

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.08.012

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220216.1034.016.html\(2022-02-16\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220216.1034.016.html(2022-02-16))

基于人体成分分析的中国成人静息能量消耗及预测公式的研究*

陈丽君,周琪,袁侨英[△]

(陆军军医大学第一附属医院营养科,重庆 400038)

[摘要] **目的** 研究我国不同性别、年龄、BMI 人群的体脂百分比(PBF)、内脏脂肪面积(VFA)及静息能量消耗(REE)等,研究 9 种 REE 预测公式的准确度。**方法** 纳入 2016 年 4 月至 2019 年 9 月在该院体检的成人共 3 098 例。基于生物电阻抗分析法的人体成分分析仪器获得 REE 测量值、PBF、去脂体重(FFM)、VFA 等,统计分析采用配对 *t* 检验、pearson 相关性分析、线性回归、吻合度、Bland-Altman 一致性分析法。**结果** 31~40 岁中国成人的 REE 最高,随着年龄的增高,逐渐降低;BMI 值与 REE 呈正相关;女性的 PBF 和 VFA 超标严重;9 种 REE 预测公式均高估了成人的基础代谢水平,Owen 公式相对中国成人较合适,若 BMI 在正常范围则选用 Yang 公式更好;研究提出了自己的 REE 公式,即女性:272.586+6.844H+6.908W,男性:-683.523+9.444H+8.491W,其中 H 表示身高(单位:cm),W 表示体重(单位:kg)。**结论** 我国成人的 REE 最好选择 REE 测量设备,在没有测量设备的情况下可选择 Owen 公式和 Yang 公式,18 岁以上的成人也可选择该研究提出的 REE 公式。

[关键词] 静息能量消耗;人体成分分析;能量预测公式;生物电阻抗**[中图法分类号]** R151.4**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2022)08-1320-06

Study on resting energy consumption and prediction formula of Chinese adults based on body composition analysis*

CHEN Lijun,ZHOU Qi,YUAN Qiaoying[△]

(Department of Nutrition,the First Affiliated Hospital of Army Medical University,Chongqing 400038,China)

[Abstract] **Objective** To study the percentage of body fat (PBF),visceral fat area (VFA) and resting energy expenditure (REE) of the population in China with different sex,age and BMI index,and to study the accuracy of nine kinds of REE prediction formulas. **Methods** A total of 3 098 adults were included in the physical examination in this hospital from April 2016 to September 2019. REE,PBF,fat free mass (FFM),VFA,etc. were obtained by the body composition analysis instrument base on the bioelectrical impedance analysis method. Paired *t*-test,pearson correlation analysis,linear regression,coincidence degree and Bland-Altman consistency analysis were used for statistical analysis. **Results** At the age of 31 to 40 years old,the REE of Chinese adults was the highest,which decreased gradually with the increase of age;There was a positive correlation between BMI and REE;The PBF and VFA of women were severely exceeding the standard;nine kinds of REE prediction formulas all overestimated the basic metabolic level of adults. Owen formula was more suitable for Chinese adults,if BMI was in the normal range,it was better to choose Yang formula. This study put forward its own formula of REE,that was,female:272.586+6.844H+6.908W,male:-683.523+9.444H+8.491W["H" represented height (cm),"W" represented weight (kg)]. **Conclusion** It is best to choose REE measuring equipment for REE of adults in our country. In the absence of the measuring equipment,it is best to choose Owen formula and Yang formula to predict the REE of Chinese adults. Adults over 18 years old can also choose the REE formula proposed in this project.

[Key words] resting energy expenditure;body composition analysis;energy prediction formula;bio-electrical impedance

* 基金项目:重庆市科卫联合中医药科研项目(2019ZY023454)。 作者简介:陈丽君(1989-),中级营养师,硕士,主要从事营养与疾病相关研究。

[△] 通信作者,E-mail:yuanqiao7843@163.com。

准确获得个体的能量消耗是进行个体化体重管理、制定每日食谱,以及营养治疗和健康宣传教育的首要条件。目前直接测量人体能量消耗十分困难,临床常通过仪器测量或公式计算以获得人体 24 h 能量消耗。

静息能量消耗(resting energy expenditure, REE)是指在禁食 3~4 h 后,适宜温度下平卧休息 30 min 后的能量消耗,主要用于维持机体细胞、器官的正常功能和人体的觉醒状态。此时机体仍有正常的消化活动,更接近与人们正常生活中的休息状态。每天的 REE 可根据年龄、性别、身高和体重计算。国内外研究及推荐的 24 h REE 消耗公式约 10 余种,包括 Harris-Benedict、Owen、Herny、WHO/FAO/UNU 等。

