

肥胖儿童肺功能与糖化血红蛋白的相关性

张丽娜¹, 万乃君²

1. 首都医科大学附属北京积水潭医院儿科, 北京 100096; 2. 首都医科大学附属北京积水潭医院儿科

摘要: **目的** 探讨肥胖儿童肺通气功能与糖化血红蛋白(HbA1c)的相关性,为肥胖儿童的综合管理提供新视角。**方法** 收集2019年1月—2022年12月在北京积水潭医院儿科门诊就诊的肥胖儿童255例,测量身高、体重、血清糖化血红蛋白(HbA1c)及肺通气功能。HbA1c按其三分位数分为3组(Q1、Q2、Q3),比较不同HbA1c水平分组的肥胖儿童肺功能指标,并通过多元线性回归分析构建HbA1c与肺功能指标的模型,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,评估该模型在预测肺功能指标方面的价值。**结果** 轻中度肥胖组142例(55.69%),重度肥胖组113例(44.31%),轻中度肥胖组用力肺活量(FVC)低于重度肥胖组($t=2.541, P=0.012$),第1秒用力呼气容积与用力肺活量的比值(FEV1/FVC,简称一秒率)、一秒率实际值占预计值的百分比(FEV1/FVC%),50%肺活量时的呼气流量(FEF50)高于重度肥胖组($t=2.277, 2.215, 2.075, P<0.05$),HbA1c低于重度肥胖组($t=3.097, P=0.002$)。不同HbA1c水平分组其FEV1/FVC、FEV1/FVC%、25%肺活量时的呼气流量(FEF25)、FEF50、75%肺活量时的呼气流量(FEF75)、最大呼气中期流量(MMEF)差异均有统计学意义($F=7.813, 7.804, 6.493, 8.209, 6.193, 6.855, P<0.01$),Q1组各项肺功能指标均优于Q2及Q3组($P<0.05$)。多元线性回归模型显示,肥胖儿童的HbA1c与肺功能指标FEF25、FEF50、FEF75和MMEF均呈负相关($\beta=-0.186, -0.201, -0.148, -0.182, P<0.05$)。ROC曲线分析结果表明,肥胖儿童的HbA1c $\geq 5.8\%$ 时,其肺功能指标可能会显著受到影响。**结论** 重度肥胖儿童血清HbA1c水平更高,肥胖儿童HbA1c与多项肺功能指标呈线性负相关,高水平的HbA1c可能引起小气道功能受损。HbA1c与肺功能指标的多元回归模型在预测肥胖儿童肺功能指标方面具有良好的预测性能。

关键词: 肥胖; 肺功能; 糖化血红蛋白; 儿童

中图分类号:R723.14 文献标识码:A 文章编号:1008-6579(2025)05-1132-06 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1090

Correlation of pulmonary function with glycosylated hemoglobin in obese children

ZHANG Li'na¹, WAN Naijun²

1. Department of Pediatrics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100096, China;

2. Department of Pediatrics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University

Corresponding author: WAN Naijun, E-mail: wann6971@163.com

Abstract: **Objective** To explore the correlation between pulmonary ventilation function and glyated hemoglobin (HbA1c) in obese children, in order to provide a new perspective for the comprehensive management of obese children.

Methods A total of 255 obese children who visited the pediatric outpatient clinic of Beijing Jishuitan Hospital from January 2019 to December 2022 were included. Height, weight, serum HbA1c levels, and pulmonary ventilation function were measured. HbA1c levels were divided into three groups (Q1, Q2, Q3) based on tertiles. Pulmonary function indicators were compared among the different HbA1c groups. Multiple linear regression analysis was used to construct a model for the relationship between HbA1c and pulmonary function indicators. Receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to evaluate the predictive value of the model for changes in pulmonary function. **Results** Among the participants, 142 cases (55.69%) were in the mild-to-moderate obesity group, and 113 cases (44.31%) were in the severe obesity group. The forced vital capacity (FVC) in the mild-to-moderate obesity group was significantly lower than that in the severe obesity group ($t=2.541, P=0.012$), while the FEV1/FVC ratio, FEV1/FVC%, and expiratory flow at 50% of vital capacity (FEF50) were higher in the mild-to-moderate obesity group ($t=2.277, 2.215, 2.075, P<0.05$). HbA1c levels were lower in the mild-to-moderate obesity group compared to the severe obesity group ($t=3.097, P<0.05$). Significant differences were observed in FEV1/FVC, FEV1/FVC%, FEF25, FEF50, FEF75, and maximal mid-expiratory flow

