

颅脑专用线圈在0~6月龄婴儿颅脑MRI中的图像质量对比分析

杨阳, 杨凯华, 崔鹏翔, 时胜利
郑州大学附属儿童医院医学影像科, 河南 郑州 450018

【摘要】目的:探讨16通道婴幼儿颅脑专用线圈对0~6月龄婴儿颅脑MRI图像质量的影响。**方法:**选取32名0~6月龄患儿使用16通道婴幼儿颅脑专用线圈行颅脑MRI检查(专用线圈组),另选取同时期使用常规头颈联合线圈行颅脑MRI检查的32名0~6月龄患儿作为常规线圈组,扫描序列均包含横断位T₁加权像(T₁WI)、T₂加权像(T₂WI)、T₂液体衰减反转恢复序列(FLAIR)以及横断位弥散加权像(DWI),分别对扫描图像进行主观和客观评价。**结果:**主观评分中:T₁WI、T₂WI、FLAIR序列评分均达到4分以上,DWI序列均达到3分以上;在T₁WI、T₂WI和FLAIR序列中两名评分者评分一致性程度较强(Kappa值分别为0.717、0.652、0.784),在DWI序列中,一致性程度一般(Kappa值为0.321),均具有统计学意义($P<0.05$)。客观评价中,专用线圈组各序列的SNR和CNR在颅脑左右叶上均表现出高度的一致性,且颅脑左右叶SNR和CNR差异无统计学意义($P>0.05$);相较于常规线圈组,专用线圈组在各个序列SNR、CNR均有所增加,其中在T₁WI序列SNR、CNR和DWI序列SNR,两组差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**使用颅脑专用线圈扫描0~6月龄婴儿颅脑图像可以满足临床需求;专用线圈组图像质量在主、客观评价中均优于常规线圈组。

【关键词】颅脑;图像质量;专用线圈;婴儿

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)08-1015-06

Comparative analysis of image quality in magnetic resonance imaging with dedicated craniocerebral coil in infants aged 0-6 months

YANG Yang, YANG Kaihua, CUI Pengxiang, SHI Shengli

Department of Medical Imaging, Children's Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou 450018, China

Abstract: Objective To investigate the effects of 16-channel dedicated craniocerebral coil on brain magnetic resonance imaging (MRI) image quality in infants aged 0-6 months. **Methods** Thirty-two infants aged 0-6 months receiving craniocerebral MRI examination with 16-channel dedicated craniocerebral coil were enrolled as observation group, while 32 infant aged 0-6 months receiving craniocerebral MRI examination with conventional head and neck combined coil in the same period were enrolled as control group. The scanning sequences included transverse T₁ weighted imaging (T₁WI), T₂ weighted imaging (T₂WI), T₂ fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) and diffusion-weighted imaging (DWI) sequences. The scanned images were evaluated subjectively and objectively. **Results** In the subjective evaluation, T₁WI, T₂WI and FLAIR sequences scored higher than 4, and DWI sequence scored higher than 3. There were high consistency between two raters for T₁WI, T₂WI and FLAIR sequences (Kappa value=0.717, 0.652, and 0.784, respectively; $P<0.05$), and moderate consistency for DWI sequence (Kappa value=0.321; $P<0.05$). In the objective evaluation, the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of each sequence in the dedicated coil group were highly consistent in the left and right lobes of the brain, and the differences in the SNR and CNR between the left and right lobes of the brain were trivial ($P>0.05$). The SNR and CNR of each sequence in the dedicated coil group increased as compared with the conventional coil group, and the differences in the SNR and CNR of T₁WI sequence and the SNR of DWI sequence were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** The brain images of infants aged 0-6 months obtained with a dedicated craniocerebral coil can better meet the clinical needs, and the image quality of the dedicated coil group is superior to that of the conventional coil group in both subjective and objective evaluations.

