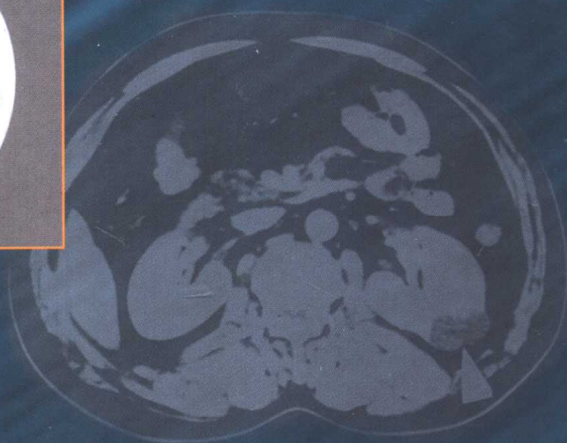
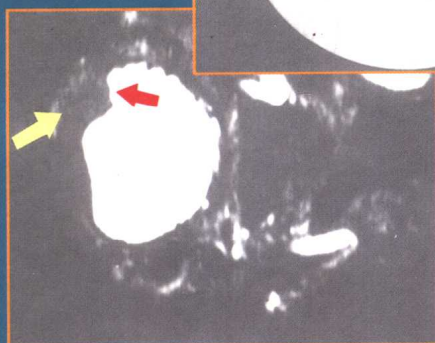
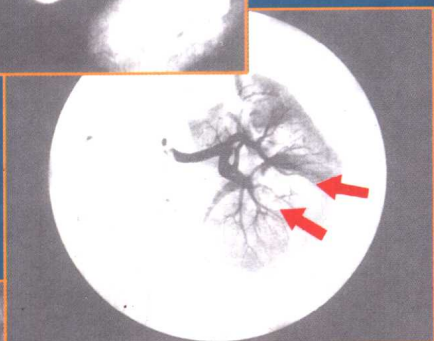
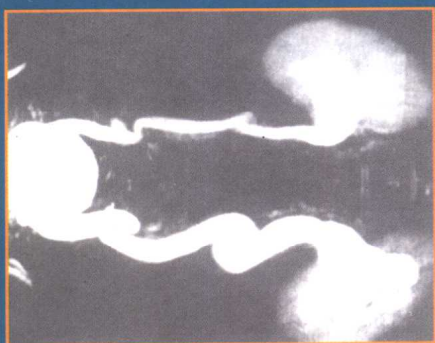


现代临床影像学丛书

# 磁共振水成像

卢 延 张雪哲 主编



科学出版社

现代临床影像学丛书

# 磁共振水成像

卢 延 张雪哲 主编

科学出版社

2000

## 内 容 简 介

磁共振水成像是新兴的影像诊断方法。本书系中华医学会《中华放射学杂志》编委会与科学出版社联合组织撰写的现代临床影像学丛书之一,由中日友好医院放射科教授卢延、张雪哲主编。书中简明地介绍了磁共振水成像的发展状况、成像原理和技术方法,详尽地分析、讨论磁共振水成像在各系统的应用及诊断和鉴别诊断原则,并附有大量实例图片。图文并茂,是放射科医师、临床医师渴求的专业技术参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

磁共振水成像/卢 延、张雪哲主编. -北京:科学出版社,2000.

(现代临床影像学丛书)

ISBN 7-03-008354-7

I. 磁… II. ①卢… ②张… III. 核磁共振-成像-诊断 IV.R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 04258 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮 政 编 码: 100717

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

2000年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2000年9月第一次印刷 印张:16 ¼

印数:1-3 800 字数:369 000

定 价: 70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

## 《磁共振水成像》编写人员

主 编 卢 延 张雪哲

编 者 王 武 洪 闻 陆 立 任 安

卢 延 张雪哲

# 前 言

磁共振水成像是近年来磁共振成像重大进展之一,它代表着先进的技术手段和具有无创性特点,已为国内外放射学医师和临床医师所关注。磁共振水成像的原理是根据人体器官内液体具有长 $T_2$ 弛豫值的特性,综合应用磁共振扫描序列和参数,利用重 $T_2$ 的效果使含水器官显影,因此,可应用于胰胆管、泌尿系、椎管、涎管、内耳淋巴管、泪囊、精囊和肠道等含水器官的显示,其应用范围日趋广泛,磁共振水成像具有良好的应用前景。

中日友好医院放射科自1995年开展磁共振水成像技术以来,逐步开展全身各部位含水器官的磁共振水成像,积累了一定的经验。国内外一些医院正在开展此项技术,为了推广这一新技术,我们将近5年来在临床工作中收集的资料、积累的经验加以整理,并参考国内外有关论著,编写了这本《磁共振水成像》,供放射科医师和临床医师参考,希望能够起到抛砖引玉的作用。

由于磁共振成像技术和设备不断改进和发展,加之笔者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,诚恳希望读者予以指正。

