

BMI 评价当代大学生肥胖的准确性及其标准研究



洪玉香¹, 王卉², 张崇林^{1,2,*}

¹江西师范大学体育学院, 江西南昌 330022

²井冈山大学体育学院, 江西吉安 343009

摘要: 目的: 用国家疾病防控局规定的体脂率肥胖判定标准为金标准, 对大学生身体质量指数肥胖判定标准的真实性、可靠性、收益性等进行评价, 讨论 BMI 作为体脂率有无的诊断性能及适合的截断值。方法: 测试 1208 名在校大学生(男 557 人, 女 651 人), 测身高、体重推算 BMI, 采用电阻抗法测体脂率(Percentage of body fat, BF%) 和 ROC 曲线截断值构建 BMI 肥胖诊断标准。结果: BMI 作为肥胖筛查标准的真实性评价表现为特异度和假阴性率高, 假阳性率与灵敏度较低; 特别是女性灵敏度为 0.05。男性粗一致性与约登指数高于女性。ROC 曲线分析整体截断值为 23.05kg/m² 时, 特异度和灵敏度高; 男女性截断值为 23.67kg/m² 和 23.35kg/m² 时, 灵敏性低、特异性高、误诊率低; BF% 作为判定标准时, BMI 及男女分组的诊断性能好。结论: 当 BMI 判定标准为 28kg/m² 时, 整体灵敏度低且男性高于女性; 整体的特异度高, 误诊率低。当 BMI 肥胖诊断值为 23.05kg/m² 时, 可有效提高灵敏度、降低漏诊率、减少“隐匿型肥胖”者的漏诊、提高人群对肥胖的评估, 错失干预时机。

关键词: 电阻抗测试; 体脂率; 身体质量指数; 肥; ROC 分析

DOI: [10.57237/j.mrf.2023.02.006](https://doi.org/10.57237/j.mrf.2023.02.006)

BMI in Evaluating Obesity of Contemporary College Students

Hong Yu-xiang¹, Wang Hui², Zhang Chong-lin^{1,2,*}

¹School of Physical Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

²College of Physical Education, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China

Abstract: Background: Changes in lifestyle and reduction in physical activity have led to a continuous increase in the number of obese people in my country, but the criteria for determining obesity are different. Body mass index (BMI) is the most commonly used indicator for obesity research. Objective: To evaluate the authenticity, reliability and profitability of the obesity determination standard of body mass index (BMI) of college students, using the body fat rate obesity determination standard proposed by the National Center for Disease Control and Prevention as the gold standard, and to discuss BMI as a diagnostic performance and suitable cut-off value for excess body fat percentage. Methods: 1208 college students (557 males and 651 females) were tested, the height and weight were measured to calculate BMI, and the electrical impedance method was used to measure the percentage of body fat (BF%) and the ROC curve cutoff value to construct the BMI obesity diagnosis. standard. Results: The authenticity evaluation of BMI as an obesity screening

*通信作者: 张崇林, ccnuzcl@163.com

standard showed high specificity and false negative rate, but low false positive rate and sensitivity; especially for women, the sensitivity was 0.05. Males had higher crude concordance and Youden index than females. When the overall cut-off value of ROC curve analysis was 23.05kg/m^2 , the specificity and sensitivity were high; when the cut-off values for men and women were 23.67kg/m^2 and 23.35kg/m^2 , the sensitivity was low, the specificity was high, and the misdiagnosis rate was low; BF% was used as the When determining the criteria, the diagnostic performance of BMI and male and female groups was good. Conclusion: When the BMI criterion is 28kg/m^2 , the overall sensitivity is low and male is higher than that of female; the overall specificity is high and the misdiagnosis rate is low. When the BMI obesity diagnosis value is 23.05kg/m^2 , it can effectively improve the sensitivity, reduce the missed diagnosis rate, reduce the missed diagnosis of "occult obesity", improve the evaluation of obesity in the population, and miss the opportunity for intervention.

Keywords: Electrical Impedance Test; Body Fat Percentage; Body Mass Index; Obesity; ROC Analysis

1 引言

肥胖问题已成为影响健康的重大公共卫生问题，受环境和体育运动因素的影响，肥胖流行趋势稳定上升。肥胖已成为心脑血管疾病[1]，糖尿病[2]、代谢综合征[3]以及癌症[4, 5]等慢性疾病的重要危险因素。身体质量指数（body mass index, BMI）是目前国际上用的较多的评价人体肥胖程度和健康的标准；现今，有很多研究都采用 BMI 作为评价肥胖的参考标准。但 BMI 在评价肥胖时也存在特殊情况，如 BMI 判定为超重，但脂肪并没有超过标准值或 BMI 值较低但体脂率正常的情况[6]，也有 BMI 在正常范围但体脂百分比（Percentage of body fat, BF%）达到超重或肥胖程度[7]的情况。所以，在肥胖的诊断中，BMI 存在很大的局限性。对于青少年人群来说，BMI 正常但体脂率超标会误导其体成分观和健康观。本研究以生物电阻抗（BIA）测的体脂率作为判定肥胖的金标准，对 BMI 作为大学生肥胖筛查标准的真实性、可靠性、收益性等进行评价。

2 对象与方法

2.1 研究对象

采用横断面积调查法，对井冈山大学在校学生进行调查，以公共体育课选课班级（根据井冈山大学体育选课成班规则，全校学生自主选课；体院的学生不在公共体育课的范围之内）为单位进行整群随机抽样，共抽取男生 557 人，女生 651 人，年龄在 18~25 岁。无身体残疾及诊断疾病，在进行测试前均取得研究对象的知情同意。

2.2 研究方法

根据《国家学生体质健康标准》测量大学生的身高、体重并计算 BMI。采用 8 电极电阻抗测试仪（Eight-polar Bioelectrical impedance analysis, BIA）TANITA MC-180（TANITA 株式会社，日本东京），测研究对象的全身体脂率。本文参考中国卫生部疾病防控局提出的 BF% 分级标准[8]（男 BF% ≥ 25 、女 BF% ≥ 30 ）为金标准，根据中国肥胖问题工作组（WGOC）制定的评价肥胖的 BMI 标准[9]（BMI $\geq 28\text{kg/m}^2$ ）作为筛检阳性的标准。

2.3 数据处理

本文的数据采用 Excel2019 数据库，SPSS25.0 进行数据处理分析。所使用的统计方法有受试者工作特征（ROC）曲线的相关分析、筛检实验的真实性评价、可靠性评价、收益性评价以及描述性统计等；在进行准确性评价时，根据肥胖筛查标准和金标准将研究对象进行统计，如表 1。

表 1 筛检实验评价数据表

BMI 筛查结果 (kg/m^2)	BF% (BIA) 诊断结果		合 计
	$\geq 25\%$ (男) 或 $\geq 30\%$ (女)	$< 25\%$ (男) 或 $< 30\%$ (女)	
≥ 28 (肥胖)	A	B	R ₁
< 28 (不肥胖)	C	D	R ₂
合计	C ₁	C ₂	N

2.3.1 真实性评价

(1) 灵敏度（也称真阳性率），指用来衡量试验检

出肥胖者的能力，将实际肥胖的人准确地判定为阳性的比例。

$$\text{灵敏度}(\%) = A/(A+C) \times 100\%$$

(2) 特异度（也称真阴性率），指衡量试验正确诊断非肥胖者的能力，将实际非肥胖者正确地判为阴性的比例。

$$\text{特异度}(\%) = D/(B+D) \times 100\%$$

(3) 假阳性率（又称误诊率），指金标准判定的非肥胖者在实验中被判为阳性所占的比例。

$$\text{假阳性率}(\%) = B/(B+D) \times 100\%$$

(4) 假阴性率（又称漏诊率），指被金标准判为肥胖而在实验中被判为阴性所占的比例。反映的是肥胖者漏诊的情况。

$$\text{假阴性率}(\%) = C/(A+C) \times 100\%$$

2.3.2 可靠性评价

(1) 符合率（又称一致率），是指试验诊断的肥胖结果与标准诊断的肥胖结果相同的人数占总试验人数比例。用来衡量试验结果和金标准判定结果的符合程度。

$$\text{一致率}(\%) = (A+D)/(A+B+C+D) \times 100\%$$

(2) Kappa 分析，用来衡量两个变量一致性的指标。

$$\text{Kappa} = N(A+D) - (R_1C_1 + R_2C_2) / N^2 - (R_1C_1 + R_2C_2)$$

2.3.3 收益性评价

(1) 约登指数（也称正确指数），是特异度和灵敏度之和减 1。

$$\text{约登指数} = (\text{特异度} + \text{灵敏度}) - 1$$

(2) 预测值：是指试验可以正确判定肥胖的百分比。

① 阳性预测值，指被试验判为阳性的人数中真正肥胖的比例；反映的是肥胖筛查结果中阳性者为肥胖

的几率。

$$\text{阳性预测值} = (\text{灵敏度} \times \text{患病率}) / \text{灵敏度} \times \text{患病率} + (1 - \text{患病率}) \times (1 - \text{特异度})$$

