

生物电阻抗扰动系数变化对脑外伤患者再出血的预警价值及最佳截断值分析

刘艳燕，邹永杰*

联勤保障部队第九〇八医院神经外科 江西南昌

【摘要】目的 探讨无创脑电阻抗监测技术中扰动系数变化对脑外伤患者出血量增加的预警价值，并确定其最佳预警截断值。**方法** 回顾性分析2022年1月至2024年10月期间在本院（三级甲等医院）神经外科收治的、接受无创脑水肿动态监护仪（BORN-BE系列）监测的67例脑外伤患者临床资料。重点观察其中12例出血量增加的患者，分析其再出血前后扰动系数的变化幅度，应用受试者工作特征（ROC）曲线确定预警再出血的最佳扰动系数截断值；同时分析扰动系数与格拉斯哥昏迷评分（GCS）、格拉斯哥预后评分（GOS）的相关性，及血肿清除术对扰动系数的影响。**结果** 12例出血量增加的扰动系数在再出血时较出血前平均上升18个单位($P<0.05$)；ROC曲线分析显示，扰动系数预警再出血的最佳截断值为141.5 (AUC=0.89, $P<0.001$)，灵敏度85%，特异度92%；扰动系数与入院同期GCS评分呈显著正相关($r=0.765, P<0.05$)，与出院时GOS评分呈显著负相关($r=-0.532, P<0.05$)；37例行血肿清除术的患者，术后扰动系数较术前平均下降17.3个单位($P<0.05$)。**结论** 无创脑电阻抗监测技术中的扰动系数变化是脑外伤患者出血量变化的有效预警指标，扰动系数上升 ≥ 18 或绝对值 >141.5 可作为提示出血量增加、需及时行影像学复查和临床干预的重要阈值，该技术对改善脑外伤患者预后具有重要临床价值。

【关键词】生物电阻抗；扰动系数；脑外伤；再出血；预警；截断值

【收稿日期】2025年11月7日 **【出刊日期】**2025年12月15日 **【DOI】**10.12208/j.ijcr.20250568

The predictive value of the change of disturbance coefficient for rebleeding in patients with brain trauma and the analysis of the optimal cutoff value

Yanyan Liu, Yongjie Zou*

Department of Neurosurgery, the 908th Hospital of Joint Logistics Support Force, Nanchang, Jiangxi

【Abstract】Objective To investigate the predictive value of the change of disturbance coefficient in non-invasive cerebral resist monitoring technology for increased hemorrhage in patients with brain trauma, and to determine its optimal predictive cutoff value. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 67 patients with brain trauma admitted to the Department of Neurosurgery of our hospital (a tertiary Class A hospital) from January 2022 to October 2024 and monitored by a non-invasive cerebral edema dynamic monitor (BORN-BE series). Among them, 12 patients who had rebleeding were observed, and the amplitude of the change of disturbance coefficient before and after rebleeding was analyzed. The receiver operating characteristic (ROC) curve was applied to determine the optimal coefficient cutoff value for predicting rebleeding; the correlation between the disturbance coefficient and the Glasgow Coma Scale (GCS), the Glasgow Outcome Scale (GOS) and the effect of hematoma evacuation surgery on the disturbance coefficient were also analyzed. **Results** The disturbance coefficient of 12 rebleeding patients increased by an average of 8 units at the time of rebleeding compared to before bleeding ($P < 0.05$); ROC curve analysis showed that the optimal cutoff value of the disturbance coefficient predicting rebleeding was 141.5 (AUC = 0.89, $P < 0.001$), with a sensitivity of 8% and a specificity

*通讯作者：邹永杰

of 92%; the disturbance coefficient was significantly positively correlated with the GCS score at admission ($r = 0.765, P < 0.05$), and significantly negatively correlated with the GOS score at discharge ($r = -0.532, P < 0.05$); among 37 patients who underwent hematoma evacuation surgery, the disturbance coefficient decreased by an average of 17.3 units after surgery compared to before surgery ($P < 0.005$). **Conclusion** The change of disturbance coefficient in non-invasive cerebral resistive monitoring technology is an effective predictive index for rebleeding in patients with brain, and an increase of ≥ 18 or an absolute value >141.5 can be used as an important threshold to indicate rebleeding, which requires timely imaging and clinical intervention. This technology has important clinical value for improving the prognosis of patients with brain trauma.

