

广州市中老年人人体脂率与常规肥胖指标相关性及其对应值的研究

胡强 江朝强 张维森 郑家强 徐琳 靳雅丽 饶穗丽 郑海清 林大庆
510620 广州医科大学附属第十二人民医院分子流行病学实验室(胡强、江朝强、张维森、靳雅丽、饶穗丽、郑海清); 英国伯明翰大学公共卫生与流行病学系(郑家强);
999077 香港大学公共卫生学院(徐琳、林大庆)
通信作者:张维森, Email: zwszcn@163.com
DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2016.10.005

【摘要】 目的 探讨广州市中老年人人体脂率(BFP)与BMI、腰围(WC)和腰臀比(WHR)等常规肥胖指标的相关性,并推算BFP相应切点值。**方法** 基于“广州生物库队列研究”(GBCS)平台,选择3 490名50岁及以上相对健康者随机分成两组,一组用于曲线拟合分析,确定BFP与BMI、WC和WHR间的相关方程,然后再引入性别、年龄、体力运动、吸烟、饮酒等因素进行逐步回归分析,建立预测方程,进而推算反映肥胖程度的BMI、WC、WHR各切点值对应的BFP切点值,然后与另一组进行验证。**结果** BFP随BMI、WC和WHR的增加而增加,与WC、WHR相比,BMI能更好预测BFP,其回归方程为 $BFP = (-23.47 - 8.87 \times \text{性别}) + 2.94 \times (\text{BMI}) - 0.024 \times (\text{BMI})^2$,决定系数 $R^2 = 0.805$ 。根据回归方程,超重($24 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$)对应的BFP分别男性为 $24.3\% \leq \text{BFP} < 31.1\%$,女性为 $33.2\% \leq \text{BFP} < 40.0\%$ 。与WC、WHR对应的BFP判定肥胖的一致性相比,BMI所对应的BFP判定肥胖的一致性较好,其ROC曲线下面积最大,男性为0.909,女性为0.919,灵敏度和特异度分别男性为70.3%、85.5%;女性为75.2%、93.0%。**结论** BFP与BMI的相关性较好。广州市中老年人BFP对应于超重/肥胖($\text{BMI} \geq 24 \text{ kg/m}^2$)的切点值男性为24.0%,女性为33.0%。

【关键词】 肥胖; 体质指数; 体脂率

Correlation between body fat percentage and general obesity indexes in middle aged and old people in Guangzhou Hu Qiang, Jiang Chaoqiang, Zhang Weisen, Cheng Karkeung, Xu Lin, Jin Yali, Rao Suli, Zheng Haiqing, Lam Taihing

Molecular Epidemiology Research Center, the 12th Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510620, China (Hu Q, Jiang CQ, Zhang WS, Jin YL, Rao SL, Zheng HQ); Department of Public Health and Epidemiology, University of Birmingham, UK (Cheng KK); Department of Community Medicine, School of Public Health, University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China (Xu L, Lam TH)

Corresponding author: Zhang Weisen, Email: zwszcn@163.com

【Abstract】 Objective To examine the correlation between body fat percentage (BFP) and general obesity indexes, including body mass index (BMI), waist circumference (WC) and waist to hip ratio (WHR) and calculate the corresponding BFP cutoff values in the middle aged and old people in Guangzhou. The corresponding cut-point of optimal body fat percentage for Guangzhou older population. **Methods** Based on the Guangzhou Biobank Cohort Study (GBCS), 3 490 relatively healthy Guangzhou residents aged ≥ 50 years were selected and were randomly divided into 2 groups. The equations between BFP and BMI, WC, WHR were set up with Curve fitting analysis in one group. The multiple regression analysis was undertaken to establish predictive equations between BFP and BMI, WC, WHR with stepwise model for adding gender, age, physical activity, drinking and smoking. Then, the optimal cut-points of BFP corresponding to BMI, WC and WHR to reflect the degree of obesity were calculated. The equations were then validated with another group. **Results** BFP increased with the increase of WHR, WC and BMI. BMI was a better predictor of body fat percentage than WC and WHR. The final regression equation was $BFP = (-23.47 - 8.87 \times \text{sex}) + 2.94 \times (\text{BMI}) - 0.024 \times (\text{BMI})^2$, the coefficient of determination was 0.805. Based on the equation, the BFP corresponding to overweight/obesity ($24 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$) were $24.3\% \leq \text{BFP} < 31.1\%$ in men and $33.2\% \leq \text{BFP} < 40.0\%$ in women, respectively. BMI had a better consistency with BFP in identify

