

Multislice CT  
Angiography

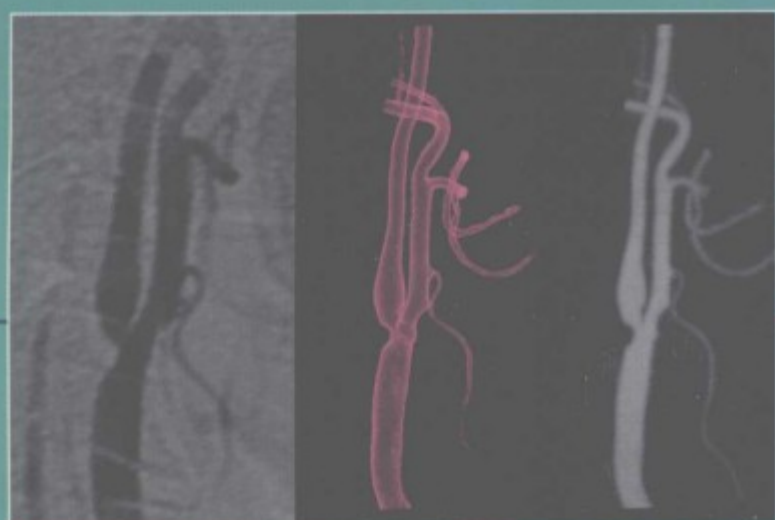
多层螺旋CT  
血管成像

◆ 名誉主编 林曙光

◆ 主 编 梁长虹 赵振军

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS



# 多层螺旋CT血管成像

## Multislice CT Angiography

■ 策划编辑 高爱英  
■ 封面设计 吴朝洪

■ 销售分类 医学影像学

ISBN 978-7-5091-1767-5



9 787509 117675 >

定价：220.00元

---


# 多层螺旋 CT 血管成像

Multislice CT Angiography

---

名誉主编 林曙光

主 编 梁长虹 赵振军

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

---

图书在版编目(CIP)数据

多层螺旋 CT 血管成像 / 梁长虹, 赵振军主编. — 北京: 人民军医出版社, 2008.5  
ISBN 978-7-5091-1767-5

I.多… II.①梁…②赵… III.血管疾病—计算机X线扫描体层摄影—诊断学 IV.R543.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第065107号

---

策划编辑: 高爱英 文字编辑: 任海霞 董建军 责任审读: 黄栩兵

出版人: 齐学进

出版发行: 人民军医出版社 经销: 新华书店

通信地址: 北京市100036信箱188分箱 出编: 100036

质量反馈电话: (010)51927270;(010)51927283

邮购电话: (010)51927252

策划编辑电话: (010)51927300-8172

网址: [www.pmmp.com.cn](http://www.pmmp.com.cn)

---

印刷: 三河市春园印刷有限公司 装订: 春园装订厂

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 24.75 字数: 578千字

版、印次: 2008年5月第1版第1次印刷

印数: 0001~2500

定价: 220.00元

---

版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

---

## 内 容 提 要

作者在广泛收集最新研究成果的基础上, 结合自己长期的科研和临床经验, 系统地介绍了 CT 设备、CT 扫描技术、CT 图像质量的控制、对比剂相关知识及应用技术, 重点介绍了各部位血管的 CTA 成像技术及其临床应用。本书内容丰富翔实, 通俗易懂, 实用性强, 适合从事影像学诊断和介入诊疗的各级医师、技术员或从事血管疾病治疗的各级临床医师、医学生及相关专业的研究生阅读参考。



# 编著者名单

名誉主编 林曙光

主 编 梁长虹 赵振军

副主编 黄 飏 刘 波 张水兴 曾庆思

编著者 (以姓氏汉语拼音为序)

崔燕海 高 强 何 晖 黄 飏 黄美萍

李景雷 梁长虹 刘 波 刘 辉 刘红军

刘健萍 刘其顺 刘 岷 刘于宝 刘再毅

牟 峰 潘爱珍 茹光腾 侍 丽 王秋实

谢淑飞 余元新 曾 辉 曾庆思 张 佳

张金娥 张水兴 张忠林 赵振军 郑君惠

周 涛

学术秘书 王广谊





**林曙光** 主任医师、教授、博士生导师。先后毕业于中山医科大学和广东省心血管病研究所,留学于美国 John Hopkins 大学和澳大利亚 Monash 大学。现为广东省人民医院院长,广东省心血管病研究所所长兼任心血管内科主任。

兼任中华医学会心血管病学分会副主任委员,中国医师协会心血管内科医师分会副会长,美国心脏科学院院士,香港心脏专科学院顾问院士,以及《岭南心血管病杂志》中

英文版、《中华心血管病杂志》等 14 种杂志的主编、编委。先后在国际著名的心血管研究杂志《Circulation Research》和国内核心期刊《中华医学杂志》等国内外学术刊物上发表论文 80 篇,主编《心血管药理学》、《临床药理学》等专著,参与编写专著共 7 部。主持或参与了 40 多种药物的临床药理研究工作,并领导有关人员成功地进行了 12 例心脏移植和 1 例心肺移植手术。目前承担国家“十一五”攻关项目 2 项,国家自然科学基金 3 项,先后获国家医学科技进步奖、卫生部科技进步奖、广东省科技进步奖 8 项。培养了多名博士、硕士研究生。



**梁长虹** 主任医师、博士生导师。现为广东省人民医院影像医学部主任兼放射科主任。兼任中华医学会放射分会委员,中华医学会放射学分会腹部学组委员,广东省医学会放射学分会副主任委员以及《中华放射学杂志》、《临床放射学杂志》、《中国影像医学技术》等多家专业杂志编委。先后在国际著名的专业杂志《Clinical Radiology》、《Journal of Computed Assisted Tomography》、《Abdominal Radiology》

和国内核心期刊《中华放射学杂志》等发表论文60余篇。参与或主编《鼻咽癌影像诊断学》、《多层螺旋CT扫描方案》等学术专著7部。主持翻译专著《造影剂增强磁共振三维血流成像》。主持多项广东省自然科学基金、广东省重点攻关课题、广东省卫生科学研究基金,参与了多项“十一五国家科技支撑计划”项目。先后获得广东省科技进步奖、广东省医药卫生科技进步奖多项。





**赵振军** 主任医师、教授、硕士研究生导师。现为广东省人民医院放射科行政副主任。兼任中华医学会放射学分会心胸学组委员、中华放射学会广东省分会委员、广东省重大急性呼吸道传染病诊断专家组成员、广东省矽肺诊断专家组成员。参加和承担广东省、广州市科研课题4项，参与多项国际多中心临床研究。

发表论文10余篇，为2部专著的副主编，并参与了3部专著的编写。从事影像诊断工作20余年，尤其擅长胸部疾病的影像学诊断，在肺癌早期诊断及鉴别诊断方面做了大量的工作，具有非常丰富的临床经验，其中肺肿瘤血流动力学及功能方面的研究获得了多项科研基金资助，并有多篇肺肿瘤灌注方面的文章在国家级杂志上发表。



# 序 言

CT的发明,对医学诊断学是一场革命,螺旋CT技术的发明,又是在CT技术上的一次革命。螺旋CT技术使得CT的数据采集实现了容积采集和三维后处理。多层螺旋CT技术的发明,则又是螺旋CT技术的重大技术突破,使扫描速度加快,Z轴向空间分辨率提高,实现了各向同性三维后处理和高时间分辨率动态扫描。

CT血管成像(CTA)是螺旋CT问世后不久产生的,随着多层螺旋CT的普及应用,CT血管成像技术的临床应用越来越广泛。它是一种简便、实用、微创的检查方法。CT血管成像可以同时显示血管腔内、腔外和血管管壁病变,既可实现大范围解剖血管成像,又可实现小范围小血管精细显像,甚至可用于研究运动器官的血管。总体上看,全身各大脏器的血管都可以行CTA检查。对脏器的血管可以显示到3~4级分支水平;对肺动脉甚至可以显示更细更远端分支;对于怀疑冠状动脉病变者,不仅可以作为筛查手段,而且对其病变程度和范围显示效果已基本可满足临床诊断要求;对于肾动脉病变的诊断,已经超越了DSA的价值,完全可以满足介入或手术前的诊断需要。

CTA的临床应用日益广泛,但CTA成像技术尚不规范,一些常用概念也还存在一定争议。广东省人民医院梁长虹教授等主编的《多层螺旋CT血管成像》,为CTA成像技术规范及其临床深入应用做出了相应指导。本书以大量的临床实践和扎实的科研为基础,并参阅了最新文献编著而成,是一部学术性高、实用性强、有新意的专业参考书,非常适合影像科和相关学科医生参考。相信本书的出版将受到广大读者的欢迎。

梁长虹

梁长虹

2007年11月4日

# 前 言

近年来,多层螺旋CT的发展非常迅速,临床应用范围越来越广泛,其中CT血管成像(CTA)的应用也越来越普及。随着多层螺旋CT机器设备硬件和软件技术的不断改进,以及工作站后处理能力的不断加强,有理由相信,CTA将会成为更多血管性疾病的首选检查方法,并为CT诊断提供更多信息。

随着设备扫描速度的加快,可能获得的信息会越来越多,但要获得这些信息,就必须充分理解多层螺旋CT设备、技术及相关问题。多层螺旋CT血管成像不但与CT设备相关,而且与对比剂的使用也密切相关,但是目前针对血管性疾病CTA诊断的专业著作尚缺乏,为顺应临床工作需要,我们编写了此书。

多层螺旋CT具有1次屏气扫描覆盖范围大、Z轴向空间分辨率高、时间分辨率高等特点,可在相当高的时间分辨率获得各向同性的图像,基本消除部分容积效应伪影和阶梯状伪影,完成常规CT不能完成或不能很好完成的检查,如冠状动脉CT血管成像。随着技术进展,对小血管的分辨和显示也将大大改善,能显示出器官或脏器的毛细血管灌注解剖图像,这都将极大地扩充CTA的应用范围。多层螺旋CT扫描速度加快后,对比剂使用技术策略也需要进行相应调整,否则,难以获得最佳血管强化状态下的图像。

本书全面系统介绍了CT设备、CT扫描技术、CT图像质量的控制、对比剂相关知识及应用技术、各部位血管的CTA成像技术及其临床应用。书内资料主要来自广东省人民医院多年的经验积累和研究成果,同时参阅并引入了国内外最新文献资料和先进经验。全书共分24章,对全身血管性病变的CTA诊断做了较为详细的阐述,编写过程中尽量突出CTA的临床实用性,力求做到全面、易懂。

南方医科大学南方医院张雪林教授和佛山市第一人民医院潘爱珍主任医师分别提供了部分病例图片,在此,我们表示由衷的感谢。在本书编写过程中,本科室全体同事给予了积极配合和大力协助,谨此一并表示衷心的感谢。

书中疏漏之处,恳请同道及广大读者批评指正!

梁长虹 赵振军

# 目 录

|              |                       |           |
|--------------|-----------------------|-----------|
| <b>第 1 章</b> | <b>CT 对比剂分类</b>       | <b>1</b>  |
| 第一节          | CT 对比剂及其发展简史          | 1         |
| 第二节          | 对比剂分类                 | 3         |
| 第三节          | CT 增强对比剂的给药途径         | 5         |
| <b>第 2 章</b> | <b>CT 对比剂化学结构相关知识</b> | <b>10</b> |
| <b>第 3 章</b> | <b>CT 对比剂药动学</b>      | <b>16</b> |
| 第一节          | 药物在体内的基本过程            | 16        |
| 第二节          | 药效学模型                 | 18        |
| 第三节          | 碘对比剂药动学例证             | 21        |
| <b>第 4 章</b> | <b>高浓度碘对比剂与 CTA</b>   | <b>24</b> |
| 第一节          | 高浓度碘对比剂应用理论           | 24        |
| 第二节          | CTA 扫描技术及其临床应用概况      | 30        |
| <b>第 5 章</b> | <b>碘对比剂不良反应</b>       | <b>34</b> |
| <b>第 6 章</b> | <b>CT 的发展简史</b>       | <b>43</b> |
| 第一节          | CT 的主要结构              | 43        |
| 第二节          | 各代 CT 扫描仪的特点          | 45        |
| 第三节          | CT 发展的展望              | 48        |

|               |                       |            |
|---------------|-----------------------|------------|
| <b>第 7 章</b>  | <b>螺旋 CT 的发展及技术原理</b> | <b>51</b>  |
| 第一节           | 螺旋 CT 原理概述            | 51         |
| 第二节           | 多层螺旋 CT 发展现状          | 53         |
| <b>第 8 章</b>  | <b>电子束 CT 及其临床应用</b>  | <b>65</b>  |
| 第一节           | EBCT 主要构造和扫描方式        | 65         |
| 第二节           | EBCT 在心血管诊断中的应用       | 68         |
| <b>第 9 章</b>  | <b>CT 血管成像扫描方法</b>    | <b>74</b>  |
| 第一节           | 静脉内对比剂团注影响 CTA 的因素    | 75         |
| 第二节           | 团注时间和延迟时间             | 79         |
| 第三节           | 扫描参数的选择               | 82         |
| 第四节           | 后处理 CTA 血管图像          | 84         |
| <b>第 10 章</b> | <b>CTA 扫描的图像后处理</b>   | <b>85</b>  |
| 第一节           | 常见图像后处理方法             | 86         |
| 第二节           | 图像编辑                  | 94         |
| <b>第 11 章</b> | <b>CT 血管成像的评价</b>     | <b>97</b>  |
| 第一节           | CT 血管成像质量评价           | 97         |
| 第二节           | CT 血管成像临床价值评价         | 99         |
| <b>第 12 章</b> | <b>CTA 临床应用概况</b>     | <b>106</b> |
| 第一节           | 概述                    | 106        |
| 第二节           | CTA 的适应证、禁忌证和注意事项     | 107        |
| 第三节           | CTA 在全身各部位的临床应用       | 108        |
| <b>第 13 章</b> | <b>CT 脑血管成像</b>       | <b>118</b> |
| 第一节           | 脑部动脉解剖及 CTA 成像技术      | 118        |
| 第二节           | CTA 在脑动脉系统疾病的应用       | 121        |

|               |                         |            |
|---------------|-------------------------|------------|
| 第三节           | 脑静脉解剖及 CTA 成像技术         | 128        |
| 第四节           | CTV 在脑静脉系统疾病的应用         | 130        |
| <b>第 14 章</b> | <b>颈动脉及椎动脉 CT 血管成像</b>  | <b>134</b> |
| 第一节           | 颈部动脉解剖及 CTA 成像技术        | 134        |
| 第二节           | 颈动脉粥样硬化性狭窄              | 136        |
| 第三节           | 椎动脉狭窄                   | 139        |
| 第四节           | 颈动脉及椎动脉夹层               | 141        |
| 第五节           | 颈动脉假性动脉瘤                | 144        |
| 第六节           | 动静脉瘘                    | 146        |
| 第七节           | 颈动脉体瘤                   | 148        |
| <b>第 15 章</b> | <b>肺部 CT 血管成像临床应用</b>   | <b>152</b> |
| 第一节           | 肺部的 CTA 技术方法            | 152        |
| 第二节           | 肺动脉栓塞                   | 155        |
| 第三节           | CTA 在肺癌诊断中的应用           | 159        |
| 第四节           | 支气管扩张                   | 162        |
| 第五节           | 肺隔离症                    | 166        |
| 第六节           | 肺动静脉畸形                  | 169        |
| <b>第 16 章</b> | <b>多层螺旋 CT 冠状动脉成像</b>   | <b>173</b> |
| 第一节           | 冠状动脉 CTA 成像技术           | 173        |
| 第二节           | 正常冠状动脉解剖及 CTA 表现        | 176        |
| 第三节           | 临床应用                    | 179        |
| <b>第 17 章</b> | <b>多层螺旋 CT 心脏及大血管成像</b> | <b>189</b> |
| 第一节           | 64 层螺旋 CT 心脏及大血管成像技术    | 189        |
| 第二节           | 心脏大血管节段解剖               | 190        |
| 第三节           | 先天性心脏病                  | 193        |
| 第四节           | 心包疾病                    | 214        |
| 第五节           | 心脏肿瘤                    | 218        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>第 18 章 主动脉 CT 血管成像</b>   | <b>222</b> |
| 第一节 扫描技术及方法                 | 222        |
| 第二节 正常主动脉 CT 血管成像           | 224        |
| 第三节 多发性大动脉炎                 | 225        |
| 第四节 真性动脉瘤                   | 227        |
| 第五节 假性动脉瘤                   | 231        |
| 第六节 动脉夹层                    | 233        |
| <b>第 19 章 肾血管 CT 成像</b>     | <b>241</b> |
| 第一节 肾血管 CTA 技术方法            | 241        |
| 第二节 肾血管的正常解剖与变异             | 242        |
| 第三节 肾动脉病变                   | 245        |
| 第四节 肾静脉病变                   | 254        |
| <b>第 20 章 肝脏螺旋 CT 血管成像</b>  | <b>262</b> |
| 第一节 肝脏 CTA 检查技术             | 262        |
| 第二节 肝脏血管解剖基础                | 266        |
| 第三节 肝脏动脉病变 MDCTA            | 270        |
| 第四节 肝脏静脉病变 MDCTA            | 273        |
| 第五节 肝移植                     | 283        |
| <b>第 21 章 腹部血管 CT 成像</b>    | <b>289</b> |
| 第一节 腹部血管 CTA 检查技术           | 289        |
| 第二节 胃肠血管解剖                  | 291        |
| 第三节 胃肠道动脉性病变                | 293        |
| 第四节 胃肠道静脉性病变                | 303        |
| 第五节 胰腺 CT 血管成像              | 312        |
| 第六节 脾血管 CTA                 | 322        |
| <b>第 22 章 盆腔疾病 MDCTA 应用</b> | <b>328</b> |
| 第一节 盆腔 MDCTA 扫描技术           | 328        |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 第二节 MDCTA 在盆腔血管病变中的应用    | 330        |
| <b>第 23 章 肢体 CT 血管成像</b> | <b>341</b> |
| 第一节 肢体动脉 CT 血管成像         | 341        |
| 第二节 肢体静脉 CT 血管成像         | 355        |
| <b>第 24 章 肿瘤与血管</b>      | <b>364</b> |
| 第一节 肿瘤微血管灌注              | 364        |
| 第二节 肿瘤血管生成与 CT 灌注成像      | 367        |
| 第三节 CT 灌注成像在肿瘤中的应用       | 369        |
| 第四节 常见部位肿瘤的 CT 灌注成像      | 371        |





### 第一节 CT对比剂及其发展简史

造影是一种常用的X线检查方法,在CT检查中往往称之为增强(enhancement)。人们通过X线可以隔着皮肉看到人体内某些内部器官或组织的形态,因此,便有了X线透视(fluoroscopy)和X线摄片(photogram)检查。但是,在相当一部分人体组织结构中,如果只依靠它们本身的密度差异,无论X线还是CT检查都不能显示其形态。在这种情况下,可以将密度高于或低于该组织密度的某种特定物质引入器官、组织或其周围间隙,使之产生对比以显影,此即造影检查(contrast examination)。被引入的物质被称为对比剂(contrast medium)。造影检查(或CT增强检查)的应用显著地扩大了X线(包括CT)的临床应用范围,能够增加更多信息以帮助诊断。

#### 一、对比剂

广义的X线对比剂是指能被引入体内从而产生组织对比的各种物质。按引入物质密度的高低分为低密度对比剂和高密度对比剂两大类。

低密度X线对比剂为原子序数低、比重小的物质。目前应用于临床的有二氧化碳、氧气、空气等气体,还有脂质类等。气体可用于蛛网膜下隙、关节囊、腹腔、胸腔及软组织间隙的造影,甚至门静脉造影等。

高密度X线对比剂为原子序数高、比重大的物质。CT或X线常用的高密度对比剂有钡剂类和碘剂类。钡剂主要用于食管及胃肠造影,而且目前基本上用于常规X线造影检查,但有的产品用于CT胃肠道检查。碘剂类包括无机碘、水溶性碘剂或脂溶性碘剂,主要用于心血管、蛛网膜下隙、尿路、气管支气管、瘻管造影等检查。CT造影检查主要应用碘对比剂。

## 二、CT 对比剂的发展简史

CT对比剂的前身是X线数字减影血管造影(DSA)对比剂。理想的CT对比剂应具备如下特点:①造影成分含量高;②合成简单及产量高;③体内外稳定性好;④具有无限的水溶性;⑤黏稠度低;⑥无生物活性。

1895年, Roentgen发现X线2个月后, Haskek和Lindental首次在离体上肢的动脉内注入白垩溶液进行了动脉造影(arteriography)的尝试。自1924年美国的Brooks用50%的碘化钠成功地做了第一例股动脉造影以来,对比剂产品不断地更新换代。作为主要经肾脏排泄的碘对比剂共经历了两个发展阶段:离子型(ionic)阶段和非离子型(non-ionic)阶段。

1928年, Mouses Swick首先发明了用于肾盂造影的静脉注射对比剂Iopax(Uroselectan),即苯酸钠盐,其为离子型对比剂,化学结构为1个苯环(benzene ring)带1个碘原子(iodine)。1930年又出现了以Diodrast(碘吡拉舍)为代表的双碘化合物,其化学结构为1个分子的苯环上带2个碘原子。双碘化合物经历了一个比较长的时期,到了1950年出现了以Uroken(乌洛康、学名Acetrizoate,醋碘苯酸钠)为代表的三碘化合物,其化学结构为1个苯环分子上带有3个碘原子。20世纪50~60年代又出现了一系列三碘化合物,如Hypaque(泛影酸钠)、Urografin(泛影葡胺)和Conray(碘他拉葡胺)等,这是现代对比剂史上的第一次飞跃。经过以上这些发展,对比剂的毒性在不断降低,但它们在化学结构上有一个共同点,即都是离子型对比剂。也就是说,对比剂在溶液中离解为阳离子(cation)和阴离子(anion)。虽然其毒性在降低,但使用中仍可发生比较严重的不良反应(side reaction)。比如:在心血管造影时,呼吸、血压和心电图发生变化;冠状动脉造影引起心室颤动、心肌收缩无力和心肌损害。尤其重要的是,这类离子型对比剂的神经毒性较大,大部分不能用于蛛网膜下隙注射。

1969年,瑞典年轻的放射学家Torseen Almen首先提出了非离子化碘水对比剂的理论,开辟了对比剂发展历史上的新纪元。在挪威奈科明公司(Nycomedas)的协助下合成了第一个应用于临床的非离子型对比剂Amipaque(甲泛葡胺)。1973年开始应用于临床,这是对对比剂发展史上的一个里程碑。非离子型单体对比剂的出现是现代对比剂史上的第二次飞跃。1982年奈科明公司又推出了第二代非离子型对比剂Omnipaque(碘海醇)。同一时期,其他公司推出了类似产品。意大利Bracco(博莱科)公司的Iopamidol(碘帕醇,商品名碘比乐),德国先灵公司的Ultravist(优维显),美国生产的Ioversol 320(商品名Optiray,安射力)。

20世纪70年代末,德国先灵公司开始研制非离子型二聚体(dimer)对比剂,以进一步降低渗透压(osmotic pressure)。其中碘曲仑(Iotrolan,即伊索显,Isovist)被证实具有无限水溶性,碘浓度为300mg/ml对比剂溶液与体液等渗,且机体耐受性很好。其缺点是相对分子质量太大(相对分子质量为1626),黏稠度(viscosity)较高。非离子型二聚体的出现被视为现代对比剂史上第三次飞跃。同类产品有碘克沙醇,又称威视派克(Iodixanol, Visipaque),性能与碘曲仑相似。

随着新型对比剂的不断研制和开发,对比剂的使用领域也不断扩大,以至造影检查成为影像学诊断中不可缺少的手段。

(何 晖 黄 颺 梁长虹 刘 波)

## 第二节 对比剂分类

用于CT增强检查或造影检查的对比剂属有机碘剂。有机碘剂种类繁多,日新月异,数十年来不断研究和改进,目的有两方面:①增加碘含量以求得到最好的对比;②减少毒性及副作用,以使患者能够耐受。基于此目的,早期的研制主要是增加碘含量,从最初的单碘原子杂环到双碘原子杂环,再到20世纪50年代后的含有三个碘原子的三碘苯环衍生物。这一时期研制的产品在溶液中离解成阴、阳离子,称为离子型对比剂,性质稳定,对比良好,能满足诊断要求,但溶液属高渗性,在应用中毒性反应不时出现。20世纪70年代后研制出非离子型对比剂,克服了前者的许多缺点,其渗透性(osmosis)降低,甚至接近血浆,毒性反应小,生物安全性大,对神经系统毒性低。

### 一、按化学结构分类

#### (一) 离子型对比剂

包括泛影酸盐及异泛影酸盐。泛影酸盐有泛影酸钠(sodium diatrizoate, hypaque sodium)、泛影葡胺(meglumine diatrizoate, hypaque meglumine)。钠离子对血管内皮有损伤,静脉注射处疼痛,而泛影葡胺则没有此副作用。单纯应用泛影葡胺可能引起心室颤动,且溶液黏度高,所以宜将两者混合,以泛影葡胺为主,加入少量泛影酸钠,构成复方泛影葡胺(urografin, renografin)。在过去,这种对比剂在临床上被广泛使用,其不同浓度的溶液分别用于心脏、大血管造影、尿路造影、胆管直接引入造影、瘘管造影及CT增强扫描等。某些情况下,其可用作口服胃肠道造影,称为胃影葡胺(gastrografin)。异泛影酸是泛影酸的同分异构体(isomer),可制备成异泛影酸钠(conray 400)及碘他拉葡胺(conray)。其适用范围与泛影酸盐大致相同,对心脏、大血管造影有优越性,其亲水性(hydrophilicity)好,可制成更高浓度溶液,而黏度小,注射速度可以更快。异泛影酸钠不宜做脑血管造影。

碘卡明酸是碘卡明酸盐、异泛影酸的二聚体,其葡胺盐称碘卡明葡胺(iocarmate meglumine),其在溶液中电离后只产生两个阳离子和一个阴离子,每分子中碘原子数与离子比值R为3,在相似的碘浓度时,溶液的渗透压较低,神经毒性较泛影酸盐小,曾经用于脑室及腰段脊髓造影,现已为性能更好的非离子型对比剂所取代。

#### (二) 非离子型对比剂

1970年以来,欧美一些药厂致力开发新的含碘对比剂,寻找毒性反应小、使用安全、诊断范围更大的产品。1973年挪威奈科明公司首先合成甲泛葡胺(metrizamide, amipaque, 阿米派克),以葡萄糖胺(glucosamine)代替三碘苯环上的有机酸,所得化合物溶于水而不电离,其渗透压、神经毒性(neurotoxicity)及黏度均降低。除用于血管内注射外,还可用于蛛网膜下隙及脑池造影,它的面世受到

普遍欢迎并得到广泛的临床应用。然而,此制剂的最大弱点是遇水、遇热时易分解,冷冻干燥的粉剂必须在使用前方可配成溶液,不能储存,使用不方便,故为后来开发的新产品所代替。

20 世纪 80 年代先后开发出碘海醇(iohexol,omnipaque,欧乃派克)、碘帕醇(iopamidol,iopamiro,碘必乐)、碘普罗胺(iopromide,ultravist,优维显)及碘佛醇(ioversol,optiray,安射力)。它们都属于非离子型单体(monomer)有机对比剂,为三碘苯甲酸的衍生物。与离子型对比剂相比,它们有以下几方面的改进。①不属盐类,其水溶液无电离现象,渗透压低。临床应用中,明显减少了患者的头痛、灼热感及血管扩张所引起的不适。②不含羧基(carboxyl),神经毒性大大降低,经静脉给药的毒性显著降低。③在分子结构中引入 4~6 个醇基(alcoholic group),均匀分布于分子周围,增加亲水性(hydrophilicity),提高其水溶液的浓度,同时降低黏度,对比剂的毒性反应进一步减少。

这类非离子型单体有机碘对比剂的渗透压较离子型的减小约 60%,R 值均为 3。临床使用时,其毒性反应明显减少,适用于心脏、血管造影和 CT 增强扫描。

非离子型二聚体(dimer)有机碘对比剂的开发,又向前推进了一步,分子结构含 8~12 个醇基(alcoholic group),均匀分布于分子周围,不含羧基,2 个三碘苯环共有 6 个碘原子,R 值为 6,渗透压降到接近血浆的 300mol/ml。即使对比剂浓度高时,也是如此。因此特别适合用于全段脊髓造影(myelography)、脑池造影(cisternography)及具有高危因素的患者,其毒性反应发生率较前述离子型及非离子型单体对比剂低且轻。属于此类者有碘曲仑(iotrolan,isovist,伊索显)及碘克沙醇(iodixanol,visipaque,威视派克)。

根据国内、外大组病例统计分析,非离子型对比剂静脉注射的毒性反应发生率比离子型减少 76.3%,出现的反应以轻度及中度为主,重度的发生率减少更为明显。离子型对比剂静脉注射死亡率为 1:3 000,而非离子型对比剂只有 1:250 000。在动物试验中,静脉注射测试小鼠的半致死量(LD<sub>50</sub>)表明,非离子型对比剂的 LD<sub>50</sub> 约是离子型对比剂的 3 倍。若从蛛网膜下隙给药,非离子型对比剂的 LD<sub>50</sub> 约是离子型对比剂的 10 倍。可见非离子型对比剂的毒性反应发生率比离子型少而轻,生物安全性较大。

## 二、按给药途径和检查目的分类

1. 血管性对比剂 经动、静脉注射的对比剂,应用最广泛。

2. 非血管性对比剂 包括口服胃肠道内对比剂,胆系 CT 对比剂,椎管脑室对比剂、淋巴系统对比剂等,后者应用较少。

经血管注入人体血管内的 CT 增强对比剂属于高密度水溶性含碘对比剂,在化学结构上属于三碘苯环(benzene ring)的衍生物(ramification)。无论单体对比剂,还是双聚体对比剂,依据其在水溶液中电离情况的不同又分为离子型和非离子型两类。前者是三碘苯甲酸的盐,如葡甲胺盐、钠盐、镁盐、钙盐等,在水溶液中可离解为带有电荷的阴离子(含三碘苯环)和阳离子(如葡甲胺、钠离子、钙离子、镁离子等);后者是含三碘苯环的酰胺衍生物,不属于盐类,在水溶液中不解离,故不带电荷。

### 三、按理化结构分类

对比剂按其理化结构不同可分为4种类型：①离子型单体对比剂(如显影葡胺、泛影葡胺)；②离子型双聚体对比剂(如海赛显)；③非离子型单体对比剂(如三代显、优维显、欧乃派克等)；④非离子型双聚体对比剂(如伊索显、威视派克)。

离子型单体对比剂每个分子中含有3个碘原子，而在水溶液中又被解离为2个粒子，故碘原子数与粒子数比值(R)为 $3:2=1.5$ ，渗透压高达 $1\ 500\sim 2\ 300\text{mOsm}/(\text{kg}\cdot\text{H}_2\text{O})$ ，被称为比值1.5对比剂或高渗对比剂；相应的离子型双聚体和非离子型单体对比剂R为3，渗透压在 $634\sim 900\text{mOsm}/(\text{kg}\cdot\text{H}_2\text{O})$ ，被称为比值3对比剂或低渗对比剂；而非离子型双聚体对比剂每个分子中含有6个碘原子，且在水溶液中不离解，其R为6，其渗透压与血浆渗透压相等，被称为比值6对比剂或等渗对比剂。

(何 晖 梁长虹 黄 颀 张水兴)

## 第三节 CT增强对比剂的给药途径

### 一、静脉内团注

CT增强注射对比剂的常规给药方式是将某一剂量的高碘浓度对比剂加压快速注入静脉，在血管腔内形成对比剂团(bolus)，在对比剂团经血循环大量进入靶器官的供血动脉时进行扫描或在特定的循环时间扫描而获得相关数据。

为保证靶器官的最佳强化，需准确掌握对比剂从注射部位到靶器官的循环时间。有多种方法可以确定对比剂从注射部位至靶区的时间。最简单的方法就是按Schad提供的方法进行粗略计算。从上臂静脉注射对比剂，循环至右心室、左心室、胸主动脉、腹主动脉、脑和髂动脉的时间分别为4s、11s、12s、13s、13s和15s。准确的到达时间可以采用注射小剂量对比剂团连续扫描，测定到达靶血管时间。

一般认为靶器官增强效果在其他因素不变的情况下和注射流率成正比(图1-1~1-4)，准确地说，与碘输入速度成正比。但是在尽可能提高注射速度的同时，应兼顾患者身体状况、年龄及血管弹性等多方面因素，进行科学选择。大致原则为：①患者体质好，强壮，血管正常，注射流率可使用 $2\sim 5\text{ml}/\text{s}$ ；②患者体质较弱，血管条件一般，注射流率应适中，约 $2\text{ml}/\text{s}$ 或更慢；③年老体弱、长期卧床或近期经常接受化学治疗、放射治疗的患者，血管条件较差，脆性大，应减低注射流率，一般采用小于 $2\text{ml}/\text{s}$ 的流率；④婴幼儿的注射流率更慢，甚至可低至 $0.1\text{ml}/\text{s}$ ；⑤检查部位和目的也必须考虑，有些特殊的检查目的就需要高速注射对比剂，比如：冠状动脉CTA检查和灌注成像(perfusion imaging)。



图 1-1 静脉团注后 CT 扫描  
多平面重建图像显示胸主动脉全程



图 1-2 静脉团注后 CT 扫描  
多平面重建图像显示双侧肺动脉及分支



图 1-3 静脉团注后扫描 CT  
最大密度投影重建显示双侧肾动脉及分支

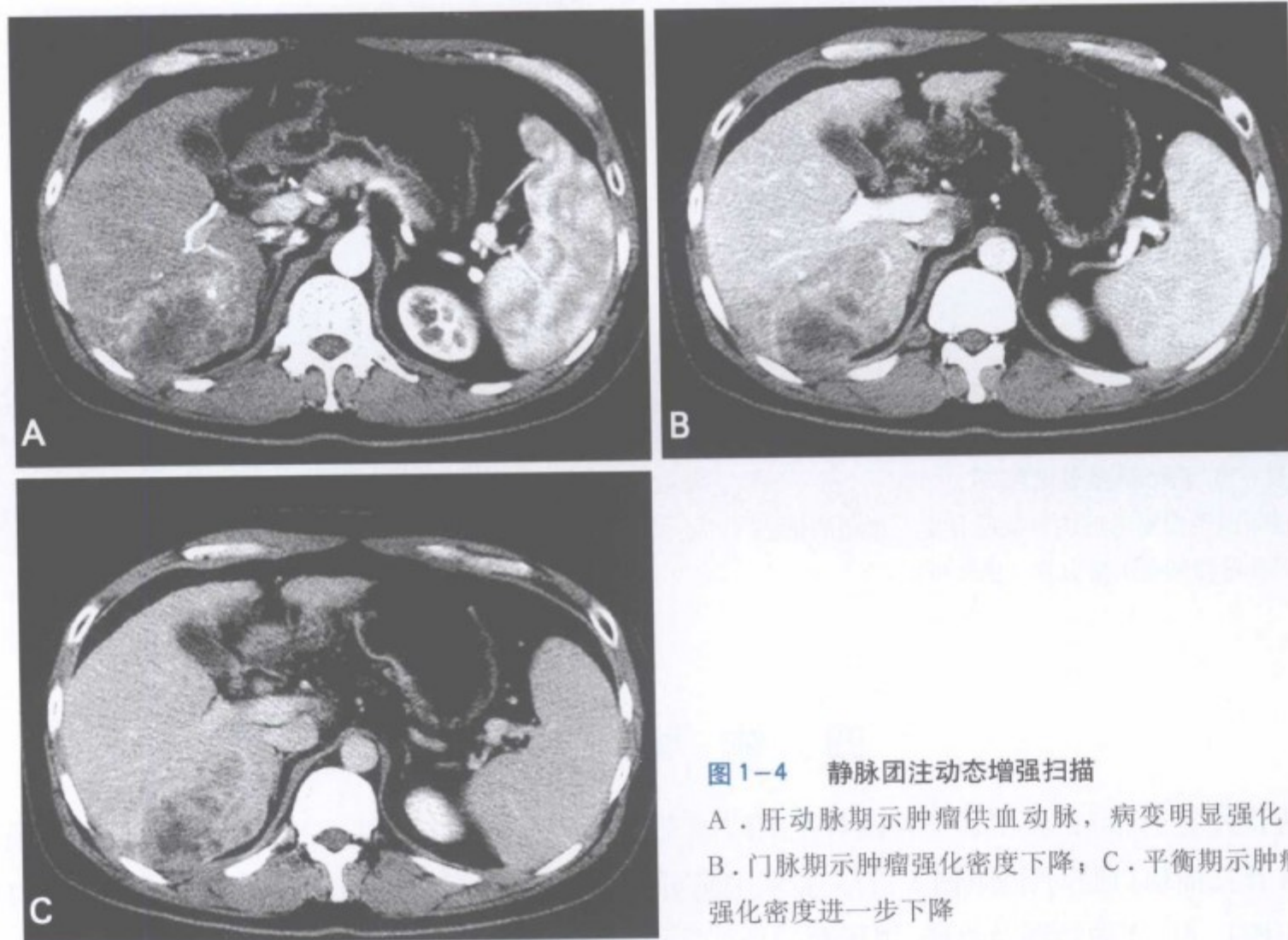


图1-4 静脉团注动态增强扫描

A. 肝动脉期示肿瘤供血动脉, 病变明显强化;  
B. 门脉期示肿瘤强化密度下降; C. 平衡期示肿瘤  
强化密度进一步下降

## 二、静脉滴注

早期CT扫描速度慢,为了使得增强扫描范围内血管显示和实质保持强化,就使用静脉滴注。如用60%对比剂100ml或30%对比剂200ml,半量于数分钟内静脉注入(视扫描时间而定),余半量行静脉滴注,同时行CT扫描。此方法现临床上基本上不再使用。

## 三、动脉注射

动脉注射主要用于肝实质检查,特别是使用单层螺旋CT的情况下。肝脏的肝动脉插管造影CT增强扫描是将导管置于肝动脉,注射对比剂的同时扫描,了解肝实质或病灶的肝动脉供血情况(图1-5)。亦可将导管置于肠系膜上动脉或脾动脉,经门静脉回流后显示肝内情况,反映肝脏门静脉供血分布情况(图1-6)。

多层螺旋CT应用于临床后,扫描速度非常快,可以获得不同时相的动脉期的图像。同时,采用动脉内插管增强CT的方法是有创伤的,目前,这种有创的CT检查方法基本上不再使用。



图 1-5 肝动脉插管增强 CT

横断面图像显示肝内肝动脉分支、增粗的供血肝动脉和肿瘤丰富血管（黑箭头）

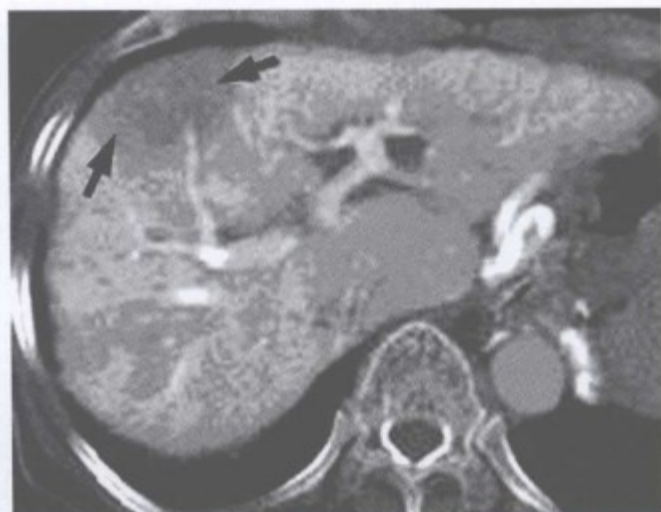


图 1-6 门静脉造影 CT

横断面图像显示肝实质强化，门静脉分支显影，肿瘤区域呈低密度（黑色箭头），无门静脉供血

#### 四、体腔造影

腹部检查时，可口服 1%~3% 碘对比剂溶液充填胃肠道。如果要显示胃及十二指肠，于扫描前 15min 及扫描前口服对比剂(图 1-7)。显示小肠可于检查前 4~6h 开始口服对比剂，每 15min 口服 250ml(图 1-8)。充盈结肠及直肠，用稀释后低浓度碘对比剂或水、空气直接灌肠。如果需要显示胃肠道黏膜情况，采用多层螺旋CT扫描时，建议使用水灌肠或口服水。如果需要进行仿真内镜检查，可以使用空气或二氧化碳。



图 1-7 肠腔水造影 CT

横断面图像显示水充盈的胃腔呈低密度，血管增强显示胃黏膜强化

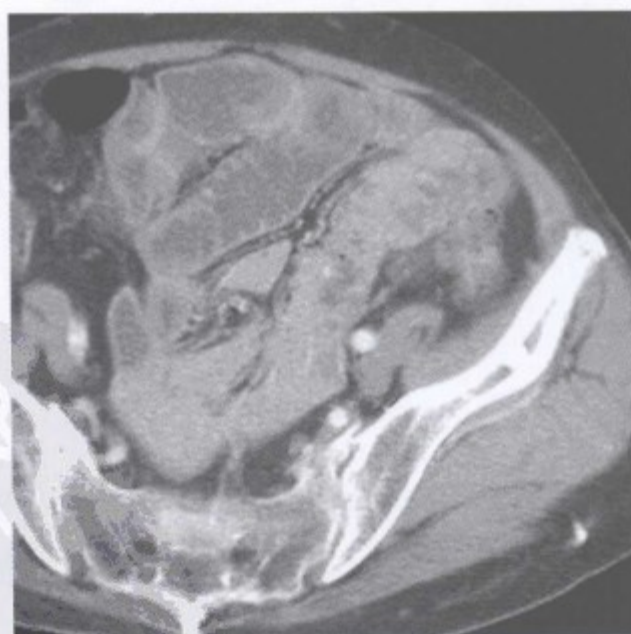


图 1-8 肠腔水造影 CT

横断面图像显示水充盈的肠腔呈低密度，与小肠黏膜对比清晰

(何 晖 梁长虹 张水兴 黄 飏)



## 参 考 文 献

- [1] 《医用药理学》编写组. 医用药理学. 北京: 人民卫生出版社, 1986: 10-15
- [2] 韦丽群. CT对比剂的应用. 中国医学影像技术, 2001, 17(6): 595
- [3] 欧阳容. CT对比剂在扫描中的二项应用. 实用医技杂志, 2002, 9(7): 503-504
- [4] 李 莉. CT检查中血管对比剂的选择和副反应的防治. 实用医技杂志, 2002, 9(12): 916
- [5] 王淑梅. CT检查中血管对比剂的应用. 河北医药, 2005, 27(1): 62-63
- [6] Lalli AF. Contrast media reactions: data analysis and hypothesis. Radiology, 1990, 120: 1
- [7] Ellis JH, Cohan RH, Sonnad SS, et al. Selected use of radiologic low-osmolality contrast media in the 1990 s. Radiology, 1996, 200(2): 297-311



# CT 对比剂化学结构相关知识

目前,临床应用的CT对比剂一般都是水溶性含碘对比剂,这也是所有X线影像检查中最常用的对比剂。

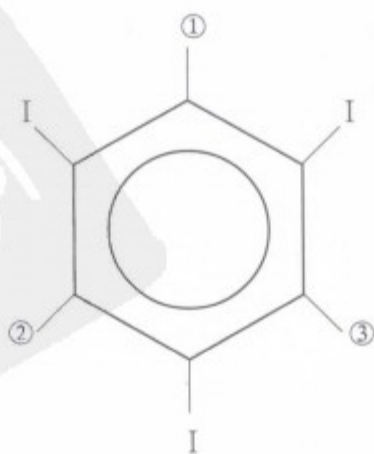
水溶性含碘对比剂的理想要求和基本结构为:①高度遮蔽X射线的性能(足够的含碘量);②无药理活性(低的神经毒性/化学毒性/肾毒性/不良反应发生率);③完全而迅速自体内排泄;④低渗透压;⑤低黏滞度;⑥高度亲水性;⑦高度稳定性。

实际上,正在临床上广泛应用的各种碘对比剂都难以完全满足上述条件,所以,还是有可能出现一些变态反应或不良反应。在提高对比剂的增强对比性能和降低毒性反应等方面,各大对比剂开发商和临床专家学者一直坚持不懈地尝试和探索更新的毒性反应小、显影效果好和使用方法简便的新型对比剂,以满足日益广泛的临床需求。

现代X线对比剂的基本结构是三碘苯环(图2-1),临床应用的对比剂均为三碘苯环的衍生物(ramification)。这是因为碘原子量大,吸收X线性能较强,碘与苯环键合结构非常稳定,苯环结构又同时具备许多有效的侧链结合点,提供了不断改进整个分子结构、提高性能和降低毒性反应的可能性。

图 2-1 三碘苯环基本分子结构

①位为羧基碱金属或葡甲胺盐或酰胺基结构;②与③即3,5位侧链为强亲水基团侧链,影响产品的亲水性和安全性等特性



## 一、化学结构与分类

表2-1 对比剂分类

| 结构类型  | 细 分        | 碘原子数 | 离 子 数 | 比 值 |
|-------|------------|------|-------|-----|
| 离 子 型 | 离子型单体对比剂   | 3    | 2     | 1.5 |
|       | 离子型双聚体对比剂  | 6    | 2     | 3   |
| 非离子型  | 非离子型单体对比剂  | 3    | 1     | 3   |
|       | 非离子型双聚体对比剂 | 6    | 1     | 6   |

根据三碘苯环1位侧链结构的不同,CT对比剂分为以上四大类(表2-1)。三碘苯环1位侧链上为羧基盐结构(-COOR),因其在水溶液中解离为含三碘苯环的阴离子和阳离子(葡甲胺、钠、钙等),故称之为离子型对比剂。三碘苯环1位侧链上若为酰胺衍生物(-CONH-),其在水中溶解后不解离,则称之为非离子型对比剂。对比剂分子结构中含有一个三碘苯环结构,称为单体对比剂。若一个分子结构中含有两个三碘苯环结构,则称为双聚体对比剂。

CT增强扫描时,对比剂的碘浓度(常用单位:mg/ml)与对比剂的增强效果呈正相关。一般而言,碘浓度达100mg/ml以上才可能起到造影作用。根据对比剂的浓度不同,对比剂又可分为四类:碘含量在400mg/ml以上者为特高浓度对比剂;碘含量在350~400mg/ml及280~320mg/ml者分别属高浓度对比剂和中等浓度对比剂;低浓度对比剂碘含量一般在80~240mg/ml。目前,从临床应用效果来看,专家学者们认为高碘浓度的对比剂是多层螺旋CT的最佳匹配,尤其适用于快速静脉注射后的CT动态扫描、灌注扫描和血管成像。

## 二、影响理化参数和效能的结构与配方因素

### (一) 结构对理化参数和效能的影响

一种化学物质或称之为药物所具有的特异性药理活性或毒性一般是指它能与机体的受体结构(受体是指存在于细胞膜或细胞浆内的弹性三维结构,一般含有大分子糖蛋白质或脂蛋白及核酸等)结合继而产生一系列生理生化反应。由于化学物质的亲脂性基团(lipophilia)比亲水性基团更易于与生物分子产生化学反应,因此,要求严格药理惰性的对比剂必须具有高度亲水性。三碘苯环是亲脂性基团,所以苯环上必须链接较多的亲水性基团,来遮蔽三碘苯环,消除所带电荷。非离子型对比剂在分子结构上去除了羧基,在溶液中不产生带电离子,也消除了因所带电荷引起的毒性反应。

对比剂的渗透压值在其耐受性评估方面扮演举足轻重的角色。由于高渗透压可以引发一系列的不良反应及注射局部的疼痛、胀感等,许多不良反应也与其渗透压有关,所以,人们致力于降低对比剂渗透压的研究。因为渗透压与分子溶于水后的粒子数直接相关,降低渗透压也就是尽可能减少溶质中粒子数。采用的办法包括:将对比剂分子变为二聚体、制造非离子型对比剂。经过这样改良,含同样碘量的对比剂的渗透压可大大降低。表2-1中的比值也被称为“效能指数(EI)”,常用来衡量对比剂的渗透压毒性。例如:单体非离子对比剂用一个酰胺基团取代离子型对比剂中附着于苯环上的羧基,使其在水溶液中不发生电离,与相同碘浓度的离子型对比剂相比,粒子数减少了一半。碘浓度为300mg/ml时,非离子单体对比剂的渗透压为600~700mOsm/(kg·H<sub>2</sub>O),明显低于同浓度单体离子型对比剂的渗透压1500~1700mOsm/(kg·H<sub>2</sub>O);非离子双聚体对比剂,在碘浓度为300mg/ml时,渗透压约为300mOsm/(kg·H<sub>2</sub>O),与人血浆及脑脊液的渗透压相类似。

在水溶性(water-solubility)方面,理想的对比剂应该具有较强的亲水性,在注射入人体之后,很快地与血液或其他体液(如脑脊液等)融合,保证对比剂与机体的相容性。离子型对比剂的水溶性主要来自于苯环上的盐类离子基团在水中的解离;非离子对比剂的亲水机制是在苯环上引入多个含羟基的亲水性侧链,其在空间上呈对称分布,包绕在碘原子周围,不但消除了电离带来的离子毒性,而且侧链上足够多的羟基(一般4~5个)还保证了对比剂很强的亲水性。

在黏滞度方面,对比剂溶液的黏滞度与对比剂的分子大小、碘浓度及温度等因素有关。分子越大,浓度越高,温度越低,则黏滞度越高。对比剂黏滞度过高,给血管内注射,尤其是大剂量推注带来困难,并且黏滞度过高,易造成对微小血管的阻塞,引起局部缺血缺氧,损伤血管内皮。气温过低或使用较高黏滞度的产品,在使用前加热至36.2~37℃可使黏滞度大大降低,而且还可以减少对血管的冷刺激,方便临床应用并使患者感觉更加舒适一些。

## (二) 对比剂的处方组成对性能的影响

对比剂一般均为有特定浓度和配方组成的水溶液,除了有效活性成分(三碘苯环衍生物)之外,往往在配制中还要加入各种添加剂,主要包括以下几种。①缓冲液:如氨基丁三醇、枸橼酸盐、磷酸盐,以保持所要求的pH;②螯合剂:如依地酸(EDTA)及其盐类及枸橼酸,用来螯合(sequestration)一些金属离子,如铜、铁、锌、铅等(可能来自原料、注射用水和包装材料),这些离子可加快有机碘原子的脱碘(现代对比剂中不允许含有无机碘)或对人体有害;③电解质:如Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等,有利于提高对比剂的机体耐受性。

添加剂有时也会对产品的使用产生一些影响,因此,临床应用中要注意控制其使用的剂量。

## 三、临床常用的CT对比剂

表2-2 常用对比剂归类

| 结构类型 | 结构      | 品 种                       |
|------|---------|---------------------------|
| 离子型  | 离子型单体   | 泛影葡胺、碘他拉葡胺等               |
|      | 离子型双聚体  | 碘克沙酸                      |
| 非离子型 | 非离子型单体  | 碘帕醇、碘海醇、碘普罗胺、碘比醇、碘佛醇、碘美普尔 |
|      | 非离子型双聚体 | 碘曲仑、碘克沙醇                  |

目前,在临床上常用的离子型对比剂的代表是泛影葡胺。60%泛影葡胺注射液的碘浓度为282mg/ml,渗透压(37℃)为1 500mOsm/(kg·H<sub>2</sub>O),黏滞度(37℃)为5mPa·s。65%泛影葡胺注射液的碘浓度为306mg/ml。

临床目前常用的非离子型对比剂的化学结构如图2-2~2-9所示,物理化学参数见表2-3。

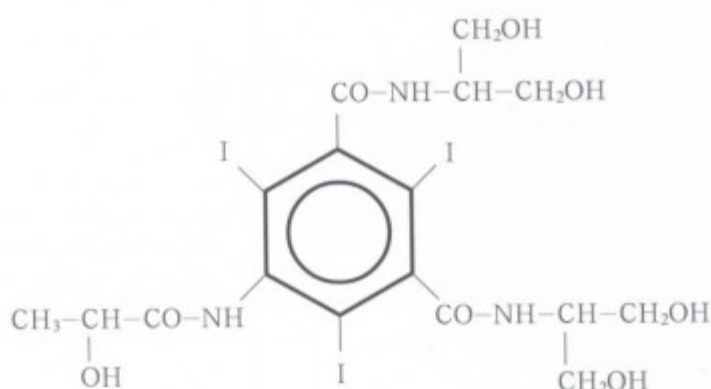


图2-2 碘帕醇 Iopamidol  
(典比乐 Iopamiro, 意大利 Bracco 公司)

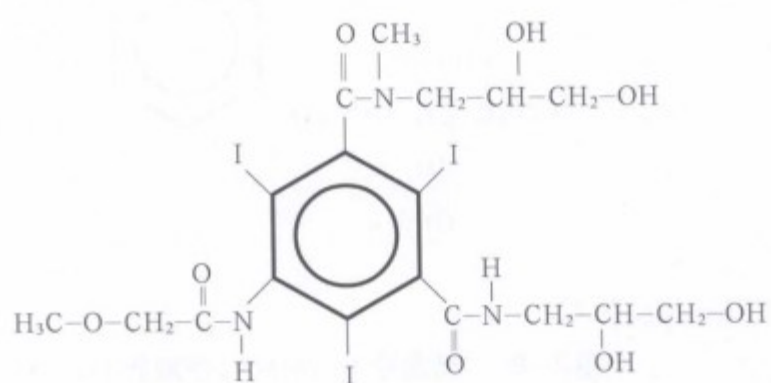


图2-3 碘普罗胺 Iopromide  
(优维显 Ultravist, 德国 Schering 公司)

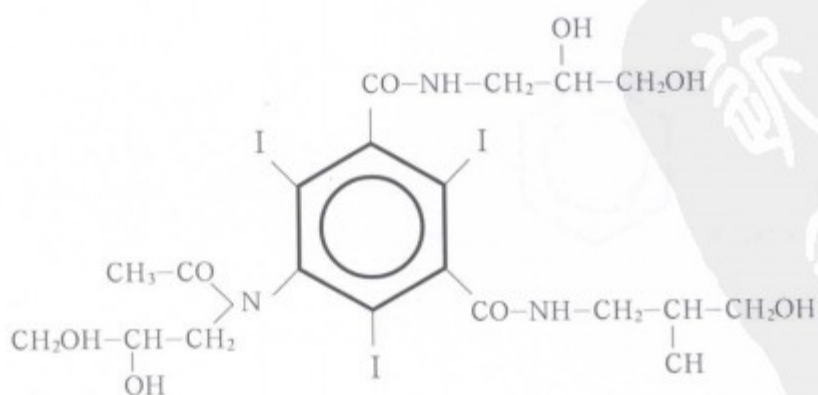


图2-4 碘海醇 Iohexol 结构  
(欧乃派克 Omnipaque, 美国 GE 公司,  
另外北陆、扬子江等国产造影剂也是此分子)

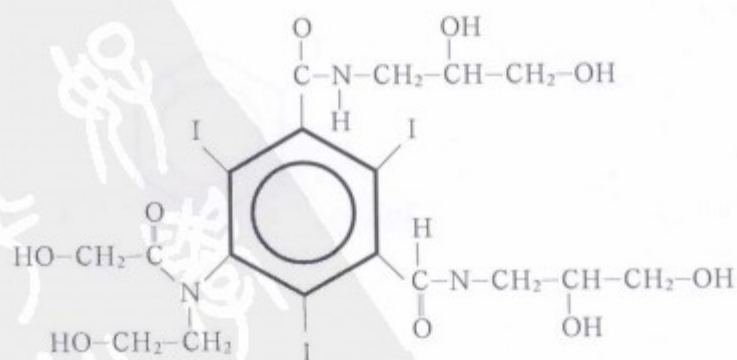


图2-5 碘佛醇 Ioversol  
(安射力 Optiray, Tyco)

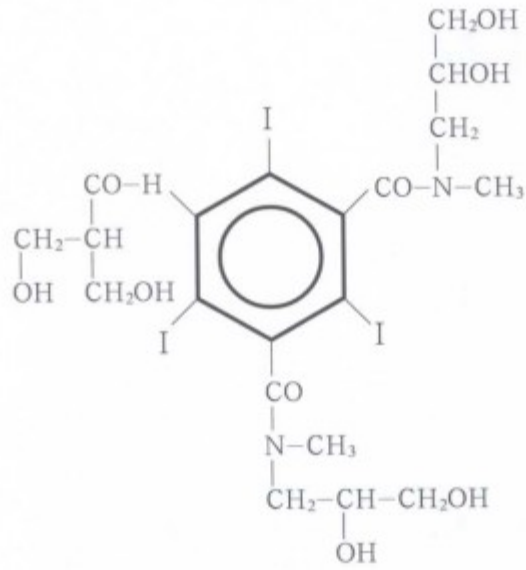


图 2-6 碘比醇 Iopropolol  
(三代显 Iopentol, 法国 Guerbet)

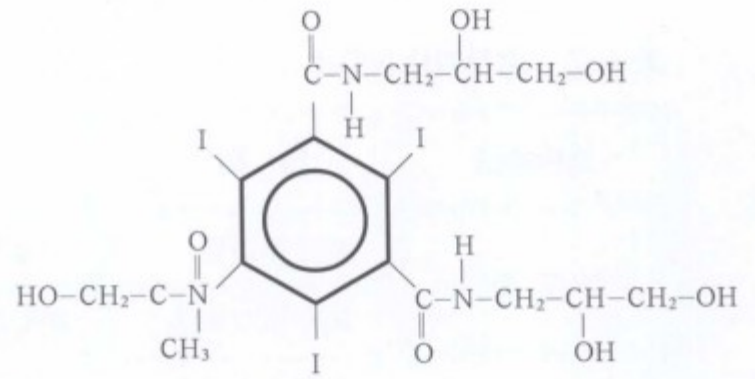


图 2-7 碘美普尔 Iomeprol  
(典迈伦 Iomeron, 意大利 Bracco 公司)

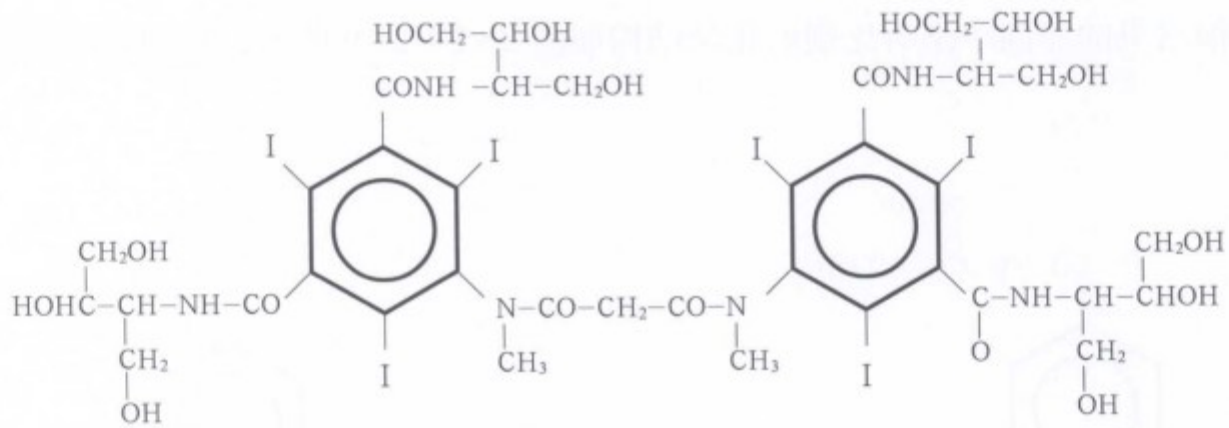


图 2-8 碘曲仑 Iotrolan (伊索显 Isovist, 德国 Schering 公司)

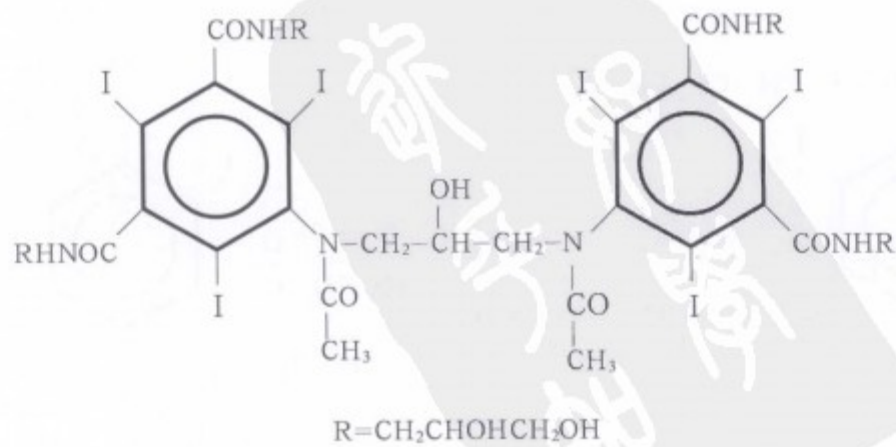


图 2-9 碘克沙醇 Iodixanol (威视派克 Visipaque, 美国 GE 公司)

表2-3 各种对比剂浓度、渗透压及黏滞度

| 名称                    | 碘浓度(mg/ml) | 渗透压 [mOsm/ (kg·H <sub>2</sub> O)] | 37℃ 黏度 (cP) |
|-----------------------|------------|-----------------------------------|-------------|
| 泛影葡胺 (Diatrizoate)    | 370        | 2100                              | 8.4         |
| 碘肽酸 (Iothalamate)     | 400        | 2400                              | 9.0         |
| 甲泛影钠 (Metrizoate)     | 350        | 1970                              | 3.4         |
| 碘克酸 (Ioxaglate)       | 320        | 577                               | 9.5         |
| 碘比醇 (Iobitridol)      | 350        | 915                               | 10.0        |
| 碘海醇, 欧乃派克 (Iohexol)   | 350        | 823                               | 11.2        |
| 碘美普尔 (Iomeprol)       | 350        | 610                               | 8.1         |
| 碘帕醇, 碘必乐 (Iopamidol)  | 370        | 774                               | 9.8         |
| 碘喷托 (Iopentol)        | 350        | 810                               | 12.0        |
| 碘普罗胺, 优维显 (Iopromide) | 350        | 774                               | 9.5         |
| 碘维索, 碘佛醇 (Ioversol)   | 350        | 790                               | 8.5         |
| 碘昔兰 (Ioxian)          | 350        | 700                               | 7.8         |
| 碘狄醇, 碘克沙醇 (Iodixanol) | 320        | 290                               | 11.1        |
| 碘曲仑, 伊索显 (Iotrolan)   | 300        | 290                               | 9.5         |
| 血液 (Blood)            | 290        | 280~310                           | 5.9~8.9     |

(曾 辉 梁长虹 张水兴 黄 飏)

## 参 考 文 献

- [1] 刘玉清. 非离子型和离子型对比剂的合理应用问题. 中华放射学杂志, 1990, 24:126
- [2] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 中华人民共和国药典(二部). 北京: 化学工业出版社, 1995:(附录)36
- [3] Federle MP, Willis LL, Swanson DP. Ionic versus nonionic contrast media: a prospective study of the effect of rapid bolus injection on nausea and anaphylactoid reactions. J Comput Assist Tomogr, 1998, 22:341
- [4] Mikkonen R, Kontkanen T, Kivisaari L. Acute and late adverse reactions to low-osmolal contrast media. Acta Radiol, 1995, 36:72
- [5] McClennan BL. Ionic and nonionic iodinated contrast media: evolution and strategies for use. AJR, 1990, 155:255
- [6] Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al. Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media: a report from the Japanese committee on the safety of contrast media. Radiology, 1990, 175:621
- [7] Almen T. Relations between chemical structure, animal toxicity and clinical adverse effects of contrast media//enge I, Edgren J. Patient safety and adverse events of contrast medium examinations. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V, 1989:25

药动学(pharmacokinetics)系应用动力学原理与数学模式,定量地描述与概括药物通过各种途径(如静脉注射、静脉滴注、口服给药等)进入体内的吸收(absorption)、分布(distribution)、代谢(metabolism)和排泄(elimination),即 A.D.M.E.过程的“量时”化或“血药浓度经时”变化的动态规律的一门科学,也就是研究机体对药物处理,药物在体内转运及代谢变化过程和药物浓度随时间变化规律的科学。现就药动学的基本概念并结合对比剂的相关特点一同进行阐述。

### 第一节 药物在体内的基本过程

#### 一、生物膜对药物的转运

药物在体内的基本过程包括吸收(血管内给药除外)、分布、生物转化和排泄四个过程。这些过程都涉及细胞膜、细胞内器膜等生物膜对药物的转运(transport)。从基本结构上讲,生物膜(biomembrane)由镶嵌有蛋白质的双层流动态类脂质分子构成,其间有直径约0.6nm的小孔。根据生物膜对药物的转运是否耗能,转运方式分为主动转运(active transfer)和被动转运(passive transfer)两类。

1. 主动转运 生物膜可通过其间镶嵌的某些特异性载体蛋白,消耗能量转运某些药物。主动转运的最大特点是可逆浓度差进行,并在经同一载体转运的药物间存在竞争性抑制(competitive inhibition)。在药物转运上,主动转运仅限于极少数本身为内源性活性物质或与内源性物质有极相近结构的药物。

2. 被动转运 包括所有不消耗能量、仅能顺浓度差进行的跨膜转运。被动转运包括扩散、滤过和易化扩散3种。由于不耗能,被动转运均不能逆浓度差进行。除易化扩散外,亦不存在竞争性



抑制。

## 二、吸 收

吸收是指药物从给药部位进入体循环的过程。血管内给药不存在吸收过程。CT用碘对比剂以静脉注射为主,不存在吸收过程。血管外注射给药时,药物主要通过毛细血管内皮细胞间隙以滤过方式迅速进入血液,其吸收速度主要受注射部位血管丰富程度和药物分子大小的影响。口服药物的吸收大多通过胃、肠道黏膜以被动扩散方式进行。虽然弱酸性药物在酸性胃液中解离少,可有部分被吸收,但由于吸收面积、血液供应及停留时间等的巨大差异,所以,包括弱酸性药物在内,口服药物的主要吸收部位在小肠。影响口服药物吸收的因素众多,主要为药物本身的脂溶性、分子大小等理化性质、药物制剂的崩解速度及溶解度、胃排空速度、肠蠕动等胃肠道功能状态以及胃肠血流动力学状况等。

某些药物口服后吸收过程中,在通过胃肠道黏膜及第一次随肝门静脉血流经肝脏时,可有部分被胃肠黏膜,更主要是被肝细胞中酶代谢失活,从而使进入体循环的量减少,这一现象称“首关消除”(first pass elimination)或“第一关长效应”。经过“首关消除”的药物,由于不同个体对同一药物代谢能力存在较大差异,可对口服药物吸收度(生物利用度)产生明显影响。水溶性含碘对比剂最常用的给药途径为血管内注射,其他给药途径包括口服、蛛网膜下隙、关节腔内、其他体腔内或瘘管、窦道给药等。含碘对比剂都属于细胞外小分子物质,除口服后胃肠道基本不吸收之外,其他多种给药途径都能良好吸收。

## 三、分 布

分布是药物随血液循环输送至各器官、组织,并通过转运进入细胞间液、细胞及细胞器内的过程。必须指出,药物在体内的分布可达到动态平衡,但往往并不是均匀(浓度相等)的。只有分布到靶器官、组织或细胞的药物,才能产生药理效应。以被动转运方式分布的药物,其靶位浓度与血药浓度往往是成比例的。各种碘对比剂在体内的吸收、分布与排泄无显著性差异,进入血管后无或极少与血浆蛋白结合。由于含碘对比剂分子量小,可迅速通过毛细血管壁分布到全身组织的细胞间液(细胞外液),其浓度与血浆内浓度相等,基本无对比剂进入细胞内。对比剂的注射流率和对比剂浓度可影响注射后血管内对比剂浓度,但对对比剂在人体组织内的分布和排泄速度没有影响。

## 四、生物转化

机体对药物进行的化学转化和代谢过程称生物转化(biotransformation)。不能简单地将生物转化视为药理活性的灭活。事实上,有些药物必须经生物转化才生成具药理活性的代谢物。如可待因需在肝脏脱甲基代谢为吗啡后才能发挥镇咳止痛作用。生物转化总的结果是使药物极性升高,有利于排泄。药物的生物转化主要在肝细胞微粒体混合功能氧化酶(肝药酶)的催化下进行,主要反应类型、酶系的组成及催化过程都与肝细胞对内源性物质的生物转化相同。含碘对比剂不参与机体代谢,一般不

与大分子物质相互作用。不过,离子型对比剂可在体内进行电离分解,而非离子型对比剂即使在体内也还是保持原分子形式。

## 五、排 泄

排泄是药物及其代谢物排出体外的过程。药物的生物转化和排泄统称为消除。药物主要经肾脏随尿排出,也有经过肝脏、通过胆汁经胆道排泄。游离的原型药物和代谢物均可通过肾小球毛细血管壁小孔隙滤入原尿中,也有少数弱酸、弱碱药可在近曲小管上皮细胞以主动转运方式分泌入原尿中。原尿中的原型药物仍可以被动扩散等方式被肾小管重吸收,此时尿液pH通过对药物解离度的影响,明显改变原尿中药物重吸收的量。这也是弱酸或弱碱性药物中毒时,可通过碱化或酸化尿液促进药物排泄的原因。代谢物因极性高,一般不会被重吸收。随原尿逐渐被浓缩,其中的药物及代谢物浓度均上升,最终可远远超出血中的浓度,这种浓集现象一方面是一些药物产生肾毒性(nephrotoxicity)的原因,另一方面,对用于治疗泌尿道疾患的药物,则有利于其发挥治疗作用。对比剂在肾脏的排泄与肾小球滤过率相关,碘对比剂可以顺利穿越肾小球滤过膜,主要以原形从肾小球滤过排出,没有肾小管分泌或重吸收。对比剂在体内的运转和消除速率是与其血药浓度成正比的,即单位时间内以恒定比例转运或消除对比剂,符合一级动力学的特征,也被称为恒比例转运或消除。

在单位时间内对比剂的消除量与血药浓度成正比,即  $dC/dt = -kc$ 。其中  $k$  值是一级动力学消除常数。这样,对比剂静脉团注后其血药浓度  $C(t)$  随时间变化的计算公式可以表示如下:

$$C(t) = D(Ae^{-tk_{12}} + Be^{-tk_{21}}) \quad (3-1)$$

式中:  $D$  为剂量;  $A$  和  $B$  为常数;  $k_{12}$  和  $k_{21}$  分别是分布相和消除相速率常数。

血浆半衰期( $t_{1/2}$ )为对比剂血药浓度下降一半所需要的时间。血浆半衰期可以从消除速率常数推算出来,如式(3-2)所示。

$$t_{1/2} = \ln 2 / k_{21} = 0.693 / k_{21} \quad (3-2)$$

如果肾功能正常,给药 60min 后,对比剂经尿路排泄 35%~40%,8h 时排泄率为 80%~90%。

(张水兴 曾 辉 曾庆思 梁长虹)

## 第二节 药效学模型

药效学(pharmacodynamics)模型是为了定量研究药物体内过程的速度规律而建立的模拟数学模型,对比剂适用于房室模型。

## 一、房室模型

房室(compartment)是由具有相近的药物转运速率的器官、组织组合而成的。同一房室内各部分的药物处于动态平衡。房室仅是按药物转运动力学特征划分的抽象模型,并不代表解剖或生理上的固定结构或成分。同一房室可由不同的器官、组织组成,而同一器官的不同结构或组织,可能分属不同的房室。此外,不同的药物,其房室模型及组成均可不同。房室模型(compartmental model)可将机体视作由一或多个房室组成的系统,从而将复杂的分布过程模型化。

若某药在体内各部位间均有较高及相近的转运速率,可在体内迅速达到分布平衡,则该药属单房室模型。属于单房室模型的药物,在体内分布平衡后,其血药浓度将只受吸收和消除的影响。若某药在体内不同部位间转运速率存在较大差异,则将血液及其他血液供应丰富、并具有较高转运速率的部分称做中央室,而把其余部分划归周边室,并可依次再分为第一周边室、第二周边室等,此即多室模型。根据划分的房室数,相应称为二室模型、三室模型等。属于多室模型的药物,其首先在中央室范围内达到分布平衡,然后再和周边室间达到分布平衡。因此,其血药浓度除受吸收和消除的影响外,在室间未达分布平衡前还受分布的影响。

二室模型指药物由包括血液在内的中央室向周边室分布达到平衡的过程,影响血药浓度的因素比较复杂。对比剂常规下采用单剂静脉注射,下面做简单介绍。

## 二、药-时关系

静脉注射时,药物不存在吸收过程,中央室中的药量或血药浓度受中央室与周边室间双向分布以及药物自中央室消除的影响。

1. 常用药动学参数  $x_c$  代表中央室药量;  $x_p$  代表周边室药量;  $V_c$  代表中央室分布容积;  $V_p$  代表周边室分布容积;  $k_{10}$  代表自中央室消除的速率常数;  $k_{12}$  代表中央室向周边室转运速率常数;  $k_{21}$  代表周边室向中央室转运速率常数

中央室药量变化的速率微分方程为:

$$dk_c/dt = k_{21} \cdot x_p - k_{12} \cdot x_c - k_{10} \cdot x_c \quad (3-3)$$

对式(3-3)积分并引入中央室分布容积  $V_c$ , 可得中央室(血)药物浓度随时间变化的基本表达式:

$$C = A \cdot e^{-\alpha t} + B \cdot e^{-\beta t} \quad (3-4)$$

式中:  $\alpha$  —— 分布速率常数;  $\beta$  —— 消除速率常数; A、B —— 经验常数; 四者都是由模式参数  $k_{10}$ 、 $k_{12}$ 、 $k_{21}$  组成的混杂参数(hybrid parameters);  $\alpha \cdot \beta = k_{21} \cdot k_{10}$ ;  $\alpha + \beta = k_{10} + k_{12} + k_{21}$

2. 药动学参数计算 二室模型静脉注射药动学参数的求算类似于单室模型血管外用药,仍采用残数法。即因为  $\alpha > \beta$ 。当  $t$  充分大时,  $A \cdot e^{-\alpha t} \rightarrow 0$ , 则式(3-4)变为:

$$C = B \cdot e^{-\beta t} \quad (3-5)$$

此即消除相药-时关系表达式。按前述方法可求得 B、 $\beta$  和消除半衰期  $t_{1/2\beta}$ 。将式(3-4)移项可得:

$$C - B \cdot e^{-\beta t} = A \cdot e^{-\alpha t} \quad (3-6)$$

$$\text{令 } C_r = C - B \cdot e^{-\beta t}$$

$C_r$ 即为消除相以前某时点实测血药浓度减去消除相该点外推浓度的残数。代入上式可得分布相药-时关系表达式:

$$C_r = A \cdot e^{-\alpha t} \quad (3-7)$$

同样可求得  $A$ 、 $\alpha$  和分布半衰期  $t_{1/2\alpha}$ 。

再根据下列公式,可求得各有关药动学参数。

(1) 中央室表观分布容积:

$$V_c = x_c / (A + B) \quad (3-8)$$

(2) 周边室向中央室的转运速率常数:

$$k_{21} = A \beta + B \alpha / (A + B) \quad (3-9)$$

(3) 自中央室消除的速率常数:

$$k_{10} = \alpha \cdot \beta / k_{21} \quad (3-10)$$

(4) 中央室向周边室转运的速率常数:

$$k_{12} = (\alpha + \beta) - (k_{10} + k_{21}) \quad (3-11)$$

(5) 曲线下面积:

$$AUC_{0 \rightarrow \infty} = A / \alpha + B / \beta \text{ (积分外推法)} \quad (3-12)$$

(6) 周边室表观分布容积:

$$V_p = C_c \cdot k_{12} / k_{21} \quad (3-13)$$

(7) 总表观分布容积表示体内药量按消除相血药浓度分布的容积,可按式(3-14)计算稳态表观分布容积。

$$V_{ss} = V_c + V_p \quad (3-14)$$

(8) 消除率:

$$CL = k_{10} \cdot V_c = \beta \cdot V \quad (3-15)$$

### 三、对比剂二室模型

碘对比剂的药动学可以采用二室开放模型(图3-1)描述。即将全血和血流充盈的组织(如肾、心等)设为分布容积较小的中央室,血管外的细胞间液设为周边室,对比剂在中央室与周边室之间的自由弥散是可逆的,对比剂从中央室消除,通过肾脏由尿液排出体外。

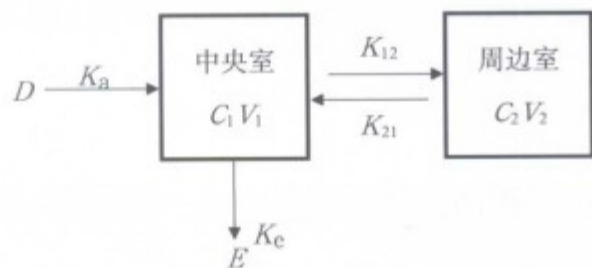


图3-1 二室模型

$D$ 代表对比剂剂量; $E$ 代表对比剂消除量; $C_1$ 和 $C_2$ 分别代表是中央室和周边室的对比剂浓度; $V_1$ 和 $V_2$ 分别代表中央室和周边室的表观分布容积; $C_1 V_1$ 代表中央室对比剂量; $C_2 V_2$ 代表周边室对比剂量; $K_a$ 代表吸收速率常数; $K_e$ 代表消除速率常数; $K_{12}$ 代表对比剂从中央室弥散至周边室的一级速率常数; $K_{21}$ 代表对比剂从周边室弥散至中央室的一级速率常数

以对比剂快速团注为例,其血药浓度-时间曲线存在两个时相(phase),即分布相与清除相。

1. 分布相( $\alpha$ 相) 快速静脉注射后,血药浓度迅速下降,对比剂立即随血流进入中央室,然后再大量分布到周边室,同时,还有部分对比剂经肾脏排泄而消除。此时相主要与分布有关,因此称为对比剂的分布相或 $\alpha$ 相。

2. 消除相( $\beta$ 相) 分布逐渐达到动态平衡后,对比剂血药浓度的下降主要是由于药物从中央室的排泄消除,周边室对比剂浓度与中央室保持动态平衡, $k_{12}=k_{21}$ ,此时相主要与消除有关,故被称为消除相或 $\beta$ 相。

(张水兴 曾辉 刘波 梁长虹)

### 第三节 碘对比剂药动学例证

通常,碘对比剂的药动学特征大同小异,无显著性差异。现以碘浓度高达400mg/ml的非离子型对比剂碘美普尔(碘迈伦,BRACCO)为例做一简单介绍。

如同其他对比剂,碘美普尔是具有生理惰性的对比剂。其药动学特征包括:只分布在血管和细胞间液,不进入细胞内;不与血浆蛋白结合,不发生生物学活性;快速而完全地从肾脏排泄。

静脉快速团注后,碘美普尔表现为剂量相关性,在几秒内迅速达峰血药浓度(图3-2),随后,由于对比剂向周边室快速弥散和肾脏排泄,血药浓度迅速下降,其分布半衰期  $t_{1/2\alpha}$  为  $(0.37 \pm 0.24)$  h,  $t_{1/2\beta}$  为  $(1.83 \pm 0.33)$  h,中央室表观分布容积为  $(160 \pm 30)$  ml/kg,周边室表观分布容积为  $(280 \pm 50)$  ml/kg。碘美普尔在体内不发生代谢,原药通过肾小球过滤排泄。50%的注射剂量在注射后2h后排出体外,87%的剂量在注射后12h排泄,约90%的注射剂量在注射后24h通过肾脏排泄,血浆清除率为  $(1.67 \pm 0.16)$  ml/(min·kg)(图3-3)。



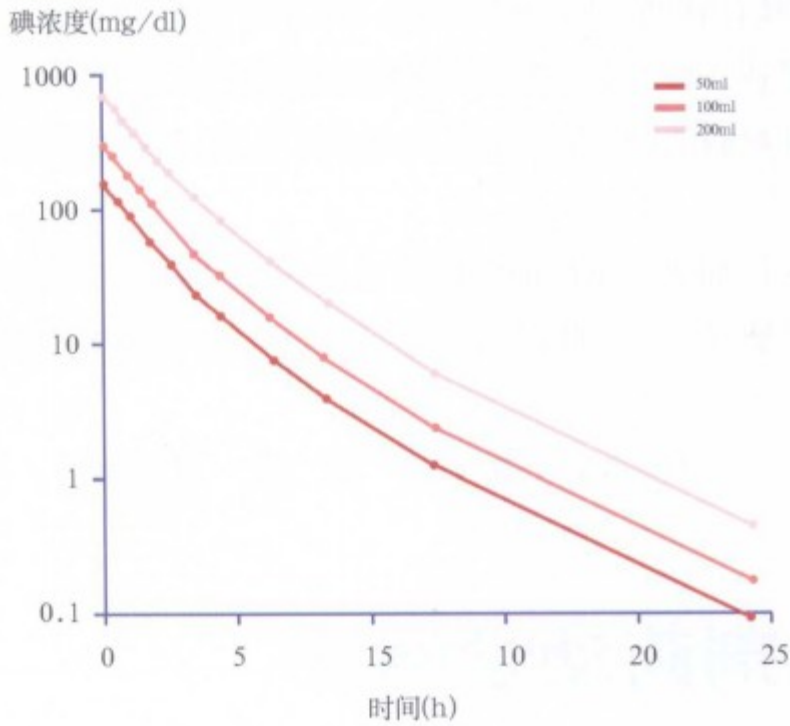


图 3-2 分别注射 50ml、100ml 和 200ml 碘美普尔碘浓度为 (400mg/ml) 后的血浆平均碘浓度 - 时间曲线

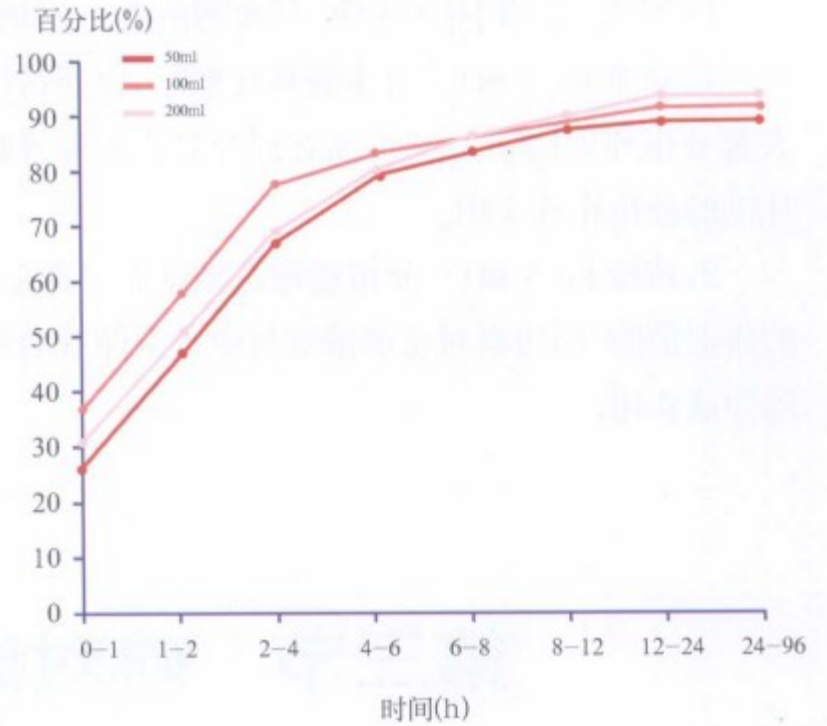


图 3-3 分别注射 50ml、100ml 和 200ml 碘美普尔 (碘浓度为 400mg/ml) 后的消除百分比 (消除量占注射剂量的百分比) - 时间曲线。

(梁长虹 张水兴 刘波 赵振军)

### 参 考 文 献

- [1] Ichikawa T, Erturk SM, Araki T. Multiphasic contrast-enhanced multidetector-row CT of liver: contrast-enhancement theory and practical scan protocol with a combination of fixed injection duration and patients' body-weight-tailored dose of contrast material. *Eur J Radiol*, 2006, 58(2):165-176
- [2] Alimenti A, Spahr L, Loubeyre P. Multidetector multiphase contrast-enhanced liver CT: prospective study comparing two contrast material injection rates on vascular and liver parenchyma enhancement in patients with varied cirrhotic status. *J Comput Assist Tomogr*, 2006, 30(3):368-371
- [3] Schima W, Hammerstingl R, Catalano C, et al. Quadruple-phase MDCT of the liver in patients with suspected hepatocellular carcinoma: effect of contrast material flow rate. *AJR Am J Roentgenol*, 2006, 186(6):1571-1579
- [4] Kanematsu M, Goshima S, Kondo H. Optimizing scan delays of fixed duration contrast injection in contrast-enhanced biphasic multidetector-row CT for the liver and the detection of hypervascular hepatocellular carcinoma. *J Comput Assist Tomogr*, 2005, 29(2):195-201
- [5] Itoh S, Ikeda M, Achiwa M. Late-arterial and portal-venous phase imaging of the liver with a multislice CT scanner in patients without circulatory disturbances: automatic bolus tracking or empirical scan delay? *Eur Radiol*, 2004, 14(9):1665-1673

- [6] Ichikawa T, Kitamura T, Nakajima T, et al. Hypervascular hepatocellular carcinoma; can double arterial phase imaging with multidetector CT improve tumor depiction in the cirrhotic liver? *Am J Roentgenol*, 2002, 179:751-758
- [7] Van Hoe LV, Marchal G, Baert AL, et al. Determination of scan delay time in spiral CT-angiography: utility of a test bolus injection. *J Comput Assist Tomogr*, 1995, 19:216-220
- [8] Kopka L, Rodenwaldt J, Fischer U, et al. Dual-phase helical CT of the liver; effects of bolus tracking and different volumes of contrast material. *Radiology*, 1996, 196:321-326
- [9] Mehnert F, Pereira PL, Trubenbach J, et al. Biphasic spiral CT of the liver; automatic bolus tracking or time delay? *Eur Radiol*, 2001, 11:427-431
- [10] Kim T, Murakami T, Hori M, et al. Small hypervascular hepatocellular carcinoma revealed by double arterial phase CT performed with single breath-hold scanning and automatic bolus tracking. *Am J Roentgenol*, 2002, 178:899-904
- [11] Oliver JH, Baron RL. Helical biphasic contrast-enhanced CT of the liver; technique, indications, interpretation, and pitfalls. *Radiology*, 1996, 201:1-14
- [12] Schoellnast H, Tillich M, Deutschmann HA, et al. Improvement of parenchymal and vascular enhancement using saline flush and power injection for multi-detector-row abdominal CT. *Eur Radiol*, 2003, 14:659-664
- [13] Itoh S, Ikeda M, Achiwa M, et al. Multiphase contrast-enhanced CT of the liver with a multislice CT scanner; effects of rate of contrast material injection and 5% dextrose flush on aortic, portal venous, and hepatic enhancement in patients with chronic hepatic damage. *Eur Radiol*, 2003, 13:1085-1904
- [14] Heiken JP, Brink JA, McClennan BL, et al. Dynamic incremental CT; effect of volume and concentration of contrast material and patient weight on hepatic enhancement. *Radiology*, 1995, 195:353-357
- [15] Baron RL. Understanding and optimizing use of contrast material for CT of the liver. *Am J Roentgenol*, 1994, 163:323-331
- [16] Awai K, Hori S. Effect of contrast injection protocol with dose tailored to patient weight and fixed injection duration on aortic and hepatic enhancement at multidetector-row helical CT. *Eur Radiol*, 2003, 13:2155-2160



## 高浓度碘对比剂与 CTA

### 第一节 高浓度碘对比剂应用理论

高浓度碘对比剂并没有一个明确的定义,只是一个相对的概念。一般而言,碘浓度为 350~400mg/ml 的对比剂都被认为是高浓度对比剂;浓度为 300~350mg/ml 的碘对比剂被称为标准浓度对比剂(standard concentration media);浓度低于 300mg/ml 的对比剂被称为低浓度对比剂(low concentration media)。

多层螺旋 CT(multidetector row computed tomography, MDCT)增强扫描时,增强效果主要取决于所用碘对比剂的量(volume)、对比剂浓度(concentration)、注射流率(rate)以及注射方式(type)等。腹部脏器,尤其肝脏血供较复杂,影响增强效果的因素多,理解了腹部脏器的高浓度对比剂 MDCT 增强原理,其他部位脏器及大血管的增强也就迎刃而解。下面以肝脏增强为例讲述高浓度对比剂应用的理论依据与原则。

#### 一、在肝脏的应用

##### (一) 肝脏多期扫描的生理基础及内在要求

肝脏 75% 的血液供应来自于门静脉,余下 25% 的血液由肝动脉供应。肝脏肿瘤的血液供应则主要来自于肝动脉,很少或者没有血液供应来自门静脉。肝动脉期强化主要在静脉团注对比剂后 20~30s。此时血供丰富的肿瘤得到明显强化,表现为高密度肿块,而肝实质只有轻度强化(由于肝实质 3/4 的血供来自于门静脉,是不含对比剂的);门静脉期在以 2~3ml/s 速率注射对比剂后 60~90s,含有对比剂的血液流经肠系膜静脉、脾静脉汇入门静脉,这也是门静脉期比肝动脉期时间延迟的原因,此时肝实质达到最大程度强化。缺乏血供的肿瘤在肝动脉期很少能够显示,在门静脉期仍然表现为低密度肿



块,与肝实质形成明显的密度对比。理解这个过程对于合理地设计肝脏对比增强方案,提高肝脏肿瘤与正常肝实质间的密度对比是非常重要的。

## (二)肝脏强化的影响因素及相互关系

肝脏的强化程度是由多种因素决定的,其中最重要的包括对比剂体积、对比剂浓度、注射流率以及注射方式,另外血液循环状态及体重也是影响因素。对比剂体积、浓度、注射流率与肝脏最大强化水平直接相关。Heiken研究表明,注射的对比剂所含总碘量决定了肝脏最大强化程度(总碘量=对比剂容量×浓度)。在较低的强化程度时(如30~40Hu),对比剂的容量对强化程度的影响更大。在较高的强化程度时(如50~60Hu),对比剂浓度因素更为重要。试验表明,容量一定时,碘浓度 $\geq 300\text{mg/ml}$ 的对比剂肝脏强化程度明显高于 $240\text{mg/ml}$ 浓度的对比剂;碘含量一定时,血管内对比剂的浓度决定了肝脏到达最大强化程度的时间,即对比剂浓度越高,肝动脉达到最大强化越早。这说明碘含量决定强化幅度,碘浓度决定最大强化水平出现时间。肝脏双期扫描就是要扩大动脉期与门脉期的时间间隔,从而在动脉期最大程度显示肝脏肿瘤的动脉血管,减少门静脉血流影响,高浓度对比剂能够使肝脏最大强化时间提前,满足肝脏分时相扫描的目的,此为优点之一。

对比剂进入体内后,顺着浓度梯度由血管内扩散到血管外,部分对比剂经肾脏清除,此谓对比剂的再分布。在肝脏,对比剂的重新分布发生很快,对比剂注射刚刚结束时,肝实质已经明显强化,此时肝脏的强化是对比剂在血管内、外及肝组织间隙快速交换的结果。到了平衡期,对比剂进入肿瘤内组织间隙,肿瘤组织摄取对比剂,肝实质强化不再增加,肿瘤与正常肝的密度对比减低。

Joern的研究表明,肝动脉强化主要取决于对比剂注射流率和注射时间,门静脉期强化更多地取决于总碘量。在恒定注射流率时,高浓度的对比剂在肝动脉期所得图像较低浓度对比剂更具优势,这是由于碘的注射率(碘注射率=注射体积×浓度/注射时间)提高所致,同样,低浓度的对比剂通过提高注射流率(注射流率=注射体积/注射时间)也能得到同样的效果。但是,受到血管承受能力的限制,目前临床应用的注射流率为2~5ml/s。有研究表明,注射流率超过5ml/s时,由于右心及肺脏存在生理反射,阻碍更多的对比剂进入循环,所以注射速度达到一定程度时,只能依靠提高对比剂浓度来达到提高动脉期增强效果的目的。同样,Joern发现,高浓度对比剂对于胰腺动脉期强化也更具有优势。当注射对比剂碘含量一定时,以不同的注射流率注射高浓度对比剂在肝脏、胰腺、脾脏门静脉期及平衡期的强化程度没有太大的差异。

图4-1说明在一定的注射流率时,提高对比剂碘浓度,可以提高碘注射流率。

## (三)对比剂浓度对黏度的影响

对比剂黏度取决于碘原子数,即碘浓度。因为高浓度对比剂的黏度增高,所以要保证高流率的注射就需要选择较大的静脉通路;另外,受对比剂黏度的限制,注射流率不能超过8ml/s。临床实践中,在室温 $25^{\circ}\text{C}$ 和人体温 $37^{\circ}\text{C}$ 时,高浓度对比剂所引起的黏度增高在人体能够承受的注射流率及针孔大小情况下影响不大,而且如果在注射前将对比剂进行 $37^{\circ}\text{C}$ 预热,其黏度也会进一步降低。

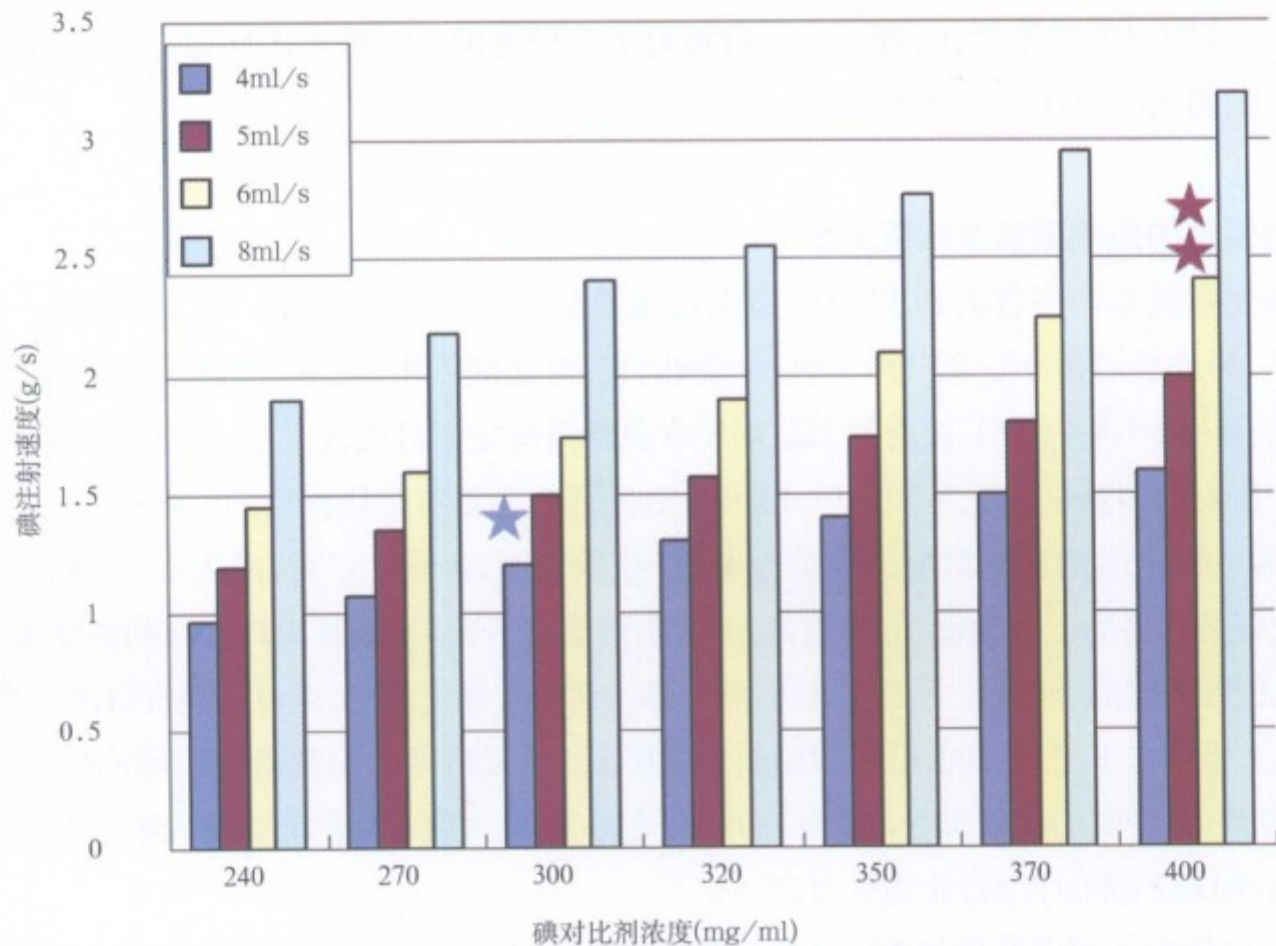


图 4-1 对比剂浓度、注射速率与碘注射率的关系  
随着对比剂碘浓度和注射速度增加，碘注射流率增加

#### (四) 体重和心排血量对主动脉及肝脏强化程度的影响

如图 4-2 所示，Heiken 和 Kormano 研究发现，随着心排血量的下降，主动脉强化峰值延迟，强化幅度提高；对肝脏的影响则是强化峰值时间延迟，但强化幅度不受影响。其原因为在于心排血量越大，单位时间内心脏射出的对比剂就更多地被稀释，动脉内对比剂浓度下降，强化程度也就下降；心排血量降低时，对比剂稀释程度低，强化程度则高。心排血量低则血流慢，达到最大强化水平的自然延迟。肝脏最大强化幅度取决于肝内聚积的总碘量，所以肝脏最大强化程度不变。体重与主动脉强化程度和肝脏强化程度呈负相关，体重越大，强化程度越低；原因在于体重大，单位体重内分布的对比剂量降低及患者血容量相对较大，对比剂在体内更多地被稀释，再循环后主动脉内及肝内对比剂积聚浓度降低，最大强化程度也就随之降低。

#### (五) 高浓度对比剂在肝脏增强扫描的客观需求

MDCT 在肝脏增强扫描中显示了优势，时间分辨率的提高使我们能够在更多的时相获得大范围的增强图像，甚至可以采集纯的肝动脉增强图像，重组出肝动脉血管树(肝脏 CTA)。采用多动脉期扫描，明显提高了血供丰富肿瘤的检出率。足够的肝脏强化同减少对比剂用量是一对矛盾体，因为肝脏强化程度主要决定于总碘剂量。门静脉期扫描要在肝平衡期到来之前完成，这样才能够最大程度的在门静脉期发现肝占位性病变。影响平衡期到来时间的主要因素是注射间期，注射时间长，则平衡期到来延

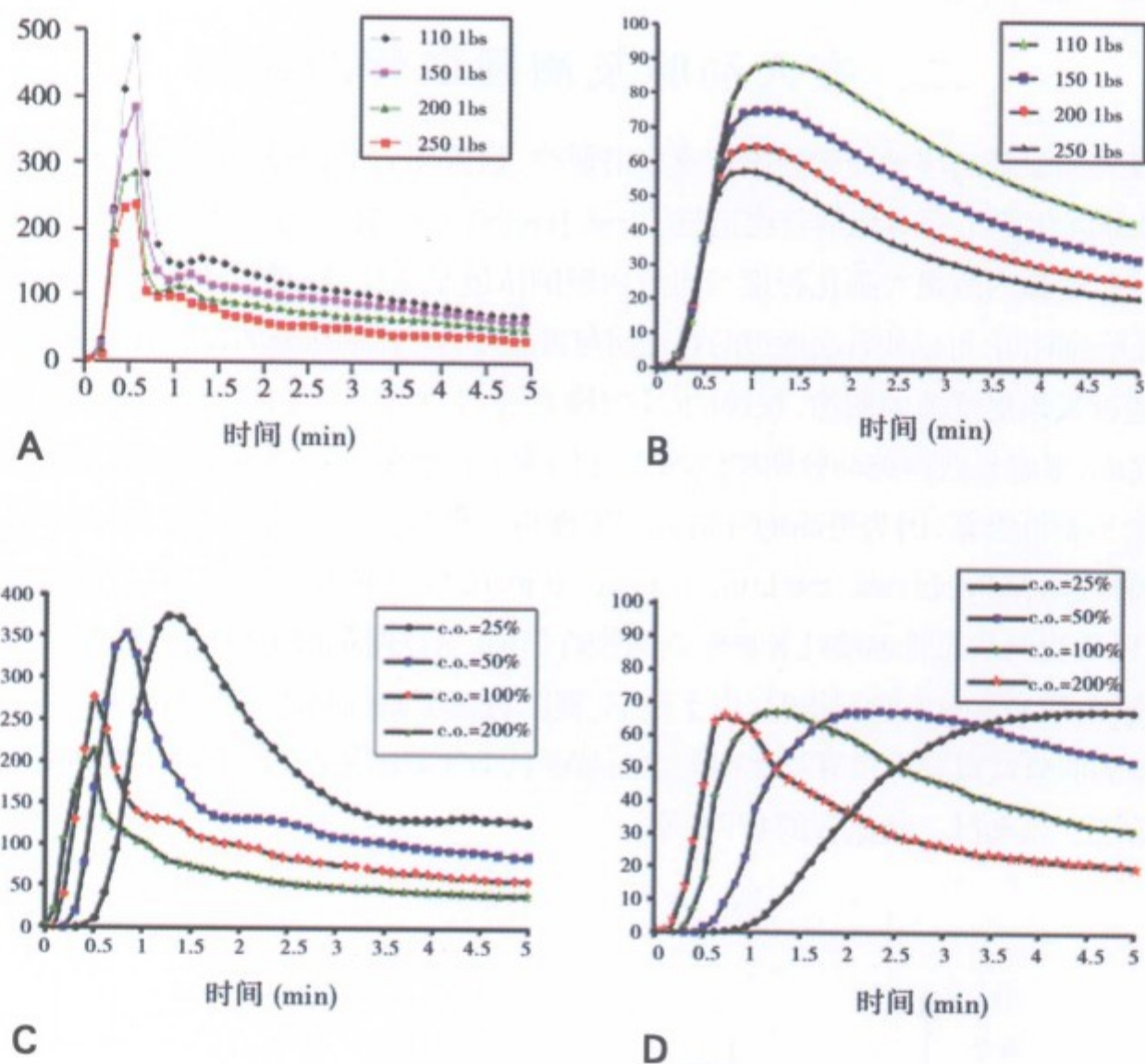


图4-2 体重和心排量对主动脉及肝脏强化的影响

A. 体重对主动脉强化的影响, 随体重增加, 最大强化程度降低; B. 体重对肝脏强化的影响, 随体重增加, 最大强化程度降低; C. 心排量对主动脉强化的影响, 随着心排量降低, 强化程度增加, 最大强化出现时间延迟; D. 心排量对肝脏强化的影响, 随着心排量降低, 强化程度不变, 最大强化出现时间延迟

缓,故有人应用不同时相以不同流率注射对比剂的方法,以期获得最佳增强效果。例如:一定容量的对比剂,开始给予高流率的注射(4~5ml/s)能够获得满意的动脉期强化,而后以较低流率注射,延长注射时间。在给定注射时间内,所注射的总碘剂量越高,强化程度越高。调整总碘量的最有效的方法首先是改变对比剂浓度,其次是提高注射流率。临床上一般应用的对比剂碘浓度为300~370mg/ml。Musante报道,400mg/ml的高浓度的碘美普尔较300mg/ml浓度可明显提高主动脉和肝脏强化程度;另外,在注射碘对比剂后继续团注生理盐水冲刷,强化效果改善更明显。随着多层螺旋CT可采集层数提高,8层、16层、64层,甚至256层,扫描整个脏器所用时间越来越短,进而要求注射对比剂的时间随之缩短。要获得满意对比增强效果就要求保证足够的碘量,解决的办法是提高注射流率或提高对比剂浓度。由于注射流率受到组织耐受极限的制约,因此,提高碘对比剂浓度是有必要的,而且是可行的方法。

## 二、在大动脉及周围血管的应用

大动脉及外周血管增强效应的影响因素较肝脏少,血流动力学相对简单,与肝动脉期增强效应相似。外周动脉的强化除了受对比剂首次通过(First pass)效应影响外,还受到再循环(Recirculation)的影响。前文已述,动脉内的最大强化程度与血管内碘的浓度呈正比。在碘对比剂注射后一段时间内,适当延迟扫描开始的时间,可以使首次通过的对比剂与再循环的对比剂相叠加,使动脉内碘浓度达到最高,获得较首次通过采集更优质的图像。快速的CT扫描系统,大大缩短了扫描时间,较大范围的扫描在数秒之内即可完成,很容易获得纯动脉期增强的而没有静脉干扰的图像。然而,碘对比剂注射时间等于扫描时间的理念不能再维系,因为更高的注射流率不能再获得。这样,必然要求较长时间的注射时间,例如15s,对比剂转运时间(contrast medium transit time,tCMT)也随之增加,不过,适当延长注射时间也有好处,可以使我们从血管远端迎着血流方向进行扫描,可以避免由于扫描速度过快,超过对比剂血管内转运速度(尤其大范围血管扫描时,由于狭窄、梗阻将减缓血流的速度),对比剂在血管内混合不均形成充盈缺损的假象或血管内没有对比剂充盈而被误认为闭塞的情况。以上对比增强原理可以应用于主动脉及其分支、颈动脉、脑血管的CTA等。

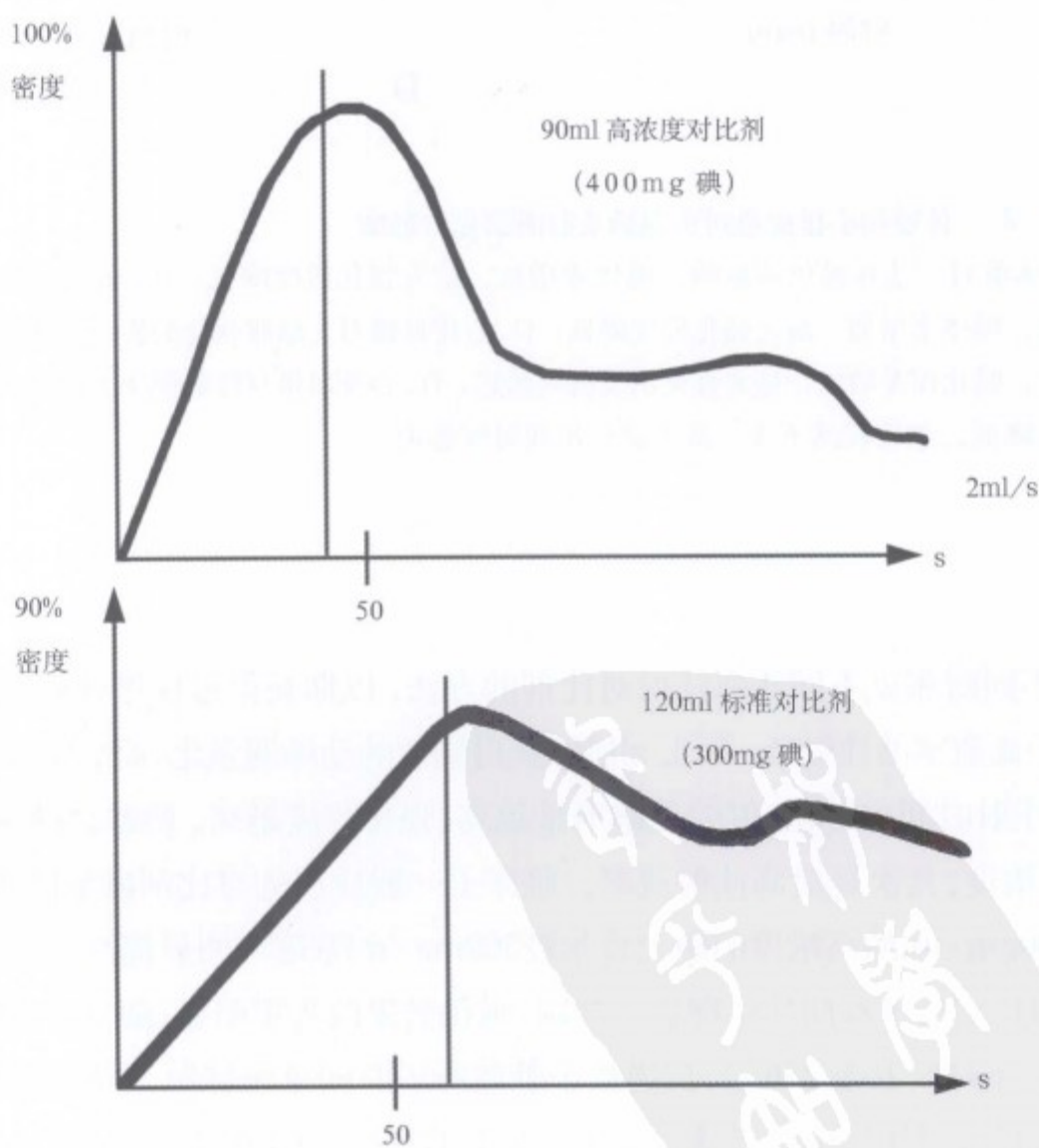


图 4-3 不同浓度对比剂颈动脉强化曲线

随着对比剂的碘浓度增加,峰值到达时间缩短、峰值增加

图4-3显示颈动脉强化曲线。当相同注射流率,注射总碘量相等,而对比剂浓度不同时,高浓度对比剂强化幅度高,峰值提前。

综上所述,高浓度对比剂在体部成像的应用是复杂的,它受到不同器官、不同扫描时相的影响。例如,肝脏的增强,要考虑肝脏成像的多时相性,肝动脉期增强的目的是获得最大程度的肝动脉血管内增强(CTA)和发现富含血管的肿瘤,通过使用高浓度对比剂和高的对比剂注射流率可达到此目的,此时是对比剂首次通过肝脏成像;肝实质期强化是为了在平衡期到达之前获得最大程度的肝实质强化,扩大缺乏血供的肿瘤与肝实质的密度差,到达肝脏的总碘剂量决定了最大强化幅度,此时包括对比剂首次通过成像,还包括对比剂再循环的参与。在主动脉及分支血管成像时,要求获得最大程度的动脉内对比剂浓度,则要更多地考虑对比剂的再循环效应,需要适当延迟扫描开始时间。

碘对比剂注射技术是CTA的重要课题,随着快速扫描技术的进步,它的作用越来越关键,理解对比剂注射原理对于优化对比剂注射方案,更好地发展MDCT在血管成像的应用有着重要意义。高浓度对比剂可以实现高的碘注射流率,通过预注射试验或自动跟踪技术获得对比剂血管内转运时间(tCMT),加以适当地扫描延迟,配合对比剂注射后生理盐水冲刷技术,可以获得完美的血管成像。

### 三、主要副作用探讨

高浓度碘对比剂具有一般碘对比剂的毒性反应。有研究表明,患者对等渗性的碘曲仑(Iotrolan)注射时发热反应及疼痛反应的耐受性较低渗性单体对比剂好。低渗性单体对比剂与等渗性二聚体对比剂在心脏及血管效应方面并没有差别。由于高浓度对比剂的渗透压、黏度较高,可能对心血管及微循环系统产生不利影响,但与常规浓度对比剂相比,这些方面是否真的存在差异还有待研究。在微循环方面,等渗性二聚体对比剂更加黏稠,且是等渗的,不能从组织间隙吸取水分,可能导致循环缓慢,延长组织缺氧时间。基于以上解释,组织缺血症状应该更明显,但事实恰好相反,等渗性二聚体对比剂股动脉造影时,股骨疼痛发生率却更低,其原因需要进一步探讨。

在肾毒性方面,多组研究均没有发现低渗性单体对比剂与等渗性二聚体对比剂存在显著差别。

血管最大增强程度与总碘含量相关,CTA使用高浓度对比剂可以减少对比剂用量,并不增加人体碘负荷总量,但首次通过肾脏的碘浓度是增加的,这对肾脏是否有影响,尚未见相关报道。

高浓度碘对比剂的不良反应参见有关章节。

(曾辉 张水兴 赵振军)

## 第二节 CTA扫描技术及其临床应用概况

### 一、扫描技术

#### (一) MDCT 技术优势

由于探测器数目增多,MDCT的扫描速度成倍增加,由此显示出巨大优势,主要表现在以下几个方面。①时间分辨率提高,运动伪影(如肠蠕动、呼吸、心跳)明显减少,患者屏气时间明显缩短,提高了扫描成功率。适合于儿童、严重创伤及急性重症患者。②Z轴上的空间分辨率提高,薄层扫描降低了部分容积效应。目前64层CT实现了近乎各向同性,可以进行任意角度的多平面重组,三维重组等。③扫描覆盖解剖范围增大,有利于CTA的应用。例如,主动脉及外周血管大范围成像,从主动脉弓到颅内血管的颈动脉成像等。

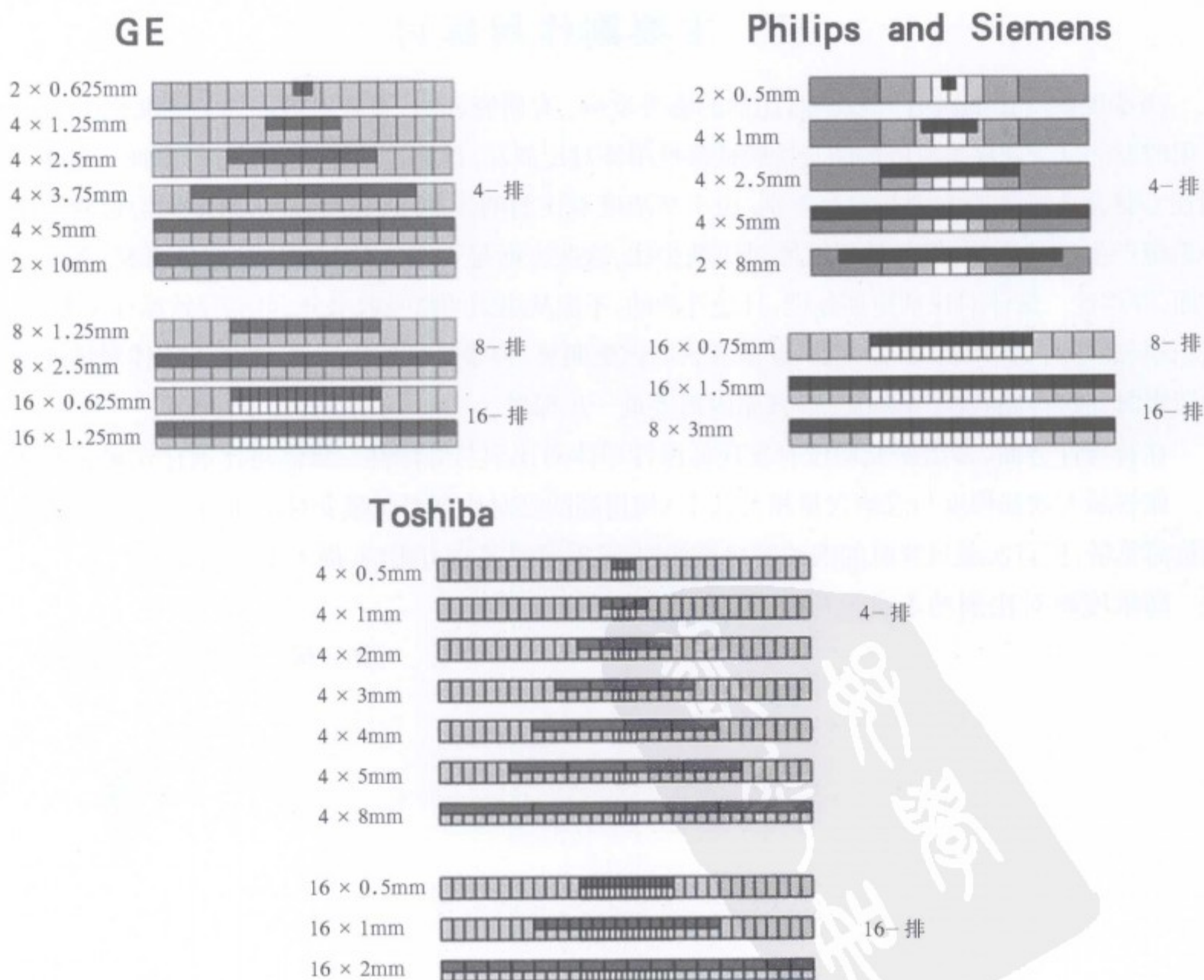


图 4-4 MDCT (4~16 层) 探测器示意图

以GE公司多层螺旋CT为例,4层螺旋CT时,最薄扫描厚度是0.625mm,同时用两排探测器,一个螺旋的最大扫描范围是 $2 \times 0.625\text{mm}$ ;同时应用4排探测器,最小层厚是1.25mm,最大扫描范围是 $4 \times 1.25\text{mm}$ 。发展到16层螺旋CT时,最小层厚0.625mm,16层探测器可以同时扫描,一个螺旋的最大扫描范围是 $16 \times 0.625\text{mm}$ 。如果采用1.25mm层厚,一个螺旋扫描范围可以高达 $16 \times 1.25\text{mm}$ 。64层螺旋CT则可以同时采集的范围是 $64 \times 0.625\text{mm}$ ,即一个螺旋覆盖范围可高达40mm。

### (二) CTA 扫描技术特点

不同部位、不同脏器的CTA扫描技术存在差别,层厚和扫描时相的选择根据扫描要求也有不同。例如,肝脏动态增强更多地强调扫描的时相;外周血管则要求大的扫描范围;心脏冠状动脉CTA则要求更高的密度对比与心率(律)控制。总的来说,CTA通常采用高浓度的非离子碘对比剂,注射量为100~160ml,采用经肘静脉或手背静脉高压团注法,注射流率为3~5ml/s,注射类型分为单时相注射及多时相注射。

确定扫描开始时间的方法有三种,一是使用团注到达时间测定技术,注射10~15ml对比剂,测定血管内循环密度曲线,确定扫描开始时间;二是使用机器配备的半自动跟踪技术,先设定目标血管的对比剂浓度的阈值(CT值),达到此阈值时,机器自动启动扫描程序;三是根据操作者的经验设定扫描开始的时间。

### (三) 图像后处理技术

强大的图像后处理功能使我们能够获得更多的图像信息,有利于诊断。目前应用最为广泛的主要包括:最大密度投影(maximum intensity projection, MIP),多平面重组(multi-planar reformation, MPR),曲面重组(curved planar reformation, CPR),表面遮盖显示(shaded surface display, SSD),容积再现(volume rendering, VR)。各种图像后处理技术的具体原理及应用优势见相关章节。

## 二、临床应用概况

### (一) 大动脉及外周血管CTA

大动脉及外周血管CTA得以实现,主要依赖于MDCT的三项技术进步,即更快的扫描速度,足以追踪对比剂在血管内的流程;更大的扫描范围,使连续的血管成像得以实现;更好的层厚选择,可以根据不同的血管选择不同的扫描层厚。例如肾动脉、主动脉和外周血管的层厚选择不同。

MDCT可以清晰地观察到血管的狭窄、闭塞、管壁钙化及斑块的数目、形态及范围等;确诊各种原因引起的主动脉瘤和主动脉夹层,确定病变范围;对支架或置换血管的情况及术后病情进行随访;诊断上肢及下肢动脉粥样硬化性或外伤所致的动脉疾病及肢体深静脉血栓等。肺动脉CTA凭借其高敏感性及高特异性的特点,已逐渐取代了传统的核素显像诊断方法,有望成为肺栓塞诊断的金标准。MDCT对肺静脉形态显示非常清楚,有助于射频消融治疗定位和追踪。肾动脉CTA应用于肾移植前肾血管解剖定位,肾动脉狭窄性高血压查因等,某些情况下甚至可以取代DSA。

## (二) 冠状动脉 CTA

高旋转速度、心电门控技术及多段重组算法使冠状动脉 MDCT 成像成为可能。目前这项技术主要应用于冠状动脉狭窄、闭塞,管壁斑块的显示和分析,支架、搭桥术后评价支架或搭桥血管情况,先天性变异或畸形的评价。

冠状动脉造影前进行冠状动脉 CTA 检查可以了解可能出现的血管变异,提高冠状动脉造影或介入手术成功率。目前已开发出的心脏应用软件还可用于心功能分析,如计算射血分数、舒张末容积、收缩末容积、心室壁增厚率等。此外,对于先天性心脏病和心肌病等心脏疾患,还可以利用多期、多层面重组等方法对心肌壁结构进行观察和显示。在引起血流动力学改变的主要冠状动脉大分支狭窄的判断上,敏感性达到 75%~90%,特异性达到 90%~95%,阳性预测值为 0.7~0.9,阴性预测值为 0.8~0.9。

冠状动脉 CTA 较常规冠状动脉造影的另一个优势就是能够判断引起狭窄的斑块性质,有可能区分纤维钙化斑块和脂质斑块,后者对于急性心肌梗死的发生更为重要。

## (三) 腹部 CTA

腹腔脏器众多,肝脏、肾脏分别具有不同的动脉供血和静脉引流的特点,对增强技术的要求也不同。在肝脏,主要应用于占位性病变的诊断与鉴别诊断,肝移植术受体及供体肝脏情况的术前评价,如血管受压移位情况、肿瘤与周围重要脏器的位置关系。在胰腺,可以判断急性胰腺炎的程度,血管受累情况;可以判断胰腺癌周围血管的侵犯及腹腔淋巴结的转移情况,同时可以检查肝脏有无转移。在脾脏、肾脏,可以应用于外伤后脏器破裂的诊断和分型,寻找出血部位;也可进行脾梗死诊断与梗死范围的估计。

腹部 CTA 在胃肠道也有重要的应用价值。例如,急性肠系膜血管栓塞的诊断与定位,同时还可判断肠壁有无坏死;CTA 诊断肠道出血也有应用价值;胃血管变异非常常见,在胃癌手术前进行胃周血管 CTA 重组,可以了解血管解剖,缩短手术操作时间。当然,胃周血管 CTA 检查要做好肠道准备,空腹、低张、口服产气粉扩张胃腔时可以获得完美的图像,同时对肿瘤的 T 分期进行预测也会有帮助。

