DOI:10.16016/j.1000-5404.202010061

mDIXON-MRA 对乳腺癌腋窝淋巴结可切除性的诊断效能

谭钰川[1,2],吕发金[1],郑伊能[1],杨 露[2],但汉丽[2],李 伟[2] 400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院放射科[1];400030 重庆,重庆大学附属肿瘤医院肿瘤转移与个体化诊治转化研究重庆市重点实验室[2]

[摘要] **目的** 评价 mDIXON-MRA 对乳腺癌腋窝淋巴结是否可切除的临床诊断效能。**方法** 采用回顾性病例-对照研究设计,收集 2018 年 12 月至 2020 年 1 月在重庆大学附属肿瘤医院影像科磁共振中心进行磁共振检查的乳腺癌患者 77 例,术前行腋窝区域的 mDIXON-MRA、T1WI、T2WI、T2WI(f/s)及 T1WI-CE 成像,并进行图像后处理重建,由两位放射科医师分别对所得图像根据医师阅片标准进行评估,通过判断淋巴结与周围血管的相互关系以评价淋巴结的可切除性,对比分析不同序列的评分差异。以乳腺科医师的术中判断为标准来绘制 ROC(receiver operating characteristic)曲线,进而分析不同序列诊断乳腺癌患者肿大淋巴结能否切除的效能。**结果** mDIXON-MRA、T1WI、T2WI、T2WI(f/s)、T1WI-CE 组评分平均值分别为(2.01±0.97),(2.22±1.05),(2.22±1.07),(2.42±1.06)和(2.53±1.02),5 组序列对于乳腺癌腋窝淋巴结的可切除性评估差异具有统计学意义($P<0.05$),其中 mDIXON-MRA 组的曲线下面积(area under curve,AUC)最高为 0.854,与多序列联合应用的 AUC 相当,评估效能最好。**结论** mDIXON-MRA 在多种磁共振序列中对评价乳腺癌腋窝淋巴结可切除性的临床诊断价值最高,其诊断效能与多序列联合应用相当。

[关键词] mDIXON;磁共振血管成像;乳腺癌;腋窝淋巴结

[中图法分类号] R445.2;R730.56;R737.9 [文献标志码] A

Diagnostic efficacy of modified DIXON magnetic resonance angiography in axillary lymph node resectability for breast cancer patients

TAN Yuchuan[1,2], LYU Fajin[1], ZHENG Yineng[1], YANG Lu[2], DAN Hanli[2], LI Wei[2] [1]Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400016; [2]Chongqing Key Laboratory of Tumor Metastasis and Individualized Diagnosis and Treatment, Affiliated Tumor Hospital of Chongqing University, Chongqing, 400030, China

[**Abstract**] **Objective** To evaluate the diagnostic efficacy of modified DIXON magnetic resonance angiography (mDIXON-MRA) in the possibility of axillary lymph node dissection for patients with breast cancer. **Methods** A retrospective case-control trial was conducted on 77 patients with breast cancer who underwent MRI examination in the Affiliated Tumor Hospital of Chongqing University from December 2018 to January 2020. All the patients preoperatively received mDIXON-MRA, T1 weighted imaging (T1WI), T2 weighted imaging (T2WI), fat-suppressed T2-weighted imaging (T2WI-FS), and contrast-enhanced T1 weighted imaging (T1WI-CE) on the axillary region. After image post-processing and reconstruction, the obtained images were analyzed and scored by 2 radiologists respectively according to the film reviewing criteria. The resectability of lymph nodes was evaluated by judging the relationship between lymph nodes and peripheral blood vessels, and the difference of scoring the images from different sequences was compared and analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted based on the intraoperative judgment of the surgeon, and then the effectiveness of different sequences was analyzed in diagnosis of the resectability of

[通信作者] 吕发金,E-mail:fajinlv@163.com

1000-5404/Copyright © 2021, 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/)

enlarged lymph nodes in breast cancer patients. **Results** Mean score of the images from mDIXON-MRA, T1WI, T2WI, T2WI-FS and T1WI-CE were 2.01±0.97, 2.22±1.05, 2.22±1.07, 2.42±1.06, and 2.53±1.02, respectively. And significant differences were observed in the diagnostic effectiveness of axillary lymph nodes resectability based on the 5 sequences ($P<0.05$). The area under the curve (AUC) of mDIXON-MRA sequence took the highest (0.854) among the 5 sequences, which was equivalent to the area after the combination of multiple sequences, showing the best evaluation efficiency. **Conclusion** mDIXON-MRA presents the highest clinical diagnostic value among various MRI sequences in the evaluation of the resectability of axillary lymph nodes in breast cancer patients, with its diagnostic efficiency similar to that of combined application of multiple sequences.

[**Key words**] mDIXON; MRA; breast cancer; axillary lymph nodes

Corresponding author: LYU Fajin, E-mail: fajinlv@163.com

乳腺癌是常见的女性癌症之一,约占女性癌症患者总数的23%[1]。近年来,全球每年乳腺癌发病人数约130万人,死亡40万人,其病死率在女性恶性肿瘤中排第4位[2-3]。研究表明,造成乳腺癌患者死亡相关的主要原因之一,是肿瘤转移病灶而非原发性肿瘤本身,转移性乳腺癌的中位生存时间为24个月,5年生存率为25%左右[4]。腋窝淋巴结转移是乳腺癌最常见的转移方式,因此,在术前评估腋窝淋巴结有无转移,明确淋巴结的数量和形态特征,及其与腋窝周围血管的关系(例如粘连状况)、分期情况等对于是否进行腋窝淋巴结清扫、清扫方式的选择及后续治疗、预后判断等都有重要的指导意义[5]。手术过程中,乳腺科医师在明确淋巴结与血管粘连情况后可以谨慎剥离淋巴结,避免伤害腋窝血管,减少手术出血量。

磁共振成像在乳腺癌淋巴结转移方面的特异性、敏感性、阳性预测值均高于超声、CT和X线钼靶,具有相对较高的诊断性能[6-7]。个体化精准的淋巴结清扫术不但需要提供腋窝淋巴结的数量、形态、大小等信息,还需要明确淋巴结与血管的粘连情况,对其进行分级,以确定辅助治疗手段,提升后期手术成功率,降低风险[8]。磁共振动脉血管成像(magnetic resonance angiography,MRA)是一种无须静脉注射碘造影剂的血管成像方法,目前已广泛应用于临床,其时间/空间分辨率、可重复性和灵敏性均较高,患者耐受性较好[9-10]。

利用mDIXON-MRA技术进行的血管成像扫描,具有扫描时间短、时间分辨力高、无化学位移伪影等特点[11-15]。然而mDIXON技术在血管增强成像的研究中尚未应用于上肢血管,且mDIXON-MRA技术在能否评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性方面尚不清楚。因此,本研究选用mDIXION-MRA技术与常规的T1加权、T2加权、T2加权脂肪抑制以及T1加权增强序列进行比较和联合应用,研究其在乳腺癌腋窝淋巴结可切除性方面的应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究采用回顾性资料分析,经重庆大学附属肿瘤医院伦理委员会批准(CZLS2020224-A),收集2018年12月至2020年1月在重庆大学附属肿瘤医院影像科磁共振中心进行磁共振检查的乳腺癌住院患者。纳入标准:①经组织病理活检确诊的乳腺癌并伴有腋窝淋巴结肿大患者;②所有患者MR检查前未接受治疗;③MR检查后1周内有乳腺癌改良根治术史。排除标准:患者因自身原因不能耐受磁共振检查。患者的所有临床资料收集来自乳腺科医生书写的病历。本研究设计为预期敏感度和特异度为95%,敏感度和特异度允许误差为5%,采用双侧5%水平测试,失访比例为0。

1.2 扫描设备与方法

1.2.1 扫描序列 采用术前腋窝区域的常规磁共振(magnetic resonance,MR)序列及血管成像序列扫描,包括:mDIXON-MRA、T1WI(T1加权成像)、T2WI(T2加权成像)、T2WI(f/s)(T2加权脂肪抑制成像)及T1WI-CE(T1加权增强序列成像)。

1.2.2 参数设置 所有患者采用偏中心仰卧位,将患侧腋窝尽量靠近磁体中心,采用INGENIA DNA 3.0T MR扫描仪(荷兰,PHILIPS)进行扫描。使用32通道相控阵体部线圈扫描T1加权轴位、T2加权轴位和冠状位、T2加权脂肪抑制序列及DCE-MRA(Dynamic contrast enhanced-MRA)序列、T1WI增强后轴位、矢状位及冠状位。T1WI扫描参数:TR510 ms,TE10 ms,FOV250×200 mm,层厚4 mm,层间距0.4 mm。T2WI扫描参数:TR4414 ms,TE80 ms,FOV250×200 mm,层厚4 mm,层间距0.4 mm。T2WI(f/s)扫描参数:TR510 ms,TE10 ms,FOV250×200 mm,层厚4 mm,层

https://xbmx.tmmu.com.cn/article/doi/10.16016/j.2097-0927.202104004

间距 0.4 mm,脂肪饱和技术选用 SPAIR。T1WI-CE 扫描参数:TR534 ms,TE10 ms,FOV250×200 mm,层厚 4 mm,层间距 0.4 mm,脂肪饱和技术选用 SPIR。DCE-MRA 扫描参数:TR4.5 ms,TE1.59 ms 和 2.8 ms,FOV250×250 mm,层厚 3.5 mm,层间距-1.75 mm,采用 mDXION-MRA 技术,使用高压注射器通过静脉团注钆特酸葡胺(Gd-DTPA,恒瑞医药,中国)0.1 mmol/kg,随后注入 30 mL 生理盐水,无间断扫描 199 s,共采集 30 个时相,第 1 个时相在 bolus 主动脉弓显影时开始扫描,每个时相采集 6.6 s。

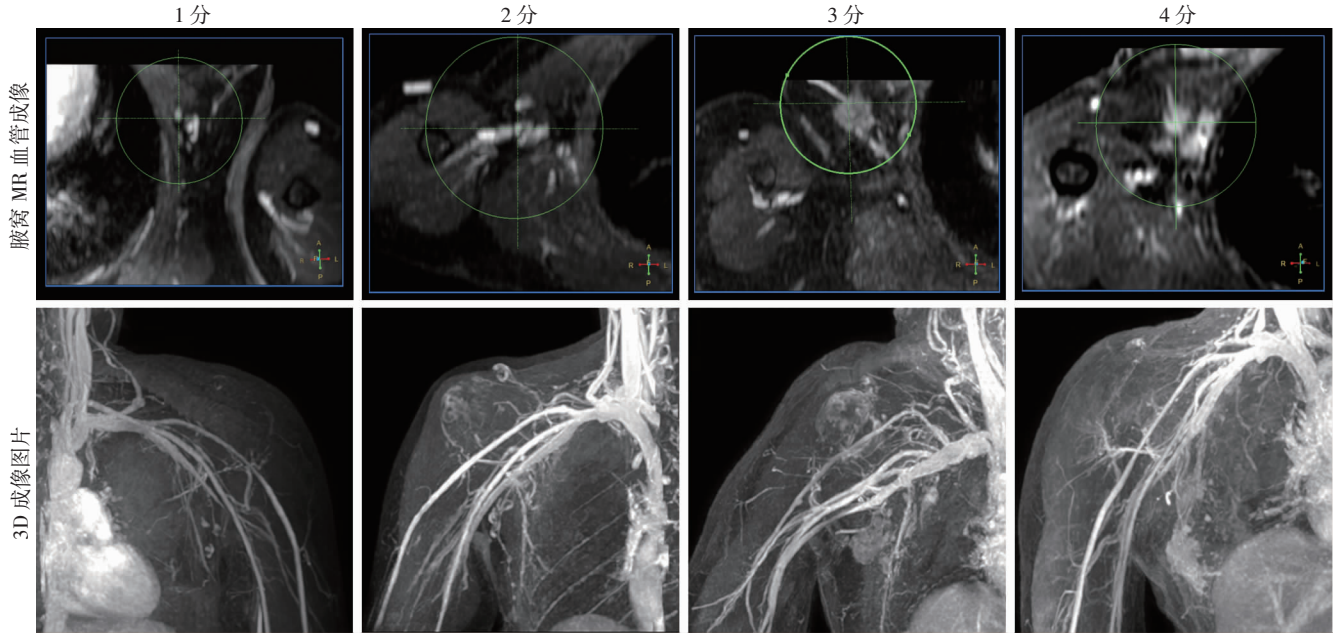
1.3　图像分析

1.3.1　评分标准　　由 1 名放射科副主任医师、1 名放射科医师和 1 名乳腺科副主任医师根据临床经验制定。1 分:表示影像可见淋巴结与周围血管及神经有脂肪分隔;2 分:表示影像可见淋巴结与血管接触面<1/2;3 分:表示影像可见淋巴结与血管接触面≥1/2;4 分:表示影像可见肿大淋巴结边界不清,包绕血管。

