

## ·论著·烧伤代谢与营养·

## 本文亮点:

- (1) 在计算重症烧伤患者静息能量消耗(REE)值时,推荐急性抑制期使用彭曦团队线性公式、代谢高涨期和代谢平衡期使用Hangang公式、代谢重塑期使用第三军医大学公式。
- (2) 经分析得出,代谢高涨期的烧伤总面积、代谢平衡期的伤后天数是影响重症烧伤患者REE公式计算值的关键因子。

## Highlights:

- (1) When calculating the resting energy expenditure (REE) value of patients with severe burns, it was recommended to use the Peng Xi team's linear formula in the acute inhibition phase, the Hangang formula in the hypermetabolic and metabolic balance phases, and the Third Military Medical University formula in the metabolic remodeling phase.
- (2) The analysis showed that the total burn area in the hypermetabolic phase, the number of post-injury days in metabolic balance phase were the key factors affecting REE formula values in patients with severe burns.



## 不同代谢分期下重症烧伤患者静息能量消耗值的计算公式选择与分析

邹文 韩春茂 金荣华 沈涛

浙江大学医学院附属第二医院烧伤与创面修复科,杭州 310009

通信作者:韩春茂,Email:zrsk@zju.edu.cn

**【摘要】** 目的 探究不同代谢分期下重症烧伤患者静息能量消耗(REE)值的变化及其最佳计算公式的选择。方法 该研究为回顾性观察性研究。2020年4月—2023年12月,浙江大学医学院附属第二医院收治40例符合入选标准的重症烧伤患者,其中男32例、女8例,年龄(54±17)岁。入院后,对患者实施镇静镇痛、清创、植皮等临床常规治疗。于伤后3、5、7、9、11、14 d及此后每7天,对符合测量条件的患者采用间接测热法测量REE值(即REE测量值),直到患者康复或死亡。在测量患者REE的当日,分别采用Milner公式、Hangang公式、第三军医大学公式、Carlson公式、彭曦团队线性公式计算REE值(即REE公式计算值)。统计测量患者REE的伤后时间,并对患者在急性抑制期、代谢高涨期、代谢平衡期、代谢重塑期的临床特征进行比较。统计患者在4个不同代谢分期下REE测量值以及其与REE公式计算值的差值的变化。相对于REE测量值,计算REE公式计算值的10%准确率及20%准确率以评估其准确性,计算REE公式计算值的绝对百分比误差(APE)以评估其偏离情况,筛选4个不同代谢分期中最接近REE测量值的代谢公式(即最佳计算公式),进一步地探索影响不同代谢分期下最佳计算公式准确性的关键因子。结果 测量重症烧伤患者REE的时间为伤后(40±19)d。在4个不同代谢分期中,患者在代谢重塑期的年龄最大、身高最高、体重最重、体重指数最大、体表总面积最大。患者代谢重塑期的年龄显著大于急性抑制期和代谢高涨期( $t$ 值分别为-3.02、-4.20, $P$ 值均 $<0.05$ ),体重显著重于代谢高涨期和代谢平衡期( $t$ 值分别为-1.97、-2.61, $P$ 值均 $<0.05$ ),体重指数显

DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20240229-00080

本文引用格式:邹文,韩春茂,金荣华,等.不同代谢分期下重症烧伤患者静息能量消耗值的计算公式选择与分析[J].中华烧伤与创面修复杂志,2024,40(7):634-642. DOI:10.3760/cma.j.cn501225-20240229-00080.

Zou W, Han CM, Jin RH, et al. Selection and analysis of calculation formulas for resting energy expenditure in patients with severe burns based on different metabolic stages[J]. Chin J Burns Wounds, 2024, 40(7): 634-642. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20240229-00080.



著高于代谢高涨期( $t=-2.90, P<0.05$ ), 体表总面积显著大于代谢高涨期和代谢平衡期( $t$ 值分别为 $-2.02, -2.27, P$ 值均 $<0.05$ )。患者 REE 测量值在 4 个不同代谢分期中无显著变化( $P>0.05$ ); 除彭曦团队线性公式( $P>0.05$ )外, 在不同代谢分期中 REE 的 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式计算值分别与 REE 测量值的差值总体比较, 差异均具有统计学意义( $H$ 值分别为 14.50、27.15、37.26,  $F=11.80, P<0.05$ )。10% 准确率、20% 准确率、APE 的综合分析显示, 在急性抑制期, REE 的彭曦团队线性公式计算值最接近 REE 测量值, 且 REE 的彭曦团队线性公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式( $t$ 值分别为 9.00、 $-2.10, 5.95, 6.68, P$ 值均 $<0.05$ ); 在代谢高涨期, REE 的 Hangang 公式计算值最接近 REE 测量值, 且 REE 的 Hangang 公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式、彭曦团队线性公式( $t$ 值分别为 10.20、10.33、10.65, 5.87,  $P$ 值均 $<0.05$ ); 在代谢平衡期, REE 的 Hangang 公式计算值最接近 REE 测量值, 且 REE 的 Hangang 公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式( $t$ 值分别为 7.11、8.52、8.60,  $P$ 值均 $<0.05$ ); 在代谢重塑期, REE 的第三军医大学公式计算值最接近 REE 测量值, 且 REE 的第三军医大学公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、Hangang 公式、Carlson 公式( $t$ 值分别为 5.12、2.45、6.26,  $P$ 值均 $<0.05$ )。在急性抑制期, 不存在影响彭曦团队线性公式计算准确性的关键因子( $P>0.05$ ); 在代谢高涨期, 烧伤总面积是影响 Hangang 公式计算准确性的关键因子(比值比为 1.00, 95% 置信区间为 1.00~1.10,  $P<0.05$ ); 在代谢平衡期, 伤后天数是影响 Hangang 公式预测准确性的关键因子(比值比为 1.30, 95% 置信区间为 1.10~1.40,  $P<0.05$ ); 在代谢重塑期, 不存在影响第三军医大学公式计算准确性的关键因子( $P>0.05$ )。 **结论** 推荐在急性抑制期使用彭曦团队线性公式、代谢高涨期和代谢平衡期使用 Hangang 公式、代谢重塑期使用第三军医大学公式对重症烧伤患者 REE 值进行估算, 并且要保障代谢高涨期和代谢平衡期影响最佳计算公式关键因子的准确性。