## (四) 头颈部 CTA

头颈部解剖结构复杂,组织器官密集。头颈部高浓度对比剂 MDCT 扫描可以提高颈部肿瘤与正常组织的密度对比,使二者分界更加清晰,有助于显示肿瘤的供血血管。颈部淋巴结与血管断面进行区分,对于判断肿瘤性病变是否出现颈部淋巴结转移也是一个重要课题。动脉系统的成像主要用于各类脑血管病(如狭窄、闭塞及畸形等)及颈部血管病变(如动脉粥样硬化性疾病、大动脉炎、动静脉畸形等)的诊断,也可用于评价颅内肿瘤的血供情况及肿瘤压迫和侵犯血管的情况。

脑部灌注成像可用于脑梗死的超早期诊断,并有望用于脑肿瘤性疾病的定性诊断及疗效的评估。

(曾辉 黄飏 刘波 崔燕海)



## 参 考 文 献

- [1] 金征宇. 多层螺旋CT的临床应用. 中国医学科学院学报, 2006, 28(1): 3-4
- [2] 李明利, 金征宇, 等. 多层螺旋CT血管成像技术临床应用进展. 国外医学临床放射学分册, 2003, 26(4): 255-258
- [3] F. Stacul. Current iodinated contrast media. Eur Radiol, 2001, 11: 690-697
- [4] Herman, Sean MD. Tomography Contrast Enhancement Principles and the Use of High-Concentration Contrast Media. J Comput Assist Tomogr, 2004, 28(1): 7-11
- [5] James A Brink. Use of high concentration contrast media (HCCM): principles and rationale-body CT. Eur J Radiol, 2003, 45: 53-58
- [6] Joern J. A prospective study comparing different iodine concentrations for triphasic multidetector row CT of the upper abdomen. Eur J Radiol, 2006, 29: 1-5
- [7] Fleischmann. Use of high concentration contrast media: principles and rationale vascular district. Eur J Radiol, 2003, 45: S88-93
- [8] SK Morcos. Adverse reactions to iodinated contrast media. Eur Radiol. 2001, 11(7): 1267-1275
- [9] Mathias Prokop. General principles of MDCT. Eur J Radiol, 2003, 45: 4-10
- [10] Andreas F Kopp. Angio-CT: heart and coronary arteries. Eur J Radiol, 2003, 45: 32-36
- [11] Geoffrey D Rubin. MDCT imaging of the aorta and peripheral vessels. Eur J Radiol, 2003, 45: 42-49
- [12] Sabine Fenchel. Multislice helical CT of the pancreas and spleen. Eur J Radiol, 2003, 45: 59-72
- [13] AY Kim, HJ Kim. Gastric cancer by multidetector row CT: preoperative staging. Abdom Imaging, 2005, (30): 465-472
- [14] H Imhof. Head and neck imaging with MDCT. Eur J Radiol, 2003, 45: 23-31
- [15] Matthias König. Brain perfusion CT in acute stroke: current status. Eur J Radiol, 2003, 45: 11-22



## 碘对比剂不良反应

由于CT设备的硬件和软件不断改进,检查范围及适应证的不断扩大,以及人们生活水平提高后对健康需求的增加,CT检查逐渐成为一种常规检查。临床CT检查过程中,使用对比剂可提高病变的显示率、反映病变的血流灌注情况及血脑屏障的完整性等,因此,对比剂的应用在CT检查中相当普遍。CT检查中常用水溶性碘对比剂,有关含碘对比剂引起的不良反应,特别是对比剂肾病,已经引起临床医生及放射学医生的关注和重视。如何预防对比剂肾病和危及生命的反应,更是个值得重视和必须妥善处理的迫切问题。

### 一、不良反应的发生机制

含碘对比剂引起不良反应的机制十分复杂,主要可分为机体的特异质反应和药物所致的物理-化学反应两大类。

特异质反应与个体的特异性有关,其反应是非剂量相关性的,即使仅注射1~2ml或更少剂量对比剂就可发生反应。这些不良反应包括严重的低血压、支气管痉挛、荨麻疹、喉部水肿和突然死亡等。其发病机制目前尚未完全清楚。多数学者认为与以下因素有关。①细胞释放介质(如组胺、血清素等);②抗原-抗体反应;③急性激活系统(补体、凝集素、激肽等);④精神因素,患者因焦虑和恐惧心理,可能引起血管迷走神经反应。

物理-化学反应明确与剂量相关。不良反应的发生主要由药物本身的内在因素,即对比剂的高渗透性、电荷和黏滞性等决定,同时也与其给药方式、剂量、部位等有一定的关系。①对比剂的高渗性。由于渗透性失水,红细胞在肺微血管内皱缩和集聚,从而可致肺动脉压力增加和肺血流量减少,血管内皮细胞发生类似改变,可致局部疼痛和灼热感,并可导致血栓形成和血脑屏障受损,对比剂通过受损的血脑屏障后,因其神经毒性和所带电荷可引起抽搐和惊厥。静脉或动脉注射,特别是冠状动脉注射后,可引起一系列心脏功能改变,包括心肌受抑制和心房或心室颤动。高渗和药物本身毒

性可致肾脏受损,包括暂时性蛋白尿和肾图改变,肾血流量减少,甚至肾衰竭。②对比剂所致的低钙血症。对比剂所含稳定剂,如枸橼酸钠或依地酸二钠,可与血流中钙离子聚合,另外由于对比剂的高离子强度,对比剂分子也可以和钙离子结合,以及对比剂使血液稀释等原因均可造成低钙血症,后者可引起或加重心脏功能紊乱。③对比剂分子的化学毒性。对比剂分子的化学毒性是一个十分复杂的问题,它至少包括下列因素:对比剂分子的亲水性和亲脂性、对比剂所含离子的性质、对比剂中有关原子层的分布情况,对比剂致血细胞释放组胺作用的大小、对补体和凝血系统影响的多少、与蛋白质结合力如何、改变血液电解质状况等。例如,就电荷而言,离子型对比剂的电荷可增加体液的传导性,从而扰乱电离环境,破坏电解质平衡,影响生物学过程,对神经组织尤为明显。另外,对比剂与蛋白的结合亦与电荷有关。携带电荷的离子型对比剂分子比非离子型对比剂能更大程度地与载体结合,而与蛋白质高度结合的对比剂特异质反应的发生率就较高。就亲水性而言,非离子型对比剂具有较高的亲水性,这意味着这些对比剂注入到血液中时与水吸附在一起,人体会将它们作为“友好”的分子对待。而离子型高渗对比剂实际上是疏水性的,其在溶液中形成盐类,因此其安全性就不及非离子型对比剂。

总之,对比剂的不良反应,不是单一原因所致,而是免疫系统、循环-呼吸系统和神经系统等紊乱综合作用的结果。

## 二、不良反应的表现

对比剂的不良反应发生后,在各个系统可表现出不同形式。

### 【心血管系统】

静脉输入大剂量的泛影葡胺进行尿路造影时,心电图可有明显缺血、传导阻滞、二联律、三联律的改变。心血管造影推注时,中毒的危险性增大,可有血压改变、心律失常及心脏停搏。

血管造影可伴局部血管的并发症,如:对比剂注入血管壁内引起动脉管壁剥离、动脉血栓形成、静脉炎、静脉血栓形成,可导致栓塞等。任何血管损害,对该血管所供应的器官或肢体都可致严重后果。

### 【呼吸系统】

可出现喉头水肿、支气管痉挛甚至出现肺水肿。

### 【神经系统】

头痛、恶心、头晕是对比剂本身产生的较常见的不良反应。抽搐多见于有癫痫发作史者,而且多见于使用离子型对比剂的患者,可能是由于对比剂透过受损坏的血脑屏障或经蛛网膜下隙与神经元接触的结果。

### 【泌尿系统】

对比剂肾病及肾衰竭是静脉注射大剂量对比剂后常见的亚临床不良反应,尤其见于脱水和少尿者。少尿者的尿中含有Taminhorshall蛋白,这种蛋白可因泛影酸盐而沉淀,产生黏稠的凝胶。脱水和糖尿病(特别是二者同时存在)是肾衰竭的重要诱因,使用碘对比剂后容易产生对比剂肾病(contrast-induced nephropathy, CIN)。

### 【造血系统】

离子型与非离子型对比剂对血液系统的作用是不同的。

早在 20 世纪 60 年代,Stein 等人就注意到泛影酸钠有抗凝作用。有研究者观察到,在体外离子型对比剂与血液混合后能延长凝血时间。Kopka 等实验观察表明离子型对比剂能抑制凝血酶的生成。最近又发现离子型对比剂能抑制纤维蛋白的形成及阻止纤维蛋白单体的聚合,从而阻止凝血块形成,它还可抑制血小板凝集作用。高渗的离子对比剂在血管内滞留时间较长时,可以损伤血管内皮细胞,从而触发凝血反应,导致血栓的形成。

也有作者观察到,非离子型对比剂在导管内和注射器内与血液混合形成凝血块,并可导致血栓栓塞并发症。Gasperetfi 等用双盲法观察了经皮冠状动脉造影术(PTCA)中离子型和非离子型对比剂引起血栓形成的比例,其中离子型组为 4%,非离子型组为 18%,二者差异显著。非离子型对比剂还可发生心肌梗死的并发症。非离子型对比剂在体内有促凝作用,因此,在应用非离子型对比剂做心血管造影,特别是冠状动脉、脑动脉造影时,必须注意预防血栓栓塞的并发症。

### 【消化系统】

高渗离子对比剂可造成恶心、呕吐、腹泻、液体丢失、腹痛,甚至肠梗阻。对肝脏产生毒性作用,可出现黄疸、肝区疼痛、肝功能异常等,肝活检显示中心小叶坏死。

### 【电解质】

离子型对比剂可使血中钙、镁的浓度减低导致手足抽搐。

总体来说,对比剂所致的不良反应表现可分为轻、中、重三度。轻度不良反应的主要临床表现有面潮红、头痛、恶心、轻度呕吐和轻度荨麻疹等;中度表现为反复呕吐,较重的荨麻疹,面部水肿,轻度喉头水肿、支气管痉挛,轻度和暂时性血压下降;重度反应表现为休克、惊厥、昏迷、支气管痉挛、喉头水肿。

## 三、不良反应发生的时间

对比剂的不良反应根据发生时间分为两种,即速发反应和延迟反应。

速发反应一般发生于注射后 30min 内,多数反应发生在注射后 5~10min。70%速发反应表现为瘙痒和轻度荨麻疹,大部分致命的重度反应也为速发型。

延迟反应多指发生在检查后 30min~2d 的不良反应。一般以女性多见,多为轻中度反应,症状多为头痛、头晕、恶心、呕吐以及皮疹,皮肤瘙痒等,一般多在 6h 内出现。迟发反应的判断标准:①检查前无任何不适症状;②检查后 30min~2d 出现症状;③排除药物和食物等其他因素。

## 四、不良反应的处理

使用对比剂过程中,对于不良反应的发生,应以预防为主。不良反应发生后,应进行相关的调查研究,明确是否对某种特定的对比剂过敏或明确引起反应的原因。

注射对比剂前采取必要的预防措施,注射对比剂时严密观察患者,一旦出现不良反应,必须

迅速采取主动积极的措施,进行有条不紊的抢救和处理。

CT室应常规准备相应的抢救药品和设备,这对急救治疗非常重要。对不良反应的处理可分为一般处理及对症处理。在治疗前,首先要保持冷静,做出是否是对比剂所致的不良反应的诊断,排除低血糖等。迟缓变态反应患者的急救与处理同常见变态反应的处理原则一致。

1. 一般处理 首先必须做好以下工作:立即中止注射对比剂;记录生命体征(血压、心跳、脉搏、呼吸);检查静脉输液通路,保持通畅;吸氧;记录发生反应的时间、所用产品的情况;通知相关急救科室,协助处理。

2. 对症处理 根据各个系统的具体情况使用相应的药物,做出相关处理。轻度的荨麻疹可不做处理,观察患者直至自行缓解。对于严重和广泛的荨麻疹,静脉注射苯海拉明(成人30mg,儿童1.25mg/kg),必要时考虑用肾上腺素。支气管痉挛哮喘时,缓慢静注氨茶碱0.5g。出现呼吸困难或呼吸停止时,要保持气道通畅,严重时可行气管插管甚至气管切开。静脉滴注呼吸三联针剂(尼可刹米0.375g、洛贝林3mg、回复灵8mg)。出现循环衰竭和休克时,按过敏性休克处理,缓慢静脉注射周围血管升压药和血液代用品补充血容量,静脉注射肾上腺素。如有肺水肿、喉头水肿者,静脉注射速效利尿药,如50%葡萄糖或呋塞米(速尿)。烦躁、抽搐者,给予静脉注射安定10~30mg,严重者给予异丙嗪50mg肌肉注射。惊厥者给予苯巴比妥0.2~0.4g肌肉注射。抢救使用肾上腺素时,必须个体化用药。在抢救过程中要密切注意病情变化,及时发现、及时处理。

## 五、不良反应的预防

预防碘对比剂不良反应的发生,应做好以下几方面的工作。

1. 与患者沟通 让患者了解整个CT检查程序,包括注射对比剂增强,争取患者配合,消除患者精神紧张、恐惧感。仔细询问有无致不良反应的高危因素,如过敏史、甲状腺功能亢进,严重的心、肝、肺部疾病等。

2. 预防不良反应药物的应用 有研究者认为碘对比剂不良反应的预防性用药没有效果,但有研究者认为其有一定效果。有统计表明,使用离子型碘对比剂前应用皮质类固醇与抗组胺药,其不良反应发生率有所下降,但仍比非离子型高。异丙嗪和西咪替丁为组胺H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>受体阻滞药,仅阻滞H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>受体引起的不良反应,而补体、凝血系统和免疫系统的不良反应是不能被阻断的。另外,氢化可的松作为预防用药,在一些疾病中要慎用,防止其本身的不良反应。

3. 对比剂的准备 CT扫描室基本上保持23℃左右的恒温,较人体体温低。对比剂长期放置在扫描室时,其温度与室温一致。如果直接将低于人体体温的对比剂直接注射到人体内,将是一种刺激,注射过程中,注射静脉通道受到刺激,患者感到非常疼痛。患者有疼痛感,就会造成身体的运动,影响检查进行。因此,对比剂注射进入人体内之前需要将温度控制到人体体温温度。这样一方面可以降低对比剂的黏稠度,另一方面可以降低对比剂对人体的刺激。如果手推方式或者高压注射器没有加温功能,可以使用恒温水箱。恒温水箱温度设置在36.2℃,对比剂注射前,将装对比剂的玻璃瓶放置于恒温水箱内,使对比剂温度达到人体体温。

注射和造影过程中应密切观察患者的生命体征,以便及早发现不良反应,从而采取有效措施。特别是对高危因素患者,反应多发生在注射时和注射后不久,轻微反应也需注意,因其可能是严重反应的先兆。注射对比剂时如发生不良反应,应中止注射,保留注射针或导管,以便于用药。

4. 做好急救准备工作 检查室要备有急救设备与药物,如血压计、氧气、地塞米松和肾上腺素等,做到放置有序,用时得心应手,药品、器械专人负责。放射科医护人员要熟悉和掌握对比剂的性能、用量、禁忌证以及不良反应的处理方法,掌握常用的急救方法,如人工呼吸及体外心脏按摩和急救药物的剂量与用法。根据反应轻重程度和表现,于检查室就地及时进行对症治疗,严重时应尽快请有关科室协助救治。

## 六、对比剂与肾毒性

由于对比剂用量的增加,特别是随着冠状动脉介入性治疗的使用增加和手术时间的延长,对比剂的肾毒性成为一个非常值得关注的问题。有资料表明,对比剂引起的肾毒性占因急性肾衰竭住院患者总数的12%,是继发性肾衰竭的主要原因,是第三个导致医源性肾衰竭的原因,仅次于低灌注状态和外科手术后。

### 【定义】

无论 CT 还是各种 X 线造影,使用含碘对比剂后引起的急性肾功能损害称为对比剂肾病(Radiocontrast-induced nephropathy, RCIN 或 contrast induced nephropathy, CIN)。最常用的指标是血清肌酐浓度与基线相比升高 25%,或绝对值升高至少  $44.2 \mu\text{mol/L}$ ( $0.5\text{mg/dl}$ )。CIN 通常发生在对比剂使用后 48h 内,并持续 2~5d。有文献报道,如果临界值定义较高,则预测对比剂相关肾功能不全的敏感性较低。注射对比剂后 48h 内,血肌酐增加  $\geq 88.4 \mu\text{mol/L}$ ( $1\text{mg/dl}$ )者为急性肾衰竭(ARF)。CIN 是肾毒性急性肾衰竭的一个重要原因。

### 【临床表现】

对比剂肾病的临床表现多为轻型或亚临床型,易被忽略。临床可表现为无症状、非少尿型肾功能减退及少尿型肾衰竭。非少尿型肾功能减退者可见于原肾功能正常者,多数病例在注射对比剂后 48h 内尿液中出现蛋白、红细胞、管型和尿酶增高,尿液浓缩功能下降,24h 内血肌酐开始升高,高峰在 48h 内,血肌酐升至  $265.2 \mu\text{mol/L}$  以内者多为可逆,血肌酐恢复到基线需 7~14d,部分患者,尤其是原有肾损害者(血肌酐  $>353.6 \mu\text{mol/L}$ ),需要透析治疗。少尿型肾衰竭于对比剂使用后 24h 内出现少尿(24h 尿量少于 500ml),持续 2~5d,血肌酐高峰在 5~10d,14~21d 恢复到基线水平。少尿型肾衰竭的死亡率明显高于非少尿型肾功能减退的患者。另外,还可伴发紧急并发症,包括肺水肿、败血症和高钾血症。

### 【发病机制】

对比剂肾病发生的病理机制目前尚未十分清楚,一般认为与对比剂的直接肾毒性作用、继发肾血流动力学改变和肾小管阻塞等有关。①肾脏血流动力学变化。对比剂可引起肾脏内双相血流动力学变化。动物实验表明,注射对比剂后可见肾血管短暂扩张,血流量明显增加,随后出现持续的肾血管收缩,肾血流量下降,造成肾灌注损伤。实验发现,肾髓质到皮质的血液分流引起髓质缺血、

缺氧。②对比剂直接肾毒性作用。对比剂注射后可引起肾组织的病理改变,包括近端肾小管上皮细胞空泡形成、间质水肿和小管变性。研究证实,对比剂对肾小管上皮细胞有直接毒性作用。对比剂破坏肾小管细胞线粒体膜的完整性,干扰细胞的氧代谢,肾小管上皮细胞浆内 $\text{Ca}^{2+}$ 明显增高,从而诱发细胞损伤,可以由可逆性损伤变成不可逆损伤,直到细胞死亡。③氧自由基损伤。氧化剂介导的肾损害被认为是对比剂引起的ARF的一个重要原因。活性的代谢产物可改变肾血流动力学和(或)引起肾实质损害。氧化剂介导的肾功能损害机制可能是对比剂与肾小球、肾小管细胞直接作用,对比剂的渗透性引起反应氧释放,改变腺苷代谢,改变与自由基形成有关的花生四烯酸代谢,从而引起脂质过氧化物产生而引起肾毒性。④肾小管阻塞。对比剂可引起红细胞形态和功能的显著变化,红细胞凝集引起循环内血黏度增加,引起肾循环的功能障碍。对比剂可引起尿酸排泄增加,尿酸从肾小管排泄时可形成尿酸结晶,阻塞肾小管,对比剂也可以与T-H糖蛋白相互作用而形成管型,阻塞肾小管引起肾功能损害。目前认为上述因素中肾髓质缺血是对比剂引起肾毒性作用的一个较重要原因。低渗非离子型对比剂对组织及肾血流动力学的影响较高渗离子型对比剂小,对肾小管的直接作用亦较小,因此肾脏对低渗非离子型对比剂的耐受性较好。对于肾功能正常的患者,在使用非离子型对比剂后多项肾功能指标(血肌酐、血 $\beta_2$ -微球蛋白、尿肌酐、尿 $\beta_2$ -微球蛋白)没有明显的异常改变,而使用离子型对比剂的患者虽然72h后肾功能指标改变与使用对比剂前基础值的差异没有统计学意义,但在使用对比剂后24h及48h的血肌酐、血 $\beta_2$ -微球蛋白的升高有明显统计学意义。这个结果提示大剂量离子型对比剂对肾脏有一过性损伤,但这种损伤在短期内可恢复。对于肾功能有轻度损害的患者使用离子型对比剂后72h肾功能指标(血肌酐、血 $\beta_2$ -微球蛋白)可能不能恢复到造影检查前的基础值水平。

#### 【评估指标】

①血肌酐测定:以注射对比剂后48h血肌酐水平增加25%为标准。该指标对早期肾损害不敏感,在中度肾小球滤过率下降时改变不明显,有时增高达50%,也可能无症状。②连续肌酐清除率:是较敏感指标,但其结果常低于菊粉清除率,对比剂可阻碍对氨基马尿酸排泄,尤其在有肾功能损害时使用可高估肾血浆流量。③尿腺苷测定:是确定不同对比剂肾毒性程度的敏感指标。注射对比剂48h后尿腺苷浓度仍增高,这是因为肾小管细胞在损伤时发生除极,借助ATP主动离子转运来恢复细胞的正常极性状态。④血、尿内皮素水平测定。⑤尿酶测定:包括N-乙酰- $\beta$ -D-氨基葡萄糖苷酶(NAG),碱性磷酸酶(ALP)和丙氨酸-氨基肽酶(AAP)。它们是注射对比剂后肾小管损伤的早期标记物,其水平可很快增加5倍。肾功能正常者,尿酶排泄峰值常在注射对比剂后最初24h,但在慢性肾衰竭者绝对值改变相对延迟,尿酶排泄与对比剂渗透性、肾小管损伤程度和肾小球滤过率相关。⑥对比剂从血、尿中消失后,CT显示肾对比剂滞留(位于细胞内)提示对比剂肾病。⑦血清血管紧张素I转换酶(ACE)、 $\beta_2$ 微球蛋白( $\beta_2\text{M}$ )、尿白蛋白(ALB)、尿 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶( $\gamma$ -GT)也是评价临床期对比剂肾毒性的敏感指标。

#### 【危险因素】

对比剂肾病的发生率具体取决于是否有危险因素的存在。对比剂引起肾脏毒性的危险因素主要包括以下几个方面。原有肾功能受损、糖尿病、充血性心力衰竭、心肌梗死、脱水、多发性骨髓瘤以及使用肾毒性药物和老年人。慢性肾功能不全患者肾血流量已有减少,自动调节肾小球滤过率的功能降低,而对比剂可引起肾内血管收缩和微循环内血液黏滞度增加,导致肾衰竭发生。糖尿病患者

发生对比剂肾病的相对危险系数为 57.8%，是非糖尿病患者的 6 倍。当血肌酐  $>177 \mu\text{mol/L}$  ( $2\text{mg/dl}$ ) 时使用对比剂后肾损害发生率  $>20\%$ ，同时伴糖尿病者发生率  $>70\%$ 。如果患者接受多项介入治疗，应用过大剂量的对比剂或高渗透性的对比剂都可增加肾病发生的可能性，因此应尽可能减少对比剂用量和使用频率。一项大规模的观察性研究报告，在 1 800 例心血管造影的患者中，RCIN 的发生率为 14.5%。前瞻性研究发现，在无其他危险因素的情况下，肾衰竭的危险性平均为 3%，但随着危险因素数量的增加，RCIN 的危险性显著增加。有研究显示，当危险因素数量由 0 增加至 4 个时，RCIN 的危险性由 1.2% 升至 100%。

### 【预防和治疗措施】

多数情况下，RCIN 不会有临床表现，且肾功能于 1 周左右恢复至基线水平。而对于严重的病例，目前尚无明确有效的药物治疗，处理上与其他原因所致的急性肾衰竭无异。因此预防越发显得重要。首先筛选高危患者，通过询问病史及体格检查，发现存在的危险因素，尽可能纠正之，如果不能纠正，则尽可能使用最小剂量对比剂。目前，给予 0.45% 的氯化钠注射液对患者进行水化是最为有效的预防方法。另外抗氧化剂在预防肾毒性方面越来越受到关注，目前常用的减轻肾功能损害的药物为 N-乙酰半胱氨酸 (NAC) 和非诺多巴。NAC 是一种具有血管扩张功能的抗氧化剂，多项研究表明，较大剂量口服 NAC 可明显降低 RCIN 的发生率。非诺多巴是一种儿茶酚胺类药物，可以增加肾血流量，减轻肾脏毒性，术后用于肾病高危患者非常有效。应用对比剂之前要纠正低钾血症，并且注意观察血压，血压下降发生在应用对比剂 5min 之后，如果出现血压显著下降应立即停用对比剂。对比剂的作用时间非常短暂，半衰期约为 5min，绝大多数患者的情况会随即好转，但要持续监护 6h。RCIN 转归通常是肾功能恢复，但高达 30% 的患者有一定程度的永久性肾功能损害，部分原因是由于同时存在其他疾病或出现 RCIN 时用药所致。

## 七、对比剂应用选择原则

目前，常用的水溶性碘对比剂分为两大类：离子型与非离子型对比剂。一个理想的对比剂应具备含碘量高、对比清晰、毒性低、不良反应少以及排泄迅速等特点。国内外大量研究资料和临床实践证明，非离子型对比剂的不良反应显著低于离子型对比剂。Katayama 统计了 337 647 例病例(均为静脉注射给药)，结果离子型不良反应发生率为 12.66%，非离子型为 3.13%。出于对健康的考虑，低渗非离子型对比剂在世界各地开始得到广泛应用。美国食品与药品管理局 (FDA) 通过自发报告系统收集了美国范围内的制造商、医院、医师和其他来源的与对比剂有关的不良反应报告 (1967—1994 年)，经分析后认为：① 不论何种对比剂，与之有关的死亡率均为 1/205 000 次检查 (主要是血管给药)；② 随着非离子型对比剂的广泛应用，与对比剂有关的死亡病例并未明显减少，非离子型对比剂并不能避免严重反应甚至死亡等不良结果的发生；③ 死亡报告中约 76.9% 是静脉注射，9.8% 是动脉注射，3.2% 是椎管注射。这是一个目前已知道的最大样本的统计，对于选用对比剂有极大的指导意义。在国内由于非离子对比剂价格昂贵，许多地区因经济原因制约其广泛使用。目前认为合理选用非离子型碘对比剂临床使用范围如下：① 具有高危因素的患者；② 高危造影检查，如脊髓血管造影，肺动脉造影和冠状动脉造影，左心室造影必须应用非离子对比剂；③ 鞘内注射，如脊髓造影，脑室和脑池造影必



须用非离子型对比剂；④精神紧张、焦虑及言语不通或不能合作的患者；⑤本人希望减少不良反应机会而又有经济承受能力者。对比剂反应的高危人群是指在注射对比剂后，易于发生不良发应者。高危因素包括：①肾功能减退，特别是中重度肾衰竭者；②哮喘、花粉症、荨麻疹、湿疹及其他过敏性疾病；③糖尿病、多发性骨髓瘤和脱水状态；④心脏病，尤其充血性心力衰竭，严重的心律失常、肺动脉高压、冠心病、发绀型先天性心脏病等；⑤对比剂过敏史和其他药物过敏史；⑥65岁以上高龄患者和1岁以下婴儿；⑦某些特殊病例如镰状细胞贫血、嗜铬细胞瘤患者等。

## 八、碘过敏试验的价值及其评价

由于碘对比剂不良反应与剂量的关系不定，以及不良反应的原因多样，因此过敏试验不能预测不良反应是否发生，也不能预测不良反应的轻重。有文献报道，有试验剂量0.5~1ml对比剂导致死亡；也有过敏试验阴性，但正式检查注射对比剂时发生严重反应及死亡的；有迟发反应至造影术后第4天才发生过敏性休克死亡；也有在第2、3次使用碘对比剂发生过敏性休克死亡。这使得对对比剂过敏试验结果是否是安全使用对比剂的保证提出质疑。

对此，有学者提出了被动变态反应学说，即少量过敏原注入体内，经过一定的潜伏期(静脉注射4h左右)，体内进入致敏状态，再以同一致敏原注入体内，就可发生过敏性休克。被动致敏状态的保持时间较短，一般只有3~4周，这就可以解释一部分患者为什么碘过敏试验阴性，而在造影时出现变态反应，或者在第2、3次使用碘对比剂时发生过敏。另一方面，过敏性试验假阳性较高。日本统计了9家医院碘对比剂使用情况，结果是术前过敏试验组，不良反应发生率为8.4%，术前未做过敏试验组，不良反应发生率为8.9%。另对过敏试验阳性者行造影术，不良反应发生率为45.6%，并且不良反应发生的程度多不严重，这进一步说明了碘过敏试验并不能预测不良反应的轻重。国内用于碘过敏试验的一般为上海产的30%的泛影葡胺1ml的试验针剂，这是专门为复方泛影葡胺配备的。但值得一提的是，该试验针剂只能用于皮试而不能用于静脉试验，因为试验针剂质量检测项目中不包括静脉注射必要的“热原测试”等项目，所以厂家明文规定，只做皮下注射，用于静脉注射是一种错误，易引起不良反应。文献报道有因此引起死亡的病例。

目前国外主要放射学会和大多数教学医院不主张进行对比剂的变态试验。因为过敏试验不能预测过敏反应的轻重，它的假阳性又有可能使一部分患者失去检查机会，同时增加了被动过敏反应的机会等，关键在于加强不良反应的观察与处理。最近，国家药品监督管理局给国家药典委员会批示，在《中国药典2000年版临床用药须知》中不再保留水溶性含碘对比剂须进行预试验的描述及相关规定。这就是说现在国家药品监督管理局已同意在临床中不强调水溶性碘对比剂的碘过敏试验了。

(谢淑飞 梁长虹 黄 飏)

## 参 考 文 献

- [1] 王兆熊.含碘对比剂副反应与对策.临床放射学杂志,1994,13(增刊):15-16
- [2] 嵇鸣.30%泛影葡胺过敏试验致死1例报告.实用放射学杂志,1990,6(4):176
- [3] 陈保松,张明杰.泛影葡胺迟发变态反应致死1例.中华放射学杂志,1992,26(5):332
- [4] 程定国,梁月梁,黄贤凤,等.血管造影前用两种溶度进行皮内碘过敏试验比较.中外医用放射技术,1992,14(7):15
- [5] 金大涣.碘对比剂副反应的临床调查.国外医学临床放射学分册,1986,9(3):148
- [6] 国家药品监督管理局函.药管注函[2000]31号:关于水溶性含碘对比剂预试验有关事宜的函
- [7] 刘连祥,译.离子型与非离子型碘对比剂.国外医学临床放射学分册,1991,14(5):282-284
- [8] 李强.碘对比剂副反应的商讨.实用放射学杂志,2003,19(10):885-888
- [9] 许有生,沈纪林.从毒理学视角谈碘对比剂的临床应用.现代医用影像学,2003,12(3):132-137
- [10] 刘建鸿.非离子型对比剂的安全性及其市场变化.中国医学计算机成像杂志,2000,6(5):349-352
- [11] 叶茵洋.对比剂肾病的研究进展.国外医学泌尿系统分册,2005,25(1):134-140
- [12] 郭俊渊.含碘对比剂的不良结果:新资料的启示.临床放射学杂志,1998,17(1):3-4
- [13] 毛宏亮,卫家容,李丹.碘对比剂的开发与安全应用.中国医院用药评价与分析,2002,2(6):362-363
- [14] 赵雪梅.含碘对比剂CT增强造影扫描中的副作用及处理.川北医学院学报,1999,3(1):69-70
- [15] 周代全.非离子型与离子型碘对比剂的临床安全性对比研究.国外医学临床放射学分册,2000,23(3):142-144
- [16] 李霞.对比剂使用中的注意事项及问题分析.国外医学临床放射学分册,1999,22(5):286-287
- [17] 李涛.对比剂反应的处理.国外医学临床放射学分册,1999,22(1):33-34
- [18] 侯庆峰,王晴文.新型低渗对比剂的选择应用.医学影像学杂志,2001,11(4):260
- [19] 刘春林.怎样预防CT增强中对比剂的副反应.实用放射学杂志,2001,17(2):147-148
- [20] 齐晓涟,陈树英,王育琴.对比剂不良反应的防治管理.药物不良反应杂志,2003,4:265
- [21] 陈子安,雷招宝.对比剂肾损害及其防治.药物不良反应杂志,2003,5:313-318
- [22] Katayama H ,Yamaguchi K ,Koguba T ,et al.Adverse reactions to ionic and non-ionic contrast media. Radiology,1990,175:621-628
- [23] Lassev EC ,Lyon SG ,Berry CC.Reportson contrast media reactions:analysis of data from reports to the US Food and Drug Administration.Radiology,1997,203:601-605

# CT 的发展简史

计算机辅助 X 线体层(computed tomography, CT)扫描仪利用 X 线对人体某一范围进行逐层的横断扫描,取得信息,经计算机处理后获得重组的图像。获得的图像为人体的横断解剖图,并可通过计算机处理得到三维的重组图像。1917年 Rodon 就曾提出 CT 成像的数学计算理论,由于受当时技术水平的限制,该理论未被引起足够的重视。1969年,在计算机水平已有飞速发展后,英国 EMI 公司的工程师 Hounsfield 在并不知晓 Rodon 的理论的情况下,独立研制成功 CT 机,1971年 10月 4日在英国的 Atkison-Morley 医院检查了第一例患者。CT 机因其在成像方面无可争辩的优越性受到科学界的热烈推崇。

## 第一节 CT 的主要结构

CT 机的组成结构大体上都很相似,主要由扫描机架、X 线发生器、X 线准直器、X 线探测器、计算机系统、操作台、独立诊断工作站和照像机组成(图 6-1)。

扫描机架包括 X 线球管、定位系统、探测器阵列、数据采集系统和驱动马达。现代 CT 扫描系统多使用大热容量的旋转阳极 X 线球管,CT 机的球管阳极较普通 X 线机的阳极大得多,热容量在 5~8MHu。高端 CT 机多使用单晶( $\text{CdWO}_4$ )或多晶( $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ )固体探测器,中档或低档 CT 机多使用气体(Xenon)。现代 CT 机使用高频 X 线发生器,通常位于 X 线球管旁,X 线发生器和 X 线球管一起旋转。X 线球管有阳极和阴极,为保持平衡,二者对称地排放在 X 线球管的两侧,输出电流峰值在 200~500mA。

现代 CT 设备包括两大部分:X 线体层扫描装置和计算机系统。前者主要由产生 X 线束的发生器和球管以及接收和检测 X 线的探测器组成;后者主要包括数据采集系统、中央处理系统、磁带/

DVD/CD/ 硬盘系统、操作台等。此外,CT 机还应包括图像显示器、照相机、网络接口等辅助设备。

X 线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧,方向相对。当球管产生的 X 线穿过被扫描组织后,透过组织的剩余射线为探测器所接收。探测器对 X 线高度敏感,它将接收到的 X 线先变成模拟信号,再变换为数字信号,输入计算机的中央处理系统。处理后的结果送入硬盘储存,或经数/模处理后经显示器显示出来,变成 CT 图像,再由照相机摄片或推入网络系统以供诊断。

当 X 线球管从一方向发出 X 线束穿过选定层面时,沿该方向排列的各体素均在一定程度上吸收一部分 X 线,使 X 线衰减。人体各种组织(包括正常和异常组织)对 X 线的吸收不等,CT 即利用这一特性,将人体某一选定层面分成许多立方体小块,这些立方体小块称为体素(voxel)。测量通过人体 X 线,获得每一体素的密度或灰度,即为 CT 图像上的基本单位,称为像素(pixel)(图 6-2)。它们排列成行列方阵,形成图像矩阵。当该 X 线束穿透组织层面(包括许多体素)为对面探测器接收时,X 线量已衰减很多,为该方向所有体素 X 线衰减值的总和。然后 X 线球管转动一定角度,再沿另一方向发出 X 线束,则在其对面的探测器可测得沿第 2 次照射方向所有体素 X 线衰减值的总和;以同样方法反复多次在不同方向对组织的选定层面进行 X 线扫描,即可得到若干个 X 线衰减值总和。在上述过程中,每扫描一次,即可得一方程。该方程中 X 线衰减总量为已知值,而形成该总量的各体素 X 线衰减值是未知值。经过若干次扫描,即可得一联立方程,经过计算机运算可解出这一联立方程,而求出每一体素的 X 线衰减值,再经数/模转换,使各体素不同的衰减值形成相应各像素的不同灰度,各像素所形成的矩阵图像即为该层面不同密度组织的黑白图像。现代多层螺旋 CT 的数据采集和图像重组方式更加复杂。

计算机系统包括中央处理器、内存、硬盘、一个或多个阵列处理器和图像存储系统(多使用磁光盘)。中央处理器采用多任务直接分配计算系统,大多数 CT 机的图像重组由子系统的阵列处理器完

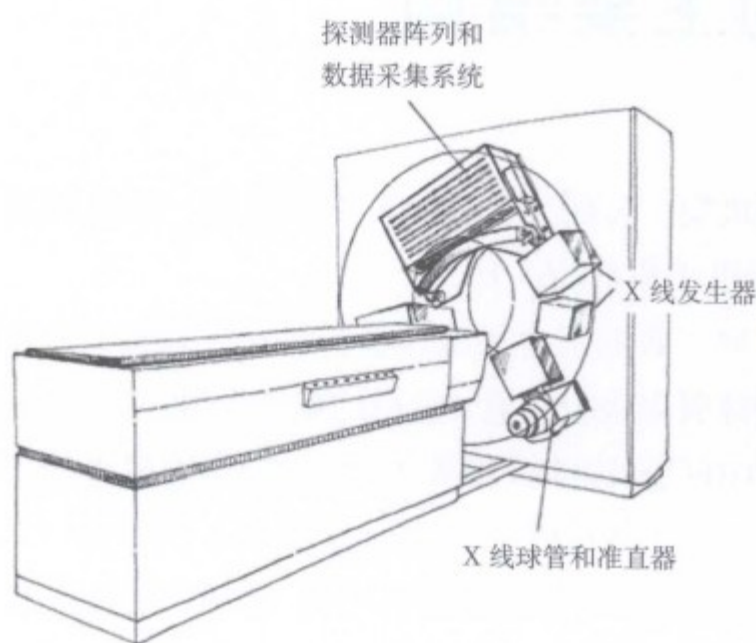


图 6-1 CT 结构示意图

扫描机架(机架内包含球管和探测器等)与扫描床

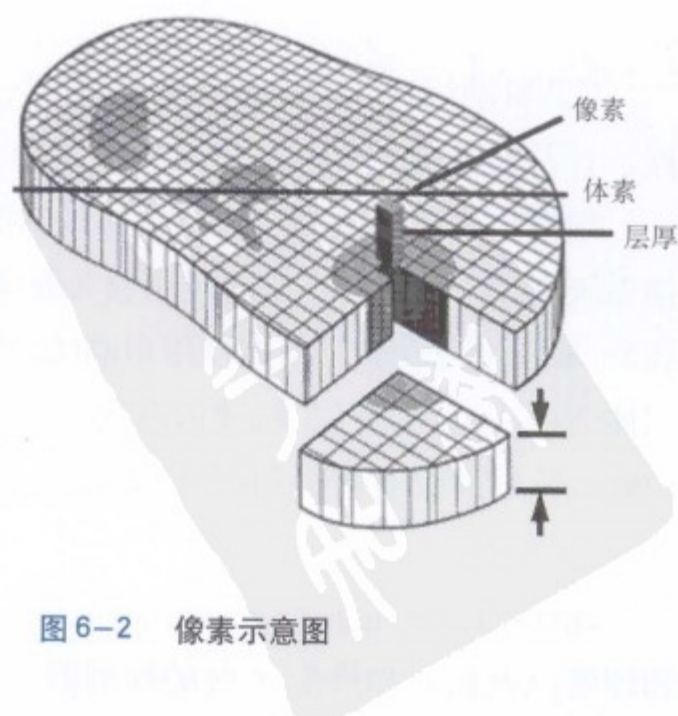


图 6-2 像素示意图

成,以提高重组速度及避免干扰数据采集。现代CT进行512矩阵图像的重组在1s左右完成,多层螺旋CT的重组速度达到数十帧。随CT扫描速度的加快,对计算机的要求也越来越高,一幅512矩阵的图像,用最简单的过滤投影算法,也需要大约1亿次运算。多层螺旋CT采集的数据进行图像重组时,还需要z轴插补运算。随多层CT的出现,球管旋转一周可获得多层图像,计算数据呈几何增长,不得不装备最先进的计算机系统。

不同厂家的操作台和独立诊断工作站没有本质区别。有些厂家的设计注重操作更简单、更人性化,有的厂家的设计则注重功能的实现。多层螺旋CT的后处理软件日益丰富起来并得到广泛应用,主要包括CT灌注软件、心功能分析软件、骨密度分析软件、内镜、血管重组和三维重组软件等。

## 第二节 各代CT扫描仪的特点

在CT的发展过程中,CT扫描仪的设计有明显的不同。CT扫描仪的分代是根据CT机的结构、扫描机架的运动方式和采集数据的方式。分代的目的是标明不同设计类型CT扫描仪出现时间的先后,而不能说级别高一代的CT机一定比低一代的CT机好。随螺旋CT以及近年多层螺旋CT的广泛应用,CT扫描仪的分代概念已被淡化,人们更注重的是CT扫描仪的具体性能,如最短扫描时间、最薄层厚、球管热容量等。为介绍方便,本部分仍沿用“代”的概念。

第一代CT扫描仪属于头部专用机,由一个X线管和二、三个晶体探测器组成,用笔形X线束,笔形X线束在某一角度平移,穿过被检查者,获得该角度的平行投影数据,然后球管和探测器共同轻度旋转,再次测量数据,获得另一角度的平行投影数据,如此反复,这种CT机就是采用反复平移/旋转方式采集数据,又称平移/旋转CT(图6-3)。这种CT机的射线利用率低、扫描速度慢,采集数据少,重组的图像质量较差,已经被彻底淘汰。

第二代CT扫描仪是由一个X线管和3~30个晶体探测器组成,X线束由第一代的笔形束改为扇形线束,明显提高了X线的使用效率。这一代CT扫描仪不仅可以进行头颅扫描检查,而且已经具

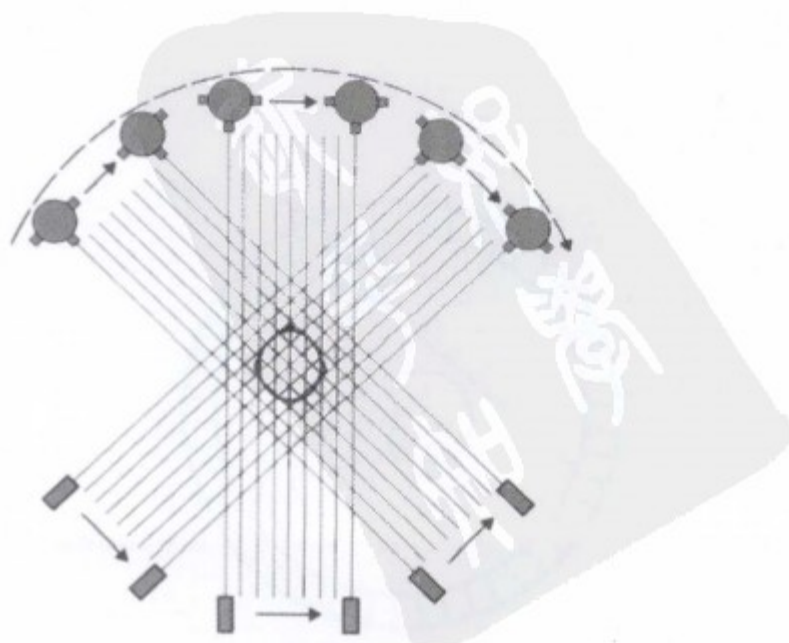


图6-3 第一代CT扫描方式示意图

备了全身 CT 扫描的能力。这种 CT 扫描仪在 1974 年作为体部 CT 应用于临床。由于扫描时依然是采用平移/旋转方式,也被称为平移/旋转 CT 机(图 6-4)。扫描速度虽较第一代要快一些,但同样存在因患者的生理运动而产生伪影的缺点。这种类型的 CT 扫描仪也已被淘汰。

第三代 CT 扫描仪采用旋转/旋转方式。探测器和数据采集系统都得到改进,由于采用了较宽的周形线束,可包括整个扫描体的截面,探测器也增加到 300~800 个,一个接着一个无空隙排列,解决了前两代的直线平移运动缺点(图 6-5)。扫描时间也缩短到 2~9s。这种结构和扫描方式也是现代单层或多层螺旋 CT 扫描仪的基础。

第四代 CT 扫描仪为固定/旋转方式,探测器环绕机架 360° 固定排列,扫描时只有 X 线管在探测器环内做围绕人体的旋转运动(图 6-6)。因扫描速度快,而且探测器固定,图像质量与第二、三代相比也有很大提高。

20 世纪 80 年代,第三、四代 CT 扫描仪成为 CT 扫描仪的主流。

第五代 CT 机有两种产品,一种是螺旋 CT 扫描仪,一种是电子束 CT 扫描仪(EBCT)或超高速 CT 扫描仪。后者由美国 IMATRON 公司于 20 世纪 90 年代推出,其结构原理不同于前几代 X 线 CT 扫描仪。它是通过电子枪发射电子束经聚焦后由偏转线圈控制,使电子束旋转并轰击一组半圆形的钨靶环,从而获得旋转的 X 线。EBCT 采用电子束扫描环形阳极靶代替旋转运动的 X 线管,由于不需要任何机

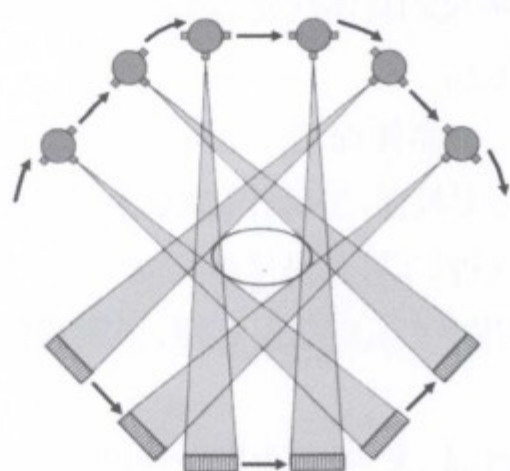


图 6-4 第二代 CT 扫描方式示意图

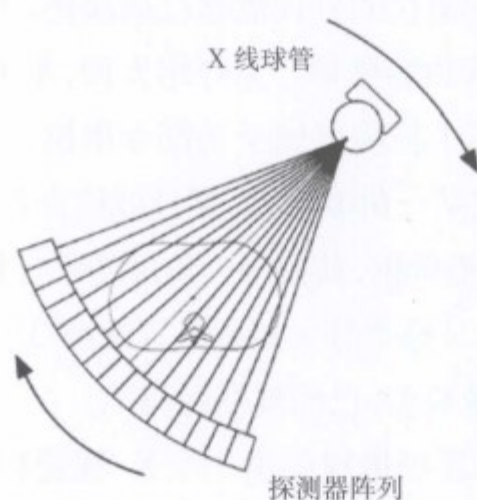


图 6-5 第三代 CT 扫描方式示意图

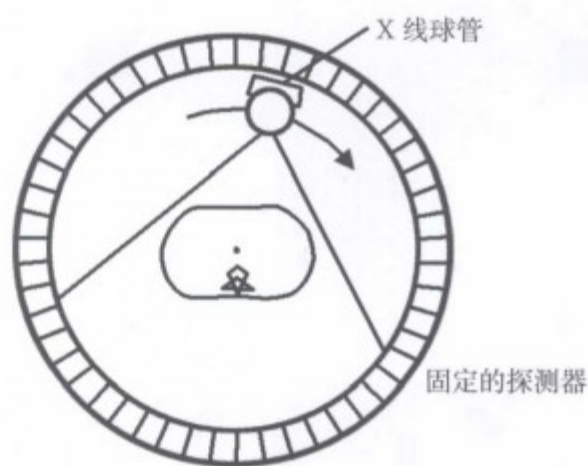


图 6-6 第四代 CT 扫描方式示意图

械运动部件,因此扫描速度可以达到非常快,其扫描一个层面的时间仅需50ms,主要用于需要快速扫描的心脏检查、小儿、外伤急诊患者等。

第六代扫描仪包括单层和多层螺旋CT扫描仪。1985年滑环技术问世后,1989年螺旋CT推向市场。在此后十余年间,螺旋CT一统天下。

从各代CT扫描仪的发展来看,主要是改进扫描方式,缩短扫描时间、降低测量误差、提高和改善图像质量等方面。传统的CT扫描仪的X线管供电是通过高压电缆和高压变压器相连并作圆周往复运动,这种方式使扫描速度难以大幅度提高。

滑环技术,其方法类似于电动机中的电刷,通过电刷和滑环接触导通来实现球管在扫描过程中始终向一个方向旋转,从而提高扫描速度。根据传送电压的不同分低压滑环和高压滑环(图6-7)。

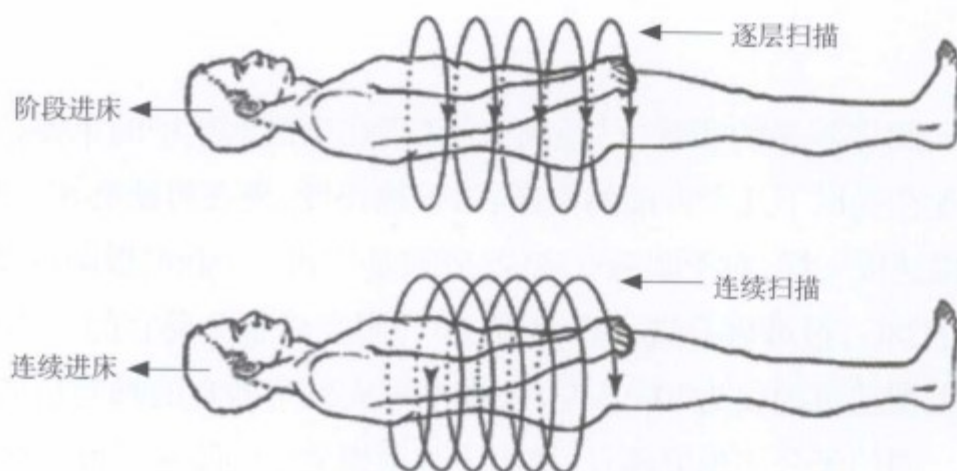


图6-7 第五代CT扫描方式示意图

多层螺旋CT(multislice CT, MSCT)或多排探测器CT(multi-detector row CT, MDCT)是CT扫描仪发展史上的又一项重大突破。1998年RSNA会议,GE、Toshiba、Siemens和Picker(Marconi)四家公司同时展出了一种新型的CT——MDCT,标志着MDCT的诞生。与单层螺旋CT不同,MDCT的X线球管每旋转一周,可获得多层图像(现最多达320层),故名多层螺旋CT。MDCT速度比单层螺旋CT扫描速度更快,提高数倍到数十倍,即使扫描层面很薄,MDCT也能高速完成较大范围的容积扫描。这样,MDCT不仅扫描速度快,而且同时有很高的扫描容积纵向分辨率,所得扫描容积数据可进行高质量的多平面重组及三维重组。

降低扫描剂量是多层螺旋CT临床应用安全的热点问题之一。如何降低多层螺旋CT扫描的射线剂量,如何有效地保护患者都显得非常重要。由于多层采集时采集层厚薄,每次扫描覆盖的范围通常比单层螺旋CT大,以及采集中的剂量效率因素等,故实际的患者受剂量在扫描范围内,比单层螺旋CT扫描会明显增加射线剂量而不是降低。

目前,在多层螺旋CT设备上降低剂量的措施有以下几种。①智能滤过技术:采用智能方式自动设置X线滤过,在不降低图像清晰度的情况下可使X线剂量降低达一半,且图像噪声也下降。②自动管电流调制:根据开始扫描后检测器反馈的信息,自动调节管电流输出,可降低15%左右的扫描剂

量。③自动管电流设置:采用侧位定位像来决定身体不同部位的扫描电流值,包括设法降低敏感器官的剂量,可降低25%左右的扫描剂量。④可变速扫描和期相选择性曝光技术:均是用于降低心脏扫描剂量的技术,可变速扫描技术根据患者的心动周期,特别是心律不齐者,调节扫描速度的方式;期相选择性曝光则可在心电门控下仅选择舒张期曝光,收缩期不曝光的节省剂量的扫描方式,尤适于冠状动脉的观察。⑤前门控技术:尽管上述措施有一定的降低患者接受辐射的效果,但普遍认为,最重要的是广大临床医师在实际工作中避免“过度检查”,尽可能减少患者接受CT检查的次数,尽可能减少CT扫描范围,CT检查不能以图像“漂亮”为追求目标,而是应能满足临床诊断需要即可。厚层能解决问题,尽量不用薄层扫描。

### 第三节 CT发展的展望

20多年来的实践,已经确认了CT在影像医学中的重要位置,CT技术的发展仍日新月异。CT发展现在受以下几个方面的限制:①扫描速度,现在机架旋转一圈最短仅为0.33s,就像百米赛跑时接近极限速度一样,对于制造业来说,应该是达到一个新的极限速度,其在高速旋转过程中产生的离心力达到了28G,很难再有进一步突破。②一圈完成整个器官的扫描还有一定困难,目前多层螺旋CT在Z轴最大覆盖范围仅为40mm左右,难以完成整个器官的瞬间扫描,尤其是对心脏等运动器官的检查。

西门子公司独辟蹊径,推出了双源螺旋CT,改变了目前常规使用的单个X线射线源和单个探测器来采集数据。双源CT通过两个X射线源和两套探测器来采集CT图像,心脏成像将不再受心率的影响。可提高不同组织的分辨率,将在以下领域有所作为,如扫描过程中血管或骨骼的直接减影、肿瘤学在CT影像下的肿瘤分类、血管斑块的定性等。

东芝公司推出的320排探测器CT,探测器宽度为160mm,大大提高覆盖范围。

GE公司和西门子公司分别采用不同技术实现双能采集,有望通过CT扫描确定组织的性质。

多家公司采用反复螺旋采集技术,解决探测器宽度不够覆盖目标器官的问题,有利于进行容积灌注扫描采集。

目前CT图像的质量有了明显改善,特别是高分辨率扫描(HRCT)图像已能显示肺小叶间隔改变,但这多是提高管电压和管电流为代价取得的。我们的目的是既要获得高质量的图像,又要使患者尽量地减少X线辐射,这应该使下一步CT改革的重点之一。要想同时获得这两种效益,看来一要提高探测器的灵敏度,能够在不增加甚至减少辐射剂量的前提下,提高图像质量;二要进一步改进图像重组的处理方式,在软件方面下工夫。已有很多厂家在这一方面取得了进展。图像后处理功能的发展,将是CT发展的另一个重点。

MIP、SSD、CT内镜和容积演示等图像后处理功能已将常规CT只能显示二维横断解剖发展到三维观察,这些图像已接近实际人体的大体解剖,更接近手术中的实际所见,为手术方案的制订提供了更为详尽的信息,相信将来这些功能将进一步完善。

对比剂的开发是另外一个难题,期望无不良反应的对比剂早日问世,将使得多层螺旋CT的血管成



像和灌注成像能够更加广泛应用,甚至在患者肾功能不全的情况下也能毫无顾虑地进行增强扫描。

(黄 颺 梁长虹)

## 参 考 文 献

- [1] Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, et al. Subsecond multislice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol*, 1999, 31: 110-124
- [2] Hui H, He D, Foley D, et al. Multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology*, 2000, 215: 55-59
- [3] Honda O, Johkoh T, Yamamoto S, et al. Comparison of quality of multiplanar reconstructions and direct coronal multidetector CT scans of the lung. *AJR*, 2002, 179: 875-880
- [4] Gruden JF, Ouanounou S, Tigges S, et al. Incremental benefit of maximum-intensity-projection images on observer detection of small pulmonary nodules revealed by multidetector CT. *AJR* 2002, 179: 149-155
- [5] Foley WD. Special Focus Session: multidetector CT: Abdominal Visceral Imaging. *Radiographics*, 2002, 22: 701-719
- [6] Kopka L, Rodenwaldt J, Hamm BK. Biphasic multi-slice helical CT of the liver: intraindividual comparison of different slice thicknesses for the detection and characterization of focal liver lesions. *Radiology*, 2000, 217 (P): 367-377
- [7] Wong K, Paulson EK, Nelson RC. Breath-hold three dimensional CT of the liver with multi-detector row helical CT. *Radiology*, 2001, 219: 75-80
- [8] Foley WD, Mallisee TA, Hohenwarter MD, et al. Multiphase hepatic CT with a multirow detector CT scanner. *AJR*, 2000, 175: 679-685
- [9] Donald F, Britt S, Karen F, et al. Improved pediatric multidetector body CT using a size-based color-coded format. *AJR*, 2002, 178: 721-730
- [10] Nino Murcia M, Jeffrey RB Jr. Multidetector-row CT and volumetric imaging of pancreatic neoplasms. *Gastroenterol Clin North Am*, 2002, 31: 881-896
- [11] Tack D, Sourtzis S, Delpierre I, et al. Low-dose unenhanced multidetector CT of patients with suspected renal colic. *AJR*, 2003, 180: 305-312
- [12] Prokop M. Multislice CT angiography. *Eur J Radio*, 2000, 36: 86-94
- [13] Kato Y, Nair S, Sano H, et al. Multi-slice 3D-CTA - an improvement over single slice helical CTA for cerebral aneurysms. *Acta Neurochir*, 2002, 144: 715-722
- [14] Rogalla P, Meiri N, Ruckert JC, et al. Colonography using multislice CT. *Eur J Radiol*, 2000, 36: 81-90
- [15] Hara AK, Johnson D, MacLarty RL, et al. CT colonography: single versus multi-detector row imaging.

Radiology,2001,219:461-472

- [16] Gluecker T,Dorta G,Keller W,et al.Performance of multidetector computed tomography colonography compared with conventional colonoscopy.Gut,2002,51:207-215

参考文献



## 螺旋 CT 的发展及技术原理

### 第一节 螺旋 CT 原理概述

螺旋 CT 就是指 CT 扫描时,患者随扫描床匀速运动,而 X 线管球和探测器组则相当于电机的转子一样,不停地围绕患者作快速连续 $360^{\circ}$  旋转,同时探测器组连续采集数据,这样相对患者的扫描区域来说,X 线管的运行轨迹呈螺旋形而称之为螺旋 CT。自 1989 年第一台螺旋 CT 问世,不到 20 年的时间,已从早期的单层螺旋发展到今天的多层螺旋,驱动方式、数据传输、图像重组算法(arithmetic)等都有了明显的改进,扫描速度较单层螺旋有明显提高,CT 透视、实时螺旋、图像融合(image fusion)等新的功能不断完善,可为临床诊断治疗提供更详尽的信息。

滑环技术(Slip-Ring Technique)是螺旋 CT 扫描的基础,于 20 世纪 70 年代末开始采用这项新技术。滑环时代之前,含有 X 线球管的旋转部分与包括高压发生器在内的静止部分之间的馈电和信号传输是靠电缆来完成的,电缆的有限长度限制了球管的连续旋转运动,使球管的运动只能是双向往返式的,不仅限制了球管的运动速度,也使两次 CT 扫描之间增加了毫无作用又不可取消的扫描间隔,使常规 CT 只能间歇性扫描而无法在球管连续向一个方向旋转基础上进行连续扫描。

所谓滑环,实际上是一个由铜条制成的圆形宽带状封闭的同心环。其一面与探测器、控制器、控制电路以及检测电路相连接并固定于机架的旋转部分;另一面则与一组固定的碳刷头紧密接触,每个碳刷头对应一个滑道,这样在扫描时,滑环与机架一起高速同步旋转,数据则通过滑环与机架相连的一面及时传递到滑环。滑环另一面的各个滑道也就随即获取了各自所需负责传递的数据。这些数据再通过各个滑道同与之对应的碳刷头的紧密接触,这就能及时地准确无误地被传送给数据处理系统。这很像电机的结构, X 管和探测器相当于电机的转子,滑环系统相当于碳刷和集电环。由于电源和数据的传递不是通过电缆而是通过封闭的滑动的铜环来连接的,所以称之为滑环技术。正是由于这种技术的实现,可以保持扫描系统在同一个方向连续旋转,从而消除了传统 CT 扫描机的

加速减速和回位的过程,大大提高了扫描速度,不仅使扫描获取的信息更多,而且可以获得连续的解剖结构信息。

滑环又分为高压滑环和低压滑环两种。早期的滑环CT多采用高压滑环,即把笨重的高压发生器放在固定部分,由滑环将十几万伏的高压输送给旋转部分的X线球管。现在由于各种技术的发展,高压发生器已因体积小、重量轻,可直接安装在扫描架内的旋转部分,这样,滑环只需将几百伏的低压电输入旋转部分,称为低压滑环。目前各厂家的新滑环CT几乎都已采用低压滑环技术。

### (一)螺旋扫描的数据处理

螺旋扫描方式为X线球管围绕机架连续旋转曝光,曝光的同时检查床同步匀速移动,探测器同时采集数据,消除了两次扫描间隔,将传统常规CT的二维采集数据发展为三维采样,所以螺旋扫描又称体积或容积扫描(volume scan)。这种采样为数据的后处理带来了更大的灵活性。由于螺旋扫描的轨迹呈螺旋状,与常规CT的扫描方式不同,扫描1周的起点与终点不在同一点上,也不在同一平面,这样,在图像重组时采用的方法亦不同,通常采用的是内插法,又称差补法(interpolation)。许多厂家采用了180°非线性内插法(non-linear interpolation)等方法来改善空间分辨力。

螺距(pitch):在螺旋CT扫描中,与常规方式扫描的一个不同是产生了一个新概念——螺距,它是球管旋转1周准直器宽度与扫描床移动速度之间的比值。具体公式为:螺距=床移动距离(mm)/准直器宽度(mm)。如果准直器宽度等于床的移动速度,即螺距为1。螺距越大,扫描单位时间内扫描覆盖距离越长。例如,准直器宽度为1cm,螺距为1时,10s扫描距离为10cm,螺距为1.5时,同样10s,扫描距离则增加到15cm,这对于1次屏息扫描和增强后动脉期的大范围扫描很有帮助,因为只需增加螺距即可在同一扫描时间内尽可能地多增加扫描范围。螺距的变化直接影响图像质量,试验证明螺距越小,图像中产生的伪影越少,失真度越低。

### (二)螺旋CT扫描的技术条件

螺旋CT扫描体位与普通CT无太大区别,螺旋CT扫描的大多数参数,如电压、电流、层面厚度等的选择与常规CT基本一致。所不同的是增加了进床速度和所需重组图像的间隔的选择。螺旋扫描的层厚、床移速度、整个扫描时间及图像重组的间隔是可以调整的。层厚的选择主要是根据成像部位和扫描目的而设计。床速度和层厚的比值即螺距(pitch),螺距在整个扫描条件的设计中很重要。一般情况下螺距选用1,也就是进床速度等于层厚,但也可以在0.1~2范围内选择。一次扫描的范围决定于扫描时间和进床速度,而一次螺旋扫描最长时间决定于所用的电流。在扫描层厚一定的情况下,螺距越小,床面移动速度越慢,切层越薄,图像质量越好。当扫描范围确定时,若床速过慢,必然延长扫描时间,则需考虑患者的一次屏气能力和机器本身的性能,否则患者将无法很好地配合扫描。螺距越大,床面移动越快,切层越厚,则总的扫描时间越短,图像质量下降,从而降低病灶的检出率。因此,螺距、层厚、扫描时间三者必须很好地选择于最佳配合点。

### (三)螺旋CT扫描的图像重组

由于螺旋扫描采集的是容积数据,所以数据重组的方法关系到图像质量的好坏。扫描的同时,扫描床在连续等速移动导致每一周扫描的起点和终点不在同一平面上,因此在图像重组之前,为了消除运动伪影和防止层面的错位,需要在所采集的原始数据的相邻点内用线性内插法进行校正。线性内插法有两种:360°线性内插法和180°线性内插法。360°线性内插法与常规CT比较,其噪声降低了17%~18%,但使层面敏感度曲线SSP增宽,降低了纵向分辨率,而180°内插法的噪声则比常规CT增加了12%~29%,但其纵向分辨率要高于360°线性内插法,所以,一般都使用180°内插法。

螺旋CT图像的重组数据虽然要比实际扫描数据少,也就是说在重组过程中要损失一部分数据,从而降低了图像的分辨率,特别是z轴分辨率。实践证明,因为图像连续性增加了,螺旋CT重组图像的质量仍比普通CT高得多。

### (四)螺旋扫描较常规扫描的优势

1. 扫描速度明显提高 单层螺旋扫描速度较常规扫描至少提高5倍,常规扫描的1个扫描周期包括扫描时间和间隔时间两部分。螺旋扫描取消了间隔时间,只需1s就能完成一个层面的扫描。同样用10mm扫描200mm的范围,常规扫描需要100s,单层螺旋仅需20s。扫描速度的提高使得可以在一次屏息中完成某个部位的扫描,大大缩短了患者的检查时间。这个优势最大的受益是增强扫描,可以在血管内对比剂充盈良好的情况下迅速完成扫描。

2. 容积采样 由于螺旋扫描是三维容积采样,而且是一次屏息完成全部扫描,避免了常规扫描中重复扫描和遗漏扫描的不足。常规扫描中虽然扫描床的移动是严格的,但是患者两次扫描吸气程度的差别造成了实际扫描轨迹并不连续的事实,使得许多微小病灶漏扫或重复扫描,螺旋扫描避免了这一不足。三维容积采样的另一个优势是为二维或三维的图像后处理打下了良好的基础。

## 第二节 多层螺旋CT发展现状

多层螺旋CT或多排探测器CT是CT发展史上的一项重大突破。MDCT速度比单层CT快几倍到几十倍,即使扫描层面很薄,MDCT也能高速完成较大范围的容积扫描,这样,MDCT不仅扫描速度快,而且同时有很高的扫描容积纵向分辨率,所得扫描容积数据可进行高质量的多平面重组及三维重组。

### 一、MDCT的技术原理

各公司设计的MDCT有明显差别,并有一些内容未被详细说明,而且MDCT的技术近几年还在迅速发展,本部分主要介绍MDCT与单层CT比较有明显差别的硬件及软件。

多排探测器MDCT与单层CT最重要的差别就是在探测器的设计上,普通CT和单层螺旋CT扫描在扫描Z轴(人体长轴)方向只有1排探测器,层厚是由准直器控制的X线宽度决定的,通过调整准直器控制X线束宽度,可以增加或减少层厚。MDCT在扫描Z轴方向有多排探测器,采用锥形X线束,通过准直器聚集在中央4排、8排或全部探测器上,通过电子开关,控制探测器接受信号,传输给多个数据采集系统(Data acquisition system,DAS),每个DAS能独立采集完成一套图像,所以,MDCT的层厚是由准直器和探测器的开关共同决定的,层数是由DAS开通的数量决定的。

探测器和DAS是MDCT的关键器件,不同的公司多层探测器和DAS设计有明显差别。最早开发MDCT的四家公司所用多排探测器有明显差别。以4层CT为例,GE公司最早使用采用等宽型探测器,共16排,每个探测器宽1.25mm,探测器Z轴最大覆盖宽20mm,层面最薄为1.25mm,不同组合可获得的层厚有 $4 \times 1.25\text{mm}$ 、 $4 \times 2.5\text{mm}$ 、 $4 \times 3.75\text{mm}$ 、 $4 \times 5\text{mm}$ 、 $2 \times 7.5\text{mm}$ 和 $2 \times 10\text{mm}$ 。Toshiba公司采用混合等宽型探测器,共34排,中央4排宽0.5mm,这样最薄层面为0.5mm,其余30个探测器宽1mm,最大Z轴覆盖宽32mm,不同层厚组合有 $4 \times 0.5\text{mm}$ 、 $4 \times 1\text{mm}$ 、 $4 \times 2\text{mm}$ 、 $4 \times 4\text{mm}$ 和 $4 \times 8\text{mm}$ 。等宽型探测器的优点是,在不改变探测器基本设计的情况下,增加DAS即可采集8层、16层和32层,使以后的升级成本降低。缺点是探测器较多,探测器间的间隔多(间隔区无数据采集),X线利用率相对低,而且在螺距的设置上也不够灵活。Siemens和Marconi公司采用非等宽多排探测器,共4对8排探测器,从中央向两侧的探测器宽分别为1mm、1.5mm、2.5mm和5mm,用准直器遮盖中央探测器的一半,可以得到最薄层厚为0.5mm。层厚组合为 $2 \times 0.5\text{mm}$ 、 $4 \times 1\text{mm}$ 、 $4 \times 2.5\text{mm}$ 、 $4 \times 5\text{mm}$ 、 $2 \times 8\text{mm}$ 及 $2 \times 10\text{mm}$ 。非等宽型用较少的探测器,8排探测器之间只有7个间隔,X线利用率高,螺距的选择也较灵活,而且开发成本低,可使开发商在较短的时间和较低的成本推出性能较高的MDCT,但非等宽型探测器在机器升级时必须更换探测器,代价非常大。2000年上述四家公司先后开发出超过4层的MDCT,2001年先后开发出16层MDCT。2002年RSNA会议上,西门子公司展出了6层、10层、12层MDCT,2003年会议上,Philips公司展出了32层MDCT的样机,GE公司展出了64层MDCT的设计模型,2004年64层MDCT开始应用于临床。

对非对称排列的探测器阵列,还可以通过后(即探测器前)准直器对某个探测器的部分遮盖来完成层厚的选择。例如,遮盖一半1mm探测器可获得0.5mm的层厚。

对于16层MDCT设备的探测器,几家公司均采用了混合等宽型探测器的模式。Toshiba 16层的设计为中间 $0.5\text{mm} \times 16$ 列,两侧分别为 $1\text{mm} \times 12$ 列,共40列。Philips和Siemens公司16层的设计为中间 $0.75\text{mm} \times 16$ 列,两侧分别为 $1.5\text{mm} \times 4$ 列,共24列。根据上述设计,最薄的采集层厚分别为0.5mm(Toshiba)、0.625mm(GE)和0.75mm(Philips和Siemens)。最薄层厚将决定Z轴分辨力,而层厚则依赖于每列探测器宽度的设计。16层MDCT探测器设计有不同的侧重。选择尽可能薄的层厚者目的在于实现“真正”的各向同性体素采集( $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ),从而达到最佳的各类重组效果;采用略厚层的目的在于在保持基本的各向同性体素采集的基础上,适应16层采集中的锥形线束采集与重组方式及达到更好的曝光剂量效率(exposure dose efficiency)。如Siemens公司的材料显示,4层采集时的曝光剂量效率为70%,0.75mm层厚的16层采集时曝光剂量效率则为85%。

16层设计的采集时间一般为0.5s(全周扫描),最低可达0.42s,甚至更短扫描时间。以一个身高

1.60cm 的患者为例,以 2.5mm 层厚采集将可在 20~25s 完成全身的扫描,明显提高了扫描的单位时间覆盖率,对包括心脏在内的动态器官全部可以实现一次屏息采集。

目前各公司开发的 64 层 CT 机架结构和几何参数与 16 层 CT 相似,但 64 层 MDCT 有两种类型。一种类型采用一个 X 线球管和一个整体 64 排探测器加 64 通道 DAS,另一种类型采用两个球管和两个不同尺寸的探测器加 64 通道探测器。

64 层 MDCT 的采集数据量大,其 DAS 系统与探测器都重新设计。计算机系统的处理能力也要成倍提高。对于探测器,GE 公司采用了完全等宽的 64 排 0.625mm 宽的探测器,在人体扫描中心处等效宽度为 40mm。Siemens 采取了完全不同的技术方案,其探测器实际为 40 排结构,采用非等宽排列,中间 32 排 0.6mm 宽的探测器,两旁各 4 排 1.2mm 探测器,通过其特殊的 Z 轴飞焦点扫描技术,实现了单次旋转的扫描断层数量加倍,用中央 32 排探测器结合 Z 轴飞焦点技术和 64 通道 DAS 实现每圈 64 层断层图像采集。

西门子公司独辟蹊径在 2005 年 RSNA 会议上推出了双源螺旋 CT,改变了扫描层数或探测器的简单叠加,改变了目前常规使用的单个 X 线射线源和单个探测器来采集数据。双源 CT 通过两个 X 射线源和两套探测器来采集 CT 图像。主要具有以下优势。①扫描与采集速度快。理想的冠状动脉成像是心动周期的舒张期,心率越快,舒张期越短。传统的 CT 必须在心脏舒张期获得 180° 的投影才能完成图像重组,而通过双源 CT 扫描机,每组 X 射线源和探测器只需要转动 90° 就可以采集到图像重组所需数量数据,心脏成像可以在较快的心率情况下完成。②有可能减少患者接受的射线剂量,尤其在心脏检查中,时间分辨率提高,能够在一次心跳过程中完成心脏的采集,总的扫描时间大大缩短,就减少了患者接受的射线剂量。③不同组织的分辨率提高,双源 CT 通过使用两个不同能量的 X 射线源,即两个球管的电压值不同,一次扫描中采集到两组数据,提供在一次扫描中同时生成的同一解剖结构的不同能量信息,可用于分离解剖结构的不同能量数据信息和特殊细节。将在以下领域有所作为,如扫描过程中血管或骨骼的直接减影、肿瘤学在 CT 影像下的肿瘤分类、血管斑块的定性等。

## 二、多层螺旋 CT 的变化

1. X 线束的变化 单层螺旋 CT 通过准直器后的 X 线束为薄扇形,因为对 Z 轴方向只有一排探测器接收信号。多层螺旋 CT 的 X 线束由于面对 Z 轴方向是具有多个通道的多排探测器,改变为厚扇形(锥形)X 线束(cone beam),最厚可达 40mm, X 线束的宽度等于多个层厚之和,提高了 X 线利用率,但也给 MDCT 带来一个新问题, X 线束在探测器边缘的入射不垂直,会导致斜视(squint view)。MDCT 的锥形 X 线束,与纵向(Z 轴)夹角称锥角,锥角越大,产生斜视越明显,重组图像也就越不准确。在探测器宽度一定的情况下,缩小锥角的方法是增加探测器与焦点之间的距离(focus to detector distance, FDD), FDD 越大,所需 X 线输出功率也越大,因为 X 线衰减与距离的平方成正比,所以 FDD 增加,机器成本会明显增加。

2. 重组方法 MDCT 扫描数据点的分布也与单层 CT 不同,而且锥形 X 线束的斜射不校正也会产生伪影,所以 MDCT 的重组方式与单层有明显不同。单层螺旋 CT 重组时采用两点插值, MDCT 重组时必须采用多点插值,随锥形线束覆盖的探测器列数与宽度增加,螺旋扫描中信息采集的几何学误

差会进一步增大,必须采用一定的算法进行纠正。多层螺旋 CT 扫描主要采用的是优化采样扫描(optimized sampling scan)和滤过内插法(filter interpolation),增加了采集密度,提高了图像质量。各公司的MDCT图像重组方法各有特色,Toshiba公司的多层锥形束体层摄影方法(multi-slice cone-beam tomography,MUSCOT),最突出的优点是靶区数据经不同锥角的多点校正,锥角效应最小,而且在设置螺距方面灵活性也很好。相对16层MDCT,方法又有改进,如为了对应采集平面的位相而采用的倾斜成像平面采集算法;螺旋滤过伴交叉校准算法与非线性插入重组算法;一次采集多层的原始数据,然后作逐层二次重组算法等。这些新的重组算法目标在于减少锥形线束伪影;保证Z轴上的分辨力和保证采集速度。

3. 扫描机架 现MDCT机架旋转一圈最短仅为0.33s,其在高速旋转过程中产生的离心力达到了28G,因此,MDCT扫描架采用了比普通螺旋CT更坚固的固定设备,如铝合金框架等。螺旋装置中高压滑环消失,低压滑环被广泛使用。低压滑环的碳刷传递数据,有可能被光学或无线电数据传输取代。

驱动方式有马达驱动钢带和线性马达方式。两种方式均可以达到旋转 $360^\circ$ 时间短于0.4s。

4. X线球管 X线球管是影响多层螺旋CT使用效率的重要器件之一。X线的输出质和量与探测器的排数无关,但输出后与探测器配合将影响效率和图像质量。球管旋转一周可采集多层图像,意味着的X线使用效率提高了。假如一只球管的寿命是 $10 \times 10^4$ s,单层CT用1s的扫描方式可获得10万幅图像,而MDCT用4层方式扫描,可获得40万幅图像,即同样的X线球管可检查更多的患者。

各公司MDCT X线球管中,东芝公司Aquilion球管热容量为7.5MHu;飞利浦公司的MX8000球管热容量为6.5MHu;西门子公司的Somaton Volume Zoom球管热容量为5.3MHu。GE公司4、8、16层MDCT的球管热容量均和GE单层螺旋CT一样,均为6.3MHu,64层MDCT的X线球管增大到8MHu。

扫描速度加快,意味着X线球管旋转速度增加,球管所承受的离心力明显增加,对X线球管阳极产生压力剧增,必须采取措施加以保护。

由于64层MDCT的扫描速度更快,且使用薄层扫描的机会更多,所需要的X线剂量要比以往更大。GE公司64层MDCT上使用了新的热容量达8MHu的V8管球,最大800mA曝光。西门子公司在其64层CT上另辟蹊径,把阳极靶面做小做薄,其阳极靶直径只有120mm,热容量只有600kHu,但是其采用阳极靶背面直接与冷却油接触的方法提高散热率,其散热率达到5MHu/min,从其临床图像效果观察,可以满足高速薄层扫描的需要。

5. 计算机系统 与单层螺旋CT比,MDCT扫描速度更快,获得单位时间的数据量是单层螺旋CT的数倍,硬盘及存储器必须大大扩充,而且要求计算机能高速运行、并行处理。现64bit的中央处理器被广泛使用。磁光盘(MOD)存储成为MDCT首选的外存储介质,多数CT机同时配有CD-ROM或DVD-ROM,使外存储更加简便易行,而且成本低廉,正是由于这个原因,MDCT的硬盘一般并不大。



### 三、多层螺旋CT伴随的概念转换

1. 螺距(pitch) 螺距是螺旋CT出现以后提出的一个重要的扫描参数,即X线管螺旋一周期间扫描层厚与进床速度之比。由于单层、双层、4层、8层乃至16层螺旋CT的数据采集与重组算法各有不同,因此在不同发展阶段螺距被赋予了不同的概念。单层扫描的螺旋CT以1:1的螺距扫描时重组图像的质量最好,大于1:1时突出了时间分辨力,图像质量则有所衰减。

MDCT的螺距有两种不同的定义方法,一种是于球管旋转一周,进床距离除以锥形X束宽度;另外一种进床距离除以探测器排束准直器(detector-row beam collimation)宽,相当于扫描层厚。如球管旋转一周进床3mm,扫描4层,层厚1mm,X线束宽4mm。前一种方法,螺距是0.75:1,后一种方法是3:1。后一种方法在MDCT刚进入临床时应用较多,现在多倾向用前一种计算方法。国际电工协会(IEC)的规定,多层螺旋CT的螺距概念仍以单层层厚与进床速度之比为依据,即仍为0~2。

2. 扫描时相 是指在CT增强扫描中采集到的影像所对应的对比剂在兴趣结构区通过的期相。传统上是以动脉期、实质期和静脉期为标志。

由于MDCT采集的速度越来越快,即时间分辨力越来越高,采集到的图像可分辨的期相也相应更加细腻,可以分辨出动脉早期、动脉晚期等,客观上增加了对很多病变识别的能力,但同时也对操作者在扫描程序上的设定,即如何对具体病变设定具体的(而不总是常规的)扫描程序,提出了较高的要求。

今后,围绕显示病变的最佳时相,对设备的时间分辨力、操作者的理解和最佳应用以及如何进一步优化扫描时相的设置与操作等有依赖于设备的设计和操作人员双方的努力。

另外,全自动心电延迟算法扫描设备可在心电门控状态下准确推算出下一个R波到达的时间,启动扫描,实现前瞻性心电门控扫描。

### 四、“多排CT”与“多层CT”的概念

多层螺旋CT自问世以来,就有两种称呼,一种着眼于Z轴方向的多排探测器的排列,称之为Multi Detector-row CT(MDCT),中文称多排CT或多排螺旋CT。另一种着眼于轴位扫描,球管旋转一周能同时获得独立的多幅图像,称之为Multi Slice CT(MSCT),中文称之为多层CT或多层螺旋CT。自4层螺旋CT出现后,人们往往会在螺旋CT的前面加上数字来称呼。实际上,在称呼4层螺旋CT时,一般都应该称为4层而不是4排,这是因为4层CT表示扫描机架旋转一周可获得4层图像,而横断面图像的切面一般都称之为“层”。4层螺旋CT的探测器并不只4排,最少的也有8排,最多的达32排。有人认为对于轴位扫描,多层CT的称呼是比较正确的;对于螺旋扫描,多排CT的称呼是比较贴切的。根据《Radiology》杂志的讨论,对于文章中出现“排”和“层”作了一些规定,如果量词前面涉及数字时,则必须用“层”,如16层、64层等;如果量词前面不涉及数字,则“排”和“层”均可以。如,多层CT、多排CT,此时排的概念不涉及1次旋转所获得的层数。2004年,GE公司推出容积CT(VCT),因为用容

积数据来进行三维锥形反投影法重组和探测器阵列与数据采集系统同步,所以使得“排”和“层”的概念失去实际意义,VCT 是利用共轭采集技术提高数据采集,即 64 排 CT 可获得 128 层图像,使用“排”似乎更贴切一些。随 CT 技术的不断发展,已经远远超越了“排”和“层”的比较,被赋予了更多内涵,应该放弃这场“排”和“层”之争论的细枝末节,着重关注 CT 探测器覆盖范围和所拥有的高空间分辨率等重要指标。

## 五、与单层螺旋相比多层螺旋的优势

1. 降低扫描剂量 这是最初厂家介绍多层采集的螺旋 CT 设备时多会谈到的重要优点,如“因采集层面呈 4 的倍数增加,故射线剂量将减低”,而在临床工作中,由于多层采集时采集层厚很薄,每次扫描覆盖的范围通常比单层螺旋 CT 大,以及采集中的剂量效率因素等,故在很多情况下患者受剂量在扫描范围内会增加而不是降低。尽管和 4 层扫描设备相比,8 层设备的扫描剂量有所降低(约 30%),但 16 层设备的扫描剂量则明显增高。

在 16 层扫描设备上,采用了以下降低剂量的措施。

(1)智能滤过技术:根据扫描方案,采用智能方式自动设置 X 线滤过,当增加 8mm 铝当量的钛滤过片时,在不降低图像锐度的情况下可使 X 线剂量不仅不增加,反而降低达一半,且图像噪声也下降。

(2)自动电流调制:根据开始扫描后检测器反馈的信息,自动调节电流输出,以达最低剂量的技术,可降低 15% 左右的扫描剂量。

(3)自动电流设置:不再使用正位定位像,仅采用侧位定位像来决定身体不同部位的扫描电流值,包括设法降低敏感器官的剂量,可降低 25% 左右的扫描剂量。

(4)可变速扫描和期相选择性曝光技术:二者均是用于降低心脏扫描剂量的技术。可变速扫描技术是去年已经提出的,根据患者的心动周期,特别是心律不齐者,调节扫描速度的方式。期相选择性曝光则可在心电门控下仅选择舒张期曝光,收缩期不曝光的节省剂量的扫描方式,尤适于冠状动脉的观察。

2. 充分利用 X 线束 单层 CT 的 X 线束由准直器调节,X 线照射时所有探测器均处于激活状态,层厚范围外的探测器也会探测到部分散射线,使图像边缘模糊。而 MDCT 层厚范围外的探测器处于关闭状态,不会干扰图像构成,这是 MDCT 图像优于单层螺旋 CT 的一个原因,当然这种差别肉眼是很难分辨的。

3. 降低 X 线球管损耗 多层螺旋 CT 球管发射同等量的 X 射线,可以获得  $n$  层图像,使得 X 线的利用率提高到单层扫描的  $n$  倍,降低了 X 线管的热量积累,减少或根本不需要散热等待,延长了球管的使用寿命。

4. 扫描覆盖范围更长 由于探测器侧具有多个数据采集通道,使用同样的层厚、同样的扫描时间、相当于同样螺距时,覆盖范围是单层的数倍。

5. 扫描时间更短 由于取消了扫描时间间隔,单层螺旋扫描已经使检查时间缩短到原来的 1/10。多层螺旋则使扫描时间又进一步缩短。在保持原来的层厚,覆盖原来一样的长度,相当于同样螺距的

条件下,扫描时间仅为单层螺旋的几分之一。如果采用0.5s扫描周期,4层螺旋CT扫描时间会再缩短一半,为单层的1/8。

6.扫描层厚更薄 由于具有多个数据采集通道,可以在一次屏息扫描中,同样的扫描时间,保持原来覆盖长度的条件下,采用更薄的层厚完成检查,大大提高了Z轴方向的空间分辨率。由于能采用亚毫米层厚,Z轴方向的空间分辨率已达到与横断面图像空间分辨率几乎一致的水平,进一步提高了MPR和三维图像的质量,使其与横断图像质量接近,称为多向同性。

## 六、应用的扩展

1.普查的应用 现已证实,胸部平片正位观察时,将有20%~25%的肺野被遮蔽;侧位观察时会有15%~20%的肺野被遮蔽。故用平片作肺癌的普查尽管是长期以来的唯一可行的放射学方法,但多层螺旋CT(4~16层)已可实现低剂量扫描,有取代常规X线体检的可能。国内、外的研究均已证实,肺部可用20~30mA的条件获得与传统的高电流条件相似质量的信息,且可根据需要作横断、冠状、矢状及其他需要的层面的薄层重组消除了平片检查中的盲区。在美国和一些发达国家,低剂量螺旋CT的肺癌普查已被医疗保险机构认可,从早期发现和防止漏诊的总体效果看,更加符合卫生经济学的原则(图7-1)。

借鉴于肺癌CT普查的情况,低剂量普查已经推广到结肠癌的筛选领域,除了可应用透明化与仿真导航内镜技术观察肠腔外,还可在可疑的节段结合CT使管腔内、外(含管壁)结构显示。

2. CT灌注技术的扩展 常规的CT增强检查显示的是肿瘤血管结构的特征(在脑内还有血脑屏障的完整性),这对于准确判断肿瘤的性质和复发与否是不够的。CT灌注技术还可通过显示的各种参数(而不仅是形态学信息)更详细地反映肿瘤实质的结构特征,是提高肿瘤诊断准确性与特异性的一个新的方法(图7-2)。

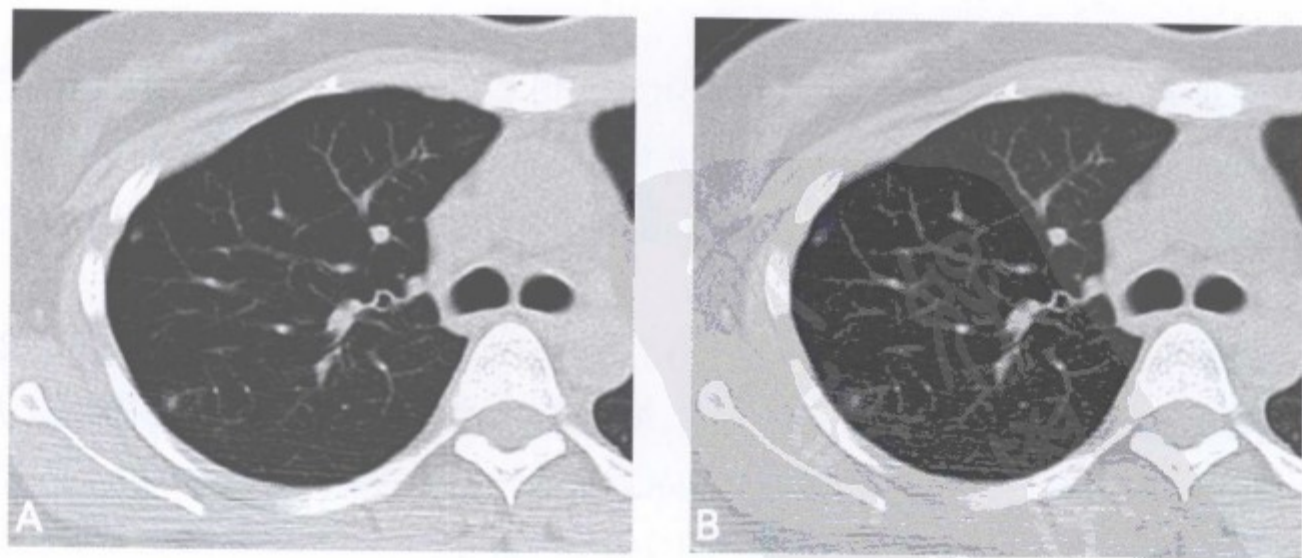


图7-1 低剂量、薄层肺部CT扫描

低剂量、薄层肺CT扫描有利于普查及发现病灶。A.常规剂量150mA胸部检查;B.低剂量20mA胸部CT检查

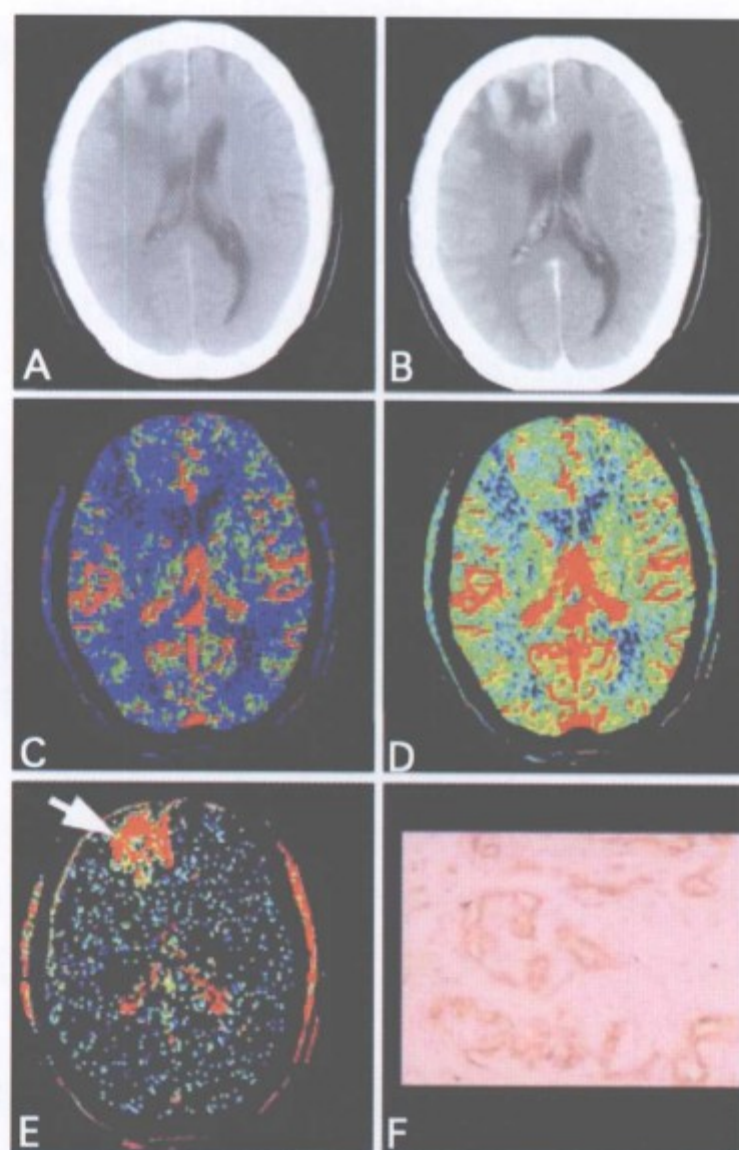


图 7-2 右侧额叶胶质母细胞瘤 (IV级) CT 灌注检查

A. CT 平扫:肿瘤中央可见坏死; B. CT 增强扫描:肿瘤实质部分明显强化; C. CT 灌注 CBF 图:肿瘤 CBF 高于脑白质; D. CT 灌注 CBV 图:肿瘤 CBV 高于脑白质,肿瘤呈高灌注; E. CT 灌注 PS 图:肿瘤 PS 明显增高 (白箭头); F. CD34 免疫组化染色 (200 ×):肿瘤微血管非常丰富,走行迂曲

3. 心脏的 CT 检查 目前已推出的 16/64 层 MDCT 采用节段技术用于心脏扫描的时间已分别可达到 105ms、85ms 和 65ms, DSCT 的绝对时间分辨力达到 83ms, 已经接近或优于电子束 CT 的扫描时间(50ms 或 100ms)。因而,对冠状动脉和心腔、瓣膜等结构的显示已经接近或达到了电子束 CT 的水平。

几年前模仿电子束 CT 实施的冠状动脉钙化积分方法已经在累积了大量资料的基础上可实现智能化分析,并自动提示给临床医生下一步处理的方案。现已证实,尚未完全钙化的粥样硬化斑块是更危险的因素。目前,多层螺旋 CT 经重组处理后是显示冠状动脉斑块的较好方法。8 层、16 层、64 层 MDCT 已可分辨 0.16mm 大小的软斑块。由于时间分辨力的提高,多层螺旋 CT 还可动态显示人工心脏瓣膜的开、闭及其功能状况。已经市售的多层螺旋 CT 设备的心脏功能性检查方法——心肌灌注与心肌应力性灌注、心肌血流贮备测定等均有进一步的发展。此外,下一步将实现解剖学的和相位的心脏影像重组;自动的批量的多相位重组;4D 资料的 2D 浏览;自动轮廓描记;电影显示;容量/射血分数

显示;室壁运动与厚度显示;牛眼曲线(bull eye plot)显示功能等。

4. CT血管成像 CTA已显示可实现血管腔的形态测量;对于血管内支架置入前、后的检查可实现二维与三维分析,后者更能真实地显示血管内腔及支架置入后的形态学信息。肢体的大范围的血管显示,特别是末梢的细微血管的显示已是CTA的一个越来越显优势的无创性技术。

5. 表面渗透成像 系一种新的信息显示技术。常规的CT增强检查显示的是组织或病变的血管结构内对比剂的流入与廓清信息。表面渗透成像采用延迟扫描的方法,对照不同时相的影像,反映对比剂在组织或病变的表面渗出状况。

6. CT泌尿系统成像 利用增强后定位片采集方式,于延时的定位片上作出相当于常规泌尿系统造影的显示。也有研究者采用分段注射对比剂,分别显示肾实质动态增强信息和集合系统结构。

## 七、多层螺旋CT带来的诊断模式转变

1. 显示方式的转变 多层螺旋CT每次检查可以提供数百帧甚至更多的横断面影像,如此大量的图像信息若依常规方式逐层解读几乎是不可能的,如何浏览和阅读成了问题。因而各种计算机重组的影像(二维或三维的)已成为下一步主要的显示方式。各种重组技术已经发展了若干年,目前已可达到由手工操作(人工设置各种重组参数)发展为大部分可自动显示;由延时显示发展为实时或近于实时显示;最新的重组技术则由完成采集后的回顾性显示发展到和采集同步的前瞻性显示,如CTA、MPR显示等。

2. 信息的融合 不同类型信息和(或)不同厂家设备图像的融合显示是数年前建立DICOM标准的目的之一。目前,同一生产厂家生产的较新型号的影像学设备的形态学信息大多可以实现融合显示,但较为有用的是形态学与功能性信息的融合显示。近几年,主要是体现在MRI与fMRI影像的融合方面。CT信息以往主要是形态学的,现在也陆续实现了与核医学的功能性信息融合,如PETCT。

3. 工作流程的改善 面对更快的采集速度和激增的数据量,多数生产厂家在不同类型产品和(或)同一类型、不同型号产品应用了统一的操作界面,从而易化培训与操作。

4. 计算机辅助检测(computer aided determination, CAD) 数年前由R2公司率先提出并着手开发的CAD系统如今面对激增的图像数据量已变得极为实际和有用,且有很多厂家和公司在积极开发。CAD系统是在收集大量同病种、同部位的影像学信息的基础上,基于概率对新的病例做出诊断导向以及一些自动处理,如自动分段处理、自动大小测量、时间减影等。目前比较成熟的是乳腺疾病的诊断系统,正在积极开发的还有肺部疾病的诊断系统,其他系统疾病的诊断系统也均在开发。RSNA的学术报告也显示,CAD系统的诊断结果相当或略高于有经验的专家水平。可以预期,随着多层螺旋CT带来的大量信息解读困难的问题,CAD系统会日趋成熟,并成为随设备配置的软件之一。

## 八、展 望

CT 设备实现 64 层采集之后,下一阶段的发展趋势有四个主要的动态。

### (一)超宽检测器的多层螺旋CT

Toshiba 公司已经研制了 320 列的超宽检测器。目前 16 层采集的检测器仅 40 列,64 层的探测器 64 列,最宽 40mm,则 320 列检测器的扫描设备采集的必将是大规模的容积性信息(目前为 0.5mm 宽/列,覆盖范围为 160mm),突破了以往的从 16 层-32 层-64 层采集逐步升级模式的推测。该研制方向的优点是可在现有的 16/64 层技术上实现改进,可较容易解决硬件设计及采集/重组方面的理论问题;可能的不利是检测器的大小将会限制图像空间分辨力的进一步提高,且检测器间的拼接缝隙会降低 X 线的检测效率。

事实上,4 层-8 层-16 层采集的螺旋 CT 实现采集层面的升级,如 4 层升级为 8 层或 16 层,要修改硬件和软件以及重组理论,且都极为困难。因此,由 4 层采集直接改为 8 层采集的设备是不可能的,生产厂家已承诺的“升级”将需要更换包括扫描架在内的一批硬件和软件。因此,客户在考虑选型时更应着眼于实际需要,而不应对不断的“升级”抱有不现实的期望。

焦点话题之一就是多层螺旋 CT,多少层才能满足临床需要?大多数学者认为,对于冠状动脉检查,64 层螺旋 CT 效果会更好,除此之外,16 层螺旋 CT 足以满足临床诊断的基本需求。

### (二)平板检测器 CT

GE 公司推出了该公司研制的平板检测器 CT 的初步临床试用结果,由于产品尚未定型,相应的扫描技术与参数尚不能明确,但显示的图像与功能是相当诱人的。该技术实际上已提出了几年,但要变为产品在技术上需解决的问题尚较多。该研究方向的优点是可提供高空间分辨力的、可实现各种高级重组功能的容积性信息,且采集速度和方式会发生革命性变化;存在的困难是平板检测器自身的技术问题、采集/重组模式的更新和 X 线剂量高等。此外,设备的成本(如大容量计算机、平板检测器自身的成本等)也需降低到市场可接受的水平。

MDCT 的技术还在发展中,扫描层数也许还会进一步增加,但值得注意的是,扫描层数增加,扫描速度不一定会增加,因为容积覆盖率是受 Z 轴方向探测器宽度的影响,而探测器 Z 轴方向增宽,X 线束的锥角就会越大,因此产生伪影的机会也就越多。扫描层数增加对计算机重组速度要求会更高,DAS 系统的增加也会使机器的成本增大。扫描时间也许会缩短到 0.3ms 左右,但进一步缩短扫描时间是非常困难的,因为旋转时,球管将要承受非常巨大的离心力。

### (三)多源 CT

西门子公司推出的双源 CT 在冠状动脉扫描成像方面显示出了时间分辨率优势,同时,具有不同能量射线的产生,有可能对一些组织成分区分。今后,是否使用更多的球管?有科研机构在研究 3 个球管,甚至 4 个球管,但情况如何尚难以预测。

#### (四)能谱CT

双源CT或一个球管的双能CT的目的都一样,希望获得不同能量的X线衰减后,能够区分不同的组织成分。

(黄 飏 梁长虹)

### 参 考 文 献

- [1] McCollough CH,Zink FE.Performance evaluation of a multi-slice CT system.Med Phys,1999,26,2223-2230
- [2] Stanford W.Imaging of coronary artery calcification-its importance in assessing atherosclerotic disease. Radiol Clin North Am,1999,37:257-263
- [3] Morgan Hughes GJ,Marshall,AJ Roobottom CA.multislice computed tomography cardiac imaging: current status.Clin Radiol,2002,57:872-881
- [4] Gruden JF,Ouanounou S,Tigges S,et al.Incremental benefit of maximum-intensity- projection images on observer detection of small pulmonary nodules revealed by multidetector CT.AJR,2002,179:149-155
- [5] Kopp AF,Heuschmid M,Claussen CD.Multidetector helical CT of the liver for tumor detection and characterization.Eur Radiol,2002,12:745-751
- [6] Basilio R,Filippone A,Ricciardi M,et al.Impact of slice thickness on the detection of liver lesions with multi-slice CT.Radiology,2000,271(P):368-373
- [7] Wong K,Paulson EK,Nelson RC.Breath-hold three dimensional CT of the liver with multi-detector row helical CT.Radiology,2001,219:75-80
- [8] Brancatelli G,katyal S,Federle MP,et al.Three-dimensional multislice helical computed tomography with the volume rendering technique in the detection of vascular complications after liver transplantation. Transplantation,2002,73:237-243
- [9] Sahani D,Saini S,Pena C,et al.Using multidetector CT for preoperative vascular evaluation of liver neoplasms: technique and results.AJR,2002,179:53-64
- [10] Tack D,Sourtzis S,Delpierre I,et al.Low-dose unenhanced multidetector CT of patients with suspected renal colic.AJR,2003,180:305-312
- [11] Mallouhi A,Rieger M,Czermak B,et al.Volume-rendered multidetector CT angiography:noninvasive follow-up of patients treated with renal artery stents.AJR,2003,180,233-240
- [12] Ghaye B,Szapiro D,Delannoy V,et al.How far does multidetector CT allow the analysis of peripheral pulmonary arteries? A comparative study with thin collimation single detector CT.Radiology,2000,217 (P):508-514

- [13] Rogalla P, Meiri N, Ruckert JC, et al. Colonography using multislice CT. *Eur J Radiol*, 2000, 36:81-90
- [14] Hara AK, Johnson D, MacLarty RL, et al. CT colonography :single versus multi-detector row imaging. *Radiology*, 2001, 219:461-472
- [15] Gluecker T, Dorta G, Keller W, et al. Performance of multidetector computed tomography colonography compared with conventional colonoscopy. *Gut*, 2002, 51:207-215





# 电子束 CT 及其临床应用

电子束CT(electron beam computed tomography, EBCT)是一种没有球管和探测器机械运动的CT。其原理是使用电子枪及环绕患者安置的静止钨靶环和探测器环取代常规CT的X线球管和探测器旋转机架,应用电子束偏转轰击钨靶环产生X线束,透过人体后获得X线衰减值得到CT图像。

EBCT因无机械运动部件,扫描速度极快,动态分辨率明显提高,可有效消除心脏冲动的影响,获清晰锐利的心血管图像,并实现CT电影成像,扩展了心血管疾病CT检查的适应范围和诊断能力。电子束被称为第五代CT,目前仅美国GE公司生产,直接采像速度快达33ms;采用前置门控技术使扫描采集与心跳同步,使心脏门控筛选和常规应用成为现实;EBCT主要应用于心血管疾病的诊断,也适用于全身常规临床检查,特别是急诊和儿童的CT检查。

和常规多螺旋CT相比,EBCT的主要特点在于以下几个方面。①基于心脏扫描的设计,保证了心脏检查的全功能应用;②更大功率的电子枪和多排探测器,保证了高清晰的图像质量;③无球管等运行耗材,大大节省了耗材费用。

## 第一节 EBCT主要构造和扫描方式

### 一、EBCT 结构

EBCT设备主要由电子枪、扫描架、检查床、控制台及计算机系统五大部分组成(图8-1)。EBCT与常规CT的主要区别在X线源,EBCT由一个二极管型电子枪与圆锥状真空腔体对接。在扫描机架下部的真空腔内有五个平行排列的 $210^\circ$ 固定靶环,其中4个为工作靶(钨靶)。机架上部为两组平行排列的弧形探测器环,分别包含432和864个检测器。可同时采集双层面数据,传送至计算机进行图像重组。电子枪在阳极电场作用下,发射电子束流,即高能量电子脉冲。聚焦线圈使电子

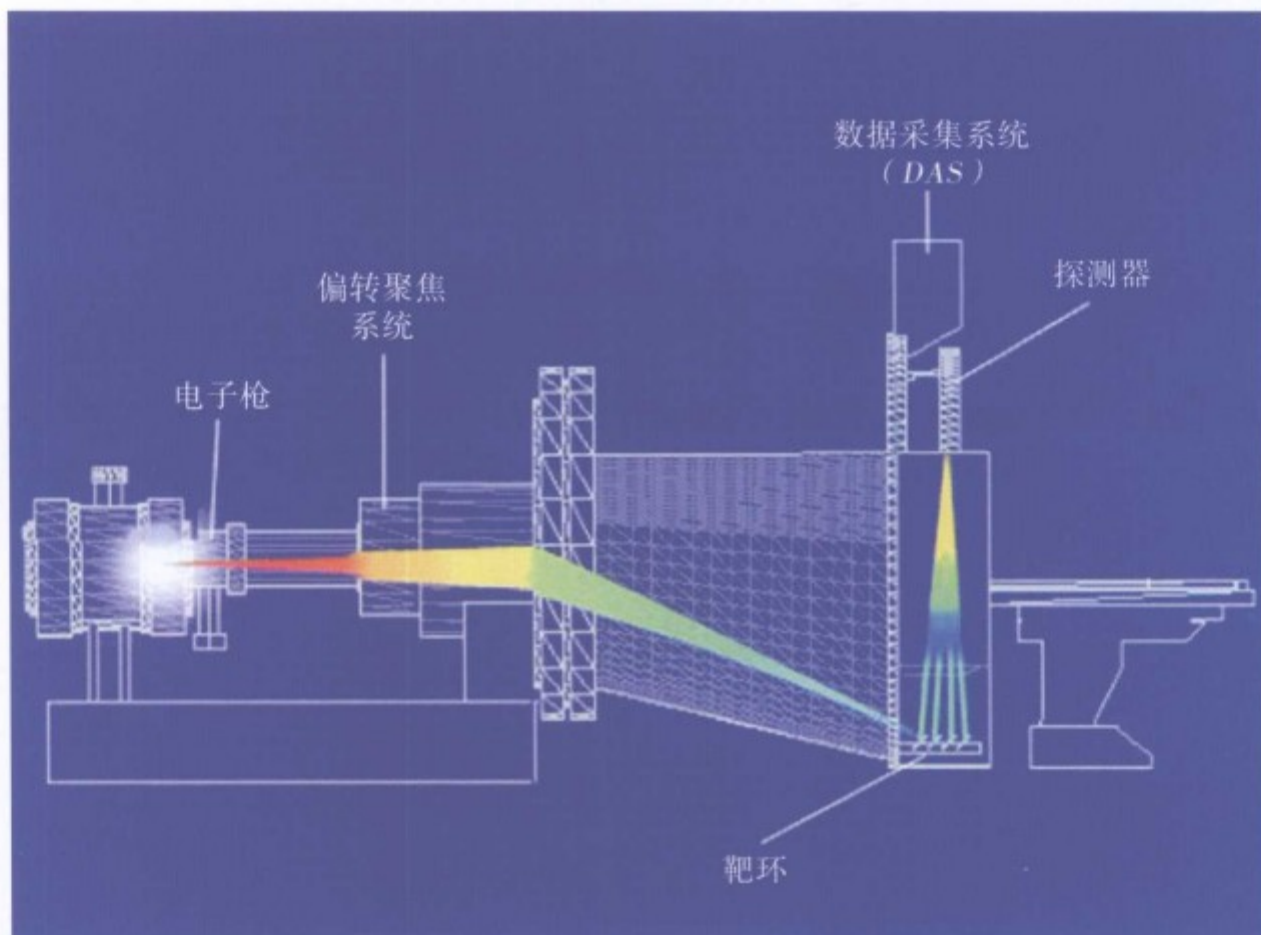


图 8-1 EBCT 原理图

电子枪发出电子，经过偏转聚焦线圈系统聚焦同时产生一定角度的旋转，电子束轰击作为阳极的靶环产生 X 线，X 线通过人体后被探测器接受，转换成电信号，经过处理生成图像

束聚焦成毫米级焦点，偏转线圈的磁场变化控制电子束旋转扫过静止的钨靶环。电子束在靶环上做匀速扫描，轰击靶环产生旋转 X 线束。EBCT 技术是从根本上摆脱了机械扫描而采用高能电子束激发 X 射线的一整套新技术。EBCT 专门针对动态的心脏而设计，采用心电 R 波触发扫描，精确标示图像心电时相。33ms 扫描得到的心脏电影切面图像和心血管及房室血流图是人体心脏运动及供血情况最为真实的动态影像。EBCT 图像质量的另一个保证是前置心电门控，它是根据患者的心电图 (ECG)，在预选的心电时相 (R-R 间期的百分比) 触发扫描。EBCT 可在 R-R 间期的任意时相进行门控，可以准确地捕获心脏运动最慢的时刻，最大限度地提高了心血管成像的可重复性，不需考虑患者心律失常的问题，由于是 R 波触发扫描，EBCT 可以精确采集所需的时相，其和心脏收缩期相对应，为医生提供准确的图像，也为后处理计算心功能提供了准确原始图像。

## 二、EBCT 基本扫描方式

按电子束扫描速度、不同靶环和探测器环组合，EBCT 设有两种基本扫描方式，即单层扫描方式 (single slice mode, SSM) 和多层扫描方式 (multi-slice mode, MSM)。

1. 单层扫描方式 (SSM) 扫描速度为 9/s，使用单靶和单探测器环，每次扫描可获一幅断层图像 (33ms)，扫描层厚 1.5~10mm。

2. 多层扫描方式(MSM) 扫描速度为17/s,使用多靶组合扫描和双探测器环,可同时产生(50ms)两幅紧密邻接的7mm断层图像,每秒可获34幅断层图像。

### 三、EBCT 扫描触发方式

触发(trigger)指EBCT扫描启动方式,包括手动、动态、定时和心电触发四种。

心电触发利用受检者的心电信号,按预选心电时相(R-R间期的百分比)和预定R波间隔数触发扫描,是心血管成像最常用触发方式,如设定30% R-R间期、80%R-R间期分别为最大收缩期和最大舒张期。可靠的ECG触发是获得准确、高质量的心血管系统扫描图像的基本保证,也是EBCT特点之一。

### 四、EBCT 的扫描检查

根据临床需要,EBCT的两种基本扫描方式均可进行多种方式扫描检查。

#### (一)单层扫描方式

SSM可行定位扫描、步进容积扫描、连续容积扫描、血流检查及电影检查。

1. 定位扫描(preview scan) 为一种特殊的电子束扫描方式。电子束从E靶开始扫描,行至靶环正下方(受检者背部正中),跃至C靶产生垂直X线束,探测器采集受检者正位影像数据;电子束在C靶停留瞬间又跃至E靶继续运动,至靶环终端(受检者腋中线)再至C靶产生水平X线束,获得侧位影像数据。电子束的扫描运动与床面移动同步进行,获得患者的正、侧位定位像,用以确定轴位扫描的范围。

2. 步进容积扫描(step volume scan,SVS) SVS提供不同层厚(1.5mm、3mm、6mm和10mm)的容积扫描,电子束按预设参数扫描C靶,每个床位产生一幅截面图像,检查床移至新床位,再次触发扫描,直至完成全部容积扫描。层面曝光时间0.1~2.0s。

3. 连续容积扫描(continuous volume scan,CVS) CVS是EBCT的连续数据采集方式。电子束连续扫描靶环,同时检查床面连续移动。每幅断层图像可由单层或叠层扫描重组而成,一次可扫描140层,最大覆盖容积63cm。

CVS序列的胸、腹部扫描仅需十几秒。主动脉系统成像,16s即可完成图像采集(140层),缩短了对比剂峰值浓度维持时间,减少了对比剂用量,提高了增强效果,并可排除运动伪影的干扰,获得高信噪比的血管造影图像,提高影像诊断质量。

4. 单层血流检查(single slice flow study,SSFS) 一经触发,电子束按预定的触发间隔,在固定床位按预设次数重复扫描C靶,获得某一层面不同时间的多幅图像,记录对比剂流入、流出该组织区域的动态过程,用以研究该层血流的动态情况。

5. 单层电影检查(single slice movie study,SSMS) 一经触发,电子束按9/s速度,在固定床位按预设次数重复扫描C靶,获得某一层面一定时间段内连续运动的图像,用以研究器官的运动状态和功能。

## (二) 多层扫描方式

MSM 可做定位扫描、容积扫描、血流检查、平均血流检查及电影检查。

1. 定位扫描(localization scan) 电子束依次扫描 4 个钨靶 1 次, 获 8 帧邻接的断层图像, 用于确定多层扫描范围。

2. 容积扫描 使用单靶和双探测器环。每次触发, 电子束扫描 C 靶  $n$  次, 然后检查床移至新床位, 再触发下一扫描, 直至预定扫描序列完成。每个床位产生两幅邻接的断层图像。 $n$  次扫描所得原始数据经累加平均处理可改善图像的信噪比, 提高了对比分辨力。

3. 血流检查 每次触发, 电子束依次扫描预选的靶环组合 1 次, 按预定的触发间隔和预设的扫描次数完成扫描, 用于观察血流流经某一段截面的过程。最多可用 4 个靶数, 每靶最多扫描 40 次。一个检查序列最多可获 160 幅图像, 所选靶数越多, 每靶扫描次数将越少, 即每层图像减少, 会影响层面的动态观察。如选用心电触发, 则图像均采集于相同的心动时相。

4. 平均血流检查 每次触发, 电子束扫描某一靶环  $n$  次, 按预定的触发间隔和预设的触发数完成扫描。 $n$  次扫描所得原始数据累加, 可改善图像信噪比。

5. 电影检查 一种实时动态扫描方式。每次触发, 电子束以 17/s 速度完成某一靶的预定扫描次数, 下次触发依次扫描下一靶, 重复至预定靶环完成全部扫描, 可动态观察脏器的运动过程, 研究其功能。

每靶最多可扫描 40 次, 最多允许扫描 6 靶。一个检查序列最多可获 160 幅图像, 如选择层面过多(即靶数过多), 每层的帧数将减少, 影响对运动周期全过程的观察。

(牟 峰 茹光腾 郑君惠)

## 第二节 EBCT 在心血管诊断中的应用

因 EBCT 扫描速度非常快, 可基本消除心脏冲动及流动的血液在成像过程中产生的运动伪影, 主要应用于心血管病的诊断及研究工作。

### 一、EBCT 各项检查方式的临床应用价值

EBCT 主要检查方式有容积扫描检查、电影扫描检查及血流扫描检查。

容积扫描可提供感兴趣区的三维信息, 显示解剖结构的形态改变和组织密度变化。扫描方式分平扫和增强扫描两种。平扫是 CT 基本检查方法, 利用骨骼、软组织、液体、脂肪、空气等的良好天然对比, 可对许多生理和病理改变做出诊断, 也是评价冠状动脉钙化的手段。增强检查通过注入对比剂增加组织间的密度差异, 显示心腔和血管腔内壁形态, 帮助判断管腔宽度、非钙化斑块等。

电影扫描检查可评价心脏功能, 如心室容积(舒张末 / 收缩末)、心排血量、容积射血分数、

心肌重量,心室壁增厚率等。

血流扫描检查可评价器官、组织(如心肌)血流灌注、异常分流(如先心病)等。

由于扫描速度快,对于外伤患者不能配合者和小儿患者可以进行快速扫描获得诊断信息。

## 二、EBCT 在各种心血管疾病诊断中的应用评价

EBCT 可提供高分辨率的心血管系统图像,在先心病、冠心病、瓣膜病、心肌病、心包疾患心脏肿瘤、先天性心脏病、肺动脉血栓栓塞及大血管疾病的诊断中有重要作用。

### (一)EBCT 在先心病诊断中的应用

先天性心脏病是心血管影像学诊断的一个重要领域。心血管造影一直是先心病诊断的“金标准”,但有创性为其限度,且心血管造影受体位的影响,不能避免解剖结构的重叠。

EBCT较高的时间分辨率,使心脏检查摆脱了心脏冲动的束缚;具有相对较高的密度分辨率,能提供较高的图像质量。众所周知,小儿的心率较快,就给影像学的诊断带来了更大的挑战,EBCT的高时间分辨率的优势在此得到了充分的发挥。研究表明,EBCT对先天性心脏病诊断的准确率达96%,超声心动图诊断的准确率为87%,二者有非常显著的差异。另有研究显示,EBCT对闭锁肺动脉检出率较常规心血管造影提高30%。EBCT可以清晰客观地显示先心病的解剖结构,特别对复杂畸形的节段分析有重要价值。增强单层容积扫描可清楚显示心脏解剖以及大血管、各房室、房室瓣的关系,相应的肺动脉、大气管结构,内脏与心房的关系,有利于复杂先天性心脏病的节段分析,多层电影检查可动态观察心房、心室、大血管之间的关系及心脏功能。多层血流检查可了解心内或心脏与大血管间的分流。

### (二)EBCT 在冠心病诊断中的应用

1. 冠心病预测 单层平扫序列可无创性地检出冠状动脉钙化病变,预测冠心病。

冠状动脉钙化的诊断标准:CT值超过130Hu,面积 $\geq 1\text{mm}^2$ 。为了量化诊断,钙化系数(相对值)按CT值分为4级。①系数1:CT值为130~190Hu;②系数2:CT值为200~299Hu;③系数3:CT值为300~399Hu;④系数4:CT值 $\geq 400\text{Hu}$ 。钙化面积(绝对值)与钙化系数之积为钙化分值。

单层平扫与冠状动脉造影的对照研究证明,冠状动脉钙化的定量分析对预测冠心病的敏感性为75%~85%,特异性为75%~90%,准确性为75%~85%。

当前冠心病已成为威胁人类健康的重要疾病,受到广泛重视,特别是在西方国家。美国EBCT大部分用于冠心病的早期防治,尤其对无症状、中青年组冠状动脉钙化的发现更有其重要意义。在我国,对冠心病的防治存在一个误区,即只有当患者有了症状(如胸痛)、心电图异常等,才注意心脏是否出了问题。而对于有高血脂、高血糖、高血压、高体重、长期吸烟、过度精神紧张、阳性家族史以及缺乏必要的体育锻炼等冠心病高危人群,未给予充分注意,未能深入调查这些因素是否对人体已构成了某种的损害,因而也就不能早期发现冠状动脉是否出现动脉粥样硬化病变,而进行早期干预。由于缺乏必要的诊断手段,缺乏新技术的知识,医生们仍以心电图、运动试验、核素等进行评价。但是上述检

查一旦得到阳性结果,患者已到达冠心病事件(心肌梗死等的发作)的边缘。因此,使用什么手段能做出早期诊断,是医生和患者最为关注的问题。

病理学研究证明,冠状动脉钙化总是发生在粥样硬化斑块上,因此,钙化是冠状动脉粥样硬化的标志,一旦查出,即证明动脉粥样硬化已经侵犯冠状动脉,无创性检查中,EBCT是检出冠状动脉粥样硬化最为敏感的方法,在冠状动脉仅有20%狭窄时即可检出。这就为患者赢得了时间,可进行早防早治,抑制和延缓冠心病的发展,从而,避免冠心病事件的发生。从这一点讲,可以明了为什么EBCT受到西方国家医生和患者的重视和接受。因此,可以预测它会有较好的推广应用前景。

## 2. 冠心病定性与定量诊断

(1)单层心电触发增强扫描可显示心肌梗死室壁变薄;对诊断机械并发症——室间隔穿孔、假性室壁瘤、乳头肌断裂及腔内血栓有重要价值。

(2)多层电影检查可评价心室运动功能及心功能状态,对检出腔内血栓有重要价值。

(3)多层血流检查可评价心肌血流灌注、冠状动脉及搭桥血管的血流灌注情况。

## 3. 冠状动脉及搭桥血管三维重组及对治疗后的评价

(1)单层心电触发增强扫描(薄层)可获得冠状动脉及搭桥血管影像,经三维重组可直接观察冠状动脉及搭桥血管全貌。如结合搭桥血管血流灌注,可实现冠状动脉搭桥术后无创性随访。

(2)冠状动脉三维重组为治疗起到筛选作用。

## (三)EBCT 在瓣膜病诊断中的应用

(1)单层平扫可发现瓣膜钙化、左房血栓及房壁钙化。

(2)增强单层容积扫描二尖瓣、主动脉瓣的增厚、狭窄。

(3)多层电影检查可显示二尖瓣、主动脉瓣的增厚、活动度、钙化。长轴电影有利于观察二尖瓣和主动脉瓣。短轴电影有利于观察主动脉瓣,并可测定心功能,可用于人工瓣膜植入术后复查。

## (四)EBCT 在心肌病诊断中的应用

(1)单层平扫可观察冠状动脉有无钙化,有利于鉴别诊断。

(2)增强单层容积扫描可观察各心室壁的肥厚、变薄、形态及心腔大小。

(3)多层电影检查,长轴位,短轴位有利于观察各心室壁的肥厚、变薄和形态及心腔大小,测定心肌收缩力和增厚率及心功能,对心肌病分型诊断有重要意义。

## (五)EBCT 在心包疾病诊断中的应用

(1)单层平扫可清楚地显示心包结构,诊断心包积液、钙化。

(2)增强单层容积扫描可观察各心室壁、心腔大小及心包状态、多层电影检查观察心腔形态、心室舒张与收缩功能,用于鉴别心包与心肌疾患。

### (六)EBCT 心脏肿瘤诊断中的应用

- (1)增强单层容积扫描可作肿瘤定位,显示肿瘤与整体心腔的关系,有利于制定手术方案。
- (2)多层电影检查可显示肿瘤在心腔内活动情况及与瓣膜口的关系,以指导是否需要急诊手术。

