DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025060

· 学生营养 ·

膳食宏量营养素与学龄儿童肺功能关联的前瞻性研究

李露[1],陈梦雪[2],李蕊瑞[1],刘雪婷[1],汪晓语[2],徐裕杰[2],熊静远[1],成果[2,3]

1. 四川大学华西公共卫生学院/华西第四医院,成都 610041;2.四川大学华西第二医院妇儿营养中心;
3.四川大学华西护理学院

【摘要】 **目的** 探究学龄儿童膳食宏量营养素与肺功能的纵向关联,为促进儿童肺健康提供营养研究证据。**方法** 2021 年 11 月,采用分层整群随机抽样方法从中国西南儿童营养与生长(SCCNG)队列中选取 2 所位于四川省成都市的小学,共纳入 1 112 名 8~13 岁学龄儿童,基线时调查儿童的膳食、社会人口学特征等,随访 1 年后测量儿童的用力肺活量(FVC)并将其转换为 Z 评分(FVC-Z),同时计算肺活量指数(VCI);采用广义线性回归分析膳食宏量营养素与肺功能的关联,及其与性别和年龄的交互作用,并进行分层分析。**结果** 广义线性回归模型分析结果显示,调整混杂因素后,碳水化合物供能比与学龄儿童 FVC-Z(β=-0.02)和 VCI(β=-0.16)均呈负相关,脂肪供能比与 FVC-Z(β=0.03)和 VCI(β=0.23)均呈正相关(P 值均<0.05);蛋白质供能比仅在女童中与 FVC-Z(β=0.09)和 VCI(β=0.60)呈正相关(P 值均<0.05);年龄对宏量营养素和肺功能关联有交互作用($P_{交互}$值均<0.01),在 8~9 和 10~11 岁儿童中,碳水化合物供能比与 FVC-Z(β 值分别为-0.04,-0.03)和 VCI(β 值分别为-0.29,-0.21)均呈负相关,脂肪供能比与 FVC-Z(β 值分别为 0.07,0.05)和 VCI(β 值分别为 0.46,0.32)均呈正相关(P 值均<0.05)。**结论** 膳食宏量营养素与儿童肺功能的关联存在年龄和性别差异。低碳水高脂肪的膳食对儿童肺功能有促进作用,蛋白质对女童肺功能有促进作用,学龄儿童早期可能是膳食干预肺功能的窗口期。

【关键词】 营养状况;膳食调查;肺;回归分析;儿童

【中图分类号】 R 179 R 153.2 Q 471 【文献标识码】 A 【文章编号】 1000-9817(2025)02-0200-05

Prospective study of association between dietary macronutrients and lung function in school-aged children/*LI Lu**, *CHEN Mengxue, LI Ruirui, LIU Xueting, WANG Xiaoyu, XU Yujie, XIONG Jingyuan, CHENG Guo.* **West China School of Public Health/West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu* (610041), *Sichuan Province, China*

【**Abstract**】 **Objective** To explore the longitudinal associations between dietary macronutrients and lung function in school-aged children, so as to provide the nutritional research evidence for promoting children's lung health. **Methods** In November 2021, two primary schools located in Chengdu, Sichuan Province were selected from the Southwest China Childhood Nutrition and Growth (SCCNG) cohort by a stratified cluster random sampling method, enrolling a total of 1 112 school-aged children aged 8 to 13 years. At baseline, the dietary and sociodemographic characteristics of the children were assessed. One year later, the forced vital capacity (FVC) of the children was measured and converted into Z-scores (FVC-Z), while the vital capacity index (VCI) was also calculated. Generalized linear regression analysis was employed to examine the associations between dietary macronutrients and lung function, considering interactions with gender and age, followed by stratified analysis. **Results** After adjusting for confounding factors, the analysis results of the generalized linear regression model showed that the carbohydrate energy ratio was negatively correlated with FVC-Z (β=-0.02) and VCI (β=-0.16), while the fat energy ratio showed a positive correlation with FVC-Z (β=0.03) and VCI (β=0.23) (P<0.05). The protein energy ratio was positively correlated with FVC-Z (β=0.09) and VCI (β=0.60) specifically in girls (P<0.05). Additionally, there was an interaction effect of age on the associations between macronutrients and lung function (P<0.01); in children aged 8-9 and 10-11, the carbohydrate energy supply ratio was negatively correlated with FVC-Z (β=-0.04, -0.03) and VCI (β=-0.29, -0.21), and fat energy supply ratio was positively correlated with FVC-Z (β=0.07, 0.05) and VCI (β=0.46, 0.32) (P<0.05). **Conclusions** There are age and sex differences in the association of dietary macronutrients with lung function, with a low-carbohydrate, high-fat diet promoting lung function in children. Additionally, protein intake appears to have a positive influence on the lung function of girls. The early school-age period may represent a critical window for dietary interventions aimed at promoting lung health.

