

论 著

缺血缺氧性脑病新生儿磁共振检查特点及与脑损伤的相关性分析

孟远翠 范金超*

西安医学院第二附属医院新生儿科

(陕西 西安 710038)

【摘要】目的 探究缺血缺氧性脑病(hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE)新生儿磁共振检查(magnetic resonance imaging, MRI)特点及与脑损伤的相关性分析。**方法** 选取2019年6月至2021年12月我院收治的120例HIE患儿为研究对象, 根据是否发生脑损伤分为研究组(发生脑损伤, n=50)和对照组(未发生脑损伤, n=70)。收集所有患儿MRI检查结果, 分析与HIE临床分度一致性。筛选HIE患儿脑损伤的影响因素, 构建列线图预测模型并进行评价。分析MRI脑血流参数预测HIE患儿发生脑损伤的价值。**结果** 以HIE临床分度为“金标准”, MRI分度与临床分度总符合率为91.67%, 轻度符合率为93.18%, 中度符合率为89.36%, 重度符合率为93.10%, 且两者一致性较高(Kappa=0.792)。MRI分度、宫内窘迫、阻力指数(resistive index, RI)是HIE患儿脑损伤的危险因素, 而出生体重、出生5 min阿普加(Apgar)评分、收缩期峰值血流速度(systolic peak velocity, Vs)、舒张末期血流速度(diastolic velocity, Vd)是其保护因素(P<0.05)。所构建的列线图预测模型区分度、校准度和净获益值均较高。Vs、Vd、RI联合预测HIE患儿脑损伤的价值远大于各指标单独预测价值。**结论** MRI分度与临床分度具有较高的一致性, 可有效评估HIE患儿病情。MRI分度、宫内窘迫、RI是HIE患儿发生脑损伤的独立危险因素, 而出生体重、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd是其保护因素(P<0.05)。

【关键词】 缺血缺氧性脑病; 新生儿;
磁共振检查; 脑损伤; 相关性

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.006

Characteristics of Magnetic Resonance Examination in Neonates with Hypoxic Ischemic Encephalopathy and Its Correlation with Brain Injury

MENG Yuan-cui, FAN Jin-chao*

Department of Neonatology, The Second Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an 710038, Shaanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the characteristics of magnetic resonance imaging (MRI) in neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy (HIE) and its correlation with brain injury. **Methods** A total of 120 HIE children admitted to our hospital from June 2019 to December 2021 were selected as the research objects. According to the occurrence of brain injury, they were divided into study group (occurrence of brain injury, n=50) and control group (non-occurrence of brain injury, n=70). MRI results of all children were collected and analyzed for consistency with HIE clinical grading. The independent predictive factors of HIE brain injury were screened, and the nomogram prediction model was constructed and evaluated. To analyze the predictive value of MRI cerebral blood flow parameters for HIE. **Results** With HIE clinical grading as the gold standard, the total coincidence rate between MRI grading and clinical grading was 91.67%, mild coincidence rate of 93.18%, moderate coincidence rate of 89.36%, and severe coincidence rate of 93.10%, with high consistency between the two (Kappa=0.792). MRI grading, intrauterine distress, and resistive index (RI) were risk factors for brain injury in children with HIE, and birth weight, Apgar score 5 min after birth, systolic peak velocity (Vs) and diastolic velocity (Vd) were the protective factors (P<0.05). The prediction model based on the above factors has high differentiation degree, calibration degree and net benefit value. The combined value of Vs, Vd and RI in predicting brain injury of HIE children is much greater than that of each index alone. **Conclusion** MRI grading has a high consistency with clinical grading, which can effectively evaluate the condition of HIE children. MRI grading, intrauterine distress and RI were independent risk factors for HIE, while birth weight, Apgar score 5 min after birth, Vs and Vd were protective factors (P<0.05).