### (七)EBCT 在肺栓塞诊断中的应用

(1)增强单层容积扫描可清楚显示肺血管和肺实质,因曝光时间短,无呼吸心跳引起的运动伪影,可获高空间分辨率影像,能观察到第4级肺动脉。对中心型、外围型肺动脉栓塞的检出率明显优于MRI和放射性核素检查。

- (2)多层电影检查可用于评价右心室功能。

### (八)EBCT 在大血管疾病诊断中的应用

大血管疾病的诊断主要采用EBCT造影(EBCTA),EBCTA的技术基础是有效的对比剂增强、连续容积数据采集和计算机三维影像重组。

(1)ECG触发的单层SVS(增强)用于胸部血管检查。为保证整个扫描范围内血管的Z轴连续性,可采用叠层扫描技术。

(2)单层CVS(增强)用于腹部血管和外周血管检查。因检查时间短,尤其适用于老人、儿童、创伤性急症检查。

(3)多层或单层电影和血流检查可提供功能性诊断信息,观察动脉夹层内膜片、真假腔血流。SSM空间分辨率高,但要求定位准确;MSM覆盖容积大,但空间分辨率较低。

由于EBCT容积扫描速度快,空间和时间分辨率高,大大提高了影像质量,是目前CT血管造影的最佳成像方式之一。

EBCTA的主要优点有以下几个方面。①成像速度快,无运动伪影,血管结构清晰;②可获得血管结构三维信息,原始数据可用重叠法重组,不遗漏解剖结构,保证整个扫描范围内血管图像的连续性;③可进行三维重组,指导手术;④对比剂用量少,可用较高流率,提高信噪比;可增加同日注药次数(检查部位);⑤检查时间短,不需特殊配合,适合老人、小儿及外伤急症患者,目前已取代常规血管造影;⑥操作简单、安全系数高;⑦新软件具有消除血管内对比剂影像的功能,仅显示血管壁的结构。

### (九)EBCT 肺部低剂量扫描的应用

EBCT扫描速度快,对抗运动伪影的能力较强。由于无呼吸、心跳引起的运动伪影,可得到高分辨率影像,能观察到第4级肺动脉及对较小结节的检出率高。结合肺结节分析软件,可以将结节与周围肺组织有效分离,自动测量及比较两次检查结节的体积变化,提供结节增长率及其倍增时间。曝光时间短(0.05s),辐射剂量低,其体部图像的CT剂量指数(CTDI<sub>w</sub>)值为3.5mGy,是传统CT的放射剂量的1/5~1/3,对患者的损伤明显降低,故适于人群的临床普查筛选。

### (十)EBCT 全身范围全功能应用

EBCT的图像静态空间分辨率高达14LP/cm,在全身范围也得到广泛应用,如常规头颅和体部扫描,增强扫描等。由于其前门控触发的扫描模式,使其射线剂量比多层螺旋CT低90%以上,大大降低对患者的辐射损伤,可进行“低剂量CT体检方案”,即使用EBCT对40岁体检者进行肺部、冠状动脉和消化道的低剂量普查扫描,以检出心、肺、肠等重要脏器病变,满足日益增长的人民群众对健康的需求。

(张水兴 车 峰 张金城)

### 参 考 文 献

- [1] Escolar E, Weigold G, Fuisz A, et al. New imaging techniques for diagnosing coronary artery disease. *Can Med Assoc J*, 2006, 174(4):487-495
- [2] Huang PH, Chen LC, Leu HB, et al. Enhanced coronary calcification determined by electron beam CT is strongly related to endothelial dysfunction in patients with suspected coronary artery disease. *chest*, 2005, 128(2):810 - 815
- [3] Oei HHS, Vliegenthart R, Hak AE, et al. The association between coronary calcification assessed by electron beam computed tomography and measures of extracoronary atherosclerosis; The rotterdam coronary calcification study. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 39(11):1745-1751
- [4] O' Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus Document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36:326-340
- [5] Achenbach S, Ropers D, Möhlenkamp S, et al. Variability of repeated coronary artery calcium measurements by electron beam tomography. *Am J Cardiol*, 2001, 87:210-213
- [6] Fiorino AS. Electron-beam computed tomography, coronary artery calcium, and evaluation of patients with coronary artery disease. *Ann Intern Med*, 1998, 128:839-847
- [7] Raggi P, Callister TQ, Cooil B, et al. Identification of patients at increased risk of first unheralded acute myocardial infarction by electron-beam computed tomography. *Circulation*, 2000, 101:850-855
- [8] Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, et al. Prediction of coronary events with electron beam computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36:1253-1260
- [9] Shaw LJ, O' Rourke RA. The challenge of improving risk assessment in asymptomatic individuals; the additive prognostic value of electron beam tomography? *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36:1261-1264
- [10] Rich S, McLaughlin VV. Detection of subclinical cardiovascular disease; the emerging role of electron beam computed tomography. *Prev Med*, 2002, 34(1):1-10



- [11] Horiguchi J, Shen Y, Akiyama Y, et al. Electron beam CT versus 16-MDCT on the variability of repeated coronary artery calcium measurements in a variable heart rate phantom. *AJR*, 2005, 185: 995-1000
- [12] Sekikawa A, Ueshima H, Zaky WR, et al. Much lower prevalence of coronary calcium detected by electron-beam computed tomography among men aged 40-49 in Japan than in the US, despite a less favorable profile of major risk factors. *Int. J. Epidemiol*, 2005, 34: 173-179
- [13] Schoepf UJ, Becker CR, Ohnesorge BM, et al. CT of coronary artery disease. *Radiology*, 2004, 232: 18-37
- [14] Erbel R, Schmermund A, Mohlenkamp S, et al. Electron-beam computed tomography for detection of early signs of coronary arteriosclerosis. *Eur Heart J*, 2000, 21: 720-732
- [15] Hunold P, Schmermund A, Seibel R.M, et al. Prevalence and clinical significance of accidental findings in electron-beam tomographic scans for coronary artery calcification. *Eur Heart J*, 2001, 22: 1748-1758



## CT 血管成像扫描方法

CT 血管成像是螺旋 CT 问世后不久产生的无创血管成像技术之一。螺旋 CT 是 CT 扫描的 X 线球管产生的 X 线围绕被扫描患者旋转,扫描过程中扫描床连续不断移动,X 线相对于患者的长轴方向做螺旋式的运动,这种螺旋扫描轨迹可确保所获得数据的连续性,在图像数据后处理中采用数据插值技术和层面校正技术,保证螺旋 CT 图像有较高的时间分辨率、高空间分辨率和高密度分辨率,几乎没有失真。螺旋 CT 扫描获得的连续的容积数据,通过后处理技术可以得到矢状面、冠状面、横断面或其他任意方向层面的重组,能更直观地显示血管结构、血管与邻近结构关系,所得到的信息更多,更加有利于诊断和治疗。

目前,临床上应用的多层螺旋 CT 从 4 层到 64 层,甚至 256 层,扫描速度越来越快,64 层螺旋 CT 的扫描时间达到 0.35~0.33s。多层螺旋 CT 的 Z 轴向空间分辨率也大大提高,可以达到 0.4mm,有利于进行最大密度投影(MIP)、容积再现重组(volume rendering)和仿真内镜技术等进行各向同性重组图像。

CTA 基本原理是经静脉注入对比剂,利用螺旋 CT 在受检者靶血管内对比剂充盈的高峰期(理想的状态是处于高峰期,而且兴趣区内血管腔内对比剂充盈均匀,处于平台期),进行连续原始数据的容积采集,然后运用计算机的后处理功能,最终重组靶血管影像。

CTA 成像过程中,合适的扫描参数、扫描方案及合适的对比剂注射方案是成像质量好坏的决定因素。通常 CTA 成像包括下述 3 项内容:①静脉内对比剂团注方法的选择,包括对比剂的浓度、注射流率(ml/s)、注射时间(s)和延迟扫描时间(s);②扫描参数的选择,包括扫描层厚(mm)、螺距(pitch)、重组层厚(slice thickness)、重组层间距(slice gap)、扫描速度、扫描视野(field of view, FOV)、扫描电流等;③图像的重组方法选择。

## 第一节 静脉内对比剂团注影响CTA的因素

随着技术的不断进步,多层螺旋CT的扫描速度越来越快(包括两个概念:X线球管转动一圈的速度与一次可采集Z轴向的探测器宽度和层数的增加)。比如,临床应用中,单层螺旋CT扫描完成一个层面采集数据时间在1s左右,而64层螺旋CT扫描速度加快,最快的扫描1圈时间达到0.33s。扫描速度加快后,在对比剂到达峰值的平台期完成扫描采集,对图像质量至关重要,因此,精确地确定对比剂到达时间显得非常重要。从单层螺旋CT到64层螺旋CT,扫描时间显著缩短,需要根据不同扫描速度延迟扫描起始时间。由于采集数据的扫描时间短,需要在扫描时间内靶区血管内对比剂浓度达到满足要求,所以,需要优化注射流率、注射方式和选择合适浓度的对比剂。

针对多层螺旋CT扫描时间短,获得理想的增强图像的办法是增加注射流率、选择高浓度对比剂和使用生理盐水冲管保持对比剂团形态,而且针对不同患者制订个性化方案。

1. 体重 在对比剂浓度和总碘剂量不变的条件下,随着患者体重的增加,血管增强的程度降低,但峰值到达时间(TTP)不变(图9-1)。原因在于碘对比剂在人体内非选择性分布和碘量与CT增强程度呈线性关系,患者单位体重内碘分布量降低,从而导致注射对比剂后血管腔密度增加程度降低。

2. 心排血量 心排血量的变化也将影响到对比剂增强效果。如果心排血量增加,血液循环速度加快,分布在血液中的对比剂的循环速度也加快,将使得对比剂在血管内到达峰值时间提前。另外,从肾脏分泌排泄的速度也加快,所以,血管内对比剂到达峰值的高度也会降低。如果心排血量降低,将导致对比剂在血液中循环时间延长和累积,出现增强延迟,增强强化程度增高,强化时间延长(图9-2)。由于不同患者的心功能变化大,即使是健康人的心功能状态相差也比较大,这就造成我们根据经验设定

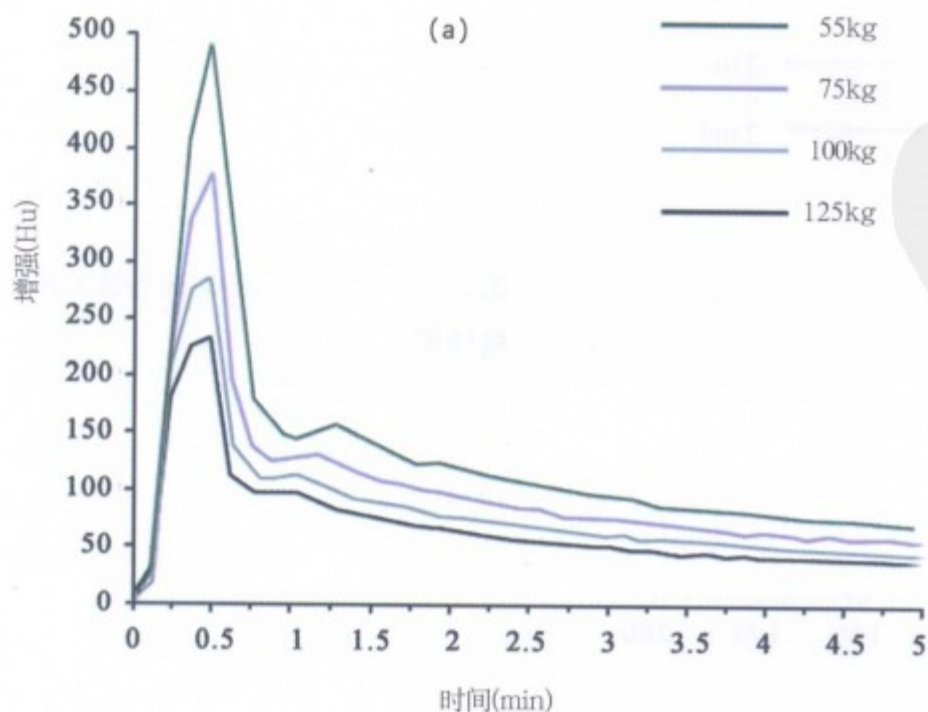


图9-1 4个不同体重患者的对比剂强化曲线图

以5ml/s的速度分别对4位患者注射对比剂125ml,得到以上主动脉的强化曲线图。从中可见强化的程度与体重呈负相关

扫描延迟时间常常并不是最佳强化时间。使用对比剂团跟踪或小剂量团注测试到达时间,有利于使用合适的碘量和注射流率,获得最佳强化效果。

3. 对比剂剂量 假如相同体重患者,使用对比剂碘浓度和注射流率保持不变,提高对比剂总碘量将导致血管强化程度增加、峰值到达时间延迟、峰值强化时间延长,有利于扫描更大范围,获得更多信息(图9-3)。

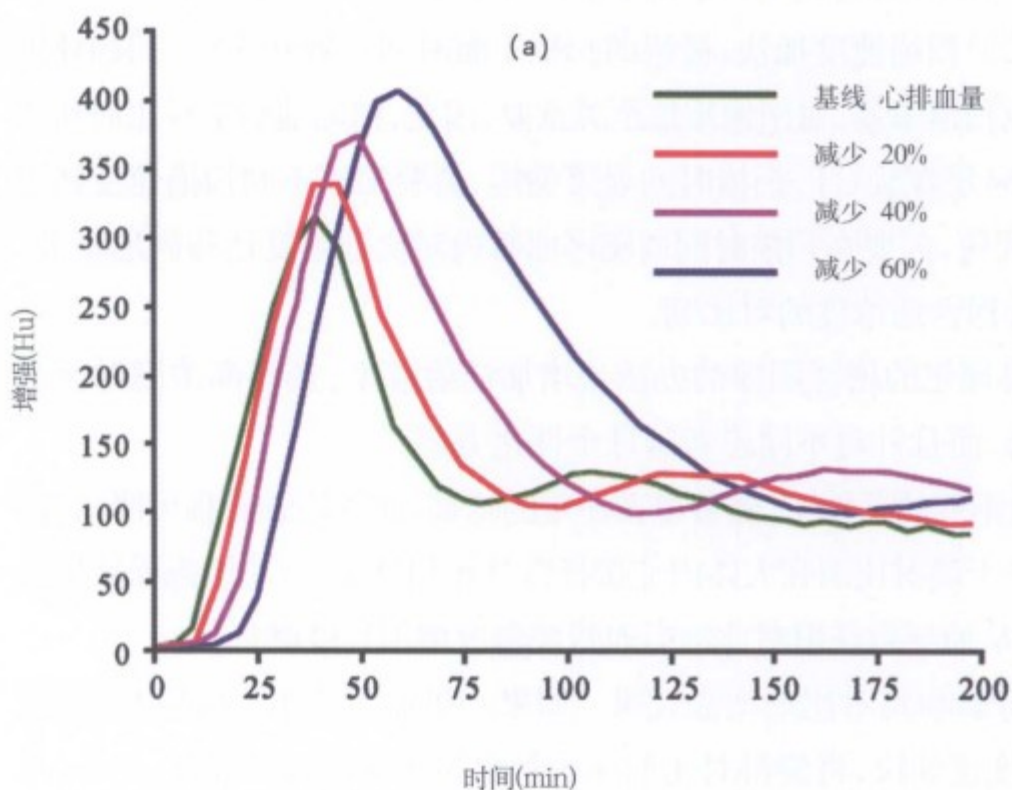


图9-2 基础心排血量和减少心排血量时的对比剂增强曲线图

使用碘浓度为370mg/ml的对比剂以4ml/s的速度注射120ml,得到主动脉增强曲线。一系列的主动脉(a)的增强曲线是通过减少基础心排血量(6.500ml/min)的20%、40%和60%而得到的

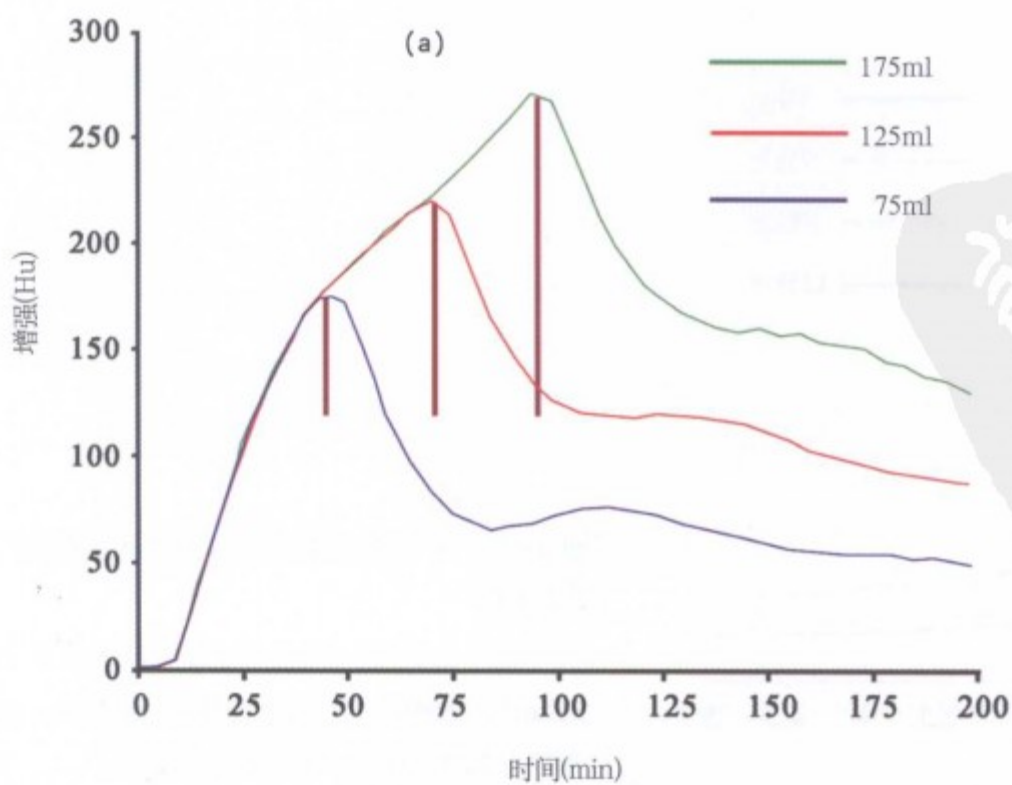


图9-3 3种不同的对比剂量的增强曲线图

使用碘浓度为370mg/ml的对比剂,以2ml/s的速度分别注射75ml、125ml和175ml,得到主动脉(a)的强化曲线图像。可见强化时间和强化峰值随着对比剂量的增加而增加

4. 对比剂注射流率 假如对比剂总碘量和碘浓度不变,提高注射流率,动脉强化程度更高,峰值到达时间(TTP)前移,动脉峰值宽度变窄(动脉峰值保持时间缩短)(图9-4)。

假如对比剂总碘量和碘浓度不变,提高注射流率,实质强化程度的变化就不如血管变化明显。比如,当对比剂注射流率达到2.5ml/s后再增加对比剂注射流率,肝脏增强强化程度变化就不明显了(图9-5)。

另外,使用合适的注射流率可能更有益于患者。高注射流率可以获得更好的增强效果,但也存在弊端。弊端包括以下几个方面。①穿刺血管容易破裂,引起对比剂外渗;②高流率注射对比剂,使得对比剂快速进入血液循环,增加心脏的负荷及使心率发生变化,其中心率变化不利于冠状动脉CTA检查。

5. 对比剂碘浓度 假如碘量和注射流率不变,对比剂碘浓度增加、血管强化程度将增加、峰值

图9-4 3种不同注射流率的增强曲线图  
使用碘浓度为370mg/ml的对比剂150ml,以1ml/s、3ml/s和5ml/s的速度分别注射,得到主动脉(a)的强化曲线图像。可见当对比剂量一定时,随着对比剂的注射速度的增加,最大强化程度也增加,随后降低

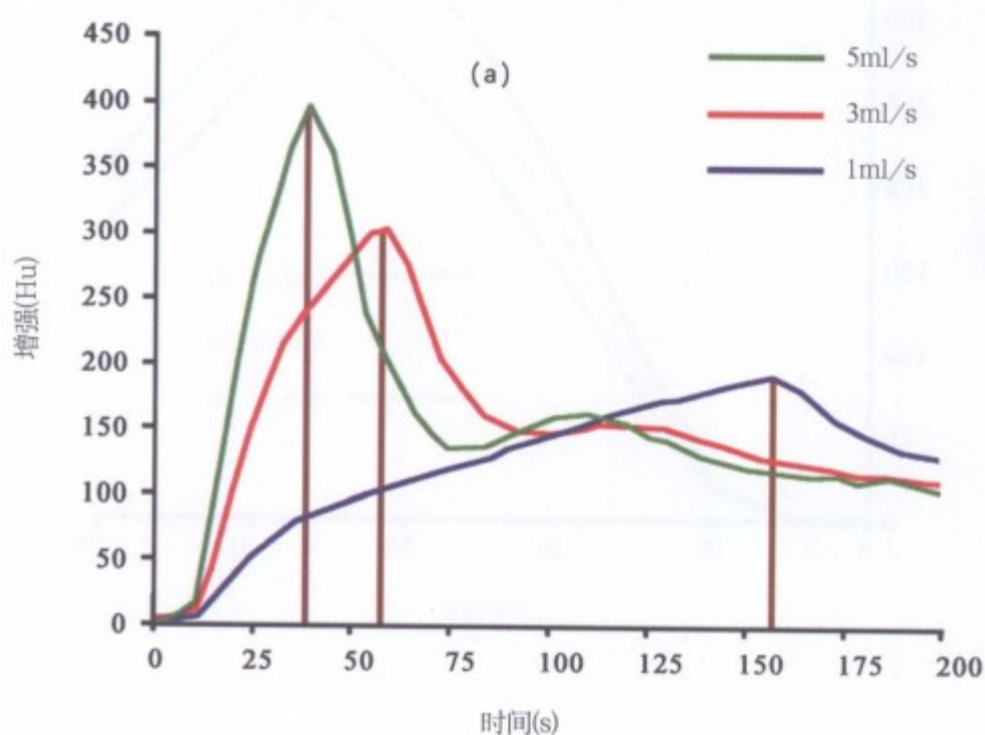
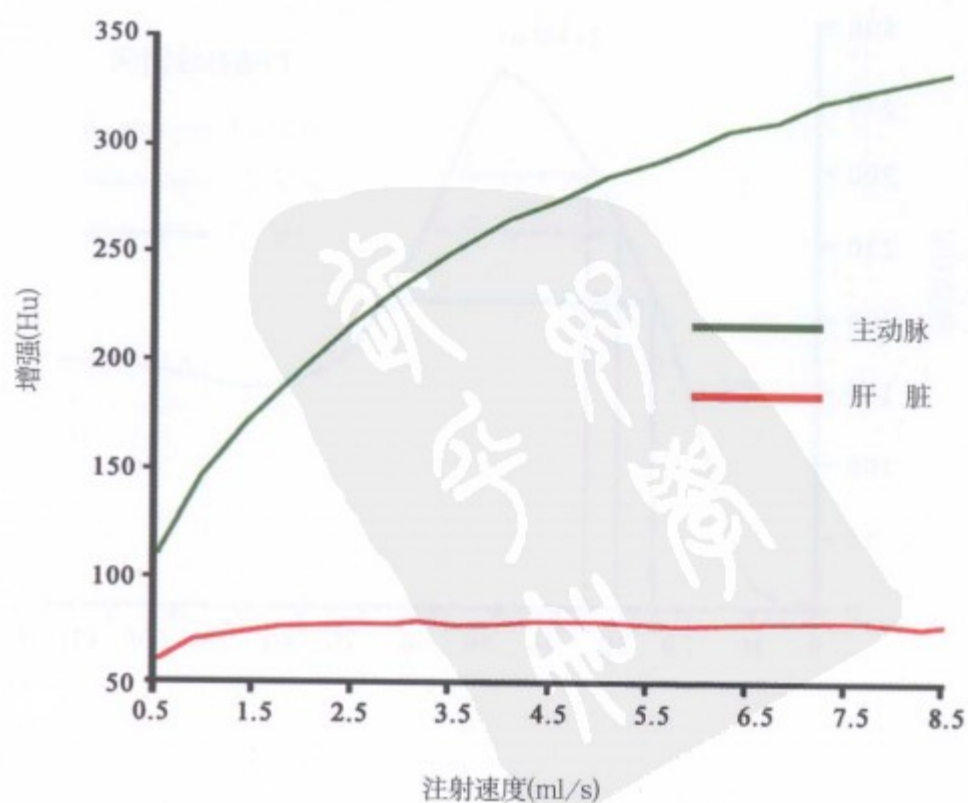


图9-5 注射流率与强化峰值的关系曲线图(通过增强曲线获得)

使用碘浓度为370mg/ml的对比剂120ml,以不同的流率分别注射,得到主动脉和肝脏的注射流率与强化峰值的关系曲线图



到达时间提前、动脉峰值宽度变窄,所以,获得动脉峰值所需延迟扫描时间更短(图 9-6)。

6. 扫描延迟时间 随着旋转一周采集的层数增加(4层至 64层,甚至 320层)、扫描速度变快、扫描时间缩短,需要延长动脉峰值的延迟扫描时间(图 9-7)。

如果采用小剂量对比剂团注测试到达时间,需要遵循下述公式:

$$\text{扫描延迟时间} = A + B + \sigma \quad (9-1)$$

式中: A 代表开始注射对比剂到开始测试扫描时间; B 代表开始测试扫描到对比剂到达峰值时间;  $\sigma$  代表根据设备扫描速度和患者状况设定的经验值,0~7s 不等

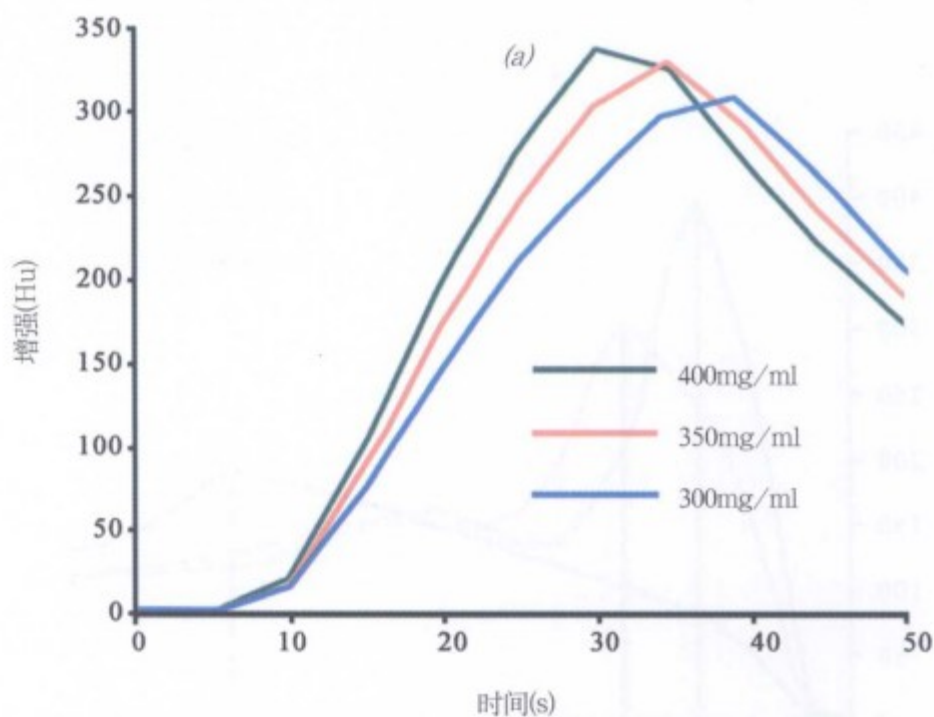


图 9-6 在碘量和注射速度保持一定的条件下,3 种不同浓度的对比剂的强化曲线图以 5ml/s 的速度注射碘量一定但浓度不同的对比剂,得到主动脉(a)的强化曲线图像。从主动脉的时间-强化曲线可见,对于主动脉,使用高浓度对比剂能够更早地得到更高的强化程度

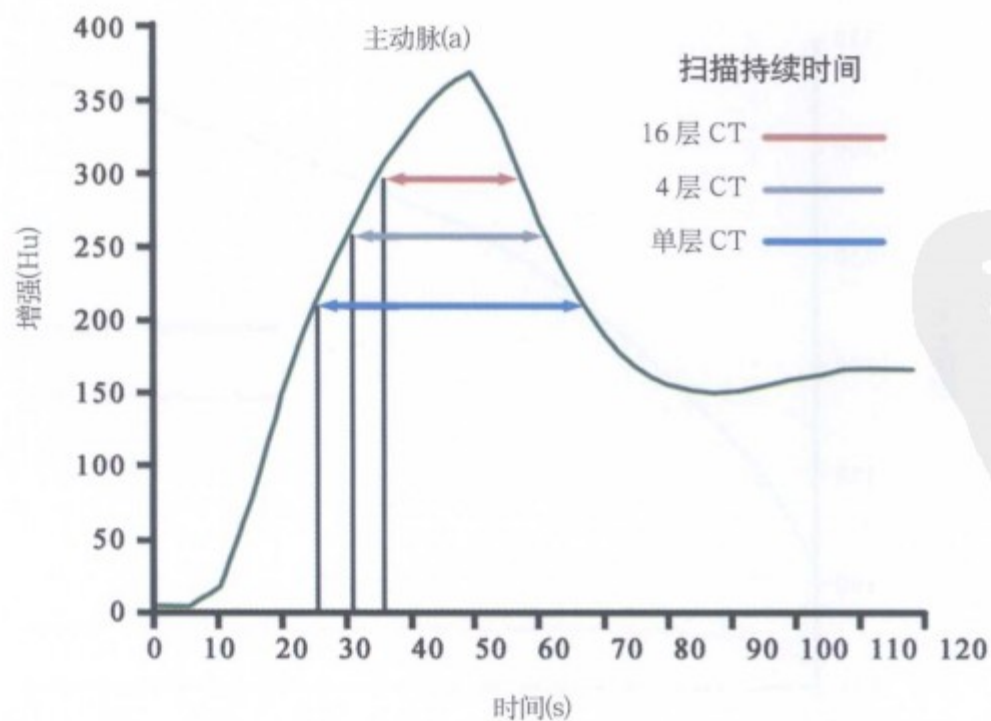


图 9-7 使用单层、4层和 16层 CT 对主动脉(a)的扫描时间和扫描持续时间曲线图可见扫描速度越快,扫描持续时间越短,因此,正确的延迟扫描时间对能否在强化峰值时捕捉图像非常关键

(梁长虹 郑君惠 王广谊)

## 第二节 团注时间和延迟时间

通过静脉注射对比剂的CTA,须作对比剂团注时间的选择以及注射对比剂与开始扫描之间适当延迟时间的选择。理想的时机选择应该是扫描时靶血管内对比剂浓度达到最高,而且维持平台期,周围结构内尚无对比剂。在实际操作中,这是很难能做到的,因为Z轴方向的扫描流率明显地慢于团注的速度。图9-8显示了当对比剂以平均流率( $V_b$ )经过靶血管时,不同的时间段理想的团注对比剂的位置。这里我们只是用图9-8所示理想的对比剂团来表示最大不透光的部位。

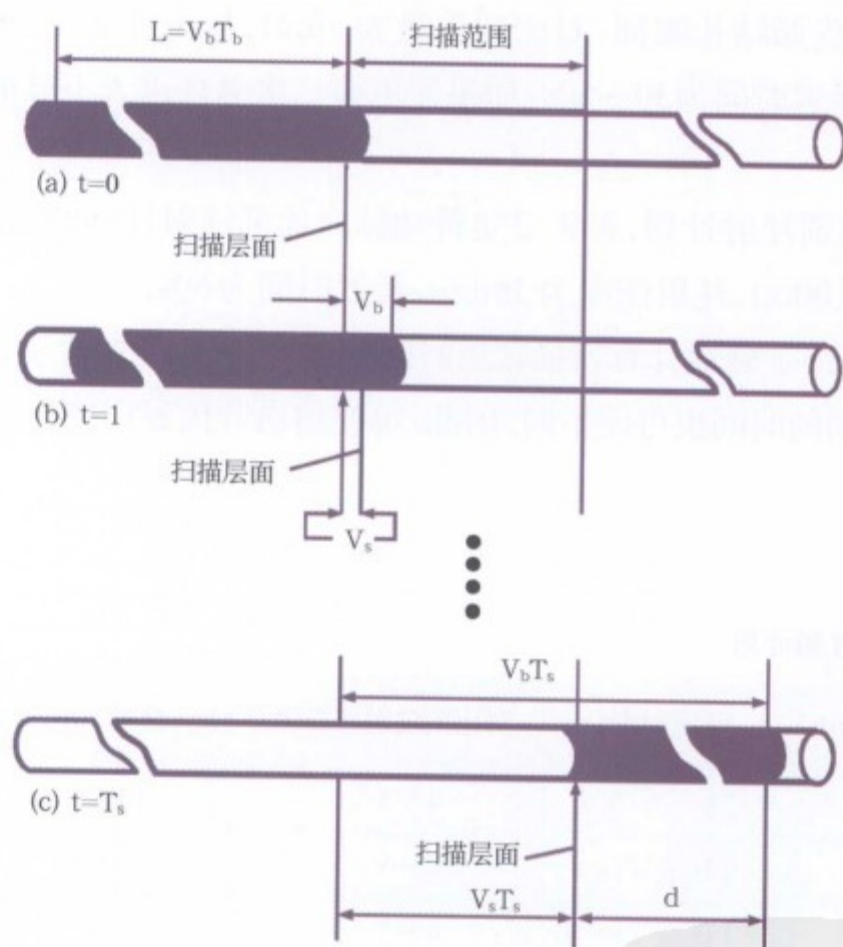


图9-8 对比剂注射时间和扫描时间

图中  $V_b$  为注射流率( $\text{ml/s}$ ),  $T_b$  为团注时间,  $L$  为团注长度,  $T_s$  为扫描时间

从图9-8可见,团注时间至少需与扫描时间一样长。假定团注时间和扫描时间相同,我们还必须考虑到周围的血管和组织在扫描结束前被增强的可能性。降低实质和静脉的增强程度,要求扫描时间短或扫描时检查床能较快地移动。如果机架旋转速度不变,提高检查床的运行速度(提高螺距),会降低Z轴方向的空间分辨率。同样,不增加X线的输出量,提高检查床的运行速度,使单位体积内光子量减

少,噪声也会增加,图像质量也将下降。因此,不想要的结构出现强化始终是一个问题。那么,我们所能做的只是使扫描时间尽可能地缩短,确保对比剂团一进入靶血管区就立即开始扫描。因此,准确确定扫描延迟时间是很重要的。

扫描延迟时间确定可采用经验法、血管预置扫描法、小剂量对比剂团注测试到达时间法。

1. 经验法 经手背静脉或肘静脉高压注射器注射非离子型碘对比剂(浓度 300mg/ml 或 370mg/ml)80~100ml,注射流率3.5~4ml/s,各部位延迟扫描时间分别为脑血管15~18s,颈动脉12s,肺动脉 15s,腹主动脉 20~25s,下肢动脉 30s。

检查上腔静脉疾病,穿刺点可位于肘前静脉;检查上肢静脉疾病,穿刺点选择手背静脉。注射对比剂前用橡皮筋结扎上臂近心端,有利于深静脉显示。使用非离子型碘对比剂(浓度为300mg/ml或370mg/ml)50ml,注射速度1ml/s,延迟扫描时间60~70s。检查下腔静脉疾病,穿刺点可选择肘前静脉;检查下肢静脉疾病,穿刺点选择足背静脉。对比剂总量以及注射流率也因成像的部位不同而异。检查下腔静脉或肾静脉疾病,对比剂总量可为100ml,注射流率为3ml/s,延迟时间为25s;检查下肢静脉疾病,注射对比剂前用橡皮筋结扎踝部,对比剂总量为50ml,加生理盐水,按1:3稀释成总量为200ml,注射流率为3ml/s,延迟时间为30~50s。如果使用第二次循环进入下肢静脉的方法(间接法),延迟时间为180~200s。

表9-1是外周血管对比剂注射计划,表9-2是肾动脉对比剂注射计划的例子。检查肝静脉、门静脉疾病,对比剂总量可为100ml,注射流率为3ml/s,延迟时间为60s,

2. 血管预置扫描法 保证正确地计算扫描延迟时间并非容易,因为每个人的血液循环速度是不相同的,即使同一个人在不同的时间也可能不同。因此,可使用血管预置扫描技术获得扫描启动时间。

表9-1 外周血管对比剂注射计划

| 探测器排列×探测器宽度(mm) | 延迟时间(s)    | 对比剂注射流率(ml/s) | 总量(ml) | 扫描时间(s) |
|-----------------|------------|---------------|--------|---------|
| 4 × 3           | 28         | 4~5           | 140    | 35~50   |
| 8 × 1.25        | TB 或 Tr+8  | 4~5           | 130    | 32      |
| 16 × 1.25       | TB 或 Tr+10 | 4~5           | 110    | 25~28   |

对比剂浓度为370mg/ml或400mg/ml;TB=Test Bolus=小剂量团注;Tr=Trigger=触发

表9-2 肾动脉对比剂注射计划

| 探测器排列×探测器宽度(mm) | 延迟时间(s) | 对比剂注射流率(ml/s) | 总量(ml) | 扫描时间(s) |
|-----------------|---------|---------------|--------|---------|
| 4 × 1           | TB 或 Tr | 4~5           | 120    | 25      |
| 8 × 1.25        | TB 或 Tr | 4~5           | 90     | 18      |
| 16 × 0.625      | TB 或 Tr | 4~5           | 80     | 15      |

对比剂浓度为370mg/ml或400mg/ml;TB=Test Bolus; Tr=Trigger



该技术方法通常是在兴趣血管或兴趣血管附近血管设定一个感兴趣区,设定一定CT增强的阈值,当注射对比剂后一定时间开始扫描,当靶血管密度增高达到阈值,软件启动将扫描床移动到扫描位置开始扫描。

使用该方法需要注意如下几点。①选择靶血管区适当的感兴趣血管作为获得启动扫描阈值获得区,该感兴趣血管最好选择靶血管或与靶血管邻近,而且直接与靶血管连接的血管。②设定的阈值指在平扫CT值基础上增加的CT值,该CT值比靶血管增强最佳CT值低50~100Hu。③感兴趣血管CT值达到阈值后,设备从感兴趣的血管扫描层面到正式开始扫描层面有一定移动扫描床的时间,通常为1~2s。④在感兴趣血管密度达到阈值,扫描床移动到开始扫描层面这个时间内,靶血管内对比剂仍然在发生变化。

随着CT制造技术的进步和应用软件的开发,现在一些厂家已有专用的注射对比剂增强程度智能化跟踪软件,包括GE公司的SmartPrep、Siemens公司的CARE Bolus(combined applications to reduce exposure bolus)和Toshiba公司的SureStart等。这些对比剂团追踪专用软件包的共同特点是,有实时监控功能,一旦被检查部位感兴趣血管的CT值增加达到设定的阈值,即自动开始扫描,大大方便CTA的检查。图9-9是对比剂时间-密度曲线(time density curve),图9-10是GE公司的SmartPrep的血管增强曲线。

3.小剂量对比剂团注测试到达时间法 是指采用团注方法,将小剂量对比剂以一定速度注射后扫描靶血管,获得对比剂到达靶血管的峰值时间。通常使用同一批号、相同浓度对比剂15~20ml。

采用小剂量对比剂团注测试到达时间,扫描延迟时间确定遵循式(9-1)。

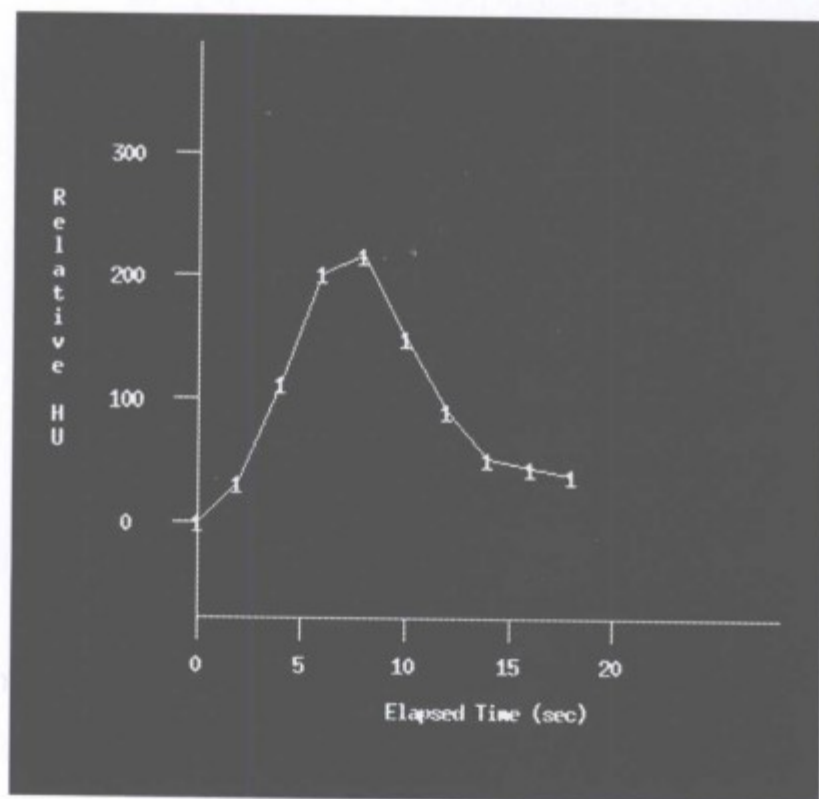


图9-9 对比剂时间-密度曲线 (Test Bolus)

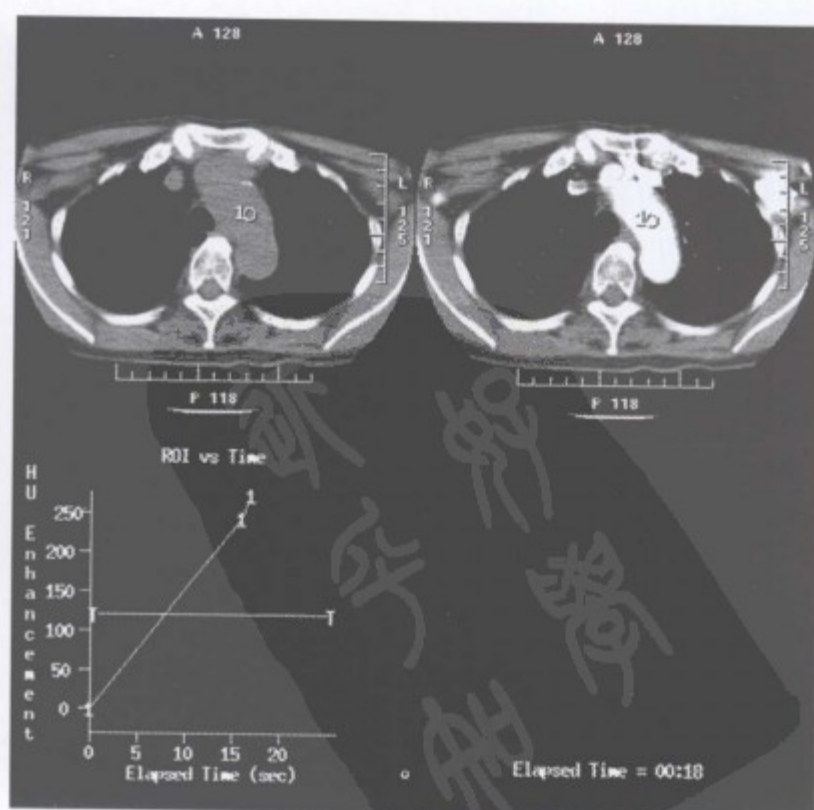


图9-10 SmartPrep的血管增强曲线

使用该方法的注意事项包括以下几点。①测试到达靶血管到达时间的对比剂注射流率应与正式扫描注射对比剂流率一致。②测试注射对比剂后注射生理盐水,正式注射对比剂后也用相同流率注射生理盐水。③确定正式扫描延迟时间的时候,一定要累加测试到达时间和扫描开始前的时间。④小剂量团注测试到达时间分辨率可为1~2s,只要能满足临床要求即可,减少患者所接受的不必要的辐射。通常使用低 X 线剂量扫描 15 次,时间 30s。

(郑君惠 谢淑飞 梁长虹)

### 第三节 扫描参数的选择

要确定一个具体部位适当的 CTA 扫描方案,须考虑许多因素,其中有两个重要扫描参数是扫描范围的大小(包括扫描视野和纵向覆盖范围)与 Z 轴方向的空间分辨率。

要获得 Z 轴方向高空间分辨率,可以采用比较薄的层厚、层间距和相对较慢的床速(低螺距)达到目的。不过,较慢的床速限制了扫描的覆盖范围。因此,根据设备的情况和靶血管情况,尽可能地缩小扫描范围,以获得三维成像更多的有用信息。

具体扫描参数的设置各厂家不尽相同。总的原则是,薄层厚,空间分辨率增高,但扫描相同覆盖范围时,螺距增加,纵向空间分辨率降低,伪影也增加。

另外,实际检查时还需根据患者个体大小,适当增减扫描时使用的辐射剂量(电流和扫描时间)。因为扫描的球管电压(kV)相对固定(通常使用120kV,电压当然不直接影响剂量),故需要通过调节电流和扫描速度调整辐射剂量来保证图像质量。多层螺旋CT扫描仪可以采用手动调节电流或自动电流,尽量采用低电流,满足临床诊断即可,既可减少患者的辐射,又可延长球管使用寿命。假如患者超过平均体重,为了保证图像质量,满足临床诊断需要,可考虑增加扫描时间来增加曝光量,改善图像质量。

表 9-3、表 9-4、表 9-5 分别为不同生产厂家的 4 层、8 层、16 层或 64 层螺旋 CT 的腹主动脉、肾动脉或下肢动脉的扫描参数序列。

(郑君惠 赵振军 张水兴)



表9-3 各厂家4层螺旋CT对腹主动脉、肾动脉或下肢动脉的大范围扫描序列(扫描范围30cm)

| 采集方式               | 厂家       | 探测器排列(通道×mm) | 螺距    | 床速(mm/s) | 扫描时间(s) |
|--------------------|----------|--------------|-------|----------|---------|
| 快速体积采集             | GE       | 4×2.5        | 1.5   | 18.75    | 16      |
|                    | Phillips | 4×2.5        | 1.5   | 30       | 10      |
|                    | Siemens  | 4×2.5        | 1.5   | 30       | 10      |
|                    | Toshiba  | 4×2          | 1.375 | 22       | 14      |
| 高分辨采集              | GE       | 4×1.25       | 1.5   | 9.375    | 32      |
|                    | Phillips | 4×1          | 1.5   | 12       | 25      |
|                    | Siemens  | 4×1          | 1.5   | 12       | 25      |
|                    | Toshiba  | 4×1          | 1.375 | 11       | 27      |
| 亚毫米级各向同性<br>高分辨率采集 | GE       | 2×0.625      | 1.5   | 2.3      | 65      |
|                    | Phillips | 2×0.5        | 0.8   | 1.6      | 94      |
|                    | Siemens  | 2×0.5        | 0.8   | 1.6      | 94      |
|                    | Toshiba  | 4×0.5        | 0.75  | 3        | 50      |

表9-4 GE公司8层螺旋CT对腹主动脉、肾动脉或下肢动脉的大范围扫描序列(扫描范围30cm)

| 采集方式               | 厂家 | 探测器排列(通道×mm) | 螺距   | 床速(mm/s) | 扫描时间(s) |
|--------------------|----|--------------|------|----------|---------|
| 快速体积采集             | GE | 8×2.5        | 1.35 | 54       | 5.5     |
| 高分辨采集              | GE | 8×1.25       | 1.5  | 27       | 11.1    |
| 亚毫米级各向同性<br>高分辨率采集 | GE | 2×0.625      | 1.5  | 2.3      | 65.22   |

表9-5 各厂家16层螺旋CT对腹主动脉、肾动脉或下肢动脉的大范围扫描序列(扫描范围30cm)

| 采集方式               | 厂家       | 探测器排列(通道×mm) | 螺距     | 床速(mm/s) | 扫描时间(s) |
|--------------------|----------|--------------|--------|----------|---------|
| 快速体积采集             | GE       | 16×1.25      | 1.375  | 55       | 5.5     |
|                    | Phillips | 16×1.5       | 1.25   | 60       | 5       |
|                    | Siemens  | 16×1.5       | 1.5    | 72       | 4       |
|                    | Toshiba  | 16×2         | 0.9375 | 60       | 5       |
| 亚毫米级各向同性<br>高分辨率采集 | GE       | 16×0.625     | 1.375  | 27.5     | 11      |
|                    | Phillips | 16×0.75      | 1.25   | 30       | 10      |
|                    | Siemens  | 16×0.75      | 1.5    | 43       | 7       |
|                    | Toshiba  | 16×0.5       | 1.4375 | 23       | 13      |

## 第四节 后处理CTA血管图像

为了获得CTA图像,采集的原始数据首先进行横断面成像,但是大量的横断面解剖图像难以阅读,也不能直接同常规血管造影的图像比较。只有将CTA采集的原始容积数据,通过一些软件技术,从容积数据中提取相关感兴趣的数据,重组感兴趣的结构,才能与常规血管造影图像比较。

CTA 采集的容积原始图像数据可以用二维重组和三维重组方法显示。

二维重组显示方法包括多平面重组(MPR)及曲面重组(CPR),其中曲面重组是平面重组技术的延伸。多平面重组技术使得医生可以从任意方向观察患者感兴趣区域解剖结构的变化,是改变影像诊断医生诊断思维和阅片方式的重要的、常用工具。

CTA 常用的三维重组方法包括表面遮蔽显示法(SSD)、最大密度投影法(MIP)、容积再现重组(VR)及仿真内镜显示(VE)。SSD法通过设定阈值产生表面影像。通过SSD方法获得的图像具有立体感强,且该方法操作简便,但图像轮廓欠精细,有放大效应。MIP图像由每条射线上密度最大的像素重组而成。其优点是其灰值能反映组织的实际CT值,且显示细节较精细,但立体感差,人工编辑费时、费力。容积再现法是最高级的三维成像方法,该方法根据各种成分的比例进行像素分类,并以不同的灰度显示,使容积扫描范围内所有像素得以利用。容积再现图像较SSD图像精细,又有很强的三维空间感,其立体感优于MIP。可根据需要调节不同组织的透明度,达到最佳显示血管、病灶表面和内部结构的目的,尤其适合显示重叠的血管、血管与邻近结构的三维关系。

(郑君惠 茹光腾 张水兴)

### 参 考 文 献

- [1] 王鸣鹏.实用 CT 检查技术学.科学技术文献出版社,2000:152-156
- [2] 燕树林.全国医用设备 CT、MR、DSA 使用人员上岗考试指南,2005:131-132
- [3] Marchal G,Vogl TJ,Heken JP,et al.Multidetector-Row Computed Tomography,2005:80-85

## CTA 扫描的图像后处理

CTA 图像数据的后处理功能非常强大,这是 CTA 检查的又一优势。这些后处理技术不仅有助于进一步提供诊断信息,而且常常为手术方案的制定提供非常重要的解剖信息。随着 CTA 检查的普及及 CTA 的采集图像帧数的增加,面对如此海量的图像信息,若以常规方式逐层解读图像几乎是不可能的,因此,图像后处理已经逐渐成为放射科医生的重要工作之一。多层螺旋 CT 数据后处理技术的常规应用不仅带来了诊断模式和工作流程的改变,而且将逐渐成为一种主要诊断图像的显示方式,CT 扫描的横断面图像也由普通 CT 的“成品”转变成“半成品”,这就要求放射科医师更要注重操作和图像后处理。

CT 扫描的各种后处理技术经过多年的发展,已经逐渐模块化。早期 CTA 的图像重组大致分为以下几个步骤:选定 CT 阈值范围、去除阈值外的组织、去除扫描床板、去除骨组织、过滤噪声等,这些步骤早期均需手工操作,现在大都模块化。如肾动脉 CTA 重组程序会自动完成上述各步骤,只需一键完成。当然,这种模块化处理对扫描要求比较高,如对比剂剂量、扫描时间等。如重组图像不满意,也可手工干预逐步完成。图像重组已由延时显示发展为实时或近似实时显示,重组技术由完成采集后的回顾性显示发展到和采集同步的前瞻性显示。有公司提供多层 CT 扫描时可选直接三维显示(direct 3D display),扫描后不是显示横断面图像,而是直接显示三维图像,尤其是适合于腹部和胸部的大血管检查。

常用 CTA 三维重组包括多平面重组(multiplanar reformation, MPR)、表面遮蔽显示(surface shaded display, SSD)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积再现重组(volume rendering, VR)和仿真内镜(virtual endoscopy)等。

三维重组的主要功能有以下几个方面。①多平面重组,由光标指示微小病变任意切层面方向的位置及与邻近组织的关系。②任意角度、任意方向旋转,CTA 图像经常规 MIP 投影后图像可以层面选择方向为轴心单平面旋转,但有时仍有血管重叠,不能更好地显示出解剖关系。三维重组后,可任意旋转,有利于选择最佳观察角度。③目标重组,选择所要观察的目标,保留与所选目标相连且信号值近

似者,背景及其他不相关者完全被删除,这样大大地提高了兴趣目标的清晰度。④图像再组合,三维重组后,分别处理脑实质重组或脑表面重组,以及单血管重组,然后分别着不同的颜色,再次组合,显示出血管性病变与邻近脑组织的空间关系。

## 第一节 常见图像后处理方法

### 一、多方位重组

多方位重组(multiplanar reformation, MPR,多平面重组)即利用三维重组技术对螺旋 CT 扫描后采样获得的数据进行任意方位的断层图像重组。由于扫描孔径的限制,CT仅能沿人体长轴进行横断面扫描。很多情况下,如鉴别病灶或欲从冠状位及矢状位观察病灶长轴时,CT的横断切面则常无法提供有益的信息,这给诊断带来很大困难。单层螺旋 CT 扫描因原始横断图像连续性较差(扫描时吸气不一致所致),重组图像空间分辨率及密度分辨率均较差。多层螺旋 CT 扫描允许大范围薄层扫描,Z轴分辨率高,体素已达到或近乎各向一致性,即扫描体素呈正方形,使MPR图像质量有了极大的提高,重组得到的冠状位和矢状位图像和横断面图像质量一样。

MPR即在选定平面或曲面内,将选定层厚范围内的体素叠加融合而得到图像,此方法比较简单。MPR可根据所需重组的血管任意选择层厚,一般需要选用较厚的层厚,即10~15mm。

MPR主要包括平面重组和曲面重组。平面重组包括直接冠状位、矢状位重组,也可以任意角度平面重组;曲面重组(curved planar reformation, CPR)沿划定的曲线重组图像,其可以在原始横断面图像上,也可以在SSD、VR和MIP图像上画线,重组出单体素的曲面图像。曲面重组的优点是可以将弯曲的血管重组在一个断面图像上显示,不受周围血管的干扰,能避免血管重叠给观察带来的不便(图10-1)。对于有钙化的血管,CPR能准确显示血管的钙化和狭窄程度。其他重组方法对有钙化的血管不能准确计算狭窄程度。

有研究者认为,在CTA的各种重组方法中,CPR评价血管狭窄程度是最准确的。不过,CPR对操作者的操作熟练程度要求较高,画线不准确会造成误判,如所画的线过于偏向血管一侧,会造成假性狭窄;而有病变区,如动脉瘤未画到,则可能会漏诊。因此用CPR诊断疾病时必须结合原始横断面图像、MIP、VR或SSD图像。

MPR主要用于腹部和下肢的大血管重组,CPR常用于肾动脉的重组。

高级血管分析(advantage vessel analysis,AVA)软件(不同的制造商均有相似软件),是一种智能化的多平面重组和曲面重组的组合软件,主要用于大血管狭窄和动脉瘤的血管重组和分析。AVA只需操作者选出所需重组血管的起始点和终止点,软件会自动沿血管走行方向重组血管。图像重组时,在血管分叉处以及血管和骨质相邻较近时,可以多选几个点,以避免软件辨认血管的错误。AVA不仅能将走行迂曲的血管重组在一个平面上,还能做准确的径线分析,主要用于血管狭窄性病变和动脉瘤等疾病。对于血管狭窄性病变,在操作者选定狭窄的起始点和参考血管后,AVA能计算出包括狭窄段长度、狭窄程度、面积和体积的百分比等几十个数据供临床参考,AVA同时能在各个角度重组血管,

以便准确地观察血管的狭窄(图10-2,图10-3)。对于动脉瘤,需操作者选定动脉瘤的起始端,有时会提示需选出标志血管,如下腹部动脉瘤需选肾动脉为标志,AVA能计算出动脉瘤最大直径、体积以及动脉瘤和标志血管的位置关系等几十个数据。



图10-1 多平面重组

显示大范围的胸腹主动脉夹层,真腔呈高密度,假腔呈稍低密度,撕脱的内膜呈线形低密度



图10-2 AVA重组

显示双侧椎动脉全程,管壁光滑



图10-3 椎动脉狭窄CTA

AVA重组能同时直接显示钩椎关节增生(长箭头)与椎动脉狭窄的关系

AVA 主要用于颈部、胸部、腹部和四肢的大血管重组。

MPR图像的优点包括以下两个方面。①重组简单,速度快,尤其较适合于急诊患者,如主动脉夹层、下肢动脉闭塞等疾病。SSD、VR和MIP等图像后处理方法因步骤较多,需要调整阈值等,所以耗时较长,而且重组的图像质量与操作者的熟练程度密切相关。②结果准确可靠,在各种图像后处理的方法中,MPR只是将扫描层面的体素重组,得到不同方位的图像,不会丢失信息。而SSD、VR和MIP等在重组过程中会删除部分像素,有可能会损失有价值的信息,所以,MPR是最准确的图像后处理方法(图10-4)。

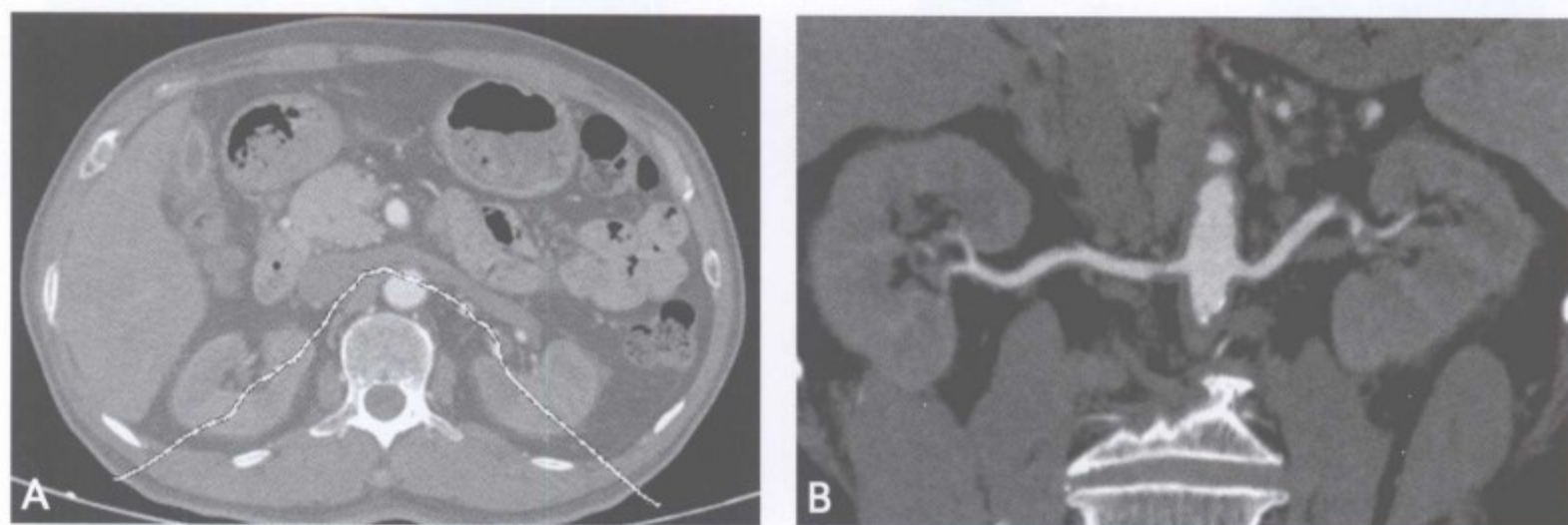


图10-4 肾动脉CTA

A. 肾动脉曲面重组示意图; B. 双肾动脉曲面重组后,直观地显示在一个平面上

MPR方法的缺点包括以下两个方面。①不能显示走行迂曲的血管,虽然能通过曲面重组将一些弯曲的血管,如肾动脉重组在一个平面上,但对如脑血管等走行复杂的血管,不能满意显示;②所得图像的空间立体感不够强,不便于临床医师观察。MPR的图像仍是单方位的,不像SSD、VR和MIP等可以旋转,可从任意方向观察血管结构。

## 二、表面遮蔽显示

表面遮蔽显示(surface shaded display, SSD)是通过设定阈值产生表面影像,将像素值大于某个确定阈值的所有像素连接起来的一个表面数学模型,低于阈值的体素选取0,设置为“黑”的;高于阈值的像素选取100%,设置为“白”的。为了所重组图像有层次感,电脑模拟一个电子光源在三维图像上发光,通过阴影体现图像层次(图像景深)。

SSD技术的优势:①立体感比MIP强,图像能较好地描绘出复杂的三维结构,尤其是在有重叠结构的区域,可用于血管、气管、骨骼的三维显示;②操作简便,速度比VR快得多。几年前,由于计算机速度所限,VR不能被广泛应用,SSD是很常用的重组方法。

SSD技术的局限性:①图像轮廓欠精细,有放大效应;②需要设定阈值,会损失信息。对于CTA



重组,SSD 技术在很多情况下是MIP 的补充。一般来说,CTA 的血管重组不能仅以SSD 为依据。随着计算机的飞速发展,SSD 已基本被VR 所替代。

### 三、最大密度投影

最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)是把扫描后的三维数据叠加起来,以操作者选定的方向作为投影线,在该投影线方向,三维数据中的最高密度的体素投影到一个二维数据中,其余体素则被删除(图10-5)。MIP 可从任意角度投影,亦可将连续角度的多幅图像在监视器上连续播放,给视者以立体感。MIP 在磁共振血流成像(magnetic resonance angiography, MRA)中应用较广,主要原因在于MRA 无骨骼影像干扰。在CTA 的重组中由于受骨骼影像的干扰,一般不能单独使用MIP 重组血管,必须与“去骨”(remove bone)技术结合(图10-6)。

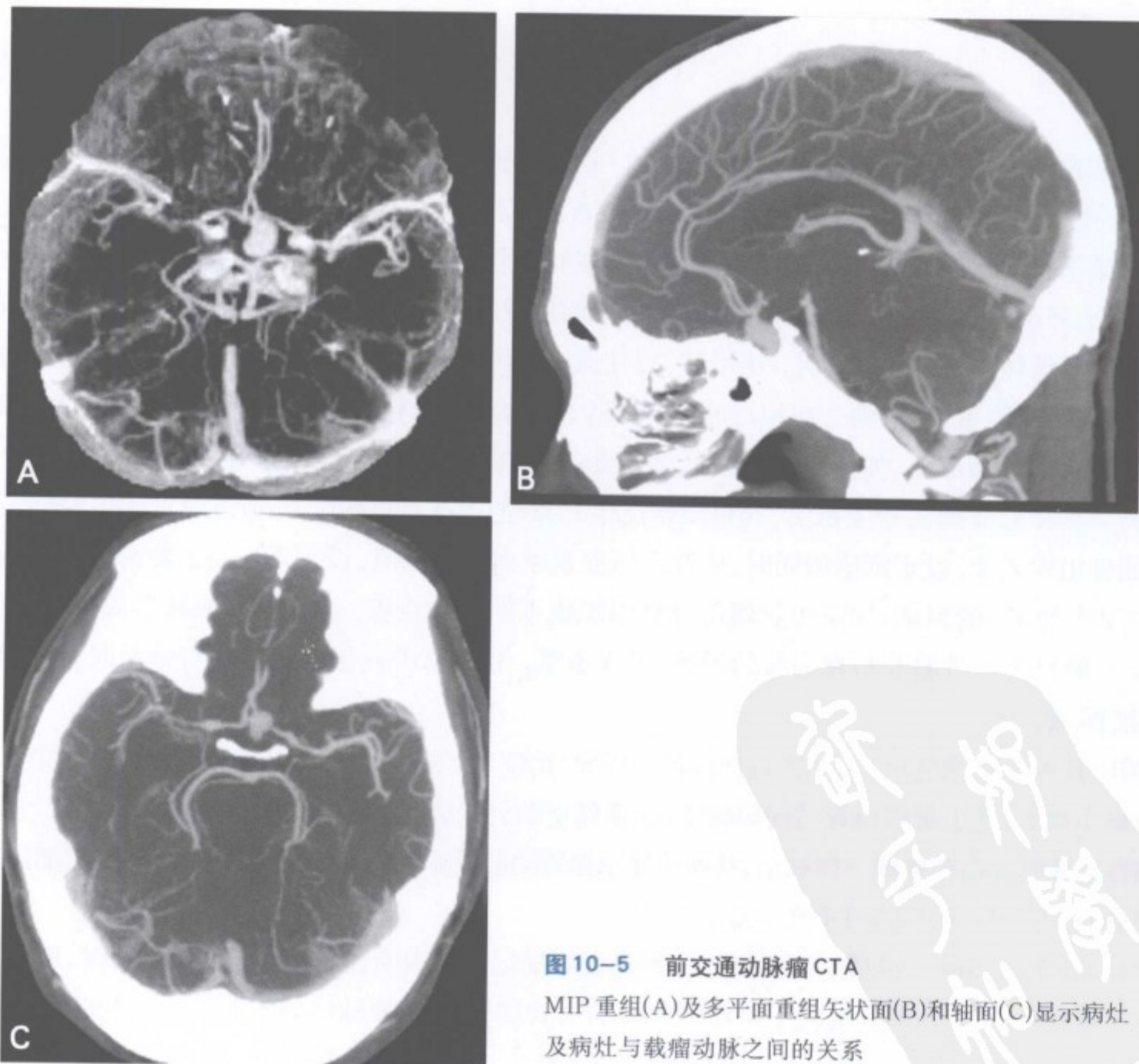


图10-5 前交通动脉瘤CTA

MIP 重组(A)及多平面重组矢状面(B)和轴面(C)显示病灶  
及病灶与载瘤动脉之间的关系

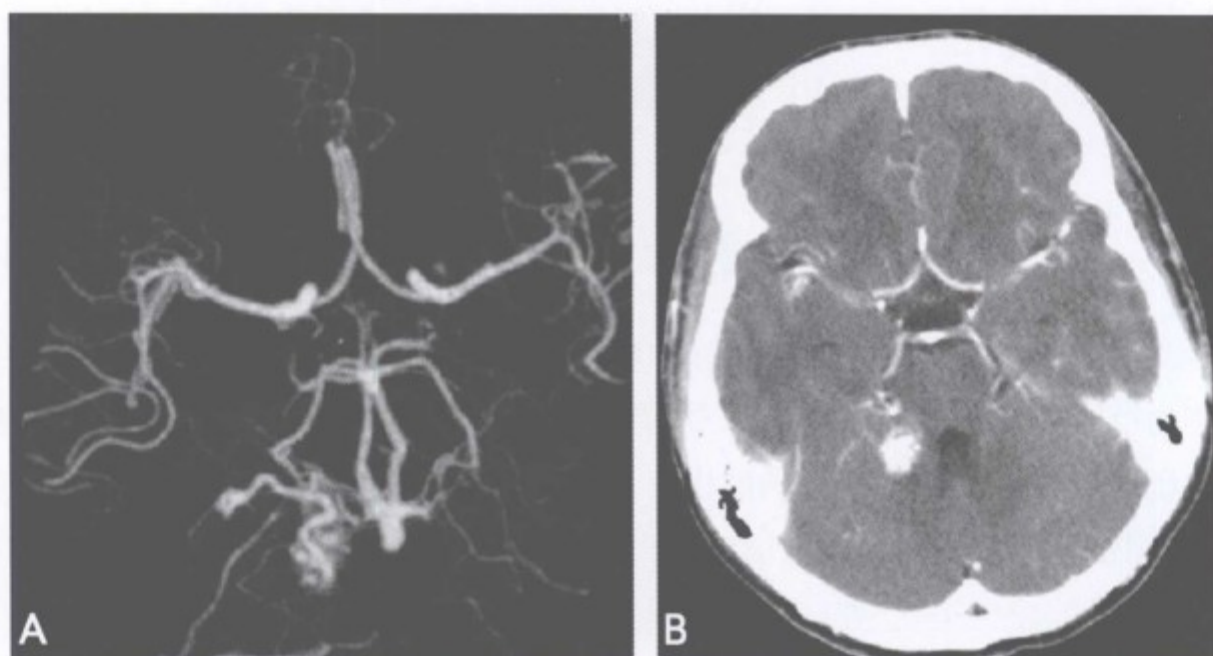


图 10-6 右枕叶动静脉畸形

CT 检查时, MIP 重组(A)显示供血动脉、瘤巢和引流静脉, 横断面(B)显示瘤巢血管与脑实质之间的关系

常见的去骨技术有三种。①直接切割法。在三维图像上, 直接用三维重组的切割工具去除骨组织。主要用于骨组织较少的部位。如肾动脉CTA, 可用该方法直接切除脊柱的骨质。去除骨骼时, 要在三维图像上多方面观察, 以免切掉所要观察的血管, 造成假象。②自动去骨法。GE、飞利浦、西门子公司等相继推出该技术商业软件, 重组时用鼠标点击骨骼, 电脑会自动去除与该点相邻的大于或等于该体素CT值的组织。使用时, 应注意“少量多次”的原则。即点击一次去除少量骨骼后马上停止, 反复重复, 否则会将相近的血管清除。自动去骨技术常用于骨骼较多, 且与所要观察的血管有一定距离的部位, 如胸部、盆腔等。多功能CT将有可能自动将碘与其他高密度物质区分, 从而达到自动去除非碘高密度物质, 获得碘密度信息重组CTA。③阈值法。通过设定阈值, 将超过该阈值的骨组织去除。设定阈值的同时, 应注意所要观察血管的阈值, 设置不当会去除部分血管结构, 要依“宁少勿多”的原则, 即宁可保留部分骨组织也不能去除血管。该方法最容易形成假阳性和假阴性。一般只用于骨骼非常难去除的颅脑CTA重组。利用MIP获得的图像进行诊断时, 要结合原始扫描图像。

MIP技术方法的优点: ①无需选择阈值, 和SSD比较, 无信息丢失, 结果较可靠; ②无周围组织干扰, 只显示血管, 便于观察血管结构和病变; ③血管壁的钙化能在MIP图像上清晰显示, 原因在于钙化密度较高, 能够像高密度碘一样显示, 从而可显示血管动脉粥样硬化斑块钙化的程度; ④MIP能任意角度旋转, 这是优于DSA的很重要一点。

MIP技术的局限性包括以下几点。①不能很好描记重叠很明显的血管。临床应用时, 用小角度旋转(一般 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ), 多数情况下可以将重叠的血管展开。②静脉污染不能去除。颅脑动、静脉期只相差 $3 \sim 7s$ , 常常动、静脉同时显像, 静脉会遮盖部分动脉。③骨骼干扰。虽然有很多去骨技术, 但有的部位骨骼与血管相邻太近, 几乎不可能去除, 如椎动脉和椎骨。④去骨技术使用不当会造成假

象。如邻近骨骼的正常血管被删除,造成“血管闭塞”的假象。⑤ MIP 投影,狭窄血管边缘密度较低,投影时狭窄血管边缘的部分像素被删除,会夸大血管狭窄的程度。⑥ MIP 的图像无“景深”,图像内血管前后位置关系无法判别。采用多角度投影,用电影循环播放可克服此缺点。

#### 四、容积再现重组

容积再现重组(volume rendering, VR)技术首先确定扫描容积内的像素密度直方图,以直方图的不同峰值代表不同组织,然后计算每个像素的不同组织百分比,继而换算成不同的灰阶,以不同的灰阶(或色彩)及不同的透明度三维显示扫描容积内的各种结构。例如,可在透明状态下同时观察肝肿瘤、实质、门静脉的三维立体关系。

VR是一种真正意义上的全容积三维成像,利用了容积内的全部信息量,将扫描容积内投影线通过容积数据的全部像素的总投影以不同灰阶显示出来(图 10-7)。

VR 技术的优势是计算方法先进。前几年由于受计算机速度的限制,腹部 CTA 的 VR 重组一般需要 30~60min,所以 VR 不能被广泛应用。现在,计算机速度大大加快,通常 VR 重组只需要几分钟或数秒钟,完全可以满足临床日常工作的需要。VR 重组已经用于 CT 操纵台,CTA 扫描



图 10-7 右颈动脉分叉动脉瘤  
VR 重组显示瘤体与邻近血管的关系

后,可以根据需要选择常规的横断面图像,也可选择三维VR图像。即CTA扫描后,在操作台即时显示三维图像,可以直接显示大血管、内脏和骨骼等结构,虽然图像还略显粗糙,但对于粗略观察兴趣区的血管结构已经足够了。随着计算机的发展,CTA检查时在操作台显示实时VR图像已经成为可能。VR与上述各种后处理技术之间有较好的相关性,当层块(slab)与像素(pixel)厚度相同时,VR与MPR的效果相似;当层块与多层面容积显示(multi-planar volume rendering,MPVR)厚度、密度阈相当时,VR与MIP或MinP的效果相似,赋予透明度后则优于MIP或MinP;当层块的全厚度、密度阈相当时,VR与3D SSD的效果相似,赋予透明度后则优于3D SSD。VR重组时,可随时调整阈值,显示不同血管和器官,类似“交互”式,图像非常直观,对操作者的技术要求比较低。

可以说VR是最好的三维重组方法,计算机软件、硬件的发展,极大地拓展了其在临床的应用。VR技术被广泛地用于除颅脑、颈部外的各个部位的CTA血管重组(图10-8~10-10)。有研究者在肾动脉CTA重组时发现,对于诊断准确性来讲,MPR和VR效果相似,均优于MIP和SSD。前几年有很多研究者用不同方法提高SSD的准确性,但SSD的准确性和所选择的阈值关系密切,阈值过高无疑会夸大狭窄。对于有钙化的血管,SSD不能区分狭窄和钙化,可能会低估狭窄。在一组31例患者的肾动脉狭窄研究中,SSD的准确性是55%,敏感性是59%;MIP的准确性是80%,敏感性是92%;VR的准确性是89%,敏感性是94%。对于股动脉、肝脏门静脉的CTA研究也有类似发现。

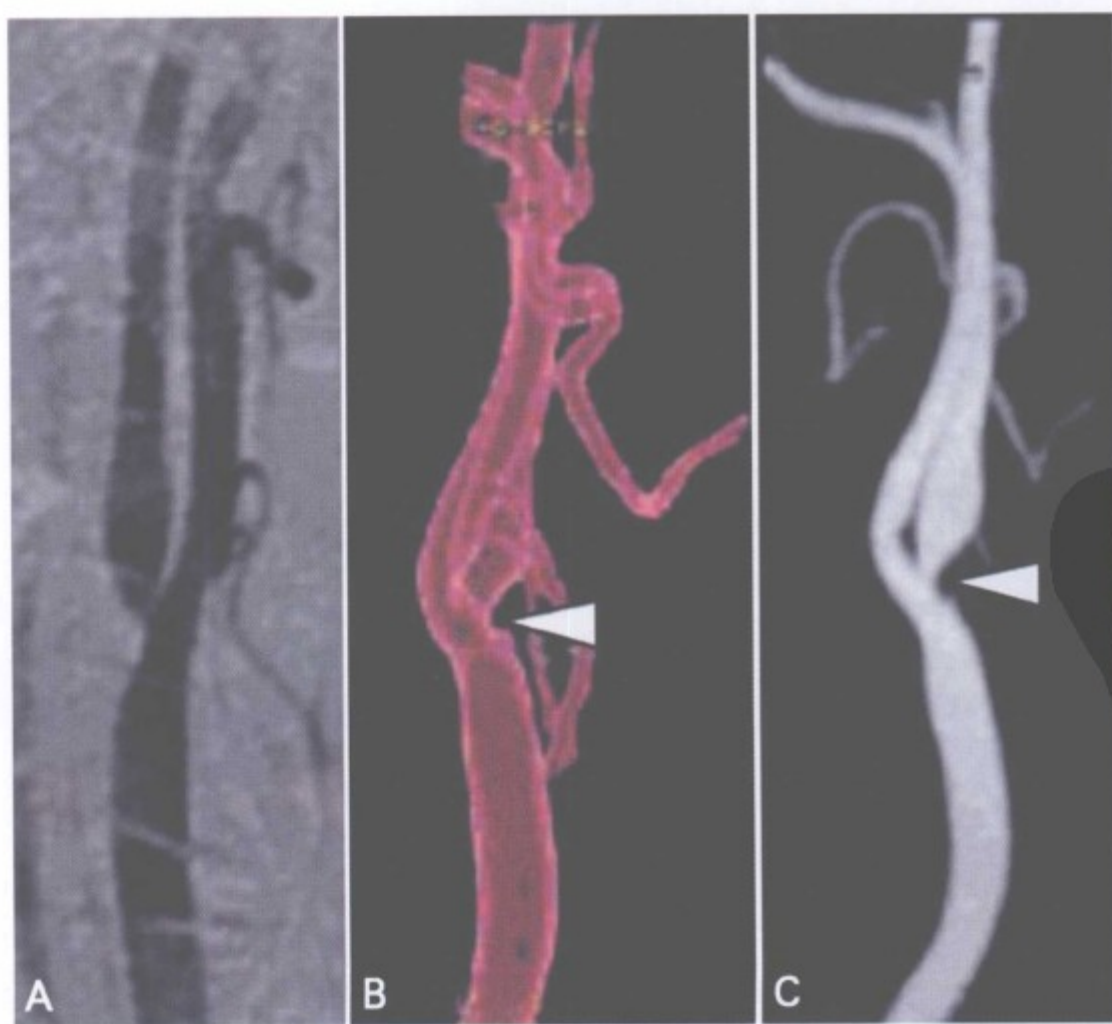


图10-8 右侧颈内动脉起始段轻度狭窄  
DSA(A)、VR(B)及MIP图像(C)均显示颈内动脉起始段轻度狭窄,VR及MIP经过旋转观察,可见小溃疡,而DSA未显示

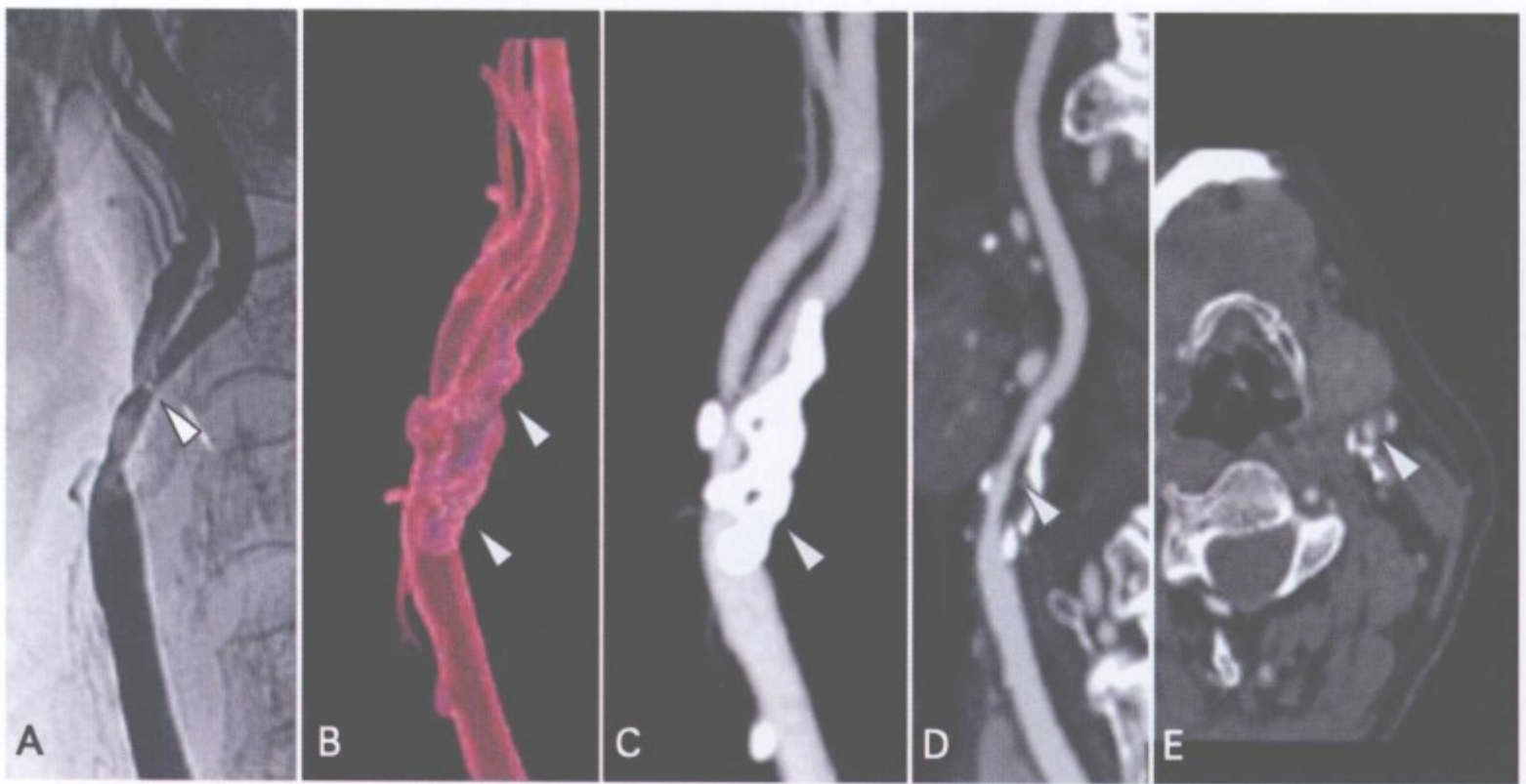


图 10-9 右侧颈内动脉起始段及颈总动脉远端中度狭窄  
 DSA(A)、VR(B)、MIP(C)及AVA(D)图像均显示病变段，MIP 图像显示狭窄段受钙化遮盖，显示不清，而VR 及AVA 图像均可清晰显示狭窄

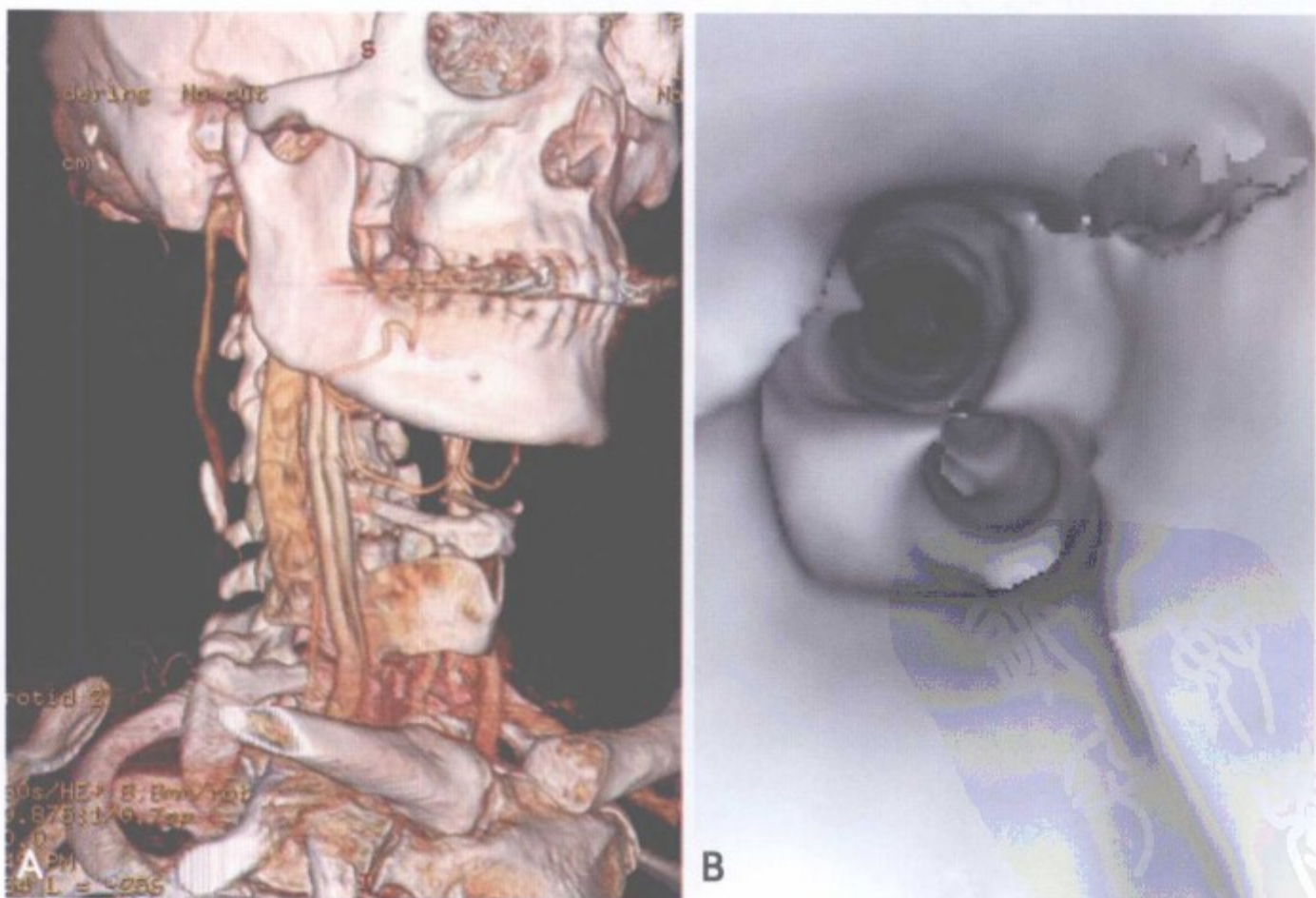


图 10-10 右颈总动脉夹层动脉瘤  
 A. VR 重组显示病变血管呈裂开状； B. 仿真内镜显示真、假腔

VR技术的优点:①将相对体素衰减转换成灰阶过程图像,其所得图像的准确性明显优于SSD;②保持原始CT数据中的解剖关系,优于MIP。

VR技术的局限性:①对于血管狭窄性病变,有可能会夸大狭窄,尚需结合原始横断面图像或MPR图像;②对骨骼和血管关系比较密切的部位,效果比较差,如颅脑、颈部,这些部位骨骼会遮盖血管影响观察。虽然有公司推出智能去骨技术,但这些去骨技术仍是以密度为基础的,难免会将正常血管误删除。

(黄 飏 梁长虹 张水兴)

## 第二节 图像编辑

### (一)高密度物的处理

高密度结构,如金属植入物、明显强化的组织和钙化等,可能在MIP、SSD和VR中遮盖所要观察的靶血管。

因为MIP投影时,只选择投影方向的最高密度的结构,这样较低密度的结构就会被遮盖。另外,对于SSD来讲,血管由于狭窄等因素,其密度值和周围组织差别较小,SSD重组后,肉眼不能分辨。所以在MIP重组前,必须用手动或半自动方法,去除不必要的高密度物。手动操作要求操作者比较熟悉所需重组的结构解剖,尽管此方法确保保留所要观察的结构,去除有可能会遮盖血管的结构,但此方法比较费时。一个较快的手动方法是把所要观察的成像容积分成多个厚块,逐层处理。

### (二)图像组合整合技术(rendering techniques)

整合技术是三维成像中至关重要的技术,是计算机通过平面图像的数据计算,整合成三维立体图像。主要包括三个步骤:立体重组;数据分类;投影。整合前常需确定信号阈值(threshold)以减少数据量,少占用计算机内存,提高速度。最高阈值是图像灰阶的顶点,常不用另设,最低阈值是图像中所要观察组织的最低信号值,实际上阈值往往指最低阈值。数据分类即将阈值范围内的信号保留,阈值外者删除。数据分类的一个局限性是会夸大部分容积效应,产生“模糊效应”,所以CT扫描层面越薄三维成像的效果越好。投影方法有多种选择,最常用的是表面投影和最大信号投影。表面投影立体感强,而且可以一层层剥去不同组织,如颅脑扫描可以“剥去”皮下脂肪及颅骨,显示出脑实质,还可以“分割”(cut)掉某一部分组织,显示出内部病变及邻近组织的关系。

### (三)多图像组合

同一扫描序列多图像三维重组后,可对图像进行各种处理,如删去有干扰的组织图像,单独显示兴趣目标及正常组织结构;然后将经过不同处理的、已化整为零的图像再次组合,就可以逼真地显示出感兴趣目标或病变与邻近组织的三维立体关系,使病变更清晰、直观。因系同一扫描后的不同处理,再组合时,计算机会自动准确定出不同图像的立体位置。

不同扫描序列多图像组合,分别进行三维重组后,亦可分别进行不同图像后处理,然后组合。再组合时需进行定位,最简单的方法是由操作者选出至少三个解剖标志(通常3个以上),虽然计算机在再组合计算时会部分校正图像的扭曲现象,但定位不准确仍会造成图像扭曲和失真。这就要求不同扫描时定位和像素大小一致,而且像素越小越好。头部、膝关节一般均可获得满意结果,胸、腹部效果较差,因这些部位难以克服心搏和呼吸运动引起的位置变动。

(黄 飏 梁长虹 郑君惠)

## 参 考 文 献

- [1] 黄飏,梁长虹,黄美萍,等.三维动态增强血流成像技术在胸部的应用价值.中国医学影像技术,2001,17(5):436-438
- [2] 黄飏,梁长虹,张忠林,等.颈部CTA检查:多层螺旋CT扫描与重组方法探讨.放射学实践,2002,17(4):285-287
- [3] 黄飏,梁长虹,王小冰,等.三维动态增强磁共振血流成像对指导肺癌手术计划的价值.放射学实践,2003,17(1):31-34
- [4] Ogawa T,Okudere T,Noguchi K,et al.Cerebral aneurysms:evaluation with three-dimensional CT angiography.AJNR,1996,17:447-454
- [5] Young N,Dorsch NW,Kingston RJ,et al.Spiral CT scanning in the detection and evaluation of aneurysms of the Circle of Willis.Surg Neurol,1998,50(1):50-60
- [6] White PM,Wardlaw JM,Easton V.Can noninvasive imaging tests accurately detects intracranial aneurysms? A systematic review.Radiology,2000,217:361-370
- [7] Sameshima T,Futami S,Morita Y,et al.Clinical usefulness and problems with three dimensional CT angiography for the evaluation of atherosclerotic stenosis of the carotid artery:comparison with conventional angiography,MRA and ultrasound sonography.Surg Neurol,1999,51:300-309
- [8] Schwartz RB,Tice HM,Hooten SM,et al.Evaluation of cerebral aneurysms with helical CT:correlation with conventional angiography and MR angiography.Radiology,1994,192:717-722
- [9] Gorzer H,Heimberger K,Schindler E.Spiral CT angiography with digital subtraction of extra and intracranial vessels.J Comput Assist Tomogr,1994,18:839-841
- [10] Imakita S,Onishi Y,Hashimoto T,et al.Subtraction CT angiography with controlled orbit helical scanning for detection of intracranial aneurysms.AJNR,1998,19:291-295
- [11] Skutta B,Furst G,Eilers J,et al.Intracranial stenocclusive disease:double-detector helical CT angiography versus digital subtraction angiography.AJNR,1999,20:791-779
- [12] Kaatee R,Beek,FJ,de Lange EE,et al.Renal artery stenosis:detection and quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography.Radiology,1997,205:121-127
- [13] Fishman EK.CT angiography:clinical applications in the abdomen.Radiographics,2001,21[suppl]:S3-S16
- [14] Kim KI,Muller NL,Mayo JR.Clinically suspected pulmonary embolism:utility of spiral CT.Radiology,1999,210:693-697

- [15] Lawrence JA, Kim D, Kent KC, et al. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. *Radiology*, 1995, 194: 903-908
- [16] Rieker O, Duber C, Neufang A, et al. CT angiography versus intraarterial digital subtraction angiography for assessment of aortoiliac occlusive disease. *AJR*, 1997, 169: 1133-1138
- [17] Rieker O, Duber C, Schmiedt W, et al. Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography. *AJR*, 1996, 166: 269-276
- [18] Fleischmann D, Rubin GD, Paik DS, et al. Stair-step artifacts with single versus multiple detector-row helical CT. *Radiology*, 2000, 216: 185-196
- [19] Rubin GD, Shiau MC, Leung AN, et al. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography. *Radiology*, 2000, 215: 670-676
- [20] Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ, et al. Multidetector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience. *Radiology*, 2001, 221: 146-158
- [21] Rutherford RB, Becker GJ. Standards for evaluating and reporting the results of surgical and per-cutaneous therapy for peripheral vascular disease. *J Vasc Interv Radiol*, 1991, 2: 169-174
- [22] Kramer MS, Feinstein AR. Clinical biostatistics. LIV: The biostatistics of concordance. *Clin Pharmacol Ther*, 1981, 29: 111-123
- [23] Owen RS, Carpenter JP, Baum RA, et al. Magnetic resonance imaging of angiographically occult runoff vessels in peripheral arterial occlusive disease. *N Engl J Med*, 1992, 326: 1577-1581
- [24] Jaeschke R, Guyatt GH, Sackett DL. Users' guides to the medical literature. III. How to use an article about a diagnostic test. B. What are the results and will they help me in caring for my patients? the Evidence-Based Medicine Working Group. *JAMA*, 1994, 271: 703-707
- [25] McCauley TR, Monib A, Dickey KW, et al. Peripheral vascular occlusive disease: accuracy and reliability of time-of-flight MR angiography. *Radiology*, 1994, 192: 351-357
- [26] Quinn SF, Sheley RC, Semonsen KG, et al. Aortic and lower-extremity arterial disease: evaluation with MR angiography versus conventional angiography. *Radiology*, 1998, 206: 693-701





## CT 血管成像的评价

### 第一节 CT血管成像质量评价

对于医学图像应用来说,图像质量与诊断决策的正确性相关,并且依赖于特定的诊断任务,CT血管成像的图像质量也如此。一般来说,图像质量评价包括客观评估和主观评估。在实际临床应用过程中,以图像质量能满足诊断要求,并尽量减少辐射剂量和对比剂用量为准。

#### 一、图像质量客观评估

图像质量客观评估包括空间分辨率、密度分辨率、Z轴分辨率、噪声和伪影。

##### (一) 空间分辨率及其影响因素

空间分辨率是用来衡量系统在高密度对比情况下,显示最小物体的能力。一般用1cm内可以显示的线对数来表示。普通CT图像的空间分辨率只有6.25LP/cm,高分辨率CT可达10LP/cm。空间分辨率由扫描装置的性能决定,如探测器的孔径数、分辨滤过效果、像素大小等。空间分辨率的影响因素包括以下几个方面。①焦点尺寸,减小焦点尺寸,可以使图像的空间分辨率提高。②采样率,采样率越高,空间分辨率越高。③探测器孔径,小的探测器孔径,必然增加空间分辨率。④重组卷积函数,卷积函数的作用是利用矩阵的卷积功能,将图像数据进行数字滤波,使图像产生变化;选择不同的卷积函数,也就是改变滤波器的截止频率;提高截止频率,可使高频数据通过,高频数据包含着小物体信息,这样也就增加了空间分辨率;如下面三种卷积函数:平滑函数、标准函数、锐利函数,其截止频率依次提高,空间分辨率也依此提高。⑤扫描矩阵像素大小及重组矩阵大小,重组矩阵为 $512 \times 512$ 的空间分辨率好于 $256 \times 256$ 矩阵,扫描野越小,扫描矩阵像素越小,空间分辨率越高。

随着 CT 技术的发展,探测器从 10mm、20mm 发展到如今的 40mm 覆盖,多层螺旋 CT 发展到可以进行  $64 \times 0.625\text{mm}$  的模式采集,而且可以达到  $0.33\text{mm}$  的各向同性分辨率。多层螺旋 CT 大大缩短扫描时间,同时具有容积扫描、薄层采集、可回顾层厚重组、扫描覆盖范围大的优点,CTA 的空间分辨率可达到  $0.33\text{mm}$ 。

### (二)密度分辨率及其影响因素

密度分辨率又称低密度分辨率,是指在低密度对比情况下(吸收系数相差为  $0.35\%$ ,即 CT 值相差  $3.5\text{Hu}$  时),所能区分最小物体的直径。密度分辨率又称对比度分辨率,它表示能分开密度(或对比度)差别的能力,以  $1\%$  表示。如果 CT 的密度分辨率为  $0.5\%$ ,则表示两种物质的密度差别等于或大于  $0.5\%$  时,即可辨别出来,当密度差别小于  $0.5\%$  时,由于受噪声的干扰,就无法辨别出来。密度分辨率的影响因素包括以下几方面。①通道的分辨率:通道的分辨率越高,密度分辨率越高。②监视器的分辨率:调节窗宽、窗位可以改变图像的亮度和对比度,使图像能够更好地显示病变部位的结构。③信噪比:信噪比越高,密度分辨率越高;提高信噪比有两种方法,一种是增大电压或者电流,使信号增大;另一种是改变扫描角度,使之成为过角度扫描;扫描角度包括部分扫描( $240^\circ$ ),普通扫描( $360^\circ$ ),过角度扫描( $379.2^\circ$ ),过角度扫描比普通扫描多出  $19.2^\circ$ ,这一角度的投影可以用来消除部分噪声,从而提高密度分辨率。④重组卷积函数:选择平滑函数,可以得到频率低的数字滤波器,它可以将高频噪声滤掉,从而提高密度分辨率,但同时也滤掉高频数据,使空间分辨率降低。

### (三)Z 轴的分辨率

Z 轴即与横断面相垂直的轴。CT 在横断面的空间分辨率远比在 Z 轴的分辨率高。这时由于 CT 成像的 CT 值为这一层厚的平均值,可能造成不能显示小病变或正常的组织(如增强的血管)而干扰病变的密度。为了增加 Z 轴的分辨率,可以减小层厚或者减小床动距离,形成叠层扫描。

### (四)噪声

CT 噪声是指在均匀物体的影像中,CT 值在平均值上下的随机涨落,它使图像呈颗粒性,直接影响其密度分辨率。噪声水平是与成像质量密切相关的性能参数,它直接影响和限制着系统的低对比度空间分辨率。

### (五)伪影

伪影是指出现在 CT 图像上的各种非真实的阴影或干扰,可造成病变的误诊或无法确诊。从实质上,伪影可看作是一种严重的随机噪声,按其成因可分为两大类:一种是患者引起的伪影,另一种是机器设备故障所造成的伪影,包括环状、直线状、不规则状等多种。

## 二、图像质量主观评估

主观图像质量测量方法被称做心理生理定标工具。在一个心理测定等级测试中,人类观察者被

要求评价图像质量。分值越高,质量越好。有三种常用的分等级方法:①将样品排序;②根据某种准则在二者中选一;③将样品分为几类。例如,根据 Van Hoe 等制定的标准,将重组出的冠状动脉图像质量分为5级。5级:无伪影;4级:有轻微伪影,仅主干的某一段轻微模糊,诊断不受影响;3级:中等伪影,某一支冠状动脉主干的1/2以上模糊,但可以诊断;2级:严重伪影,某一支冠状动脉主干全长模糊不清或不连续,诊断受限;1级:冠状动脉主干不能识别,不能用于诊断。

(郑君惠 黄美萍 崔燕海)

## 第二节 CT血管成像临床价值评价

对CT血管成像质量评价,我们还需要评价CTA在临床的应用价值,并与DSA、MRA以及多普勒超声的血管图像进行比较。

### 一、CTA与常规血管造影比较

常规血管造影是利用导管插管法,导管经动脉或静脉插入到检查部位,在经导管注射对比剂的同时,X线对靶血管曝光,靶血管成像的投影由模拟或数字的方式获取。在数字电影减影成像中,以数字式快速短脉冲进行采集图像,实时成像。注射对比剂前先采集数帧蒙片与注射对比剂时采集的图像相减,得到仅含血管和(或)心腔的减影像。

数字减影血管造影(DSA)是在常规血管造影的基础上与计算机结合发展起来的,良好的空间分辨率决定了其是血管影像诊断中的金标准。

数字减影血管造影的成像技术有了一步改进,包括以下几个方面。①采用高压注射器团注对比剂,注入速度和总量可精确调节,摄影时间可精确控制;②连续摄影,一次推注对比剂可摄取动脉期、毛细血管期和静脉期图像;③同时摄取正侧位或者斜位图像,大大减少了对比剂的用量和不良反应;④图像后处理,可减去颅骨影像,仅显示脑血管图像且图像亮度和对比度可任意调节,提高了脑血管的分辨率;⑤数字化图像适应了网络化发展,便于存储、检索和传输。

DSA具有良好的空间分辨率,可以显示0.5mm的脑血管,清晰显示脑血管各级分支的大小、位置、形态和变异。DSA为诊断颅内动脉瘤的金标准,不仅可良好地显示瘤体本身,而且对其间接征象如脑血管痉挛、脑内血肿、脑水肿、脑积水及脑梗死的血管特征等可清楚地显示。文献报道,其诊断准确率达到89%~95%。目前,尚无任何一种影像学检查可取代DSA诊断颅内动脉瘤,尤其在为临床提供治疗方更具优势。3D DSA在正确诊断颅内动脉瘤方面更有其无法替代的优越性。

但是,DSA仍存在诸多不足。两侧大脑半球动脉血管需分别造影,颈内动脉系和椎动脉系也需分别造影。动脉瘤内有血栓形成时,可不显影。与CTA相比,DSA仍是有创性检查且有诱发再出血的可能性,因而限制了其在急性脑出血时的临床应用。DSA操作复杂,创伤性较大,射线辐射和对比剂用量也大,血管显示好而周围结构显示差。对于大的动脉瘤,需用大量的对比剂来填充瘤体才能真正显示,

且导管可损伤瘤体和动脉内膜,以及造成血栓脱落等危险。所以,对疑有颅内动脉瘤的患者,首选的检查方法是非创伤性检查技术(MRA、CTA),不能确定诊断时,再行DSA检查。

与常规血管造影不同,CTA是一种三维的成像方法。图像的观察方向可回顾性选择,重叠的结构可通过层面的选择和重组处理而被分开。CTA采用静脉注射,与动脉注射对比剂比较,可明显地减少产生并发症的危险性。

由于CTA是在肘静脉或手背静脉注射对比剂,对比剂通过血液循环到达检查部位血管,所以,常规血管内造影或DSA在空间、时间和对比分辨率方面仍占有优势。故整体上比较,两种方法各有优点。在临床应用选择上,CTA以更低的代价和更少的危险性获得了重要的信息。

CTA与DSA的对比研究显示,脑CTA可以100%显示颅内动脉的第3级分支,电子束CTA对大脑中动脉的4~5级分支的显示率甚至可达94.5%,但是对前、后交通动脉的显示率存在较大差异。在病理状态下,脑CTA仍有很好的相关性。CTA对Willis环周围大于4mm的颅内动脉瘤可达到与DSA相同的检出率,但对接近颅底和细小的动脉瘤容易漏诊,且无法分别显示动脉和静脉。CTA是血管内注射对比剂成像的,成功的关键是在脑动脉充盈对比剂的高峰期扫描成像,因而,成像效果受对比剂剂量、注射速度、延迟时间、层面厚度及重组间隔的影响。就颅内动脉瘤而言,CTA不仅能显示“肿瘤染色”,而且可显示肿瘤与周围大血管的关系,为手术提供帮助。随着多层螺旋CT的应用,以前CTA薄层扫描对患者辐射较大和成像范围不大等问题已得到很好解决。因此,CTA是有效无创伤性的血管成像技术,在很大程度上可替代有创伤性的DSA。

对于动脉瘤和动静脉瘘,CTA在受检的靶血管内对比剂充盈的高峰期内进行连续容积采集,无损伤,应用工作站的后处理功能,可进行血管的三维重组,所得薄层重叠扫描图像经过最大强度投影(MIP)软件重组,可去除骨组织或其他高密度影,图像接近血管造影,且可任意角度旋转图像,显示复杂的解剖关系。主要缺点是对小血管狭窄程度判定有一定的困难,对末梢血流状态不能判定,以及对复杂的血流变化不敏感。DSA清晰显示病变的供血动脉、瘤体结构及流出道状况,显示病灶的流入动脉、瘘口及引流静脉。临床实际应用中,通常以DSA为“金标准”来评价病变,明确手术指征,DSA还是介入治疗的重要手段。不足之处是对血管壁、管周组织表现欠佳,是一种损伤性检查,对穿刺血管有一定的损伤,若处理不当会引起并发症。

16层和64层螺旋CT采集到像素各向同性数据,意味着可以常规使用三维显示工具在任意方向上以相似的空间分辨率显示图像。高分辨率CT血管造影(CTA)可以取代常规诊断血管造影显示颈动脉、胸主动脉、腹主动脉和周围循环血管阻塞和狭窄。在许多医院,CT肺动脉成像诊断肺动脉栓塞已经取代了通气灌注扫描检查。高分辨率CT不仅改善了肝脏、胰腺和肾脏病灶的显示,而且还提供外科手术计划有用的血管影像。

多层螺旋CT从4层发展到64层,空间分辨率和时间分辨率大大提高,采集冠状动脉图像时,一次屏气即可完成,重组的伪影减少。利用最大密度投影(MIP)、容积再现重组(Volume rendering)和仿真内镜技术进行各向同性重组,图像逼真,可以多视角评价管腔、管壁的病理变化,对钙斑、血栓和支架的显示优于冠状动脉造影,显示管腔狭窄的敏感性、特异性也很高,而且可以显示闭塞动脉远端血管的情况。Knez等和Nieman等的研究证实了Achenbach等的报道。在他们的研究中,MDCT检测冠状动脉狭窄 $\geq 70\%$ 的敏感性为91%,特异性为84%,59%的阳性预测值和98%的阴性预测值;检

测狭窄 $\geq 50\%$ 的敏感性为85%，特异性为76%。通过上述研究发现，MDCT对冠状动脉中、重度狭窄和完全闭塞的阴性预测值较高，基本能满足临床上介入治疗筛选的需要，减少了对导管法冠状动脉造影的依赖和应用。

## 二、CTA与MRA比较

MRA也是一种无损伤性检查，不仅可以对血管腔结构进行简单的描述，更可以反映血流方式和速度的血管功能方面的信息。MRA技术为同时获取周围血管系统的解剖和功能信息提供了可能。MRA可显示成像容积内的所有血管解剖结构、血流速度和方向，这种非选择性显示对侧支血管的评价非常有价值，而常规X线血管造影显示这些侧支可能困难；MRA对闭塞段远端的动脉流出道显像质量比动脉造影好，这对准备动脉旁路手术很重要。另外，MRA的后处理技术也能消除不需要的血管的影像，还可评价血管壁和血管周围组织，显示慢性出血或感染。MRA成像受慢血流及湍流影响，血流信号易丢失，而常有夸大狭窄程度的倾向，空间分辨率也不如DSA。

MRA扫描序列对扫描层面进行刺激(stimulant)，使层面内静质子达到饱和，而流动质子因刚进入层面，未经历上述射频脉冲饱和，与周围静止组织对比呈高信号，称流动相关增强。利于流动相关增强，可以采用所谓时间飞跃法(time of flight)进行血管成像(TOF-MRA)。

相位对比(phase contrast)法基于MR信号不仅受纵向磁场影响，还受相位影响这一特点，使流动质子失相位，而静止质子处于固定磁场中相位保持一致，使血管与周围组织形成明显对比。

比如：在临床实际应用中，脑动脉一般较细小和迂曲，宜用三维TOF-MRA技术。MRA通过不同角度投射重组，可以旋转显示，从多个方向观察；选择性饱和技术可显示不同流向血管，观察血流来源、血流方向，消除不相关血流干扰，从而能准确地显示动脉瘤的位置、大小、形态及载瘤动脉的关系，清晰显示全脑或每支脑血管的三维解剖。文献报道，应用最多的三维TOF法其显示颅内动脉瘤的敏感度为55%~93%，特异性为73%~95%。敏感度范围如此之宽的部分原因是研究者研究的动脉瘤大小不同。显示动脉瘤的临界直径大小定为5mm， $>5\text{mm}$ 者，敏感度为85%， $<5\text{mm}$ 者为56%。一般而言，大脑中动脉和前交通动脉瘤敏感性较高，而颈内动脉瘤相对差。动脉瘤漏诊的主要原因是动脉瘤 $<3\text{mm}$ 、不常见部位和血管重叠。假阳性最常见部位是前交通动脉，其次为大脑中动脉、基底动脉和后交通动脉。有文献报道，MRA结合原始图像和MRI，敏感性则高达96.3%，特异性提高到100%。

目前，强调应用MRA进行脑血管疾病检查诊断的医生要对MRA的原始像、SE像、MPR像和MIP像进行综合复习观察。MRA的原始图像中包含着功能信息和解剖信息，既可显示血管又可以显示血管与神经的解剖关系，但在显示动脉瘤颈方面尚不满意。另外，三维TOF-MRA对慢血流不敏感，如直径较大的动脉瘤，其瘤腔内伴有或不伴有血栓形成，由于涡流的相位弥散效应和慢流的饱和效应导致其瘤腔内血流信号较强，有时甚至不显影，可被误认为是动脉瘤内有完全性血栓形成。动脉瘤内血栓可使动脉瘤体积显示得较实际小。MRA显示动脉瘤应特别注意扫描块的方向与所成像的血管方向垂直，使流入增强效应最大，饱和效应最小。合适的重复时间和采用磁化传递对比(MTC)技术增加血管和背景组织的对比度，用最短的回波时间，以减少相位弥散引起的信息丢失。采用多薄块法减少饱和效应，采用薄层厚和高矩阵提高分辨率，可以增加小血管和动脉瘤的检出。目前MR技术的发展

已使MRA成像质量明显提高,主要通过提高空间分辨率、增加血管内信号强度、降低背景信号强度等来提高细小结构的显示能力。

常规MRA无需对比剂,但存在着一些问题:①走行于扫描层面而非垂直扫描层面的血管,扭曲的血管及分叉血管因射频饱和作用造成信号丢失,血管腔的形态发生改变或不显示;②局部狭窄或扩张的血管及大的动脉瘤,由于血流的不均匀性产生湍流或涡流,造成血液中质子群失相位,导致信号丧失,致使血管结构显示不良或出现夸大效应。

动态增强MRA是一种新的血管成像技术,与血流的流动增强效应等无关,不是利用血流的流动效应来显示血管,而是通过静脉注射顺磁性对比剂(Gd-DTPA),大大缩短血流的 $T_1$ 时间(大大低于脂肪组织 $T_1$ 时间),使之比周围组织的 $T_1$ 时间更短而使血管成像。该方法对动脉瘤的评估作用及意义更大。动态增强MRA与血流方向没有直接关系,而与扫描时靶血管内Gd-DTPA的浓度有关,准确掌握注射时间与扫描时间的关系(中心K空间采集时间与靶血管内对比剂达到最高浓度时间吻合),就能清晰显示靶血管结构形态。

磁共振成像具有无电离辐射及非碘对比剂的特点,可用于既往有碘变态反应的患者;对于肾功能不全者,可以选择不使用对比剂的常规MRA检查。

多层螺旋CT血管成像诊断动脉瘤有较高的敏感性,多角度重组图像可任意角度旋转,能清晰地显示动脉瘤瘤体、瘤颈状态,瘤颈部和载瘤动脉与周围血管和其他解剖结构的关系,瘤体腔内有无附壁血栓等。由于多层螺旋CT扫描速度快,所以检查时间较短及覆盖范围较大,适于急诊和躁动的患者。

CTA与动态增强MRA比较,CTA的空间分辨率比较高,图像质量更好,扫描时间短。特别是肾动脉(图11-1)和冠状动脉CTA,图像质量明显优于MRA(图11-2)。

### 三、CTA与超声多普勒比较

超声多普勒因其无创、实时性及价格优势,在临床中应用普遍,尤其在疾病随访中具有极大的临床价值。三维血管超声显像能够显示血管主干与分支的连续形态和结构,如颈总动脉及其分支,腹主动脉与左、右髂总动脉以及延续的情况,外周血管(上、下肢动脉)。三维血管超声显像可为血管腔容积、斑块体积、管腔狭窄率、腔余量、病灶钙化长度、病灶破裂长度等分析提供较为准确的信息。其实时性有利于术中显示球囊扩张术后内膜撕裂的形态、真假腔,便于提示血管介入性手术的方法、深度以及选择血管内支架的类型、大小和评价支架的疗效。

三维血管超声图像由若干心动周期的二维图像叠加而成,尚不能达到实时显示的要求,只能称其为超声三维重组,而不是真正的三维血管超声显像。三维重组图像的优劣取决于二维图像的质量。在检测过程中,若探头偏离靶血管区,将给原始图像的获取以及数据库的建立带来一定影响。因此,靶血管区的二维图像必须清晰,况且图像的存储及重组所花费的时间较长。

提高彩色多普勒超声敏感性的新技术受探头频率及分辨力的限制。目前,常规彩色多普勒超声尚不能直接观测到直径 $<100\ \mu\text{m}$ 的血管,使其在肿瘤血管的检测中受到一定限制。近年来,超声对比剂的应用使彩色多普勒超声显示肿瘤微小血管成为可能。多项研究认为,微气泡对比剂的直径多为 $1\sim 6\ \mu\text{m}$ ,而后散射信号较红细胞大1 000倍,因而可以增加细小血管显示的敏感度,使肿瘤的彩色



图 11-1 肾动脉 CTA

双侧肾动脉显示主干（箭头）至 3~4 分支

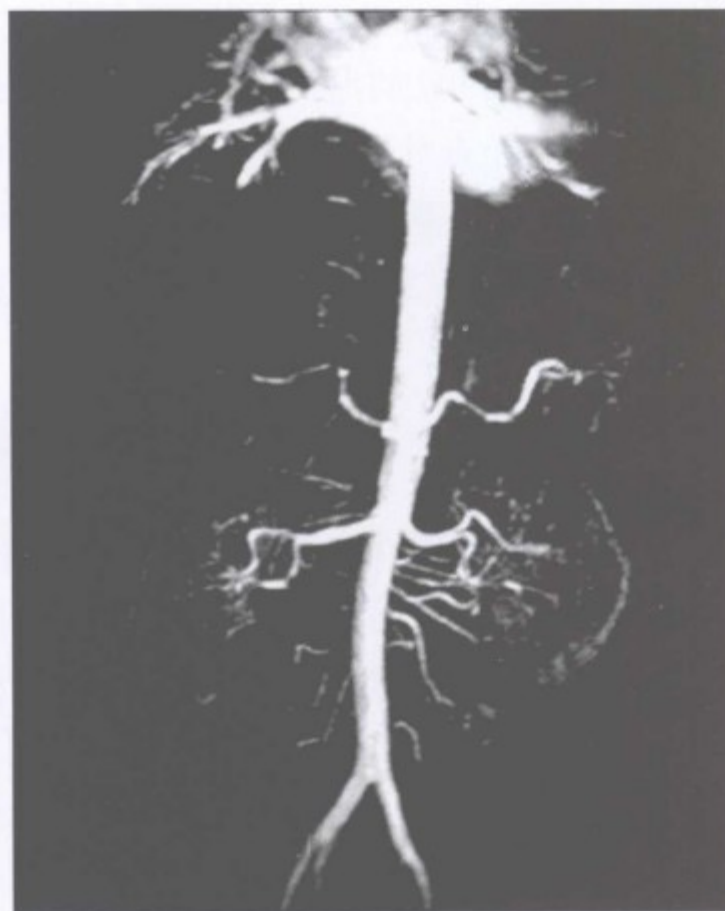


图 11-2 肾动脉 MRA

血流信号增加。超声对比剂和超高频探头可提高彩色多普勒超声显示肿瘤微小血管的能力。

频谱多普勒可用以定量研究肿瘤血管的血流状态。

超声多普勒检查可显示颅内各大血管的血流速度高低以及颈部双侧椎动脉的管径、流速、血流量。由于TCD及彩色多普勒超声存在超声探头角度等无法避免的人为主观误差,不同操作者得出结果可能相差很大,且不能反映侧支循环情况,无法直接反映血管供应区域的灌注情况。因此,普遍认为TCD及彩色多普勒超声只能作为一个较粗略的临床筛选方法。

高性能彩色多普勒超声对下肢大血管有良好的显示作用,尤其对血流及管壁的显示。通过对血流流速的测量,对动脉瘤的确认、动静脉瘘口的定位均极有价值。局限性是,若血管位置深,血流信号难以测出。超声多普勒是评价下肢静脉病最常用的检查方法,然而它对胫腓静脉等小血管及盆腔静脉的显示不佳。

多层螺旋CT可以用薄层完成大范围的扫描,也就是在提高时间分辨率的同时,提高了扫描纵轴的空间分辨率,为需要大范围短时间扫描的下肢静脉成像提供了保障,加上其强大的后处理功能,可明确静脉病变的性质、范围和程度。

多层螺旋CTA可以显示动脉血管形态和病变,较超声检查更加直观,对细小动脉显示更好,但不能测定血流方向和流速。静脉多层螺旋CT检查的常用成像方法包括间接及直接静脉成像两种方法。间接方法是在经静脉注射对比剂后,对比剂在血液循环中经第二次循环进入靶静脉扫描,显示靶静脉血管结构形态。通常应用于肺动脉与下肢静脉联合成像,方法是经静脉注射对比剂,利于对比剂

回流到右心系统进入肺动脉显示肺动脉结构;对比剂通过肺循环后进入体循环静脉时扫描获得体静脉血管结构信息。该方法的优点是在一次检查中同时观察肺动脉及四肢静脉及腔静脉有无血栓形成。文献报道,与超声检查对照,对股腓深静脉血栓诊断的敏感性及特异性更高。直接法静脉 CTA 有选择性静脉造影的优势,避免了动脉影像的干扰。CT 直接静脉造影在评价股腓静脉方面,尚可检查超声不能检出的胫腓静脉及盆腔静脉的血栓。直接法静脉 CTA 对盆腔静脉的显示较 X 线静脉造影更清晰。

## 四、CT 血管成像的局限性

### (一)CTA 在颅内血管病变应用中的局限性

- (1)难以显示直径 $<3\text{mm}$  的动脉瘤。
- (2)由于容积效应,难于显示邻近颅板的小动脉瘤。
- (3)时间分辨率低。在诊断血管畸形时,难于有效区分动脉和静脉及动态显示血流状态。
- (4)对后交通动脉瘤的显示结果不理想。

### (二)CTA 在大血管病变应用中的局限性

(1)对比剂团注流率及扫描延迟时间影响动脉中对比剂浓度,可能形成动脉狭窄的假象,甚至导致 CTA 检查的失败。

(2)血管重组时,CT 阈值范围过宽可致干扰信号增加,范围过小则丢失信号。由于存在人为因素,因此在狭窄程度的客观判定上有一定的局限性。

(3)由于扫描的时间分辨率、重组算法和 CT 扫描技术方法不足,尚不能达到足以完成心肌灌注信息分析数据的获得。

(4)CT 灌注成像虽然在定量分析方面具有优势,但辐射剂量仍然不可忽视。

### (三)CTA 在静脉系统病变应用中的局限性

(1)无论间接法,还是直接法均难以显示下腔静脉隔膜和静脉瓣结构。

(2)由于静脉回流血液中无对比剂血流进入有对比剂的血流,可以形成充盈缺损,造成血管内血栓或瘤栓的假象,可能导致误诊。

(郑君惠 黄 飏 赵振军)



## 参考文献

- [1] 王鸣鹏.《实用CT检查技术学》.科学技术文献出版社
- [2] 张宗军,许健,李苏健,等.磁共振血管造影在脑动脉瘤诊断中的应用价值.中华放射学杂志,1996,30:139-141
- [3] 张成琪,张增芳.MRA在诊断颅内动脉瘤中的应用.医学影像学杂志,2004,14(1):17-19
- [4] 方佳,贾宁,吴晓明,等.动态增强MRA在胸腹部大血管成像中的应用.实用放射学杂志,2004,20(9):854-855
- [5] 金宝荣,张晓滨,刘新纯.CE-MRA增强机制及其临床价值.数理医药学杂志,2005,18(4):360-361
- [6] 王祖飞,纪建松,吕桂坚,等.三维动态增强MRA在主动脉疾病方面的应用.浙江临床医学,2005,7(8):887
- [7] 长束一行.脑血管造影、DSA、MRA.日本医学介绍,2001,22(4):154
- [8] Van Hoe LR,De Meerier KG,Leyman PP,et al. Coronary artery calcium scoring ECG-gated multidetector CT:effect of individually optimized image-reconstruction windows on image quality and measurement reproducibility. AJR,2003,181:1093-1100
- [9] Lanzino G. Intracranial dissecting aneurysms causing subarachnoid hemorrhage;the role of computerized tomographic angiography and magnetic resonance angiography. Surg Neurol,1997,48(5):477-481
- [10] John NKE. The role of computerized tomographic angiography in the diagnosis of intracranial aneurysms and emergent aneurysms clipping. Neurosurgery,1996,38:481
- [11] Aumgartner RW. Transcranial color-coded duplex sonography, magnetic resonance angiography, and computed tomography angiography: methods, applications, advantages and limitations. J Clin Ultrasound, 1995,23:89-111
- [12] Knez A,Becker CE,Leber A,et al. Usefulness of multislice spiral tomography angiography for determination of coronary artery stenoses. Am J Cardiol,2001,88:1191-1194
- [13] Nieman L,Rensing BJ,van Geunns RJM,et al. Usefulness of multislices computed tomography for detecting obstructive coronary artery disease. Am J Cardiol,2002,89:913-918
- [14] Hashimoto N,Kikuchi H. Experimental induction of cerebral aneurysms in monkeys. J neurosurg,1987,67:903-905
- [15] Bosmana H,Wilms G,et al. Characterization of intracranial aneurysms with MR angiography. Neuro radiology,1995,37:262-266