【**Keywords**】 Nutritional status; Diet surveys; Lung; Regression analysis; Child

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目(82173512);国家自然科学基金青年科学基金项目(82304135);四川省科技厅应用基础项目(2021YJ0156)

【作者简介】 李露(1999-),女,陕西安康人,在读硕士,主要研究方向为营养与健康。

【通信作者】 成果,E-mail:ehw_cheng@126.com

肺功能发育受多个宿主和环境因素影响,在人群中呈现出不同的发育模式,即存在一系列肺功能轨迹[1]。越来越多的证据表明,低于平均轨迹的肺功能与不良健康结局密切相关,不仅易导致哮喘、肺炎、慢阻肺等呼吸系统相关疾病,还可造成心血管、代谢和神经心理多器官系统的健康损害[2-3]。研究表明肺功能轨迹大多建立于儿童早期[4],儿童早期作为肺发育可能的窗口期会发生追赶生长和生长迟缓[5],因此关注儿童早期发育将有助于实现一生中最大化肺功能并预防相关不良健康结局的危害。研究表明,维生素、膳食纤维、奶制品等膳食因素与儿童肺部健康关系密切[6-8]。本研究利用中国西南儿童营养与生长(Southwest China Childhood Nutrition and Growth, SCCNG)前瞻性研究数据,探讨三大宏量营养素与学龄儿童肺功能的关联及其年龄和性别差异,为促进儿童肺健康提供理论依据。

1　对象与方法

1.1　对象　采用分层整群随机抽样方法从 SCCNG 队列[9]中选取 2 所位于四川省成都市的小学,在每所学校的二至五年级中以年级分层,采用随机数字表法抽取 3~4 个班级,每个班级作为整体纳入研究,共抽取 30 个班级 1 196 名儿童。2021 年 11 月,调查人员通过问卷收集研究对象的社会人口学资料、膳食摄入、体力活动和久坐行为等信息。1 年后进行随访,测量儿童的身高、体重、用力肺活量(forced vital capacity, FVC)等身体指标。过程中 35 名儿童因转学或健康相关原因被排除,49 名儿童因膳食或其他信息数据缺失超过 50%被排除[10],最终 1 112 名儿童被纳入分析。其中女童 571 名,男童 541 名;年龄 8~13 岁。研究获得四川大学华西公共卫生学院(华西第四医院)伦理委员会批准,调查对象监护人均同意并签订知情同意书。

1.2　调查方法

1.2.1　膳食数据　由经过统一培训的调查人员使用经过验证并具有一定地域(云南、贵州、四川)特色的半定量食物频率问卷(Food Frequency Questionnaire, FFQ)[11]实施膳食调查。参与者被要求回忆过去 1 年每种食物(米饭、面条、玉米、豆制品、肉等约 40 项)的消费频率:每天、每周、每月、每年或从不;估计每次的摄入量。为了提高估计份量的准确性,研究提供了标准餐具,包括碗、盘子和玻璃杯。总能量的摄入量和宏量营养素摄入量根据《中国食物成分表》[12]进行评估,具体是将每种食物的每日平均摄入量与其对应的宏量营养素或能量相乘,再将所有食物的每日宏量营养素或能量摄入量相加得到研究对象的每日宏量营养素或能量摄入量。