Keywords: Hypoxic-Ischemic Encephalopathy; Newborn; Magnetic Resonance Imaging; Brain Injury; Correlation

缺血缺氧性脑病(hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE)是指围产期新生儿脑供血及气体交换不足引发窒息, 进而导致缺氧缺血性损害的过程^[1]。HIE的发生影响患儿正常生长发育, 严重情况时会造成脑瘫、癫痫等不可逆性脑损伤, 甚至导致新生儿死亡^[2]。研究表明^[3], 尽早明确诊断HIE患儿病情和干预治疗, 有利于改善患儿预后, 降低脑损伤发生风险。影像学检查作为诊断疾病的重要工具, 可直观判断患儿病情, 包括病变范围、程度及类型等, 其中, 计算机断层扫描(computed tomography, CT)和磁共振检查(magnetic resonance imaging, MRI)是两种常用的检查方法, 但各自特点与应用有所不同^[4]。CT检查对患儿具有一定辐射作用, 且扫描时间较短, 诊断效果不甚理想^[5]。MRI检查具有多方位、多参数成像特点, 弥补了CT检查诊断病情早期敏感性第、检出率低等缺点, 可快速可靠的诊断HIE患儿病情, 客观评价病情严重程度^[6-7]。当前关于HIE患儿MRI特征的详细探讨及其与脑损伤间关系的深入研究尚显不足, 基于此, 本研究旨在填补这一空白, 深入分析HIE新生儿的MRI影像特点, 并探究这些特点与脑损伤之间的内在联系, 以期丰富HIE相关资料。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选取2019年6月至2021年12月我院收治的120例HIE患儿为研究对象, 其中男65例, 女55例, 平均孕龄(39.21±1.82)周, 于出生后1~7 d内进行MRI检查。根据是否发生脑损伤分为研究组(发生脑损伤, n=50)和对照组(未发生脑损伤, n=70)。

纳入标准: 符合HIE诊断标准^[8]; 临床资料完整; 家属签署知情同意书。排除标准: 心脏、神经系统障碍者; 其他因素导致脑损伤; 合并代谢疾病者。

1.2 MRI检查方法 开始前20~30 min患儿口服或灌肠10%水合氯醛(0.5 mL/kg), 扫描前采用棉花团等堵塞患儿外耳道。采用MRI扫描仪(德国Siemens 3.0T超导型)进行扫描, 扫描参数: 轴位T1WI SE序列TR为2000ms, TE为9ms; 轴位T2WI TSE序列TR为5000ms, TE为101ms, 层厚为4mm, 层间隔1mm; 加行弥散加权成像。

1.3 MRI分度标准^[9-10] 轻度: 仅双侧大脑半球病变, 累及脑叶<2个, 灰质与白质信号清晰; 中度: 仅双侧大脑半球病变, 累及脑叶2~5个, 灰质与白质信号模糊, 可见颅内出血、脑功能区受损; 重度: 累及脑叶≥5个, 灰质与白质信号消失, 可见颅内出血、多处重要脑功能区受损。

1.4 观察指标 收集患儿性别、胎龄、出生体重、分娩方式、MRI分度、围产期情况、

【第一作者】孟远翠, 女, 副主任医师, 主要研究方向: 新生儿湿疹方向研究。E-mail: bijifei887@163.com

【通讯作者】范金超, 男, 主治医师, 主要研究方向: 脑损伤方向研究。E-mail: bijifei887@163.com

出生1 min及5 min 阿普加(Apgar)评分、出生后0~24 h MRI脑血流参数,包括收缩期峰值血流速度(systolic peak velocity, Vs)、舒张末期血流速度(diastolic velocity, Vd)和阻力指数(resistive index, RI)。

