

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2018.10.1096

· 论 著 ·

巴马小型猪头颈部动脉的磁共振血管成像研究

李 帅[△], 王立鹏[△], 景国东, 王铁功, 陈录广, 弓 静, 彭雯佳*, 陆建平
海军军医大学(第二军医大学)长海医院影像医学科, 上海 200433

[摘要] **目的** 利用三维时间飞跃法(3D TOF)和时间分辨对比剂动态显像(TRICKS)磁共振血管成像显示巴马小型猪的头颈部血管结构, 并比较分析两种技术的动脉成像指标, 为大动物脑血管病模型的研究提供参考。

方法 应用3.0 T磁共振仪依次对3只健康巴马小型猪行头颈部血管的3D TOF和TRICKS磁共振血管成像, 比较两种磁共振血管成像方法的血管清晰度评分, 定量分析主要动脉的对比度(CR)、信噪比(SNR)以及对噪声比(CNR)。**结果** 在血管清晰度方面, 两种方法对巴马小型猪颈总动脉和颈外动脉系显示较好, 对后循环的显示欠佳, 而3D TOF磁共振血管成像对颅内动脉系的显示优于TRICKS磁共振血管成像[(1.60±0.50)分 vs (1.37±0.49)分, $P=0.019\ 8$]。定量分析发现, TRICKS磁共振血管成像可不同程度提高动脉的CR, 但两种方法所得动脉的SNR和CNR差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 3D TOF和TRICKS磁共振血管成像均可较好地显示巴马小型猪的颈总动脉及其主要分支结构, 并各有优势和局限。

[关键词] 巴马小型猪; 磁共振血管造影术; 动脉; 解剖学

[中图分类号] R 445.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2018)10-1096-06

Magnetic resonance angiography for head and neck arteries of Bama minipig

LI Shuai[△], WANG Li-peng[△], JING Guo-dong, WANG Tie-gong, CHEN Lu-guang, GONG Jing, PENG Wen-jia*, LU Jian-ping
Department of Medical Imaging, Changhai Hospital, Navy Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To display the normal vascular structures of head and neck of Bama minipig by three-dimensional time-of-flight (3D TOF) and time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) magnetic resonance angiography (MRA), and to compare and analyze the imaging indicators of arteries, so as to provide references for large animal models of cerebrovascular disease. **Methods** 3D TOF and TRICKS MRA of head and neck vessels in 3 healthy Bama minipigs were performed using a 3.0 T magnetic resonance system. The artery definition scores of the two MRA methods were compared, and the contrast ratio (CR), signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the main arteries were calculated for quantitative analysis. **Results** In terms of artery definition, 3D TOF MRA and TRICKS MRA both achieved high scores for the common carotid arteries and external carotid arterial system, but low scores for posterior circulation. 3D TOF MRA was significantly better than TRICKS MRA in displaying the intracranial artery system (1.60±0.50 vs 1.37±0.49, $P=0.019\ 8$). Quantitative analysis showed that TRICKS MRA improved CR of arteries to different extents; however, there were no significant differences in SNR or CNR between 3D TOF and TRICKS MRA ($P>0.05$). **Conclusion** Both 3D TOF and TRICKS MRA have good and comparable diagnostic performance for common carotid arteries and their main branch structures of Bama minipig, and each method has its advantages and limitations.

[Key words] Bama minipig; magnetic resonance angiography; artery; anatomy

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39(10): 1096-1101]

广西巴马小型猪是我国实验用小型猪的主要品系之一, 是非人灵长类动物以外最适合的人类疾病模式动物之一, 已被广泛用于药理、病理模型的

研究。猪的生理代谢与人类相似, 其头颈部大中血管解剖结构也与人类相对应, 常用于血管疾病如动脉粥样硬化^[1]、颅内动静脉畸形^[2]、脑血管栓塞^[3]

[收稿日期] 2018-03-14 **[接受日期]** 2018-05-02

[基金项目] 国家自然科学基金(31600755, 31470910, 81400368). Supported by National Natural Science Foundation of China (31600755, 31470910, 81400368).

[作者简介] 李 帅, 住院医师. E-mail: coollee1314@163.com; 王立鹏, 硕士生. E-mail: wanglipengsmmu@163.com

[△]共同第一作者(Co-first authors).