1.2.2　肺功能　FVC 和肺活量指数(vital capacity index, VCI)是儿童使用最普遍的肺功能测量指标,可以较好地体现儿童肺发育状况[13]。采用电子肺活量计(型号:EMOVC-101AII)测量学生的 FVC,并计算 VCI=FVC(mL)/体重(kg)。根据全球肺功能倡议(global lung function initiative, GLI)曲线,将 FVC 转换为 FVC-Z 评分,并调整性别、年龄、身高和地区等因素[14],采用 GLI R 宏进行计算(可从 https://github.com/thlytras/rspiro 获取)[6]。

1.2.3　体格测量　由培训合格的调查人员采用统一的方法和校准的仪器测量儿童的身高、体重。受检者穿轻便衣裤、赤脚、自然站立,保持身体平稳。身高精确到 0.1 cm,体重精确到 0.1 kg。体质量指数(body mass index, BMI)=体重(kg)/[身高(m)]^2。根据 Cole[15]提出的公式将 BMI 转换为 Z 评分,该公式的计算基于中国儿童青少年的参考人群标准[16]。

1.2.4　协变量评估　性别、出生日期、母亲文化水平、家庭月收入、是否暴露于吸烟环境根据基线时自我报告的问卷获得;体力活动和久坐行为根据基线时经过有效验证的体力活动问卷获得[17],根据《儿童青少年身体活动能量消耗纲要》[18]确定各项身体活动的代谢当量(metabolic equivalent of task, MET),由此计算学龄儿童的中高强度体力活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)。

1.3　质量控制　在调查开展前,研究团队对调查员进行统一严格的培训,以确保工作标准的一致性。在问卷调查阶段,调查员以面对面的方式指导参与者填写问卷,并及时解答相关疑问,以提高参与者的配合度和数据的可靠性。与此同时,采用食物图谱和标准餐具等辅助工具进行定量测量,以确保饮食信息的准确记录。在所有问卷经过核实后再收回,以确保数据的完整性。在信息录入阶段,采用双人双录入的方式,并由专门人员进行仔细校对,确保数据的准确性和完整性后再将其安全存入数据库。

1.4　统计学分析　数据采用 EpiData 3.1 软件双录入,使用 SAS 9.4 软件进行数据分析。经正态性检验,调查涉及的定量资料均不符合正态分布,故采用中位数和四分位数描述;分类变量采用频数和百分比描述。使用 χ^2 检验比较分类资料,Wilcoxon 检验比较定量资料。采用广义线性回归模型分析膳食宏量营养素供能比与儿童肺功能的关联。进一步对性别和年龄进行交互作用和分层分析。统计学检验均为双侧检验,检验水准 $\alpha=0.05$。

2　结果

2.1　纳入对象的基本特征　1 112 名完成随访的学龄

儿童碳水化合物摄入量中位数为 346.5 g/d,供能比为 64.9%;蛋白质摄入量中位数为 79.5 g/d,供能比为 14.9%;脂肪摄入量中位数为 46.8 g/d,供能比为 20.2%。与男童相比,女童 BMI-*Z* 更高[男女童分别为-0.1(-0.8,0.7),0.2(-0.6,1.0)],每周 MVPA 时间更少[416.0(260.0,590.0),340.0(230.0,497.0) min],VCI 更小[53.9(39.0,70.2),51.4(36.6,65.1) mL/kg](*Z* 值分别为-3.93,4.37,3.52,*P* 值均<0.05)。

2.2 学龄儿童宏量营养素供能比与肺功能的关系 广义线性回归分析结果显示,在模型 1 和 2 中,碳水化合物供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈负相关,脂肪供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈正相关(*P* 值均<0.05);蛋白质供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 的相关性均无统计学意义(*P* 值均>0.05)。见表 1。

