

• 基础研究 •



专家简介:

马玉霞,1990年毕业于河北医学院。河北医科大学公共卫生学院院长,教授,博士生导师。现兼任教育部公共卫生与预防医学教学委员会委员;国家卫健委营养标准委员会委员;中华预防医学会公共卫生教育分会委员;中国营养学会常务理事;中国营养学会公共营养分会副主任委员。主持课题7项,其中国家自然科学基金面上项目2项,总经费759万。发表通讯作者论文41篇,SCI收录36篇,包括中科院一区7篇,二区15篇,三区1篇,四区1篇,Cell子刊1篇。主编、参编教材、专著12部,包括《营养与食品卫生学》(第六版,第七版,第八版)、《中国营养科学全书》、《中国居民膳食营养素参考摄入量2023版》、《矿工营养健康指南》等。

复合膳食抗氧化指数与6~11岁儿童认知功能的相关性分析

温 瑞,裴焕婷,乔思梦,刘奕秋,柳宣伊,马玉霞*

(河北医科大学公共卫生学院营养与食品卫生学教研室,河北省环境与人群健康重点实验室,河北 石家庄 050017)

[摘要] 目的 探讨膳食抗氧化指数(composite dietary antioxidant index, CDAI)与6~11岁儿童认知功能的关系。方法 基于美国国家健康与营养调查的公开数据(National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES III),以及和英国利兹大学合作项目“中国儿童营养不良双重负担及其相关微量营养素缺乏的食物系统解决方案”收集的数据(简称中国数据),构建CDAI,采用多元Logistic回归模型分析6~11岁儿童CDAI水平和认知功能之间的关系。膳食调查分别采用24 h膳食回顾法和24 h膳食称重法,NHANES III采用韦氏智力测验(Wechsler Intelligence Scale for Children, WICS)测试中的语言部分测试(Wide Range Achievement Test-Revised, WRAT-R)和表现测试(Wechsler Intelligence Scale for Children, WISC-R);中国数据采用基本认知能力测验(Primary Cognitive Abilities Test, PCAT)和WISC-R中的推理测试(perceptual reasoning, PR)。结果 共纳入470名中国儿童和2 968名美国儿童。在中国儿童中,男性224名,占47.70%,女性246名,占52.30%;在NHANES III调查对象中,男性1 494名,占50.30%,女性1 474名,占49.7%。多元Logistics回归分析结果显示,在调整了性别、年龄、种族、体重指数、能量后,6~11岁儿童CDAI是工作记忆(working memory, WM)的影响因素(中国数据:OR=1.04, 95%CI: 1.00~1.20, P=0.047; NHANES III: OR=1.13, 95%CI: 1.01~1.28, P=0.038);6~11岁儿童摄入的抗氧化剂中,维生素C、锌摄入量对WM的影响最为显著(中国数据:锌P=0.009, 维生素C P=0.030; NHANES III: 维生素C P=0.040)。结论 CDAI与儿童认知功能中的WM的影响因素,组成CDAI的各成分中,锌、维生素C的作用更加明显,研究结果提示通过提高膳食抗氧化营养素的摄入,可能会促进儿童工作记忆的发展。

[关键词] 复合膳食抗氧化指数; 认知; 儿童 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.10.003

[中图分类号] R153.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)10-1139-10

Correlation analysis of composite dietary antioxidant index with cognitive function in children aged 6 to 11 years

WEN Rui, PEI Huan-ting, QIAO Si-meng, LIU Yi-qiu, LIU Xuan-yi, MA Yu-xia*

(Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Hebei Medical University, Key Laboratory of Environment and Human Health of Hebei Province, Shijiazhuang 050017, China)

[收稿日期]2024-07-28

[基金项目]河北省外专引才引智项目(SWZYCYZ202001)

[作者简介]温瑞(1999-),女,陕西陇县人,河北医科大学医学

硕士研究生,从事营养与食品卫生学研究。

* 通信作者。E-mail: mayuxia@hebm.u.edu.cn

[Abstract] **Objective** To investigate the relationship between the composite dietary antioxidant index (CDAI) and cognitive function in children aged 6 to 11 years. **Methods** CADI was constructed based on the publicly available data from National Health and the Nutrition Examination Survey (NHANES III) in the United States, as well as the data collected under a collaborative project with the University of Leeds in the United Kingdom titled "Food System Solutions for the Dual Burden of Malnutrition and Related Trace Nutrient Deficiency in Chinese Children" (referred to as Chinese data). Multiple Logistic regression was used to analyze the association between CDAI levels and cognitive function in children. Dietary surveys were conducted using 24-hour dietary regression and 24-hour dietary weighing methods. NHANES III was analyzed using the Wide Range Achievement Test-Revised (WRAT-R) and the Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC-R) of the Wechsler Intelligence Scale (WISC-R) test. The Chinese cognitive survey was analyzed using the Primary Cognitive Abilities Test (PCAT) and the perceptual reasoning (PR) of the WISC-R. **Results** A total of 470 Chinese children and 2 968 American children were included. Among Chinese survey respondents, there were 224 males, accounting for 47.70%, and 246 females, accounting for 52.30%. The survey respondents of NHANES III included 1 494 males, accounting for 50.30%, and 1 474 females, accounting for 49.7%. After adjusting the covariates of gender, age, race, body mass index (BMI) and energy intake, CDAI was influencing factor of working memory (WM) of children aged 6 to 11 years (the China data: OR=1.04, 95%CI: 1.00-1.20, P=0.047; The NHANES III data: OR=1.13, 95%CI: 1.01-1.28, P=0.038). The WM was significantly and positively associated with vitamin C and zinc intake in children aged 6 to 11 years (the China data: zinc P=0.009, vitamin C P=0.030; The NHANES III data: Vitamin C P=0.040). **Conclusion** There is a significant correlation between CDAI and WM in children's cognitive function, and among the components that make up CDAI, the role of zinc and vitamin C is more pronounced. The results of this study suggest that the development of WM in children can be promoted by increasing the intake of dietary antioxidant nutrients.

