

脑性瘫痪儿童头颅 MRI 表现与其临床特点分析

王军 周丽杰 郭倩玉 李兵兵 苏春娅 袁俊英 朱登纳 熊华春 宋娟 曹洋洋

郑州大学第三附属医院、河南省儿科疾病临床医学研究中心, 郑州 450052

通信作者: 王军, Email: wj3028@163.com

【摘要】 目的 探讨脑性瘫痪(脑瘫)儿童头颅核磁共振成像(MRI)与脑瘫分型、粗大运动功能分级、脑瘫合并症间的关系。**方法** 选取 2020 年 10 月至 2021 年 3 月期间在郑州大学第三附属医院儿童康复科诊治的 325 例脑瘫儿童作为研究对象, 上述患儿均给予头颅 MRI 检查, 并采用粗大运动功能分级系统对其粗大运动功能水平进行评级。采用单因素、多因素 Logistic 回归方法对患儿头颅 MRI 异常表现与粗大运动功能分级结果进行相关性分析; 采用卡方检验分析 MRI 异常结果与脑瘫合并症间的关系。**结果** 本研究入选脑瘫患儿的头颅 MRI 呈现多种异常改变, 通过多因素 Logistic 回归分析发现脑发育不良($OR = 8.530, 95\% CI: 5.031-14.330$)、脑室扩大($OR = 4.611, 95\% CI: 1.327-10.297$)、脑室周围白质软化症(PVL)($OR = 4.313, 95\% CI: 2.084-8.153$)、丘脑异常信号($OR = 6.372, 95\% CI: 3.160-11.175$)、缺血缺氧性脑病后变化($OR = 7.249, 95\% CI: 2.354-13.642$)均与患儿粗大运动功能损伤严重程度间存在显著相关性($P < 0.05$)。通过卡方检验发现 PVL 患儿多合并视力障碍(62.1%), 胼胝体变薄患儿多合并智力低下(14.0%), 丘脑异常信号患儿多合并听力障碍(66.7%)及语言障碍(30.8%)。**结论** 本研究入选患儿头颅 MRI 结果与其脑瘫分型、粗大运动功能评级、脑瘫合并症间均具有显著相关性, 可用于脑瘫儿童早期诊断及预后评估, 为临床制订康复计划提供参考资料。

【关键词】 脑性瘫痪; 核磁共振成像; 临床特征; 儿童; 相关性

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(202102310359)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.09.008

Magnetic resonance imaging of children with cerebral palsy and their clinical characteristics

Wang Jun, Zhou Lijie, Guo Qianyu, Li Bingbing, Su Chunya, Yuan Junying, Zhu Dengna, Xiong Huachun, Song Juan, Cao Yangyang

Henan Clinical Research Center for Pediatric Diseases, The Third Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Corresponding author: Wang Jun, Email: wj3028@163.com

【Abstract】 Objective To document the clinical features of children with cerebral palsy (CP) using magnetic resonance imaging (MRI). **Methods** The gross motor functioning of 325 children diagnosed as having CP was graded using the gross motor function classification system (GMFCS). The GMFCS grades were correlated with MRI results in univariate and multivariate logistic regression analyses. The significance of any relationship between the MRI results and co-morbidities was tested using chi-squared tests. **Results** Cerebral dysplasia, cerebroventricular enlargement, periventricular leukomalacia (PVL), abnormal signals in the thalami, and morphological changes after hypoxic ischemic encephalopathy were all found to be significantly correlated with GMFCS grading. Moreover, the chi-squared tests indicated that PVL children, children with thinning of the corpus callosum and/or abnormal signals in the thalami were significantly more likely to have visual, auditory or speech impairment complications and/or mental retardation. **Conclusions** The findings from MRI correlate well with types of CP, GMFCS grades and co-morbidities among CP children. MRI can be an effective tool for early diagnosis and prognosis of CP in children, indicating needs for clinical rehabilitation.