## CTA 临床应用概况

### 第一节 概 述

CTA是以螺旋CT尤其是多层螺旋CT(MDCT)扫描成像为基础,通过血管内注射对比剂,以达到显示全身各部位血管(包括动脉和静脉)为目的的一项检查技术。广义上的CTA包括CT动脉成像技术(CTA)和CT静脉成像技术(CTV)以及CT微循环成像技术(CT灌注,CT perfusion imaging, CTP)。在临床上,通常所说的CTA是指CT动脉成像和CT静脉成像。

自CT临床应用和对比剂发明以后,CTA就开始应用于临床。早期的CTA检查,成像时间长,图像质量相对较差,而且仅能观察如主动脉等大血管。随着CT设备的硬件和软件不断更新换代,尤其是20世纪90年代后多层螺旋CT的出现,CTA才得到临床的广泛认可和应用。64层螺旋CT的使用,使人类可以常规使用无创或微创(静脉穿刺及注射对比剂)技术来评价冠状动脉的状态,方法简单、可靠,为冠状动脉的检查和评价开创了新的篇章。

CTA的基本方法,通常是在静脉血管内注射对比剂后,以一定的延迟时间(delay time)进行CT扫描;扫描完成后获得的原始数据,通过工作站上的各种图像后处理软件,根据临床诊断和治疗需要进行图像后处理,显示出组织和器官的血管形态学解剖结构及细节(如果是CTP,就可以获得一系列血流灌注参数,如血流量、血容量、峰值到达时间、平均到达时间、表面通透性等),为临床诊断和治疗提供有益的指导和帮助。

血管内对比剂注射包括直接插管法和静脉注射法两种。前者是指通过插管技术,直接将导管插入动脉(如主动脉)或静脉(如肺静脉),然后经导管注射对比剂,同时行CT扫描;后者是指通过外周静脉注射对比剂,直接CT扫描时可以得到相应静脉的血管造影图像;对比剂通过心房、心室后进入肺循环、体循环或周围血管时行CT扫描,分别可以得到肺动脉、肺静脉或周围血管的血管造影图像。当然,对比剂经过体循环的动脉和微循环进入体静脉后再行CT扫描,也可以得到静脉的血

管造影图像。目前,临床上以静脉内注射对比剂法进行CTA检查最为常用,且并发症和副作用最小。

(赵振军 周涛 黄颺)

## 第二节 CTA的适应证、禁忌证和注意事项

### 一、CTA检查适应证

目前,临床上使用的多层螺旋CT扫描速度非常快,可以达到秒级容积数据采集。比如:64层螺旋CT扫描旋转采集完成一帧图像采集时间可以达到0.33s;探测器覆盖范围可达24~40mm,1次屏气扫描覆盖范围大;探测器宽度最窄达0.5mm,可以获得的层厚薄,使得其图像的Z轴空间分辨率显著提高,可获得近乎各向同性的图像,基本可以消除部分容积效应伪影和阶梯状伪影,配合强大的后处理软件使图像达到与解剖图谱相媲美的效果,甚至可以替代DSA血管造影,使得一些常规CT不能完成或不能很好完成的项目得以实现,极大地扩展了CTA的应用范围。

动脉血管多层螺旋CT造影技术已经很成熟,其血管成像可以显示血管腔内、管壁和腔外病变;不仅可对大范围解剖血管成像,而且可以对小范围小血管高分辨精细显像,甚至可用于研究运动器官的血管。此外,对于一些带有金属支架不宜行MRA检查的大血管病变患者也可以行CTA检查。总体上看,全身各大脏器的血管都可以行CTA检查,对脏器的血管可以显示到3~4级分支水平。肺动脉CTA甚至可以显示更细小血管,其显示的图像完全可以满足临床诊断的需要。由于CTA具有较高的空间分辨率,而且可以从不同角度显示图像,在许多血管性病变的检查方式中有望成为新的金标准。

### 二、CTA检查禁忌证

尽管CTA已经广泛应用于临床,而且日益普遍,但仍然有患者不宜或禁忌。首先,一些不适合X线检查的人群,如孕妇等,不应行CTA检查或权衡利弊。

此外,由于CTA检查时需要注射含碘对比剂,所以对使用含碘对比剂禁忌的患者,均为该项检查的禁忌证,包括碘过敏、甲状腺功能亢进未得到控制、严重肾功能不全等。

对一些有高危因素的人群,如过敏体质、血清肌酐水平升高,尤其是继发于糖尿病肾病、脱水、充血性心力衰竭、高血压、年龄>70岁,合并使用肾毒性药物,如非类固醇类抗炎药等患者,在进行该项检查前,应当很好地评估和衡量其利弊。当决定做该项检查时,应当采取相应措施以尽量减少这些高危因素的影响。

### 三、CTA 检查的注意事项

要满意地显示血管,尤其是动脉,在扫描计划开始之前,所用对比剂的浓度、注射流率、扫描延迟时间、扫描速度等都是需要考虑的。

300mg/ml 以上的碘浓度、适当的注射流率、较短的扫描时间和准确的扫描延迟时间是必需的。为了保证“纯动脉”期成像,建议正式扫描前采取预扫描的方式,通过注射 15~20ml 的对比剂,计算出动脉的时间密度曲线,从而确定扫描的准确延迟时间;较短的扫描时间可以保证所采集的图像没有静脉图像的干扰;同时要求扫描时一直有对比剂的注射,以保持靶血管内碘对比剂浓度。

虽然有多种重组方法,但在一些征象不能很好解释时,回顾分析原始图像、采用多平面重组、最大密度投影和曲面重组方法等对诊断有很大的帮助。

在解释静脉图像,尤其是有否充盈缺损时应慎重,因为静脉瓣和血液的层流均可以造成“假性充盈缺损”。对一些小血管,若直径 $<2\text{mm}$ ,由于 CT 分辨率和血管内对比剂的浓度问题,在解释其内的充盈缺损和狭窄时均应慎重。

(赵振军 周 涛 张水兴)

## 第三节 CTA在全身各部位的临床应用

### 一、头 颈 部

1. 诊断作用 CTA 是一种简单、快速和非创伤性的技术。由于 MDCT 可一次完成从主动脉弓到头部的扫描,能完整地显示颈动脉、椎动脉和颅内动脉,因此,在探测颅内动脉瘤、血管畸形、肿瘤供血、颈动脉和椎动脉狭窄等方面有很大的作用,甚至可以取代 DSA 的诊断作用。

在颅内血管病变的诊断,尤其是在急性蛛网膜下腔出血的病例中,通过 3D 多平面重组、容积再现等技术,CTA 可以很好地显示 Willis 环,可发现和完全再现动脉瘤的形态、内部特征、瘤颈以及瘤体与周围组织的关系,有助于指导手术和手术治疗后疗效的评价;在颅内动静脉畸形(AVM)方面,CTA 能够完整显示 AVM 的供血动脉、畸形血管团和引流静脉等的三维结构;在诊断颈动脉瘤方面,CTA 可作为首选检查方法,在一次检查中,CTA 不仅能明确肿瘤的存在、位置、大小、形态,还能明确肿瘤的血供、有无滋养血管及其与邻近组织器官的关系,能够提供与 DSA 同样甚至更多的信息;在诊断颈动脉狭窄方面,CTA 较 DSA 更容易发现腔内的不规则狭窄及溃疡,可以准确量化所有狭窄与阻塞,能准确描述血管直径以及空间关系;在椎动脉方面,CTA 能清晰显示椎动脉走行全程、节段性或全程椎动脉狭窄、与椎骨的解剖关系,在椎动脉先天畸形、血管钙化、狭窄以及判断相邻椎骨的影响等方面优于其他影像学方法,能够为椎动脉病变的诊断提供重要资料。

2. 准确度 CTA 在头颈部的应用,文献大部分局限在颅内动脉瘤、颈动脉狭窄等方面。Dammert 等显示,对于直径 $>13\text{mm}$ 的颅内动脉瘤,CTA 的敏感性为 100%;对于直径在 5~12mm

的中等度大小的动脉瘤,敏感性为90.6%;直径<4mm的小动脉瘤,敏感性为83.3%。Karamessini等将CTA与DSA和外科手术所见相比较,CTA总的敏感性为88.7%、特异性为100%、阳性预测值为100%、阴性预测值为80.7%、精确性为92.3%;而DSA分别为87.8%、98%、97.7%、89.1%和92.9%。如果动脉瘤的直径 $\geq 3\text{mm}$ ,则CTA的敏感性介于93.3%~100%,与DSA相同。

CTA评价颈动脉狭窄的敏感度为88%~100%,特异性为83%~100%;评价血管闭塞的敏感度和特异度均达100%。有研究显示,对于>70%的颈动脉狭窄,CTA的敏感性为95%,特异性为98%。对于斑块的成分,CTA有可能分辨出脂质、纤维和钙化斑,对临床斑块的处理提供指导性的建议。

3. 限度 对于小的颅内动脉瘤,CTA诊断有一定的限度。直径<2mm的动脉瘤,CTA的敏感性为50%。然而,有研究表明,对于破裂的动脉瘤,若CTA阴性,则需进一步检查;若没有破裂动脉瘤的征象,CTA阴性,则进一步检查临床意义不大。

## 二、冠状动脉

开展无创性冠状动脉检查,一直是人类的梦想。自多层螺旋CT发明后,使得这种梦想成为现实。冠状动脉CTA无疑是螺旋CT的突破性进展技术之一,自8层螺旋CT开展尝试性冠状动脉CTA检查,到16层螺旋CT使用,最后到64层螺旋CT使冠状动脉CTA成为常规检查,无疑代表着人类科技的进步。

1. 诊断作用 单纯对冠状动脉进行钙化评分,其方法虽然简单,也有较高的敏感性,但对诊断冠状动脉狭窄的特异性并不高,临床意义也受到质疑。Herzog等研究显示,其总的敏感性介于66.7%~94.7%,特异性为20%~80%。应用冠状动脉CTA后,其诊断冠状动脉狭窄的敏感性和特异性有很大的提高。

冠状动脉CTA采用多层螺旋CT的高分辨扫描模式,同时记录数字化心电图数据,根据心电图数据回顾性选取心室舒张末期的容积数据来重组冠状动脉图像。目前的研究显示,该方法可以部分取代冠状动脉造影(插管法),作为冠状动脉狭窄的初步筛选和冠状动脉支架及搭桥术后初步评估的首选方法。

2. 准确率 目前国内、外的研究表明,8层螺旋CT诊断冠状动脉狭窄有一定的限度,其敏感度和特异度并不很高,不具备真正的临床使用意义。16层或16层以上的多层螺旋CT,在对冠状动脉病变的评价上,有较大的临床应用价值。总体上,16层螺旋CT评价直径 $\geq 2\text{mm}$ 的冠状动脉,其中82%~89%的MDCT图像能够满足管腔评价的要求;显示冠状动脉节段中度和中度以上狭窄( $\geq 50\%$ )的敏感度和特异度分别为82%~88%和89%~95%,阳性和阴性预测值分别为78%~85%和88%~95%。64层螺旋CT评价冠状动脉,87%~93%的MDCT图像能够满足管腔评价,诊断冠状动脉狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为83%~90%、92%~97%、88%~93%和90%~97%。

3. 限度 由于扫描速度和分辨率的限制,目前的多层螺旋CT对冠状动脉远端或小血管分支的评价有一定的限度,对其管腔的评价有一定困难;此外,心律失常会影响图像的采集甚至使心电门控失

效,严重影响图像质量;冠状动脉钙化一方面可以产生图像伪影,另一方面其密度可以与对比剂的密度相似,使评价冠状动脉管腔狭窄变为困难,甚至不可靠。因此,对于严重冠状动脉钙化、心律失常的患者以及对于冠状动脉的细小分支,目前多层螺旋 CT 的评价作用仍然有限。

### 三、心 脏

目前,心脏的影像学检查还是以胸部平片、超声、心导管造影为主,多层螺旋 CT 应用于心脏的文献报道并不多。但近期的初步研究显示,CT心血管造影在心脏畸形等方面有其独特的优势。

1. 诊断作用 多层螺旋 CT 由于可以对心脏进行任意平面重组,避免了多种结构相互重叠的影响,有利于多角度观察心房、心室、大血管以及它们之间的关系。总体上,多层螺旋CT对各种房室和大血管畸形都能够很好地显示。对一些先天性心内结构畸形,如房、室间隔缺损,三房心、单心室等,多层螺旋CT的诊断作用与心脏超声和心血管造影相同;在显示心外结构畸形方面,多层螺旋CT有明显的优势。如在肺静脉畸形引流中,多层螺旋CT可以很好显示出肺静脉入口;在主动脉弓离断畸形中,多层螺旋CT可以显示主动脉离断的两端;在肺动脉闭锁畸形中,由于对比剂可以通过侧支循环进入闭锁的肺动脉而使其在螺旋CT中得以显示等。此外,多层螺旋CT还可以同时观察肺循环如肺充血、肺淤血、肺水肿等情况。

2. 准确率 目前尚没有多层螺旋 CT 与心血管造影和手术的大宗对比病例报道。我院黄美萍等在该方面开展了一些研究,结果显示,对心内畸形的诊断,多层螺旋CT与心脏超声和心血管造影有同样的准确性;在对心外畸形的显示,如肺静脉畸形引流、主动脉离断等,多层螺旋CT较心脏超声和心血管造影更好。

3. 限度 较小的心内结构缺损,由于心脏的搏动和分辨率的影响,多层螺旋 CT 不容易显示;对于心脏瓣膜的运动,如狭窄和反流等,其显示没有超声显示的直观。此外,X线辐射和对比剂在心房室内产生的伪影等,都对多层螺旋CT检查心脏瓣膜病变的广泛应用产生一定的影响。

### 四、肺 血 管

多层螺旋CT比较适合对肺部血管进行评价。由于肺部有气体作为天然对比,肺部的血管显示较其他部位更为容易。

1. 诊断作用 CTA 对肺部血管的评价主要在肺动脉、肺静脉和支气管动脉上,以肺动脉血栓的诊断、肿瘤对肺血管侵犯、肿瘤供血等方面的应用为多。

肺动脉血栓诊断,既往主要依靠放射性核素的肺血流灌注和肺通气检查。该方法敏感性高,但由于不能直接观察到肺动脉内的血栓,其特异性并不高。插管法肺动脉造影DSA,尽管目前仍然认为是诊断肺动脉血栓的金标准,但因为是创伤性检查,并不适合广泛开展。16层以上的多层螺旋CT,对肺动脉的显示率大为提高,对肺动脉血栓诊断有很高的准确率,常常改变临床处理的策略,已成为该病诊断的首选方法。对咯血的患者,CTA可以很好地显示扩张的支气管动脉,有利于介入栓塞的定位和栓塞后的评价。对于肺癌,尤其是中央型肺癌,CTA可以评价肿瘤对血管侵犯的程度和范围,为术前计划

提供帮助。在肺肿瘤的良、恶性鉴别诊断方面,CTA由于可以显示肿瘤的支气管动脉供血,对肺癌诊断和预后判断有很大的作用。此外,CTA在肺段隔离症、肺动静脉畸形诊断方面,已成为新的金标准。

2. 准确率 64层螺旋CT对肺动脉段以上分支显示率达到100%,对亚段甚至亚亚段分支达到70%以上。对肺栓塞诊断的评价,其敏感性为75%~100%,特异性为80%~100%,评价段以上分支的肺动脉血栓,其准确性与DSA比较,吻合率达到100%,诊断准确性达到100%。杨亚英等研究显示,CTA判断肺门、纵隔血管侵犯的符合率100%;在显示肿瘤血管方面,李茂全等研究显示,CTA与DSA检出肿瘤血管和肿瘤染色的符合率达到94.56%。

3. 限度 CTA对肺动脉细小分支(6级分支以下)的显示存在不足,对其内栓塞诊断的可靠性欠佳;支气管动脉没有扩张时,CTA显示能力有限,尤其在肺内的分支;对于肿瘤血管,若病变在外周,常常不能很好地显示。

## 五、肝脏血管

多层螺旋CT肝脏血管成像技术是肝脏血管无创成像的一项新技术,无创的优势已被公认,已成为肝脏及其血管性疾病无创性影像学检查的首选。

1. 诊断作用 多层螺旋CT在一次注射对比剂后可完成肝脏的多期扫描,包括动脉早期、动脉晚期、门脉期和延迟期。除了有助于定性诊断外,动脉早期的CTA成像可以显示肝动脉及其分支,门脉期CTA可显示门脉主干及其分支。

肝脏MDCT血管造影的主要适应证有肝动脉血管畸形、肝癌术前评价、肝切除术、肝灌注化疗前计划、各种原因所致门静脉扩张的治疗前评价,肝脏移植前供体的筛选和受体血管评价、移植后并发症的随访、门静脉高压及其侧支循环和门静脉栓塞等。在诊断血管畸形方面,选择不同时相数据通过多平面重组、容积再现等技术,能从不同角度完整显示各种肝动脉、门静脉的解剖变异及畸形,MDCTA几乎可以完全替代DSA作为术前血管评估;CTA已成为诊断动脉瘤最佳手段之一,CTA直接显示动脉瘤的部位、大小、形态、有无血栓、侧支供血及瘤体与瘤周组织关系等情况,有助于指导手术和手术治疗后疗效的评价;在肝癌的诊断方面,MDCT各期扫描图像及重组肝动脉及门静脉2D、3D图像,不仅可以观察肝脏病灶不同时期的动态变化从而确定病灶性质,还可以观察病灶的供血情况、有无动静脉瘘、门静脉癌栓、门脉海绵样变性等;MDCTA还能良好显示肝脏供血动脉及解剖参照物,临床上可在介入治疗前了解有无肝动脉解剖变异以及有无癌肿寄生供血动脉存在。在介入术后,CTA已成为肝癌栓塞术后疗效观察及病灶检测的常规手段;在门静脉高压症方面,MDCTA可清晰显示门脉主干、左右分支及汇入静脉管腔内径变化、血管走行、形态、血管周围组织或病灶压迫侵犯门脉及癌栓或血栓形成、门脉海绵样变,结合2D、3D重组图像可以清晰显示门脉周围侧支血管形成以及静脉曲张的分布范围等。在Budd-chiari综合征的应用主要在于确定狭窄或闭塞的部位、程度和范围;了解下腔静脉内是否有血栓形成,侧支循环的种类,是否有肝脏原发病变等。螺旋CTA已逐渐成为肝移植术前和术后评估的重要影像学手段,术前不仅可以确定肝实质病变的检出和定性,还可以对移植供受体的血管变异、移植前血管及手术风险进行评估;在移植后肝动脉及门静脉并发症等评价具有非常有用的价值。

2. 准确率 自 1998 年推出 MDCT 以来,国内外学者均利用 MDCT 对肝癌检出的价值进行了研究,认为双动脉期扫描有利于肝癌的检出,特别有利于肝脏小病灶的检出;在血管的显示方面,有研究发现,肝脏 CTA 对肝脏小血管分支的显示率很高,如肝左动脉和肝右动脉为 100%、肝中动脉为 87%、胆囊动脉为 87%、胃右动脉为 89%、右膈下动脉为 92%、左膈下动脉为 89%。文献报道,门静脉、肝静脉的分支也可显示到 3 级以上。戴旭等对一组 25 位肝移植病人进行了肝动脉及门脉期 CTA 扫描,发现病例中肝门区血管的变异和病变情况,最后经 DSA 及手术证实,3D CTA 对肝门区血管诊断符合率达 100%。术前医师根据 CTA 所见制定的手术方案和术中实施方案相比,正常肝动脉解剖组符合率可达 93.3%,肝动脉变异组符合率可达 77.8%;对于门静脉血栓、腹腔干狭窄、肝动脉细小及脾动脉瘤的患者,术前就可以准确地制定出合理的手术方案,符合率可达 100%。在诊断肝移植后并发症方面,3D CTA 是一项可靠准确的方法。在国外许多单位,3D CTA 作为无创性的诊断方法取代了有创的 DSA。一组 CTA 的结果显示,CTA 发现血管并发症的敏感性为 100%、特异性为 89%、准确性为 95%、阳性预测值为 92%、阴性预测值为 100%;还有研究认为,MDCTA 在发现血管并发症方面甚至超过了 DSA。

3. 限度 由于受扫描速度、对比剂注入及空间分辨率的限制,CTA 对肝动脉的远端细小分支及门静脉、肝静脉三级以下分支的显示欠佳,对于上述血管管壁及管腔的病变评价受限。

## 六、肾和肠系膜血管

肾动脉狭窄可以引起肾性高血压和缺血性肾病,而肠系膜血管血栓形成和闭塞又是引起急腹症或者慢性腹痛的重要原因,临床上常容易误诊。

多层螺旋 CT 肾动脉和肠系膜动脉 CTA,是一种安全、无创、经济的方法,有着广阔的应用前景,可以替代 DSA,作为怀疑该类疾病的一种常规的检查方法。

1. 诊断作用 CTA 很早就应用于肾动脉的检查。由于不仅可以得到纯动脉期的肾动脉图像,而且可以从多角度、多方位清晰地显示出肾动脉的正常解剖和变异、肾动脉及分支与肾脏和周围组织器官的关系,能发现肾血管病变和量化肾动脉狭窄,所以 CTA 可用于怀疑肾动脉狭窄患者的筛查,也可用于肾动脉狭窄内支架置入术后的随访。对肾移植供体血管的评价,螺旋 CTA 具有 DSA 所无法比拟的优势,其不仅可以直接显示移植动脉血管的数目、长度、部位以及血管管腔、管壁的情况,而且能够准确的显示血管的空间关系及输尿管和输尿管周围的疾病。目前 CTA 已成为肾移植前风险评估及移植后疗效评价的常规检查,同时也被认为是肾移植受体进行术前评估的最经济、方便、有效的检查方法。

同样地,CTA 在显示肠系膜血管方面也非常出色,评价肠系膜血管血栓形成相当准确、可靠,通常可替代 DSA,可作为临床怀疑肠系膜缺血引起的急腹症的首选检查方法。此外,CTA 在显示肾、肠系膜血管动、静脉瘤、左肾静脉压迫综合征、肾静脉及下腔静脉癌栓、肾动静脉瘘等方面,也显示出其优势,应用前景非常广阔。

2. 准确率 16 层以上螺旋 CT 对腹腔干、肠系膜上动脉、肾动脉主干以及副肾动脉的显示率均达到 100%,对于肾动脉和肠系膜上动脉的 2 ~ 3 级小血管分支基本能清晰显示,对于肠系膜上动



脉的4级分支的显示率也超过50%。陈玉勤等对一组32例肾动脉狭窄进行了CTA与DSA对照研究,发现CTA可清晰显示29例狭窄,另3例由于未能准确掌握注射速率、对比剂用量及延迟时间而显示欠佳,CTA的诊断正确率达到91%。文献报道,CTA判断狭窄程度 $\geq 50\%$ 的肾动脉狭窄的敏感度和特异度分别为88%~100%和94%~100%。

3. 限度 由于增强扫描需要注射对比剂,而很多肾脏疾病的患者往往伴有严重的肾功能不全,故对比剂的肾病是限制CTA在肾脏检查方面的重要原因。

## 七、主动 脉

1. 诊断作用 螺旋CT血管造影为微创性或者无创性血管成像技术,它在大血管病变的诊断、治疗方案的拟定及术后的疗效评价方面有重要的临床应用价值。MDCT一次扫描可以完成从主动脉起始部到盆腔血管的扫描,能完整地显示主动脉全程。在各种主动脉病变如主动脉夹层、动脉瘤、假性动脉瘤、血管畸形、主动脉硬化、狭窄等的发现和诊断方面,具有其他检查无法比拟的优势,在一定程度上可以替代DSA。

在主动脉夹层的诊断方面,通过多平面重组、容积再现等重组技术,CTA可以很好地显示主动脉夹层破口的位置、分型、累及范围、真假腔、撕破的内膜、破口内径、夹层的旋转方向、是否有血栓形成、累及器官的供血情况进行准确的显示,从而为临床选择合适的治疗方案提供依据;CTA可发现和多方位多角度再现各种真假动脉瘤的形态、范围、内部特征、血栓形成及渗血以及瘤体与周围组织的关系,有助于评估手术风险、指导手术及评价手术治疗后疗效;CTA能够完整显示主动脉的各种解剖变异及畸形,如主动脉离断及迷走血管等;在主动脉硬化及狭窄方面,CTA能完整显示主动脉走行全程,清晰显示管壁钙化及程度、管腔内的不规则狭窄及溃疡,可以准确量化所有狭窄与阻塞,能准确描述血管直径以及空间关系。在主动脉炎的诊断方面,CTA可清晰显示主动脉及其分支血管管腔的狭窄、闭塞、扩张及血管壁增厚与钙化。

2. 准确度 龚雪鹏等对一组主动脉夹层病例进行了电子束CTA(EBCTA)、MDCTA与手术结果对照研究,发现MDCTA在动脉夹层的诊断、分型方面,敏感度、特异度均达到100%。EBCTA与MDCTA二者与手术结果的符合率均为100%。Armerding等对20例内支架术后有支架外渗漏的患者进行了CTA和DSA的比较,结果CTA的敏感度和特异度分别为92%、90%和63%、77%,CTA要优于DSA。王培军等对34例主动脉瘤病例进行了MDCTA和DSA对照研究,发现两者均能较好地显示大动脉瘤部位、范围及夹层假腔情况,两者的符合率为100%。Yamada等对一组25例临床疑诊大动脉炎的患者进行了常规血管造影和MDCT血管成像对比研究,发现MDCTA诊断大动脉炎的敏感度为95%,特异度为100%,诊断符合率为96%。

3. 限度 在主动脉夹层的诊断中,MDCTA对于破口的显示率较低,特别是对于螺旋型撕裂有多个破口的患者;对于口径2mm以下的破口显示也欠佳。扫描时,搏动伪影常影响对主动脉起始部的判断。另外,工作站后处理易受操作者经验的影响。

## 八、盆腔血管

MDCTA利用螺旋CT的高速度、高分辨率及连续容积数据采集,以及工作站各种强大的后处理技术,不但能完整再现兴趣大血管的解剖图像,还可显示一些较细小血管,在盆腔血管病变的显示中具有越来越重要的作用。

1. 诊断作用 在诊断髂动脉瘤方面,能够显示动脉瘤体、动脉瘤腔、附壁血栓和粥样斑块、管壁钙化等信息,为临床提供形象资料;对显示血管走行、病变段定位、病变与邻近组织结构的关系非常有效,可以测量动脉瘤的实际容积,对于临床术前评估有重要意义。在评价下肢动脉硬化闭塞症及硬化方面,螺旋CTA可显示狭窄段管壁钙化、闭塞段管腔局部中断范围以及侧支血管形成等。CTA在盆腔肿瘤疾病中的应用方面,其优势主要体现在两个方面。一方面是病变的定位及定性,另一方面是显示病变的供血及周边组织情况,为手术或介入治疗提供资料。CTA具有全程显示血管的优势,髂静脉受压综合征征象表现得更直观,主要表现为左髂总静脉明显受压致管腔狭窄甚至闭塞,盆腔大量侧支血管开放和沟通。

2. 准确率 有学者比较了髂动脉狭窄患者的DSA血管造影与CT血管造影影像,由于粥样硬化斑的遮掩,部分血管狭窄在常规血管造影中未能发现,而CT血管造影的后处理技术能对血管影进行多方位观察及进行不同方向层面显示,敏感性和特异性高达93%。

3. 限度 由于部分容积效应、噪声关系以及经外周静脉注入的对比剂受到血液稀释等原因,使其空间分辨率较低,细小血管(直径2mm以下)则不如DSA显示清楚。图像后处理不仅工作费时,且易受各种因素影响而产生假像,有时可高估狭窄程度,如严重狭窄可表现为闭塞。

## 九、下肢血管

1. 诊断作用 多层螺旋CT下肢动脉造影,可一次显示腹主动脉下段到足背动脉的状况,能各方位、多角度直观观察受检血管。在下肢动脉疾病的应用中显示了它的独特优势。在下肢动脉闭塞症及狭窄性病变诊断方面,CTA能较好的显示管壁的斑块钙化、管腔狭窄、阻塞及程度分级,还能通过侧支循环了解远段动脉的供血情况,其发现闭塞动脉远段的能力要优于传统的血管造影;CTA在显示下肢动脉瘤方面要比传统造影具有更高的敏感性。CTA可发现动脉某段的异常扩大,对比剂分布情况及附壁血栓的形成,可以提供动脉瘤的大小、范围、附壁血栓及与周围肌肉等邻近组织的关系,有利于制定准确的手术计划。下肢CTA在诊断动静脉畸形(AVM)上有很大的价值,不仅可清晰显示AVM的范围、增粗的供血动脉及引流静脉,也能显示远端血管的粗细、形态、畸形血管与周围组织的关系。CTA对腘动脉压迫综合征有重要的诊断价值,能显示腓肠肌内侧头异常伸入而压迫腘动脉的情况。此外,CTA可显示其他征象,如管腔狭窄、闭塞、周围侧支循环建立等;CTA对诊断肢体动脉的损伤有很高的敏感性,尤其是在显示外伤所致的狭窄、闭塞、动脉内脂肪栓子、动静脉瘘以及假性动脉瘤方面有很高的敏感性和特异性;下肢CTA还可以用于下肢动脉支架置入术后血管通畅性以及动静脉瘘的评价。另外,CTA对于血管搭桥后血管的狭窄与闭塞有较高的敏感性与特异性;CTA还可用于四肢肿瘤病变的诊断与治疗,

可显示肿瘤的供血血管、肿瘤的血供状况、肿瘤与血管的关系,有利于肿瘤的定位及定性,指导临床治疗。

多层螺旋CT静脉造影(MDCTV)可以显示下肢静脉血栓形成或栓塞,由于密度分辨率高及横断面成像避免了高密度骨骼重叠的影响,其显示血栓较 DSA 更清晰。此外,MDCTV 对下肢静脉曲张、静脉瘤等也有很好的显示作用。

2. 准确率 目前研究表明,下肢 CTA 对发现下肢动脉狭窄和闭塞的能力已接近作为金标准的血管造影。Rieker 等发现诊断股动脉、腘动脉及胫动脉狭窄与闭塞的敏感性分别为 100%、100% 及 94%;特异性分别为 100%、99% 及 98%。对血管闭塞和狭窄程度为 75%~99% 的狭窄,其敏感性为 98%~100%,特异性 94%~100%。Rubin 报道了一组 24 例下肢动脉的 CTA 与 DSA 对照研究,发现 18 例两者的符合率为 100%。CTA 在显示下肢动脉瘤方面要比传统造影具有更高的敏感性。Beregi 等在用 CTA 对下肢动脉诊断过程中,发现了传统造影未发现的 7 例动脉瘤,这 7 例中有 6 例被传统的造影诊断为狭窄,1 例诊断为闭塞,CTA 与传统血管造影的敏感性分别为 100% 和 61%。Soto 等报道,对肢体动脉损伤,CTA 的敏感性和特异性分别为 95.1% 和 98.7%。MDCTV 对股静脉血栓显示的敏感性为 96.0%,特异性 97.8%,阳性预测值 96.0%,阴性预测值 97.8%,准确性 97.2%。

3. 限度 受限于患者不同体质、扫描方法、扫描速度及时间分辨力等的影响,下肢 CTA 对胫腓骨远端及足背动脉的显示欠佳,对远端小血管管腔、管壁病变的评价能力有限;对于大量的断层图像,工作站的处理能力受到影响;几种后处理技术各有弊端,易受各种因素影响而致图像失真;另外大量的图像处理耗时较多,限制了日常广泛应用。

多层螺旋CT的发展非常迅速,CTA的应用范围也越来越广,有理由相信,全身各部位血管都适合于CTA的检查。随着机器设备的不断改进和软件的研发应用,以及工作站后处理能力的不断加强,将会得到更多的纯动脉期、纯静脉期的图像;小血管的分辨率和显示率将会大大提高,能显示出器官或脏器的毛细血管灌注射剖图像;心脏冲动和心律不齐的干扰将不再是影响图像质量的因素。CTA将会成为更多血管性疾病的首选检查方法,也将会成为血管性疾病诊断的新的金标准。

(赵振军 周涛 刘波)

## 参 考 文 献

- [1] 杨亚英,张龙江,宋光义.多层螺旋 CT 颈部血管成像.放射学实践,2004,19:764-766
- [2] 杨亚英,张龙江,包颜明.多层螺旋 CT 血管成像对中央型肺癌侵犯肺门、纵隔血管的评价.放射学实践,2004,19:864-867
- [3] 李茂全,肖湘生,欧阳强,等.肺癌肿瘤血管 CTA 与 DSA 对照及相关性.中国医学影像技术,2005,21(7):1089-1091
- [4] 吴国庚,周 诚,叶晓华,等.多层螺旋 CT 肾动脉 CTA 的临床应用(附 300 例分析).医学影像学杂志,2003,13(10):714-716
- [5] 舒 健,张小明,黄小华,等.肠系膜上动脉多层螺旋 CT 血管成像研究.中国医学计算机成像杂志,2005,11(2):

110-114

- [6] 常虹,苏秉亮.多层螺旋 CT 肝脏血管成像技术及其临床应用.内蒙古医学杂志,2006,38(3):254-256
- [7] 戴旭,徐克,程颖,等.肝动脉及门静脉三维 CT 血管造影在肝移植肝门血管重组中的意义.中华放射学杂志.2005,39(11):1176-1180
- [8] 龚雪鹏,宦怡,彭勇.主动脉夹层螺旋 CT 与电子束 CT 血管造影价值比较.人民军医,2006,49(8):453-455
- [9] 李明利,金征宇.多层螺旋 CT 血管成像技术临床应用进展.国外医学·临床放射学分册,2003,26(4):255-258
- [10] 王培军,朱文江,田建明,等.大动脉瘤螺旋 CT 血管造影与 DSA 比较研究.中国医学影像学杂志,1999,7(4):255-257
- [11] 玉勤,张廉良,施海彬.CT 血管成像技术在肾动脉的应用.介入放射学杂志,2005,14(2):194-196
- [12] 李大胜,孙永光.多层螺旋 CT 血管造影对主动脉-髂动脉和下肢动脉的评价.CT Theory and Application,2005,14(3):61-64
- [13] 谭理连,李扬彬,李树欣.螺旋 CT 血管造影在盆腔血管病变的临床应用.中国临床医学影像杂志,2003,14(6):413-415
- [14] Dammert S,Krings T,Moller-Hartmann W,et al.Detection of intracranial aneurysms with multislice CT: comparison with conventional angiography.Neuroradiology,2004,46(6):427-434
- [15] Prokop M,Waaijer A,Kreuzer S.CT angiography of the carotid arteries.JBR-BTR,2004,87(1):23-29
- [16] Karamessini MT,Kagadis GC,Petsas T,et al.CT angiography with three-dimensional techniques for the early diagnosis of intracranial aneurysms.Comparison with intra-arterial DSA and the surgical findings. Eur J Radiol,2004,49(3):212-223
- [17] Gelder JM.Computed tomographic angiography for detecting cerebral aneurysms:implications of aneurysm size distribution for the sensitivity,specificity,and likelihood ratios.Neurosurgery,2003,53(3):597-605
- [18] Herzog C,Britten M,Balzer JO,et al.Multidetector-row cardiac CT:diagnostic value of calcium scoring and CT coronary angiography in patients with symptomatic,but atypical,chest pain.Eur Radiol,2004,14(2):169-177
- [19] Murakami T,Kim T,Takaniura M,et al.Hypervascular hepatocellular carcinoma :Detection with double arterial phase multi-detector row helical CT.Radiology,2001,218 (3):763
- [20] Brancatelli G,Katyal S,Federle MP,et al.Three-dimensional multislice helical computed tomography with the volume rendering technique in the detection of vascular complications after liver transplantation. Transplantation,2002,73 (2):237-242
- [21] Yamada I,Nakagawa T,Himeno Y,et al.Takayasu Arteritis:Evaluation of the Thoracic Aorta with CT Angiography.Radiology,1998,209 (1) :103-109
- [22] Rieker O,Duber C,Schmiedt W,et al.Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography.AJR,1996,166(2):269-276
- [23] Rubin GD,Walker PJ,Dake MD,et al.Three-dimensional spiral computed tomographic angiography:an alternative imaging modality for the abdominal aorta and its branches.J Vasc Surg,1993,18(3):656-665
- [24] Beregi JP,Djabbari M,Desmoucelle F,et al.Popliteal vascular disease:evaluation with spiral CT angiography.Radiology,1997,203(3):477-483

- [25] Soto JA, Munera F, Morales C, et al. Focal arterial injuries of the proximal extremities; helical CT angiography as the initial method of diagnosis. *Radiology*, 2001, 218(2): 188-194



### 第一节 脑部动脉解剖及CTA成像技术

#### 一、脑部动脉解剖

1. 正常解剖与变异 供应脑的动脉来自颈内动脉系统和椎动脉系统,分别供应幕上和幕下脑组织。颅底段动脉走行弯曲,进入颅内后形成脑底动脉环,对脑组织血液供应的调节和代偿起着重要作用。颈内动脉和椎动脉的颅内分支走行于蛛网膜下隙,行程弯曲,管壁薄,支撑结构弱。脑内主干动脉分支交界处存在潜在的沟通,有利于相互代偿。脑静脉多不与脑动脉伴行,管壁薄、无瓣膜,包括浅静脉、深静脉和静脉窦。

2. 颈内动脉系统 颈内动脉入颅底颈动脉管先上升再弯向前内,经破裂孔入颅内,在硬脑膜两层间经三叉神经半月节的下面转向上再弯向前,在蝶鞍侧面的海绵窦内前行,至前床突内侧又弯向上,穿过硬脑膜内层和蛛网膜进入蛛网膜下隙,再弯曲向后行一短程折向上或稍前,达外侧裂内侧端,分出大脑前动脉和大脑后动脉。

3. 大脑前动脉 大脑前动脉从颈内动脉发出后,由外向内横过视神经的上面,在大脑纵裂与前交通动脉相连,此为交通前段;自交通动脉开始沿大脑纵裂向前向上,绕过胼胝体,在大脑镰下方沿胼胝体走行至压部,此为交通后段。在血管造影像上,大脑前动脉分为A<sub>1</sub>~A<sub>5</sub>段。A<sub>1</sub>段是分出后至前交通动脉的一段,即交通前段;A<sub>2</sub>段亦称胼胝体下段,是前交通动脉以后至胼胝体膝以下的一段,此段发出眶前、后动脉;A<sub>3</sub>段亦称膝段,绕胼胝体膝走行,与胼胝体膝的弯曲一致。A<sub>2</sub>段与A<sub>3</sub>段交界处发出额极动脉,在A<sub>3</sub>段发出胼缘动脉;A<sub>4</sub>段与A<sub>5</sub>段是胼周动脉段,相当额叶部分为A<sub>4</sub>段,相当顶叶部分为A<sub>5</sub>段。

4. 大脑中动脉 大脑中动脉是颈内动脉分出大脑前动脉以后的延续,进入大脑外侧裂后,向外上方行于岛叶表面,其分支分布于大脑半球的背外侧面。在血管造影上大脑中动脉分为M<sub>1</sub>~M<sub>3</sub>段。M<sub>1</sub>

段亦称眶后段,自颈内动脉分出后水平向外走行,长约3cm;M<sub>2</sub>段亦称岛叶段,M<sub>1</sub>末段向后上方行于岛叶表面,该段发出颞前动脉;M<sub>3</sub>段分出眶额动脉和诸支额顶升动脉,在侧位像形如蜡烛台,故亦称烛台动脉;M<sub>4</sub>、M<sub>5</sub>段走行于大脑外侧裂后方上下缘,分出顶后动脉、角回动脉和颞后动脉。

5. 椎-基底动脉系统 基底动脉由左右椎动脉在脑桥下缘合并而成,经脑桥基底动脉沟上行,至脑桥上缘分为左右大脑后动脉,基底动脉位于正中线上。椎动脉的主要分支是小脑后下动脉,基底动脉的分支依次为:①小脑前下动脉;②迷路动脉;③脑桥动脉;④小脑上动脉;⑤大脑后动脉。

6. 小脑后下动脉 小脑后下动脉绝大多数起源于双侧椎动脉,是椎动脉的最大分支,少数小脑后下动脉起源于基底动脉。小脑后下动脉主要分布于小脑后下部和延髓背外侧部。

7. 小脑前下动脉 小脑前下动脉源自基底动脉下段为多数,少数源自小脑后下动脉或椎动脉。小脑前下动脉发出以后,向后外方斜行,横过听神经和面神经,达绒球外上方弯向下内,最后分为内侧支和外侧支。小脑前下动脉主要分布于小脑半球前下部和脑桥上外侧面。

8. 小脑上动脉 小脑上动脉起自基底动脉顶端部分,位于大脑后动脉分出之前,少数位于大脑后动脉分出之后,成对分出后恒定地伴大脑后动脉下缘绕大脑脚向后行,行程中发出一些小支至脑桥上外侧面、大脑脚及下丘。小脑上动脉主要分布于小脑上部和脑桥上外侧面。

9. 大脑后动脉 大脑后动脉是基底动脉终末支,呈分叉状左右开口,位于中脑、间脑和端脑结合处。大脑后动脉分叉后,向外行一短距离,即与后交通动脉吻合,组成大脑动脉环。以大脑后动脉与后交通动脉的吻合点为界,大脑后动脉分为交通前段和交通后段。动眼神经位于大脑后动脉与小脑上动脉之间,此处发生动脉瘤时,均可能压迫动眼神经,导致眼球运动障碍。在血管造影像上大脑后动脉分为P<sub>1</sub>~P<sub>4</sub>段。P<sub>1</sub>段即水平向外走行的一段;P<sub>2</sub>段是围绕中脑上行的一段,此段发出脉络膜后动脉;P<sub>3</sub>段是从P<sub>2</sub>段向外发出的颞支;P<sub>4</sub>段是从P<sub>2</sub>段向上发出的顶枕动脉和距状沟动脉。

10. 脑底动脉环 脑底动脉环(Willis环)位于脑底池内,它由成对的大脑前动脉(A<sub>1</sub>段)、颈内动脉(C<sub>1</sub>段)、大脑后动脉的交通前段、后交通动脉和不成对的前交通动脉组成,这些血管形成一个九边形的环。应该说,脑底动脉环是连接左、右颈内动脉系统和椎-基底动脉系统的安全交通,是最重要的颅内侧支循环结构,这一作用往往在正常情况下表现不明显或不表现。在某一动脉阻塞时(如压迫颈动脉),就可观察到阻塞的动脉可通过脑底动脉环从其他动脉得到血液补充,即为所谓的潜在代偿能力。通常,把各动脉连接成一个完整的环者称为闭锁型,把未连接成一个环者称为开放型,动脉环开放部位存在很大的变异。国内的统计资料显示97%为闭锁型。

11. 后交通动脉 后交通动脉是颈内动脉和大脑后动脉之间的连接,颈内动脉于床突上段后方弯曲处(C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub>交界处)发出,向后上内走行,长约1.5cm,在脚间池中,与大脑后动脉距基底动脉分叉部1cm处相连,后交通动脉变异者较少,缺如者尤为少见。由于后交通动脉系退化类动脉,动脉弹性组织少,易发生动脉瘤。

12. 前交通动脉 前交通动脉位于视交叉上面的前方,是连接左右大脑前动脉的短干,长约3mm。前交通动脉变异很大,可为单支型或多支型,少数可缺如。此处为动脉瘤好发部位,可能与过度的血管残留或血管分叉处动脉壁的先天薄弱有关。

## 二、脑部动脉CTA成像技术

1. 扫描参数 扫描参数是影响后处理图像质量的决定因素,其中最重要的是电压、电流、螺距与层厚的相互关系。虽然CT机性能决定了密度分辨率、空间分辨率及像素、矩阵等,球管的容量决定了可扫描持续时间及扫描范围的大小,但是在条件一定的情况下,扫描参数的选择仍有着重要的作用。

在扫描参数的选择上,许多学者认为遵循以下原则为好。①尽可能薄的扫描层厚,因层厚是影响空间分辨率的重要因素,所以,适当薄的层厚是获得良好重组图像的关键。当层厚小于要观察的血管直径时,这时容积效应对图像影响最小,重组的血管清晰;当层厚大于要观察的血管直径时,容积效应增大使空间分辨率下降,这将影响小动脉瘤的检出及细微血管结构的显示。层厚一般以1.0~2.0mm较适宜。②较慢的检查床移动速度,螺距为1时可提高图像分辨率。③小的重组间隔,选择层间距时,使层面之间尽可能重叠,层面重叠最好达50%以上,可提高重组血管的光滑度。④大的重组矩阵,如 $512 \times 512$ 。⑤合适的重组过滤,以标准重组法较好。⑥较小的扫描野,在重组矩阵一定的情况下,小扫描野可以提高感兴趣区的分辨率。

2. 对比剂的使用 能否正确应用对比剂直接影响后处理图像的质量。靶血管强化达到峰值的时间受生理、病理及循环路径的距离等因素影响较大,如何保证扫描时间段在靶血管强化的平台期内是脑血管CTA成败的关键因素之一。最佳扫描时间取决于对比剂的注射流率、注射总量和患者的自身条件。注射流率慢时小血管显示模糊,较大血管边缘毛糙,不利于显示动脉瘤颈、细小血管及动脉狭窄程度等细微结构。注射流率快而浅静脉条件差者易导致血管破裂,一般采用注射流率为3.0~4.5ml/s;注射总量则根据注射速率和扫描范围决定;临床上最佳扫描时间的确定只能根据医生的经验或对比剂跟踪技术,不是非常准确。另外,要使靶血管的对比剂浓度达到要求,需使用大量对比剂,但对显示动脉瘤颈、细小血管及动脉狭窄程度等细微结构仍不理想。

3. 三维重组 ①多平面重组(MPR),利用体素的各向同性特征重组出与横断位一样的冠状位、矢状位及斜位图像,显示血管之间或血管与动脉瘤之间的相互关系,在动脉瘤中较为常用。②最大密度投影(MIP),将一定厚度内结构投影在一幅图像中,能显示迂曲血管的全貌,同样能显示横断位、冠状位、矢状位及任意角度的脑血管立体图像。MIP灰阶能体现X线衰减值的微小变化,可鉴别钙斑和腔内对比剂。调节适当的窗宽、窗位、亮度、对比度,对显示病变较有意义。③表面遮盖显示(SSD),采用像素阈值(CT值)的方法对器官组织的表面轮廓进行重组,实质器官的表面和内部结构被作为同等密度重组,重组出的3D图像只能显示器官外表面形态轮廓,而不能显示内部结构。由于SSD图像不保留CT值信息,不能显示血管壁钙化,因而钙化血管被认为是通常的血管,低估了血管狭窄的程度。再就是通过适当提高阈值可以去除小血管影的干扰,当蛛网膜下隙出血较多时适当提高阈值去除血肿影的干扰,更好地观察动脉瘤的形态。④容积再现重组(VR),是含有物体内部结构的显示方法,能够做任意断面切出或进行内部透视法观察,能更准确地显示解剖学构造。能同时显示骨骼、软组织脏器、血管和表皮等三维结构。VR采用百分比分类法反映每一体素单位中不同成分的平均值,克服了选择阈值时的偏差。文献报道VR法是一种较好的三维重组方法,可根据各种成分的比例进行像素分类并以不同的灰度显示,使容积扫描范围内的所有像素得以利用,既保持了原始图像的高空间分辨率,又有



很强的三维立体感,还可以根据需要调节不同组织的透明度,以最佳显示动脉瘤表面与血管和周围组织的关系。因此在CTA图像分析时,应至少采用两种以上的方法处理,以更好地显示血管的密度变化和空间关系。

(刘红军 侍丽 梁长虹)

## 第二节 CTA在脑动脉系统疾病的应用

### 一、颅内动脉瘤

颅内动脉瘤是颅内动脉壁上的异常膨出,发病率为1%~14%。该病可发生于任何年龄,但其高峰年龄为40~60岁,在40岁以下男性患者居多,而40岁以后女性所占的比例逐渐增多,50岁以上增多更为明显,到60~69岁男女比率达到1:3。

有关动脉瘤的发病原因目前认为是多种因素造成的。由于颅内血管与外周血管在结构上存在较大的差异,缺乏外弹力层且中层较为薄弱并在血管分叉处缺如,使其易发生动脉瘤。动脉硬化引起的动脉壁退化或创伤与炎症导致血管壁的损伤,进一步加速动脉瘤的形成。血流动力学的影响与动脉瘤的形成明显相关,当Willis环发育异常时,动脉瘤多发生于负担血流较重的动脉上;在动脉分支或分叉部受到血流冲击的剪应力最大的部位是分叉的隆突部和分支的远侧角,这正是最常发生动脉瘤的部位。另外,动脉瘤常与其他先天异常并存,如脑血管畸形、马方综合征等,这支持先天因素在动脉瘤发生中的作用。总的来说,动脉壁发育性中层缺陷、动脉硬化和高血压是发生动脉瘤的3个主要因素,在不同的年龄起着不同的作用。儿童期以前,发育缺陷是主要因素。中年期以后,动脉硬化和高血压是动脉瘤发生的主要原因。

颅内动脉瘤最常伴有蛛网膜下腔出血,根据其形态常分为囊状和梭形动脉瘤,囊状动脉瘤最为常见。Willis环周围的大血管最常累及,90%以上的脑动脉瘤位于以下5个部位,大脑前动脉起始部;前交通动脉;小脑下动脉在椎动脉的起始部;大脑中动脉的分叉处;基底动脉的顶端。囊性动脉瘤在CTA上表现为动脉壁或分叉部对比剂充盈之外凸影。Willis环和大脑中动脉分叉处是好发部位,一般诊断不难。在瘤腔内血栓形成的动脉瘤,CTA不能显示对比剂充填之外凸影或外凸影小于动脉瘤实际大小,这时需结合CTA原始图像。文献报道CTA诊断动脉瘤的敏感性为86%~95%,显示的最小动脉瘤直径为2mm,对直径超过3mm的动脉瘤高度敏感(图13-1~13-3)。

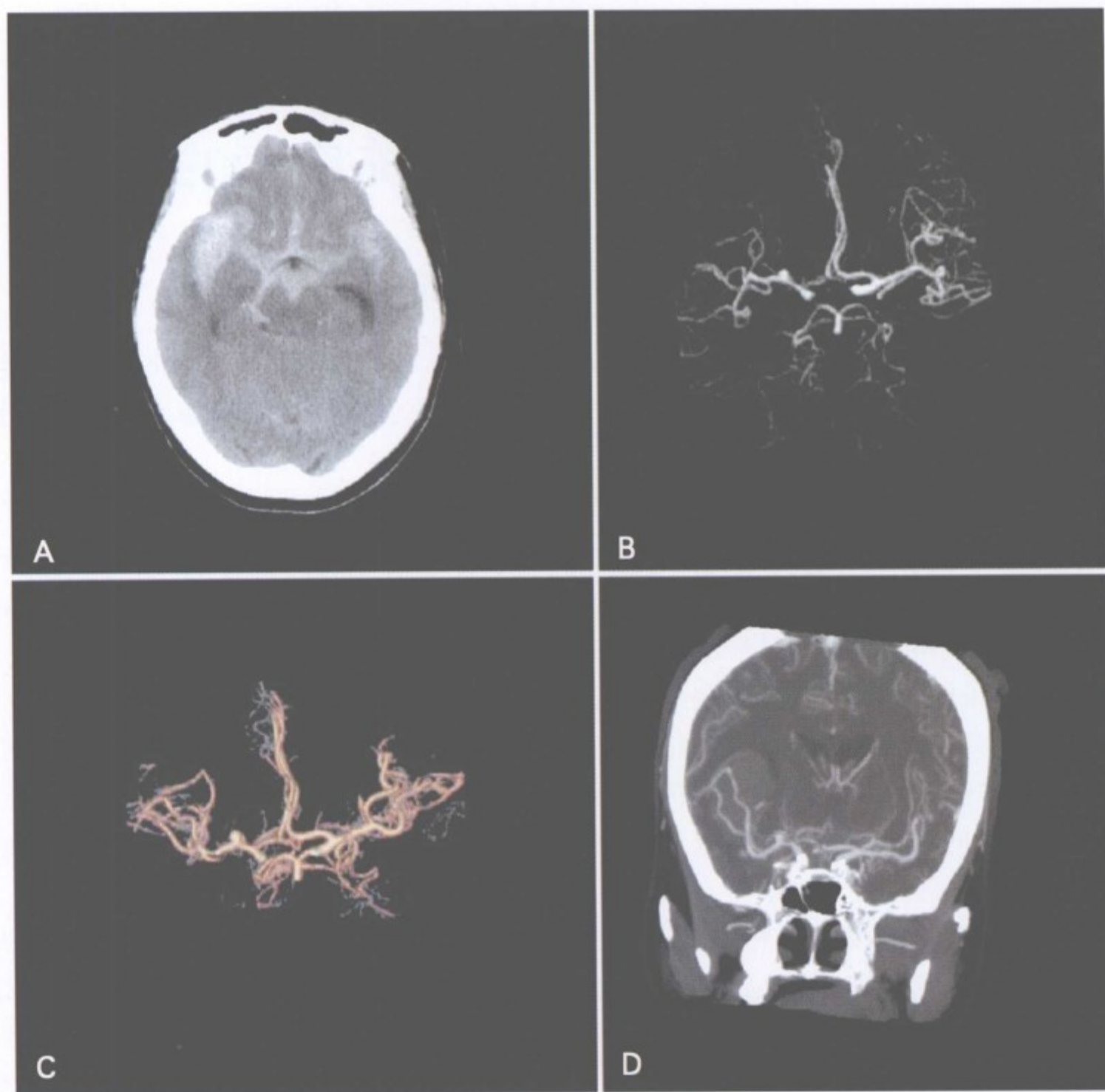


图 13-1 蛛网膜下腔出血

A. CT 平扫显示基底池及右侧外侧裂池铸型高密度蛛网膜下腔出血;B 与 C. 脑血管 MIP 及 VR 重组图像显示右侧大脑中动脉起始部一浆果样动脉瘤,突向后上方;D. 厚层 MPR 图像可清晰显示动脉瘤颈

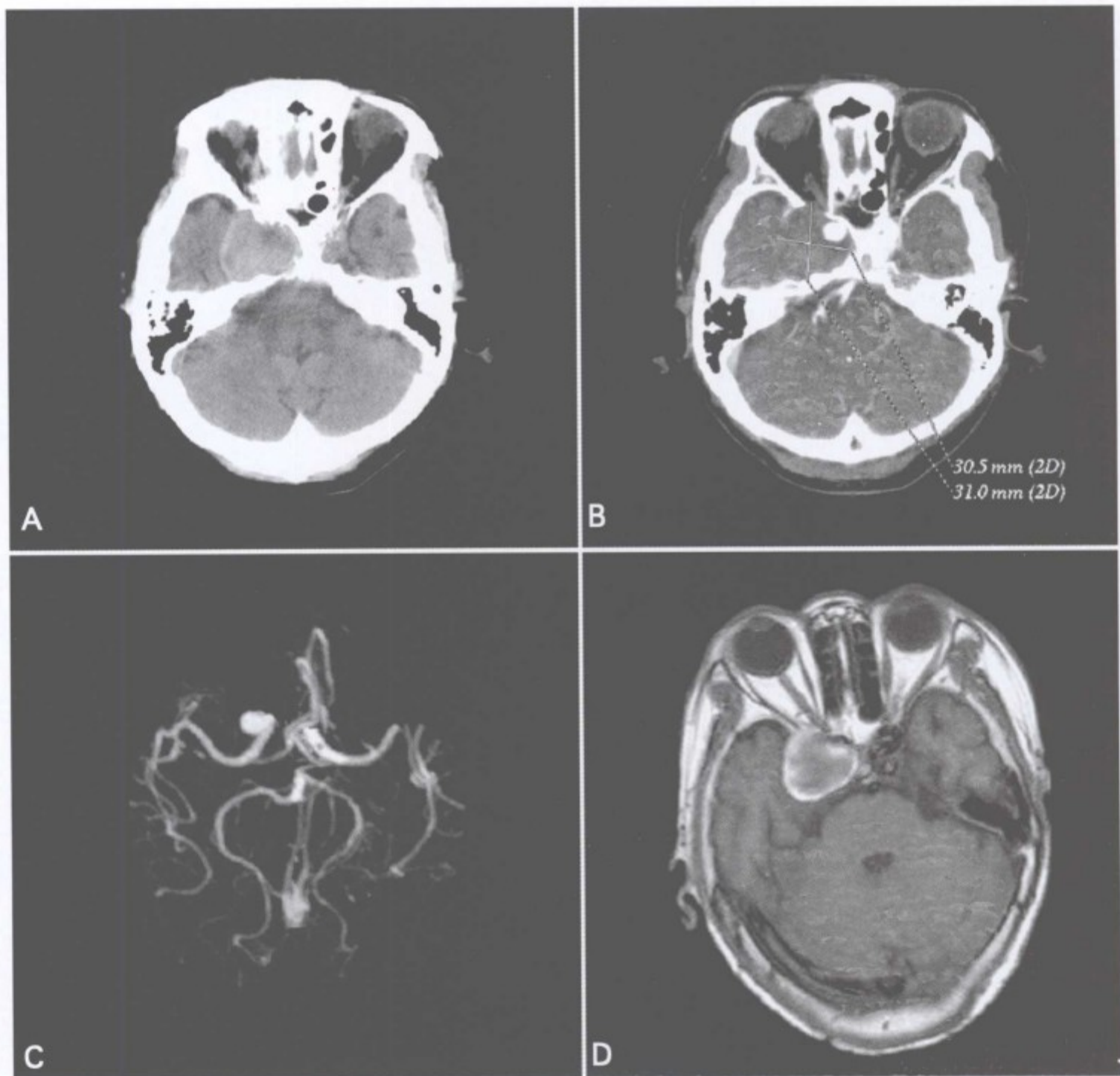


图 13-2 右侧颈内动脉海绵窦段动脉瘤

A. CT平扫显示右侧鞍旁圆形高密度肿块影；B. CT增强检查显示肿块内侧小囊状对比剂充填，肿块周围附壁血栓未见强化，呈低密度充盈缺损；C. MIP重组图像显示右侧颈内动脉海绵窦段动脉瘤，瘤体明显小于CT平扫所示鞍旁肿块；D. MRI T<sub>1</sub>WI显示动脉瘤内明显血栓形成

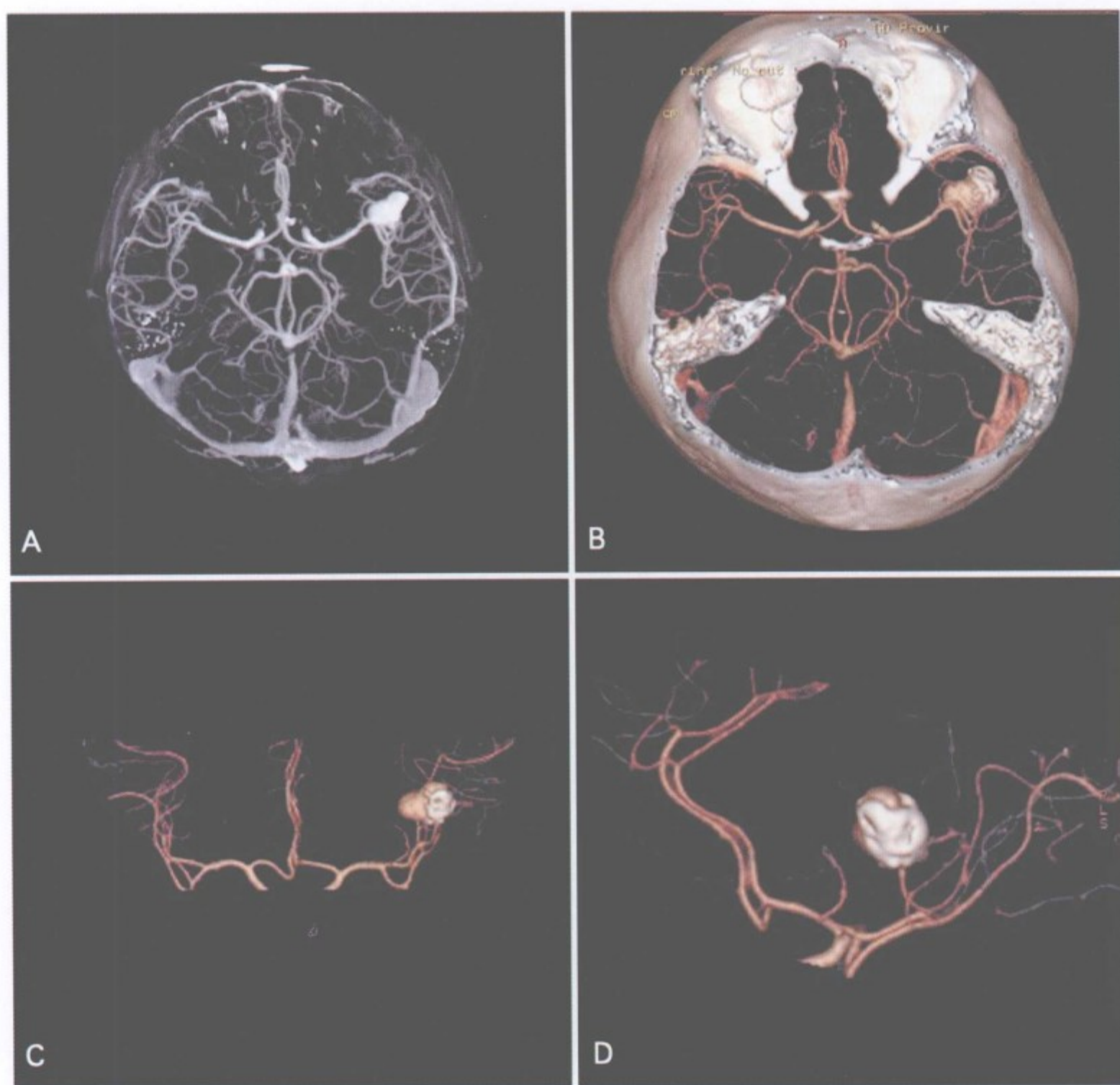


图 13-3 左侧大脑中动脉动脉瘤

A. MIP 重组图像显示左侧大脑中动脉动脉瘤; B. VR 重组图像不仅显示瘤腔大小, 而且能清晰显示瘤周钙化; C 与 D. 经去除颅骨及后循环血管或右侧大脑中动脉后不同角度 VR 图像, 能清晰显示动脉瘤与载瘤动脉的关系

梭形动脉瘤亦称动脉粥样硬化性动脉瘤。动脉壁损害使动脉过度扭曲、伸长和扩张,可累及相当长一段动脉。在此病变的基础上,可伴发多处的梭形扩张,甚至囊状扩大,常存在腔内血栓,并可有多支穿支动脉发出。梭形动脉瘤多见于老年人,椎-基底动脉是常见部位。梭形动脉瘤可压迫邻近脑组织和脑神经,有时可致邻近骨质糜烂。CTA显示为一扩张、伸长、迂曲的动脉段。

## 二、脑动静脉畸形

脑动静脉畸形(arteriovenous malformation, AVM)是一种先天性局部脑血管变异。在病变部位脑动脉与静脉之间缺乏毛细血管,致使动脉直接与静脉相通,形成了脑动静脉之间的短路,产生一系列脑血流动力学紊乱。临床上可表现为反复的脑内出血或蛛网膜下腔出血,30%表现为癫痫,20%表现为头痛、痴呆或进行性神经功能障碍。

脑动静脉畸形是一种临床上最常见的颅内血管畸形。据尸检统计,颅内动静脉畸形的人群发病率为0.02%~0.05%,是颅内动脉瘤发病率的10%~14%,占脑内疾病的0.15%~3%。但国内的统计结果有所不同,发现动静脉畸形与动脉瘤的发病率接近1:1。男性多于女性,临床发病年龄高峰是20~40岁,平均25岁,60%在40岁以前发病,60岁以上发病者小于5%。

虽然DSA仍然是诊断AVM的金标准,但由于CTA简单易行、无创、费用低等特点,如今基本可用CTA替代DSA完成AVM的诊断。CTA能够完整显示AVM的供血动脉、畸形血管团和引流静脉的三维结构。畸形血管团多位于皮层下区,病变可呈团块状、蚯蚓状或密集成球的血窦状,部分病变呈楔形,基底部位于皮层,尖端指向脑室。畸形血管团显示的同时,都可见到粗大迂曲的供血动脉,围绕病变并进入病灶内。由于短路病灶通过阻力减低,血流量大,回流静脉的压力也相应增加,管腔扩张,管壁增厚,即所谓静脉“动脉化”。对于一些小病灶,CTA不能显示畸形血管团,仅见一条供血动脉和一条引流静脉,与动静脉瘘类似。也有部分AVM病灶较小,CTA不能显示供血动脉和引流静脉,对应于DSA中所谓的隐匿型AVM,此时需结合常规CT图像来协助诊断。另外,常规CT图像还能显示由于窃血而导致邻近脑组织的变性、萎缩以及血管团内血栓形成及钙化,这正是CTA相对于DSA的优越之处(图13-4)。

## 三、脑动脉硬化

脑动脉硬化是临床常见病,多见于60岁以上人群,多数有长期高血压病史,临床常表现为反复发作的一过性脑缺血发作或腔隙性脑梗死。

脑动脉硬化CTA表现为脑动脉壁多发钙化斑块,走行僵硬、分支减少,管壁凹凸不平,管腔轻度不均匀狭窄,以大脑中动脉最为常见。SSD及VR重组均能较好显示病变,管壁钙化斑块较多时,SSD对显示管腔狭窄程度时受到限制,MIP技术可有效弥补此缺陷(图13-5)。

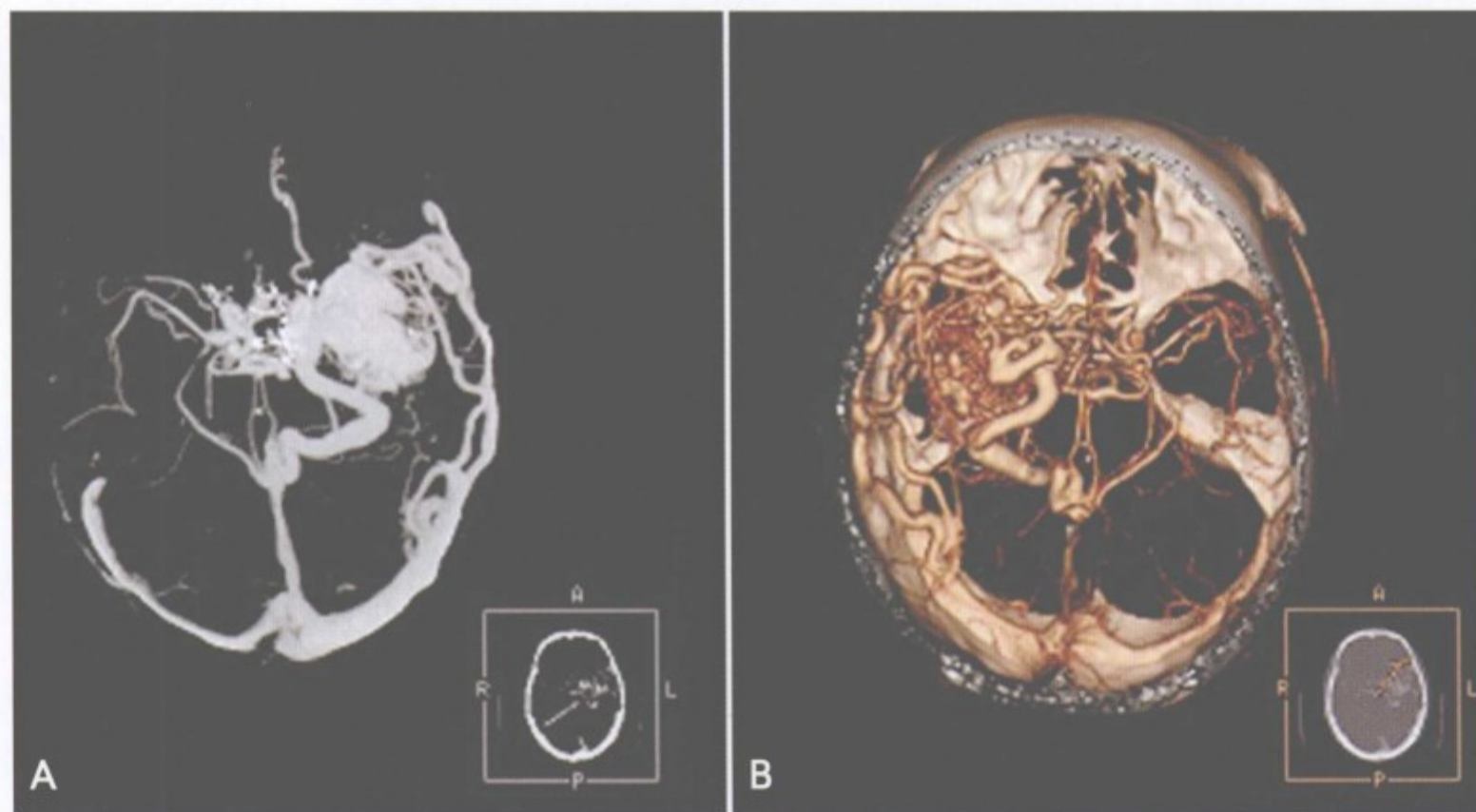


图 13-4 左侧半球区动静脉畸形

MIP 重组图像(A)及 VR 重组图像(B)均清晰显示左侧大脑中动脉供血区巨大畸形血管团,左侧大脑中动脉被畸形血管团包绕显示不清,可见粗大静脉流入直窦和左侧乙状窦

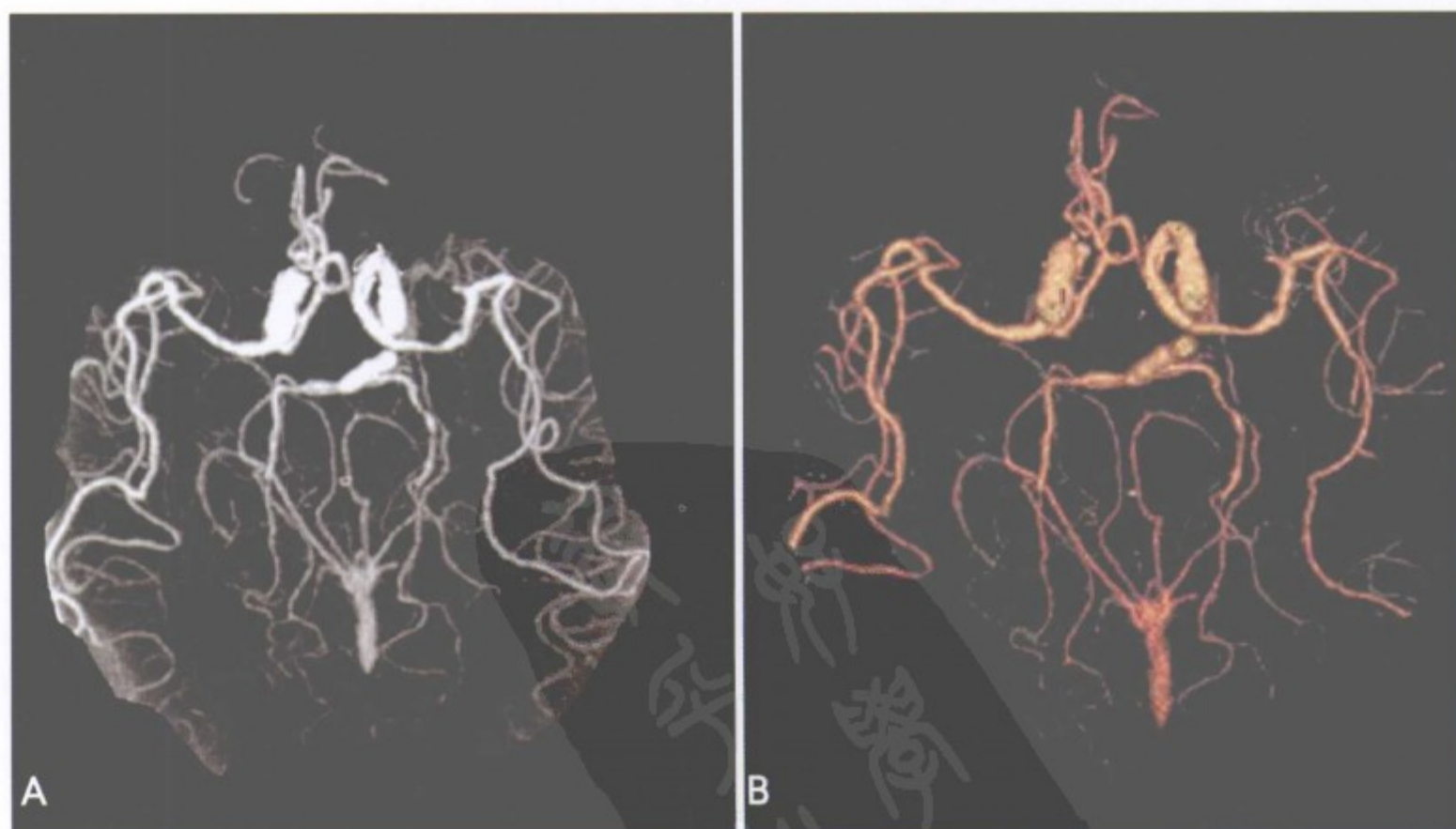


图 13-5 脑动脉硬化

MIP(A)及 VR(B)图像脑血管重组图像显示左侧大脑中动脉及双侧大脑后动脉管腔不均匀狭窄呈串珠状改变

## 四、闭塞性脑血管病

闭塞性脑血管病病因众多,最常见的是血管硬化继发血栓形成,其次为栓子(如心源性栓子)、栓塞和血管壁本身病变(如感染性血管炎、结缔组织病等)。

CTA可见受累血管闭塞,远端及分支不显影,近侧呈一残端,以大脑中动脉常见。除显示血管基础病变(如动脉硬化)外,CT常规图像还能显示受累血管供血区的梗死或出血。如为先天性或慢性过程,CTA尚能显示邻近血管增粗、侧支循环形成(图13-6)。

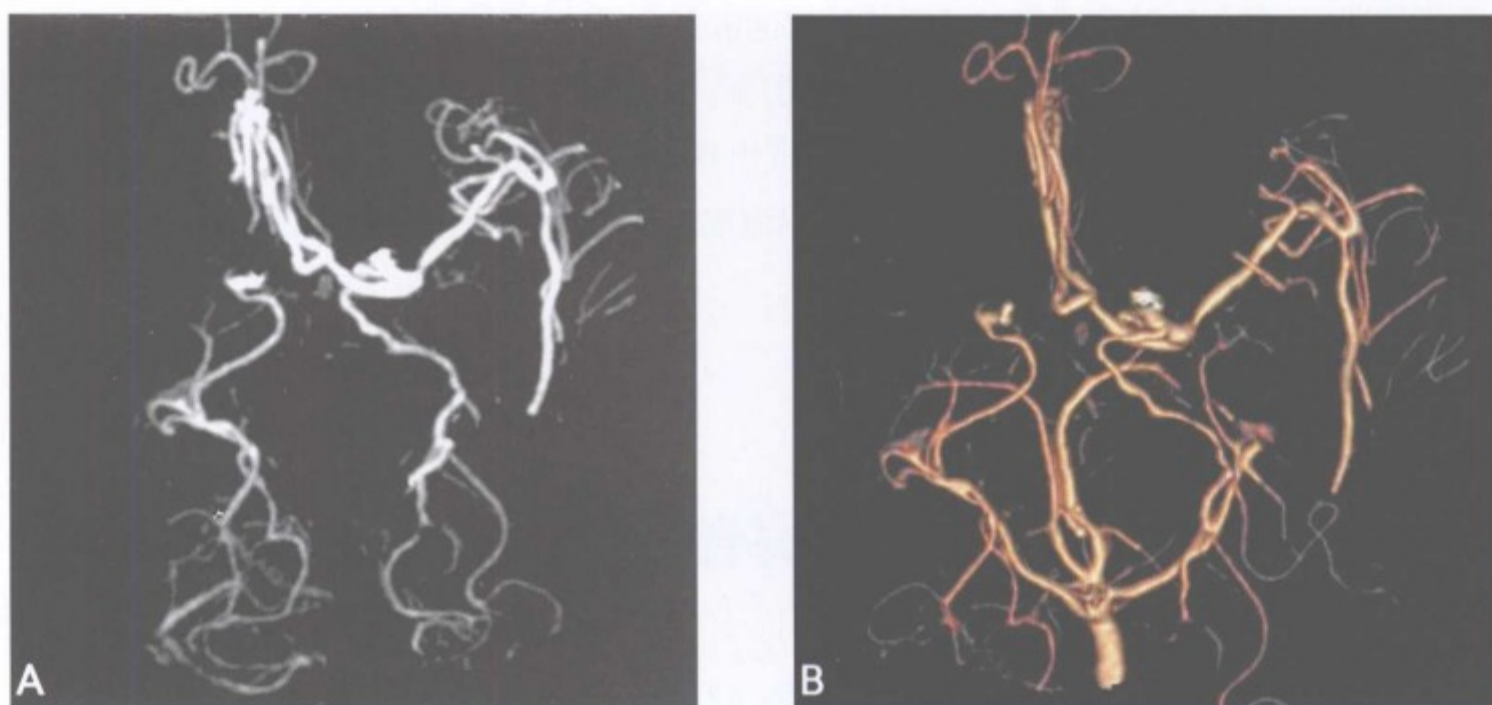


图13-6 脑动脉粥样硬化

MIP(A)及VR(B)技术进行脑血管重组图像显示右侧大脑中动脉起始段闭塞呈一盲端,远端血管未见显影;同时可见左侧大脑中动脉起始部狭窄

## 五、烟雾病

烟雾病(moyamoya disease)是以两侧颈内动脉虹吸部及大脑前、中动脉近端进行性狭窄或闭塞伴脑实质和脑膜广泛侧支循环形成为特点的血管性疾病。病因尚不明确,可能与动脉炎有关,儿童多以脑缺血发病,而成人多以蛛网膜下腔出血发病。

一侧或双侧的颈内动脉内膜增厚,并有脂肪沉积和内弹力膜明显纡曲,导致动脉狭窄或闭塞,同时异常血管网自脑底由穿动脉的小血管构成,自脑深部沿中线区向上伸展,并形成翼网,脑实质血管也增多,充血。由于大脑血流处于低灌注状态,故长期慢性缺血引起脑萎缩,梗死后可产生脑软化。

CTA除了显示颈内动脉及大脑前、中动脉近端对称或不对称性狭窄、闭塞以外,还可以显示脑底异常血管网,表现为Willis环周围及基底核区细小、纡曲、杂乱的网状血管影。除此之外,CT原始图像也可显示脑萎缩、出血、梗死等继发征象。

## 六、颈动脉海绵窦瘘

颈动脉海绵窦瘘(carotid cavernous fistula, CCF)一般是指颈内动脉海绵窦段的动脉壁或其分支发生破裂,以致与海绵窦之间形成异常的动静脉沟通。CCF较为少见,大宗病例统计显示,其在所有神经外科患者中仅占0.15%。海绵窦位于蝶鞍两侧,从眶上裂到岩骨尖,长约2.0cm,颈内动脉穿行其中,是身体中唯一一处动脉通过静脉的结构。在人体内,一般只有相邻的动脉、静脉壁同时受损破裂时才能形成动静脉瘘,而在海绵窦中只要颈内动脉或其分支一方破裂即可形成动静脉之间的交通,多为外伤造成。

正常情况下,眼上静脉和眼下静脉引流眶部的静脉血进入海绵窦。当发生CCF时,海绵窦内压力明显升高,血流方向逆转,海绵窦及其引流静脉扩张,眼上静脉扩张最为常见。同时,眶内组织由于静脉回流不畅导致充血、渗出和水肿。临床上可出现搏动性突眼。

CTA很难显示瘘口的大小和位置,仅能显示海绵窦及引流静脉(眼上静脉常见)的扩张。另外,CT原始图像能显示CCF所致的继发性脑缺血改变。

(刘红军 黄 飏 赵振军)

## 第三节 脑静脉解剖及CTA成像技术

### 一、大脑静脉正常解剖

收集脑血液的三组静脉是大脑浅静脉(皮层静脉)、大脑深静脉和后颅凹静脉。

#### (一)大脑浅静脉

大脑浅静脉的部位及数量不恒定,其血管壁薄,无肌纤维和静脉瓣。静脉血管间有许多吻合支,有利于形成侧支循环。一般认为大脑浅静脉可分为三组:大脑上静脉、大脑中浅静脉、大脑下静脉。

大脑上静脉收集大脑半球上外侧面上部和内侧面上部(胼胝体以上)的静脉血,7~10条,分为额叶静脉、Rolando静脉、顶叶静脉、枕叶静脉。最终多以与上矢状窦血流相反的方向注入上矢状窦。

大脑中浅静脉又称Sylvius浅静脉,引流大脑外侧沟附近,包括部分岛叶的静脉血,最终注入海绵窦。大脑中浅静脉借大吻合静脉(Trolard静脉)与上矢状窦沟通,经后吻合静脉(Labbe静脉)与横窦沟通。

大脑下静脉引流颞叶和枕叶外侧面及下面的静脉血,一般注入横窦或岩上窦。

#### (二)大脑深静脉

与大脑浅静脉相比较,大脑深静脉恒定。重要的大脑深静脉有大脑内静脉、大脑大静脉和基底



静脉组。

大脑内静脉主要引流侧脑室周围的大脑半球白质、基底核、侧脑室脉络丛及丘脑等区的静脉。左、右大脑内静脉在第三脑室顶并列后行,至胼胝体压部下方,松果体上方汇合成大脑大静脉。重要属支有隔静脉、丘脑纹状体静脉、脉络丛静脉、丘脑上静脉、侧脑室静脉。

基底静脉又称Rosenthal静脉。在前穿质处由大脑前静脉和大脑中深静脉(Sylvius深静脉)合成,收纳胼胝体、扣带回前部、岛叶及邻近岛盖皮质的静脉血,有时还引流纹状体腹侧部的静脉血。基底静脉是介于大脑浅、深静脉间的一条重要吻合通道,可直接注入横窦、直窦或岩上窦。

大脑大静脉又称Galen静脉。多由大脑内静脉和基底静脉组成,收纳该两条静脉引流区的血液,然后导入直窦。

### (三)后颅凹静脉

后颅凹静脉分为三组,即上静脉导入大脑大静脉,前静脉导入岩窦,后静脉导入窦汇和邻近的直窦与横窦。后颅凹静脉走行的解剖变异很大,该部位发生的静脉闭塞诊断困难。

## 二、硬脑膜静脉窦正常解剖

硬脑膜静脉窦位于硬脑膜内、外两层之间,是颅内静脉血的回流通道路,主要收集脑、脑膜、颅骨、眼眶和内耳等处的静脉血。硬脑膜静脉窦壁无收缩和扩张的功能,破损后不塌陷,流血不止;且只在静脉入口处存在半月瓣、小梁和中隔的装置,起调节入窦血流量的作用。硬脑膜静脉窦含有许多蛛网膜绒毛和颗粒,大部分脑脊液在此被吸收,故硬脑膜静脉窦在脑脊液循环中起着重要作用。

硬脑膜静脉窦通常分为后上、前下两组。前者包括上矢状窦、下矢状窦、横窦、乙状窦、直窦、窦汇、岩鳞窦和枕窦。后者有海绵窦、海绵间窦、岩上窦、岩下窦、蝶顶窦和基底静脉丛等。临床上,最易发生血栓的静脉窦是上矢状窦、横窦和海绵窦。故简要概括上述三者的解剖学特点。

上矢状窦紧贴大脑镰,起自额骨的鸡冠,向后在枕骨内粗隆与直窦和横窦沟通汇入窦汇。上矢状窦的前端狭窄或有时缺如,由冠状缝之后相汇的两条大脑上静脉取代。上矢状窦接受大脑表面静脉和大部分皮质静脉的血液,也接受颅骨板障静脉的血液,后者经导静脉与头皮静脉相连。

横窦从窦汇延伸至颈静脉球部,分为两部:横部(位于小脑幕附着缘)和乙状部(走行于乳突内侧上方)。横窦接受来自小脑、脑干、大脑半球后部、颅骨板障静脉及中耳小静脉的血液。横窦有众多解剖学上的变异,最常见的是右侧横窦较左侧粗大并直接与上矢状窦相延续,易被误认为左侧横窦血栓形成或闭塞。

海绵窦位于蝶鞍两侧,收纳来自眼静脉的眼眶部血液、来自脑底前部的蝶顶窦和大脑中静脉血液。动眼神经、滑车神经和三叉神经的第1、2支走行于海绵窦的外侧壁。展神经与被交感神经丛包绕的颈内动脉走行于海绵窦的中央部。

### 三、脑静脉CT成像(CTvenography, CTV)技术

常规CT增强扫描在一定程度上能显示脑静脉结构,但由于扫描速度的原因,在静脉血管内对比剂到达峰值时所获得清晰薄层CT图像的数量有限,不能包括整个脑范围。多层螺旋CT可以克服上述缺陷,应用最大密度投影法三维重组来显示脑静脉系统。

螺旋CT扫描中,正确选择扫描螺距和扫描层厚对控制扫描时间、覆盖扫描范围及提高图像质量是重要的。根据解剖及静脉血的回流方向,扫描方向一般从颅顶至颅底,约12cm。扫描线平行于鞍结节与枕骨大孔后缘连线。采用非离子型对比剂,对比剂总量约90ml,用高压注射器经静脉内注射,速度3ml/s。扫描延迟时间可为经验值(40s),也可进行小剂量循环试验,根据时间-密度曲线确定扫描延迟时间。对怀疑有动脉异常的患者建议扫描延迟时间适当缩短(25s),从颅底向颅顶方向扫描,以便动静脉同时显示。

(刘红军 王广谊 黄 飏)

## 第四节 CTV在脑静脉系统疾病的应用

### 一、脑静脉血栓形成

脑静脉血栓形成包括静脉窦血栓形成、皮质静脉和大脑深静脉血栓形成。该病病因具有多样性。近年的文献提示感染(局部或全身性)一直是可以证明的主要原因。此外,恶性肿瘤、手术、头部外伤和严重的内科疾病都可诱发脑静脉血栓形成。年轻女性长期口服避孕药或处于产褥期、妊娠期时,该病较易发生。

脑静脉血栓形成的症状、体征变化多端,表现多样。根据临床表现可将其分为5组。①单纯颅内压升高,伴有头痛,视盘水肿和展神经麻痹最为常见。②限局性大脑体征,约占75%。临床表现纷繁复杂,取决于限局性大脑体征的发病方式、表现性质和可能伴随的意识改变。可能类似动脉性卒中,但是缺乏非常明确的动脉疾病的症候群。③海绵窦综合征,多急性起病,表现为球结膜水肿、突眼和痛性眼肌麻痹。无痛性发病者诊断困难,伴有展神经麻痹,轻度的球结膜水肿和突眼。④亚急性脑病,常见于老年人和儿童。意识水平下降是最恒定表现,该型极易误诊。⑤特殊表现,不能划归于上述四种症候群,可表现为无症状、单纯头痛、短暂性脑缺血发作、精神障碍和癫痫发作等。尤其当患者具有引起骨盆内深静脉血栓的促发因素时(产褥期、创伤、消耗性疾病、心力衰竭等),出现上述表现应想到脑静脉血栓形成可能。

CT扫描诊断脑静脉血栓形成的策略是除外其他疾病,如动脉性卒中、脓肿、肿瘤和蛛网膜下腔出血等急症。开始先行CT平扫,当无出血性梗死存在时,在进行增强CT扫描。CT表现分为直接征象和间接征象。

直接征象:①条索征。CT平扫显示为形成血栓的皮质静脉的自发性影像,呈条索状高密度影。很少见。大脑内静脉和大脑大静脉血栓形成时可见。②高密度三角征。此征象为上矢状窦新鲜凝

固的血液所致的影像学表现,是超早期的表现,仅见于少于2%的病例。CT表现为病变累及静脉窦呈三角形高密度影。正常情况下,横窦和直窦,儿童和血液浓缩患者也可显示该征象。③空三角征。因静脉窦内血栓形成,注入对比剂后,对比剂不能进入窦内而通过静脉窦的侧支循环进入血栓周围的窦隙,同时由于硬脑膜形成的窦壁增强,从而可见血栓周围强化,即形成“空三角征”。这是最常见的直接征象,但是,在血栓未累及上矢状窦的后1/3,症状发作的5d之内和2个月以后,CT扫描无“空三角征”。此外,上矢状窦的早期分开可引起假性三角征。

间接征象:更为常见的非特异性征象。①大脑镰和小脑幕的强化改变。该征象表明静脉血流淤滞、硬脑膜充血。小脑幕增强通常提示直窦血栓形成,但上矢状窦血栓形成时亦非少见。可伴有大脑髓静脉的扩张,通常与广泛上矢状窦血栓形成有关。②脑肿胀、脑室变小,脑实质密度局限性或弥散性减低。对于脑室变小可以通过复查CT加以证实(小脑静脉血栓形成时,可见脑室扩大,应注意)。③出血性梗死。常为皮质下多灶性血肿和大量低密度灶内的点状出血。极少数病例可见蛛网膜下腔出血和硬膜下血肿。④非出血性梗死。CT表现为伴脑回增强的局灶性低密度,无增强效应的低密度或孤立的脑回增强。后两个间接征象可以为单侧或双侧发生,单个或多发病灶。上矢状窦血栓形成多见于大脑半球表面,深静脉系统血栓形成的病变位于基底核区(图13-7)。

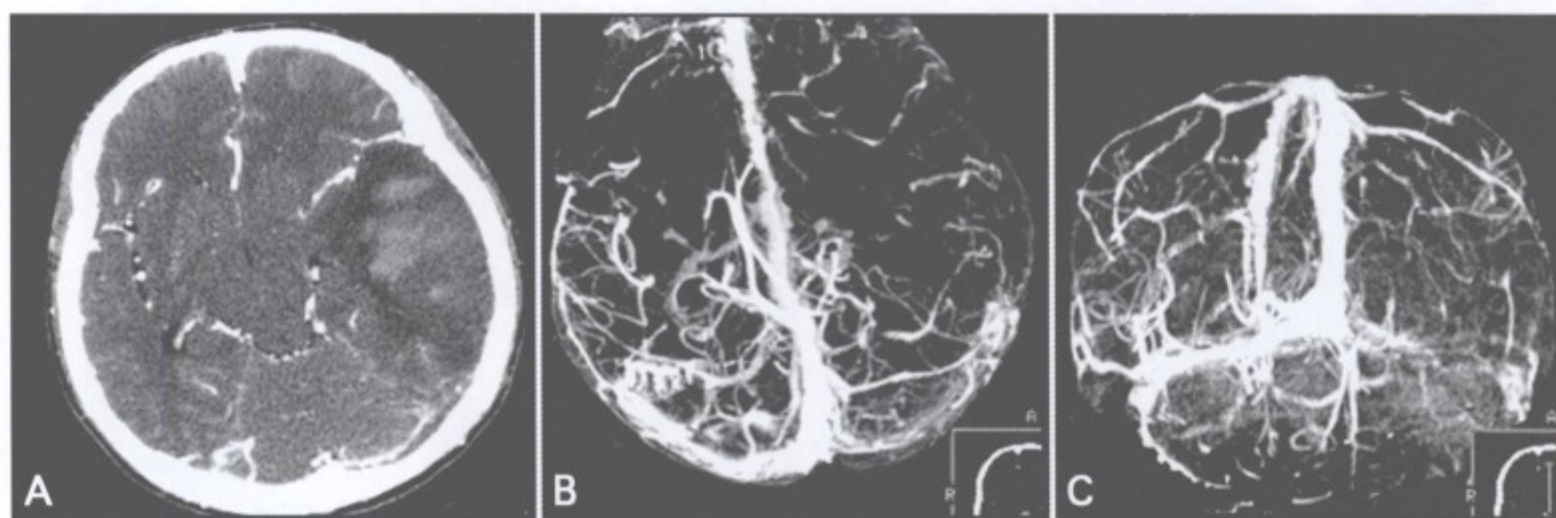


图13-7 左侧横窦和乙状窦血栓形成

A. 横断面图像显示左侧横窦充盈缺损,继发颞叶皮质脑内出血;B与C. MIP图像显示左侧横窦和乙状窦不显影或部分显影,部分血管缺失

海绵窦血栓形成后,增强CT扫描表现为肿胀的海绵窦内可见多发性不规则的充盈缺损,眶静脉增粗。CT虽然可以帮助诊断脑静脉血栓形成,但是在已证实的病例中,10%~20%的病例CT扫描未见异常。

## 二、脑静脉性血管畸形

脑静脉性血管畸形(cerebral venous angioma, CVA)可见于各年龄段,平均年龄为42.9岁,男女比例大致相等。病变位于脑白质,由许多不规则扩张的髓静脉和引流静脉构成,不含动脉成分。部

分CVA可见含铁血黄素沉积、钙化,为陈旧性出血导致。扩张的畸形血管之间有正常脑组织分隔。

CVA最常见部位为额叶,其次为小脑、顶叶、颞叶、基底核和丘脑、脑干、脑室。幕上占2/3,多位于一侧半球,但双侧或多发病灶亦不罕见。CVA依引流静脉类型分为皮质表浅型、皮质下型和脑室旁型。皮质表浅型引流入浅静脉,皮质下型引流入深静脉,二者均可由深、浅静脉同时引流。脑室旁型仅引流入室管膜静脉系统。

幕上CVA的症状以癫痫、头痛最常见。幕下者以步态不稳、共济失调和脑神经受损最常见。

CT平扫结合增强扫描的阳性率为87%。CT平扫显示最常见的征象是圆形的高密度影,是扩张的髓静脉。CT增强表现有:①脑白质中圆形的增强影,占32.5%,周围无水肿或占位;②脑实质中穿行的线形增强影,占32.5%;③前两者同时出现,占18.6%。CT增强扫描后进行三维重组会更有利于病灶的显示(图13-8)。

(刘红军 侍丽 梁长虹)

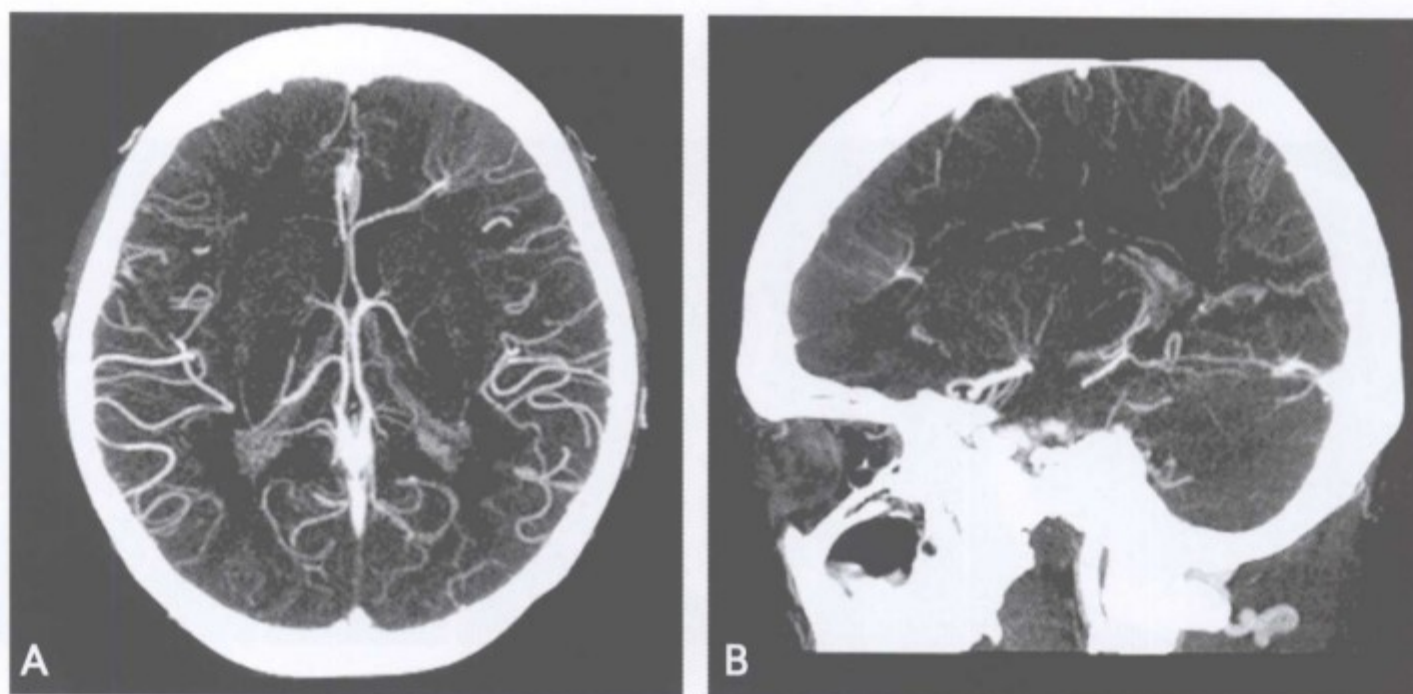


图13-8 左额叶静脉性血管畸形  
横断面(A)及矢状面(B)显示异常血管及引流静脉

## 参 考 文 献

- [1] 李明华.神经介入影像学.上海:上海科学技术文献出版社
- [2] 马廉亭.介入神经外科学.武汉:湖北科学技术出版社
- [3] 宋 明,王田力,李 坚,等.CTA在神经外科中的应用.中华神经外科杂志,2000,16(2):101-103
- [4] 曾惠良,朱新进,邝国恩,等.16排螺旋CT脑血管造影(CTA)的临床应用.影像诊断与介入放射学,2004,13(3):146-148
- [5] 宋 明,王田力,李 坚,等.CTA在诊断脑血管病中的作用.中国临床神经外科杂志,2002,7(4):237-238
- [6] 石 鑫,鲍遇海,买买提力,等.3D-CTA在颅内动脉瘤诊治中的应用.中国微侵袭神经外科杂志,2004,9(8):343-346
- [7] 姜亚平,施琪嘉,高 琼.卒中与神经疾病杂志,1998,5(2):87-89
- [8] 邓克学,曹东兴,凌士营.中国医学计算机成像杂志,2004,10(2):120-123
- [9] 曹 强,郭启勇,姜 军,等.多层CTA三维重组技术评价脑动脉瘤的临床应用:与DSA对比研究.中国医学影像技术,2004,20(7):1024-1027
- [10] 吕京光,柳 澄,武乐斌,等.MSCT行脑CTPI联合CTA在诊断超早期急性缺血性脑血管病中的应用研究.医学影像杂志,2003,13(7):453-457
- [11] 高勇安,张铁群.脑CT静脉成像及临床应用.国外医学临床放射学分册,2000,3(1):37-39
- [12] Alberico RA,Patel M,Casey,et al.Evaluation of the circle of willis with three-dimensional CT angiography in patients with suspected intracranial aneurysms.AJNR,1995,16(8):1571-1578
- [13] 胡锦涛.脑静脉性血管畸形.微侵袭神经外科杂志,1997,2(4):289-292
- [14] Matsumoto M,Endo Y,Sato M,et al.Acute aneurysm surgery using three-dimensional CT angiography without conventional catheter angiography.Fukushima J Med Sci,2002,48(2):63-73
- [15] Villablanca J P,Jahan R,Hooshi P,et al.Detection and characterization of very small cerebral aneurysms by using 2D and 3D helical CT angiography.AJNR,2002,23(7):1187-1198
- [16] Caruso R,Colonnese C,Elefante A,et al.Use of spiral computerized tomography angiography in patients with cerebral aneurysm.Our experience.J Neurosurg Sci,2002,46(1):4-9

## 颈动脉及椎动脉 CT 血管成像

### 第一节 颈部动脉解剖及CTA成像技术

在 CT 扫描过程中,颈部可保持静止,呼吸、吞咽等运动容易控制,而且颈动脉、椎动脉走向与体轴基本垂直,因此,颈部血管是进行CTA检查的理想部位。现阶段已经广泛应用于临床的多层螺旋CT比单层螺旋CT扫描速度快数倍乃至数十倍,能够在短时间内作大范围扫描,获得颈动脉、椎动脉全程的动脉期图像,同时也减少了静脉显影的影响。多层螺旋CT图像Z轴空间分辨率达亚毫米级,能够获得高质量重组图像,显示更多级数的血管分支。因此,颈动脉、椎动脉多层螺旋CT血管造影在一定程度上已经替代了DSA对颈动脉、椎动脉疾病的诊断作用,越来越广泛地应用于颈动脉、椎动脉各种疾病的检查中。

#### 一、颈动脉及椎动脉解剖

##### (一)颈动脉解剖

颈动脉包括颈总动脉、颈内动脉、颈外动脉及颈总动脉分叉处。左侧颈总动脉在左锁骨下动脉的右前方起始于主动脉弓,右颈总动脉起自于头臂干。双侧颈总动脉常于第4颈椎或甲状软骨上缘水平分为颈内动脉、颈外动脉;分叉前的颈总动脉和颈内动脉颅外段一般无肉眼可见的分支。颈内动脉先走行于颈外动脉的后外侧,继而转向内侧,沿咽后壁上行至颅底,经颞骨岩部的颈动脉管外口进入颅腔,穿过海绵窦,于蝶骨前床突上方分为大脑前动脉和大脑中动脉。颈内动脉主干一般分为颈段、岩骨段、海绵窦段及颅内段(图14-1)。颈外动脉先位于颈内动脉的前内侧,继而走行于颈内动脉的前外侧。颈外动脉主要分支有甲状腺上动脉、舌动脉、面动脉、咽升动脉、枕动脉、耳后动脉、上颌动脉及颞浅动脉。

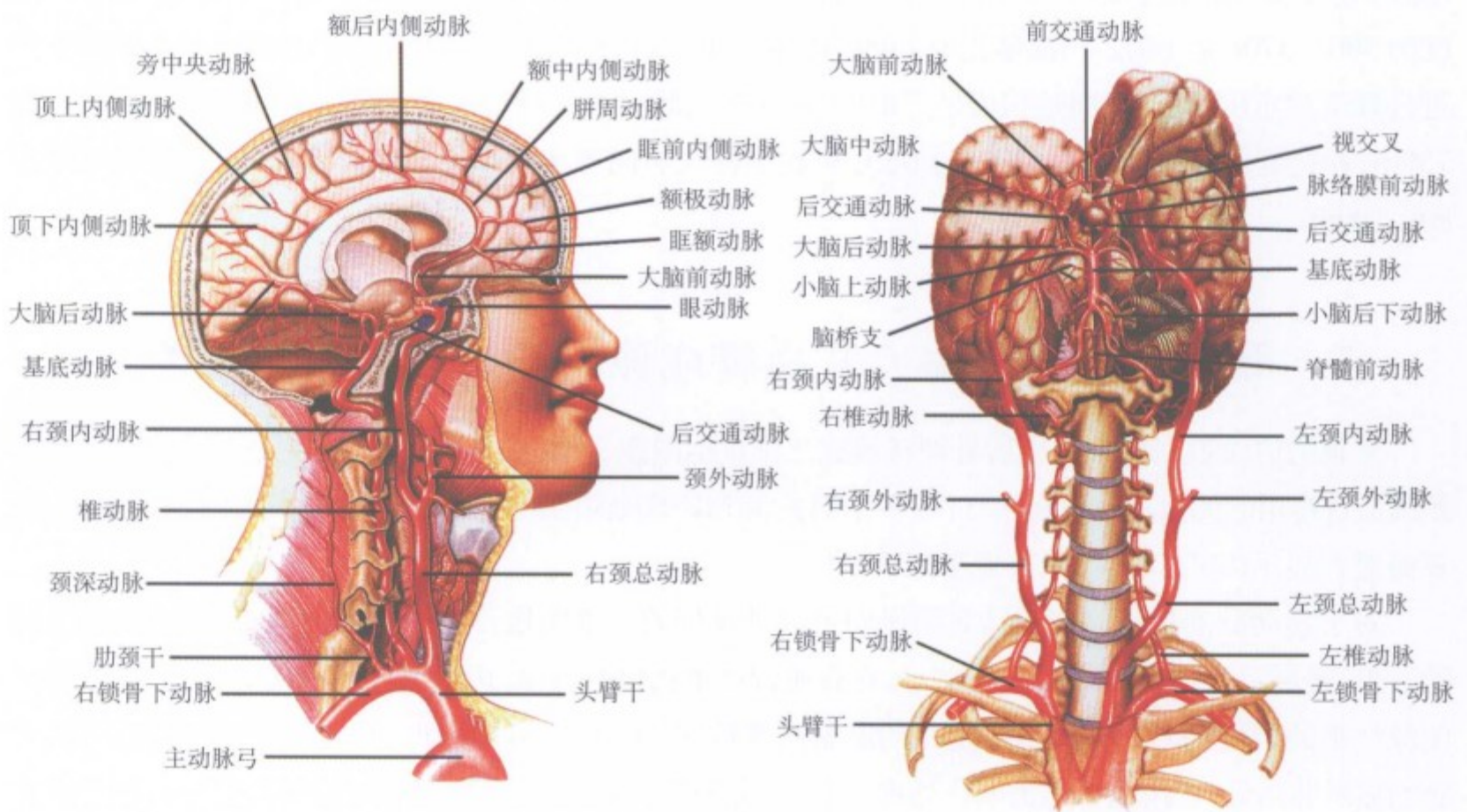


图 14-1 正常颈内动脉及椎动脉解剖

## (二) 椎动脉解剖

椎动脉根据位置和行程分为4段(图14-1)。椎动脉自颈总动脉的后方发自锁骨下动脉第一段,于前斜角肌和颈长肌之间的三角内上行约4cm,此为椎动脉的第一段,即颈段;然后穿过第6至第1颈椎横突孔,形成椎动脉的第二段,即椎骨段;第三段位于枕下三角内,即枕段;最后经枕大孔入颅,在脑桥下端左右椎动脉合并成基底动脉,形成第四段,即颅内段。椎动脉常常一侧占优势——左侧较右侧椎动脉优势更明显,全程管腔粗细较为均匀一致,椎动脉靠近基底动脉处的外径平均约为3.3mm。椎动脉颅内段主要分支有脑膜后动脉、脊髓前动脉、脊髓后动脉和小脑后下动脉。两侧椎动脉在脑桥延髓沟处融合为基底动脉,基底动脉的分支有小脑前下动脉、脑桥动脉、小脑上动脉和大脑后动脉。

## 二、颈动脉及椎动脉螺旋CT血管成像技术

在进行颈动脉、椎动脉 MDCTA 扫描时,需对扫描及重组参数、对比剂注射流率、剂量、扫描延迟时间等进行设计,以便获得满足诊断需要的图像质量。

常规由足侧向头侧螺旋扫描,扫描范围为主动脉弓至鞍背水平,这样可包含颈动脉、椎动脉全程。扫描条件:120kV, 250~320mA,视野20cm,准直器宽度一般选用层厚1mm左右,进床速度16.5mm/s,球管转速0.5s/r,螺距0.875,重组层厚1.25mm,重组间隔1.25mm。先常规平扫,然后

增强扫描。对比剂注射方法采用高压注射器经肘静脉以3~4ml/s的流率注入非离子型对比剂(碘浓度为300~370mg/ml)。扫描延迟时间的确定可采用小剂量团注到达时间测试方法在第6颈椎水平进行峰值测定(峰值时间即是扫描延迟时间)或在主动脉弓水平进行自动触发(一般要超出基础CT值75Hu,在达到此CT值3~4s后进行扫描)。对比剂注入时间等于或多于扫描时间,一般对比剂用量为80~100ml。

### 三、颈动脉及椎动脉 CT 血管成像的图像后处理重组方法

采集的原始数据经计算机后处理转换成三维重组图像,才能更好地用于血管疾病的诊断和分析。颈部血管常用的图像后处理技术有:①多平面重组(MPR)及曲面重组(CPR);②最大密度投影(MIP);③表面遮盖显示(SSD);④容积再现重组(VR)。

对于颈动脉的显示,MIP及VR图像均可提供良好的三维图像,MIP图像可达到与DSA近似等同的效果,是显示颈动脉较好的方法之一。在有血管严重钙化的病例,由于钙化遮盖血管,可能会影响对图像结果的判定。VR图像应用了所有的原始图像数据,可真实、可靠的再现血管的三维形态,对颈动脉的显示非常好,应用血管的透明化处理,可以部分抵消钙化对血管病变判断的影响,是显示颈动脉的最佳方法。CPR也是颈动脉常用的重组方法,但是CPR图像对颈动脉狭窄程度的判定可能因为图像重组未严格使用中心线而使结果不可靠,必须密切结合横断面图像进行判定。SSD图像由于只是使用了部分数据,现在已经较少应用于颈动脉图像重组及结果判定中。

在椎动脉的图像重组中,CPR的应用较为广泛。在CPR图像中,除了可以把走行迂曲的椎动脉重组于同一幅图像上外,还可以同时显示椎动脉与邻近解剖结构的关系,判断椎骨及韧带对椎动脉的压迫。椎动脉VR重组对血管内对比剂浓度与周围组织结构的密度对比要求比较高,并且常常由于周围骨质的影响而难以完全分离出完整血管。

(刘 辉 梁长虹 王秋实)

## 第二节 颈动脉粥样硬化性狭窄

脑血管病是人类致残和死亡的重要原因之一,其中75%为缺血性脑血管病。在众多缺血性脑血管病的危险因素中,颈动脉粥样硬化导致的颈动脉狭窄占了很重要的位置,20%~30%的脑卒中是由于颅外段颈动脉狭窄病变进行性发展所致。在60岁以上的脑卒中患者中,颈动脉粥样硬化的发病率为70%。根据北美症状性颈动脉内膜切除术协作组(NASCET)的大规模多中心随机对照试验结果,当颈内动脉狭窄程度超过70%时,外科治疗较内科治疗可明显降低脑中风的发生率。因此,颈动脉粥样硬化性狭窄的预报及狭窄程度的准确判定成为预防脑卒中的重要内容。



**【病理特点】**

动脉粥样硬化斑块的成分复杂,从组织学的角度来看,粥样斑块包括较大的脂质核心、炎性细胞浸润的纤维帽及外膜和斑块内的新生血管。脂质核心由游离胆固醇、胆固醇结晶和胆固醇酯组成,主要来源于从血液浸润入动脉壁的脂质及泡沫细胞凋亡释放的脂质。较大的脂质核心容易造成斑块破裂及促进血栓形成作用。纤维帽包含细胞外基质成分如胶原、弹性蛋白和来自平滑肌细胞的蛋白聚糖。纤维帽变薄通常是斑块破裂的先兆,可能是由于细胞外基质分解增加或合成减少的缘故。

**【病因】**

颈动脉粥样硬化是全身动脉粥样硬化的一部分,因此,造成全身动脉粥样硬化的原因,同样是颈动脉粥样硬化的危险因素,包括高龄、高血压、高血糖、周围血管病、心脏病、吸烟、血细胞比容增高、凝血因子 I 增高和高脂血症等。

**【CTA 表现】**

按照 NASCET 的标准,颈动脉的狭窄程度分为四级:轻度 0~29%,中度 30%~69%,重度 70%~99%,闭塞 100%。

CTA 判定狭窄程度的计算方法与血管造影一致,使用式(14-1)可计算狭窄程度( $X\%$ )。

$$X\%=(1-DS/DN)\times 100\%$$

式中:DS 为颈内动脉狭窄段最窄处的直径;DN 为狭窄远端正常颈内动脉的直径 (14-1)

CTA 能够正确诊断不同程度的狭窄(图 14-2~14-4),并与血管造影有良好的一致性。CTA 诊断重度以上狭窄的敏感性和特异性均很高,与血管造影对比,CTA 对颈内动脉重度狭窄的诊断功效,其敏感性稳定在 92%~100%,特异性在 83%~100%。

准确区分重度狭窄血管和闭塞血管也非常重要,因为闭塞血管为手术禁忌证,而重度狭窄颈动脉,特别是接近闭塞的血管,在有症状出现的患者中常常是紧急颈动脉内膜切除术的指征。

由于 CTA 有优良的密度对比分辨率,即使颈动脉中有少量的对比剂充填也可以分辨出来,能够正确诊断狭窄和闭塞血管。同血管造影相比,CTA 诊断血管闭塞的敏感性和特异性均达到 100%。

近年来的研究发现,除了狭窄程度与脑中风的发病率密切相关外,斑块表面不规则、斑块内溃疡也与卒中的发生密切相关。CTA 除了能够判断狭窄程度外,还能够观察斑块的这些形态特点,如斑块表面是否规则,有无斑块内溃疡存在等(图 14-3)。

**【CTA 与其他血管成像技术比较】**

1. 血管造影 一直以来被作为诊断颈动脉粥样硬化性狭窄的金标准,在诊断的同时可以进行支架置入的治疗。颈动脉造影是一种有创性检查,费用相对较高。颈动脉的检查中,MDCTA 逐渐作为无创性方法逐渐替代有创血管造影。

2. 磁共振血管成像(MRA) 是临床上常用的颈动脉检查方法之一,常用技术有时间飞跃法(TOF)、相位对比法(PC)及对比剂增强 MRA(CE-MRA)。前两种方法由于在颈动脉分叉处的血液涡流引起信号丢失而使诊断结果不十分可靠,往往夸大血管狭窄程度,而 CE-MRA 则可以克服此缺点,与 DSA 相比结果有高度一致性,在临床应用中逐渐受到重视。

3. 超声检查(US) 颈动脉颅外段位置相对表浅,且无强回声结构遮盖,因而适合于 US 检查。同时,US 具有价格便宜,操作方便,可反复进行等优点,成为颈动脉最常用的检查手段。US 对血管狭

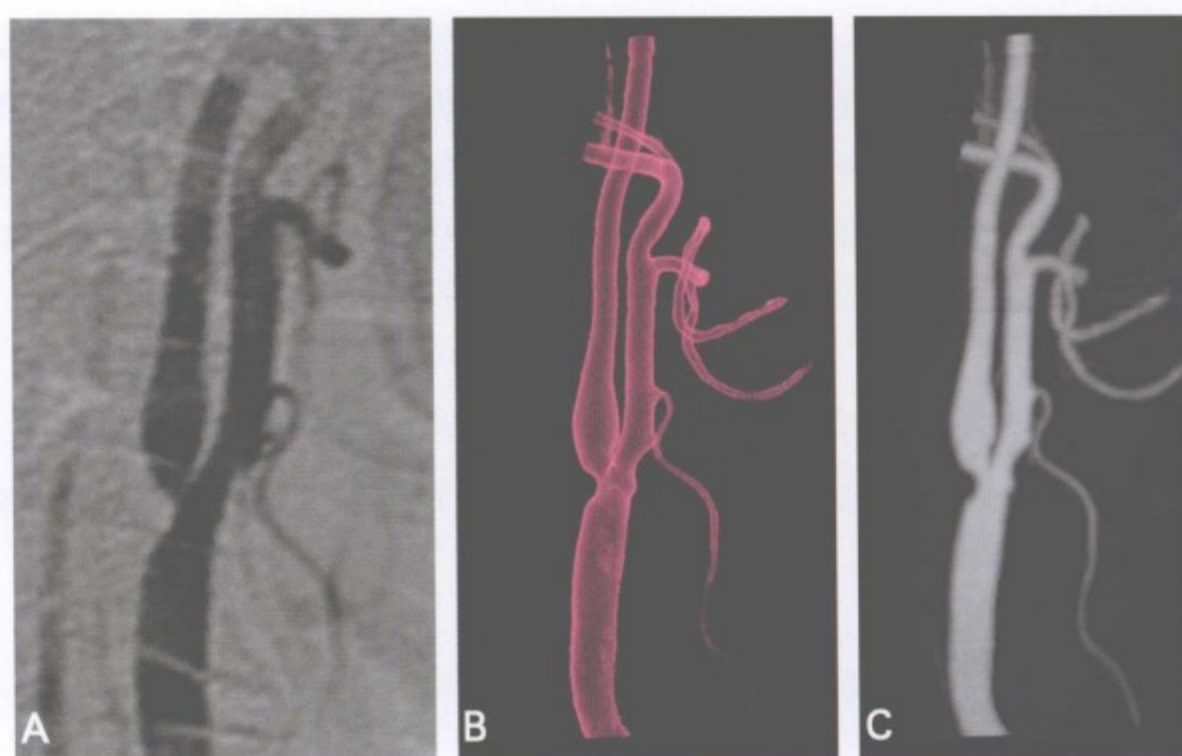


图 14-2 右侧颈内动脉起始处轻度狭窄

DSA(A)、VR(B)及MIP重组图像(C)显示右侧颈内动脉起始处狭窄,CTA显示狭窄程度与DSA显示结果一致

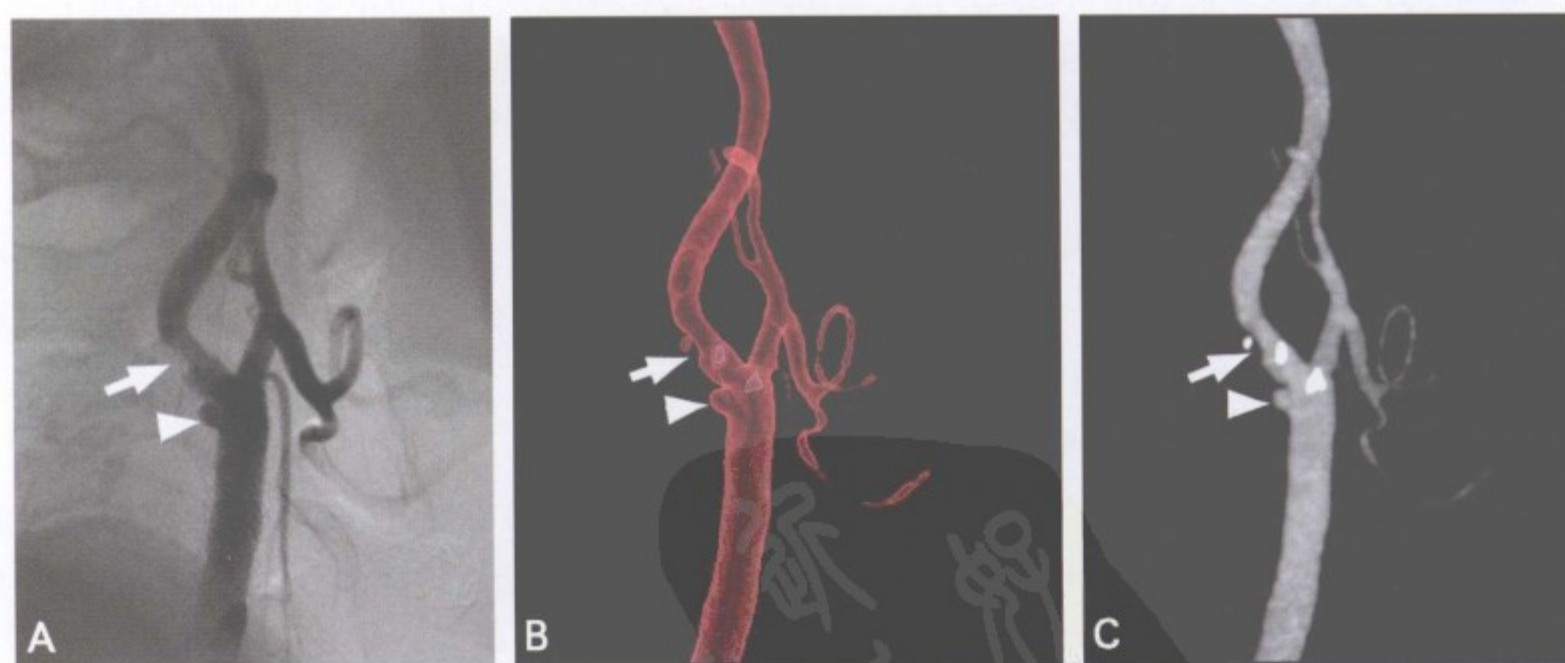


图 14-3 颈内动脉起始处中度狭窄

DSA(A)、VR(B)及MIP重组图像(C)均显示颈内动脉起始处中度狭窄的血管最窄处(长箭头)及溃疡形成(短箭头)

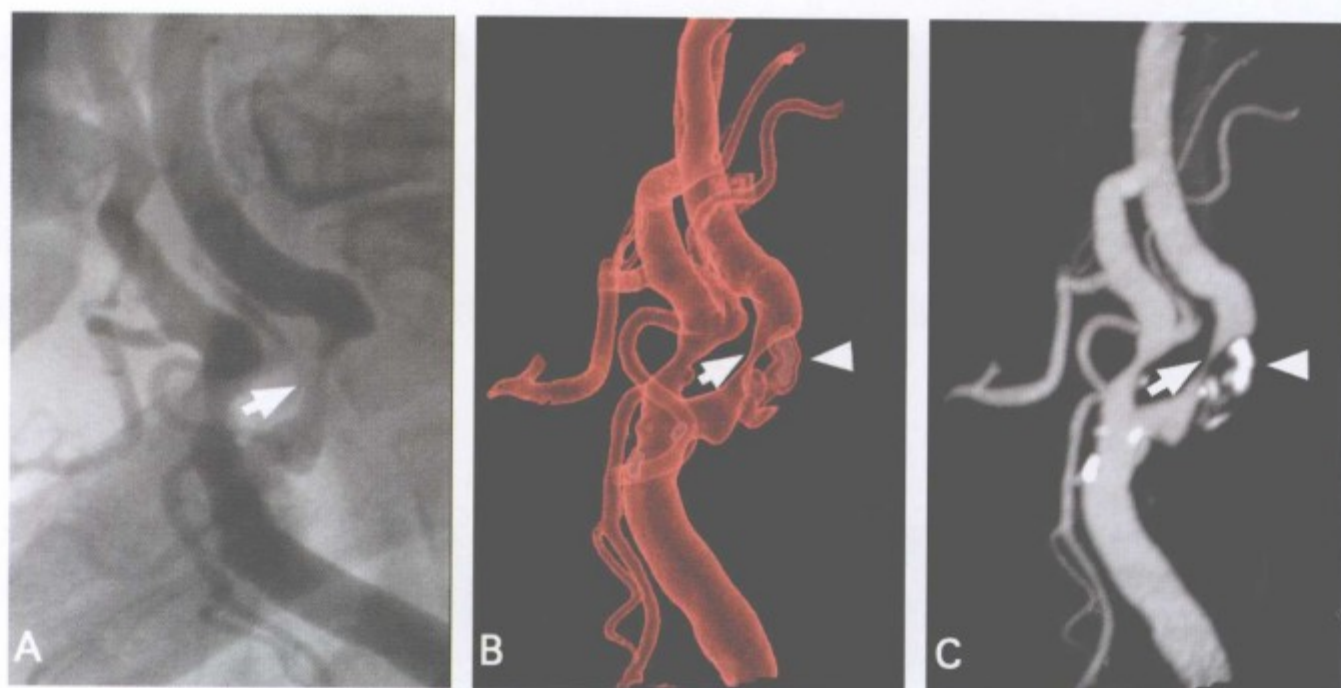


图 14-4 颈内动脉起始处重度狭窄

DSA(A)、VR(B)及MIP(C)重组图像均显示血管最窄处(长箭头),狭窄程度显示相似,但CT图像显示钙化斑块(短箭头)