表 1 宏量营养素供能比与学龄儿童肺功能关联的广义线性回归分析[β 值(95%*CI*),*n*=1 112]

Table 1 Generalized linear regression analysis of association between macronutrient energy ratios and lung function in school-aged children[β(95%*CI*),*n*=1 112]

宏量营养素供能比	FVC-*Z*		VCI	
	模型 1	模型 2	模型 1	模型 2
碳水化合物	-0.03(-0.05~-0.01)**	-0.02(-0.04~-0.01)**	-0.21(-0.38~-0.05)*	-0.16(-0.28~-0.03)*
蛋白质	0.03(-0.03~0.08)	0.04(-0.01~0.09)	0.11(-0.35~0.58)	0.25(-0.10~0.60)
脂肪	0.05(0.02~0.08)**	0.03(0.01~0.06)**	0.38(0.15~0.60)**	0.23(0.06~0.40)**

注: *P<0.05, **P<0.01;模型 1 未调整混杂因素;模型 2 调整了性别、年龄、BMI-*Z*、母亲文化水平、家庭月收入、是否暴露于吸烟环境、MVPA、久坐行为、能量摄入;因变量 FVC-*Z*、VCI 与自变量碳水化合物、蛋白质和脂肪供能比均为连续型变量。

2.3 性别与年龄的交互作用和分层分析 进一步对性别和年龄进行交互作用和分层分析,结果见表 2~3。研究未观察到性别对宏量营养素供能比与肺功能关联的交互作用有统计学意义。但是按性别分层并调整混杂因素后,女童的碳水化合物供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈负相关,蛋白质供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈正相关,脂肪供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈正相关(*P* 值均<0.05);而在男童中未见统计学关联(*P* 值均>0.05)。

年龄与三大宏量营养素供能比和肺功能关联都存在交互作用($P_{交互}$ 值均<0.01)。按年龄分层并调整混杂因素后,在 8~9 和 10~11 岁儿童中,碳水化合物供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈负相关,脂肪供能比与 FVC-*Z* 和 VCI 均呈正相关(*P* 值均<0.05);在 12~13 岁儿童中未观察到统计学关联(*P* 值均>0.05)。

表 2 不同性别儿童宏量营养素供能比与肺功能关联的广义线性回归分析[β 值(95%*CI*)]

Table 2 Generalized linear regression analysis of association between macronutrient energy ratios and lung function in children of different genders[β(95%*CI*)]

因变量	自变量	男童(*n*=541)		女童(*n*=571)		$P_{交互}$值
		模型 1	模型 2	模型 1	模型 2	
FVC-*Z*	碳水化合物	-0.02(-0.05~0.01)	-0.01(-0.04~0.01)	-0.04(-0.07~-0.01)**	-0.04(-0.06~-0.01)**	0.19
	蛋白质	-0.01(-0.08~0.08)	-0.01(-0.08~0.06)	0.06(-0.02~0.14)	0.09(0.02~0.16)*	0.06
	脂肪	0.04(0.01~0.08)*	0.03(-0.01~0.06)	0.06(0.02~0.09)**	0.04(0.01~0.08)*	0.47
VCI	碳水化合物	-0.16(-0.40~0.08)	-0.09(-0.27~0.10)	-0.29(-0.51~-0.06)*	-0.23(-0.40~-0.06)**	0.28
	蛋白质	-0.08(-0.74~0.58)	-0.06(-0.57~0.45)	0.40(-0.24~1.04)	0.60(0.12~1.08)*	0.07
	脂肪	0.35(0.03~0.67)*	0.19(-0.06~0.44)	0.42(0.11~0.73)**	0.28(0.05~0.51)*	0.67

注: *P<0.05, **P<0.01;模型 1 未调整混杂因素;模型 2 调整了年龄、BMI-*Z*、母亲文化水平、家庭月收入、是否暴露于吸烟环境、MVPA、久坐行为、能量摄入;$P_{交互}$ 值根据模型 2 计算性别与三大宏量营养素的交互作用;因变量 FVC-*Z*、VCI 与自变量碳水化合物、蛋白质和脂肪供能比均为连续型变量。

