

论 著

磁共振波谱成像联合弥散加权成像在早产儿脑白质损伤诊断及预后评估中的应用*

洪 菲 宋 磊 季菊花
储晓彬*

南通市第一人民医院儿科 (江苏 南通 226000)

【摘要】目的 探讨磁共振波谱成像(MRS)联合弥散加权成像(DWI)在早产儿脑白质损伤早期诊断以及其预后评估中的应用价值。方法 选取2021年1月-2023年1月102例脑白质损伤早产儿作为病例组,同期选取98例非脑白质损伤早产儿作为对照组,记录两组早产儿相关临床指标,并在出生后7d实施MRS、DWI检查,比较两组MRS代谢指标、DWI参数差异,使用点二列相关性检验MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤的关系,并绘制受试者工作曲线(ROC)分析MRS联合DWI对早产儿脑白质损伤的早期诊断价值。予以病例组患儿长期随访,在矫正年龄6个月时使用Gesell发育诊断量表将患儿分为预后不良组与预后良好组,比较并分析2组患儿MRS代谢指标、DWI参数对早产儿脑白质损伤预后的评估价值。结果 病例组N-乙酰天冬氨酸(NAA)、NAA/Cr、rADC明显低于对照组,肌酸(Cr)明显高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。经点二列相关性检验显示NAA、NAA/Cr、rADC与早产儿脑白质损伤存在负相关关系($r<0$, $P<0.05$); Cr与早产儿脑白质损伤存在正相关关系($r>0$, $P<0.05$)。绘制ROC显示NAA、Cr、NAA/Cr以及rADC对早产儿脑白质损伤诊断具有较低的诊断价值, AUC分别为0.629、0.630、0.605、0.603; MRS联合DWI具有良好的诊断价值, AUC为0.713。随访结果显示102例患儿中21例为边缘状态, 53例为发育异常, 共74例为预后不良组, 另28例发育良好为预后良好组。预后不良组患儿NAA、NAA/Cr、rADC明显低于预后良好组, Cr明显高于预后良好组, 差异有统计学意义($P<0.05$)。经点二列相关性检验显示NAA、NAA/Cr、rADC与脑白质损伤患儿预后不良存在负相关关系($r<0$, $P<0.05$); Cr与预后不良存在正相关关系($r>0$, $P<0.05$)。绘制ROC曲线显示NAA、NAA/Cr以及rADC对脑白质损伤患儿预后具有较低的评估价值, AUC分别为0.641、0.639、0.688; Cr、MRS联合DWI对脑白质损伤患儿预后具有良好的评估价值, AUC分别为0.755、0.833, 以联合评估价值最高。结论 MRS联合DWI对早产儿脑白质损伤以及其预后均有良好的评估价值。

【关键词】磁共振波谱成像; 弥散加权成像;
脑白质损伤; 早产儿; 预后

【中图分类号】R722; R730.7

【文献标识码】A

【基金项目】2020年江苏省妇幼健康科研项目(F202065); 2022年南通市科技项目(MS22022026); 2023年南通市卫生健康委员会科研课题(MSZ2023013, QNZ2023030)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.009

Application of Magnetic Resonance Spectroscopy Imaging Combined with Diffusion Weighted Imaging in the Diagnosis and Prognosis Evaluation of Brain White Matter Injury in Premature Infants*

HONG Fei, SONG Lei, JI Ju-hua, CHU Xiao-bin*.