**【关键词】** 烧伤; 量热法, 间接; 营养支持; 能量代谢; 静息能量消耗; 重症烧伤患者; 代谢分期

**基金项目:**国家自然科学基金青年科学基金项目(82202443)

### Selection and analysis of calculation formulas for resting energy expenditure in patients with severe burns based on different metabolic stages

Zou Wen, Han Chunmao, Jin Ronghua, Shen Tao

Department of Burn and Wound Repair, the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China

Corresponding author: Han Chunmao, Email: zrskk@zju.edu.cn

**【Abstract】 Objective** To explore the changes in resting energy expenditure (REE) values in patients with severe burns under different metabolic stages and the selection of the optimal calculation formula. **Methods** This study was a retrospective and observational study. From April 2020 to December 2023, 40 patients (32 males and 8 females, aged  $(54\pm 17)$  years) with severe burns meeting inclusion criteria were treated in the Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine. After admission, the patients were given routine clinical treatments such as sedation and analgesia, debridement, and skin grafting. At 3, 5, 7, 9, 11, 14 days after injury and every 7 days thereafter, the REE values (i. e., REE measured values) were measured by indirect calorimetry in patients with severe burns who met the measurement conditions till the patients recovered or died. On the day the patient's REE was measured, Milner, Hangang, the Third Military Medical University, Carlson, and Peng Xi team's linear formula were used respectively to calculate the REE value (i. e., REE formula values). The post-injury time to measure REE in patients was calculated, and the clinical characteristics of patients in acute inhibition, hypermetabolic, metabolic balance, and metabolic remodeling phases were compared. The REE measured values and the difference between the REE formula values and the REE measured values of patients under the 4 different metabolic phases were calculated. Compared with the REE measured values, the 10% accuracy rate and 20% accuracy rate were calculated to evaluate the accuracy of the REE formula values. The absolute percentage error (APE) of the REE formula values were calculated to evaluate the deviation. The metabolic formula (i. e., the optimal calculation formula) that was closest to the measured REE values was screened out, and further exploration was conducted to identify the key factors that affected the accuracy of the optimal calculation formula under different metabolic phases. **Results** The post-injury time to measure REE in patients with severe burns was  $(40\pm 19)$

days. Comparisons showed that under the 4 different metabolic phases, patients in the metabolic remodeling phase had the highest age, height, weight, body mass index, total body surface area. Age in the metabolic remodeling phase was significantly higher than that in the acute inhibition and hypermetabolic phases (with  $t$  values of  $-3.02$  and  $-4.20$ , respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ), weight was significantly higher than that in the hypermetabolic and metabolic balance phases (with  $t$  values of  $-1.97$  and  $-2.61$ , respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ), body mass index was significantly higher than that in the hypermetabolic phase ( $t = -2.90$ ,  $P < 0.05$ ), and total body surface area was significantly larger than that in the hypermetabolic and metabolic balance phases (with  $t$  values of  $-2.02$  and  $-2.27$ , respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ). There was no significant change in patients' REE measured values under the 4 different metabolic stages ( $P > 0.05$ ). Except for the Peng Xi team's linear formula ( $P > 0.05$ ), the difference between REE measured values and REE formula values calculated by using Milner, Hangang, the Third Military Medical University, and Carlson formulas respectively was statistically significant under different metabolic stages (with  $H$  values of 14.50, 27.15, and 37.26, respectively,  $F = 11.80$ ,  $P < 0.05$ ). Comprehensive analysis of 10% accuracy, 20% accuracy, and APE showed that in the acute inhibition phase, the REE formula values calculated by Peng Xi team's linear formula was closest to REE measured values, and the APE of the REE formula values calculated by Peng Xi team's linear formula was significantly lower than those calculated by Milner formula, Hangang formula, the Third Military Medical University formula, and Carlson formula (with  $t$  values of 9.00,  $-2.10$ , 5.95, and 6.68, respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ). In the hypermetabolic phase, the REE formula values calculated by Hangang formula were closest to REE measured values, with significantly lower APE of the REE formula values calculated by Hangang formula than those calculated by using Milner formula, the Third Military Medical University formula, Carlson formula, and Peng Xi team's linear formula (with  $t$  values of 10.20, 10.33, 10.65, and 5.87, respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ). In the metabolic balance phase, the REE formula values calculated by Hangang formula were again closest to REE measured values, with significantly lower APE of the REE formula values calculated by Hangang formula than those calculated by Milner formula, the Third Military Medical University formula, and Carlson formula (with  $t$  values of 7.11, 8.52, and 8.60, respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ). In the metabolic remodeling phase, the REE formula values calculated by the Third Military Medical University were closest to REE measured values, with significantly lower APE of the REE formula values calculated by the Third Military Medical University formula than those calculated by Milner formula, Hangang formula, and Carlson formula (with  $t$  values of 5.12, 2.45, and 6.26, respectively, with all  $P$  values  $<0.05$ ). No significant key factors affected the accuracy of the Peng Xi team's linear formula in the acute inhibition phase ( $P > 0.05$ ). In the hypermetabolic phase, total burn area was a key factor affecting the accuracy of Hangang formula (with odds ratio of 1.00, with 95% confidence interval of 1.00–1.10,  $P < 0.05$ ). In the metabolic balance phase, post-injury days was a key factor affecting the accuracy of Hangang formula (with odds ratio of 1.30, with 95% confidence interval of 1.10–1.40,  $P < 0.05$ ). In the metabolic remodeling phase, no significant key factors affected the accuracy of the Third Military Medical University formula ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** When calculating REE values in patients with severe burns, it is recommended to use the Peng Xi team's linear formula during the acute inhibition phase, the Hangang formula during the hypermetabolic and metabolic balance phases, and the Third Military Medical University formula during the metabolic remodeling phase. Additionally, it is crucial to ensure the accuracy of key factors affecting the optimal calculation formula in the hypermetabolic and metabolic balance phases.

**【 Key words 】** Burns; Calorimetry, indirect; Nutritional support; Energy metabolism; Resting energy expenditure; Critically burned patients; Metabolic stages

**Fund program:** Youth Fund of the National Natural Science Foundation of China (82202443)

烧伤是指由热力、化学物质、电流等因素引起的组织损伤,主要影响皮肤及深层组织<sup>[1]</sup>。全球每年约有 1 100 万人遭受烧伤,其中约 18 万人死亡<sup>[2-4]</sup>。烧伤患者的死亡风险受多种因素,包括烧伤总面积、烧伤深度及是否伴吸入性损伤等<sup>[5]</sup>的影响。烧伤患者治疗期间,不合理的能量供给也会增

加死亡风险。准确评估重症烧伤患者的能量需求是为其提供合理营养支持方案的基础。间接测热法是测量烧伤患者静息能量消耗(resting energy expenditure, REE)的金标准,但因其昂贵的设备成本和复杂的操作性而在临床应用中受限<sup>[6-7]</sup>。因此,采用目前常用的公式包括 Milner 公式<sup>[8]</sup>、

Hangang 公式<sup>[9]</sup>、第三军医大学公式<sup>[10]</sup>、Carlson 公式<sup>[11]</sup>和彭曦团队线性公式<sup>[6]</sup>等估算烧伤患者 REE 成为一种简便有效的替代方法。但各公式的侧重点不同,预测准确性难以保证<sup>[12]</sup>。因此,明确各公式的适用条件,对于精准计算烧伤患者在不同阶段的实际能量需求具有重要意义。

了解重症烧伤患者机体代谢变化、合理计算 REE 值并制订个体化的能量补充方案是优化营养治疗的关键<sup>[13]</sup>。传统上,烧伤患者代谢被简化为初期的抑制期和随后的长期亢进期,这种分类忽略了病程后期的代谢变化。彭曦等<sup>[13]</sup>提出,严重烧伤患者代谢在不同病程阶段存在显著差异,强调了精细化分期的重要性。根据最新研究,重症烧伤患者的代谢变化可细分为 4 个阶段:急性抑制期(伤后 1~3 d)、代谢高涨期(伤后 4 d~4 周)、代谢平衡期(伤后 5~8 周)和代谢重塑期(伤后 8 周以上)<sup>[13-16]</sup>。本研究旨在探究不同代谢分期下重症烧伤患者 REE 值的变化及其最佳计算公式的选择,以便在临床实践中实施个体化的 REE 值计算和营养补充策略。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究设计

本研究为回顾性非随机对照临床研究,项目的设计和和实施经浙江大学医学院附属第二医院(以下简称本院)伦理委员会审批通过,伦理批号:(2024)伦审研(0225)号。

### 1.2 入选标准

纳入标准:年龄 $\geq 18$ 岁,烧伤总面积 $\geq 50\%$ TBSA 或 III 度烧伤总面积 $> 20\%$ TBSA,并在治疗期间规律采用间接测热法测量 REE 者<sup>[17]</sup>。排除标准:住院时间 $< 48$  h;合并严重的心脏、肾脏或肝脏疾病;感染未得到控制;患严重心理疾病者、滥用药物者、妊娠期妇女、正在参与其他临床试验者;吸入氧浓度 $> 0.6$ 且需要吸氧者;行胸腔闭式引流但气管切口或呼吸机管路气体泄漏者。

### 1.3 临床资料

2020 年 4 月—2023 年 12 月,本院收治 40 例符合入选标准的重症烧伤患者,其中男 32 例、女 8 例,年龄( $54 \pm 17$ )岁,身高( $168 \pm 7$ )cm,体表总面积( $1.82 \pm 0.20$ )m<sup>2</sup>,烧伤总面积( $75\% \pm 19\%$ )TBSA,体重( $73 \pm 16$ )kg,体重指数( $26 \pm 5$ )kg/m<sup>2</sup>。

### 1.4 一般治疗

在重症烧伤患者的治疗过程中,实施静脉滴注

输液,同时配合镇静镇痛、抗感染药物及烧伤药膏治疗,并进行多次清创和植皮手术。

### 1.5 REE 的测量及估算

预设伤后 3、5、7、9、11、14 d 及此后每 7 天,对重症烧伤患者采用间接测热法测量 REE 值(即 REE 测量值),直到患者康复或死亡。每次测量前确保患者没有进行任何可能严重影响代谢率的活动,如剧烈活动或手术。根据说明,确保患者处于气体浓度、温度及湿度条件适宜的环境,通过面罩连接气体分析仪得到 REE 测量值。由于患者伤后入院时间不同以及预设测量当天患者可能不符合测量条件,故每例患者测量次数不同。对 40 例患者进行共 184 次,包括急性抑制期 13 次、代谢高涨期 87 次、代谢平衡期 65 次、代谢重塑期 19 次测量。

在测量患者 REE 的当日,分别采用 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式、彭曦团队线性公式计算 REE 值(即 REE 公式计算值),见表 1。其中,需要说明的是彭曦团队线性公式是将烧伤患者伤后 1~35 d 内实际测量的 REE 数据通过数学建模和非线性化处理得到的,因此该公式主要被纳入急性抑制期与代谢高涨期 2 个代谢阶段的研究。

### 1.6 分析指标

统计测量重症烧伤患者 REE 的伤后时间,并对患者在急性抑制期、代谢高涨期、代谢平衡期、代谢重塑期的临床特征进行比较。统计患者在 4 个不同代谢分期下 REE 测量值以及其与 REE 公式计算值的差值的变化。相对于 REE 测量值,计算 REE 公式计算值的 10% 准确率及 20% 准确率以评估其准确性,计算 REE 公式计算值的绝对百分比误差(absolute percentage error, APE)以评估其偏离情况<sup>[18-21]</sup>,筛选 4 个不同代谢分期中最接近 REE 测量值的代谢公式(即最佳计算公式)。10% 准确率=测量次数 $_{(0.9 \times \text{测量值} < \text{公式计算值} < 1.1 \times \text{测量值})} \div \text{测量总次数}_{\text{公式计算值}} \times 100\%$ ,20% 准确率=测量次数 $_{(0.8 \times \text{测量值} < \text{公式计算值} < 1.2 \times \text{测量值})} \div \text{测量总次数}_{\text{公式计算值}} \times 100\%$ ,APE=|公式计算值-测量值| $\div$ 测量值 $\times 100\%$ 。