【Key words】 Cerebral palsy; Magnetic resonance imaging; Clinical features; Children; Correlation analysis

Funding: A Department of Science and Technology of Henan Province Key Research and Development and Promotion Special Project (202102310359)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.09.008

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)是一组持续存在的运动、姿势发育障碍、活动受限症候群,是由于发育中胎儿或婴幼儿脑部非进行性损伤所致,临床通常将脑瘫

分为痉挛型、不随意运动型、共济失调型及混合型^[1]。目前脑瘫是影响我国儿童健康的最严重肢体致残性疾病,近年来相关统计显示我国脑瘫发病率为 2.48‰,

患病率为 2.46%^[2],多数患儿需终身康复,给其家庭及社会带来沉重负担。脑瘫的直接病因是脑损伤,头颅磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查在脑瘫诊疗中发挥重要作用。既往有大量涉及脑瘫高危因素的 MRI 对比研究^[3],但鲜见 MRI 异常表现与脑瘫患儿分型、粗大运动功能分级(gross motor function classification system, GMFCS)及并发症间的相关性报道。基于此,本研究通过分析脑瘫患儿头颅 MRI 表现与其脑瘫分型、粗大运动功能分级及并发症间的相关性,初步探讨头颅 MRI 在小儿脑瘫临床诊断及康复中的价值,有助于提高脑瘫儿童的早期诊断及康复水平。

对象与方法

一、研究对象

选取 2020 年 10 月至 2021 年 3 月期间在郑州大学第三附属医院儿童康复科住院治疗并行头颅 MRI 检查的脑瘫儿童作为研究对象。患儿纳入标准包括:①均符合《中国脑性瘫痪康复指南》关于脑瘫的诊断标准^[4];②患儿家属对本研究知晓并签署知情同意书,同时本研究经郑州大学第三附属医院医学伦理委员会审批[(伦)审编号:2022-026-01]。患儿排除标准包括:①患有遗传性代谢性疾病;②有一过性运动发育障碍;③患有先天性颅脑发育畸形;④有脑炎、颅脑外伤等其他脑损伤;⑤因各种原因无法配合治疗或评估等。共有 325 例脑瘫患儿入选,其中男 218 例,女 107 例;年龄最小 5.23 个月,最大 76.15 个月,平均(41.60±12.32)个月。

二、研究方法

根据课题组设计方案,调取住院脑瘫患儿电子病历,记录患儿一般资料情况、头颅 MRI 结果、脑瘫分型、GMFCS 分级及合并症等信息,探讨 MRI 结果与脑瘫分型、GMFCS 分级及脑瘫合并症间的相关性。

入选脑瘫患儿 GMFCS 分级由儿童康复科副主任以上医师及评估师共同评定,具体评定标准如下:Ⅰ级指儿童能独立在室内及室外行走、爬楼梯,并开始跑和跳;Ⅱ级指儿童行走受限,如平衡功能或耐力受限;Ⅲ级指儿童能够在几乎无外界帮助情况下保持坐位,并能够站着完成转移;Ⅳ级指儿童可以坐着,但自主行动能力受限;Ⅴ级指儿童头部及躯干控制方面严重受限,需使用电动轮椅才能自主移动^[5]。

三、统计学方法

采用 SPSS 20.0 版统计学软件包进行数据分析,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料以频数分布或百分比表示,将 GMFCS 分级Ⅰ~Ⅲ级患儿归为运动功能损伤较轻组(赋值为 0),将 GMFCS 分级Ⅳ~Ⅴ级患儿归为运动功能损伤较重组(赋值为 1),

选用单因素及多因素 Logistic 回归分析探讨 GMFCS 分级与 MRI 结果的相关性,计数资料或率的比较采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、入选脑瘫患儿一般资料情况分析

本研究共有 325 例脑瘫患儿入选,按照脑瘫类型进行分类,共有痉挛型瘫痪(包括痉挛型双瘫、痉挛型偏瘫、痉挛型四肢瘫)患儿 255 例(78.5%),不随意运动型患儿 19 例(5.8%),共济失调型患儿 27 例(8.2%),混合型患儿 24 例(7.5%),具体情况见表 1。

表 1 入选脑瘫患儿临床分型及 GMFCS 分级情况对比(n=325)

患儿临床资料	例数	百分比(%)
临床分型		
痉挛型		
痉挛型双瘫	142	43.7
痉挛型偏瘫	70	21.5
痉挛型四肢瘫	43	13.3
不随意运动型	19	5.8
共济失调型	27	8.2
混合型	24	7.5
GMFCS 分级		
Ⅰ级	68	21.1
Ⅱ级	142	43.8
Ⅲ级	67	20.6
Ⅳ级	30	9.1
Ⅴ级	18	5.4

二、入选脑瘫患儿 MRI 结果与脑瘫分型的相关性分析

本研究痉挛型脑瘫患儿中最常见的 MRI 异常表现包括脑室周围白质软化(periventricular leukomalacia, PVL)(39.6%)及蛛网膜下腔增宽(29.8%);不随意运动型患儿最常见的 MRI 表现包括丘脑异常信号(47.4%)、PVL(42.1%)及脑室扩大(36.8%);共济失调型患儿最常见的 MRI 表现包括脑发育不良(44.4%)、PVL(22.2%)及胼胝体变薄(18.5%);混合型患儿最常见的 MRI 表现包括 PVL(45.8%)及脑室扩大(37.5%),具体情况见表 2。

三、GMFCS 分级与 MRI 异常结果的单因素 Logistic 回归分析

以 GMFCS 轻重等级为因变量(GMFCS 分级Ⅰ~Ⅲ级赋值为 0,GMFCS 分级Ⅳ~Ⅴ级赋值为 1),以脑室周围白质软化(PVL)、蛛网膜下腔增宽、脑畸形、脑萎缩、脑软化、髓鞘发育不良、脑发育不良等 11 种 MRI 异常表现为自变量(有=1,无=0)进行单因素 Logistic 回归分析,结果显示 PVL、脑发育不良、脑室扩大、髓鞘

发育不良、胼胝体变薄、脑积水、缺氧缺血性脑病后、丘脑异常信号等 MRI 表现与脑瘫患儿 GMFCS 分级具有显著相关性(均 $P<0.05$),具体结果见表 3。

四、GMFCS 分级与 MRI 异常结果的多因素 Logistic 回归分析

通过多因素 Logistic 回归分析发现,最终进入回归方程的变量包括脑发育不良、脑室扩大、PVL、丘脑异常信号及缺氧缺血性脑病后,上述 MRI 异常结果可认为与脑瘫 GMFCS 分级具有相关性,如患儿头颅 MRI 检查结果上述指标阳性多倾向于患有重度脑瘫,具体情况见表 4。

五、入选患儿 MRI 异常结果与脑瘫合并症间的相关性分析

采用卡方检验分析入选患儿 MRI 异常结果与合

并症间的相关性,发现 MRI 显示 PVL 的脑瘫患儿多合并视力障碍(62.1%),胼胝体变薄患儿多合并智力低下(14.0%),丘脑异常信号患儿多合并听力障碍(66.7%)及语言障碍(30.8%),具体情况见表 5。

讨 论

在临床治疗中发现,许多脑瘫患儿在新生儿期运动障碍表现不显著,其运动问题直至婴儿或儿童时期才被发现,导致患儿失去最佳治疗时机,故早期诊断脑瘫并介入运动康复训练具有重要临床意义,能延缓患儿运动功能受损,改善其日常生活活动能力。头颅 MRI 是非侵入性检查脑损伤的可视化方法,通过 MRI 检查并结合临床病史可确定脑部异常部位及性质,对评估、诊疗脑瘫患儿及制订脑瘫干预策略具有重要作

表 2 本研究入选脑瘫患儿 MRI 结果与脑瘫分型的相关性分析[例(%)]

MRI 异常表现	痉挛型	不随意运动型	共济失调型	混合型
PVL	101(39.6)	8(42.1)	6(22.2)	11(45.8)
蛛网膜下腔增宽	76(29.8)	6(31.6)	4(14.8)	7(29.2)
脑畸形	10(3.9)	2(10.5)	2(7.4)	3(12.5)
脑萎缩,脑软化	26(10.2)	5(26.3)	3(11.1)	8(33.3)
髓鞘发育不良	52(20.4)	4(21.1)	3(11.1)	6(25.0)
脑发育不良	24(9.4)	4(21.1)	12(44.4)	5(20.8)
脑室扩大	60(23.5)	7(36.8)	2(7.4)	9(37.5)
胼胝体变薄	17(6.7)	3(15.8)	5(18.5)	8(33.3)
缺氧缺血性脑病后	19(7.5)	5(26.3)	1(3.7)	4(16.7)
脑积水	14(5.5)	2(10.5)	1(3.7)	4(16.7)
丘脑异常信号	9(3.5)	9(47.4)	0	2(8.3)

表 3 入选患儿 GMFCS 分级与 MRI 异常结果的单因素 Logistic 回归分析

MRI 异常结果	β	SE	Wald	P	OR(95%CI)
PVL	0.324	0.329	0.970	0.025	6.383(4.726-7.634)
蛛网膜下腔增宽	-0.422	0.296	2.032	0.154	0.656(0.367-1.171)
脑畸形	1.194	0.816	2.138	0.144	3.300(0.666-10.344)
脑萎缩,脑软化	-0.184	0.328	0.316	0.574	0.832(0.437-4.583)
髓鞘发育不良	-1.240	0.536	5.340	0.021	0.289(0.101-3.828)
脑发育不良	3.591	0.845	9.052	0.000	11.259(6.919-17.014)
脑室扩大	1.528	0.450	9.549	0.001	6.611(3.910-13.132)
胼胝体变薄	-2.298	0.778	8.728	0.003	0.700(0.022-2.461)
缺氧缺血性脑病后	2.939	0.726	6.384	0.000	9.089(3.553-15.374)
脑积水	2.278	0.629	3.139	0.045	6.759(2.847-13.449)
丘脑异常信号	1.462	0.856	2.914	0.014	8.313(4.805-18.099)

表 4 入选患儿 GMFCS 分级与 MRI 异常结果的多因素 Logistic 回归分析

MRI 异常结果	β	SE	Wald	P	OR(95%CI)
脑发育不良	3.591	0.845	7.138	0.000	8.530(5.031-14.330)
脑室扩大	1.528	0.450	2.136	0.001	4.611(1.327-10.297)
缺氧缺血性脑病后	2.939	0.726	1.442	0.000	7.249(2.354-13.642)
PVL	2.278	0.629	3.245	0.000	4.313(2.084-8.153)
丘脑异常信号	1.462	0.856	3.016	0.028	6.372(3.160-11.175)

表 5 入选脑瘫患儿 MRI 异常结果与主要合并症间的相关性分析

MRI 异常结果	智力低下 [例(%)]	语言障碍 [例(%)]	视力障碍 [例(%)]	听力障碍 [例(%)]	χ^2	<i>P</i> 值
PVL					35.16	0.024
是	32(23.5)	22(20.1)	41(62.1)	28(58.3)		
否	19(18.1)	11(12.5)	8(31.6)	5(25.7)		
蛛网膜下腔增宽					6.29	0.154
是	21(15.4)	30(28.0)	6(9.1)	11(22.9)		
否	22(19.3)	18(23.9)	5(8.5)	6(17.3)		
脑畸形					23.37	0.433
是	9(6.6)	24(22.4)	18(27.3)	12(25.0)		
否	12(9.2)	10(12.4)	15(31.6)	10(28.8)		
脑萎缩、脑软化					43.20	0.601
是	45(33.1)	12(11.2)	19(28.8)	8(16.7)		
否	17(19.0)	7(7.1)	11(22.4)	5(13.2)		
髓鞘发育不良					62.58	0.783
是	8(5.9)	5(4.7)	10(15.2)	3(6.3)		
否	11(8.4)	4(4.3)	5(9.8)	2(3.5)		
脑发育不良					9.46	0.195
是	9(6.6)	7(6.5)	2(3.0)	15(31.3)		
否	7(5.4)	6(6.3)	1(2.3)	9(26.2)		
脑室扩大					17.05	0.269
是	22(16.2)	16(15.0)	6(9.1)	4(8.3)		
否	17(14.5)	9(10.1)	4(7.4)	3(7.8)		
胼胝体变薄					29.14	0.008
是	19(14.0)	5(4.8)	3(4.5)	4(8.3)		
否	11(9.4)	3(2.5)	1(2.2)	3(5.7)		
缺氧缺血性脑病后					14.38	0.220
是	26(19.1)	17(15.9)	8(12.1)	9(18.8)		
否	18(16.7)	11(12.0)	5(8.6)	5(12.3)		
脑积水					52.63	0.625
是	6(4.4)	2(1.9)	13(19.7)	10(20.8)		
否	4(3.1)	1(1.2)	10(18.8)	8(21.1)		
丘脑异常信号					31.44	0.019
是	2(1.5)	33(30.8)	3(4.5)	32(66.7)		
否	1(1.1)	19(26.2)	2(3.6)	7(45.5)		

用^[6-7]。粗大运动功能分级系统(GMFCS)可用来评价脑瘫患儿运动受损程度,目前已在国际上广泛使用。头颅 MRI 及 GMFCS 分级皆可用于评价脑瘫患儿病情,本研究旨在探讨 MRI 异常结果与脑瘫患儿分型、粗大运动功能分级及合并症间是否存在相关性。

本研究发现入选脑瘫患儿 MRI 异常表现主要包括 PVL、脑发育不良、胼胝体变薄、丘脑病变、脑室扩大、蛛网膜下腔增宽、脑软化、脑萎缩等;不同类型脑瘫患儿其 MRI 结果表现各异,因此可通过 MRI 表现大致判断不同类型脑瘫患儿脑损伤部位,如痉挛型脑瘫患儿 MRI 多显示 PVL,由于 PVL 损伤区域位于侧脑室周围白质中,而负责支配肢体运动的皮质脊髓束经过该区域,若皮质脊髓束受累严重,则患儿运动功能明显障碍,临床表现为痉挛型脑瘫,与相关报道结果基本一致^[8]。不随意运动型患儿多表现为丘脑异常高信号、皮质萎缩等,与袁光骅等^[9]报道结果基本相符。共济失调型患儿 MRI 异常结果为广泛的小脑发育不良,如

最常见的小脑蚓部病变会影响躯干平衡性,小脑半球病变则导致肢体协调能力欠佳,与 Towsley 等^[10]研究结果类似,因此可参考 MRI 结果判断患儿脑损伤部位及脑瘫类型,以便快速制订科学的康复计划。

本研究进一步发现 MRI 异常结果与患儿 GMFCS 分级具有明显相关性,如 MRI 表现为 PVL、脑发育不良、脑室扩大、缺氧缺血性脑病后、丘脑异常信号的脑瘫儿童更倾向于重度脑瘫。其原因包括以下方面:PVL 主要发生在脑室周围分水岭区白质部位(该区域代谢水平较高),是脑瘫患儿最严重、也是最常见的 MRI 异常结果^[11];胎儿期脑室周围深部白质区血管发育不完全、数量较少,自调范围有限,容易形成被动压力脑循环,当氧供减少和(或)血流降低时极易发生脑室周围白质损伤,对脑功能造成严重影响^[12-13]。脑室不同程度扩大同样为脑发育不良的具体表现,小脑发育不良多见于小脑蚓部及半球下部发育不全,常导致共济失调型脑瘫,患儿运动功能受损严重(此时躯体

平衡及肌张力调节均受影响),其行动迟缓、学习走路时间较晚(通常在 6 岁以后),很难实现独立行走及体位转换;当患儿发生缺血缺氧性脑病后,损伤可累及双侧尾状核、壳核及下丘脑,此时患儿 GMFCS 分级大多为 II 级或以上,表现为重度脑瘫^[14-15]。上述研究均表明 MRI 检查结合 GMFCS 分级可作为有效评估脑瘫患儿病情、治疗及预后的重要手段,从而为临床医生制订脑瘫儿童康复方案提供参考资料。

另外,本研究还发现 MRI 异常表现与脑瘫患儿合并症间也存在一定关联性,如 PVL 患儿多合并有视力(62.1%)、听力障碍(58.3%);胼胝体变薄患儿多合并有智力低下(14.0%);丘脑异常信号患儿多合并有听力障碍(66.7%)、语言障碍(30.8%),与国外研究结果类似^[16]。Fazzi 等^[17]也发现 PVL 患儿多伴有视觉-知觉障碍,这可能是由于脑白质损伤引起视觉整合枕-顶叶通路故障,导致眼-手协调能力及实际构建能力缺陷。有学者通过弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)的各向异性分数值(fractional anisotropy, FA)定量描述胼胝体纤维束发育程度,发现 FA 值与发育商(development quotient, DQ)具有正相关性,提示脑瘫患儿并发智力低下可能与胼胝体损伤或发育不良有关^[18]。丘脑及脑干中的神经核被认为能传递感觉信息到听觉皮质,既往有学者对感音神经性耳聋患者进行 MRI 检查,发现其听觉通路白质 DTI 异常,包括下丘脑的外侧丘^[19];另一项研究发现 13 例先天性耳聋患者的丘脑-皮质束 DTI 异常^[20],并认为与患者听觉丧失有关。上述研究结果均提示脑瘫患儿并发听力障碍可能与丘脑结构受损有关。

综上所述,脑瘫对患儿具有严重危害,早期诊断、治疗对抑制病情进展具有重要意义, MRI 检查可对脑部病变部位进行定量、定性客观描述,其异常表现与患儿脑瘫类型、运动功能受损程度及合并症等密切相关^[21],可用于脑瘫儿童的早期诊断及评估,对脑瘫患儿的康复方案制订具有重要参考作用。

参 考 文 献

- [1] Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, et al. Cerebral palsy in children: a clinical overview [J]. *Transl Pediatr*, 2020, 9(S1): 125-135. DOI: 10.21037/tp.2020.01.01.
- [2] 李晓捷,邱洪斌,姜志梅,等.中国十二省市小儿脑性瘫痪流行病学特征[J].*中华实用儿科临床杂志*, 2018, 33(5): 378-383. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.05.013.
- [3] 王耸,程洪斌,伊龙,等.1060 例脑性瘫痪患者 MRI 表现及其与临床特征的关系[J].*山东大学学报(医学版)*, 2017, 55(12): 36-42. DOI: 10.6040/j.issn.1671-7554.0.2017.825.
- [4] 唐久来,秦炯,邹丽萍,等.中国脑性瘫痪康复指南(2015):第一部分[J].*中国康复医学杂志*, 2015, 30(7): 747-754. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2015.07.028.

- [5] 马丹,王秋,李娜,等.粗大运动功能分级系统在脑性瘫痪中的应用研究进展[J].*中国儿童保健杂志*, 2015, 23(6): 607-609. DOI: 10.11852/zgetb. jzz2015-23-06-15.
- [6] Pagnozzi AM, Gal Y, Boyd RN, et al. The need for improved brain lesion segmentation techniques for children with cerebral palsy: A review [J]. *Int J Dev Neurosci*, 2015, 47(B): 229-246. DOI: 10.1016/j.ijdevneu.2015.08.004.
- [7] Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options [J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2020, 16: 1505-1518. DOI: 10.2147/NDT.S235165.
- [8] Msall ME, Limperopoulos C, Park JJ. Neuroimaging and cerebral palsy in children [J]. *Minerva Pediatr*, 2009, 61(4): 415-424.
- [9] 袁光骅,王鹏.脑性瘫痪患儿 MRI 表现及危险因素分析[J].*中国 CT 和 MRI 杂志*, 2020, 18(5): 62-65. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2020.05.020.
- [10] Towsley K, Shevell MI, Dagenais L, et al. Population-based study of neuroimaging findings in children with cerebral palsy [J]. *Eur J Paediatr Neurol*, 2011, 15(1): 29-35. DOI: 10.1016/j.ejpn.2010.07.005.
- [11] Back SA, Luo NL, Borenstein NS, et al. Late oligodendrocyte progenitors coincide with the developmental window of vulnerability for human perinatal white matter injury [J]. *J Neurosci*, 2001, 21(4): 1302-1312. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.21-04-01302.2001.
- [12] Ali A, Yaşın R, Ünlütür-Gümüştas A. Cranial MR characteristics of cerebral palsy cases and correlation of findings with clinical results [J]. *Turk J Pediatr*, 2019, 61(4): 525-537. DOI: 10.24953/turkjped.2019.04.009.
- [13] Sik N, Sarioglu FC, Oztekin O, et al. Evaluation of the relationship between cranial magnetic resonance imaging findings and clinical status in children with cerebral palsy [J]. *Turk J Med Sci*, 2021, 51(3): 1296-1301. DOI: 10.3906/sag-20.
- [14] Hirvonen M, Ojala R, Korhonen P, et al. Cerebral palsy among children born moderately and late preterm [J]. *Pediatrics*, 2014, 134(6): 1584-1593. DOI: 10.1542/peds.2014-0945.
- [15] Hou M, Fan XW, Li YT, et al. Magnetic resonance imaging findings in children with cerebral palsy [J]. *Zhonghua Er Ke Za Zhi*, 2004, 42(2): 125-128.
- [16] Lee JD, Park HJ, Park ES, et al. Motor pathway injury in patients with periventricular leukomalacia and spastic diplegia [J]. *Brain*, 2011, 134(4): 1199-1210. DOI: 10.1093/brain/awr021.
- [17] Fazzi E, Bova SM, Uggetti C, et al. Visual-perceptual impairment in children with periventricular leukomalacia [J]. *Brain Dev*, 2004, 26(8): 506-512. DOI: 10.1016/j.braindev.2004.02.002.
- [18] 马其舟.早产儿和足月儿脑性瘫痪的危险因素分析及磁共振弥散张量成像的比较[D].安徽医科大学, 2017: 22-32.
- [19] Huang L, Zheng W, Wu C, et al. Diffusion tensor imaging of the auditory neural pathway for clinical outcome of cochlear implantation in pediatric congenital sensorineural hearing loss patients [J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0140643. DOI: 10.1371/journal.pone.0140643.
- [20] Lyness RC, Alvarez I, Sereno MI, et al. Microstructural differences in the thalamus and thalamic radiations in the congenitally deaf [J]. *Neuroimage*, 2014, 100: 347-257. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.05.077.
- [21] 袁俊英,邢庆娜,张利红,等.磁共振成像分类系统在儿童脑性瘫痪中的应用[J].*中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42(11): 978-983. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.004.

(修回日期:2022-06-12)

(本文编辑:易 浩)