

## · 临床研究 ·

## 烧伤休克期复苏补液的计算机仿真设计及应用研究

赵贤忠<sup>1</sup>, 马永沂<sup>2</sup>, 项 铁<sup>1</sup>, 杨 军<sup>1</sup>, 季建峰<sup>1</sup>, 廖镇江<sup>2</sup>

**【摘要】** 目的: 为建立一种新的科学的烧伤休克期复苏补液方法, 使烧伤病人平稳渡过休克期, 并使水肿较轻。方法: 根据烧伤病人休克期液体和蛋白质平衡的数学模型, 利用系统控制的计算机仿真技术, 对 36 例病人进行液体复苏治疗 (实验组), 并与采用经验公式复苏的 32 例病人进行比较 (对照组)。结果: 实验组较对照组病人更加平稳渡过休克期, 而水肿 (净体重增加) 较轻, 且平均住院时间、医疗费用及并发症也少 ( $P < 0.05$ )。结论: 计算机仿真设计的烧伤休克期液体复苏方案比经验公式科学、合理, 既能使烧伤病人平稳渡过休克期, 又可减轻水肿, 且具有个体化的特点。

**【关键词】** 烧伤; 液体复苏; 计算机仿真

**【中图分类号】** R644 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1001-0726 (2004) 02-0093-05

**Computer simulation design of fluid resuscitation at the shock stage of burn and its application** ZHAO Xian-zhong<sup>1</sup>, MA Yong-qi<sup>2</sup>, XIANG Tie<sup>1</sup>, et al. 1. The 2<sup>nd</sup> Affiliated Hospital, Nantong Medical College, Jiangsu Province 226001, China; 2. Shanghai 2nd Medical University, China

**【Abstract】 Objective:** To establish a new scientific method for fluid resuscitation to help patients tie over the shock stage smoothly and lessen the edema. **Method:** According to the mathematical model of the body fluid and protein balance of burn patient at shock stage, using the technique of computer simulation under a system control, 36 burn patients were treated with fluid resuscitation (experimental group) and the results were compared with that of 32 patients treated according to empirical formula (control group). **Result:** Patients in experimental group tied over the shock stage more smoothly than those in control group and had lessened edema. The average time of hospital stay was shortened and the cost reduced. The incidence of complications was reduced ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Computer simulation design of fluid resuscitation is more scientific and rational. It can help the patients tie over the shock stage more smoothly and lessen the edema. It has the characteristic of individualization.

**【Key words】** Burn; fluid resuscitation; computer simulation

烧伤治疗的计算机仿真领域的初期工作已有许多研究者完成, 一个比较完整的烧伤微循环变化的数学模型在鼠的实验中被提供<sup>[1~3]</sup>。根据 Bert 和 Arturson's 模型, 我们于 1992 年创立了自己的烧伤病人液体与蛋白质平衡的数学模型, 并应用于烧伤病人急性期水肿的分析<sup>[4,5]</sup>。随后我们提出了一种新的想法: 即在正常生理条件下, 人体微循环交换稳态工作的理论和算法, 也就是说每个病人都有自己不同的血液动力学参数, 所以它们的微循环交换动力学的参数也不同。根据这一新思路, 我们的

系统仿真可以直接地应用于每一个烧伤病人。从 1994 年起, 根据上述的有关模型开发了一种新的方法, 通过计算机仿真设计烧伤病人休克期头 48 小时内液体复苏方案, 结果优于传统的液体复苏公式计算法。

## 一、材料与方法

1. 抗休克复苏方案的计算机仿真设计: 计算机仿真分析是已知输入量 (补液量), 求其输出量 (水肿、循环血浆量等)。而计算机仿真设计的任务

**【作者单位】** 1. 南通医学院第二附属医院, 江苏 南通 226001  
2. 第二医科大学附属瑞金医院, 上海 200025

是倒过来的, 已知输出量 (循环血浆量等), 求其输入量 (补液量)。当烧伤病人被送到医院时, 其循环血浆容量已跌到正常值以下, 抗体克复苏的任务就是使其恢复到正常, 并在以后的时间内保持在正常值范围。计算机仿真设计的任务是对循环血浆容量实行按指定目标控制, 使其平稳渡过休克期, 同时要按最佳控制算法适当选择液体的成分 (血浆、盐水、糖水) 和量的多少, 使组织水肿要尽可能小些。图 1 表明烧伤病人休克期循环血浆容量的变化,  $V_{pl}(t)$  表示病人烧伤后任意一个时刻  $t$  循环血浆容量的瞬时值,  $B_{pl}$  从烧伤开始  $t_0$  到病