② 阴性预测值，指被筛查试验判为阴性者中不肥胖的概率

$$\text{阴性预测值} = \text{特异度} \times (1 - \text{患病率}) / \text{特异性} \times (1 - \text{患病率}) + (1 - \text{灵敏度}) \times \text{患病率}$$

(3) 似然比（LR）：是灵敏度和特异度的复合型指标，比两者更加稳定，受患病率的影响小，被用来估计肥胖的概率。

① 阳性似然比：试验筛检结果中假阳性和灵敏度之间的百分比。

$$+LR = \text{真阳性率} / \text{假阳性率} = \text{灵敏度} / 1 - \text{特异率}$$

② 阴性似然比：试验筛检结果中假阴性率和特异度之间的百分比。

$$-LR = \text{假阴性率} / \text{真阴性率} = 1 - \text{灵敏度} / \text{特异率}$$

2.3.4 ROC 分析与截断值确定

ROC 曲线是以 1-特异度和灵敏度为横纵轴，AUC 则为曲线围成的面积，其面积越大，预测或评价的可信度就越高；当面积最大为 1 时，特异度和灵敏度的值最大，其预测准确，没有误诊也没有漏诊，ROC 曲线上最靠近左上角的点的灵敏度和特异度之和最大，这个临界点称为诊断参考值或最佳临界点，点上的值称为最佳临界值。ROC 曲线将灵敏度和特异度以图的方法表现出来，可以准确的反映灵敏度和特异度的关系，是一种较直观的方法。

3 结果

本文以电阻抗测试的体脂率为“金标准”，BMI 诊断结果为真阳性 34 人、假阴性 249 人、假阳性 1 人、真阴性 924 人，见表 2。

表 2 BMI 与 BF%判断肥胖一致性统计表

BMI 筛查结果 (km/m ²)	BF% (BIA) 诊断结果		合计
	≥25% (男) 或 ≥30% (女)	<25% (男) 或 <30% (女)	
≥28 (肥胖)	34	1	35
<28 (不肥胖)	249	924	1173
合计	283	925	1208

3.1 真实性

BMI 作为肥胖筛查标准的真实性评价结果，表现为整体的灵敏度低，男性灵敏度较高，女性灵敏度低，分别为 0.12、0.41、0.05，整体的特异度及男女性的特异度高，都为 1.00，表明 BMI 作为肥胖筛查的标准对

男女性肥胖的诊断性能好；整体的假阳性率及男女性的假阳性率低，表明 BMI 作为肥胖的筛查标准的错判率低；女性的假阴性率为 95%，说明女性肥胖的漏诊率较高，见表 3。

表 3 BIA 作为肥胖筛查标准的真实性评价

	人数	灵敏度 (95%CI)	特异度 (95%CI)	阳性率 (95%CI)	阴性率 (95%CI)
男性	557	0.41 (0.33~0.48)	1.00 (0.92~1.00)	0.00 (0.00~0.08)	0.59 (0.51~0.67)
女性	651	0.05 (0.02~0.08)	1.00 (0.91~1.00)	0.00 (0.00~0.09)	0.95 (0.65~0.98)
整体	1208	0.12 (0.08~0.21)	1.00 (0.92~1.00)	0.00 (0.01~0.08)	0.88 (0.84~0.90)

3.2 可靠性评价

肥胖筛查标准的可靠性评价结果表现为总体的粗一致性是 0.79，男性的一致性（0.94）高于女性的一致性（0.67），因此，男性肥胖筛查的结果与金标准的符合程度较高；根据 Kappa 的结果分析：和体脂率评价标准相比较，男生一致性（0.55）高于女生的一致性（0.06），因此，BMI≥28kg/m² 作为女性的肥胖筛查标准的一致性较差。

3.3 收益性评价

BMI 作为肥胖筛查标准的收益性评价，依据试验结果得出整体的约登指数低，男性的约登指数为 0.41，女性的约登指数为 0.05，由此可知，BMI 作为男性肥胖筛查标准的效果较好；阳性似然比低于阳性预测值，表明被诊断标准真正判为阳性的准确率高，阴性似然比低于阴性预测值，见表 4。

