· 儿少卫生与妇幼保健 ·

基于 LMS 曲线的中小学生肺活量研究——以贵州省仁怀市为例

杨滨榕[1,2],杨雅愉[1],张天雪[3],杨翌[4],邹永波[5],徐兵[6],胡远东[1]

1. 贵州省疾病预防控制中心,贵州 贵阳 550004;2. 山西医科大学公共卫生学院;3. 贵定县疾病预防控制中心
4. 贵州医科大学公共卫生与健康学院;5. 仁怀市妇幼保健院;6. 仁怀市疾病预防控制中心

摘要:目的 基于 LMS 法建立贵州省仁怀市 6 ~ 18 岁中小学生肺活量百分位数参考值,与全国中小学生肺活量平均水平进行比较,分析其影响因素及群体特征,为本地学生体质健康干预提供科学依据。**方法** 用 LMS 曲线构建肺活量百分位数曲线和参考值(P_3、P_{10}、P_{25}、P_{50}、P_{75}、P_{90}和 P_{97}),同时结合多元线性回归和 K - means 聚类分析探讨影响因素及学生亚组特征。**结果** 共纳入 109 072 名 6 ~ 18 岁学生,男女生的肺活量曲线相似并都随年龄增长而上升,且青春期增速加快。与全国平均水平相比,男生 P_{50}值在 7 ~ 17 岁低于全国均值,18 岁时反超;女生 P_{50}在 14 岁前低于全国均值,14 岁后高于全国水平。肺活量在 BMI、是否寄宿、城乡和民族之间存在差异($R^2 = 0.66$, $F = 35\ 369.75$, $P < 0.01$)。年龄每增长 1 岁,肺活量平均增长 191.5 ml;BMI 每升高 1 单位,肺活量增加 32.6 ml;女性肺活量平均比男性低 276.8 ml,寄宿学生肺活量平均比非寄宿学生高 262.1 ml,农村学生肺活量平均比城镇学生低 23.3 ml,少数民族学生肺活量平均比汉族低 55.4 ml。聚类分析识别出三个特征鲜明的学生亚组,其中"低龄、低 BMI、非寄宿"群体的肺活量相对最低(1 233.0 ml);"高年龄、高 BMI、寄宿"群体肺活量最高(2 578.3 ml)。**结论** 采用 LMS 曲线可以为当地青少年肺活量的健康评估提供参考标准,教育部门应针对农村低龄及低 BMI 学生群体实施精准干预。

关键词:LMS 法;聚类分析;儿童青少年;肺活量;参考标准

中图分类号:R179 **文献标志码:**A **文章编号:**1003 - 8507(2026)04 - 630 - 07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202510260

LMS - Based study on vital capacity in primary and secondary school students: a case study of Renhuai City, Guizhou, China

YANG Bin - rong*, YANG Ya - yu, ZHANG Tian - xue, YANG Yi,
ZOU Yong - bo, XU Bing, HU Yuan - dong

* *Guizhou Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guiyang, Guizhou* 550004, *China*

Abstract: Objective To establish vital capacity percentile reference values for students aged 6 - 18 in Renhuai City, Guizhou Province, using the LMS method; to compare these findings with national average levels for primary and secondary school students; and to analyze influencing factors and population characteristics, thereby providing a scientific basis for physical health interventions targeting local students. **Methods** The LMS method was employed to construct vital capacity percentile curves and reference values (P_3, P_{10}, P_{25}, P_{50}, P_{75}, P_{90} and P_{97}). Concurrently, multiple linear regression and K - means clustering analysis were utilized to investigate influencing factors and the characteristics of student subgroups. **Results** A total of 109 072 students aged 6 - 18 were included in the study. The vital capacity curves for both boys and girls exhibited similar trends, increasing with age, with an accelerated growth rate observed during puberty. In comparison with national averages, the P_{50} values for boys were lower between ages 7 and 17 but exceeded the national average at age 18. For girls, P_{50} values were lower than the national average before age 14 but surpassed those after age 14. Significant variations in vital capacity were associated with BMI, boarding status, urban - rural residence, and ethnicity ($R^2 = 0.66$, $F = 35\ 369.75$, $P < 0.01$). Specifically, vital capacity increased by an average of 191.5 ml for every 1 - year increase in age and by 32.6 ml for every 1 -

基金项目:贵州省科技厅科学技术平台及人才团队计划课题(黔科合平台人才[2017]5722);贵州省疾控中心博士工作室专项资助项目(bsgzs2025 - 04);贵州省科协"会地合作"助力仁怀卫生健康水平提升项目(KCGZXDXM - 02);贵州省科协 2025 年度决策咨询调研课题及学术交流活动(QKX2025 - ZX - 003);2026 年度贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwkj2026 - 452)

作者简介:杨滨榕和杨雅愉为共同第一作者。杨滨榕(2001—),女,硕士在读,研究方向:公共卫生。杨雅愉(1989—),女,本科,主治医师,研究方向:内科学

通信作者:胡远东,E - mail: hydfox@163.com

unit increase in BMI. On average, females had a vital capacity 276.8 ml lower than males; The vital capacity of boarding students were 262.1 ml higher than non – boarding students; rural students were 23.3 ml lower than urban students; and ethnic minority students were 55.4 ml lower than Han students. Cluster analysis identified three distinct student subgroups. The "younger age, low BMI, non – boarding" group exhibited the lowest relative vital capacity (1 233.0 ml), while the "older age, high BMI, boarding" group demonstrated the highest (2 578.3 ml). **Conclusion** The application of LMS curves provide a valid reference standard for the health assessment of vital capacity among local adolescents. Education authorities should implement targeted interventions specifically aimed at younger students in rural areas and those with low BMI.