表 3 不同年龄组儿童宏量营养素供能比与肺功能的广义线性回归分析[β 值(95%*CI*)]

Table 3 Generalized linear regression analysis of association between macronutrient energy ratios and lung function in children of different ages[β(95%*CI*)]

因变量	自变量	8~9 岁(*n*=191)		10~11 岁(*n*=541)		12~13 岁(*n*=380)		$P_{交互}$值
		模型 1	模型 2	模型 1	模型 2	模型 1	模型 2	
FVC-*Z*	碳水化合物	-0.06(-0.10~-0.01)**	-0.04(-0.08~-0.01)*	-0.03(-0.06~-0.01)*	-0.03(-0.06~-0.01)**	0.02(-0.02~0.06)	0.02(-0.01~0.05)	<0.01
	蛋白质	0.10(-0.02~0.22)	0.05(-0.06~0.17)	0.04(-0.04~0.12)	0.06(-0.01~0.13)	-0.09(-0.19~0.01)	-0.05(-0.14~0.03)	<0.01
	脂肪	0.09(0.03~0.14)**	0.07(0.01~0.12)*	0.06(0.02~0.09)**	0.05(0.02~0.08)**	-0.02(-0.08~0.03)	-0.03(-0.08~0.01)	<0.01
VCI	碳水化合物	-0.49(-0.88~-0.09)*	-0.29(-0.58~-0.00)*	-0.22(-0.45~0.01)	-0.21(-0.38~-0.04)*	0.16(-0.15~0.46)	0.14(-0.10~0.38)	<0.01
	蛋白质	0.83(-0.30~1.96)	0.40(-0.42~1.22)	0.08(-0.57~0.73)	0.35(-0.12~0.82)	-0.64(-1.46~0.17)	-0.39(-1.03~0.26)	<0.01
	脂肪	0.75(0.22~1.27)**	0.46(0.08~0.84)*	0.41(0.10~0.72)**	0.32(0.10~0.55)**	-0.19(-0.60~0.23)	-0.22(-0.54~0.11)	<0.01

注: *P<0.05, **P<0.01;模型 1 未调整混杂因素;模型 2 调整了性别、BMI-*Z*、母亲文化水平、家庭月收入、是否暴露于吸烟环境、MVPA、久坐行为、能量摄入;$P_{交互}$ 值根据模型 2 计算年龄与三大宏量营养素的交互作用;因变量 FVC-*Z*、VCI 与自变量碳水化合物、蛋白质和脂肪供能比均为连续型变量。

3　讨论

本研究发现膳食宏量营养素与学龄儿童的肺功能有关，碳水化合物供能比与儿童肺功能呈负相关，脂肪供能比与儿童肺功能呈正相关，蛋白质供能比在女童中与肺功能呈正相关。三大宏量营养素与肺功能的前瞻性关联都存在年龄和性别差异。

本研究发现了低碳水化合物和高脂肪膳食对儿童肺功能的促进作用，与一项来自韩国的针对健康成人的前瞻性社区队列研究结果一致[19]。既往有研究认为碳水化合物含量高的食物会增加炎症因子的表达，引起气道炎症，从而与较低的肺功能有关[20-21]。已有的随机对照试验（randomized controlled trial，RCT）研究认为总脂肪摄入过多对肺功能的作用是不利的，可能的机制包括引起肥胖、炎症等[22]，但同样也有 RCT 研究结果与本研究一致，认为低碳水、高脂肪的生酮膳食对肺功能存在潜在益处[23]，其机制可能是增加上皮 T 细胞数量，该细胞可增强肺屏障的完整性[24]。上述证据的不一致性可能是由于食物来源、双键数量和脂肪酸碳链长度等特征的差异影响[25]。