Keywords: craniocerebral; image quality; dedicated coil; infant

【收稿日期】2024-01-20

【作者简介】杨阳, 技师, 研究方向: 儿童CT、MR检查技术, E-mail: 804440249@qq.com

【通信作者】杨凯华, 副主任技师, 研究方向: 儿童CT、MR检查技术, E-mail: 588ykh@163.com

前言

随着我国医疗水平的进步,我国婴幼儿死亡率从2000年的32.3‰下降至2019年的5.6‰,但神经系统疾病的发生率呈上升趋势^[1]。磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)作为一种无电离辐射的技术,可以无创、敏感地反映病变部位、范围、性质及其组织学基础,具有较高的软组织分辨率,可以多方位、多参数成像,并且无骨性伪影,在婴儿颅脑疾病诊断方面较其他影像学检查有明显的优势,在临床诊疗中发挥着重要作用^[2-5]。影像精准诊断的前提必然是良好的图像质量,在MRI检查过程中,很多因素会影响MRI图像信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)和对比噪声比(Contrast-to-Noise Ratio, CNR),接收线圈是其中一个重要因素^[6-7],线圈距离与检查部位的远近决定接收信号的强弱^[8]。婴儿的头围及颈围较成人相比差异明显,常规婴儿颅脑MRI使用的头颈联合线圈,因没有按照婴儿头围标准制定,颅脑组织与线圈间存在较大的间隙,易使接收的信号发生衰减,图像质量受到影响^[9-10]。随着磁共振线圈技术的不断突破和进步,婴儿颅脑专用线圈打破了常规头颈联合线圈的局限性,此次研究采用苏州众志医疗科技有限公司16通道婴幼儿头颈脊柱线圈,高度贴合婴幼儿的身体,配备专业隔音气囊,兼顾固定及降噪效果,但关于该线圈的临床应用报道较少。本研究选取32名0~6月龄患儿使用16通道颅脑专用线圈行颅脑MRI检查(专用线圈组),同时选取32名0~6月龄患儿使用常规头颈联合线圈行颅脑MRI检

查(常规线圈组),专用线圈组同常规线圈组对比,从主、客观方面分析其图像质量。

1 材料与方法

1.1 一般资料

选取2022年1月~2022年8月于郑州大学附属儿童医院行颅脑MRI检查的64例0~6月龄足月婴儿资料,其中男37例,女27例,年龄中位数及四分位数为58.50(19.50, 119.25) d。纳入标准:临床诊断为产伤,呼吸、反射异常,缺氧缺血性脑病,先天发育畸形,脑出血,脑水肿,脑外伤,脑发育不良等临床建议行颅脑MRI检查。排除标准:(1)患儿存在MRI检查相关禁忌症;(2)病危、急救的危急重症者。本研究经郑州大学附属儿童医院伦理委员会批准(审批号2024-K-025),患儿家属均自愿签署MRI检查知情同意书。

1.2 设备及方法

使用Siemens MAGNETOM Prisma 3.0T超导型MR成像仪,常规16通道头颈联合线圈或苏州众志医疗科技有限公司16通道婴幼儿头颈脊柱线圈(图1)。患儿检查前给予右美托咪定滴鼻(2.0 μg/kg),达到深度睡眠后行检查。扫描序列包括横断位T₁加权像(T₁ Weighted Imaging, T₁WI)、T₂加权像(T₂ weighted imaging, T₂WI)、T₂液体衰减反转恢复序列(T₂ Fluid-Attenuated Inversion Recovery, FLAIR)及弥散加权像(Diffusion Weighted Imaging, DWI)。各序列扫描参数见表1。



a: 常规16通道头颈联合线圈 b: 16通道婴幼儿头颈脊柱线圈全面观 c: 16通道婴幼儿头颈脊柱线圈水模摆放示意图

图1 同一个水模在两种线圈中的摆放对比

Figure 1 Comparison of placement of the same water model when using different types of coils

1.3 图像质量评价方法及指标

1.3.1 主观评价 由2名具有10年以上工作经验的放射科诊断医生根据李克特量表评分法对4个序列的图像进行盲审,评分不一致时,协商统一。图像质量

评价标准为^[10]:5分,图像质量优,无伪影,灰白质界面非常清晰,病灶显示清晰,对诊断无任何不良影响;4分,图像质量良,伪影较轻,灰白质界面较清晰,不影响显示病灶,图像不妨碍诊断;3分,图像质量

表1 各序列扫描参数
Table 1 Scanning parameters for each sequence

序列	TR/ms	TE/ms	层厚/mm	层间距/mm	层数	FOV/mm	b 值/s·mm ⁻²	矩阵	激励次数	扫描时间
T ₁ WI	2 000	10	5	1	17	180	-	205×256	1	1 min 48 s
T ₂ WI	3 500	137	5	1	17	180	-	256×320	1	53 s
FLAIR	8 500	134	5	1	17	180	-	205×256	1	1 min 59 s
DWI	4 160	60/102	5	1	17	180	0/1000	205×256	1	58 s

TR:重复时间;TE:回波时间;FOV:视野

中,伪影一般,灰白质界面尚清,可分辨,对显示病灶稍有影响;2分,图像质量差,伪影较重,灰白质界面模糊,较难分辨,严重影响病灶显示,图像妨碍诊断;1分,图像质量劣,伪影重,灰白质无明确界面,病灶显示模糊不清,图像严重妨碍诊断。

1.3.2 客观评价 由2位具有5年以上MRI技术工作经验技师采用盲法独立完成,取两者测量的信号强度及背景噪声的平均值。采用Siemens Syngo.via后处理工作站,测量T₁WI、T₂WI、FLAIR和DWI序列图像SNR和CNR。选择颅脑横径最大层面,在半卵圆中心和额叶皮层分别设置1个兴趣区(Region of Interest, ROI),面积35 mm²,尽量避开病灶,测量其信号强度(Signal Intensity, SI),即为脑白质与脑灰质信号强度(SI_{白质}、SI_{灰质});颅脑前方背景内设置ROI,形状大小同上,测量其SI,即为相位编码方向的背景噪声的标准差(SD)。计算SNR和CNR,SNR=SI_{白质}/SD;CNR=(SI_{白质}-SI_{灰质})/SD。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0统计学软件进行统计学分析。服从正态分布的计量资料以均数±标准差表示,组间比较采用配对*t*检验;非正态分布的计量资料以中位数和四分位数间距[M(P25, P75)]表示,组间比较采用Mann Whitney *U*检验。计数资料以例(%)表示,组间比较采用卡方检验。*P*<0.05为差异有统计学意义。Kappa一致性检验,首先对*P*值进行分析,如果*P*<0.05说明有一定的一致性。Kappa值<0.2说明一致性程度较差;Kappa值为0.2~0.4说明一致性程度一般;Kappa值为0.4~0.6说明一致性程度中等;Kappa值为0.6~0.8说明一致性程度较强;Kappa值为0.8~1.0说明一致性程度很强。

2 结果

2.1 图像质量主观评价

专用线圈组中,两位专家在T₁WI、T₂WI和FLAIR序列中的评分一致性程度较强(Kappa值分别为0.717、0.652、0.784),具有统计学意义(*P*<0.001);在

DWI序列中一致性程度一般(Kappa值为0.321),具有统计学意义(*P*<0.05),见表2。

表2 专用线圈组主观评分的一致性情况[例(%)]
Table 2 Consistency of the subjective score in the dedicated coil group [cases (%)]

评分者	T ₁ WI	T ₂ WI	FLAIR	DWI
A(<i>n</i> =32)				
3分	0	0	0	2(6.25)
4分	3(9.375)	2(6.25)	3(9.375)	4(12.5)
5分	29(90.625)	30(93.75)	29(90.625)	26(81.25)
B(<i>n</i> =32)				
3分	0	0	0	3(9.375)
4分	4(12.5)	1(3.125)	2(6.25)	3(9.375)
5分	28(87.5)	31(96.875)	30(93.75)	26(81.25)
Kappa值	0.717	0.652	0.784	0.321
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	0.018