Department of Pediatrics, Nantong First People's Hospital, Nantong 226000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of magnetic resonance spectroscopy (MRS) combined with diffusion weighted imaging (DWI) in the early diagnosis and prognosis evaluation of brain white matter injury in premature infants. **Methods** 102 premature infants with brain white matter injury from January 2021 to January 2023 were selected as the case group, while 98 premature infants without brain white matter injury were selected as the control group. Clinical indicators related to premature infants were recorded in both groups, and MRS and DWI examinations were performed 7 days after birth. The differences of MRS metabolic indexes and DWI parameters between the two groups were compared. The relationship between MRS metabolic indexes, DWI parameters and white matter injury in premature infants was tested by point two column correlation. The receiver operating curve (ROC) was drawn to analyze the early diagnostic value of MRS combined with DWI for white matter injury in premature infants. Long term follow-up was given to the case group of children. At the corrected age of 6 months, the children were divided into a poor prognosis group and a good prognosis group using the Gesell developmental diagnostic scale. The evaluation value of MRS metabolic indicators and DWI parameters on the prognosis of premature brain white matter injury in the two groups of children was compared and analyzed. **Results** The N-acetylaspartic acid (NAA), NAA/Cr, rADC in the case group were significantly lower than those in the control group, while creatine (Cr) was significantly higher than that in the control group, with statistical significant differences ($P<0.05$). The point two column correlation test showed a negative correlation between NAA, NAA/Cr, rADC and brain white matter injury in premature infants ($r<0$, $P<0.05$). There was a positive correlation between Cr and white matter damage in premature infants ($r>0$, $P<0.05$). ROC curve showed that NAA, Cr, NAA/Cr and rADC had low diagnostic value in the diagnosis of brain white matter injury in premature infants, with AUC of 0.629, 0.630, 0.605 and 0.603, respectively. MRS combined with DWI had a good diagnostic value, with an AUC of 0.713. The follow-up results showed that among the 102 patients, 21 were in marginal state, 53 were developmental abnormalities, a total of 74 were in the poor prognosis group, and the other 28 were in the good prognosis group with good development. The levels of NAA, NAA/Cr, and rADC in the poor prognosis group were significantly lower than those in the good prognosis group, while Cr was significantly higher than that in the good prognosis group, with a statistical significant difference ($P<0.05$). The point two column correlation test showed a negative correlation between NAA, NAA/Cr, rADC and poor prognosis in children with brain white matter injury ($r<0$, $P<0.05$). There was a positive correlation between Cr and poor prognosis ($r>0$, $P<0.05$). ROC curve showed that NAA, NAA/Cr and rADC had low evaluation value for the prognosis of children with white matter injury, with AUC of 0.641, 0.639 and 0.688, respectively. The combination of Cr, MRS, and DWI had good prognostic value for children with brain white matter injury, with AUC of 0.755 and 0.833, respectively, with the highest combined evaluation value. **Conclusion** The combination of MRS and DWI has good evaluation value for brain white matter injury and prognosis in premature infants.

Keywords: Magnetic Resonance Spectroscopy Imaging; Diffusion Weighted Imaging; Brain Brain White Matter Injury; Premature Infants; Prognosis

脑白质损伤是早产儿脑损伤的常见类型之一,也是导致患儿神经障碍、发育异常的主要原因^[1]。但由于患儿缺乏脑白质损伤的特异性体征与神经系统症状,因此临床主要借助影像学手段进行诊断^[17]。目前为止,颅脑超声仍是临床上诊断早产儿脑白质损伤的重要手段^[18],但随着医学影像的深入发展,越来越多的研究显示^[19],弥散加权成像技术(diffusion weighted imaging, DWI)能够通过观察水分子扩散形式,判断脑部结构变化进而优先检出脑白质损伤^[2]。但由于损伤后期脑组织会出现胶质细胞瘢痕增生性改变或囊腔空洞情况,导致DWI的敏感性有所下降^[3]。而磁共振波谱成像技术(magnetic resonance spectrum, MRS)是通过研究活体器官生化代谢化合物变化来诊断疾病、评估预后的检查手段,为临床诊断脑缺血性病变、评估治疗预后提供了巨大帮助^[4,20]。因此推断或可将MRS与DWI联合,以达到提高早产儿脑白质损伤早期诊断、评估预后的准确性。基于此本研究回顾性分析早产儿脑白质损伤患儿的临床资料,以期临床优化检查手段提供理论依据。现结果如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2021年1月至2023年1月102例脑白质损伤早产儿作为病例组,同期