Keywords: LMS method; Cluster analysis; Children and adolescents; Vital capacity; Reference standards

青少年的体质健康水平不仅关系个人健康成长和幸福生活,而且关系整个民族健康素质[1]。随着我国"健康中国"战略的推进,学生体质健康成为国家重点关注的问题之一。其中肺活量是反映儿童青少年心肺功能的核心指标,直接与人体生长发育水平和体质健康状况相关[2]。《青少年体质健康发展报告》显示,许多青少年的肺功能持续降低[3]。因此,了解当地青少年肺活量及其影响因素,针对性开展健康促进,提升儿童青少年体质健康,尤其是肺活量健康,已成为亟需解决的问题。但现有的全国性健康评估标准较为广泛,缺乏针对特定年龄、性别和地区的细化数据,难以为地域性的健康指导提供科学依据。

制定适应地区和群体特点的肺活量标准显得尤为重要。偏度系数 – 中位数 – 变异系数法(Lambda – Median – Sigma, LMS)法是一种用于生长曲线建模的统计方法[4-5],已在全球范围内得到广泛应用,世界卫生组织(WHO)也应用该方法制定了适用于全球的身高体重的百分位数曲线。肺活量作为衡量心肺功能的关键指标,受到个体和环境因素影响,包括年龄、BMI、性别、寄宿情况及城乡差异等。

本文旨在构建贵州省仁怀市 6 ~ 18 岁中小学生肺活量 LMS 曲线,并与全国平均水平进行比较。同时,结合多元线性回归分析与聚类分析探讨肺活量影响因素及群体特征,为地方性健康指导提供科学依据,探索个性化健康干预策略。

1　研究对象与方法

1.1　*对象来源*　基于 2024 年 9 月在贵州省仁怀市开展的中小学生体质健康普查,覆盖仁怀市所有在校学生。研究对象纳入标准为年龄在 6 ~ 18 岁的中小学生,共计 109 072 人(男 57 043 人,女 52 029 人),年龄采用实足年龄计算。所有参与研究的学生在知情同意后纳入研究,均无已知呼吸系统疾病。本研究已获得贵州省疾控中心伦理委员会批准(批准号:Q2025 – 15)。本研究采用《国家学生体质健康标准(2014 年修订)》中各年龄组男生/女生的肺活量平均值作为全国参考标准,与本地 LMS 曲线 P_{50} 值进行比较。由于该标准数据为均值而非中位数,在大样本基础上可作为 P_{50} 的近似代表,用以评估本地学生肺活量水平的相对位置[6]。

1.2　*数据收集*　肺活量测量:测试严格按照《国家学生体质健康标准(2014 年修订)》的操作规范进行,使用校准过的 NL – 100 型肺活量计,要求学生采用站立位,深吸气后尽力呼气,取两次测试的最大值。

1.3　*数据分析*

1.3.1　LMS 曲线建模　本研究使用 RStudio 4.4.3 中的 gamlss 包构建 LMS(Lambda – Mu – Sigma)曲线。该方法通过最大似然法估算三个参数:形状参数 Lambda(L,用于 Box – Cox 变换调整偏度)、中位数位置参数 Mu(M,反映随年龄变化的平均水平)和离散度参数 Sigma(S,反映数据的离散程度),从而生成平滑的百分位数曲线。

数据预处理:采用四分位间距法(IQR)剔除异常极端值,并对缺失值及不完整记录进行多重插补,以减少对拟合曲线的干扰。

百分位数计算:利用拟合好的 LMS 模型,计算不同年龄的 P_3、P_5、P_{15}、P_{50}、P_{85}、P_{95}、P_{97} 百分位数。公式如下:

$$C_{100\alpha}(t) = M(t)\left[1 + L(t)S(t)Z_{\alpha}\right]^{\frac{1}{L(t)}}$$

$C_{100\alpha}(t)$ 代表年龄为 t 时对应的第 100α 百分位数的肺活量值;Z_{α} 为尾部面积百分位数 α 所对应的正态离差;$L(t)$、$S(t)$、$M(t)$ 分别为年龄 t 时的 Box – Cox 变换幂指数、变异系数和中位数[4-5,7]。并通过 Q – Q 图和残差分析验证模型拟合效果。

