

老年人体脂率预测公式的构建及验证

苏义冬¹, 莫懿晗², 董欣³, 钟静⁴, 邓文与¹, 刘贝贝¹, 姚雪梅¹, 王秀华¹

摘要:目的 基于常用人体测量学数据和人口学数据构建老年人体脂率预测公式,并验证其预测效果。方法 采用分层便利抽样法采集 1 025 名老年人的人体测量学数据(身高、体质量及腰围等)、人口学数据(性别、年龄等)和体脂率数据。随机分为建模组(820 名)和验证组(205 名)。以生物电阻抗分析仪(BIA)测得的体脂率为金标准,采用多元线性逐步回归分析法构建预测公式,ROC 曲线下面积评价其预测效能,Bland-Altman 散点图和林氏一致性系数验证预测公式与 BIA 的一致性。结果 BMI、性别、身高、腰围、年龄进入体脂率预测公式。预测公式 ROC 曲线下面积为 0.910,灵敏度为 92.9%,特异度为 89.1%。预测公式与 BIA 测得 体脂率的差值均数为 -0.021%,95% 一致性区间(LOA)为(-6.605%,6.562%),95%LOA 的 95%CI 为(-7.397%,7.354%);与 BIA 测得 体脂率的林氏一致性系数为 0.883。结论 构建的老年人体脂率预测公式可靠,可用于老年人肥胖预防与管理。

关键词:老年人; 体质量; 腰围; 肥胖; 体脂率; 体重指数; 预测公式; 体质量管理

中图分类号:R473.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2022.11.001

Development and validation of a prediction equation for estimating body fat percentage in older adults Su Yidong, Mo Yihan, Dong Xin, Zhong Jing, Deng Wenyu, Liu Beibei, Yao Xuemei, Wang Xiuhua. Xiangya Nursing School of Central South University, Changsha 410013, China

Abstract: **Objective** To develop a prediction equation for estimation of body fat percentage in elderly populations based on anthropometric data and demographic data, and to verify its prediction power. **Methods** A total of 1,025 elderly adults were selected by stratified convenience sampling and their anthropometric data (e. g. height, weight and waist circumference, etc.), demographic data (e. g. gender and age, etc.) and body fat percentage were measured. They were randomized into a model set of 820 and a validation set of 205. Using body fat percentage by bioelectrical impedance analysis (BIA) as the gold standard, stepwise multiple linear regression was used to develop the prediction equation. ROC curve was used to evaluate the prediction power. The Bland-Altman diagram and concordance correlation coefficient (CCC) were used to verify the consistence of prediction equation and BIA. **Results** A new prediction equation was developed, based on BMI, gender, height, waist circumference and age. The area under ROC curve was 0.910, the sensitivity was 92.9%, and the specificity was 89.1%. The mean difference between the prediction equation and BIA was -0.021%, and the 95% limits of agreement (LOA) were -6.605% and 6.562% (with a 95% confidence interval of -7.397% to 7.354%). The CCC value between the prediction equation and BIA was 0.883. **Conclusion** The formula is valid for estimation of body fat percentage in older people and can be used in prevention and management of obesity.

Key words: older adults; body weight; waist circumference; obesity; body fat percentage; body mass index; prediction formula; body weight management

超重和肥胖指可损害健康的异常或过量脂肪累积,是导致心血管疾病、糖尿病、肌肉骨骼疾病及癌症等重大风险因素^[1]。我国老年人超重率和肥胖率分别高达 33.3%和 12.4%^[2],及时准确地评估老年人肥胖程度,有益于肥胖相关疾病的预防与管理。体重指数(Body Mass Index,BMI)是目前衡量人体胖瘦程度及是否健康的常用指标^[3],此指标存在不能区分个体脂肪质量和肌肉质量的缺陷,可能会将肌肉质量较大的人群划分为肥胖人群;也无法识别体