64例研究对象中,经过两位专家沟通,意见达成一致,其中专用线圈组和常规线圈组在T₁WI、T₂WI、FLAIR、DWI序列中的评分见表3。得分较低的研究对象,普遍存在运动幅度过大,伪影控制不够理想,药物镇静效果不佳等情况。专用线圈组的主观评分高于常规线圈组,且差异具有统计学意义(*P*<0.001)。专用线圈组与常规线圈组扫描的0~6月龄婴儿颅脑MRI图像见图2。

2.2 图像质量客观评价

为测试专用线圈应用中的稳定性,通过计算颅脑左右叶SNR和CNR数值差异,反映图像均匀度,从而验证专用线圈的稳定性,研究发现各序列的SNR和CNR在左右叶颅脑上均表现出高度的一致性,且颅脑左右叶SNR和CNR差异无统计学意义(*P*>0.05),见表4、5。专用线圈组与常规线圈组相比,各个序列SNR、CNR均有所增加,在T₁WI序列SNR、CNR,DWI序列SNR两组差异存在统计学意义(*P*<0.05),见表6。

表3 专用线圈组与常规线圈组主观评分比较[例(%)]

Table 3 Comparison of subjective score between the dedicated coil group and conventional coil group [cases (%)]

评分	T ₁ WI		T ₂ WI		FLAIR		DWI	
	专用	常规	专用	常规	专用	常规	专用	常规
5分	29(90.625)	0	31(96.875)	1(3.125)	29(90.625)	0	26(81.250)	0
4分	3(9.375)	16(50.0)	1(3.125)	18(56.250)	3(9.375)	21(65.625)	3(9.375)	18(56.250)
3分	0	15(46.875)	0	12(37.50)	0	8(25.0)	3(9.375)	8(25.0)
2分	0	1(3.125)	0	1(3.125)	0	2(6.250)	0	5(15.625)
1分	0	0	0	0	0	1(3.125)	0	1(3.125)
χ^2	16.134		14.051		10.352		15.813	
P值	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	

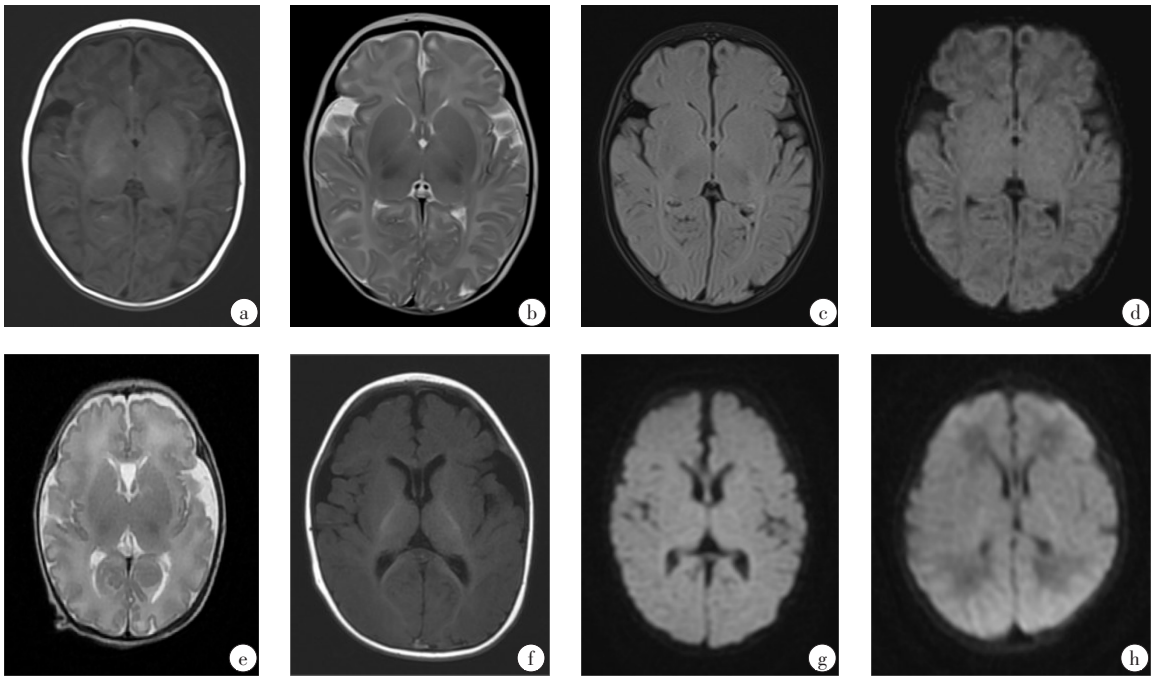


图2 专用线圈与常规线圈扫描的0~6月龄婴儿颅脑MRI图像

Figure 2 Brain MRI of infants aged 0~6 months scanned with dedicated coil and conventional coil

