

论 著

痉挛型脑瘫患儿相关大脑皮层形态学变化的磁共振研究*

钟玉辉¹ 沈龙山^{1,2,3,*} 程 雯⁴
陈刘成^{2,3,5} 王震寰^{2,6}1.蚌埠医学院第二附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233040)

2.数字医学与智慧健康安徽普通高校重点实验室(蚌埠医学院)蚌埠医学院临床应用解剖研究所(安徽 蚌埠 233004)

3.蚌埠医学院医学影像学院
(安徽 蚌埠 233030)4.蚌埠学院文学与教育学院
(安徽 蚌埠233000)5.蚌埠医学院第一附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233004)6.蚌埠医学院人体解剖教研室
(安徽 蚌埠233030)

【摘要】目的 探讨磁共振成像(MRI)检测痉挛型脑瘫(SCP)患儿大脑皮层形态学变化的价值。方法 回顾性收集2020年09月至2021年09月于蚌埠市第一人民医院确诊的SCP患儿(SCP组)45例,并纳入性别、年龄相匹配的健康儿童45例作为对照组,均进行3DT1结构像全脑扫描,使用Free Surfer软件处理图像获取大脑皮层各脑区形态学数据。使用t检验和多因素方差分析对2组数据进行统计学分析,采用Spearman秩相关性分析SCP组中具有统计学意义的脑区与运动功能分级(GMFCS)及粗大运动功能量表(GMFM)评分的相关性。结果 SCP组两侧额上回、左侧扣带回、右侧楔前叶、右侧额中回及左侧中央前回的皮层体积均显著低于对照组($P<0.05$),SCP组两侧额上回、右侧额中回、左侧扣带回、右侧额中回及左侧中央前回的皮层表面积均显著低于对照组($P<0.05$),SCP组两侧中央前回、扣带回及左侧额上回的皮层厚度均显著低于对照组($P<0.05$),SCP组有统计学意义的脑区与粗大运动功能分级、精细运动功能分级均无明显相关性,但双侧额上回、左侧扣带回及左侧中央前回与GMFM-88评分具有显著相关性($P<0.05$)。结论 MRI扫描痉挛型脑瘫患儿分析大脑皮层形态学变化,发现部分脑区体积、表面积及皮层厚度较正常儿童减小,两侧额上回、左侧扣带回及左侧中央前回和患儿执行功能障碍及运动功能损伤严重程度具有相关性,为临床精准诊疗及预后评估提供一定帮助。

【关键词】脑性瘫痪; 大脑皮层; 磁共振成像; 儿童

【中图分类号】R742.3

【文献标识码】A

【基金项目】安徽省哲学社会科学规划项目

(AHSKQ2016D41);

安徽省高等学校自然科学研究一般项目

(KJ2015B007by);

2022年数字医学与智慧健康安徽普通高校

重点实验室(蚌埠医学院)项目:《儿童语

言发展模式与语言中枢结构网络发育关联

性研究》(AHCM2022Z006);

2020年蚌埠学院产学研项目《儿童心理发

展与脑发育关联性研究》,2019年蚌埠学

院产学研项目《基于社会性角色扮演的自

闭症儿童社会融入研究》

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.005

Magnetic Resonance Study of Cortical Morphological Changes in Children with Spastic Cerebral Palsy*

ZHONG Yu-hui¹, SHEN Long-shan^{1,2,3,*}, CHEN Wen⁴, CHENG Liu-cheng^{2,3,5}, WANG Zhen-huan^{2,6}.

1.Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233040, Anhui Province, China

2.Key Laboratory of Digital Medicine and Intelligent Health of Anhui Universities (Bengbu Medical College), Institute of Clinical Applied Anatomy, Bengbu Medical College, Bengbu 233004, Anhui Province, China

3.School of Medical Imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

4.College of Literature and Education, Bengbu University, Bengbu 233000, Anhui Province, China

5.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233004, Anhui Province, China

6.Department of Human Anatomy, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of magnetic resonance imaging (MRI) in detecting cerebral cortex morphological changes in children with spastic cerebral palsy (SCP). **Methods** Forty-five children with SCP diagnosed in The First People's Hospital of Bengbu (SCP group) from September 2020 to September 2021 were retrospectively collected, and 45 healthy children matched for gender and age were enrolled as the control group. Whole brain 3DT1 structural imaging was performed, and morphological data of cerebral cortex regions were obtained by using Free Surfer software. T test and multivariate analysis of variance were used for statistical analysis of the two groups of data, and Spearman rank correlation analysis was used for the correlation between the brain regions with motor function grading and GMFM (Gross Motor Function Test Scale) in SCP group. **Results** Observation group on both sides of the forehead, left cingulate gyrus, right precuneus, last time back in the right temporal and left the cortex of precentral gyrus volume were significantly lower than control group ($P<0.05$), the observation group on both sides of the forehead, the last time the right amount in the back, the left cingulate gyrus, right back and left back to before the central cortex in the temporal surface area were significantly lower than control group ($P<0.05$). The cortical thickness of bilateral anterior central gyrus, cingulate gyrus and left superior frontal gyrus in the observation group was significantly lower than that in the control group ($P<0.05$). There was no significant correlation between the brain areas with gross motor function and fine motor function in the observation group. However, bilateral superior frontal gyrus, left cingulate gyrus and left anterior central gyrus were significantly correlated with GMFM-88 score ($P<0.05$). **Conclusion** MRI scan type spasm cerebral palsy and analysis of cerebral cortex morphology change, can be found that part of the brain volume, surface area and thickness of the cortex than normal children is reduced, on both sides of the forehead, left cingulate gyrus and the left side of the last time the central front and back executive dysfunction and motor function in children with injury severity correlation, it provides some help for clinical accurate diagnosis and prognosis evaluation.

Keywords: Cerebral Palsy; The Cerebral Cortex; Magnetic Resonance Maging; Children

痉挛型脑性瘫痪(Spastic Cerebral Palsy, SCP)是脑瘫中最常见和最典型的一类,它是指胎儿或婴幼儿时期脑部持续存在的非进行性损伤,致使患儿活动姿势受限和运动功能低下的一类症候群^[1]。临床上新生儿的脑损伤以脑室周围白质损伤(periventricular white matter injury, PWMI)较为常见,也是SCP患儿的主要病因^[2]。痉挛型脑瘫除了损伤与执行功能相关的脑室旁白质区^[3],还较常累及大脑皮层、基底节、丘脑等结构,并提示大脑皮层的损伤与SCP患儿运动功能障碍密切相关^[4-6]。目前关于SCP患儿大脑皮层形态学变化的MRI研究相对较少,其损伤机制与运动功能障碍的关系有待进一步探索^[7-8]。本研究重点分析磁共振成像(MRI)检测SCP患儿大脑皮层的形态学变化,并探究部分脑部功能区与患儿执行功能障碍及运动功能损伤是否存在相关性,为临床精准诊疗及预后提供一定价值。

1 材料与方法

1.1 临床资料 选取2020年09月至2021年09月于蚌埠市第一人民医院确诊为痉挛型脑瘫儿童的45例为SCP组,另选取我院45例正常儿童作为对照组。SCP组中,男26例,女19例;年龄0~9岁,平均(3.5 ± 2.5)岁, MRI检查时平均体重(14.49 ± 6.01)kg;对照组中,男29例,女16例;年龄0~8岁,平均(3.6 ± 2.0)岁, MRI检查时平均体重(15.92 ± 4.59)kg。

纳入标准: SCP组: 符合痉挛型脑瘫儿童诊断标准,以《中国脑性瘫痪康复指南(2015)》中标准^[9]为准;年龄<18岁;无其他疾病史; MRI图像质量能够满足后处理要

【第一作者】钟玉辉,男,住院医师,主要研究方向:儿童脑发育及脑损伤的MRI研究。E-mail: 1306405255@qq.com

【通讯作者】沈龙山,男,主任医师,主要研究方向:儿童脑发育及脑损伤的MRI研究。E-mail: trede@163.com

求;无MRI检查禁忌证;获取家长知情同意,并按要求配合研究。对照组:在我院健康体检的正常儿童;无其他疾病史;年龄、性别与观察组匹配;MRI图像质量能够满足后处理要求;父母或监护人知情同意。

1.2 检查方法 使用GE 750W 3.0T核磁共振,标准头线圈扫描受试者,获取原始图像数据。扫描准备:安抚受试者情绪,部分患儿无法配合检查,临床可适量注射苯巴比妥(20mg/kg)或地西泮,待入睡后进行磁共振检查。采用轴位T1WI序列获取图像并以Dicom格式存储。扫描参数:重复时间(TR)1750 ms、回波时间(TE) 24 ms、层厚5 mm、矩阵大小288×192。原始图像评估:两名及以上高年资主任医师,对检查者图像进行综合分析、严格判断,诊断意见不统一者予以排除。

1.3 图像处理 采用Free Surfer V.5.3.0软件对获取的图像进行后处理。(1)三维建模:通过头皮去除、Talairach坐标转换、灰白质精细分割和拓扑修正等一系列流程,重构出大脑表层的原始轮廓图,并基于该轮廓图完成三维建模。(2)容积分割:对模型进行二次加工和处理,使其表面曲张呈球状,并将各脑区数据与之匹配,以网格的形式呈现,其中灰、白质交界处至灰质/脑脊液边缘的距离为皮层厚度。一例8岁正常男性儿童3D T1WI图像经Free Surfer软件处理后清晰、全面、完整地显示,如图1所示。

1.4 运动功能评估 运用GESELL评分表对患儿粗大、精细动作进行评定,并按照发育商(development quotient, DQ; DQ=实际发育水平的年龄/实际年龄)进行分级。GMFM-88评分表主要对患儿的粗大运动功能进行动态或预后评估,是目前应用较为广泛的方法。

1.5 统计学分析 运用SPSS 26.0软件对数据分析处理,定量资料先进行正态性检验,然后利用卡方检验分析两组数据性别有无统计学差异,t检验分析年龄及MRI检查时平均体重有无统计学差

异,多因素方差分析比较2组数据,结果用($\bar{x} \pm s$)表示, $P < 0.05$ 具有统计意义。使用Spearman秩相关分析法对差异脑区皮层形态学特征与粗大、精细运动分级和GMFM-88评分进行相关性分析。

2 结果

2.1 SCP组和对照组基本资料 2组儿童性别、年龄及MRI检查时平均体重均无统计学差异($P > 0.05$),结果见表1。

2.2 全脑皮层形态学数据比较 SCP组和对照组按年龄各分为(0-3 y)、(4-6 y)、(>6 y)3组。SCP组的两侧额上回、左侧扣带回、右侧楔前叶、右侧颞中回及左侧中央前回的皮层体积均显著低于对照组(均 $P < 0.05$)。见表2。SCP组的两侧额上回、右侧额中回、左侧扣带回、右侧颞中回及左侧中央前回的皮层表面积均显著低于对照组(均 $P < 0.05$)。见表3。SCP组的两侧额上回、左侧扣带回、右侧颞中回及左侧中央前回的皮层厚度均显著低于对照组(均 $P < 0.05$)。见表4。

2.3 SCP组有统计学意义脑区与粗大、精细运动功能分级及GMFM-88评分的相关性分析 SCP组中有统计学意义的脑区与粗大运动功能分级、精细运动功能分级均无相关性。但两侧额上回、左侧扣带回及左侧中央前回与GMFM-88评分具有相关性。详见表5。

表1 2组基本资料

组别	性别(男/女)	年龄/岁	MRI扫描时平均体重/kg
scP组	26/19	3.5±2.5	14.49±6.01
对照组	29/16	3.6±2.0	15.92±4.59
Z/ χ^2	0.27	0.21	1.27
P值	0.61	0.84	0.21

表2 2组大脑皮层体积差异脑区比较(单位mm³)

组别脑区/年龄组	SCP组			对照组			F值	P值
	0-3y	4-6y	>6y	0-3y	4-6y	>6y		
左侧额上回	15.47±2.51	15.86±2.57	16.35±2.68	17.47±2.73	17.68±2.82	18.31±2.64	2.937	0.017
右侧额上回	14.61±2.23	15.56±2.61	17.21±2.58	16.31±2.73	17.70±2.61	18.20±2.82	4.536	0.001
左侧带回	5.76±1.27	5.82±1.21	6.75±1.18	5.97±1.94	6.91±1.86	7.22±1.86	2.562	0.033
右侧楔前叶	8.84±1.49	9.60±1.71	10.63±1.35	8.97±1.64	9.88±1.85	10.77±1.77	2.905	0.018
右侧颞中回	7.03±1.94	7.78±2.11	9.24±1.93	7.59±1.87	8.72±2.21	9.78±2.31	4.412	0.001
左侧中央前回	8.69±1.47	9.97±1.46	10.96±1.71	9.12±1.76	10.24±1.94	10.86±2.13	4.494	0.001

表3 2组大脑皮层表面积差异脑区比较(单位mm²)

组别脑区/年龄组	sCP组			对照组			F值	P值
	0-3y	4-6y	>6y	0-3y	4-6y	>6y		
左侧额上回	42.48±6.140	46.22±7.710	48.76±7.19	45.10±6.23	47.42±7.840	52.51±8.32	3.800	0.003
右侧额上回	39.47±6.04	44.16±6.21	47.36±7.24	40.76±7.58	44.38±5.72	49.69±6.32	5.793	0.001
左侧扣带回	10.85±3.61	14.49±4.95	16.70±4.14	11.85±4.21	16.33±6.25	18.67±5.51	6.321	0.001
右侧额中回	36.35±5.56	42.94±6.73	41.89±6.24	38.91±6.84	43.43±6.610	45.92±6.24	4.103	0.001
右侧颞中回	18.44±3.16	19.29±5.21	24.01±4.03	19.15±4.66	22.32±4.09	25.08±5.48	6.088	0.001
左侧中央前回	28.17±6.82	37.15±7.18	37.39±7.73	33.13±8.46	39.41±7.71	40.45±7.88	6.093	0.001

表4 2组大脑皮层厚度差异脑区比较(单位mm)

组别脑区/年龄组	SCP组			对照组			F值	P值
	0-3y	4-6y	>6y	0-3y	4-6y	>6y		
左侧额上回	3.29±0.19	3.10±0.13	3.15±0.47	3.37±0.28	3.29±0.24	3.16±0.24	2.37	0.046
右侧额上回	2.6±0.22	2.45±0.08	2.45±0.1	2.65±0.17	2.47±0.13	2.48±0.14	4.746	0.001
左侧扣带回	3.14±0.33	2.87±0.30	3.04±0.24	3.21±0.35	2.97±0.2	3.18±0.25	3.215	0.011
右侧颞中回	3.24±0.29	3.14±0.22	3.29±0.24	3.29±0.32	3.29±0.24	3.30±0.21	3.005	0.013
左侧中央前回	2.65±0.23	2.49±0.11	2.45±0.08	2.72±0.17	2.54±0.18	2.48±0.16	4.9970	0.005

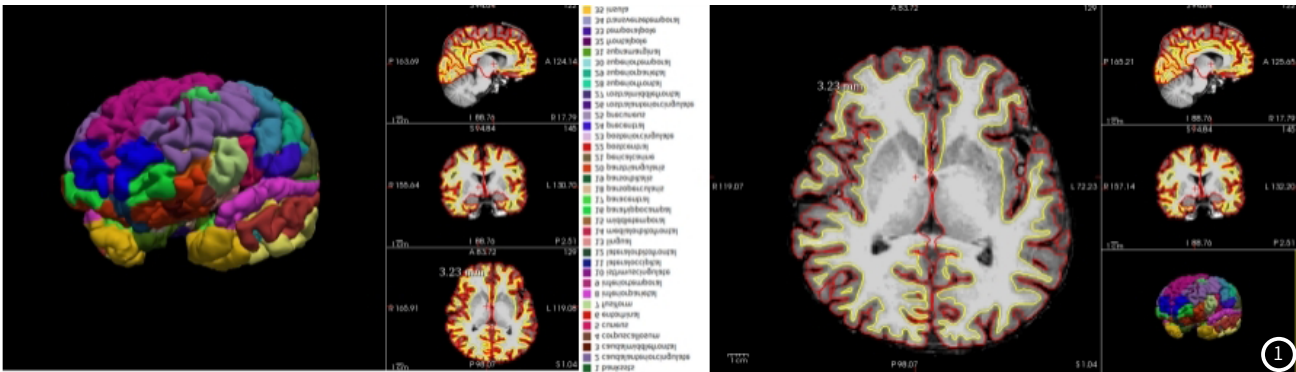


图1 经Free Surfer软件处理后各脑区示意图

表5 SCP组中有统计学意义的脑区与运动功能分级及GMFM-88评分相关性

脑区	运动功能分级		GMFM-88评分
	粗大	精细	
左侧额上回	-0.27 (0.47)	-0.296 (0.43)	-0.740 (0.02)
右侧额上回	-0.53 (0.13)	-0.288(0.45)	-0.690 (0.03)
左侧额中回	-0.01 (0.96)	-0.173 (0.65)	-0.369 (0.27)
左侧扣带回	-0.04 (0.90)	-0.139 (0.72)	-0.587 (0.02)
右侧额中回	-0.13 (0.72)	-0.393 (0.29)	-0.285 (0.64)
右侧楔前叶	-0.35 (0.38)	-0.731(0.67)	-0.291 (0.35)
左侧中央前回	-0.45 (0.26)	-0.622(0.81)	-0.675 (0.01)

注：所有结果用Spearman相关系数和P值(括号内)表示。

3 讨论

目前国际平均脑瘫发病率约22.11%^[10]，伴随围生医疗技术的发展，脑瘫发病率却逐年递增。痉挛型脑瘫是由于幼儿时期脑发育过程中的损伤导致运动功能障碍和姿势异常，患儿的生活质量受到严重影响^[11]。有研究发现^[12]，痉挛型脑瘫不仅损伤脑室周围白质，还累及大脑皮层、基底节和小脑等结构，并提示大脑皮层的损伤与SCP患儿运动功能障碍密切相关^[13-15]。因此，全面了解患儿脑部病变特征，并探索其与患儿执行功能及运动功能之间的关系是目前重要的课题。

MRI具有无辐射、软组织分辨率高、安全无创等诸多优势，已普遍用于脑瘫患儿脑损伤的评估^[16]。80%以上存在颅脑异常的脑瘫患儿能通过结构磁共振成像(structural magnetic resonance, sMRI)清晰显示^[17]，并用于评估脑损伤及预测功能结局^[16,18,19]。2017年 Novak 等^[19]研究表明sMRI对于灰白质损伤及深部白质病变具有较好的预测评估，但微观结构的变异尚不能全面分析。弥散张量成像(DTI)能够清晰并完整地显示脑神经纤维走行，发现更细微的神经纤维改变情况^[20]，各向异性分数(fractional anisotropy, FA)是通过可靠性分析得出的常用DTI指标^[21]，有研究表明CP儿童的FA值存在广泛减低^[22-24]与粗大运动功能紧密相关^[25]，可作为潜在标志物用于CP的预测^[26,27]。然而，检查时间长且后处理较为繁琐使其不能广泛应用于临床。因此，基于常规MRI图像客观评估更契合临床实际情况。

以往研究多为痉挛型脑瘫的诊断价值及各种诊疗方案的效能比较，较少关注SCP患儿脑表面皮层的形态学变化。本研究分析磁共振成像(MRI)检测SCP患儿大脑皮层的形态学变化，并联合粗大、精细运动功能分级及GMFM-88评分量表进行分析。高分辨率磁共振以3D T1WI结构图像清晰、全面、完整地显示SCP患儿各脑区的形态学特征^[28-29]。本研究结果显示：SCP组的部分脑功能区的体积、表面积及皮层厚度均较对照组显著减低，说明SCP患儿脑皮层形态学变化差异对于患儿的早期诊断具有重要提示意义。额上回、中央前回是大脑皮层发育中较高级的区域，即额叶，主要负责躯体运动功能控制，额叶损伤可引起沟通交流障

碍、精神异常和自主运动障碍等症状。SCP患儿常出现肢体的不自主运动，与额叶受损引起的症状有一定相似性。相关研究表明^[30]，扣带回主要对来自顶叶空间位置及运动过程的信息进行加工处理和学习，然后向前运动皮层传递，对于整个运动功能执行过程中非常重要。本研究结果显示：两侧额上回、左侧扣带回及左侧中央前回与GMFM-88评分具有显著相关性，提示额叶及扣带回受损与患儿的执行及运动功能有关。执行功能是额叶调节机体设立目标、制定方案并有序实施所需要相互协作的高级认知功能，在日常行为、社交生活中扮演着重要作用^[31]，因此，通过检测SCP患儿的脑皮层形态学变化，联合临床量表评估，做到SCP患儿的早发现、早诊断、早治疗，尽可能改善儿童日常生活和学习的状况。

本研究存在如下不足：(1)样本量较少。本研究共收集71例脑瘫患儿，其中60例痉挛型脑瘫患儿，10例图像质量差去除，5例未做量表评估，剩余入组45例SCP患儿，未来将继续收集病例扩充样本量。(2)为排除患儿的年龄因素，将所采集到的数据分为(0-3 y)、(4-6 y)、(>6 y)三组进行分析和评估，对于年龄偏大的痉挛型脑瘫患儿的评估是否存在一定偏倚。(3)欧洲脑瘫监测中心(Surveillance of Cerebral Palsy Europe, SCPE)将痉挛型脑瘫分为三大类：痉挛型偏瘫、双瘫和四肢瘫，本研究中痉挛型双瘫40例，痉挛型偏瘫和四肢瘫仅为5例，未来在扩大样本量的基础上，对痉挛型脑瘫儿童各亚型脑皮层形态学变化作进一步探究。

4 结论

综上所述，MRI扫描SCP患儿并对其大脑皮层形态学变化进行科学分析，发现SCP患儿部分脑区体积、表面积及皮层厚度较正常儿童减小，两侧额上回、左侧扣带回及左侧中央前回与患儿执行功能障碍及运动功能损伤具有相关性，旨在帮助临床早期干预及精准诊疗，改善患儿生存状况，减轻家庭的负担。

参考文献

[1]Graham H K,Rosenbaum P,Paneth N,et al.Cerebral palsy[J].Nat Rev Dis Primers,2016,2:15082.

[2]Reid L B,Rose S E,Boyd R N.Rehabilitation and neuroplasticity in children with unilateral cerebral palsy[J].Nat Rev Neurol,2015,11(7):390-400.

[3]Sakash A,Broman A T,Rathouz P J,et al.Executive function in school-aged children with cerebral palsy:Relationship with speech and language[J].Res Dev Disabil,2018,78:136-144.

[4]Bettcher B M,Mungas D M,Patel N,et al.Neuroanatomical substrates of executive functions:Beyond prefrontal structures[J].Neuropsychologia,2016,85:100-109.

[5]Dixon M L,La Vega A D,Mills C,et al.Heterogeneity within the frontoparietal control network and its relationship to the default and dorsal attention networks[J].Proc Natl Acad Sci,2018,115(7):178863.

[6]Leisman G,Braunbenjamin O,Melillo R.Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development[J].Front Syst Neurosci,2014,8:16.

[7]Korzeniewski S J,Slaughter J,Lenski M,et al.The complex aetiology of cerebral palsy[J].Nat Rev Neurol,2018,14(9):528-543.

[8]Novak I,Morgan C,Adde L,et al.Early,Accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy:Advances in diagnosis and treatment[J].JAMA Pediatr,2017,171(9):897-907.

[9]唐久来,秦树,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.

(下转第23页)

造影剂可造成一些脑部区域的钆沉积物,尤其是齿状核和苍白球等区域^[18]。这对儿童来说尤其令人担忧,与成人相比,他们发育中的机体更容易受到外源性毒素的影响^[20]。因此儿童患者迫切需要一种非注射钆造影剂的静脉成像代替技术。

本研究结果显示,较低的VENC(12cm/s)对儿童下矢状窦、皮质静脉等流速较慢的细小脑内静脉段显示较好,较高的VENC(20cm/s)对儿童上矢状窦、直窦、横窦、乙状窦等流速较快的粗大脑内静脉段显示较好。与本研究的结果不同,Mimura S等人^[6]发现VENC为15 cm/s时成人硬脑膜窦的可视化效果最好。究其原因,可能与儿童脑静脉流速高于成人有关。因此,对于儿童脑静脉3D PCV应适当提高VENC。

根据本研究所得结果,笔者认为可以在实际工作中根据不同的目标区域设置合理的VENC,以保证3D PCV对儿童不同脑静脉分段的可视化显示效果,具体如下:(1)对于怀疑上矢状窦上矢状窦、乙状窦、横窦、直窦等较粗大脑内静脉段病变时应选择较大的VENC(20cm/s);(2)对于怀疑下矢状窦、皮质静脉等细小脑内静脉段选择较小的VENC(12cm/s);(3)怀疑全脑静脉系统异常应同时扫描较小VENC(12cm/s)及较大VENC(20cm/s)的3D PCV,以全面评估整个脑内静脉系统,防止漏诊。

本研究的不足之处为:首先,被试的年龄段较为局限,主要集中在1-16岁,下一步研究应增加其他年龄段儿童的相关研究;其次VENC的设置范围较小,未对20cm/s以上的VENC进行研究,在未来的研究中应探讨更高的VENC是否会对儿童脑静脉系统的可视化更有帮助。

综上所述,提高VENC可显著改善儿童3D PCV的静脉可视化效果,增加诊断信息量,提高诊断信心。

参考文献

- [1]姜涛,张雪林,张玉忠,文戈,谢立旗.PC法MRA颅内静脉窦成像分析[J].放射学实践,2008(4):434-437.
- [2]范宪森,郑晓林,张坤林,全海英.磁共振血管成像技术在脑静脉系统中应用的探讨[J].影像诊断与介入放射学,2009,18(5):237-239.
- [3]Ferro JM,Boussier MC,Canhão P,Coutinho JM,Crassard I,Dentali F,di Minno M,Maino A,Martinelli I,Masuhr F,Aguar de Sousa D,Stam J;European Stroke Organization.European Stroke Organization guideline for the diagnosis and treatment of cerebral venous thrombosis - endorsed by the European Academy of Neurology[J].Eur J Neurol, 2017 Oct;24(10):1203-1213.
- [4]Connor SE,Jarosz JM. Magnetic resonance imaging of cerebral venous sinus thrombosis[J].Clin Radiol,2002 Jun;57(6):449-61.

- [5]刘小艳,王骏.大脑深静脉系统磁共振血管成像技术对比分析[J].中国医疗设备,2021,36(6):87-93
- [6]Mimura S,Iwata N,Yamane T,et al.[Report on the ECR2003 (European Congress of Radiology):non-contrast intracranial MR venography with 3D-phase contrast imaging:optimization of presaturation pulse and velocity encoding][J].Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi,2003.59(7):823-4.
- [7]Salehi Ravesh M,Jensen-Kondering U,Juhasz J,Peters S,Huhndorf M,Graessner J,Möbius TWD,Both M,Jansen O,Hövenner JB. Optimization of 3D phase contrast venography for the assessment of the cranio-cervical venous system at 1.5 T[J].Neuroradiology,2019 Mar;61(3):293-304.
- [8]Sari S,Verim S,Hamcan S,et al. MRI diagnosis of dural sinus - Cortical venous thrombosis:Immediate post-contrast 3D GRE T1-weighted imaging versus unenhanced MR venography and conventional MR sequences[J].Clin Neurol Neurosurg,2015,134:44-54.
- [9]Manjila S,Bazil T,Thomas M,Mani S,Kay M,Udayasankar U. A review of extraaxial developmental venous anomalies of the brain involving dural venous flow or sinuses:persistent embryonic sinuses,sinus pericranii,venous varices or aneurysmal malformations,and enlarged emissary veins[J].Neurosurg Focus,2018,45(1):E9.
- [10]Ghoneim A,Straiton J,Pollard C,Macdonald K,Jampana R. Imaging of cerebral venous thrombosis[J].Clin Radiol,2020,75(4):254-264.
- [11]Rizzo L,Crasto SG,Rudà R,et al.Cerebral venous thrombosis:role of CT,MRI and MRA in the emergency setting[J].Radiol Med,2010,115(2):313-25.
- [12]Issar P,Chinna S,Issar SK.Evaluation of Cerebral Venous Thrombosis by CT,MRI and MR Venography[J].J Assoc Physicians India,2017,65(11):16-21.
- [13]Zafar A,Ali Z. Pattern of magnetic resonance imaging and magnetic resonance venography changes in cerebral venous sinus thrombosis. J Ayub Med Coll Abbottabad,2012,24(1):63-7.
- [14]Bushnell C,Saposnik G.Evaluation and management of cerebral venous thrombosis[J].Continuum (Minneapolis),2014,20(2 Cerebrovascular Disease):335-51.
- [15]Ferro JM,de Sousa D A.Cerebral Venous Thrombosis:an Update[J].Curr Neurol Neurosci Rep,2019,19(10):74.
- [16]Tomasian A,Salamon N,Krishnam MS,Finn JP,Villablanca JP. 3D high-spatial-resolution cerebral MR venography at 3T:a contrast-dose-reduction study[J].AJNR Am J Neuroradiol,2009,30(2):349-55.
- [17]Vosschenrich R,Reimer P.Nephrogenic systemic fibrosis[J].Vasa,2009.38(1):31-8.
- [18]Gulani V,Calamante F,Shellock FG,et al.Gadolinium deposition in the brain:summary of evidence and recommendations[J].Lancet Neurol,2017,16(7):564-570.
- [19]Thomsen HS,Morcos SK,Almén T,et al.Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media:updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines[J].Eur Radiol,2013,23(2):307-18.
- [20]Daldrop-Link HE,Theruvath AJ,Rashidi A,et al.How to stop using gadolinium chelates for magnetic resonance imaging:clinical-translational experiences with ferumoxytol[J].Pediatr Radiol,2021.

(收稿日期:2022-05-25)

(校对编辑:姚丽娜)

(上接第16页)

- [10]李晚捷,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,2018,33:378-383.
- [11]Darki F,Klingberg T.The role of fronto-Parietal and fronto-striatal networks in the development of working memory:A longitudinal study[J].Cereb Cortex,2015,25(6):1587-1595.
- [12]Sakash A,Broman A T,Rathouz P J,et al.Executive function in school-aged children with cerebral palsy:Relationship with speech and language[J].Res Dev Disabil,2018,78:136-144.
- [13]Bettcher B M,Mungas D M,Patel N,et al.Neuroanatomical substrates of executive functions:Beyond prefrontal structures[J].Neuropsychologia,2016,85:100-109.
- [14]Dixon M L,La Vega A D,Mills C,et al.Heterogeneity within the frontoparietal control network and its relationship to the default and dorsal attention networks[J].Proc Natl Acad Sci,2018,115(7):178863.
- [15]蒋昊翔,钱俊,宋娟,等.痉挛型脑瘫执行功能损伤的MRI研究进展[J].中国CT和MRI杂志.2021(7):1-4
- [16]Nagy E,Herbert Z,Péter I,et al.The usefulness of MRI Classification System (MRICS) in a cerebral palsy cohort[J].Acta Paediatr,2020,109(12):2783-2788.
- [17]何成,尹羽,刘衡.儿童脑瘫运动功能障碍的结构MR研究进展[J].中国CT和MRI杂志.2021(2):12-16
- [18]Hoon AH Jr,Vasconcellos Faria A.Pathogenesis,neuroimaging and management in children with cerebral palsy born preterm[J].Dev Disabil Res Rev,2010,16(4):302-312.
- [19]Novak I,Morgan C,Adde L,et al.Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy:Advances in Diagnosis and Treatment[J].JAMA Pediatr,2017,171(9):897-907.
- [20]Min K,Yu SJ,Lee JH,et al.Reliability of fractional anisotropy measurement for children with cerebral palsy[J].Neuropediatrics,2014,45(2):84-92.
- [21]Mu X,Nie B,Wang H,et al.Spatial patterns of whole brain grey and white matter injury in patients with occult spastic diplegic cerebral palsy[J].Plo S One,2014,9(6):e100451.

- [22]Papadelis C,Ahtam B,Feldman HA,et al.Altered White Matter Connectivity Associated with Intergyrar Brain Disorganization in Hemiplegic Cerebral Palsy[J].Neuroscience,2019,399:146-160.
- [23]Ceschin R,Lee VK,Schmithorst V,et al.Regional vulnerability of longitudinal cortical association connectivity:Associated with structural network topology alterations in preterm children with cerebral palsy[J].Neuroimage Clin,2015,9:322-337.
- [24]Pannek K,Boyd RN,Fiori S,et al.Assessment of the structural brain network reveals altered connectivity in children with unilateral cerebral palsy due to periventricular white matter lesions[J].Neuroimage Clin,2014,5:84-92.
- [25]Merhar SL,Gozdas E,Tkach JA,et al.Neonatal Functional and Structural Connectivity Are Associated with Cerebral Palsy at Two Years of Age[J].Am J Perinatol,2020,37(2):137-145.
- [26]Holmström L,Lennartsson F,Eliasson AC,et al.Diffusion MRI in corticofugal fibers correlates with hand function in unilateral cerebral palsy[J].Neurology,2011,77(8):775-783.
- [27]Vaughan CL,O'Malley MJ.A gait nomogram used with fuzzy clustering to monitor functional status of children and young adults with cerebral palsy[J].Dev Med Child Neurol,2005,47(6):377-383.
- [28]李林,史建国,董春华,等.3D 高分辨 MRI 在局灶性皮质发育不良 II 型患儿中的应用[J].中国医学影像技术,2018,34(11):1641-1644.
- [29]廖怡,曲海波,蔡晓唐,等.儿童抽动秽语综合征脑皮层厚度改变的磁共振研究[J].影像诊断与介入放射学,2018,27(1):33-39.
- [30]Vasilescu DM,Martinez FJ,Marchetti N,et al.Noninvasive imaging biomarker identifies small airway damage in severe chronic obstructive pulmonary disease[J].Am J Respir Crit Care Med,2019,200(5):575-581.
- [31]García-Galant M,Blasco M,Reid L,et al.Study protocol of a randomized controlled trial of home-based computerized executive function training for children with cerebral palsy[J].BMC Pediatr,2020,20(1):9.

(收稿日期:2022-08-25)

(校对编辑:姚丽娜)