窄程度判定的可重复性低,成为其最大的缺点。

(刘 辉 黄美萍 梁长虹)

### 第三节 椎动脉狭窄

椎动脉狭窄是引起椎-基底动脉供血不足的主要原因,而对狭窄原因及其程度的判断是临床选择药物治疗或手术治疗的依据。

#### 【病因】

椎动脉走行复杂、多变,与椎骨关系密切。周围组织对椎动脉的压迫以及椎动脉本身病变都可导致椎动脉狭窄,从而引起患者椎-基底动脉供血不足的临床症状。

#### 【CTA表现】

CTA能全程显示椎动脉,并且能从不同角度、不同平面观察椎动脉,从而避免了其他血管及椎骨重叠影像的干扰。

CTA对椎动脉狭窄程度的判定方法与颈动脉一致,病变段血管直接表现为管腔直径减少。

CTA除了可以观察椎动脉狭窄程度外,还可以评价引起狭窄的原因,包括解剖变异,颈椎骨质增生压迫血管及椎动脉粥样硬化等(图14-5)。为了评价CTA的可靠性与准确性,Seemamn等把经颅多普勒超声检查而诊断为椎动脉和颈动脉异常或病变的15例患者行CTA和DSA检查,发现CTA与DSA结果高度一致。CTA对于椎动脉起始部狭窄的判断甚至优于DSA。Farres等报道了24例椎-

基底动脉供血不足的患者,在1周内行双侧椎动脉DSA和CTA检查,结果在48条椎动脉中,其中14条DSA不能显示其起始端,而CTA则能全部清晰显示。

CTA后处理图像,如电影回放能动态观察椎动脉行程,能清楚显示其走行及扭曲的程度和方式;曲面重组图像能显示椎动脉变细、狭窄、扭曲、粗细不均等改变,特别能同时显示颈椎骨质增生与椎动脉的关系。因此,CTA椎动脉成像临床实用价值高,对临床采取保守或手术治疗有较为重要指导意义。

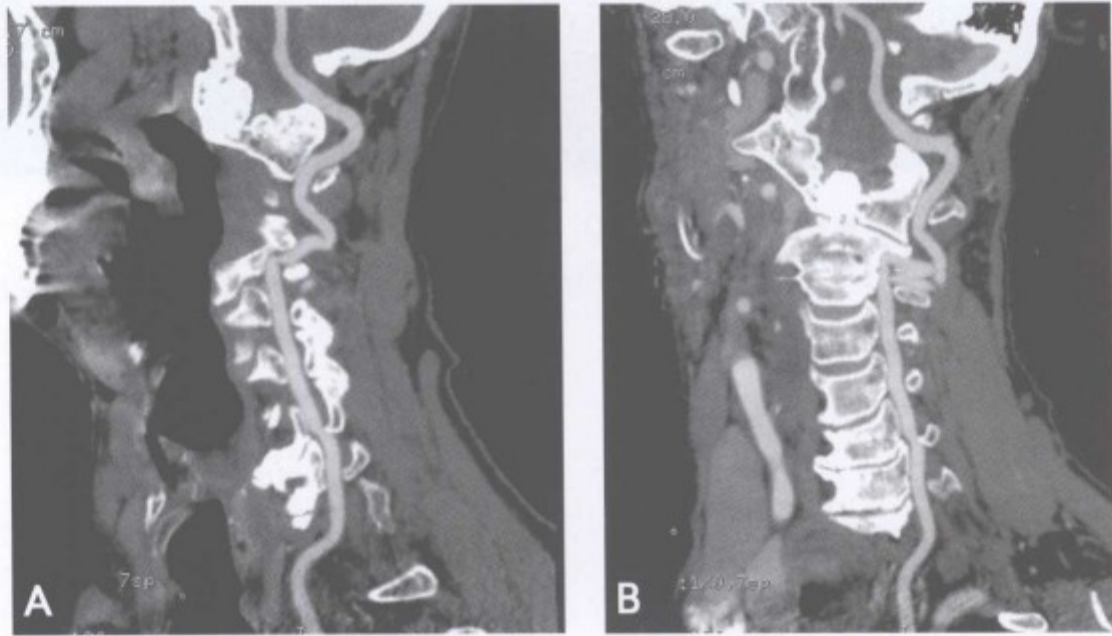


图 14-5 颈椎骨质增生压迫左侧椎动脉引起局限性狭窄  
曲面重组图像(A)及多平面重组图像(B)显示 C<sub>5-6</sub> 骨质增生压迫椎动脉

#### 【CTA 与其他血管成像技术比较】

DSA虽是诊断椎动脉病变的金标准,但其操作复杂,属有创性检查,其并发症的发生率约为3%。投照体位有限,估计血管狭窄程度受投照角度影响。因不能显示骨骼,对血管走行异常的发现率低。

常规MRA无需对比剂,与CTA同属无创性检查,在显示椎动脉方面,两者作用相当。MRA成像范围大,但对血流信号依赖性大,血管的狭窄及分叉部位由于涡流易产生夸大效应。当钙化、金属物存在时可干扰信号而影响诊断。

US对椎动脉检查操作方便,但US对椎骨段椎动脉的显示由于椎间孔的骨质影响显示欠佳,同时US的可重复性较低。

(刘 辉 张水兴 赵振军)

## 第四节 颈动脉及椎动脉夹层

颈动脉、椎动脉夹层分为自发性和外伤性两类,有明确头颈部外伤史的称为外伤性动脉夹层,相反,缺乏外伤史的称为自发性动脉夹层。颈内动脉自发性动脉夹层的发生率为2.5~3.0/10万,椎动脉自发性动脉夹层的发生率为1~1.5/10万。颈内动脉、椎动脉自发性动脉夹层可以发生在任何年龄组人群,但在40~50岁有一明显高发期,男女发生率无明显差异。颈内动脉自发性动脉夹层的临床表现多种多样,主要为4个综合征。①偏头痛伴同侧眼部交感神经麻痹;②偏头痛伴迟发性局灶脑缺血症状;③偏头痛伴后组脑神经麻痹;④上述3个综合征重叠出现。典型椎动脉夹层患者表现为颈部、头部疼痛,特别是枕部疼痛出现率很高,接着可出现后循环缺血症状。部分颈动脉、椎动脉自发性动脉夹层病人无特殊症状出现或症状轻微而不能得到及时正确诊断。

### 【病理特点】

颈内动脉、椎动脉动脉夹层是由内膜撕裂引起,内膜撕裂后,动脉内的血液由于压力作用进入动脉管壁内,形成壁内血肿,即所称的假腔。壁内血肿位于动脉中层内,常偏心性分布,可以突向动脉内膜或外膜,内膜下夹层更易引起动脉管腔的狭窄,而外膜下夹层容易引起动脉管腔的瘤样扩张。

### 【病因】

1. 遗传因素 颈动脉、椎动脉发生自发性动脉夹层患者的动脉管壁被认为有潜在性的结构缺陷,这种结构缺陷常属于一些遗传性结缔组织病,其中与颈动脉、椎动脉自发性动脉夹层关系最密切的是IV型 Ehlers-Danlos 综合征,其他还包括 Marfan 综合征、成骨不全及未命名结缔组织病等。

2. 解剖因素 由于颅外段颈内动脉、椎动脉具有相对较大的可移动性,并且血管与周围骨质结构(如椎体)关系密切,相对容易受到损伤,因此颅外段颈内动脉和椎动脉较颅内段更容易发生动脉夹层。颈内动脉、椎动脉过长现象,包括盘绕和扭结等,也被认为是潜在致病因素之一。

3. 损伤因素 发生颈动脉、椎动脉自发性动脉夹层患者常常有轻微外伤作为诱发因素,颈部转动包括练习瑜伽、咳嗽、呕吐、打喷嚏、颈部推拿按摩等,这种颈部运动(尤其在突然发生时),可以因机械性拉伸而损伤动脉。

其他某些因素在动脉夹层发病中起一定作用,如动脉夹层患者高血压的发生率高达50%,提示高血压在发病中起一定作用。但在颈内动脉、椎动脉夹层的患者中,动脉粥样硬化很少见。

### 【MDCTA 表现】

CTA可以直接显示壁内血肿及病变段血管外径的增大,这两点是CTA诊断颈部动脉夹层直接而特异的征象;CTA能同时显示残留血管管腔情况。横断面及MPR、CPR图像对血管外径、壁内血肿、残留管腔及其关系显示佳,而CTA三维重组图像(如MIP、VR)对血管管腔的显示与血管造影几乎可达到等同的效果。CTA正逐步成为诊断颈部血管夹层的一种新方法。

颈内动脉夹层好发部位为颈内动脉窦远端2~3cm至入颈内动脉管外口前。依据DSA表现可分为以下3种类型。①狭窄型:典型表现为管腔狭窄在颈动脉窦远端2~3cm开始,表面可光滑或不规

则,向上可累及不同长度血管,但一般不累及颈内动脉颞骨岩段,表现为该段血管管腔突然恢复正常;  
 ②闭塞型:特征性表现为受累血管逐渐变细至闭塞,呈火焰状改变;③瘤样扩张型:以远端颅骨下节段血管受累最多见,表现为动脉呈瘤样扩张或瘤样扩张与狭窄交替存在。

颈内动脉夹层常见CTA表现如下:①狭窄型,病变节段血管外径增大(与同水平对侧正常血管管径或病变血管近端正常管腔比较),管壁新月形增厚(为壁内血肿),对比剂偏心性充填残留狭窄段血管管腔(图14-6),部分病例血管横断面呈靶环状改变(中央狭窄管腔为高密度对比剂充填,周围为无强化新月形壁内血肿,最外为强化的动脉管壁),管腔表面可光滑或不规则,狭窄段可长可短;②闭塞型,病变节段血管外径增大,残留血管管腔逐渐缩小至闭塞,内无对比剂充填(图14-7),三维MIP重组可显示

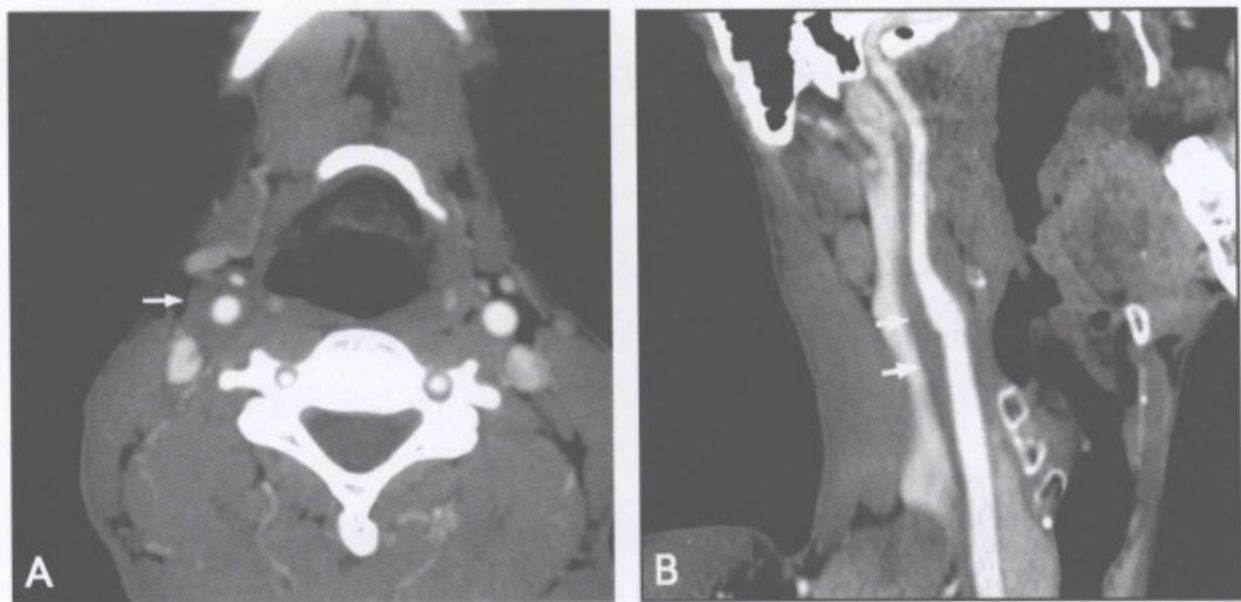


图 14-6 狭窄型右侧颈总动脉夹层

CTA 横断面(A)及曲面重组图像(B)显示右侧颈总动脉外径增大,动脉管壁增厚(长箭头显示新月形壁内血肿),管腔偏心性轻度狭窄

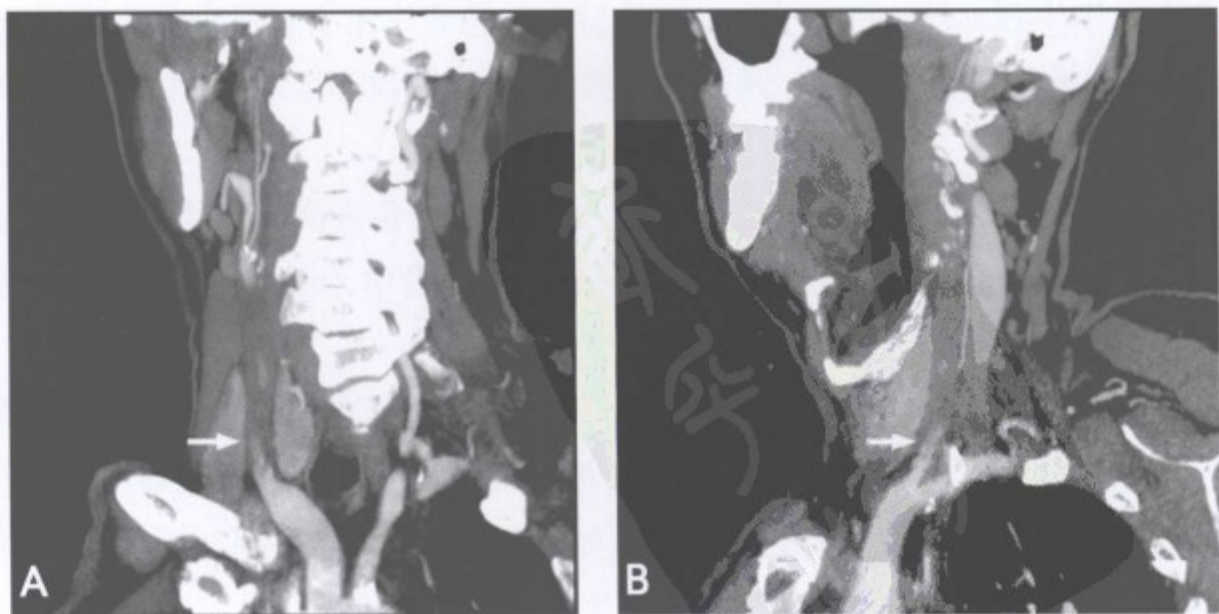


图 14-7 闭塞型右侧颈总动脉夹层

CTA 曲面重组图像(A、B)显示右侧颈总动脉外径增大,管腔逐渐狭窄至闭塞

闭塞血管的火焰状改变；③瘤样扩张型，可以表现为单纯瘤样扩张或瘤样扩张与狭窄交替存在，呈串珠样改变(图14-8)，病变段血管外径增大，可见血管内对比剂瘤样和(或)偏心性充填，狭窄段血管壁呈新月形、偏心性增厚。

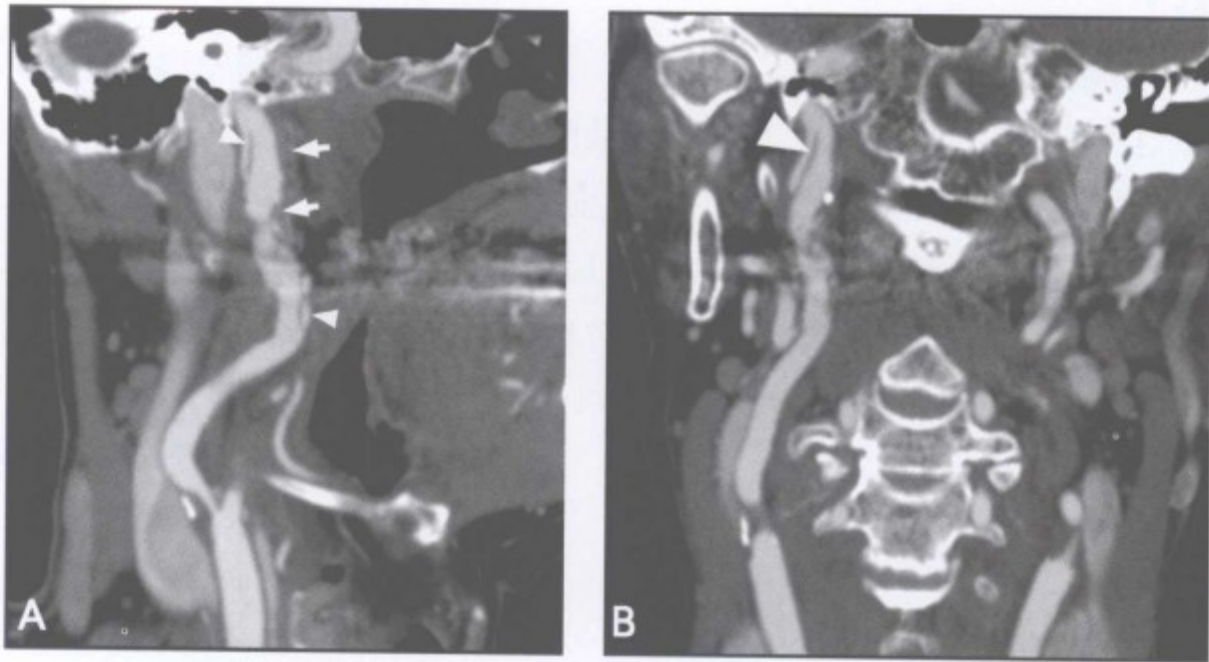


图14-8 瘤样扩张型颈内动脉夹层

CTA 曲面重组图像(A、B)显示右侧颈内动脉管腔偏心性狭窄及扩张(长箭头)交替存在，并见撕裂、移位内膜片(短箭头)

椎动脉夹层也可以分为上述3种类型，发生部位以椎动脉V<sub>3</sub>段(即枕段，出C<sub>2</sub>横突孔后至枕骨大孔前)、V<sub>4</sub>段(即颅内段，入枕骨大孔后至汇合成基底动脉前)多见。由于椎动脉通过相对宽松的枕骨大孔进入颅内，因此约有10%的椎动脉夹层延伸至颅内。约有1/4的病例椎动脉夹层累及2个或多个节段的椎体水平，其血管造影表现与颈内动脉夹层类似。

总之，随着螺旋CT技术的发展，CTA在诊断颈部动脉夹层的能力上已经达到了与血管造影几乎等同的作用，除了可以显示狭窄或闭塞的血管管腔外，还可以同时显示壁内血肿及病变节段的血管外径，为诊断提供更多的信息。

#### 【CTA与其他血管成像技术比较】

1. 血管造影 一直被认为是诊断颈部动脉夹层的金标准，但颈部动脉夹层特征性的表现如内膜片的内移、真假腔的显示率在血管造影及其他无创性影像检查中均低于10%。

2. MRI和MRA MRI、MRA诊断颈部血管夹层常用的序列有横断面T<sub>1</sub>WI脂肪抑制序列，3D TOF MRA及对比增强MRA序列。MRI、MRA检查颈部血管夹层的最大优点是可以显示壁内血肿，亚急性壁内血肿在T<sub>1</sub>WI为特征性高信号，这是血管造影及CTA无法替代的地方。随着MRI的分辨率逐渐提高，MRI正逐步替代血管造影成为诊断颈动脉、椎动脉夹层的金标准。MRI和3D TOF MRA对于重度狭窄的血管管腔可能会高估为管腔闭塞，这是在应用这项技术要注意的地方。增强MRA由于引入对比剂，在缩短成像时间的同时，血管成像质量也大大提高，也减少了高估管腔狭

窄的情况出现。

3. US 其在疑为颈部动脉夹层病例的筛选检查中有不可替代的作用。US操作简单,可多次重复,除了可以观察血管形态外,还能观察动脉血流的变化,90%以上颈部血管夹层的病例中可以观察到血流状态的改变。但US可重复性较差,对操作人员的主观依赖性较强,限制了其应用。

#### 【鉴别诊断】

1. 椎动脉夹层与椎动脉粥样硬化性狭窄相鉴别 椎动脉管腔不规则狭窄或闭塞不仅在夹层中可以出现,也是椎动脉粥样硬化常见的表现之一,但椎动脉粥样硬化临床上往往无局部症状,且同时合并颈部其他血管如颈内动脉或脑动脉的动脉硬化性改变,临床预后转归也不如椎动脉夹层。

2. 颈内动脉夹层与颈动脉粥样硬化 颈动脉夹层临床有同侧颈部疼痛,偏心性狭窄管腔常发生在颈动脉窦2~3cm以上的颈内动脉上段,但一般不累及岩骨段;颈动脉粥样硬化性狭窄或闭塞多发生在颈动脉分叉水平,偏心性狭窄管腔在颈内动脉下段。

(刘 辉 张水兴 梁长虹)

## 第五节 颈动脉假性动脉瘤

#### 【临床概述】

颈动脉假性动脉瘤(pseudoaneurysms)临床上少见。颈动脉颅外段假性动脉瘤表现为颈部包块,可有或无杂音、低蛋白血症、精神症状和Horner综合征等。其他临床表现还包括原发病因所致症状。根据典型病史、症状、体征结合恰当的影像检查即可做出诊断。

#### 【病理特点】

创伤或感染累及血管壁全层,血液自破口外溢,形成与血管相通的搏动性血肿,血肿周围逐渐机化,由于动脉血流不断反复冲击、削弱机化血肿的对抗力量而使其扩张,最后形成假性动脉瘤,其外为纤维组织被膜所包绕,即假性动脉瘤囊壁。随着时间的推移,在载瘤动脉持续性搏动压力冲击下假性动脉瘤囊壁可破裂、再次出血,血肿形成。故假性动脉瘤有出血、血肿形成并机化、再出血的规律,长时间发生的假性动脉瘤可以发生钙化。

#### 【病因】

颈动脉假性动脉瘤的病因包括:穿透性或钝性头颈部外伤,以穿透性外伤更为常见;医源性损伤,如某些颈部根治性手术;感染性病变;先天性及肌纤维发育不良等。颈动脉创伤性假性动脉瘤可由直接损伤和间接损伤所致。穿透性头颈部损伤、颅底骨折以及手术时损伤颈动脉壁所致假性动脉瘤为直接损伤;由于软组织的对冲性冲撞运动,血管遭受变形、剪力、旋转力或挤压而发生的假性动脉瘤为间接损伤。相对来说,直接损伤更为多见。

#### 【CTA表现】

假性动脉瘤在CTA上表现为血管轮廓增宽,对比剂从血管腔向外呈囊袋状突出,形态多不规则(图



14-9,图14-10)。由于颈动脉通常双侧对称,因此,经左右对比观察后,即使小的假性动脉瘤在CTA上也容易检出。CTA三维重组可任意角度旋转观察,能较好地显示假性动脉瘤瘤体与载瘤血管的关系(图14-10)、瘤颈及瘤体外壁的情况、瘤体与周围大血管的关系以及与颅底骨骼的距离等,为临床手术治疗提供直观的三维图像。

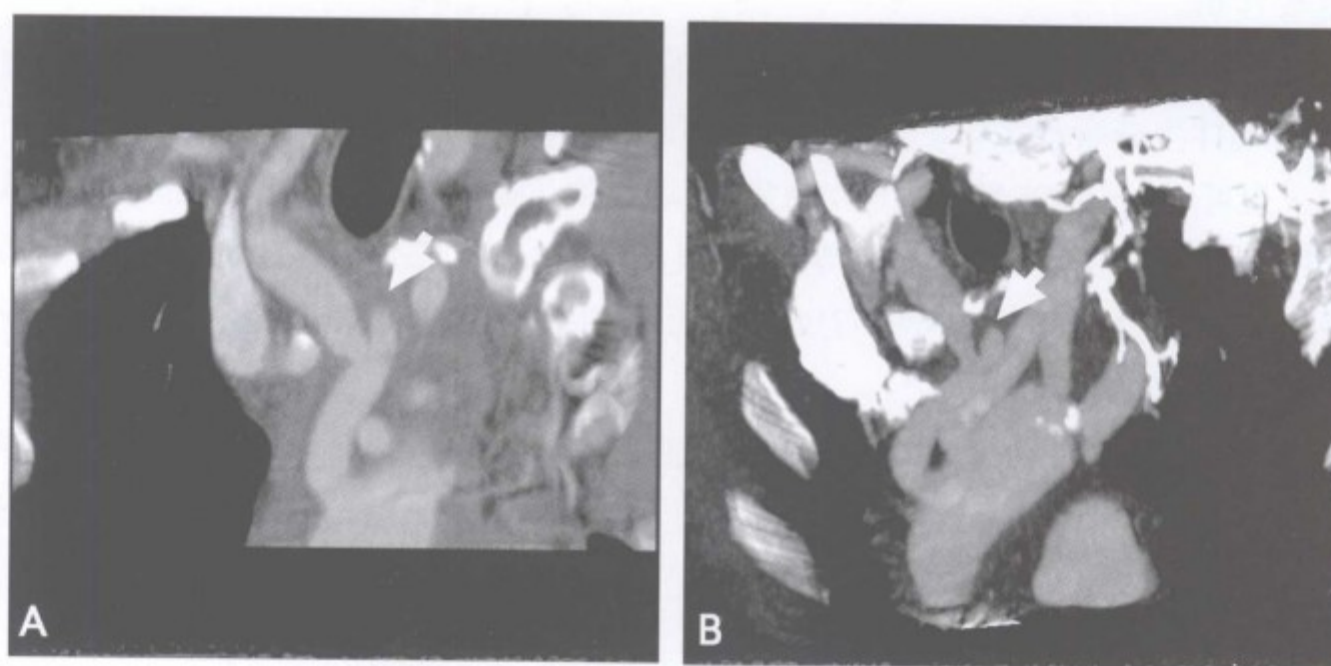


图14-9 右侧颈总动脉假性动脉瘤

CTA 曲面重组(A)及薄块 MIP 重组图像(B)显示右侧颈总动脉近端增宽,轮廓不规则,对比剂从血管腔向外局限突出(长箭头),为假性动脉瘤形成部位

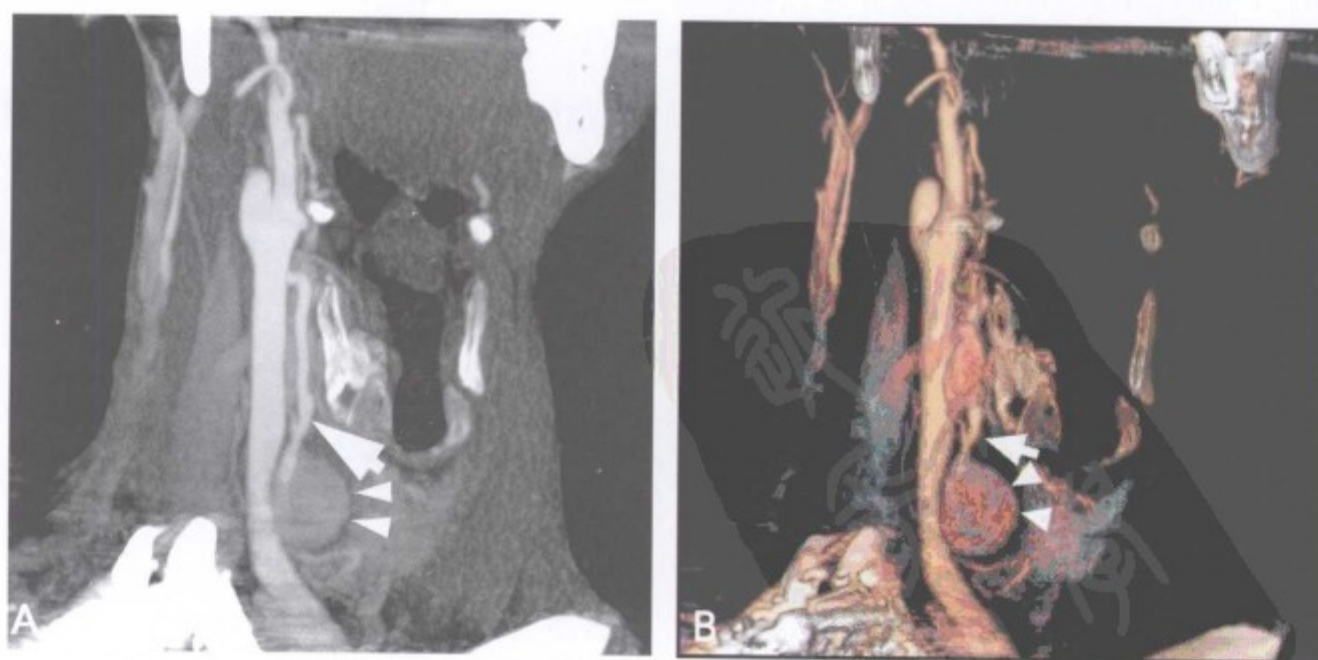


图14-10 甲状腺上动脉假性动脉瘤

MIP(A)及VR(B)图像均可以显示与甲状腺上动脉(长箭头)相连的瘤体(短箭头)

### 【CTA与其他血管成像技术比较】

1. 血管造影 由于其对假性动脉瘤检出敏感性、特异性均很高,一直以来被作为诊断颈动脉假性动脉瘤的金标准。假性动脉瘤动脉造影典型表现为损伤动脉的中断、破裂,对比剂外溢呈喷射状改变,于管腔外形成一囊腔,显影持续至静脉晚期。瘤体可呈分叶状、圆形、椭圆形或葫芦形囊腔,边缘不规整。当假性动脉瘤较大时相邻动脉受压变窄及弧形移位,可伴动静脉漏等血管异常。血管造影是假性动脉瘤的一种最可靠的检查方法,对确定诊断、判断血供来源、分析颈部血管情况和确定手术方式等都有重要作用。

尽管血管造影被认为是评价假性动脉瘤的金标准,但血管造影在显示大的动脉瘤囊袋方面有一定限度,假性动脉瘤体与载瘤血管重叠也干扰了对瘤颈的观察。

2. MRA 也可以用来检出颈部假性动脉瘤,表现为颈动脉旁与动脉信号一致的瘤腔及其周围血肿信号。但由于MRA受涡流及慢血流影响,对假性动脉瘤瘤体、瘤颈及载瘤血管的显示不如CTA,并且颈部假性动脉瘤常常为穿通性外伤所致,部分患者同时有颈部金属异物,因此限制了MRA在颈部假性动脉瘤检查中的应用。

3. US 由于价格便宜,无创伤性检查,在颈部假性动脉瘤的检查中得到了较为广泛的应用。彩色多普勒超声可以显示血管轮廓的增宽以及假性动脉瘤的混叠血流信号,并能同时显示其内是否有血栓形成;波谱分析可以显示特征性的混乱往复血流信号。但US可重复性差,对操作者依赖性大,同时不方便图像信息的交流而使其应用受到了限制。

### 【鉴别诊断】

1. 颈动脉真性动脉瘤 真性动脉瘤系动脉腔局限性扩大,瘤壁为全层动脉壁。因此,其血管造影多表现为局限性均匀扩张的瘤腔,有明确的流入道和流出道。而假性颈动脉瘤多为一个破口,位于载瘤动脉旁并压迫载瘤动脉致使其远端显影浅淡,且瘤腔较真性颈动脉瘤者大。

2. 颈动脉体瘤 当假性动脉瘤瘤腔内有血栓或周围炎症反应纤维化,肿块固定,搏动感不明显时,易与颈动脉体瘤混淆。但颈动脉体瘤是一种实质性肿块,内可见网状、丛状分布的细小供血动脉,压迫颈总动脉后无明显缩小。

3. 颈动脉先天性血管走行变异 此为颈动脉局限性迂曲扩张所致,其搏动方向与动脉长轴平行,直径多 $<1.5\text{cm}$ ,多体位造影观察则无明确的瘤腔,且无对比剂滞留。

(刘 辉 刘健萍 梁长虹)

## 第六节 动静脉瘘

### 【临床概述】

颅外颈动脉区动静脉瘘(arteriovenous fistula, AVF)是一种罕见疾病,目前在文献上仅有零星报道。在外伤急性期通常无典型临床表现,但在经过一段时间后,表现出特征性的体征(局部听诊杂音,触诊有震颤),AVF可以伴发心力衰竭、出血或局部缺血等症状。

**【病理特点】**

AVF 是由动脉与邻近静脉横断损伤并相互沟通而形成的。

**【病因】**

发生原因有外伤性(包括医源性损伤)、先天性及不明原因的自发性,其中外伤是相对常见的原因。

**【CTA 表现】**

AVF 根据其造影表现可分为以下4种类型.①洞口型:动、静脉紧邻,其间有单纯的窗式交通孔道;②导管型:动、静脉短距离相隔,其间有一管道相通;③动脉瘤型:既有动静脉间交通,又有动脉瘤;④囊瘤型:动静脉破损后形成一个共同囊瘤。

AVF 在CTA上直接征象为动脉与静脉的直接沟通,可以表现为上述4种类型中的任意一种;间接征象为动脉显影的同时,静脉也同样明显显影(图14-11)。CTA三维重组结合横断面原始图像可以准确诊断和分析AVF,对显示周围软组织情况及判断与颅底骨质位置关系方面具有常规血管造影不可替代的作用。

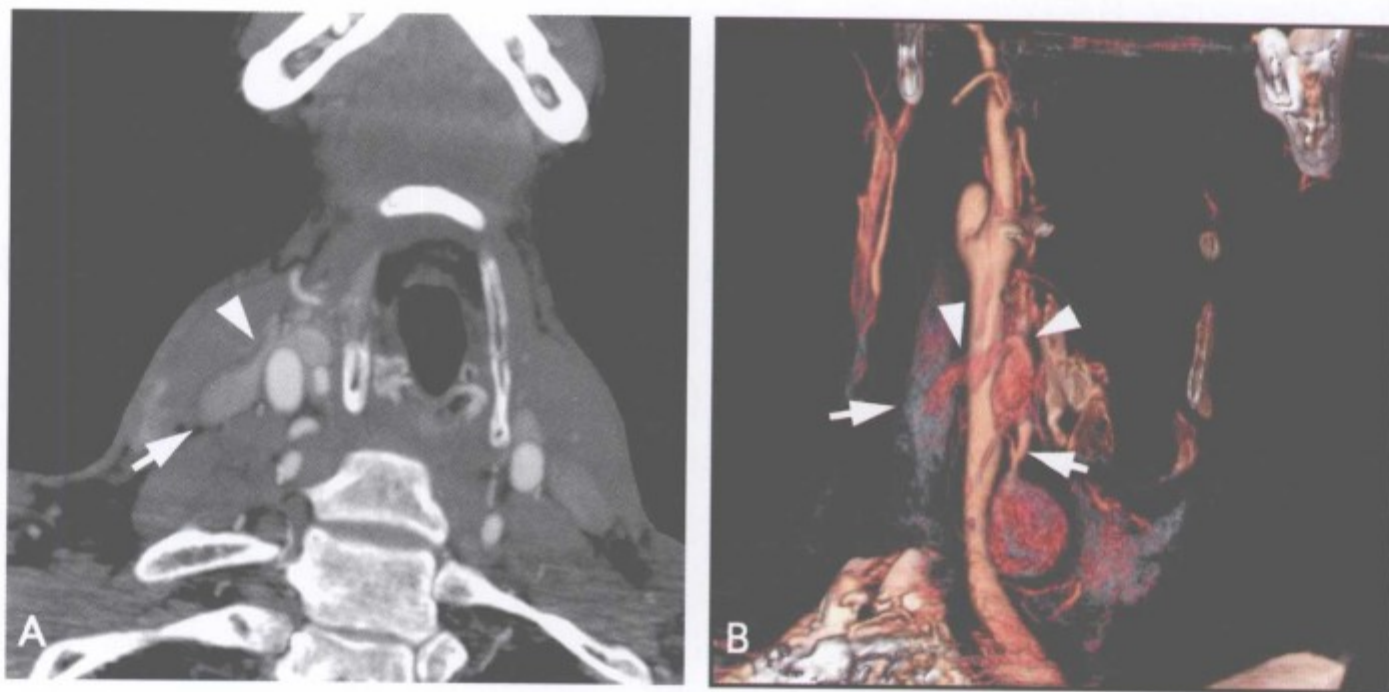


图14-11 颈动脉区动静脉瘘

本图与图14-12为同一病例,除假性动脉瘤外,右侧甲状腺上动脉尚与右侧颈内静脉沟通,AVF形成。

CTA多平面重组图像(A)及VR重组图像(B)显示假性动脉瘤瘤体上方见甲状腺上动脉(直箭头)与颈内静脉直接沟通(箭头)

**【CTA 与其他血管成像技术比较】**

(1)血管造影作为诊断AVF的金标准仍然不可替代,更重要的是,在作出AVF诊断的同时,也可以判断是否适合于血管性介入治疗,现在可脱式球囊及其他闭塞瘘口的技术方法在AVF中的应用越来越多,已经在很大程度上替代了外科手术。

(2)MRI在颈部AVF的应用还仅仅为个案报道。

(刘辉 高强 梁长虹)

## 第七节 颈动脉体瘤

### 【临床概述】

颈动脉体瘤是一种少见的来源于颈总动脉分叉处颈动脉体的化学感受器肿瘤。其生长缓慢,多为单侧,女性多见,多数患者没有任何症状,少数可有晕厥、耳鸣、视物模糊、血压下降、局部疼痛、咽部不适等症状。如侵及脑神经,可出现饮水呛咳、声嘶、霍纳综合征等。多可扪及搏动,有时可闻及血管杂音。

### 【病理特点】

病理巨检肿瘤常为卵圆形,略有分叶,质韧有弹性,表面光滑,常与血管壁紧密相贴,包膜不甚完整。切面常为灰红色,血管或血窦丰富者呈暗红色。镜下典型者表现为上皮样主细胞排列呈巢状,由丰富而窦状扩张的纤维血管性间质分隔,与副神经节的正常结构基本一致。间质内仅有少量散在的胶原纤维,少量玻璃样变及钙化。

### 【病因】

病因不明,但部分多发病例可能与遗传有关。

### 【CTA 表现】

颈动脉体瘤常发生于颈动脉分叉处,多由颈外动脉供血。其CTA表现具有特征性,即位于颈动脉分叉处的类圆形或分叶状肿块,边界清晰,增强后呈明显强化,肿瘤表面或内部有匍行滋养血管。颈内、外动脉受压推移分离移位,肿瘤可以包绕、侵蚀颈动脉。CTA作为一种无创性检查方法在诊断颈动脉体瘤中具有明显优势,即在一次检查中不仅能明确肿瘤的位置、大小、形态,还能明确肿瘤的血供、有无滋养血管及其与邻近组织器官的关系,能够提供与DSA同样甚或更多的信息(图14-12)。

### 【CTA 与其他血管成像技术比较】

1. DSA 颈动脉体瘤DSA检查的主要表现为以下几个特征。①颈动脉分叉处可见混杂血管网,呈斑片状,染色早,静脉期排空延长;②侧位片可见颈动脉分叉角度增大,颈外动脉前内移位或前外移位,颈内动脉后外移位;③瘤体供血动脉主要来源于颈外动脉或颈内、外动脉起始处发出的异常小动脉。DSA是一种可靠的诊断颈动脉体瘤的方法,同时可判断颈动脉受累的程度及显示大脑供血动脉和Willis环的循环状况,为制定手术方案提供依据。

2. MRA 颈动脉体瘤有丰富的血供,有其特征性的MRI及MRA表现,主要表现为颈动脉分叉处的肿块,颈内、外动脉分离,MRI显示肿瘤内流空信号;MRA显示肿瘤(滋养)血管;Gd-DTPA动态增强检查,瘤体明显且持续强化。MRI及MRA可作为颈动脉体瘤的常规检查。

### 【鉴别诊断】

本病须与颈动脉间隙内的其他肿瘤如神经鞘瘤、转移瘤鉴别。颈内、外动脉的分离特征是鉴别诊断的关键,颈动脉鞘前方及鞘内其他肿瘤可引起的颈内、外动脉的移位却很少分离。少数神经鞘

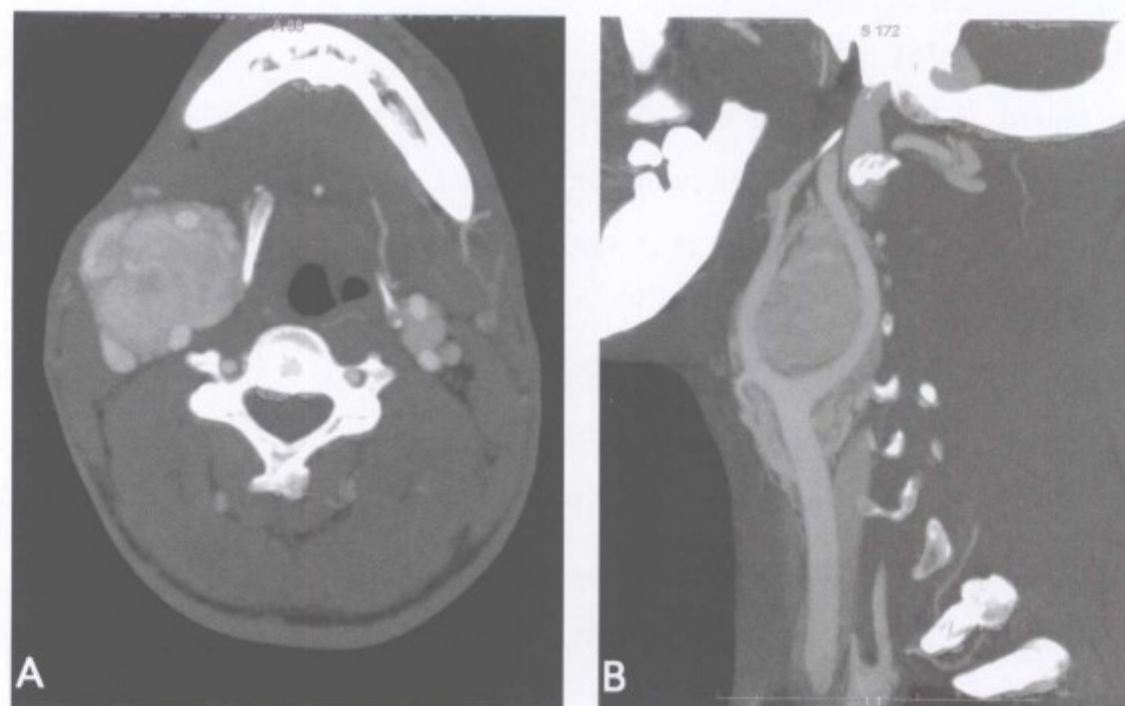


图14-12 双侧颈动脉体瘤

横断面(A)及斜矢状位(B)MIP 重组图像显示双侧富含血供的肿物位于颈动脉分叉处,颈内、外动脉分离移位,双侧颈外动脉被肿物包绕,同时右侧肿物可见由颈外动脉的分支——甲状腺上动脉供血

瘤可造成颈动脉分叉增大,但血管造影则无滋养血管及肿瘤染色。

(刘 辉 梁长虹)

## 参 考 文 献

- [1] 时德,张依仁,刘象和,等.创伤性动脉瘤和动静脉瘘.中华创伤杂志,1996,12:215-218
- [2] Executive Committee for the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study. End arterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis. JAMA, 1995, 273: 1421-1428
- [3] Leclerc X, Godefroy O, Lucas C, et al. Internal carotid arterial stenosis; CT angiography with volume rendering. Radiology, 1999, 210: 673-682
- [4] Leclerc X, Godefroy O, Pruvo JP, et al. Computed tomographic angiography for the evaluation of carotid artery stenosis. Stroke, 1995, 26: 1577-1581
- [5] Marcus CD, Ladam-Marcus VJ, Bigot JL, et al. Carotid Artery Stenosis; Evaluation at CT Angiography with the Volume-rendering Technique. Radiology, 1999, 211: 775-780
- [6] Link J, Brossman J, Penselin V, et al. Common carotid artery bifurcation; preliminary results of CT angiograph and colour coded duplex sonography compared with digital subtraction angiography. Am J

- Roentgenol, 1997, 168:361-365
- [7] Randoux B, Marro B, Koskas F, et al. Carotid artery stenosis: prospective comparison of CT, three-dimensional gadolinium-enhanced MR, and conventional angiography. *Radiology*, 2001, 220:179-185
- [8] Hazinedaroglu S, Genc V, Aksoy AY, et al. A late onset carotido-jugular fistula following shotgun injury. *Vasa*, 2004, 33(1):46-48
- [9] Demetriades D, Charalambidas D, Lakhoo MP. Physical examination and selective conservative management of patients with penetrating injuries of the neck. *Br J Surg*, 1993, 80:1534-1536
- [10] Demetriades D, Theodorou D, Cornwell E, et al. Evaluation of penetrating injuries of the neck: prospective study of 223 patients. *World J Surg*, 1997, 21:41-48
- [11] Gobin YP, Garcia de la Fuente JA, Herbreteau D, et al. Endovascular treatment of external carotid-jugular fistulae in the parotid region. *Neurosurgery*, 1993, 33(5):812-816
- [12] Henriksen SD, Kindt MW, Pedersen CB, et al. Pseudoaneurysm of a lateral internal carotid artery in the middle ear. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2000, 52:163-167
- [13] Baril DT, Ellozy SH, Carroccio A, et al. Endovascular repair of an infected carotid artery pseudoaneurysm. *J Vasc Surg*, 2004, 40:1024-1027
- [14] Vasama JP, Ramsay H, Markkola A. Petrous internal carotid artery pseudoaneurysm due to gunshot injury. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2001, 110:491-493
- [15] Schievink WI, Mokri B, O'Fallon WM. Recurrent spontaneous cervical artery dissection. *N Engl J Med*, 1994, 330:393-397
- [16] Bassetti C, Carruzzo A, Sturzenegger M, et al. Recurrence of cervical artery dissection: a prospective study of 81 patients. *Stroke*, 1996, 27:1804-1807
- [17] Schievink WI, Michels VV, Piepgras DG. Neurovascular manifestations of heritable connective tissue disorders: a review. *Stroke*, 1994, 25:889-903
- [18] Schievink WI, Björnsson J, Piepgras DG. Coexistence of fibromuscular dysplasia and cystic medial necrosis in a patient with Marfan's syndrome and bilateral carotid artery dissections. *Stroke*, 1994, 25:2492-2496
- [19] Barbour PJ, Castaldo JE, Rae-Grant AD, et al. Internal carotid artery redundancy is significantly associated with dissection. *Stroke*, 1994, 25:1201-1206
- [20] Houser OW, Mokri B, Sundt TM Jr, et al. Spontaneous cervical cephalic arterial dissection and its residuum: angiographic spectrum. *AJNR*, 1984, 5:27-34
- [21] Leclerc X, Godefroy O, Salhi A, et al. Helical CT for the diagnosis of extracranial internal carotid artery dissection. *Stroke*, 1996, 27:461-466
- [22] Leclerc X, Lucas C, Godefroy O, et al. Helical CT for the follow-up of cervical internal carotid artery dissections. *AJNR*, 1998, 19:831-837
- [23] Djouhri H, Guillon B, Brunereau L, et al. MR angiography for the long-term follow-up of dissecting aneurysms of the extracranial internal carotid artery. *AJR*, 2000, 174:1137-1140

- [24] Kasner SE, Hankins LL, Bratina P, et al. Magnetic resonance angiography demonstrates vascular healing of carotid and vertebral artery dissections. *Stroke*, 1997, 28: 1993-1997
- [25] Kirsch E, Kaim A, Engelter S, et al. MR angiography in internal carotid artery dissection; improvement of diagnosis by selective demonstration of the intramural haematoma. *Neuroradiology*, 1998, 40: 704-709
- [26] Leclerc X, Lucas C, Godefroy O, et al. Preliminary experience using contrast-enhanced MR angiography to assess vertebral artery structure for the follow-up of suspected dissection. *AJNR*, 1999, 20: 1482-1490



## 肺部 CT 血管成像 临床应用

### 第一节 肺部的 CTA 技术方法

20世纪80年代后期开发的螺旋采集技术是CT技术的一个重大突破,它弥补了过去CT检查仅依靠横断面影像不易观察血管病变的不足,使微创性的CT血管成像(CT angiography, CTA)成为可能。多层螺旋CT肺血管成像(MDCT pulmonary angiography, MDCTPA)作为一种非侵入性血管成像技术,其扫描时间短,能对病灶进行任意角度投影,较好地显示肺血管复杂的解剖关系,并能清晰显示中央及周围肺血管分支的解剖和病变特征,因此在肺血管病变的诊断中有很大的临床应用价值。

随着MDCT扫描时间的缩短,扫描速度加快,一次屏气时间减少,允许以更薄的层厚采取数据对组织血管进行扫描成像,由此大大提高了时间和空间分辨率。

#### 一、扫描前的准备

由于患者通常可耐受的屏气时间在20s以内,还有考虑到患者开始屏气到屏气稳定需要时间,故MDCT胸部检查应尽可能在此段时间内完成扫描。准备扫描前向患者做好解释工作,消除其紧张情绪,有助于配合检查。预先训练好患者正确的呼吸配合方法,即平静呼吸后屏气,以防止患者因屏气能力不足而产生呼吸移动伪影,造成图像重组时大的阶梯或错层状伪影,影响重组图像的质量。

#### 二、对比剂的合理应用

采用CT专用高压注射器,经上肢(肘静脉或贵要静脉)或下肢静脉注入对比剂。靶血管内对比剂的



浓度是决定CTA密度及空间分辨率的关键因素之一,对比剂注射流率直接决定靶血管内对比剂的浓度。注射流率过快,容易造成血管破裂、对比剂外渗及针头滑脱等意外,且加大了对比剂的用量,患者不易耐受,而过慢则达不到满意的动脉强化程度。目前,MDCT胸部扫描采用对比剂注射流率选择尚无统一标准,文献报道的注射流率为2.0~7.0ml/s,实际上多采用的注射流率为3~5ml/s。

优化对比剂的应用可提高正确诊断率。如对比剂含碘浓度过高,则上腔静脉产生伪影,右主肺动脉末端及其分支近端的栓子不易显示;如对比剂含碘浓度过低,则正常肺动脉密度较低,低密度栓子不易显示,敏感性降低。不同的研究者对使用对比剂的浓度还没有达成共识。国内目前多用碘浓度为300mg/ml的非离子型对比剂,剂量为1.5~2.0ml/kg。国外有作者提出使用钆(Gd-DTPA)在肺CTA应用,剂量为0.3~0.4mmol/kg。使用钆对比剂作为碘对比剂的替代品用于CTA检查,在欧洲泌尿生殖协会和中华放射学分会《对比剂使用指南》中都是不推荐的。

### 三、合理的扫描方式

疑肺血管病变的患者,一次屏气状态下从肺尖至肺底进行常规平扫,层厚2.0~10.0mm不等。扫描图像先对肺部病变进行初步的评估,然后进行增强扫描。增强CT扫描时,扫描层厚尽可能使用1~2mm,不大于5mm。对于显示支气管动脉的扫描要求层厚<1mm。

增强扫描时对于怀疑肺动脉栓塞的患者扫描范围则应从膈上到主动脉弓水平,由足侧向头侧方向扫描。因正常呼吸时肺底活动度最大,肺尖部最小,因此先扫完肺底部层面,可以减少患者屏气能力的差异所致扫描后期呼吸运动伪影;同时还可以避免早期肺血管内高浓度对比剂掩盖小的血栓和上腔静脉高浓度对比剂周围产生条状伪影,影响上肺血管的观察。

### 四、选择合适的扫描延迟时间

扫描延迟时间是指开始注射对比剂至开始扫描的时间。肺循环的时间短而快,因此早期扫描极为重要。肺动脉造影CT的延迟扫描时间为9~11s,支气管动脉造影延迟时间为20~25s。

最好应用CT阈值触发扫描技术进行扫描。CT阈值设置的血管部位:肺动脉扫描时设置在主肺动脉处,CT阈值一般设置为70~80Hu;支气管动脉扫描时设置在心房水平降主动脉处,CT阈值一般设置在180~200Hu。

### 五、窗宽、窗位的选择

分别取3种不同的灰阶。①肺窗,窗宽为1200Hu,窗位为550Hu,目的在于观察肺实质;②纵隔窗,窗宽为400Hu,窗位为40Hu,目的在于观察肺循环血管及纵隔结构;③血管窗,根据每例患者主肺动脉强化程度的不同,调节不同的灰阶(以纵隔窗为基础)至栓子显示最清晰。国外有学者提出将略小于2倍肺动脉平均值作为窗宽,肺动脉平均值的1/2设定为窗位,有助于提高肺动脉栓塞的检出率。

## 六、合适的扫描参数和方法

图像质量易受扫描层厚、重组间隔、螺距、电压、电流等多种因素的影响。多平面重组技术不仅需要横断位原始图像间有重叠,而且对层厚有一定要求。薄层扫描及重组可以提高空间分辨率降低部分容积效应,进而提高CTA对外周肺血管的显示能力。原始图像层厚越薄,重组图像立体效果越好,诊断准确率及可信度越高。层厚越厚,重组图像越容易出现阶梯伪影,Z轴分辨率也越差。MDCT由于增加了探测器的排数,短时间覆盖大范围,因而提高重组图像的Z轴分辨率,获得各向同性图像,使MPR图像质量大幅度提高。

## 七、后处理技术

将扫描得到的图像发送到后台工作站,图像分析在工作站进行。目前图像后处理方法有以下几种。

1. 多平面重组(multiplanar reconstructions, MPR) 利用多层螺旋CT各向同性成像的特点,进行任意层面的断面成像,按照血管走行方向进行重组,较容易发现血管的病变。由于血管走行多迂曲,MPR难以显示血管的长轴。

2. 曲面重组(curved planar reconstruction, CPR) 是一种特殊形式的MPR,它可将弯曲、缩短和重叠的血管在同一层面上展开,有利于分析血管本身的结构及与周围器官的相互关系,其缺点是在设定轨迹时存在人为误差,1帧影像仅能显示血管的1个断面,且对显示肺动脉复杂分支无明显优势。

3. 容积再现重组(volume reconstruction, VR) 利用全部容积数据、任意平滑度调节产生实体图像的三维重组方法,使表面与深部结构同时立体地显示。VR影像的主要特点是分辨率高,可以同时显示软组织及血管及骨骼,3D空间解剖关系清晰,可以任意旋转角度,影像直观,比较符合临床医生的要求。此外,还能检出由于狭窄的动脉与扫描层面平行而在轴位CT影像上未能显示的动脉狭窄。目前随着后处理软件的改进,操作起来已不费时。

4. 表面遮盖显示重组(surface shaded display, SSD) 是利用容积数据中物体表面的信号,建立物体表面轮廓形态,仅仅利用10%数据所产生的表面图像,信息少,空间层次一般,解剖细节不易辨认,目前已基本被VR取代。

5. 最大密度投影重组(maximum intensity projection, MIP) 由每条射线上密度最大的像素重组而成,其优势是能反映组织的实际CT值,可很好地显示肺血管的全貌,显示中央肺血管的管径、行径情况,其缺点是影像缺乏空间深度感,对复杂结构,尤其是结构重叠区域的三维关系的显示有一定限度。

(曾庆思 赵振军 张金娥)

## 第二节 肺动脉栓塞

肺动脉栓塞(pulmonary embolism, PE),简称肺栓塞,是由于内源性或外源性栓子堵塞肺动脉,引起肺循环障碍的临床和病理生理综合征,其中发生肺出血或坏死者称肺梗死。栓子包括内源性栓子和外源性栓子,如血栓栓子、脂肪栓子、羊水栓子及空气栓子等,通常(70%~90%)是指来自周围静脉系统和右心的血栓栓子造成的栓塞,如下肢静脉或盆腔静脉血栓脱落后,随血流进入右心和肺动脉主干及其分支的栓塞,以肺循环和呼吸功能障碍为其主要临床和病理生理特征。由于肺栓塞的临床症状(97%患者会出现呼吸困难、气促或胸痛症状)和体征缺乏特异性,临床上容易误诊、漏诊,如果不及时治疗,其死亡率高达30%,比经过治疗的死亡率高10倍,其并发症右侧心力衰竭、复发性肺栓塞、慢性肺动脉高压是导致死亡的主要原因。

### 【CTA表现】

肺栓塞的CT直接征象为增强CT扫描显示肺动脉内完全或部分充盈缺损。根据血管内栓子的位置,将病变分为4型。①中心型,栓子位于血管中心,栓子周围为高密度对比剂(图15-1);②附壁环型,血管中心为高密度对比剂,而周围环绕低密度栓子(图15-2);③偏心型,栓子位于血管一侧,对侧充盈高密度对比剂(图15-3);④闭塞型,栓塞的血管呈低密度而无对比剂充盈(图15-4)。

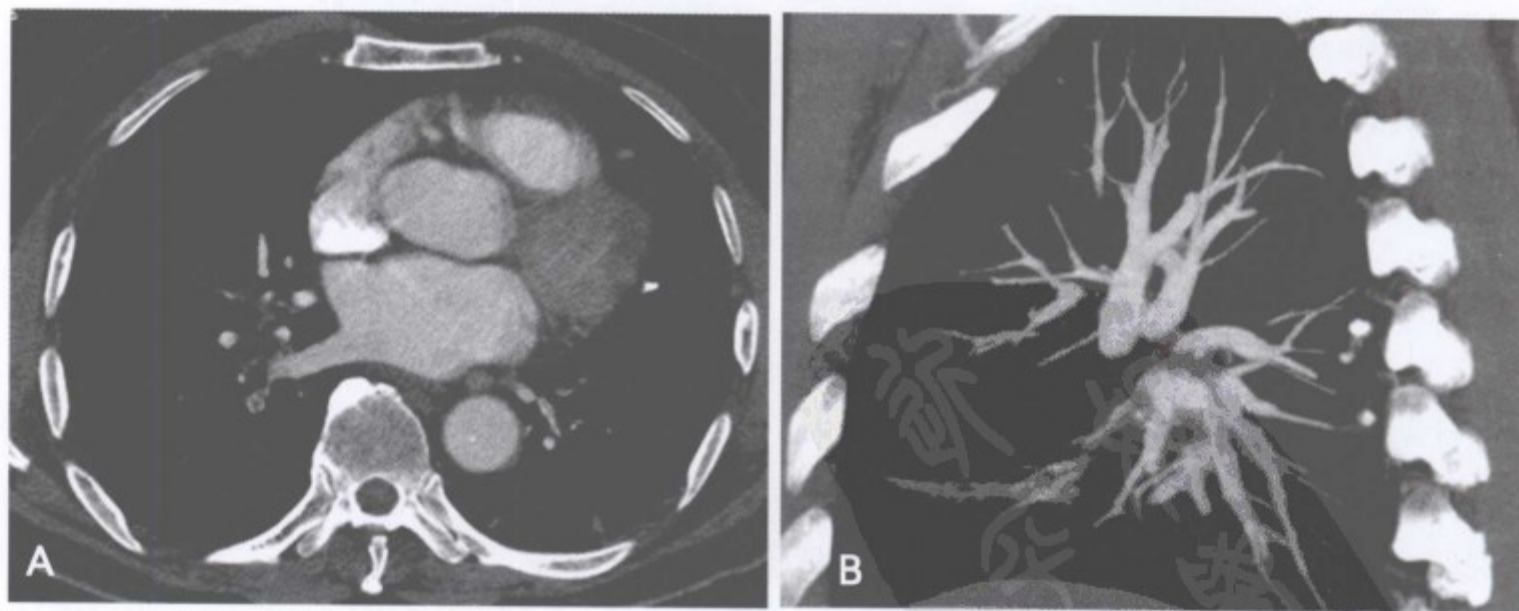


图15-1 中心型肺动脉栓塞

增强CT扫描横断面图像(A)及多平面重组图像(B)显示右下肺充盈缺损(箭头)

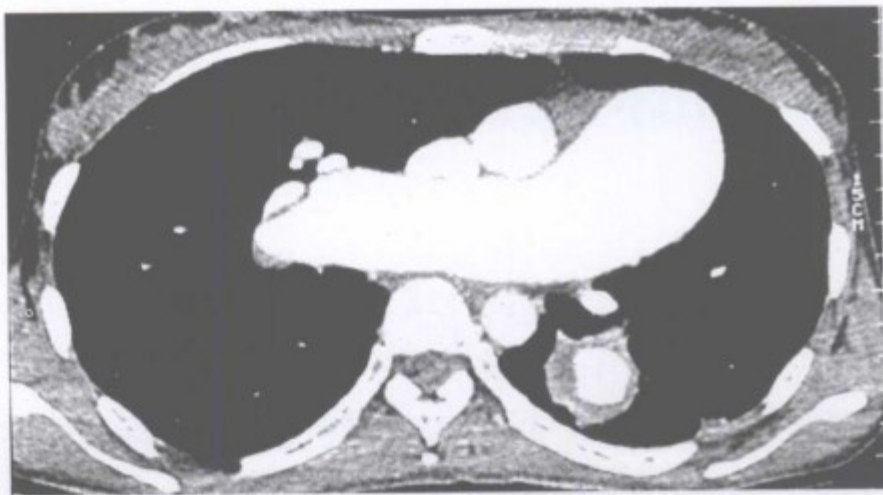


图 15-2 附壁环型肺动脉栓塞

横断面图像显示左下肺动脉腔增强,环绕管腔厚薄不等低密度血栓

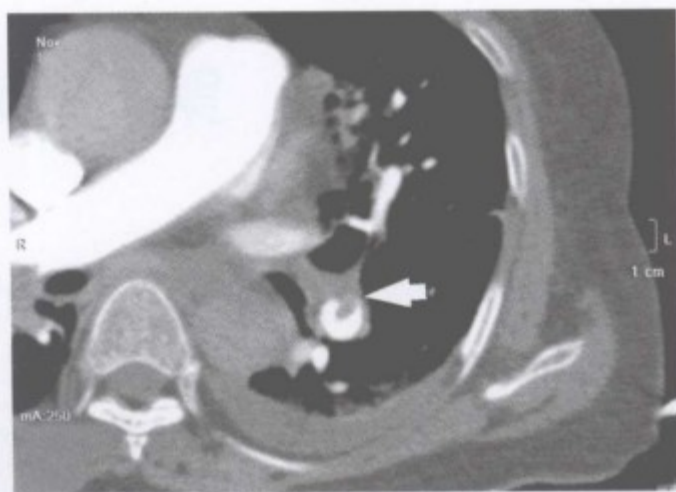


图 15-3 偏心型肺动脉栓塞

横断面图像显示左下肺动脉腔内充盈缺损,而且附着于前壁(箭头)

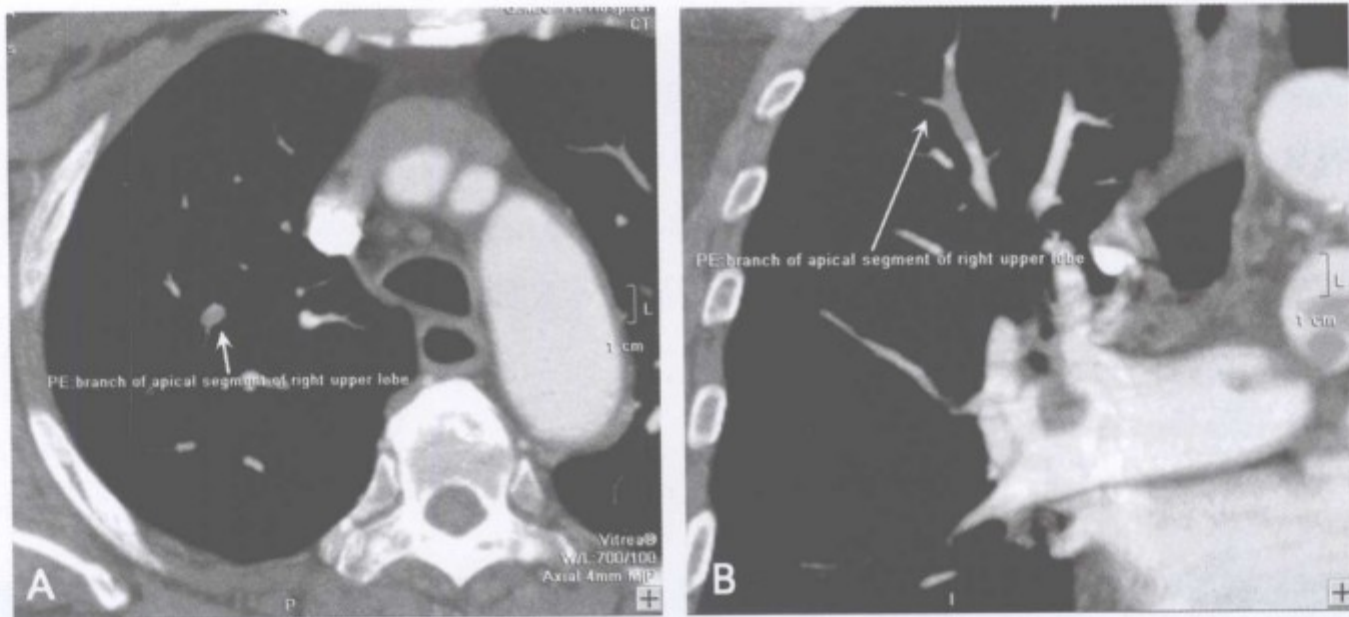


图 15-4 完全闭塞型肺动脉栓塞

右上叶尖段动脉充盈缺损,不同层面横断面图像(A、B)均显示管腔完全闭塞(箭头)

肺栓塞的 CT 间接征象包括栓塞区肺灌注普遍下降、密度降低、肺纹理稀疏、变细及尖端指向肺门的楔形肺实变梗死灶、肺动脉扩张、少量胸腔积液。当栓塞区范围较大,非栓塞区肺灌注增加,血管纹理增粗、密度增高,与栓塞区低密度区对比形成“马赛克”样影像。

肺梗死的典型表现为肺实质内边缘模糊的三角形实变影,基底位于胸膜,尖端指向肺门(图 15-5,图 15-6);部分表现为斑片状或大片实变,增强扫描时这些梗死灶不被强化为特点(图 15-6)。

自 1992 年 Remy Jardin 等首先应用螺旋 CT 诊断肺栓塞以来,许多研究人员相继进行了这方面的研究,认为螺旋 CT 肺血管成像能可靠显示肺动脉 2~4 级分支中的栓子。1999 年 Remy Jardin 等总结了 20 世纪 90 年代的文献,应用螺旋 CT 肺血管造影对肺栓塞诊断的评价,其敏感性为 75%~

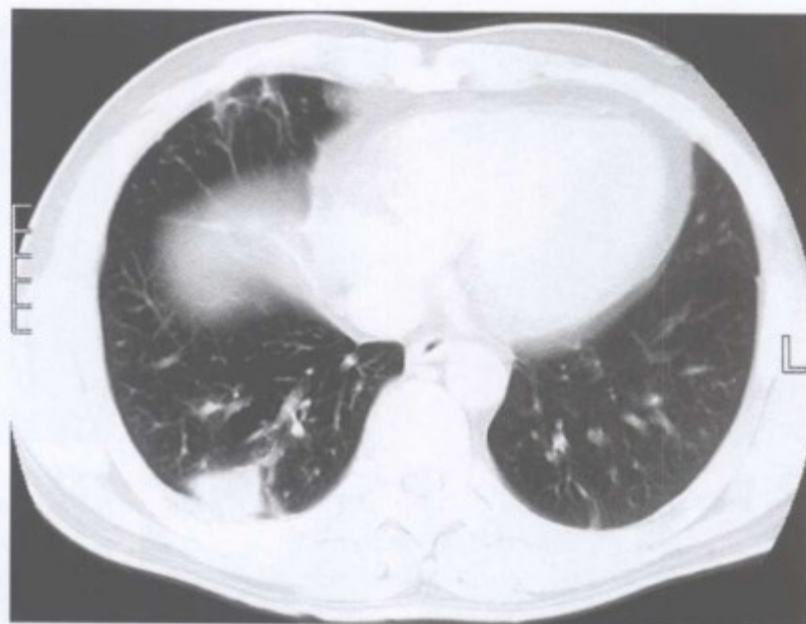


图 15-5 肺梗死

横断面肺窗显示右下叶后基底段三角形实变影,基底位于胸膜,尖端指向肺门,边缘尚清晰

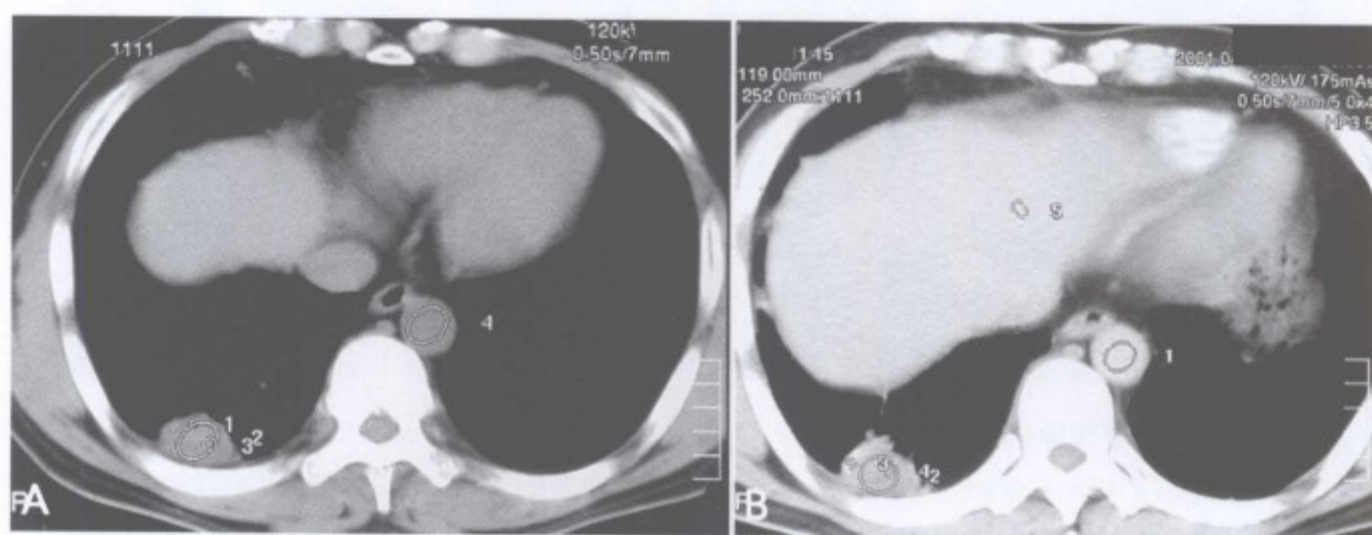


图 15-6 肺梗死

右下叶后基底段可见三角形实变影,基底位于胸膜,尖端指向肺门,平扫(A)CT值42Hu,增强后(B)CT值41Hu

100%,特异性为80%~100%,但段以下分支显示存在不足。近来有作者报道应用4层螺旋CT扫描,1.25mm重组层厚,亚段动脉显示率达94%,5、6级动脉分支显示率分别为74%和35%。随着16、64层等多层螺旋CT的临床应用,可以进一步提高了肺段动脉、亚段动脉、亚段以下动脉(5级或6级分支)栓塞的检出率。

图像后处理在肺栓塞诊断中发挥着重要作用。CT横断面可以发现病变(栓子),结合MIP、MPR和沿双侧肺动脉主干的CPR等后处理技术,可以提供肺动脉内栓子走行、分布及大致累及范围等更为清晰、直观的信息,其操作简单、成像速度快,通过其实时显示功能,能够对病变有全面准确的认识,故常为首选的重组方法(图15-1,图15-2)。SSD及VR显示血管空间立体效果较好,但易掩盖肺动脉内小的栓子,不能提高栓子的检出率。

### 【诊断与鉴别诊断】

根据CTA表现的直接征象及间接征象,结合临床资料,即可明确诊断。有时需与一种少见病,即原发性肺动脉肉瘤(图15-7)区别。原发性肺动脉肉瘤发病率非常低,主要的CT特征是主肺动脉

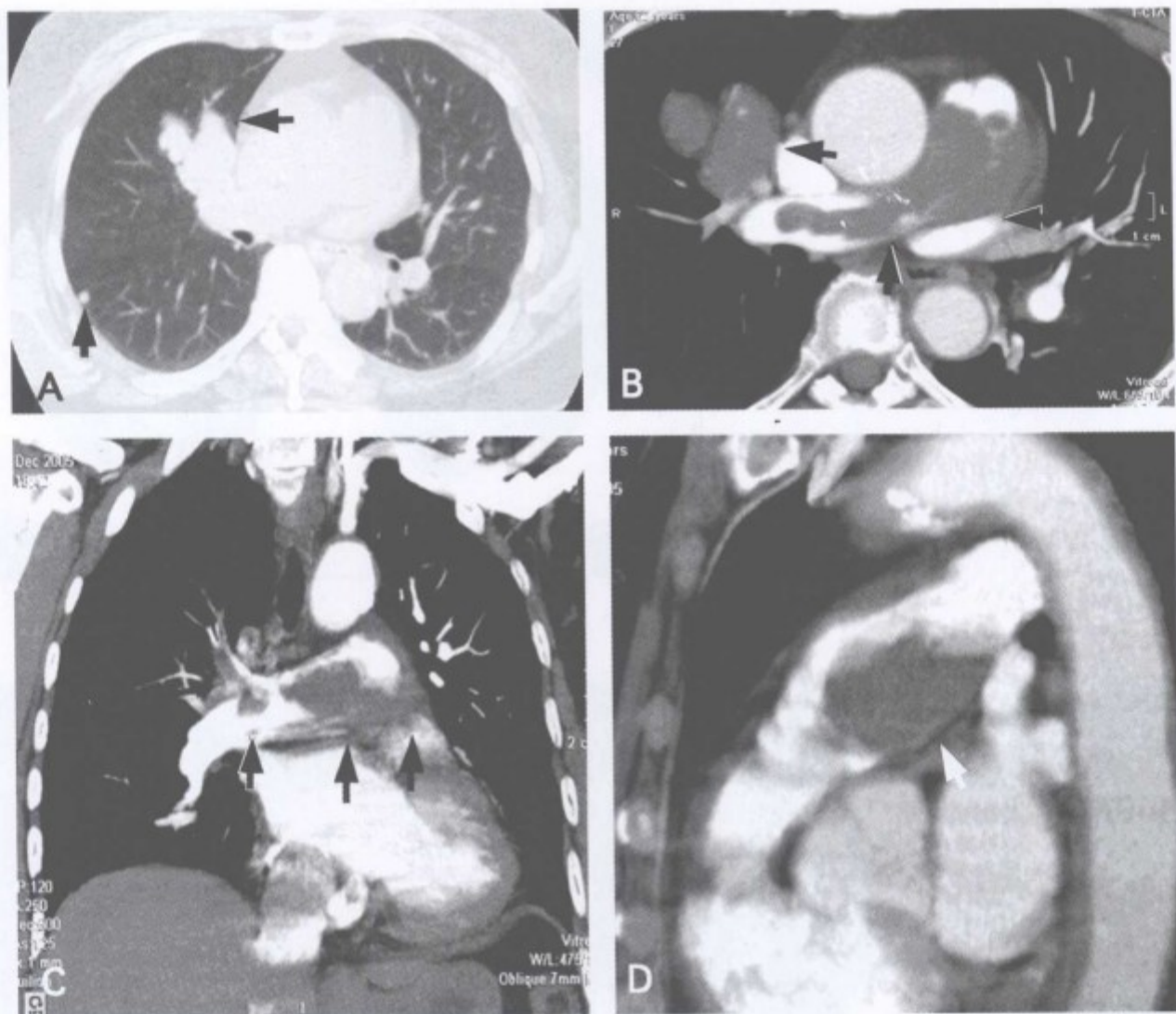


图 15-7 原发性肺动脉肉瘤

横断面肺窗(A)显示右侧肺门不规则增大,右下叶肺胸膜下结节(箭头);横断面纵隔窗肺动脉CTA(B)显示肺动脉干、右侧肺动脉及右中肺动脉管腔内充盈缺损,肿瘤突破动脉管壁形成腔外侵犯(箭头);冠状面(C)及矢状面(D)多平面重组显示肺动脉管腔内充盈缺损和病变侵犯管壁外更清楚

或近端肺动脉腔内低密度充盈缺损,病变段肺动脉扩张和肿瘤腔外侵犯。

**【比较影像学】**

X线胸片起辅助诊断作用,可表现为区域性肺血管纹理稀疏、纤细,局灶性肺浸润或肺梗死阴影,右下肺动脉增宽、变形,肺动脉高压及右心室扩大,肺容积缩小,少量胸腔积液、膈肌升高等。

MDCT的扫描具有较高的时间和空间分辨率,提高了肺动脉栓塞的诊断率和检出率。CTA可以多角度旋转观察病变与肺动脉的解剖关系,明确栓子的形态、大小、位置及与淋巴结相鉴别,能更好的观察肺动脉的走行、大小及管径内外的情况,还能同时观察是否合并其他心肺病变,为诊断及鉴别诊断提供较多的信息。CTA也可以用于肺动脉血栓栓塞治疗后,了解栓子是否有消失、残留及复发情况(图 15-8)。由于 MDCT 扫描速度快,非常适合危重患者检查,亦为急诊检查首选。

放射性核素肺扫描对本病的检出率较高,其敏感性为80.8%,特异性为93.6%,阳性预测值(PPV)为95.5%,阴性预测值(NPV)为75.9%,但上述指标仍低于MDCT,而且不能确定栓塞的部位。

三维动态增强MRA(3D DCEMRA)是一种新的显示体部血管的技术,能直观的显示肺动脉栓塞,

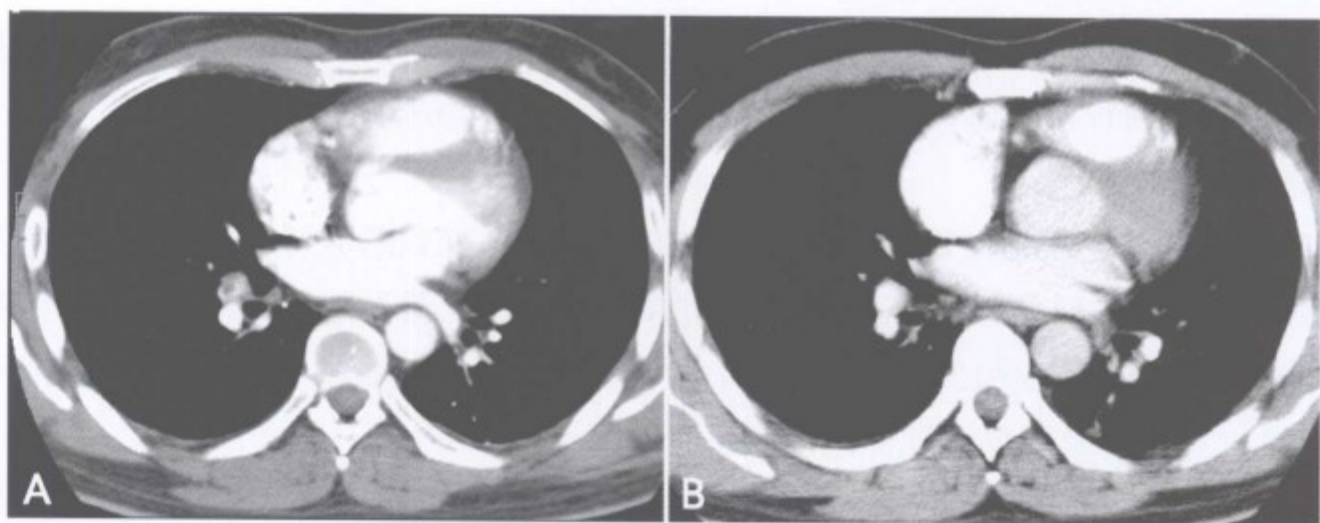


图 15-8 肺动脉栓塞治疗前后

A. 右下叶前基底段动脉栓塞, 偏中心型充盈缺损; B. 溶栓治疗后, 右下叶前基底段动脉栓塞消失, 血管再通

表现为肺动脉主干或分支的腔内充盈缺损或肺动脉分支截断、狭窄或闭塞。若栓子位于管腔中央, 可出现轨道征。Matthjis 报道, 3D MRA 诊断亚段、段、中心或叶肺动脉栓塞的敏感性分别为 40%、80% 和 100%。MRA 缺点是检查时间长, 检查费用较贵, 而且不能清楚显示肺部病变。

肺动脉 DSA 可见肺动脉及其分支充盈缺损, 栓子堵塞造成肺动脉截断现象, 肺野无血流灌注, 栓塞区出现“剪枝征”, 肺动脉分支充盈和排空延迟。肺动脉 DSA 能够明确肺栓塞的诊断, 曾被认为是诊断肺栓塞的金标准, 但操作较复杂, 为有创性检查, 具有一定的危险性。它的并发症约为 6%, 死亡率约 0.2%, 而且不能同时显示胸腔及心肺病变, 故难以作为常规检查。Quiroz 等总结了 1990—2004 年应用螺旋 CT 肺血管造影对肺栓塞诊断评价的文献, 认为 CTA 与肺动脉血管造影在诊断肺动脉栓塞方面的价值相当。

(曾庆思 张金娥)

### 第三节 CTA 在肺癌诊断中的应用

肺癌在其自然的生长过程中侵犯各级肺血管是常见的, CTA 不仅在肺癌的定性诊断、分期和预后方面有临床价值, 而且对于明确癌肿侵犯中央肺动脉及肺静脉的部位、范围和程度对肺癌的切除率、手术方式有很大的影响。近年来, 不断有文献肯定 CT 判断肺癌侵犯肺血管的价值, 但大多限于研究周围的细小结肺血管与肿瘤的关系, 并且由于传统方法的局限性, 不能准确判断肺血管与肿瘤的关系。虽然肺切除技术不断在提高, 血管钉合器也逐渐为临床医师所应用, 但是手术者仍然希望能在术前得到肿瘤与中央肺血管关系的信息, 以便选择治疗方案和进行术前准备。

CTA 由于能反映肺血管的三维空间关系, 加之能任意选择视角进行观察, 因此它比常规 CT 图像更能直观地显示肺癌侵犯中央肺动脉、静脉所引起的管腔狭窄和行径的改变, 以及周围肺血管分支的

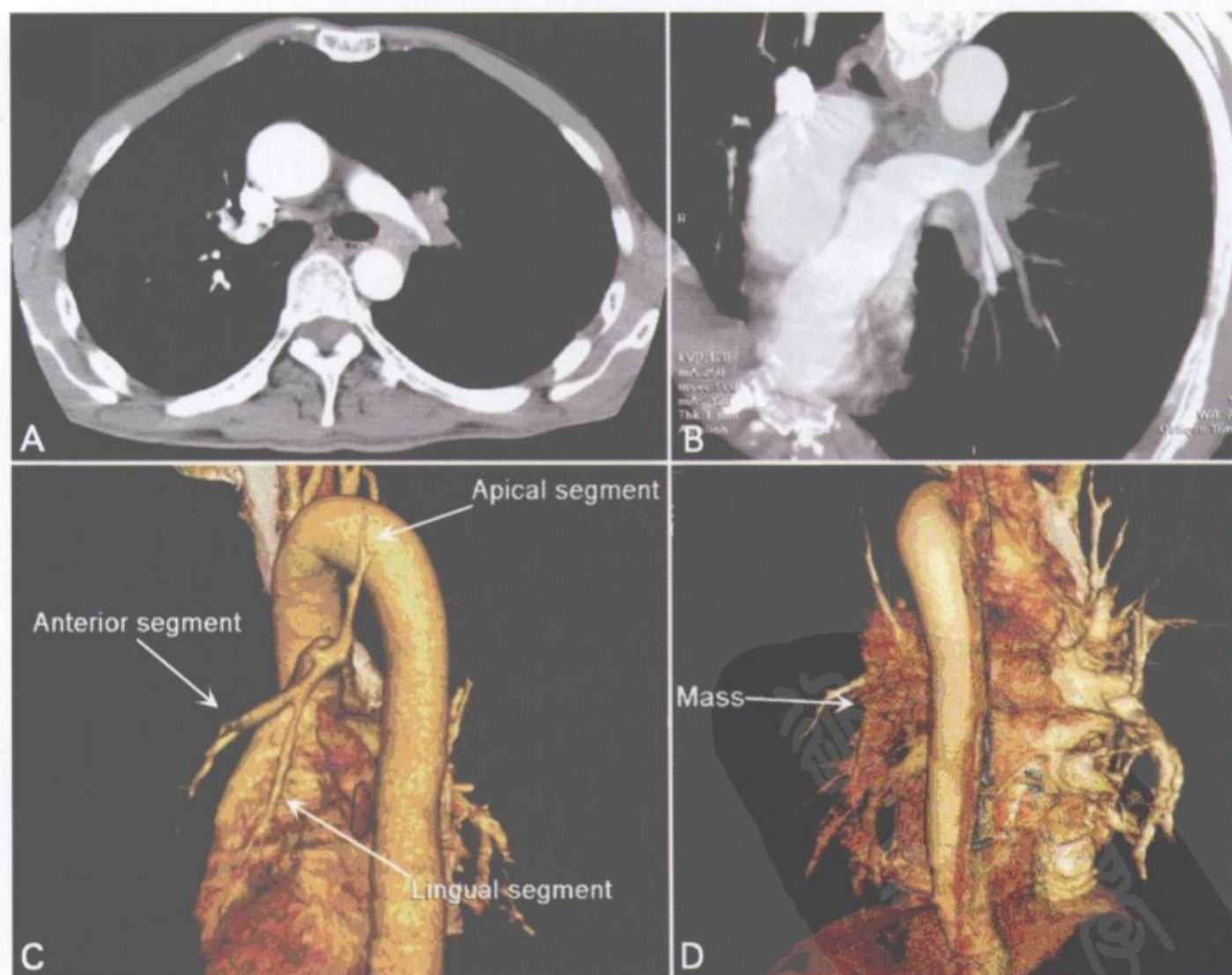
减少、变细和延伸范围的缩小,尤其在准确测量中央动静脉狭窄程度、长度及显示其上下移位方面更具优势,为肺癌术前评价肺血管受累情况、制订合理的治疗方案提供可靠的信息。

**【CTA 表现】**

在CTA三维图像上,根据血管管径、行径及外周血管的改变判断肺癌累及中央肺动脉和静脉的情况。大血管受侵主要表现有明显行径的改变,包括肺动脉和(或)静脉的僵直、移位等;管腔狭窄表现为管腔呈管柱状向心性缩窄(图15-9,图15-10);中央肺动脉和(或)静脉狭窄程度较重的患者可见外周肺血管的数量比对侧明显减少、延伸范围缩小(图15-9)。

肺癌与血管的接触面或肿瘤包绕血管的程度愈大,血管受侵犯的可能性愈大。以下征象提示大血管受侵。①主动脉或肺动脉主干周围的脂肪层模糊;②肿瘤与血管的接触面超过血管周径的1/4以上(图15-9~15-12)。肺癌出现上腔静脉梗阻征时,可以是肿瘤膨胀性生长压迫上腔静脉,也可以是肿瘤对上腔静脉的直接浸润,产生瘤栓所致(图15-11A)。肺癌也可以向肺门下生长而侵犯肺静脉,侵入左心房(图15-11B,图15-12)。

CTA的临床应用包括诊断血管性病变和判断血管与周围结构的关系两方面。采用CTA的曲面



**图 15-9 左主支气管中央型肺癌**

横断面增强扫描(A)示左肺门肿块,左侧肺动脉被包绕、似变细,MIP(B)、VR(C、D)清楚显示左肺动脉包绕、受侵,管腔狭窄,分支变细,左下肺动脉分支未见对比剂充盈,左上肺动脉充盈显示尚好



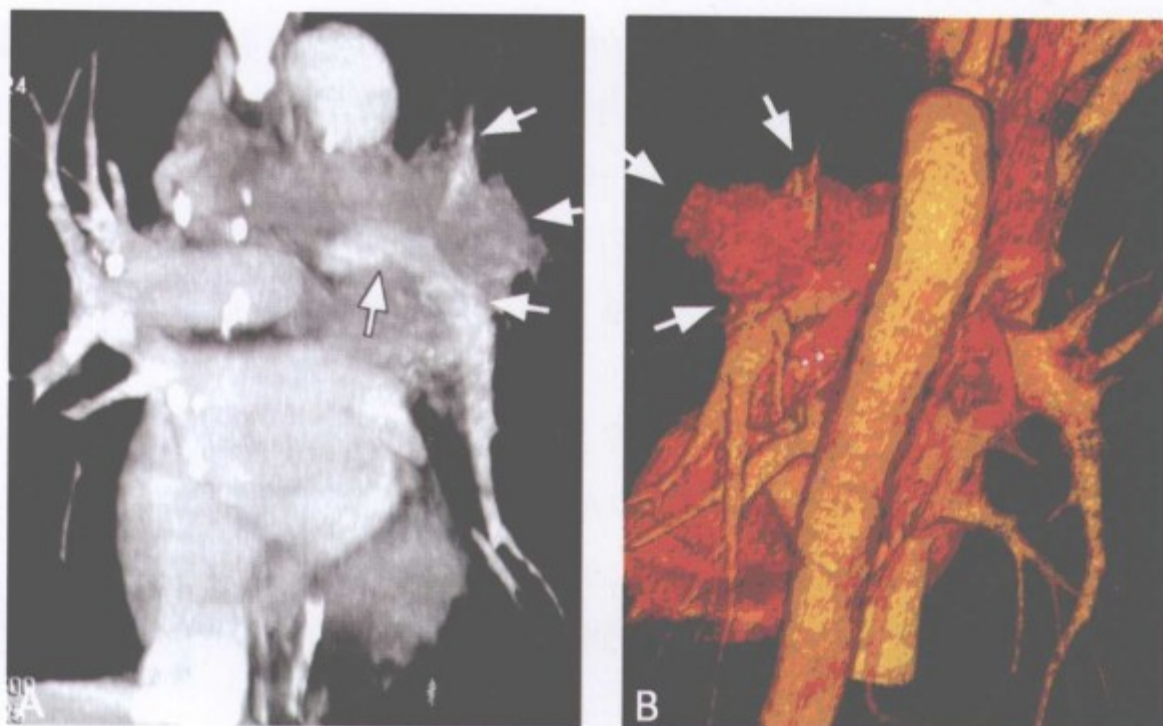


图 15-10 左中央型肺癌

MIP 重组图像(A)及 VR 重组图像(B)显示左肺门肿块,左肺动脉干,左上、下动脉均被肿块包绕,管壁凹凸不平,管腔局限性狭窄

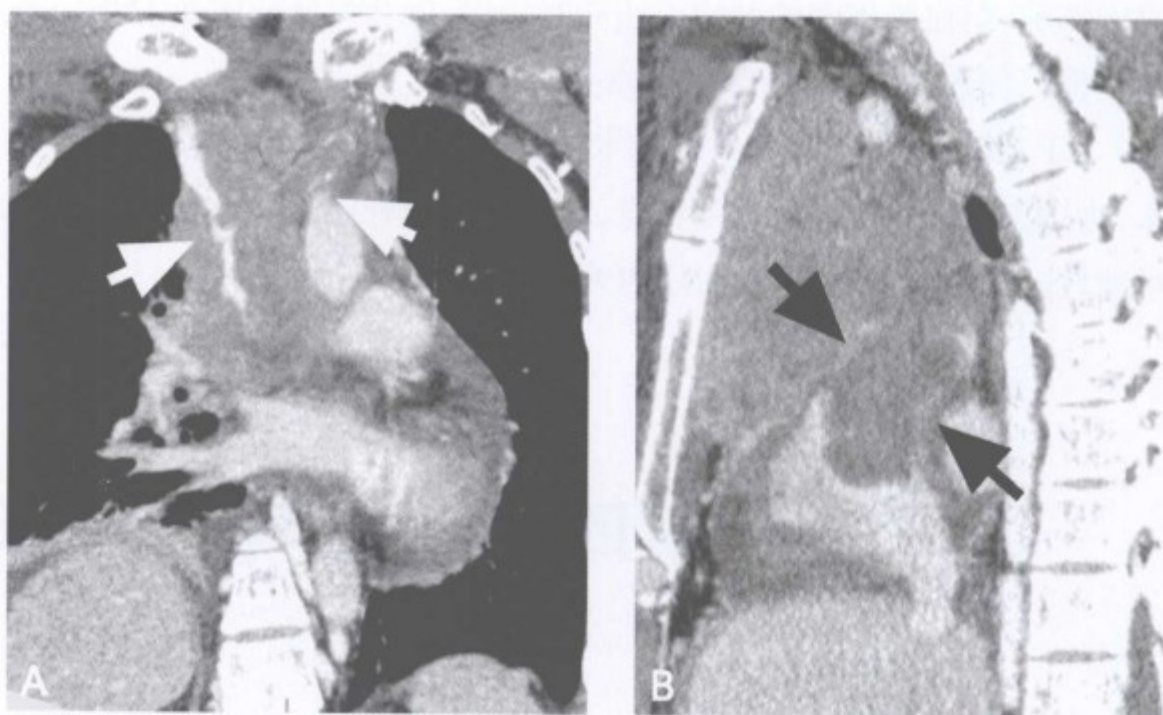


图 15-11 右上纵隔型肺癌

冠状位(A)及矢状位 MPR(B)图像显示右上纵隔旁肿块侵犯右侧肺门,包绕上腔静脉,其内可见瘤栓形成(箭头),左心房、左锁骨下动脉内亦见瘤栓形成(箭头)



图 15-12 左下纵隔型肺癌

横断面增强扫描图像显示肿瘤侵犯邻近左下肺静脉及左心房(箭头),伴左侧中量胸腔积液

重组法和多平面重组法,对患侧中央肺血管进行了图像重组。有研究表明,多平面重组法可从任意角度对血管进行纵切和横切,便于详细分析血管与肿瘤的关系,CTA对血管与肿瘤关系判断的正确率都高于单一的横断面CT(图15-9)。这主要是因为单一的横断面CT图像视角受到局限,尤其是对斜行和弯曲走行的血管,无法准确分析它们与肿瘤的关系;CTA可多角度、多层面的观察,因而判断准确。以手术与病理观察为标准,CTA判断肺血管与肿瘤关系的准确率高于横断面CT,分别为88.40%~92.56%、73.91%~83.82%。

后处理技术方面,VR图像在定位方面极具优势,便于分析肿瘤与血管的关系,单纯的血管树图像可用于观察血管受肿瘤侵犯的部位及外部特征,而血管与肿瘤共存图像有助于提高对肿瘤立体定位的准确度,观察肿瘤与血管的空间关系,有助于术前制定详细周密的计划。MIP、CPR、MPR技术简单方便,但图像的直观性和立体感不强,而且MIP技术因其反映的是像素的最大密度值,所以不能更好地显示肿瘤的存在。

### 【比较影像学】

数字减影血管造影(DSA)为诊断血管病变的“金标准”,但它是有创检查,而且只能显示血管本身的情况,对血管周围的肿块无法同时检出。磁共振血管成像(MRA)无需静脉注射对比剂,但其扫描速度慢、不能很好显示肺部肿瘤本身情况。

CTA是一种新的血管成像技术,CTA可用于肺门区肺癌肺切除术前判断肿瘤与中央肺血管的关系,为确定手术方式提供重要信息。而准确判断肺癌与肺血管之间的关系,有无侵犯以及手术切除的可能性,是支气管肺癌合理治疗的关键。

(曾庆思 张金娥 赵振军)

## 第四节 支气管扩张

支气管扩张症是一种支气管树不可逆转的扩张性的疾病,并伴有支气管壁增厚,它是多种病理过程共同作用的终末结果。根据病变支气管的形态改变,临床上常分为囊状扩张、柱状扩张、静脉曲张型扩张、混合型4种类型。支气管扩张的主要诊断手段由以前的支气管造影发展到高分辨CT扫描和CT支气管树成像技术。绝大多数学者认为CT特别是高分辨螺旋CT扫描已取代支气管造影而成为诊断支气管扩张的金标准。

咯血大多由支气管扩张所引起,其往来自来势凶猛,致死率较高。在支气管扩张患者中,受累及的支气管管壁增厚是由于机化性肺炎中的肉芽组织生长所导致,同时增生的肉芽组织和淋巴组织代谢的需要,造成了支气管动脉供血增多,导致支气管动脉的扩张。

支气管动脉(bronchial artery,BA)属于体循环系统,来自主动脉或肋间动脉,经纵隔、肺门分布到支气管肺内,其分支也分布到淋巴结、食管、气管等。肺动脉与支气管动脉等体循环血管间存在吻合支,这些吻合支位于支气管壁、肺动脉壁和脏层胸膜内,两种循环间通过这些吻合支而相互影响,既可造成解剖学上的发育异常即血管畸形等,也可导致解剖学上的重塑,

从而导致血流动力学的改变。对支气管扩张所致的继发血管病变及血流动力学改变的研究,有助于对支气管扩张引起的咯血有更深入的认识,并对咯血的介入、外科和内科治疗有重要的指导作用。

#### 【CTA表现】

支气管动脉是否能够显影与支气管动脉的内径大小有密切关系。正常的支气管动脉细小,管径小于2mm,此时支气管动脉造影见不到对比剂进入肺循环或其他体循环血管。当肺、支气管以及肺血管等发生病变时,支气管动脉可增粗、扭曲。血流量长期持久增加是造成支气管动脉内径增粗的直接原因。

CTA主要表现为支气管动脉主干增粗、迂曲(图15-13),病变部位的血管分支增多,部分甚至可见小动脉瘤。当支气管扩张引起非支气管动脉改变时,CT可见与病变肺组织相粘连的胸膜厚度 $>3\text{mm}$ ,在胸膜外的脂肪层内可见增强的血管结构。

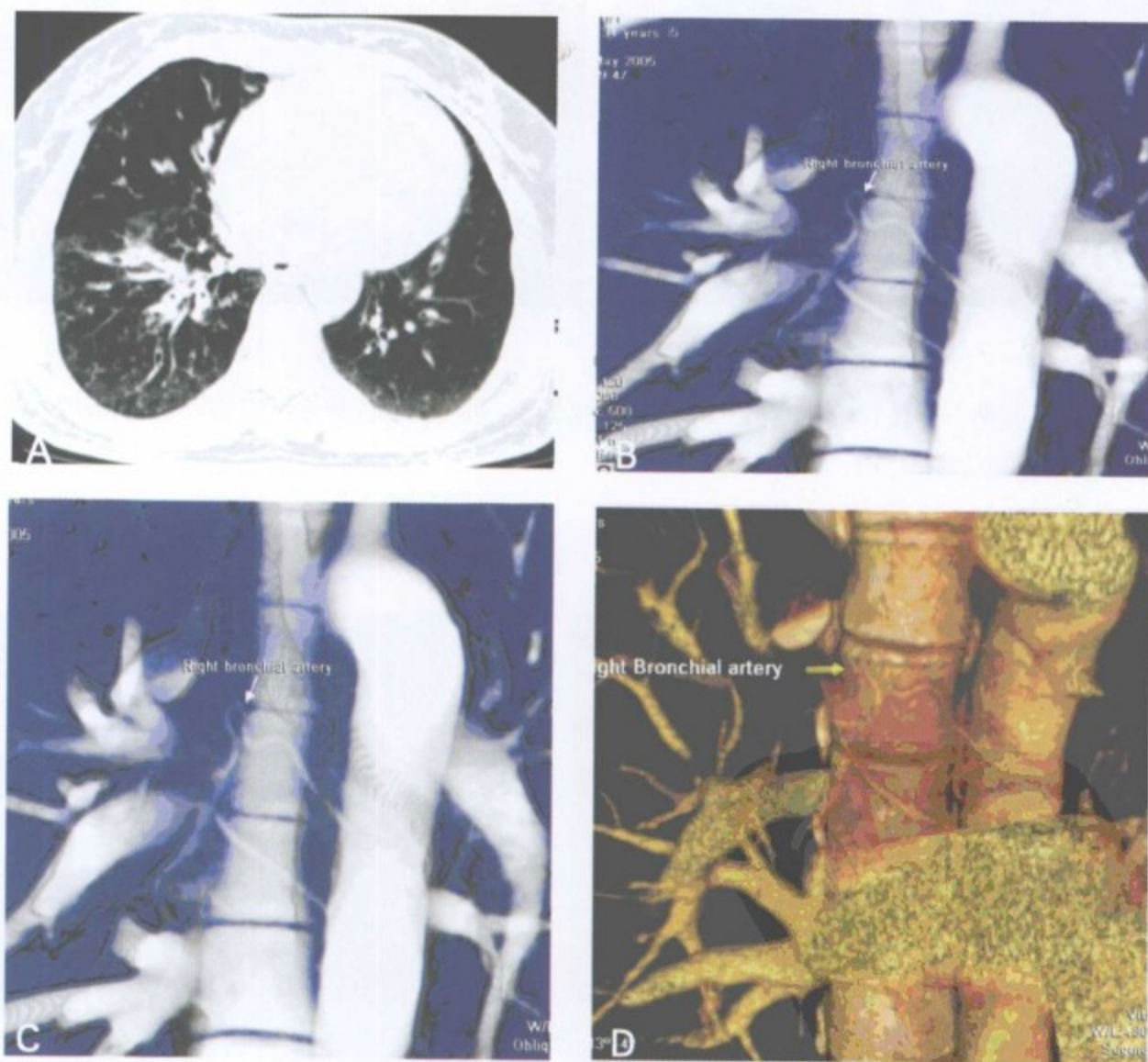


图15-13 右下肺支气管扩张

平扫肺窗(A)显示右下叶支气管扩张合并感染,右中叶支气管轻度扩张。CTA透明化MIP(B、C)显示右侧支气管动脉迂曲、增宽(小箭头),及VR(D)显示右侧一支支气管动脉增粗、迂曲,参与供应右下肺(粗箭头)

有时可见供应支气管扩张区域的动脉来源于锁骨下动脉、内乳动脉、腹主动脉、膈动脉等。

血管重组技术主要显示出病变部位的供血动脉,支气管动脉主要采用VR、MIP技术进行重组(图15-14,图15-15),VR对血管的显示明显优于SSD,且能充分显示肺动、静脉的空间关系与解剖细节,以及其与病变组织的空间解剖关系。同时,由于左、右支气管动脉的解剖特征差异,右侧支气管动脉显影明显优于左侧支气管动脉。

**【诊断与鉴别诊断】**

支气管动脉改变大多基于肺部各种疾病,不同疾病的发展过程对支气管动脉的影响大小不尽一致,但多数情况下结局却近乎相同,即支气管动脉明显扩张以至出现咯血。目前大多将直径 $>1.5\text{mm}$

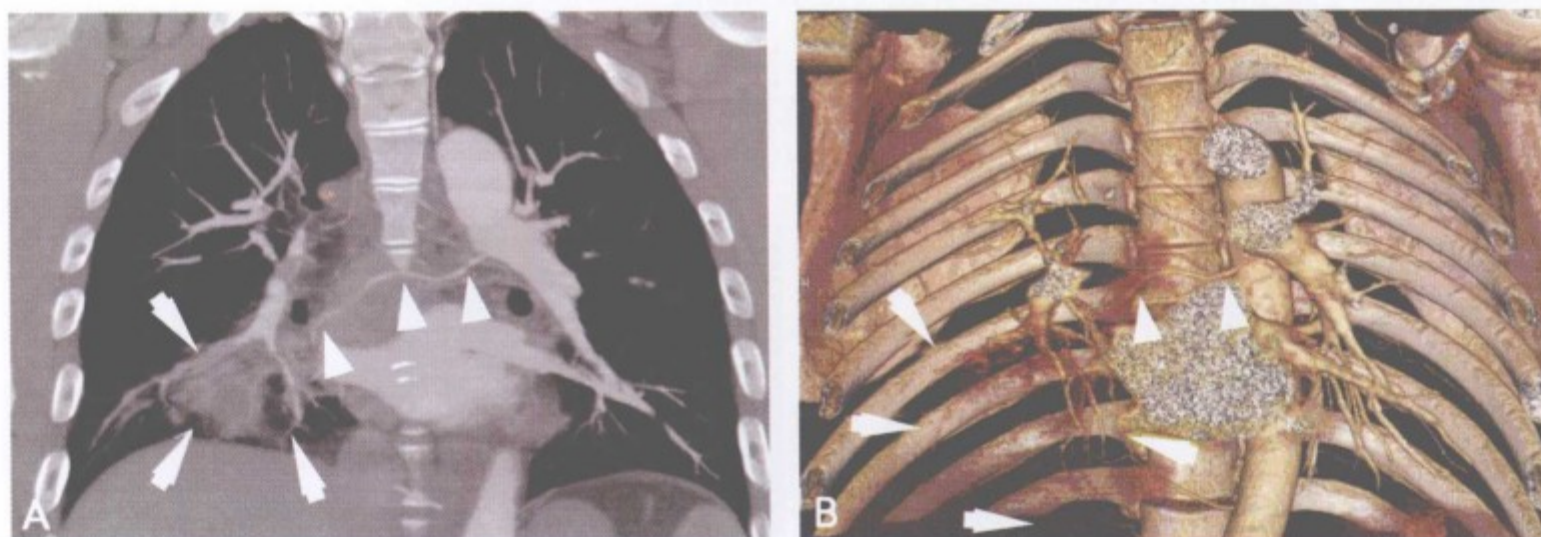


图15-14 右下肺癌

MIP(A)及VR(B)显示右侧一支支气管动脉增粗、迂曲(短箭头),参与肿瘤供血,肿瘤侵犯邻近右下肺动脉,右下肺动脉可见局限性狭窄、移位(长箭头)

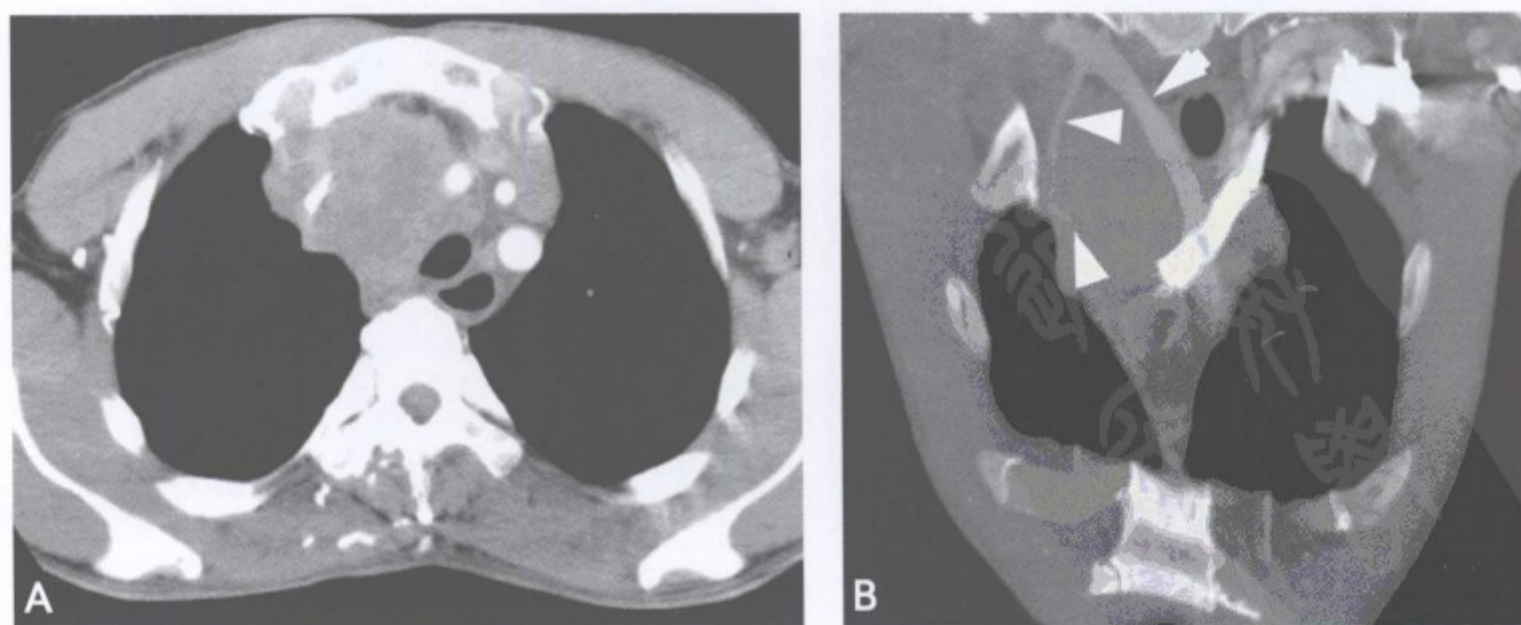


图15-15 右上肺癌(纵隔型)

横断面(A)显示右上纵隔肿块,MIP(B)图像显示右侧锁骨下动脉(长箭头)发出一增粗的血管(短箭头),参与肿瘤供血

的支气管动脉视为扩张。肺癌、支气管扩张、转移瘤、炎症及肺栓塞等都会不同程度的造成支气管动脉血流量的增加,从而导致支气管动脉内径增粗,以支气管扩张所致的支气管动脉纡曲、扩张最为明显,其次是肺癌(图15-14)。CTA表现为供血的支气管动脉主干增粗、纡曲,病变部位血管分支增多。结合临床、胸部CT平扫及增强检查所显示的一些特征性表现,基本上可以明确诊断。

### 【比较影像学】

支气管动脉是肿瘤、咯血等肺部疾病经导管介入治疗的应用血管,有效的治疗需要在治疗前对支气管动脉的起点和数目做出准确判断。

支气管动脉血管造影显示支气管扩张患者的支气管动脉主干增粗扩张、纡曲,病变部位血管数目增多,局部增粗甚至可见瘤样扩张,以及支气管动脉与肺动脉分支扩张和相互吻合等,当有活动性出血时则可见支气管动脉分支或主干有对比剂溢出,支气管显影。有时病变组织的供血动脉为非支气管体循环侧支,如肋间动脉、锁骨下动脉、胸廓内动脉、内乳动脉、腋动脉以及甲状颈干动脉等,因此对侧支循环的认识对支气管扩张所致的咯血有着特别重要的意义。

CTA扫描范围广,对病灶区内多支支气管动脉向同一病灶供血,肺外体循环参与病灶供血与肺内支气管动脉沟通吻合等均能同时显示(图15-15),可以借此指导介入手术。与DSA相比其不足之处在于肺动脉、肺静脉、支气管动脉是同时一次性成像,不能动态观察对比剂在支气管动脉与肺动静脉瘘中流向,空间分辨率也不如DSA,无法显示细小的血管网,因而CTA和DSA对血管交通吻合显示内容有所不同。另外,血管造影显示的支气管动脉87%可在MSCT中得到显示,但是所有的出血的支气管动脉和62%的出血的非支气管动脉可以在MSCT中得到显示,同时部分在CT上得到显示的支气管动脉在DSA上未能显示,这可能与操作者的介入操作技术有关。由于肺循环的复杂性以及支气管动脉起源的多样性,在行支气管咯血介入治疗前对患者的血管解剖及怀疑出血的血管进行全面了解,对支气管咯血的诊断、定位、治疗方案及术式的选择显得尤为重要,它将直接关系到支气管咯血的疗效。

MRI则既可利用血液流空技术使血管显影,又可利用血管成像技术(MRA)及弥散成像、灌注成像技术来显示血管,但就目前3D DCEMRA的成像技术对于小血管的显示尚不太满意,而且其检查费用昂贵、成像速度较慢,对肺部病变显示较差。

总之,多层螺旋CT增强扫描可以在实施介入治疗前提供支气管动脉起点和数目的准确资料,可以评估肿瘤的供血情况,有助于介入治疗和手术过程的顺利进行,为治疗的成功提供重要保证。

(曾庆思 赵振军 刘波)

## 第五节 肺隔离症

肺隔离症(pulmonary sequestration, PS)是一种少见的肺先天性发育异常,其主要特点是发育异常的肺组织与支气管树之间缺乏正常的连接,并接受主动脉或其分支供血。肺隔离症依据其有无独立的脏层胸膜而分为叶内型和叶外型两种,以前者多见,为隔离肺组织与正常肺叶为同一脏层胸膜所包裹,多位于后基底段,尤其是左下叶后基底段;叶外型则有独立的脏层胸膜包裹,可位于纵隔、膈下、心包或肺内。肺隔离症来自胸主动脉者占73%,来自腹主动脉上部、腹腔动脉或脾动脉者占21%,余依次为肋间动脉、锁骨下动脉、胸廓内动脉、心包膈动脉、脾动脉、肾动脉等小分支,以单支为多,多支者约16%。引流血管95%为肺静脉,经奇静脉、半奇静脉、肋间静脉或上下腔静脉回流的仅占5%。肺隔离症的治疗方法仍以手术切除为主,近年来介入放射栓塞治疗术也逐步应用于肺隔离症的治疗,因而术前明确诊断显得尤为重要。

肺隔离症的临床表现、体格检查、实验室检查等均缺乏特异性表现,如果临床及放射科医师未引起足够重视,则常会导致误诊。X线平片对病变的发现及定位有价值,但难以确定诊断。如青少年患者肺下叶后基底段出现囊肿或肿块样病变,而临床表现为反复发作的肺部感染,则应考虑到本病的可能,但最后诊断仍有赖于影像学手段。

### 【CTA表现】

肺隔离症的CT平扫主要表现为囊肿、实质结节和肿块,病灶形态不规则,密度不均匀,边缘多数光整,合并感染后可较模糊,隔离肺可与邻近支气管相通而显示气液平面,病灶周围可伴有局限性肺气肿(图15-16)。所以在两下肺内、后基底段的肿块性病灶,特别是囊实性占位性病变的诊断和鉴别诊断中,常常需要增强扫描以显示病灶有无异常供血动脉来排除肺隔离症。来自异常的体循环供血血管能否显示是肺隔离症诊断的关键。应用CTA显示隔离肺内来自体循环供血动脉作为确诊的依据。有作者根据异常动脉与隔离肺组织关系将其分为3型。I型,只有异常动脉,无隔离肺肿块(图15-16);II型,异常动脉供应隔离肺组织及正常肺(图15-17);III型,异常动脉仅供应隔离肺组织(图15-18)。

在平扫图像上要估测异常供血动脉的大致起始部,并以此作为智能扫描的监测水平。于动脉期扫描中、下胸部甚至上腹部,以便发现可能存在的异常供血动脉。将阈值设在150~200Hu,应用非离子型含碘对比剂(碘浓度为300mg/ml),对比剂总量按体重2.0ml/kg计算。经肘前静脉注射,流率2.5ml/s,当所选水平主动脉CT值达到阈值时自动启动扫描,使增强扫描有的放矢,达到最佳强化效果。由此可获得主动脉及其分支的最佳CT血管成像图像,也有作者提及延迟20s扫描可以获得增粗、迂曲的引流静脉影像。

在工作站上采用MIP、MPR、CPR、SSD、VR重组技术可立体显示供血动脉的起源、管径大小及行程,其中以VR技术较好(图15-16~15-18)。血管重组技术有助于检出细小的异常血管,对临床治疗方案的选择,特别是手术方案的制定有很高的实用价值。可避免术中损伤血管而产生大出血,

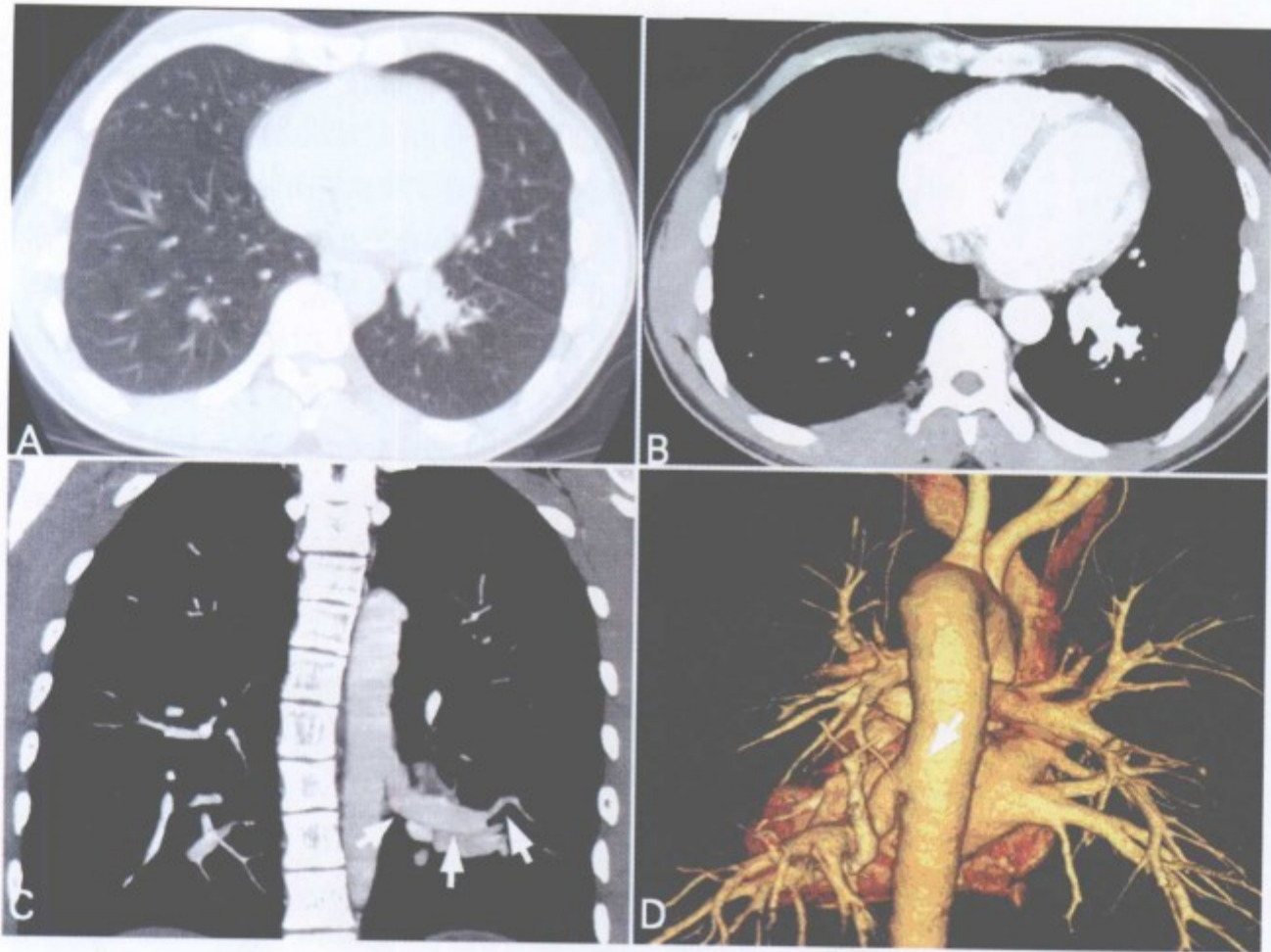


图 15-16 肺隔离症 I 型

横断面 CT 肺窗(A)及增强(B)显示左下肺一迂曲血管团, CT 重组 CPR(C)及 VR(D)显示胸降主动脉中段发出一异常血管(箭头), 供应左下叶各基底段, 而左下肺动脉发育异常(缩小)