a~d:使用专用线圈扫描,女,出生后1月5天,出生时有窒息史,图a~d分别为T₁WI、T₂WI、FLAIR和DWI序列图像,各序列评分均为5分,颅脑结构显示清楚;e:使用常规线圈扫描,女,出生后19天,产后反应差,呼吸困难30 min,T₂WI序列图像评分为3分,图像质量中,图像颗粒感明显,灰白质界面尚清,可分辨;f:使用常规线圈扫描,男,出生后5月2天,发育迟缓不会主动翻身,T₁WI序列图像评分为3分,图像质量中,图像颗粒感明显,灰白质界面尚清,可分辨;g:使用常规线圈扫描,男,出生后2月3天,纳差、生长迟缓2个月,DWI序列图像评分为2分,图像质量差,灰白质界面模糊,较难分辨;h:使用常规线圈扫描,男,出生后10天,新生儿黄疸,DWI序列图像评分为3分,图像质量中,噪声大,灰白质界面尚清,可分辨

3 讨论

MRI技术具有无损伤性、无电离辐射、多方位多参数成像及图像对比度高等特点,目前被广泛应用于婴幼儿的临床颅脑检查^[11-15]。当下MRI更是被认为是检测新生儿脑损伤和评估活体脑发育的首选方法。众所周知,婴儿时期的大脑发育是一个高速变化的过程,头部的尺寸和形状是高度变化的。但当

下磁共振设备标配的颅脑线圈是根据成人头颈标准设计的,相较于成人,足月新生儿平均体质量为3.5 kg,头围仅为成人的四分之一;孕25周的早产儿体质量仅为0.5 kg,头围则更小^[16-18]。虽然通过紧密放置在图像上的接收阵列获得了较高的图像SNR,但由于其尺寸较大,婴儿躁动、欠配合,及婴儿颅脑直径较小,常规头颈联合线圈尺寸与之不匹配等特点,造成扫描时线圈与组织间存在较大的间隙,导致图像

表 4 专用线圈各序列信噪比及左右侧颅脑一致性[M(Q1, Q3)]

Table 4 Signal-to-noise ratio of each sequence and the consistency of the left and right lobes of the brain in dedicated coil group [M(Q1, Q3)]

参数	T ₁ WI	T ₂ WI	FLAIR	DWI
SNR-左叶	49.83(35.45, 62.37)	62.23(50.87, 74.45)	44.50(36.21, 66.50)	63.63(52.92, 81.92)
SNR-右叶	41.37(34.35, 66.04)	59.75(51.78, 66.03)	45.80(39.85, 62.17)	64.85(54.35, 79.00)
Z值	-0.121	-0.678	-0.040	-0.054
P值	0.904	0.498	0.968	0.957

表 5 专用线圈各序列对比噪声比及左右侧颅脑一致性[M(Q1, Q3)]

Table 5 Contrast-to-noise ratio of each sequence and the consistency of the left and right lobes of the brain in dedicated coil group [M(Q1, Q3)]

参数	T ₁ WI	T ₂ WI	FLAIR	DWI
CNR-左叶	20.50(14.25, 32.29)	-16.38(-27.13, -12.63)	3.20(1.58, 9.00)	6.50(2.80, 18.50)
CNR-右叶	20.00(13.91, 33.00)	-15.74(-19.33, -12.76)	3.20(1.35, 7.50)	7.33(2.20, 23.50)
Z值	-0.020	-0.591	-0.369	-0.081
P值	0.984	0.555	0.712	0.936

表 6 专用线圈和常规线圈各序列信噪比及对比噪声比比较[M(Q1, Q3)]

Table 6 Comparison of signal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio between dedicated coil group and conventional coil group for each sequence [M(Q1, Q3)]

组别	T ₁ WI		T ₂ WI		FLAIR		DWI	
	SNR-总体	CNR-总体	SNR-总体	CNR-总体	SNR-总体	CNR-总体	SNR-总体	CNR-总体
专用	46.63(35.77, 66.73)	20.92(14.32, 32.06)	62.05(51.69, 73.49)	-16.14(-23.02, -13.93)	63.87(39.17, 64.57)	3.05(1.51, 8.43)	64.24(52.65, 77.81)	7.62(2.45, 20.57)
常规	34.68(31.21, 39.84)	12.80(9.81, 17.90)	54.93(48.01, 66.50)	-13.53(-19.06, -10.38)	40.25(34.86, 51.70)	1.84(0.87, 5.30)	38.40(31.25, 50.74)	4.50(1.75, 13.04)
Z值	-3.155	-3.854	-1.088	-1.947	-1.638	-1.256	-5.781	-1.323
P值	0.002	<0.001	0.277	0.052	0.101	0.209	<0.001	0.186

SNR 低, 伪影影响, 组织对比度不足, 这在很大程度上阻碍了新生儿脑部高质量 MRI 图像的获取。本研究采用的 16 通道颅脑专用线圈, 围绕国内婴幼儿头颈尺寸设计打造, 高度匹配婴幼儿的身体, 同时配备专业隔音气囊, 兼顾固定及降噪效果, 利用 16 通道颅脑专用线圈和常规线圈对 0~6 月龄婴儿颅脑进行扫描, 并对两组图像质量进行对比分析。

3.1 图像质量定性分析

专用线圈组中, 两位专家评分指标在 T₁WI、T₂WI 和 FLAIR 序列中的评分一致性程度较强(Kappa 值分别为 0.717、0.652、0.784), 在 DWI 序列中, 一致性程度一般(Kappa 值为 0.321), 均具有统计学意义(P<0.05)。在专用线圈组中, T₁WI、T₂WI 和 FLAIR 序列评分均达到 4 分以上, 伪影较轻, 灰白质界面可以清晰显示, 病灶显示清晰。DWI 序列评分不如其它序列, 但该序列意义重大, 其通过高对比度, 实现

了在分子水平对组织进行结构及功能的评估, 尤其在实质性病灶诊断中发挥重要作用^[19-20]。对比常规线圈组, 专用线圈组的主观评分高于常规线圈组, 且差异具有统计学意义(P<0.001)。李俊鹏等^[21]研究认为头颈联合线圈由于空间大, 新生儿在颅脑成像时更易产生伪影。此次应用的专用线圈高度贴合婴儿身体, 利用专业隔音气囊, 兼顾固定及降噪效果, 减少了婴儿活动空间, 是专用线圈组评分较高的重要原因之一。

3.2 图像质量定量分析

SNR 作为评价磁共振系统最重要的参数之一, SNR 越高, 意味着组织信号成分越多, 图像清晰度亦越高。CNR 同样作为常用的评价参数, 往往反映图像细节, CNR 的提高有助于小病灶的检出率^[22-23]。对于颅脑图像质量定量分析, 结果显示专用线圈组各序列的 SNR 和 CNR 在颅脑左右叶上均表现出高度的一致性, 且颅脑左、右

叶SNR和CNR差异无统计学意义($P>0.05$)。通过图像反映出的均一性,从而验证专用线圈的稳定性。专用线圈组在各个序列SNR、CNR较常规线圈组均有所增加,但仅在 T_1 WI序列SNR、CNR及DWI序列SNR,两组差异存在统计学意义($P<0.05$)。当覆盖范围一定时,减小线圈体积,将影响接收到的电压信号,此时线圈所覆盖的头颅变小,线圈内获取的噪声信号减低更多,因此具有小线圈元件和高通道计数的线圈阵列可以提供更高的固有信噪比^[24-25]。