1.3.2　评分方法　　考虑到标准采用的都是主观评分,受观察者的主观影响,故两名放射科医师在对患者病史和信息不知情的前提下进行单序列阅片,且同一个患者的各序列阅片间隔在 2 周以上,完成评分后对两名医师的结果进行一致性检验,以确定评分的一致性。因本课题组前期关于 mDIXON-MRA 研究表明,时相 20 图像显示效果最好,本研究将血管序列选择第 20 时相作为评价序列。选择患者与周围血管关系最密切的淋巴结进行评估。评分示例见图 1。由乳腺科副主任医师根据术中所见结合病理及临床经验术中综合判断乳腺癌患者腋窝淋巴结的可切除性作为金标准,将患者分为淋巴结可切除组和淋巴结不可切除组。

1.4　统计学分析

使用 SPSS 23.0(IBM 公司,美国)软件进行数据统计处理。对两位医师的评估结果进行 Kappa 一致性检验(Kappa>0.75 表明两者一致性较好,0.40~0.75 表明两者一致性一般,<0.40 表明两者一致性较差)。采用 Kolmogorov-Smimov 检验进行正态性检验,Levene 检验进行方差齐性检验。运用 Kruskal-Wallis H 检验比较不同序列的评分差异,然后用 bonferroni 法进行两两比较。以乳腺科医师的术中判断为标准来绘制 ROC 曲线,根据 ROC 曲线下面积(area under curve,AUC)判断最优的检查序列。对于评分具有统计学差异的序列进行 Logistic 回归分析建模,进一步比较序列联合绘制 ROC 曲线进行分析。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。



1 分:见血管与淋巴结有完整的脂肪分隔(女,44 岁,确诊左乳腺癌 3 个月);2 分:见血管与淋巴结接触面<1/2(女,61 岁,确诊右乳腺癌半个月);3 分:见血管与淋巴结接触面>1/2(女,62 岁,确诊右乳腺癌 3 个月);4 分:见血管被淋巴结完全包绕(女,48 岁,确诊右乳腺癌半个月)

图 1　乳腺癌患者术前腋窝 MR 血管成像不同 mDIXON-MRA 评分分级表现

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

2 结果

2.1 患者基本情况

本研究共纳入77例患者,均为女性,年龄(50.21±9.61)岁。其中,70例(90.9%)患者术后活检证实腋窝淋巴结转移,7例(9.1%)患者术后活检证实无淋巴结转移。在77例患者中,有31例(40.3%)患者的乳腺癌的部位在右侧,58(75.3%)例患者的TNM分期为Ⅲ期,所有患者均行乳腺癌改良根治术,术中判断为淋巴结可切除者59(76.6%)例,不可切除者18(23.4%)例。

2.2 两名医师的阅片主观评分一致性检验

为检验阅片主观评分的可重复性,本研究检验了两名医师对各个MR序列评估结果的kappa一致性,发现其对于MRA、T2WI、T1WI、T2WI(f/s)和T1WI-CE评分的kappa值分别为0.87、0.73、0.75、0.86和0.88(P<0.001),说明两名医师的评估结果一致性较好(表1)。

2.3 5种序列评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性方面评分的比较

为检测不同MR序列对乳腺癌腋窝淋巴结可切除性的评估效能,比较了医师2对于不同MR序列评分的差异,发现各组评分的差异具有统计学意义(P=0.022)。MRA组评分与T2WI(f/s)和T1WI-CE组相比具有显著差异(P=0.017,P=0.002),与其他组间的差异无统计学意义。

表1 两名医师阅片评分结果的一致性检验($\bar{x}\pm s$,分)

不同序列	医师1评分	医师2评分	Kappa值	P值
MRA	1.92±0.870	2.01±0.966	0.868	<0.001
T2WI	1.87±1.325	2.22±1.047	0.732	<0.001
T1WI	2.33±0.932	2.22±1.071	0.754	<0.001
T2WI(f/s)	2.17±1.463	2.42±1.056	0.863	<0.001
T1WI-CE	2.75±1.008	2.53±1.021	0.882	<0.001