1.3.2　肺活量影响因素分析及聚类分析　使用 SPSS 29.0 统计软件进行分析。采用多元线性回归分析年龄、BMI、是否寄宿、城乡、民族对肺活量的影响;鉴于大样本($n > 10$ 万)及残差随机分布的特征,数据符合线性回归的适用条件。采用 K – means 聚类分析,识别由多种因素共同作用形成的肺活量特征群体。聚类变量涵盖年龄、BMI、性别、寄宿情况及城乡,其中连续变量(年龄、BMI)经 Z – score 标准化。鉴于样本中民族分布极度不平衡(少数民族仅占约 3%),为避免分类偏倚,民族变量仅纳入回归分析,未纳入聚类分析。通过手肘法结合误差平方和最终确定 k = 3 为最优聚类数。各聚类亚组间连续变量(肺

活量、年龄、BMI)的差异采用单因素方差分析,统计量为 F 值;分类变量(性别、寄宿、城乡)的差异采用卡方检验,统计量为 χ^2 值。所有检验均为双侧,检验水准 $\alpha = 0.01$。

2 结 果

2.1 基本情况 共纳入 6 ~ 18 岁中小学生 109 072 人,其中男生 57 043 人(52.3%),女生 52 029 人(47.7%)。小学阶段(6 ~ 12 岁)人数为 71 058(65.2%),中学阶段(13 ~ 18 岁)人数为 38 014(34.9%)。中小学生平均 BMI 为 18.25 ± 3.63 kg/m^2。城镇学生占比 73.1%,农村学生占比 26.9%。具体人口学特征分布见表 1。

2.2 男女生肺活量百分位数参考值及 L、M、S 值 由表 2 和表 3 可见,男生的 L 值由 -0.59 增长至 1.98;女生由 -0.60 增长至 0.55。M 值随年龄增长显著上升,男生从 6 岁的 810.40 ml 增至 18 岁的 3 894.21 ml,女生从 6 岁的 798.50 ml 增至 18 岁的 2 697.19 ml,男生增幅更大。男生 S 值由 0.27 减至 0.16,女生由 0.26 减至 0.19,即肺活量相对变异系数逐渐降低。

2.3 男女生 LMS 肺活量曲线 由图 1、图 2 可见,男女生肺活量随年龄增长呈上升趋势,青春期后都大幅度增加。但是无论是低百分位数(P_3, P_5, P_{15})、中位

表 1 研究对象基本情况[n(%)]或($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Basic characteristics of the study population [n(%)] or ($\bar{x} \pm s$)

项目	男生	女生	合计
年龄(岁)			
6	3 230(3.0)	3 387(3.1)	6 617(6.1)
7	5 823(5.3)	6 394(5.9)	12 217(11.2)
8	5 164(4.7)	5 836(5.4)	11 000(10.1)
9	4 802(4.4)	5 329(4.9)	10 131(9.3)
10	4 867(4.5)	5 540(5.1)	10 407(9.5)
11	4 721(4.3)	5 274(4.8)	9 995(9.2)
12	4 864(4.5)	5 471(5.0)	10 335(9.5)
13	4 614(4.2)	5 159(4.7)	9 773(9.0)
14	4 448(4.1)	4 993(4.6)	9 441(8.7)
15	4 339(4.0)	4 867(4.5)	9 206(8.4)
16	4 235(3.9)	4 743(4.4)	8 978(8.2)
17	4 148(3.8)	4 637(4.3)	8 785(8.1)
18	4 057(3.7)	4 534(4.2)	8 591(7.9)
BMI(kg/m^2)	18.45 ± 3.81	18.03 ± 3.42	18.25 ± 3.63
区域(城、乡)			
城镇	41 652(52.3)	38 053(47.7)	79 705(73.1)
农村	15 391(52.4)	13 976(47.6)	29 367(26.9)
寄宿情况			
寄宿	19 910(51.7)	18 614(48.3)	38 524(35.3)
非寄宿	37 133(52.6)	33 415(47.4)	70 548(64.7)
民族情况			
汉族	55 314(52.4)	50 309(47.6)	105 623(96.8)
少数民族	1 729(50.1)	1 720(49.9)	3 449(3.1)

注:BMI 为计量资料,以($\bar{x} \pm s$)表示;其余为计数资料,以 n(%)表示。

表 2 男生肺活量百分位数参考值(ml)及 LMS 值

Table 2 Percentile reference values and LMS values for lung capacity (ml) of boys