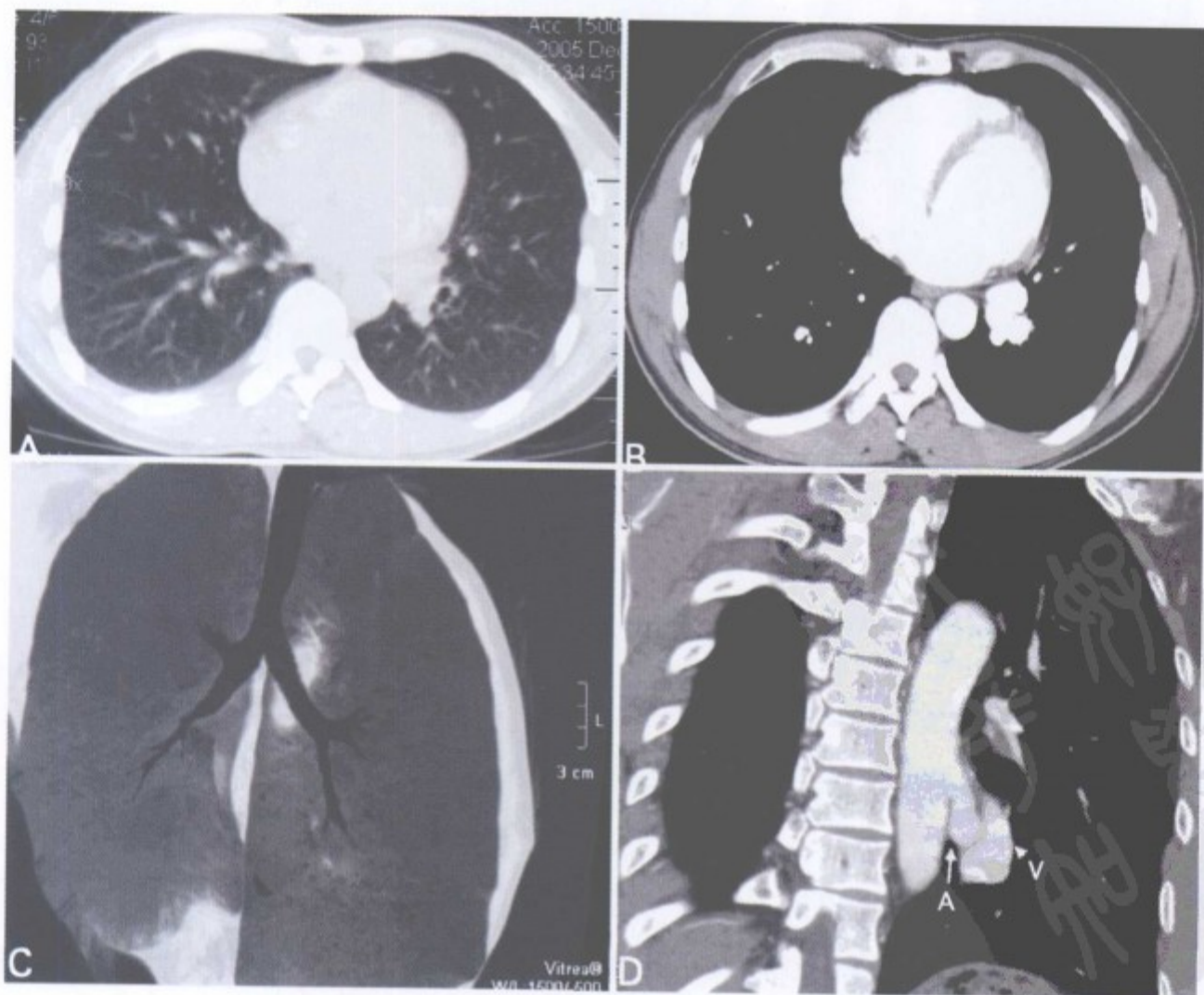




图 15-17 肺隔离症 II 型

横断面 CT 肺窗(A)及增强 (B)显示左下肺近纵隔旁一迂曲扩张血管团,周围少量斑片状模糊影,其内似见多发小空洞影。重组 MinP(最小密度投影)(C)显示左下叶支气管未见明确异常,CPR 及 VR(D、E)显示胸降主动脉发出一异常血管(箭头 A),供应左下叶各基底段。手术病理证实异常血管供应左下叶正常及异常肺组织(左下肺组织支气管旁炎症细胞浸润,部分区有肺大疱形成,部分肺泡腔变窄)

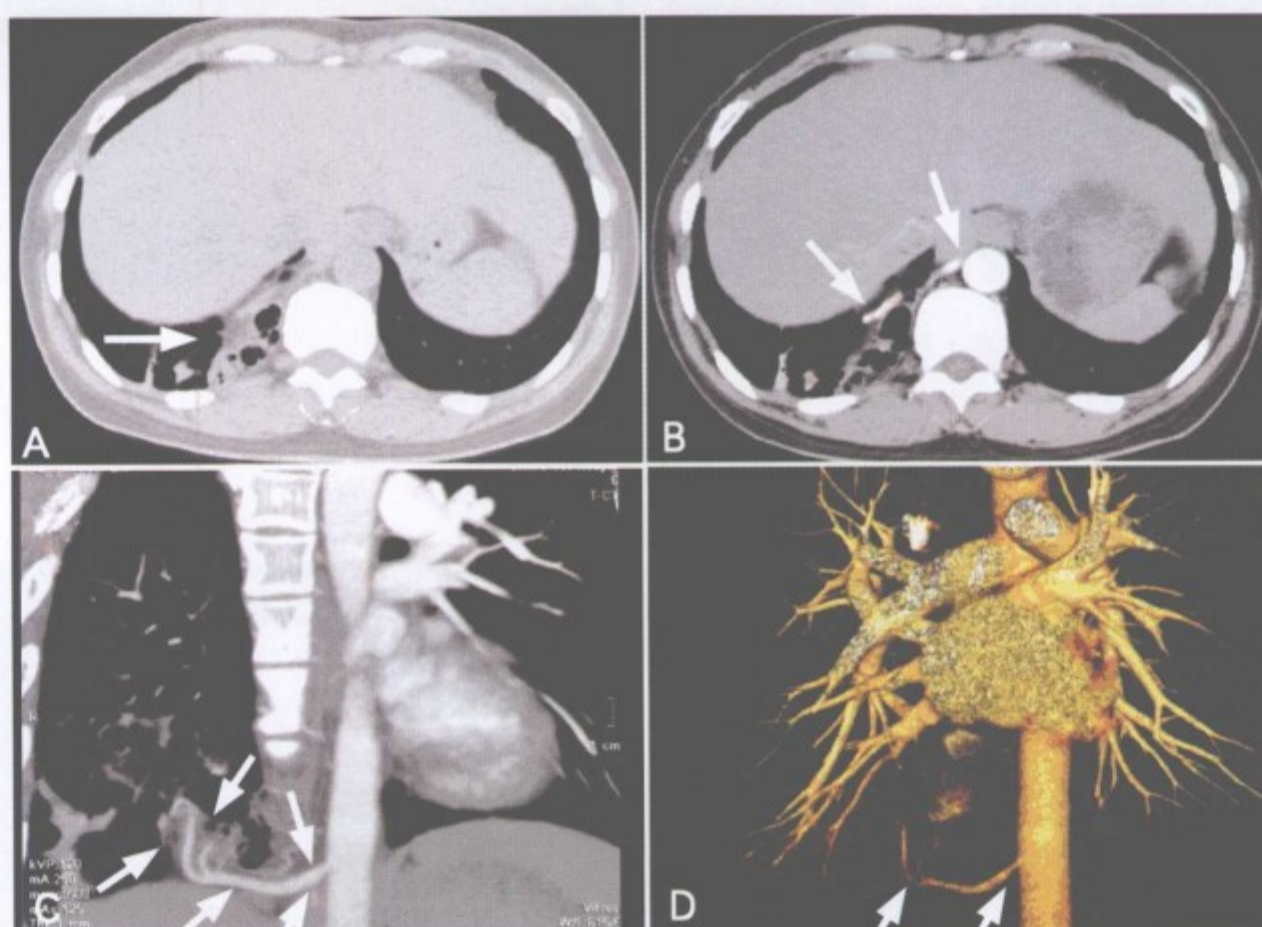


图 15-18 肺隔离症 III 型

CT 平扫(A)示右下叶后基底段一团片状病灶,内多发空洞,增强扫描横断面上(B)似见相应水平胸主动脉发出一血管与病灶相连(长箭头),MIP(C)及 VR(D)均显示胸降主动脉发出一异常动脉(多个箭头),供应右下叶后基底段病灶

对拟行介入治疗的患者可提供异常供血动脉的解剖学信息。

【比较影像学】

肺隔离症影像学评价包括隔离的支气管肺组织肿块,异常供血体动脉,二者之间的关系及引流静脉。以往主要依靠主动脉造影等有创性检查确定诊断,并将其视为金标准,因其能准确显示供血动脉的起源、数目及形态,但属于有创性检查,且不能同时显示肺内病变的情况。



多层螺旋CT血管成像已成为一种可靠的、非创伤性的血管成像技术,现已成为诊断肺隔离症和术前评估的首选检查方法,并已逐渐取代传统的血管造影。

(曾庆思 刘波 赵振军)

## 第六节 肺动静脉畸形

肺动静脉畸形(pulmonary arteriovenous malformation, PAVM)较为罕见,是由于肺动脉与肺静脉之间发生异常交通而导致的血流短路。可单发或多发,绝大多数属于先天性疾病,70%伴发遗传性出血性毛细血管扩张症,又称 Rendu Osler Weber 综合征。少数患者是由于外伤、肿瘤、血吸虫病等原因而引起的肺内继发改变。病理解剖上PAVM可分为简单型和复杂型,简单型仅由单一的供血动脉和单一的引流静脉构成,而复杂型由2支或多支动脉供血、2支或多支静脉引流。

临床症状包括以下3点:由于心外的右向左分流而引起不同程度的缺氧症状;由于瘤体破裂而引发致命性的咯血和血性胸腔积液;破坏正常肺组织毛细血管的过滤功能,从而导致异位栓塞而引起严重的症状。而临床上最常见、最显著的症状就是异位栓塞所导致的脑梗死、短暂脑缺血发作和脑脓肿,White等统计此类症状见于36%的患者中,并进一步指出供血血管直径 $\geq 3.0\text{mm}$ 的肺动静脉畸形患者很容易发生脑梗死。因此,介入治疗学上也把任何病灶供血动脉的直径 $\geq 3\text{mm}$ 均称为栓塞的目标直径,即超过此直径范围时,无论有无症状均必须接受治疗。因此,对于PAVM及时、准确的诊断就显得尤为重要。

### 一、影像学表现

影像检查的目的就在于明确病灶的位置、数目、大小以及供血动脉的数目、血管直径等情况,这些对于全面诊断和选择治疗方案是非常关键的,尤其对于介入治疗适应证的确定,以往主要以常规血管造影检查作为金标准,但毕竟是一种侵入性的检查方法。MRI技术对肺部组织的成像以及小的PAVM的显示有其局限性,而螺旋CT配合高压注射器的应用,使非创伤性诊断成为了可能。

肺动静脉畸形螺旋CT增强扫描显示为明显强化的圆形或迂曲状软组织影,其与主动脉强化程度近似,可见与血管相连的增粗的供血动脉和引流静脉。MDCT三维肺血管成像是一种非损伤性血管成像技术,具有较高的时间分辨率和空间分辨率,由于其快捷性、直观性和可重复重组等优势,可比较完美地从各个角度展示肺血管的空间解剖和病变特征(图15-19,图15-20),因此,在PAVM病变的诊断与治疗中发挥着重要作用。对于肺血管成像,早期扫描极为重要。文献提及的一般扫描最早为6~8s,延迟时间为12~15s,对肺动静脉畸形的三维成像均取得了良好效果。其次,扫描层厚一定要薄,以1mm为宜,这不仅大大提高了肺血管三维图像的质量,而且对于微小PAVM的显示、复杂PAVM中多根供血动脉的显示以及血管直径的测量更加准确可靠。以上两点是获得高质量三维成像所必须具备的。

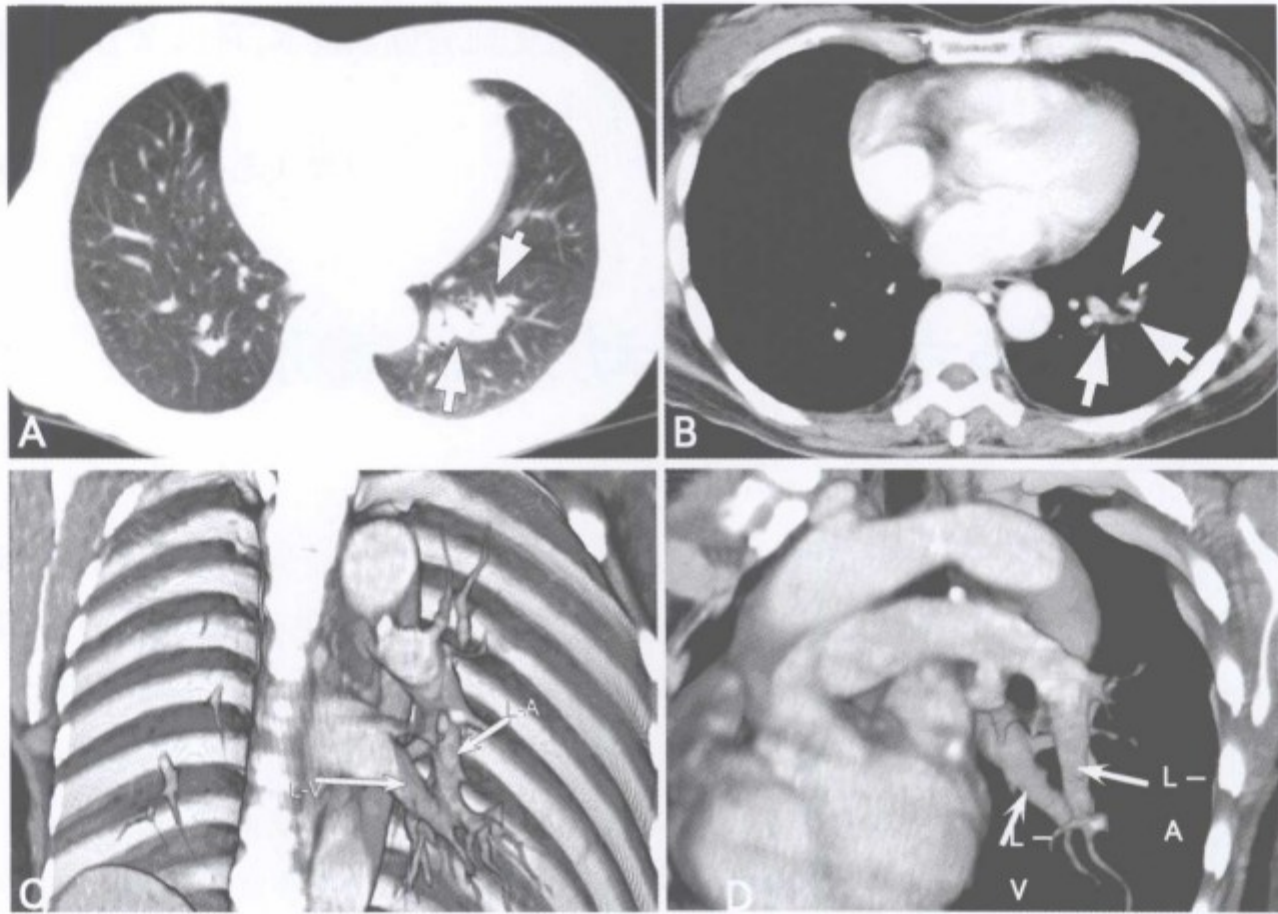


图 15-19 肺动静脉畸形

平扫肺窗(A)见左下叶不规则结节状影,增强横断面(B)为迂曲扩张强化的血管,冠状位(C)及矢状位(D)VR 显示一粗大的源自左下肺动脉(箭头 L-A)的供血血管及引流静脉(左下肺静脉,箭头 L-V)和两者之间异常交通的血管团

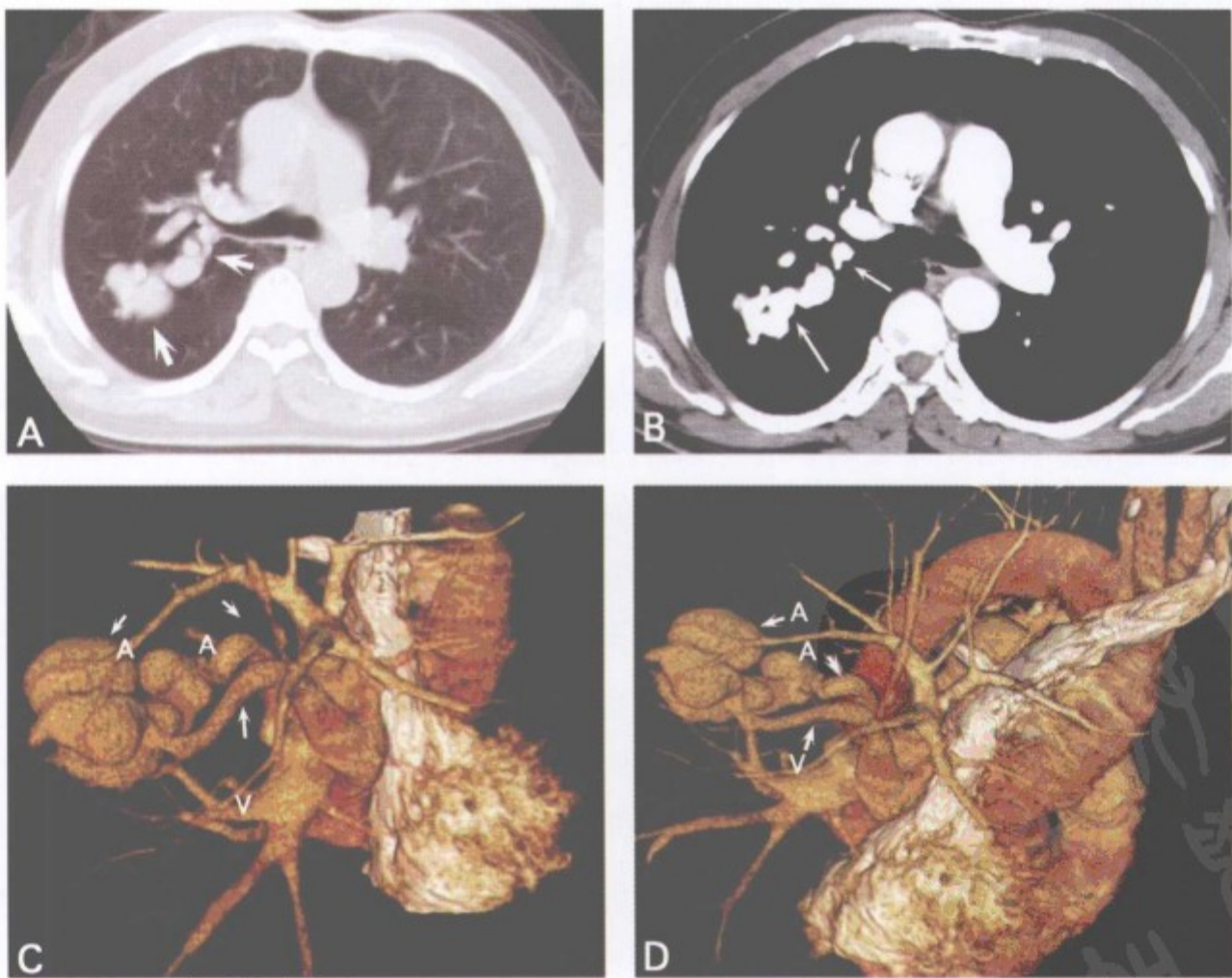


图 15-20 肺动静脉畸形

横断面 CT 肺窗(A)及纵隔窗(B)增强 CT 仅见迂曲、强化的血管团,VR 重组(C,D)显示 2 条供血动脉(右下肺动脉及较细右上肺后段动脉,箭头 A)、较大的瘤样扩张血管团、1 条引流的右下肺静脉(箭头 V)

MDCT 血管重组技术一般包括 SSD、VR、MIP 及 MPR 4 种,对于 PAVM 所在位置和供血动脉的数目及血管直径的显露均十分满意。同时,对重组后的三维图像做连续的电影播放和任意角度、任意方向的旋转对于 PAVM 的显示具有重要的价值。4 种重组技术中以 VR 像是最佳的(图 15-19, 图 15-20),VR 像是一种较为实用的重组技术,它是对任意厚度的空间结构进行三维容积切割成像,能够避免过多组织结构的重叠、遮蔽,对肺门部的大血管显示极为有价值,有利于准确判定 PAVM 中引流血管的真正来源。MIP 成像也是十分重要的一种成像技术,可以任意角度地旋转观察肺血管走行情况和解剖关系,尤为重要是可以直接准确地测量引流肺动脉的直径大小、横截面积以及对引流肺动脉进行曲面重组。在临床研究评价肺血管的方法中 MIP 成像是最为重要的,对介入治疗的选择具有积极的指导意义。但是 MIP 图像质量很大程度取决于血管增强幅度,如果外周细小血管增强幅度小,MIP 成像就可能不够满意。

MDCT 血管重组的 PAVM 图像均可以清晰显示出瘤样扩张的血管囊腔、较粗大的一条或多条输入肺动脉、粗大迂曲的输出肺静脉的影像,为正确诊断提供影像依据。MDCT 三维肺血管图像可以准确测定供血血管直径,对于栓塞目标血管直径的判定具有重要价值,为病情的预测以及选择必要的介入栓塞治疗提供了重要依据。检查中应该注意到 PAVM 的多发性,对于较大的 PAVM,影像诊断不难,但对于多发病灶中较小病灶的确认非常重要,应避免遗漏。CTA 对于 PAVM 患者介入栓塞治疗术后的随访工作同样具有重要价值,当随访复查中发现病灶进一步增大或病灶内部有明显的对比剂增强时,均可说明存在肺动静脉畸形介入栓塞术后的复发。

## 二、其他肺血管畸形

CTA 诊断肺动脉发育不良,可直观显示病变部位肺动脉变细、分支减少及延伸范围缩小,从而为临床诊断提供有力证据。在肺动脉发育不良的诊断方面,CTA 可以代替 DSA,并有 DSA 不可比拟的优点,如 CTA 具有无创性,在显示发育不良的肺动脉的同时还可显示患肺的含气情况,以及有无感染及其他合并症等。

肺动脉袖状成形术后,CTA 可准确显示肺动脉吻合口有无狭窄,以及其分支是否充盈良好,据此可以了解手术是否成功。对于 DSA 或核素扫描,由于其有创性或对肺血管情况的显示不十分满意,因此其应用受到一定限制。

(曾庆思 赵振军 张金城)

## 参 考 文 献

- [1] 白红利,朱培菊,竞陶,等.螺旋 CT 肺血管成像的临床应用评价.中华放射学杂志,2001,35(8):609-612
- [2] 常恒,肖湘生,董伟华,等.动脉 CT 血管造影对肺转移瘤的血供研究.中华放射学杂志,2005,39(1):34-38

- [3] 董伟华,肖湘生,李惠民,等.支气管动脉和肺动脉多层螺旋 CT 血管造影对肺癌血供的研究.中华放射学杂志,2003,37(7):612-614
- [4] Patel S,Kazerooni EA. Helical CT for the evaluation of acute pulmonary embolism.AJR,2005,185(1):135-149
- [5] Quiroz R,Kucher N,Zou KH,et al. Clinical validity of a negative computed tomography scan in patients with suspected pulmonary embolism;a systematic review.JAMA,2005,293(16):2012-2017
- [6] Ravenel JG,Costello P,Schoepf UJ. Utilization patterns for CT pulmonary angiography.AJR,2005,184(5):1707-1709
- [7] Wildberger JE,Mahnken AH,Das M,et al. CT imaging in acute pulmonary embolism;diagnostic strategies. Eur Radiol,2005,15(5):919-929
- [8] Remy-Jardin M,Dequiedt P,Ertzbischoff O,et al. Safety and effectiveness of gadolinium-enhanced multi-detector row spiral CT angiography of the chest;preliminary results in 37 patients with contraindications to iodinated contrast agents.Radiology,2005,235(3):819-826
- [9] Bae KT,Mody GN,Balfe DM,et al. CT depiction of pulmonary emboli;display window settings.Radiology,2005,236(2):677-684
- [10] Ohno Y,Higashino T,Takenaka D,et al. MR angiography with sensitivity encoding (SENSE) for suspected pulmonary embolism;comparison with MDCT and ventilation-perfusion scintigraphy.AJR,2004,183(1):91-98
- [11] Franco J,Aliaga R,Domingo ML,et al.Diagnosis of pulmonary sequestration by spiral CT angiography. Thorax,1998,53(12):1089-1092
- [12] Siegel MJ. Multiplanar and three-dimensional multi-detector row CT of thoracic vessels and airways in the pediatric population.Radiology.2003,229(3):641-650
- [13] Ko SF,Ng SH,Lee TY,et al.Noninvasive imaging of bronchopulmonary sequestration.AJR,2000,175(4):1005-1012
- [14] Lawler LP,Fishman EK. Arteriovenous malformations and systemic lung supply:evaluation by multidetector CT and three-dimensional volume rendering.AJR,2002,178(2):493-495
- [15] Remy J,Remy-Jardin M,Wattinne L,et al. Pulmonary arteriovenous malformations;evaluation with CT of the chest before and after treatment.Radiology,1992,182(3):809-816

## 多层螺旋 CT 冠状动脉成像

### 第一节 冠状动脉 CTA 成像技术

#### 一、冠状动脉特点

冠状动脉成像是 CT 血管成像中的一个热点,也是一个难点。难的原因包括以下两点。首先,作为心脏营养血管的冠状动脉,依附于心肌表面,除本身搏动外,还伴随心肌一起摆动,是一种时刻处于摇摆中的血管。由于这种时刻运动特点的存在,相对于静止物体冠状动脉的成像有更为苛刻的要求。如何让运动中的血管呈现出相对静止并且能以静态图像反映出来是其首先要考虑的问题,这其中主要包括如何克服冠状动脉的收缩期、舒张期等的动态改变;也正是冠状动脉的这种规律性、周期性运动为成像带来了便利条件,可以使用门控技术,通过数学方法达到静态成像的要求。其次,冠状动脉相对于肾动脉、椎动脉更细小,对图像的空间分辨率、密度分辨率、各向同性的要求更高些。

电子束 CT(EBCT)及 16 层以下的 MDCT 机不仅足以满足静态、器官一般性临床诊断的要求,而且对冠状动脉的显示达到了一定的水平。现今的 64 层 MDCT 主要通过心电门控技术、特殊重组算法、提高扫描速度及缩小扫描视野来解决以上冠状动脉的成像问题。

MDCT 从 4 层到如今应用于临床的 256 层,在物理原理上并无实质性改进,仅仅为 Z 轴方向上探测器总长在增宽,数目在增多,球管容量在加大,球管旋转速度在加快,相应而来的是时间分辨率的提高,但相比于理想中的平板 CT 机仍有很大差距。当然,重要的是,重组算法在不断改进之中。

MDCT 对冠状动脉的成像硬件改造主要是通过容积扫描和节段分拆数据提高时间分辨率来解决问题的。

## 二、MDCT 冠状动脉成像技术

### (一) 患者的准备

做好患者的准备工作是 CT 冠状动脉成像的成败至关重要条件。我们建议在进行扫描之前应确保患者做如下准备：嘱患者扫描前 12h 内不要饮用含咖啡因类物品；扫描前 4h 禁食，从而避免引起心率上升；应提前至少半小时到达检查室，静坐以稳定心率；对于心率过快的患者应提前 1.5h 口服  $\beta$  受体阻滞药或提前 5min 静脉推注  $\beta$  受体阻滞药降低心率。

对于心率较慢且相对稳定的患者，可在冠状动脉造影扫描开始前 1~2min 予以舌下含服硝酸甘油使冠状动脉扩张，从而达到最好的检查效果。对于心率波动较大的病人，应给予吸纯氧，流量为 2~4L/min。

训练患者呼吸，使患者学会屏气时胸壁保持静止及领会屏气指令，达到扫描时完全屏住呼吸及保持心率稳定。

### (二) 对比剂的使用

如何获得冠状动脉血管管腔内外较高的对比度，是冠状动脉成像的另一个关键问题。通常使用如下技术可得到好的密度分辨率。①使用碘含量最高的对比剂，如碘浓度为 370mg/ml 的非离子型碘剂；②通过测定升主动脉根部的时间-密度曲线最高值，推测出对比剂到达冠状动脉的峰值时间；③高速注射对比剂后以相同速度注射生理盐水，通常流率为 4~5ml/s，以保障对比剂团的形态以及在冠状动脉及其分支中对比剂峰值的浓度；④较长的持续时间，一般此时间不短于总扫描时间，以保持末端细小血管对比剂高峰值的持续。

### (三) 心电门控技术的应用

MDCT 的心脏扫描大约在 10 个心动周期内完成，随着探测器宽度的增加，管球旋转速度的提高，对心脏扫描所需时间越少，相应所需要的心动周期就越少，对心率的要求会有所下降（但无论如何，心率慢的图像较心率快的图像质量要好）。以单焦点 64 层 MDCT 机为例，Z 轴方向上探测器宽度 40mm，在扫描心脏的过程中，用最薄层厚扫描，床移动 40mm 的距离大约要 5s。当心率为 60/min 时，心脏冲动 5 次，只要门控周期拆分得足够细，足以显示各个时相的冠状动脉血管显影。MDCT 进行冠状动脉成像采用后门控技术。目前，电子束 CT 的轴扫描使用前门控技术。前门控技术最大的优点是可以大大降低辐射剂量。

### (四) 心脏专用重组算法的特点

根据回顾性心电门控技术，将不同的心动周期和不同排、不同列的探测器上所采集到的同一心电相位、同一解剖空间点的不同角度的 CT 扫描原始数据进行插法修正、重组图像。以美国通用电气公司(GE)的 MDCT 为例，心脏图像重组算法主要有以下几种。①单扇区图像重组算法，利用回顾性心电门控技术，对 CT 扫描获得的原始数据采用内插法(interpolation)进行修正，然后采用半重组技术进行图像重组，时间分辨率为 250ms，可获得较好的冠状动脉图像；②双扇区和多扇区

图像重组算法,利用回顾性心电门控技术和最优化时间取样原理,实现了从不同的心动周期和不同排列的探测器上采集同一心电相位不同角度的CT扫描原始数据,其时间分辨率分别为125ms和62.5ms。

### (五)冠状动脉图像重组的后处理技术

应用于冠状动脉CT血管成像的后处理技术包括多平面重组(multiplanar reconstruction, MPR)、表面遮盖显示(surface shadow display, SSD)、容积重组(volume rendering, VR)等。

在冠状动脉MPR重组技术中,最常用的是曲面重组技术。曲面重组技术不需要手工切除影响冠状动脉显示的结构,能展现走行迂曲的冠状动脉全貌,而且图像的可信度较高,但对其结果的解释与操作者的技术以及对冠状动脉解剖的了解有很大的关系。其他的MPR重组技术也是冠状动脉成像中有用的辅助技术,但其制作过程需要大量的编辑工作,而且对操作者综合素质要求较高,能鉴别并剔除各种伪影的影响,从而作出最后正确的诊断。VR及SSD技术能鲜明展现冠状动脉的概貌,在反映血管起源、走向与变异中较直观,因而易于被接受,但对狭窄性病变评估的实用价值低。

### (六)图像质量的影响因素

1. 心律失常 当前的冠状动脉CT成像,采用多扇区算法的最高时间分辨率为62.5ms。临床经验提示当心率超过80/min时,图像质量仍然会受到严重影响。心律不齐更加影响数据采集空间的一致性,导致重组时出现错位。

2. 重组相位窗的选择 我们采用GE 64层MDCT在冠状动脉重组相位窗的选择上发现,冠状动脉大部分在70%~80%的相位窗上显示较好,但右冠状动脉也有小部分在40%~50%的相位窗上显示最佳。理论上冠状动脉在舒张中后期的运动幅度较弱,图像质量受运动影响最低,成像最佳,但实际工作中并不完全符合。

3. 重组算法的选择 对心率慢而心律又稳定的患者,分段重组算法较好。随着心率的上升,就需要双扇区、多扇区重组算法,因为它们时间分辨率有所增高。

4. 对比剂浓度 对比剂浓度过低造成密度分辨率下降,主要是由于心功能不全或扫描延迟时间设置不当所致。

5. 冠状动脉钙化斑 不影响图像质量,但可影响冠状动脉管腔宽度的分析和定量评价。

### (七)MDCT的扫描操作步骤

1. 先扫描胸部正侧位定位片 根据正侧位胸片,确定主动脉根部位置,便于测定对比剂到达时间。另外,根据正侧位胸片观察心脏大小和范围,确定扫描视野大小和范围。

2. 小剂量对比剂团状注射测试对比剂到达时间决定最佳延迟时间 碘浓度为370mg/ml的非离子对比剂20ml以4~5ml/s流率经肘静脉注入,延迟10s后在主动脉根部层面连续同层动态扫描20~30层,利用计算机自动算出时间-密度曲线,找到达到峰值时间,计算最佳扫描起始时间。

3. 冠状动脉MDCTA扫描 扫描范围自气管隆突水平至心脏左膈面下2cm。如果是冠状动脉搭桥术后,需要向上扩展达到胸锁关节水平。利用回顾性心电门控、螺旋方式采集冠状动脉容积数据,

使用机型能用到的最薄层厚及最小螺距。碘浓度为 370mg/ml 的非离子型对比剂以流率 4~5ml/s 注入,总量依据扫描时间及延迟时间综合考虑。16 层 CT 约 120ml,64 层 CT 约 70ml。对比剂注射完后随即 4~5ml/s 流率注射生理盐水 40ml。

4. 把 CT 容积数据输入工作站进行图像重组与数据评估

(黄美萍 梁长虹)

## 第二节 正常冠状动脉解剖及 CTA 表现

### 一、正常冠状动脉解剖

冠状动脉是心脏的营养血管,分为左右两大支,分别发自主动脉根部的 Valsava 窦。冠状动脉主干分布在心包脏层表面,走行于房室沟及冠状沟内,沿途发出分支至心包脏层下,分支深入肌层,呈放射状分布。

#### (一)左冠状动脉

左冠状动脉起自左冠状窦,横向走行在左心耳和肺动脉主干之间,于前室间沟处分成前降支及左回旋支。左主干长 0.1~3cm。左主干极短时,左前降支和左回旋支分别由左冠状窦发出。左前降支为左冠状动脉的延续,走行于前室间沟,下行至心尖,并绕过心尖至膈面。有时,前降支向左或右发出副前降支与主干伴行。左前降支主要分支有对角支和前间隔支,对角支 3~5 支不等,主要向左室前侧壁供血。如果第 1 对角支直接开口于左主干位于前降支和左回旋支之间,则为三开口解剖变异,常称中间支。前间隔支 6~10 支不等,向室间隔前上 2/3 部分供血。偶见左圆锥支发自前降支近心段,与右圆锥支吻合成环,是常见的侧支循环。左回旋支几乎直角发自左主干,行走于左侧冠状沟内,终止于左心室膈面,向左心室侧后壁供血。主要分支有钝缘支,2~4 支不等。另发出左房支向左房壁供血。在左优势型冠状动脉中,左回旋支发出后降支和房室结支,向右室和右房后面供血。

#### (二)右冠状动脉

右冠状动脉起自右冠状窦,走行在右房室沟内,绕过心下缘转向膈面的房室沟内,至房室交点处或越过后室间沟到达左房室沟,终末分出左室后支和左房支。右冠状动脉主要分支有锐缘支、后降支和左室后支。锐缘支 2~4 支不等,主要向右室膈面供血。后降支于房室交界处发出,沿后室间沟下行至心尖,途中发出数条后间隔支,向室间隔下 1/3 部分供血,有时可见两条后降支。左室后支向左室后壁供血。圆锥支发自右冠状动脉近段,向右室圆锥部供血。窦房结支发自右冠状动脉近心端,供应窦房结,有 40% 发自左回旋支。房室结支发自右冠状动脉远段后降支开口处,向房间隔、房室结和希氏束供血。



### (三) 冠状动脉分布类型

左、右冠状动脉终末分支在膈面的分布范围变异较大。分3种类型:右优势型、左优势型及均衡型。右优势型即后降支发自右冠状动脉,供应全部膈面。左优势型即后降支发自左回旋支,供应右心室膈面的一部分。均衡型即两侧心室膈面由本侧冠状动脉供应。据国内解剖学资料,上述类型分别占65.9%、5.6%及28.5%。

## 二、冠状动脉CTA 检查正常表现

正常的冠状动脉走向自然、柔顺,轮廓光滑整齐,均匀分布在心脏表面。从近端到远端逐渐变细并沿途分支。其心室支较心房支粗,且走行较直,左室支较右室支粗。在老年人或心肌萎缩者,冠状动脉可表现为轻到中度的蛇形扭曲。

目前64层螺旋CT可显示正常冠状动脉至4~5级分支水平。87.2%的冠状动脉节段无运动性伪影,充盈良好。94%的病例可对10个或更多节段的血管作出评价。

### (一) 左冠状动脉及其分支正常表现

左冠状动脉主干(LM) 开口于升主动脉左冠状窦中、上部,左主干的长度从几毫米到3~4厘米不等,没有分支。有时左主干极短,以致形成降支和回旋支双开口于左冠状窦(图16-1)。

1. 左前降支(LAD) 为左主干的延续,沿前室间沟下行抵达心尖部,有时绕过心尖而终止于后室间沟。左前降支动脉的两个主要分支是室间隔支和对角支。前降支为供应前壁心肌的重要血管。

2. 对角支(diagonal, D) 走行于左心室表面,因其走行于相互垂直的左前降支和左回旋支之间而得名。对角支从前降支斜行发生,一般1~3支,供应左心室前侧壁心肌。有时对角支从前降支

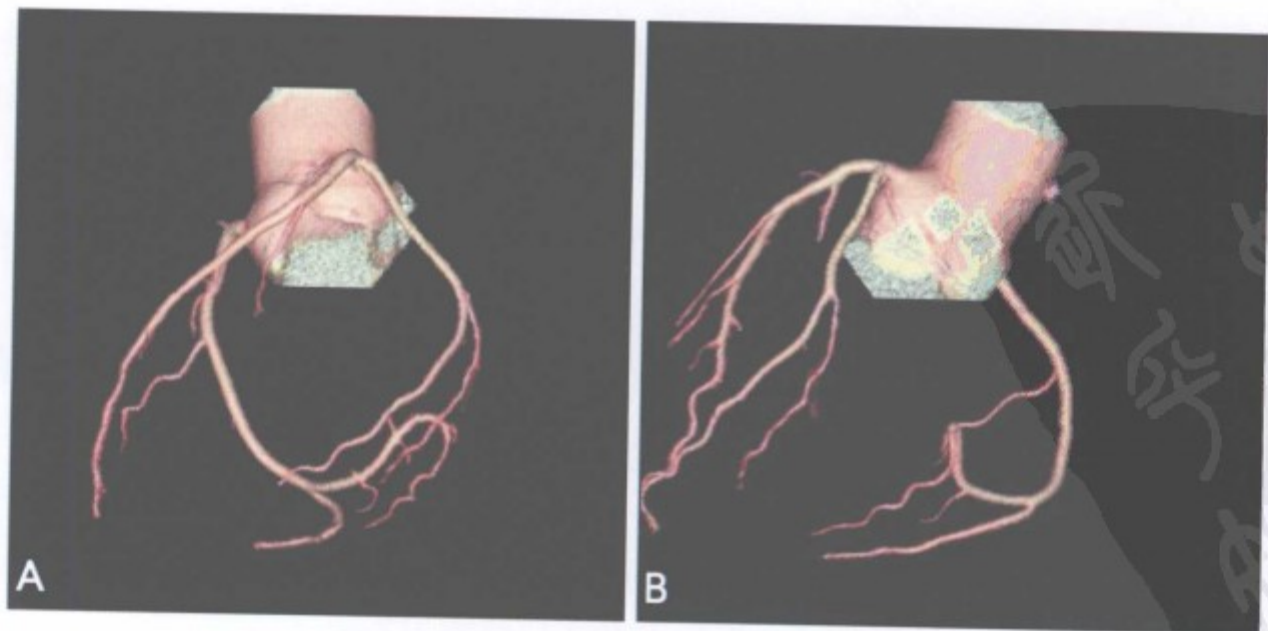


图16-1 正常左侧冠状动脉

及回旋支之间由左主干直接发出,称为中间支。

3. 室间隔支(septal, S) 由左前降支垂直发出,进入室间隔后供血于室间隔前 2/3 心肌。

4. 左回旋支(LCX) 左回旋支从左主干呈直角发出,走行于左房室沟内,在到达左室钝角缘时开始分支,发出边缘支供应左室侧壁及部分下、后壁心肌。

5. 钝缘支(OM) 由左回旋支发出的边缘支中走行于心脏左缘最粗大的一支。

6. 左房支(LACX) 自 LCX 近侧端发出,供应左心房心肌。

7. 房室沟支(AVG) 为回旋支的延续,走行于左房室沟。

## (二)右冠状动脉及其分支正常表现

右冠状动脉主干直径为3~5mm,沿途直径无明显改变,直至发出锐缘支后才开始逐渐变细。呈“C”形或“L”形走行于右房室沟,终末分出左室后支和左房支(图 16-2)。

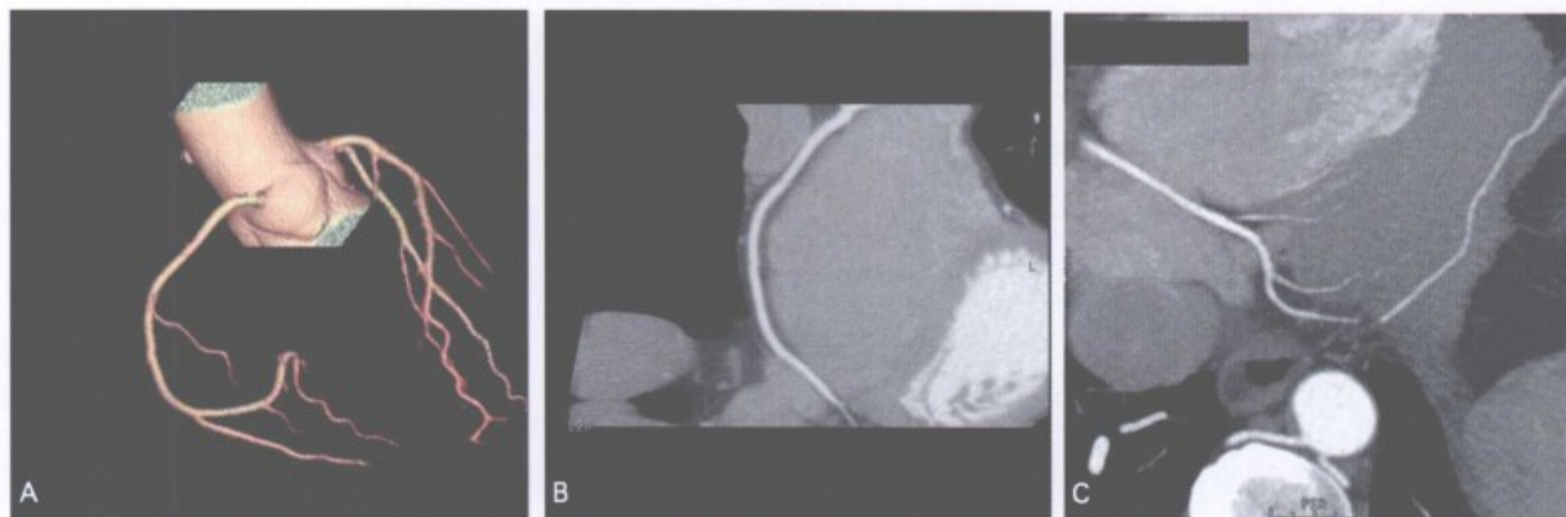


图 16-2 正常右侧冠状动脉

1. 圆锥支(conus branch, CB) 为右冠状动脉的第一个分支,它发出后向上、向前走行,绕过肺动脉圆锥部。病理情况下可与前降支相交通形成 Vieussen's 环。有时圆锥动脉可独立开口于右冠状窦内。

2. 窦房结支(sinus node, SN) 为右冠状动脉的第二个分支,它发出后向上向后走行在右心房的表面,然后分为上下两支向窦房结供血。

3. 右室支(right ventricular, RV) 从右冠状动脉发出后,向心尖方向走行,供应右心室壁血液。它分为锐缘支、右室前支及右室后支。

4. 后降支(posterior descending, PD) 走行于后室间沟并发出后室间隔支,供应左室膈面心肌及室间隔后 1/3。在少数左优势型分布者,后降支由左回旋支发出。

5. 左室后侧支(posterolateral, PL) 走行于左室后侧壁。

6. 房室结支(A-V node, AVN) 在右冠状动脉远端“U”形转折之顶部发出,供应房室结血液。

MDCT评价冠状动脉时,通常根据美国心脏学会的冠状动脉分段方法对冠状动脉进行分段。右冠状动脉(RCA)分近段(RCA<sub>1</sub>,右冠状动脉开口到第一右室支动脉)、中段(RCA<sub>2</sub>,第一右室支动脉到锐缘支动脉)、远段(RCA<sub>3</sub>,自锐缘支到后室间沟);左前降支(LAD)分近段(LAD<sub>1</sub>,左主干末到第一对角支发出处)、中段(LAD<sub>2</sub>,第一对角支发出处到前降支动脉转角处)、远段(LAD<sub>3</sub>,前降支转角以下的部分);回旋支(LCX)分近段(LCX<sub>1</sub>,从开口到第一钝缘支发出处)、远段(LCX<sub>2</sub>,第一钝缘支发出处到回旋支动脉终末)。冠状动脉1级分支为LM和RCA<sub>1</sub>;2级分支为LCX<sub>1</sub>、LAD<sub>1</sub>、RCA<sub>2</sub>和RV;3级分支为OM<sub>1</sub>、LCX<sub>2</sub>、D<sub>1</sub>、LAD<sub>2</sub>和RCA<sub>3</sub>;4级分支为D<sub>2</sub>、OM<sub>1</sub>和D<sub>1</sub>的分支,D<sub>2</sub>分支以远的LAD<sub>2</sub>、LAD<sub>3</sub>、PL、AVN。

(黄美萍 梁长虹 崔燕海)

## 第三节 临床应用

### 一、冠状动脉狭窄评价

冠状动脉狭窄程度的定量评价有助于冠心病治疗方案的制定。文献报道,1995年欧洲约有100万例患者行插管法冠状动脉造影,其中28%患者行介入治疗[冠状动脉球囊成形术和(或)支架置入术],而冠状动脉正常或其病变不适于介入治疗的患者占72%。因此,采用一种安全、可靠和无创的影像学方法对冠状动脉狭窄程度的定量评价和介入治疗的筛选非常重要。随着64层MDCT进入临床,CT冠状动脉成像作为无创影像学方法已广泛用于临床。

#### (一)冠状动脉狭窄程度的表示和判断

冠状动脉狭窄程度可用狭窄直径减少的百分数或狭窄面积减少的百分数来表示。现国际上统一采用直径法表示,即以紧邻狭窄段近端和远端的“正常”血管段内径为100%,狭窄段直径减少1/4称为25%狭窄,直径减少1/2称为50%狭窄,减少3/4称为75%狭窄,减少9/10称为90%狭窄,完全闭塞即100%狭窄。狭窄直径减少50%相当于面积减少75%,直径减少75%相当于面积减少95%,直径减少90%相当于面积减少99%。

一般认为冠状动脉狭窄程度大于50%时才有临床意义。根据狭窄程度与血流阻力之间的影响关系,特别是对基础血流的影响程度,将冠状动脉从正常到完全阻塞分为6级。0级:冠状动脉正常;Ⅰ级:冠状动脉轻度不规则,尚无局限性狭窄;Ⅱ级:有局限性狭窄,程度<50%,无血流异常改变;Ⅲ级:狭窄程度为75%左右,可明显影响冠状动脉的最大血流量,无侧支循环形成;Ⅳ级:较严重冠状动脉狭窄,或呈不完全性闭塞,狭窄远端尚有流量显著减少、流速缓慢的血流,有侧支循环形成;Ⅴ级:完全性闭塞,狭窄的远段仅为侧支循环供应的逆向性充盈。在临床实际应用中,习惯将冠状动脉狭窄按其管径减少程度分为:①正常或轻度狭窄(<50%);②中度狭窄(50%≤狭窄程度<75%);③高度狭窄(≥75%)或完全闭塞。

冠状动脉狭窄或闭塞按左冠状动脉主干、前降支及回旋支与右冠状动脉的受累情况可分为左主

干病变、单支病变、双支病变及三支病变。

### (二)冠状动脉狭窄程度判断的准确性

国内外研究已表明,MDCT对冠状动脉狭窄程度的显示具有较高的准确性。王照谦等采用16层螺旋CT对55例患者的冠状动脉568节段(直径 $\geq 2\text{mm}$ )进行了评价,结果显示,MDCT图像能够满足管腔评价为492节段(占86.6%);通过与插管法造影对照显示,MDCT图像能够显示冠状动脉节段中度和中度以上狭窄( $\geq 50\%$ )的敏感度和特异度分别为87.5%和97.2%,阳性和阴性预测值分别为82.4%和98.1%;16层螺旋CT显示高度狭窄( $\geq 75\%$ )的敏感度和特异度分别为91.6%和98.7%,阳性和阴性预测值分别为84.6%和99.3%。Raff等对70例患者行64层螺旋CT冠状动脉成像与冠状动脉造影对照研究,冠状动脉狭窄以 $>50\%$ 为有临床意义的狭窄,按每个节段、每条血管及每个患者为基准分别判断。结果显示,1 065节段中可对935(88%)个进行评价,其中773个节段可同时在MDCT及冠状动脉造影图上做狭窄的量化分析。MDCT诊断冠状动脉狭窄的特异度、敏感度、阳性预测值、阴性预测值按节段( $n=935$ )分别为86%、95%、66%、98%;按血管( $n=279$ )分别为91%、92%、80%、97%;按患者( $n=70$ )分别为95%、90%、93%、93%(图16-3,图16-4)。

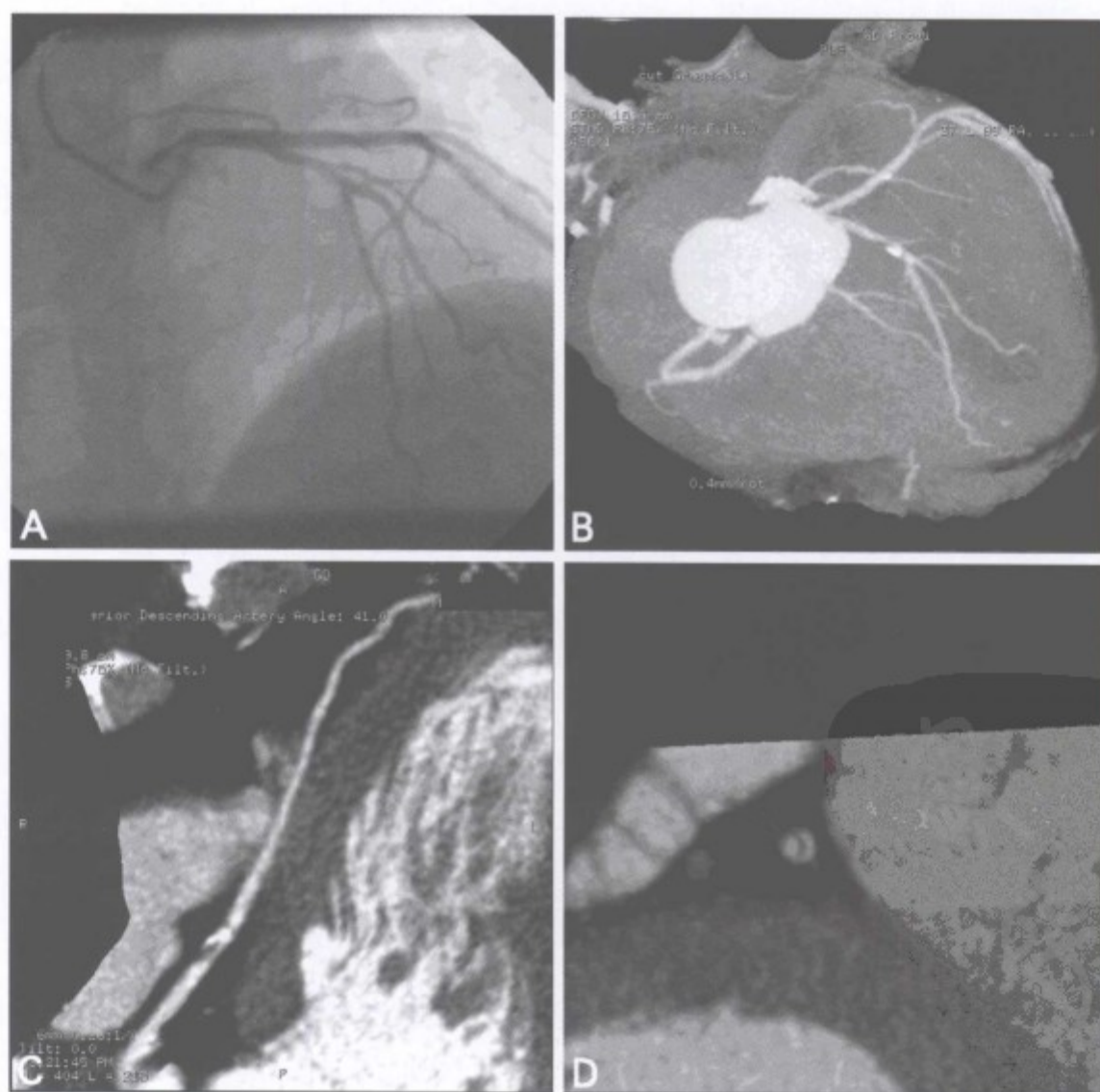


图16-3 左前降支近段重度狭窄

冠状动脉造影(A)显示左前降支近段重度狭窄,CTA的MIP重组图(B)、曲面重组图(C)、狭窄段垂直断面图(D)均显示狭窄,还显示出高密度钙化灶及低密度无钙化斑块

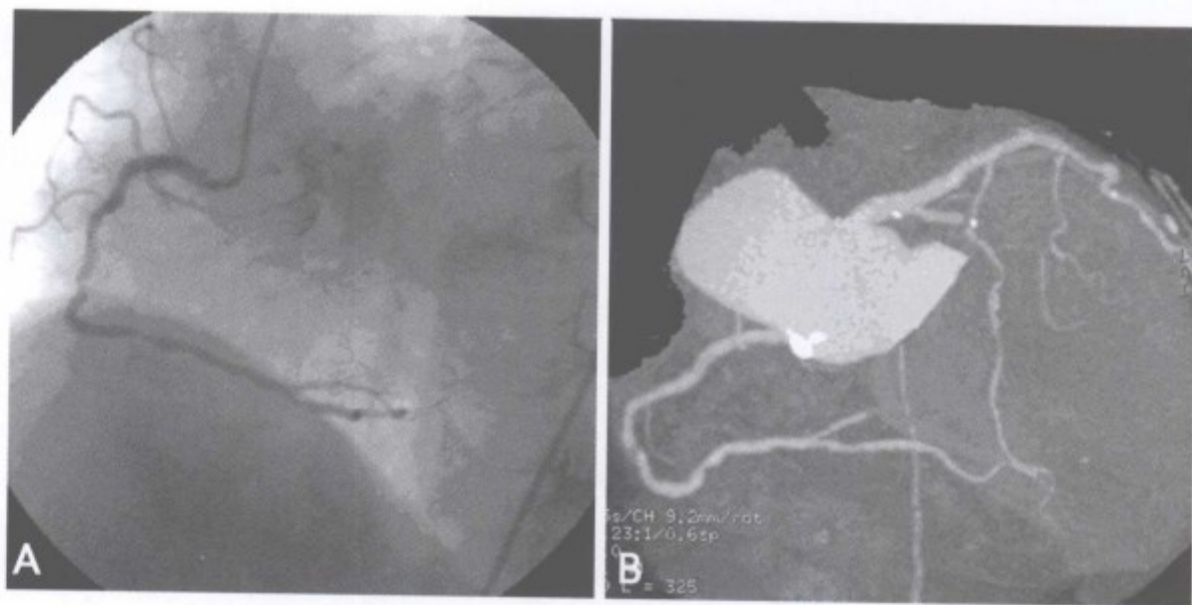


图 16-4 右侧冠状动脉多发狭窄

冠状动脉造影图(A)显示右侧冠状动脉多处不规则狭窄,CT的MIP重组图(B)同样显示多处不规则狭窄

冠状动脉运动、钙化或心律失常是影响冠状动脉管腔CT评价效果的主要因素。冠状动脉运动所致的CT图像质量下降有时不可避免。适当控制受检者的心率并将图像重组的相位窗置于心动周期内冠状动脉运动相对较弱的时相(如心室舒张中期),将有助于减轻冠状动脉运动对CT图像质量的影响。研究表明,右冠状动脉中远段、左回旋支远段和钝缘支的运动对其管腔CT评价的影响较明显,表现为血管边缘模糊或有明显的运动伪影。由于冠状动脉远段或分支血管的管径相对细小,心脏冲动导致血管边缘模糊,对其管腔的评价有一定困难。冠状动脉钙化增加了其管腔CT评价的难度。冠状动脉钙化越重,其管腔狭窄程度的CT评价越困难,甚至导致冠状动脉CT图像不能满足管腔的评价(图16-5)。心律不齐或期前收缩等心律失常导致冠状动脉在CT数据采集过程中的位置不一致,血管呈锯齿样或阶梯样表现,影响冠状动脉管腔的评价。室性期前收缩可导致心电门控失效,使冠状动脉的CT图像不能满足影像学评价。

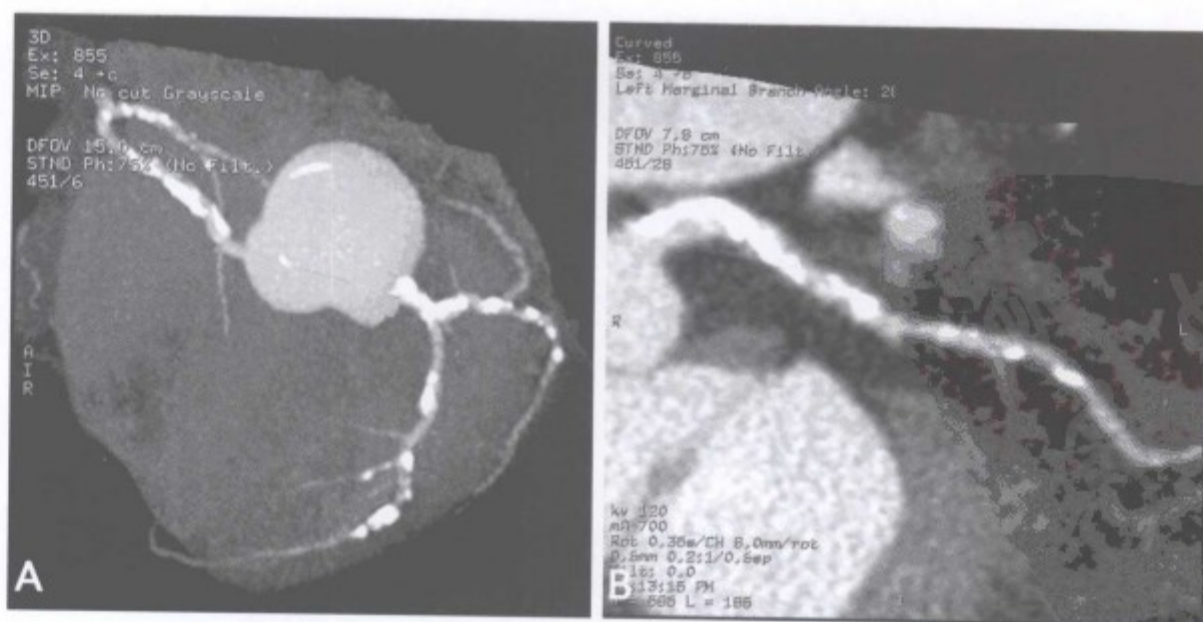


图 16-5 冠状动脉严重钙化

冠状动脉CTA图像显示左、右冠状动脉广泛钙化,钙化呈高密度影像,局部管腔的宽度难以判断

在CT图像能够满足冠状动脉管腔评价的情况下,16层或以上层数的螺旋CT显示有临床意义的冠状动脉狭窄( $\geq 50\%$ )的准确性很高,而且对冠状动脉中、高度狭窄的阴性预测值很高,有助于避免冠状动脉正常或不需介入治疗(指无临床意义的冠状动脉狭窄)的患者做有创的插管法造影检查,基本能够满足冠状动脉狭窄介入治疗的筛选需要。因此,在冠状动脉中、高度狭窄的初步诊断以及介入治疗的筛选方面,16层或以上层数的螺旋CT可以大部分取代传统的冠状动脉造影。

## 二、冠状动脉粥样硬化斑块性质的评价

在冠心病的发生、发展和转归过程中,明确冠状动脉斑块的性质较其导致的管腔狭窄程度更具意义。冠状动脉不稳定斑块破裂并诱发血栓形成是发生急性冠状动脉综合征(急性心肌梗死、不稳定型心绞痛和心源性猝死)的关键机制,这也是导致冠心病患者死亡的主要原因。正确评估冠状动脉斑块的性质可指导冠心病的危险分级和临床治疗。

冠状动脉斑块的典型结构为覆盖着胶原纤维帽的细胞外脂核,斑块的性质主要取决于斑块内脂核的大小和成分、纤维帽的厚度及有无炎症反应等。鉴于大多数冠状动脉不稳定斑块在破裂前所造成的管腔狭窄仅为轻至中度,冠心病的二级预防也应由单纯治疗冠状动脉狭窄转为对不稳定斑块的研究,包括及时识别高危患者的“罪犯”病变,即不稳定易损性斑块,预防“冠心病”事件的发生。

MDCT用于冠状动脉粥样硬化斑块评价的研究报道不多。国内外有学者采用MDCT检测冠状动脉斑块,并与血管内超声或尸检对照,初步的研究结果显示,前者对斑块的检出以及斑块类型的评价具有一定的临床应用价值。MDCT具有较高的空间分辨率,可以显示冠状动脉主干及其主要分支血管近段的粥样硬化斑块,并且根据斑块的密度可大致判断斑块的类型(例如,软斑块、中间斑块和硬斑块),能可靠地鉴别钙化与非钙化性斑块,不能进一步区分非钙化性斑块成分(纤维、脂质),因此基于脂核大小判断斑块稳定性仍然不可靠(即使消除了运动伪影),对斑块组织结构的细微观察如纤维帽厚度等仍有限度。

## 三、冠状动脉支架的评价

目前,在经皮冠状动脉球囊成形术的基础上行支架置入术是临床较常采用的冠心病治疗方法,但部分患者的冠状动脉支架可出现再狭窄,其主要原因是血管壁受损后内膜的过度增生。以往主要采用插管法造影对冠状动脉支架进行评价,近年来采用无创影像学方法对冠状动脉支架进行评价受到广泛重视(图16-6,图16-7)。

迄今为止,MDCT用于冠状动脉支架评价的文献报道不多。研究表明,MDCT通过多种图像后处理技术能够较好地显示冠状动脉支架的位置和形态结构,可评价支架有无明显变形。另外,在冠状动脉介入治疗术后,支架两端的血管发生狭窄较常见,MDCT对其显示和定量评价极具价值。

目前,临床上采用的冠状动脉支架基本是由金属(合金)丝编织而成,少数支架在CT图像上可产生伪影。MDCT能可靠地鉴别支架开通与支架闭塞。64层螺旋CT评价冠状动脉支架内再狭窄优于16层螺旋CT,但对某些类型的支架仍无法评价。当支架部位的血管壁有广泛和(或)严重钙

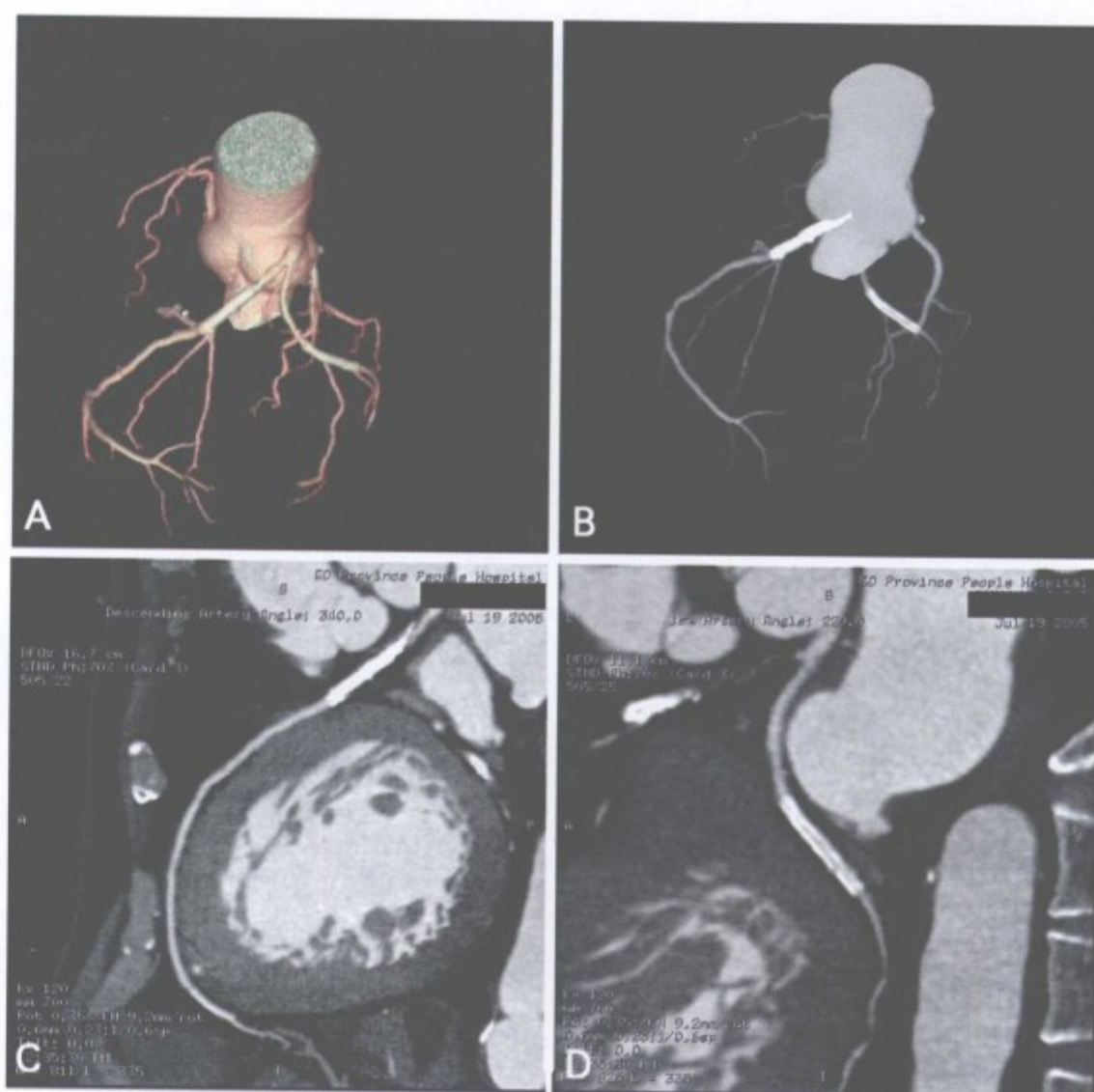


图 16-6 左前降支及回旋支支架开通

VR 重组图(A)及 MIP 重组图(B)显示支架外形正常;曲面重组图(C、D)显示支架腔内充盈对比剂,证明管腔通畅

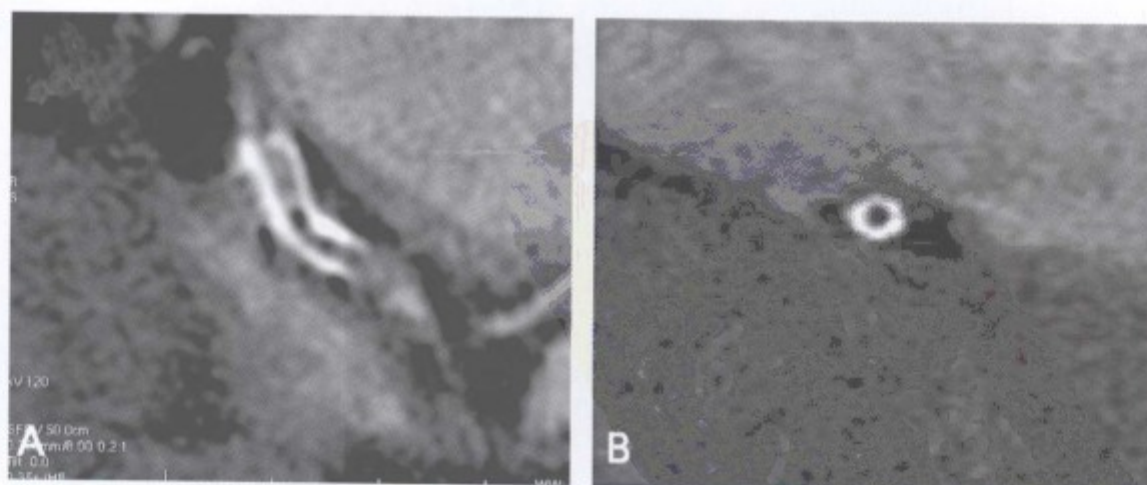


图 16-7 右冠状动脉支架闭塞

MIP 重组图(A)及垂直断面图(B)均显示支架内无对比剂充盈,表示管腔闭塞

化时,对支架形态、结构的 CT 评价有一定影响。一般可根据支架是否变形、支架腔内及支架远侧血管内的对比剂充盈状况等做综合分析,也许对支架管腔的评估有一定帮助。

#### 四、冠状动脉桥血管的评价

近年,冠状动脉旁路术作为冠心病的治疗方法之一得以广泛开展,所采用的桥血管通常为内乳动脉、大隐静脉或桡动脉等,桥血管在术后可发生闭塞,桥血管包括吻合口也可发生狭窄(图16-8,图16-9)。对某一患者而言,使用的桥血管可为单纯动脉、单纯静脉或动静脉合用。静脉桥的管腔闭塞率较高。近年,冠状动脉旁路术多倾向于使用动脉桥,但动脉桥的资源有限。

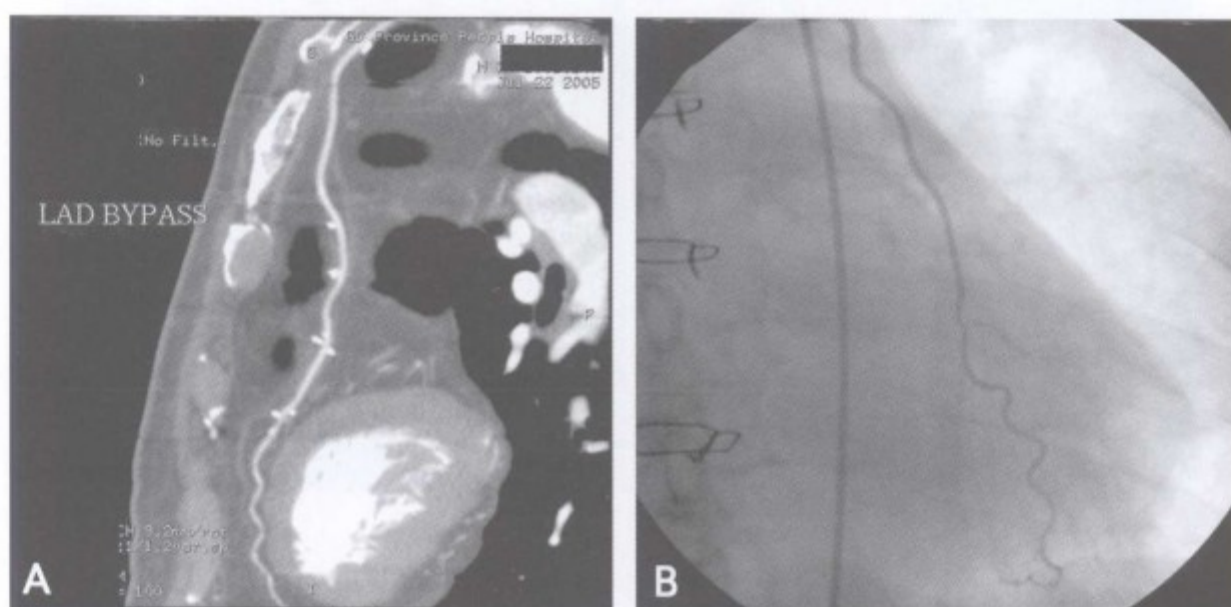


图 16-8 左前降支内乳动脉桥通畅

冠状动脉 CTA 曲面重组图(A)及冠状动脉造影图(B)均显示桥血管通畅,吻合口无狭窄

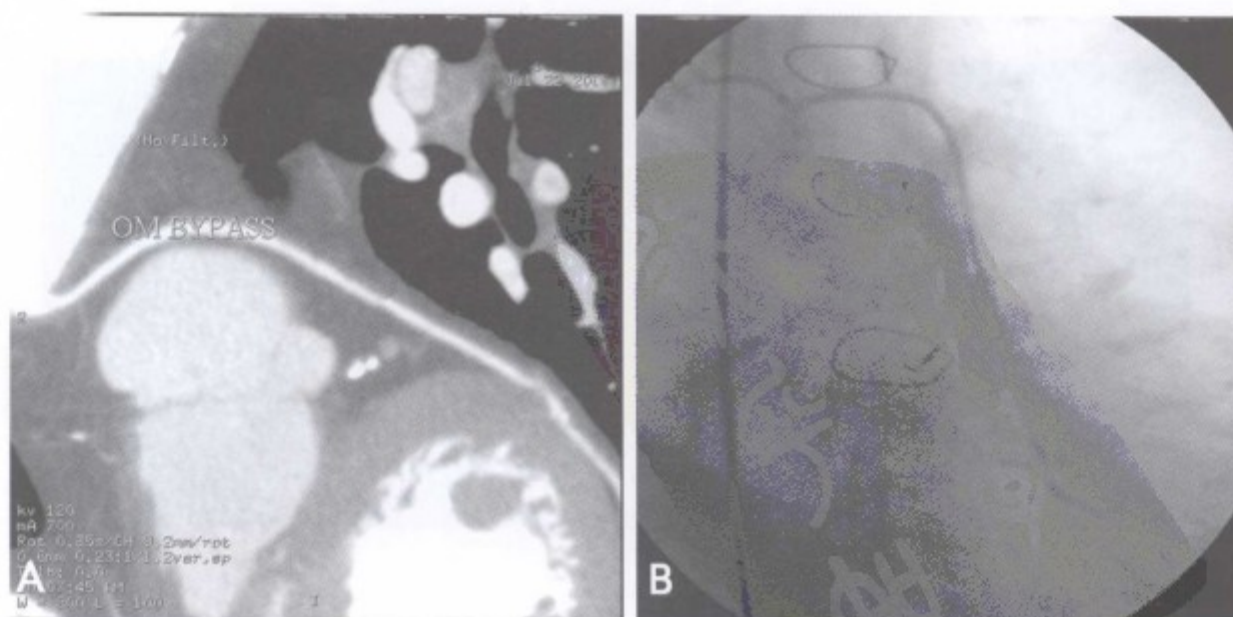


图 16-9 左旋支静脉桥通畅

冠状动脉 CTA 曲面重组图(A)及冠状动脉造影图(B)均显示桥血管通畅,但吻合口狭窄



MDCT能直观和整体显示桥血管及其连接关系。当CT显示桥血管全程(包括两端吻合口)血管腔的密度与同层面的升主动脉基本一致时,提示桥血管开通。MDCT能可靠地诊断桥血管开通,其敏感度和特异度分别为98%和99%,MDCT对桥血管腔(包括吻合口)的评价优良,对桥血管重度狭窄的诊断敏感度和特异度分别为75%和92%。与自体冠状动脉相比,桥血管受心脏冲动的影晌相对较小,MDCT对桥血管的显示一般优于与其相连接的自体冠状动脉。但部分冠状动脉旁路术所采用的金属夹(内乳动脉与冠状动脉旁路手术时较多采用)可产生伪影,对桥血管的形态学评价有一定影响。有研究显示,MDCT可取代冠状动脉造影评价桥血管。

## 五、冠状动脉变异和畸形的评价

冠状动脉可有变异和畸形,临床上并不少见。多数患者无症状和体征,常在冠状动脉影像学检查时被偶然发现。多数(占81%)冠状动脉畸形属于良性,对心肌供血无明显影响,多为冠状动脉在主动脉上的起源位置异常(图16-10,图16-11),如左前降支与左回旋支单独开口于左冠状窦、左回旋支起源于右冠状窦或右冠状动脉等。少数冠状动脉畸形(图16-12),如冠状动脉异位起源于肺动脉,冠状动脉异位起源于对侧冠状窦、单一冠状动脉、冠状动脉瘘等,影响心肌供血。

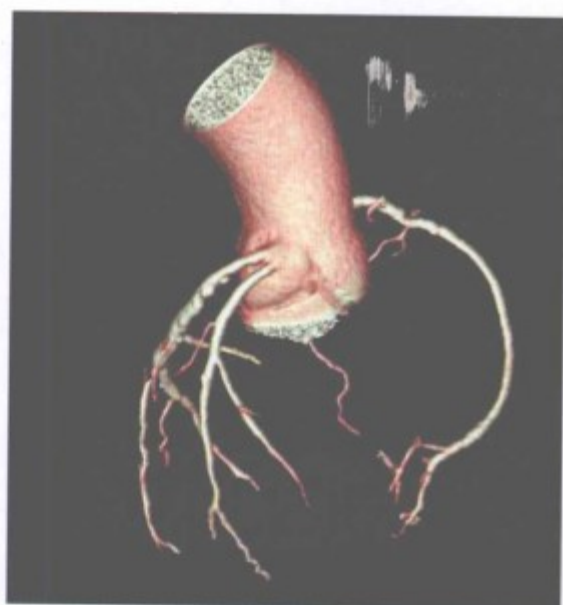


图16-10 左前降支与左回旋支单独开口于左冠状窦

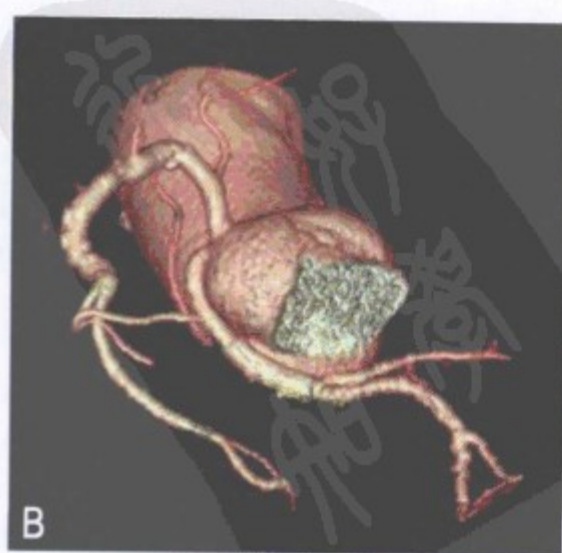
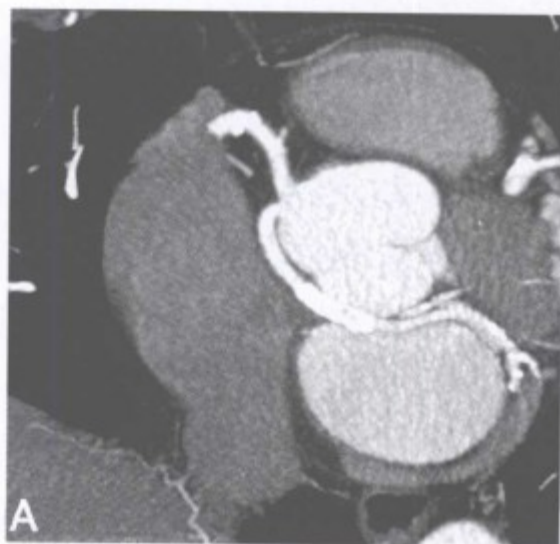


图16-11 左回旋支起源于右冠状窦

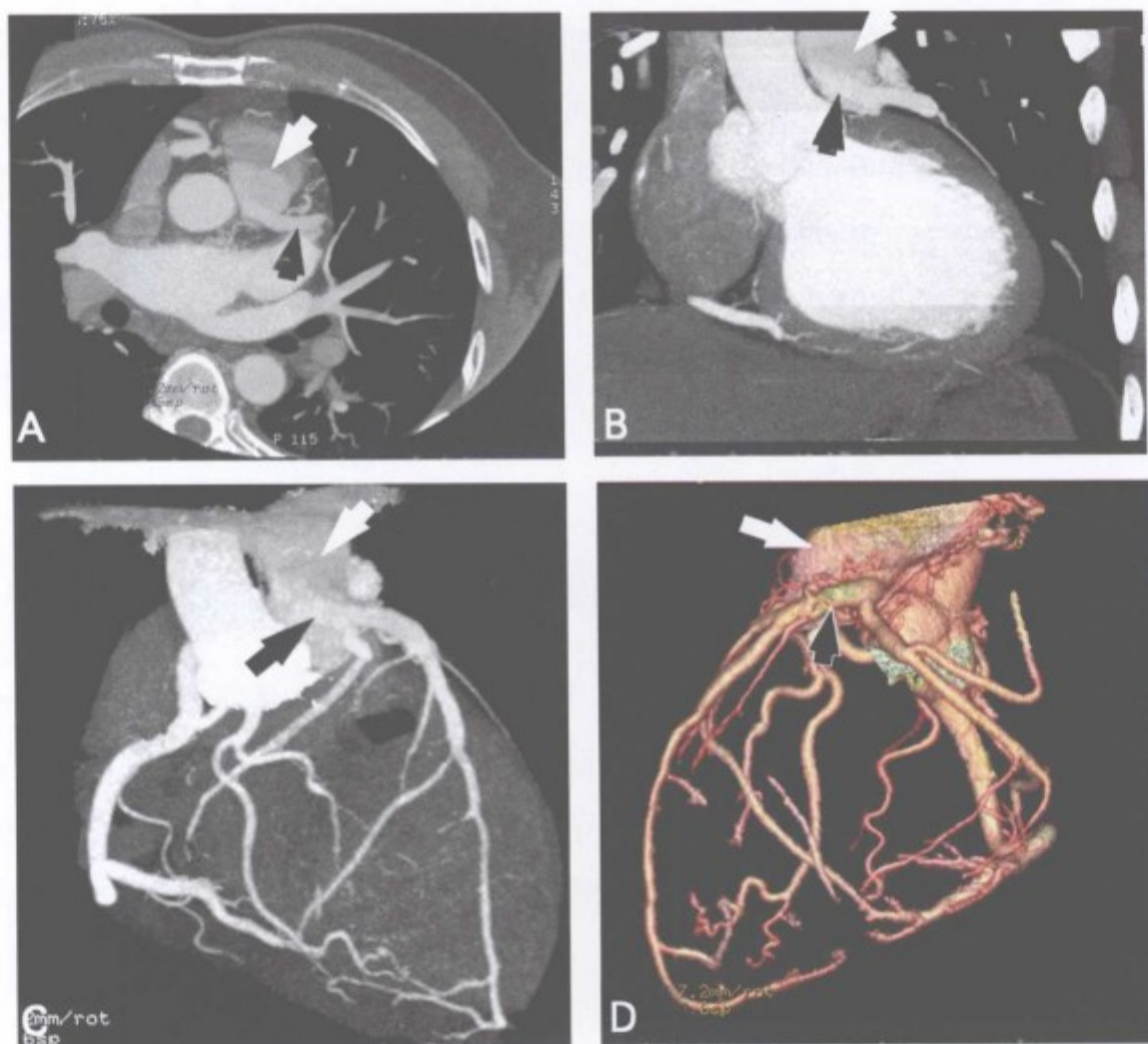


图 16-12 左侧冠状动脉 (黑箭头) 异位起源于肺动脉 (白箭头)

插管法造影用于本病诊断已有文献报道,但冠状动脉起源异常可给插管法造影的操作带来困难,且在少数患者,由于导管未能插入异常起源的冠状动脉而可能被误认为该支冠状动脉缺如。另外,插管法造影对异常起源的冠状动脉与心脏各房室结构关系的显示不理想。

16层或以上层数螺旋CT对冠状动脉畸形和变异的诊断具有优良价值,可直观显示异常起源的冠状动脉与主动脉的连接关系及与心脏各房室结构的关系,对其管腔评价也有优良价值。

冠状动脉主干及其主要分支血管近段多行走于心包脏层下脂肪组织内或心包脏层的深面。有时浅层心肌覆盖了上述某一血管段,该部分心肌称为心肌桥,多为心室心肌。被心肌覆盖的血管段称为壁冠状动脉,多见于左前降支,也可见于左回旋支或其他主要分支。文献报道,心肌桥可导致心肌缺血(心电图改变和心绞痛)、心肌梗死甚或猝死。

MDCT对壁冠状动脉的诊断具有一定的临床应用价值,其直接CT征象是上述血管段被不同厚度和范围的心肌组织覆盖,与该血管段两端走行正常的血管相比,壁冠状动脉的边缘有时模糊,偶尔可见血管偏细,上述CT征象在心脏原始横断面CT图像以及二维或三维重组图像上可以显示(图16-13)。对于心肌桥较厚的患者,CT能较好地显示壁冠状动脉与心肌桥的关系,有助于壁冠状动脉长度和心肌桥厚度的评价。对于心肌桥很薄的患者,CT对壁冠状动脉诊断也许有一定困难。目前,由于受到时间分辨率的限制,MDCT在心室收缩期获取的冠状动脉CT图像大多不能满足影像学评价,所以,其评价心室收缩期壁冠状动脉的狭窄程度不很理想。



图16-13 左前降支中段心肌桥(箭头)

## 六、冠状动脉夹层

冠状动脉血管壁夹层形成,可由血管本身病变所致,但临床上更常见的是导管或导丝刺破动脉内膜,造成内膜撕裂所致。动脉壁夹层在MDCT图像上表现为血管腔内有纵行的透亮带,夹层将血管腔分成两部分,即真腔和假腔。

## 七、心肌灌注评价

有研究在MDCT冠状动脉成像的同时,评价心肌血流灌注情况。Gerber等利用冠状动脉成像图像及对比剂注射后10min延迟扫描图像,与MR灌注及延迟扫描图像进行对照研究,结果显示,两种方法对急性和慢性心肌梗死的对比增强模式相同,预示做CT冠状动脉造影时可同时评估梗死区大小及心肌存活性。

MDCT冠状动脉成像属无创性影像学诊断技术,对冠状动脉的形态学评价很有价值,可作为冠状动脉狭窄的初步诊断和介入治疗筛选的方法,也可用于冠状动脉支架和桥血管的评价。MDCT能较好地显示心脏的形态结构,能为临床提供更多的诊断信息,但其在冠状动脉(包括支架)和桥血管血流的定量评价方面仍有限度。随着MDCT冠状动脉成像临床应用的逐年增多,其在冠状动脉病变的初步诊断和介入治疗的筛选、冠状动脉支架以及桥血管的形态学评价方面将部分取代传统的插管法造影。

(黄美萍 刘辉 梁长虹)

## 参 考 文 献

- [1] Raff GL, Gallagher MJ, O' Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46(3): 552-557
- [2] Willmann JK, Weishaupt D, Kobza R, et al. Coronary artery bypass grafts: ECG-gated multi-detector row CT angiography-influence of image reconstruction interval on graft visibility. *Radiology*, 2004, 232(2): 568-577
- [3] Morgan-Hughes GJ, Roobottom CA, Owens PE, et al. Highly accurate coronary angiography with submillimetre, 16 slice computed tomography. *Heart*, 2005, 91(3): 308-313
- [4] Nieman K, Pattynama PM, Rensing BJ, et al. Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: CT angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology*, 2003, 229(3): 749-756
- [5] Kuettner A, Beck T, Drosch T, et al. Image quality and diagnostic accuracy of non-invasive coronary imaging with 16 detector slice spiral computed tomography with 188 ms temporal resolution. *Heart*, 2005, 91(7): 938-941
- [6] Lau GT, Ridley LJ, Schieb MC, et al. Coronary artery stenoses: detection with calcium scoring, CT angiography, and both methods combined. *Radiology*, 2005, 235(2): 415-422
- [7] Cademartiri F, Schuijf JD, Mollet NR, et al. Multislice CT coronary angiography: how to do it and what is the current clinical performance? *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2005, 32(11): 1337-1347
- [8] Hacker M, Jakobs T, Matthiesen F, et al. Comparison of spiral multidetector CT angiography and myocardial perfusion imaging in the noninvasive detection of functionally relevant coronary artery lesions: first clinical experiences. *J Nucl Med*, 2005, 46(8): 1294-1300
- [9] Sato T, Anno H, Kondo T, et al. Applicability of ECG-gated multislice helical ct to patients with atrial fibrillation. *Circ J*, 2005, 69(9): 1068-1073



## 多层螺旋 CT 心脏及大血管成像

以往,心血管疾病诊断主要依靠 X 线胸片、超声和心血管造影。自 1998 年多层螺旋 CT 在临床上应用以来,软硬件发展迅速,螺旋 CT 已发展到 64 层,甚至 256 层,时间分辨率(达 83ms)及空间分辨率(0.4mm)明显提高,因此在心血管疾病诊断方面,越来越发挥其重要的作用。多层螺旋 CT 与常规 CT 比较有以下优势。①扫描速度大大提高(达到亚秒级),有效克服了心跳等造成的运动伪影的影响,使 CT 心血管成像成为可能;②空间分辨率提高,能采集到各向同性的容积数据;③球管热容量增加,扫描范围加大;④能采集到连续的数据,利于后处理重组;⑤强大的后处理功能,多种重组方法利于显示复杂的心血管结构及空间位置关系;⑥可同时评价气道、肺实质,能满足临床上有关心血管疾病各种结构异常的诊断;⑦与心电门控联用时,MDCT 可用于功能评价,包括室壁运动、心室射血分数、瓣膜运动等,以及可完成高质量的冠状动脉成像。

### 第一节 64 层螺旋 CT 心脏及大血管成像技术

针对大血管和心脏疾病患者,绝大多数情况采用非心电门控模式扫描。青少年或成人扫描时憋气,不合作患者或婴幼儿在镇静、平静呼吸状态下扫描。

扫描范围一般为胸廓入口至左膈面下 5cm。64 层螺旋 CT 扫描参数包括管电压 120kV,管电流 250mA,层厚 0.625mm,层间距 0.625mm,螺距 0.26:1。曝光时间 2~10s。针对不同机型和不同厂家的设备将有一定的差别。

针对心脏及大血管病变,螺旋 CT 均采用对比增强扫描。对比剂为非离子型对比剂(碘必乐或优维显)碘浓度为 300mg/ml,对比剂总剂量按 1.2~2ml/kg 体重计算,建议用高压注射器经足背浅静脉注入。对比剂注射流率:成人为 3.5ml/s,小儿为 0.2~2ml/s。扫描延迟时间:成人为 21~

27s, 2岁内患儿为14~16s, 2~12岁患儿为16~21s(若对比剂经头皮或手背浅静脉注射,延迟时间适当减少1~2s)。扫描方向为头足方向。

当用多层螺旋CT评价快速运动的心内或心旁结构包括升主动脉、心瓣膜、冠状动脉时,需用回顾性心电门控模式扫描。虽然多层螺旋CT能同时获得功能方面如心室壁运动、心室射血分数及心瓣膜运动等的的数据,但心电门控扫描还是存在一些不容忽视的问题,如需要的辐射剂量高;图像质量与心率密切相关(心率越快,图像质量越差);需在屏气状态下扫描。因此,对不能合作的小儿及心率快的患者,多层螺旋CT用于心功能评价仍受到限制。通常,我们不主张使用 $\beta$ 受体阻滞药降低心率进行心脏及大血管检查(不包括冠状动脉检查)。心电门控扫描可采用较快的球管旋转速度(64层螺旋CT为0.35s)。针对GE 64层螺旋CT,当心率大于70/min时,采用多扇区重组算法能进一步提高时间分辨率(最快达83ms);选用的层厚为0.625mm,层间距为0.625mm,螺距为0.2:1;球管电压为120kV,球管电流为300~500mA。为评价心脏瓣膜运动及心室功能,可对心动周期R-R间期进行多期相重组(每隔10%为一组)。

图像后处理可选用多平面重组法(MPR)、最大密度投影法(MIP)、容积再现(VR)法及表面遮盖显示法(SSD)重组。在临床应用中,我们建议首选MPR及MIP,其优势是重组简便,可旋转不同角度同时显示心内外结构。容积再现(VR)及表面遮盖法(SSD)重组虽可直观显示心外大血管畸形,但重组费时,在临床应用中可适当选用。

(黄美萍 梁长虹)

## 第二节 心脏大血管节段解剖

根据心血管解剖结构特点,CT分析时将心脏及大血管结构分成三个节段及两个连接。三个节段指心房、心室及大血管;两个连接指心房-心室连接及心室-动脉连接。

### 一、心 房

心房包括形态左、右心房。正常右心房与体静脉连接,心耳部呈三角形,心耳与固有心房连接的开口宽(图17-1)。左心房与肺静脉连接,心耳部呈手指状,心耳与固有心房连接的开口窄(图17-2)。冠状静脉及下腔静脉常进入右心房。房间隔弯曲且菲薄,在CT图像上显示欠佳。

心房与内脏的关系包括心房内脏正位、心房内脏反位及心房位置不定。心房正位指形态右心房在右侧,形态左心房在左侧。冠状面CT显示形态右心房与右侧肺支气管分支、肝脏及下腔静脉在右侧;形态左心房与左肺支气管分支、胃、脾脏、腹主动脉等在左侧;心房反位指与正常位置呈镜像关系的位置排列;心房不定位指不能确定左、右心房位置。这时,双右结构表现双侧右肺支气管分支类型、对称肝及无脾,下腔静脉及腹主动脉同侧;双左结构表现双侧左肺支气管分支类型、多脾、下腔静脉肝段离断与奇静脉、半奇静脉连接。

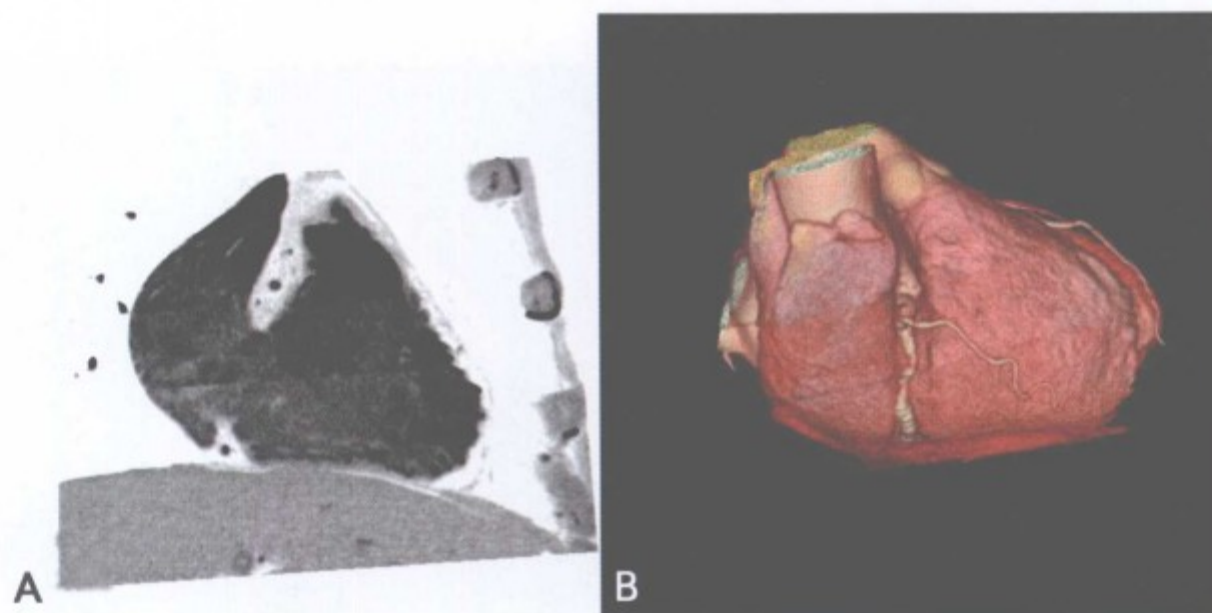


图17-1 解剖学右心房  
心耳部呈三角形,与固有心房连接的开口宽

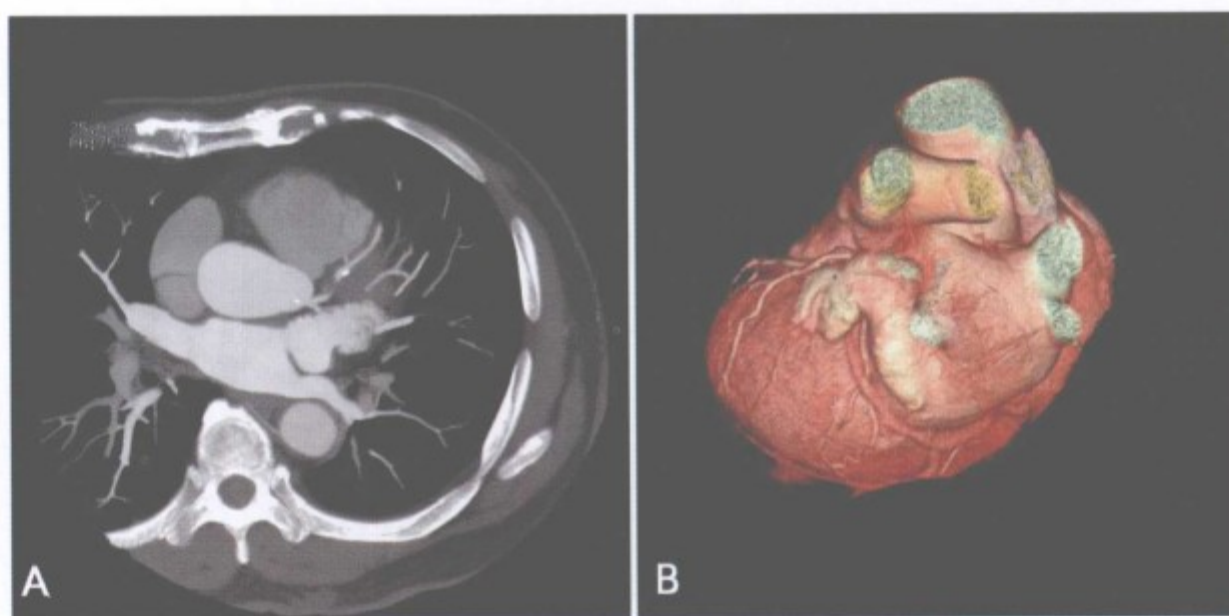


图17-2 解剖学左心房  
心耳部呈手指状,与固有心房连接的开口窄

## 二、心室

心室有形态左、右心室。形态右心室特点:三尖瓣位置较二尖瓣更靠心尖部;心室前壁及隔壁肌小梁粗糙;肌性漏斗部;突向漏斗部的室上嵴,分隔三尖瓣与半月瓣(图17-3)。形态左心室特点:边缘无肌小梁;无漏斗部,二尖瓣与半月瓣为纤维连接;无室上嵴(图17-4)。

根据形态左、右心室的排列,将心室襻分为两型。形态右心室在右侧,形态左心室在左侧者为右襻型;形态右心室在左侧,形态左心室在右侧者为左襻型。

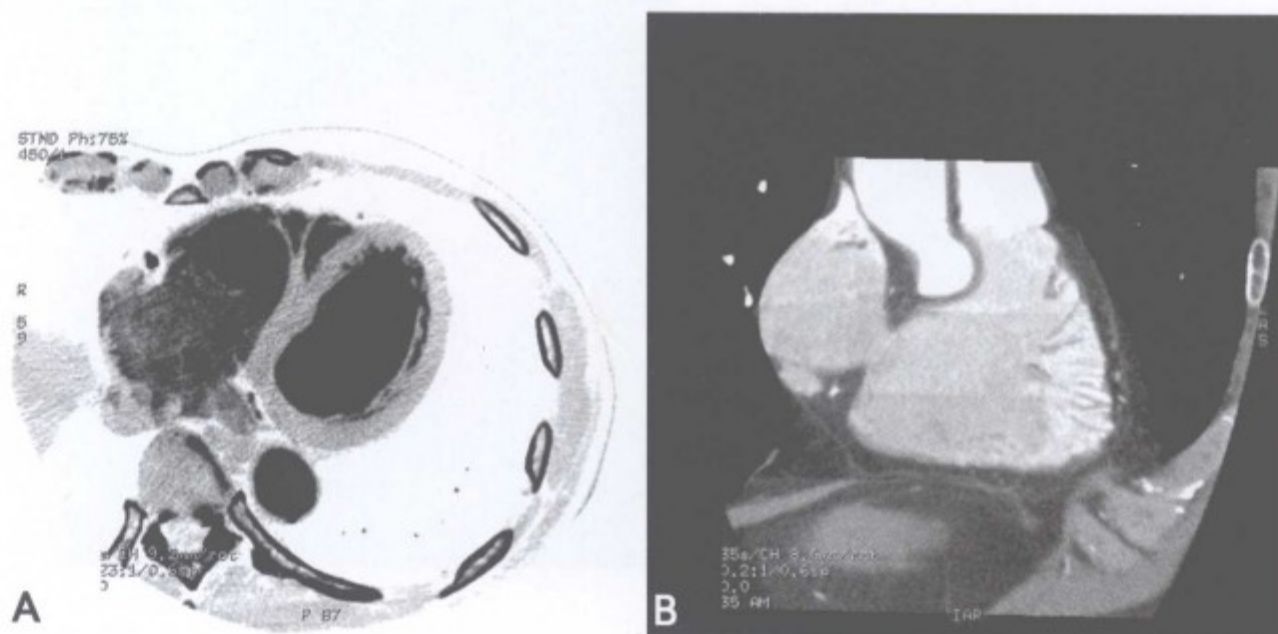


图 17-3 解剖学右心室  
心腔在横断面呈三角形，冠状面呈梯形，肌小梁粗糙

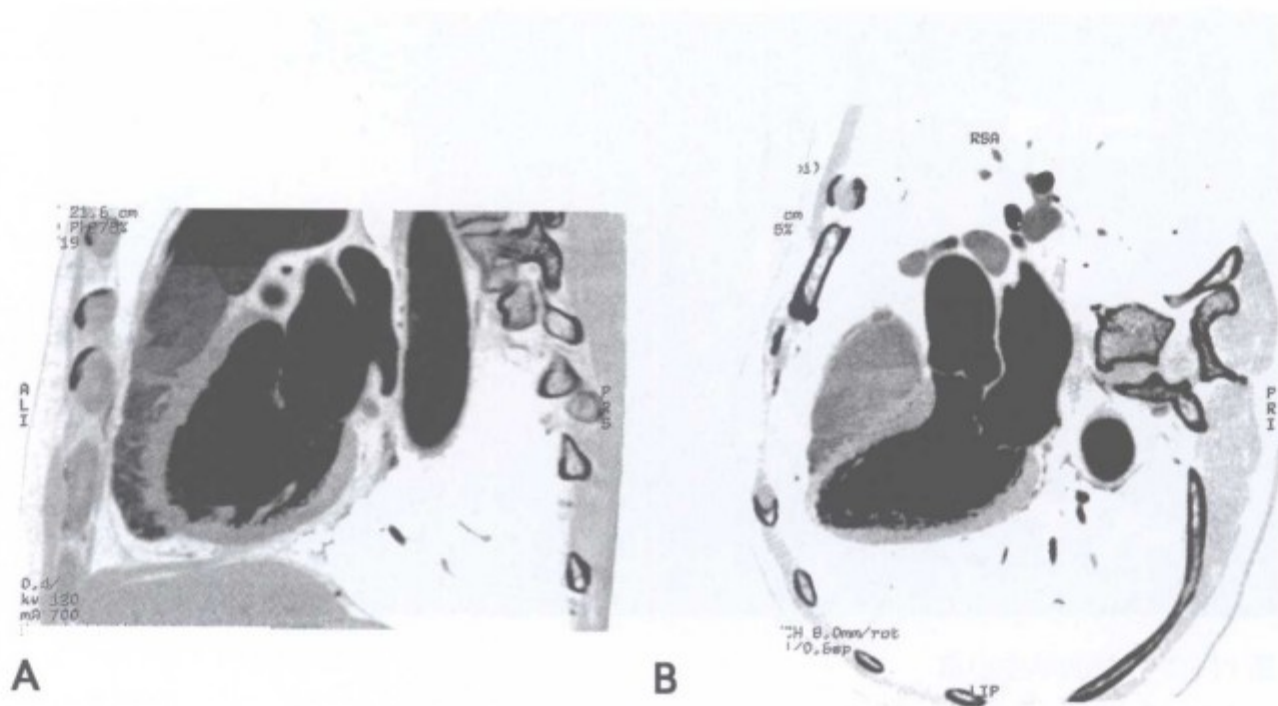


图 17-4 解剖学左心室  
左心室腔呈椭圆形，肌小梁细小，内壁光滑

### 三、大血管

升主动脉延续为主动脉弓和头臂干，而肺动脉延续为左右肺动脉。主动脉和肺动脉起始部大小相近，主动脉位于肺动脉或右心室流出道的右后侧。横断面薄层扫描可能显示2个三叶形半月瓣。正常位置时，右肺动脉在支气管的腹侧，左肺动脉在肺动脉分叉水平跨越左主支气管。镜像内脏反位时，上述关系刚好相反。双右肺动脉形态指两侧均为右侧型；双左肺动脉形态指两侧均为左侧型。



正常人的4条肺静脉均可以在横断面显示。左上肺静脉位于左心耳附近,在左支气管分叉腹侧进入左心房顶部。右上肺静脉从上腔静脉右后侧、右肺动脉前方入纵隔后进入左心房。左、右下肺静脉近乎水平走向进入左心房。

#### 四、心房—心室连接

无论心房、心室在胸腔内什么位置,形态右心房与形态右心室连接、形态左心房与形态左心室连接者为心房—心室连接一致;形态右心房与形态左心室连接、形态左心房与形态右心室连接者为心房—心室连接不一致;两个心房连接一个心室腔称双流入道心房—心室连接,即心室双入口(包括左心室双入口及右心室双入口)。这些关系在横断面图像均可以显示,四腔心位显示更加准确。

#### 五、心室—动脉连接

心室—动脉连接有以下几种类型。形态右心室与肺动脉主干连接、形态左心室与主动脉连接者为心室—动脉连接一致;形态左心室与肺动脉主干连接、形态右心室与主动脉连接者为心室—动脉连接不一致;肺动脉和主动脉与同一心室连接者,称心室双出口(包括右心室双出口及左心室双出口)。

多层螺旋CT扫描视野大,能在显示心血管解剖的同时显示肝脏、脾脏和气管、支气管形态,这对心房位置的确定很有帮助。此外,多层螺旋CT还能直接显示心耳、心室的形态,它是确定心房、心室位置最可靠的依据。大动脉位置依据其形态学特征最易判断。明确了心房、心室、大动脉位置,了解了房室连接和心室大动脉连接,复杂先天性心脏病诊断中最困难的部分便已解决。

(黄美萍 梁长虹 刘辉)

### 第三节 先天性心脏病

MDCT对复杂先天性心脏病畸形的诊断敏感性、特异性、准确性高,对心内畸形的诊断与心脏超声及心血管造影同样准确。当然,对于单纯的以心内结构异常为主的简单先天性心脏病,如房间隔缺损、室间隔缺损等,从效价比角度考虑,还是首选心脏超声检查。MDCT可用于声窗弱或心脏超声显示不清楚的病例。

MDCT对心外畸形显示较心脏超声明显优越,能比超声提供更多的诊断信息。对于某些先天性心脏病,其效果甚至比心血管造影更好。如完全性心内型及心下型肺静脉畸形引流病例,心血管造影常不能分辨肺静脉入口,而MDCT显示极为清楚。对梗阻型完全性肺静脉畸形引流病例,做心血管造影检查有引起肺水肿的危险,而MDCT检查相对安全得多。又如主动脉弓离断,心血管造影检查

不能同时显示两端的形态与距离,而 MDCT 可很好地显示,为手术提供了重要信息。对中心肺动脉的发育情况,心血管造影检查有时会由于肺动脉对比剂浓度太低或结构重叠而使肺动脉显示不清,而 CT 密度分辨率高,少量对比剂进入肺动脉即可显影(对肺动脉闭锁的患者,对比剂通过侧支供应肺动脉时,仍可将中央肺动脉发育情况显示出来),且 CT 为断层成像,解决了心血管造影的影像重叠问题,再加上其强大的后处理功能,可进行任意角度的多种方法重组,利于肺动脉的显示及测量。

## 一、房间隔缺损

房间隔缺损(ASD)根据形成机制不同分原发孔缺损型、继发孔缺损型。原发孔缺损属于心内膜垫缺损,继发孔缺损根据缺损部位分为中心型、上腔型、下腔型、混合型。缺损在卵圆孔附近为中央型,缺损在房间隔后下方,为下腔型;缺损在近上腔静脉入口处,为上腔型;缺损范围大,两种以上的缺损为混合型。

### 【MDCT 诊断要点】

直接征象:房间隔连续性中断(图 17-5)。

间接征象:右心房、右心室增大,右心室壁增厚;肺血增多,肺动脉增宽,主肺动脉直径超过同层主动脉直径,肺动脉流出道增宽。



图 17-5 房间隔缺损

横断面图像显示房间隔中部中断,右心房及右心室增大

## 二、心内膜垫缺损

心内膜垫缺损是二尖瓣及三尖瓣水平的“十”字交叉结构的部分或完全缺失。

部分心内膜垫缺损包括以下四种情况。①原发孔型房间隔缺损,无房室瓣裂;②原发孔型房间隔缺损合并二尖瓣和(或)三尖瓣裂;③膜部室间隔缺损,合并二尖瓣和(或)三尖瓣裂;④左室-右房通道。

完全型心内膜垫缺损包括原发孔房间隔缺损合并两侧房室瓣裂或构成共同房室瓣和膜部室间隔缺损。

#### 【MDCT 诊断要点】

- (1)各心腔扩大。
- (2)右心室壁可增厚。
- (3)原发孔房间隔缺损及室间隔膜部缺损。房室通道者,左心室与右心房之间直接连通。完全型心内膜垫缺损者,心内膜垫结构完全缺如,四个心腔彼此连通(图17-6)。
- (4)主肺动脉扩张。

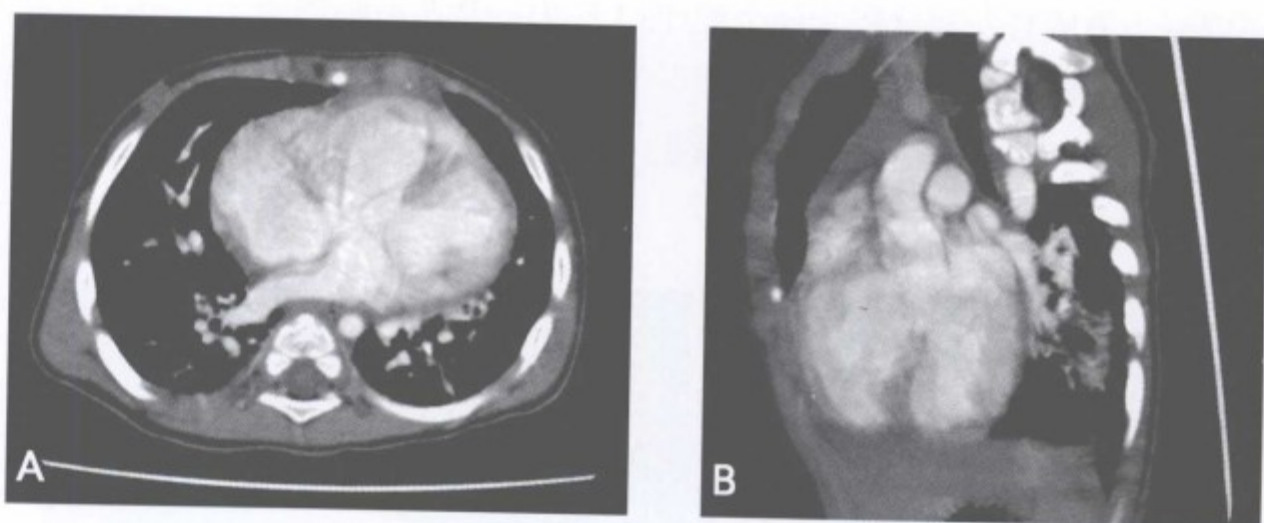


图 17-6 完全性心内膜垫缺损

横断面(A)及多平面重组(B)显示房室隔十字交叉结构消失,单组房室瓣

### 三、单 心 房

单心房是一种少见的先天性畸形,为房间隔的完全缺如,又称为二室三腔心,一般有两个心耳。可合并左上腔静脉残存,肺静脉畸形引流等。

#### 【MDCT 诊断要点】

- (1)房间隔缺如或全部中断。
- (2)右心房、右心室增大,右心室壁增厚,各级肺动脉增宽,主肺动脉管径超过同层主动脉。

## 四、左侧三房心

原始肺静脉共干未能与固有左心房融合,在左心房内有一畸形隔膜生长,将左房分隔为两腔,靠近二尖瓣侧左房与左室相连,为固有心房;远侧与肺静脉相连,为附加心房。

依据副房接纳肺静脉的情况将左侧三房心分为两型。①完全型:左右肺静脉全部流入副房,副房直接与固有左心房相通。②部分型:左右肺静脉部分流入副房,副房直接与固有左心房相通。根据隔膜形态将左侧三房心分为隔膜型、沙漏型、管道型,其中隔膜型最常见。

由于副心房与固有心房之间交通孔狭窄,使肺静脉回流受阻,其血流动力学变化和临床表现与二尖瓣狭窄类似。

### 【MDCT 诊断要点】

(1)左心房内有一隔膜将左房分隔为两个腔(图 17-7)。若左右肺静脉全部流入背侧副房,则为完全型,否则为部分型。

(2)右心房,右心室增大或心肌肥厚,肺静脉高压。

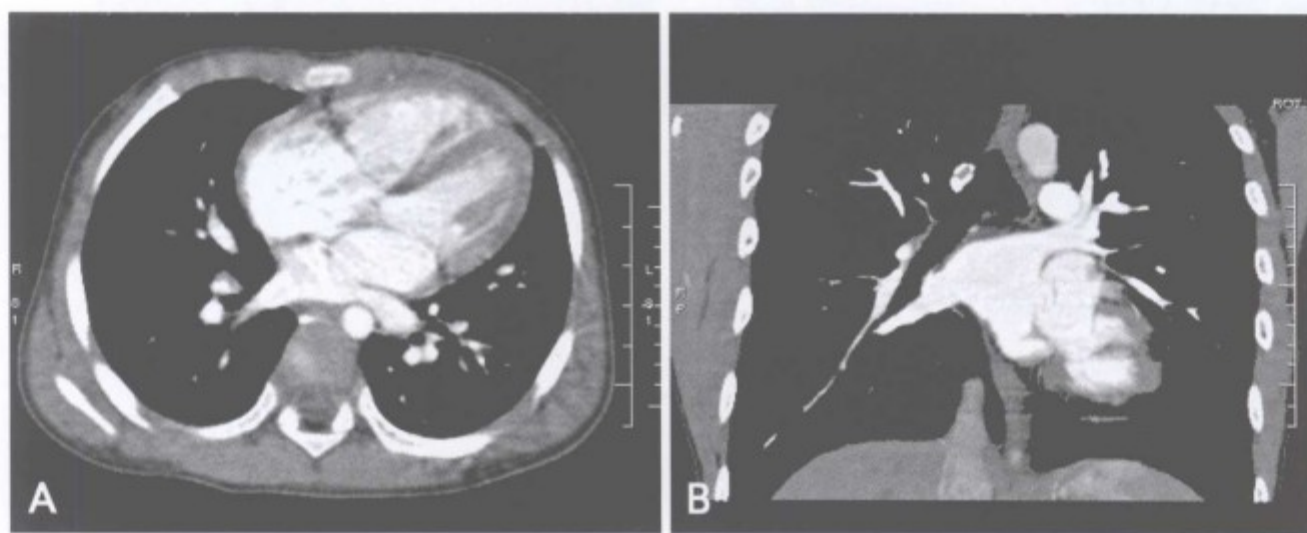


图 17-7 左侧三房心

横断面(A)及冠状面重组图像(B)显示左心房内一隔膜将左房分隔为前后两个腔

## 五、室间隔缺损

本症的主要病理改变为室间隔连续性中断,左、右心室间血流交通。按缺损部位将其分为膜部缺损、漏斗部缺损及肌部缺损 3 型。

### 【MDCT 诊断要点】

(1)室间隔连续性中断,在横断位及垂直于室间隔的长轴显示最清楚(图 17-8)。

(2)左、右心室均可扩大及室壁增厚。

(3)肺动脉高压时,肺动脉扩张及右心室壁增厚。

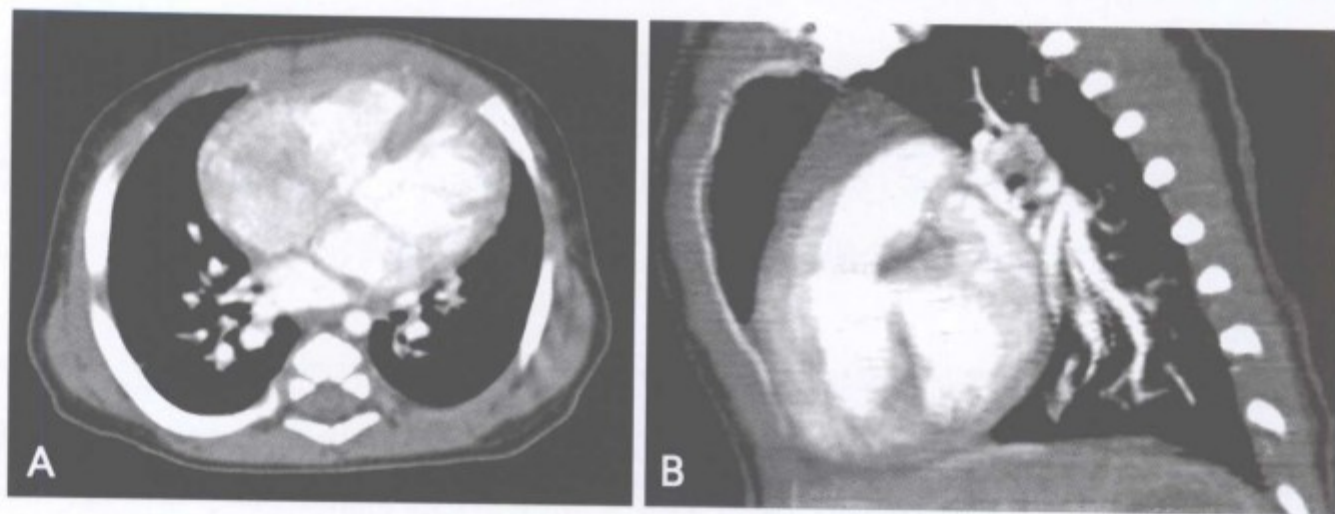


图 17-8 室间隔缺损

横断面(A)及冠状面重组图像(B)显示室间隔膜部连续性中断

## 六、单 心 室

单心室又称为心室双入口。心脏仅有一个心室腔具有流出道,并经两个或一个共同房室瓣口接受两个心房的血液,而且存在无流入道的残余心腔,残余心腔与大动脉连接称输出心腔,与大动脉不连接者称小梁囊。

通常根据心室发育情况分左心室型、右心室型及未定心室型。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)两组房室瓣或一组共同房室瓣开口于单一心室。
- (2)左心室型的主心室内壁光滑,无肌性流出道,输出腔位于主心室前上方;右心室型的主心室内壁粗糙,有肌性流出道(图17-9),输出腔位于主心室后下方;未定型者,无肌性流出道及输出腔。

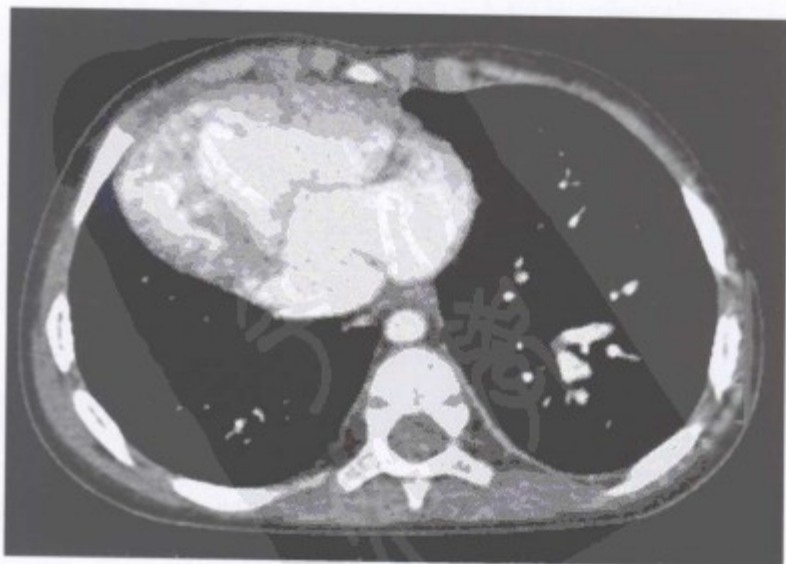


图 17-9 右心室型单心室

横断面图像显示右位心,共同房室瓣开口于右心室

## 七、双腔右心室

双腔心室是一种少见畸形,根据心室腔内异常肌束发生部位,分为双腔右心室或双腔左心室。其中双腔右心室相对多见,约占先天性心脏病的1.5%,常合并室间隔缺损。

### 【病理解剖】

右心室腔内异常肥厚肌束将右心室腔分隔为近侧高压腔和远侧低压腔,两腔间借一个或数个狭窄的交通口相通。根据异常肌束形态分为肌隔膜型和肌束型。前者表现为异常增粗肌束,呈块状,横亘于流入道与流出道之间;后者表现为肌束团堵塞于流入道与流出道之间。由于交通口狭窄造成心室腔内压力差,导致近侧心腔压力高,心肌肥厚。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)高位型:在右心室窦部上方可见横行走行的粗大、肥厚肌块,将右室分为两腔。
- (2)低位型:自右室膈面向三尖瓣方向延伸的肥厚肌束(图 17-10)。
- (3)混合型:为上述两者并存之时。