卢 延 张雪哲

2000年7月

· i ·



<b>第一章 总论</b> .....	(1)
一、概况 .....	(1)
二、成像原理 .....	(3)
三、影像技术 .....	(3)
四、MR 水成像的发展史 .....	(8)
<b>第二章 磁共振胰胆管造影</b> .....	(11)
一、正常解剖和影像学所见 .....	(11)
二、技术和方法 .....	(13)
三、胆道系统先天异常 .....	(15)
四、胆系结石 .....	(19)
五、胆管良性狭窄 .....	(27)
六、胆管恶性梗阻 .....	(31)
七、胰腺病变 .....	(49)
八、胆-肠吻合 .....	(70)
九、其他 .....	(72)
十、评估 .....	(75)
<b>第三章 磁共振泌尿造影(MRU)</b> .....	(87)
一、正常解剖和影像学所见 .....	(87)
二、技术和方法 .....	(89)
三、泌尿道梗阻性扩张 .....	(90)
四、泌尿道非梗阻性扩张 .....	(124)
五、肾脏病变 .....	(129)
六、膀胱前列腺病变 .....	(156)
七、评估 .....	(167)
<b>第四章 精囊曲管水成像</b> .....	(171)
一、正常解剖和影像学所见 .....	(171)

二、技术和方法 .....	(172)
三、异常所见 .....	(173)
四、评估 .....	(174)
<b>第五章 磁共振椎管水成像 .....</b>	<b>(176)</b>
一、正常解剖和影像学所见 .....	(176)
二、技术和方法 .....	(179)
三、椎管内肿瘤 .....	(180)
四、脊髓病变 .....	(192)
五、脊髓外伤 .....	(194)
六、脊髓炎症性疾病 .....	(195)
七、椎间盘病变 .....	(196)
八、先天异常 .....	(198)
九、脊椎骨病变 .....	(200)
十、其他 .....	(202)
十一、评估 .....	(203)
<b>第六章 磁共振涎管造影 .....</b>	<b>(206)</b>
一、正常解剖和影像学所见 .....	(206)
二、技术和方法 .....	(208)
三、异常所见 .....	(209)
四、评估 .....	(212)
五、病例介绍 .....	(212)
<b>第七章 磁共振内耳迷路成像 .....</b>	<b>(216)</b>
一、正常解剖和影像学所见 .....	(216)
二、技术和方法 .....	(219)
三、异常所见 .....	(219)
四、评估 .....	(220)
<b>第八章 磁共振鼻泪道造影 .....</b>	<b>(222)</b>
一、正常解剖和影像学所见 .....	(222)
二、技术和方法 .....	(223)
三、异常所见 .....	(224)
四、评估 .....	(224)
五、病例介绍 .....	(224)
<b>第九章 肠梗阻磁共振水成像 .....</b>	<b>(226)</b>
一、正常解剖和影像学所见 .....	(226)
二、技术和方法 .....	(227)
三、异常所见 .....	(227)
四、评估 .....	(231)
五、病例介绍 .....	(232)

<b>第十章 磁共振双成像</b> .....	(235)
一、技术和方法 .....	(235)
二、磁共振胰胆管造影与门静脉联合双成像 .....	(236)
三、磁共振泌尿造影与腹部血管造影联合双成像 .....	(239)
四、评估 .....	(242)
<b>中文索引</b> .....	(243)
<b>英文索引</b> .....	(247)



# 第一章 总论

## 一、概况

## 二、成像原理

## 三、影像技术

## 四、MR 水成像的发展史

现代医学对影像学的要求越来越高，追求的目标是全面、快速、准确和无创性。影像学在现代医学领域中的作用越来越广泛。磁共振成像 (MRI) 是近些年来一种有价值的倍受瞩目的新技术，其精髓在于无放射性，不但能显示形态学的改变，亦能反映组织器官的功能性变化，有可能提供生化过程的信息和动态的定量资料。磁共振水成像技术是近年来磁共振成像重大进展之一<sup>[1,2]</sup>。

## 一、概 况

磁共振水成像技术代表着最先进的技术手段和具有无创性的特点，已为国内外放射学医师和临床医师所关注。磁共振水成像已较广泛地应用于临床，它的英文名称有“MR water imaging”，“MR fluid imaging”和“MR hydrography”等，以 MR hydrography 最为恰当，因水成像的物理特性是“水分子”<sup>[2]</sup>。这一新技术无放射性损伤，是非侵袭性的，不需要插管和注射造影剂，安全可靠，病人无任何痛苦，深受病人的欢迎。磁共振水成像应用于临床的历史虽然不长，但发展很快，其应用范围日趋广泛，包括磁共振 (MR) 胰胆管造影、MR 泌尿造影、MR 椎管水成像、MR 涎管造影、MR 内耳淋巴管造影、MR 鼻泪道造影、肠梗阻 MR 水成像、MR 输卵管成像和双成像等，这充分显示了 MR 水成像良好的应用前景。

磁共振胰胆管造影 (MR cholangio-pancreatography, MRCP) 是一种最新的观察胰胆管系统解剖和病理形态的技术。在 MRCP 之前，展示胰胆管管腔形态和病理改变是应用经内镜逆行胰胆管造影 (endoscopic retrograde cholangiopancreatography, ERCP)，ERCP 需插管后，经导管注入造影剂，而 MRCP 不需特殊的插管技术，也不必注入造影剂，胰液胆液是天然的对比剂，因此 MRCP 是一种非