近年来,基于生物电阻抗分析法的人体成分分析仪在健身房、体检中心、体重管理中心及医疗卫生单位得到普遍应用,可直接通过测量去脂体重推算个体的 REE,其测量值的可信度和准确度较高^[1-3]。人体成分分析主要是利用人体内肌肉、脂肪、骨骼、水分其导电性不同,利用生物电阻抗技术,结合身高、体重、性别、年龄等数据,测定人体肌肉、脂肪、水分含量。根据去脂体重与能量消耗相关性最高的原理,韩国 inbody770 采用去脂重量的方法计算 REE,公式为 $REE(kcal/d) = 21.6 \times \text{去脂体重}(kg) + 370$ ^[4-5]。本研究通过对 3 098 名中国成人进行人体成分分析测定,探讨不同性别、年龄、BMI 人群的体脂百分比(percent body fat, PBF)、内脏脂肪面积(visceral fat area, VFA)、测量的 REE 差异等,并结合国内外 9 种 REE 预测公式与人体成分分析仪测量的 REE 进行比较,分析实测值和公式预测值间的差异,探索我国成人适用的最佳 REE 计算公式。

1 资料与方法

1.1 一般资料

连续入组法纳入 2016 年 4 月至 2019 年 9 月在本院体检的成人共 3 098 例。排除标准:(1)体内有金属植入物和心脏起搏器者;(2)严重肝肾功能异常者;(3)长期服用激素者;(4)近 3 个月有感染、手术、创伤等其他应激情况者;(5)甲状腺功能亢进或减退者。研究对象基本信息见表 1。

表 1 纳入对象身体测量指标和 REE 值($\bar{x} \pm s$)

项目	男	女	合计
	(n=1 148)	(n=1 950)	(n=3 098)
年龄(岁)	39.1±13.8	39.7±13.5	39.5±13.6
身高(cm)	168.6±6.4	156.8±5.9	161.2±8.4
体重(kg)	67.3±14.3	56.9±12.3	60.8±14.0
BMI(kg/m ²)	23.6±4.6	23.1±4.8	23.3±4.7
REE(kcal/d)	1 480.2±167.6	1 193.2±114.6	1 299.8±194.5

1.2 人体成分分析测定

采用站立式人体成分分析仪(韩国 inbody770)直接测定体重、去脂体重(fat free mass, FFM)、PBF、VFA、REE 等。保持室温 20~25 °C,仪器预热后待机。测量者测定前需空腹(禁食大于或等于 4 h),排空大小便,不穿戴厚重衣服,取出身上手机、手表、配饰、皮带等金属制品,休息 30 min 后测量。

1.3 预测公式

本研究纳入的 9 个 REE(kcal/d)预测公式分别为 Harris-Benedict^[6]、Shizgal-Rosa^[7]、Mifflin-St Jeor^[8]、WHO/FAO/UNU^[9]、Owen^[10-11]、Schofield^[12]、Herny^[13]、Liu^[14]、Yang^[15]公式,具体见表 2。将采用站立式人体成分分析仪实际测量的 REE 与每个公式的预测值进行比较。

表 2 9 种 REE 预测公式

公式名称	计算公式
Harris-Benedict	男:66.47+13.75W+5H-6.76A;女:655.1+9.56W+1.85H-4.68A
Shizgal-Rosa	男:370+20H+52W-25A;女:1873+13H+39W-18A
Mifflin-St Jeor	男:9.99W+6.25H-4.92A+5;女:9.99W+6.25H-4.92A-161
WHO/FAO/UNU	18~30 岁:男 15.4W-24H+717;女 13.3W+33.4H+35 31~60 岁:男 11.3W+16H+901;女 8.7W-27H+865 >60 岁:男 8.8W+1128H-1071;女 9.2W+637H-302
Owen	男:879+10.2W;女:795+7.18W
Schofield	18~30 岁:男:(63W+2 896)/4.184;女:(62W+2 036)/4.184 31~60 岁:男:(48W+3 653)/4.184;女:(34W+3 538)/4.184
Henry	18~30 岁:男:(51W+3 500)/4.184;女:(47W+2 880)/4.184 31~60 岁:男:(53W+3 070)/4.184;女:(39W+3 070)/4.184
Liu	13.88W+4.16H-3.43A-112.4Sex+54.34;Sex(男=0;女=1)
Yang	(277+89W+600S)/4.184;Sex(男=0,女=1)

