DOI:10.16016/j.2097-0927.202302042

7.0T MRI SWI 序列对脉络丛静脉成像质量的评估价值

甄志铭,肖诗蕾,刘 晨,杨 斌,李晓明 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院放射科,7T 磁共振转化医学中心

[**摘要**] **目的** 探讨 7.0T 超高场强 MRI SWI 序列对脉络丛(choroid plexus,CP)静脉成像质量评估的价值。**方法** 采用前瞻性研究方法,于 2022 年 5-8 月在本院招募健康人群 50 例,所有受试者于同一天行 7.0T 和 3.0T MRI 磁敏感加权成像(susceptibility-weighted image,SWI)扫描。采用主观指标 Likert5 分量表法评估整体图像质量和脉络丛钙化显示质量;视觉四分法对脉络丛静脉显示质量进行评估。客观指标计算脑脊液与脉络丛静脉对比噪声比(CNR)。**结果** 共 42 例受试者纳入研究。整体图像质量的 Likert5 评分显示 7.0T 组优于 3.0T 组[5(5,5)*vs* 4(3,4),$P<0.001$],视觉四分法对脉络丛静脉的评分显示 7.0T 组优于 3.0T 组[0(0,1)*vs* 3(2,3),$P<0.001$]。42 例受检者中,31 人检出脉络丛钙化,钙化显示质量的 Likert5 评分表明 7.0T 组优于 3.0T 组[5(4,5)*vs* 3(3,4),$P<0.001$]。7.0T MRI 组图像 CNR 值高于 3.0T MRI 组[(12.76±4.00) *vs* (-2.13±12.75),$P<0.001$]。**结论** 7.0T MRI 超高场强 SWI 序列对脉络丛静脉成像质量的评估价值优于 3.0T MRI。

[**关键词**] 7.0T MRI;3.0T MRI;磁敏感加权成像;脉络丛静脉
[**中图法分类号**] R195.1; R322.81; R445.2 [**文献标志码**] A

Evaluation value of SWI with 7.0T MRI for choroid plexus vein imaging

ZHEN Zhiming, XIAO Shilei, LIU Chen, YANG Bin, LI Xiaoming Department of Radiology, Translational Medical Center of 7T Magnetic Resonance Imaging, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] **Objective** To explore the quality evaluation value of 7.0T ultra-high field MRI-SWI sequence in choroid plexus (CP) vein. **Methods** Fifty healthy individuals were recruited in our hospital from May to August 2022. All of them received 7.0T and 3.0T magnetic susceptibility weighted imaging (SWI) on the same day. The subjective index Likert5 subscale was used to evaluate the overall image quality and CP calcification display quality, and visual quartet was used to evaluate the CP vein display quality. The contrast-to-noise ratio (CNR) of the cerebrospinal fluid to CP was calculated by objective index. Mann-Whitney *U* test was used for intergroup comparison. **Results** There were 42 subjects finally included in the study. Likert5 scores of overall image quality showed that the images from the 7.0T group were superior to those of the 3.0T group [5 (5, 5) *vs* 4 (3, 4); $P<0.001$]. CP vein scores of visual quartering showed the 7.0T group was better than the 3.0T group [0 (0, 1) *vs* 3 (2, 3); $P<0.001$]. Among the 42 subjects, 31 had CP calcification. and the Likert5 scores of calcification showed that the 7.0T group was greater than the 3.0T group [5 (4, 5) *vs* 3 (3, 4); $P<0.001$]. The contrast-to-noise ratio (CNR) value of 7.0T MRI group was significantly higher than that of the 3.0T MRI group (12.76±4.00 *vs* -2.13±12.75; $P<0.001$). **Conclusion** 7.0T MRI ultra-high field strength SWI sequences is superior to 3.0T MRI for evaluating the

[**基金项目**] 国家自然科学基金面上项目(82071910)
[**通信作者**] 李晓明,E-mail: 359261069@qq.com

2097-0927/Copyright © 2023, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

quality of choroid plexus vein imaging.