年龄(岁)	百分位数							L	M	S
	P_3	P_5	P_{15}	P_{50}	P_{85}	P_{95}	P_{97}			
6	517	544	624	810	1 104	1 364	1 492	-0.59	810.40	0.27
7	546	579	677	904	1 249	1 540	1 678	-0.37	903.54	0.29
8	623	665	791	1 077	1 491	1 821	1 972	-0.17	1 077.13	0.31
9	738	791	949	1 294	1 769	2 127	2 285	-0.02	1 294.36	0.30
10	874	949	1 123	1 519	2 041	2 420	2 584	0.07	1 518.76	0.28
11	1 027	1 092	1 307	1 758	2 338	2 751	2 927	0.13	1 757.78	0.28
12	1 166	1 257	1 517	2 055	2 733	3 205	3 405	0.21	2 054.98	0.28
13	1 327	1 442	1 765	2 415	3 199	3 726	3 945	0.37	2 414.98	0.29
14	1 520	1 662	2 054	2 795	3 625	4 152	4 364	0.60	2 794.52	0.27
15	1 752	1 923	2 371	3 155	3 959	4 439	4 626	0.90	3 154.70	0.24
16	2 011	2 205	2 687	3 463	4 199	4 617	4 776	1.24	3 463.33	0.21
17	2 261	2 469	2 961	3 701	4 361	4 720	4 856	1.61	3 701.32	0.18
18	2 298	2 712	3 200	3 894	4 484	4 797	4 913	1.98	3 894.21	0.16

表 3 女生肺活量百分位数参考值(ml)及 LMS 值

Table 3 Percentile reference values and LMS values for lung capacity (ml) of girls

年龄(岁)	百分位数							L	M	S
	P_3	P_5	P_{15}	P_{50}	P_{85}	P_{95}	P_{97}			
6	521	547	623	799	1 069	1 303	1 417	-0.60	798.50	0.26
7	541	572	662	868	1 175	1 429	1 548	-0.39	867.90	0.28
8	604	642	755	1 007	1 368	1 651	1 780	-0.20	1 007.42	0.29
9	712	760	899	1 202	1 616	1 926	2 063	-0.06	1 202.24	0.28

（续表）

年龄（岁）	百分位数							L	M	S
	P_3	P_5	P_{15}	P_{50}	P_{85}	P_{95}	P_{97}			
10	848	905	1 069	1 419	1 876	2 208	2 352	0.04	1 418.66	0.27
11	988	1 055	1 245	1 642	2 150	2 510	2 664	0.10	1 641.97	0.26
12	1 114	1 191	1 412	1 867	2 439	2 840	3 009	0.16	1 866.67	0.26
13	1 224	1 313	1 564	2 078	2 713	3 150	3 334	0.22	2 077.54	0.27
14	1 342	1 439	1 713	2 261	2 924	3 371	3 557	0.29	2 261.18	0.26
15	1 487	1 589	1 871	2 421	3 065	3 491	3 665	0.36	2 420.81	0.24
16	1 634	1 736	2 017	2 552	3 161	3 555	3 714	0.42	2 552.09	0.22
17	1 740	1 842	2 120	2 640	3 219	3 587	3 735	0.48	2 640.24	0.20
18	1 812	1 914	2 189	2 697	3 253	3 600	3 740	0.55	2 697.19	0.19

数（P_{50}），还是高百分位数（P_{85}，P_{95}，P_{97}），男生的肺活量均高于同龄的女生，且差异在青春期后更为显著。此外，残差图及 Q－Q 图显示残差满足正态性，方差齐性与独立性假设，表明 LMS 模型拟合良好，结果可靠。

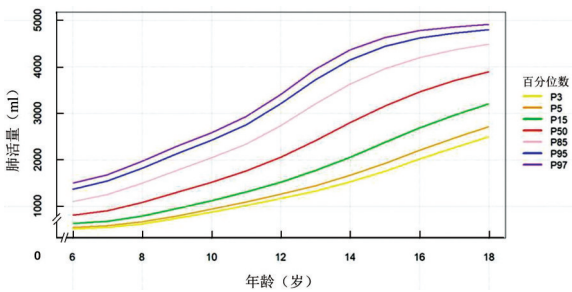


图 1　男生肺活量百分位数曲线

Fig. 1　Percentile curves of lung capacity for boys

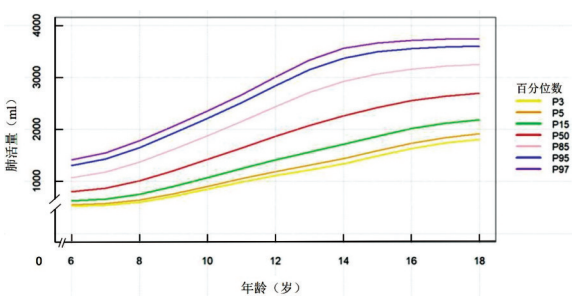


图 2　女生肺活量百分位数曲线

Fig. 2　Percentile curves of lung capacity for girls

2.4　*男女生肺活量 P_{50} 百分位数参考值与全国平均肺活量比较*　评估本地学生肺功能水平与全国标准的差异，绘制了 7～18 岁男、女生肺活量 P_{50} 百分位数曲线，并与全国标准（2014 版）进行对比，见图 3。男生肺活量 P_{50} 在 7～17 岁低于全国均值，但是差距逐步缩小，18 岁时略高于全国平均水平。女生在 14 岁前低于全国均值，14 岁后高于全国均值。