本研究尚有不足之处:(1)入组数量少,专用线圈组SNR、CNR有所增加但较常规线圈组体现不出较大差异性;(2)因伦理考虑,本研究仅使用颅脑专用线圈对不同患儿进行扫描,缺乏同一患儿在颅脑专用线圈及常规头颈联合线圈扫描结果对比;(3)由于时间限制和研究限制,未能采用功能磁共振序列,如扩散张量成像、磁共振波谱等。综上所述,使用16通道颅脑专用线圈扫描0~6月龄婴儿,专用线圈组图像质量在主、客观评价中均优于常规线圈组,可以较好的满足临床需求。

【参考文献】

- [1] 国家卫生健康委员会. 2020中国卫生健康统计年鉴[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2020.
National Health Commission. 2020 China health statistical yearbook [M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2020.
- [2] McCann S, Perapoch Amadó M, Moore SE. The role of iron in brain development: a systematic review[J]. *Nutrients*, 2020, 12(7): 2001.
- [3] Wagenaar N, Verhage CH, de Vries LS, et al. Early prediction of unilateral cerebral palsy in infants at risk: MRI versus the hand assessment for infants[J]. *Pediatr Res*, 2020, 87(5): 932-939.
- [4] Obst S, Herz J, Alejandro Alcazar MA, et al. Perinatal hyperoxia and developmental consequences on the lung-brain axis[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2022, 2022: 5784146.
- [5] Colafati GS, Voicu IP, Carducci C, et al. MRI features as a helpful tool to predict the molecular subgroups of medulloblastoma: state of the art[J]. *Ther Adv Neurol Disord*, 2018, 11: 1756286418775375.
- [6] 尹红霞, 刘雅文, 杨婷婷, 等. 正交鸟笼头线圈质量控制检测与建立处置界限的初步实践[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(1): 123-127.
Yin HX, Liu YW, Yang PP, et al. Initial practice on quality control tests and action limits setting of birdcage head coils[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2018, 34(1): 123-127.
- [7] Clément J, Gruetter R, Ipek Ö. A combined 32-channel receive-loops/8-channel transmit-dipoles coil array for whole-brain MR imaging at 7T[J]. *Magn Reson Med*, 2019, 82(3): 1229-1241.
- [8] 陈地友, 冉启胜. 四通道相控阵表面线圈与十二通道头颅正交线圈在踝关节MRI中的应用比较[J]. *中国医疗设备*, 2021, 36(7): 77-80.
Chen DY, Ran QS. Comparison of four-channel phased array surface coil and twelve-channel skull orthogonal coil in ankle joint MRI[J]. *China Medical Devices*, 2021, 36(7): 77-80.
- [9] Lopez Rios N, Foias A, Lodygensky G, et al. Size-adaptable 13-channel receive array for brain MRI in human neonates at 3 T[J]. *NMR Biomed*, 2018, 31(8): e3944.
- [10] Gradl J, Höreth M, Pfefferle T, et al. Application of a dedicated surface coil in dental MRI provides superior image quality in comparison with a standard coil[J]. *Clin Neuroradiol*, 2017, 27(3): 371-378.
- [11] Miller SP, McQuillen PS, Hamrick S, et al. Abnormal brain development in newborns with congenital heart disease[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(19): 1928-1938.
- [12] Mirmiran M, Barnes PD, Keller K, et al. Neonatal brain magnetic resonance imaging before discharge is better than serial cranial ultrasound in predicting cerebral palsy in very low birth weight preterm infants[J]. *Pediatrics*, 2004, 114(4): 992-998.
- [13] 曾益辉, 何玉琴, 徐舒曼, 等. MR T2WI快速恢复快速自旋回波和快速自旋回波序列在婴幼儿头颅检查中的对比研究[J]. *实用放射学杂志*, 2022, 38(6): 983-986.
Zeng YH, He YQ, Xu SM, et al. Comparative study of TSE DRIVE and TSE sequence of MR T2WI in infant head examination[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2022, 38(6): 983-986.
- [14] 中国医师协会新生儿科医师分会, 中国当代儿科杂志编辑委员会. 新生儿颅脑磁共振检查临床实践的专家共识[J]. *中国当代儿科杂志*, 2022, 24(1): 14-25.