[**Key words**] 7.0T; 3.0T; susceptibility-weighted image; magnetic resonance image; choroid plexus

Supported by the General Program of National Natural Science Foundation of China (82071910). Corresponding author: LI Xiaoming, E-mail: 359261069@qq.com

脉络丛(choroid plexus,CP)在传统认知中仅是脑脊液循环的起点。近年来,脉络丛在昼夜节律、神经干细胞调控、脑代谢废物清除、脑稳态等方面的重要作用被人们重新认识[1-3]。无创且高软组织对比的多模态磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)技术从体积、灌注及扩散角度为脉络丛在肥胖[4]、精神疾病[5]、阿尔茨海默病[6]和多发性硬化症[7]等神经系统病理生理研究提供了新的方向(点)。但是,目前国内外尚无关于脉络丛静脉的3.0T及7.0T MRI影像研究。

随着场强的发展,7.0T超高场强MRI极大促进了颅内微小结构研究,其中磁敏感加权成像(susceptibility-weighted image,SWI)在丘脑核团[8]、微出血[9]、深髓静脉[10]等精细解剖成像上展示出很高的临床价值。因此,我们推测7.0T SWI成像有望充分观察到脉络丛静脉结构,并为脉络丛静脉形态及组学定量研究提供更为精准的影像学依据。本研究通过对比7.0T SWI与临床常规3.0T SWI对脉络丛静脉的成像质量,探索MRI对脉络丛静脉的评估效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为单中心、前瞻性、自身对照研究,已通过本院伦理委员会审批(KY2020191),并获得所有参与者知情同意。于2022年5-8月在本院招募50名健康受试者,并在同一天行7.0T及3.0T头颅MRI扫描,其中男性25例[(27.5±10.9)岁],女性25例[(31.29±13.0)岁]。

纳入标准:①20~60岁的健康人群;②对研究完全知情、理解并同意。排除标准:①合并严重感染,或患有可能威胁生命的恶性疾病;②有MRI检查禁忌证,如幽闭恐惧症者、金属节育环、心脏支架、耳蜗假体等其他可能影响检查的植入物;③既往有颅脑系统疾病;④受试者不能配合检查导致图像质量不佳。

1.2 仪器与方法

所有受试者进行Terra-7.0T MRI(Siemens)及U77O-3.0T MRI(联影)头颅SWI序列扫描,获得4组图像:包括幅度图、相位图(PHASE)、磁敏感加权图(SWI)、最小密度投影图。两种设备均采用32通道头颅相控阵线圈,扫描参数见表1。

表1 7.0T和3.0T SWI序列扫描参数

参数	7.0T	3.0T
重复时间(TR)/ms	21.0	29.7
回波时间(TE)/ms	14	20
翻转角(FA)/(°)	10	15
矩阵	896×896	496×496
平均采集次数	1	1
空间分辨率/mm	0.1×0.1×1.5	0.46×0.46×2
采集时间	7 min 28 s	7 min 16 s

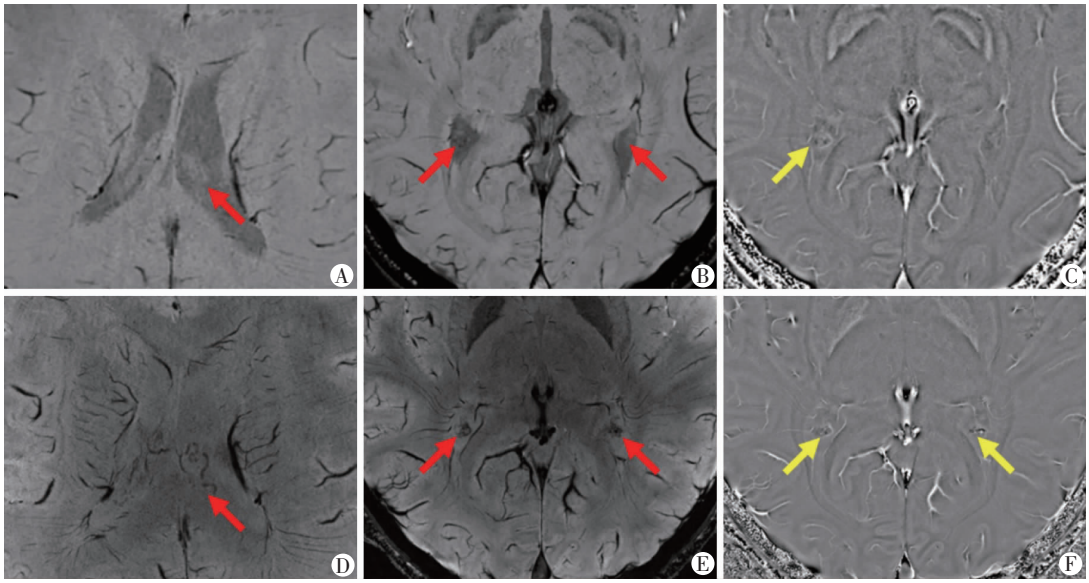
1.3 图像分析

1.3.1 主观评价 由2名放射科医师(分别具有5年和10年颅脑影像诊断经验)对不同场强SWI序列进行图像质量评分。评分标准:采用Likert5分量表法对整体图像质量和钙化显示进行评分。Likert5分量表法分为1~5分;5分:图像显示非常满意,图像质量优秀,有利于诊断;4分:图像显示满意,图像质量良好,方便诊断;3分:图像显示一般,图像质量有瑕疵,能够诊断;2分:图像显示欠满意,图像质量欠佳,影响诊断;1分:图像显示不满意,图像质量差,不能诊断。

依据脉络丛在SWI序列的显示情况,参照视觉四分法分为0~3级[11](图1):0级:静脉显示连续且信号呈均匀低信号;1级:静脉显示连续,但信号不均匀;2级:静脉显示不连续,呈斑点状低信号;3级:未发现连续静脉(评分≥2级,临床诊断效能较低)。

1.3.2 客观评价 基于7.0T和3.0T SWI序列,以侧脑室后角脉络丛整体形态显示最完整层面为测量层面,由2名放射科医师在西门子和联影后处理工作站设定相同面积感兴趣区(参考相位图,避开钙化区域),测量脉络丛静脉和脑脊液信号强度(signal Intensity,SI)及图像背景信号标准差(standard deviation,SD),计算对比噪声比(contrast-to-noise ratio,CNR),最终分别取2名放射科医师的测量平均值。

$$CNR=(SI_{脑脊液均值}-SI_{脉络丛静脉均值})/SD_{图像背景}\times 100\%$$



红色箭头示脉络丛静脉;黄色箭头示钙化

A:侧脑室中央部,3.0T SWI 未见脉络丛静脉显示,视觉评分为 3 分;B:侧脑室后角,3.0T SWI 未见脉络丛,视觉评分为 3 分;C:侧脑室后角,3.0T 相位图见脉络丛钙化显示,钙化评分为 1 分;D:侧脑室中央部,7.0T SWI 见脉络丛静脉显示,视觉评分为 0 分;E:侧脑室后角,7.0T SWI 见脉络丛静脉显示,视觉评分为 0 分;F:侧脑室后角,7.0T 相位图见脉络丛钙化显示,钙化评分为 4 分

图 1 同一受试者 3.0T、7.0T SWI 对脉络丛静脉显示对比

1.4 统计学分析

1.4.1 样本量计算 对影像质量优良性进行了验证,采用单样本诊断试验方法计算样本量(N)。

$$N=\left(\frac{z_{1-\alpha/2}\sqrt{p_0(1-p_0)}+z_{1-\beta}\sqrt{p(1-p)}}{\delta}\right)^2$$

其中,p 为灵敏度(特异度),p_0 为临床能接受的灵敏度(特异度)最低标准,z 代表标准正态分布对应的分位数,α 取 0.05,把握度(1−β)取 80%,容许误差 δ 取 0.2。

1.4.2 数据分析 采用 SPSS 26.0 统计软件。采用组内相关系数(intraclass correlation coeficient,*ICC*)检验医师间评估图像质量及血管显示质量的一致性,*ICC*>0.75 为一致性好。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用配对样本 t 检验;偏态分布的计量资料以 $M(Q_1,Q_3)$ 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验,P<0.05 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

样本量计算结果认为样本应不少于 21 名受试者,本研究招募 50 例受试者均行 7.0T 和 3.0T MRI 检查,其中 8 例由于检查过程中配合欠佳导致图像质量较差,最终 42 例受试者(7.0T 和 3.0T 图像均无运动伪影)纳入本研究,男性 24 例,年龄(25.67±9.95)岁,女性 18 例,年龄(26.72±9.57)岁,组内性别、年龄比较差异无统计学意义。

2.2 图像评估

基于 7.0T 和 3.0T MRI 的 SWI 序列,2 名放射科医师对整体图像质量、脉络丛视觉评分和脉络丛钙化评分的主观评价一致性好(*ICC* 分别为 0.91、0.91、0.89)。

主观评估:整体图像的 Likert5 评分显示 7.0T 组优于 3.0T 组[5(5,5) *vs* 4(3,4),P<0.001]。视觉四分法对脉络丛静脉的评分显示 7.0T 组优于 3.0T 组[0(0,1) *vs* 3(2,3),P<0.001]。42 例受检者中,31 例检出脉络丛钙化,钙化显示效果的 Likert5 评分显示 7.0T 组优于 3.0T 组[5(4,5) *vs* 3(3,4),P<0.001]。见表 2。

客观评估:7.0T MRI 组图像 CNR 值高于 3.0T MRI 组(P<0.001,表 2)。

表 2 7.0 T、3.0 T 磁敏感加权图像质量主观与客观评价对照[$M(Q_1,Q_3)$,$\bar{x}\pm s$]

组别	整体图像质量(n=42)	脉络丛视觉评分(n=42)	脉络丛钙化评分(n=31)	CNR(n=42)
3.0T	4(3,4)	3(2,3)	3(3,4)	−2.13±12.75
7.0T	5(5,5)	0(0,1)	5(4,5)	12.76±4.00
统计量	1 587	71.5	849.5	9.1
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨论

脉络丛由包裹着高度血管化间质核心的单层上皮细胞构成,是血液-脑脊液屏障(blood-cerebrospinal fluid barrier,BCSFB)的重要组成部分。脉络丛控制免疫细胞和营养物质进入脑脊液,并能分泌许多与神经发生相关因子以及参与脑代谢废物清除过程以维持脑稳态[12];可视化脉络丛结构对于理解脑脊液循环及大脑如何调节其他系统具有重要意义。目前脉络丛MRI多模态成像多采用T_1增强、FLAIR、灌注及弥散技术[13]。受限于场强及成像原理,脉络丛MRI研究仅观察了体积、灌注及扩散信息,尚缺乏对脉络丛静脉形态结构的认识。

SWI一直被应用于与静脉形态或铁负荷有关的疾病研究,如深髓静脉随着年龄增加而显著减少[14]、帕金森进展中黑质铁沉积[15]等。SWI应用于脉络丛的研究极少。既往HASILOGLU等[16]曾基于SWI序列在输血依赖型地中海贫血患者的脉络丛静脉中观察到铁沉积,并发现其能够用来预测疾病预后;但其研究使用的1.5T磁场仅在铁超负荷人群中才能观察到脉络丛内结构,难以成为脉络丛静脉结构的常规观察手段。脉络丛静脉结构成像需要更高分辨率和敏感性的MRI技术来支撑。

为了定量分析7.0T MRI为脉络丛成像带来的实际增益,本研究首先控制7.0T和3.0T MRI设备线圈通道数(32通道头颅相控阵线圈)一致。由于序列参数必须在场强之间改变,在研究设计方面,与其他场强效能评估研究类似[17],采用了控制时间、场强参数各自最优法进行受试者自身对照研究。在不同场强下,设置序列TE接近静脉血(血氧饱和度为70%,红细胞压积为45%)信号损失最大时间点(3.0T MRI约23 ms,7.0T MRI约9.8 ms)[18],并尽可能优化SWI序列其他参数,将场强带来的参数偏差程度降至最低。

客观评分方面,SWI序列采用$T2^*$弛豫,通过增强静脉血中脱氧血红蛋白、含铁血黄素沉积引起的局部信号丢失以形成高对比静脉影像[18];其静脉对比度由信号丢失产生,故脉络丛静脉信噪比(signal-to-noise ratio,SNR)并没有实际应用的参考价值[18],本研究主要针对脉络丛进行CNR测量。由于脉络丛血流速度大约是其他脑区的5倍,其静脉血较为丰富[19],测量结果显示7.0T组CNR明显高于3.0T组($P<0.001$),从视觉上非常明显地突出了漂浮于脑脊液的脉络丛内部静脉。

主观评价方面,整体图像质量评价结果表明7.0T SWI图像质量明显优于3.0T SWI($P<0.001$)。SWI视觉四份法中,7.0T对脉络丛静脉的显示质量优于3.0T($P<0.001$),其中3.0T评分大于2级占比95.2%(40/42),临床应用价值受限,这可能是近几年脉络丛研究尚未纳入SWI的原因。随着场强的提升,7.0T MRI可以使用更短的TE来获得和3.0T MRI相同的磁化率[18]。一方面,在相同的采集时间内,7.0T MRI高分辨率对精细的静脉解剖结构显示能力更佳;另一方面,7.0T MRI更短的$T2^*$弛豫提高了较短TE检测信号丢失的敏感性。在脑出血研究中,也见相对于7.0T MRI,3.0T MRI SWI可识别小出血灶变少的报道[9]。7.0T SWI对脉络丛静脉形态的显示能力,有望从组学方面,间接反映脉络丛单层上皮的血管丛结构中重要的铁转运蛋白表达水平[20],并为脑功能及神经退行性疾病病理生理研究提供有利工具。

本研究结果表明7.0T MRI对脉络丛静脉钙化的显示优于3.0T MRI($P<0.001$)。脉络丛常发生钙化,钙化会导致通过脉络丛流入脑脊液的营养物质减少[21]。SWI相位图对钙化(抗磁性物质,表现为低信号)及静脉(顺磁性物质,表现为高亮信号)的识别具有独特优势。既往研究证明,3.0T SWI相位信息对颅内钙化的显示具有与CT媲美的效能[22]。本研究42名受试者中,31名(73.8%)在相位图中检出了钙化,这与一项基于11 941名受试者的大脑CT研究数据(健康人群脉络丛钙化率70.2%)接近[23]。

本研究具有一定局限性。首先,本研究未对健康人群进行头颅CT扫描,不能对比研究CT和MRI的脉络丛静脉钙化显示效果;其次,本研究中人群均未行MRI增强扫描;最后,本研究仅对脉络丛静脉及其钙化进行评估,未能对脉络丛静脉进行三维重建,在今后的研究中将基于人工智能技术自动提取脉络丛静脉作进一步定量研究。

综上所述,7.0T MRI的SWI序列对脉络丛静脉成像质量的评估价值优于3.0T MRI,本研究结果为进一步开展脉络丛静脉形态及组学定量研究提供了影像学依据。

参考文献:

[1] SAUNDERS N R, DZIEGIELEWSKA K M, FAME R M, *et al*. The choroid plexus: a missing link in our understanding of brain development and function[J]. Physiol Rev, 2023, 103(1): 919-956. DOI: 10.1152/physrev.00060.2021.

[2] CHRISTENSEN J, LI C, MYCHASIUK R. Choroid plexus function in neurological homeostasis and disorders: the awakening of the circadian clocks and orexins[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2022, 42(7): 1163-1175. DOI: 10.1177/0271678X221082786.

[3] CUI J, XU H X, LEHTINEN M K. Macrophages on the margin: choroid plexus immune responses[J]. Trends Neurosci, 2021, 44(11): 864-875. DOI: 10.1016/j.tins.2021.07.002.

[4] ALISCH J S R, EGAN J M, BOUHRARA M. Differences in the choroid plexus volume and microstructure are associated with body adiposity[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2022, 13: 984929. DOI: 10.3389/fendo.2022.984929.

[5] LIZANO P, LUTZ O, LING G, *et al*. Association of choroid plexus enlargement with cognitive, inflammatory, and structural phenotypes across the psychosis spectrum[J]. Am J Psychiatry, 2019, 176(7): 564-572. DOI: 10.1176/appi.ajp.2019.18070825.

[6] CHOI J D, MOON Y, KIM H J, *et al*. Choroid plexus volume and permeability at brain MRI within the Alzheimer disease clinical spectrum[J]. Radiology, 2022, 304(3): 635-645. DOI: 10.1148/radiol.212400.

[7] MÜLLER J, SINNECKER T, WENDEBOURG M J, *et al*. Choroid plexus volume in multiple sclerosis *vs* neuromyelitis optica spectrum disorder: a retrospective, cross-sectional analysis[J]. Neurol Neuroimmunol Neuroinflamm, 2022, 9(3): e1147. DOI: 10.1212/NXI.0000000000001147.

[8] JORGE J, GRETSCH F, NAJDENOVSKA E, *et al*. Improved susceptibility-weighted imaging for high contrast and resolution thalamic nuclei mapping at 7T[J]. Magn Reson Med, 2020, 84(3): 1218-1234. DOI: 10.1002/mrm.28197.

[9] BIAN W, HESS C P, CHANG S M, *et al*. Susceptibility-weighted MR imaging of radiation therapy-induced cerebral microbleeds in patients with glioma: a comparison between 3T and 7T[J]. Neuroradiology, 2014, 56(2): 91-96. DOI: 10.1007/s00234-013-1297-8.

[10] VAN HARTEN T W, HEIJMANS A, VAN ROODEN S, *et al*. Brain deep medullary veins on 7T MRI in Dutch-type hereditary cerebral amyloid angiopathy[J]. J Alzheimers Dis, 2022, 90(1): 381-388. DOI: 10.3233/JAD-220354.

[11] ZHANG R T, ZHOU Y, YAN S Q, *et al*. A brain region-based deep medullary veins visual score on susceptibility weighted imaging[J]. Front Aging Neurosci, 2017, 9: 269. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00269.

[12] KAISER K, BRYJA V. Choroid plexus: the orchestrator of long-range signalling within the CNS[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(13): 4760. DOI: 10.3390/ijms21134760.

[13] ALISCH J S R, KIELY M, TRIEBSWETTER C, *et al*. Characterization of age-related differences in the human choroid plexus volume, microstructural integrity, and blood perfusion using multiparameter magnetic resonance imaging[J]. Front Aging Neurosci, 2021, 13: 734992. DOI: 10.3389/fnagi.2021.734992.

[14] AO D H, ZHANG D D, ZHAI F F, *et al*. Brain deep medullary veins on 3-T MRI in a population-based cohort[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2021, 41(3): 561-568. DOI: 10.1177/0271678X20918467.

[15] LIM S J, SUH C H, SHIM W H, *et al*. Diagnostic performance of T2* gradient echo, susceptibility-weighted imaging, and quantitative susceptibility mapping for patients with multiple system atrophy-parkinsonian type: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2022, 32(1): 308-318. DOI: 10.1007/s00330-021-08174-4.

[16] HASILOGLU Z I, ASIK M, URE E, *et al*. The utility of susceptibility-weighted imaging to evaluate the extent of iron accumulation in the choroid plexus of patients with β-thalassaemia major[J]. Clin Radiol, 2017, 72(10): 903.e1-903903.e7. DOI: 10.1016/j.crad.2017.04.008.

[17] GERMANN C, GALLEY J, FALKOWSKI A L, *et al*. Ultra-high resolution 3D MRI for chondrocalcinosis detection in the knee-a prospective diagnostic accuracy study comparing 7-Tesla and 3-Tesla MRI with CT[J]. Eur Radiol, 2021, 31(12): 9436-9445. DOI: 10.1007/s00330-021-08062-x.

[18] HALLER S, HAACKE E M, THURNHER M M, *et al*. Susceptibility-weighted imaging: technical essentials and clinical neurologic applications[J]. Radiology, 2021, 299(1): 3-26. DOI: 10.1148/radiol.2021203071.

[19] HUBERT V, CHAUVEAU F, DUMOT C, *et al*. Clinical imaging of choroid plexus in health and in brain disorders: a mini-review[J]. Front Mol Neurosci, 2019, 12: 34. DOI: 10.3389/fnmol.2019.00034.

[20] ROUAULT T A, ZHANG D L, JEONG S Y. Brain iron homeostasis, the choroid plexus, and localization of iron transport proteins[J]. Metab Brain Dis, 2009, 24(4): 673-684. DOI: 10.1007/s11011-009-9169-y.

[21] AL-ZAGHAL A, MEHDIZADEH SERAJ S, WERNER T J, *et al*. Assessment of physiological intracranial calcification in healthy adults using ^{18}F-NaF PET/CT[J]. J Nucl Med, 2018: jnumed.118.213678. DOI: 10.2967/jnumed.118.213678.

[22] OSHIMA S, FUSHIMI Y, OKADA T, *et al*. Brain MRI with quantitative susceptibility mapping: relationship to CT attenuation values[J]. Radiology, 2020, 294(3): 600-609. DOI: 10.1148/radiol.2019182934.

[23] YALCIN A, CEYLAN M, BAYRAKTUTAN O F, *et al*. Age and gender related prevalence of intracranial calcifications in CT imaging; data from 12, 000 healthy subjects[J]. J Chem Neuroanat, 2016, 78: 20-24. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2016.07.008.

(收稿:2023-02-08;修回:2023-03-02)

(编辑 吴培红)