质量正常,但脂肪比例较高的肥胖人群^[4]。有研究报道,体脂率(Body Fat Percentage,BF%)较 BMI 更能准确地反映个体的实际肥胖程度^[5]。

体脂率是人体脂肪含量占人体总质量的比例,可通过水下称重法、双能 X 线吸收法及生物电阻抗分析法(Bioelectrical Impedance Analysis,BIA)等方法测量,但以上方法测量需要精密、昂贵仪器,很难大规模应用^[6]。有研究便根据与体脂率高度相关的部分人体测量学数据和人口学数据,如身高、体质量、腰围、年龄等,构建了体脂率预测公式^[7-8],为体脂率的广泛应用提供了解决思路。但现有体脂率预测公式构建的样本人群多为非老年人群^[7-8],而体脂率在不同年龄段中存在较大差异,老年人群体脂率远高于非老年人群^[9],导致现有基于人体测量学数据的体脂率预测公式不适用于老年人。因此,本研究拟基于常用的人体测量学数据和人口学数据,以 BIA 测得的体脂率

作者单位:1. 中南大学湘雅护理学院(湖南 长沙,410013);2. Cicely Saunders Institute of Palliative Care, Policy & Rehabilitation, King's College London;3. 九江学院护理学院;4. 中南大学湘雅三医院
苏义冬:男,硕士在读,护士
通信作者:王秀华,653012790@qq.com
科研项目:湖南省发展和改革委员会创新研发课题项目(2021-11);2018 年度湖南省重点研发计划项目(2018SK21312)
收稿:2022-01-14;修回:2022-03-06

为金标准,构建并验证适用于老年人的体脂率预测公式,为老年人肥胖预防与管理提供参考。

1 对象与方法

1.1 对象 2019年6月至2020年9月,采用分层便利抽样法,将湖南省分为湘西、湘南、湘北、湘东、湘中5个区域,从每个区域中选取1个城市(怀化、郴州、汨罗、长沙、邵阳),再从每个城市中便利选取2个社区,在每个社区中选取符合标准的老年人。纳入标准:①年龄≥60岁;②知情,自愿加入本研究。排除标准:①体内植入有任何金属物品,如心脏起搏器、支架等;②肢体不健全;③处于疾病终末期或患有严重疾病。共入选老年人1 025人,使用SPSS23.0软件的随机个案样本选择功能,将研究对象按4:1的比例随机分为两组,其中公式建模组820人(80.00%),公式验证组205人(20.00%)。

1.2 方法

1.2.1 人体测量学指标的测量和人口学数据的收集 严格按照《人体测量方法》^[10]测量研究对象的身高、体质量和腰围,精确度分别为0.1 cm、0.1 kg和0.1 cm。腰围测量值取被测者髂前上棘和第12肋下缘连线中点,软皮尺水平绕腹部的周长,全程由经过培训的1名研究者使用同一条软皮尺紧贴被测者皮肤测量。根据公式BMI=体质量(kg)/身高(m)²计

算研究对象的BMI值。采用自行设计的调查表收集研究对象的一般资料,包括姓名、性别、年龄等。

1.2.2 体脂率的测量 采用BIA仪(Inbody S10, Biospace, Korea)测量研究对象的体脂率。研究对象需赤脚平躺于平板床上,四肢连接仪器导联线后即可测量。为提高测量的准确度,研究对象需穿轻薄衣物(冬季测量现场使用空调,保持室温适宜),脱去金属饰品,测量前2 h无剧烈运动,需空腹,未饮酒。

1.2.3 统计学方法 采用SPSS23.0软件和Med-calc19.0软件进行统计分析。一般资料行描述性分析、相关性分析,采用多元线性逐步回归分析构建体脂率预测公式。采用ROC曲线下面积(AUC)检验预测公式的预测效能,计算灵敏度、特异度及约登指数;使用Bland-Altman散点图和林氏一致性系数(Concordance Correlation Coefficient, CCC)分析2种方法(新建体脂率预测公式与BIA)测量体脂率的一致性。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 老年人一般资料 1 025人中,男331人,平均体脂率为(27.14±7.64)%;女694人,平均体脂率为(34.35±6.68)%;年龄60~92(70.24±7.27)岁。建模组与验证组各项指标比较,差异无统计学差异(均P>0.05),具体见表1。