1.5 统计学方法 数据分析采用SPSS 19.0软件。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本t检验;计数资料以百分比(%)表示,采用 χ^2 检验。以临床分度为金标准,采用Kappa检验评价MRI分度与临床分度评估方法的一致性。符合率=MIR各分度人数/临床各分度人数。采用多因素Logistic回归筛选HIE患儿脑损伤的影响因素;采用R软件(R3.3.2)和软件包rms构建预测HIE患儿发生脑损伤的列线图模型,采用受试者工作特征(receiver operating characteristics, ROC)曲线、Bootstrap自抽样法、校准曲线和临床决策曲线评价模型的区分度、准确度和净获益值。采用ROC曲线分析MRI脑血流参数对HIE患儿发生脑损伤的预测价值。以 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 MRI检查对HIE新生儿的诊断情况 MRI检查影像学资料显示,120例HIE患儿中有43例轻度患儿,46例中度患儿,31例重度患儿。其中,轻度HIE患儿病变部位以皮层及皮层下白质为主,占轻度人数的88.37%(38/43);中度HIE患儿以脑白质受损为主,占89.13%(41/46),重度HIE患儿各部位病变均有涉及,以侧脑室白质、基底节及丘脑损伤为主。见表1。

表1 120例HIE患儿MRI表现[n(%)]

组别	病变部位				
	皮层及皮层下白质	侧脑室白质	基底节及丘脑	内囊后肢	出血性病变
轻度(n=43)	38(88.37)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	9(20.93)
中度(n=46)	15(32.61)	41(89.13)	3(6.52)	5(10.87)	12(26.87)
重度(n=31)	25(80.65)	26(83.87)	24(77.42)	22(70.97)	18(58.06)

2.2 MRI检查评估HIE严重程度 以HIE临床分度为“金标准”,临床分度显示,120例HIE患儿中,共有44例轻度、47例中度、29例重度,与临床分度总符合率为91.67%。轻度HIE中, MRI正

确分度为41例,符合率为93.18%,2例中度患儿分度不足被判断为轻度;中度HIE中,正确分度42例,分度不足2例,分度过高2例,符合率89.36%;重度HIE中,正确分度27例,4例分度过高,符合率93.10%。见表2。采用Kappa值统计法比较两种分度法一致性,结果显示,两种分度法一致性较高,Kappa值为0.792。

2.3 两组患儿临床资料及MRI脑血流参数比较 结果显示,研究组的低体重占比、中重度占比、宫内窘迫占比、RI较对照组明显升高,出生5 min Apgar评分、Vs、Vd较对照组明显降低($P<0.05$)。见表3。

2.4 多因素分析脑损伤影响因素 以是否发生脑损伤为因变量(是=1,否=0),以出生体重、MRI分度、宫内窘迫、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd、RI为自变量(赋值见表4),进行多因素Logistic回归分析,结果显示: MRI分度、宫内窘迫、RI是HIE患儿发生脑损伤的危险因素,而出生体重、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd是其保护因素($P<0.05$)。见表5。

2.5 ROC曲线分析MRI脑血流参数对HIE患儿发生脑损伤的预测价值 采用ROC曲线分析MRI脑血流参数对HIE患儿发生脑损伤的预测价值,结果如表6和图2所示,Vs、Vd、RI的最佳临界值分别为28.85 cm/s、10.26 cm/s、0.68,上述各指标单独预测及联合预测的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.825(95% CI: 0.763~0.884)、0.783(95% CI: 0.685~0.848)、0.751(95% CI: 0.648~0.791)、0.872(95% CI: 0.805~0.960)。各指标联合预测脑损伤的AUC明显大于各指标单独预测。

2.6 构建列线图预测模型 基于上述7项独立预测因素建立预测HIE患儿发生脑损伤的列线图风险预测模型,见图3。脑损伤发生风险随着HIE患儿出生体重、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd的下降而增大,随着MRI分度、RI的增加而增加,且合并宫内窘迫的患儿发生风险更高。