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-31162153, E-mail: cindywpj@aliyun.com

等模型的实验研究。正常的血管解剖研究是相关血管疾病研究的必要步骤,但目前国内外有关猪的头颈部血管的影像学研究几乎均采用数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)^[4-6],该方法存在有创性和电离辐射等不足,且一次造影视野无法显示头颈部血管全貌。本实验利用三维时间飞跃法(three-dimensional time-of-flight, 3D TOF)和时间分辨对比剂动态显像(time-resolved imaging of contrast kinetics, TRICKS)这两种无创性磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)技术对巴马小型猪头颈部动脉成像,探讨巴马小型猪头颈部血管的解剖结构特点,为开展大动物脑血管病模型的研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 实验动物与麻醉处理 健康普通级广西巴马小型猪[购于上海甲干生物科技有限公司,动物生产许可证号:SCXK(沪)2015-0005]3头,雄性,6个月龄,经海军军医大学(第二军医大学)实验动物中心检疫合格并负责饲养。用基础饲料适应性喂养8周,实验前24h禁食不禁水。检查前称体质量为(30.57±4.70)kg。在磁共振检查准备间诱导麻醉,皮下注射硫酸阿托品0.3~0.4 mg,15 min后肌内注射0.1 mL/kg注射用盐酸替来他明盐酸唑拉西泮(舒泰™50),待巴马小型猪进入麻醉状态后将其固定于定制的木板上,并在耳静脉放置留置针。然后,将固定好的巴马小型猪放置于磁共振检查床上,口鼻处套入大动物专用面罩连接气体(异氟烷)吸入式大动物麻醉机(型号:MSS-3S,上海任谊生物科技有限公司)维持麻醉,并将耳静脉留置针接入高压注射器。

1.2 磁共振扫描 应用3.0 T磁共振仪(HDX platform,美国GE公司),采用8通道心脏线圈覆盖巴马小型猪的头颈部,侧卧位、尾先进。3D TOF MRA的成像范围以颅脑为主,涵盖部分上颈部,以逆血流方向行横轴位容积扫描。扫描参数:重复时间(repetition time, TR)29 ms,回波时间(echo time, TE)3.4 ms,翻转角15°,回波链长(echo train length, ETL)1,视野(field of view, FOV)11.4 cm×21.6 cm,矩阵384×256,层厚1.6 mm,层间距0.8 mm,激励次数(number of excitation,

NEX)1,扫描时间8 min 15 s。TRICKS MRA的扫描范围上至颅脑、下至主动脉弓,以二维时间飞跃法(time-of-flight, TOF)MRA定位,行冠状位容积扫描。扫描参数:TR 3.4 ms,TE 1.3 ms,翻转角20°,ETL 1,FOV 24.0 cm×16.8 cm,矩阵288×224,层厚2.4 mm,层间距1.2 mm,零填充插入处理技术(zero-fill interpolation processing, ZIP)值为2;先行三维快速梯度回波序列扫描作减影的蒙片,扫描13个时相,每时相6 s,扫描持续时间1 min 25 s;造影剂为钆喷酸葡胺(0.1 mmol/kg),经耳静脉推注(设高压注射器注射速率为1 mL/s),之后用10 mL生理盐水冲管。

1.3 DSA检查 采用Seldinger技术对巴马小型猪的右侧股动脉进行穿刺,引入直径为0.035英寸(0.889 mm)的软导丝,置入5 F短鞘,通过导丝配合5 F猪尾导管(美国Medtronic公司),将导管头端置于升主动脉根部,然后退出软导丝,连接高压注射系统进行DSA。造影剂为碘海醇注射液[总体积30 mL,注射速率4 mL/min,压力300 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),30帧/s]。

