survey” Research Team. The trends of nutrients intake of Chinese residents in nine provinces from 1989 to 2009(I) “the China health and nutrition survey” project design[J]. *Acta*

- Nutr Sin, 2011, 33(3): 234-236.
- [14] POPKIN BM P, DU SF, ZHAI FY, et al. Cohort profile: the China health and nutrition survey-monitoring and understanding socio-economic and health change in China, 1989-2011 [J]. *Int J Epidemiol*, 2010, 39(6): 1435-1440.
- [15] 张兵, 王惠君, 杜文雯, 等. 队列研究的进展及其对中国健康与营养调查的启示 [J]. *中华预防医学杂志*, 2011, 45(4): 295-298.
- ZHANG B, WANG HJ, DU WW, et al. Progress of cohort study and its inspiration to China Health and Nutrition Survey [J]. *Chin J Prev Med*, 2011, 45(4): 295-298.
- [16] 杨月欣, 何梅, 潘兴昌. 中国食物成分表2004 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005.
- YANG Y X, HE M, PAN X C. Chinese food composition table 2004 [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2005.
- [17] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表-第一册 [M]. 2版. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
- YANG Y X, WANG G Y, PAN X C. Chinese food composition table-Book 1 [M]. 2nd ed. Beijing: Peking University Medical Press, 2009.
- [18] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版) [J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409.
- Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition) [J]. *Chin J Diabetes Mellitus*, 2021, 13(4): 315-409.
- [19] NG SW, POPKIN BM. Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe [J]. *Obes Rev*, 2012, 13(8): 659-680.
- [20] SALLIS JF, HASKELL WL, WOOD PD, et al. Physical activity assessment methodology in the Five-City Project [J]. *Am J Epidemiol*, 1985, 121(1): 91-106.
- [21] 成人体重判定: WS/T 428—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- Criteria of weight for adults: WS/T 428—2013 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.
- [22] XU T, CHEN GC, ZHAI L, et al. Nonlinear reduction in risk for type 2 diabetes by magnesium intake: an updated meta-analysis of prospective cohort studies [J]. *Biomed Environ Sci*, 2015, 28(7): 527-534.
- [23] MA B, LAWSON AB, LIESE AD, et al. Dairy, magnesium, and calcium intake in relation to insulin sensitivity: approaches to modeling a dose-dependent association [J]. *Am J Epidemiol*, 2006, 164(5): 449-458.
- [24] FANG X, HAN HD, LI M, et al. Dose-response relationship between dietary magnesium intake and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-regression analysis of prospective cohort studies [J]. *Nutrients*, 2016, 8(11): 739.
- [25] HRUBY A, GUASCH-FERRÉ M, BHUPATHIRAJU SN, et al. Magnesium intake, quality of carbohydrates, and risk of type 2 diabetes: results from three U. S. Cohorts [J]. *Diabetes Care*, 2017, 40(12): 1695-1702.
- [26] SARRAFZADEGAN N, KHOSRAVI-BOROUJENI H, LOTFIZADEH M, et al. Magnesium status and the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis [J]. *Nutrition*, 2016, 32(4): 409-417.
- [27] PIURI G, ZOCCHI M, DELLA PORTA M, et al. Magnesium in obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes [J]. *Nutrients*, 2021, 13(2): 320.
- [28] GRÖBER U, SCHMIDT J, KISTERS K. Magnesium in prevention and therapy [J]. *Nutrients*, 2015, 7(9): 8199-8226.
- [29] 黄秋敏, 王柳森, 张兵, 等. 1991-2015年我国九省(自治区)成年人膳食微量营养素摄入的变化趋势及其人口学特征 [J]. *环境与职业医学*, 2019, 36(5): 410-417.
- HUANG QM, WANG LS, ZHANG B, et al. Secular trends in dietary micronutrient intakes and demographic characteristics of adults in nine provinces (autonomous regions) of China from 1991 to 2015 [J]. *Environ Occup Med*, 2019, 36(5): 410-417.
- [30] FANG XX, WANG K, HAN D, et al. Dietary magnesium intake and the risk of cardiovascular disease, type 2 diabetes, and all-cause mortality: a dose-response meta-analysis of prospective cohort studies [J]. *BMC Med*, 2016, 14(1): 210.
- [31] NIELSEN FH. Guidance for the determination of status indicators and dietary requirements for magnesium [J]. *Magn Res*, 2016, 29(4): 154-160.
- [32] NIELSEN FH. Dietary magnesium and chronic disease [J]. *Adv Chronic Kidney Dis*, 2018, 25(3): 230-235.
- [33] 魏源, 周锦辉, 张振伟, 等. 限制性立方样条在Cox比例风险回归模型中的应用 [J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(10): 1169-1173.
- WEI Y, ZHOU JH, ZHANG ZW, et al. Application of restricted cube spline in Cox regression model [J]. *Chin J Prev Med*, 2020, 54(10): 1169-1173.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 汪源)