基金项目:北京市医院管理局儿科学科协同发展中心儿科专项重点项目(XTZD20180401)

作者简介:张丽娜(1997—),女,硕士学位,主要研究方向为儿童呼吸系统疾病。

通信作者:万乃君, E-mail: wann6971@163.com

(MMEF) among the different HbA1c groups ($F=7.813, 7.804, 6.493, 8.209, 6.193, 6.855, P<0.01$). All pulmonary function indicators in the Q1 group were superior to those in the Q2 and Q3 groups ($P<0.05$). Multiple linear regression analysis showed that HbA1c in obese children was negatively correlated with pulmonary function indicators FEF25, FEF50, FEF75, and MMEF ($\beta=-0.186, -0.201, -0.148, -0.182, P<0.05$). ROC curve analysis indicated that when HbA1c levels in obese children were $\geq 5.8\%$, pulmonary function indicators might be significantly affected. **Conclusions** Severe obesity in children is associated with higher serum HbA1c levels. HbA1c in obese children is linearly and negatively correlated with multiple pulmonary function indicators, and elevated HbA1c levels may lead to impaired small airway function. The multiple regression model of HbA1c and pulmonary function indicators demonstrates good predictive performance for assessing changes in pulmonary function in obese children.

Keywords: obesity; pulmonary function; glycosylated hemoglobin; children

近年来,随着生活方式和饮食结构的改变,儿童肥胖问题日益严重。据报道,过去四十年全球 5~19 岁肥胖儿童及青少年患病率增加近 10 倍^[1]。肥胖不仅会导致儿童社交隔离,产生自卑、焦虑等心理问题,同时可引发一系列代谢紊乱及慢性疾病。肥胖儿童体内的慢性炎症和胰岛素抵抗可能对肺功能产生不良影响。糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1c)是反映血糖控制水平的重要指标,是评估未来患糖尿病及心血管疾病风险的指标之一。现有研究表明 HbA1c 水平升高与肺功能下降存在关联,但具体机制仍不明确^[2]。对于肥胖儿童群体, HbA1c 与肺功能关系的研究不足,基于此,本文通过探讨肥胖儿童肺通气功能与 HbA1c 水平的相关性,分析两者之间的相互关系及可能机制,希望为肥胖儿童的综合管理提供新的视角,促进儿童健康水平的提升。

1 对象和方法

1.1 对象 选取 2019 年 1 月—2022 年 12 月在北京积水潭医院儿科门诊就诊的肥胖儿童 255 例。其中男 144 例,女 111 例,年龄 6~14 岁,均符合肥胖诊断标准^[3],并除外病理性肥胖,且入组儿童均可配合完成肺功能检查。排除标准:1)合并呼吸道感染、哮喘、先天性畸形、神经肌肉疾病、认知障碍等影响肺功能结果的儿童;2)合并风湿免疫性疾病、糖尿病、其他内分泌疾病等可能影响 HbA1c 结果的儿童。本研究通过本院伦理委员会批准(批号:2018-08-03),患儿及(或)监护人均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 分组 研究对象分为轻中度肥胖组及重度肥胖组,其中肥胖诊断标准为:体质量指数(body mass index, BMI)超过同年龄、同性别儿童的第 95 百分位(P_{95})^[3]。重度肥胖诊断标准参考《美国内分泌协会临床实践指南》:BMI>同年龄同性别 P_{95} 的 120%或 BMI $\geq 35\text{kg/m}^2$ ^[4]。HbA1c 按其三分位数