W:体重(kg);H:身高(cm);A:年龄(岁)。

1.4 统计学处理

采用 SPSS17.0、Graphpad prism8 软件分析数据,符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对 t 检验分析实测值和预测值之间的差异,采用 Pearson

相关性分析法分析其相关性,采用线性回归模型得出新的 REE 计算公式。误差为实测值减去测量值,吻合是公式预测值与实测值比值在 0.9~1.1,即相对准确度在 ±10% 范围。利用 Bland-Altman 分析实测值

与预测值一致性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 不同年龄段的 REE 比较

不同性别、年龄段成人人体成分分析仪测量的 REE 值见表 3。

表 3 不同性别、年龄成人的 REE 值($\bar{x} \pm s$, kcal/d)

年龄	男	女
18~30 岁	1 499.88±192.09	1 206.16±139.33
31~40 岁	1 507.51±160.80	1 210.93±105.83
41~50 岁	1 487.53±141.26	1 195.83±103.15
51~60 岁	1 442.63±137.66	1 172.64±106.71
≥61 岁	1 363.52±136.09	1 127.51±93.46

2.2 成人不同 BMI 值的 FFM、PBF、VFA 及 REE 比较

根据男女不同性别,不同 BMI 值,其中消瘦为 BMI < 18.5 kg/m²,正常为 BMI 18.5~<24.0 kg/m²,超重为 24.0~<28.0 kg/m²,肥胖为 BMI ≥ 28.0 kg/m²。经人体成分分析仪测量的 FFM、PBF、VFA 及 REE 值比较,见表 4、5。其中成人男性 PBF 标准为 15%,女性为 23%;VFA 超过 100 cm² 表明腹

部肥胖。可以看出,女性的 PBF 除消瘦人群外,其余均超标。男性中只有超重和肥胖人群的 PBF 超标。超重和肥胖的女性其 VFA 均超过 100 cm²,表现为腹部肥胖。

2.3 实测值与公式预测值的相关性与差异

人体成分分析仪实测的 REE 值与 9 种 REE 公式预测值均呈正相关,且为高度线性相关($0.7 \leq r < 1$),差异有统计学意义($P < 0.01$)。其中 Mifflin-St·Jero 公式和 Owen 公式的误差最小,误差值分别是 (-20.70±95.67) kcal/d 和 (-37.84±80.07) kcal/d。Schofield 公式和 WHO/FAO/UNU 公式误差相对较大,分别是 (-145.35±97.60) kcal/d 和 (-144.41±105.73) kcal/d,见表 6。由于 Yang 公式是基于 BMI 为 18.5~<24.0 kg/m² 的我国正常体重人群数据所得,本研究将 BMI 正常对象(共 1 444 名)的实际测量值(1 253.57±161.38) kcal/d 与 Yang 公式预测值(1 285.45±193.55) kcal/d 进行配对 t 检验,相关性较高($r = 0.922, P < 0.001$),误差值 (-31.88±76.97) kcal/d, $P < 0.001$,仅次于 Mifflin-stjero 公式。

表 4 不同 BMI 值的成人女性中 FFM、PBF、VFA 及 REE 值($\bar{x} \pm s$)

BMI 状态	占比[n(%)]	FFM(kg)	PBF(%)	VFA(cm ²)	REE(kcal/d)
消瘦	261(13.4)	33.0±3.6	20.9±4.7	39.5±10.5	1 083.32±76.93
正常	981(50.3)	36.9±3.8	29.5±4.8	69.9±20.2	1 166.49±83.03
超重	433(22.2)	40.2±4.4	36.1±4.0	111.1±22.4	1 238.68±95.28
肥胖	275(14.1)	44.2±5.5	42.8±4.4	163.2±33.1	1 324.65±118.75

表 5 不同 BMI 值的成人男性中 FFM、PBF、VFA 及 REE 值($\bar{x} \pm s$)