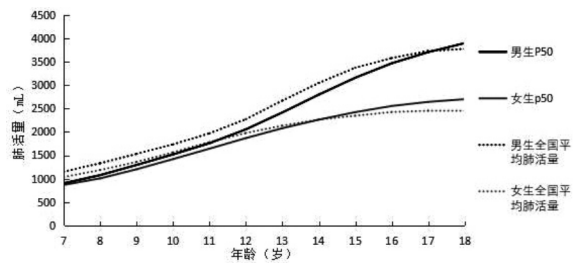


图 3　男、女生肺活量 P_{50} 百分位数参考值与全国平均肺活量曲线比较

Fig. 3　Comparison of the P_{50} percentile reference values of lung capacity between boys/girls and the national average vital capacity curve

2.5　*影响因素分析*　多元线性回归模型拟合良好（$R^2=0.66$，$F=35\ 369.75$，$P<0.01$）。各变量均对肺活量表现出显著的独立影响，见表 4。年龄每增长 1 岁，肺活量平均增长 191.5 ml；BMI 每增加 1 kg/m^2，肺活量平均增加 32.6 ml；女生肺活量平均比男生低 276.8 ml；寄宿学生肺活量平均比非寄宿学生高 262.1 ml；农村学生肺活量平均比城镇学生低 23.6 ml；少数民族学生肺活量平均比汉族学生低 55.4 ml。

表 4　青少年肺活量与影响因素的多元性回归分析

Table 4　Multiple regression analysis of adolescent lung capacity and its influencing factors

模型	未标准化系数 *B*	标准误差 *SE*	标准化系数 *β*	*t* 值	*P* 值	共线性统计	
						容差	VIF
常量	－457.90	15.87	－	－28.84	<0.001	－	－
年龄	191.51	0.68	0.66	281.23	<0.001	0.57	1.77
BMI	32.57	0.53	0.12	61.39	<0.001	0.85	1.18

（续表）

模型	未标准化系数 *B*	标准误差 *SE*	标准化系数 *β*	*t* 值	*P* 值	共线性统计	
						容差	VIF
性别（女）	-276.84	4.06	-0.14	-81.43	<0.001	0.99	1.01
寄宿（是）	262.11	4.50	0.13	58.30	<0.001	0.62	1.61
区域（农村）	-23.57	4.41	-0.01	-5.62	<0.001	0.85	1.18
民族（少数民族）	-55.44	9.70	-0.01	-5.71	<0.001	0.99	1.01

注：1. 常量（截距项）在回归中是一个固定的常数项，不是预测变量，因此不参与共线性诊断。2. VIF（方差膨胀因子）用于衡量自变量之间是否存在多重共线性，而常量不是自变量，无需计算 VIF。3. “共线性统计”中的容差也是针对自变量的，常量没有这一统计量。

2.6 基于学生特征的聚类分析 K-means 聚类分析将 109 072 名学生划分为三个群体，见表 5。不同类别间各指标比较差异均有统计学意义（$P<0.01$）。第一类为高 BMI、多男性较高年龄非寄宿的城镇群体；第二类为低 BMI、多男性低龄非寄宿的城镇群体；第三类为 BMI 居中、年龄最大、较多女性且寄宿的城镇群体。其中第三类群体的肺活量最高，第一类次之，第二类最低。

表 5 不同聚类学生群体的特征

Table 5 Characteristics of the identified student clusters

变量	第一类（*n* = 16 978）	第二类（*n* = 55 327）	第三类（*n* = 36 767）	F/χ^2	*P*
肺活量（ml）	2 361.97 ± 970.64	1 233.01 ± 500.53	2 578.26 ± 836.11	44 166.09	<0.01
年龄（岁）	12.50 ± 2.66	8.55 ± 1.71	14.34 ± 1.89	102 636.98	<0.01
BMI（kg/m^2）	24.66 ± 2.72	15.97 ± 1.86	18.71 ± 1.87	121 583	<0.01
性别男 *n*（%）	10 403（61.3）	28 505（51.5）	18 135（49.3）	691.98	<0.01
寄宿 *n*（%）	6 152（36.2）	7 714（13.9）	24 658（67.1）	27 293.38	<0.01
城镇 *n*（%）	13 505（79.5）	40 541（73.3）	25 659（69.8）	564.14	<0.01

3 讨 论

本研究采用 LMS 方法构建了贵州省仁怀市中小学生肺活量参考值曲线。相较于传统百分位数法易受数据的影响而使曲线出现波动、不连续或异常尖峰，LMS 法通过校准偏态数据及处理极端值，生成平滑且连续的百分位数曲线，能更加科学反映青少年肺活量的发展趋势[8-10]，为制定本地化健康干预策略提供了可靠依据。

本研究分析了 6 ~ 18 岁中小学生肺活量的分布特征和变化趋势。结果显示，男女生肺活量随年龄增长呈显著上升趋势，且在青春期（10 ~ 18 岁）呈加速特征，这与既往研究揭示的儿童青少年生理发育规律一致[11]。该增长模式还与增强的体能活动有关。朱建明等人的研究证实学生参与课外活动和体育课程的增多对中小学生心肺功能具有显著提升作用[12]。本研究结果进一步印证了生理发育与身体活动共同促进了肺功能的完善。