2.7 模型验证 ROC曲线的AUC为0.823,列线图灵敏度、特异度分别为84.9%,79.7%,最大约登指数为0.646。见图4A。内部验证结果显示,列线图预测模型的C-index指数为0.815(见图4B),说明该列线图模型整体区分度较高。同时,校准曲线Hosmer-Lemeshow拟合优度检验显示出较好的拟合度($P=0.386$),表明该模型预测概率与实际概率基本一致,具有较好的校准度。见图5。临床决策曲线提示此列线图评分预测模型工作效果良好,与实际风险发生概率具有较高的一致性,见图6。

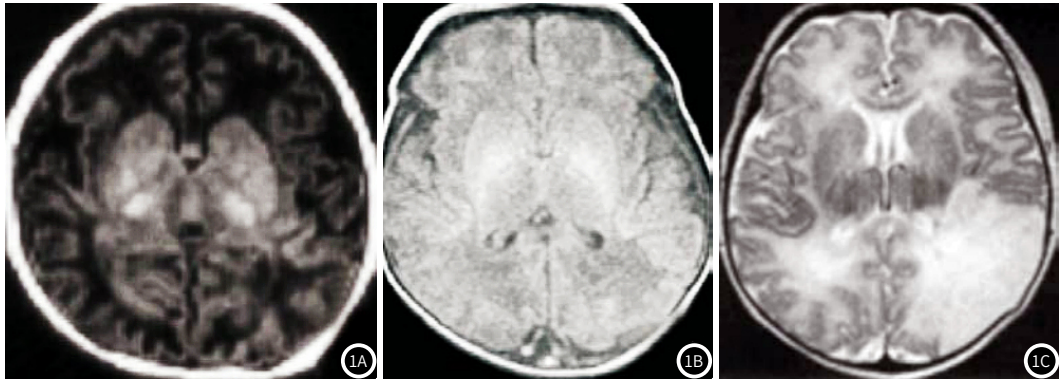


图1A-图1C 部分MRI检查结果图。1A: 双侧丘脑高信号,双侧内囊后肢正常高信号消失;1B: 灰白质分解消失;1C: 左侧顶枕叶大面积脑梗死呈楔形高信号。

表2 MRI分度与临床分度关系

HIE临床分度	MRI分度		
	轻度	中度	重度
轻度(n=44)	41	2	1
中度(n=47)	2	42	3
重度(n=29)	0	2	27
合计	43	46	31

表4 变量赋值说明

项目	赋值说明
出生体重	>2500 g=0, ≤2500 g=1
MRI分度	轻度=0, 中度=1, 重度=2
宫内窘迫	否=0, 是=1
出生5 min Apgar评分	>4分=0, ≤4分=1
Vs	>28.71 cm/s=0, ≤28.71 cm/s=1
Vd	>10.11 cm/s=0, ≤10.11 cm/s=1
RI	≤0.71=0, >0.71=1

表3 两组患儿临床资料及MRI脑血流参数比较

项目	研究组(n=50)	对照组(n=70)	t/ χ^2 值	P值
性别[n(%)]			0.116	0.733
男	28(56.00)	37(52.86)		
女	22(44.00)	33(47.14)		
胎龄(周)	39.58±1.96	38.94±1.63	1.948	0.054
出生体重(g)			5.445	0.020
≤2500	12(24.00)	6(8.57)		
>2500	38(76.00)	64(91.43)		
分娩方式[n(%)]			0.069	0.793
顺产	34(68.00)	46(65.71)		
剖宫产	16(32.00)	24(34.29)		
MRI分度[n(%)]			31.571	<0.001
轻度	4(8.00)	39(55.71)		
中度	24(48.00)	22(31.43)		
重度	22(44.00)	9(12.86)		
围产期情况[n(%)]				
胎膜早破	9(18.00)	6(8.57)	2.371	0.124
宫内窘迫	11(22.00)	5(7.14)	5.571	0.018
胎盘前置	2(4.00)	2(2.86)	0.118	0.731
脐带绕颈	6(12.00)	5(7.14)	0.826	0.363
出生1 min Apgar评分(分)			0.179	0.672
>4	16(32.00)	25(35.71)		
≤4	34(68.00)	42(64.29)		
出生5 min Apgar评分(分)			12.119	<0.001
>4	24(48.00)	55(78.57)		
≤4	26(52.00)	15(21.43)		
MRI脑血流参数				
Vs(cm/s)	23.38±6.47	32.51±7.26	7.102	<0.001
Vd(cm/s)	6.94±2.08	12.37±2.55	12.393	<0.001
RI	0.82±0.23	0.63±0.18	5.073	<0.001