1.4 图像判读与定量测量 使用美国GE公司ADW4.4工作站,分别对3D TOF MRA原始图像和TRICKS MRA动脉最佳显影时相的减影图像行容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)和多平面重建(multi-planar reconstruction, MPR)图像重建。参考文献[4-5],由2位经验丰富的影像医学科医师共同对巴马小型猪的头颈部血管(图1)进行解剖学辨认及评分。需评分的血管包括颈总动脉、椎-基底动脉、入颅前动脉系(咽升动脉、枕动脉、咽升动脉肌支、颅底微血管网)、颅内动脉系(颈内动脉、Willis环、大脑前动脉、大脑中动脉、大脑后动脉)、颈外动脉系(颈外动脉、舌动脉、面动脉、颌内动脉、脑膜中动脉、睫状动脉、筛骨外动脉)。采用四点评分法^[7]进行血管成像清晰度评分:4分代表血管边界锐利,血管信号均匀;3分代表血管边界有微小不规则,信号均匀;2分代表血管边界不规则,信号不均匀;1分代表无法诊断,血管不可见。

利用CMRTools软件(英国Cardiovascular Imaging Solutions公司)导入3D TOF MRA原始图像和TRICKS MRA动脉最佳显影时相的非减

影图像,选取部分有代表性的动脉,测量并计算对比度 (contrast ratio, CR)、信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 以及对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR)。 $CR = (SI_A - SI_M) / (SI_A + SI_M)$, 其中 SI_A 和 SI_M 分别代表动脉和肌肉的信号强度,感兴趣区 (region of interest, ROI) 分别放置于目标血管的管腔内和同层面邻近的肌肉。动脉的信噪比 (SNR_A) 和肌肉的信噪比 (SNR_M) 分别为: $SNR_A = SI_A / S$, $SNR_M = SI_M / S$, 其中 S 代表噪声的标准差 (具体将 4 个 ROI 放置于图像背景的 4 个角,采用每个噪声值的标准差计算平均值即为 S)。 $CNR = SNR_A - SNR_M$ 。

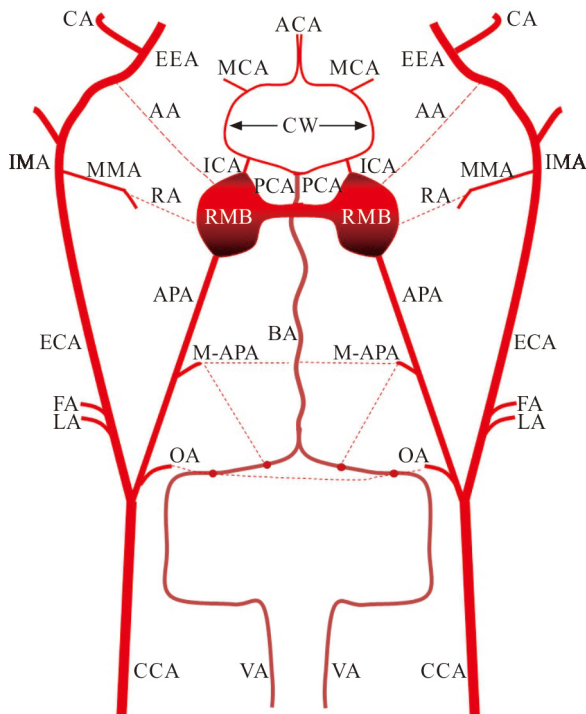


图 1 巴马小型猪的头颈部动脉示意图

Fig 1 Diagram of neck and cranial artery of Bama minipig
Arteries could be divided into five groups as follows: (1) common carotid artery (CCA); (2) posterior circulation, including vertebral artery (VA), and basilar artery (BA); (3) arteries prior at internal carotid artery (ICA), including ascending pharyngeal artery (APA), occipital artery (OA), muscular branch of APA (M-APA), and rete mirabile (RMB); (4) intracranial arterial system, including ICA, circle of Willis (CW), anterior cerebral artery (ACA), middle cerebral artery (MCA), and posterior cerebral artery (PCA); (5) external carotid system, including external carotid artery (ECA), lingual artery (LA), facial artery (FA), internal maxillary artery (IMA), middle meningeal artery (MMA), ciliary artery (CA), and external ethmoidal artery (EEA). Potential vascular communication branches are shown by dotted lines, including ramus anastomoticus (RA) originated from MMA, and arteria anastomoticica (AA) stems from external ophthalmic artery