本研究将仁怀市学生肺活量 P_{50} 与全国平均水平对比发现：男生 P_{50} 总体低于全国均值，而女生在 14 岁后高于全国水平。在解读这一结果时，需考虑统计指标的特性，肺活量呈正偏态分布，算术均数往往高于中位数。因此，男生 P_{50} 低于全国均值时，部分可能归因于“中位数天生小于均数”的统计偏差，提示实际差距可能被高估。反之，女生在 14 岁后 P_{50} 数值超过了全国均值，这一反超更具统计学说服力，强有力地证实了当地青春期后期女生肺功能的良好发育水平。至于低龄段及男生整体水平偏低的情况，除统计因素外，这可能是与仁怀处于欠发达地区，经济发展、体育设施配置及资源分配不均衡等因素有关[13]。

本研究还揭示了该地区男生肺活量增长速度显著快于女生。尤其在青春期后期。这既可能是青春期激素变化导致男女生肺活量增长模式不同[14]。也可能是男生在青春期前后参与体力活动的积极性也更高。这一点与周运等人研究中男生比女生更积极参与体力活动的发现相一致[15]。由此，学校应制定更加个性化的体育课程，要加强和家庭的联合，提高女生在肺功能上的发展[16]。

通过多元线性回归分析与聚类分析，本研究揭示了肺活量的影响因素与群体之间的差异。回归分析表明肺活量随着 BMI 增加而增加，这可能是与 BMI 增加会影响呼吸肌力量增强有关[17-18]。且在聚类分析中进一步揭示这些因素的交织作用：第三类（高年级、适中 BMI、多寄宿）肺活量最高，第一类（高 BMI、城镇为主）次之，第二类（低龄、低 BMI）最低。尽管第一类群体 BMI 最高（24.66 kg/m^2），其肺活量却低于第三类，主要归因于其平均年龄显著较小（12.5 岁 vs 14.3 岁）且寄宿比例较低。此外，寄宿学生肺活量

较高,这或许是因为寄宿学校管理严格,进行规律性的体育锻炼,统一的作息时间。农村学生肺活量偏低,这可能是农村家庭燃煤导致青少年肺功能降低[19]。因此,政府与学校的干预措施需更具针对性:在农村区域,应优先关注那些兼具“低龄”、“低 BMI”特征的男生。需做到学校、家庭和社会的网络式的健康生活方式教育系统[20]。

基于本研究的 LMS 曲线及聚类群体特征,教育部门可构建一个“标准评估 - 精准定位 - 个性干预”的健康促进体系。首先,用 LMS 曲线可以确定个体在群体中的相对位置,进而结合群体特征,确定其健康风险水平。对于肺活量低的高危群体(第二类亚组),制定适合的体育锻炼计划,加强有氧运动,在校园中开展同期训练来提升儿童青少年心肺功能[21];对于肺活量较高的学生(第三类亚组),推广寄宿生活的健康模式,并强化耐力训练来保持其健康水平。

尽管本研究为中小学生肺活量的健康评估提供了参考,但仍存在一定的局限性。首先,本研究数据虽然覆盖仁怀市所有中小学生,但由于海拔、经济发展等因素在推广至全省或其他西南山区时仍需保持审慎。因此,未来的研究应扩大样本范围,提高结果的代表性。此外,本研究为横断面研究,无法揭示肺活量随时间变化的动态趋势,未来研究应采用纵向跟踪明确肺活量发展趋势。最后,肺活量受空气污染、生活方式等多种因素影响。未来应结合多维健康数据进行更深入的分析,进行更加全面的健康评估。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 马德浩. 新世纪以来我国中小学生体质健康状况的变化趋势及促进策略[J]. 西安体育学院学报,2024,41(2):159 - 168.
Ma DH. Changing trend and promoting strategy of physical health of primary and middle school students in China since the new century [J]. Journal of Xi'an Institute of Physical Education, 2024, 41(2): 159 - 168. (In Chinese)

[2] 杨漾,吴艳强,王向军,等. 上海市儿童青少年肺功能百分位数参考值[J]. 中国学校卫生,2017,38(10):1517 - 1519, 1523.
Yang Y, Wu YQ, Wang XJ, et al. Percentile reference values of lung function in Shanghai children and adolescents [J]. Chin J Sch Health, 2017, 38(10): 1517 - 1519, 1523. (In Chinese)

[3] 史德平,赵宏雯. 青少年体质健康存在的主要问题及体育保健发展趋势研究[J]. 青少年体育,2020,(10):36 - 37.
Shi DP, Zhao HW. Major Issues in Adolescent Physical Health and Trends in Sports Health Development [J]. Youth Sports, 2020, (10): 36 - 37. (In Chinese)

[4] Cole TJ, Green PJ. Smoothing reference centile curves: the LMS method and penalized likelihood[J]. Medicine Statistics, 1992, 11(10): 1305 - 1319.