侵袭性检查。ERCP 并发症发生率为 4%~7%，病死率为 1%，不成功率为 10%~15%，因 ERCP 成功率与医生插管操作有很大的关系。ERCP 的优点不仅可作为诊断，能清楚地勾画出胰管的小分支，而且亦可作治疗。ERCP 和 MRCP 可起到互补的作用。MRCP 由于是无创性检查，可作为初筛的检查手段，以及占位性病变远端部位的检查。MRCP 展示胰胆管形态和组织结构为自然状态的表现，无注射造影剂压力的影响。当上消化道手术和改建后，或食管、十二指肠严重狭窄时，难以插管，不能作 ERCP，这类病例只能用 MRCP 检查。近年来，MRI 采用快速成像技术，包括二维、三维、薄层、厚层、单次激发屏气扫描等，扫描时间缩短，可以得到足够的影像信息，图像质量优良。所以说，MRCP 是胰胆系统的重要诊断手段之一。MRCP 可用于恶性肿瘤、结石、胆管先天性病变、狭窄和急慢性胰腺炎等的诊断。对于恶性肿瘤性黄疸不能手术切除只能作姑息治疗者，可用 MRCP 来确定胆管内支架放置的部位。

磁共振泌尿造影 (MR urography, MRU) 补充了泌尿系影像检查方法，过去长期用静脉尿路造影和逆行肾盂造影来观察泌尿系的解剖和病理情况，后来虽然发展了超声、CT 和常规的磁共振成像扫描，但仍有误差和受限之处，静脉尿路造影、逆行肾盂造影和 CT 增强扫描，都需用造影剂，存在碘不良反应的问题，有发生死亡的危险，对肾功能差或丧失者，肾显影差，使诊断明显受限。应用 MRU 可同时观察肾盂肾盏和肾实质，以及输尿管和膀胱，因不用碘造影剂，可避免碘不良反应的危险，而所得的图像与静脉尿路造影相似，因此，MRU 特别适用于对造影剂过敏或严重肾功能损害者、儿童和妊娠者，可避免碘不良反应和 X 线曝光。MRU 可用于肾肿瘤、囊肿、结核、输尿管梗阻性病变和膀胱肿瘤等的诊断，亦可用于了解盆腔恶性肿瘤是否侵及输尿管，以及盆腔肿块与输尿管的关系。

磁共振椎管水成像 (MR myelography, MRM) 是观察脊髓解剖和病理形态的好方法，此方法不需腰椎穿刺注射造影剂，从而免除了蛛网膜下腔穿刺和注射造影剂所引起的不良反应，目前认为，此法可代替 X 线脊髓造影和 CT 脊髓造影。MRM 可观察脊髓、马尾、神经根和椎间盘等。腰骶椎 MRU 的影像是满意的，能满足临床的要求，在颈椎段的蛛网膜下腔相对窄和脑脊液搏动性流动的影响，MRM 影像质量受到影响，因而不能广泛地用于颈椎段的检查，尚需进一步改进技术。MRM 可用于椎管肿瘤的诊断，判定肿瘤的位置是位于硬膜外、髓外硬膜内或脊髓内；对于椎间盘突出者，除能确切定位外，亦可显示其神经根周围囊肿和蛛网膜粘连，以及对脊髓空洞症、脊椎骨病变、腰神经压迫综合征和椎管狭窄的诊断亦有帮助。

磁共振涎腺造影 (MR sialography, MRS) 是非侵袭性检查，不需要插管和注射造影剂就可了解涎腺导管的开口和口径的异常，以及与其相邻的肿块性病变。涎腺导管开口细小，对插管技巧要求较高，有时插管难以成功，而 MRS 无插管技巧问题，患者无痛苦感，已应用于临床，主要用于炎性病变和肿瘤的诊断。

根据 MR 水成像的原理和技术，随着 MR 软件的开发，MR 水成像的临床应用范围和适应证不断扩大，如内耳淋巴管、泪囊和输卵管等部位的 MR 水成像的探索性研究，具有潜在的临床应用意义。

综上所述，MR 水成像具有以下优点：①此技术为非侵袭性，不需要插管，无操作者的技巧问题；②安全，不用造影剂，无造影剂不良反应的问题；③器官内的液体（水）是天然对比剂，即使管道完全阻塞时亦能观察管道远端的影像，有感染时也可做此检查；④对疑有导管狭窄者，可在任何平面获得多层投影的影像；⑤MR 水成像的图像接近应用造影剂的 X 线造影，其影像分析的原则相同，是观察解剖形态很好的方法，比横断面影像更容易被放射科