表1 两组各项指标比较

组别	人数	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	BMI	腰围(cm)	体脂率(%)
建模组	820	70.33±7.27	156.00±8.10	57.96±9.70	23.83±3.60	81.73±9.53	32.08±7.83
验证组	205	69.87±7.30	156.90±7.71	59.09±10.16	23.93±3.24	82.30±8.87	31.81±7.53
<i>t</i>		0.801	1.430	1.484	0.381	0.772	0.433
<i>P</i>		0.423	0.153	0.138	0.704	0.440	0.665

2.2 体脂率与其他变量的相关性 体脂率与身高呈负相关($r = -0.462, P < 0.05$),与年龄、体质量、BMI、腰围呈正相关($r = 0.368, 0.302, 0.699, 0.577$, 均 $P < 0.05$),与性别存在较强相关性($Eta = 0.452$)。

2.3 体脂率影响因素的多元线性回归分析 以BIA测得 体脂率为因变量,将相关性分析中有统计学意义的6个变量作为自变量,进行多元线性逐步回归分析。结果显示体质量存在共线性($VIF = 12.432$),故未纳入预测公式。最终BMI、性别、身高、腰围、年龄进入预测公式,见表2。构建的体脂率预测公式为:BF% = 24.994 + 0.621 × BMI + 4.796 × 性别 - 0.367 × 身高(cm) + 0.406 × 腰围(cm) + 0.118 × 年龄。

2.4 新建体脂率预测公式的预测效能及一致性验证 将验证组按照性别进行分层,参考WHO推荐的体脂率肥胖评价标准(男性≥25%,女性≥35%),以新建体脂率预测公式的预测值为检验变量,绘制ROC曲线。结果男性体脂率预测值AUC为0.983(95%CI:0.961~1.000),取约登指数最高值0.922时,男性体脂率最佳截断值为25.19%;女性体脂率预测值AUC为0.957(95%CI:0.926~0.988),女性体脂率

预测值以34.02%为截点时,约登指数达到最高值0.805。

表2 老年人体脂率的多元线性逐步回归分析($n = 820$)

变量	β	SE	β'	<i>t</i>	<i>P</i>	VIF
常量	24.994	4.455	—	5.610	0.000	—
BMI	0.621	0.065	0.285	9.547	0.000	3.541
性别	4.796	0.360	0.284	13.338	0.000	1.804
身高	-0.367	0.023	-0.379	-15.710	0.000	2.316
腰围	0.406	0.025	0.494	15.981	0.000	3.795
年龄	0.118	0.018	0.109	6.523	0.000	1.110

注: $R^2 = 0.797$,调整 $R^2 = 0.795$; $F = 42.546, P < 0.001$ 。赋值:男=1,女=2;其他项目原值输入。

以男性体脂率预测值≥25.19%,女性≥34.02%为判断肥胖标准的截点,以WHO推荐的体脂率肥胖评价标准作为金标准,进行一致性诊断和ROC曲线分析。结果显示Kappa值为0.822;体脂率预测值对肥胖二分类分组灵敏度为92.9%,特异度为89.1%,AUC为0.910(95%CI:0.864~0.956)。

Bland-Altman散点图显示,新建体脂率预测公式和BIA测得 体脂率的差值的均数($\bar{d}$) = -0.021%, $P = 0.927$,差异无统计学意义,95%一致性区间(LOA)为(-6.605%,6.562%),95%LOA的

95%CI (−7.397%, 7.354%), 在可接受误差范围内。林氏一致性系数 (CCC) 为 0.883, 95% CI (0.851, 0.908), 两种体脂率测量方法的一致性较好。见图 1、图 2。