2.4 5种序列单独及MRA、T2WI(f/s)与T1WI-CE联合进行可切除预测能力比较

从各个序列评分的ROC曲线可以看出,MRA的AUC最大,达到了0.85(95%*CI*:0.76~0.92),Youden指数为0.64,其灵敏度和特异度分别达到了77.80%和86.40%,说明MRA的评估效能最好(图2A、表2)。

将MRA分别与T2WI(f/s)和T1WI-CE两两联合以及三者联合进行预测效能的比较,结果表明3个联合应用的AUC相近,并且与MRA单独应用的AUC相当,说明在评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性方面,单独评估MRA序列即可(图2B、表2)。

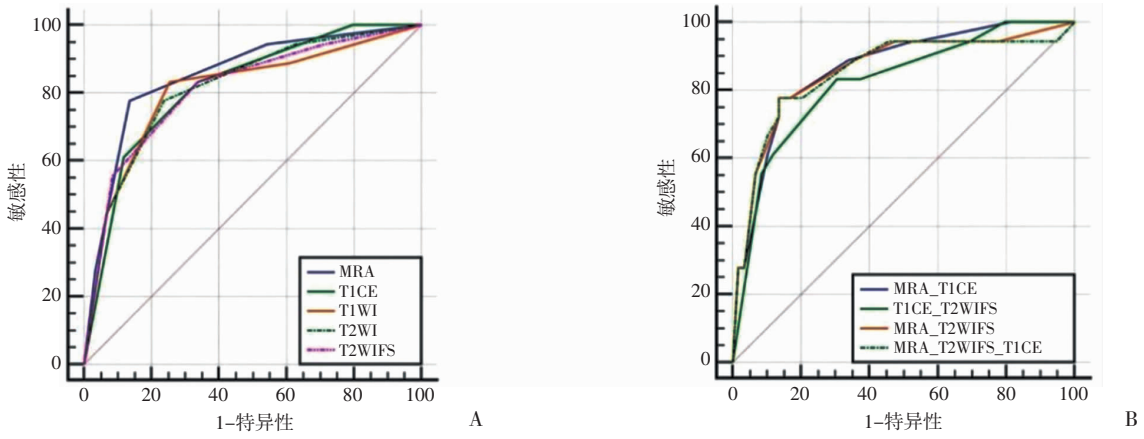


图2 5种序列单独(A)及MRA、T2WI(f/s)与T1WI-CE联合应用(B)的ROC曲线

表2 5种序列单独及MRA、T2WI(f/s)与T1WI-CE联合应用的ROC曲线分析结果

不同序列	AUC	95%*CI*	敏感度(%)	特异度(%)	Youden指数
MRA	0.854	0.755~0.924	77.80	86.40	0.642
T2WI	0.817	0.712~0.896	77.78	76.27	0.541
T1WI	0.809	0.703~0.890	83.33	74.58	0.579
T2WI(f/s)	0.812	0.706~0.892	83.33	66.10	0.494
T1WI-CE	0.818	0.714~0.897	83.33	66.10	0.494
MRA+T2WI(f/s)	0.857	0.759~0.927	77.78	86.44	0.642
MRA+T1WI-CE	0.864	0.767~0.932	77.78	86.44	0.642
MRA+T2WI(f/s)+T1WI-CE	0.852	0.753~0.923	77.78	86.44	0.642
T1WI-CE+T2WI(f/s)	0.823	0.719~0.901	83.33	69.49	0.528

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

3 讨论

本研究通过回顾性研究乳腺癌患者腋窝淋巴结的磁共振血管成像结果,比较各个 MR 序列对于评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性的准确性,为探索磁共振成像在临床乳腺癌清扫术前评估的诊断效能提供了一定的依据。研究发现 mDIXON-MRA,T1WI,T2WI,T2WI(f/s)和 T1WI-CE 等 5 组序列对于乳腺癌腋窝淋巴结的可切除性评估差异具有统计学意义,其中 MRA 组的准确度最高,且单独采用 MRA 评估与多序列联合 MRA 应用的评估效果相当。