医师和临床医师接受。加上常规横断面 MR 序列的资料可观察周围组织结构的病理情况，做到了综合诊断，是理想的影像检查方法。

## 二、成像原理

MR 水成像的原理是根据人体内液体具有长  $T_2$  弛豫值的特性，综合应用磁共振扫描序列和参数，主要是选择采用快速采集弛豫增强序列 (rapid acquisition with relaxation enhancement sequence, RARE) 获得重  $T_2$  加权像 ( $T_2$ WI)，即长重复时间 (TR) 加特长的回波时间 (TE)，利用重  $T_2$ W 的效果使含水器官显影。长 TR 指的是 TR 值  $>3\ 000$  ms，特长的 TE 指 TE 值  $>150$  ms。体内正常的组织结构都具有其特定的  $T_2$  值 (ms)：骨骼肌为 47 ms，肝 43 ms，肾 58 ms，脾 62 ms，脂肪 82 ms，脑灰质 101 ms，脑白质 82 ms，脑脊液 (水) 300~500 ms。扫描所选的 TE 值如高于上述组织所具有的  $T_2$  值，其信号为低 (组织呈黑色)；如相接近，信号为中等 (组织呈灰色)；所用的 TE 值低于组织的  $T_2$  值，则信号为高 (组织呈白色)，这样使含水器官显影，达到水造影的目的。实际上，长 TR 主要是为了取得  $T_2$  的效果，特长的 TE 是为了增强  $T_2$  的效果，更重要的是将一般的组织结构信号压低 (变黑)，从而使含水的信号更加突出，因此 TE 值在水成像中非常重要，是成功的关键。此技术对流速慢或停滞的液体 (如脑脊液、胆汁、尿液、静脉血等) 非常灵敏，呈高信号，而使实质性器官和流动液体 (如动脉血) 呈低信号，从而达到水成像效果<sup>[3,4]</sup>。

普通腹部 MR  $T_2$  扫描，TE 值一般选 80~110 ms。当 TE 值逐渐加大时，腹部一般器官的信号逐渐降低 (变暗)，含水器官因  $T_2$  值较长，因而信号常较高 (白色)。 $T_2$ W 水成像要求 TE 值更长，才能使腹内一般器官信号更低，形成“暗”的背景。因水的  $T_2$  值远大于扫描所选的 TE 值，故呈“白色”，这样达到水成像“造影”的效果，形成良好的对比度。

身体内任何器官组织均具有其特定的  $T_2$  值，而  $T_1$  值在不同磁场强度的扫描机则略有差别，这点需引起重视，以下数值可供参考 (表 1-1)。

表 1-1 组织的  $T_1$  值和  $T_2$  值 (ms)

组织	$T_1$ (1.5 T)	$T_1$ (0.5 T)	$T_1$ (1.0 T)	$T_2$
脑灰质	250~850	500~700	520	65~85
脑白质	550~700	450~650	390	70~80
脑脊液 (水)	1 900~3 000	1 600~2 500	2 000	300~500
骨骼肌	800~900	480~700	600	40~50
肾	600~700	350~550	680 (髓质) 360 (皮质)	55~65
肝	450~500	250~400	270	40~50
脂肪	250~300	180~250	180	80~90
血液			800	180

## 三、影像技术

水成像技术包括回波技术、影像数据采集 [二维 (2D)、三维 (3D)]、线圈技术、影像处

理、背景组织抑制、图像后处理技术，以及降低运动呼吸伪影的技术等。例如，MRCP 有各种不同的技术可获取 MRCP 图像，此决定于 MR 扫描机的性能和有效的软件。技术的基础为梯度回波脉冲序列 (GRE) 和快速采集弛豫增强 (RARE) 脉冲序列及其各种衍化的序列<sup>[4,5]</sup>。

## (一) 成像技术

### 1. 梯度回波 (gradient-echo, GRE) 技术

早年用稳态自由进动 (steady-state free precession, SSFP) 技术，只能展示扩张的胆管影像，正常胰胆管影像展示受限。SSFP 技术信噪比相当低，用较厚的层厚和较大的视野，因此微小结构的展示不理想。用 3D 采集改善了图像质量，但是 2D 和 3D 的 SSFP 技术的图像都不理想，主要是磁场不均匀和磁敏感效应 (susceptibility) 的作用，并且要求长时间的屏气，限制了不合作者及危重患者的使用<sup>[7,8]</sup>。

### 2. 快速采集弛豫增强 (rapid acquisition with relaxation enhancement, RARE) 序列及其衍化的技术

(1) 快速自旋回波 (fast spin echo, FSE) 技术<sup>[9,10]</sup>：早年用 GRE 序列，近年采用基于 RARE 的 FSE。GRE 序列应用受限是由于它对小的不扩张的胆管显示较差，有磁敏感伪影，脂肪信号高，因而减低了肝外胆管与腹部背景之间的对比度。而 FSE 序列有较高的信噪比 (SNR) 和对比噪声比 (CNR)，低磁敏感伪影和低运动血流敏感性，因此 FSE 具有新技术的优点，改善了图像质量。FSE 技术可以多层薄层采集，然后作后处理。它包括 2D、RARE 和 3D MIP、RARE 技术。