### 1.7 统计学处理

采用 SPSS 28.0 统计软件对数据进行分析。符合正态分布的计量资料数据以  $\bar{x} \pm s$  表示,整体比较采用单因素方差分析,两两比较采用配对样本 *t* 检验。不符合正态分布的计量资料数据以  $M(Q_1, Q_3)$  表示,整体比较采用 Kruskal-Wallis 检验,两两

表 1 烧伤患者的 5 种 REE 计算公式

Table 1 Five REE calculation formulas in burn patients

公式名称	公式内容
Milner 公式 <sup>[8]</sup>	$REE=24 \times [BMR \times (0.274 + 0.0079 \times \text{烧伤总面积} - 0.004 \times \text{伤后天数}) + BMR] \times \text{体表总面积} \times \text{活动系数}$
Hangang 公式 <sup>[9]</sup>	$REE=867.542 - 5.546 \times \text{年龄} + 13.297 \times \text{体重} + 4.879 \times \text{烧伤总面积} - 9.844 \times \text{伤后天数} + 500.612 \times \text{呼吸机使用情况}$ (使用=1, 未使用=0)
第三军医大学公式 <sup>[10]</sup>	$REE=1\,000 \times \text{体表总面积} + 25 \times \text{烧伤总面积}$
Carlson 公式 <sup>[11]</sup>	$REE=24 \times BMR \times (0.891\,42 + 0.013\,35 \times \text{烧伤总面积}) \times \text{体表总面积} \times \text{活动系数}$
彭曦团队线性公式 <sup>[6]</sup>	$REE=(1\,460 + 2 \times \text{烧伤总面积} + 12 \times \text{伤后天数}) \times \text{体表总面积}$ $REE=(1\,350 - 0.4 \times \text{烧伤总面积} + 33 \times \text{伤后天数}) \times \text{体表总面积}$ $REE=(1\,330 + 10 \times \text{烧伤总面积} - 14 \times \text{伤后天数}) \times \text{体表总面积}$ $REE=(1\,130 + 7 \times \text{烧伤总面积} + 10 \times \text{伤后天数}) \times \text{体表总面积}$

注: REE 为静息能量消耗, BMR 为基础代谢率, TBSA 为体表总面积; 患者为男性时  $BMR=54.337\,821 - (1.199\,61 \times \text{年龄}) + (0.025\,48 \times \text{年龄}^2) - (0.000\,18 \times \text{年龄}^3)$ , 为女性时  $BMR=54.749\,42 - (1.548\,84 \times \text{年龄}) + (0.035\,80 \times \text{年龄}^2) - (0.000\,26 \times \text{年龄}^3)$ ; 体重单位为 kg, 烧伤总面积单位为 %TBSA, 体表总面积单位为  $m^2$

比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。以公式中的计算因子为自变量、APE 为因变量, 采用多因素 logistic 回归分析评估影响不同代谢分期下最佳计算公式准确性的关键因子。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 REE 测量当日的患者临床特征

测量重症烧伤患者 REE 的时间为伤后 (40±19)d。整体比较显示, 重症烧伤患者在代谢重塑期年龄最大、身高最高、体重最重、体重指数最大、体表总面积最大。重症烧伤患者代谢重塑期的年龄显著大于急性抑制期和代谢高涨期 ( $t$  值分别为 -3.02、-4.20,  $P$  值分别为 0.011、0.001) 而与代谢平衡期接近 ( $t=-0.64, P=0.529$ ), 身高与急性抑制期、代谢高涨期、代谢平衡期均接近 ( $t$  值分别为 -0.63、-1.13、-0.93,  $P$  值分别为 0.538、0.208、0.363), 体重显著重于代谢高涨期和代谢平衡期 ( $t$

值分别为 -1.97、-2.61,  $P$  值分别为 0.045、0.018) 而与急性抑制期相近 ( $t=-1.04, P=0.318$ ), 体重指数显著高于代谢高涨期 ( $t=-2.90, P=0.010$ ) 而与急性抑制期、代谢平衡期相近 ( $t$  值分别为 -0.93、-1.60,  $P$  值分别为 0.373、0.129), 体表总面积显著大于代谢高涨期和代谢平衡期 ( $t$  值分别为 -2.02、-2.27,  $P$  值分别为 0.049、0.037) 而与急性抑制期相近 ( $t=-1.01, P=0.331$ ), 烧伤总面积与急性抑制期、代谢高涨期、代谢平衡期均接近 ( $t$  值分别为 1.38、1.84、0.89,  $P$  值分别为 0.192、0.084、0.386)。见表 2。

### 2.2 REE 测量值及其与 REE 公式计算值的差值比较

REE 测量值在急性抑制期、代谢高涨期、代谢平衡期、代谢重塑期无显著变化 ( $P > 0.05$ ); 除彭曦团队线性公式 ( $P > 0.05$ ) 外, 在不同代谢分期中 REE 的 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式计算值分别与 REE 测量值的差值

表 2 不同代谢分期下间接测热法测量 REE 当日的 40 例重症烧伤患者临床特征比较

Table 2 Comparison of clinical characteristics of 40 patients with severe burns on the day of REE measurement by indirect calorimetry under different metabolic phases

代谢分期	测量次数	伤后天数 (d, $\bar{x} \pm s$ )	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	身高(cm, $\bar{x} \pm s$ )	体重(kg, $\bar{x} \pm s$ )	体重指数(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	体表总面积 (m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	烧伤总面积 (%TBSA, $\bar{x} \pm s$ )
			男	女						
急性抑制期	13	2.2±0.8	10	3	47±13 <sup>a</sup>	168±8	78±18	28±6	1.87±0.22	78±25
代谢高涨期	87	15.2±7.5	60	27	49±15 <sup>a</sup>	166±7	72±15 <sup>a</sup>	26±5 <sup>a</sup>	1.80±0.19 <sup>a</sup>	77±18
代谢平衡期	65	39.6±7.5	52	13	58±17	169±6	76±14 <sup>a</sup>	27±4	1.85±0.19 <sup>a</sup>	74±20
代谢重塑期	19	66.6±7.1	18	1	63±14	170±4	88±14	30±4	1.98±0.17	73±22
统计量值	—	—	$\chi^2=6.28$		$F=7.34$	$F=2.75$	$F=5.29$	$F=3.83$	$F=5.21$	$F=0.57$
<i>P</i> 值	—	—	0.094		<0.001	0.044	0.002	0.011	0.002	0.671

注: REE 为静息能量消耗, TBSA 为体表总面积; “—”表示无此项; 与代谢重塑期相比, <sup>a</sup> $P < 0.05$

总体比较,差异均具有统计学意义( $P<0.05$ )。其中,REE 的 Milner 公式、第三军医大学公式和 Carlson 公式计算值均值在 4 个不同代谢分期均大于 REE 测量值且其差值在急性抑制期最大,REE 的 Hangang 公式计算值均值在急性抑制期大于 REE 测量值,而在其余 3 个时期小于 REE 测量值。见表 3。

### 2.3 不同分期下 REE 公式计算值的准确性及偏离情况

10% 准确率、20% 准确率、APE 的综合分析显示,在急性抑制期,REE 的彭曦团队线性公式计算值最接近 REE 测量值,且 REE 的彭曦团队线性公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式( $t$  值分别为 9.00、-2.10、5.95、6.68,  $P$  值分别为  $<0.001$ 、0.023、 $<0.001$ 、 $<0.001$ );在代谢高涨期,REE 的 Hangang 公式计算值最接近 REE 测量值,且 REE 的 Hangang 公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式、彭曦团队线性公式( $t$  值分别为 10.20、10.33、10.65、5.87,  $P$  值均  $<0.001$ );在代谢平衡期,REE 的 Hangang 公式计算值最接近 REE 测量值,且 REE 的 Hangang 公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式( $t$  值分别为 7.11、8.52、8.60,  $P$  值均  $<0.001$ );在代谢重塑期,REE 的第三军医大学公式计算值最接近 REE 测量值,且 REE 的第三军医大学公式计算值的 APE 显著低于 Milner 公式、

Hangang 公式、Carlson 公式( $t$  值分别 5.12、2.45、6.26,  $P$  值分别为  $<0.001$ 、0.045、 $<0.001$ )。见表 4。

### 2.4 影响 REE 计算公式计算准确性的关键因子

多因素 logistic 回归分析显示,在急性抑制期,不存在影响彭曦团队线性公式计算准确性的关键因子( $P>0.05$ );在代谢高涨期,烧伤总面积是影响 Hangang 公式计算准确性的关键因子( $P<0.05$ );在代谢平衡期,伤后天数是影响 Hangang 公式预测准确性的关键因子( $P<0.05$ );在代谢重塑期,不存在影响第三军医大学公式计算准确性的关键因子( $P>0.05$ )。见表 5。

## 3 讨论

合理而及时的能量补充在重症烧伤患者救治中发挥了关键作用,烧伤患者一方面因为创面的暴露和创伤应激反应而消耗剧增,急需大量能量补充;另一方面又存在营养底物利用障碍导致能量补充和利用困难。如何对重症烧伤患者实施有效的营养治疗是一个亟待解决的重要问题,其核心在于充分了解烧伤代谢变化的复杂性并准确把握烧伤代谢规律和对其进行合理分期,进而在不同的代谢阶段准确计算患者能量需求、采用相应的营养治疗策略<sup>[22-23]</sup>。为了更好地指导和制订个性化的能量补充策略,本研究针对不同代谢分期中公式选择的准确性和偏离性进行分析。

本研究显示,重症烧伤患者代谢重塑期的体重较其余 3 个代谢分期明显升高,由此导致该期患者

表 3 不同代谢分期下 40 例重度烧伤患者 REE 测量值及其与 REE 公式计算值的差值比较

Table 3 Comparison of REE measured values and the difference between the REE formula values and the REE measured values in 40 patients with severe burns under different metabolic phases

代谢分期	伤后测量时间[d, $M(Q_1, Q_3)$ ]	测量次数(次)	REE 测量值(kJ/d, $\bar{x} \pm s$ )	Milner 公式计算值与 REE 测量值的差值[kJ/d, $M(Q_1, Q_3)$ ]	Hangang 公式计算值与 REE 测量值的差值[kJ/d, $M(Q_1, Q_3)$ ]	第三军医大学公式计算值与 REE 测量值的差值[kJ/d, $M(Q_1, Q_3)$ ]	Carlson 公式计算值与 REE 测量值的差值[kJ/d, $M(Q_1, Q_3)$ ]	彭曦团队线性公式计算值与 REE 测量值的差值[kJ/d, $M(Q_1, Q_3)$ ]
急性抑制期	2(2, 3)	13	8 824±2 431	7 745(5 518, 9 372)	2 071(1 117, 2 995)	7 920(5 711, 9 004)	8 866(6 916, 9 514)	1 799(941, 2 493)
代谢高涨期	10(6, 17)	87	10 071±2 406	5 038(3 225, 6 218)	-841(-2 016, 787)	3 820(2 410, 5 933)	5 778(3 707, 7 046)	1 836(560, 3 317)
代谢平衡期	38(33, 45)	65	9 627±3 648	5 447(3 527, 6 364)	-1 200(-2 548, 154)	2 523(1 154, 4 343)	6 627(4 347, 8 372)	—
代谢重塑期	66(60, 72)	18	9 540±2 377	3 715(2 803, 5 087)	-2 108(-3 564, 1 338)	1 180(-192, 2 280)	5 481(4 217, 7 652)	—
统计量值	—	—	$F=1.92$	$H=14.50$	$H=27.15$	$H=37.26$	$F=11.80$	$Z=-0.91$
$P$ 值	—	—	0.113	$<0.001$	$<0.001$	$<0.001$	0.008	0.634

注:REE 为静息能量消耗;差值=各公式计算值-测量值;“—”表示无此项

表 4 不同代谢分期下 40 例重症烧伤患者 REE 公式计算值相对 REE 测量值的准确性和差异性分析

Table 4 Analysis of the accuracy and difference of REE formula values relative to REE measured values in 40 patients with severe burns under different metabolic phases

代谢分期	计算公式	标准差 (kJ/d)	10% 准确率 (%)	20% 准确率 (%)	绝对百分比误差 (%)	绝对百分比误差的 95% 置信区间 (%)	统计量值	P 值
急性抑制期	Milner 公式	754.63	0	0	95(62,117) <sup>a</sup>	71.17~111.85	H=34.43	<0.001
	Hangang 公式	359.94	7.69	38.46	23(16,47) <sup>a</sup>	18.84~38.37		
	第三军医大学公式	734.60	0	15.38	81(47,142) <sup>a</sup>	21.34~41.35		
	Carlson 公式	971.82	15.38	40.76	106(52,127) <sup>a</sup>	71.20~120.53		
	彭曦团队线性公式	316.64	15.38	43.08	30(19,46)	17.35~34.58		
代谢高涨期	Milner 公式	593.57	6.90	12.64	52(32,74) <sup>b</sup>	48.58~61.56	F=12.10	0.031
	Hangang 公式	306.82	28.74	65.52	14(9,24)	14.34~19.17		
	第三军医大学公式	504.97	6.89	13.79	59(36,81) <sup>b</sup>	54.07~69.10		
	Carlson 公式	732.04	6.89	12.64	60(37,88) <sup>b</sup>	55.87~70.41		
	彭曦团队线性公式	437.01	17.24	34.48	29(12,50) <sup>b</sup>	29.04~40.21		
代谢平衡期	Milner 公式	629.41	10.77	16.92	58(31,83) <sup>b</sup>	50.98~69.99	F=28.52	<0.001
	Hangang 公式	259.28	29.23	58.46	17(9,26)	16.42~24.52		
	第三军医大学公式	536.35 <sup>b</sup>	10.77	12.31	82(38,105) <sup>b</sup>	64.68~86.04		
	Carlson 公式	781.17	6.15	13.85	79(41,100) <sup>b</sup>	64.90~86.72		
	Milner 公式	337.25	5.56	11.11	44(33,77) <sup>c</sup>	38.22~70.14		
代谢重塑期	Hangang 公式	153.55	16.67	44.44	23(16,38) <sup>c</sup>	17.62~33.99	H=25.62	<0.001
	第三军医大学公式	583.41	33.33	61.11	17(9,35)	32.97~48.63		
	Carlson 公式	561.24	0	5.56	63(45,114) <sup>c</sup>	57.18~103.25		

注:REE 为静息能量消耗;标准差是公式计算值相对测量值所得;与彭曦团队线性公式相比,<sup>a</sup>P<0.05;与 Hangang 公式相比,<sup>b</sup>P<0.05;与第三军医大学公式相比,<sup>c</sup>P<0.05

表 5 影响 40 例重症烧伤患者不同代谢分期下 REE 最佳计算公式计算值准确性关键因子的 logistic 回归分析

Table 5 Logistic regression analysis of key factors affecting the accuracy of the optimal formula values of REE under different metabolic phases in 40 patients with severe burns

不同代谢分期下最佳计算公式	关键因子	比值	95% 置信区间	P 值
急性抑制期的彭曦团队线性公式	烧伤总面积(%TBSA)	1.10	0.95~1.10	0.394
	伤后天数(d)	1.10	0.90~1.40	0.295
	体表总面积(m <sup>2</sup> )	1.10	0.90~1.20	0.550
代谢高涨期的 Hangang 公式	年龄(岁)	0.98	0.95~1.10	0.360
	体重(kg)	0.98	0.96~1.10	0.407
	烧伤总面积(%TBSA)	1.00	1.00~1.10	0.027
代谢平衡期的 Hangang 公式	伤后天数(d)	1.00	0.97~1.10	0.339
	年龄(岁)	0.99	0.95~1.00	0.786
	体重(kg)	0.96	0.92~1.00	0.143
代谢重塑期的第三军医大学公式	烧伤总面积(%TBSA)	1.00	0.96~1.00	0.353
	伤后天数(d)	1.30	1.10~1.40	0.001
	体表总面积(m <sup>2</sup> )	0.99	0.92~1.10	0.634
	烧伤总面积(%TBSA)	0.93	0.82~1.10	0.805

注:REE 为静息能量消耗,TBSA 为体表总面积

体重指数也明显升高。结合转归情况,观察到在代谢重塑期患者创面基本封闭,从而使得体表总面积

得以恢复<sup>[23-24]</sup>。在代谢重塑期,患者对能量需求有所降低,对蛋白质和其他营养素的需求则逐渐增加,此时患者膳食结构改善,加上富含蛋白质和特殊医学用途配方食品的应用,满足了患者对营养的需求<sup>[25-26]</sup>,因此患者体重和体重指数均明显升高。本研究还显示,在 4 个不同代谢分期中,患者的 REE 测量值没有明显差异;而 REE 的 Milner 公式、Hangang 公式、第三军医大学公式、Carlson 公式计算值与 REE 测量值的差值均存在显著的差异,间接反映对患者全疗程进行更详细的代谢分期是必要的。

本研究显示,在急性抑制期,采用彭曦团队线性公式预测患者 REE 的准确性较好;在代谢高涨期和代谢平衡期,Hangang 公式的预测性较好,虽然在这 2 个代谢分期中,患者的代谢情况浮动较大且存在明显的差异,但 Hangang 公式充分考虑了年龄、体重、烧伤总面积和伤后天数等因素,能够综合判断该时段内患者实际能量需求;在代谢重塑期,推荐使用第三军医大学公式预测患者 REE,与文献报道情况<sup>[9]</sup>一致,但第三军医大学公式存在高估风险,临床实践也同样证明第三军医大学公式虽然简

单实用,但它高估了大面积烧伤患者的 REE。有研究显示,在烧伤总面积为 31%~50%TBSA、51%~70%TBSA 和 71%~100%TBSA 的患者中,采用第三军医大学公式计算得到的 REE 值分别比 REE 测量值高 15%、23% 和 40%<sup>[27-28]</sup>,另外由于该公式没有考虑伤后天数,似乎并不适合直接应用于治疗主要阶段的前 3 个分期内 REE 值的计算<sup>[29-30]</sup>。

影响烧伤患者 REE 公式计算值准确性的因素包括烧伤严重程度、烧伤总面积及患者年龄、性别和体重等,同时不同代谢阶段的代谢率和营养需求也会对患者的能量需求产生影响<sup>[31-32]</sup>。本研究显示,烧伤总面积是影响代谢高涨期 Hangang 公式计算准确性的关键因子。有研究表明,烧伤总面积每增加 1%TBSA 则能量消耗增加 105 kJ,因此在一定范围内,烧伤总面积能够很好代表患者能量需求的实际变化趋势<sup>[33]</sup>。然而,当烧伤总面积达到一定程度时,REE 值就不再成比例增加,这时伤后天数则是影响 REE 公式计算值准确性的重要因素。目前大多 REE 计算公式都是基于线性方程,且很多公式都没有考虑到伤后天数的变化<sup>[34]</sup>。研究表明,伤后 14 d 内,REE 值以 193~252 kJ 的速率逐日增加;14 d 后,REE 值以 71~92 kJ 的速率逐日增加,这意味着在烧伤后期,REE 的每日增量减少了约 84~105 kJ<sup>[35-36]</sup>。本研究显示,代谢平衡期,将伤后天数考虑在内的 Hangang 公式是 REE 计算值的最佳公式,且伤后天数是影响其准确性的关键因子。

本研究存在一定的局限性。烧伤患者的代谢是非常复杂的动态变化过程,包括患者自身条件和外部医疗措施在内的多种因素均会对其 REE 测量值及 REE 公式计算值产生影响。因此,目前无法做到 REE 公式计算值与实际能量消耗完全一致。虽然本研究初步揭示了在不同代谢分期内患者 REE 需求量的最佳计算公式,也提供了其准确度和偏差范围,但依然只能提供参考。在临床实践中,本团队鼓励临床医师综合考虑公式计算值和患者机体实际情况,除了考虑预测的能量需求外,还必须考虑患者的代谢能力,保障能量计算和补充合适且能够被患者充分利用,从而达到个体化精准治疗目的。本研究对 40 例重症烧伤患者不同代谢分期下的 REE 进行了共 183 次测量,并于测量当日采用常用公式进行 REE 值计算。结果显示,不同代谢分期下患者的临床特征存在明显差异(表 2)。该结果提示,本研究在一定程度上可以规避单个患者

进行多次测量数据间的串扰,后续研究中将会增加患者数量,并随机选择患者多次测量中的一次测量值纳入统计来完全规避数据串扰的问题。另外,本研究样本量相对较小,可能影响结果的普遍性,且研究为回顾性设计,存在潜在的偏倚风险。未来研究会扩大样本量、采用前瞻性设计并考虑多中心合作,以增强研究结果的可靠性和适用性。

本研究显示,在急性抑制期采用彭曦团队线性公式预测患者 REE 值的准确性最好但存在高估风险;在代谢高涨期和代谢平衡期采用 Hangang 公式预测患者 REE 值准确性最好但存在低估风险,另外烧伤总面积是影响代谢高涨期最佳计算公式准确性的关键因子,而伤后天数是影响代谢平衡期最佳计算公式准确性的关键因子;在代谢重塑期,第三军医大学公式预测患者 REE 值准确性最好,但存在高估风险。综上,推荐在急性抑制期使用彭曦团队线性公式、代谢高涨期和代谢平衡期使用 Hangang 公式、代谢重塑期使用第三军医大学公式进行重症烧伤患者 REE 值的计算,并且要保障影响最佳计算公式关键因子的准确性。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 邹文:研究设计、论文撰写;韩春茂:研究设计、论文修改、经费支持;金荣华:研究指导;沈涛:数据收集、统计分析

## 参考文献

- [1] Radzikowska-Büchner E, Łopuszyńska I, Flieger W, et al. An overview of recent developments in the management of burn injuries[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(22): 16357. DOI: 10.3390/ijms242216357.
- [2] Cochran A, Edelman LS, Saffle JR, et al. The relationship of serum lactate and base deficit in burn patients to mortality [J]. *J Burn Care Res*, 2007, 28(2): 231-240. DOI: 10.1097/BCR.0B013E318031A1D1.
- [3] Hernandez G, Castro R, Romero C, et al. Persistent sepsis-induced hypotension without hyperlactatemia: is it really septic shock? [J]. *J Crit Care*, 2011, 26(4): 435.e9-e14. DOI: 10.1016/j.jcrc.2010.09.007.
- [4] GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1204-1222. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
- [5] Ji Q, Tang J, Li S, et al. Survival and analysis of prognostic factors for severe burn patients with inhalation injury: based on the respiratory SOFA score [J]. *BMC Emerg Med*, 2023, 23(1): 1. DOI: 10.1186/s12873-022-00767-6.
- [6] Xi P, Kaifa W, Yong Z, et al. Establishment and assessment of new formulas for energy consumption estimation in adult burn patients [J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e110409. DOI: 10.1371/journal.pone.0110409.
- [7] Graves C, Saffle J, Cochran A. Actual burn nutrition care