分为 3 组,分别命名为 Q1(HbA1c<5.3%)、Q2(5.3% $\leq$ HbA1c $\leq$ 5.5%)、Q3(HbA1c>5.5%)。

1.2.2 身高体重测量 研究对象站立位,脱去鞋袜,穿轻薄衣服,双眼平视前方,记录数据,分别精确到 0.1cm、0.1kg。计算体质量指数(body mass index, BMI)=体重(kg)/身高²(m²)。

1.2.3 生化指标检测 研究对象空腹 8~10h,采集静脉血 2~3mL,采用离子高效液相色谱法(VARIANT II,美国 BIO-RAD 公司)测定仪及配套试剂检测 HbA1c。

1.2.4 肺功能检测 采用英国迈科 MicroSpiro USB 型肺功能检测仪,由专业技师按照儿童肺通气功能系列指南推荐的程序和标准操作^[5]。同一技师多次测量并记录最佳值,包括:用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第 1 秒用力呼气容积(forced expiratory volume in 1 second, FEV1)、1 秒率(FEV1/FVC)、1 秒率百分比(FEV1/FVC%)、最大呼气流量(peak expiratory flow, PEF)、用力呼气流量(forced expiratory flow, FEF)占 FVC 的 25%(expiratory flow at 25% of FVC, FEF25%)、50%(expiratory flow at 50% of FVC, FEF50%)、75%(expiratory flow at 75% of FVC, FEF75%)、最大呼气中期流量(maximal mid-expiratory flow, MMEF)。测量结果由实测值/预计值表示。

1.3 统计学方法 应用 SPSS 26.0 进行统计分析。计数资料采用例数(%)表示,率的比较采用 χ^2 检验。计量资料符合正态分布采用 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间对比采用独立样本 t 检验,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD- t 检验。HbA1c 水平与肺功能参数的相关性采用多元线性回归分析进行模型构建,绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估模型预测肺功能指标的价值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象一般资料特征 最终纳入 255 例肥胖儿童,男 144 例,女 111 例,男:女=1.3:1。年龄

6~14 岁,平均年龄(9.33±1.88)岁。轻中度肥胖儿童 142 例(55.69%),重度肥胖 113 例(44.31%),两者比例为 1.26:1。两组性别、年龄差异均无统计学意义($P>0.05$)。轻中度肥胖组 FVC 低于重度肥胖组($t=2.541, P=0.012$),FEV1/FVC、FEV1/FVC%、FEF50 高于重度肥胖组($t=2.277、2.215、2.075$);HbA1c 低于重度肥胖组($t=3.097$),差异均有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。两组儿童在不同 HbA1c 水平人数分布差异无统计学意义($\chi^2=5.864, P=0.053$)。见表 2。

表 1 不同肥胖程度儿童肺功能参数的比较($\bar{x}\pm s$)

Tab. 1 Comparison of pulmonary function parameters in children with different levels of obesity($\bar{x}\pm s$)

组别	总体	轻中度肥胖($n=142$)	重度肥胖($n=113$)	χ^2/t 值	P 值
性别(男/女)	144/111	85/57	59/54	1.497 ^a	0.221
年龄(岁)	9.33±1.88	9.47±1.93	9.16±1.83	1.299	0.195
BMI	24.83±3.89	22.64±2.46	27.58±3.61	12.417	<0.001
FEV1	90.49±13.83	89.66±14.94	91.55±12.29	1.082	0.280
FVC	89.32±11.64	87.68±11.74	91.37±11.23	2.541	0.012
PEF	72.17±13.71	72.83±14.57	71.35±12.62	0.853	0.395
FEV1/FVC	86.10±6.63	86.95±5.89	85.02±7.33	2.277	0.024
FEV1/FVC%	101.84±7.78	102.82±6.88	100.61±8.67	2.215	0.028
FEF25	87.35±18.45	89.06±18.66	85.18±18.03	1.677	0.095
FEF50	77.78±19.78	80.06±19.79	74.92±19.49	2.075	0.039
FEF75	72.73±21.94	73.79±22.45	71.41±21.31	0.861	0.390
MMEF	79.69±19.69	81.09±20.07	77.93±19.14	1.276	0.203
HbA1c(%)	5.44±0.26	5.39±0.27	5.50±0.25	3.097	0.002