表5 HIE患儿发生脑损伤的多因素Logistic分析结果

项目	β 值	SE	Wald值	OR值	95% CI值	P值
出生体重	-0.167	0.144	1.349	0.846	0.377~0.983	0.019
MRI分度	0.872	0.769	1.286	2.392	1.218~3.402	0.025
宫内窘迫	0.661	0.527	1.571	1.936	1.674~2.358	0.008
出生5 min Apgar评分	-0.302	0.265	1.303	0.739	0.492~0.875	0.004
Vs	-0.182	0.172	1.114	0.834	0.313~0.961	<0.001
Vd	-0.284	0.218	1.693	0.753	0.255~0.884	0.001
RI	0.437	0.359	1.482	1.548	1.374~2.623	0.003

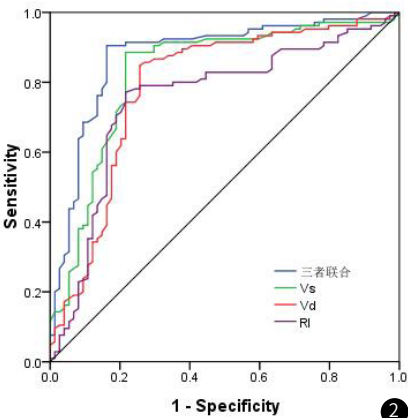


图2 ROC曲线分析MRI脑血流参数的预测价值。

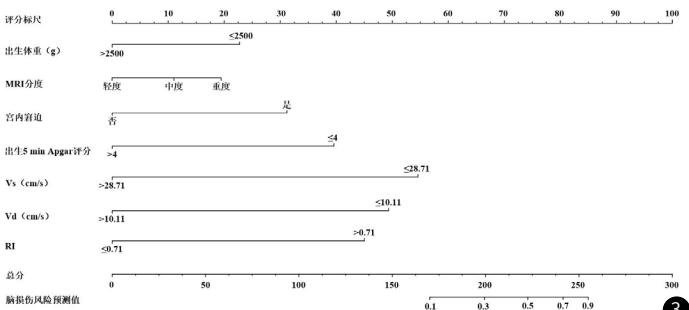
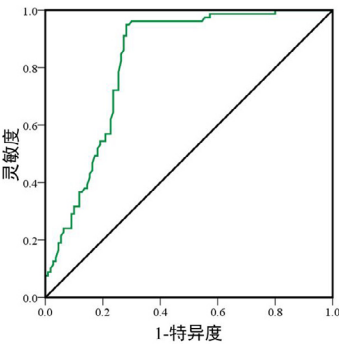