研究表明,使用 MRA 技术可获得详细的前瞻性血管评估信息,为淋巴结定位提供可靠方法,从而指导淋巴结靶向治疗[11]。SADICK 等[12]报道可通过增强三维最大强度投影(3D-MRA)技术在高空间分辨率和扩大动脉和静脉系统覆盖范围对头颈部肿瘤患者血管状况进行术前形态学评估。DORTCH 等[13]证实了 MRA 技术在乳腺皮瓣手术方面也有重要的应用价值。CORRAL 等[14]的研究表明,MRA 技术可提供前瞻性的血管信息,有效降低术中血管损伤的风险性。传统 MRA 成像技术存在一定的缺点,即需要使用增强后的图像进行减影以去除人体脂肪的干扰,而这种减影又会增加运动伪影的风险[15]。而随着 DIXON 技术的提出,以及后续 mDIXON 技术的出现,实现了有边缘无伪影,无化学位移伪影的优势和特点[15]。研究结果表明在评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性方面,mDIXON-MRA 足够满足影像诊断和临床需求,能够提供可靠的影像学信息。

研究选择 mDIXON-MRA 技术进行血管成像扫描,该技术起源于两点法 DIXON 技术,具有无需减影,避免运动伪影干扰的优势[16],选用七脂肪峰模型进行压脂,效果更彻底,同时采用双回波,扫描时间更短,时间分辨力更高,是一种多点自由采集、水脂彻底分离的快速成像技术。SOULTANA 等[17]的研究证明,mDIXON-MRA 技术可以获得高保真的血管图像,在先天性心脏病患者中显示效果优于 bSSFP(balanced steady-state free precession,平衡稳态自由进动)序列。KIRCHGESNER 等[18]发现在 3D T1 加权成像中,DIXON 技术的脂肪抑制效果和图像成像质量都优于 CHESS(chemical shift-selective,化学位移选择)技术。LEINER 等[19]的研究表明,mDIXON-MRA 技术在显示血管和解剖位置方面优于传统的 3D-MRA 技术。与上述众多研究阐述的 mDIXON-MRA 技术在血管显示和图像质量方面的优势结果相似,本研究也证明该技术应用于乳腺癌腋窝淋巴结的可切除性评估时应用价值较高,评估效能最好。

本研究有以下不足之处,一是纳入的样本量较小,所得结果有待在后续研究中扩大样本量进行进一步的验证。二是本研究为单中心研究,所纳入样本受到地域范围等方面的限制,后续研究拟考虑进行多中心研究。三是血管成像扫描单相时间设置在 6.6 s,相对较长,如何在满足诊断要求和临床需求的前提下,进一步缩短单期扫描时间,实现 4D-MRA[20],动态观测血管化流入流出现象,提供更丰富的前瞻性血管信息,也值得进一步的研究和探索。

综上,本研究发现 mDIXON-MRA 及多种磁共振序列都具备评估乳腺癌腋窝淋巴结可切除性的价值,其中 mDIXON-MRA 效能最好。使用 mDIXON-MRA 技术评估乳腺癌腋窝淋巴结的可切除性,可以从影像学角度为乳腺科术前腋窝淋巴结进行全面状态的评估,提升乳腺癌腋窝淋巴结的手术成功率。

参考文献:

[1] TORRE L A, BRAY F, SIEGEL R L, *et al*. Global cancer statistics, 2012[J]. CA Cancer J Clin, 2015, 65(2): 87-108. DOI: 10.3322/caac.21262.

[2] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2020[J]. CA Cancer J Clin, 2020, 70(1): 7-30. DOI: 10.3322/caac.21590.

[3] CHEN W, ZHENG R, BAADE P D, *et al*. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132. DOI: 10.3322/caac.21338.

[4] BONOTTO M, GERRATANA L, POLETTO E, *et al*. Measures of outcome in metastatic breast cancer: insights from a real-world scenario[J]. Oncologist, 2014, 19(6): 608-615. DOI: 10.1634/theoncologist.2014-0002.

[5] DE FELICE C, CIPOLLA V, STAGNITTI A, *et al*. Diagnostic accuracy of 1.5 Tesla breast magnetic resonance imaging in the pre-operative assessment of axillary lymph nodes[J]. Eur J Gynaecol Oncol, 2015, 36(4): 447-451.

[6] 杨亦, 姚钰, 刘家伟, 等. 多种影像学手段评估乳腺癌患者腋窝淋巴结状态的对比研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2019, 39(5): 721-726.
YANG Y, YAO Y, LIU J W, *et al*. Comparative study of different imaging methods in evaluating axillary lymph node status in patients with breast cancer[J]. J Nanjing Med Univ (Natural Sciences), 2019, 39(5): 721-726.