【第一作者】洪 菲,女,副主任医师,主要研究方向:新生儿。E-mail: nantonghongfei@163.com

【通讯作者】储晓彬,男,主任医师,主要研究方向:新生儿。E-mail: ntyycxb@163.com

选取98例非脑白质损伤早产儿作为对照组。病例组男49例、女53例；胎龄29-36周，平均胎龄(32.45±2.46)周；体重1514.3-2481.3g，平均体重(2028.02±281.07)g；1min Apgar评分5-7分，平均1min Apgar评分(5.94±0.81)分。对照组男44例、女54例；胎龄29-35周，平均胎龄(32.54±2.32)周；体重1501.6-2483.3g，平均体重(1970.01±286.85)g；1min Apgar评分5-7分，平均1min Apgar评分(5.96±0.84)分。2组早产儿在性别、胎龄、1min Apgar评分等方面比较，差异无统计学意义(P>0.05)。

纳入标准：符合《儿科学》^[5]中早产儿诊断标准：28周≤胎龄<37周；所有患儿均接受MRS、DWI检查；临床资料、随访记录完整，早产儿监护人同意调阅相关资料；病例组还需符合《早产儿脑损伤诊断与防治专家共识》^[6]中相关诊断标准。排除标准：合并先天性脑发育畸形、胆红素脑病等颅脑疾病；合并基因变异、染色体异常等；未严格遵照医嘱进行治疗。

1.2 方法 所有早产儿均在出生后7d接受MRS、DWI检查。检查设备为德国西门子公司生产的MAGNETOM Spectra 3.0T磁共振成像仪，采用高密度18通道头颅专用线圈。检查前30min予以患儿5%水合氯醛镇静，剂量为1mL/kg。镇静满意后，取仰卧位，双耳塞入棉球，棉被包裹，胶带固定(如若患儿头部留存留置针，需去除)先行常规矢状面、轴面T₂WI扫描。DWI采用回波平面成像超高速成像法，扩散敏感梯度为X、Y、Z，3个相互垂直的方向，参数设定：重复时间(repetition time, TR)为2200ms，回波时间(echo time, TE)为58ms，b值均为1000s/mm²，视野(field of vision, FOV)为350mm×400mm，矩阵为256×256，层厚为4mm。MRS采用二维多体素化学位移波谱成像方法，选定基底节、背侧丘脑、额叶、放射冠等区域为感兴趣区(region of interest, ROI)，用点分辨自旋回波波谱采集N-乙酰天冬氨酸(n-acetylaspartic acid, NAA)、肌酸(creatine, Cr)浓度，并计算NAA/Cr数值。

1.3 成像处理 将所获得的DWI图像传入Diffusion calculation tool软件中转化为ADC图像，测量病灶区域以及对侧正常对应位置的ADC数值，并以正常区域作为参照，根据公式病灶区域ADC/正常区域ADC计算得出rADC。

1.4 预后评估 予以病例组患儿长期随访，在矫正胎龄6个月时使用Gesell发育诊断量表^[7]评估患儿的发育情况。该量表主要评估患儿动作能、应物能、言语能以及应人能4个方面能力，其中动作能细分为大运动与精细运动，医师根据患儿表现依次予以评价，若得分≥86分提示发育正常，76~85分提示边缘状态，得分≤75分提示发育异常。将边缘状态与发育异常划分为预后不良组，将发育正常划分为预后良好组。

1.5 统计学方法 采用SPSS 27.0统计学软件分析。Shapiro-Wilk检验满足正态性分布的计量资料用“ $\bar{x} \pm s$ ”描述，使用独立样本t检验；计数资料用%表示，使用 χ^2 检验；点二列相关性检验MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤及预后的关系，绘制受试者工作曲线(Receiver Operating Curve, ROC)，以曲线下面积(Area Under Curve, AUC)评估MRS联合DWI对早产儿脑白质损伤早期诊断及预后评估价值。AUC值>0.90提示诊断、评估价值较高；0.70≤AUC值<0.90，提示诊断、评估价值良好；0.50≤AUC值<0.70，提示诊断、评估价值较低；AUC值<0.5，提示无诊断、评估价值。