表 4 BMI 作为肥胖筛查标准的收益评价

	调查人数	约登指数	阳性预测值	阴性预测值	阳性似然比	阴性似然比
男性	557	0.41	1.00	0.98	0.00	0.59
女性	651	0.05	1.00	1.00	0.00	0.95
整体	1208	0.12	1.00	0.97	0.00	0.88

3.4 ROC 分析与截断点确定

使用 ROC 曲线对 BMI 的诊断性能进行分析，其结果为用体脂率作为肥胖诊断的标准时，其诊断性能较好（AUC=0.909，P=0.000，如图 1），BMI 截断值为

23.05，灵敏度为 0.84，特异度为 0.86。男女性分组诊断性能一致（AUC 为 0.577，P=0.000，如图 2、图 3），男女性的截断值分别为 23.67 和 23.35，以 BIA 测试的体脂率对男女性肥胖判定的诊断效果好，见表 5。

表 5 ROC 分析 BMI 诊断性能、截断点及相应的灵敏度、特异度

	ROC 曲线下面积	Sx ⁻	P 值	BMI 截断点	灵敏度	特异度
男性	0.577 (0.544, 0.609)	0.017	0.000	23.67	0.22	0.89
女性	0.577 (0.544, 0.609)	0.017	0.000	23.35	0.24	0.87
整体	0.909 (0.892, 0.927)	0.009	0.000	23.05	0.84	0.86