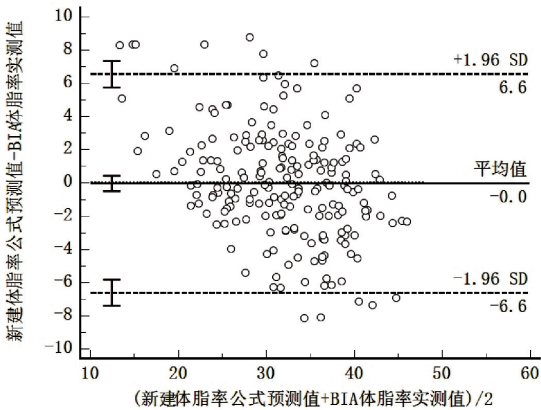


图 1 新建体脂率预测公式与 BIA 的 Bland-Altman 散点图

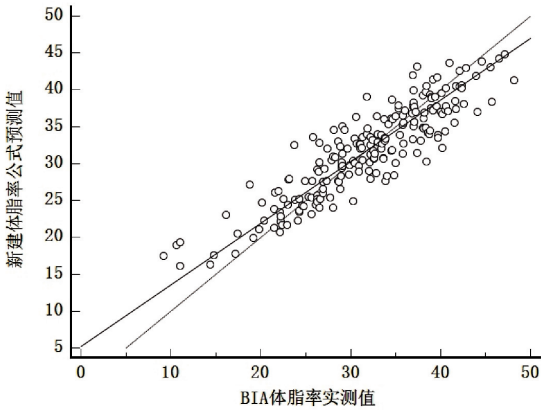


图 2 新建体脂率预测公式与 BIA 的林氏一致性系数图

2.5 新建体脂率预测公式的应用举例 根据新建体脂率公式计算老年人人体脂率:如一位老年人,女(男=1,女=2),70岁,身高160cm,体质量70kg,腰围90cm,代入预测公式: $24.994 + 0.621 \times (70/1.6^2) + 4.796 \times 2 - 0.367 \times 160 + 0.406 \times 90 + 0.118 \times 70 = 37.65\%$ 。按本公式判断肥胖的最佳截点为女性体脂率 $\geq 34.02\%$,可判断该老年人为肥胖。

3 讨论

肥胖是糖尿病、心脑血管等疾病的重要危险因素之一^[1],准确了解老年人的肥胖程度,及时预防与管理,有益于促进健康老龄化^[11]。本研究基于BMI、性别、年龄和腰围等常用人体测量学数据和人口学数据构建的体脂率预测公式,可较为准确地预测老年人的体脂率,进而准确地反映老年人的肥胖程度;且预测公式所需数据方便易得,不依赖昂贵精密仪器,便于在老年人群中大规模应用。

新建体脂率预测公式纳入了BMI、性别、身高、腰围及年龄5个变量(调整 $R^2=0.795, P<0.01$),公式

拟合度较好。新建预测公式中,BMI对体脂率的影响最大,可解释体脂率变化的48.7%。这与Bertapelli等^[12]在非老年人群[年龄(49.1±9.0)岁]中构建的体脂率预测公式相一致,其公式中BMI可解释体脂率变化的48%。胡强等^[13]对广州市中老年人群体脂率与常规肥胖指标(BMI、腰围、腰臀比等)的相关性研究发现,BMI与体脂率相关性最大。由此可见,BMI是预测体脂率的重要因子^[14]。其次,体脂率存在明显的性别差异,女性体脂率明显高于男性^[15]。因此在预测体脂率时,十分有必要考虑性别对体脂率的影响。新建预测公式中,将性别纳入预测公式后,结果显示性别可解释体脂率变化的20.1%,这与巴西学者基于16~24岁青年人构建的体脂率预测公式相近,其公式中性别解释了体脂率变化的23%^[16]。最后,本研究在构建老年人人体脂率预测公式过程中发现,在纳入BMI和性别的基础上,将身高、腰围和年龄纳入公式后,公式的标准估计误差由4.371降至3.557。由此可见,尽管身高、腰围和年龄解释老年人人体脂率的能力有限,但可明显提高公式预测体脂率的准确度。这可能与身高较高的老年人,体脂率往往较低有关;同时也可能与随着年龄增长,老年人机体脂肪比例逐渐增加,瘦体质量比例逐渐减少^[17],脂肪重新定向,向腰腹部聚集有关。