注:^a χ^2 值,^b t 值。

表 2 不同肥胖程度 HbA1c 水平情况(例,%)

Tab. 2 The levels of HbA1c in children with different levels of obesity($n, \%$)

组别	HbA1c 水平(%)			合计
	≤5.3(Q1)	5.3~5.5(Q2)	>5.5(Q3)	
轻中度肥胖	57(22.35)	46(18.04)	39(15.29)	142(55.68)
重度肥胖	31(12.16)	37(14.51)	45(17.65)	113(44.32)
合计	88(34.51)	83(32.55)	84(32.94)	255(100.00)

2.2 肥胖儿童不同 HbA1c 水平分组肺功能参数的比较 根据 HbA1c 三分位数分组,Q1 组 60 例(23.53%),Q2 组 111 例(43.53%),Q3 组 84 例(32.94%)。三组儿童肺功能指标相比,FEV1、FVC、PEF 差异无统计学意义($P>0.05$)。不同 HbA1c 水平分组其 FEV1/FVC、FEV1/FVC%、FEF25、FEF50、FEF75、MMEF 差异均有统计学意义($F=7.813、7.804、6.493、8.209、6.193、6.855, P<0.01$)。进一步两两比较,Q1 组各项肺功能指标均优于 Q2 及 Q3 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 3。

表 3 表 3 不同 HbA1c 水平组肥胖儿童肺功能参数比较($\bar{x}\pm s$)

Tab. 3 Comparison of pulmonary function parameters in obese children with different HbA1c levels($\bar{x}\pm s$)

肺功能参数	HbA1c 水平(%)			F 值	P 值
	≤5.3(Q1)	5.3~5.5(Q2)	>5.5(Q3)		
FEV1	92.44±15.18	88.64±12.29	90.30±13.69	1.637	0.197
FVC	89.94±11.06	88.25±10.37	89.71±13.35	0.521	0.594
PEF	74.69±12.38	70.94±13.41	70.76±15.11	2.284	0.104
FEV1/FVC	88.25±6.50 ^{ab}	84.55±6.29	85.36±6.58	7.813	<0.001
FEV1/FVC%	104.38±7.58 ^{ab}	100.04±7.42	100.98±7.76	7.804	<0.001
FEF25	92.94±16.68 ^{ab}	84.73±18.18	84.05±19.29	6.493	0.002
FEF50	84.50±20.52 ^{ab}	74.61±20.45	73.88±16.44	8.209	<0.001
FEF75	78.89±22.28 ^{ab}	67.52±22.04	71.44±20.11	6.193	0.002
MMEF	85.83±19.63 ^{ab}	76.16±20.08	76.75±17.97	6.855	0.001

注:^a与 Q2 比较, $P<0.05$;^b与 Q3 比较, $P<0.05$ 。

2.3 肥胖儿童 HbA1c 与肺功能参数的相关性 以 HbA1c、年龄、BMI 为自变量,肺功能指标为因变量,构建多元线性回归模型,控制年龄、BMI 后,结果显示:肥胖儿童 HbA1c 与肺功能指标 FEF25、FEF50、FEF75、MMEF 均呈负相关($P<0.05$)。见表 4。

表 4 HbA1c 与肺功能参数的多元线性回归分析

Tab. 4 Multiple linear regression analysis between HbA1c level and pulmonary function parameters

肺功能参数	B 值	S _e	β 值	t 值	P 值
FEV1/FVC	-2.964	1.562	-0.118	-1.898	0.059
FEV1/FVC%	-3.300	1.844	-0.112	-1.789	0.075
FEF25	-12.99	4.373	-0.186	-2.973	0.003
FEF50	-15.119	4.765	-0.201	-3.173	0.002
FEF75	-12.311	5.290	-0.148	-2.327	0.021
MMEF	-13.614	4.782	-0.182	-2.847	0.005