人入院时  $t_1$  是下降的。曲线 AB 段描述的从  $t_0$  到  $t_1$  血容量的变化程度, 病人入院后 (从  $t_1$  起) 获得足够的输液, 血容量很快上升, 曲线 BC 段表示的就是这样的物理过程, 到  $t_2$  时刻循环血容量已恢复到正常值。在临床上由于受多种条件限制 (如病人接受输液速度的限制等), 循环血浆容量上升的轨迹是 BD 段曲线而不是 BC 段。在我们计算机设计时病人血容量恢复正常的时间约 10 小时, 使病人在实际可行又比较短的时间内恢复正常循环血浆容量, 而临床上目前的抗休克复苏后病人恢复正常循环血容量所需时间要大于 10 小时。

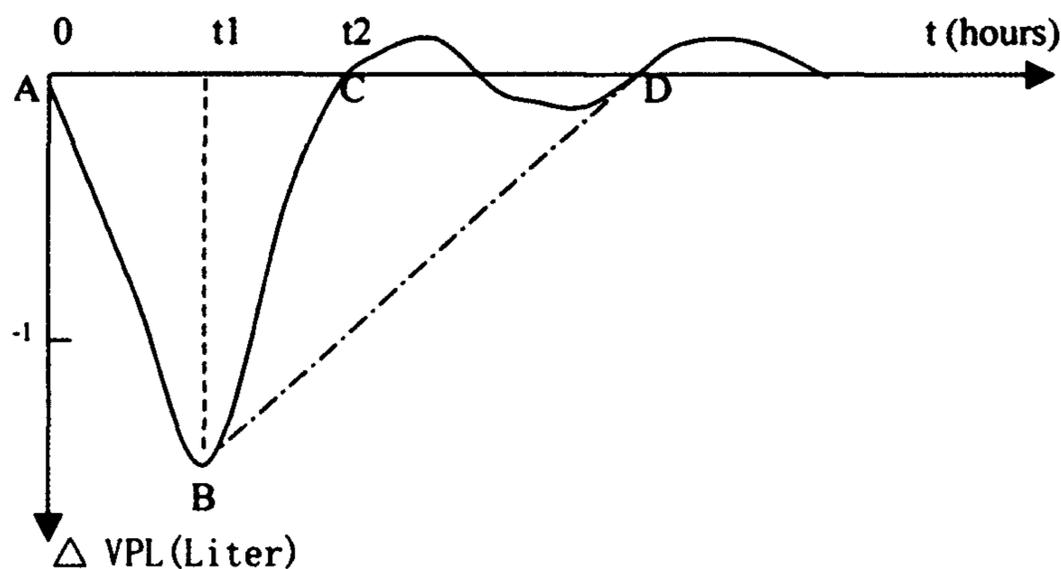


图 1 烧伤病人抗休克期循环血浆容量的变化

2. 仿真产生的模型中参数及其数值: 模型中的参数及其数值对仿真的结果有很大的影响, 在我们的模型中几乎采用了所有的对液体和蛋白质平衡有影响的因素, 包括病人的体重、身高、性别、年龄、烧伤面积和深度、烧伤后延时入院时间、血浆总蛋白浓度、血球压积、平均动脉压和平均静脉压, 在计算中用到了微循环毛细血管壁上液体和蛋白的通透系数, 这些数据我们引自 Bert 和 Pinder 的临床实验数据, 在红细胞压积平衡计算时, 伤后头两天红细胞平均损毁率为每日 9%<sup>[6]</sup>, 抗体克复苏用的液体中包括: 血浆、全血、盐水和葡萄糖水。

3. 系统控制算法: 我们的数学模型是一个 8 阶微分方法<sup>[5]</sup>, 应用四阶的 Runger-kutta 的方法求解这方程, 系统控制反馈算法中, 提出使系统的易变量与它指定的标准值间的差异减少到最低程度, 系统目标控制的时间长度是 48 小时, 计算机

计算的步长为 0.1 小时, 对于每一步按控制的要求, 计算机自行送出一个输入液体的速率初值, 接着整个仿真系统就开动运行, 并把系统内各个要求的变量都计算出来, 把它与当时要求的标准值比较, 看是否满足要求, 如不满足则输注液体的速率将按下述的公式进行修改:

$$VL(k) = \text{Sign}(k) \cdot DTL(k) \cdot WL(k) + VoLs(k)$$

$$VP(k) = \text{Sign}(k) \cdot DTP(k) \cdot WP(k) + VoPs(k)$$

这两个公式是从最佳控制理论获得的, 这里的 VL 代表液体输入速率的修正量 (ml/h), VP 代表蛋白质输注速率的修正量 (g/h), DTL 表示该时刻循环血浆容量与正常值的差, DTP 代表该时刻循环血浆容量内蛋白总量与正常值之差, VOLs 表示该时刻尿量排出及创面丢失液体的速率 (ml/h), VOPs 指该时刻从创面丢失的血浆蛋白的速率 (g/h), Sign 表示函数符号, 其值取决于第 k 步时受控变量与正常值之差, WL、WP 是权系数, 它的

大小在很大程度上影响着循环血浆容量上升的快慢。如果满足要求, 则就进入下一步, 仿真系统在 48 小时内的响应曲线与指定的控制曲线一致, 这样在 48 小时里在不同时间段由控制算法获得的输入液体和蛋白质的速率, 经换算后, 形成符合临床要求的病人在 48 小时内抗休克液体复苏方案。

例如, 某病人, 男, 28 岁, 体重 70kg, 身高 178cm, TBSA 为 65%, III 度过 22%, 伤后 1 小时入院, 表 1 显示的由计算机仿真设计的液体复苏方

案, 新方法伤后第一个 24 小时胶晶体输液比率为 1.4kg.1%/bsa, 而临床经验公式为 1.5/kg.1%/bsa, 新方法第一个 8 小时血浆用量比晶体多, 伤后第一个 24 小时总血浆用量与临床经验公式相当, 比率为 0.98, 伤后第二个 24 小时总胶晶体用量与临床经验公式的比率为 0.8, 伤后第二个 24 小时总血浆用量与临床经验公式的比率为 0.76, 采用此方案对病人进行液体复苏取得较好效果, 病人平稳渡过休克期并且水肿较轻。

表 1 对病人应用计算机仿真设计控制的液体复苏情况

	Time (h)					
	0~1~8	8~16	16~24	24~32	32~40	40~48
晶体 (ml)	950	650	1120	550	550	520
全血 (ml)	0	0	0	200	100	100
血浆 (ml)	1700	1100	700	400	300	200
葡萄糖水 (ml)	650	650	650	1000	890	890
尿量 (ml)	399	415	515	539	553	563
水肿 (ml)	1319	1047	953	1072	1072	1049

本文收集了本课题组治疗的 68 例烧伤病人, 其中 36 例使用计算机仿真设计的液体复苏方案, 为实验组, 另 32 例为对照组, 采用传统的经验公式进行复苏。分组按随机法进行, 每一个病人需测量下列参数: 血球压积 (入院后, 0、3th、6th、24th、48th hour)、血浆蛋白浓度 (时间同上)、尿

量 (first 24h)、病人净体重的变化值 (0、24th、48th) 及记录补充液体的速度和成分 (48h)。两组病人除复苏方案不同外其余处理措施均按常规进行。

## 二、结果

表 2 对照组与实验组病人的有关参数比较 ( $\bar{x} \pm 6s$ )

	实验组 (n=36)	对照组 (n=32)
年龄 (y)	36.8 ± 7.82	35.6 ± 13.20
体重 (KG)	62.3 ± 8.76	63.4 ± 7.46
身高 (cm)	171.2 ± 8.24	168.3 ± 9.71
烧伤总面积 (%)	48.3 ± 19.12	50.2 ± 16.10
III 度面积 (%)	16.3 ± 10.14	15.2 ± 14.2