Neonatologist Society, Chinese Medical Doctor Association, Editorial Board of Chinese Journal of Contemporary Pediatrics. Expert consensus on the clinical practice of neonatal brain magnetic resonance imaging[J]. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*, 2022, 24(1): 14-25.
- [15] 王程程. 多模态磁共振评估HDCP早产儿脑发育及预后的价值研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
Wang CC. Multimodal magnetic resonance evaluation of brain development and neurological prognosis in preterm infants with HDCP [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020.
- [16] Hillenbrand CM, Reykowski A. MR imaging of the newborn: a technical perspective[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2012, 20(1): 63-79.
- [17] 张洪锡, 赵建江, 丁玉爽, 等. 自制线圈辅助支架及表面线圈组合用于新生儿颅脑1.5T MR检查[J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(9): 1406-1411.
Zhang HX, Zhao JJ, Ding YS, et al. Self-made coil auxiliary stent and surface coil combination for neonatal brain 1.5T MR examinations[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2022, 38(9): 1406-1411.
- [18] 陈传明, 孙多成, 徐林, 等. 正常新生儿、婴幼儿部分颅脑结构的MRI测量[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2011, 9(1): 31-33.
Chen CM, Sun DC, Xu L, et al. Measure part of brain structure in normal newborn or infant with MRI[J]. *Chinese Journal of CT and MRI*, 2011, 9(1): 31-33.
- [19] 刘羽, 彭超. 磁共振技术DWI在颅内TB的应用价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2019, 3(24): 114-115.
Liu Y, Peng C. Application value of DWI in intracranial TB [J]. *Journal of Imaging Research and Medical Applications*, 2019, 3(24): 114-115.
- [20] 靳云凤, 祖景世, 于平年. SWI及DWI对高血压颅内微出血的检测价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2019, 3(13): 165-166.
Jin YF, Zu JS, Yu PN. The value of SWI and DWI in detecting hypertensive intracranial microhemorrhage[J]. *Journal of Imaging Research and Medical Applications*, 2019, 3(13): 165-166.
- [21] 李俊鹏, 陈煜琛, 周瀚, 等. 膝关节线圈与头颈联合线圈对新生儿颅脑成像质量对比[J]. *四川医学*, 2015, 36(4): 567-569.
Li JP, Chen YC, Zhou H, et al. Imaging quality contrast of knee orthogonal coils and head-neck-a to neonatal cerebral[J]. *Sichuan Medical Journal*, 2015, 36(4): 567-569.
- [22] 王灌忠, 沈钧康, 张彩元. 信噪比在MR图像质量控制中的作用[J]. *医学影像学杂志*, 2003, 13(11): 879-881.
Wang GZ, Shen JK, Zhang CY. The application of signal-to-noise ratio in the quality controlling of the MR imaging[J]. *Journal of Medical Imaging*, 2003, 13(11): 879-881.
- [23] 张中伟. 磁共振图像特征及其对比机制(二): 图像对比与对比度噪声比[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2017, 26(5): 430-433.
Zhang ZW. Characteristics of magnetic resonance images and their contrast mechanism(2): image contrast and contrast-to-noise ratio[J]. *Diagnostic Imaging & Interventional Radiology*, 2017, 26(5): 430-433.
- [24] Zhang T, Grafendorfer T, Cheng JY, et al. A semiflexible 64-channel receive-only phased array for pediatric body MRI at 3T[J]. *Magn Reson Med*, 2016, 76(3): 1015-1021.
- [25] 刘玉奇, 贾慧惠, 宋永瑞, 等. 婴儿专用0.35 T脑MRI系统安全性和有效性研究[J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(1): 73-78.
Liu YQ, Jia HH, Song YR, et al. The safety and efficacy of a dedicated neonatal-infant 0.35 T brain MRI system[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2023, 57(1): 73-78.

(编辑: 薛泽玲)