1.5 统计学处理 应用 SAS 9.2 软件进行统计学分析。各考察指标均以 $\bar{x} \pm s$ 表示; 3D TOF 和 TRICKS MRA 对各方位 (左/右侧) 和各血管的 CR、SNR、CNR 的比较采用配对 t 检验; 其余的 3D TOF MRA 和 TRICKS 测量值的比较至少涉及 1 个重复测量因素 (如方位、类型), 均采用重复测量数据的方差分析。均为双侧检验, 检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 巴马小型猪头颈部动脉磁共振血管成像清晰度评分 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 对巴马小型猪颈总动脉的显示均最佳, 其次是颈外动脉系, 对后循环的显示均欠佳 (图 2A~2J)。两种方法对巴马小型猪头颈部血管成像的总体评分差异无统计学意义 ($P=0.8937$), 3D TOF MRA 对颅内动脉系的显示优于 TRICKS MRA ($P=0.0198$), 见表 1。

2.2 巴马小型猪头颈部动脉磁共振血管成像的定量分析 与 3D TOF MRA 相比, TRICKS MRA 可不同程度提高血管的 CR, 其中部分颅外血管的 CR 提升差异有统计学意义, 如双侧颈总动脉 (左侧: $P=0.0452$, 右侧: $P=0.0083$)、双侧颈内动脉 (左侧: $P=0.0341$, 右侧: $P=0.0143$)、左侧颅底微血管网 ($P=0.0229$), 以及右侧颈外动脉 ($P=0.0119$)。然而, 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 的 SNR_A 和 CNR 在所有动脉中的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。详见表 2。

2.3 巴马小型猪头颈部动脉磁共振血管成像与 DSA 的印证 导管置于升主动脉的 DSA 能够动态清晰显示主动脉弓上血管分支、双侧颈总动脉及其主要血管分支的走行和结构 (图 2K、2L), 可较清晰地显示椎动脉颈段, 颅底微血管网以远的分支、椎动脉颅内段及基底动脉因血管纤细仅隐约显影或显示不清, 常规 DSA 未能显示除了双侧颅底微血管网之间连接结构之外的其他潜在的沟通血管。观察对比 DSA 图像与相应的 3D TOF MRA 及 TRICKS MRA 图像, 发现 DSA 所显示血管大体解剖结构与两种无创性 MRA 均相符合。

3 讨论

3.1 巴马小型猪头颈部动脉的解剖特点 结合文献^[3-6,8]和本研究发现, 我们对巴马小型猪头颈部动脉的结构特征总结如下: (1) 主动脉弓上仅发出

2 支血管, 即头臂干和左锁骨下动脉。头臂干分出右锁骨下动脉和颈总动脉干, 后者分出左、右颈总动脉。(2) 后循环(椎-基底动脉) 明显纤细。(3) 颈外动脉系统较粗大。颈总动脉末端不均匀地分为 2 支, 较粗大的一支为颈外动脉, 较细小的一支为咽升动脉, 后者为供应颅内的主要动脉。(4) 特有的颅底微血管网结构。该结构存在于某些偶蹄目动物中, 是发育良好的微动脉血管网状结构, 本研究发

现巴马小型猪也存在此结构。在通过破裂孔的软骨之前, 咽升动脉末端形成多根细小的小动脉, 这些小动脉入颅后相互交织且密集缠绕形成微动脉丛, 即颅底微血管网, 其尖喙状末端重新聚合为一根相对短小、纤细的颈内动脉, 穿过硬脑膜后加入 Willis 环。(5) 猪的头颈部动脉之间有较丰富的潜在血管沟通, 本研究中显示左侧与右侧颅底微血管网之间相连接, 文献报道^[3-6]其他的沟通支存在于椎动脉与枕动脉之间、左侧与右侧枕动脉之间、左侧与右侧咽升动脉肌支之间、咽升动脉肌支与椎动脉之间, 以及颈外动脉系统(源于脑膜中动脉的交通支和源于眼外动脉的吻合动脉)与颅底微血管网之间。