关于蛋白质和儿童肺功能关系的相关研究目前较少，一项来自丹麦的 RCT 研究发现高蛋白膳食对早产儿的肺功能有益[26]。其可能的机制是处于生长发育阶段的健康儿童的身体处于正氮平衡状态，优质蛋白的摄入对儿童生长发育会产生有益影响[27]，而良好的生长发育状态与儿童良好的肺功能密切相关[21]。本研究虽未观察到有统计学意义的交互效应，但分层分析结果表明较高的蛋白质供能比对女童的肺功能有益，而对男童的肺功能无影响。动物研究提示与雄性小鼠相比，雌性小鼠具有更高的细胞色素 P450 1A1 活性、细胞色素 P450 1A2 活性和蛋白质水平，这些因素在高氧性肺损伤中对肺功能具有保护作用[28]。因此女童蛋白质摄入可能会通过影响肺发育相关蛋白的表达促进肺功能[29]。

本研究结果表明低碳水、高脂肪膳食对肺功能的益处在低年龄段（8～11 岁）儿童较为显著，而在高年龄段（12～13 岁）儿童中未观察到统计学关联。可能是因为学龄早期是儿童肺发育的重要阶段，大多数肺功能轨迹建立在儿童早期[5]；进入青春期后，性激素对儿童肺功能也有一定的调控作用[30]，可能是本研究观察到年龄差异的原因，但尚需更多的证据支持。

本研究观察到的交互效应和分层分析结果的差异提示尽管已经调整了人口学特征、生活方式及体力活动等可能的混杂因素，但可能存在残余的混杂因素有待调整，有必要在大规模人群中检验本研究的结果，并进一步探讨相关机制。

利益冲突声明　所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] MELEN E, FANER R, ALLINSON J P, et al. Lung-function trajectories: relevance and implementation in clinical practice[J]. Lancet, 2024, 403(10435): 1494-1503.

[2] BUI D S, LODGE C J, BURGESS J A, et al. Childhood predictors of lung function trajectories and future COPD risk: a prospective cohort study from the first to the sixth decade of life[J]. Lancet Respir Med, 2018, 6(7): 535-544.

[3] AGUSTI A, FANER R. Lung function trajectories in health and disease[J]. Lancet Respir Med, 2019, 7(4): 358-364.

[4] ZHANG X, GRAY A R, HANCOX R J. Distinct trajectories of lung function from childhood to mid-adulthood[J]. Thorax, 2024, 79(8): 754-761.

[5] WANG G, HALLBERG J, FANER R, et al. Plasticity of individual lung function states from childhood to adulthood[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2023, 207(4): 406-415.

[6] TALAEI M, HUGHES D A, MAHMOUD O, et al. Dietary intake of vitamin A, lung function and incident asthma in childhood[J]. Eur Respir J, 2021, 58(4): 2004407.

[7] WANG S, YIN P, YU L, et al. Effects of early diet on the prevalence of allergic disease in children: a systematic review and Meta-analysis[J]. Adv Nutr, 2024, 15(1): 100128.

[8] 毛泳雯，刘雪婷，何春雷，等. 成都市小学生膳食摄入对肺功能的前瞻性影响[J]. 中国学校卫生，2024，45(2)：183-187，192.
MAO Y W, LIU X T, HE C L, et al. Prospective effects of dietary intake on lung function of pupils in Chengdu City[J]. Chin J Sch Health, 2024, 45(2): 183-187, 192. (in Chinese)

[9] XU Y, XIONG J, GAO W, et al. Dietary fat and polyunsaturated fatty acid intakes during childhood are prospectively associated with puberty timing independent of dietary protein[J]. Nutrients, 2022, 14(2): 275.

[10] WHITE I R, ROYSTON P, WOOD A M. Multiple imputation using chained equations: issues and guidance for practice[J]. Stat Med, 2011, 30(4): 377-399.