新建体脂率预测公式判断老年人是否肥胖的灵敏度及特异度较好,灵敏度为92.9%,特异度为89.1%,AUC为0.910,说明新建体脂率预测公式具有较好的预测效能。使用本研究的体脂率预测公式,推荐男性体脂率预测值 $\geq 25.19\%$,女性 $\geq 34.02\%$,可判断为肥胖。另外,本研究中的预测公式与BIA测得的体脂率具有较好的一致性。Kwok等^[18]基于BMI、皮褶及性别,在中国香港老年人群(69~82岁)中构建了体脂率预测公式,其验证结果显示,预测公式与双能X线吸收仪测得体脂率的差值的均数为−0.6%,95%LOA为(−8.7%, 7.4%),研究未列出95%LOA的95%CI。与之相比,本研究构建的体脂率预测公式与BIA测得体脂率的差值的均数更小,且差异无统计学意义($P>0.05$),95%LOA的范围更窄,且95%LOA的95%CI在可接受误差范围内;预测公式与BIA的CCC也较高。此外,皮褶需要专业人员操作皮褶厚度测量仪测量,具有一定操作难度,操作不规范可能存在较大误差;测量身体某些位置皮褶厚度时还需要脱掉衣物,操作不便^[19]。综上,本研究构建的体脂率预测公式,数据简便易得,预测较为准确,可作为预测老年人人体脂率的有效方法。

有研究报道,体脂率不仅可准确反映肥胖程度,还可有效预测心脑血管疾病^[20]。所以,老年患者在常规入院评估时,可使用本研究构建的体脂率预测公式,了解老年患者的体脂率状况,以更好指导临床护理工作的开展;社区卫生服务中心也可运用此体脂率

预测公式,在居民健康档案中增加体脂率数据,以便更准确地了解老年居民肥胖程度,有效预防和管理心脑血管疾病;老年人可以自行预测自己的体脂率,了解自身肥胖程度,保持健康体态。

4 小结

本研究基于常用的人体测量学数据和人口学数据,构建了适用于我国老年人的体脂率预测公式。经验证,新建预测公式预测效能较好,且与 BIA 显示出较好的一致性。未来可以进行更大规模的研究,对此公式加以验证,以便更好地用于老年人肥胖预防与管理。

参考文献:

- [1] 中国医疗保健国际交流促进会营养与代谢管理分会,中国营养学会临床营养分会,中华医学会糖尿病学分会,等.中国超重/肥胖医学营养治疗指南(2021)[J].中国医学前沿杂志(电子版),2021,13(11):1-55.
- [2] 赵方蕾.中国 65 岁及以上老年人膳食营养现状及糖尿病膳食影响因素分析[D].北京:中国疾病预防控制中心营养与健康所,2021.
- [3] 王艳,蒋德川,袁芳,等.临床常用营养指标与卧床老年患者体质指数的相关性研究[J].护理学杂志,2010,25(21):24-26.
- [4] Ghesmaty Sangachin M, Cavuoto L A, Wang Y. Use of various obesity measurement and classification methods in occupational safety and health research: a systematic review of the literature[J]. BMC Obes, 2018, 5: 28.
- [5] Pasco J A, Holloway K L, Dobbins A G, et al. Body mass index and measures of body fat for defining obesity and underweight: a cross-sectional, population-based study[J]. BMC Obes, 2014, 1: 9.
- [6] Ceniccola G D, Castro M G, Piovacari S, et al. Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages[J]. Nutrition, 2019, 62(1): 25-31.
- [7] 占叶俊.畲族女大学生体脂百分比逐步回归预测模型研究[J].中国学校卫生,2010,31(2):229-230.
- [8] Liu X, Sun Q, Sun L, et al. The development and validation of new equations for estimating body fat percentage among Chinese men and women[J]. Br J Nutr, 2015, 113(9): 1365-1372.