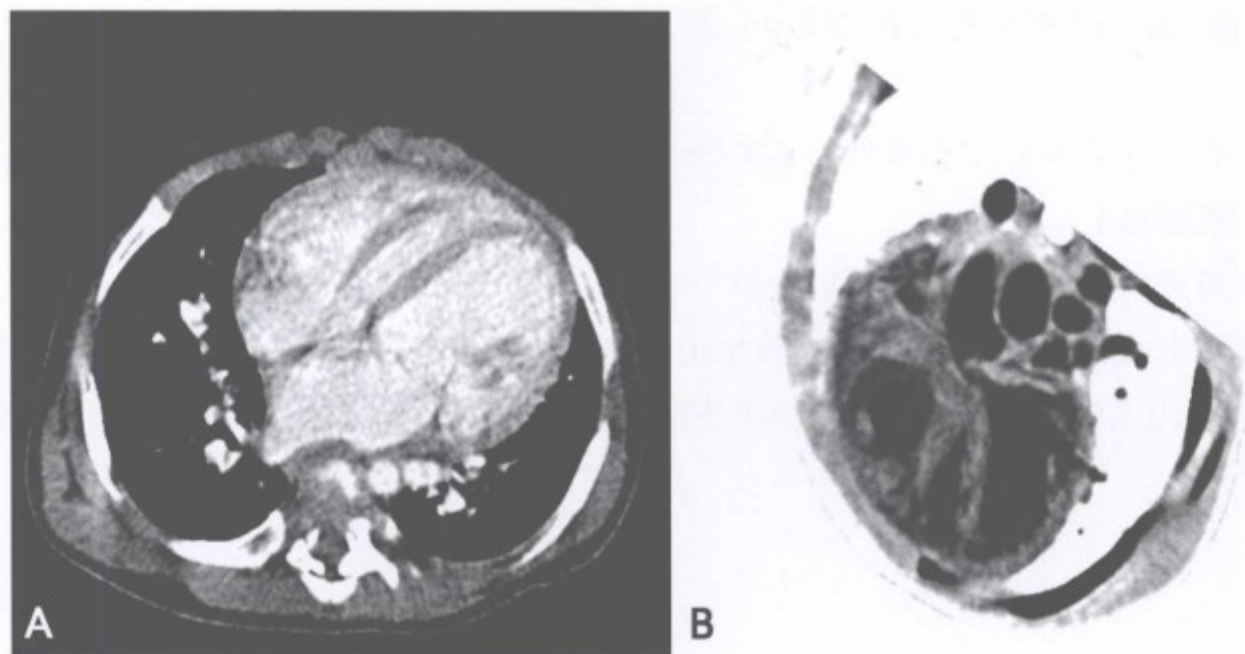


图 17-10 双腔右心室

横断面(A)及多平面重组黑白反转显示图像(B)显示右心室腔内见一自膈面向三尖瓣方向延伸的肥厚肌束将右心室分隔成两个腔

## 八、血管环及肺动脉吊带

由于主动脉弓发育异常造成气管和(或)食管受压的血管畸形称为血管环。包括双主动脉弓、右位主动脉弓、颈部主动脉弓、肺动脉吊带、无名动脉压迫、迷走右锁骨下动脉等畸形。双主动脉弓是有症状血管环的最常见原因。右位主动脉弓并迷走左侧锁骨下动脉亦可形成有症状血管环;相反,左主

动脉弓并迷走右侧锁骨下动脉通常无症状。

### 【MDCT 诊断要点】

**双主动脉弓:**脊柱两侧各出现一个主动脉弓,其下方则连接同一根降主动脉。右侧弓较左侧大且比左侧弓稍高。气管及食管被双主动脉环绕且有可能被压迫。

**右位主动脉弓并迷走左锁骨下动脉:**主动脉弓及降主动脉上段出现在脊柱右侧。左侧锁骨下动脉起源于降主动脉,走行在食管的左后方,动脉导管韧带从降主动脉延伸至左肺动脉,形成血管环(图 17-11)。

**肺动脉吊带:**左肺动脉起源于右肺动脉而不是起源于肺总动脉,左肺动脉绕过右主支气管,走行在气管和食管之间,形成吊带压迫气管-支气管树(图 17-12)。

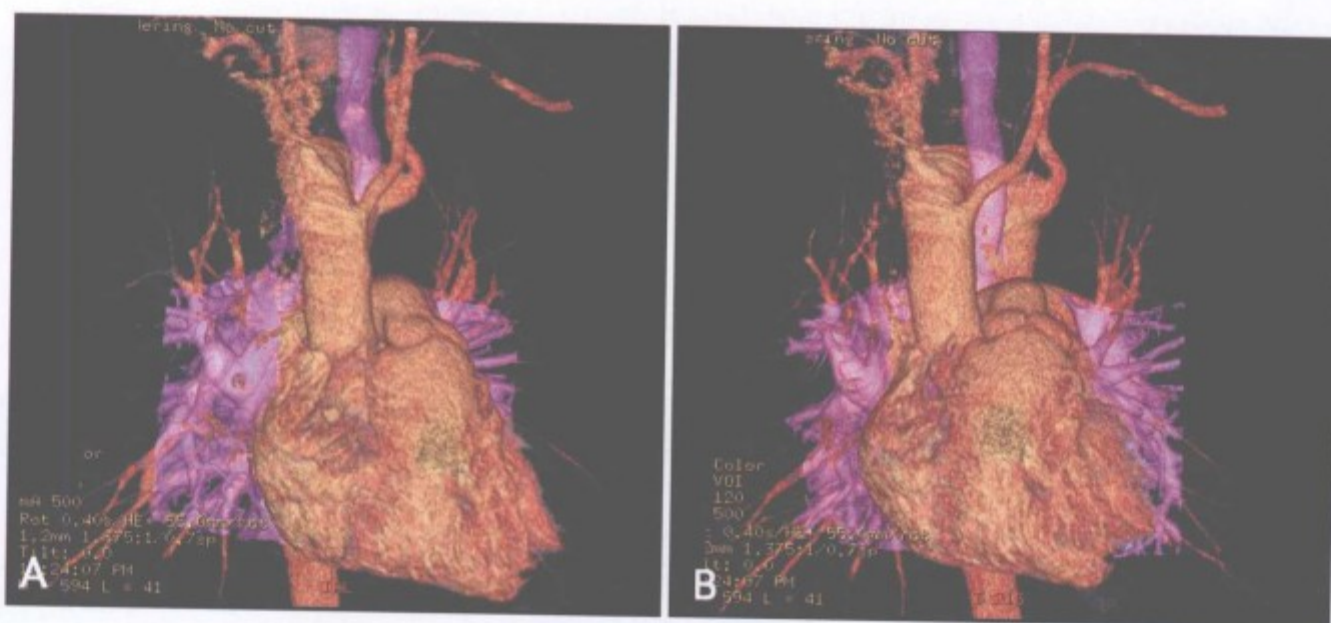


图 17-11 右位主动脉弓并迷走左侧锁骨下动脉

VR 图像显示右位主动脉弓并迷走左侧锁骨下动脉形成的血管环使气管局限性受压

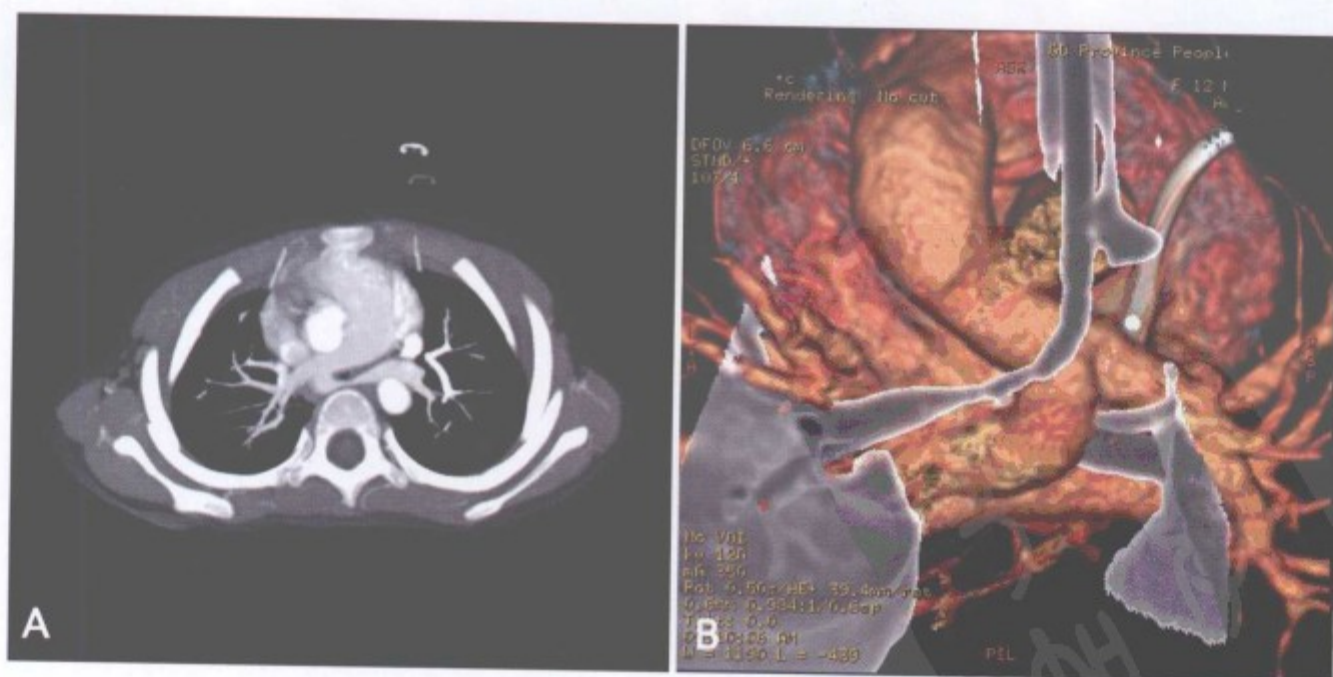


图 17-12 肺动脉吊带

左肺动脉起自右肺动脉,走行在气管与食管之间,横断面图像显示压迫气管(A),VR 图像显示右侧支气管受压(B)

## 九、主动脉弓离断和主动脉弓闭锁

主动脉弓离断是升主动脉弓未发育,升主动脉与降主动脉之间无直接沟通,管腔连续性中断,升主动脉内移,垂直向上并发出头臂干。开放的动脉导管直接连接降主动脉供血给腹腔脏器及下肢。若主动脉弓与降主动脉之间闭锁但病理可见残留纤维索条相连,则为主动脉弓闭锁。

主动脉弓离断根据离断的部位分为三型。I型:左锁骨下动脉以远离断,占40%。II型:左颈总动脉与左锁骨下动脉之间离断,占55%。III型:头臂干与左颈总动脉之间离断,占5%。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)主动脉弓部局限性中断,升主动脉与降主动脉之间无交通及无连接组织(图 17-13)。
- (2)升主动脉内移、扩张,因类型不同仅发出头臂干、左颈总动脉或左锁骨下动脉。
- (3)主肺动脉扩张。
- (4)常并存动脉导管未闭,且较粗大,并与降主动脉相通。
- (5)若无动脉导管未闭,则侧支循环异常丰富。



图 17-13 主动脉弓离断

主动脉弓局限性中断,升主动脉内移,发出右无名动脉及左侧锁骨下动脉,降主动脉经开放的动脉导管与主肺动脉相通,左侧锁骨下动脉发自降主动脉

## 十、先天性主动脉缩窄

病理表现为局部主动脉壁中层变性及内膜增厚,呈膜状或峭状突入主动脉腔内。约90%以上的主动脉缩窄发生在左锁骨下动脉开口远端、动脉导管或韧带所在区域。分两型:单纯型指狭窄位于主动脉峡部;复杂型指狭窄位于左锁骨下动脉开口近端主动脉。



**【MDCT 诊断要点】**

- (1) MDCT 可显示主动脉缩窄部位、程度、范围,可测量主动脉管径(图 17-14)。
- (2) 狭窄远端主动脉往往扩张。
- (3) 可显示侧支循环动脉,如内乳动脉、锁骨下动脉、肋间动脉扩张。
- (4) 左心室壁肥厚。
- (5) 可观察合并畸形,如动脉导管未闭,能显示动脉导管与缩窄关系。

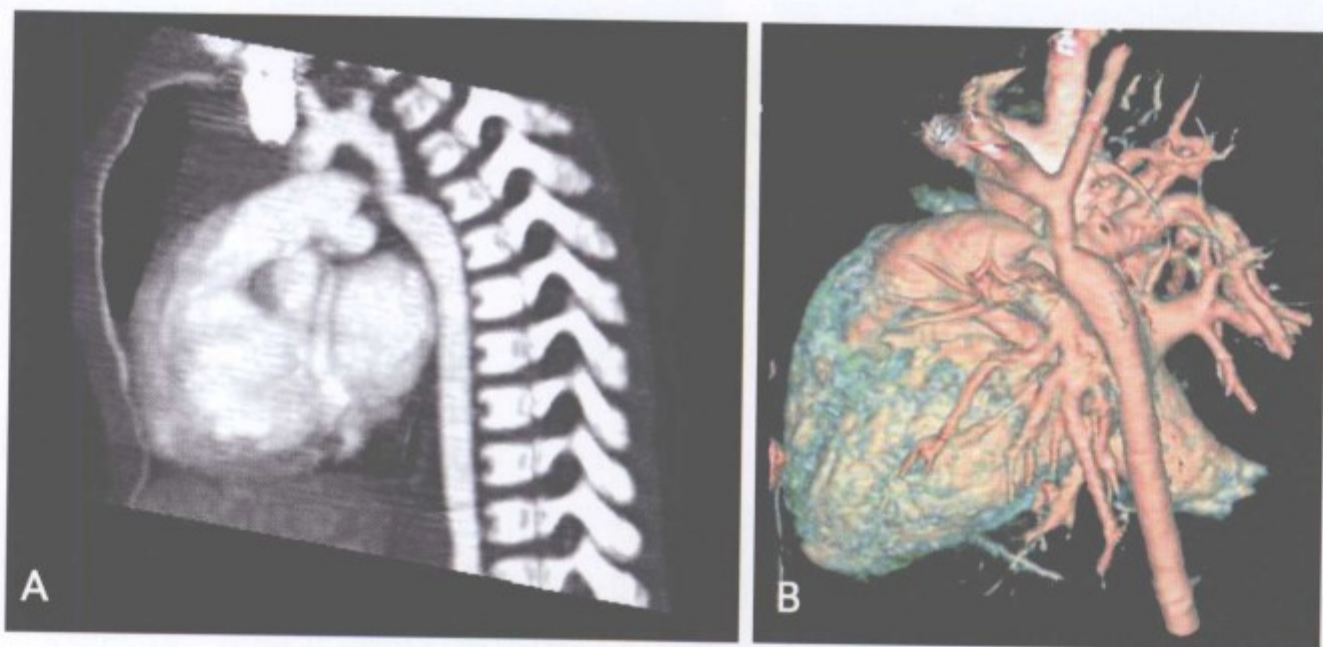


图 17-14 主动脉缩窄

主动脉弓降部以动脉导管远侧局限性狭窄,狭窄后降主动脉局限性扩张

## 十一、动脉导管未闭

动脉导管位于左肺动脉起始端与主动脉弓峡部之间,出生后6个月至1年将闭塞,否则形成动脉导管未闭,可分为4型。①圆柱型:导管的主动脉端与肺动脉端粗细相等。②漏斗型:导管的主动脉端扩张,肺动脉端逐渐变细,形成漏斗。③窗型:导管短粗或似间隔缺损,直径多超过10mm。④瘤型:导管呈动脉瘤样膨大。

**【MDCT 诊断要点】**

- (1) 可见连接主动脉弓峡部与左肺动脉起始端的血管,在多平面重组的斜矢状位上显示较佳(图 17-15)。
- (2) 左侧心房、心室增大,其中左心室壁肥厚。
- (3) 升主动脉和主肺动脉扩张。
- (4) 肺动脉高压时,右心室壁肥厚;右心室扩张,右心房扩大及腔静脉扩张。

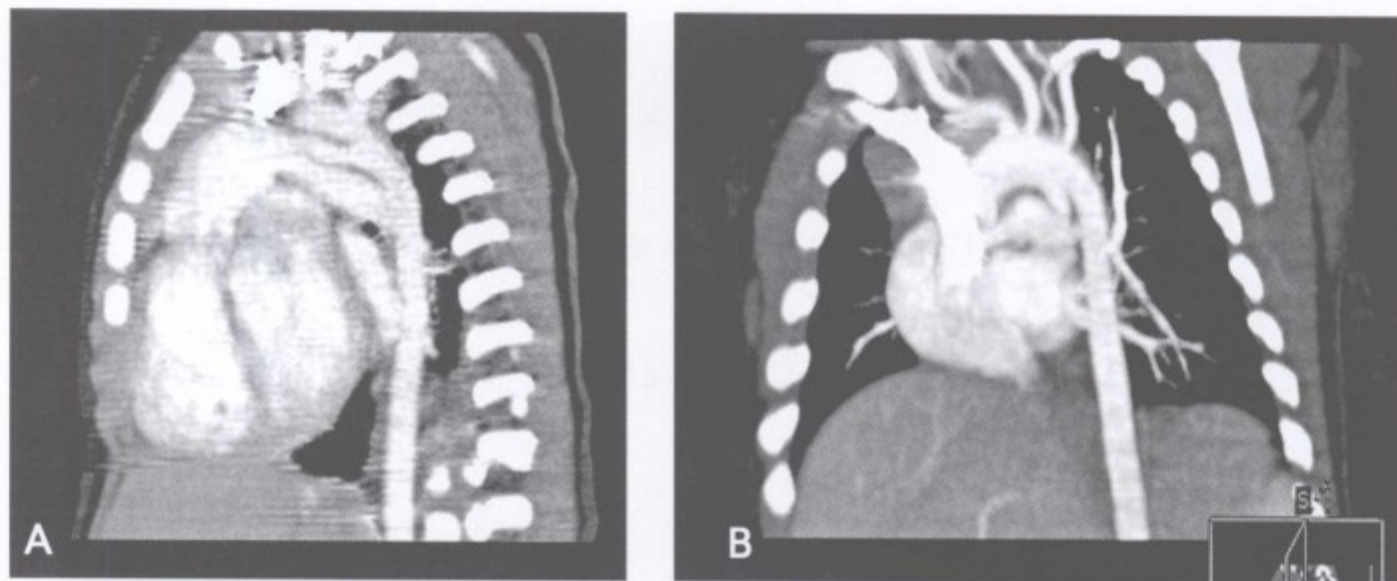


图 17-15 动脉导管未闭  
多平面重组图像显示未闭动脉导管分别为管型(A)及漏斗型(B)

## 十二、主动脉—肺动脉间隔缺损

原始主动脉在分隔为主动脉与肺动脉的过程中分隔不完全,心脏未回转或回转不完全,导致发生主动脉—肺动脉间隔缺损。主动脉—肺动脉间隔缺损可发生在主动脉和肺动脉之间的任何部位。临床上可分3型,Ⅰ型:主动脉—肺动脉间隔缺损发生在近端,紧位于半月瓣上方。Ⅱ型:主动脉—肺动脉间隔缺损发生在远端,与Valasava窦上缘尚有一定的距离。Ⅲ型:主动脉—肺动脉间隔完全缺损。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)主动脉与肺动脉分隔消失,升主动脉左后壁与肺动脉右前壁相通,依据其缺损范围和与半月瓣距离,可以分型。
- (2)双心室增大,以左心室增大更明显。右心室肌肥厚。
- (3)主肺动脉及左右肺动脉均增宽,肺血增多。

## 十三、肺动脉瓣及瓣下狭窄

先天性肺动脉狭窄一般包括肺动脉瓣或瓣下狭窄。瓣膜狭窄者表现为瓣膜增厚,瓣叶交界处粘连,甚至融合,或仅瓣叶粘连。有时,肺动脉瓣呈两叶或单叶,仅中心穿孔。肺动脉瓣后肺动脉干扩张,往往可以延伸到左肺动脉。瓣下狭窄又称漏斗部狭窄,分为纤维隔膜状和局限性纤维肌性狭窄两种。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)瓣膜型狭窄可见瓣膜增厚、开放受限,肺动脉主干狭窄后扩张,左肺动脉较右肺动脉扩张更明显;瓣下型肌性狭窄可见右室漏斗部肌肥厚,右室流出道狭窄,狭窄段较长(图 17-16);瓣下型隔膜性狭窄于肺动脉瓣下见带状透明区,而肺动脉瓣正常。

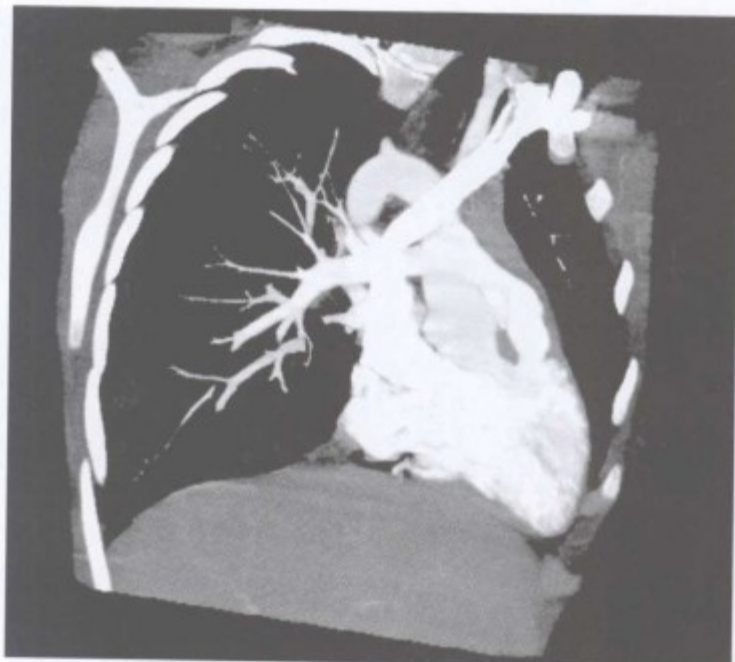


图 17-16 漏斗部狭窄  
多平面重组图像显示右心室漏斗部肌肉肥厚,右心室流出道变窄

- (2)右心室壁增厚及心腔变小。
- (3)失代偿后,右心室腔变大,右心房不同程度扩张。

#### 十四、肺动脉及其分支狭窄

狭窄可发生在主肺动脉或左、右肺动脉,也可累及肺内动脉分支。可以是单发的,也可以是多发的。按发生部位可分为3型。中央型:累及主肺动脉,左、右肺动脉主干。外围型:累及左、右肺动脉肺内分支。混合型:以上两型的混合存在。主要病理变化是动脉内膜增厚、内腔狭窄,较小分支可完全闭塞。狭窄远端的管腔扩张,管壁可变薄或静脉化。

##### 【MDCT 诊断要点】

(1)中央型狭窄可见主肺动脉主干腔内有环形嵴突入腔内,造成狭窄。左、右肺动脉狭窄可呈局限性或长段,内腔光滑,无充盈缺损表现,可以与肺动脉栓塞相鉴别。狭窄近心段主肺动脉处于高压区而扩张(图 17-17)。

(2)外围型狭窄则右室及漏斗部肌肥厚,主肺动脉由于肺动脉高压而扩张。肺内动脉分支粗细不均。

#### 十五、肺动脉起源异常

肺动脉起源异常是一少见先天性心脏病,指一侧肺动脉起源于主动脉,其主要累及右侧肺动脉。

##### 【胚胎发生】

肺动脉起源异常是胚胎第六对动脉发育异常所致,主要为右侧第六弓缺如、发育中断所致。较少发生左侧。

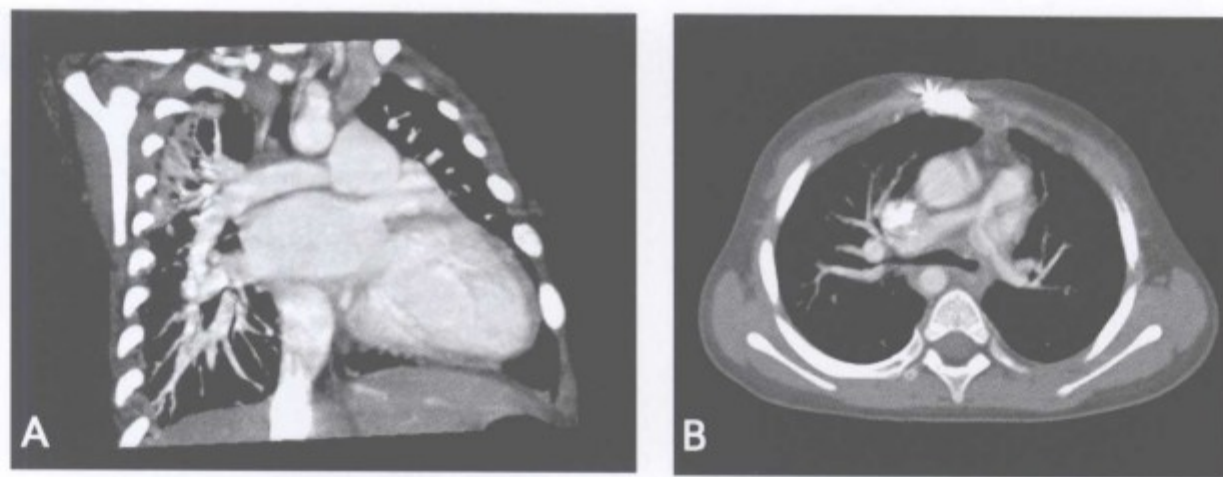


图 17-17 肺动脉狭窄

A. 右肺动脉开口狭窄; B. 主肺动脉及左肺动脉开口狭窄

**【病理解剖】**

一侧肺动脉起源于主动脉, 主要累及右肺动脉。根据肺动脉起源分为 3 型。I 型: 一侧肺动脉起源于升主动脉近段, 与对侧肺动脉开口相对, 管径相似, 有时合并动脉导管未闭。II 型: 一侧肺动脉起源于主动脉弓近端或头臂干, 起始部稍狭窄。III 型: 一侧肺动脉缺如, 该侧肺血液循环由降主动脉-肺侧支循环供应。

CT 可显示肺动脉起源、走向及发育状况(图 17-18)。

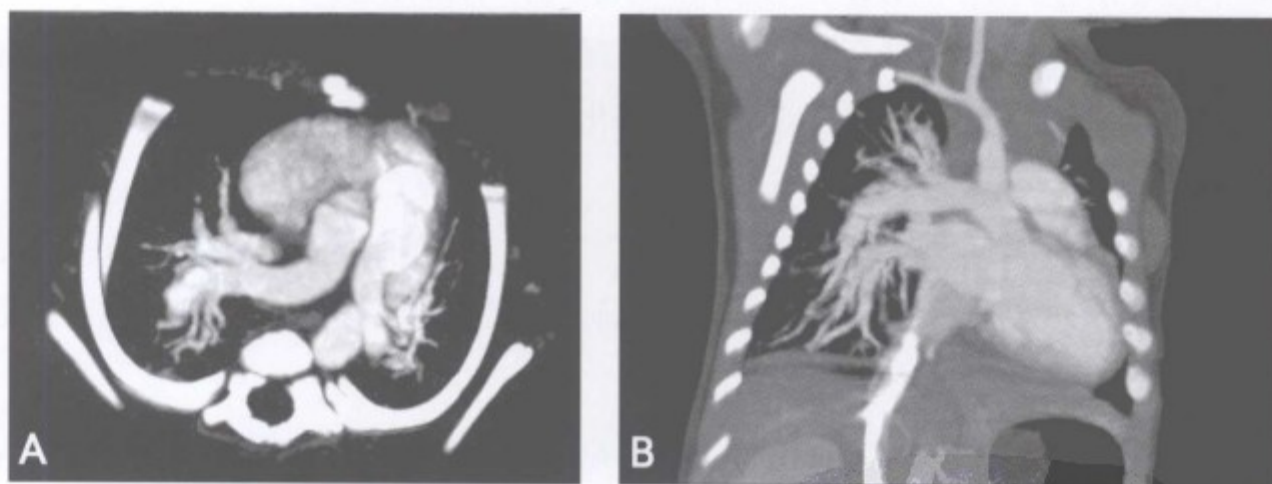


图 17-18 右肺动脉起自升主动脉

横断面重组图像(A)及斜矢状位重组图像(B)显示右侧肺动脉从升主动脉发出

**十六、腔静脉系统畸形**

腔静脉系统畸形包括右上腔静脉系统畸形、右下腔静脉缺如及左上腔静脉残留。左上腔静脉残留通常与右上腔静脉并存构成双上腔静脉。左上腔静脉汇入冠状静脉再汇入右心

房或左上腔静脉直接汇入左心房。

右下腔静脉缺如以近心段缺如多见。远端静脉经侧支循环汇入奇静脉或半奇静脉再入右心房。

右上腔静脉远心段缺如时,右头部静脉及上肢静脉经右头臂静脉汇入左上腔静脉、奇静脉再经右上腔静脉近心段入右心房。右上腔静脉近心段缺如时,右侧头部静脉、上肢静脉及奇静脉经右头臂静脉入左上腔静脉。右上腔静脉缺如及右上腔静脉直接汇入左心房。

右上腔静脉或左上腔静脉汇入左心房导致右向左分流,患者可出现发绀。

MDCT横断面及多平面重组可以显示上述畸形(图17-19)。



图17-19 双上腔静脉

右上腔静脉从右心房头侧进入右心房,而左上腔静脉进入冠状窦

## 十七、肺静脉异位引流

肺静脉异位引流指肺静脉与左心房无直接连接,而与右心房或体静脉相连。完全型指全部肺静脉与右心房或体静脉相连;部分型指部分肺静脉与右心房或体静脉相连。根据肺静脉引流部位分心上型、心内型、心下型和混合型。

心上型肺静脉经垂直静脉引流到左头臂静脉,少数汇流到奇静脉,再经上腔静脉汇入右心房;心内型肺静脉直接或经冠状静脉窦流入右心房;心下型肺静脉汇合成一条下行静脉,在心脏下方与下腔静脉、肝门静脉或肝静脉等相通;混合型肺静脉与腔静脉之间有两个以上交通部位。

### 【MDCT 诊断要点】

单侧或双侧、部分或全部肺静脉以单一或数个开口汇入右心房、冠状窦或上、下腔静脉及所属分支。依据引流部位分型(图17-20)。

房间隔缺损为肺静脉畸形引流最常见的并发症,其次还可合并内脏心房异位综合征、室间隔缺损、房室通道畸形、肺动脉狭窄、肺动脉闭锁、单心房、动脉导管未闭、大动脉转位等。

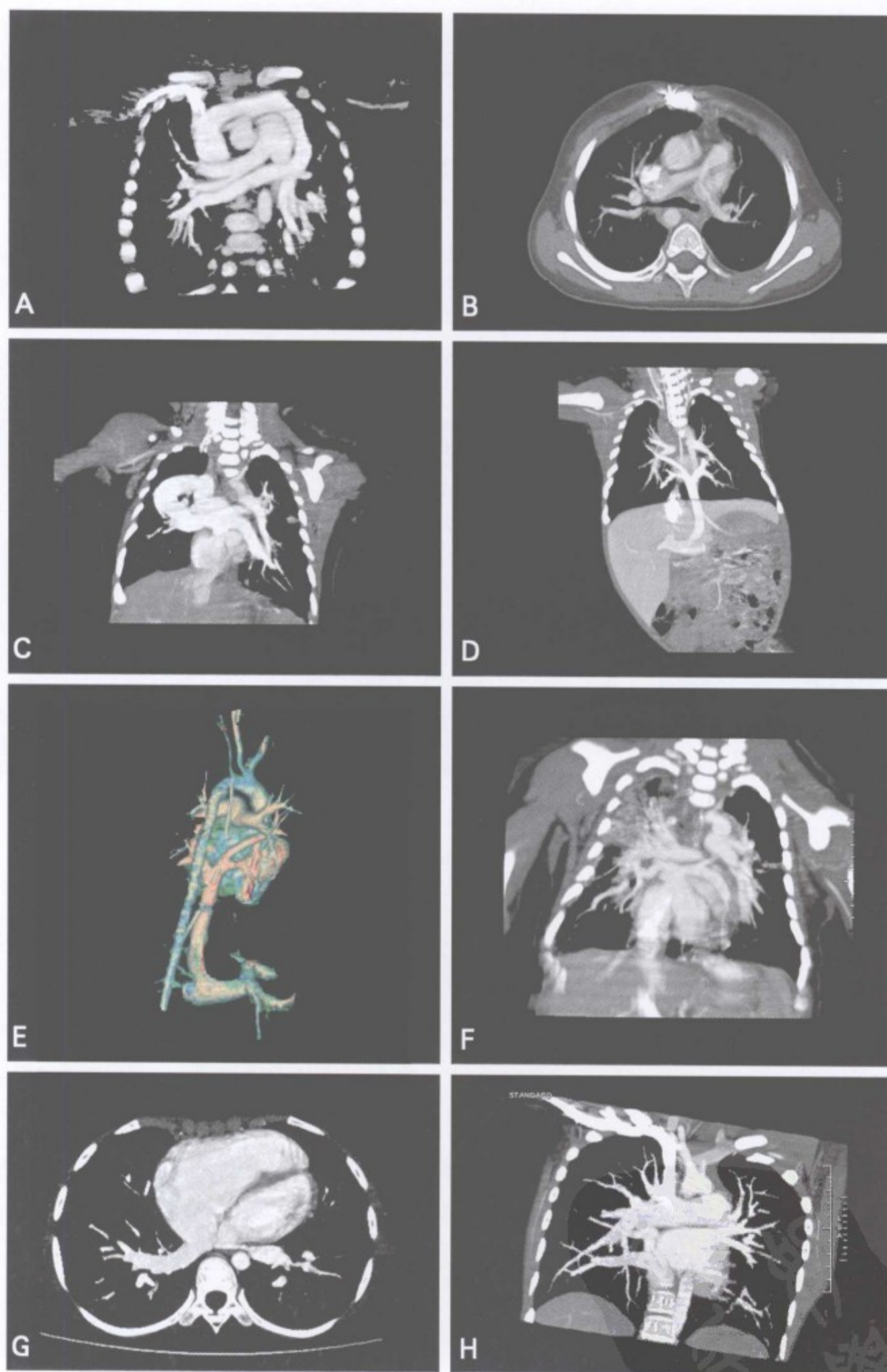


图 17-20 肺静脉异位引流

A. 为完全性心上型肺静脉畸形引流: 双肺静脉汇合后, 经垂直静脉—水平静脉—右上腔静脉, 最后引流入右心房; B 与 C. 为另一例完全性心上型肺静脉畸形引流: 肺静脉汇合后经垂直静脉引流入奇静脉; D 与 E. 为完全性心下型肺静脉畸形引流: 肺静脉汇合后经垂直静脉向下引流入肝门静脉; F. 为完全性心脏型肺静脉畸形引流: 肺静脉引流入冠状静脉窦; G 与 H. 为右肺静脉引流入右心房

## 十八、法洛三联症

法洛三联症为最常见的发绀型先天性心脏病,占先天性心脏病的10%。基本病理包括肺动脉狭窄、室间隔缺损、主动脉骑跨、右心室肥厚。其中肺动脉狭窄和室间隔缺损为法洛三联症主要畸形基础。根据右室流出道及肺动脉狭窄程度将法洛三联症分为3型。I型:轻型法洛三联症,特征是肺动脉瓣狭窄的同时伴或不伴有轻度流出道狭窄。II型:典型法洛三联症,特征为流出道狭窄伴肺动脉瓣狭窄。III型:重型法洛三联症,特征为严重肺动脉发育不全—严重狭窄—闭锁,大量体—肺侧支循环。

肺动脉狭窄多为漏斗部狭窄合并肺动脉瓣和(或)肺动脉狭窄。漏斗部狭窄和肺动脉瓣之间形成第三心室。漏斗部狭窄多表现为壁束和隔束肌肉肥厚。室间隔缺损多为嵴下型,少数为干下型或嵴内型。

### 【MDCT 诊断要点】

- (1)右心室壁肥厚,与左心室壁厚度比较,厚度接近或更厚。
- (2)右心室漏斗部狭窄,横断面或右心室流出道位显示壁束及隔束肥厚。
- (3)肺动脉狭窄,狭窄可见于主干、左右肺动脉和(或)分支。
- (4)体—肺动脉侧支循环。
- (5)室间隔缺损。
- (6)升主动脉扩张及顺钟向右转前移骑跨于室间隔上(图17-21)。

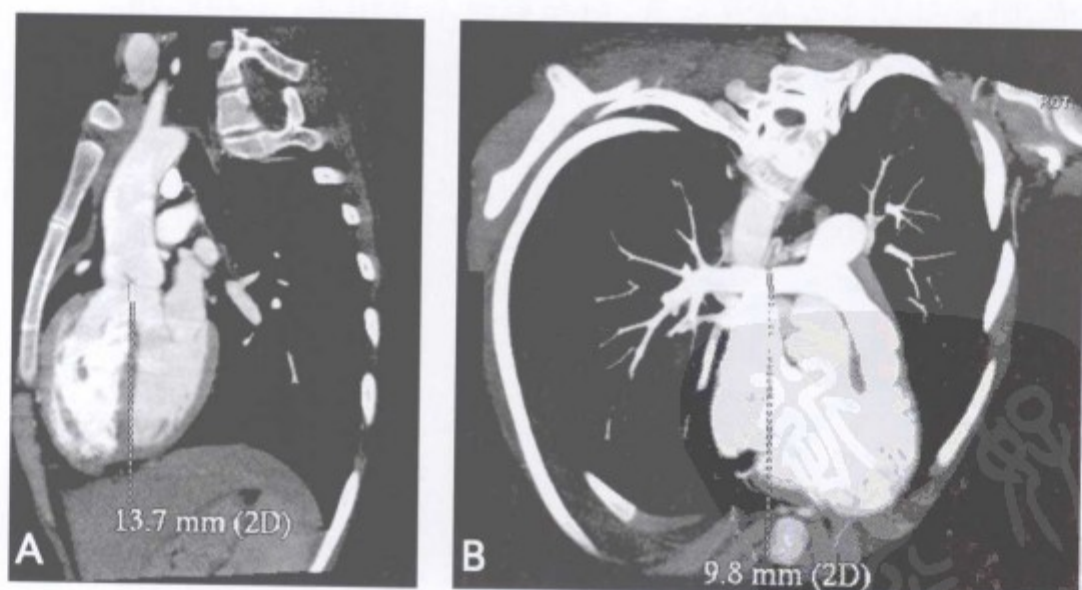


图17-21 法洛三联症

左前斜位(A)及轴位(B)清楚显示肺动脉瓣及流出道狭窄,右心室壁肥厚,主动脉骑跨及室间隔缺损

## 十九、完全性大动脉错位

本病是新生儿最常见的发绀型先天性心脏病,约占先天性心脏病的8%。

### 【胚胎发生】

大动脉错位为胚胎早期圆锥部旋转及吸收异常造成的大动脉与心室连接不协调的一种复杂的先天畸形。

### 【病理解剖】

完全性大动脉错位是指主动脉和肺动脉分别起自形态学右心室和左心室,即心室与动脉的不相适应连接,而房室连接是相适应的,即右心房、左心房分别与右心室、左心室连接。依据有否室间隔缺损可分为两型。①完全性大动脉错位不合并或仅合并小室间隔缺损,可合并卵圆孔未闭、动脉导管未闭等,此型病例常早夭折;②完全性大动脉错位合并较大室间隔缺损,可合并肺动脉瓣或瓣下狭窄,少数病例可合并心内膜垫缺损。

### 【MDCT 检查及征象】

心电门控下扫描所显示的多层螺旋CT图像能很好地显示心脏解剖结构,对于完全性大动脉错位的诊断非常理想。MDCT可清楚地显示肌小梁的形态,无论心房、心室转位与否,都易于辨认解剖学左、右心室。右心室肌小梁较粗,而左心室肌小梁较细。MDCT可显示肺静脉与心房连接,显示心耳的形态,易于辨认心房的解剖学性质。与肺静脉连接,心耳较长呈拇指状者为左心房,而与腔静脉连接,心耳呈大三角形者为右心房。对于大动脉的空间排列及其与心室的连接关系,MDCT可提供充分的诊断信息,对于并发的心血管畸形如室间隔缺损、房间隔缺损、动脉导管未闭等,亦可在一次检查中同时发现。

完全性大动脉错位一般为右位型错位,可见主动脉位于肺动脉右前,肌小梁较粗的右心室漏斗部直接与主动脉相连,肺动脉居主动脉左后方,与左室流出道相连,主动脉瓣的位置偏高,主动脉瓣与二尖瓣间失去纤维连续(图 17-22)。

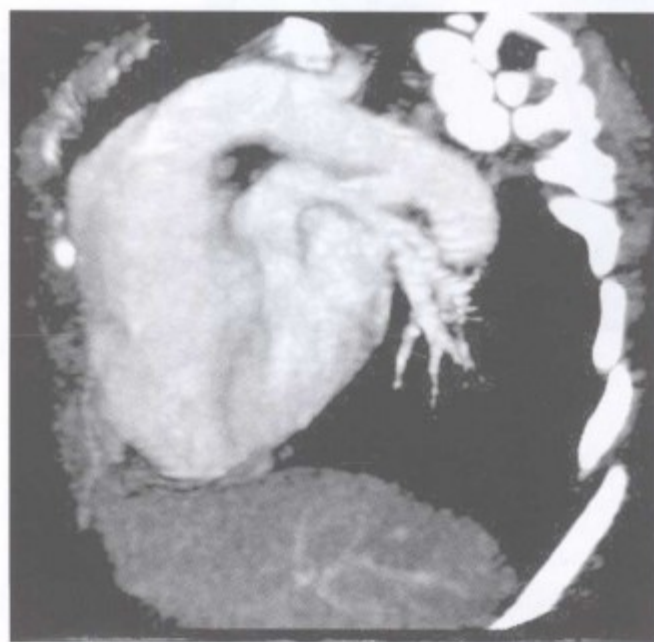


图 17-22 完全性大动脉错位,肺动脉狭窄,动脉导管未闭  
主动脉起源于右心室,肺动脉起源于左心室,肺动脉相对细小,肺动脉与降主动脉由管状未闭动脉导管连接



室间隔缺损的膜周部缺损位于肺动脉瓣下,嵴上型缺损位于主动脉瓣下漏斗部,肌部缺损位于下部。肺动脉狭窄以肺动脉瓣狭窄多见,肺动脉瓣下狭窄多为纤维(肌性)嵴样。

## 二十、校正型大动脉错位

### 【胚胎发生】

胚胎时期心脏管的成襻方向相反,心脏管向左成襻,解剖学右心室位于左侧,解剖学左心室位于右侧,产生大动脉-心室连接不协调,心房-心室连接不协调,但肺静脉-左房、腔静脉-右房连接关系协调。

### 【病理解剖】

病理解剖可见左房-右室-主动脉连接,右房-左室-肺动脉连接,主动脉位于肺动脉左前方,主动脉瓣高于肺动脉瓣,常合并室间隔缺损、肺动脉狭窄畸形。

### 【MDCT 检查及征象】

肌小梁粗大的形态学右心室位于左侧,其肌性漏斗部与主动脉相连;心房位置不变,形态学左房仍位于左侧并与右室借三尖瓣相连。肌小梁细小的形态学左心室位于右侧,与肺动脉相连,形态学右心房仍位于右侧并与左室借二尖瓣相连。MDCT检查尚可发现其他并发畸形,如房间隔缺损、室间隔缺损、动脉导管未闭、右室异常肌束等。

## 二十一、右心室双出口

右心室双出口是一种少见复杂畸形,占先天性心脏病的1%~2%。

### 【胚胎发生】

胚胎时期大动脉下的圆锥未能正常吸收和扭转,主动脉瓣和肺动脉均未与左心室及二尖瓣完全连接,而造成两大血管主要从右心室发出。

### 【病理解剖】

经典的右心室双出口定义为:①主动脉和肺动脉均起源于形态学右心室;②两组半月瓣与房室瓣间无纤维联系,而以肌性圆锥结构分隔开来,形成双肌性流出道;③室间隔缺损作为左心室唯一出口。对右室双出口的定义,目前尚存在争议。根据外科的需要,结合文献,我们认为必须符合以下条件之一者方能列入右心室双出口:①肺动脉完全发自右心室,主动脉骑跨 $\geq 75\%$ 者;②主动脉完全发自右心室,肺动脉骑跨 $\leq 90\%$ 者;其中,肺动脉骑跨于室间隔上的右心室双出口又称为陶平综合征(Taussig-Bing综合征)。临床常按室间隔缺损的部位及有无肺动脉狭窄进行分型。

- (1)按室间隔缺损的部位:主动脉瓣下、肺动脉瓣下、靠近两大动脉开口、远离两大动脉开口。
- (2)按有无肺动脉狭窄:无肺动脉狭窄者为艾森曼格型,合并肺动脉狭窄者为四联症型。

### 【MDCT 检查及征象】

横断位及多平面重组图像可显示主动脉和肺动脉与心室的连接关系、两大动脉与室间隔缺损的位

置关系、两大动脉的空间排列关系和两大动脉及左右肺动脉的发育情况(图17-23),同时可显示其他并发畸形,如心脏的位置、心室发育不良、房间隔缺损、主动脉缩窄、右位主动脉弓等。

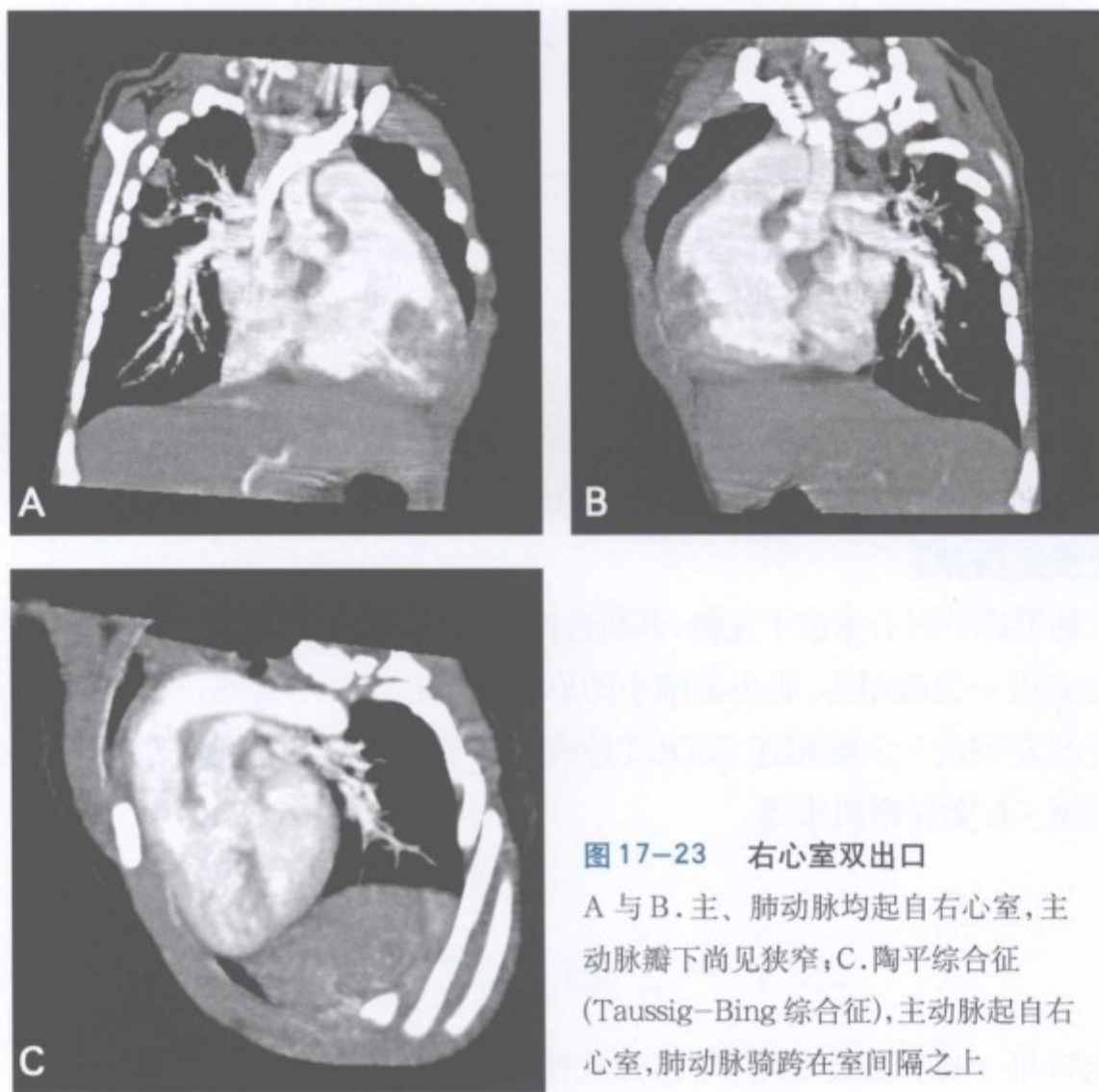


图 17-23 右心室双出口

A 与 B. 主、肺动脉均起自右心室, 主动脉瓣下尚见狭窄; C. 陶平综合征 (Taussig-Bing 综合征), 主动脉起自右心室, 肺动脉骑跨在室间隔之上

## 二十二、共同永存动脉干

共同永存动脉干是指自心底部发出一支大动脉干, 由其供给冠状动脉、体动脉以及肺循环血液, 是少见的先天性心血管畸形, 占先天性心脏病的 0.1%~1%。

### 【胚胎发生】

胚胎时期心球-共同动脉干分隔发育异常, 致使主动脉-肺动脉间隔自半月瓣起未发育, 而形成一支大动脉干, 供给冠状动脉、体动脉及肺动脉。

共同永存动脉干依其肺动脉起源分为 4 型。I 型, 共同动脉干在一组共同半月瓣基础上部分分隔, 分别在右侧发出主动脉, 左侧发出肺动脉, 约占 47%; II 型, 左、右肺动脉分别发自共同动脉干背侧, 约占 28%; III 型, 一侧肺动脉从共同动脉干发出, 另一侧肺由体、肺侧支供血, 而无共同动脉干发出的肺动脉, 约占 2%; IV 型, 合并主动脉弓发育不全, 包括离断、闭锁, 导管前主动脉缩窄或重度发育不良, 约占 23%。共同永存动脉干可有 2~6 个瓣, 以 3 瓣多见, 瓣叶可增厚、变形并发关闭不全。

**【MDCT 征象】**

(1)心底部仅见一组半月瓣,瓣叶数目判断较难。

(2)大血管根部发出冠状动脉,向上走行后,根据肺动脉起源可分4型。右侧发出升主动脉至体循环,左侧发出肺动脉至肺循环,为I型征象。向上走向大动脉背侧发出左、右肺动脉,此为II型征象。向上走行大动脉发出一侧肺动脉,另一侧肺由体、肺侧支供血,此为III型征象。合并主动脉弓发育不全,为IV型征象(图17-24)。

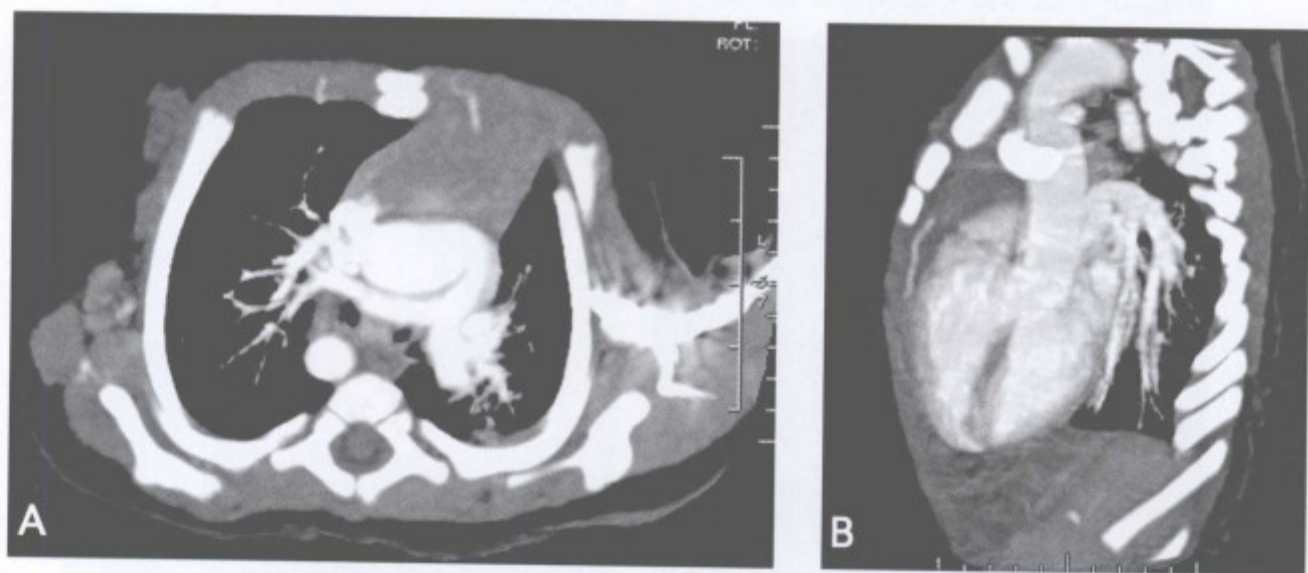


图17-24 共同永存动脉干I型

横断面(A)及矢状位(B)重组图像显示主肺动脉起自主动脉左侧壁

## 二十三、室间隔缺损合并肺动脉闭锁

室间隔缺损合并肺动脉闭锁泛指肺动脉与心室连接中断,两心室间因室间隔缺损而相互连通,肺动脉血液由体动脉供给。肺动脉闭锁包括的范围有右室漏斗部、肺动脉瓣、肺动脉干及其主要分支,任何水平的闭锁均可造成右心室至肺动脉前向血流完全梗阻。室间隔缺损使双室血液均由主动脉发出,主动脉骑跨,肺循环主要靠降主动脉的侧支供血。按肺动脉闭锁部位分为5型。I型:右心室漏斗部和(或)肺动脉瓣闭锁,主肺动脉及两侧肺动脉汇合部存在;II型:主肺动脉闭锁,两侧肺动脉汇合部存在;III型:两侧肺动脉存在,但不融合;IV型:一侧肺动脉闭锁,该侧依靠体-肺侧支循环、支气管动脉供血;V型:两侧肺动脉闭锁,两侧肺依靠体-肺侧支循环、支气管动脉供血。

肺循环供血主要来源有动脉导管、体-肺侧支循环及支气管动脉。较为特殊的侧支血管有冠状动脉、头臂干、膈下动脉、肋间动脉等。

**【MDCT 诊断要点】**

(1)肺动脉闭锁:闭锁部位可在漏斗部、肺动脉瓣、肺动脉主干或其主要分支,表现为该部位无对比剂充盈(图17-25)。

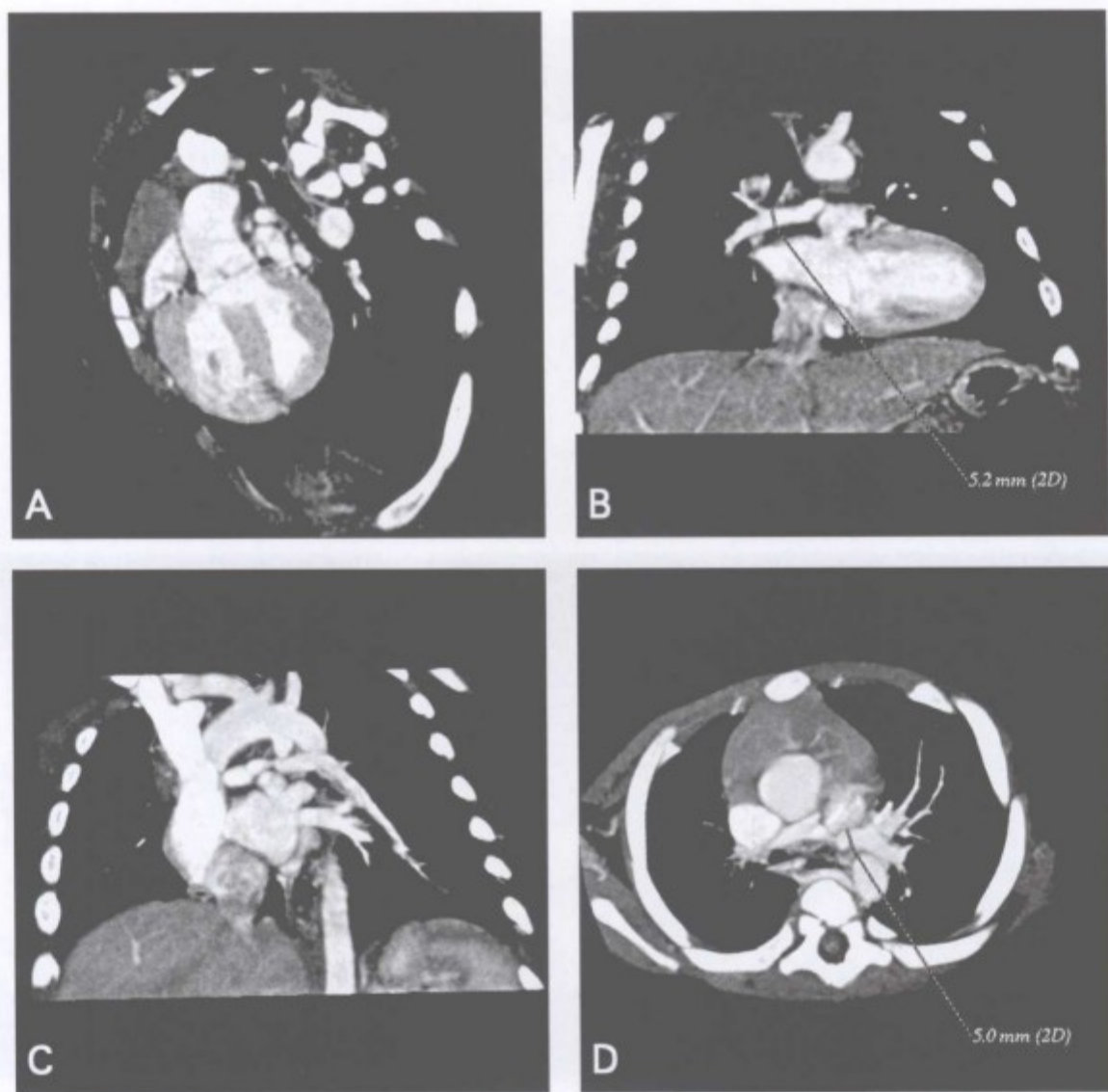


图 17-25 室间隔缺损合并肺动脉闭锁

主动脉骑跨在室间隔之上(A), 主动脉瓣下室间隔缺损(B), 右心室流出道及肺动脉主干未见显示(C), 肺动脉由动脉导管未闭及主动脉侧支血管供应(D)

(2)体-肺动脉侧支循环, 多由降主动脉上段发出, 较粗大与肺动脉相连通。侧支血管两端吻合口常有狭窄存在。

### (3)室间隔缺损。

常规心血管造影时, 由于本病肺动脉及其分支发育差, 流入肺循环的对比剂少, 加上影像重叠, 有时难以判断肺动脉发育状况及肺动脉有否融合。螺旋CT密度分辨率高, 断层成像避免了影像重叠, 多平面重组直观显示肺动脉起源及侧支血管走向, 因而能可靠地显示肺动脉发育状况。

## 二十四、先天性冠状动脉瘘

先天性冠状动脉瘘属罕见的先天性心脏病, 冠状动脉主干及其分支与心腔之间直接沟通, 形成左向右或右向左的分流, 分为5型。I型: 流入右心房; II型: 流入右心室; III型: 流入肺动脉; IV型: 流入左心房; V型: 流入左心室。冠状动脉瘘多起自右侧冠状动脉或其分支, 引流进右心室最

多见。

#### 【MDCT 诊断要点】

受累冠状动脉多呈明显扩张、增粗。容积再现重组可直观显示病变冠状动脉全程,分流量较少者,受累冠状动脉可不扩张或轻度扩张,瘘口难于显示,有的可见其呈血管丛状(图17-26)。

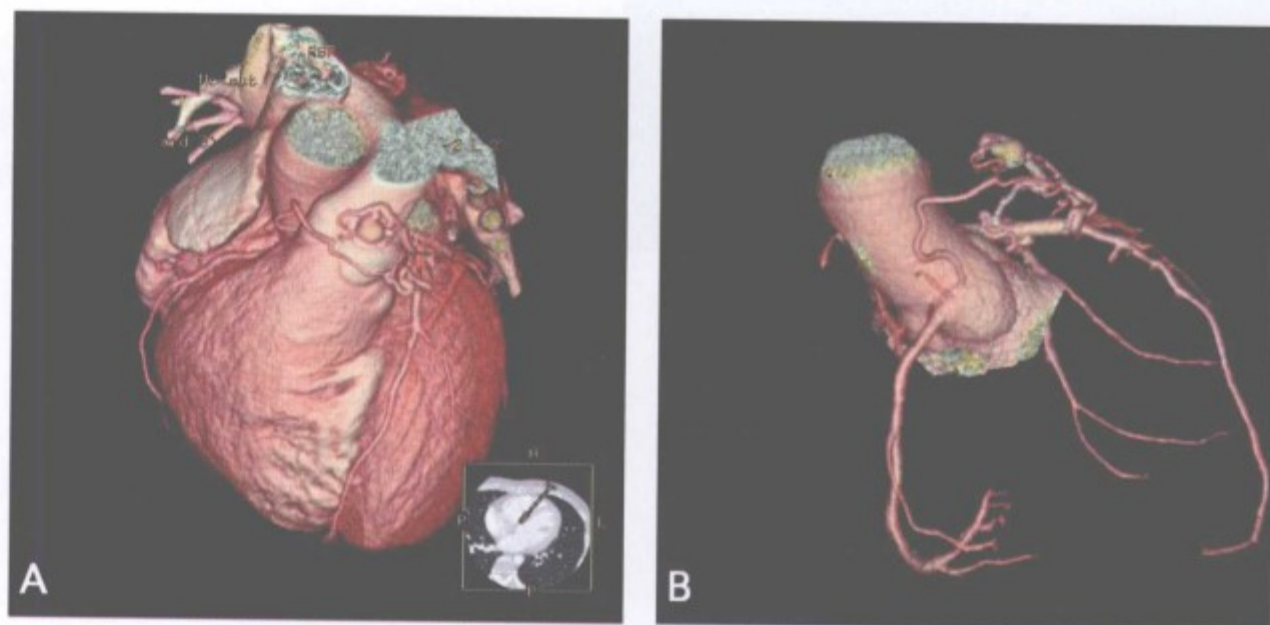


图 17-26 冠状动脉肺动脉瘘

左、右冠状动脉发出异常血管与肺动脉直接沟通

## 二十五、心肌致密化不全

心肌致密化不全是一种少见的先天性心脏病。

#### 【胚胎发生】

心脏胚胎发育前4周,冠状动脉还未形成,胚胎心肌由海绵状心肌组成,心肌血液供应是通过心肌间与心腔相通的小梁隐窝间的血液供应的。胚胎发育5~6周时,心肌逐渐致密化,小梁间隐窝压缩成毛细血管,形成冠状动脉的微循环系统。若此时致密化过程的失败将导致海绵状心肌的持续存在。病理上主要表现为心腔内心内膜下异常粗大的肌小梁和其间异常深陷的隐窝。由于以上的特征,故心肌致密化不全也称为永存胚胎心肌或海绵状心肌。

心肌致密化不全最易受累的部位为心内膜下心肌及心尖部心肌,尤以左室前外侧壁为著,而室间隔很少受累。

#### 【MDCT 征象】

心肌增厚、分层;内层为增厚而疏松的非致密化心肌层;外层为变薄而密实的致密化心肌层。非致密化心肌密度介于心室腔血液密度与心室壁外层致密心肌密度之间,致密化心肌部分密度均匀,非致密化心肌部分密度不均匀,增强CT扫描可见对比剂充盈于非致密化心肌层的小梁陷窝内,在充满血液的隐窝间可见强化的异常粗大的肌小梁形成的分隔(图17-27)。



图 17-27 心肌致密化不全

左心室扩大,左心室侧壁、前壁、心尖及室间隔前部分心腔侧见心肌呈海绵状改变,对比剂充盈于心肌肌束之间

(黄美萍 崔燕海 梁长虹)

## 第四节 心包疾病

心包为包裹心脏止于大血管根部的一个囊袋。其外层为纤维心包层,较坚韧,为大血管外膜的延续;内层为浆膜心包层,浆膜心包层又分为壁、脏两层。壁层紧贴纤维心包层,脏层为心包脏层的延续。壁、脏两层间为心包腔,通常含少量心包润滑液,为20~30ml。主动脉升部、肺动脉干后方与上腔静脉、左心房间有心包横窦;肺静脉根部与腔静脉根部间可见心包斜窦。

正常心包厚度在1~2mm,不超过3mm,在心包脏层脂肪层的衬托下CT上表现为一条细线样影(图17-28)。

### 一、心包积液

引起心包积液的原因很多,归纳起来可分为如下几类。①心包炎症,分为感染性心包炎症和非感染性心包炎症;②心包肿瘤;③心脏、心包、大血管创伤;④心力衰竭;⑤肾衰竭;⑥心包淋巴回流受阻。

心包有很大的代偿功能。当代偿功能大于积液增长速度时,此时心内压力增长缓慢,对血液循环系统可能无明显影响,最多时心包腔内积液可达2000~3000ml。当代偿功能小于积液增长速度时,心内压力升高迅速,最严重时可出现心脏压塞,此时心室舒张功能受限,静脉回流受阻。

#### 【MDCT 诊断要点】

(1)心包腔内液性密度区。通常漏出液CT值在0~20Hu,如右心功能不全时出现的心包积液

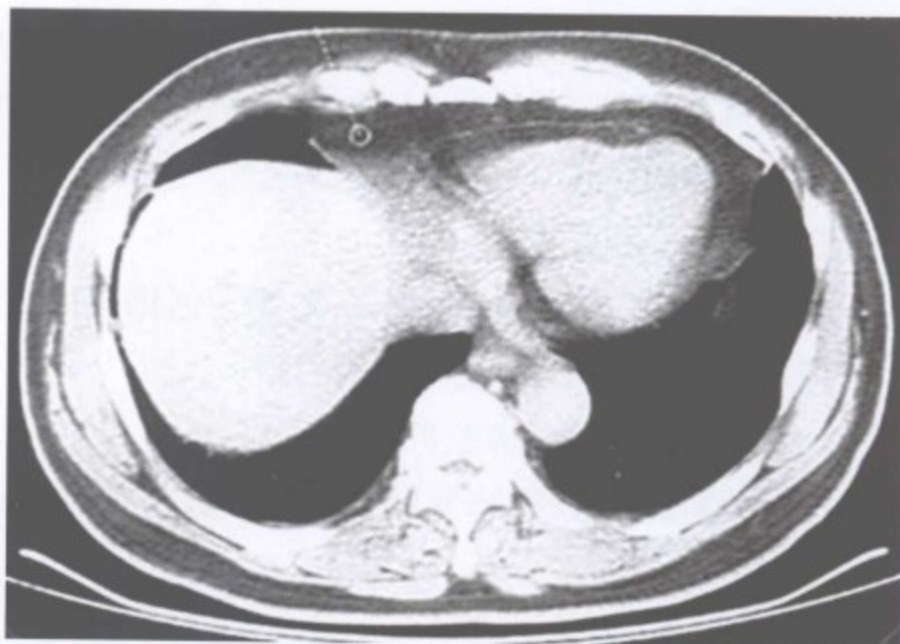


图 17-28 正常心包  
右心室前侧方心包呈光滑线样影,宽1~2mm,心膈角处见脂肪垫

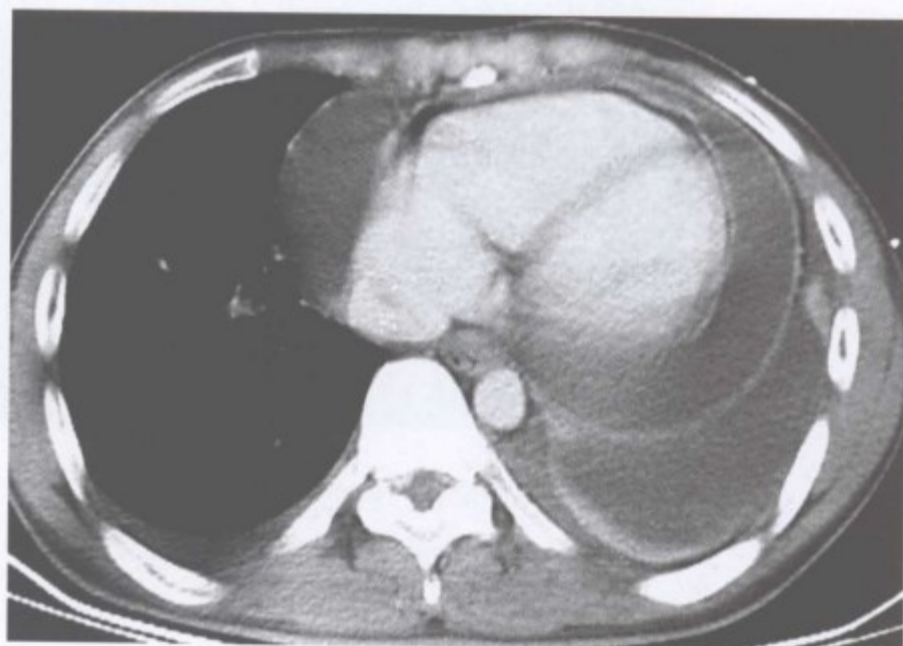


图 17-29 心包积液  
心包脏、壁层间见新月形水样密度影

(图 17-29)。渗出液 CT 值较高,如感染性心包炎。急性出血时密度更高,CT 值可达 100Hu。

(2)心包形态改变:表现为心包增厚、粘连、钙化。

(3)心血管系统改变:继发于其他器质性心脏病的心包积液,心脏改变取决于其原有心脏病,原发于心包疾患的心包积液,心脏改变取决于积液量及生成速度。长期缓慢增长的大量心包积液,可使心血管系统出现心室舒张受限、舒张末期容积下降、腔静脉扩张等一系列改变;而迅速产生的心包积液,则可有心脏压塞的病理生理改变而无任何心脏大血管形态上的异常。

## 二、缩窄性心包炎

由于心包增厚、粘连、钙化,限制了心脏活动,导致心脏舒张功能受限,出现体静脉或肺静脉压增高者,称为缩窄性心包炎,它常是各种心包疾患的最终结果。

缩窄性心包炎最有意义的两个缩窄部位是左、右心室面缩窄和房室瓣环缩窄。前者可导致心室舒张功能受限,舒张末期压力增高,心房排血受阻,静脉压增高。后者导致瓣环口的狭窄,产生类似房室瓣环狭窄的血流动力学改变。

**【MDCT 诊断要点】**

- (1)主要为心包不规则增厚、粘连、钙化,称为“盔甲心”(图 17-30)。
- (2)心室轮廓变形,称为不规则心型。
- (3)心房压力增高,房腔扩张。
- (4)静脉淤血,包括肺静脉、上腔静脉、下腔静脉、奇静脉。

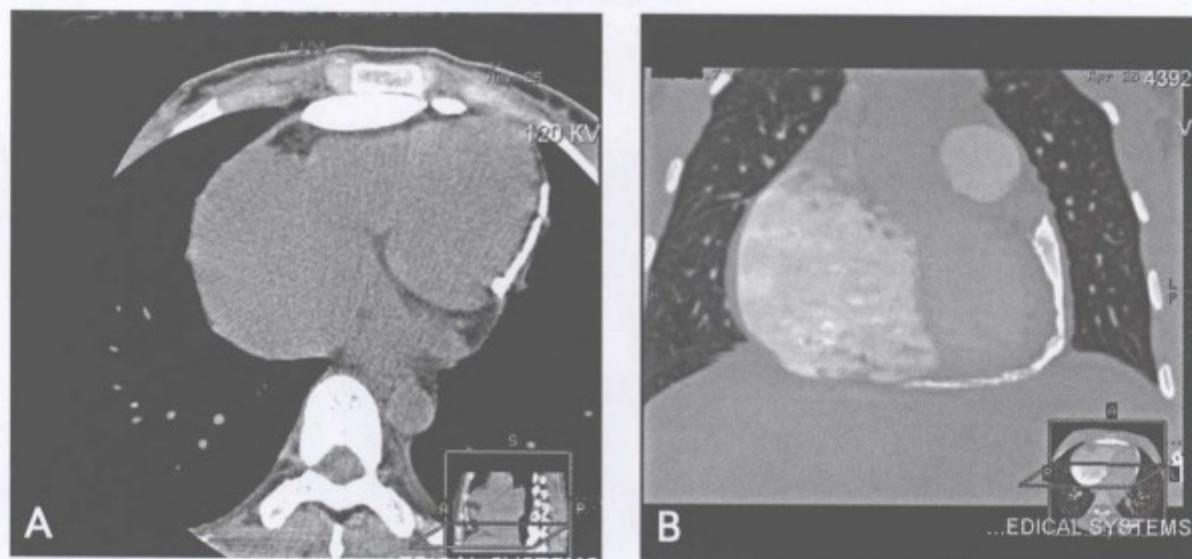


图 17-30 缩窄性心包炎  
心包增厚、包壳样高密度钙化,右心房扩大

### 三、心包肿瘤

**(一)原发良性肿瘤**

1.心包囊肿 为最常见心包原发肿瘤,发病率男性多于女性。最常见于心右缘的右心膈角。CT显示肿瘤一般较大,在几厘米至十几厘米,包膜完整,少有钙化,壁薄、边界清。单房,无分隔,呈水样密度,无强化(图 17-31)。

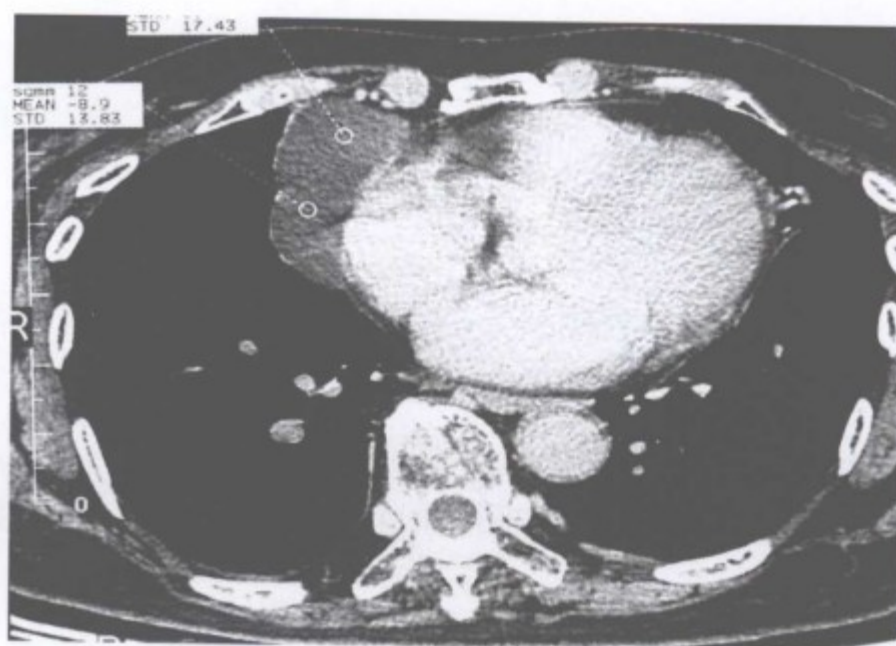
2.心包憩室 较罕见。病变为与心包腔相通的心包的延续性病变。CT 征象类似心包囊肿,所不同的是,心包憩室与心包腔相通,而后者没有。

3.心包畸胎瘤 以儿童及青少年多见。CT 征象:典型征象同其他部位畸胎瘤相似,具有脂肪、水、牙齿样密度的肿瘤。

**(二)原发恶性肿瘤**

心包间皮瘤好发于任何年龄。肿瘤起源于心内淋巴、内胚层和中胚层间皮细胞。通常呈弥漫





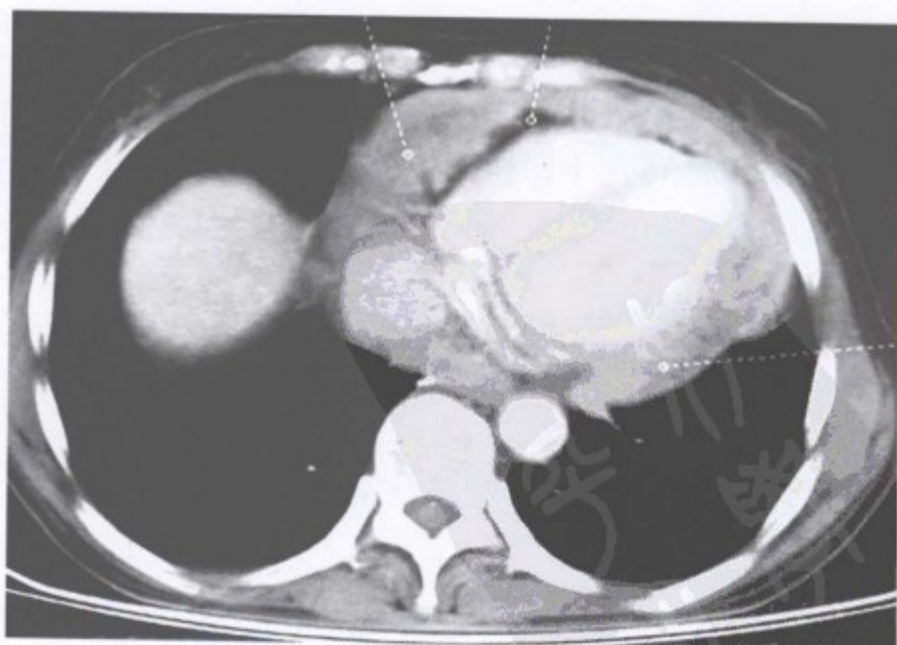
**图 17-31 心包囊肿**  
右心膈角处见类圆形液性密度影,边缘光滑,与心包腔不相通

浸润性生长,同时累及心包脏、壁层,引起积液。

MDCT可见心包呈弥漫性不规则增厚及小结节样突起,病变范围较广,边界不清,形态不整。肿瘤较大时可填塞心包腔,引起心包积液,心房舒张功能受限,腔静脉压升高(图17-32)。

### (三)心包转移瘤

转移瘤发病率远高于原发肿瘤。CT表现类似心包间皮瘤,诊断需结合临床病史,是否存在原发肿瘤。



**图 17-32 心包间皮瘤**  
心包弥漫性不均匀增厚,可见多个大小不等结节影

(黄美萍 梁长虹)

## 第五节 心脏肿瘤

心脏肿瘤按发生分为心脏原发肿瘤和心脏继发肿瘤。原发肿瘤少见,大部分为转移性肿瘤,后者为前者的几十倍。按肿瘤性质分为心脏良性肿瘤、心脏恶性肿瘤。良性肿瘤中,成人多为黏液瘤,儿童以横纹肌瘤多见。恶性肿瘤中,最常见的是血管肉瘤、横纹肌肉瘤及间皮瘤。心脏转移瘤常见于肺癌、乳腺癌、白血病、恶性黑色素瘤、淋巴瘤、食管癌等恶性肿瘤的转移。

### 一、黏液瘤

黏液瘤常见于30~60岁女性,是心脏最常见原发肿瘤。好发于心内膜面,好发部位依次为左心房、右心房、左右心室。多为单发,偶有多发。可有钙化,可带蒂,随血流运动,可堵塞房室瓣口,出现流出道梗阻。

#### 【MDCT 征象】

左房黏液瘤可见左心房内占位性病变,基底多附着一房间隔,可带长短不一的蒂,呈息肉状或分叶状,多为单发,一般在数厘米,边缘光滑,密度不均,其内可有钙化或出血(图17-33)。强化不明显,当蒂很短时与血栓难以鉴别。其他心腔黏液瘤类似上述表现。

### 二、横纹肌瘤

横纹肌瘤以婴幼儿及儿童最常见,好发年龄在1岁以内。好发部位依次为室间隔、其他心室内侧壁、心房内壁、心包脏层下、心内膜下。肿瘤局限,无包膜,大小不等,可突入心腔内。

#### 【MDCT 征象】

肿瘤基底部位于肌壁内,可突出不明显或略向心腔内突出。肿瘤边缘光滑,CT值与心肌相似,基本均匀,可有强化。

### 三、脂肪瘤

脂肪瘤可发生于心脏任何部位、任何年龄。

#### 【MDCT 征象】

肿瘤可位于心肌内,也可呈息肉样突入心腔,瘤体大小不一,直径可在数毫米至十几厘米。边界光滑。最典型征象是肿瘤CT值为脂肪密度。如果CT值不均匀,其内有软组织密度,应考虑到脂肪肉瘤的可能。

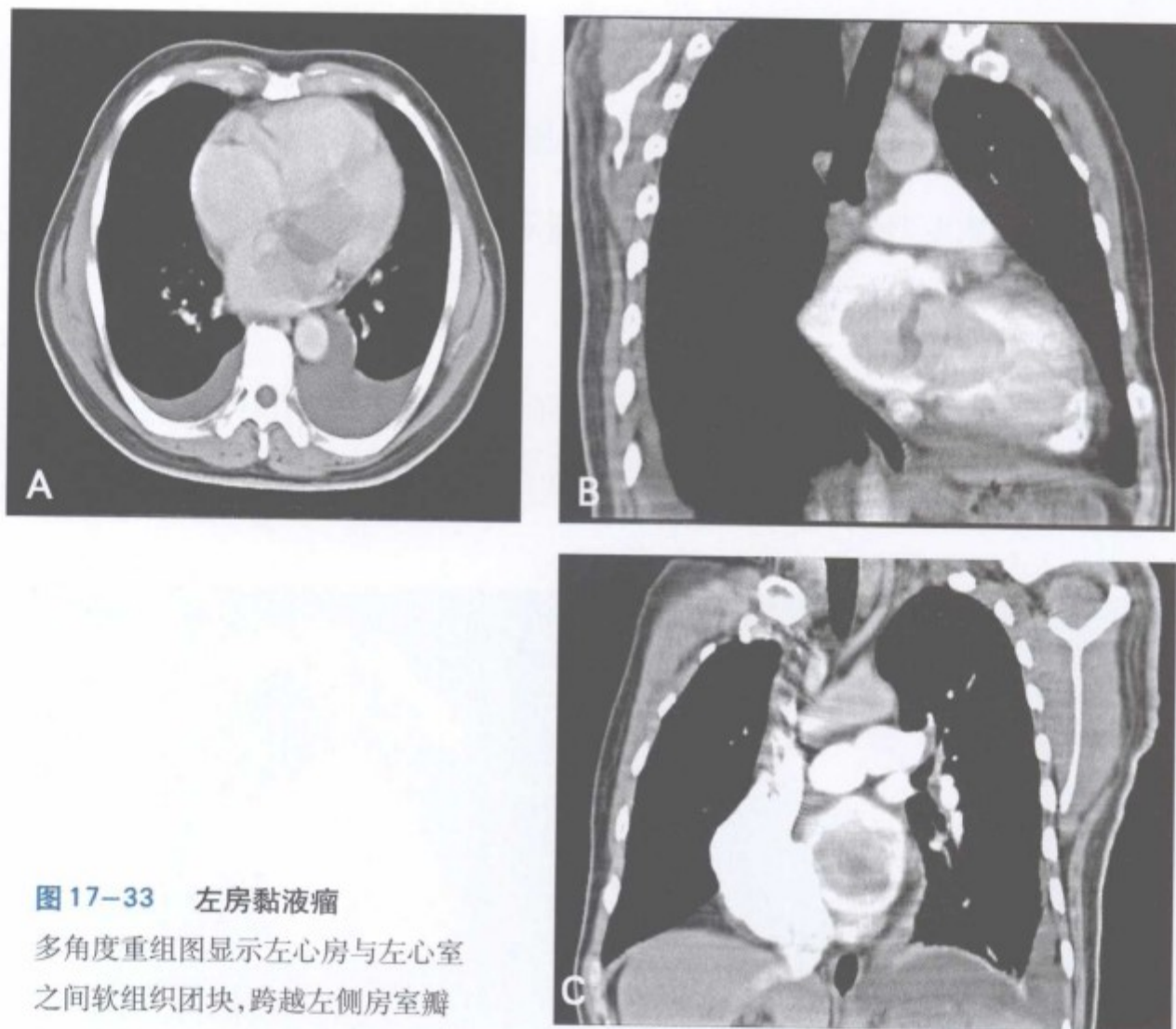


图 17-33 左房黏液瘤  
多角度重组图显示左心房与左心室  
之间软组织团块,跨越左侧房室瓣

#### 四、淋巴管瘤

淋巴管瘤较少见,可发生于心脏任何部位,肿瘤为含有水样淋巴液和淋巴细胞的淋巴管组成。

##### 【MDCT 征象】

无增强的水样密度肿瘤,可位于心脏任何部位。

#### 五、血管肉瘤

血管肉瘤为心脏最常见恶性肿瘤,男性多于女性,好发年龄在20~50岁。肿瘤好发于右心系统,以右心房多见。肿瘤大多向心腔内生长,可向外浸润心肌及心包脏层,也可累及心包。亦可发生于大静脉系统,呈结节状或息肉状弥漫性浸润。当肿瘤向心腔内生长堵塞房室瓣口时可造成腔静脉堵塞综合征。

##### 【MDCT 征象】

心腔内占位,多见于右心房。肿瘤呈结节状突入心腔,也可呈匍匐性生长,形态不规则,边界不清楚。密度不均匀,可显著强化。

## 六、横纹肌肉瘤

横纹肌肉瘤为心脏原发恶性肿瘤的第二位,儿童多见。肿瘤多呈结节状或息肉状向心腔内突出,常有坏死。少数肿瘤呈弥漫性浸润生长。

### 【MDCT 征象】

心腔内结节状或息肉状病灶,与正常心肌分界不清,密度不均,有坏死区,受累心肌运动幅度下降(图 17-34)。

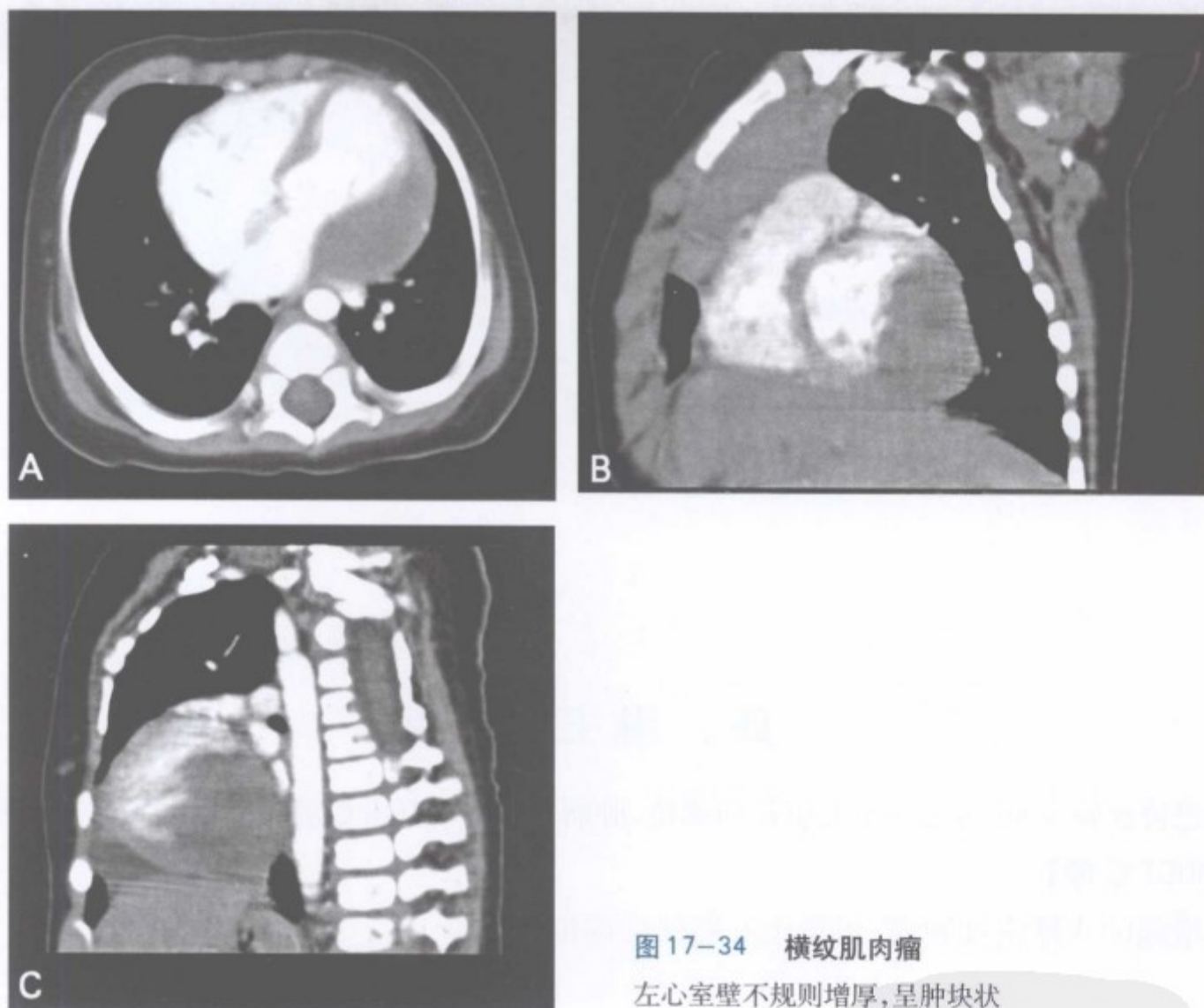


图 17-34 横纹肌肉瘤  
左心室壁不规则增厚,呈肿块状

## 七、纤维肉瘤

纤维肉瘤无特征性改变。可发生于任何年龄,心脏任何部位,与横纹肌肉瘤鉴别较难。

## 八、心脏转移瘤

转移瘤一般呈浸润性生长,与心壁界限不清,形成心腔内充盈缺损,可累及心包,范围较广,可能多

发,一般有强化。肿瘤还可能具有原发肿瘤的一般特征。

(黄美萍 梁长虹 崔燕海)

## 参 考 文 献

- [1] 黄美萍,梁长虹,曾辉,等.多层螺旋CT在小儿复杂先天性心脏病诊断中的应用.中华放射学杂志,2004,38(7):726-731
- [2] 黄美萍,梁长虹,曾辉,等.新生儿及婴儿先天性心脏病多层螺旋CT心血管成像.中国医学影像技术,2004,20(7):1060-1063
- [3] 黄美萍,梁长虹,曾辉,等.小儿先天性心脏病肺动脉发育的多层螺旋CT研究.放射学实践,2004,19(8):608-611
- [4] 黄美萍,梁长虹,曾辉,等.多层螺旋CT在小儿肺静脉畸形引流诊断中的价值.中华放射学杂志,2005,39(5):520-523
- [5] Kim TH, Kim YM, Suh CH, et al. Helical CT angiography and three-dimensional reconstruction of total anomalous pulmonary venous connections in neonates and infants. AJR, 2000, 175:1381-1386
- [6] Kawano T, Ishii M, Takagi J, et al. Three-dimensional helical computed tomographic angiography in neonates and infants with complex congenital heart disease. Am Heart J, 2000, 139:654-660
- [7] Westra SJ, Hill JA, Aliejos JC, et al. Three-dimensional helical CT of pulmonary arteries in infants and children with congenital heart disease. AJR, 1999, 173:109-115
- [8] Bradshaw KA, Pagano D, Bonser RS, et al. Multiplanar reformatting and three-dimensional reconstruction: for pre-operative assessment of the thoracic aorta by computed tomography. Clin Radiol, 1998, 53:198-202
- [9] Schaffler GJ, Sorantin E, Groell R, et al. Helical CT angiography with maximum intensity projection in the assessment of aortic coarction after surgery. AJR, 2000, 175:1041-1045
- [10] Masiello P, Santoro G, Franzesi E, et al. Aortic pseudo-coarctation: spiral volumetric computed tomography imaging. Ann Thorac Surg, 1999, 68:1421
- [11] Shiraishi I, Yamagishi M, Iwasaki N, et al. Helical computed tomographic angiography in obstructed total anomalous pulmonary venous drainage. Ann Thorac Surg, 2001, 71:1690-1692
- [12] Goo HW, Park IS, Ko JK, et al. Computed tomography for the diagnosis of congenital heart disease in pediatric and adult patients. The International Journal of Cardiovascular Imaging, 2005, 21:347-365
- [13] Boxt LM. Magnetic resonance and computed tomographic evaluation of congenital heart disease. Journal Magnetic-Resonance Imaging, 2004, 19(6):827-847
- [14] Haramati LB, Moche IE, Rivera VT, et al. Computed tomography of partial anomalous pulmonary venous connection in adults. J Comput Assist Tomogr, 2003, 27(5):743-749
- [15] Goo HW, Park IS, Ko JK, et al. CT of congenital heart disease: normal anatomy and typical pathologic conditions. Radiographics, 2003, 23:147-165

## 主动脉 CT 血管成像

在多层螺旋 CT 投入临床使用前,主动脉病变一直以血管造影或 DSA 作为诊断的金标准。血管造影为有创性检查,只能显示主动脉管腔内的情况,其临床价值受到一定的限制。磁共振成像及磁共振血管成像为主动脉病变的诊断提供了一种无创性检查方法,但其分辨率较低,易受心动周期和缓慢血流的影响,对钙化、血栓和主动脉分支受累情况的显示受到限制。近年来,螺旋 CT 尤其是多层螺旋 CT 的广泛应用,为临床提供了一种可信赖的微创性高分辨率检查手段。

### 第一节 扫描技术及方法

多层螺旋 CT 扫描速度快,实现了对比剂注射后的高峰期扫描,增强后可达到优良的对比,轴位像即可对主动脉病变作出诊断;另外,功能强大的后处理使主动脉管壁和腔内、腔外病变以及与邻近结构关系的显示明显优于其他影像学检查手段。

#### 一、扫描范围

一般来说,胸主动脉的扫描从胸廓顶部开始至肋膈角水平,头端需要包括主动脉弓分支起始部分;腹主动脉的扫描,从第 11 胸椎体下缘开始至髂嵴连线下 2cm,上部包括肾动脉、肠系膜上动脉、腹腔动脉,下部包括髂总动脉分叉。

## 二、扫描参数

为了保证图像质量,可以采用自动方式控制球管电流,使得胸、腹部交界区的图像质量保持一致。常采用亚秒、大螺距扫描,层厚为1~3mm。重组图像时,层间距离采用一定程度(50%)的重叠有助于改善重组图像的质量。

扫描前训练患者的呼吸运动及屏气方式,使得患者一次屏气即可完成扫描,得到全程主动脉图像。另外,平扫不可省略,因为平扫可发现动脉夹层内移的钙化内膜等。

## 三、对比剂使用

使用高压注射器从肘静脉注射对比剂,3~3.5ml/s。最好在对比剂注射完成后,继续以相同的注射速度注射生理盐水,以保持血管内对比剂团形态。注射对比剂流率如过慢,则对比剂在血管内浓度不够;如果注射流率过快则容易造成血管破裂形成皮下对比剂聚集,需及时加以处理,同时,注射流率过快对心功能负荷也有影响。

影响主动脉CTA的因素除扫描条件外,对比剂的浓度及用量、扫描延迟时间均影响CTA的质量,其中扫描延迟时间是关键因素之一。

CTA扫描过程中,确定延迟时间的方法包括以下几种。①根据大血管循环时间估计,该方法较粗糙,因循环时间受个体差异及心功能状况等因素的影响,这种估计往往不够准确;②预先做小剂量团注循环试验确定循环时间是一种好的方法,但延长了检查时间,且增加对比剂用量。③采用软件技术自动跟踪对比剂到达时间,可使扫描控制在注射对比剂浓度曲线达到峰值时开始,这样不仅充分利用了对比剂,使主动脉全程显示较佳,而且可避免扫描的盲目性,尤其有部分患者心功能较差者,避免了因延迟时间估计误差而影响主动脉CTA成像质量的弊端。

一般来说,如果采用循环时间估算方法的话,注射流率3.0~3.5ml/s时,胸主动脉峰值为17~23s(平均20s),但是当心脏功能衰竭等影响循环时间时应当适当延迟,可采用25~30s延迟时间;腹主动脉常采用25s延迟时间。婴幼儿可采用15s延迟时间。

采用对比剂跟踪技术是确定CTA延迟时间的比较好的方法。使用该技术的时候,要做好充分的准备,高压注射器对比剂准备充分,预先设定好对比剂的量和注射速度,制定好扫描方案(选择扫描范围、扫描条件、血管内CT值增加的阈值),以便跟踪程序启动时能及时跟进,免得措手不及延误了最佳扫描时机。

## 四、图像分析

多数患者,多层螺旋CT轴位成像基本能满足主动脉疾病的诊断要求,但不能为临床医师提供一个与人体大体解剖吻合的影像,且大多数临床医师习惯大体解剖的直观图像。

MPR对主动脉夹层范围及对判断主动脉弓血管受累情况显示有优势,可帮助外科医生制订手术

的术式。MIP 只显示视线内图像的最高 CT 值,对判断血管壁的钙化有帮助。VR 图像直观,一幅图像上可显示内膜片及分支血管的解剖关系,不受重组平面和角度的影响,可清楚地显示动脉瘤大小、范围及与分支的关系和各种血管变异。VR 图像符合人体解剖,临床医师易于接受,但判断真假腔和血栓有困难,不能用于细致的诊断。

一般认为,观察动脉瘤直径和血栓与管腔关系,轴位成像和MPR 优于VR 和MIP;评价动脉瘤范围和解剖的关系,则VR 和MIP 优于轴位成像和MPR。

血管内支架已广泛应用于动脉瘤的治疗,术前对动脉瘤和分支血管的显示与测量,术后对支架的评估和并发症的显示都很重要。VR 不能区分血管腔和支架,而MIP 和MPR 可显示支架的位置、支架内腔的通畅及支架周围情况。MPR 能较好地显示假性动脉瘤与血管腔的关系及破口。VR 能显示血管间的关系,对先天性大血管畸形诊断和手术很有帮助。由于血管的重叠和走行不规则,MIP 和MPR 较难显示血管畸形的解剖结构。

(张金城 梁长虹 黄美萍)

## 第二节 正常主动脉CT血管成像

### 一、正常主动脉解剖

正常主动脉从左心室发出,分为升主动脉、主动脉弓和降主动脉。以膈肌主动脉裂孔为界,降主动脉又分为胸主动脉和腹主动脉。

升主动脉和主动脉弓长约5cm。升主动脉发自左心室的主动脉口,向前上右方斜行,至右第2胸肋关节上缘处移行为主动脉弓。主动脉弓自第2胸肋关节上缘起始,向上经气管前方转向左侧,下行至第4胸椎体下缘移行于降主动脉。

主动脉弓从右至左发出头臂干(无名动脉)、左颈总动脉和左锁骨下动脉三大分支。

胸主动脉为降主动脉的一部分,上接主动脉弓,下至第12胸椎下缘处,长约12cm。正常升主动脉直径为27~37cm,降主动脉直径为21~29cm。腹主动脉为降主动脉的腹段,从膈肌的主动脉裂孔处起始,沿着腰椎的腹侧下降至第4腰椎下缘处分为左、右髂总动脉。

腹主动脉的直径从膈下至远端分叉逐渐变细。其主要分支从上至下分别为腹腔动脉、肠系膜上动脉、双侧肾动脉和肠系膜下动脉。

### 二、正常主动脉CT表现

正常主动脉CT平扫表现为一圆形或椭圆形的软组织密度影,管壁和管腔密度难以区分。

增强扫描显示主动脉壁光滑整齐,管腔内均匀强化。管腔大小从升主动脉至降主动脉逐渐移行变细(图18-1)。

一般认为,正常主动脉管径变化范围很大,年龄、性别、胸椎椎体大小、体重及血压都与主动



脉的管径有关。年龄对胸主动脉管径的影响较大。张宝丰等认为,健康人的升主动脉约每10年增加1mm,降主动脉扩张宽度略低于1mm。年龄大于60岁时,这种变化逐渐不明显。无论性别,年龄越大,胸主动脉越宽。一般来说,在相应平面上,降主动脉管径不会大于升主动脉;升主动脉与降主动脉的管径比值在年轻女性和>60岁的女性最高,其余的<1.50;胸主动脉管径的大小明显取决于年龄、性别、胸椎椎体大小、体重及血压的变化,因此判断主动脉的大小应该考虑多种因素的影响。

各种后处理技术如MIP、MPR、VR、VE等均可以很好地显示正常主动脉及其分支(图18-1)。

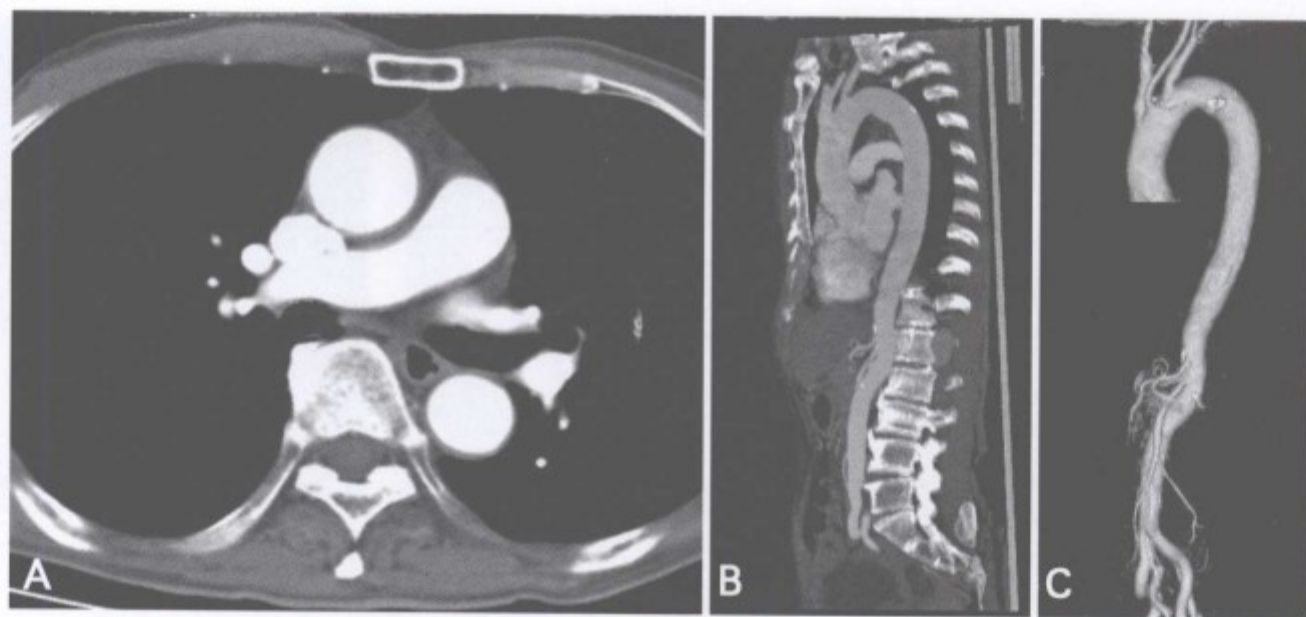


图18-1 正常主动脉

横轴位图像(A)显示升主动脉和降主动脉显著强化,管壁光整;MPR图像(B)显示主动脉及其部分分支;VR图像(C)可完整地显示胸主动脉、腹主动脉全程及其分支

(张金城 梁长虹 刘辉)

### 第三节 多发性大动脉炎

多发性大动脉炎是一种病因不明、慢性进行性非特异性血管炎。主要发生在亚洲地区。好发于青壮年,尤其是青年女性,男女发病率之比为1:10。病变主要累及主动脉及其主要分支和肺动脉,累及动脉壁全层,引起血管壁增厚、管腔狭窄和闭塞、动脉瘤形成。

病变常为多发性,按其累及部位分为4型,即头臂动脉型、胸腹主动脉型、广泛型及肺动脉型。

常规血管造影是一种有创性检查方法,在大动脉炎的急性期或病变早期,往往仅表现为血管壁增厚而管腔内壁光整,较难发现病变。当大动脉炎患者管腔重度狭窄或闭塞时,常规血管造影时操作困难。

CT血管成像作为一种操作方便、无创伤的检查方法,不仅能较好地显示主动脉及其分支血管管腔的变化,而且能较准确地反映血管壁病变,特别是MDCT具有多种后处理功能,对评价血管性病变更有价值。

大动脉炎患者主要表现为主动脉及其分支血管管腔的狭窄、闭塞、扩张及血管壁增厚与血管壁不同程度的强化(图 18-2, 图 18-3)。

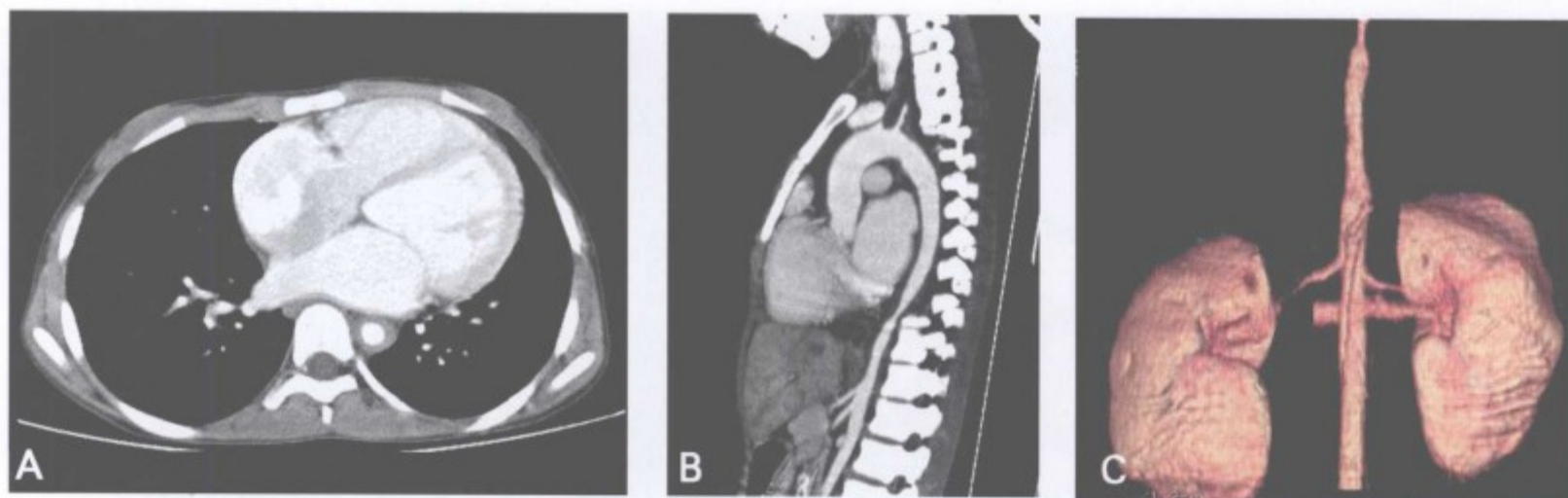


图 18-2 胸主动脉炎

横轴位图像(A)显示胸主动脉管壁明显增厚;MIP 图像(B)显示胸主动脉管壁增厚,管腔不规则狭窄;VR 图像(C)显示主动脉全貌,但不能显示增厚的管壁

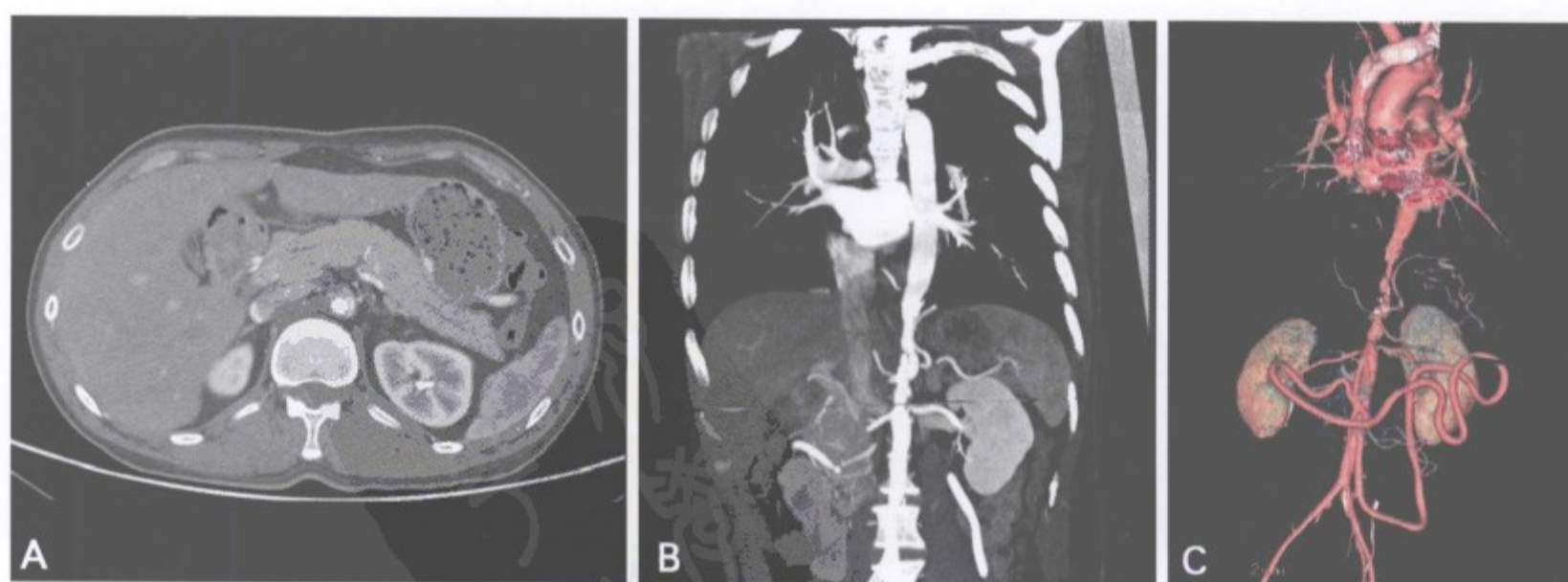


图 18-3 腹主动脉炎

A. 横轴位图像显示腹主动脉管壁明显增厚,管腔狭窄;B. MIP 图像显示腹主动脉壁不规则增厚,管腔狭窄;C. VR 图像显示主动脉全程和狭窄段的关系

多层螺旋CT血管成像时,应根据临床提示的血管病变可能部位,选择恰当的扫描参数与对比剂剂量及注射流率。如疑病灶位于细小动脉,可提高对比剂剂量及注射流率,同时采用更小的扫描层厚以提高靶血管的Z轴分辨率,同时尽量使靶血管与扫描层面垂直,以减少部分容积效应的影响。Yamada等对一组25例临床可疑大动脉炎的患者进行了常规血管造影和螺旋CT血管成像对比研究,发现MDCTA诊断大动脉炎的敏感度为95%,特异度为100%,诊断符合率为96%,仅1例患者由于病变位于锁骨下动脉远端而未能正确诊断。

较常用的图像后处理技术有MPR、MIP及VR。MPR可以显示管腔形态改变、管壁的变化及壁外邻近组织或结构的变化。MIP显示细节精确,图像类似传统血管造影,不但可以显示更多的细小血管,并可以通过调节阈值更清晰地显示病变血管,而且可多角度观察病变,但缺乏立体感。

当临床怀疑大动脉炎患者时,可首选MDCTA检查。

(张金城 黄美萍 梁长虹)

## 第四节 真性动脉瘤

真性动脉瘤的病理表现是主动脉管腔的局部异常扩张膨大,而血管壁仍保持完整。动脉瘤壁包含血管壁的内、中、外3层。动脉瘤常伴钙化和附壁血栓形成。动脉瘤可为梭形(血管整周受累)或囊状(血管部分受累)。动脉瘤的直径较大,增长较快时,有破裂的危险。一般认为,主动脉瘤直径大于7cm时应进行手术治疗。

发生于胸主动脉部位称为胸主动脉瘤。一般认为胸主动脉管腔局限性扩大,直径 $>4\text{cm}$ 或与邻近主动脉管径比较,管径超过 $1/3$ ,可诊断为胸主动脉瘤。

发生于腹主动脉的按其部位分为两组。一组为发生于肾动脉水平以上的高位腹主动脉瘤,如累及内脏及胸主动脉,则称为胸腹主动脉瘤;另一组为发生于肾动脉水平以下的腹主动脉瘤。95%的腹主动脉瘤为肾动脉下型。一般认为腹主动脉直径大于 $3\text{cm}$ ,或超过病变近端主动脉管径的 $1/3$ ,可诊断为腹主动脉瘤。

真性动脉瘤的主要病因是动脉粥样硬化,其他原因包括创伤、动脉壁囊性中层坏死(伴或不伴Marfan综合征)、主动脉炎、感染(细菌、真菌、梅毒等),少数为先天性。

胸主动脉瘤多见于老年人,男性多见,而腹主动脉瘤以40岁以上的男性患者多见。腹主动脉瘤在老年男性的发病率仅为 $1\% \sim 3\%$ 。动脉中层囊性坏死多发生于40岁以下。大多数患者无明显症状,为体检时发现。细菌性动脉瘤常有低热、寒战等非特异性感染症状。腹主动脉瘤有症状者表现为脐周或中上腹部搏动性肿块、钝痛或胀痛,瘤体表面可有压痛或闻及收缩期杂音。当动脉瘤增大压迫周围器官如气管、食管、上腔静脉、下腔静脉、肾脏或胆道系统等时可产生相应的临床症状。动脉瘤破裂时可出现剧痛,导致休克,甚至死亡。升主动脉根部动脉瘤破裂可引起急性心脏压塞,甚至死亡。腹主动脉瘤偶尔可破入肠道出现消化道出血。

## 一、真性动脉瘤 MDCTA 表现

主动脉瘤 CT 扫描平扫不可省略。平扫可观察动脉瘤的大小、形态和部位,瘤壁的钙化程度。增强扫描可显示动脉瘤的大小、部位及与邻近结构的关系。必要时可做动态增强扫描以鉴别是否有动脉夹层。动脉瘤的 CT 增强表现如图 18-4,图 18-5 所示。

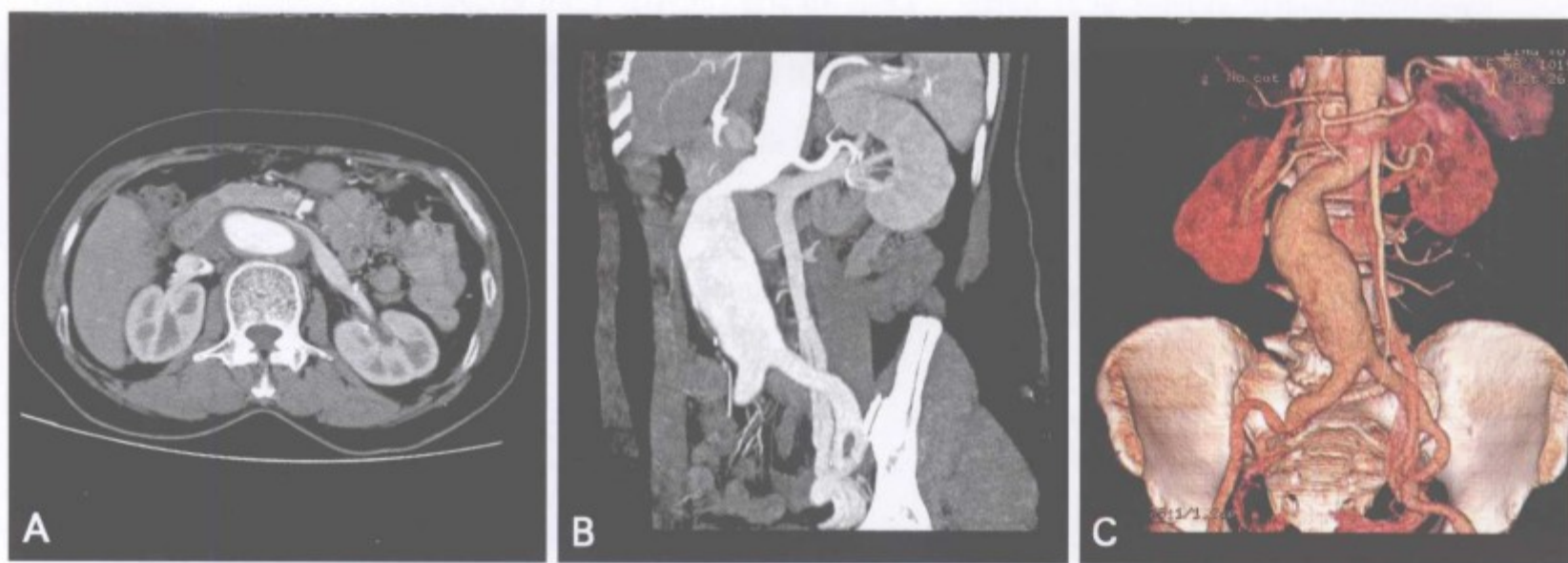


图 18-4 腹主动脉动脉瘤

A. 横轴位图像显示腹主动脉管腔明显增宽,均匀强化;B. MIP 图像显示腹主动脉管腔明显增宽,头侧尚离肾动脉有一段距离;C. VR 图像显示腹主动脉瘤体全貌,尾侧累及右侧髂总动脉,不规则扩张

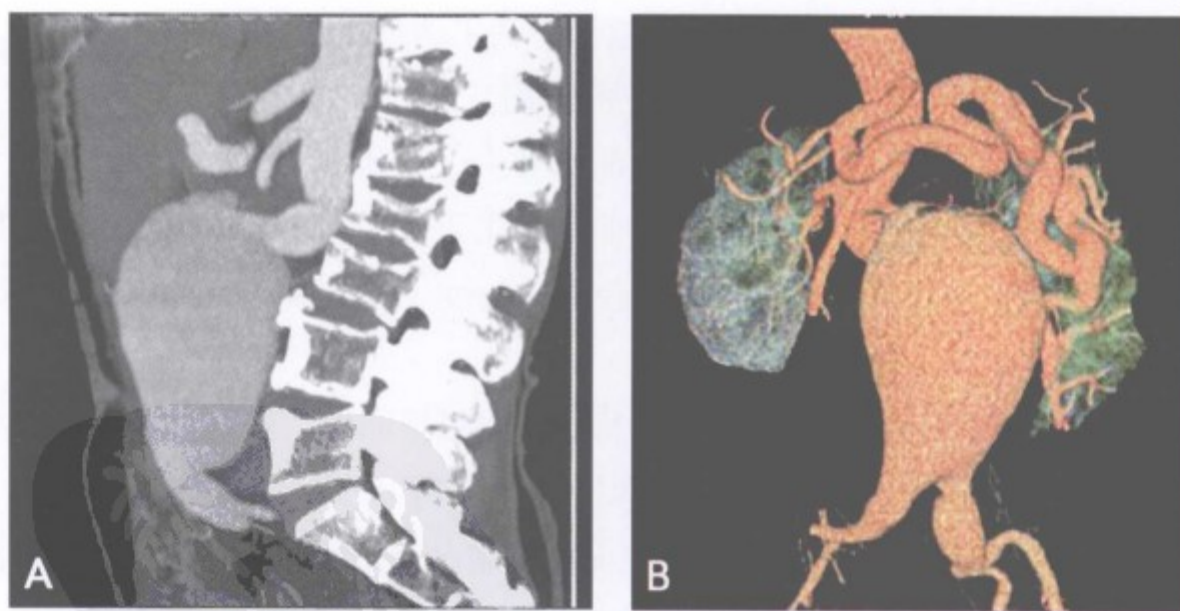


图 18-5 腹主动脉和左侧髂总动脉瘤样扩张

MIP 图像(A)及 VR 图像(B)均显示腹主动脉显著瘤样扩张,累及双侧髂总动脉

1. 动脉管腔的局限性扩大 胸主动脉瘤直径 $>4\text{cm}$ ,或与邻近主动脉管径比较,管径超过 $1/3$ 。腹主动脉瘤直径 $>3\text{cm}$ ,或超过病变近端主动脉管径的 $1/3$ 。

2. 动脉瘤壁钙化 这是鉴别动脉夹层的重要点。真性动脉瘤的壁为血管的壁,因此钙化位于病灶的周围,而动脉夹层的内膜撕裂向管腔内移位,因此,钙化的内膜位于腔内,向腔内方向移位。正常动脉管壁的厚度为3mm,动脉夹层钙化的内膜与血管外壁的间距 $>5\text{mm}$ 有诊断意义。

3. 附壁血栓形成 真性动脉瘤常常合并附壁血栓。由于附壁血栓可影响管腔内血液养分向瘤壁的弥散,并产生炎症因子加重瘤壁炎症,从而加速瘤壁破坏。主动脉瘤的横截面积越大,血流速度越慢,就越容易形成血栓。有学者认为女性腹主动脉瘤更加趋向于球形,瘤颈长且扭曲严重,较少形成附壁血栓。增强CT扫描显示附壁血栓表现为新月形、半月形或环形等充盈缺损。陈旧性附壁血栓可机化、钙化,表现为栓子内有斑块状、斑点状钙化灶;增强扫描可以显示不同程度强化。

4. 压迫和推移邻近结构 瘤体较大时可推移、压迫邻近周围器官。

5. 动脉瘤渗漏或破入周围结构 当发生动脉瘤渗漏或破入周围结构,动脉瘤周围出现积液,脂肪间隙模糊或消失。也可表现为心包、纵隔、胸腔或后腹腔积液。活动性出血时,增强CT扫描可见对比剂外渗。