2.4 肥胖儿童 HbA1c 预测肺功能指标价值的 ROC 曲线评估 以 HbA1c 为检验变量,以是否存在肺功能下降为状态变量(定义 FEF25、FEF50、FEF75、MMEF 值<80%为肺功能下降),对上述多元线性回归模型添加交互项及多项式特征优化后行 ROC 曲线分析,得出曲线下面积(AUC)分别为 0.89、0.90、0.90、0.89,提示 HbA1c 对肺功能变化有较好的预测价值。HbA1c 最佳截断值为 5.8%,Youden 指数分别为 0.590、0.758、0.620、0.667,灵敏度分别为 83.72%、88.10%、68.18%、79.07%,特异度分别为 75.28%、87.71%、93.79%、87.64%。见表 5 及图 1。

表 5 肥胖儿童 HbA1c 对肺功能变化的预测价值

Tab. 5 Predictive value of HbA1c for lung function decline in obese children

肺功能指标	AUC	灵敏度(%)	特异度(%)	Youden 指数	HbA1c 截断值(%)
FEF25	0.89	83.72	75.2	0.590	5.8
FEF50	0.90	88.10	87.71	0.758	
FEF75	0.90	68.18	93.79	0.620	
MMEF	0.89	79.07	87.64	0.667	

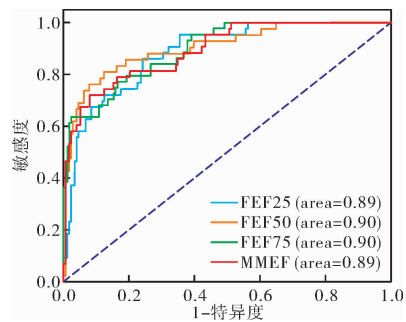


图 1 肥胖儿童 HbA1c 预测肺功能变化的 ROC 曲线

Fig. 1 ROC curve of HbA1c in predicting lung function decline in obese children

3 讨论

全球儿童肥胖症患病率正处于上升阶段。遗传易感、生活方式、行为模式、社会环境等多因素共同作用导致儿童肥胖的发生。研究报道,过去十五年,重度肥胖儿童明显增加,在肥胖儿童的比例高达 1/4~1/3^[6]。预计 2025 年,全球 5~17 岁患有肥胖合并症的儿童中,将有 1 200 万儿童糖耐量受损,患 2 型糖尿病、高血压、非酒精性脂肪肝的儿童将分别高达 400 万、2 700 万、3 800 万^[7],早期监测、及时干预对维护儿童健康至关重要。

3.1 肥胖可导致儿童气道阻塞 本研究显示,相比轻度组,重度肥胖儿童 FEV1/FVC、FEV1/

FVC%更低,FVC 更高,这与 Ferreira 等^[8]研究结果一致,表明肥胖可引起气道阻塞。Engwa 等^[9]曾对 540 名 10~14 岁的青少年进行研究,发现肥胖青少年气道阻塞的发生率是非肥胖的 1.5 倍。目前关于肥胖与肺功能的研究多集中在支气管哮喘儿童,肥胖与哮喘关系密切^[10]。大量的流行病学及实验证据表明肥胖儿童患支气管哮喘的风险更高,预后更差。其机制可能为:肥胖儿童体内的脂肪组织可产生多种炎症介质,如白细胞介素、肿瘤坏死因子和瘦素等,导致机体处于慢性炎症状态,这可能导致肺功能的改变^[11]。另外,胰岛素抵抗及免疫反应也参与其中^[12]。

3.2 肥胖儿童 HbA1c 水平升高 肥胖不仅导致儿童肺功能受损,还会由于 HbA1c 水平升高加剧这一问题。HbA1c 是血红蛋白与葡萄糖结合形成的产物,反映过去 2~3 个月的平均血糖水平,与糖尿病密切相关。研究发现,肥胖儿童糖尿病前期(空腹血糖受损)的发生率更高^[13]。本研究结果也提示,重度肥胖组儿童 HbA1c 结果更差。德国一项队列研究纳入 2 455 名儿童及青少年,发现肥胖儿童 HbA1c 显著高于正常体重儿童,BMI 每增加 1 个标准差,HbA1c 就增加 0.06 个标准差^[14]。美国也有类似报道,肥胖儿童糖尿病前期发病率是正常 BMI 儿童的 1.5 倍^[15]。研究显示,脂肪细胞会分泌较多