obesity compared with WC and WHR, obtained the area of ROC 0.909 in men and 0.919 in women respectively. The sensitivity and specificity were 70.3% and 85.5% in men; and 75.2% and 93.0% in women respectively. **Conclusion** BFP has a better correlation with BMI. The study results indicated that BFP for middle aged and old males and females in Guangzhou corresponding to overweight/obesity ($BMI \geq 24 \text{ kg/m}^2$) were $<24.0\%$ and $<33.0\%$ respectively.

【Key words】 Obesity; Body mass index; Body fat percentage

肥胖是目前全球性健康问题^[1-2]。而临床上诊断肥胖的关键是需要确定一个合适的体脂水平界值。据WHO报告^[3],与欧洲白种人相比,亚洲人群在较低的BMI水平即表现出较高的糖尿病、心血管疾病患病风险。韩国学者对韩国成年男性的研究提示,体脂率(BFP)较BMI是诊断心血管代谢紊乱更重要的指标^[4]。目前国际上一直沿用WHO提出的男性 $<25\%$ 和女性 $<35\%$ 作为BFP适宜参考值^[5],而此切点值是对应于BMI为 30 kg/m^2 的白种人^[6-7],并不适用于中国人群,且目前国内尚缺乏相应的BFP适宜参考值。为此,本研究利用“广州生物库队列研究”基线数据,分析BFP与BMI、腰围(WC)、腰臀比(WHR)等常规肥胖判定指标的相关性,探讨适宜于我国中老年人群的BFP切点值。

对象与方法

1. 研究对象:本研究数据基于“广州生物库队列研究”(GBCS)平台^[8-9]。GBCS选取广州市尊老康乐协会中年龄 ≥ 50 岁,能自行到广州医科大学附属第十二人民医院,并自愿参加免费体检和接受健康问卷调查的广州市居民,2003—2008年分三期招募30 518名。从第3期始GBCS增加BFP检测,其中接受BFP检测且一般人口学资料完整者共计7 751人,本研究选择其中相对健康者作为研究对象。参照先前研究^[10],入组条件判定为年龄50~85岁,在过去6个月内无住院记录,无自报高血压、糖尿病、冠心病、肿瘤、慢性支气管炎、精神疾病,且未服用阿司匹林、降压药、降糖药者。最终共纳入研究对象3 490(男性797、女性2 693)人。GBCS经广州市医学伦理学会审查批准,研究对象均签署知情同意书。

2. 研究方法:采用电子化问卷调查获得基本资料,内容包括一般人口特征、社会经济状况(文化程度、职业、个人年收入)、生活方式(体力活动及吸烟、饮酒情况)等。问卷调查由6~8名有医学背景并接受过专门培训合格的助理护士完成。受试者按常规采用量尺测量身高,并精确到0.1 cm;采用生物电阻抗人体脂肪测量仪(百利达BF-350,日本)测量体重和BFP,体重读数精确到0.1 kg, BFP读数精确到0.1%;取受试者髌骨最高点和肋下缘最低点,利用皮尺测量

WC;取受试者臀大肌最凸处测量臀围,读数精确到0.1 cm。对其中348名研究对象分别测量餐前和餐后BFP,其组内相关系数(ICC)为0.928,提示使用生物电阻抗法测量BFP稳定性良好。