BMI 状态	占比[n(%)]	FFM(kg)	PBF(%)	VFA(cm ²)	REE(kcal/d)
消瘦	166(14.5)	42.6±4.4	12.7±3.4	24.6±9.8	1 290.15±95.67
正常	463(40.3)	49.4±5.9	18.8±5.5	47.9±18.8	1 438.06±128.50
超重	336(29.3)	54.2±6.1	26.4±4.7	83.0±19.5	1 540.06±132.72
肥胖	183(15.9)	59.2±6.8	32.9±4.8	128.1±35.0	1 649.48±146.72

表 6 成人实测值 REE 与 8 种 REE 公式预测值之间比较($\bar{x} \pm s$)

公式	REE(kcal/d)	r	P	误差(kcal/d)	P
REE 测量值	1 299.82±194.51				
Harris-Benedict	1 403.63±226.95	0.896	<0.001	-103.80±101.15	<0.001
Shizgal-Rosa	1 369.53±199.64	0.872	<0.001	-69.71±99.70	<0.001
Mifflin-St Jero	1 320.52±240.20	0.924	<0.001	-20.70±95.67	<0.001
WHO/FAO/UNU	1 444.24±247.94	0.914	<0.001	-144.41±105.73	<0.001
Owen	1 337.66±208.43	0.923	<0.001	-37.84±80.07	<0.001
Schofield	1 445.17±235.84	0.915	<0.001	-145.35±97.60	<0.001
Herny	1 379.70±229.58	0.914	<0.001	-79.88±94.56	<0.001
Liu	1 361.89±251.63	0.918	<0.001	-62.07±106.05	<0.001
Yang	1 253.57±161.38	0.922	<0.001	-91.88±76.97	<0.001

2.4 实测值与公式预测值的吻合比较

吻合是指公式预测值与实测值的比值在 0.9~

1.1,吻合度为吻合的例数占总例数的百分比,计算预测值和实测值间的吻合度,见表 7。可以看出,Owen

公式的吻合度最高, BMI 在 18.5~24.0 kg/m² 的人群, Yang 公式吻合度较高。

表 7 成人实测值 REE 与 9 种 REE 公式预测值之间吻合度比较 (n=3 098)

预测公式	吻合例数 (n)	吻合度 (%)	实测值/预测值范围
Harris-Benedict	1 933	62.4	0.77~1.44
Shizgal-Rosa	2 213	71.4	0.76~1.34
Mifflin-St Jero	2 594	83.7	0.74~1.26
WHO/FAO/UNU	1 467	47.4	0.85~1.53
Owen	2 757	89.0	0.79~1.32
Schofield	1 535	49.5	0.86~1.52
Herny	2 439	78.7	0.85~1.52
Liu	2 485	80.2	0.80~1.43
Yang	1 754	56.6	0.56~1.75
Yang(n=1 444)	1 301	90.1	0.83~1.27

2.5 公式预测值与实测值的 Bland-Altman 分析图

选取实测值与误差相对较小, 吻合度相对较高的 Mifflin-St Jero 公式和 Owen 公式及 Yang 公式进行 Bland-Altman 分析图, 横坐标为公式计算值和实测值的均值, 纵坐标为公式计算值与实测值的差值, 以差值的均数±1.96 倍标准差为 95% 的一致性界限。以±10% 实测值为研究可接受范围, 即(-129.98, 129.98)kcal/d。Owen 公式 95% 的一致性界限为(-194.8, 119.1)kcal/d, 见图 1; Mifflin-St Jero 公式 95% 的一致性界限为(-208.2, 166.8)kcal/d, 见图 2; Owen 公式更接近实测值。而 BMI 在正常范围(18.5~<24.0 kg/m²)的人群(n=1 444)用 Yang 公式的计算值和实测值之间的 Bland-Altman 分析如图所示, 95% 的一致性界限为(-119.0, 182.8)kcal/d, 见图 3。因此, 若 BMI 在正常范围则 Yang 公式更接近实测值。

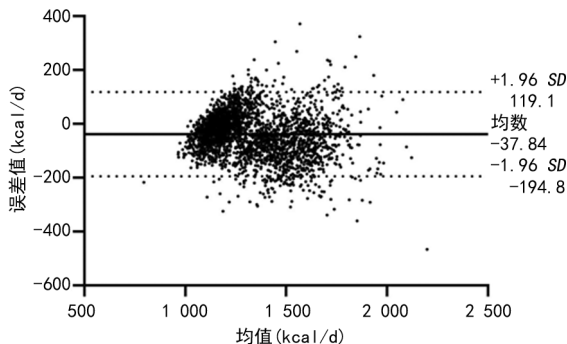


图 1 Owen 公式计算值与实测值 REE 的 Bland-Altman 分析图

2.6 新的 REE 公式

把年龄、身高、体重与实测值进行相关性分析, 其相关系数分别为 0.148、0.790、0.811, 因年龄的相关性较差, 故只纳入身高、体重进入实测值的线性回归

模型, 最后得出本研究的 REE 公式(Chen)如下:

女性: 6.844H+6.908W-272.586

男性: 9.444H+8.491W-683.523

其中 H 表示身高(cm), W 表示体重(kg)

将得出 Chen 公式预测值(1 299.89±186.91)kcal/d 与实测值 REE(1 299.82±194.51)kcal/d 进行配对 t 检验发现具有很高的相关性(r=0.961, P<0.001), 且误差值为(0.07±53.87)kcal/d, P=0.945, 小于前述 9 个预测公式。

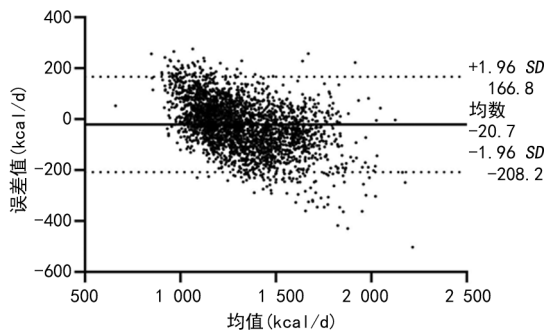


图 2 Mifflin-St Jero 公式计算值与实测值 REE 的 Bland-Altman 分析图

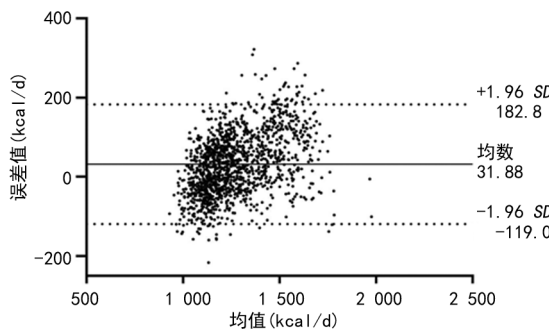


图 3 BMI 处于正常范围人群的 Yang 公式计算值与实测值 REE 的 Bland-Altman 分析图

3 讨论

影响 REE 的因素有很多, 一般情况下, REE 与体表面积和骨骼肌质量呈正比, 瘦高者的基础代谢高于矮胖者, 肌肉量越高, REE 越高。研究发现, 男性的 REE 明显高于女性, 且平均 10 岁年龄层 REE 相差大概 20%~25%; 其中 31~40 岁年龄段的 REE 最高, 后面随着年龄的增加, REE 逐渐下降; REE 和 BMI 呈正相关。这可能是由于男性骨骼肌质量大多高于女性, 且男性的身高普遍高于女性。另外, 31~40 岁阶段的 REE 与 18~30 岁阶段的差异较小, 均在 REE 的峰值阶段, 随后年龄的增加其代谢率逐渐下降, 这可能与 FFM 及骨骼肌的减少相关^[16-17]。因此, 对于中年后期的成年人, 需关注如何提高 FFM 且预防肌肉减少的发生。

根据不同 BMI 值分层后发现, BMI 值越大 REE 越大, 这是由于 FFM 的增加造成。由于成人男性 PBF 标准为 15%, 女性为 23%, 且研究发现, VFA 高于 100 cm² 更容易患慢性代谢性疾病。本研究发现,

随着 BMI 值的增加,其 PBF 和 VFA 增长明显,但是, BMI 正常的成人女性 PBF 均值为 $(29.5 \pm 4.8)\%$, 高于正常范围,存在隐形肥胖的可能性;且超重的成年女性的 VFA 平均值高于 100 cm^2 ,而男性超重 VFA 平均值仍处于 100 cm^2 以下,说明女性的超重和肥胖更偏向于中心性肥胖,更不利于健康,则患高血压、糖尿病、高脂血症等慢性代谢性疾病的风险更高^[21]。因此,当评估成人是否健康时,单纯的 BMI 可能并不能完全定义,应尽可能地检测 PBF 及 VFA,发现隐形肥胖和向心性肥胖可以更准确地指导人群饮食。