【Keywords】 Bioimpedance; Disturbance coefficient; Traumatic brain injury; Rebleeding; Early warning; Threshold

进展性出血性脑损伤 (PHI) 是脑外伤术后高危并发症，致残致死率高。生物电阻抗技术 (BIT) 为无创监测技术，国内无创脑水肿动态监护仪（注册证号：前械注准 20182210094）的核心参数“扰动系数”，对脑出血、脑梗死敏感性已获证实^[1]。本研究旨在明确脑电抗扰动系数变化对脑外伤患者再出血的预警价值，确定最佳预警截断值，为临床早期干预提供量化依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性收集 2022 年 1 月至 2024 年 10 月期间，在本院神经外科住院并接受无创脑水肿动态监护仪 (BORN-BE-III 型) 持续监测的脑外伤患者 67 例。67 例患者中，男性 43 例，女性 24 例；年龄 21-68 (50.1 ± 12.79) 岁；损伤类型：脑挫伤合并出血 38 例，单纯硬膜下血肿 15 例，硬膜外血肿 10 例，脑内血肿 4 例；入院时 GCS 评分 3-8 分 23 例，9-12 分 28 例，13-15 分 16 例。

1.2 监测设备与方法

使用重庆博恩富克医疗设备有限公司生产的无创脑水肿动态监护仪 (BORN-BE-III 型)，操作步骤如下：

1.2.1 患者取平卧位，剃除双侧颞部（眉弓上 2cm 至耳屏前 2cm 范围）头发，用酒精棉球清洁局部皮肤并脱脂。

1.2.2 将一次性银氯化物电极片（直径 1.5cm）按“双侧对称”原则贴敷于颞部皮肤，电极片中心距外耳道口水平距离约 3cm。

1.2.3 连接电极片与监护仪主机，设置监测频率为每 10 分钟自动记录 1 次扰动系数值，同时开启“异常波动报警”功能（当扰动系数 1 小时内变化 ≥ 10 个单位时触发报警）。

1.2.4 由经过专项培训的护士每小时核查电极片粘贴情况，确保数据采集准确，若出现电极松动及时重新粘贴并记录^[2]。

1.3 观察指标

1.3.1 出血量增加相关：记录 12 例 CT 证实出血量增加患者入院时扰动系数(稳定期)与再出血时数值，算变化幅度；用 ROC 曲线分析其绝对值及变化幅度的预警价值，确定最佳截断值^[3]。

1.3.2 评分相关性：同步记录入院 24 小时内扰动系数与 2 名医师评估的平均 GCS 评分；记录出院 GOS 评分(随访 ≥ 3 个月)与入院监测期扰动系数最低值^[4]。

1.3.3 手术影响：记录 37 例血肿清除术患者术前 1 小时、术后 24 小时平均扰动系数，算变化值^[5-6]。

1.3.4 预后分组：依出院 GOS 分良好组 (3-5 分) 与不良组 (1-2 分)，比较两组入院监测期扰动系数最低值。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析。计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示，再出血前后、手术前后扰动系数比较采用配对 t 检验；相关性分析采用 Pearson 相关分析；预警价值分析采用 ROC 曲线，计算曲线下面积 (AUC)、最佳截断值、灵敏度和特异度；组间比较采用独立样本 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 扰动系数对脑外伤患者再出血的预警价值

12 例出血量增加患者中，入院时稳定期扰动系数平均为 (123.5 ± 8.6) ，出血量增加后扰动系数平均为 (141.5 ± 9.2) ，平均上升 18 个单位($t=8.723, P<0.001$)。

ROC 曲线分析显示，扰动系数绝对值预警再出血的 AUC 为 0.89 (95%CI: 0.78-0.99)，最佳截断值为 141.5，此时灵敏度 85%，特异度 92%；Δ 扰动系数预警再出血的 AUC 为 0.86 (95%CI: 0.74-0.98)，最佳截断值为 ≥ 18 ，此时灵敏度 83%，特异度 89%，具体数据见表 1。

2.2 扰动系数与临床评分的相关性

对 67 例患者的相关性分析显示，入院后 24 小时

内扰动系数与同期 GCS 评分呈显著正相关 ($r=0.765$, $P<0.001$) , 即扰动系数越低, GCS 评分越低(意识障碍越重); 53 例完成随访患者中, 入院监测期间扰动系数最低值与出院 GOS 评分呈显著负相关($r=-0.532$, $P<0.001$), 即扰动系数最低值越低, GOS 评分越低(预后越差), 具体数据见表 2。