3. 相关指标定义:①吸烟指目前吸烟且达一年以上或戒烟未满一年;不吸烟指目前不吸烟或吸烟未达一年;戒烟指以前吸烟,但现在不吸烟达一年以上。②饮酒指过去一年内至少每月饮一次白酒、啤酒或其他酒精饮料;不饮酒指从未饮酒或过去一年饮酒每月少于一次;戒酒指既往有饮酒但过去一年未饮酒。③体力活动划分采用WHO提供的国际体力活动问卷(IPAQ),根据其活动强度和代谢能量(MET)分为不足、中等和活跃3个等级。

4. 统计学分析:采用SPSS 19.0软件进行统计学分析。一般人口学特征、计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,性别间比较采用独立样本 t 检验;计数资料的性别构成比较采用 χ^2 检验。研究对象随机平分预测组和验证组。预测组用于建立BFP预测方程,推算适宜BFP;验证组用于验证预测所得适宜BFP切点值的合理性。BMI、WC和WHR与BFP的关系通过曲线拟合分析确定最佳回归模型。另外采用单因素线性回归分析判定性别、年龄、体力运动、吸烟、饮酒等对BFP的影响,再根据确定的BFP与BMI、WC和WHR各自关系的拟合回归模型,引入性别、年龄、体力活动、饮酒和吸烟等因素进行逐步回归分析确定最后的BFP预测方程。利用ROC曲线下面积分析判定预测BFP最适宜指标。显著性或选入模型标准为 $P < 0.05$ 。

结 果

1. 一般特征:3 490名研究对象中男性平均年龄大于女性4岁;男性身高和体重均大于女性,但女性BMI和BFP均显著高于男性,BFP(%)平均为29.7(95%CI: 29.4~29.9),其中男性为21.8(95%CI: 21.4~22.2),女性为32.0(95%CI: 31.8~32.3);男性饮酒率和吸烟率均显著高于女性($P < 0.001$);男性和女性体力活动活跃者均超过60%(表1)。

2. 回归方程的建立:

(1)单因素回归分析:将预测组按性别分层后以

表1 研究对象一般特征

特征	男性(n=797)	女性(n=2 693)	χ^2/t 值	P值
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	61.5±7.1	57.6±6.6	14.4	<0.001
体重(kg, $\bar{x}\pm s$)	62.2±9.5	55.9±8.5	17.8	<0.001
身高(cm, $\bar{x}\pm s$)	164.9±6.1	154.5±5.4	46.4	<0.001
BMI(kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	22.8±2.9	23.4±3.2	4.7	<0.001
WC(cm, $\bar{x}\pm s$)	78.6±8.9	74.9±8.3	10.9	<0.001
臀围(cm, $\bar{x}\pm s$)	88.7±5.9	89.2±6.1	2.1	0.035
WHR($\bar{x}\pm s$)	0.88±0.06	0.84±0.07	17.4	<0.001
BFP(% , $\bar{x}\pm s$)	21.8±5.8	32.0±6.8	38.4	<0.001
体力活动			12.9	0.002
不足	64(8.0)	239(8.9)		
适中	243(30.5)	651(24.1)		
活跃	490(61.5)	1 803(67.0)		
饮酒			99.9	<0.001
不饮	257(32.2)	1 386(51.5)		
戒酒	23(2.9)	103(3.8)		
饮酒	517(64.9)	1 204(44.7)		
吸烟			1 745.0	<0.001
不吸	278(34.9)	2 630(97.7)		
戒烟	185(23.2)	27(1.0)		
吸烟	334(41.9)	36(1.3)		

注: 括号外数据为人数, 括号内数据为构成比(%)

BFP为因变量, 分别以BMI、WC、WHR、年龄、体力活动、吸烟和饮酒为自变量进行单因素线性回归分析, 结果显示无论男性或女性, 仅BMI、WC、WHR、年龄对BFP的影响有统计学意义($P<0.01$), 体力活动、吸烟、饮酒对BFP的影响无统计学意义。