表 2 叙述的是实验组与对照组的一些参数, 提出了方法和标准差, 经分组 t 检验比较, 两组间的

误差没有显著性 ( $P > 0.05$ ), 所有病例均存活。

表 3 实验组与对照组伤后 48 小时内平均补液及尿量的情况

	伤后第一个 8 小时				伤后第一个 24 小时				伤后第一个 48 小时			
	胶体 (ml/kg.1% bsm)	晶体 (ml)	糖水 (ml)	尿量 (ml/kg.h)	胶体 (ml/kg.1% bsm)	晶体 (ml)	糖水 (ml)	尿量 (ml/kg.h)	胶体 (ml/kg.1% bsm)	晶体 (ml)	糖水 (ml)	尿量 (ml/kg.h)
实验组	0.399	0.202	610	0.74	0.756	0.644	1850	0.75	0.32	0.44	2700	0.9
对照组	0.37	0.38	1000	0.73	0.75	0.75	2000	0.78	0.375	0.375	2500	1.3
t 检验	$P < 0.05$											

表 3 叙述的是实验组与对照组伤后 48h 内补充

液体及尿量情况。

表 4 实验组与对照组病人特征变量的统计分析 ( $\bar{x} \pm s$ )

	血球压积变化 ( $10^{-2}$ )	血浆蛋白浓度变化 (g/l)	净体重增加 (kg)	
	(24h)	(24h)	24th hour	48th hour
实验组	5.10 ± 2.42	6.01 ± 0.64	3.08 ± 1.42	3.10 ± 1.48
对照组	4.98 ± 2.14	6.82 ± 2.43	6.26 ± 1.51	5.96 ± 2.45
t 检验				P < 0.05

表 4 显示两组血球压积、血浆蛋白浓度和净体重的增加情况,应用分组 t 检验比较,在净体重增加方面的差别有显著意义 ( $P < 0.05$ )。

表 5 实验组与对照组平均住院时间及医疗费用比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

	平均住院时间 (天)	平均医疗费用 (万元)	全身感染发生率 (%)
实验组	36 ± 11.2	4.72 ± 2.02	5.29 ± 1.02
对照组	41 ± 13.2	5.8 ± 3.50	7.90 ± 1.92
t 检验			P < 0.05

表 5 表明两组病人的全身性感染发生率、平均住院时间和医疗费用情况,实验组均低于对照组。

### 三、讨论

大面积烧伤后,病人体内体液和蛋白正常的平衡状态遭到了严重的破坏。大量的液体和过多的蛋白从循环血浆转移到皮下组织,又从创面丢失到体外。而从创面丢失的液体又大部分来自于循环血浆,结果就造成了病人的低血容量甚至休克。长久以来,临床医生都是采用给病人补充晶体,胶体的复苏疗法来恢复循环血容量。国内外常用经验公式来确定病人所需的复苏液的成分和用量的多少,利用这些经验公式,烧伤病人一般都能度过休克期,但是大面积烧伤病人的水肿严重仍是临床上尚未解决的较为普遍的问题,而水肿严重常常造成病人创面进行性损害加重,易发生全身感染,给后续治疗带来了较大的困难,也增加了病人死亡的危险性,另外临床上也有时发生病人补液不够的情况。这一切说明烧伤临床的确需要一种更为精确的补液公式或者说补液方案。使每一个病人都能在确保平稳度过休克期的同时,减轻水肿程度。

本课题研究结果表明,计算机仿真设计提供的液体复苏方案比经验公式提供的方案复苏效果要好,副作用小,在试图将此法应用于临床之前,我们进行了新方法设计的复苏方案的模拟和对一批烧伤病人休克期复苏的临床实际使用。据此,我们可以在计算机程序里通过调节一些控制参数,使议定

