



DOI:10.11817/j.jissn.1672-7347.2018.07.017
www.csumed.org/xbwk/fileup/PDF/201807805.pdf

人类基础代谢率测量方法的研究进展

张佳月, 田征文, 谭红专

(中南大学湘雅公共卫生学院, 长沙 410078)

[摘要] 基础代谢率对于制定人群每日能量所需, 科学指导膳食具有重要意义。目前基础代谢率有3种测量方法, 包括直接测热法、间接测热法和公式估算法。直接测热法难度较大不易实现, 仅仅运用于某些特殊人群中; 而间接测热法和公式推测法是目前使用较多的两种方法。间接测热法准确性高, 适用于有基础代谢测量需要的个体或公式推测法的数据收集。公式推测法简便易行, 适合大样本人群。

[关键词] 基础代谢率; 测量; 预测公式

Research progress in measurement of
human basal metabolic rate

ZHANG Jiayue, TIAN Zhengwen, TAN Hongzhuan

(Xiangya School of Public Health, Central South University, Changsha 410078, China)

ABSTRACT

Basal metabolic rate (BMR) is of great significance to the setting of daily energy requirements and the scientific diet guidance for the population. There are 3 kinds of measurement methods for BMR, including the direct calorimetry, the indirect calorimetry, and the equation estimation. The direct calorimetry method is difficult to implement and is only used in some special populations. The indirect calorimetry and the equation estimation are two methods that are currently used commonly. The indirect calorimetry is highly accurate and suitable for individual for basal metabolic measurement or datum collection via equation estimation. The equation estimation is simple and convenient, which is suitable for large samples.

KEY WORDS

basal metabolic rate; measurement; predictive equation

收稿日期(Date of reception): 2017-10-18
第一作者(First author): 张佳月, Email: csuzhangjiayue@163.com, ORCID: 0000-0001-9219-6335
通信作者(Corresponding author): 谭红专, Email: tanhz99@qq.com, ORCID: 0000-0002-4292-5947

基础代谢是人体维持起码生命活动所需的能量。具体地说,是人体处在清醒、安静状态,不受肌肉收缩、神经活动以及食物和环境温度等影响而释放的,仅够维持心跳、呼吸和一些基本生命活动所需消耗的最低能量。基础代谢是人体能量消耗的重要组成部分,基础代谢率(basal metabolic rate, BMR)是制定适宜人群能量需要量的参考指标。估计个体BMR,对于制定和执行体重相关的干预措施非常重要。比如,可以通过BMR来确定减肥计划中的目标能量摄入量;建立能够动态预测体重增加和减少的模型;找出潜在的代谢异常患者;在不同人群中制定预防肥胖的公共卫生措施;评估代谢紊乱患者(如烧伤患者)潜在的能量缺乏,等等。因此,准确掌握BMR的测定方法至关重要。从1985年开始,WHO建议各国尽可能以本国实际测定的能量消耗量为基础来确定人体的能量需要量。因而各国研究者^[1-2]开始采取不同的研究手段,为建立各国人群的BMR推算公式提供基础依据,以求建立属于自己国家的BMR数据库,为本国人群营养素推荐摄入量(recommended nutrient intake, RNI)提供理论和参考依据。

1 BMR测量的基本原理

根据能量守恒定律,机体消耗的能量应等于产生的热能和所做的外功之和。若机体在某一段时间内不做外功,那么所消耗的能量就等于单位时间内产生的热能。由于人的体温是恒定的,因此单位时间的产热量应等于向外界散发的总热量,所以测定机体在一定时间内散发的总热量,便可知道机体的能量代谢率,根据这一方法和不断的研究测试,国内外研究者^[1]总结出了测定BMR的3种方法:直接测热法、间接测热法以及公式推测法。前2种方法是测定能量消耗的“金标准”^[2],而公式推测法相对前两种方法更为简便快捷,适用于大样本人群BMR的估计。年龄、性别、身高、体重及体表面积是影响BMR的重要因素。BMR常用每小时每平方米体表所散发的热量来表示。体表面积可根据Steveson公式^[3]求出:

体表面积=0.0061×身高+0.0128×体重-0.1529。其中体表面积的单位为m²,身高单位为cm,体重单位为kg。

2 BMR测量的基本方法

2.1 直接测热法

直接测热法是将被测者置于一特殊的检测环境

中,收集被测者在一定时间内(通过辐射、传导、对流及蒸发4个方面)发散的总热量,然后换算成单位时间的代谢量,即能量代谢率(energy metabolic rate)。但是直接测热法的装置较为复杂,主要用于研究肥胖和内分泌系统障碍等。一般人群的测量主要采取后两种方法。

2.2 间接测热法

间接测热法因其较直接测热法容易,又较公式推测法准确,是近年来广受关注的测量BMR的方法。其原理是根据三大产能营养素在产能时所消耗的氧气和产生的二氧化碳间存在的定比关系,在特定条件下、一定时间内通过测量耗氧量和二氧化碳生成量来计算能量消耗。近年来出现的气体代谢分析仪(又名心肺功能测试仪)所用的分析系统是目前国际通用的一种无创间接测热法系统,已被广泛应用于实验和临床研究。

目前临床使用较多的是心肺功能测试仪对基础代谢能量消耗进行测定。由其测得氧气消耗量和二氧化碳产生量,利用Weir公式^[4]计算单位时间能量消耗。

$BMR=(3.941\times VO_2+1.106\times VCO_2)\times 4.186$ 。其中BMR的单位为kJ/min,VO₂表示O₂通量,单位为L/min,VCO₂表示CO₂通量,单位为L/min。

利用间接测热仪开展BMR的测量不仅可用于人群营养需要量的研究,更适用于临床对代谢相关性疾病诊治或各种疾病在营养支持中准确评估能量的需要,分析能量来源和营养支持效果,开展个体化的应用。

2.3 公式推测法

间接测热法与设备的进步为准确评估人体BMR提供了可行性,但其与直接测热法一样,存在仪器设备昂贵、测定耗时过长、仪器操作复杂等问题。因而研究者们^[5-17]经过多年的研究提出各种公式,来预测人群的BMR。公式推测法只需简单的人体测量即可评估基础代谢,便于临床医学、公共卫生学及运动医学领域的实践操作和进行大样本的人群研究,因而被广泛采用^[2]。目前国际和国内已经发表并被广泛参考的BMR公式见表1。

3 不同BMR预测公式的提出与评价

不同人提出的用于预测BMR的公式有很多。据Sabounchi等^[18]于2013年发表的系统综述统计,截至2011年3月,文献中一共有248个不同的BMR预测公式,涉及的变量包括身高、体重、年龄、瘦体重、

脂肪体重、腰臀比、体重指数等7个。根据每个公式中所包含的变量组合的不同,可以分为17类。例如,公式中仅包含体重这一变量的是一类,而同时包含身高、体重、年龄的又是一类。每一类公式中,根

据适用人群的不同(年龄、性别、种族等),同一变量的系数也可能不一样。由于篇幅所限,下面仅介绍研究中最常用的7个以及可能适用于我国人群的3个公式,具体可参见文献[18-19]。