[7] 周之明. 钼靶、CT 与 DCE-MRI 评价乳腺癌淋巴结转移的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3(2): 83-84.
ZHOU Z M. Value of mammography, CT and DCE-MRI in e-

https://www.ajcmmt.com/CN/ and DCE-MRI in e-

valuating lymph node metastasis of breast cancer[J]. J Imaging Res Med Appl, 2019, 3(2): 83-84.

[8] DUMITRU D, KHAN A, CATANUTO G, *et al*. Axillary surgery in breast cancer: the beginning of the end[J]. Minerva Chir, 2018, 73(3): 314-321. DOI: 10.23736/s0026-4733.18.07728-3.

[9] STEPANSKY F, HECHT E M, RIVERA R, *et al*. Dynamic MR angiography of upper extremity vascular disease: pictorial review[J]. Radiographics, 2008, 28(1): e28. DOI: 10.1148/radiol.e28.

[10] CONNELL D A, KOULOURIS G, THORN D A, *et al*. Contrast-enhanced MR angiography of the hand.[J]. Radiographics, 2002, 22(3): 583-599. DOI: 10.1148/radiographics.22.3.g02ma16583.

[11] DAYAN J H, DAYAN E, KAGEN A, *et al*. The use of magnetic resonance angiography in vascularized groin lymph node transfer: an anatomic study[J]. J Reconstr Microsurg, 2014, 30(1): 41-45. DOI: 10.1055/s-0033-1351668.

[12] SADICK M, SADICK H, HÖRMANN K, *et al*. Cross-sectional imaging combined with 3D-MR angiography (3D-MRA): diagnostic tool for preoperative vascular assessment of head and neck tumors[J]. Onkologie, 2005, 28(10): 477-481. DOI: 10.1159/000087127.

[13] DORTCH J, FORTE A J, BOLAN C, *et al*. Preoperative analysis of venous anatomy before deep inferior epigastric perforator free-flap breast reconstruction using ferumoxytol-enhanced magnetic resonance angiography[J]. Ann Plast Surg, 2018, Publish Ahead of Print. DOI: 10.1097/sap.0000000000001421.

[14] CORRAL D A, VARMA D G, JACKSON E F, *et al*. Magnetic resonance imaging and magnetic resonance angiography before postchemotherapy retroperitoneal lymph node dissection[J]. Urology, 2000, 55(2): 262-266. DOI: 10.1016/s0090-4295(99)00428-8.

[15] 谭钰川, 吕发金. 乳腺癌淋巴结可切除性的影像学评估研究进展[J]. 磁共振成像, 2020, 11(3): 235-237.
TAN Y C, LYU F J. Advances in imaging evaluation of lymph node resectability in breast cancer[J]. Chin J Magnetic Resonance Imaging, 2020, 11(3): 235-237.

[16] HEYNEN B, TAMIGNEAUX C, PASOGLOU V, *et al*. MRI detection of radiographically occult fractures of the hip and pelvis in the elderly: Comparison of T2-weighted Dixon sequence with T1-weighted and STIR sequences[J]. Diagn Interv Imaging, 2019, 100(3): 169-175. DOI: 10.1016/j.diii.2018.11.008.

[17] KOURTIDOU S, JONES M R, MOORE R A, *et al*. mDixon ECG-gated 3-dimensional cardiovascular magnetic resonance angiography in patients with congenital cardiovascular disease[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2019, 21(1): 52. DOI: 10.1186/s12968-019-0554-3.

[18] KIRCHGESNER T, PERLEPE V, MICHOUX N, *et al*. Fat suppression at three-dimensional T1-weighted MR imaging of the hands: Dixon method versus CHESS technique[J]. Diagn Interv Imaging, 2018, 99(1): 23-28. DOI: 10.1016/j.diii.2017.09.004.

[19] LEINER T, HABETS J, VERSLUIS B, *et al*. Subtraction-less first-pass single contrast medium dose peripheral MR angiography using two-point Dixon fat suppression[J]. Eur Radiol, 2013, 23(8): 2228-2235. DOI: 10.1007/s00330-013-2833-y.

[20] HADIZADEH D R, MARX C, GIESEKE J, *et al*. High temporal and high spatial resolution MR angiography (4D-MRA)[J]. Rofo, 2014, 186(9): 847-859. DOI: 10.1055/s-0034-1366661.

(**收稿**:2020-10-14;**修回**:2020-11-07)

(编辑 栾 嘉)

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/