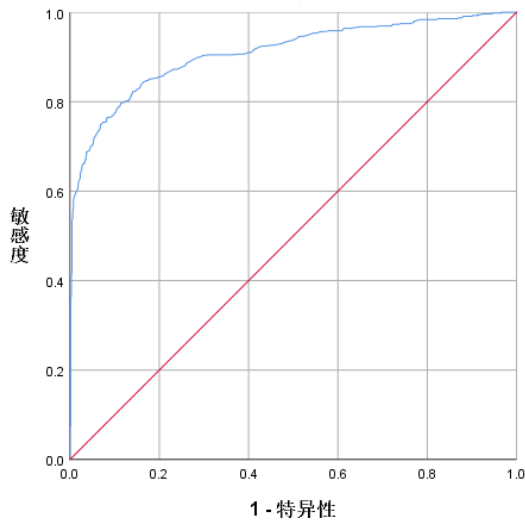


图 1 BMI 作为肥胖筛查指标的 ROC 曲线分析

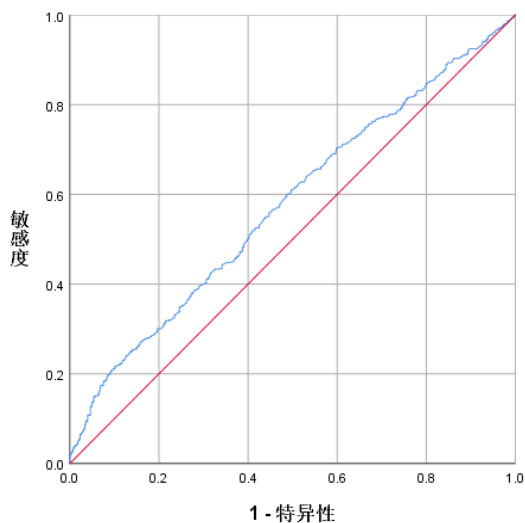


图 2 BMI 作为男性肥胖筛查指标的 ROC 曲线分析

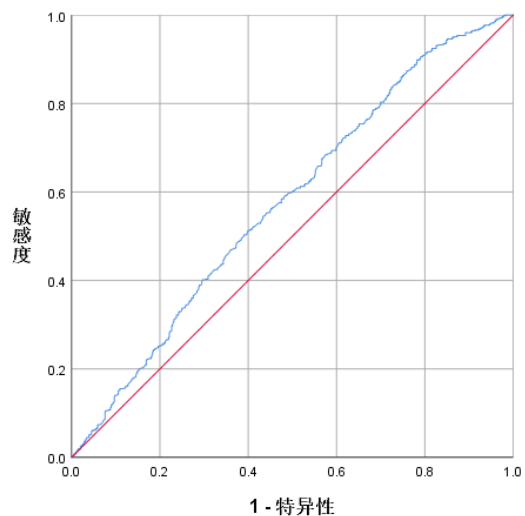


图 3 BMI 作为女性肥胖筛查指标的 ROC 曲线分析

4 讨论

4.1 BMI 作为肥胖判定指标的局限性

如果 BMI 超出正常值的水平将会影响身体健康, 增加患各种慢性疾病的风险[10, 11]。在公共卫生领域, 很多研究采用 BMI 作为超重、肥胖筛查的参考指标。但由于 BMI 没有考虑到身体成分的构成, 在评价肥胖的过程中, BMI 存在一定的局限性[12]。国外有试验研究[13, 14]发现在使用 BMI 作为肥胖筛查标准时, 出现肥胖检出率低以及灵敏度低的情况; 同样国内也发现使用 BMI 作为肥胖筛查标准时, 出现灵敏度低以及假阴性率高的情况; 本研究显示, BMI 作为肥胖筛查标准对大学生女性肥胖的检出率及灵敏度低, 假阴性率高; 表明 BMI 用来诊断女性肥胖是有一定局限的。根据 Kappa 判断标准, 同时使用 BMI 和体脂率诊断肥胖时, 男大学生的一致性优于女大学生; 结合预测值, 采取 BMI 作为肥胖判定的标准时, 阳性预测效果优于阴性预测效果; 由此可知, BMI 对大学生肥胖的预测和评价具有重要意义, 但不适合作为肥胖排除的标准, 否则将会增加错分的风险。

4.2 BMI 作为肥胖筛查的诊断性能

筛查标准是否准确可信, 可以通过比较实验诊断和金标准诊断的一致性得出。因为 AUC 曲线面积不受患病率和诊断值等因素的影响, 更是把灵敏度和特异度结合起来综合评价判别准确性, 因此, 成为使用较多的评价诊断标准性的最佳指标[6, 10]。当 BMI 肥胖筛查标准为 28 kg/m^2 时, 大学生整体的敏感性低, 特异性高, 表明肥胖诊断的漏诊率较高、误诊率低。本研究以 BF% 为金标准, BMI 对大学生肥胖的诊断价值较高 ($\text{AUC}=0.909$), 采用 ROC 曲线分析时所确定的整体大学生肥胖的截断值为 23.05 kg/m^2 时, 大学生肥胖的特异性 (0.86) 和敏感性 (0.84) 的诊断性较高, 其误诊率低男性肥胖的诊断效果好, 且男生截断值为 23.67 kg/m^2 , 女生截断值为 23.35 kg/m^2 , 而男女生的截断值都比 WGOC 制定的评价肥胖的 BMI 标准低; 可能与不同性别、年龄和人群在身体成分构成方面及运动有关, 及存在较多的肌少性肥胖[15], 由此可知, BMI 作为肥胖筛查标准时分性别的诊断效果好; 但是 BMI 考虑身高和体重的因素多, 而没有区分肌肉和脂肪的构成, 可能会导致“隐性肥胖”的错判和肥胖水平的低估, 而错失干预时机[16]。

4.3 建立 BMI 分类标准的讨论

BMI 是当前调查和研究肥胖最常用的指标, 测量和计算方法简便易行, 但其依赖于身高和体重而不考虑身体成分, 对脂肪和瘦体重区分度低, 有研究显示, BMI 作为肥胖筛查标准时在不同性别、年龄和人群中有一定的局限性[17], 本文的研究结果显示, 当 BMI 肥胖筛查标准为 28 kg/m^2 时, 男女大学生整体的特异度高, 灵敏度低, 假阴性率较高, 特别是女生的假阴性率为 0.95, 表明对男性肥胖的误诊率低, 女性的漏诊率较高, 所以, BMI 分性别、年龄检测时, 可有效降低跨级错分人数, 并提高超重识别率, 降低假阴性率, 具有较高的价值[18]。BMI 对大学生的肥胖诊断的准确性有限, 比体脂率筛查肥胖的金标准要宽松[19]。有研究表明, 体脂率作为评价肥胖最直观的指标, 在一系列肥胖评价指标中的地位卓越, 可作为衡量其他肥胖评价指标的标尺[20]。在测试中, 对实验结果的分析需要一个截断值来评定, 而 ROC 曲线截断值是目目前较为科学合理的方法, 本文用 ROC 曲线截断值确定的 BMI 截断值与 BMI 的评价标准相比, 其特异度高; 以提高灵敏度, 降低特异度为基本原则[21]。因此, 在使用 BMI 作为肥胖筛查标准时, 要考虑性别、年龄以及身体成分的因素, 才能有效降低假阴性率过高的情况。

5 结论

BMI 对大学生肥胖的预测和评价具有重要意义, 但不适合作为肥胖排除的标准。当 BMI 判定标准为 28 kg/m^2 时, 整体灵敏度低且男性高于女性; 整体的特异度高, 误诊率低。当 BMI 肥胖诊断值为 23.05 kg/m^2 时, 可有效提高灵敏度、降低漏诊率、减少“隐匿型肥胖”者的漏诊、提高人群对肥胖的评估, 错失干预时机。