(2)多元回归方程分析: 通过曲线拟合分析发现二次方程能更好描述BMI与BFP的关系。通过生成变量BMI², 以BFP为因变量, BMI、BMI²、性别、年龄、体力活动、吸烟、饮酒为自变量进行多因素线性逐步回归分析, 结果显示, 年龄、体力活动、吸烟、饮酒对BFP的影响无统计学意义, 最终进入模型的自变量有BMI、BMI²、性别。回归方程为 $BFP(\%) = (-23.47 - 8.87 \times \text{性别}) + 2.94 \times (\text{BMI}) - 0.024 \times (\text{BMI})^2$, 其中性别男性赋值为1, 女性赋值为0。以此模型建立的回归方程推算, 得出用BMI(kg/m²)反映肥胖程度的各切点值为18.5、24、25、28和30, 对应的BFP(%)分别为男性13.8、24.3、26.1、31.1和34.2, 女性22.7、33.2、35.0、40.0和43.0。模型确定系数 $R^2=0.805$, 表明采用此模型能够解释广州市中老年人BFP约80.5%的变异。

经曲线拟合分析发现WC、WHR与BFP呈直线关系, 通过多因素逐步回归, 得出WC与BFP的回归方程为 $BFP(\%) =$

$(-3.66 - 11.6 \times \text{性别}) + 0.56 \times (\text{WC}) - 0.11 \times \text{年龄}$, 其中男性WC=90 cm时对应的BFP为28.7%, 女性WC=80 cm时对应的BFP为34.7%, $R^2=0.657$; WHR与BFP的回归方程为 $BFP(\%) = (-1.86 - 11.5 \times \text{性别}) + 48.6 \times (\text{WHR}) - 0.12 \times \text{年龄}$, 其中男性WHR=0.9所对应的BFP为23.3%, 女性WHR=0.85所对应的BFP为32.3%, $R^2=0.437$ 。

3. 基于BMI、WC、WHR确定BFP的切点值对肥胖判定的灵敏度和特异度: 利用验证组分别以BMI、WC、WHR各切点值作为判定肥胖程度的金标准, BFP对应切点值为诊断标准进行筛检试验。表2显示, 基于BMI为24 kg/m²(超重)预测所得的BFP进行肥胖程度判断, ROC曲线下面积最大, 男性为0.923, 女性为0.943; 灵敏度和特异度分别为男性72.3%、88.3%; 女性86.7%、87.4%。

讨 论

虽然BMI是用于判断肥胖程度和预测人群健康风险的常用指标, 但不能区分人体脂肪重量和肌肉重量。而BFP却能弥补其不足, 且能反映性别间差异。以往研究将男性BFP>25%、女性BFP>35%作为诊断标准用于临床和流行病学研究^[11-14], 但此切点值只是对应于BMI为30 kg/m²的白种人。大量研究表明与欧洲人群相比, 同一BMI水平亚洲人群有相对较高的BFP^[13, 15-16]。由于种族差异以及BMI判定肥胖标准的不同, 此切点值显然不适用于中国人群。

本研究采用曲线优度拟合和多元逐步回归模型建立BFP与BMI的回归方程, 发现BMI与BFP呈二次方程关系, 且有性别差异, 与相关研究结果基本一致^[13, 17-19]。本研究分析发现BFP与BMI的相关性最好, 所得的回归方程决定系数最大, 以BFP和BMI