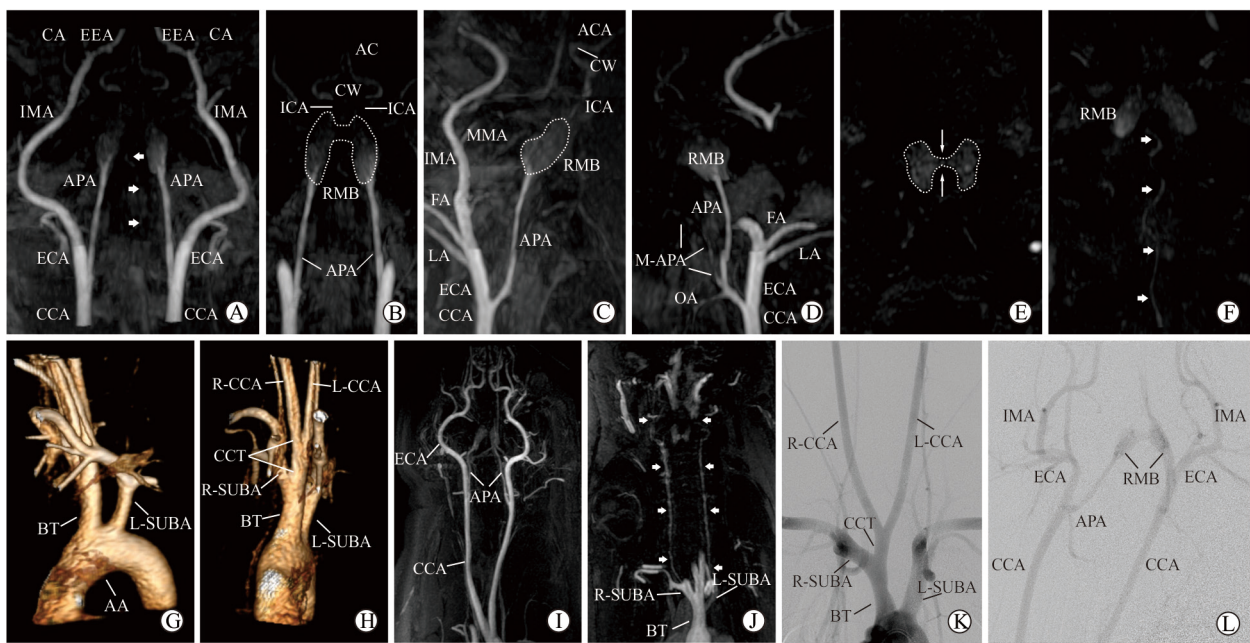


图 2 3D TOF MRA、TRICKS MRA 和 DSA 显示巴马小型猪头颈部动脉

Fig 2 Head and neck arteries of Bama minipig by 3D TOF MRA, TRICKS MRA and DSA

A-F: 3D TOF MRA; G-J: TRICKS MRA; K, L: DSA. A-D: Main intracranial and extracranial arteries by thick layer MPR+MIP. A: CCAs and their main branches are shown, but basilar artery may be seen indistinctly (short arrows); B: Arteries prior at ICA and ICA system can be seen; C: APA and its intracranial branches, and ECA and its main branches are shown; D: APA and its extracranial branches. E: RMBs by axial thin layer MIP of 3D TOF MRA. The bilateral RMBs (dashed box) are interconnected by extensions that hug the posterior wall of the sella turcica (long arrows). F: Spindly winding basilar artery (short arrows) by oblique coronary thin layer MPR. G, H: Lateral view (G) and frontal view (H) of arteries originated from neck aortic arch by three-dimensional VR reconstruction. I, J: Main neck arteries by thick layer MPR+MIP. I: Bilateral CCA system; J: Bilateral vertebral arteries (short arrows). K: Arteries originated from AA; L: Main intracranial and extracranial arteries. 3D TOF: Three-dimensional time-of-flight; MRA: Magnetic resonance angiography; TRICKS: Time-resolved imaging of contrast kinetics; DSA: Digital subtraction angiography; MPR: Multi-planar reconstruction; MIP: Maximum intensity projection; CCA: Common carotid artery; ECA: External carotid artery; APA: Ascending pharyngeal artery; IMA: Internal maxillary artery; CA: Ciliary artery; EEA: External ethmoidal artery; RMB: Rete mirabile; ICA: Internal carotid artery; CW: Circle of Willis; ACA: Anterior cerebral artery; LA: Lingual artery; FA: Facial artery; MMA: Middle meningeal artery; OA: Occipital artery; M-APA: Muscular branch of ascending pharyngeal artery; VR: Volume rendering; AA: Aortic arch; BT: Brachiocephalic trunk; L-SUBA: Left subclavian artery; R-SUBA: Right subclavian artery; CCT: Common carotid trunk; R-CCA: Right common carotid artery; L-CCA: Left common carotid artery