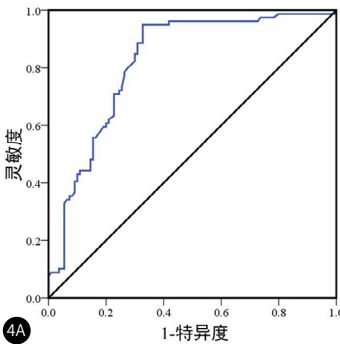
图3 HIE患儿发生脑损伤的风险列线图预测模型。

表6 联合预测因子及各原始协变量对发生脑损伤预测的ROC曲线参数

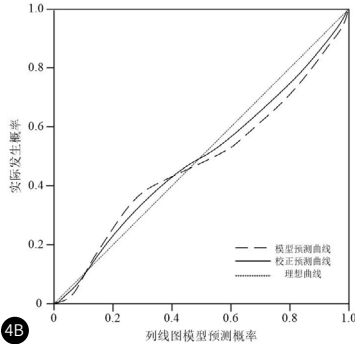
指标	AUC	最佳临界值	灵敏度(%)	特异度(%)	准确率(%)	阳性似然比	阴性似然比
联合因子	0.872	-	86.82	89.36	88.37	8.160	0.147
Vs(cm/s)	0.825	28.85	81.33	84.57	81.22	5.271	0.221
Vd(cm/s)	0.783	10.26	78.51	80.92	78.93	4.115	0.266
RI	0.751	0.68	73.66	76.48	75.49	3.132	0.344



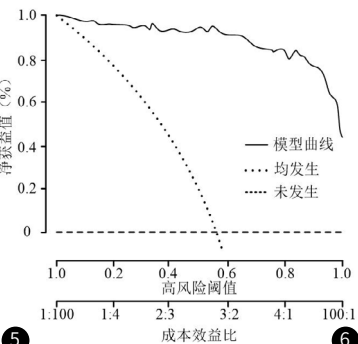
4A



4B



5



6

图4A~图4B 列线图预测模型ROC曲线。4A: 内部校正前, 4B: 内部校正后。
图5 列线图预测模型的校准曲线。图6 预测模型的决策曲线分析图。

3 讨 论

HIE的发病机制复杂多样,临床表现为肢体张力变化、反射异常等^[11]。脑组织代谢旺盛,需要供给大量氧气以保证其正常运转,约消耗全身50%左右氧气^[12]。既往研究表明新生儿围生期窒息是发生HIE的主要诱因,缺血缺氧情况下会导致患儿脑组织通气及能量代谢异常,进而引发脑水肿及神经细胞坏死等一系列病变,最终造成新生儿脑损伤^[13]。CT、MRI检查是临床广泛应用的新生儿HIE影像学诊断技术。CT检查可明确患儿病变部位及确定颅内出血情况,对于早期HIE的损伤判断具有一定难度^[14]。MRI检查无辐射,可真缺德评估HIE患儿损伤部位及程度,是目前临床首选方法^[15]。

本研究中,MRI检查结果显示,120例HIE患儿存在43例轻度、46例中度和31例重度,与临床分度总符合率为91.67%,轻度HIE患儿符合率为93.18%,中度HIE患儿符合率89.36%,重度HIE患儿符合率93.10%。Kappa值为0.792,提示两种分度法一致性较高,与文献报道相符^[16]。上述结果说明临床可根据MRI影像结果将临床表现与损伤程度进行关联,有助于临床精准评估HIE患儿病情。本研究比较了发生脑损伤的HIE与未发生脑损伤患儿的临床资料和MRI脑血流参数,发现MRI分度、宫内窘迫、RI是HIE患儿发生脑损伤的危险因素,而出生体重、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd是其保护因素。与正常体重患儿相比,低体重患儿各器官及身体功能发育完善度欠佳,脑组织及神经细胞对于缺氧情况反应更为敏感,与母体分离后更容易发生缺血缺氧情况,从而导致发生脑损伤^[17]。MRI分级加深,预示着患儿病情趋于严峻,伴随心脏、脑部等多系统受损的风险显著增加,易导致生理机能失调,加剧患儿身体负担,从而导致脑损伤的风险急剧上升^[18]。宫内窘迫的发生会扰乱胎盘、脐带与胎儿之间的血液循环机制,诱发新生儿窒息危机。当缺氧状态持续并超出新生儿的生理耐受阈值时,将引发脑组织的严重损伤,甚至导致神经元的大量损失,进而可能引发智力发育迟缓、肢体功能受限等长期后果^[19]。体系作为评估新生儿窒息状况的关键标尺,其数值的高低直接反映了窒息的严重程度,高分值意味着较轻的窒息状况^[20]。出生5 min Apgar评分 ≤ 4 分强烈提示患儿处于重度窒息状态,可能对脑血管及脑细胞功能造成严重影响,威胁神经系统的完整性。若Apgar评分持续维持在较低水平,则表明窒息状态未得到有效控制,这将大大增加脑水肿、脑损伤乃至患儿生命危险的风险^[21]。因此,及时、准确地评估Apgar评分对于早期识别并干预新生儿窒息、预防脑损伤具有至关重要的意义。