(2) 单次激发 (single-shot) 技术<sup>[11]</sup>：单次激发 RARE 法：是单层的厚层 (4~7 cm) 冠状面，然后重复用多层冠状面采集，以补充资源影像 (有如断层像)，实际上每一单层冠状面 (或冠状斜位) 影像都类似胆管造影的投影像，并无资源影像，所以不需要作最大信号强度投影 (maximum-intensity projection, MIP) 的后处理，其主要缺点是缺乏后处理的影像，缺乏资源影像对诊断小病灶 (例如小结石) 是不足的。

单次激发 (single-shot) 的 FSE (SSFSE) 法：属改进后的 FSE 序列，包括 RARE 法和单次激发快速涡流自旋回波半傅立叶采集 (half-Fourier acquisition single-shot turbo echo, HASTE)。RARE 影像是目前 MRCP 检查中最新的方法，RARE 法的特点是单层采集，一次屏气即可获得所有的信号，直接成像，不需要图像后处理，HASTE 法又称变异的 (hybrid) RARE 法，是从 RARE 法中改进、演化而来，是一种回波平面成像序列，它使用半傅立叶平均技术，单层的大层厚 (20~60 mm)，大大缩短了成像的时间，2 s 即可获得影像。或者使用多层的小层厚 (3~5 mm, 5~9 层) 技术，可用各种不同的角度，更多用冠状斜位 (25°)，平行于肝外胆管长轴和胰管，以显示胰胆管。用相控阵线圈，成像时间为 18~20 s。

## (二) 相关的影像技术

### 1. 屏气与非屏气技术

(1) 屏气成像技术：此技术可消除因呼吸造成的伪影。长时间屏气有的患者难以做到，不能普及。目前发展的新技术可在 1 次屏气完成采集的有：单次激发 RARE 技术，不必进行成

像后处理。2D、3D RARE 序列和半傅立叶采集单次激发快速自旋回波序列 (HASTE), 其净效应 (net effect) 是成像时间显著减少, 不到 2s, 即可获一层图像。但此技术在以下情况下效果不理想: ①有易感效应时; ②胰胆管大小小于空间分辨率时; ③胆汁及胰液失去其长  $T_2$  弛豫时间时; ④有与相邻液体积聚或间质内液体增加使胆管信号模糊时。

(2) 非屏气成像技术: 利用此技术可避免分段采集及其可能产生的严重伪影, 故可延长成像时间来获取高分辨率图像。用快速自旋回波序列技术获取图像, 此序列是通过信号平均 (6 次以上) 来补偿因呼吸运动引起的信号损失, 使患者在平静呼吸的状态下也能进行 MRCP 检查。此较适合于危重患者和老年人, 缺点是检查所需时间较长。非屏气技术都基于 FSE 序列。

## 2. 影像数据采集方法

有二维 (2D)、三维 (3D) 两种方法。2D 与 3D 技术比较如下: 2D 快速自旋回波序列的限度是层厚至少 3 mm, 病人运动和呼吸都会引起伪影。3D 法可用较薄的层厚 ( $<1$  mm), 在 MIP 重建和多层重建于任何的平面都不减低影像质量, 从而进一步增加了空间分辨率, 使胰胆管与其周围组织间对比得以改善<sup>[12,13]</sup>。

## 3. 线圈技术

在 MRCP 检查中, 线圈的选择是非常重要的, 一般用体线圈。应用表面线圈或相位编码多线圈代替体线圈以增加信噪比。相控阵线圈 (phase-arranged coil) 用于 FSE 序列可获得较好的胆管投影图像, 但患者屏气时间过长。用表面线圈可缩短屏气时间, 增加了磁场内有效信号量, 信噪比增加, 曲度与前腹壁形态契合的三角形表面线圈与靶器官更容易接近, 尤其适用于胰管成像。体部线圈和三维多层块快速 SE 技术 (three dimensional fast SE multislab technique) 可以获得较高质量的影像。还有采用环形极化卵圆形脊柱线圈 (circularly polarized oval spine coil), 应用适当序列有助于增加信噪比和改善磁场的均匀性。

## 4. 背景抑制技术

用脂肪抑制技术、化学饱和法及上下空间预饱和脉冲。

## 5. 图像后处理技术<sup>[14]</sup>

通过各种不同的脉冲序列和技术, 采集到的是原始图像, 所谓资源影像 (source images), 有如断层影像, 每层图像只显示一部分的影像, 要进行叠加后处理才能得到影像的全貌, 用计算机处理, 方法是用最大信号强度投影法 (maxium-intensity projection, MIP) (图 1-1, 2)。用 MIP 法进行图像重建时, 又分二维 (2D) 和三维 (3D) 图像重建, 各有优缺点, 作后处理以在工作站 (又称 MR console, 独立台) 上操作为佳。工作站功能的普及是重要的, 影像学设备的硬、软件发展迅速, 设备趋向软件配置系统化, 使设备的硬件与软件配套以发挥最好的性能。工作站设置很重要, 它可作实时的、复杂的后处理。此外, 工作站功能的发展也给影像学信息的网络化奠定了基础。