的脂肪因子和炎性介质,机体处于轻度慢性炎症状态,这些炎症因子会干扰胰岛素信号通路,导致胰岛素抵抗,使得葡萄糖不能有效地被细胞利用,最终导致血糖水平及 HbA1c 升高^[16]。

3.3 肥胖儿童 HbA1c 水平与小气道功能指标呈负相关 本研究 HbA1c 与肺功能相关性分析发现, HbA1c 高水平组的肥胖儿童肺功能 FEV1/FVC、FEV1/FVC%、FEF25、FEF50、FEF75、MMEF 均低于 HbA1c 低水平组,且 HbA1c 与 FEF25、FEF50、FEF75、MMEF 均呈显著负相关。这表明,肥胖儿童 HbA1c 升高会对肺通气功能造成负面影响,尤其是小气道功能受损。

目前 HbA1c 与肺功能的报道多集中在糖尿病患者。Sharma 等^[17]在研究中指出肺通气功能障碍与血糖控制密切相关, HbA1c 与 FEV1、FEV1/FVC%、MMEF 均呈负相关,尤其对小气道指标 MMEF 影响显著,导致气道阻力明显增加,这与本文研究结果一致。但本文结果显示 HbA1c 与 FEV1、FEV1/FVC% 并无显著相关,这与 Sharma 等^[17]的研究结果不同,可能与纳入对象的范围、样本量大小及地域不同有关。Mohamad 等^[18]对 110 名儿童进行肺功能检测,发现血糖控制不良的儿童肺功能明显受损,并且这种损害随着血糖水平升高进一步加重。

3.4 肥胖儿童 HbA1c 影响肺功能的机制 目前认为肥胖儿童 HbA1c 影响肺通气功能可能与慢性炎症反应、氧化应激、糖化终产物及微血管病变等有关^[19]。HbA1c 过高会加剧肥胖儿童体内的炎症反应,肺部慢性炎症可引起气道壁增厚、纤维化等,从而损害肺功能。高 HbA1c 状态下氧化应激水平升高,产生大量自由基,攻击肺泡上皮细胞和内皮细胞,导致细胞膜脂质过氧化、蛋白质氧化和 DNA 损伤,引起肺功能异常^[20]。此外, HbA1c 升高会增加晚期糖基化终产物(advanced glycation end-products, AGEs)的形成,AGEs 会与胶原蛋白结合,导致肺组织僵硬及弹性下降;也会影响基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinases, MMPs)的活性,导致肺基质降解不平衡,进一步影响肺组织结构。高 HbA1c 还可引起微血管病变,影响肺部微循环及气体交换,导致肺功能下降^[18]。这些机制共同作用,使得高 HbA1c 水平的肥胖儿童肺功能下降。因此,早期控制 HbA1c 对保护肥胖儿童肺功能意义重大。