表1 目前常用的BMR预测公式

Table 1 Prediction equations of BMR used commonly

公式序号	作者/来源	年龄/岁	BMR预测公式	
			男	女
1	FAO/WHO/UNU ^[5]	18~30	(0.0640 W+2.84)×238.85	(0.0615 W+2.08)×238.85
2	Cunningham ^[6]		22LBM+500	
3	Harris等 ^[7]		13.7516 W+5.0033 H-6.7550 A+66.4730	9.5634 W+1.8496 H-4.6756 A+655.0955
4	Schofield等 ^[8]	18~30	15.057 W+692.2	14.818 W+486.6
		30~60	11.472 W+873.1	8.126 W+845.6
5	Mifflin等 ^[9]		9.99 W+6.25 H-4.92 A+5	9.99 W+6.25 H-4.92 A-161
6	hayter等 ^[10-12]	18~30	12.19 W+836.52	11.23 W+669.22
		30~60	12.67 W+733.75	9.32 W+733.78
7	Liu等 ^[13]	≥ 18	13.88 W+4.16 H-3.43 A-112.40 S+54.34	13.88 W+4.16 H-3.43 A-112.40 S+54.34
8	Owen等 ^[14-15]		879.06+10.28 W	794.93+7.17 W
9	Yang等 ^[16]		277+89 W+600	277+89 W
10	Camps等 ^[17]		12.6 W+666	12.6 W+468.2

W: 体重(kg); LBM: 瘦体重或去脂体重(kg); H: 身高(cm); A: 年龄(岁); S: 性别(男=0; 女=1); BMR单位: kcal/d (1 kcal=4.186 kJ)

3.1 Harris-Benedict(H-B)公式

1919年, Harris和Benedict的研究让BMR的测量有了突破性的进展, 与其先前的研究显著不同, 他们首次引入了BMR的生物特征分析^[5]。在严格的实验条件下对136名男性和103名女性进行了测量, 建立了首个BMR预测公式(公式3)。研究结果还表明身高和体重对BMR均有独立的影响, 这在当时是巨大的进展。虽然这些方程式仍然存在争议(如等式中的常数显示男性和女性之间的差异达10倍, 数据的测量是在休息而非基础条件下进行的等), 但因其简单使它成为广受欢迎的一个公式。即使在今天, 北美的许多临床医生仍在使用它, 它对于BMR的研究具有里程碑意义^[12]。

3.2 Cunningham公式

1980年, Cunningham^[6]从Harris和Benedict 1919年发表的论文中选取了223名健康成人的数据(其余16名为运动员, 因此被剔除), 用性别、年龄、身高、体重以及瘦体重跟BMR进行多元回归分析。结果发现, 瘦体重是BMR的唯一预测指标, 而以前其他研究者^[20-21]认为有影响的性别和年龄则作用不大, 因此最佳的预测公式只包括了瘦体重这一个变量(公式2)。

3.3 FAO /WHO/ UNU(Schofield)公式

1985年FAO/WHO/UNU^[5]基于Schofield数据库推荐了预测公式(公式1)。该数据来自于1914至1980年发表的7 173项(4 809名男性, 2 364名女性)BMR个体研究, 其中57%的男性和27%的女性资料来源于意大利, 意大利群组比数据库中其他组别的BMR值要高。鉴于该数据库的特性, 大多数国内研究者^[22-23]认为Schofield(公式4)和基于其数据库发展的公式1被显著高估。比如刘燕萍等^[24]的研究结果显示北京地区健康成人 BMR的实测值显著低于Schofield公式的估算值, 男性实测值比估算值低1 854 kJ/d, 女性低1 313 kJ/d。

3.4 Owen公式

20世纪80年代, Owen等^[14-15]通过对不同年龄和体重的60名成年男性和44名女性进行能量需求的重新评价, 得出体重对静息代谢率(resting metabolic rate, RMR)的影响极大, 而其他变量对RMR的影响几乎可以忽略不计, 因而他们提出的测量公式中只有体重一个变量(公式8)。

3.5 Mifflin公式

1990年, Mifflin等^[9]通过测量498例年龄在19~78

岁之间正常体重、超重、肥胖和严重肥胖者的静息能量消耗(resting energy expenditure, REE), 提出了Mifflin公式。该公式没有明确规定地域组成, 但其计算指标为REE, 这同H-B和Owen公式一样, 不是严格意义上的BMR结果。在一项对83名18~78岁的成年人中使用H-B, Mifflin, Owen公式的研究中^[19], Mifflin公式是3个预测公式中最为准确的, 有82%的研究对象其RMR的预测值与实测值的误差在10%以内。