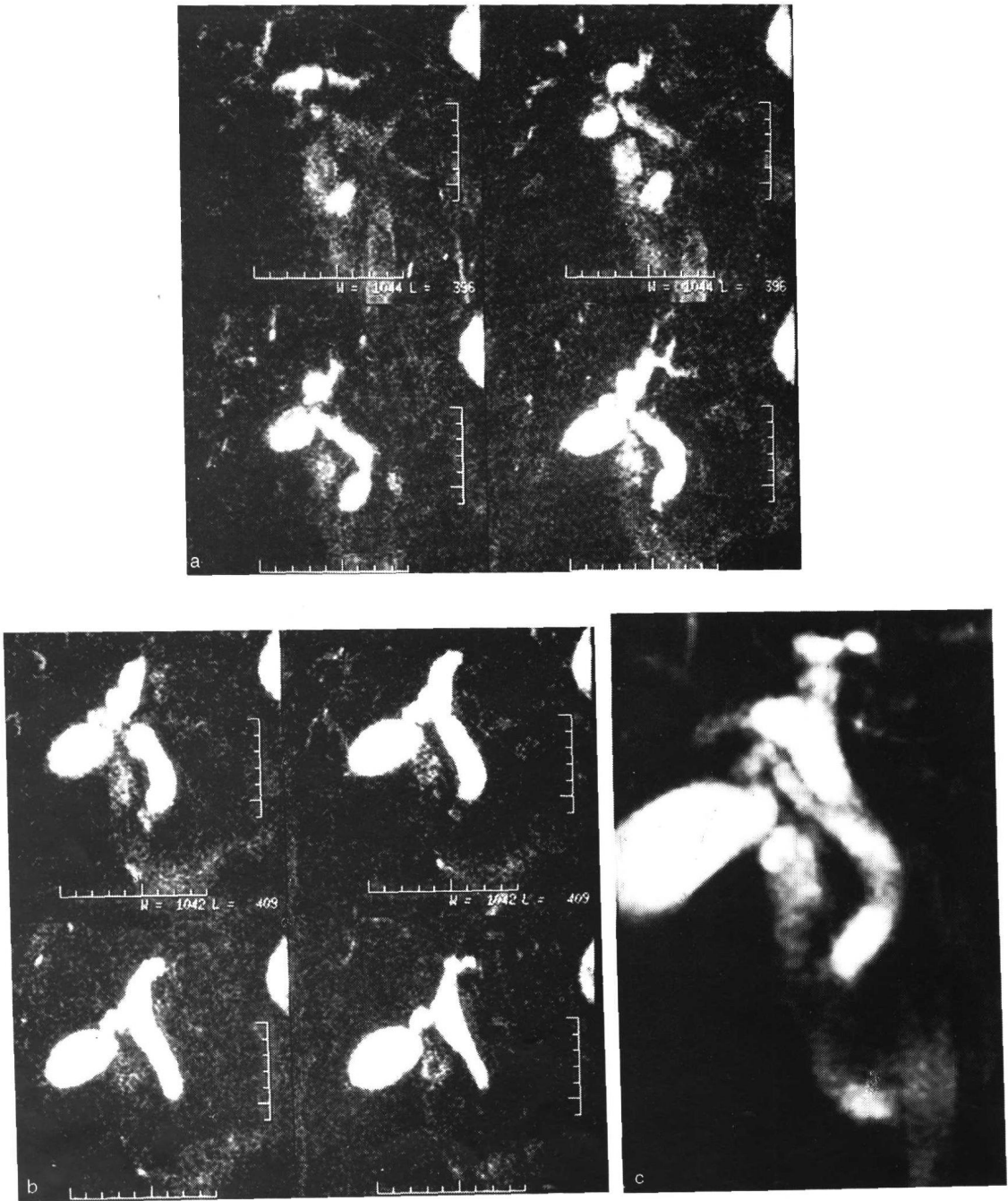


图 1-1 磁共振胰胆管造影最大信号强度投影法

a、b. 资源影像，为采集的原始图像；c. 将采集的原始图像用计算机处理进行叠加得到影像的全貌

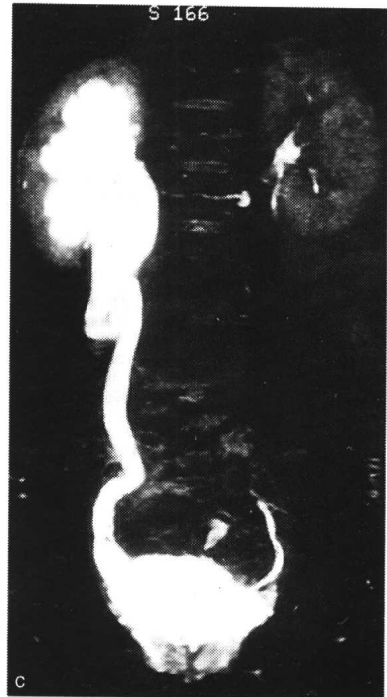
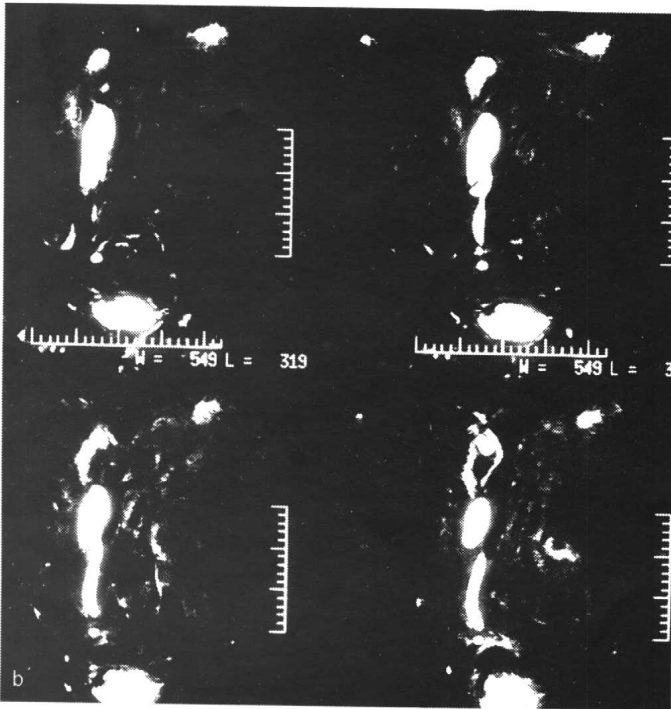
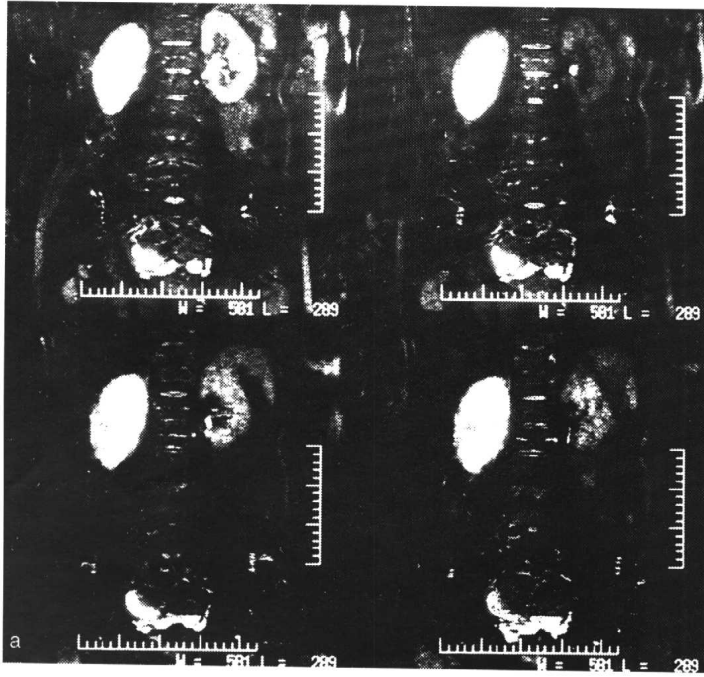


图 1-2 磁共振泌尿造影最大信号强度投影法

a、b. 资源影像，为采集的原始图像；c. 将采集的原始图像用计算机处理进行叠加得到泌尿系影像的全貌

## 6. 减少运动伪影的技术

(1) 早年最简单的方法是用多层激励(信号)平均数(可用到6激励次数)。2D FSE序列可以降低对靶器官运动的敏感性,但需要屏气采集,临床应用受限。

(2) 采用新的呼吸门控软件,2 mm层厚和三维成像,限制了呼吸运动时信号的获取,与二维信号平均技术相比,空间分辨率和信噪比得到提高,并且应用呼吸激发(respiratory triggering),资源影像(source images),小体积最大信号强度靶投影(targeted small-volume maximum-intensity projection, MIP)亦有帮助。