- [9] Auyeung T W, Leung J, Yu R, et al. Decline and peripheral redistribution of fat mass in old age—a four-year prospective study in 3018 older community-living adults [J]. J Nutr Health Aging, 2018, 22(7): 847-853.
- [10] 席焕久,陈昭.人体测量方法[M].2版.北京:科学出版社,2010:159-174.
- [11] 吴凡,绳宇.城市社区老年人健康老龄化现状及相关因素分析[J].护理学杂志,2018,33(13):84-87.
- [12] Bertapelli F, Silveira S L, Agiovlasis S, et al. Development and cross-validation of a simple model to estimate percent body fat in persons with multiple sclerosis[J]. Int J MS Care, 2021, 23(5): 193-198.
- [13] 胡强,江朝强,张维森,等.广州市中老年人体脂率与常规肥胖指标相关性及其对应值的研究[J].中华流行病学杂志,2016,37(10):1341-1344.
- [14] Molina-Luque R, Romero-Saldana M, Alvarez-Fernandez C, et al. Equation cordoba: a simplified method for estimation of body fat (ECORE-BF) [J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(22): 4529.
- [15] 江崇民.中国城镇居民身体脂肪的分布特征及体脂率推算方法的研究[D].北京:北京体育大学,2006.
- [16] Bertapelli F, Agiovlasis S, Motl R W, et al. Development and cross-validation of a prediction equation for estimating percentage body fat from body mass index in young people with intellectual disability[J]. Adapt Phys Activ Q, 2020, 37(4): 481-497.
- [17] Kyle U G, Genton L, Hans D, et al. Total body mass, fat mass, fat-free mass, and skeletal muscle in older people: cross-sectional differences in 60-year-old persons [J]. J Am Geriatr Soc, 2001, 49(12): 1633-1640.
- [18] Kwok T, Woo J, Lau E. Prediction of body fat by anthropometry in older Chinese people [J]. Obes Res, 2001, 9(2): 97-101.
- [19] Ellis K J. Selected body composition methods can be used in field studies[J]. J Nutr, 2001, 131(5): 1589-1595.
- [20] 黄晖明,王人卫,李森,等.体重指数与体脂率指标评价肥胖:基于诊断试验的比较研究[J].中国运动医学杂志,2017,36(3):218-225.

(本文编辑 王菊香)

• 敬告读者 •

《护理学杂志》入编 2020 年版《中文核心期刊要目总览》

2021 年 3 月,本刊收到《中文核心期刊要目总览》编委会通知,《护理学杂志》入编《中文核心期刊要目总览》2020 年版(即第 9 版)临床医学/特种医学类的核心期刊。中文核心期刊评价采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文)、影响因子、他引影响因子、5 年影响因子、5 年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索系统收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web 下载量、Web 下载率 16 个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 48 种,统计到的文献数量共计 142 亿余篇次,涉及期刊 13 764 种。参加核心期刊评审的学科专家 1 万多。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1 990 种核心期刊。

本刊再次入编《中文核心期刊要目总览》,是专家学者对《护理学杂志》学术质量和编辑质量的肯定与认可。在此,《护理学杂志》衷心感谢各级领导、各位编委、审稿专家、作者、读者及护理同仁长期以来给予本刊的关心、支持、帮助与厚爱。本刊将不忘初心,牢记使命,锐意进取,开拓创新,为护理人员搭建优质的学术交流平台,为推动护理学科发展贡献力量。

《护理学杂志》编辑部