表2 基于BMI、WC、WHR切点值及对应的BFP切点值进行肥胖程度判定的一致性比较

肥胖程度判定依据	判定的一致性比较							
	常规指标	BFP(%)	灵敏度 (%)	特异度 (%)	假阳性 (%)	假阴性 (%)	正确指数	ROC曲线下面积
男性								
超重/肥胖(BMI≥24 kg/m ²)	≥24.3	≥24.3	72.3	88.3	11.7	27.7	0.606	0.923
肥胖(BMI≥28 kg/m ²)	≥31.1	≥31.1	70.3	85.5	14.5	29.7	0.558	0.909
肥胖(WC≥90 cm)	≥28.7	≥28.7	42.2	92.7	7.3	57.8	0.349	0.877
肥胖(WHR≥0.9)	≥23.3	≥23.3	65.5	81.1	18.9	34.5	0.466	0.789
女性								
超重或肥胖(BMI≥24 kg/m ²)	≥33.2	≥33.2	86.7	87.4	12.6	13.3	0.741	0.943
肥胖(BMI≥28 kg/m ²)	≥40.0	≥40.0	75.2	93.0	7.0	24.8	0.682	0.919
肥胖(WC≥80 cm)	≥34.7	≥34.7	68.8	80.5	19.5	31.2	0.493	0.828
肥胖(WHR≥0.85)	≥32.3	≥32.3	63.8	65.9	34.1	36.2	0.297	0.697

判定肥胖程度的一致性(灵敏度、特异度)和 ROC 曲线下面积均最大,说明 BFP 与 BMI 的相关性和判定肥胖程度的一致性最好。

本研究中 BMI 切点值 24 kg/m² 和 28 kg/m² 所对应的 BFP 分别为男性 ≥24.3% 和 31.1%, 女性 ≥33.2% 和 40.0%。显示 BMI 在 25 kg/m² 所对应的 BFP 分别为男性 26.1%、女性 35.0%。而 Chang 等^[13] 对我国台湾地区 20 岁以上成年人的研究结果表明, BMI 25 kg/m² 所对应的 BFP 男性为 25%, 女性为 38%, 分别略低和稍高于本研究切点值。基于 BMI ≥30 kg/m² 为肥胖标准而提出的 BFP 切点值, 本研究男性为 34.2%, 女性为 43.0%, 均高于越南研究结果(男女性分别为 30% 和 40%)^[17]。Chen 等^[20] 对我国香港地区 41~63 岁中老年妇女研究发现, BMI 切点值 24 kg/m² 和 28 kg/m² 所对应的 BFP 分别为 35.9% 和 39.5%, 与本研究结果基本一致。

本研究有局限性。首先, 研究对象源自广州市 50 岁及以上中老年人群, 而 BFP 与年龄有关^[17-18], 其结果不能外推到其他年龄段人群; 其次, 研究对象均生活在经济较发达的广州市, 其结论不一定适应于农村地区和北方人群; 再者, 本文的 BFP 切点值是基于 BMI 而获得, 该参考值能否很好预测人群健康风险, 尤其是肥胖相关疾病, 有待进一步证实。