2 结果

2.1 病例组与对照组MRS代谢指标、DWI参数水平 病例组NAA、NAA/Cr、rADC明显低于对照组，差异有统计学意义(P<0.05)；病例组Cr明显高于对照组，差异有统计学意义(P<0.05)。见图1、表1。

表1 病例组与对照组MRS代谢指标、DWI参数比较

组别	例数	NAA	Cr	NAA/Cr	rADC
病例组	102	4969.07±262.54	6262.62±165.23	0.79±0.08	2.41±0.18
对照组	98	5082.36±182.35	6184.51±180.62	0.82±0.04	2.46±0.11
t	-	3.531	3.193	2.778	2.673
P	-	0.001	0.002	0.006	0.008

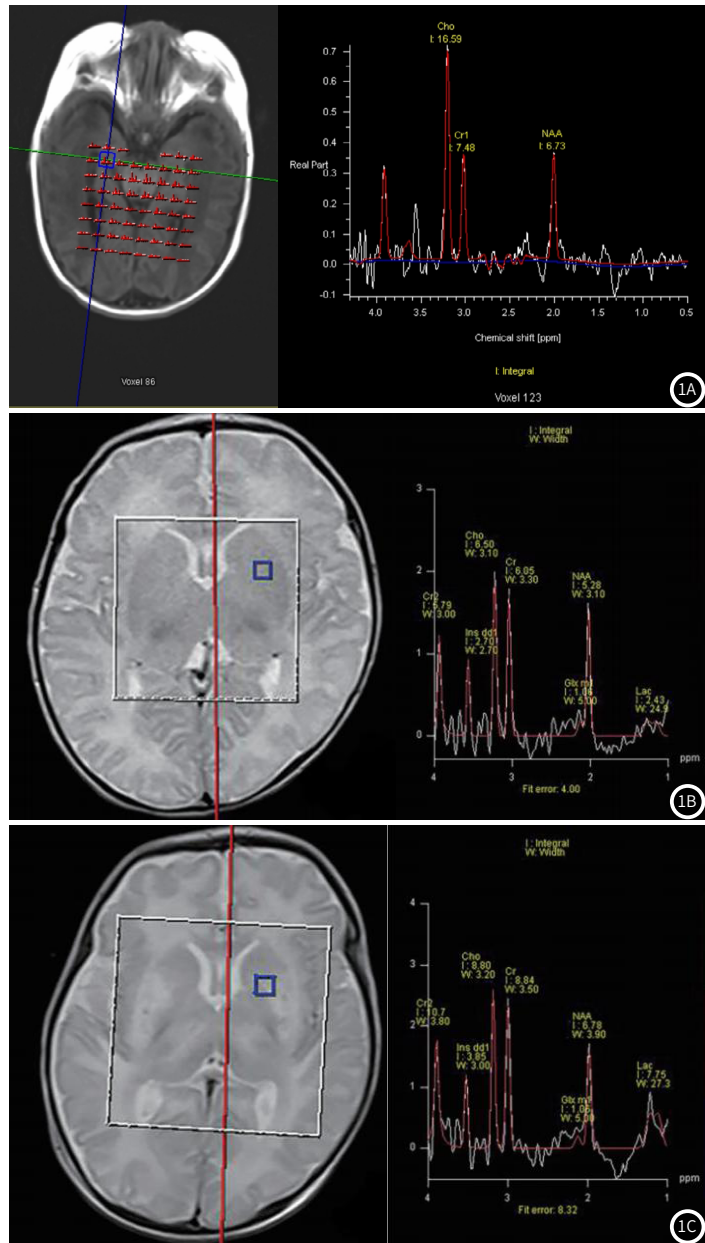


图1A-图1C 病例组与对照组MRS波谱图像；图1A 正常早产儿MRS波谱成像；图1B 早产儿轻度缺氧缺血性脑病豆状核区MRS波谱图像；图1C 早产儿重度缺氧缺血性脑病豆状核区MRS波谱图像。

2.2 MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤的关系 经点二列相关性检验显示NAA、NAA/Cr、rADC与早产儿脑白质损伤存在负相关关系(r<0, P<0.05)；Cr与早产儿脑白质损伤存在正相关关系(r>0, P<0.05)。见表2。

表2 MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤的关系

指标	r	P
NAA	-0.224	0.001
Cr	0.226	0.001
NAA/Cr	-0.182	0.010
rADC	-0.179	0.011

2.3 联合诊断价值 将早产儿脑白质损伤作为状态变量，将NAA、Cr、NAA/Cr以及rADC作为检验变量，绘制ROC曲线显示，NAA、Cr、NAA/Cr以及rADC对早产儿脑白质损伤诊断具有较低的诊断价值，AUC分别为0.629、0.630、0.605、0.603；MRS联合DWI具有良好的诊断价值，AUC为0.713。见表3、图2。

表3 联合诊断价值

指标	AUC	95%CI	cut-off值	P	灵敏度	特异度	约登指数
NAA	0.629	0.552-0.706	4862.500	0.002	0.343	0.908	0.251
Cr	0.630	0.553-0.707	6247.500	0.001	0.529	0.684	0.213
NAA/Cr	0.605	0.523-0.686	0.755	0.011	0.382	0.939	0.321
rADC	0.603	0.523-0.683	2.385	0.012	0.451	0.796	0.247
MRS联合DWI	0.713	0.641-0.784	0.624	<0.001	0.500	0.878	0.378

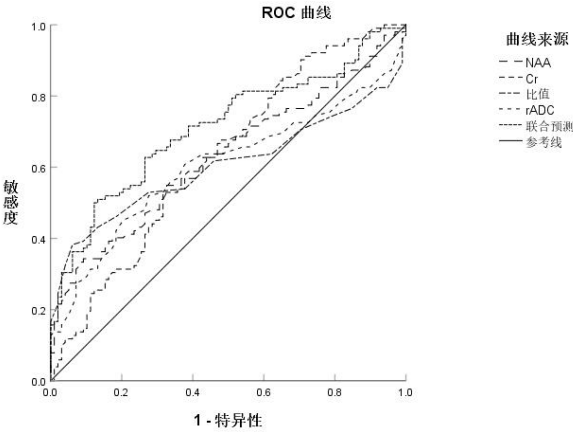


图2 MRS、DWI以及二者联合诊断早产儿脑白质损伤的ROC图

2.4 不同预后患儿MRS代谢指标、DWI参数水平 随访结果显示21例患儿显示边缘状态，53例显示发育异常，共74例，均归为预后不良组，占比为72.55%(74/102)；另28例发育良好，归为预后良好组，占比为26.92%(28/102)。预后不良组患儿NAA、NAA/Cr、rADC明显低于预后良好组，差异有统计学意义($P<0.05$)；预后不良组Cr明显高于预后良好组，差异有统计学意义($P<0.05$)。见表4。

2.5 MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤预后的关系 经点二列相关性检验显示，NAA、NAA/Cr、rADC与脑白质损伤

患儿预后不良存在负相关关系($r<0$ ， $P<0.05$)；Cr与预后不良存在正相关关系($r>0$ ， $P<0.05$)。见表5。

2.6 联合评估价值 将脑白质损伤患儿预后作为状态变量，将NAA、NAA/Cr、rADC以及Cr作为检验变量，绘制ROC曲线显示NAA、NAA/Cr以及rADC对脑白质损伤患儿预后具有较低的评估价值，AUC分别为0.641、0.639、0.688；Cr、MRS联合DWI对脑白质损伤患儿预后具有良好的评估价值，且以联合评估价值最高，AUC分别为0.755、0.833。见表6、图3。

表4 不同预后患儿MRS代谢指标、DWI参数水平

组别	例数	NAA	Cr	NAA/Cr	rADC
预后不良组	74	5450.80±263.49	5800.36±125.34	0.92±0.11	2.57±0.11
预后良好组	28	5602.36±302.35	5672.75±130.71	0.96±0.12	2.64±0.12
t	-	2.488	4.536	2.480	2.633
P	-	0.014	<0.001	0.015	0.010

表5 MRS代谢指标、DWI参数与早产儿脑白质损伤预后的关系

指标	r	P
NAA	-0.219	0.027
Cr	0.395	<0.001
NAA/Cr	-0.216	0.029
rADC	-0.291	0.003

表6 联合评估价值

指标	AUC	95%CI	cut-off值	P	灵敏度	特异度	约登指数
NAA	0.641	0.513-0.770	5685.500	0.028	0.824	0.500	0.324
Cr	0.755	0.646-0.865	5661.000	<0.001	0.878	0.571	0.449
NAA/Cr	0.639	0.517-0.762	0.945	0.030	0.554	0.714	0.268
rADC	0.688	0.570-0.805	2.665	0.004	0.811	0.500	0.311
MRS联合DWI	0.833	0.740-0.927	0.711	<0.001	0.784	0.750	0.534

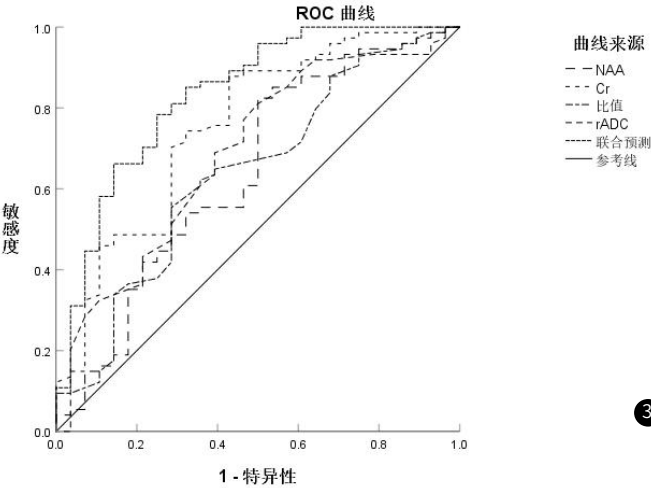


图3 MRS、DWI以及二者联合评估脑白质损伤患儿预后的ROC图

3 讨论

由于脑血流自动调节功能与脑组织血管发育不成熟的影响,极易形成压力被动性脑循环,对处于动脉供血终末区的脑白质造成缺血、缺氧性损伤^[8]。据流行病学调查显示早产儿中脑白质损伤的发生率约为2.3%,且一旦出现极易引起神经发育功能障碍,给日后生活带来巨大影响^[9]。既往研究表明,早期实施干预可有效减轻神经损伤程度,缓解智力异常^[10]。MRS与DWI均属于磁共振功能成像技术,能够有效反映解剖结构、分析生物代谢生化指标变化等,定性、定量分析脑白质组织以及代谢水平,在判定放射性脑损伤、脑血管疾病中发挥重要作用^[11-12]。因此推断二者联合或可在早产儿脑白质损伤的早期诊断、评估预后中发挥重要作用。

本研究通过绘制ROC发现,MRS代谢指标联合DWI定量参数在早产儿脑白质损伤的早期诊断、评估预后具有良好的应用价值。分析是因二者联合可以从水分子运动、能量代谢等方面综合判断脑组织内部的组织学改变、代谢生理情况,进而提高诊断、评估的准确性。本研究通过回顾性分析还发现与对照组比较,病例组患儿的NAA、NAA/Cr更低,Cr更高,经点二列相关性检验显示上述指标均与早产儿脑白质损伤存在关系。在相同磁场作用下,不同细胞核的受磁屏蔽程度不同,造成其产生不同的共振频率,进而共振峰所在的位置也有所区别。正常机体环境中脑组织不同代谢物的浓度相对稳定,而病理状态下由于细胞损伤的影响,脑组织代谢物浓度会发生改变,而MRS则可通过检测脑组织代谢物的共振峰位置来分析其浓度改变,进而判定是否存在脑白质损伤^[13]。NAA是主要位于成熟神经突、神经元内的代谢产物,也是MRS评价脑组织状态的重要质子波峰^[14]。当患儿发生脑白质损伤时,神经元功能障碍,导致NAA的释放量减少。此外,NAA浓度也直接反映了神经元的数量以及其完整、成熟性,脑损伤患儿必然伴随神经元的凋亡与功能障碍,因此其NAA表现出下降状态。Cr是广泛存在于脊椎动物体内的含氮有机酸,能够与磷酸肌酸相互转化,使得三磷酸腺苷与二磷酸腺苷比值维持在相对稳定的水平,进而在保证三磷酸腺苷供能效果的同时减少腺苷的流失,维持细胞代谢的稳定,也是细胞内能量代谢的重要标志物,其在高代谢状态下处于较低水平,低代谢状态下则会升高。而脑白质损伤存在不同程度的脑细胞、神经元坏死,其代谢水平较低,因此Cr处于升高状态。NAA、Cr均属脑组织代谢产物,因此二者变化具有同时性,而NAA/Cr则能综合反映二者变化,因此病例组NAA/Cr处于较低水平。张福勇等^[15]研究也显示观察组(早产儿脑白质损伤)NAA、NAA/Cr低于对照组(足月儿无脑白质损伤),本研究结论基本与之一致,但在其研究中两组Cr比较并无明显差异,本研究与之相悖,分析因检测时间不同有关。此外本研究通过随访脑白质损伤患儿预后情况还发现,预后不良组患儿的NAA、NAA/Cr低于预后良好组,Cr高于预后良好组,经点二列相关性检验显示上述指标均与脑白质损伤患儿预后存在关系,分析与预后不良组患儿脑损伤、神经元凋亡程度更为严重有关。

DWI是临床上检测脑损伤的重要手段,rADC是反映水分子运动形式的定量指标。蔡勇等^[16]通过探讨DWI与自发性脑出血患者二次脑损伤的关系发现,SBI组(发生二次脑损伤)rADC低于对照组(未发生二次脑损伤)。本研究进一步分析两组早产儿的rADC也发现,病例组rADC明显低于对照组,经点二列相关性检验也显示rADC与早产儿脑白质损伤存在负相关关系。DWI是通过观察组织内不规则运动的一种检查手段,水分子扩散能力的改变必然会导致信号强度发生变化,而DWI则可捕捉此类信号,以此作为判定脑组织内解剖结构是否异变的依据,而ADC则是用来反映水分子扩散能力的定量指标。当早产儿出现脑白质损伤,由于炎症因子、缺血、缺氧性改变造成轴突细胞内水肿,从而影响水分子的扩散能力,导致其运动能力大幅减弱、ADC数值降低。不仅如此细胞水肿减少细胞外间隙,限制水分子横向扩散,进一步降低ADC。因此相较于对照组,病例组rADC数值较低。且本研究还显示预后不良组患儿的rADC明显低于预后良好组,分析与脑白质损伤造成周围组织水肿,限制水分子运动有关。但需要注意的是ADC不仅受水分子运动的影响,还被微循环灌注影响,进而导致ADC数值有所改变。因此单一rADC指标的诊断价值较低。