表1 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 对巴马小型猪头颈部血管成像清晰度评分

Tab 1 MRA definition of head and neck arteries of Bama minipigs by 3D TOF and TRICKS

Artery	n=3, $\bar{x} \pm s$		
	3D TOF	TRICKS	P value
Common carotid artery	4.00±0.00	4.00±0.00	Not available
Posterior circulation	1.00±0.00	1.67±0.49	0.057 2
Vertebral artery	1.00±0.00	2.00±0.00	<0.000 1
Basilar artery	1.00±0.00	1.33±0.52	0.422 6
Arteries prior at internal carotid artery	2.50±0.78	1.96±0.69	0.069 1
Ascending pharyngeal artery	3.67±0.52	2.83±0.41	0.199 4
Occipital artery	2.00±0.00	2.00±0.00	Not available
Muscular branch of ascending pharyngeal artery	2.33±0.52	1.00±0.00	0.057 2
Rete mirabile	2.00±0.00	2.00±0.00	Not available
Intracranial arterial system	1.60±0.50	1.37±0.49	0.019 8
Internal carotid artery	2.00±0.00	1.50±0.55	0.225 4
Circle of Willis	2.00±0.00	2.00±0.00	Not available
Anterior cerebral artery	2.00±0.00	1.33±0.52	0.183 5
Middle cerebral artery	1.00±0.00	1.00±0.00	Not available
Posterior cerebral artery	1.00±0.00	1.00±0.00	Not available
External carotid system	2.90±0.76	3.14±0.47	0.463 9
External carotid artery	4.00±0.00	4.00±0.00	Not available
Lingual artery	3.00±0.00	3.00±0.00	Not available
Facial artery	3.33±0.52	3.00±0.00	0.422 6
Internal maxillary artery	3.33±0.52	3.33±0.52	1.000 0
Middle meningeal artery	2.00±0.00	2.67±0.52	0.183 5
Ciliary artery	2.33±0.52	3.00±0.00	0.183 5
Ethmoidal artery	2.33±0.52	3.00±0.00	0.183 5

3D TOF: Three-dimensional time-of-flight; TRICKS: Time-resolved imaging of contrast kinetics; MRA: Magnetic resonance angiography

表2 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 对巴马小型猪头颈部主要血管成像的定量比较

Tab 2 Quantitative comparison of main head and neck arteries of Bama minipigs between 3D TOF MRA and TRICKS MRA