呼吸门控软件技术是在呼气未到下一次吸气开始这段时间内(此期间呼吸运动量最小)采集信号,采集信号分段的厚度为2~3 mm,采集信号时进行部分重叠,以提高图像的空间分辨率。在平静呼吸下采集图像4次激发对减少呼吸伪影是必要的。

(3) 短扫描时间的应用:包括屏气技术、单次激发 RARE 和 HASTE 技术。作单层或多层的采集,这些技术都可在短时间内一次完成采集,取得良好的影像质量。

## 7. 影像工具的作用

对 MR 水成像来说,影像工具是决定性的,近年 MR 技术发展迅速,MR 扫描机具有先进的 MR 系统、有效的软件,以及有呼吸门控等配置。目前,由于水成像技术的完善和改进,不但在 1.5 T 扫描机甚至在先进的中场及低场 MR 扫描机都可以作 MR 水成像检查。

# 四、MR 水成像的发展史

## (一) MR 胰胆管造影技术的发展史

1986年, Hennig 等<sup>[5]</sup>运用快速采集弛豫增强(rapid acquisition with relaxation enhancement, RARE)技术进行重  $T_2$  加权成像。

1991年, Wallner 等<sup>[6]</sup>采用屏气法梯度回波二维重  $T_2$  加权稳态自由进动(steady-state free procession, SSFP)技术。