综上所述,MRS、DWI作为目前临床上应用较为普遍的两种影像学检查技术,在早产儿脑白质损伤早期诊断与评估预后方面均有一定的应用价值,且二者联合能进一步提高诊断、评估的准确率。但本研究也存在一定不足之处,例如未对比新生儿期与6个月时病例组患儿的MRS代谢指标及DWI参数差异,且本研究为回顾性研究,存在选择偏倚现象,后续还有待开展补充试验进一步论证。

参考文献

- [1] 杨粉,贾毅,吴新婷,等.足月儿与早产儿局灶性脑白质损伤不同MRI序列扫描信号特征研究[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(11):4-6,34.
- [2] 杨晓云,张林,杨丽萍,等.弥散加权成像与振幅整合脑电图在评估脑白质损伤早产儿神经发育预后的研究[J].中国医学装备,2022,19(12):71-75.
- [3] 林颖仪,黄水清.早产儿脑损伤影像学及脑电图诊断的研究进展[J].临床儿科杂志,2017,35(7):548-552.
- [4] 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氧缺血性脑病严重程度[J].临床放射学杂志,2021,40(8):1577-1582.
- [5] 王卫平,孙锐,常立文.儿科学(第9版)[M].北京:人民卫生出版社,2018:88.
- [6] 刘敬,俞惠民,毛健,等.早产儿脑损伤诊断与防治专家共识[J].中国当代儿科杂志,2012,14(12):883-884.
- [7] 李玲,焦云,黄翠,运动障碍儿童Gesell发育量表评估情况分析[J].中国康复理论与实践,2012,18(11):1060-1061.
- [8] Gilles FH,Leviton A.Neonatal white matter damage and the fetal inflammatory response[J].Semin Fetal Neonatal Med,2020,25(4):101111.
- [9] 杨淑钰,徐发林,程慧清,等.早期应用重组人促红细胞生成素对早产儿脑白质发育的影响[J].中国当代儿科杂志,2018,20(5):346-351.
- [10] 龙莎莎,程国强.早产儿脑白质损伤治疗的循证医学进展[J].临床儿科杂志,2015,33(3):287-290.
- [11] 孟名柱,周胜利,苗重昌,等.DWI联合¹H-MRS多参数分析鉴别胶质瘤术后复发与放射性脑损伤[J].中国医学影像技术,2011,27(5):905-909.
- [12] 王小洁,吴可盈,莫信,等.ASL及DWI与急性脑卒中患者临床神经功能受损程度的相关性[J].广东医学,2023,44(2):246-250.
- [13] 胡霞,肖慧,周苏健,等.氢质子磁共振波谱成像技术在创伤性脑损伤后认知障碍中的应用[J].国际神经病学神经外科学杂志,2021,48(2):197-201.
- [14] 李仰康,刘国瑞,周修国,等.实验性缺氧缺血性脑损伤的表现扩散系数和氢质子MR波谱与病理学的对照研究[J].中华放射学杂志,2006,40(11):1205-1209.
- [15] 张福勇.磁共振弥散张量成像和波谱成像对早产儿缺血缺氧脑白质损伤的诊断价值[J].中国医学装备,2015,12(12):107-110.
- [16] 蔡勇,钟兴明,汪一棋,等.磁共振波谱成像联合弥散加权成像对自发性脑出血后二次脑损伤的预测价值[J].中华危重病急救医学,2020,32(11):1336-1339.
- [17] 洪菲,叶蕾,宋磊.早产儿脑损伤的MRI扩散张量成像及超声诊断分析[J].中国CT和MRI杂志,2022,20(9):6-8.
- [18] 庞云,王丹军,曲侠,等.382例早产儿颅脑超声检查及结果分析[J].罕少疾病杂志,2010,17(3):4-5.
- [19] 张伟艳,陆凡,徐婷,等.新生儿缺氧缺血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.
- [20] 孙飞月,李云.MRI联合MRS在脑胶质瘤复发、假性进展和放射性脑损伤中鉴别诊断中的运用价值[J].罕少疾病杂志,2022,29(6):22-25.

(收稿日期:2023-11-21)

(校对编辑:姚丽娜)