Artery	n=3, $\bar{x} \pm s$									
	CR			SNR _A			CNR			
	3D TOF	TRICKS	P value	3D TOF	TRICKS	P value	3D TOF	TRICKS	P value	
Left										
CCA	0.52±0.10	0.76±0.02	0.045 2	61.00±20.12	63.78±19.00	0.907 7	42.44±17.72	55.05±17.14	0.558 3	
APA	0.51±0.11	0.58±0.04	0.270 2	52.36±20.43	31.95±5.25	0.299 3	36.58±19.40	23.27±2.95	0.408 6	
RMB	0.29±0.06	0.59±0.14	0.022 9	29.11±8.55	33.46±10.24	0.054 1	13.41±6.12	25.30±11.32	0.059 4	
ICA	0.21±0.09	0.35±0.13	0.118 6	23.27±3.87	16.34±0.64	0.073 6	8.14±3.95	8.43±2.60	0.838 9	
CW	0.23±0.17	0.40±0.14	0.109 8	28.57±9.42	19.60±2.60	0.178 6	11.32±9.98	11.17±4.04	0.969 7	
ACA	0.26±0.05	0.34±0.10	0.184 9	23.53±4.66	15.92±1.65	0.059 7	9.72±3.34	8.13±2.52	0.284 1	
ECA	0.56±0.09	0.74±0.04	0.098 5	66.08±32.44	71.64±15.52	0.855 4	48.85±29.21	61.13±13.92	0.659 7	
IMA	0.59±0.04	0.79±0.04	0.034 1	54.62±1.89	72.83±25.41	0.338 5	40.58±1.47	64.31±23.24	0.238 1	
MMA	0.32±0.10	0.59±0.11	0.089 5	27.85±3.69	32.78±11.07	0.605 1	13.63±4.76	24.88±10.56	0.274 3	
Right										
CCA	0.53±0.03	0.77±0.04	0.008 3	58.05±16.31	57.91±14.84	0.994 7	40.08±11.88	50.23±11.69	0.533 5	
APA	0.49±0.15	0.61±0.06	0.416 7	60.95±24.30	38.07±9.89	0.366 1	41.11±24.57	28.96±8.57	0.590 3	
RMB	0.20±0.05	0.55±0.19	0.061 2	27.16±3.15	32.10±13.55	0.500 1	9.04±2.99	23.74±14.97	0.179 0	
ICA	0.16±0.13	0.41±0.10	0.043 4	21.64±5.37	16.97±4.20	0.450 1	6.25±5.19	9.87±3.27	0.404 5	
CW	0.15±0.16	0.38±0.09	0.074 5	25.73±8.80	17.45±1.90	0.192 6	7.45±8.83	9.61±2.38	0.629 2	
ACA	0.22±0.07	0.38±0.17	0.379 0	22.40±3.48	16.96±5.54	0.244 2	7.98±2.22	9.67±6.39	0.757 2	
ECA	0.54±0.04	0.75±0.01	0.011 9	70.90±26.19	77.52±23.38	0.833 4	50.24±20.70	66.65±20.30	0.548 5	
IMA	0.58±0.03	0.75±0.06	0.014 3	59.16±2.61	59.65±11.29	0.955 8	43.37±2.69	51.21±11.50	0.392 9	
MMA	0.33±0.06	0.50±0.21	0.352 5	32.72±8.98	25.70±11.90	0.610 6	16.43±6.66	18.34±11.52	0.868 1	

3D TOF: Three-dimensional time-of-flight; MRA: Magnetic resonance angiography; TRICKS: Time-resolved imaging of contrast kinetics; CR: Contrast ratio; SNR_A: Signal-to-noise ratio of artery; CNR: Contrast-to-noise ratio; CCA: Common carotid artery; APA: Ascending pharyngeal artery; RMB: Rete mirabile; ICA: Internal carotid artery; CW: Circle of Willis; ACA: Anterior cerebral artery; ECA: External carotid artery; IMA: Internal maxillary artery; MMA: Middle meningeal artery

3.2 TOF 和 TRICKS MRA 的比较 TOF MRA 的原理是基于流体饱和效应中的流入相关增强效应, 是脑血管成像的常用序列^[9-10]。本研究发现 3D TOF 对纤细的入颅前动脉系和颅内动脉系的显示优于 TRICKS 技术, 这与 3D TOF MRA 具有较高的空间分辨率有关, 且 TOF 排除了对比增强 MRA 中的静脉污染问题。

TRICKS 是一种采用快速采集和重建模式的高时间分辨率对比增强技术^[11]。该技术的明显优势在于时间分辨率高, 短时间内可多期扫描, 不需要精确估算触发扫描时间, 有效避免了由于操作失误或者血流动力学异常而造成扫描失败的风险。另外, 与 TOF 受限于轴位扫描相比, TRICKS 可在冠状位大视野容积成像, 并可在更短的时间内一次性显示巴马小型猪的椎-基底动脉的颅外和颅内段以及完整的颈总动脉及其颅内外分支。本研究对 3D TOF 和 TRICKS 的定量比较发现, TRICKS 技术由于注射造影剂的缘故, 可不同程度提高颈总动脉及其主要分支的 CR, 但 TRICKS 在提高动脉的 SNR 和 CNR 方面无显著优势。另外, DSA 作为血管造影的“金标准”, 与上述两种无创性 MRA 显示的血管形态解剖结构均符合, 从而进一步印证了这两种 MRA 技术对巴马小型猪头颈部动脉血管成像的可靠性。