基础代谢率推测公式多存在地域、种族以及人群局限性。因此, 为了提高BMR估计值的准确性并反映出种族间的差异, 一些经过改进的公式被提出。其中包括欧盟推荐的公式6^[10-12]、公式7^[13]以及公式9^[16], 这些方程式的共同点是它们都是以健康的亚洲人群为研究对象。同样, Mifflin等^[9](公式5)和Owen等^[14-15](公式8)对超重和肥胖的白种人的预测公式进行了改进。然而, 关于在亚洲生活的超重和肥胖成年人的BMR, 以及为这一群体开发的公式, 仍然缺乏实测数据, 直到2016年, Camps等^[17]为中国超重和肥胖人群提供了一个可能的预测公式——Singapore公式(公式10)。

3.6 Henry公式

Henry公式^[10-12]的数据取自Oxford数据库。该数据来自于1914至2001年之间发表的和未发表的10 502项(5 794名男性, 4 708名女性)BMR个体研究。同时为了保持一致性, 并符合基础代谢的定义标准, 数据库中纳入的论文数据标准也有明确规定, 比如需要有研究对象的年龄、体重、性别、地域/种族等信息, 实验条件和仪器设备的描述等。数据库排除了营养不良或患病的个体, 仅仅包括健康(包括超重和肥胖)的个体。其中53%的个体研究采用开放式循环测热的方法, 且有38%(4 018份)的数据来自发展中国家。当然, Oxford数据库中也包括了Schofield数据库中的意大利人群, 两个数据库共有4 039份数据重叠^[25]。

与Schofield数据库相比, Henry公式包含了大量来自热带地区的人, 他们将Schofield数据库中的意大利人排除在外。在我国的研究人群中, Henry公式显示了一个较小的高估(131 kJ/d), 在横断面和交叉验证研究中, 准确率为67%; 此外, Henry公式显示体重指数(body mass index, BMI)>23 kg/m²的受试者的准确率有所提高(72%)^[17]。

3.7 Liu公式

1995年, Liu等^[13]通过间接测热法测量了223名(男性102名, 女性121名)20~78岁健康中国成年人的BMR, 提出了Liu公式(公式7), 并采用交叉验证的

方式进行了验证。结果显示: Liu公式预测值与实测值之间差异无统计学意义($P=0.001$)。尽管Mifflin公式被认为是相对来说最好的预测公式, 但是在随机选取的10个交叉验证样本中, Mifflin公式与Liu公式相比, 前者较实测值显著高估 $[(5\ 027\pm180)\text{ kJ/d}$ vs $(4\ 496\pm247)\text{ kJ/d}$; $P=0.001$]; 预测值与实测值之比, Mifflin公式也比Liu公式更高 $(1.12\pm0.05$ vs 1.04 ± 0.05 , $P=0.0001$)。因而Liu公式被认为是当时最适合中国人的预测方程, 被推荐使用。

3.8 Yang公式

2010年, 我国研究者Yang等^[16]通过间接测热法测量了中国南方165名18~45岁健康适重成年人的BMR, 从而提出了Yang公式(公式9)。同时, 他们也通过实测数据验证了之前所提出的几个公式, 结果显示除了Yang公式(平均差值22 kJ/d), Liu公式最接近实测数据(平均差值为66 kJ/d, $P=0.37$), Henry, Schofield, H-B均有高估(平均差值分别为250, 385, 350 kJ/d, $P=0.001$)。Yang公式可以被运用于18~45岁中国健康适重成年人BMR的预测。

3.9 Singapore公式

2016年, Camps等^[17]开展了一项针对21~67岁、BMI在16~41 kg/m²范围内的新加坡华人(121名男性和111名女性)的研究, 并提出了Singapore公式(公式10)。该公式因其完全基于体重和性别, 故容易计算。此外, 通过该公式, 证实BMR与体重高度相关, 而增加其他常规可用值(身高和年龄)对预测BMR的准确性没有显著影响。同时, 研究者也对之前的预测公式进行了交叉验证。结果显示Singapore公式准确率(误差在10%)最高, 达78%, 是目前最适合预测中国人BMR的公式。它的优势在于适用范围广, 可以直接应用于生活和临床。