的复苏方案液体成份和量都尽可能地接近临床实际。计算机仿真设计的方案能有助于保证烧伤病人平稳渡过休克期,同时水肿较轻,并发症少,与传统的经验公式相比更加科学合理,具有个体化的特点。新方法休克期输液总量较经验公式要少,只是在烧伤急性期特别是第一个 8h 胶体用量比例较经验公式要大,这是从现代烧伤理论同临床实际结合出发,全面考虑了病人的实际需要,从一开始就注意到尽快纠正低血容量,尽可能维持在正常范围内,并保持了大循环中渗透压在接近人体正常的水平上,从而相对减少了渗透到组织中的液体,可避免水肿过大,减少复苏并发症,从而明显提高了复苏质量。计算机仿真设计的复苏补液方案依据了病人的 HCT 变化、延迟时间长短、烧伤严重程度(面积和深度)、目标控制的尿量多少以及年龄、性别、体重、身高等重要生理参数,因而更能表达不同个体病人的具体需要。

由于目前临床上还没有一种能客观评价微循环充盈好坏的非侵入性仪器,仅仅通过监测病人的心率、尿量等来判断是不够的,因其受许多因素影响,因而在实验过程中有时导尿引出的尿量较少但实际并不少(尿管不畅等因素所致),而加快补液,导致补液量较计算机仿真设计的要多,随后的尿量也多且病人水肿也较明显,与计算机分析的结果相符。因此,在目前临床应用新方法时要有认真负责的态度对待每一个病人,方能减少误差,相信随着监测技术的不断改进,计算机仿真设计的复苏方案

更能为临床接受并更好地服务于临床,新方法从科学性和合理性出发,强调了血浆的重要性,但由于血浆相对紧缺,难于满足临床需要,对于电烧伤、年龄小于 15 岁的儿童烧伤、伴有严重吸入性损伤等特殊烧伤病人,新方法的应用尚需进一步深入研究。计算机化和科学化应是今后烧伤临床现代化的发展方向。

#### 参考文献

- [1] Bert J, Bowen B, Gu X, et al. Microvascular exchange during burn injury: I: a Review [J]. *Cir Shock*, 1989; 28: 179~197.
- [2] Bert J, Bowen B, Gu X, et al. II: Formation and Validation of a mathematical model [J]. *Cir Shock*, 1989; 28: 199~219.
- [3] Bowen B, Bert J, Gu X, et al. III: implication of the model [J]. *Cir Shock*, 1989; 28: 221~233.
- [4] 马永沂,肖玉瑞.烧伤休克期病人体液平衡的数学模

型及计算机仿真 [J]. *生物医学工程学杂志*, 1993; 10 (1, 2): 52~58.

- [5] 马永沂,肖玉瑞.烧伤病人的计算机仿真及初步临床验证 [J]. *生物医学工程学杂志*, 1994; 12 (4): 323~329.
- [6] Arturson G, Groth T, Hedlund A et al: Computer simulation of fluid resuscitation in trauma, first pragmatic validation in thermal injury [J]. *J Burn Care Rehabil*, 1989, 10, 292~299.

#### 【作者简介】

赵贤忠 (1961~ ), 男 (汉族), 江苏启东市人, 1983 年扬州大学医学院毕业, 从事中西医结合医疗工作, 江苏医学会整形烧伤专业委员会委员, 科主任, 副主任医师。

马永沂 (1976~ ), 男 (汉族), 江苏南通市人, 南京中医药大学毕业, 主治医师。

项 铁 (1973~ ), 男 (汉族), 江苏海门市人, 南通医学院毕业, 硕士研究生, 主治医师。

(收稿日期: 2004-03-18; 修回日期: 2004-04-20)

## 断肢再生 人壽可至三百年

【香港文匯報北京新聞中心記者彭凱雷 19 日電】中國著名生命科學家徐榮祥教授向本報記者披露了一例“斷指再生”病例,來闡述他在再生醫學方面的研究成果。該病例是一位 40 多歲婦女,食指末節被咬斷,無法連接。在徐教授指導下,採用再生醫學療法,50 天實現“食指末節斷指的肢體再生”,暴露指體的殘端斷指(骨斷面、肌肉血管神經等斷面),連骨帶肉帶皮帶甲的再生出來了,這預示着肢體再生將有可能成為現實。徐教授表示,經再生醫學研究證實,只要給人體提供充足的細胞再生增殖的營養物質,人體的組織細胞是可以再生的,這是器官原位復利的理論基礎。徐教授更指出,人類身體的活細胞的壽命至少是 300 年,而現在人類的壽命平均不到 70 年。這意味着人類的平均壽命有可能從目前的不到 70 歲延長至 300 歲。