[11] 段若男，刘言，薛红妹，等. 成都市儿童青少年膳食质量评价及其与超重/肥胖的关系[J]. 中华流行病学杂志，2014，35(9)：994-997.
DUAN R N, LIU Y, XUE H M, et al. Cross-sectional association between overall diet quality and overweight/obesity among children and adolescents in Chengdu[J]. Chin J Epidemiol, 2014, 35(9): 994-997. (in Chinese)

[12] 杨月欣. 中国食物成分表[M]. 北京：北京大学医学出版社，2019.
YANG Y X. China food composition tables[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2019. (in Chinese)

[13] 姜林梦，王宇，王淮燕. 早产儿不同年龄阶段肺功能检测研究进展[J]. 国际儿科学杂志，2024，51(6)：387-392.
JIANG L M, WANG Y, WANG H Y. Advances of lung function test at different ages in premature infants[J]. Int J Pediatr, 2024, 51(6): 387-392. (in Chinese)

[14] QUANJER P H, STANOJEVIC S, COLE T J, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations[J]. Eur Respir J, 2012, 40(6): 1324-1343.

[15] COLE T J. The LMS method for constructing normalized growth stand-

ards[J].Eur J Clin Nutr,1990,44(1):45-60.
[16] 李辉,季成叶,宗心南,等.中国 0~18 岁儿童、青少年体块指数的生长曲线[J].中华儿科杂志,2009,47(7):493-498.
LI H,JI C Y,ZONG X N,et al.Body mass index growth carves for Chinese children and adolescents aged 0 to 18 years[J].Chin J Pediatr,2009,47(7):493-498.(in Chinese)
[17] MATTHEWS C E,SHU X O,YANG G,et al.Reproducibility and validity of the Shanghai Women's Health Study Physical Activity Questionnaire[J].Am J Epidemiol,2003,158(11):1114-1122.
[18] BUTTE N F,WATSON K B,RIDLEY K,et al.A youth compendium of physical activities:activity codes and metabolic intensities[J].Med Sci Sports Exerc,2018,50(2):246-256.
[19] LEE S A,JOSHI P,KIM Y,et al.The association of dietary macronutrients with lung function in healthy adults using the Ansan-Ansung Cohort Study[J].Nutrients,2020,12(9):2688.
[20] MUSIOL S,HARRIS C P,KARLINA R,et al.Dietary digestible carbohydrates are associated with higher prevalence of asthma in humans and with aggravated lung allergic inflammation in mice[J].Allergy,2023,78(5):1218-1233.
[21] RODRIGUES L C,MOTA J F,CORGOSINHO F C,et al.Nutrient intake is a predictor of lung function in obese asthmatic adolescents undergoing interdisciplinary therapy[J].Br J Nutr,2019,122(9):974-985.
[22] WOOD L G,GARG M L,GIBSON P G.A high-fat challenge increases airway inflammation and impairs bronchodilator recovery in asthma[J].J Allergy Clin Immunol,2011,127(5):1133-1140.
[23] 邵剑,赵绮华,牛菁.低糖高脂营养膳食对慢性阻塞性肺疾病急性发作并发呼吸衰竭病人疗效的影响[J].肠外与肠内营养,2016,23(4):212-215.
SHAO J,ZHAO Q H,NIU J.Therapeutic effects of low carbohydrate and high fat enteral nutritional diet on patients with chronic obstructive pulmonary disease comorbidity with respiratory failure[J].Parenter Enter Nutr,2016,23(4):212-215.(in Chinese)
[24] GOLDBERG E L,MOLONY R D,KUDO E,et al.Ketogenic diet activates protective gammadelta T cell responses against influenza virus infection[J].Sci Immunol,2019,4(41):eaav2026.
[25] CORNELL K,ALAM M,LYDEN E,et al.Saturated fat intake is associated with lung function in individuals with airflow obstruction:results from NHANES 2007(-)2012[J].Nutrients,2019,11(2):317.
[26] TOFTLUND L H,AGERTOFT L,HALKEN S,et al.Improved lung function at age 6 in children born very preterm and fed extra protein post-discharge[J].Pediatr Allergy Immunol,2019,30(1):47-54.
[27] BIZZOZERO-PERONI B,MARTINEZ-VIZCAINO V,GARRIDO-MIGUEL M,et al.The association between meat consumption and muscle strength index in young adults:the mediating role of total protein intake and lean mass percentage[J].Eur J Nutr,2023,62(2):673-683.
[28] LINGAPPAN K,JIANG W,WANG L,et al.Sex-specific differences in hyperoxic lung injury in mice:role of cytochrome P450 (CYP) 1A[J].Toxicology,2015,331:14-23.
[29] CLAIR G,BRAMER L M,MISRA R,et al.Proteomic analysis of human lung development[J].Am J Respir Crit Care Med,2022,205(2):208-218.
[30] HAN Y Y,FORNO E,WITCHEL S F,et al.Testosterone-to-estradiol ratio and lung function in a prospective study of Puerto Rican youth[J].Ann Allergy Asthma Immunol,2021,127(2):236-242.