4 BMR预测公式的研究进展

现有的BMR预测公式数日繁多, 其预测能力参差不齐, 有的公式决定系数高达0.92, 有的则低至0.31^[26]。而且, 同一公式在不同人群中的预测能力变异较大, 特别是在一些特殊患者中的预测能力很低, 妨碍了这些公式的临床应用。因此, 近年来关于BMR预测公式的研究多在特殊人群中评估现有公式是否适用以及是否需要建立新的预测公式。

比如, Lazzar等^[27]在80名Prader-Willi综合征患者中, 比较了包括H-B公式、FAO/WHO/UNU公式、Mifflin公式、Owen公式在内的9个公式及研究者自己新建立的2个公式预测的BMR与用间接法实测的结

果，发现尽管新方法的准确度(59%和62%)比现有公式(<50%)高很多，但最多也只能在60%左右的人当中预测准确。

Skallerup等^[28]在103名肠衰竭患者中，比较了几个基于人体测量学指标的公式(H-B公式、Mifflin公式、Owen公式、Ireton-Jones公式)和基于生物电阻抗指标的公式(Korth公式、Johnstone公式)预测的BMR与用间接法实测的结果，发现只有H-B公式及Johnstone公式跟间接法的结果较为接近，但也只能在67%的患者中准确地预测(误差在±10%以内)，其他公式的结果都相差很远。

Xiao等^[29]在82名意识不清或处于植物人状态的患者中，比较了H-B公式(准确率35.4%)、Schofield公式(41.5%)及Cunningham公式(24.7%)预测的BMR与用间接法实测的结果，发现没有一个公式可以准确地预测BMR，因此建议要用间接法测量。

Nightingale等^[30]在30名慢性脊髓损伤的患者中，比较了10个不同公式预测的BMR与用间接法实测的结果，发现基于身高、体重和/或年龄的公式平均比间接法高估14%~17%，基于去脂体重的公式则可以准确地估计BMR，而研究者自己基于身高、体重、小腿围和体重建立的新公式可以使准确率进一步提高8%，且绝对误差都小于6%。

Zambrano等^[31]在50名成骨不全的儿科患者中，比较了FAO/WHO/UNU公式、Heald公式及生物电阻抗分析法预测的BMR与用间接法实测的结果，发现FAO/WHO/UNU公式和Heald公式的结果均出现高估，而生物电阻抗分析法的结果则存在低估。

此外，近几年也有不少在运动员、青少年等人群中开展的研究^[32-35]，但常常发现现有公式预测的BMR跟用间接法实测的结果差别较大，因此有的研究者^[34]不建议直接用现有的公式来预测这些特殊群体的BMR，而应该建立新的公式。

5 结 语

在3种BMR测量方式中，直接测热法难度较大不易实现，仅可运用于某些特殊人群中；而间接测热法和公式推测法是目前使用较多的两种方法。间接测热法准确性高，适用于有BMR测量需要的个体或公式推测法的数据收集。公式推测法简便易行，适合大样本人群。Liu公式，Yang公式及Singapore公式对于我国适重人群(BMI为18.0~23.9 kg/m²)的预测值较好；超重和肥胖人群(BMI≥24 kg/m²)Singapore公式预测准确性最高；而enry和Mifflin公式虽然不是基于我国人群发展起来的，但其准确度也较高，特别是Henry公式被我国很多研究采纳。但是，将现有的公

式应用到一些特殊人群中(如某些患者、运动员等)，其预测准确性均较低，需要根据实际情况对现有公式进行调整。

就我国目前使用的BMR测量公式而言，仍然存在样本量少，不能涵盖各地域人群的年龄、性别、身体状况等缺点，适合我国人群营养素推荐摄入量的制定需要大样本的支持，因而根据大样本数据出具更适合我国人群的BMR测量公式是目前亟待解决的问题。

参考文献

[1] 曹宇. 能量代谢与体温[M]// 朱大年, 王庭槐. 生理学. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 219-228.
CAO Yu. Energy metabolism and temperature[M]// ZHU Danian, WANG Tinghuai. Physiology. 8th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013: 219-228.