本研究发现,REE 测定值与 9 种预测公式的 REE 预测值均有很高的相关性,且都有显著性差异 ($P < 0.05$)。REE 公式预测值均高于 REE 测定值,普遍高估了我国成人的基础代谢水平。若仍按照传统的公式计算人体的 REE 给予饮食指导,将可能发生过度喂养,引起肥胖。这可能和预测公式公布时间比较久远,随着饮食习惯和生活环境的改变,以前的预测对现代人体的能量预测造成偏差^[18]。另外,大多公式均来源于欧美国家,本研究全是针对中国成人,基于种族、饮食方式等不同,国外公式可能并不适合国内及亚洲人种的能量代谢预测^[19]。

汪锡等^[20]招募 46 例非肥胖的中国健康成人,利用间接测热法测量受试者的 REE,与 14 种预测公式比较发现,预测公式的准确率均不理想,其准确率都低于 70%。同时,在国外的研究中也发现预测公式对 REE 的准确度并不高,如 THOM 等^[22]利用间接测热法对 125 例 BMI 不同的健康成年女性进行了 REE 的测量,用多种公式预测 REE,发现所有公式的一致性范围均较宽,REE 预测公式的总体准确度较低,可能与年龄、身高和 BMI 的增加有关。基于预测公式均不能有效反映人体的 REE,在实际营养工作中,建议尽量使用仪器测定人体的 REE(如利用间接测热法或人体成分分析法),在无法利用仪器测定时才考虑选用 REE 预测公式计算基础代谢。

本研究结果发现 Owen 公式预测值与测定值间的误差最小,吻合度最高,其 95% 的一致性界限更接近 $\pm 10\%$ 实测值的可接受范围,即 $(-129.98, 129.98) \text{ kcal/d}$ 。Owen 公式^[10-11]是 1986 年和 1987 年针对 44 例女性和 60 例男性利用间接测热法进行的 REE 研究,根据不同性别的体重得到的计算公式。相对其他公式而言,Owen 公式更可作为预测中国健康成人基础代谢的公式。另外,对于 BMI 在 $18.5 \sim < 24.0 \text{ kg/m}^2$ 的人群,Yang 公式^[15]则作为首选公式来预测 REE,Yang 公式的预测值与测量值具有更高的一致性。Yang 公式是 2010 年通过研究 165 例中国健康成人的能量消耗所得的 REE 公式,但因其纳入对象仅为 BMI 在 $18.5 \sim < 24.0 \text{ kg/m}^2$ 的健康成人,因此在 BMI 正常的中国成人中使用 Yang 公式计算 REE 优于其他国外的计算公式。Liu 公式^[14]也是针

对中国成人得出的计算公式,研究发现 Liu 公式的计算值与实测值的吻合度仅低于 Owen 和 Mifflin-St Jero 公式。Liu 公式是于 1995 年研究的 223 例(男性 102 例,女性 121 例)中国成人(20~78 岁)的 REE 所得出的适合中国成人的能量计算公式。但由于随着现代社会人们的生活习惯、生活方式的不断改变,如以体力劳动为主逐渐向脑力劳动的转变,导致 REE 的改变,不能有效反映现阶段中国成人的 REE。

根据相关性分析和线性回归模型,本研究得出自己的 REE 公式,即女性: $272.586 + 6.844H + 6.908W$,男性: $-683.523 + 9.444H + 8.491W$,并且与测量的 REE 做了相应的配对 *t* 检验,检验发现其相关性较高,公式反映 REE 较好。因此,本研究根据 3 098 例体检人员得出自身的基础代谢计算公式,为预测中国成人的基础代谢提出更好的预测公式。

综上所述,REE 对指导人群营养至关重要,可避免由于喂养不足和过度喂养造成消瘦和肥胖的风险,对全民健康具有重要作用。年龄越大,REE 越小,这和 FFM 及骨骼肌减少有关。不应该单纯根据 BMI 判定一个人的体重是否适宜,建议使用人体成分分析结合 PBF 和 VFA 全面分析。在有条件的情况下,优先推荐间接测热法测定 REE,也可使用电阻抗检测仪器推算 REE;在现有的能量计算公式中,对于中国成人 Owen 公式相对较好,BMI 正常的优先选择 Yang 公式。本研究提出的新公式 Chen 公式是根据电阻抗法检测出的 REE,结合招募人群的身高、体重所得出,可能更适合中国健康成人。但该公式需要更准确地代谢检测仪器的检验,如利用间接测热法测量 REE 检验 Chen 公式的准确度,需要更进一步的研究支持。