1992~1993年, Morimoto 等<sup>[7]</sup>和 Hall-Craggs 等<sup>[8]</sup>运用三维 SSFP 技术改善了对比度,缩短了成像时间。SSFP 技术的缺点为信噪比低,厚层成像和大扫描野成像,空间分辨率受限,不扩张的胰胆管无法显示。同时,SSFP 技术对运动敏感,运动伪影可使胰胆管信号丢失。

随后发展了二维快速成像自旋回波(fast spin echo, FSE)技术,1993年, Outwater 等<sup>[9]</sup>提出非屏气的二维 FSE 技术,此技术是应用信号平均来补偿呼吸运动伪影。缺点是扫描时间长, >8 min。

1994年, Takehara 等<sup>[10]</sup>应用屏气二维 FSE 技术+表面线圈。优点为信噪比提高,允许小扫描野检查,从而空间分辨率提高。缺点是技术要求屏气 44 s,即使扫描中增加屏气暂停,每次屏气也需 18~22 s,重症或老年患者很难合作。

改善图像质量的技术包括:①运用相控阵线圈(phase-arranged coil),以提高信噪比;②运用脂肪饱和技术,以增加对比度;③运用空间预饱和带技术,以去除门脉系统信号的影响。

FSE 在如下方面优于 SSFP 技术:①能提供较高的信噪比和对比噪声比;②可使用薄层扫描消除运动伪影;③FSE 技术还可减少磁敏感效应,使扫描野的手术银夹不致造成信号丢失;



④在 MRCP 中, 不扩张的胰胆管也能显示。

1995 年, Laubenberger 等<sup>[11]</sup>采用单次激发快速屏气二维 RARE 技术及体部线圈。

Reinhold 等<sup>[12,13]</sup>报道胆道梗阻病人 MRCP 与 ERCP 对照结果, 用 MRCP 总体诊断精度已达 97%。

1995 年, Barish 等采用呼吸激发 (respiratory triggered) 的三维 FSE 技术。优点为不用屏气即可获得连续薄层图像, 信噪比和空间分辨率优于二维, 并可作斜位平面扫描, 在 MRCP 中尤有帮助。

1995 年, Sananes 开始用单次激发 RASE 技术和 HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo echo) 技术: 均为单次激发, 半傅立叶采集快速自旋回波技术重  $T_2$  加权像, 使液体成像质量进一步改善。

RARE 技术的回波链长度 (echo train length, ETL) 为 212, HASTE 技术的 ETL 为 128。优点: ①缩短了扫描时间, 总扫描时间小于 5 min; ②屏气时间短 (仅数秒) 患者易于配合; ③消除了运动伪影 (包括呼吸、肠蠕动、心血管搏动等产生的伪影); ④由于是单次激发, 磁敏感效应进一步降低, 因此信噪比、对比噪声比以及空间分辨率均进一步提高。

## (二) MR 泌尿造影技术发展史

1986 年, 最早是 Hennig 等<sup>[5]</sup>用 RARE 观察梗阻性泌尿道。

1994 年, Roy 等<sup>[15]</sup>报道用 RARE 法以估价泌尿道扩张。

1991 年, Sigmund 等用 RARE 法诊断儿童上泌尿道异常。

1995 年, Rothpearl 等<sup>[16]</sup>用 2D FSE 序列作 MR 泌尿造影。

1996 年, Aarf 等和 Regan 等用屏气 HASTE 技术。

1997 年, O'Malley 等<sup>[17]</sup>用 3D FSE 序列作 MR 泌尿造影。

目前新技术为单次激发 RARE 法和 HASTE 技术用于 MR 泌尿造影。

## (三) MR 椎管水成像 (MR 脊髓造影, MRM)

1986 年, Henning 等<sup>[5]</sup>应用 RARE 技术得到类似椎管造影的非体层投影图像。

1991 年, Ross 等<sup>[18]</sup>采用三维梯度回波技术研究脊椎退行性变。

1992 年, Krudy<sup>[19]</sup>运用二维 FSE 技术估价椎管造影。

## (四) 其他

1996 年, Lomas 等<sup>[20]</sup>首先用水成像技术于涎管成像。

1992 年, Tanioka 等<sup>[21]</sup>用高分辨率 MR (HRMR) 作内耳淋巴管和淋巴囊成像于 Meniere's 病。

1995 年, Harnsberger 等<sup>[22]</sup>用薄层 MR FSE 序列作内耳淋巴管和淋巴囊水成像。

1998 年, Naganawa 等<sup>[23]</sup>用 MR 3D FSE 序列、半傅立叶转换重  $T_2W$  及用 Gadolinium 增强 3D SPGR (spoiled gradient-recalled) 成像, 取得内耳淋巴管和囊高质量的影像。

1998 年, Caldemeyer 等<sup>[24]</sup>首先报道用重  $T_2W$  FSE 序列作 MR 鼻泪管造影。

在 MR 肠梗阻水成像方面。

1996 年, Chou 等<sup>[25]</sup>首先报道, MRI 用于小肠梗阻的诊断经验。