[2] 戴剑松, 孙飙. 体力活动测量方法综述[J]. 体育科学, 2005, 2(9): 69-75.
DAI Jiansong, SUN Biao. Summary on measurement of physical activity[J]. Sport Science, 2005, 2(9): 69-75.

[3] 刘玉宝. 基础代谢率的测定[J]. 生物学杂志, 1989, 30(4): 43-44.
LIU Yubao. The measurement of basal metabolic rate[J]. Journal of Biology, 1989, 30(4): 43-44.

[4] Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism[J]. J Physiol, 1949, 109(1/2): 1-9.

[5] FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Energy and protein requirements[R]. Geneva: World Health Organization, 1985.

[6] Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults[J]. Am J Clin Nutr, 1980, 33(11): 2372-2374.

[7] Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man[M]. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington, 1919.

[8] Schofield WN, Schofield C, James WPT, et al. Basal metabolic rate—review and prediction together with an annotated biography of source material[J]. Hum Nutr Clin Nutr, 1985, 39C (Suppl 1): 85-96.

[9] Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals[J]. Am J Clin Nutr, 1990, 51(2): 241-247.

[10] Hayter JE, Henry CJ. A re-examination of basal metabolic rate predictive equations: the importance of geographic origin of subjects in sample selection[J]. Eur J Clin Nutr, 1994, 48(10): 702-707.

[11] Henry CJ. Mechanism of changes in basal metabolism during ageing[J]. Eur J Clin Nutr, 2000, 54(Suppl 3): S77-91.

[12] Henry CJ. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations[J]. Public Health Nutr, 2005, 8(7A):

1133-1152.

[13] Liu HY, Lu YF, Chen WJ. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validations study [J]. J Am Diet Assoc, 1995, 95(12): 1403-1408.

[14] Owen OE, Holup JL, D' Alessio DA, et al. A reappraisal of the caloric requirements of men[J]. Am J Clin Nutr, 1987, 46(6): 875-885.

[15] Owen OE, Kavlé E, Owen RS, et al. A reappraisal of caloric requirements in healthy women[J]. Am J Clin Nutr, 1986, 44(1): 1-19.

[16] Yang X, Li M, Mao D, et al. Basal energy expenditure in southern Chinese healthy adults: measurement and development of new equation[J]. Br J Nutr, 2010, 104(12): 1817-1823.

[17] Camps SG, Wang NX, Tan WS, et al. Estimation of basal metabolic rate in Chinese: are the current prediction equations applicable?[J]. Nutr J, 2016, 15(1): 79.

[18] Sabouchi NS, Rahmandad H, Ammerman A. Best-fitting prediction equations for basal metabolic rate: informing obesity interventions in diverse populations[J]. Int J Obes, 2013, 37(10): 1364-1370.

[19] Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C, et al. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy non-obese and obese adults: a systematic review[J]. J Am Diet Assoc, 2005, 105(5): 775-789.

[20] Tzankoff SP, Norris AH. Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes[J]. J Appl Physiol Respir Environ Exercise Physiol, 1977, 43(6): 1001-1006.

[21] Tzankoff SP, Norris AH. Longitudinal changes in basal metabolism in man[J]. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1978, 45(4): 536-539.

[22] 许佳章, 王俊, 管有志, 等. 深圳市某公共卫生机构健康青年志愿者基础代谢率的研究[J]. 卫生研究, 2010, 39(5): 567-569.