脑血流参数是反应脑部动脉血流灌注情况的指标,通过检测各参数水平可判断患儿脑组织情况^[22]。本研究发现,发生脑损伤患儿的Vs、Vd明显低于未发生脑损伤患儿,而RI明显高于未发生脑损伤患儿。究其原因,脑损伤患儿的身体代谢更为紊乱,对脑组织损伤也更为严重,当脑供血障碍时,其机体内动脉血流供应恢复速度较慢,且脑细胞受损可导致血管内皮变形,进而导致血管内径减小,血流阻力增加、速度降低,继而又加重脑细胞缺氧缺血情况,加重脑组织损伤,形成恶性循环^[23]。本研究采用ROC曲线深入探讨了MRI脑血流参数(Vs、Vd、RI)在预测HIE患儿脑损伤风险方面的效能,结果显示,当Vs、Vd、RI三项参数应用时,其预测脑损伤的AUC值高达0.872,并伴随一个狭窄的置信区间(95% CI: 0.805~0.960),优于任何单一诊断指标的性能表现。本研究构建了一个针对HIE患儿脑损伤风险的列线图预测模型,该模型通过整合关键临床信息与MRI脑血流参数,实现了对患儿脑损伤风险的高精度区分与评估。模型验证显示,该列线图预测模型不仅具有较高的区分度,能够准确区分高、低风险患儿,还展现出良好的预测准确度与净获益值,为临床决策提供了强有力的数据支持。

综上所述,MRI可准确有效的评估HIE患儿病情,其分度与临床分度具有较高的一致性。MRI分度、宫内窘迫、RI是HIE患儿发生脑损伤的独立危险因素,而出生体重、出生5 min Apgar评分、Vs、Vd是其保护因素。临床应予以注意,同时可结合MRI诊断结果防治脑损伤的发生。