参考文献

- [1] GUZMAN-MERCADO E, VASQUEZ-GARIBAY E M, SANCHEZ R C, et al. Full breastfeeding modifies anthropometric and body composition indicators in nursing mothers[J]. Breastfeed Med, 2021,16(3):264-271.
- [2] TORRES-MCGEHEE T M, EMERSON D M, MOORE E M, et al. Examination of energy balance, eating disorder risk, and pathogenic behaviors among athletic trainers[J]. J Athl Train, 2020.
- [3] SAMPATH KUMAR A, ARUN MAIYA G, SHASTRY B A, et al. Correlation between basal metabolic rate, visceral fat and insulin resistance among type 2 diabetes mellitus with peripheral neuropathy, 2019,13(1):344-348.
- [4] CUNNINGHAM J J. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal a-

- dults[J]. *Am J Clin Nutr*, 1980, 33(11): 2372-2374.
- [5] RAVUSSIN E, BOGARDUS C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization[J]. *Am J Clin Nutr*, 1989, 49(5 Suppl): 968-975.
- [6] HARRIS J A, BENEDICT F G. A Biometric study of human basal metabolism [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1918, 4(12): 370-373.
- [7] ROZA A M, SHIZGAL H M. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass [J]. *Am J Clin Nutr*, 1984, 40(1): 168-182.
- [8] MIFFLIN M D, ST JEOR S T, HILL L A, et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals [J]. *Am J Clin Nutr*, 1990, 51(2): 241-247.
- [9] Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation [J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1985, 724: 1-206.
- [10] OWEN O E, KAVLE E, OWEN R S, et al. A reappraisal of caloric requirements in healthy women [J]. *Am J Clin Nutr*, 1986, 44(1): 1-19.
- [11] OWEN O E, HOLUP J L, D'ALESSIO D A, et al. A reappraisal of the caloric requirements of men [J]. *Am J Clin Nutr*, 1987, 46(6): 875-885.
- [12] SCHOFIELD W N, SCHOFIELD E C, JAMES W P T. Basal metabolic rate review and prediction together with an annotated bibliography of source material [J]. *Human Nutr Clin Nutr*, 1985, 39(Suppl1): 5-96.
- [13] HENRY C J K. Basal metabolic rate studies in humans; measurement and development of new equations [J]. *Public Health Nutr*, 2005, 8(7A): 1133-1152.
- [14] LIU H Y, LU Y F, CHEN W J. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validation study [J]. *J Am Diet Assoc*, 1995, 95(12): 1403-1408.
- [15] YANG X, LI M, MAO D, et al. Basal energy expenditure in southern Chinese healthy adults; measurement and development of a new equation [J]. *Br J Nutr*, 2010, 104(12): 1817-1823.
- [16] KANG Y, KIM N, CHOI Y J, et al. Leucine-enriched protein supplementation increases lean body mass in healthy Korean adults aged 50 years and older: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. *Nutrients*, 2020, 12(6): 1816.
- [17] AMDANEE N, DI W, LIU J, et al. Age-associated changes of resting energy expenditure, body composition and fat distribution in Chinese Han males [J]. *Physiol Rep*, 2018, 6(23): e13940.
- [18] DINAS P C, VALENTE A, GRANZOTTO M, et al. Browning formation markers of subcutaneous adipose tissue in relation to resting energy expenditure, physical activity and diet in humans [J]. *Horm Mol Biol Clin Investig*, 2017, 31(1):
- [19] OLIVIER N, WENHOLD F A, BECKER P. Resting energy expenditure of black overweight women in south africa is lower than of white women [J]. *Ann Nutr Metab*, 2016, 69(1): 24-30.
- [20] 汪锡, 王远, 许杨, 等. 非肥胖健康成人静息代谢率预测公式准确度研究 [J]. *北京生物医学工程*, 2017, 36(6): 607-613.
- [21] 扈艳雯, 王志媛, 郁万江, 等. 52 例肥胖患者脂肪分布与代谢综合征及糖代谢指标的相关性 [J]. *山东大学学报(医学版)*, 2020, 58(8): 101-106.
- [22] THOM G, GERASIMIDIS K, RIZOU E, et al. Validity of predictive equations to estimate RMR in females with varying BMI [J]. *J Nutr Sci*, 2020, 9: e17.

(收稿日期: 2021-12-23 修回日期: 2022-02-16)