XU Jiazhang, WANG Jun, GUAN Youzhi, et al. Basal metabolic rate of healthy young volunteers in a public health institution in shenzhen[J]. Health Research, 2010, 39(5): 567-569.

[23] 刘健敏, 孙锐, 勾凌燕, 等. 中国北方青年女子基础代谢率的研究[J]. 营养学报, 2008, 30(1): 31-34。

LIU Jianmin, SUN Rui, GOU Lingyan, et al. Basal metabolic rate of young women in north China[J]. Journal of Nutrition, 2008, 30(1): 31-34.

[24] 刘燕萍, 陈伟, 毛德倩, 等. 间接测热法测定北京成年居民基础代谢率及身体成分的相关性[J]. 协和医学杂志, 2013, 4(1): 11-14.

LIU Yanping, CHEN Wei, MAO Deqian, et al. Basal metabolic rate determined by indirect calorimetry and its correlation to body composition of Beijing adult residents[J]. Medical Journal of Peking Union Medical College Hospital, 2013, 4(1): 11-14.

[25] Ramirez-Zea M. Validation of three predictive equations for basal metabolic rate in adults[J]. Public Health Nutr, 2005, 8(7A): 1213-1228.

[26] Sabouchi NS, Rahmandad H, Ammerman A. Best-fitting prediction equations for basal metabolic rate: informing obesity interventions in diverse populations[J]. Int J Obes, 2013, 37(10): 1364-1370.

[27] Lazzer S, Grugni G, Tringali G, et al. Prediction of basal metabolic rate in patients with Prader-Willi syndrome[J]. Eur J Clin Nutr, 2016, 70(4): 494-498.

[28] Skallerup A, Nygaard L, Olesen SS, et al. Can we rely on predicted basal metabolic rate in patients with intestinal failure on home parenteral nutrition?[J]. JPEN J Parenter Enteral Nutr, 2017, 41(7): 1139-1145.

[29] Xiao G, Xie Q, He Y, et al. Comparing the measured basal metabolic rates in patients with chronic disorders of consciousness to the estimated basal metabolic rate calculated from common predictive equations[J]. Clin Nutr, 2017, 36(5): 1397-1402.

[30] Nightingale TE, Gorgey AS. Predicting basal metabolic rate in men with motor complete spinal cord injury[J]. Med Sci Sports Exerc, 2018, 50(6): 1305-1312.

[31] Zambrano MB, Félix TM, de Mello ED, et al. Difference between methods for estimation of basal metabolic rate and body composition in pediatric patients with osteogenesis imperfecta[J]. Ann Nutr Metab, 2018, 72(1): 21-29.

[32] Merghani TH, Alawad AO, Ibrahim RM, et al. Prediction of basal metabolic rate in overweight/obese and non-obese subjects and its relation to pulmonary function tests[J]. BMC Res Notes, 2015, 8: 353.

[33] Loureiro LL, Fonseca S Jr, Castro NG, et al. Basal metabolic rate of adolescent modern pentathlon athletes: agreement between indirect calorimetry and predictive equations and the correlation with body parameters[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0142859.

[34] Patil SR, Bharadwaj J. Development of new equations for basal metabolic rate for adolescent student Indian population[J]. J Postgrad Med, 2013, 59(1): 25-29.

[35] Wong JE, Poh BK, Nik Shanita S, et al. Predicting basal metabolic rates in Malaysian adult elite athletes[J]. Singapore Med J, 2012, 53(11): 744-749.

(本文编辑 陈丽文)

本文引用：张佳月, 田征文, 谭红专. 人类基础代谢率测量方法的研究进展[J]. 中南大学学报(医学版), 2018, 43(7): 805-810. DOI:10.11817/j.issn.1672-7347.2018.07.017

Cite this article as: ZHANG Jiayue, TIAN Zhengwen, TAN Hongzhuan. Research progress in measurement of human basal metabolic rate[J]. Journal of Central South University. Medical Science, 2018, 43(7): 805-810. DOI:10.11817/j.issn.1672-7347.2018.07.017