[Key words] composite dietary antioxidant index; cognition; children

儿童时期是人生生长发育的关键时期,也是认知发展和大脑发育的黄金时期。儿童认知和大脑发育受环境、营养、身体活动等众多因素影响,营养是其中关键因素之一^[1-2]。国内外研究证据表明,膳食营养素摄入不足或不良饮食方式与认知能力下降之间存在关联^[3]。比如高糖饮食和高脂饮食,一定程度上会影响儿童的生长发育和认知功能^[4]。有研究指出,通过改善儿童的饮食结构,增加膳食中抗氧化剂的摄入,对于缓解心理障碍、认知障碍和记忆缺陷方面具有重要作用^[5]。氧化应激被认为是轻度认知障碍等疾病损伤可能的机制。相关研究表明,老年人认知功能下降与氧化损伤有关,摄入富含抗氧化营养素的食物可以降低老年人轻度认知功能障碍的发生率^[6]。同样,对于儿童来说,氧化还原平衡是机体维持健康和生长发育的重要基础^[7]。目前大多研究聚焦在单一抗氧化营养素与认知功能的关联,而日常生活中所摄入的食物种类繁多,膳食的抗氧

化能力是多种抗氧化营养素综合作用的结果。膳食抗氧化指数(composite dietary antioxidant index, CDAI)通过对膳食维生素 A、维生素 C、维生素 E、锌、硒和镁等组分的计算,反映日常膳食中的抗氧化能力^[8-9]。本研究旨在探讨 CDAI 与儿童认知功能的关联,为促进儿童认知功能的发展提供科学合理的膳食指导。报告如下。

1 资料与方法

1.1 资料来源及研究设计 本研究的数据来源于“中国儿童营养不良双重负担及其相关微量营养素缺乏的食物系统解决方案研究”项目(简称中国数据)和美国国家健康与营养调查(National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES III)。中国数据于 2023 年 3~12 月,采用分层多阶段整群随机抽样的方法,分别在河北省石家庄市、浙江省杭州市、陕西省榆林市以及山西省太原市四个城市各

抽取 150 名 6~11 岁儿童,合计 600 名,符合本研究的儿童 470 名。NHANES III 数据于 1988—1994 年,采用分层、多阶段、概率抽样的方法在美国 89 个随机地点调查了 5 081 名 6~11 岁儿童,符合本研究的儿童 2 968 名^[10]。

纳入标准:年龄 6~11 岁并且具有膳食数据和认知功能数据的调查对象。排除标准:①本身具有认知障碍;②缺失知情同意书;③缺失基础信息;④缺失认知功能、膳食数据;⑤异常能量。

1.2 研究方法

1.2.1 基本信息收集 本研究中的中国数据采用调查员面对面询问的方法,调查研究对象的性别、年龄、种族/民族、教育水平、健康信息、身体状况及饮食摄入情况。NHANES III 基本信息收集请访问链接: <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/index.htm>。

1.2.2 膳食调查 本研究的中国数据采用 24 h 膳食称重法,根据食物成分表计算各种营养素的摄入量。NHANES III 的膳食数据源自 2 次 24 h 饮食回顾访谈^[4],首次的饮食回顾是现场收集,第二次饮食回顾是在 3~10 d 后通过电话访谈,根据两次膳食调查的均值计算研究对象的各种营养素摄入量。根据抗氧化营养素的摄入量计算 CDAI,本研究纳入的抗氧化营养素为:锌、镁、硒、维生素 A、维生素 C 和维生素 E^[11-12]。

CDAI 的计算是通过调查对象抗氧化营养素的摄入量减去该抗氧化营养素的平均摄入量并除以调查对象的标准差来估计的,计算公式如下:

$$CDAI = \sum_{i=1}^{n=6} \frac{\text{individual intake} - \text{Mean}}{SD}$$

1.2.3 认知功能评估 本研究的认知功能评估主要使用了儿童认知测定基本认知能力测验(Primary Cognitive Abilities Test, PCAT)和韦氏智力测验(Wechsler Intelligence Scale for Children, WICS)。中国的调查对象主要使用 PCAT 和 WICS 的知觉推理测试(perceptual reasoning, PR)部分。NHANES III 认知测定主要采用 WISC-R 测试中的语言部分测试(Wide Range Achievement Test-Revised, WRAT-R)和表现测试(Wechsler Intelligence Scale for Children, WISC-R)。本文的两个横断面研究虽然采用了不同的认知功能测定方法,但在国际上都有一定的认可度,并且都测试了儿童的工作记忆和空间推理能力^[13-14]。

PCAT 旨在测量构成个体认知能力的多个基本要素,这些要素是人脑高级智能活动的基础,具体包

括加工速度测试(processing speed, PS)、工作记忆测试(working speed, WM)、情景记忆(episodic memory, EM)、知觉推理(perceptual reasoning, PR)和语言理解(verbal comprehension, VC)等方面。WICS 是当今国际心理学界公认的智力测验工具之一,用于测试儿童认知功能的发育情况。本研究采用其 WRAT-R 和 WISC-R 部分,包括块状设计测试(WISC/WRAT Block design scaled score, WWPBSCSR)、数字广度测试(WISC/WRAT Digit span scaled score, WWPDSCSR)、数学测试(WISC/WRAT Math scaled score, WWPMSCSR)、阅读测试(WISC/WRAT Reading scaled score, WWPRSCSR)。WWPBSCSR 和 WWPDSCSR 用于评估视觉空间推理和手眼协调能力以及工作记忆和注意力水平;WWPMSCSR 和 WWPRSCSR 用于评估个体的数学计算和阅读理解能力^[15]。

1.3 协变量 使用协变量调整回归分析,以控制并减少那些被认为与认知功能相关因素的影响。①人口学变量:种族、性别、教育水平;身体测量指标:体重指数(body mass index, BMI)。②饮食变量:膳食总能量。

1.4 质量控制 在中国数据的调查中,为保证数据质量,在研究开展前期对调查员进行统一培训,并要求考核通过后才能进行调查,采用统一的调查问卷和精密仪器;调查现场设立专门的质控员进行监督,包括问卷分发、现场秩序和问题解答;对回收的调查问卷及时审核,异常数据进行复测,并及时整理数据;调查数据采用双人录入,保证数据质量。在 NHANES III 调查中,要求调查人员均具备充足的专业知识,参与调查前,均进行统一专业培训,能够熟练掌握调查方法、解决应对调查中的问题;采用 CAPI 系统收集数据,提高调查效率的同时,还保证数据的完整性;质控人员对部分调查人员的征集数据进行再次访谈,对核实不一致的,重新开展调查。

1.5 统计学方法 应用 SPSS 22.0 和 R 4.2.1 统计软件分析数据。对纳入研究人群的基本特征进行统计描述,正态分布的计量资料以均值±标准差表示,非正态分布的计量资料以 M(QR)表示,计数资料以百分数表示。采用 Logistic 回归分析 CDAI 与研究对象认知功能的关系,关联强度用比值比(odds ratio, OR)和 95% 可信区间(95% confidence interval, 95% CI)表示。Logistic 总共构建了三个模型,模型 1 未调整任何协变量;模型 2 调整了年龄、性别;模型 3 在模型 2 的基础上调整了种族、BMI、教育程度、能量。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究对象的基本特征 中国数据包含 470 名调查对象,其中男性 224 名,占比 47.70%,女性 246 名,占 52.30%;平均年龄(9.92±0.92)岁;平均摄入

能量(1 703.33±531.68)kcal。在 NHANES III 数据中包含 2 968 名调查对象,其中男性 1 494 名,占 50.3%,女性 1 474 名,占 49.7%,平均年龄(8.55±1.71)岁;平均摄入能量(1 934.85±688.85)kcal。见表 1。

表 1 人群基本特征

Table 1 Basic characteristics of the population

组别	例数	性别(例数,%)		年龄 [M(QR),岁]	身高 [M(QR),cm]	体重 [M(QR),kg]	BMI [M(QR)]	能量 [M(QR),kcal]
		男性	女性					
中国数据	470	224(47.7)	226(52.3)	10.0(2.0)	141.1(10.9)	35.2(12.4)	17.8(4.9)	1 681.7(712.2)
NHANES III	2 968	1 494(50.3)	1 474(49.7)	9.0(3.0)	134.4(18.0)	30.9(14.3)	16.8(4.2)	1 836.3(892.6)

组别	例数	CDAI 组分					
		维生素 A [M(QR),mg]	维生素 C [M(QR),mg]	维生素 E [M(QR),mg]	锌[M(QR),mg]	硒[M(QR),μg]	镁[M(QR),mg]
中国数据	470	450.5(329.7)	63.0(66.1)	13.1(10.5)	9.6(4.9)	44.4(25.2)	239.0(137.4)
NHANES III	2 968	3 165.8(2 997.1)	78.8(95.0)	6.4(4.8)	9.0(5.6)	86.2(49.4)	220.0(126.3)

2.2 儿童认知功能与 CDAI 关联的多元 Logistic 分析 各个变量赋值表见表 2。在中国数据中,采用多元 Logistic 回归分析 6~11 岁儿童认知功能与 CDAI 的关联。在完全调整协变量后(模型 3),膳食 CDAI 是儿童 WM 发展的影响因素(OR=1.04, 95%CI:1.00~1.20, P=0.047),与其他功能区发展均无显著联系。随后又用 NHANES III 数据库,进行重复验证。同样在完全调整协变量(模型 3)后,结果同样表明:6~11 岁儿童的膳食 CDAI 是 WM 认知功能的影响因素(OR=1.13, 95%CI:1.01~1.28, P=0.038),见表 3。

2.3 儿童认知功能与各抗氧化营养素之间的关联性 采用多元 Logistic 回归分析儿童 WM 与各抗氧化营养素之间的关联。在中国数据中,调整协变量(模型 3)中,多元 Logistic 回归结果表明儿童摄入抗氧化剂中维生素 C(P=0.030)、锌(P=0.009)是 WM 的影响因素;影响儿童 PS 的抗氧化剂为维生素 A(P=0.012)、硒(P=0.014),见表 4。进一

步采用 NHANES III 数据库作为重复验证。在调整所有协变量(模型 3)分析发现:儿童 WWPBSCR 受抗氧化剂维生素 C(P=0.040)的影响;而儿童 WWPRSCR 受维生素 A(P=0.010)的影响较大,见表 5。

表 2 变量赋值表

Table 2 Variable assignment table

变量名		赋值	
自变量	中国	PS	<16=0; ≥16=1
		WM	<1.33=0; ≥1.33=1
		PM	<21=0; ≥21=1
		EM	<4=0; ≥4=1
		VC	<20=0; ≥20=1
		PR	<24=0; ≥24=1
NHANES III	WWPMSCSR	<2=0; ≥2=1	
	WWPRSCSR	<0=0; ≥0=1	
	WWPBSCSR	<2=0; ≥2=1	
	WWPDSCSR	<3=0; ≥3=1	
因变量	CDAI	连续变量	

表 3 复合膳食抗氧化指数与儿童各认知领域的多元 Logistic 回归

Table 3 Multivariate Logistic regression analysis of CDAI and various cognitive domains in children

变量	模型 1					
	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
中国						
PS	0.004	0.032	0.019	0.890	1.00	0.94~1.07
WM	0.077	0.028	7.663	0.006	1.08	1.02~1.14
PM	0.028	0.030	0.861	0.354	1.03	0.97~1.09
EM	0.002	0.027	0.006	0.937	1.00	0.95~1.06
VC	0.006	0.028	0.044	0.834	1.01	0.95~1.06
PR	-0.056	0.035	2.550	0.111	0.95	0.88~1.01
NHANES III						
WWPMSCSR	0.019	0.062	0.092	0.763	1.02	0.90~1.16
WWPRSCSR	-0.063	0.036	3.183	0.081	0.94	0.87~1.01
WWPBSCSR	-0.060	0.050	1.550	0.219	0.95	0.86~1.04
WWPDSCSR	0.040	0.032	1.546	0.220	1.04	0.98~1.11

表3 (续)

变量	模型3					
	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
中国						
PS	0.096	0.055	3.057	0.081	1.10	0.99~1.23
WM	0.090	0.045	3.963	0.047	1.04	1.00~1.20
PM	0.042	0.048	0.772	0.380	1.05	0.95~1.15
EM	0.010	0.044	0.053	0.818	1.01	0.93~1.10
VC	0.008	0.045	0.030	0.862	1.01	0.92~1.10
PR	-0.008	0.057	0.019	0.891	0.99	0.89~1.11
NHANES III						
WWPMSCSR	-0.031	0.063	0.246	0.622	0.97	0.85~1.10
WWPRSCSR	-0.048	0.044	1.218	0.276	0.95	0.87~1.04
WWPBSCSR	-0.048	0.050	0.926	0.341	0.95	0.86~1.05
WWPDSCSR	0.126	0.059	4.603	0.038	1.13	1.01~1.28

表4 中国人群的各抗氧化营养素与儿童各认知领域的多元 Logistic 回归

Table 4 Multivariate Logistic regression analysis of various antioxidant nutrients and various cognitive domains in Chinese children

变量	模型1					
	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
维生素 A						
PS	0.513	0.227	5.116	0.024	1.67	1.12~2.72
WM	-0.034	0.107	0.103	0.748	0.97	0.79~1.21
PM	-0.087	0.115	0.569	0.451	0.92	0.74~1.17
EM	-0.073	0.111	0.437	0.509	0.93	0.75~1.17
VC	-0.172	0.106	2.628	0.106	0.84	0.69~1.05
PR	-0.131	0.141	0.862	0.354	0.88	0.68~1.19
维生素 C						
PS	-0.106	0.127	0.692	0.406	0.90	0.71~1.18
WM	0.457	0.156	8.532	0.004	1.58	1.19~2.00
PM	0.381	0.173	4.855	0.028	1.46	1.08~2.13
EM	0.019	0.119	0.025	0.876	1.02	0.82~1.31
VC	0.111	0.131	0.723	0.396	1.12	0.88~1.47
PR	-0.265	0.131	4.075	0.044	0.77	0.60~1.01
维生素 E						
PS	-0.214	0.125	2.921	0.088	0.81	0.64~1.04
WM	0.317	0.129	6.058	0.014	1.37	1.08~1.79
PM	0.239	0.143	2.810	0.094	1.27	0.97~1.71
EM	-0.092	0.113	0.665	0.415	0.91	0.73~1.15
VC	0.087	0.125	0.482	0.488	1.09	0.86~1.41
PR	-0.094	0.155	0.372	0.542	0.91	0.68~1.26
锌						
PS	0.056	0.143	0.155	0.694	1.06	0.81~1.42
WM	0.379	0.130	8.559	0.004	1.46	1.14~1.90
PM	-0.015	0.123	0.016	0.901	0.98	0.78~1.27
EM	-0.002	0.117	0.001	0.989	1.00	0.80~1.27
VC	-0.051	0.117	0.192	0.662	0.95	0.76~1.20
PR	-0.093	0.155	0.358	0.550	0.91	0.68~1.26
硒						
PS	0.175	0.144	1.489	0.223	1.19	0.90~1.59
WM	0.157	0.112	1.950	0.163	1.17	0.94~1.46
PM	-0.064	0.123	0.274	0.601	0.94	0.74~1.20
EM	0.171	0.121	1.977	0.160	1.19	0.94~1.51
VC	0.159	0.124	1.663	0.198	1.17	0.92~1.50
PR	-0.199	0.156	1.641	0.201	0.82	0.61~1.12

表4 (续)

模型 3						
变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
锰						
PS	-0.101	0.132	0.587	0.444	0.90	0.70~1.18
WM	0.319	0.127	6.363	0.012	1.38	1.08~1.78
PM	0.205	0.138	2.222	0.137	1.23	0.95~1.63
EM	0.033	0.119	0.075	0.785	1.03	0.82~1.32
VC	0.018	0.121	0.023	0.880	1.02	0.81~1.30
PR	-0.210	0.145	2.084	0.149	0.81	0.62~1.09
维生素 A						
PS	0.639	0.254	6.333	0.012	1.90	1.21~3.26
WM	0.005	0.120	0.002	0.968	1.00	0.80~1.28
PM	-0.013	0.127	0.011	0.916	0.99	0.78~1.28
EM	-0.033	0.119	0.076	0.782	0.97	0.77~1.24
VC	-0.156	0.114	1.890	0.093	0.86	0.69~1.08
PR	-0.050	0.154	0.107	0.743	0.95	0.72~1.33
维生素 C						
PS	-0.048	0.148	0.106	0.745	0.95	0.72~1.30
WM	0.383	0.176	4.738	0.030	1.47	1.07~2.13
PM	0.429	0.203	4.471	0.035	1.54	1.07~2.37
EM	0.019	0.137	0.019	0.891	1.02	0.79~1.36
VC	0.138	0.149	0.861	0.354	1.15	0.87~1.57
PR	-0.211	0.153	1.883	0.171	0.81	0.61~1.12
维生素 E						
PS	-0.176	0.175	1.012	0.315	0.84	0.60~1.19
WM	0.179	0.177	1.018	0.314	1.20	0.85~1.72
PM	0.280	0.203	1.901	0.169	1.32	0.90~2.01
EM	-0.185	0.159	1.352	0.246	0.83	0.61~1.14
VC	0.114	0.175	0.428	0.513	1.12	0.84~1.60
PR	0.172	0.221	0.606	0.437	1.19	0.79~1.88
锌						
PS	0.395	0.241	2.690	0.102	1.48	0.96~2.46
WM	0.505	0.191	6.994	0.009	1.66	1.16~2.46
PM	-0.033	0.166	0.038	0.845	0.97	0.71~1.37
EM	0.001	0.169	0.000	0.996	1.00	0.73~1.42
VC	-0.108	0.157	0.469	0.494	0.90	0.67~1.24
PR	0.241	0.254	0.906	0.342	1.27	0.81~2.19
硒						
PS	0.460	0.187	6.042	0.014	1.58	1.10~2.30
WM	0.031	0.146	0.045	0.833	1.03	0.78~1.38
PM	-0.205	0.158	1.690	0.194	0.81	0.60~1.11
EM	0.284	0.159	3.195	0.075	1.33	0.98~1.82
VC	0.207	0.158	1.706	0.192	1.23	0.91~1.69
PR	-0.004	0.201	0.000	0.984	1.00	0.68~1.49
锰						
PS	0.070	0.214	0.106	0.745	1.07	0.73~1.69
WM	0.193	0.195	0.976	0.324	1.21	0.85~1.83
PM	0.320	0.238	1.819	0.178	1.38	0.90~2.27
EM	0.065	0.188	0.120	0.730	1.07	0.75~1.58
VC	0.002	0.190	0.000	0.992	1.00	0.70~1.49
PR	-0.026	0.234	0.012	0.912	0.97	0.64~1.62

表5 NHANES III人群各抗氧化营养素与儿童认知功能的 Logistic 回归
 Table 5 Multivariate Logistic regression analysis of various antioxidant nutrients and various cognitive domains in children of the NHANES III

变量	模型1					
	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
维生素 A						
WWPMSCSR	0.120	0.129	0.859	0.359	1.13	0.87~1.46
WWPRSCSR	-0.171	0.052	10.665	0.002	0.84	0.76~0.94
WWPBSCSR	0.047	0.129	0.130	0.720	1.05	0.81~1.36
WWPDSCSR	0.198	0.195	1.027	0.316	1.22	0.82~1.81
维生素 C						
WWPMSCSR	-0.144	0.256	0.319	0.575	0.87	0.52~1.45
WWPRSCSR	-0.201	0.206	0.957	0.333	0.82	0.54~1.24
WWPBSCSR	-0.377	0.182	4.278	0.044	0.69	0.48~0.99
WWPDSCSR	0.227	0.184	1.522	0.223	1.25	0.87~1.81
维生素 E						
WWPMSCSR	0.368	0.215	2.923	0.094	1.44	0.94~2.23
WWPRSCSR	-0.006	0.122	0.002	0.963	0.99	0.78~1.27
WWPBSCSR	0.005	0.112	0.002	0.963	1.01	0.80~1.26
WWPDSCSR	0.013	0.091	0.020	0.889	1.01	0.84~1.22
锰						
WWPMSCSR	0.009	0.268	0.001	0.973	1.01	0.59~1.73
WWPRSCSR	-0.342	0.161	4.527	0.039	0.71	0.51~0.98
WWPBSCSR	-0.263	0.276	0.907	0.346	0.77	0.44~1.34
WWPDSCSR	0.071	0.152	0.216	0.644	1.07	0.79~1.46
硒						
WWPMSCSR	0.430	0.291	2.176	0.147	1.54	0.86~2.76
WWPRSCSR	-0.140	0.218	0.413	0.524	0.87	0.56~1.35
WWPBSCSR	-0.184	0.102	3.268	0.077	0.83	0.68~1.02
WWPDSCSR	-0.061	0.200	0.093	0.761	0.94	0.63~1.41
锌						
WWPMSCSR	0.094	0.219	0.187	0.668	1.10	0.71~1.71
WWPRSCSR	-0.114	0.082	1.957	0.168	0.89	0.76~1.05
WWPBSCSR	-0.062	0.097	0.416	0.522	0.94	0.77~1.14
WWPDSCSR	0.166	0.286	0.336	0.565	1.18	0.66~2.10
变量	模型3					
	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
维生素 A						
WWPMSCSR	0.097	0.136	0.507	0.480	1.10	0.84~1.45
WWPRSCSR	-0.146	0.054	7.349	0.010	0.86	0.77~0.96
WWPBSCSR	0.095	0.137	0.483	0.491	1.10	0.83~1.45
WWPDSCSR	1.300	0.760	2.240	0.325	1.30	0.76~2.24
维生素 C						
WWPMSCSR	-0.207	0.280	0.545	0.464	0.81	0.46~1.43
WWPRSCSR	-0.149	0.214	0.482	0.491	0.86	0.56~1.33
WWPBSCSR	-0.337	0.159	4.483	0.040	0.71	0.52~0.98
WWPDSCSR	0.297	0.189	2.461	0.124	1.34	0.92~1.97
维生素 E						
WWPMSCSR	0.307	0.456	0.453	0.505	1.36	0.54~3.41
WWPRSCSR	0.313	0.291	1.161	0.287	1.37	0.76~2.46
WWPBSCSR	0.265	0.344	0.591	0.446	1.30	0.65~2.61
WWPDSCSR	0.032	0.131	0.060	0.807	1.03	0.79~1.35
锰						
WWPMSCSR	-0.268	0.328	0.669	0.418	0.76	0.39~1.48
WWPRSCSR	-0.265	0.211	1.575	0.216	0.77	0.50~1.17
WWPBSCSR	-0.232	0.386	0.361	0.551	0.79	0.36~1.73
WWPDSCSR	0.311	0.257	1.470	0.232	1.36	0.81~2.29

表5 (续)

硒						
WWPMSCSR	0.183	0.291	0.396	0.533	1.20	0.67~2.16
WWPRSCSR	0.322	0.347	0.860	0.359	1.38	0.69~2.78
WWPBSCSR	0.013	0.353	0.001	0.970	1.01	0.50~2.07
WWPDSCSR	-0.175	0.221	0.628	0.432	0.84	0.54~1.31
锌						
WWPMSCSR	-0.122	0.086	2.018	0.163	0.89	0.74~1.05
WWPRSCSR	-0.040	0.090	0.196	0.661	0.96	0.80~1.15
WWPBSCSR	0.064	0.153	0.176	0.677	1.07	0.78~1.45
WWPDSCSR	0.374	0.314	1.419	0.240	1.45	0.77~2.74

3 讨 论

先前的研究表明,摄入抗氧化营养素可以减少老年人轻度认知功能障碍的发生^[16]。此外,还有利于改善情绪,减少焦虑、抑郁和认知缺陷的发生。儿童阶段是大脑认知功能发展的黄金时期,早期的营养干预,更有利于认知功能的发展^[17-18]。近年来,随着国民经济水平得改变,许多国家儿童饮食和生活方式也随之发生改变,比如高糖、高脂食物摄入量的增加,一定程度上会影响儿童的身体发育健康。健康的饮食习惯对儿童青少年的认知功能和学术成就发展有积极的影响^[4]。本研究通过两个横断面研究分析,发现儿童 CDAI 与 WM 部分具有显著关联。WM 是指在处理复杂的认知活动过程中,负责暂时存储和整合信息的认知系统,也是学习、推理、问题解决和智力活动的重要成分^[19]。对于儿童来说,WM 能很好的反映日后的学习、工作情况^[20]。同时也有研究表明,认知功能衰退与 WM 密切相关,因此维持 WM 的正常发育至关重要^[21]。最近的一项系统综述表明,许多营养素均对认知功能具有有益作用,B 族维生素、维生素 D、维生素 E、 α -硫辛酸和 ω -3 脂肪酸等营养素均与记忆、智力、词汇、阅读和日常功能等密切相关^[22]。因此更合理的饮食,对于儿童时期生长发育及认知功能发展至关重要。

氧化应激是由反应活性氧和反应活性氮的生成和清除之间的不平衡引起的,在神经退行性疾病、大脑老化以及其他相关的不良状况中发挥着重要角色^[22-23]。大脑非常容易受到氧化应激的影响,而处理氧化应激造成的损伤较为困难,主要由于脑细胞是不可再生的,氧化应激损伤后难以恢复。一项关于 NHANES III 的横断面研究发现,CDAI 是抑郁症发展的保护因素,抑郁症患者的氧化应激水平较高,研究进一步提示了摄入抗氧化营养素可以通过减缓氧化应激发挥有益作用^[24]。

许多研究表明,单一抗氧化营养素与认知存在

显著相关性,但目前关于儿童认知功能与抗氧化营养素之间关系的研究有限。在对老年人的研究显示,富含抗氧化剂的膳食模式或摄入富含抗氧化活性的营养素对认知功能有较积极的影响^[25]。本研究结果显示,摄入富含抗氧化营养素的食物是儿童工作记忆的影响因素,进一步分析儿童各抗氧化营养素的摄入与认知功能的关联,发现儿童 PS 受维生素 A、硒的摄入量影响;儿童 WWPRSCR 由维生素 A 的摄入量影响;有研究表明,摄入较多的维生素 A、维生素 C 和维生素 E,有助于预防与年龄相关性神经元衰退相关的氧化应激^[26]。硒是一种具有抗氧化和抗炎活性的微量元素,具有神经保护作用,一项系统综述发现硒具有缓解认知障碍的作用^[2]。因此,在儿童期间增加维生素 A、硒的摄入,有利于儿童数学计算、阅读能力的提升以及提高儿童信息加工效率。

本研究结果显示,儿童 WM 受抗氧化剂维生素 C、锌摄入量的影响。提示提高维生素 C、锌的摄入有利于儿童 WM 的发育,对以后的学习、工作有益。既往研究显示,锌主要通过激活促生存和促死亡的神经元信号通路来影响大脑神经传递和感觉处理,减少氧化应激引起的认知障碍^[27]。目前已有研究证实锌缺乏与儿童认知和运动密切相关,锌缺乏可能是通过改变注意力、活动、神经心理行为和运动发育来影响认知发展,关于具体的机制目前尚不清楚^[28]。目前,已有研究报道维生素 B12、维生素 E^[24]、维生素 A^[29] 等单一抗氧化营养素对健康老年人和认知障碍患者大脑健康和认知功能的益处。但是,在日常生活中摄入的营养素种类多样,单一营养素并不能代表饮食中的总抗氧化能力且不能达到人体生长发育及认知发展的营养需求。因此,研究儿童复合膳食抗氧化指数与认知功能发展之间的关联性具有重要的临床意义。

本研究的优势:①本研究为营养干预促进儿童认知功能发展提供了理论依据,为预防儿童轻度认知功能障碍的发生和发展提供科学合理的膳食指

导;②本研究考虑了膳食的总抗氧化能力,未局限于单一营养素,更能代表日常膳食的抗氧化作用;③本研究探讨了中国儿童的 CDAI 和认知功能的关联性,并采用 NHANES III 数据库进行了重复验证,提高结果的可信度;④本研究的 2 个横断面研究采用不同的认知功能测定方法,2 个方法都得到了学术上的认可,2 种认知测定方法不同,但都反映了儿童各认知模块的工作记忆部分,可用来评估儿童的认知功能水平。2 个数据库进行双重验证,结果更具有可信度。本研究的局限性:①本研究虽然对膳食 CDAI 和认知功能的关联得到了数据支持,但尚未深入了解其机制,未来有必要对相关机制进一步探究;②NHANES III 的饮食评估是通过两次单独的 24 h 饮食回忆访谈进行的,膳食数据可能存在一定测量误差;③考虑本研究到横断面的性质,无法证实 CDAI 与认知功能之间的因果关系。

[参考文献]

- [1] Hill LJ, Shire KA, Allen RJ, et al. Large-scale assessment of 7-11-year-olds' cognitive and sensorimotor function within the Born in Bradford longitudinal birth cohort study [J]. Wellcome Open Res, 2021, 6: 53.
- [2] Norris SA, Frongillo EA, Black MM, et al. Nutrition in adolescent growth and development [J]. Lancet, 2022, 399 (10320): 172-184.
- [3] Nakamura Y, Yamasaki S, Okada N, et al. Macronutrient intake is associated with intelligence and neural development in adolescents [J]. Front Nutr, 2024, 11: 1349738.
- [4] PeñA-Jorquera H, Martínez-Flores R, ESpiñoza-Puelles JP, et al. Adolescents with a favorable mediterranean-style-based pattern show higher cognitive and academic achievement; a cluster analysis-the cogni-action project [J]. Nutrients, 2024, 16(5): 608.
- [5] Bayranj Z, Fotros D, Sohoul M, et al. The relation between MIND diet with odds of attention-deficit/hyperactivity disorder in Iranian children; a case-control study [J]. Child Neuropsychol, 2024, 8: 1-15.
- [6] Ma R, Zhou X, Zhang G, et al. Association between composite dietary antioxidant index and coronary heart disease among US adults: a cross-sectional analysis [J]. BMC Public Health, 2023, 23(1): 2426.
- [7] Cohen Kadosh K, Muhardi L, Parikh P, et al. Nutritional support of neurodevelopment and cognitive function in infants and young children-an update and novel insights [J]. Nutrients, 2021, 13(1): 199.
- [8] Xu Q, Qian X, Sun F, et al. Independent and joint associations of dietary antioxidant intake with risk of post-stroke depression and all-cause mortality [J]. J Affect Disord, 2023, 322: 84-90.
- [9] Muth AK, Park SQ. The impact of dietary macronutrient intake on cognitive function and the brain [J]. Clin Nutr, 2021, 40(6): 3999-4010.
- [10] Yan X, Xu Y, Huang J, et al. Association of consumption of sugar-sweetened beverages with cognitive function among the adolescents aged 12-16 years in US, NHANES III, 1988-1994 [J]. Front Nutr, 2022, 9: 939820.
- [11] Zhou H, Li T, Li J, et al. Linear association of compound dietary antioxidant index with hyperlipidemia: a cross-sectional study [J]. Front Nutr, 2024, 11: 1365580.
- [12] Sheng LT, Jiang YW, Feng L, et al. Dietary total antioxidant capacity and late-life cognitive impairment: the singapore Chinese health study [J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2022, 77(3): 561-569.
- [13] Peeri NC, Egan KM, Chai W, et al. Association of magnesium intake and vitamin D status with cognitive function in older adults: an analysis of US National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2011 to 2014 [J]. Eur J Nutr, 2021, 60(1): 465-474.
- [14] 张玲, 陈邓, 刘凌. 膳食炎症指数与罹患癫痫风险的关系研究——基于 NHANES 调查数据的横断面分析 [J]. 中风与神经疾病杂志, 2024, 41(6): 499-506, 577.
- [15] Mavrea K, Efthymiou V, Katsibardi K, et al. Cognitive function of children and adolescent survivors of acute lymphoblastic leukemia: A meta-analysis [J]. Oncol Lett, 2021, 21(4): 262.
- [16] Jiang H, Zhu W, Li B, et al. Prospective observational studies on nutrition intake and the incidence of cognitive impairment in middle-aged and older adults: A protocol for systematic review and meta-analysis [J]. PLoS One, 2023, 18(6): e0287852.
- [17] Buro AW, Gray HL, Kirby RS, et al. Diet quality in an ethnically diverse sample of children and adolescents with autism spectrum disorder compared with nationally representative data [J]. Disabil Health J, 2021, 14(1): 100981.
- [18] Singh S, Awasthi S, Kumar D, et al. Micronutrients and cognitive functions among urban school-going children and adolescents: A cross-sectional multicentric study from India [J]. PLoS One, 2023, 18(2): e0281247.
- [19] Skalaban LJ, Cohen AO, Conley MI, et al. Adolescent-specific memory effects: evidence from working memory, immediate and long-term recognition memory performance in 8-30 yr olds [J]. Learn Mem, 2022, 29(8): 223-233.
- [20] 蒋家丽, 戚玥, 雷秀雅, 等. 符号与非符号空间—数字反应编码联合效应的发展: 言语能力、视空间能力和工作记忆的作用 [J]. 心理学报, 2024, 56(6): 714-730.
- [21] Krieger V, Amador-Campos JA. Clinical presentations of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) in children and adolescents: comparison of neurocognitive performance [J]. Child Neuropsychol, 2021, 27(8): 1024-1053.
- [22] Dm T, Ag N, Li L, et al. An overview of oxidative stress, neuroinflammation, and neurodegenerative diseases [J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(11): 5938.
- [23] Papathanasiou IV, Fradelos EC, Malli F, et al. A systematic

- review of observational studies assessing the impact of oxidative stress in cognitive decline[J]. *Wiad Lek*, 2021, 74(8):1995-2003.
- [24] Alghadir AH, Gabr SA, Anwer S, et al. Associations between vitamin E, oxidative stress markers, total homocysteine levels, and physical activity or cognitive capacity in older adults[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):12867.
- [25] 陈绍敏, 张亭亭. 老年阿尔兹海默症患者认知功能与氧化应激指标关系的研究进展[J]. *公共卫生与预防医学*, 2024, 35(3):123-127.
- [26] Guarnieri L, Bosco F, Leo A, et al. Impact of micronutrients and nutraceuticals on cognitive function and performance in Alzheimer's disease[J]. *Ageing Res Rev*, 2024, 95:102210.
- [27] Krall RF, Tzounopoulos T, Aizenman E. The function and regulation of zinc in the brain[J]. *Neuroscience*, 2021, 457:235-258.
- [28] Meli AM, Ali A, Mhd Jalil AM, et al. Effects of physical activity and micronutrients on cognitive performance in children aged 6 to 11 years: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 58(1):57.
- [29] González RP, De La Cruz-Góngora V, Rodríguez AS. Serum retinol levels are associated with cognitive function among community-dwelling older Mexican adults[J]. *Nutr Neurosci*, 2022, 25(9):1881-1888.

(本文编辑:赵丽洁)