总之, BMI 与 BFP 具有良好的相关性, 基于 BMI ≥24 kg/m² 为中国人群超重标准, 其对应的广州市中老年人 BFP 切点值分别为男性 24.0%, 女性 33.0%。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Ng M, Fleming T, Robinson M, et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. *Lancet*, 2014, 384 (9945): 766–781. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60460-8.
- [2] Kelly T, Yang W, Chen CS, et al. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030 [J]. *Int J Obes (Lond)*, 2008, 32 (9): 1431–1437. DOI: 10.1038/ijo.2008.102.
- [3] WHO Expert Consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies [J]. *Lancet*, 2004, 363 (9403): 157–163. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)15268-3.
- [4] Cho YG, Song HJ, Kim JM, et al. The estimation of cardiovascular risk factors by body mass index and body fat percentage in Korean male adults [J]. *Metabolism*, 2009, 58 (6): 765–771. DOI: 10.1016/j.metabol.2009.01.004.
- [5] No authors listed. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO expert committee [J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1995, 854: 1–452.
- [6] Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas [J]. *Br J Nutr*, 1991, 65 (2): 105–114. DOI: 10.1079/BJN19910073.
- [7] Deurenberg P, Yap M, van Staveren WA. Body mass index and percent body fat: a meta analysis among different ethnic groups [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 1998, 22 (12): 1164–1171. DOI: 10.1038/sj.ijo.0800741.
- [8] Jiang CQ, Thomas GN, Lam TH, et al. Cohort profile: the Guangzhou Biobank cohort study, a Guangzhou-Hong Kong-Birmingham collaboration [J]. *Int J Epidemiol*, 2006, 35 (4): 844–852. DOI: 10.1093/ije/dy1131.
- [9] Kavikondala S, Schooling CM, Jiang CQ, et al. Pathways to obesity in a developing population: the Guangzhou Biobank Cohort Study [J]. *Int J Epidemiol*, 2009, 38 (1): 72–82. DOI: 10.1093/ije/dyn221.
- [10] 许少君, 江朝强, 张维森, 等. 中老年人自评健康与轻度认知障碍的相关性 [J]. *中国慢性病预防与控制*, 2015, 23 (2): 96–100. Xu SJ, Jiang CQ, Zhang WS, et al. Correlation between self-rating health and mild cognitive impairment in middle-aged and elderly residents [J]. *Chin J Prev Control Chron Dis*, 2015, 23 (2): 96–100.
- [11] He M, Tan KCB, Li ETS, et al. Body fat determination by dual energy X-ray absorptiometry and its relation to body mass index and waist circumference in Hong Kong Chinese [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2001, 25 (5): 748–752. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801612.
- [12] Deurenberg-Yap M, Chew SK, Deurenberg P. Elevated body fat percentage and cardiovascular risks at low body mass index levels among Singaporean Chinese, Malays and Indians [J]. *Obes Rev*, 2002, 3 (3): 209–215. DOI: 10.1046/j.1467-789X.2002.00069.x
- [13] Chang CJ, Wu CH, Chang CS, et al. Low body mass index but high percent body fat in Taiwanese subjects: implications of obesity cutoffs [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2003, 27 (2): 253–259. DOI: 10.1038/sj.ijo.802197.
- [14] Romero-Corral A, Somers VK, Sierra-Johnson J, et al. Accuracy of body mass index in diagnosing obesity in the adult general population [J]. *Int J Obes (Lond)*, 2008, 32 (6): 959–966. DOI: 10.1038/ijo.2008.11.
- [15] Deurenberg-Yap M, Schmidt G, van Staveren WA, et al. The paradox of low body mass index and high body fat percentage among Chinese, Malays and Indians in Singapore [J]. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2000, 24 (8): 1011–1017. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801353.
- [16] Wang J, Thornton JC, Russell M, et al. Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparisons of anthropometric measurements [J]. *Am J Clin Nutr*, 1994, 60 (1): 23–28.
- [17] Ho-Pham LT, Lai TQ, Nguyen MTT, et al. Relationship between body mass index and percent body fat in vietnamese: implications for the diagnosis of obesity [J]. *PLoS One*, 2015, 10 (5): e127198. DOI: 10.1371/journal.pone.0127198.
- [18] Meeuwssen S, Horgan GW, Elia M. The relationship between BMI and percent body fat, measured by bioelectrical impedance, in a large adult sample is curvilinear and influenced by age and sex [J]. *Clin Nutr*, 2010, 29 (5): 560–566. DOI: 10.1016/j.clnu.2009.12.011.
- [19] Pasco JA, Nicholson GC, Brennan SL, et al. Prevalence of obesity and the relationship between the body mass index and body fat: cross-sectional, population-based data [J]. *PLoS One*, 2012, 7 (1): e29580. DOI: 10.1371/journal.pone.0029580.
- [20] Chen YM, Ho SC, Lam SSH, et al. Validity of body mass index and waist circumference in the classification of obesity as compared to percent body fat in Chinese middle-aged women [J]. *Int J Obes*, 2006, 30 (6): 918–925. DOI: 10.1038/sj.ijo.0803220.

(收稿日期: 2016-03-14)

(本文编辑: 张林东)