参考文献

- [1] 李懿函. 体检人群的体脂率与代谢指标的相关性分析 [J]. 中国实用医药, 2021, 16 (03): 91-92.
- [2] 邢利旋, 沈创鹏. 基于肌肉量和体脂率探讨中老年 2 型糖尿病与脾虚的关系 [J]. 应用海洋学学报, 2020, 36 (11): 150-153.
- [3] 中国肥胖问题工作组数据汇总分析协作组. 我国成人体重指数和腰围对相关疾病危险因素异常的预测价值: 适宜体重指数和腰围切点的研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2002 (01): 10-15.
- [4] 曹达龙, 叶定伟. 超重和肥胖与癌症发生预后关系的研究进展 [J]. 肿瘤, 2017, 37 (12): 1344-1348.
- [5] 杨兴鑫, 李咏兰. 基于身体质量指数、腰臀比和体脂率的蒙古族肥胖研究 [J]. 天津师范大学学报: 自然科学版, 2020, 40 (2): 75-80.
- [6] 李红娟, 杨柳, 张楠. 身体质量指数作为肥胖筛查标准的判别准确性评价 [J]. 中国预防医学杂志, 2014, 15 (06): 571-575.
- [7] 宋可可, 任弘, 王梦蝶. 基于生物电阻抗原理的体脂率指标在大学生肥胖判定中的价值 [J]. 健康研究 2021, 41 (05): 504-575.
- [8] 张崇林, 王卉, 胡达道等. 应用体质指数评价大学生体脂率的敏感性和特异性 [J]. 卫生研究, 2021, 50 (05): 837-842.
- [9] 中国肥胖问题工作组, 季成叶. 中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数值分类标准 [J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25 (02): 97-102.
- [10] 李晓晨, 陈佩. BMI、WC、WHtR 和 BF% 诊断老年肥胖的一致性研究 [J]. 哈尔滨体育学院学报, 2022, 40 (01): 81-88.
- [11] 崔丽梅, 吕纳强. 肥胖的疾病特征 [J]. 中国比较医学杂志, 2019, 29 (10): 22-25+111.
- [12] 罗琳. 生物电阻抗法与双能 x 线吸收法的比较研究——以测量老年人的体脂率为例 [J]. 当代体育科技, 2013, 3 (13): 32+43.
- [13] SHAH N R, BRAVERMAN E R. Measuring adiposity in patients: the utility of body mass index (BMI), percent body fat, and leptin [J]. PloS one, 2012, 7 (4): 33308.
- [14] 张强, 周绍西, 闫雪皎等. 体质指数和体脂肪率评价成年人肥胖的比较 [J]. 卫生研究, 2019, 48 (04): 573-576.
- [15] Lopez AA, Cespedes ML, Vicente T. Body Adiposity Index Utilization in a Spanish Mediterranean Population: Comparison with the Body Mass Index [J]. PLoS One, 2012, 7 (4): e35281.
- [16] 贾宏伟, 邓琼英, 刘鹏等. 身体质量指数评价广西苗族成人肥胖的准确性 [J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32 (05): 11-14.
- [17] 朱文慧, 田惠子, 张瑞杰等. 体质量指数体脂率腰臀比评价大学生肥胖的差异 [J]. 中国学校卫生, 2019, 40 (11): 1703-1705+1708.
- [18] 何英剑, 陶秋山, 李晓婷等. 性别、年龄对成人 BMI 超重与肥胖诊断标准影响 [J]. 中国公共卫生, 2009, 25 (4): 441-443.

- [19] 费夕, 李红娟. 不同 BMI 筛查标准判别大学生肥胖准确性评价 [J]. 中国学校卫生, 2019, 40 (03): 423-425.
- [20] 蔡维娜. 体脂率在评价肥胖水平中的应用 [J]. 智慧健康, 2019, 5 (3): 97-98.
- [21] 陆森召. 不同体型男大学生 BMI 筛查肥胖差异性比较 [J]. 体育学刊, 2021, 28 (04): 112-118.

作者简介

洪玉香

1997 年生, 在读研究生. 研究方向为运动与体质健康.

E-mail: 2935848750@qq.com

张崇林

1976 年生, 副教授, 博士. 研究方向为运动与体质健康

E-mail: ccnuzcl@163.com