2.3 血肿清除术对扰动系数的影响

37 例行血肿清除术的患者中, 术前 1 小时内平均扰动系数为 (145.2 ± 10.3), 术后 24 小时内平均扰动

系数为 (127.9 ± 9.6), 术后较术前平均下降 17.3 个单位 ($t=9.152$, $P<0.001$), 具体数据见表 3。

2.4 扰动系数最低值与出院 GOS 评分分组比较

53 例完成随访的患者中, 预后良好组(GOS 3-5 分) 38 例, 预后不良组 (GOS 1-2 分) 15 例。预后良好组入院监测期间扰动系数最低值为 (118.6 ± 10.5), 高于预后不良组的 (95.3 ± 8.7) ($t=7.635$, $P<0.001$), 具体数据见表 4。

表 1 扰动系数对脑外伤患者出血量增加的 ROC 曲线分析结果

指标	AUC (95%CI)	最佳截断值	灵敏度 (%)	特异度 (%)	P 值
扰动系数绝对值	0.89 (0.78-0.99)	141.5	85	92	<0.001
Δ 扰动系数 (上升值)	0.86 (0.74-0.98)	≥ 18	83	89	<0.001

表 2 扰动系数与临床评分相关性分析

相关性分析	r 值	P 值
扰动系数 vs. 入院同期 GCS 评分	0.765	<0.001
扰动系数最低值 vs. 出院 GOS 评分	-0.532	<0.001

表 3 血肿清除术前后扰动系数变化 (n=37)

时间点	扰动系数 (均值±标准差)	变化值 (均值±标准差)	P 值
术前	145.2 ± 10.3	-	-
术后	127.9 ± 9.6	17.3 ± 5.8	<0.001

表 4 扰动系数最低值与出院 GOS 评分分组比较

预后分组	例数	扰动系数最低值 (均值±标准差)	P 值
预后良好 (GOS3-5)	38	118.6 ± 10.5	<0.001
预后不良 (GOS1-2)	15	95.3 ± 8.7	-

3 讨论

本研究分析 67 例脑外伤患者脑电阻抗数据, 从再出血预警、临床评分关联、手术影响及预后评估四维度, 证实扰动系数的临床价值。

再出血时, 扰动系数平均升 18 个单位, ROC 曲线确定最佳截断值 141.5 (灵敏度 85%、特异度 92%), 与动物实验结论一致, 提示达此值或短期升 ≥ 18 单位需排查再出血。扰动系数与 GCS 评分正相关 ($r=0.765$), 可间接反映意识状态; 与 GOS 评分负相关 ($r=-0.532$), 其最低值可参考评估预后。37 例患者术后扰动系数平均降 17.3 个单位, 与 CT 显示的血肿清除率趋势相符, 可据此评估手术效果, 异常则需警惕血肿残留或再出血^[7-8]。

综上, 扰动系数是脑外伤患者再出血有效预警指

标, 量化阈值为临床干预提供依据, 还可关联意识状态与预后, 应用价值高。

参考文献

- [1] 施艳艳,王变珺,李亚婷,等.基于改进密集全卷积神经网络的脑出血图像重建方法研究[J].生物医学工程学杂志,2024, 41(06):1185-1194.
- [2] 田翔,叶健安,张靓靓,等.PEUNet:一种用于脑出血病灶检测的多频电阻抗成像方法[J].空军军医大学学报,2024, 45(11):1233-1237.
- [3] 王昭晖,张涛,杨滨,等.基于径向基函数神经网络的脑损伤电阻抗成像仿真研究[J].中国医学装备,2023, 20(03):1-5.
- [4] 吴红彦.阶段性康复护理联合营养支持在脑外伤患者中

- 的应用效果[J].中国民康医学,2023,35(01):161-164.
- [5] 汝忠艳,渠娟娟.全程护理干预在高压氧治疗重型脑外伤患者中的应用效果[J].中华养生保健,2023,41(01):106-109.
- [6] 黎芳,邹叔骋,刘学军,等.重复经颅磁刺激治疗脑外伤后精神障碍患者的临床研究[J].神经损伤与功能重建,2022,17(12):794-795+827.
- [7] 熊峰,李天惠,潘怡臻,等.动脉自旋标记磁共振评估轻度脑外伤患者的脑血流变化[J].中南大学学报(医学版),2022,47(08):1016-1024.
- [8] 刘学超,张涛,章伟睿,等.脑脊液变化对脑出血电阻抗成像表征的影响研究[J].中国医学装备,2022,19(01):26-30.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS