论　著

儿童脑内静脉三维相位对比血管成像序列参数优化研究*

孟宪磊　方佃刚　李志勇
周洋洋　刘龙平　卢　宁
肖　鑫　曾洪武*
深圳市儿童医院放射科 (广东 深圳 518038)

【摘要】**目的** 优化三维相位对比静脉成像MR(3D phase contrast venography，3D PCV)序列，提高其对脑内静脉血管的可视化效果。**方法** 收集健康儿童28名，采用西门子Skyra(德国)3.0T MR扫描仪行厂家原始和优化的3D PCV序列。原始3D PCV序列(原始组)的流速编码(velocity encoding，VENC)为12cm/s，优化3D PCV序列(优化组)的VENC为20cm/s。采用主观评价法对上矢状窦、下矢状窦、直窦、皮质静脉、右乙状窦、左乙状窦、右横窦、左横窦、窦汇进行评分。采用Wilcoxon符号秩检验比较两组图像的主观评分，*P*<0.05认为差异有统计学意义。**结果** 优化组的上矢状窦(*P*=0.004)、右乙状窦(*P*=0.005)、左乙状窦(*P*<0.001)、右横窦(*P*<0.001)、左横窦(*P*=0.01)、直窦(*P*<0.001)可视化效果优于原始组；原始组和优化组下矢状窦(*P*=0.556)、皮质静脉(*P*=1)、窦汇(*P*=0.287)的可视化效果无差异。**结论** 优化后的3D PCV序列可明显提高儿童大部分脑内静脉的可视化效果，增强诊断信心。

【关键词】儿童；脑内静脉；相位对比静脉成像
【中图分类号】R748
【文献标识码】A
【基金项目】深圳市医疗卫生三名工程项目(SZSM202011005)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.007

Optimization of 3D Phase Contrast Venography for the Assessment of the Cerebral Veins in Children*

MENG Xian-lei, FANG Dian-gang, LI Zhi-yong, ZHOU Yang-yang,LIU Long-ping, Lu ning, Xiao Xin, ZENG Hong-wu*.
Department of Radiology, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518026, P. R. China

ABSTRACT

Objective The aim of this work was to optimize 3D Phase contrast venography (3D PCV) sequence to improve the visualization effect of cerebral veins. ***Methods*** The original and optimized sequences were used to perform 3D PCV in 28 healthy children using a 3.0T MR system (Siemens Skyra, Germany). The velocity encoding (VENC) of the original 3D PCV sequence (original group) was 12cm/s, while the VENC of optimized 3D PCV sequence (optimized group) was 20cm/s. For evaluation, the cerebral veins was divided into 9 segments. These segments were evaluated by two radiologists with experience in pediatric neuroradiology. A scoring system was used to access the quality of visualization. Wilcoxon sign rank test was used to compare the subjective scores of the two groups, and *P*< 0.05 was considered statistically significant. ***Results*** The visualizations of Superior sagittal sinus (P=0.004), right Sigmoid sinus (*P*=0.005), left Sigmoid sinus (*P*<0.001), right Transverse sinus (*P*<0.001), left Transverse sinus (*P*=0.01) and Straight sinus (*P*<0.001) in the optimized group were better than those in the original group. The visualizations of Inferior sagittal sinus (*P*= 0.556), cortical vein (*P*=1) and Torcular Herophili (*P*=0.287) showed no difference between the original group and the optimized group. ***Conclusion*** The optimized 3D PCV pulse sequence showed superior results compared to the original 3D PCV for the visualization and evaluation of the venous system in all healthy children volunteers.

Keywords: Children; Cerebral Vein; Phase Contrast Venography (3D PCV)

三维相位对比血管成像(3D phase contrast angiography，3D-PCV)，是非对比增强磁共振血管成像方法的一种，而且这种相位差别的大小和血液的流动速度相关，显然血液流动越快，其中的质子空间位移就越大，这样它和静止组织之间的相位差别也就越大。在PC MRV成像过程中，这对大小相等、方向相反的梯度脉冲对被称为流动编码(flow encoding，FE)梯度。序列通过施加双极梯度场，造成流动质子群与静止组织的相位差别，抑制背景、突出血流信号的血管成像方法[1-2]。3D-PCV背景组织抑制效果好、小血管显示好，尤其适用于静脉血管的可视性检查或血流的定量分析，认为是脑静脉系统成像的有效检查方法，并且已成为评估DVST的首选方式[1,3-4]。3D-PCV最终所显示的血管与成像参数具有很高的依赖性，3D-PCV会受到流速编码(velocity encoding，VENC)大小、反转角、TR、TE、饱和带等因素的影响，导致颅脑静脉的可视性效果下降，其中VENC是最重要的影响因素[1]。目前，成人3D-PCV的VENC设置通为15cm/s时，硬脑膜窦可充分显示[5]，查阅文献儿童暂未发现相关统一标准。本研究拟采用不同的VENC进行脑内静脉系统3D-PCV可视化成像，分析脑内静脉系统的可视化效果，探讨儿童脑内静脉系统3D-PCV最佳的VENC。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究已获得深圳市儿童医院医学研究伦理委员会的批准。收集2021年1月至2021年9月期间到深圳市儿童医院行MR扫描的健康儿童。

纳入标准：年龄在1-16岁之间；无MR检查相关禁忌症；无神经系统相关病史。排除标准：不能配合MR检查者；MR扫描发现明显脑内病变者。最终，共有28名儿童纳入本研究。

1.2 成像设备及扫描参数 采用西门子Skyra 3.0T超导磁共振扫描仪(德国)，20通道头颈联合线圈采集MRI数据。对不配合患儿给予2mL/kg体重水合氯醛口服或灌肠镇静后进行MR检查。横断位T_1 FLAIR：TR1800ms，TE42ms，TI800ms，矩阵320×320，FOV230×187mm，层厚6mm。横断位T_2：TR2300ms，TE108ms，矩阵320×320，FOV230 mm×194mm，层厚6mm。横断位T_2 FLAIR：采用TSE序列，TR9000ms，TE134ms，TI2600ms，矩阵320×320，FOV230×194mm，层厚6mm。矢状位T_1：TR 200ms，TE2.49ms，矩阵320×320，FOV250×250，层厚5mm。原始组3D PCV序列：TR37ms，TE8.82ms，翻转角15°，矩阵320×320，FOV250×235mm，层厚1mm。优化组3D PCV序列：TR49.3ms，TE8.82ms，翻转角15°，矩阵320×320，FOV250×235mm，层厚1mm。

1.3 VENC设置 采用2D PC方法测量年龄为1岁、3岁、5岁、10岁、15岁的儿童各一例，结果显示其上矢状窦峰值流速分别为19cm/s、18.59 cm/s、17 cm/s、16.35 cm/s、16 cm/s。既往研究表明最佳VENC通常为目标血管峰值流速的120%[6]，因此本研究

【第一作者】孟宪磊，男，主管技师，主要研究方向：儿童放射技术。E-mail：18938691118@189.cn
【通讯作者】曾洪武，男，主任医师，主要研究方向：儿童影像诊断，脑功能成像。E-mail：homerzeng@126.com

优化组的VENC设置为20cm/s。原始组的VENC为12cm/s。

1.4 影像质量评价 在西门子Skyra 3.0T超导磁共振扫描仪(德国)后处理工作站对两组进行最大信号强度投影(maximum intensity projection，MIP)，由2名具有10年儿科神经影像研究经历的放射科医师共同对图像质量进行打分。使用0-3分的评分标准对脑内静脉的可视化效果进行评估[7]，具体如下：0分：不可见。1分：部分可见，不足以诊断。2分：静脉结构一般均匀增强和连续性，诊断信心不足。3分：图像质量优良，高度均匀，连续增强，血管边界明显锐利，诊断高度自信。

1.5 统计学方法 统计学分析使用SPSS 22.0软件，比较采用Shapiro-Wilk检验分析计量资料是否符合正态分布：(1)符合正态分布：采用独立样本t检验进行组间对比，统计参数描述采用均数及标准差，即“$(\bar{x}\pm s)$”；(2)不符合正态分布：采用Wilcoxon符号秩检验进行组间对比，统计参数描述采用中位数和级差。*P*<0.05认为差异有统计学意义。

2 结 果

本研究共28例儿童纳入统计学分析，平均年龄为6.2±3(±S)岁，男孩17例，女孩11例。2位儿科神经影像医师对两组图像共18个静脉段进行评估。Shapiro-Wilk检验分析计量资料不符合正态分布，两个序列间比较采用Wilcoxon符号秩检验。优化组的上矢状窦(*P*=0.004)、右乙状窦(*P*=0.005)、左乙状窦(*P*<0.001)、右横窦(*P*<0.001)、左横窦(*P*=0.01)、直窦(*P*<0.001)可视化效果优于原始组；原始组和优化组下矢状窦(*P*=0.556)、皮质静脉(*P*=1)、窦汇(*P*=0.287)的可视化效果无差异。见表1及图1。

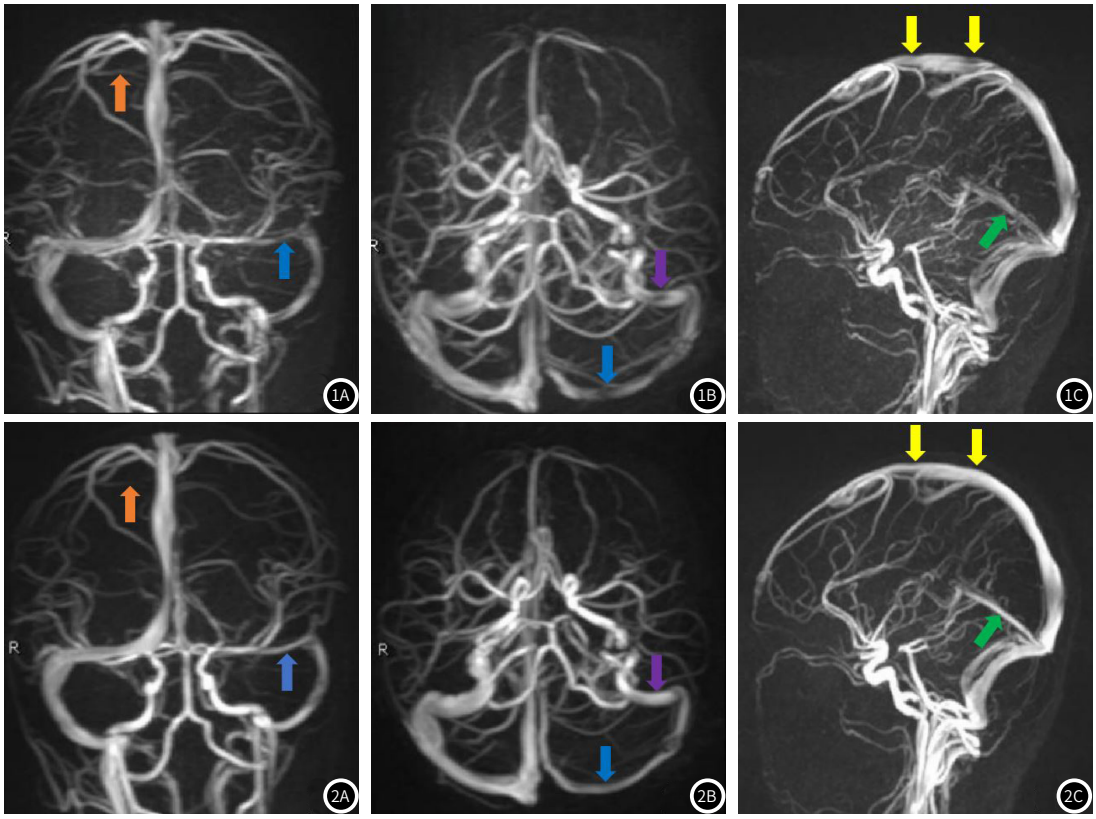

图1 原始组与优化组3D-PCV序列对脑内静脉的可视化效果比较。**图1A、图1B、图1C**为原始组的MIP图，**图2A、图2B、图2C**为优化组的MIP图。如图所示，原始组的皮质静脉(橙色箭头)显示明显优于优化组(图)；优化组的横窦(蓝色箭头)、乙状窦(紫色箭头)、上矢状窦(黄色箭头)、直窦(绿色箭头)显示明显优于原始组。

表1 原始组与优化组主观评价得分的组间对比结果

组别	分值(分)	上矢状窦	下矢状窦	直窦	皮质静脉	右乙状窦	左乙状窦	右横窦	左横窦	窦汇
原始组	中位数	1	3	2	3	3	3	3	3	3
	最大值	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	最小值	0	2	2	3	2	2	2	0	0
	级差	3	1	1	0	1	1	1	3	0
优化组	中位数	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	最大值	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	最小值	2	2	3	3	0	3	3	3	2
	级差	1	1	0	0	3	0	0	0	1
	*P*值	0.004*	0.556	<0.001*	1.000	0.005*	0.001*	<0.001*	0.01*	0.287

注：级差=最大值-最小值；*表示同一列数据差异有统计学意义(*P*<0.05)。

3 讨 论

常见脑内静脉系统的疾病主要包括硬脑膜静脉窦血栓、皮质静脉血栓、静脉曲张、持续性胚胎窦、骨膜窦等[8-9]。整体而言，脑内静脉系统的疾病较少见，但有些疾病会产生严重的后果，如脑静脉窦血栓。脑静脉窦血栓常发生于年轻患者[10-11]，最常累横窦、乙状窦、上矢状窦、直窦等部位[12-13]，造成静脉流出受限，导致多达3-15% 的患者在病情的急性期死亡[10]，更为重要的是脑静脉窦血栓是可以治愈的[14-15]。因此及时、准确的脑静脉系统成像有助于脑静脉系统的全面评估，对相关疾病的诊断、临床决策的指导以及治疗效果的评估等方面都具有重要意义。

既往研究显示，MRI是一种良好的脑静脉系统可视化技术，在脑内静脉系统疾病的诊断中起主要作用，但大多数情况下需要进行含钆造影剂对比增强静脉造影，以保证更好的图像质量，包括信噪比、空间分辨率和静脉血液信号强度等，提高诊断信心[3,16]。然而，注射含钆造影剂可带来额外的危害和风险，主要包括肾源性系统性纤维化(nephrogenic systemic fibrosis，NSF)[17]和脑部特定区域的钆沉积[18]。NSF可导致多器官和组织纤维化，包括肌肉、肺、肝和心脏，产生严重的残疾甚至导致死亡[19]。含钆

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]范宪淼,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,Bousser MG,Canhão P,Coutinho JM,Crassard I,Dentali F,di Minno M,Maino A,Martinelli I,Masuhr F,Aguiar 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,Hövener 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 (Minneap Minn),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]Vosshenrich 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]Daldrup-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,2018,33:378-383.

[11]Darki F,Klingberg T.The role of fronto-Parietal and fronto-striatal networks in the development `1of 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 Intergyral 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）