[5] Cole TJ, Stanojevic S, Stocks J, et al. Age - and size - related reference ranges: a case study of spirometry through childhood and adulthood[J]. Medicine Statistics, 2009, 28(5): 880 - 898.

[6] 国家体育总局. 全国学生体质与健康调研结果公布(2014 年度)[EB/OL]. [2026 - 01 - 06]. https://www.sport.gov.cn/n315/n329/c216784/content.html.
G General Administration of Sport of China. National Student Physical Fitness and Health Survey Results (2014) [EB/OL]. [2026 - 01 - 06]. https://www.sport.gov.cn/n315/n329/c216784/content.html. (In Chinese)

[7] 江梅. LMS 法:一种适用建立肺功能全年龄段正常参考值曲线方法[J]. 中国卫生统计,2013,30(5):766 - 768.
Jiang M. The LMS method: a suitable method for establishing reference curves for lung function across all age groups[J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2013, 30(5): 766 - 768. (In Chinese)

[8] 李红娟,杨柳,张楠,等. 北京市 6 ~ 18 岁儿童青少年 LMS 法体脂百分位数参考值分析[J]. 中国学校卫生,2015,36(6):815 - 817.
Li HJ, Yang L, Zhang N, et al. Body fat percentile curves among 6 - 18 years old children and adolescents of Beijing using the LMS method[J]. Chinese Journal of School Health, 2015, 36(6): 815 - 817. (In Chinese)

[9] 张少东,祝丽玲,李晓东,等. LMS 法构建佳木斯市城区 6 ~ 17 岁儿童青少年身高百分位数参考标准研究[J]. 中华疾病控制杂志,2017,21(10):1071 - 1073.
Zhang SD, Zhu LL, Li XD, et al. Study on LMS method in constructing reference standard for height percentile of children aged 6 - 17 years in Jiamusi[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2017, 21(10): 1071 - 1073. (In Chinese)

[10] 李凤杰,王涛,杨玉玲. 2017 年淄博市临淄区 6 ~ 18 岁中小学生肺活量生长曲线分析[J]. 预防医学情报杂志,2021,37(4):486 - 491, 499.
Li FJ, Wang T, Yang YL. Vital capacity growth curve of primary and secondary school students aged 6 - 18 in Linzi district of Zibo city in 2017 [J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2021, 37(4): 486 - 491, 499. (In Chinese)

[11] 季成叶,陶芳标,武丽杰. 儿童青少年卫生学[M]. 7 版. 北京:人民卫生出版社,2012.
Ji CY, Tao FB, Wu LJ. Hygiene for children and adolescents [M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012. (In Chinese)

[12] 朱建明,吕季东,龙跃玉,等. “FIFA 11 健康”足球课程干预对 9 ~ 12 岁儿童体适能的影响[J]. 上海体育学院学报,2022,46(6):72 - 81.
Zhu JM, Lv JD, Long YY, et al. Effect of “FIFA 11 for health” on physical fitness in 9 to 12 year - old children[J]. Journal of Shanghai University of Sport, 2022, 46(6): 72 - 81. (In Chinese)

[13] 张偲莹,周运,王若青,等. 2019 年中国 7 ~ 18 岁学生肺活量体质量指数影响因素分析[J]. 中国预防医学杂志,2024,25(11):1373 - 1381.
Zhang CY, Zhou Y, Wang RQ, et al. Analysis of influencing factors on forced vital capacity/weight index among Chinese students aged 7 to 18 in 2019[J]. China Preventive Medicine, 2024, 25(11): 1373 - 1381. (In Chinese)

[14] Dammann CE, Ramadurai SM, McCants DD, et al. Androgen

regulation of signaling pathways in late fetal mouse lung development[J]. Endocrinology, 2000,141(8): 2923 – 2929.

[15] 周运,张偲莹,钟玉梅,等. 中国汉族 7 ~ 18 岁学生 2000 – 2019 年肺活量体重指数变化及未来趋势预测[J]. 中国学校卫生, 2025,46(9):1312 – 1317.
Zhou Y, Zhang CY, Zhong YM, et al. Change of forced vital capacity – to – weight index and future trend forecasting among Chinese Han students aged 7 – 18 during 2000 – 2019[J]. Chinese Journal of School Health, 2025, 46(9): 1312 – 1317. (In Chinese)

[16] 郭圣东. 赋能中小学生个性化发展的课后服务:可为、难为与应为[J]. 教育理论与实践,2023,43(20):8 – 11.
Guo SD. Empowering personalized development of primary and secondary school students through after – school services: possibilities, challenges, and responsibilities[J]. Theory and Practice of Education, 2023, 43(20): 8 – 11. (In Chinese)

[17] 舒文博,陈梦池,李华,等. 广西汉族和壮族大学生肺活量与肌肉参数的相关性分析[J]. 解剖学报,2020,51(6):959 – 966.
Shu WB, Chen MC, Li H, et al. Correlation of spirometry and muscle parameters of college students of Han and Zhuang nationalities in Guangxi[J]. Acta Anatomica Sinica, 2020, 51(6): 959 – 966. (In Chinese)

[18] Vaccari F, Fiori F, Bravo G, et al. Physical fitness reference standards in Italian children[J]. European Journal of Pediatrics, 2021, 180(6): 1789 – 1798.