本研究显示:当肥胖儿童的 HbA1c 达到或超过 5.8% 时,其肺功能指标可能会显著受到影响。这一结果强调了 HbA1c 在预测肥胖儿童肺功能变化中

的潜在临床应用价值,提示需要对 HbA1c 值较高的儿童进行密切监测和干预。本文由于是单中心研究样本量有限,结论仍需多中心、扩大样本量进一步研究证实。

利益冲突声明 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Jebeile H, Kelly AS, O'Malley G, et al. Obesity in children and adolescents: Epidemiology, causes, assessment, and management[J]. *Lancet Diabetes Endo*, 2022, 10(5): 351-365.
- [2] Yang G, Han Y, Forno E, et al. Glycated hemoglobin a1c, lung function, and hospitalizations among adults with asthma[J]. *JACI: In Practice*, 2020, 8(10): 3409-3415.
- [3] 李辉, 宗心南, 季成叶, 等. 中国 2~18 岁儿童青少年超重和肥胖筛查体重指数界值点的研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2010, 31(6): 616-620.
Li H, Zong XN, Ji CY, et al. Body mass index cut-offs for overweight and obesity in Chinese children and adolescents aged 2-18 years[J]. *Chin J Epidemiol*, 2010, 31(6): 616-620. (in Chinese)
- [4] Styne DM, Arslanian SA, Connor EL, et al. Pediatric obesity—assessment, treatment, and prevention: An endocrine society clinical practice guideline [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2017, 102(3): 709-757.
- [5] 中华医学会儿科学分会呼吸学组肺功能协作组中华实用儿科临床杂志编辑委员会. 儿童肺功能系列指南(二): 肺容积和通气功能[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2016, 31(10): 744-750.
Pulmonary Function Group, Respiratory Branch of Chinese Pediatric Society of Chinese Medical Association, Editorial Board of Chinese Journal of Applied Clinical Pediatrics. Series guidelines for pediatric pulmonary function (part II): lung volume and spirometry[J]. *Chin J Appl Clin Pediatr*, 2016, 31(10): 744-750. (in Chinese)
- [6] Lister NB, Baur LA, Felix JF, et al. Child and adolescent obesity[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2023, 9(1): 24.
- [7] Lobstein T, Jackson-Leach R. Planning for the worst: Estimates of obesity and comorbidities in school-age children in 2025[J]. *Pediatr Obes*, 2016, 11(5): 321-325.
- [8] Ferreira MS, Marson FAL, Wolf VLW, et al. Association between pulmonary function and body composition in children and adolescents with and without obesity[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(24): 7410.
- [9] Engwa GA, Anye C, Nkeh-Chungag BN. Association between obesity and lung function in south african adolescents of African ancestry[J]. *BMC Pediatr*, 2022, 22(1): 109.
- [10] 刘艳冬, 曲书强. 儿童肥胖与哮喘的相关性研究进展[J]. *中国儿童保健杂志*, 2018, 26(11): 1211-1213.
Liu YD, Qu SQ. Research progress on the correlation between childhood obesity and asthma [J]. *Chin J Child Health Care*, 2018, 26(11): 1211-1213. (in Chinese)
- [11] Arismendi E, Bantula M, Perpina M, et al. Effects of obesity and asthma on lung function and airway dysanapsis in

- adults and children[J]. *J Clin Med*, 2020,9(11).
- [12] Manuel S, Luis G. Nutrition, obesity and asthma inception in children. The role of lung function[J]. *Nutrients*, 2021, 13(11): 3837.
- [13] Yang C, Li S, Wu L, et al. Prevalence of prediabetes by the fasting plasma glucose and HbA1c screening criteria among the children and adolescents of shenzhen, china[J]. *Front Endocrinol*, 2024,15: 1301921.
- [14] Hovestadt I, Kiess W, Lewien C, et al. Hba1c percentiles and the association betweenbmi, age, gender, puberty, and HbA1c levels in healthy german children and adolescents [J]. *Pediatr Diabetes*, 2022,23(2): 194-202.
- [15] Ghaddar R, Hudson EA, Jeans MR, et al. Ethnicity/race, parent educational attainment, and obesity associated with prediabetes in children [J]. *Nutr Diabetes*, 2023, 13(1): 15.
- [16] Al-Mansoori L, Al-Jaber H, Prince MS, et al. Role of inflammatory cytokines, growth factors and adipokines in adipogenesis and insulin resistance[J]. *Inflammation*, 2022, 45(1): 31-44.
- [17] Sharma A, Sharma A, Chauhan R. Spirometric lung functions in type 2 diabetes mellitus; A hospital-based study [J]. *Cureus*,2023,15(5): e38919.
- [18] Mohamad IL, Saad K, Abdel-Azeem A, et al. Evaluation of pulmonary function changes in children with type 1 diabetes mellitus in upper Egypt[J]. *Ther Adv Endocrinol Metab*,2015,6(3): 87-91.
- [19] Mameli C, Ghezzi M, Mari A, et al. The diabetic lung: Insights into pulmonary changes in children and adolescents with type 1 diabetes[J]. *Metabolites*, 2021,11(2): 69.
- [20] Zhang RH, Zhou JB, Cai YH, et al. Non-linear association between diabetes mellitus and pulmonary function; A population-based study[J]. *Respir Res*, 2020,21(1): 292.
- 收稿日期:2024-10-10 修回日期:2024-12-06 本文编辑:王悦