参考文献

- [1]Pouppirt NR,Martin V,Pagnotto-Hammitt L,et al.The general movements assessment in neonates with hypoxic ischemic encephalopathy[J].J Child Neurol,2021,36(8):601-609.
- [2]Domínguez-Dieppa F,Cardetti M,Rodríguez S,et al.Hypoxic ischemic encephalopathy in units reporting to the ibero-american society of neonatology network: prevalence and mortality[J].MEDICC Rev,2021,23(1):30-34.
- [3]Arriaga-Redondo M,Bravo DB,Del Hoyo AA,et al.Prognostic value of somatosensory-evoked potentials in the newborn with hypoxic-ischemic encephalopathy after the introduction of therapeutic hypothermia[J].Eur J Pediatr,2022,181(4):1609-1618.
- [4]Caraganis A,Mulder M,Kempainen RR,et al.Interobserver variability in the recognition of hypoxic-ischemic brain injury on computed tomography soon after out-of-hospital cardiac arrest[J].Neurocrit Care,2020,33(2):414-421.
- [5]Okimoto N,Ishida M,Abe H,et al.Delayed cerebral enhancement on post-mortem computed tomography due to residual contrast medium administered shortly before death[J].J Radiol Case Rep,2021,16(8):2056-2060.
- [6]Hayakawa K,Tanda K,Nishimura A,et al.Diffusion restriction in the optic radiation of term neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy demonstrated by magnetic resonance imaging (MRI)[J].J Child Neurol,2021,36(11):950-957.
- [7]Yang S,Wang X,Gu H,et al.Prognostic value of magnetic resonance imaging performed during the subacute phase in adult patients with hypoxic-ischemic encephalopathy for long-term neurological outcomes[J].J Stroke Cerebrovasc,2020,29(8):104950.
- [8]中华医学会儿科学分会新生儿学组.新生儿缺氧缺血性脑病诊断标准[J].中华儿科杂志,2005,43(8):584.
- [9]盛杰鑫,王萌,黄光建,等.新生儿缺血缺氧性脑病应用双源CT与MRI检查及临床分析[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(7):16-18.
- [10]孟远翠,范金超.MRI参数与缺血缺氧性脑病新生儿脑损伤程度及远期神经预后的关系[J].优生与遗传杂志,2023,31(2):377-382.
- [11]Wood S,Crawford S,Hicks M,et al.Hospital-related,maternal,and fetal risk factors for neonatal asphyxia and moderate or severe hypoxic-ischemic encephalopathy:a retrospective cohort study[J].J Matern-fetal Neo M,2021,34(9):1-6.
- [12]Zheng Q,Viaene AN,Freeman CW,et al.Radiologic-pathologic evidence of brain injury:hypoperfusion in the Papez circuit results in poor neurodevelopmental outcomes in neonatal hypoxic ischemic encephalopathy[J].Childs Nerv Syst,2021,37(1):63-68.
- [13]Xu EH,Claveau M,Yoon EW,et al.Neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy treated with hypothermia:Observations in a large Canadian population and determinants of death and/or brain injury[J].J Neonatal Perinatal Med,2020,13(4):449-458.
- [14]Tekeli AE,Demirkiran H,Arsilan H.Evaluation of computed tomography angiography as an ancillary test to reduce confusion after clinical diagnosis of brain death[J].Transp P,2021,53(2):596-601.
- [15]Laptook AR,Shankaran S,Barnes P,et al.Limitations of conventional magnetic resonance imaging as a predictor of death or disability following neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy in the late hypothermia trial[J].J Pediatr-us,2021,230:106-111.
- [16]席艳丽,张晓军,王瑞珠,等.常规磁共振及磁共振波谱成像评估新生儿缺血缺氧性脑病严重程度[J].临床放射学杂志,2021,40(8):1577-1582.
- [17]Peebles PJ,Duello TM,Eickhoff JC,et al.Antenatal and intrapartum risk factors for neonatal hypoxic ischemic encephalopathy[J].J Perinatol,2020,40(1):63-69.
- [18]Meng L,Wang Q,Li Y,et al.Diagnostic performance of arterial spin-labeled perfusion imaging and diffusion-weighted imaging in full-term neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy[J].J Integr Neurosci,2021,20(4):985-991.
- [19]Bersani I,Piersigilli F,Gazzolo D,et al.Heart rate variability as possible marker of brain damage in neonates with hypoxic ischemic encephalopathy:a systematic review[J].Eur J Pediatr,2021,180(5):1335-1345.
- [20]Mu Y,Li M,Zhu J,et al.Apgar score and neonatal mortality in China:an observational study from a national surveillance system[J].Bmc Pregnancy Childb,2021,21(1):47.
- [21]Chen HY,Blackwell SC,Chauhan SP.Association between apgar score at 5minutes and adverse outcomes among Low-Risk pregnancies[J].J Matern-fetal Neo M,2022,35(7):1344-1351.
- [22]Castillo P,Lundblad M,Forestier J,et al.Cerebral blood flow alterations associated with high volume caudal block in infants[J].Brit J Anaesth,2020,125(6):1064-1069.
- [23]张伟艳,陆凡,徐婷,等.新生儿缺血缺氧性脑病的临床特点及MRI早期诊断研究[J].中国CT和MRI杂志,2022,20(3):8-10.

(收稿日期:2022-07-12)

(校对编辑:韩敏求)