本研究中 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 对巴马小型猪的椎-基底动脉系统的成像均不理想, 主要原因是巴马小型猪的后循环动脉管径非常细小。在 TRICKS MRA 图像中, 椎动脉可见较模糊的显示, 基底动脉大部分显示不清; 在 TOF MRA 图像中, 椎动脉几乎在视野外, 基底动脉部分隐约显示; DSA 检查也证实巴马小型猪的后循环系统极为纤细, 若非超选择性造影, 其也很难通过常规剂量的 DSA 清晰显示椎-基底动脉的全程, 故本研究未将椎-基底动脉系统纳入定量分析。除了双侧颅底微血管网之间的连接结构外, 本研究采用的 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 均无法明确显示头颈部血管之间其他的沟通支, 主要原因是这些潜在吻合血管非常细微, 之后对巴马小型猪的 DSA 检查也不能显示这些潜在的吻合支, 据文献报道^[2-6]仅在异常血流动力学情况下(如人为栓塞部分动脉利用颅底微血管网制作脑动静脉畸形模型时)通过 DSA 技术才观察到部分吻合支的显影。

综上所述, 巴马小型猪的头颈部动脉解剖结构与既往文献报道的家猪或其他小型猪的结构相似。利用 3D TOF MRA 和 TRICKS MRA 对巴马小

型猪的头颈部血管成像, 无论从主观评价还是客观定量来看总体相当且各有优势。3D TOF MRA 的空间分辨率较高, 对巴马小型猪的头部血管成像, 尤其对颅内小血管的显示较好; 而 TRICKS MRA FOV 大、CR 和时间分辨率高, 可获得巴马小型猪头颈部血管的整体动态增强图像。

[参 考 文 献]

- [1] 陈方明,潘永明,陈亮,施源,朱科燕,余旭平,等. 巴马小型猪动脉粥样硬化模型相关炎症因子的表达[J]. 实验动物与比较医学,2014,34:193-198.
- [2] HAUSSEN D C, ASHOUR R, JOHNSON J N, ELHAMMADY M S, PETERSON E C, CESAR L, et al. Direct continuous measurement of draining vein pressure during Onyx embolization in a swine arteriovenous malformation model[J]. J Neurointerv Surg, 2015, 7: 62-66.
- [3] 秦智勇,陈街城,马端. 幼猪颈内动脉系统脑血管解剖特点与脑栓塞模型的制作[J]. 中华实验外科杂志,1999, 16:86-87.
- [4] MASSOUD T F, JI C, VIÑUELA F, GUGLIELMI G, ROBERT J, DUCKWILER G R, et al. An experimental arteriovenous malformation model in swine: anatomic basis and construction technique[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1994, 15: 1537-1545.
- [5] MASSOUD T F, JI C, VIÑUELA F, TURJMAN F, GUGLIELMI G, DUCKWILER G R, et al. Laboratory simulations and training in endovascular embolotherapy with a swine arteriovenous malformation model[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1996, 17: 271-279.
- [6] 宁显宾,逢锦峰,丁照义,王雪鹏,王贺,纪祯龙,等. 利用猪颅底血管网建立用于介入治疗的脑动静脉畸形栓塞模型实验研究[J]. 北华大学学报(自然科学版),2014, 15:329-333.
- [7] LAADER A, BEIDERWELLEN K, KRAFF O, MADERWALD S, LADD M E, FORSTING M, et al. Non-enhanced versus low-dose contrast-enhanced renal magnetic resonance angiography at 7 T: a feasibility study[J]. Acta Radiol, 2018, 59: 296-304.
- [8] MILLON A, SIGOVAN M, BOUSSEL L, MATHEVET J L, LOUZIER V, PAQUET C, et al. Low WSS induces intimal thickening, while large WSS variation and inflammation induce medial thinning, in an animal model of atherosclerosis[J/OL]. PLoS One, 2015, 10: e0141880. doi: 10.1371/journal.pone.0141880.
- [9] 彭雯佳,詹茜,江远亮,陈士跃,张雪凤,陈录广,等. 大脑中动脉粥样硬化责任斑块与非责任斑块的高分辨率磁共振对比研究[J]. 中国医学影像技术,2016,32:353-357.
- [10] 程豪,冯平勇,邢千超,冯文峰,孙培培,沈杉杉,等. MRA 观察 40 例永存三叉动脉[J].中国医学影像技术,2012, 28:448-451.
- [11] 李华菊,张自力,莫本成,李晓霞,杨凡. 磁共振 TRICKS 技术在颈部动脉血管成像中的应用[J]. 医学综述,2014, 20:4017-4018.