(上接第 1131 页)

- [12] 佟永清, 蔡宁. 运动配合营养干预对青少年肥胖患者体质质量指数及血糖血脂的影响[J]. *中国学校卫生*, 2019, 40(7): 1046-1049.
- Tong YQ, Cai N. Effect of exercise with nutrition intervention on body mass index and blood glucose and lipids in adolescent obese patients[J]. *Chin J Sch Health*, 2019,40(7): 1046-1049. (in Chinese)
- [13] Youxiang C, Lin Z, Zekai C, et al. Resting and exercise metabolic characteristics in obese children with insulin resistance[J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 1049560.
- [14] Chrzanowski-Smith OJ, Edinburgh RM, Betts J A, et al. Evaluation of a graded exercise test to determine peak fat oxidation in individuals with low cardiorespiratory fitness [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2018, 43(12): 1288-1297.
- [15] Frayn K N. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange[J]. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 1983, 55(2): 628-634.
- [16] Randle PJ, Garland PB, Hales CN, et al. The glucose fatty-acid cycle. Its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus [J]. *Lancet*, 1963, 1(7285): 785-789.
- [17] Bordenave S, Flavier S, Fédou C, et al. Exercise calorimetry in sedentary patients; Procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation [J]. *Diabetes Metab*, 2007, 33(5): 379-384.
- [18] 张勇, 李之俊. 训练者和无训练者脂肪氧化动力学与最大脂肪氧化强度研究[J]. *体育科学*, 2013, 33(2): 61-68.
- Zhang Y, Li ZJ. Fat oxidation kinetics and maximum fat oxidation intensity in trainers and no trainers[J]. *Sports Science*, 2013,33(2): 61-68. (in Chinese)
- [19] Egan B, Zierath J R. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation [J]. *Cell Metab*, 2013, 17(2): 162-184.
- [20] Perez-matute P, Neville MJ, Tan GD, et al. Transcriptional control of human adipose tissue blood flow[J]. *Obesity*, 2009, 17(4): 681-688.
- [21] Perez-Matute P, Neville MJ, Tan GD, et al. Transcriptional control of human adipose tissue blood flow[J]. *Obesity*, 2009, 17(4): 681-688.
- [22] Stich V, De Glisezinski I, Galitzky J, et al. Endurance training increases the beta-adrenergic lipolytic response in subcutaneous adipose tissue in obese subjects[J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 1999, 23(4): 374-381.
- [23] Moro C, Pillard F, De Glisezinski I, et al. Training enhances ANP lipid-mobilizing action in adipose tissue of overweight men[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2005, 37(7): 1126-1132.
- [24] 孔凡明, 朱苗苗, 米靖, 等. 运动与脂肪氧化动力学特征的应用启示 [J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(29): 4709-4715.
- Kong FM, Zhu MM, Mi J, et al. Implications for the kinetic characteristics of exercise and fat oxidation[J]. *China Tissue Engineering Research*, 2022,26(29): 4709-4715. (in Chinese)
- [25] 谭思洁, 郭振, 曹立全, 等. 9~10 岁肥胖男童最大脂肪氧化强度运动减重处方的研究[J]. *体育科学*, 2016, 36(9): 36-53.
- Tan SJ, Guo Z, Cao LQ, et al. Study on maximum fat oxidation intensity exercise in obese boys aged 9 to 10 years [J]. *Sports Sci*, 2016,36(9): 36-53. (in Chinese)
- [26] Haufe S, Engeli S, Budziarek P, et al. Determinants of exercise-induced fat oxidation in obese women and men[J]. *Horm Metab Res*, 2010, 42(3): 215-221.
- [27] Croci I, Hickman IJ, Wood RE, et al. Fat oxidation over a range of exercise intensities; Fitness versus fatness[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2014, 39(12): 1352-1359.
- [28] Dizhi W, Peizhen Z, Jin L. Crossover point and maximal fat oxidation training effects on blood lipid metabolism in young overweight women; A pilot study[J]. *Front Physiol*, 2023, 14: 1190109.
- 收稿日期:2024-10-14 修回日期:2025-03-03 本文编辑:王悦