[19] Kuti BP, Oladimeji OI, Kuti DK, et al. Rural – urban disparity in lung function parameters of Nigerian children: effects of socio – economic, nutritional and housing factors[J]. Pan African Medical Journal, 2017, 28: 230.

[20] 邱爽,俞靓,吕晓华. 成都市中小学生身体素质与体质指数、生活方式的相关性研究[J]. 现代预防医学,2024,51(4):656 – 662.
Qiu S, Yu L, Lv XH. Correlation research on between physical fitness and body mass index, lifestyle of primary and middle school students, Chengdu[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(4): 656 – 662. (In Chinese)

[21] 林建健,宋洁,张文静,等. 不同顺序同期训练对小学生身体成分和心肺耐力干预效果的研究[J]. 现代预防医学,2024,51(24):4485 – 4491.
Lin JJ, Song J, Zhang WJ, et al. Study on the intervention effect of different order concurrent training on body composition and cardiopulmonary endurance of primary school students[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(24): 4485 – 4491. (In Chinese)

收稿日期:2025-10-22

(上接第 607 页)

[10] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. 中华神经科杂志,2019,52(9):710 – 715.
Chinese Society of Neurology, Chinese Stroke Society. Diagnostic criteria of cerebrovascular diseases in China (version 2019)[J]. Chinese Journal of Neurology, 2019, 52(9): 710 – 715. (In Chinese)

[11] 中国高血压防治指南修订委员会,高血压联盟(中国),中国医疗保健国际交流促进会高血压分会,等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版)[J]. 中华高血压杂志:中英文,2024,32(7):603 – 700.
Writing Group of 2018 Chinese Guidelines for the Management of Hypertension, Chinese Hypertension League, Chinese Society of Cardiology, et al. 2018 Chinese guidelines for the management of hypertension[J]. Chinese Journal of Hypertension, 2024, 32(7): 603 – 700. (In Chinese)

[12] 中国肥胖问题工作组. 中国成人超重和肥胖症预防与控制指南(节录)[J]. 营养学报,2004,(1):1 – 4.
China Obesity Task Force. Guidelines for the prevention and control of overweight and obesity in China adults (excerpt)[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2004, (1): 1 – 4. (In Chinese)

[13] Wei ZS, Chen YS, Wu Y, et al. Limitations in activities of daily living increase the risk of stroke in older Chinese adults: a population – based longitudinal study[J]. Neural Regeneration Research, 2022, 17(3): 643 – 648.

[14] Li YQ, Jiang ML, Ren X, et al. Hypertension combined with limitations in activities of daily living and the risk for cardiovascular disease[J]. BMC Geriatrics, 2024, 24(1): 225.

[15] 夏颖,王佳琳,蔚萌,等. 中国中老年人心血管代谢性共病与不同类型日常生活活动能力的相关性分析[J]. 现代预防医学,2024,51(22):4170 – 4177.
Xia Y, Wang JL, YuM, et al. Analysis of the correlation between cardiovascular – metabolic co – morbidities and different types of activities of daily living abilities in Chinese middle – aged and elderly People[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(22): 4170 – 4177. (In Chinese)

[16] Chen YP, Kartsonaki C, Clarke R, et al. Sleep duration and risk of stroke and coronary heart disease: a 9 – year community – based prospective study of 0.5 million Chinese adults[J]. BMC Neurology, 2023, 23(1): 327.

[17] Cai C, Atanasov S. Long sleep duration and Stroke – Highly linked, poorly understood[J]. Neurology International, 2023, 15(3): 764 – 777.

[18] Chen LN, You SJ, Ee N, et al. Impact of frailty on antihypertensive treatment in older adults[J]. Hypertension, 2025, 82(3): 509 – 519.

[19] Smyth A, Hankey GJ, Langhorne P, et al. Tea and coffee consumption and risk of acute stroke: The INTERSTROKE Study[J]. International Journal of Stroke, 2024, 19(9): 1053 – 1063.

[20] Gao N, Ni M, Song JW, et al. Causal relationship between tea intake and cardiovascular diseases: A Mendelian randomization study[J]. Front Nutr, 2022, 9: 938201.

[21] Takahashi MKN, Paradela RS, Grinberg LT, et al. Hypertension May associate with cerebral small vessel disease and infarcts through the pathway of intracranial atherosclerosis[J]. Neurobiology of Aging, 2025, 145: 84 – 95.

[22] Wegener S, Baron JC, Derdeyn CP, et al. Hemodynamic stroke: emerging concepts, risk estimation, and treatment[J]. Stroke, 2024, 55(7): 1940 – 1950.

[23] Cong XF, Liu SB, Ma JX, et al. Association between self – rated health status and risk of stroke in Chinese adults: a prospective study[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2021, 42(3): 513 – 519.

收稿日期:2025-09-01