- practices: an update[J]. *J Burn Care Res*, 2009,30(1):77-82. DOI: 10.1097/BCR.0b013e3181921f0d.
- [8] Milner EA, Cioffi WG, Mason AD, et al. A longitudinal study of resting energy expenditure in thermally injured patients [J]. *J Trauma*, 1994, 37(2): 167-170. DOI: 10.1097/00005373-199408000-00001.
- [9] Jeon J, Kym D, Cho YS, et al. Reliability of resting energy expenditure in major burns: comparison between measured and predictive equations[J]. *Clin Nutr*, 2019, 38(6):2763-2769. DOI: 10.1016/j.clnu.2018.12.003.
- [10] Xie WG, Li A, Wang SL. Estimation of the calorie requirements of burned Chinese adults[J]. *Burns*, 1993, 19(2):146-149. DOI: 10.1016/0305-4179(93)90039-b.
- [11] Jones LK. Resting energy expenditure in patients with thermal injuries[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 1993, 17(1):94-96. DOI: 10.1177/014860719301700194.
- [12] Williams FN, Herndon DN, Jeschke MG. The hypermetabolic response to burn injury and interventions to modify this response[J]. *Clin Plast Surg*, 2009, 36(4): 583-596. DOI: 10.1016/j.cps.2009.05.001.
- [13] 彭曦. 重症烧伤患者的代谢分期及营养治疗策略[J]. *中华烧伤杂志*, 2021, 37(9):805-810. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210802-00264.
- [14] Singer P, Blaser AR, Berger MM, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit[J]. *Clin Nutr*, 2019,38(1):48-79. DOI: 10.1016/j.clnu.2018.08.037.
- [15] 龚翔, 谢卫国. 烧伤后骨代谢异常[J]. *中华烧伤杂志*, 2016, 32(8):502-504. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2016.08.015.
- [16] Adjepong M, Agbenorku P, Brown P, et al. The role of antioxidant micronutrients in the rate of recovery of burn patients: a systematic review[J/OL]. *Burns Trauma*, 2016,4: 18[2024-02-29]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27574687/>. DOI: 10.1186/s41038-016-0044-x.
- [17] Lachiewicz AM, Williams FN, Carson SS, et al. Improving research enrollment of severe burn patients[J]. *J Burn Care Res*, 2017, 38(5): e807-e813. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000489.
- [18] Yoon JH, Whang WJ. Comparison of accuracy of six modern intraocular lens power calculation formulas[J]. *Korean J Ophthalmol*, 2023, 37(5): 380-386. DOI: 10.3341/kjo.2023.0034.
- [19] Eppley SE, Arnold BF, Tadros D, et al. Accuracy of a universal theoretical formula for power calculation in pediatric intraocular lens implantation[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(5): 599-605. DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000495.
- [20] Rocha-de-Lossada C, Colmenero-Reina E, Flikier D, et al. Intraocular lens power calculation formula accuracy: comparison of 12 formulas for a trifocal hydrophilic intraocular lens[J]. *Eur J Ophthalmol*, 2021, 31(6): 2981-2988. DOI: 10.1177/1120672120980690.
- [21] Kong CW, To W. Comparison of the accuracy of INTERGROWTH-21 formula with other ultrasound formulae in fetal weight estimation[J]. *Taiwan J Obstet Gynecol*, 2019, 58(2): 273-277. DOI: 10.1016/j.tjog.2019.01.019.
- [22] Curreri PW, Luteran A. Nutritional support of the burned patient[J]. *Surg Clin North Am*, 1978, 58(6): 1151-1156. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)41683-x.
- [23] Nunez JH, Clark AT. Burn patient metabolism and nutrition [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2023,34(4):717-731. DOI: 10.1016/j.pmr.2023.06.001.
- [24] Endo Y, Nourmahad A, Sinha I. Optimizing skeletal muscle anabolic response to resistance training in aging[J]. *Front Physiol*, 2020,11:874. DOI: 10.3389/fphys.2020.00874.
- [25] Prelack K, Yu YM, Sheridan RL. Nutrition and metabolism in the rehabilitative phase of recovery in burn children: a review of clinical and research findings in a speciality pediatric burn hospital[J/OL]. *Burns Trauma*, 2015, 3: 7[2024-02-29]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27574653/>. DOI: 10.1186/s41038-015-0004-x.
- [26] Sommerhalder C, Blears E, Murton AJ, et al. Current problems in burn hypermetabolism[J]. *Curr Probl Surg*, 2020,57(1):100709. DOI: 10.1016/j.cpsurg.2019.100709.
- [27] Fuzaylov G, Kelly TL, Blinc C, et al. Post-operative pain control for burn reconstructive surgery in a resource-restricted country with subcutaneous infusion of local anesthetics through a soaker catheter to the surgical site: Preliminary results[J]. *Burns*, 2015,41(8):1811-1815. DOI: 10.1016/j.burns.2015.06.003.
- [28] 沈涛, 张莉萍, 汪怡然, 等. 镇静治疗对特重度烧伤患者静息能量消耗的影响及能量估算公式的选择[J]. *中华烧伤与创面修复杂志*, 2022, 38(8): 714-721. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20220530-00207.
- [29] Xia F, Hao W, Liang J, et al. Applicability of Creatinine-based equations for estimating glomerular filtration rate in elderly Chinese patients[J]. *BMC Geriatr*, 2021, 21(1): 481. DOI: 10.1186/s12877-021-02428-y.
- [30] Hansen JK, Voss J, Ganatra H, et al. Sedation and analgesia during pediatric burn dressing change: a survey of american burn association centers[J]. *J Burn Care Res*, 2019,40(3):287-293. DOI: 10.1093/jbcr/irz023.
- [31] Tignanelli CJ, Andrews AG, Sieloff KM, et al. Are predictive energy expenditure equations in ventilated surgery patients accurate? [J]. *J Intensive Care Med*, 2019, 34(5): 426-431. DOI: 10.1177/0885066617702077.
- [32] Hansen JK, Voss J, Ganatra H, et al. Sedation and analgesia during pediatric burn dressing change: a survey of american burn association centers[J]. *J Burn Care Res*, 2019,40(3):287-293. DOI: 10.1093/jbcr/irz023.
- [33] Yang C, Xu XM, He GZ. Efficacy and feasibility of opioids for burn analgesia: an evidence-based qualitative review of randomized controlled trials[J]. *Burns*, 2018, 44(2): 241-248. DOI: 10.1016/j.burns.2017.10.012.
- [34] De Waele E, Jonckheer J, Wischmeyer PE. Indirect calorimetry in critical illness: a new standard of care? [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2021,27(4):334-343. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000844.
- [35] Liusuwan Manotok RA, Palmieri TL, Greenhalgh DG. The respiratory quotient has little value in evaluating the state of feeding in burn patients[J]. *J Burn Care Res*, 2008,29(4): 655-659. DOI: 10.1097/BCR.0b013e31817db9e3.
- [36] Williams FN, Jeschke MG, Chinkes DL, et al. Modulation of the hypermetabolic response to trauma: temperature, nutrition, and drugs[J]. *J Am Coll Surg*, 2009, 208(4): 489-502. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2009.01.022.

(收稿日期: 2024-02-29)