收稿日期:2024-11-11 **修回日期**:2024-12-16 **本文编辑**:孙曼莉

(上接第 199 页)

[7] 杨义,邓华,杨帆,等.应用社会网络分析法选择大学生性教育同伴教育者的研究[J].中华流行病学杂志,2016,37(12):1587-1591.
YANG Y, DENG H, YANG F, et al. Selection of peer educators for sex education program-base on data from social network analysis among college freshmen students[J]. Chin J Epidemiol, 2016, 37(12):1587-1591.(in Chinese)
[8] 余凌炜.基于社会资本理论的我国健康相关专业学生吸烟行为研究[D].杭州:浙江大学,2020.
YU L W. The influences of social on smoking behavior among health professional students in China[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2020.(in Chinese)
[9] 李立明.流行病学[M].北京:人民卫生出版社,2007:105-106.
LI L M.Epidemiology[M].Beijing:People's Medical Publishing House,2007:105-106.(in Chinese)
[10] 梁晓峰.2015 中国成人烟草调查报告[M].北京:人民卫生出版社,2016:31-50.
LIANG X F. China adult tobacco survey report in 2015[M]. Beijing:People's Medical Publishing House, 2016:31-50.(in Chinese)
[11] 白承续,徐文婕,花晨曦,等.北京市学校控烟干预效果评价[J].中国生育健康杂志, 2017,28(5):461-464.
BAI C X, XU W J, HUA C X, et al. Evaluation of smoking control intervention in schools in Beijing[J]. Chin J Reprod Health, 2017, 28(5):461-464.(in Chinese)
[12] 戴珞佳,陆唯怡,谭银亮,等.上海市职校生电子烟流行及影响因素分析[J].中国慢性病预防与控制, 2022,30(7):521-524.
DAI L J, LU W Y, TAN Y L, et al. Analysis of the prevalence and influencing factors of electronic cigarettes among vocational school students in Shanghai[J].Chin J Prev Contr Chron Dis, 2022,30(7):521-524.(in Chinese)
[13] 金嘉民,代佳男,易静.基于多水平模型的重庆市青少年吸烟行为相关因素分析[J].中国学校卫生,2023,44(12):1809-1813.
JIN J M, DAI J N, YI J. Associated factors on smoking behavior among adolescents in Chongqing based on multi-level model[J]. Chin J Sch Health, 2023,44(12):1809-1813.(in Chinese)
[14] VITÓRIA P, PEREIRA S E, MUINOS G, et al. Parents modelling, peer influence and peer selection impact on adolescent smoking behavior:a longitudinal study in two age cohorts[J]. Addict Behav, 2020,100:106-131.
[15] 戴珞佳,谭银亮,朱静芬.社会网络及其在新媒体环境下对青少年吸烟行为的影响研究[J].现代预防医学,2021,48(2):288-291.
DAI L J, TAN Y L, ZHU J F. Effect of social network on smoking behavior of adolescents and its development in the new media era[J]. Mod Prev Med,2021,48(2):288-291.(in Chinese)

收稿日期:2024-05-09 **修回日期**:2024-12-20 **本文编辑**:孙曼莉