6. 并发症 包括出血、感染和假性动脉瘤形成、腹主动脉十二指肠瘘、主要血管或人造血管闭塞等。

## 二、MDCTA对真性动脉瘤的诊断价值

MDCTA诊断真性动脉瘤与其他影像学检测手段比较有其优势。①无创操作,方法简便易行,并发症相对较少;②一次扫描成像,扫描范围大,可包括主动脉全程至双侧股动脉水平;扫描时间短,一次扫描一般不超过30s;③能清楚地显示病变的范围、形状、大小,瘤颈、瘤体与分支血管的关系等;④能同时显示管腔内外的病变,如附壁血栓的范围及厚度、管壁的钙化、位置、形状以及周围组织结构受累及的情况;⑤三维重组能够立体、直观、全方位地显示病变的范围、程度、分支血管受累的情况,以及与相邻组织结构的关系;尤其是VR技术还能够三维、实时、动态显示,提供优良的解剖学图像。MDCTA各种重组方法的综合使用,能相互补充和从不同角度更好地显示动脉瘤的各种病理改变,为临床提供了丰富的信息。MPR可以从不同方向观察瘤体情况,对附壁血栓、瘤体范围及邻近血管受累程度显示较佳;MIP对判断血管壁的钙化有帮助;VR能显示血管结构的立体效果,可清晰地显示病变与周围分支血管的关系,这是常规血管造影无可比拟的。轴位图像与MIP、VR图像相结合不但可以精确地测量瘤体的实际大小,而且能够从任意角度旋转图像观察动脉瘤的形态、大小及与主要血管分支的关系,立体地显示血管瘤及其与邻近结构的立体空间关系,使解剖关系一目了然。各种后处理技术的综合运用,可以全面地显示病变。MIP为前后重叠的图像,对钙化显示好,可以精确地测量管腔内径。VR图像立体感强,是显示动脉瘤最好的一种图像后处理方法,显示血管清晰,可以对重组后的图像做任意角度的旋转,清晰地显示动脉瘤的位置、瘤体形态以及与邻近结构、周围血管之间的空间关系。

MDCTA也有一些不足。由于MDCTA是一次成像,反映的是瞬间的血流状态,因而不能像常规血管造影一样,动态地反映血流动力学改变。另外,对于升主动脉根部动脉瘤,由于心脏及大血管搏动,会产生阶梯状伪影,因此难以判断病变是否累及冠状动脉和动脉瓣,也无法反映主动脉瓣的运动功能

情况,有时还误诊为动脉夹层。随着MDCT的逐步升级,MDCTA的时间分辨率将大大提高,将会有效地减少因心脏大血管搏动而产生的伪影,使诊断准确率逐步提高。

### 三、MDCTA 对动脉瘤手术评估及术后随访的价值

胸腹主动脉瘤是主动脉常见的且需外科治疗的病症,手术治疗是处理动脉瘤最为有效的方法,一旦动脉瘤诊断确定,原则上应尽早手术治疗,不仅可以解除局部症状、预防动脉瘤破裂等并发症,而且可达到良好的治疗效果,但术中脊髓的缺血性损伤及术后截瘫是动脉瘤手术的严重并发症之一。胸腰段脊髓最重要的动脉营养血供来源于Adamkiewicz动脉,其管径细,起源及分支走行复杂。降主动脉瘤手术由于阻断主动脉时间较长,需要结扎肋间动脉和术中阻断脊髓血供,往往在术后出现脊髓神经的损伤,造成轻瘫或完全截瘫,其发生率为1%~11%。因此,了解脊髓的供血动脉特别是对Adamkiewicz动脉的精确定位,术中可最大限度地保留发出Adamkiewicz动脉的肋间血管,如在行T<sub>7</sub>-L<sub>2</sub>水平动脉瘤的切除或人工血管置换手术时,可做该肋间动脉的袖片状移植,再置入人工血管内,被认为是预防、保护脊髓神经,避免或减少降主动脉瘤切除术后截瘫发生的最好方法。

多层螺旋CT血管成像技术极快的扫描速度、超薄的层厚、极高的空间分辨率和强大的图像后处理功能,不但能清晰显示Adamkiewicz动脉的解剖细节,还能完整显示其走行全程,获得清晰的解剖图像。MIP与MPR冠状位能清楚地显示脊髓前动脉和Adamkiewicz动脉,以及两者间特征性的“发卡”样连接。CPR可以将迂曲走行的Adamkiewicz动脉整个行程完整地显示在同一张图像上,消除血管重叠所造成的混淆。由于该动脉的整个行程不在一个平面上,在椎管内走行有一个向前、向内、向上的倾斜度,所以,需采用稍倾斜的冠状MPR、MIP和CPR图像可显示其整个路径,以及Adamkiewicz动脉的分支水平和起源方向。此外,MDCTA不但能清楚地显示脊髓Adamkiewicz动脉和它与主动脉、根动脉以及脊髓前动脉之间的细微解剖关系,提供脊髓的供血情况,还能全面显示动脉瘤的大小、范围、腔内血栓情况及主动脉分支动脉受累情况,帮助制定恰当的手术计划,以减少术中脊髓的缺血性损害和降低术后脊髓截瘫等并发症的发生。因此,术前常规做MDCTA检查以评价脊髓Adamkiewicz动脉对于胸腹主动脉瘤病例的治疗来说极为重要。

MDCTA作为微创性检查方法,可以对动脉瘤患者术后病例进行多次随访,能够显示重建血管的通畅性,术后可能出现的出血、感染、假性动脉瘤等并发症。VR能够显示支架的全貌,观察支架位置及与分支血管的关系,但无法显示支架的内腔。SSD观察金属支架受到限制,只能显示被支架撑粗的血管外形。MIP能够显示支架,但显示支架与血管的关系不佳。MPR能从支架长轴作断层,可观察支架内部情况,如有无血栓形成和支架变形等,可清晰观察漏血点,结合轴位图像,还可观察支架与血管壁间血栓的形成。同常规血管造影相比,MDCTA能更清晰地显示支架的脱落、支架周围对比剂的泄漏。因此,MDCTA是动脉瘤患者术后随访中很有价值的方法,有学者提议采用MDCTA作为动脉瘤患者术后首选的复查方法。

(张金城 崔燕海 黄美萍)

## 第五节 假性动脉瘤

假性动脉瘤为多种原因导致血管壁缓慢撕裂,在血管周围形成局限性血肿,其瘤壁仅由纤维结缔组织构成,而不具有正常的动脉壁结构,瘤内血流通过破裂口与母血管相通,中央部分在高压血流冲击下逐渐腔化,发展成破口小、瘤腔大的囊性肿块。多见于外伤、术后并发症、动脉硬化和感染。

主动脉假性动脉瘤非常少见。假性动脉瘤临床表现无特异性,诊断主要依据影像学检查,关键是假性动脉瘤的定位和显示主动脉壁破裂口,超声、CT、MRI、DSA的应用,均能较客观地反映假性动脉瘤的位置、形状及毗邻关系,明显提高本病的发现率和诊断正确率。

### 一、假性动脉瘤的 MDCTA 表现

1. 平扫 可见动脉瘤的瘤体与主动脉关系较为密切(图 18-6,图 18-7)。瘤体内密度与瘤体形成的时间长短关系密切。急性期瘤体内血液可高于正常血管内血液密度;随时间延长,瘤体内密度逐渐降低且低于正常血管内血液密度;以后部分患者瘤腔内或瘤壁发生钙化,可见斑片状或斑块状钙化。

2. 增强扫描 显示正常血管首先强化,对比剂通过瘤颈进入瘤体。瘤体强化一般迟于正常管腔。早期增强扫描可见瘤体多显影浅淡,稍后瘤体明显强化与动脉密度接近,随后动脉密度下降,而瘤体密度减低迟于动脉。如果破口较大,瘤体密度改变可与动脉同步。部分患者瘤腔内完全被血栓充盈,瘤体可不显影,表现为血管旁的软组织密度肿块影。

3. 邻近气管受压、移位等

### 二、MDCTA 诊断假性动脉瘤价值

MDCTA不仅能显示假性动脉瘤瘤体的大小和瘤体内血栓,显示母体血管通向瘤体的破口,通过瘤体密度变化反映其血流动力学改变,还可显示瘤体与邻近结构的关系,进行任意方向、任意角度的测量,可作为假性动脉瘤的简便、无创和可靠检查方法,可完全取代血管造影检查用于腹部假性动脉瘤的诊断。

典型的假性动脉瘤诊断多不难,对于疑难者应与动脉瘤或动脉夹层鉴别。动脉瘤多沿动脉纵向分布,呈梭形扩张,无破裂口。而动脉夹层,可见内膜片内移,但无动脉旁肿块。后者多有主动脉旁肿块和破裂口,MDCTA易于鉴别。

(张金城 黄美萍 梁长虹)

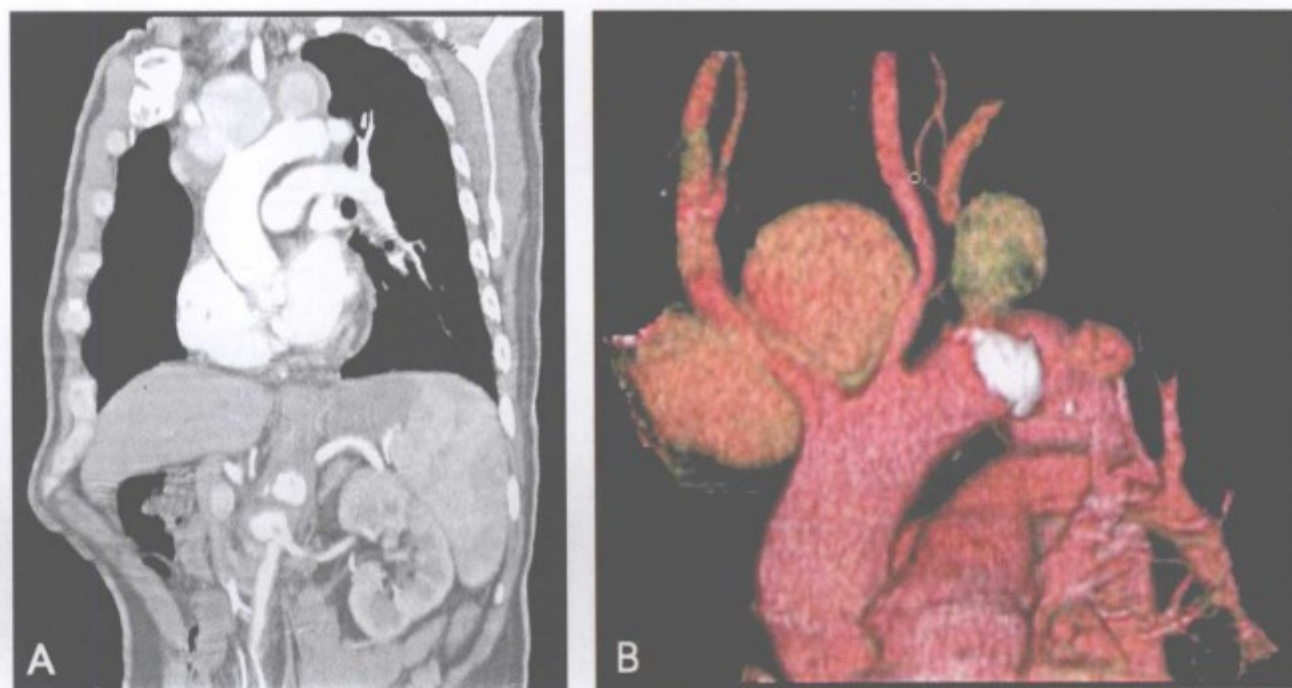


图 18-6 主动脉弓部假性动脉瘤

A. MIP 图像显示主动脉弓部 2 个显著强化的瘤体分别与主动脉相通;B. VR 图像显示瘤体、瘤颈与主动脉的关系

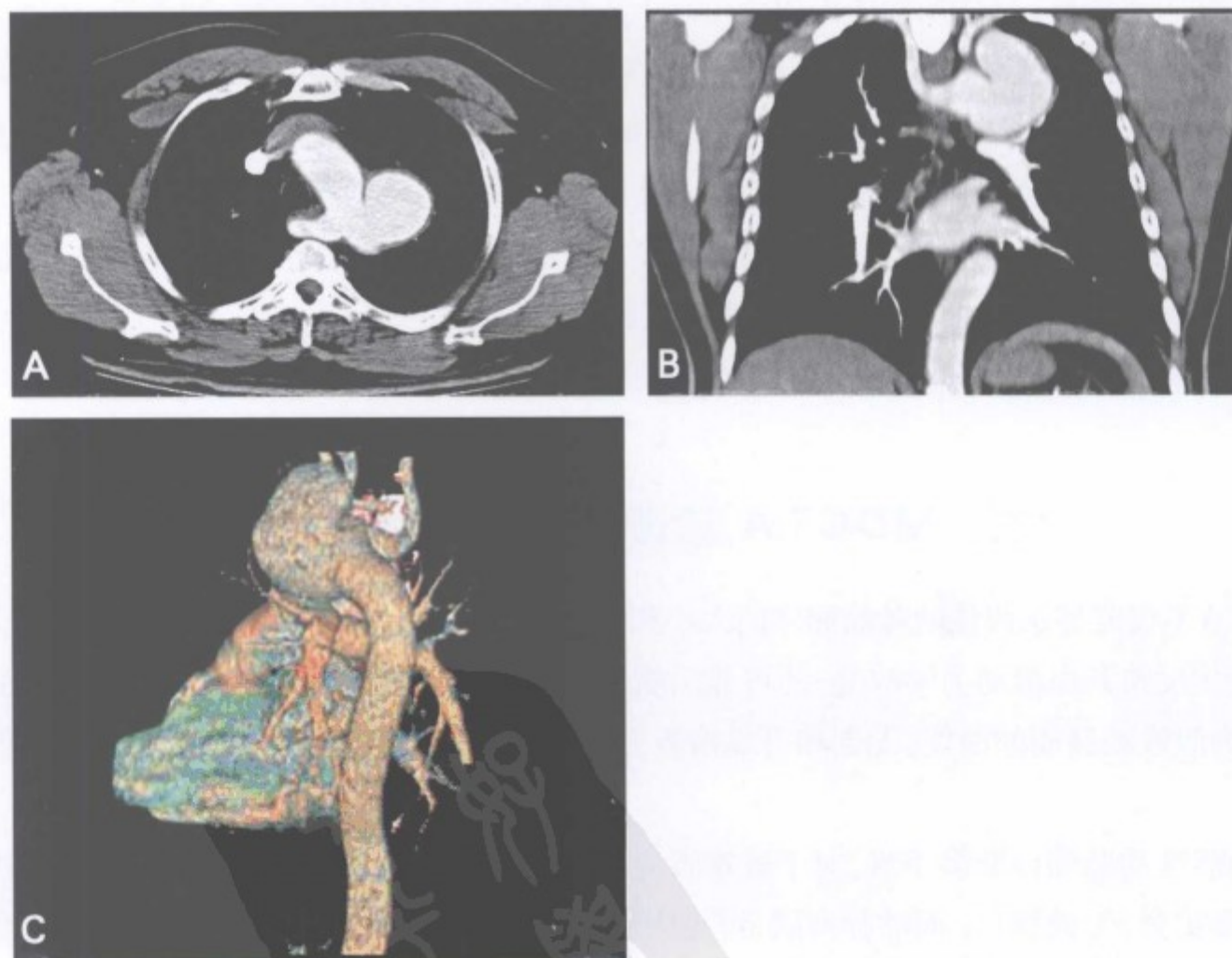


图 18-7 主动脉旁假性动脉瘤

A. 横轴位图像见主动脉旁显著强化的瘤体与主动脉相通;B. MIP 图像显示瘤体、瘤颈和主动脉管腔;C. VR 图像显示瘤体与主动脉的关系



## 第六节 动脉夹层

高血压和动脉粥样硬化是主动脉夹层常见而重要的致病因素,约占所有致病因素的90%,其次还可见于主动脉中膜囊性坏死(如Marfan综合征)、主动脉缩窄、先天性主动脉瓣疾病、妊娠及医源性损伤等。

临床表现多为突发的胸背部撕裂样或刀割样痛、胸闷、气促,可伴血压下降和休克。胸腔积液、心包积液和短期内主动脉增粗为夹层破裂的危险信号。

### 一、病 理

主动脉夹层不是一个真正的动脉瘤。基本病理改变是主动脉中膜弹力组织和平滑肌病变,在高血压或血流动力学变化促发下出现裂缝,在主动脉腔与中膜间发生交通,血液进入中膜层,将内膜与中膜分离,形成真、假两个腔隙或夹层内血肿形成。撕裂入口常位于主动脉瓣上方近端4cm以内或主动脉峡部;远端出现另一破口,即出口。入口和出口间形成一通道,即假腔。撕裂的管道由于血流的冲击作用常常为螺旋型剥离。

动脉夹层可累及不同的大血管分支,如主动脉弓的三大分支、腹腔干、肠系膜上动脉、肠系膜下动脉、肾动脉、双侧髂总动脉、髂内动脉、髂外动脉等。

### 二、分 型

动脉夹层的分型根据动脉内膜撕裂范围有多种分型方法。

1. Stanford分型 分A型和B型。夹层病变累及升主动脉为Stanford A型,累及左锁骨下动脉以远降主动脉为Stanford B型。

2. DeBakey分型 临床多采用此种分型方法。即按内膜撕裂部位及假腔范围将主动脉夹层分为3型。I型,内膜撕裂口位于升主动脉,夹层血肿累及升主动脉、主动脉弓及降主动脉,也可向分支延伸;II型,内膜撕裂口位于升主动脉,夹层血肿仅累及升主动脉;III型,内膜撕裂口位于胸主动脉峡部,夹层血肿扩展可仅限于膈上胸主动脉(III a型)或膈下主动脉(III b型)。通常发病率I型为29%~34%,II型为12%~21%,III型为50%(图18-8)。

### 三、MDCTA 检查技术

主动脉夹层的诊断主要依赖影像学检查。MDCT采集的容积数据,丰富和强大的图像后处理软件使其不仅能准确地显示病变范围,真、假腔,内膜等情况,还可了解血管外病变。由于扫描速度快,减少了急诊患者检查时间,所以MDCT成为动脉夹层最重要和最基本的影像学检查方法。MDCTA提

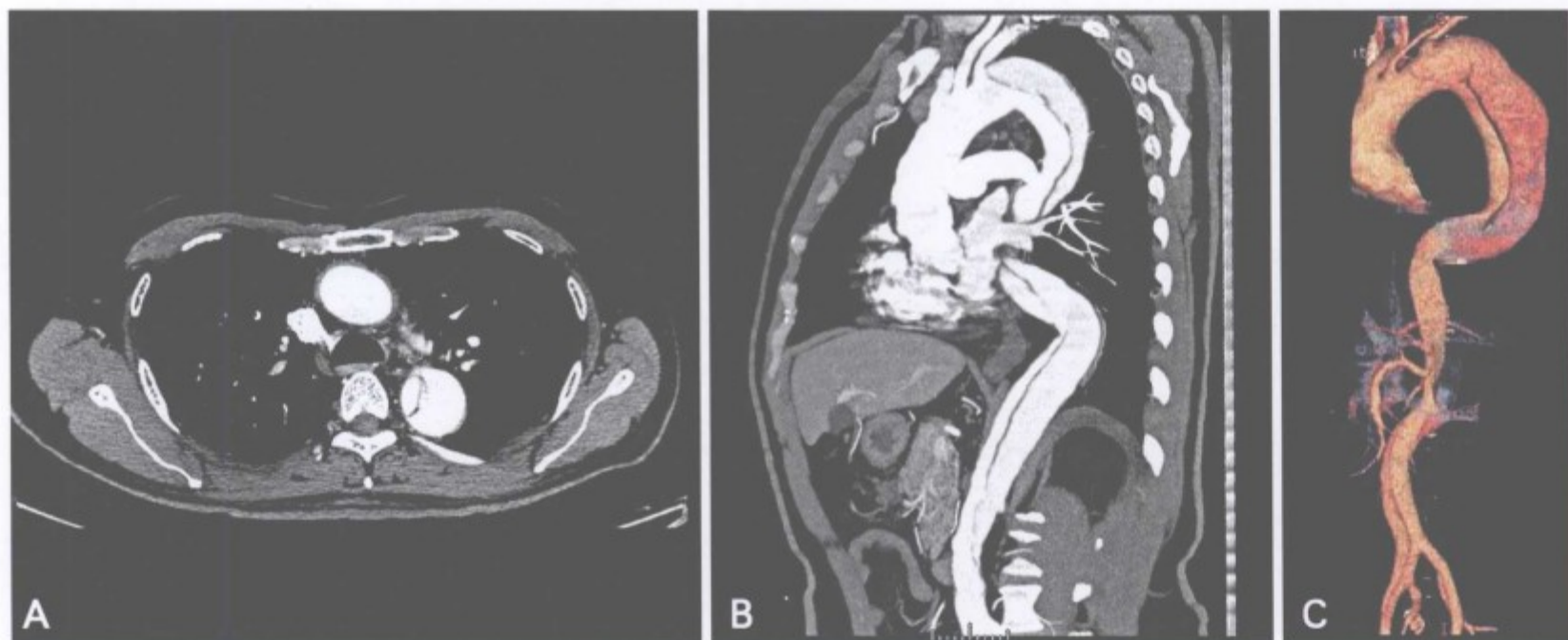


图 18-8 DeBakey III 型动脉夹层

A. 横轴位图像显示降主动脉腔内见发丝样低密度影将主动脉分为两腔,并显示撕裂的破口;B. MIP 图像显示真腔、假腔及其与血管分支的关系,并显示多个破口;C. VR 图像显示动脉夹层的全貌,但不能显示具体细节

供的信息对病变诊断、指导临床制定治疗方案、估计手术风险及术后疗效观察有重要的价值。

MDCTA 扫描参数、延迟时间及对比剂用量的选择对动脉夹层成像质量有重要影响。为了准确判断主动脉夹层的范围、类型以及内膜瓣及其破口等,应行主动脉全程扫描。由于主动脉范围较长,选择合适的扫描延迟时间相当重要。

延迟时间的选择对 CTA 成像质量至关重要,扫描时间太早则血管内对比剂混合不均匀,产生低密度假象,扫描时间太迟血管内对比剂浓度降低,不能和周围组织产生良好的对比,以致影响 CTA 图像质量。一般采用 25s 延迟时间、注射流率 3.0ml/s。有循环障碍的患者,适当延长时间和降低注射流率,均可达到满意的效果。国外作者所用的对比剂用量多为 120~150ml,注射流率 4ml/s。国内多数研究者认为对比剂用量 100ml,注射流率 3ml/s 可行。从左或右侧肘静脉注射,在原始图像及 VR 等重组时,由于持续给药,明显强化、增粗的锁骨下静脉、头臂静脉及上腔静脉对邻近的左侧锁骨下动脉、左侧颈总动脉及周围结构显示有一定的影响,如破口位于左侧锁骨下动脉附近可能不能明确显示。郭君武对 14 例患者经踝静脉注药 100ml,注射流率 3ml/s,延迟 35s 扫描,主动脉弓及其分支血管结构显示均匀、清楚。

#### 四、 MDCTA 征象及应用价值

撕裂的内膜瓣片和双腔结构是主动脉夹层的特异性表现。

### (一)CT平扫征象

主要是显示钙化的内膜向血管腔中心分离移位和真、假腔的存在。内膜钙化内移为诊断的直接依据。陈星荣等认为内移大于5mm时有诊断意义。李果珍认为这一征象也见于一些其他病变,如主动脉瘤内的血栓等。新鲜的血栓平扫为高密度,陈旧的血栓密度稍低于流动的血液。附壁血栓较多见于血流较缓的假腔,有一定的好发部位,附壁血栓巨大充满假腔时,增强扫描难以显示假腔而易误为真性动脉瘤。

其他征象包括胸腔积液、心包积液、主动脉增宽以及主动脉分支受累等,有参考意义,无特异性。

### (二)CT增强扫描征象

主动脉中层撕裂后,其内膜片呈线形、S形和弧形线样或不规则线形低密度影,两端与动脉壁相连,但不超过动脉壁边缘。升主动脉夹层内膜常呈螺旋状。如果低密度线形影出现中断不连续,代表破口的存在。

假腔多位于右前方,升主动脉弓部者假腔常见于上后方,腹主动脉假腔则以左后方为多。真腔可被假腔推压变形或一侧变直,亦可呈向心性变窄。真腔往往较假腔小。

真、假腔内均可有血栓形成,但以假腔内为多见。血栓表现为低密度充盈缺损。如果血栓机化,可以出现强化。假如血栓完全充填管腔,增强扫描显示低密度软组织充填,无对比剂进入管腔。

增强后因血流动力学差异,增强早期真腔密度高于假腔;随后,假腔内密度高于真腔内密度;真、假腔密度曲线一致。增强早期真腔内密度高于假腔,原因在于对比剂直接进入了真腔。延迟后,假腔内密度高于真腔内密度,原因在于真腔内对比剂很快排空,而假腔内因血流缓慢,仍有对比剂存留。如果入口和出口均较大,真假腔内对比剂密度可保持均匀一致。

主动脉夹层急性破裂死亡率非常高,几乎不可能到CT室完成CT检查。内膜撕裂分离面常在动脉壁中层外1/3处,故易向动脉管腔外破裂或渗漏,且多位于假腔。胸主动脉夹层破裂造成主动脉周或纵隔血肿,也可导致心包腔、胸腔积血(液),前者可发生急性心脏压塞。腹主动脉夹层急性破裂形成腹膜后积血,血肿密度常高于水,致筋膜分离呈指状或蚯蚓状阴影,以肾周间隙最为多见,次为前、后肾旁间隙、腰肌,下腔静脉、输尿管可因受压牵扯而变狭窄,血肿进入腹腔者罕见。

### (三)MDCTA重组的诊断价值

横断面图像为显示和诊断主动脉夹层最基本的成像方法,可以显示动脉夹层的所有征象。

重组图像包括MPR、MIP、仿真内镜(VE)、VR所提供的信息作为重要补充。MPR对显示主动脉瘤及夹层范围、血栓与血管腔的关系、内膜破口及对判定主动脉弓血管累及方面有较大价值,有利于显示I型及Ⅲ型夹层。当撕裂内膜扭曲时,MRP对确定撕裂内膜及其相连的大血管有困难。MIP与传统血管造影相比,在测量主动脉最窄径方面存在良好可比性,但在真腔与假腔之间对比不强烈时,不能很好地显示真、假腔以及撕裂的内膜瓣。VR可以从任意角度看到主动脉夹层内

膜片的最大长度及其整体形态,对破口的显示率高,对真、假腔及血栓的显示率达100%,并能立体的显示大动脉表面形态及其与分支血管的关系,是诊断主动脉夹层最理想的成像方法。单纯VR图像在主动脉夹层诊断中不具有优势,但能提供更富有深度及层次感的信息。VE集内镜与CTA的优点于一体,可以明确显示主动脉夹层的真、假腔及内膜瓣三者的关系,明确破口的位置,判断内膜撕裂的范围,判定病变范围及重要分支动脉的受累程度,指导手术,有着独特的应用价值。

原始图像与多种后处理重组方法结合使用,能对主动脉夹层破口的位置、分型、波及范围、真假腔、撕破的内膜、夹层的旋转方向、血栓形成等情况进行准确地显示,从而为临床选择合适的治疗方案提供依据。

#### (四)MDCTA 在主动脉夹层外科手术制定和术后随访的评价作用

针对主动脉夹层治疗,有开胸/腹手术和介入治疗两种手术方式。手术前必须对动脉夹层进行评估。评估的内容包括以下几方面。①裂口的位置及数量;②主动脉弓与降主动脉交界处(近端瘤颈)真腔的内径;③裂口处主动脉真腔的内径;④肺动脉分叉水平胸主动脉真腔的内径;⑤裂口上缘至左锁骨下动脉根部外缘的距离(近端瘤颈长度);⑥裂口下缘至腹腔干的距离(远端瘤颈长度);⑦主动脉弓上分支及肋间动脉的通畅情况;⑧真、假腔的区分;⑨瘤体最大外径;⑩夹层延续的范围及整体形态(图 18-9,图 18-10)。



图 18-9 腹主动脉夹层累及左肾动脉

A. MIP 图像显示腹主动脉夹层累及左侧肾动脉内膜撕裂;B. VR 图像能显示夹层全貌,但不能显示左肾动脉受累及的情况

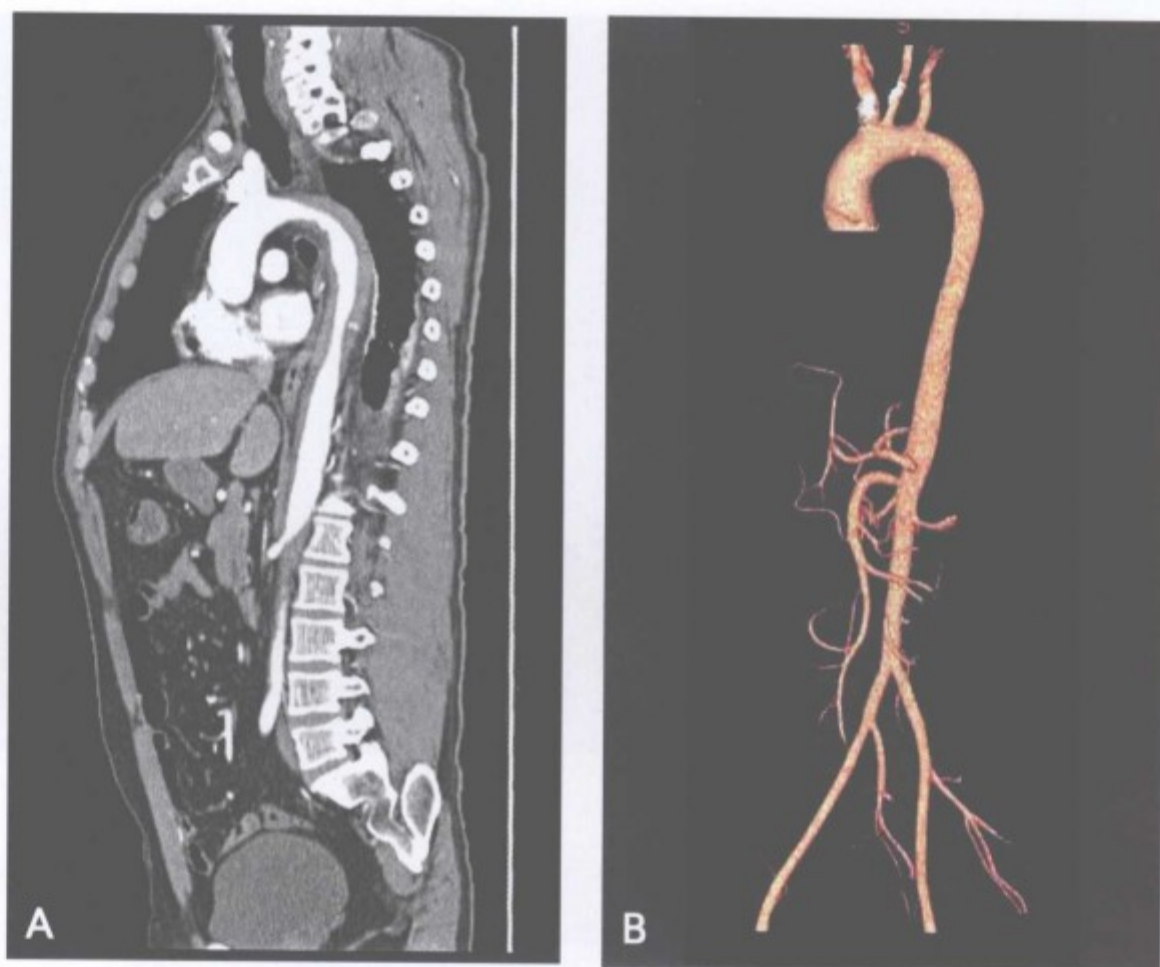


图 18-10 胸主动脉及腹主动脉夹层合并血栓形成

A. MIP 图像显示假腔内血栓, 未见对比剂进入; B. VR 图像示主动脉未见明确异常, 未能显示假腔及假腔内的血栓

MDCTA的横断面图像结合MPR和VR成像能获得以上所需全部参数,可在术前准确地显示动脉夹层累及的范围,真腔、假腔的形态及其管径的大小,裂口的位置、数量和宽度,裂口与主动脉弓部三大分支的关系,裂口与腹腔干、肠系膜上动脉、肠系膜下动脉以及双侧肾动脉甚至肋间动脉的关系,动脉夹层与主动脉弓三大分支尤其是左侧锁骨下动脉、腹腔干、肠系膜上动脉、肠系膜下动脉和髂总动脉之间的距离。外科医生在术前掌握动脉夹层的类型,选择适当的手术方式,采用适合的人工血管的规格和型号,以减少手术时间,降低手术的危险性(图18-11)。

MDCTA是动脉夹层术后随访的首选影像学检测手段。腔内带膜内支架置入术是近年来动脉夹层广泛应用的手术。手术成功的标志包括支架位置正常、支架内部通畅和动脉瘤内支架间无血流存在。术后并发症有内支架移位、变形或断裂、支架漏、血管或支架内血栓形成、支架远侧端动脉及重要脏器供血动脉闭塞等。

术后 MDCTA 检查的主要目的是观察内支架的情况,确定有无支架周围漏,了解瘤周血栓机化情况及重要内脏供血动脉的血液循环情况,以对手术的近期及远期疗效做出客观的评价。支架和动脉夹层壁之间不完全闭塞可导致支架周围漏。高流量的漏血可对病变的动脉壁产生压力,具有使病变的动脉继续扩张或破裂的潜在危险,应尽早检出并治疗。低流量的漏血虽然可自动形成血栓封闭,但检出也是很重要的,否则,它也可引起动脉瘤的扩张。

支架周围漏的 CT 表现为支架外、动脉瘤壁内的对比剂充填。螺旋 CT 横轴面和多平面重组能

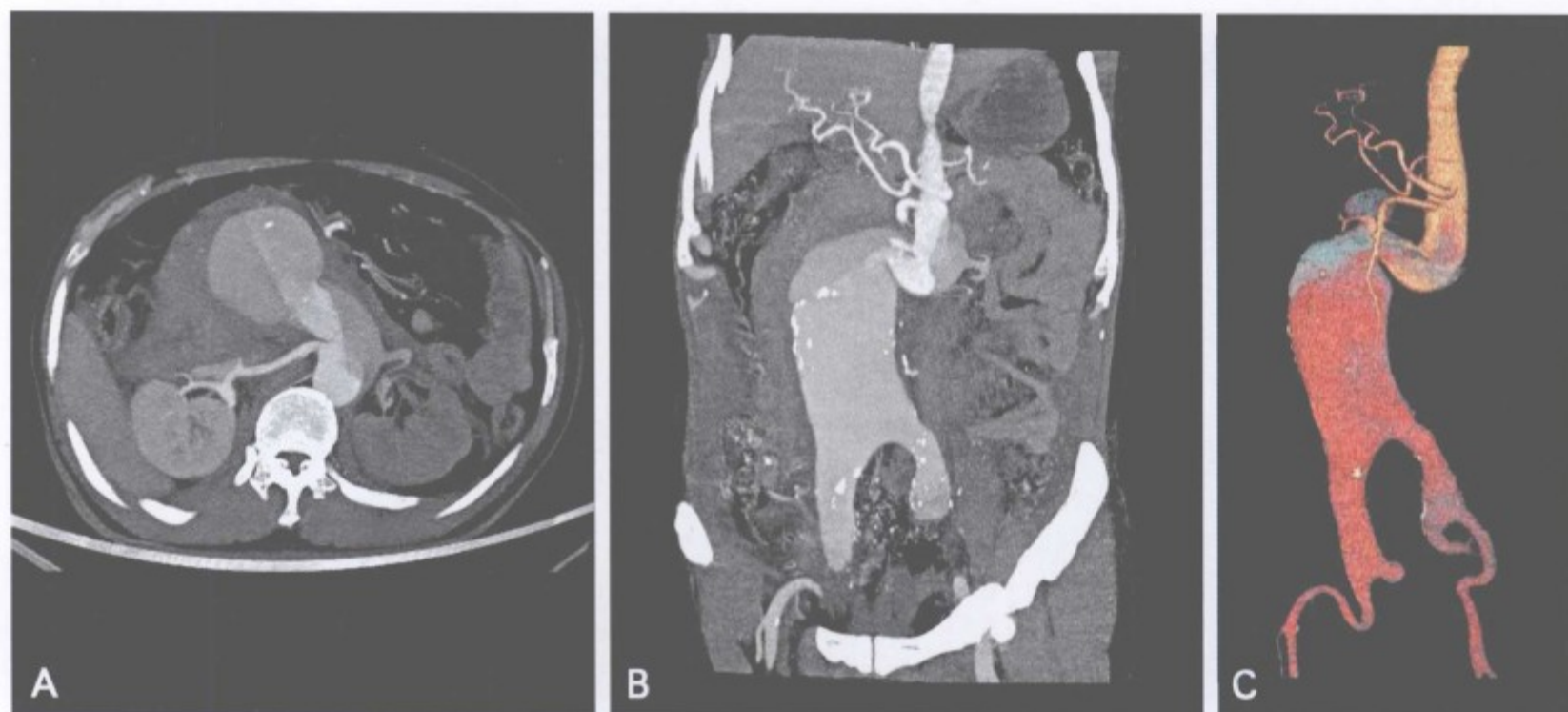


图 18-11 动脉夹层合并血栓及瘤周渗出

A. 横轴位图像显示假腔内血栓及瘤周渗出,左肾动脉开口假腔,左肾血管较右肾明显减少;B. MIP 图像显示真假两腔及瘤周渗出全貌;C. VR 图像可显示增强全貌,病变累及左、右髂总动脉及髂内、外动脉起始部,但未能显示假腔、血栓和瘤周渗出

准确观察内支架是否通畅、支架与血管壁间有无血栓形成及有无漏血。通过对不同结构的色彩编码和使用不同的透明度,可同时显示表浅或深在结构的影像。结合多角度旋转,VR 图像给人以较强的三维立体感,保留了原始数据的空间解剖关系,可显示血管腔内结构及其周围的关系。MPR 可从不同方位来显示病变,是三维图像的补充,对支架渗漏的诊断亦有重要价值,能多方位准确显示渗漏的部位、形态及其类型,从不同剖面观察支架内有无血栓,确定血流是否通畅。

大血管病变患者由于术后带有金属支架,不宜行 MRA,而 DSA 检查具有一定的创伤性,螺旋 CT 血管造影术不失为一种术后随访的可行办法。

## 五、主动脉壁内血肿(aortic intramural hematoma, AIH) 的 MDCTA 征象

主动脉壁内血肿指没有内膜撕裂口的主动脉夹层,也称为不典型主动脉夹层,占主动脉夹层的 5%~20%。主要由于高血压、主动脉粥样硬化或累及主动脉的某些结缔组织疾病或遗传性疾病所致。临床表现和治疗方法与典型的主动脉夹层相似。分型也沿用典型主动脉夹层的分型方法。

### (一) CT 平扫征象

AIH 的影像学直接征象表现为主动脉壁增厚。CT 平扫显示内膜钙化影向主动脉腔内移位 >5mm。新鲜血肿密度高于真腔血液密度。部分患者的壁内血肿与真腔血液 CT 值近似,不易作出诊断。主动脉壁呈新月形或环形增厚(厚度通常 >5mm)。主动脉真腔正常、变形或稍变细。少数可

显示内膜片影。

## (二)CT增强扫描征象

CT增强扫描不仅能非常清楚地显示主动脉管腔形态和部分撕裂的内膜片影,还可通过多种重组技术直观地显示主动脉管腔和增厚管壁的情况。MDCTA为诊断AIH的优良方法。

(张金城 崔燕海 梁长虹)

## 参 考 文 献

- [1] 张宝丰. MRI、CT的正常胸主动脉研究及高血压对胸主动脉的影响. 中华放射学杂志, 1994, 28(7): 439-443
- [2] 史新平, 邱建国, 聂建新, 等. 大动脉炎的多层螺旋CT诊断. 放射学实践, 2005, 1(20): 37-39
- [3] 梅志军, 景在平, 包俊敏, 等. 女性腹主动脉瘤的形态特点. 第二军医大学学报, 2004, 25(8): 869-871
- [4] 俞同福, 王德杭, 冯阳, 等. 多排螺旋CT 3D血管成像(CTA)临床应用. 实用放射学杂志, 2003, 19(8): 747-750
- [5] 包颜明, 张龙江, 沈进, 等. 多层螺旋CT血管造影的临床应用. 放射学实践, 2003, 18: 137-141
- [6] 宋光义, 张龙江, 包颜明, 等. 探讨多层螺旋CT诊断主动脉夹层的价值. 中国医学影像技术, 2002, 18(8): 779-781
- [7] 杨亚英, 宋光义, 张龙江, 等. 多层螺旋CT血管造影在主动脉夹层及主动脉瘤诊断中的价值. 医学影像学杂志, 2004, 14(3): 196-198
- [8] 郭君武. 多层螺旋CT血管造影诊断主动脉夹层. 医药论坛杂志, 2005, 26(11): 5-7
- [9] 龚血鹏, 宦怡. 主动脉夹层螺旋CT血管造影成像技术及临床应用. 实用放射学杂志, 2001, 17: 943-945
- [10] Kopecky KK, Gokhale HS, Hawes DR, et al. Spiral CT angiography of the aorta. Semin Ultrasound CT MR, 1996, 17: 304-315
- [11] Zeman RK, Berman PM, Silverman PM, et al. Diagnosis of aortic dissection: value of helical CT with multiplanar reformation and three dimensional rendering. AJR, 1995, 164: 1375-1380
- [12] Lupi E, Sanchez G, Horwitz S, et al. Pulmonary artery involvement in Takayasu's arteritis. Chest, 1975, 67: 69-74
- [13] Park JH, Han MC, Kim SH, et al. Takayasu arteritis: angiographic findings and results of angioplasty. AJR, 1989, 153: 1069-1074
- [14] Yamada I, Nakagawa T, Himeno Y, et al. Takayasu Arteritis: Evaluation of the thoracic aorta with CT angiography. Radiology, 1998, 209(1): 103-109
- [15] Yoshioka K, Niinuma H, Ohira A, et al. MR angiography and CT angiography of the aorta: noninvasive preoperative assessment of thoraco abdominal aortic aneurysm. Radiographics, 2003, 23(5): 1215-1225
- [16] DeBakey ME, Henly WS, Cooley DA, et al. Surgical management of dissecting aneurysms of the aorta. Thorac Cardiovasc Surg, 1965, 49(1): 130-149

- [17] Nrei E, Bonanami G, Vignali C, et al. Spiral CT virtual endoscopy of abdominal arteries; clinical applications. *Abdom Imaging*, 2000, 25: 59-61
- [18] Macanri M, Israel GM, Berman P, et al. Infrarenal abdominal aortic aneurysms at multi-detector row CT angiography; untravascular enhancement without timing acquisition. *Rdiology*, 2001, 220(2): 519-523





目前,肾血管的影像学检查方法主要有 CT 血管成像(CTA)、MR 血管成像(MRA)、数字减影血管造影(DSA)及超声(US),各种检查均有其优缺点。DSA具有显示血管清晰、准确的特点,仍作为确诊肾血管病变的“金标准”,但其最大缺点是具有创伤性,且不能显示肾血管周围的组织结构。肾血管的MRA,目前亦被广泛应用,其主要优势在于能三维显示肾脏血管的解剖和变异,在检出肾血管疾患方面与DSA相比有很高的敏感度,且无电离辐射,还可进行肾功能方面的评估,但MRA的空间分辨率仍不够高,对于肾血管高度狭窄性病变因信号丢失易于高估狭窄程度,对显示肾动脉、静脉分支和管腔小的副肾动脉亦有很大限度。肾血管的超声检查,影响探测成功率的因素较多,如操作者的技术水平、肠气影响等,且不能明确肾血管的解剖结构整体情况,只可作为简单的筛选方法。近年发展起来的CTA,特别是多层螺旋CTA(MDCTA)检查方法,是一种微创、诊断正确率高的先进技术,具有多视角观察的优点,可从不同方位直观地显示肾血管,其密度及空间分辨率高,可以得到与血管造影类似的图像。在发现肾血管病变和量化肾动脉狭窄,特别是重度狭窄方面,MDCTA 优于MRA 和US。

(余元新)

### 第一节 肾血管CTA技术方法

#### 一、CT 扫描技术

患者取仰卧位进行平扫和增强扫描。首先进行平扫,范围包括双侧肾脏,以确定双肾位置及发现肾结石、钙化等改变。增强扫描范围必须包括双侧肾脏,并且向上包括双侧肾上腺、向下包括髂总动脉分叉,目的在于不遗漏起源于肾上腺上动脉、膈下动脉及髂总动脉的副肾动脉。因为肾动脉、副肾动脉管径细小,并与成像层面平行或近乎平行,因此扫描必须使用薄层扫描,并将图像分拆

成薄的层厚和一定程度重叠的重组间隔。应用 64 层螺旋 CT 扫描,可以用 5mm 层厚进行扫描,将图像分拆成层厚 1.25mm、间隔为 0.625mm 的薄层图像,传输至工作站进行肾血管重组,可以取得良好的效果。

## 二、对比剂使用

对比剂用量按 1.5ml/kg 计算,成人总量可定为 80~100ml。上肢静脉给药,以防止下腔静脉过早显影影响右肾血管的观察。注射流率为 3~4ml/s。动脉期扫描延迟时间为 18~25s,静脉期扫描延迟时间为 60s。儿童患者及个别成人患者根据病况可进行小剂量预试验法或团注追踪法确定延迟时间。

## 三、后处理技术

CTA 常用的图像后处理技术主要有多平面重组、曲面重组、最大密度投影、容积再现重组及表面遮盖显示等几种。

MPR 中曲面重组(CPR)有助于将双侧肾动脉的行程勾画于一张影像上,可将迂曲的肾动脉伸展,对肾动脉显示较直观,尤其适用于肾动脉狭窄患者,能清晰地显示狭窄的部位、范围和程度,并可测量肾动脉狭窄处和正常段的截面积,准确计算狭窄程度。MIP 有助于区分血管壁钙化与充盈对比剂的血管腔,可显示细小的血管及血管病变、血管支架等。VR 可显示双侧肾脏、肾血管结构和其他大血管结构之间的三维空间关系,但不能显示血管腔内情况。

CTA 各种图像后处理技术各有特点,在日常临床工作中,肾血管重组后处理技术的选择必须结合患者的病情。对临床怀疑肾动脉狭窄、栓塞或动脉瘤的患者,宜依次优先采用 MIP、VR、MPR、CPR 等技术;对怀疑肾动脉变异或了解肾移植前活体供肾者肾动脉解剖的患者,应依次采用 VR、MIP、SSD 等技术;对怀疑肾动脉夹层、肾梗死患者,则优先采用 MPR、MIP、VR 等技术;对怀疑肾静脉病变患者,因肾静脉内对比剂浓度往往不是很高,宜优先采用 MIP、MPR、VR 等技术。

(余元新 黄 飏 梁长虹)

## 第二节 肾血管的正常解剖与变异

### 一、肾 动 脉

肾动脉大多数于第一腰椎平面起自腹主动脉侧壁,位于肠系膜上动脉之下,在肾静脉后上方横行向外,经肾门入肾。一般右肾动脉起点较左肾动脉起点高,右肾动脉长于左肾动脉(图 19-1)。右肾动脉外径为 6~8mm,左肾动脉外径为 5~8mm。肾动脉支数多为 1~3 支,以每侧 1 支肾动脉最多见。肾动脉 1 级分支的起点以在肾动脉中点远侧(近肾门侧)为多见,在肾窦内次之,在肾动脉中点近侧少见。肾动

脉1级分支以二支型多见,多分为前、后两支。在肾窦内,前支走行于肾盂前方,发出上段动脉、上前段动脉、下前段动脉和下段动脉;后支行于肾盂后方,入肾后延为后段动脉。少数1级分支呈上、下分布,上支发出上段动脉、上前段动脉、下前段动脉及后段动脉,下支延为下段动脉。肾段动脉之间无或很少有吻合支存在。肾段动脉再分支依次为叶间动脉、弓状动脉。

肾动脉除分为肾段动脉进入肾实质外,有些还发出许多小分支,如肾上腺下动脉、输尿管动脉、肾包膜动脉及分布在附近体壁的小支动脉。有时还发出性腺动脉和膈下动脉。肾动脉发出的这些小分支相互之间直接或间接吻合,是肾动脉建立侧支循环的潜在通道。

肾脏的先天异常比较常见,为肾脏提供血液的肾动脉必然会随着肾脏异常的变化而发生数目及位置的变化,主要表现为多支肾动脉及肾动脉起源、行程的异常。通常有副肾动脉和替代性肾动脉两种类型。副肾动脉指在原存在的肾动脉血供的基础上又存在供应同一区域的异常来源的动脉;替代肾动脉指肾脏某区域的血供完全由异常来源的动脉供应(图19-2)。

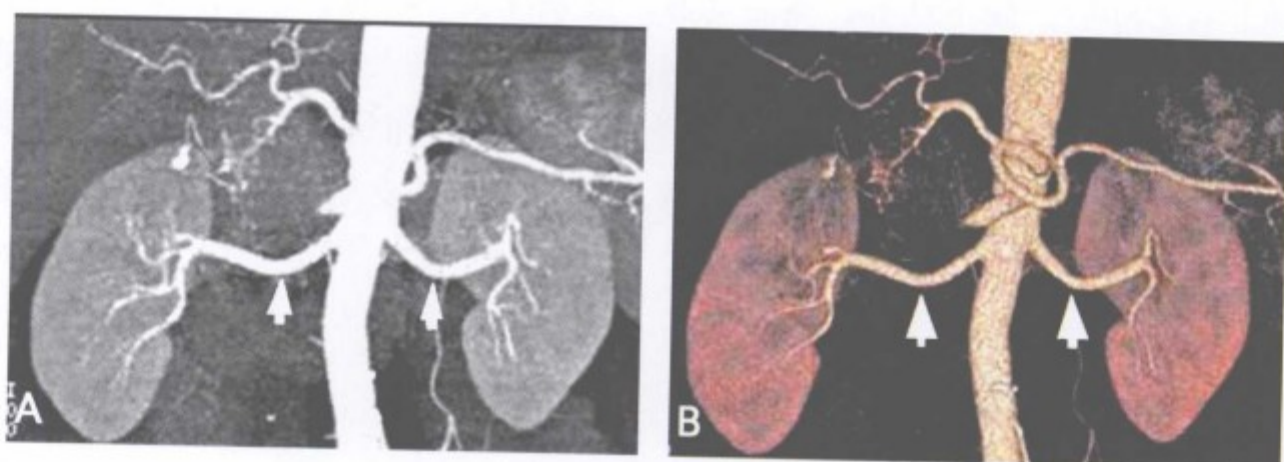


图19-1 正常肾动脉  
A. MIP 图像; B. VR 图像

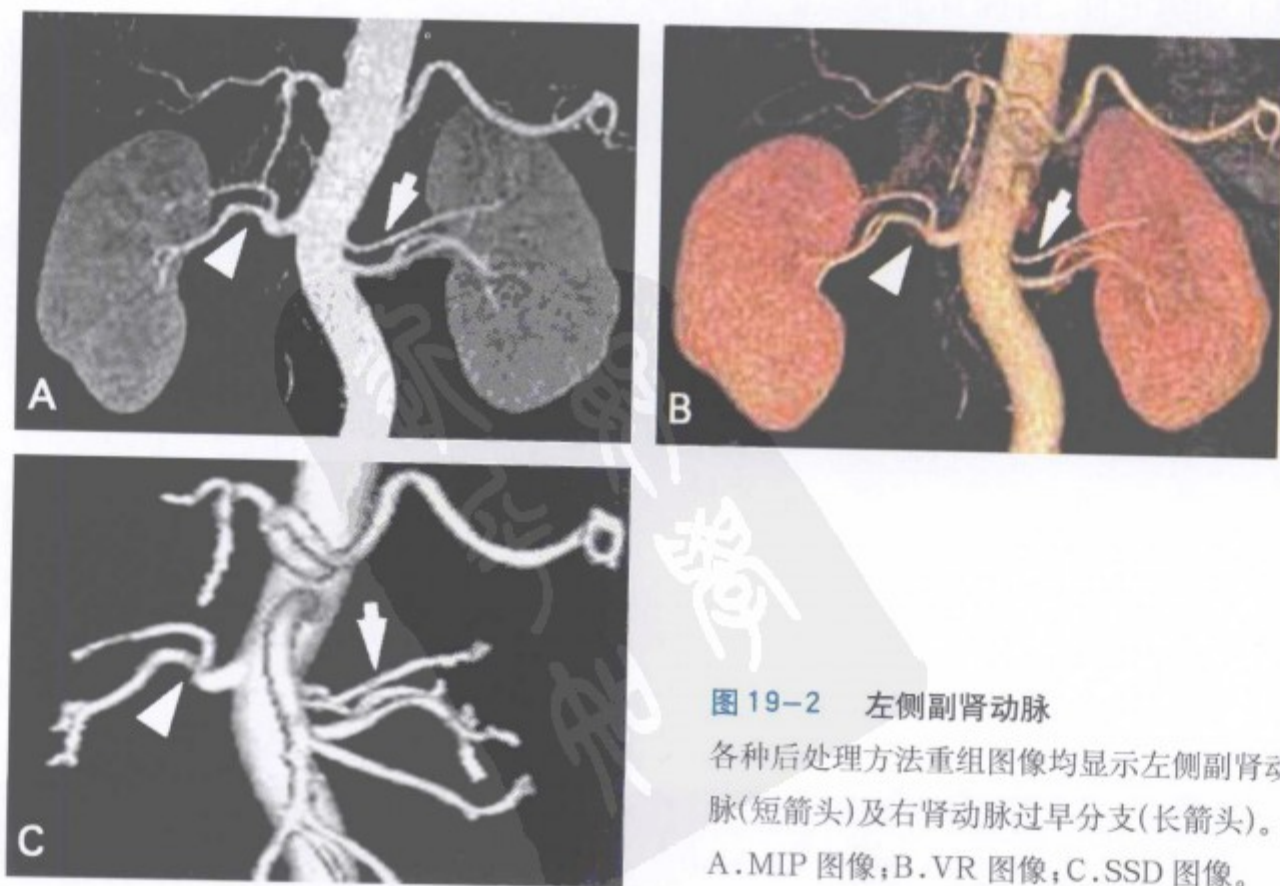


图19-2 左侧副肾动脉  
各种后处理方法重组图像均显示左侧副肾动脉(短箭头)及右肾动脉过早分支(长箭头)。  
A. MIP 图像; B. VR 图像; C. SSD 图像。

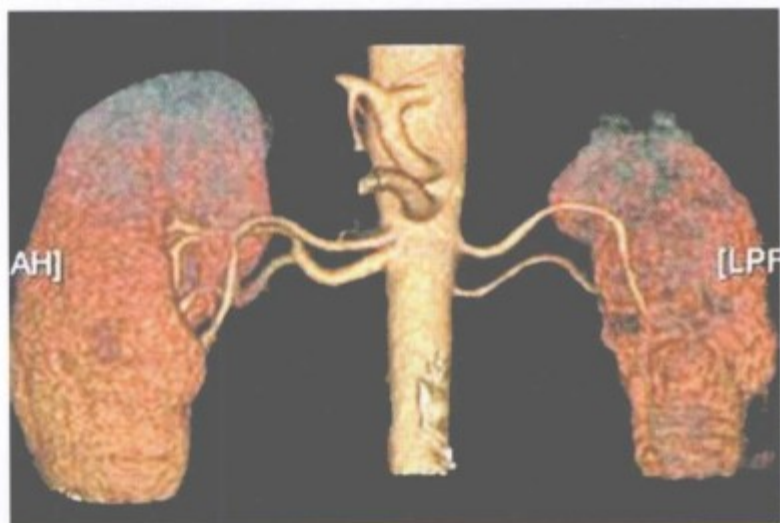


图 19-3 双侧副肾动脉  
VR 图像显示双肾各两支肾动脉

副肾动脉是常见的变异,出现率高达 30%,可单侧或双侧出现(图 19-3),多起源于腹主动脉,少数起自肾上腺上动脉、膈下动脉、髂总动脉、肠系膜上下动脉、卵巢动脉、精索内动脉等。副肾动脉又可分为副肾门动脉和副的上下极动脉。副肾门动脉进入肾门,而上、下极动脉进入肾的上极或下极,后者管径通常比较细小。副肾动脉在肾内的分支及分布情况与正常的肾段动脉(或肾段动脉的分支)相同,故副肾动脉实质上就是肾段动脉。副肾动脉的分支与肾动脉的分支之间在肾内无吻合。

## 二、肾 静 脉

肾内静脉与肾内动脉不同,无节段性,且有广泛吻合,单支栓塞不影响血液回流。肾内静脉在肾窦内汇成 2 支或 3 支,出肾门后则合成一干,走行于肾动脉前方,汇入下腔静脉。解剖学上,下腔静脉位于腹主动脉右侧。右侧肾静脉短而直,平均长度约 2.75cm,平均外径约 1.1cm,出肾门后直接汇入下腔静脉。左侧肾静脉平均长度约 6.47cm,平均外径约 1.4cm,出肾门后于肠系膜上动脉根部与腹主动脉形成的下方夹角内横跨腹主动脉前方,再汇入下腔静脉。少数变异为从腹主动脉后方跨越。

肾静脉多为 1 支,少数有 2 支或 3 支者,且多见于右侧。两侧肾静脉的属支不同。右肾静脉收纳右睾丸(卵巢)静脉,通常无其他肾外属支汇入;左肾静脉收纳左肾上腺静脉、左膈下静脉及左睾丸(卵巢)静脉,其属支还与周围的静脉有吻合(图 19-4,图 19-5)。

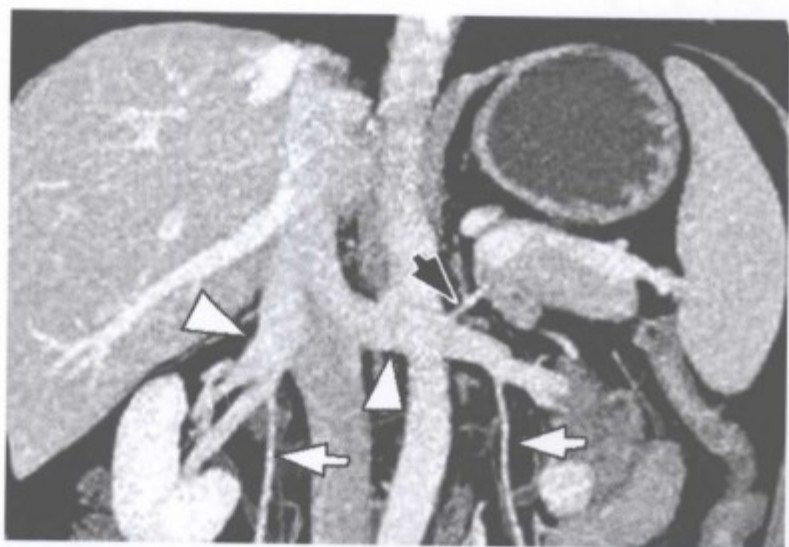


图 19-4 正常肾静脉

MIP 图像显示肾静脉 (箭头)、双侧卵巢静脉 (长箭头) 和左侧肾上腺静脉 (黑箭头)



图 19-5 正常肾静脉

VR 重组图像显示正常肾静脉与下腔静脉连接

(余元新 王秋实 刘再毅)

## 第三节 肾动脉病变

### 一、肾动脉狭窄

肾动脉狭窄(renal artery stenosis, RAS)是临床上的常见病、多发病。肾动脉狭窄可以引起两种非常严重的疾病,即肾血管性高血压及缺血性肾病,是造成终末期肾病的重要原因。主要临床表现为肾萎缩和肾功能损害。针对肾动脉狭窄患者,纠正肾脏血流动力学障碍不仅能纠正高血压,而且能保护受损的肾功能,故对该病的早期诊断及积极治疗很重要。

引起RAS的最常见原因是动脉粥样硬化,其次为纤维肌性发育不良,其他较少见的原因有大动脉炎、外伤痉挛性狭窄、先天性狭窄和神经纤维瘤病等。

#### (一)动脉粥样硬化性肾动脉狭窄(ARAS)

动脉粥样硬化约占RAS发病原因的65%,多见于50岁以上男性。RAS是一种进行性疾病,即使在初次检查其肾动脉狭窄的程度并不重,但最终可导致肾动脉的严重狭窄或闭塞。Schreiber等报道,动脉粥样硬化所致肾动脉狭窄的进展速度约为每个月1.5%。动脉粥样硬化性肾动脉狭窄(ARAS)病变多位于肾动脉开口及肾动脉近段,远段RAS不常见,通常发生于分支处,约30%为双侧发病。

本病可通过临床表现、实验室检查和影像学检查来诊断。在诊断时应确定狭窄的部位、范围、程度以及伴随的其他病理情况,如血管壁钙化、腹主动脉瘤等,以便为介入治疗或外科手术治疗提供依据。

**【CT 表现】**

CTA 被认为是检出 ARAS 的一种可靠的、微创的方法。诊断狭窄程度  $\geq 50\%$  的 RAS 的敏感度和特异度分别为  $88\% \sim 99\%$ 、 $80\% \sim 99\%$ 。显示肾动脉闭塞的敏感度和特异度非常高。

RAS 的 CTA 征象表现在以下几个方面(图 19-6, 图 19-7)。①肾动脉开口或近段管腔狭窄, 大部分为局限性、偏心或不规则狭窄; ②肾动脉开口或近段、腹主动脉管壁常见钙化斑块; ③肾动脉明显狭窄者可伴有狭窄后扩张、侧支血管形成; ④受累肾体积缩小、肾皮质变薄和强化减弱。



**图 19-6 双侧肾动脉狭窄**

VR 图像(A)、MIP 图像(B)及 DSA 图像(C), 显示双侧肾动脉狭窄(短箭头), 其中右侧重度狭窄, 左侧轻度狭窄, CTA 图像与 DSA 图像对比一致



**图 19-7 左肾动脉狭窄**

VR 图像(A)、MIP 图像(B)及 CPR 图像(C), 显示左肾动脉狭窄(短箭头)及左肾动脉、腹主动脉钙化斑块(长箭头), CPR 图像直观地显示狭窄部位, 可应用于测量狭窄段和正常段的截面积, 准确计算狭窄程度

本病的 CTA 图像后处理技术宜优先采用 MIP、VR 及 CPR。MIP 既能清晰地显示肾动脉的解剖学形态, 清晰地显示 RAS 的部位、范围和程度, 与传统的血管造影图像相似, 又保留了血管病灶及血管周围其他组织信息。发生广泛钙化的病例, 可以最佳地显示存在的钙化病变。VR 能完整地显示肾动脉的解剖学形态, 能直观地多角度显示 RAS 的部位和范围, 图像立体感强。CPR 可应用于测量肾动脉狭窄处和正常段的截面积, 以准确计算肾动脉的狭窄程度。

值得指出的是,我们平时所采用的冠状位测量肾动脉上下管径计算狭窄程度的方法,仅反映上下径的狭窄程度,忽视了前后径等方位的狭窄情况,故存在一定的误差,而截面积能反映肾动脉管腔的整体情况,根据截面积计算的狭窄度能较准确地反映肾动脉的狭窄程度。

## (二)纤维肌性发育不良

纤维肌性发育不良(fibromuscular dysplasia, FMD)是1938年由Leadbetter及Burkland首先报道,称为纤维肌性成分增生,1960年后改称为纤维肌性发育不良(FMD)。其占肾动脉狭窄的30%~40%,好发于年轻或中年女性。

临床表现主要有以下3个方面。①高血压,是青少年肾血管性高血压的常见原因;②上腹部血管杂音;③常合并低血钾。

FMD不侵犯胸、腹主动脉,主要侵犯中小动脉,包括颈动脉、椎动脉、脑动脉等,以肾动脉为主。病变主要累及肾动脉开口的短距离内或肾动脉主干的中、远段,有的可延伸到肾内动脉分支,以右肾动脉更常见,约2/3为双侧发病。

### 【病理表现】

FMD病理分为4种类型:中层纤维组织形成、中层周围纤维组织形成、中层增生及内膜纤维组织形成。中层纤维组织形成最常见,占60%~70%,主要影响肾动脉远段,血管造影的典型表现为串珠样改变,多为双侧发病,极少进展为闭塞。中层周围纤维组织形成占FMD的15%~25%,主要影响15~30岁的女性,是一种进行性疾病,可进展为闭塞,其在血管造影上也表现为串珠样改变,但不表现为动脉瘤样。中层增生及内膜纤维组织形成不常见,约占FMD的5%,主要影响儿童及青少年,血管造影上表现为肾动脉近段或远段光滑的线形狭窄,可进展为闭塞,伴有受累肾萎缩。

### 【CTA表现】

在FMD的影像学检查方法中,肾动脉造影(DSA)仍作为诊断的“金标准”。典型血管造影表现为肾动脉串珠样改变,这是由于血管壁纤维肌性增生所致缩窄和变薄的血管壁引起的动脉瘤样扩张改变同时并存所致;另外也可表现为局限性长管状狭窄以及肾动脉分支扭曲等。MRA因其空间分辨率差,对FMD所致RAS的诊断比较困难。

CTA可以较好地显示FMD所致RAS的串珠样、动脉瘤样改变(图19-8)。Beregi等报道的20例FMD病例中,CTA诊断FMD的敏感度高达100%。

在CTA的图像后处理技术中,MIP为显示FMD所致RAS的最佳技术,能很好地显示FMD串珠样改变的部位、范围和程度;VR及MPR亦能很好地显示肾动脉狭窄和动脉瘤样改变,对FMD的诊断有良好的辅助作用。由于FMD好发于肾动脉的中、远段,当病变紧邻肾脏或位于肾内时,邻近结构重叠,VR对病变显示欠佳,进行MIP时去除这些重叠结构,能进一步提高MIP技术的准确性。

## (三)大动脉炎

大动脉炎(takayasu arteritis, TA)是一组累及主动脉及其主要分支以及肺动脉或冠状动脉的慢性、非特异性、闭塞性、肉芽肿性炎症性病变。大动脉炎分为原发大动脉炎和继发大动脉炎。

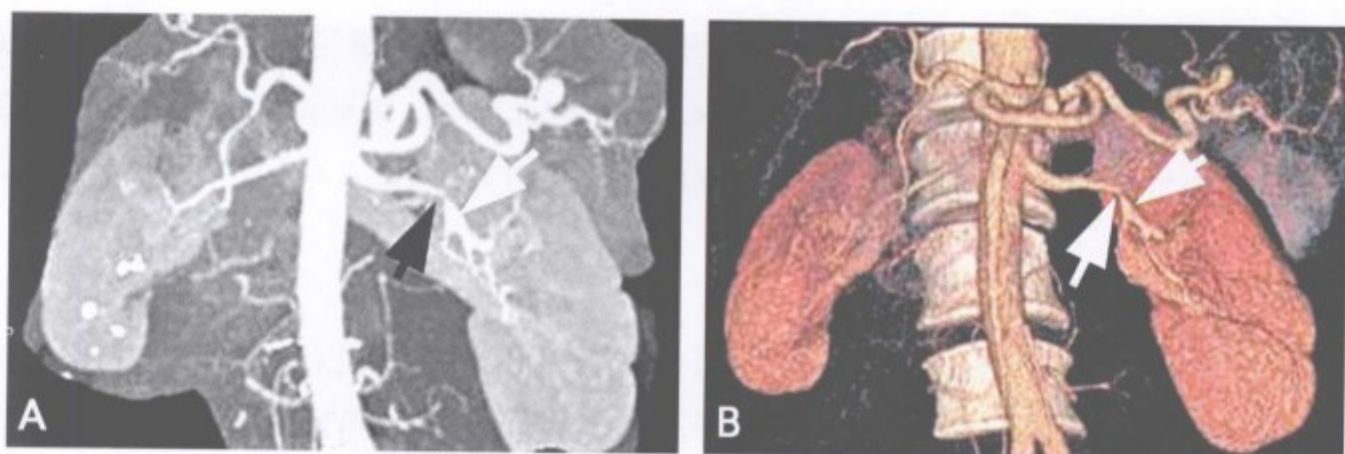


图 19-8 纤维肌性发育不良

MIP 图像(A)及 VR 图像(B)显示左肾动脉中远段渐进性狭窄(黑箭头),狭窄后扩张呈瘤样改变(白箭头);右肾动脉狭小,右肾萎缩

继发大动脉炎继发于感染、中毒、外伤等。原发大动脉炎是一种进行性免疫性血管炎,又分类为多发大动脉炎和巨细胞动脉炎。

大动脉炎常引起不同部位动脉狭窄、闭塞和扩张,其病理特征是受累主动脉及其主要分支的动脉全层炎症,受累动脉壁各层均有大量炎细胞浸润及弥漫性纤维组织增生,伴有中层弹力纤维和平滑肌纤维破坏和断裂,管腔有不同程度的狭窄和继发性血栓形成及闭塞,或有动脉扩张或动脉瘤形成。

DSA、MRA 及 CTA 等影像学检查方法均能清晰显示病变的部位、范围、血管狭窄程度和闭塞,其血管造影主要征象是大中动脉多发性狭窄改变,狭窄特点是逐渐移行的向心性节段性狭窄,狭窄腔壁较光滑。

大动脉炎的肾动脉 CTA 表现主要为狭窄或闭塞(图 19-9),可伴有较广泛的侧支循环,需结合大动脉的改变作出诊断,以鉴别其他原因所致的肾动脉狭窄或闭塞。大动脉炎的肾动脉病变大多侵犯肾动脉开口和近段,局限性病变居多,少数可累及肾动脉主干全程或中远段,病变程度可自轻度狭窄至完全闭塞。CTA 在大动脉炎的诊断中优势明显,既能显示病变血管的狭窄范围和程度,以及血管闭塞的情况,又能显示侧支血管形成情况,还能显示血栓形成、血管壁增厚情况。CTA 的图像后处理技术中,以 MIP、VR 及 MPR 结合应用效果最佳。

#### (四)肾动脉狭窄支架术后随访

对于肾动脉狭窄的治疗,尽管肾动脉成形术有一定疗效,但由于球囊扩张后动脉壁的弹性回缩而使再狭窄发生率高(术后 1 年内可  $\geq 30\%$ ),影响了远期疗效,故肾动脉直接置入支架是目前常用的治疗手段。肾动脉支架置入术可引起肾动脉穿孔、栓塞及支架异位等并发症。有学者研究报道,支架再狭窄的发生率可达 39%。支架再狭窄的程度与临床表现又无完全的相关性,因此,支架置入术后的随访相当重要。

CTA 对肾动脉支架置入术后随访可发挥重要的作用,既可判断有无肾动脉穿孔、栓塞等并发症,



又能清晰显示支架的位置、形态和通畅性(图19-10),具有客观、方便、重复性强、微创等优点。图像后处理技术中,以MPR效果最好,可结合应用VR。

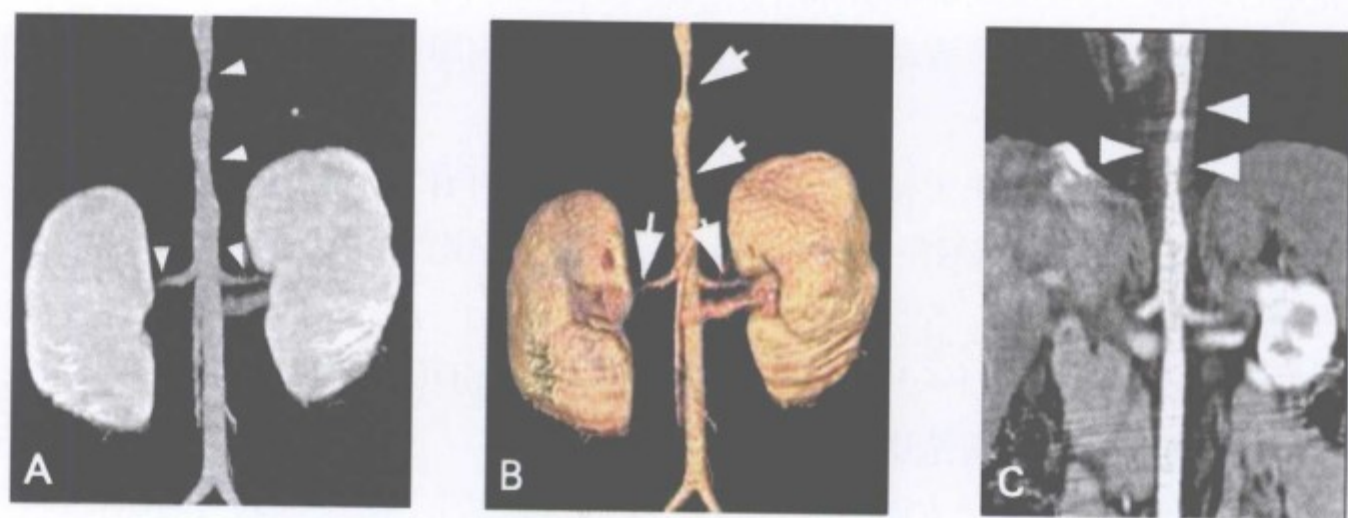


图19-9 大动脉炎累及肾动脉

MIP 图像(A)及 VR 图像(B)显示腹主动脉及双肾动脉狭窄(长箭头);冠状位 MPR (C)及增强扫描轴位图像(D)显示腹主动脉管壁增厚(短箭头)、管腔狭窄

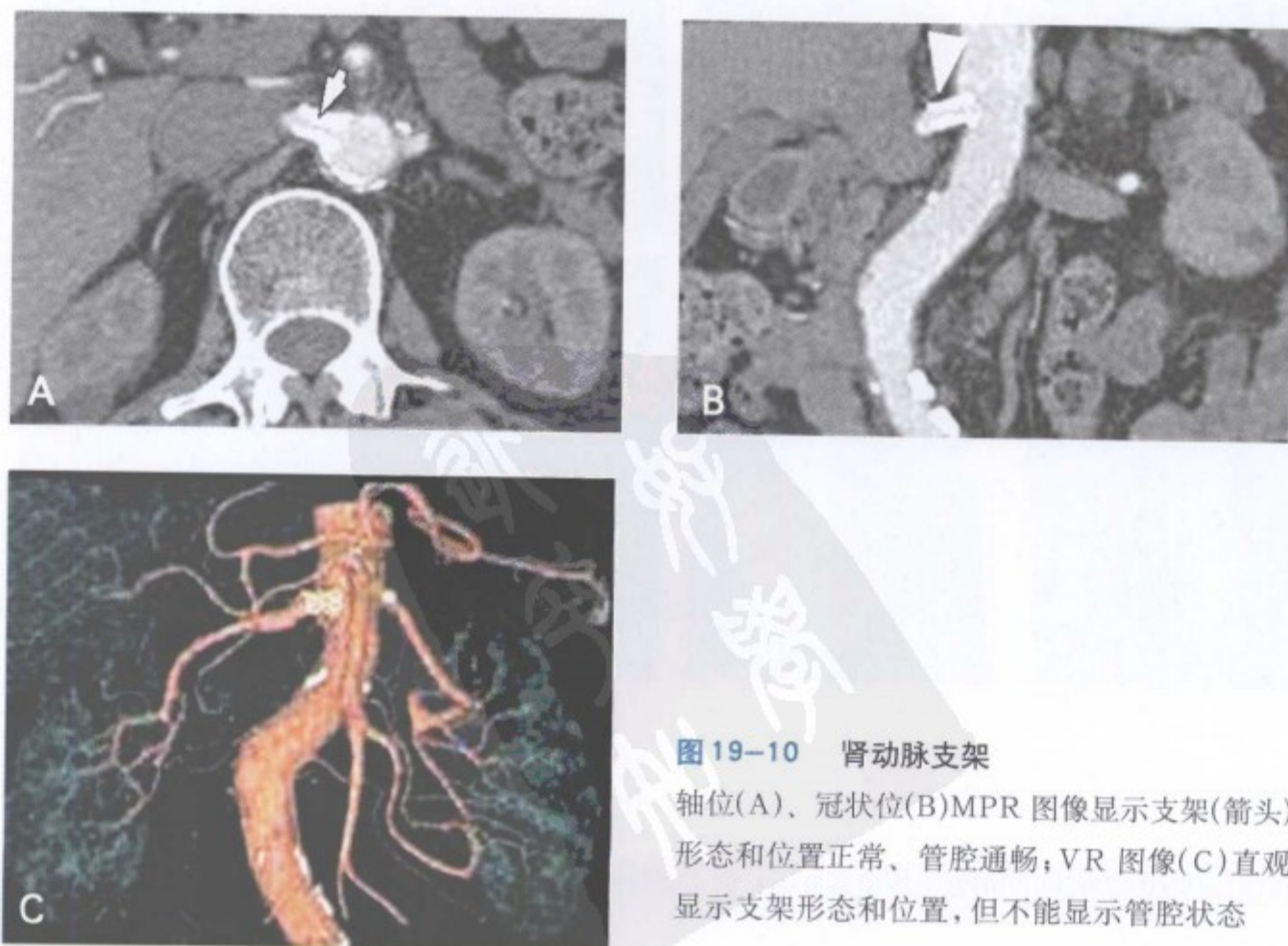


图19-10 肾动脉支架

轴位(A)、冠状位(B)MPR 图像显示支架(箭头)形态和位置正常、管腔通畅;VR 图像(C)直观显示支架形态和位置,但不能显示管腔状态

## 二、肾动脉栓塞及肾梗死

肾梗死是肾动脉或其分支或副肾动脉因各种原因引起的阻塞导致肾的缺血性坏死性改变。

引起肾动脉栓塞的因素主要有动脉粥样硬化、细菌性心内膜炎、高脂血症、外伤、肿瘤血管收缩剂等。

肾梗死本身的临床表现取决于梗死的程度和范围。患者可有腹痛或腰痛、低热、恶心、呕吐和血尿等表现。小面积梗死则症状轻微，单肾或肾移植患者大面积肾梗死，可出现肾衰竭。

### 【CTA表现】

CTA能显示肾动脉主干及1~3级分支，较多文献报道MDCTA能清晰显示3级分支。另外，CTA对副肾动脉的检出优于血管造影。

CTA及CT表现为以下4个方面(图19-11)。①肾动脉主干、分支或副肾动脉截断；②截断处常可见肾动脉硬化、血栓、肿瘤侵犯等病因；③增强扫描显示肾实质内边缘较清晰的圆形或楔形低密度区；④低密度区无占位效应，较大病灶可见皮质边缘征。

CTA的图像后处理技术，首选MIP及MPR，可结合应用VR。

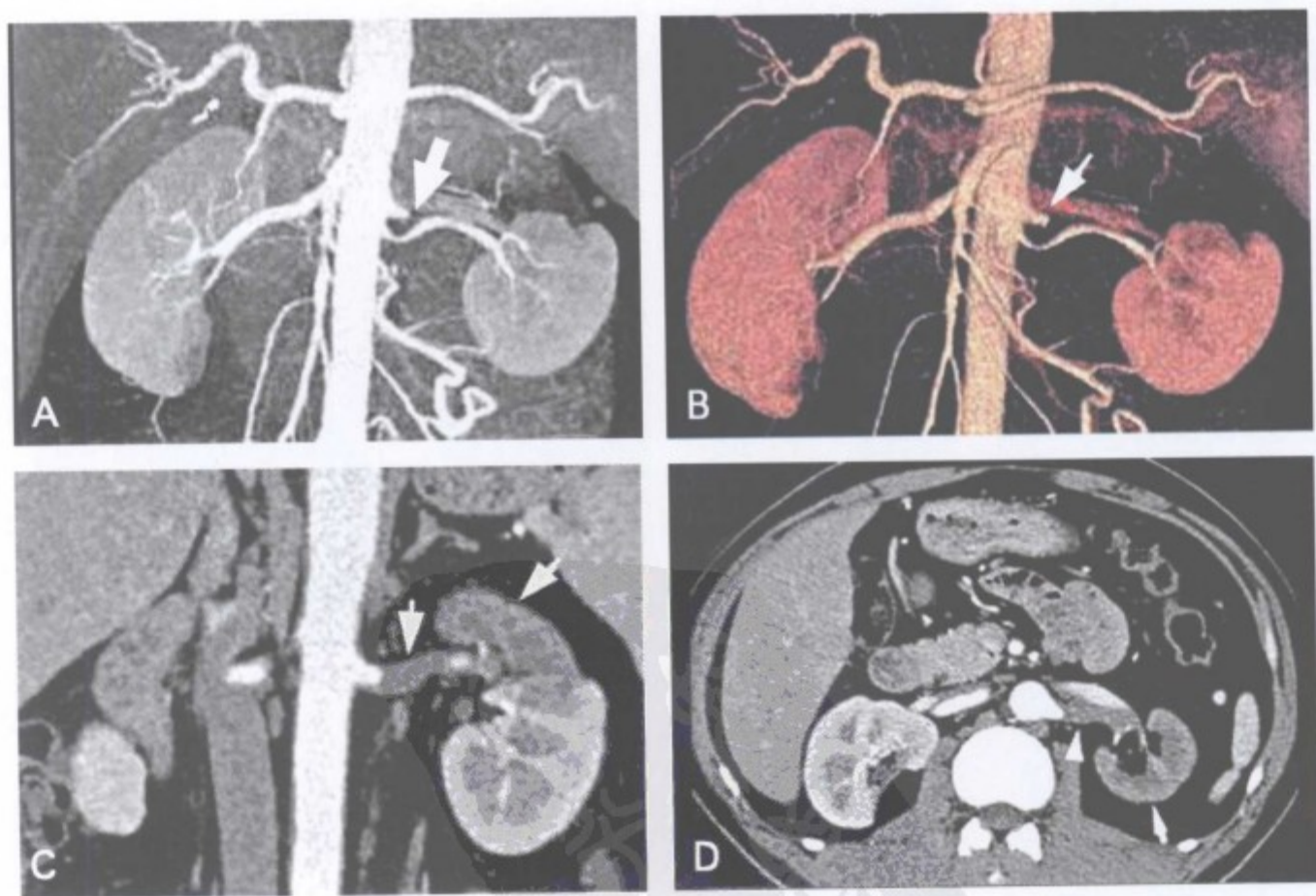


图19-11 左肾上支肾动脉栓塞

MIP(A)及VR(B)图像显示左肾两支肾动脉,其中上支近段栓塞、中断(箭头),左肾上极无强化显影;冠状位MPR(C)及轴位(D)增强扫描图像显示左侧上支肾动脉内栓子(箭头)形成,左肾上极梗死灶(箭头)

### 三、肾动脉瘤

肾动脉瘤是一种罕见的肾血管性疾病,普通人群尸检发现率为0.015%。据Martin等统计,肾动脉瘤约占内脏动脉瘤的22%。其发生与一系列的动脉病理状态有关,包括肾动脉硬化、纤维肌性发育不良、动脉炎和损伤等。

肾动脉瘤按病理可分为真性动脉瘤、假性动脉瘤及动脉夹层。

肾动脉瘤的确诊主要依靠影像学检查。

#### (一)真性肾动脉瘤

真性肾动脉瘤是肾动脉管腔的局部异常扩张膨大,而管壁仍然完整,瘤壁包含血管壁的内膜、中膜和外膜三层结构。其病因主要是肾动脉中层弹力纤维先天性发育不良和肾动脉硬化、肌纤维性疾病等。

根据发生部位可分为肾内型和肾外型;根据形态可分为梭形动脉瘤和囊状动脉瘤。有学者报道,直径>2cm的囊状动脉瘤及长径>2.5cm的梭形动脉瘤破裂的危险性增加。又有学者将肾动脉瘤从血流动力学角度分为单纯肾动脉瘤(I型)、肾动脉瘤并瘤后狭窄(II型)和肾动脉狭窄后动脉瘤(III型)3种类型。动态观察发现,I型病情较稳定,II型瘤体增大迅速易破裂,易伴血栓形成。

本病临床表现不典型,早期不易发现,晚期一旦出现严重并发症或破裂大出血可危及生命。

#### 【CT及CTA表现】

①平扫肾内或肾周为略高密度的梭形或囊状肿块,CT值与同平面动脉血管的CT值相同,其边缘清楚锐利;②部分病例的瘤壁见弧形钙化灶;③动态增强扫描见肿块明显均匀强化,与肾动脉强化同步,CT值高于肾实质而等同于动脉;④CTA三维重组显示瘤体与肾动脉关系密切(图19-12)。

#### (二)假性肾动脉瘤

假性肾动脉瘤是多种原因引起肾动脉破裂后出现的一种并发症,在血管周围形成一局限和纤维包裹性血肿,且与受损伤的血管相沟通。假性肾动脉瘤的瘤壁为纤维组织,而不是正常的动脉壁结构,这是真假动脉瘤在病理上的重要区别。瘤体一般较大,与肾动脉之间有破口相通,破口通常较小。

本病病因包括外伤、术后并发症(包括肾移植、血管重组术、支架置入术和球囊扩张术等)、动脉粥样硬化、多发动脉炎性结节、肿瘤侵犯等,其中以外伤和术后并发症较为多见。假性肾动脉瘤可发生于肾外和肾内,主要与外伤部位、手术部位和肿瘤部位等相关。

临床表现根据动脉瘤的大小可不相同,动脉瘤小的患者可无明显症状。可能出现的临床症状包括腰痛、肾血管杂音、血尿等,合并大出血患者可出现血压下降、失血性休克。

#### 【CT及CTA表现】

假性动脉瘤的征象包括以下几个方面(图19-13,图19-14)。①瘤体通常较大,形状多样,常悬挂于肾动脉一侧;②增强扫描常见瘤体与肾动脉通过狭颈(破口)沟通;③动态增强扫描动脉早期见瘤体

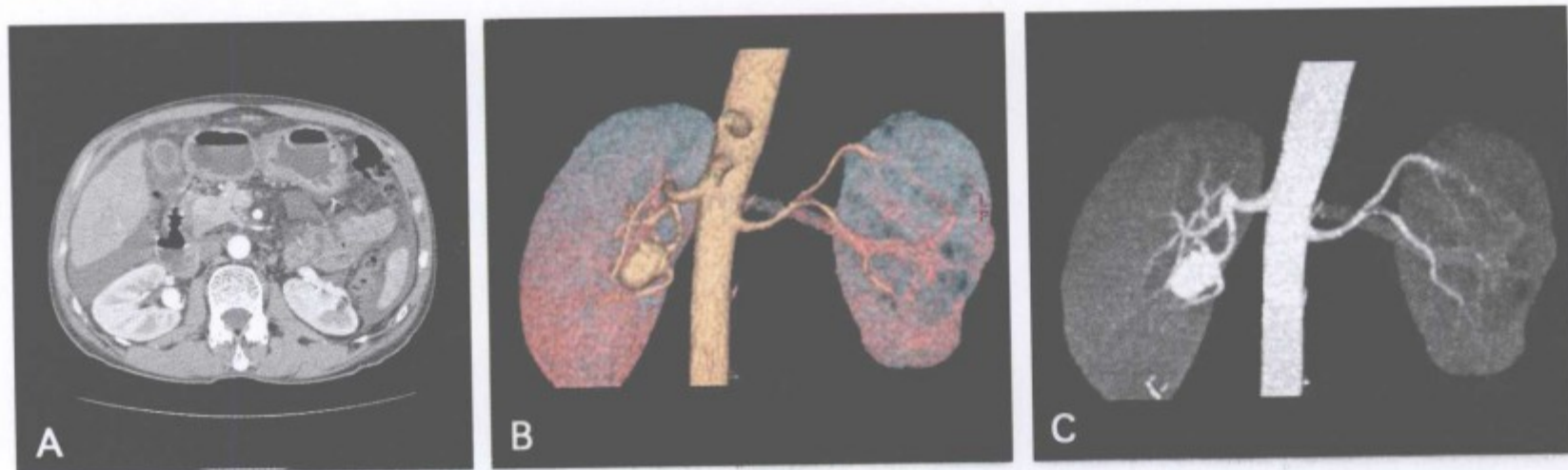


图 19-12 右肾动脉真性动脉瘤

A. 横断位示肾门区动脉瘤与右肾动脉下干相通; B. VR 图像立体显示动脉瘤与右肾动脉关系; C. MIP 图像可显示动脉瘤与右肾动脉下干相通

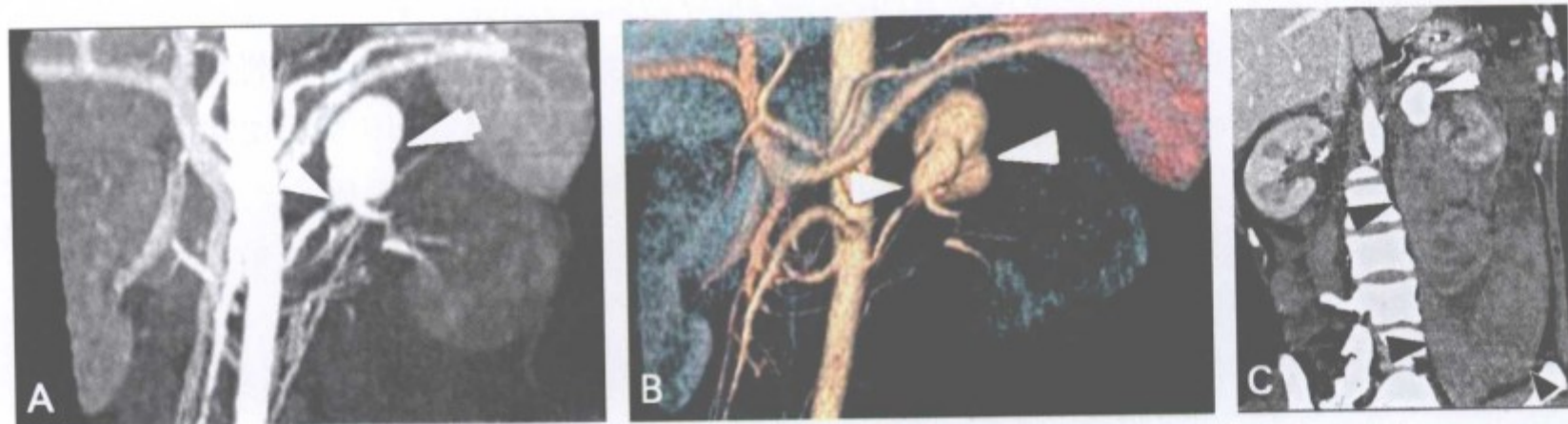


图 19-13 左肾动脉假性动脉瘤

MIP(A)及 VR(B)图像显示左肾动脉假性动脉瘤(长箭头),其通过狭颈(短箭头)与肾动脉沟通;冠状位 MPR(C)图像显示假性动脉瘤(长箭头)及左肾包膜囊、肾周间隙血肿(黑箭头)

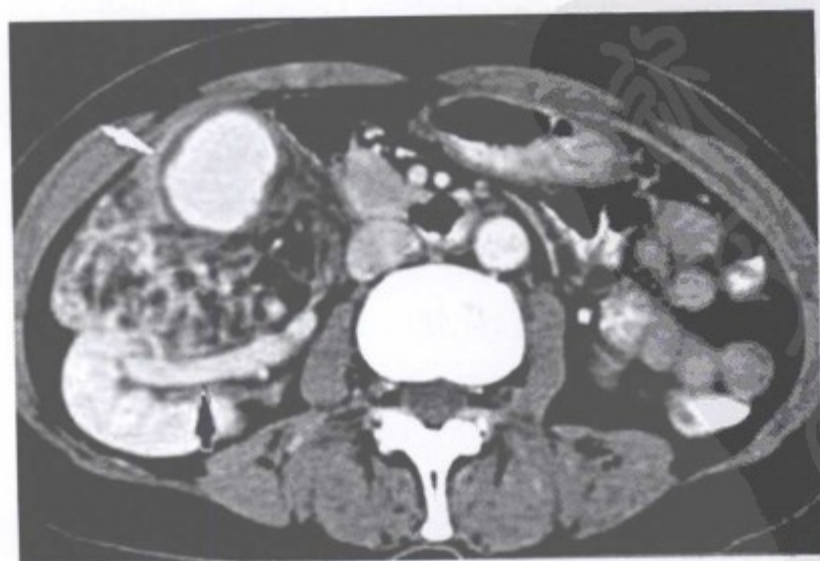


图 19-14 右肾血管平滑肌脂肪瘤内假性动脉瘤

轴位 MPR 图像显示右肾血管平滑肌脂肪瘤内假性动脉瘤(白箭头)形成,肾静脉(黑箭头)受压

强化较肾动脉稍迟,对比剂消退也较肾动脉稍迟。这是由于破口小及瘤体内有血栓存在,血管与瘤腔内血液交换较慢的缘故;④瘤腔内通常有血栓存在;⑤可有瘤壁强化。

### (三)肾动脉夹层

肾动脉夹层不是真正的肾动脉瘤,而是肾动脉内膜撕裂,血液进入肾动脉中膜形成夹层血肿所致。常见的病因为医源性损伤(如导管操作、球囊扩张术)和主动脉夹层累及。主动脉夹层又以累及左侧肾动脉为多。肾动脉夹层破口多发生于肾动脉起始段,由于肾动脉较小,受累范围通常不大,但容易导致肾动脉闭塞。

临床表现无特异性,主要表现为腰痛以及相关疾病(如主动脉夹层)的症状,导致肾动脉闭塞时,有肾梗死表现。

#### 【CTA 表现】

影像学检查中,DSA及MRA主要表现为肾动脉狭窄或闭塞。CTA则具有明显优势,应用MPR技术,可显示撕裂的内膜瓣、真腔和假腔,判断病变范围和程度(图19-15);一次扫描,还可以显示主动脉夹层等相关病变和肾动脉狭窄、闭塞、肾梗死等并发症。

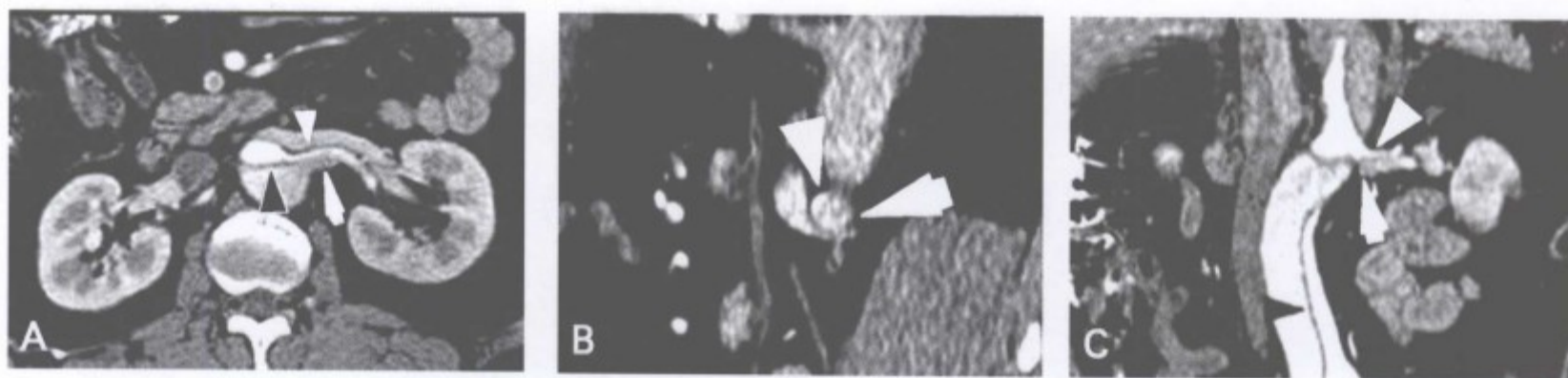


图19-15 腹主动脉夹层累及左肾动脉

轴位(A)、矢状位(B)、冠状位(C)MPR 图像显示腹主动脉撕裂内膜瓣(黑箭头)撕裂进入左侧肾动脉,左肾动脉分为真腔(长箭头)和假腔(短箭头),左肾灌注较右肾差

## 四、肾移植前后的评价

同种肾移植是终末期肾病患者最有效的治疗方法之一,其肾脏来源主要是尸体和活体供肾。在临床上,活体供肾能提供较高的移植肾长期存活率,活体肾移植的1年和3年生存率分别为96.6%、93.2%;而尸体肾移植的1年和3年生存率分别为83.9%、71.4%。术前对活体供肾者做全面体格检查,判断供体肾的质量,全面了解供体肾的血管解剖以及术后诊断并发症,对提高肾移植手术成功率至关重要,已引起器官移植和影像学家的高度重视。

在切取供肾前主要了解两侧肾脏的形态、功能、潜在的肾脏病变、肾血管的解剖及变异、

有无肾脏血管疾病、肾脏收集系统有无异常等,CT轴位图像及CTA重组图像基本能达到以上目的。尤其是CTA,对显示供体肾血管的解剖、病变和变异有明显优势。

肾移植需要明确的肾动脉变异是副肾动脉。副肾动脉在肾内的分支及分布情况与正常的肾段动脉(或肾段动脉的分支)相同,即副肾动脉实质上就是肾段动脉。副肾动脉的分支与肾动脉的分支之间在肾内无吻合,因此所有副肾动脉必须保留,否则会导致其供血区肾梗死。另外,肾门前动脉分支也是供体肾切除前必须确认的另一常见肾动脉变异,其是指在肾动脉的第一支分支位于其开口1.5cm内,因为成功血管吻合要求肾动脉开口与其第一支分支相距至少1.5cm。需要明确的肾静脉变异主要是主动脉周围型肾静脉和完全主动脉后位型肾静脉。

移植肾动脉常吻合于受体的髂内动脉及其分支,肾静脉常吻合于髂内静脉。肾移植术后并发症主要有:①排斥反应;②急性肾小管坏死;③泌尿系统并发症,如尿路梗阻、肾周积液;④血管系统并发症,其中最常见的是肾动脉狭窄,较少见的有肾静脉栓塞、吻合口出血、动静脉瘘及假性动脉瘤等。

肾移植CTA评价的研究报道比较多,CTA应用VR、MIP、SSD、MPR等重组技术,能清晰、直观地显示肾动静脉的解剖、病变和变异,在检出副肾动脉和肾门前动脉分支方面的敏感度接近100%,优于DSA及MRA。尚能同时检查肾脏及其集合系统有无病变,术后能准确检出并发症,具有准确、方便,减少患者痛苦和经济负担的优点。

(余元新 梁长虹 谢淑飞)

## 第四节 肾静脉病变

### 一、左肾静脉压迫综合征

左肾静脉压迫综合征(left renal vein entrapment syndrome)又称胡桃夹现象(NCP),是指左肾静脉回流至下腔静脉过程中受腹主动脉及肠系膜上动脉的挤压而致管腔狭窄,造成左肾静脉高压和扩张,临床出现血尿、蛋白尿、生殖静脉淤血表现和左腰腹痛等一组症状。

左肾静脉在肠系膜上动脉和腹主动脉之间受压称之为“前胡桃夹现象”,多见;左肾静脉行走于腹主动脉之后受压称之为“后胡桃夹现象”,少见。

正常情况下,腹主动脉与肠系膜上动脉所形成的夹角为 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,并为肠系膜脂肪、淋巴结和腹膜等充塞而左肾静脉并不受压(图19-16)。如果肠系膜上动脉的解剖位置异常,导致肠系膜上动脉与腹主动脉的夹角变窄,则使左肾静脉受压。左肾静脉受压的程度,在前胡桃夹现象中主要与肠系膜上动脉和腹主动脉之间夹角的大小有关。在后胡桃夹现象中,主要与腹主动脉后间隙的大小有关。另外,两者还与患者的体位、脊柱生理性前突的程度、肾窝的深度等因素有关。脊柱前突的程度和肾窝的深度可以影响左肾静脉与腹主动脉之间的角度,影响左肾静脉回流。

NCP主要的临床表现是非肾小球性血尿,可为肉眼血尿或镜下血尿。产生血尿的原因主要为左肾静脉受到挤压,导致左肾静脉回流受阻,久之左肾静脉压升高,形成左肾淤血,淤血的静脉系统与尿收

集系统间发生异常交通,或因肾盏穹窿部静脉窦壁变薄破裂,血液流入肾集合系统所致。NCP的另外一个重要临床症状是左肾静脉受压影响生殖静脉而出现的男性不同程度的左侧精索静脉曲张;女性则出现不同程度的腰痛、盆腔不适和月经增多等临床症状。

### 【CT及CTA表现】

NCP的影像学检查方法主要有彩色多普勒超声、MRA、CTA及肾静脉造影。对于影像学的诊断标准,鉴于正常人群在CT或超声下可显示一定程度的左肾静脉受压,其发生率可高达51%~72%。有学者认为左肾静脉扩张段与狭窄段之比大于2倍可诊断,大多数则认为大于3倍才有意义,并提出应该结合临床症状及其他实验室检查,排除其他原因引起的血尿。

NCP的CTA检查主要征象表现为以下几个方面(图19-17,图19-18)。①左肾静脉在肠系膜上动脉与腹主动脉的夹角处受卡压,管腔变窄,而近肾门段增粗、扩张,扩张段与狭窄段管径之比大于2倍;②肠系膜上动脉与腹主动脉夹角狭小,小于 $45^{\circ}$ ,两者形成的间隙通道狭窄;③左肾体积常较右肾增大;④可伴有侧支循环形成及左肾静脉属支曲张(图19-19)。CTA的图像后处理技术,宜依次选用MIP、MPR和VR。

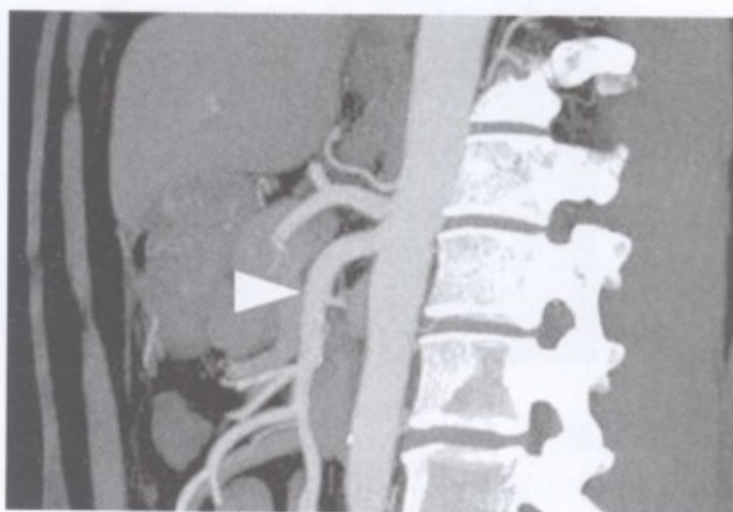


图19-16 肠系膜上动脉(箭头)与腹主动脉正常夹角

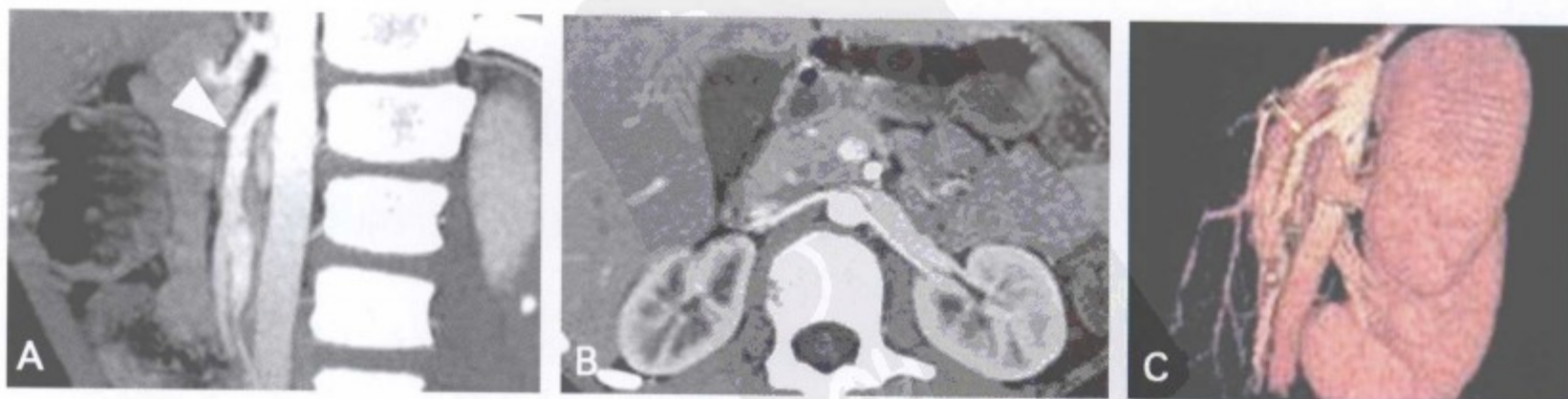


图19-17 前胡桃夹现象

矢状面MPR图像(A)显示肠系膜上动脉(箭头)与腹主动脉夹角狭小,横断面图像(B)及VR图像(C)显示左肾静脉受压变扁,远段扩张

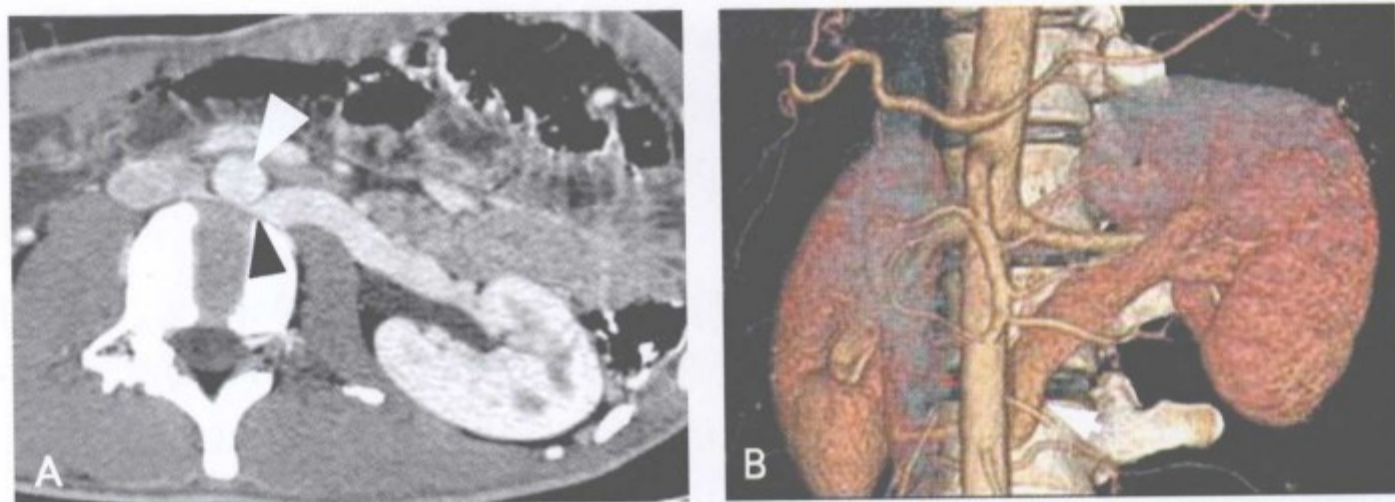


图 19-18 后胡桃夹现象

横断面(A)和 VR(B)图像显示左肾静脉(黑箭头)从腹主动脉(白箭头)后方跨越时受压变扁,远段扩张

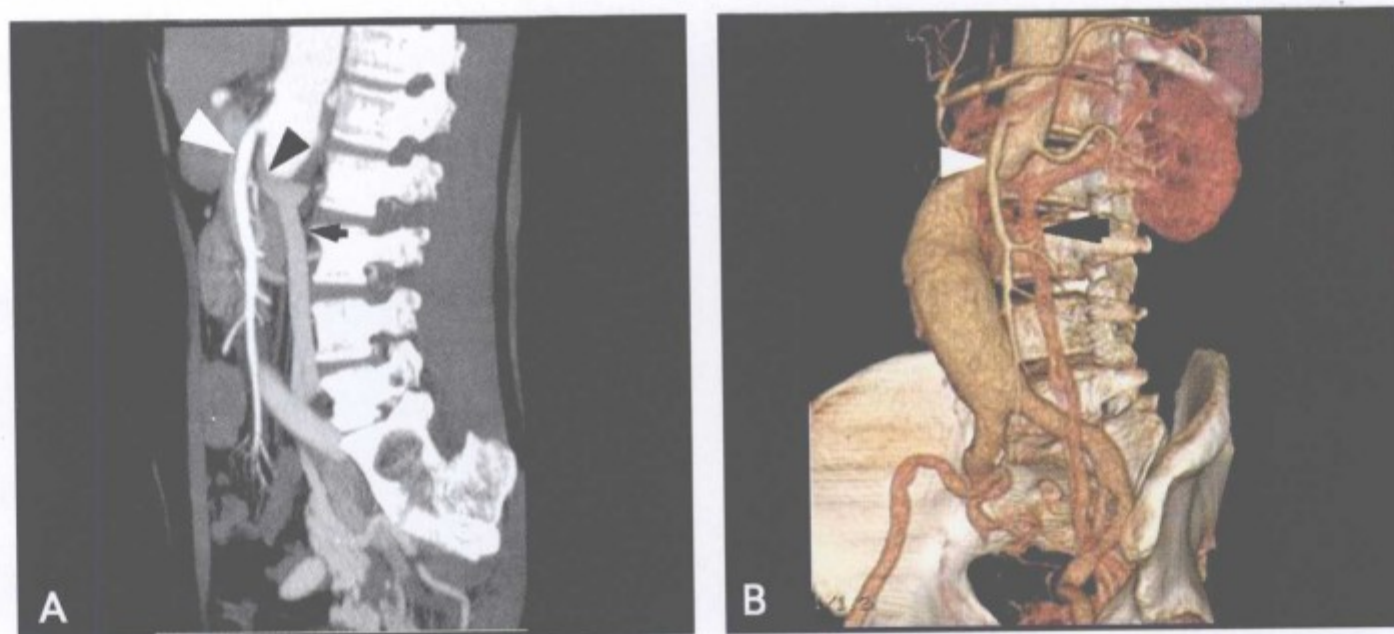


图 19-19 腹主动脉瘤并前胡桃夹现象

多平面重组(A)和 VR(B)图像肠系膜上动脉(白箭头)与腹主动脉夹角狭小,左肾静脉受压变扁(黑箭头),左侧卵巢静脉曲张

## 二、肾静脉血栓形成

肾静脉血栓(renal vein thrombosis, RVT),指肾静脉主干和(或)分支内血栓形成,导致肾静脉部分或全部阻塞而引起一系列病理改变和临床表现。

RVT可发生于单侧或双侧肾脏,可发生于肾静脉主干、一个分支或多个分支。RVT可由多种因素引起,成人主要由肾病综合征所致,其主要机制包括以下两点。①大量蛋白尿导致有效血容量降低使血液处于高凝状态;②肾实质水肿使压力增高,导致肾静脉血流缓慢。其他病因包括下腔静脉血栓形成向肾静脉蔓延、先天性发绀性心脏病、高凝血症以及肾移植等;在新生儿期及婴儿期,主要由脱



水、窒息、休克、败血症等引起。

RVT临床表现轻重悬殊。轻者,特别是慢性肾静脉小血栓,或侧支循环形成较好者常无临床症状。急性起病严重者,则有典型“三联征”,即剧烈腹痛或腰痛、肉眼血尿、肾功能突然恶化、肾小球滤过率下降;还可合并肺梗死及其他部位的静脉血栓形成。

#### 【CT及CTA表现】

RVT的CT检查强调薄层动态增强扫描。CTA应用MPR及MIP重组技术可清晰显示血栓的部位、形态和大小,还可显示血管腔的阻塞程度、远段扩张的肾静脉和曲张的引流属支以及侧支循环。

CT及CTA征象(图19-20):①肾静脉内低密度条状影或充盈缺损,血管腔堵塞或狭窄,此为直接征象;②肾静脉肾门段增粗;③肾静脉引流属支曲张;④肾周静脉侧支循环形成;⑤患侧肾可增大、肾周或肾包膜下可见出血或积液。

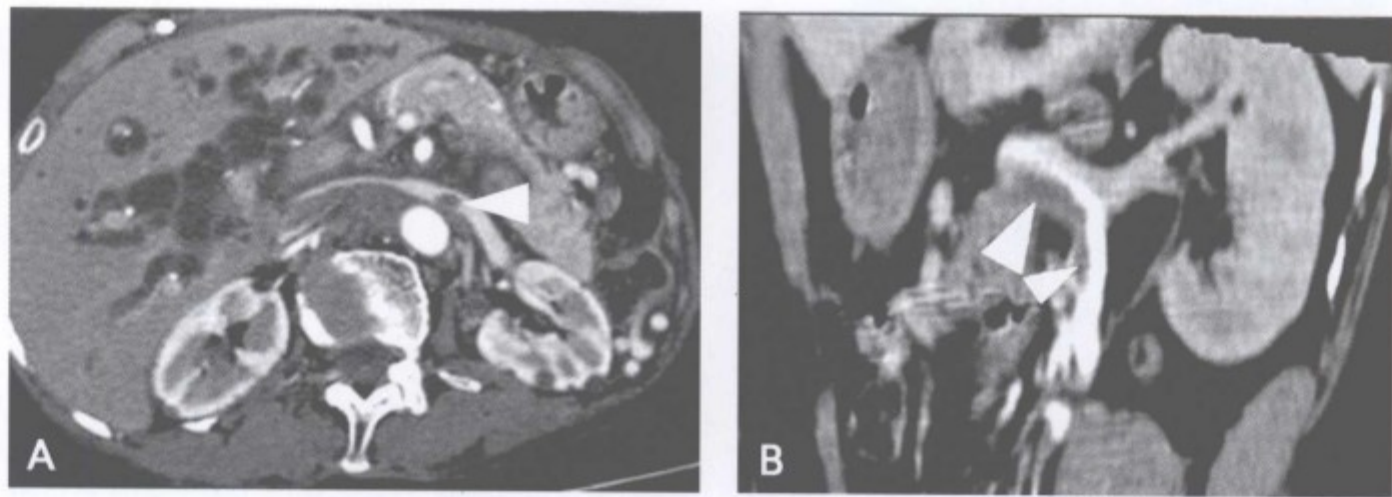


图19-20 左肾静脉血栓

轴位(A)及冠状面(B)MPR图像显示左肾静脉内椭圆形小血栓(箭头);冠状位MPR图像显示左肾静脉内长条状血栓(大箭头)延至左卵巢静脉(小箭头),左卵巢静脉曲张

### 三、肾静脉癌栓

肾癌或肾上腺癌容易发生肾静脉及下腔静脉癌栓。肾癌中,静脉癌栓的发生率为20%~35%,下腔静脉癌栓为4%~10%(图19-21)。肝癌也可通过下腔静脉癌栓累及肾静脉(图19-22,图19-23)。准确诊断肾静脉及下腔静脉癌栓和确定癌栓的范围,对临床制定治疗方案、提高治疗效果、判断预后十分重要。

CTA应用MPR及MIP重组技术能清晰显示癌栓的部位和范围,主要表现为血管内不规则低密度区或充盈缺损;病变可侵犯血管壁;受累血管扩大(图19-21~19-23)。结合CT轴位图像原发灶的发现,不难诊断。

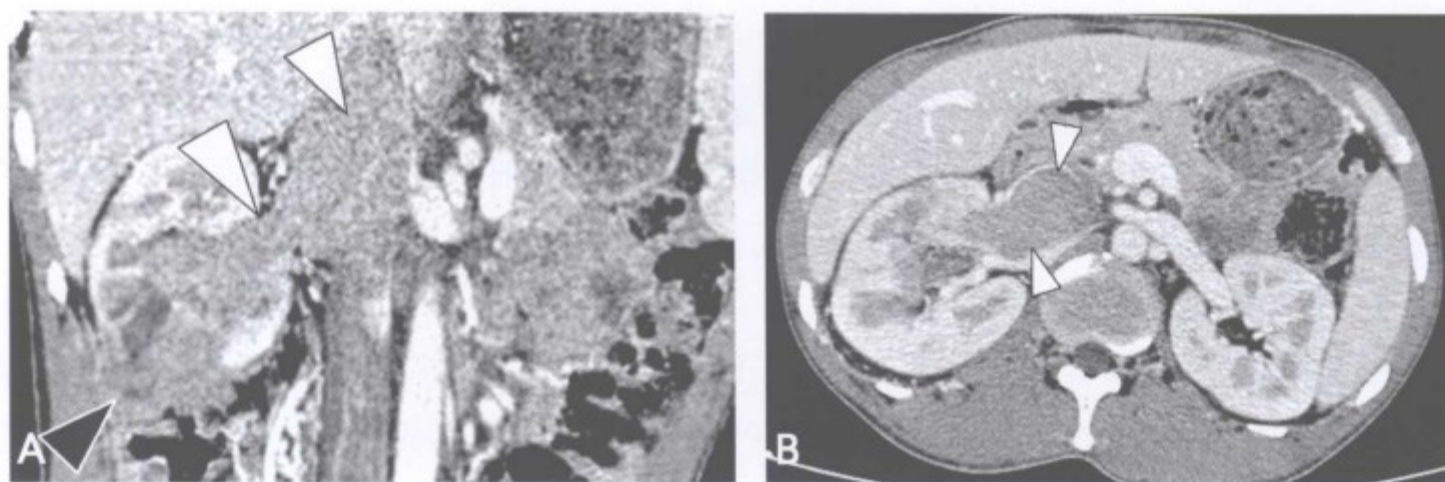


图 19-21 右肾静脉癌栓

肾癌(黑箭头)患者,显示右肾静脉癌栓(箭头)和下腔静脉癌栓



图 19-22 左肾静脉癌栓

巨大肝癌病灶(黑箭头)侵犯肝静脉进入下腔静脉(白箭头)和左肾静脉形成癌栓(黑箭头)

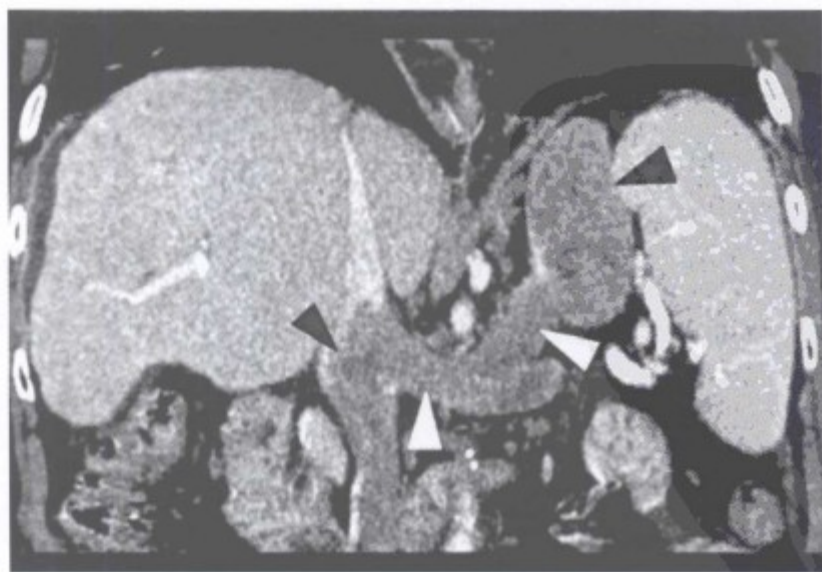


图 19-23 左肾静脉癌栓合并左肾上腺静脉癌栓

肝癌左侧肾上腺转移(黑箭头),病灶侵犯左侧肾上腺静脉,形成左肾上腺静脉癌栓(白箭头),癌栓向肾静脉和下腔静脉延伸(箭头)

肾静脉癌栓需与血栓鉴别,血栓通常呈长条状或椭圆形,受累段血管扩大不明显,血管壁无侵犯。

下腔静脉癌栓尚需与增强扫描动脉期因层流和对比剂未混匀而出现的偏心性低密度区相鉴别,采用动态扫描技术观察低密度区的变化可明确区分。

#### 四、肾动静脉瘘

肾动静脉瘘是指肾动脉与肾静脉之间直接异常相通。临床少见,可分为先天性、继发性和特发性三类。由于病变的性质和部位不同,不同类型动静脉瘘的临床表现不同。

先天性肾动静脉瘘是先天性血管发育异常所致的畸形,因此又称为先天性肾动静脉畸形,占14%~27%,临床症状以肉眼血尿为主,约20%患者可出现高血压。这是由于先天性肾动静脉瘘一般为多支动静脉瘘,主要位于集合系统黏膜下的固有层中,因而易破溃入集合系统引起血尿。

继发性动静脉瘘相对多见,占肾动静脉瘘的70%~80%,主要见于外伤、肾穿刺活检、手术及肿瘤,临床常见症状为高血压(59%),约21%患者可出现肉眼血尿。另外,还可出现心脏扩大、充血性心力衰竭等。引起高血压及心力衰竭的机制可能是动静脉瘘导致瘘远端的肾组织相对缺血,引起肾素分泌增加。

特发性动静脉瘘无明显诱因,约占2.8%,一般认为是肾脏的假性动脉瘤破溃入邻近静脉而形成。

DSA及CTA是肾动静脉瘘目前主要的影像诊断方法,可以直接全面地显示动静脉瘘的部位、形态、数目、供血等,还可显示瘘口的部位、大小以及侧支循环情况。主要征象特点是动脉显影的早期就可以显示出静脉。不同类型的动静脉瘘及瘘口大小不同,造影表现也不尽相同。瘘口小时,瘘口近端静脉显影而远端很少显影;瘘口大时,则静脉扩张、迂曲,远端静脉显示较清楚。

先天性肾动静脉瘘常累及肾动脉一级分支、段动脉或叶间动脉,主要发生在肾中央区靠近肾门,血管明显迂曲和呈螺旋状排列,涉及单一血管或一簇血管。CT及CTA主要表现为以下几个方面(图19-24)。①局部肾静脉不同程度的动脉早期显影,甚至可见下腔静脉在动脉期显影;②局部成团的迂曲、扩张血管;③供血动脉增粗;④常有多支动静脉瘘。

继发性动静脉瘘病变部位不定,与病因有关,表现为单支动脉通过一扩张的血管腔与静脉直接相通,瘘口周围血管团不明显,但肾肿瘤所致的动静脉瘘常可见到成团迂曲的血管,可能是多个瘘口所致(图19-25)。

特发性动静脉瘘的表现类似继发性动静脉瘘。

CTA图像后处理技术中,MIP及VR能显示迂曲、扩张的血管团全貌,MPR对显示瘘口有帮助。

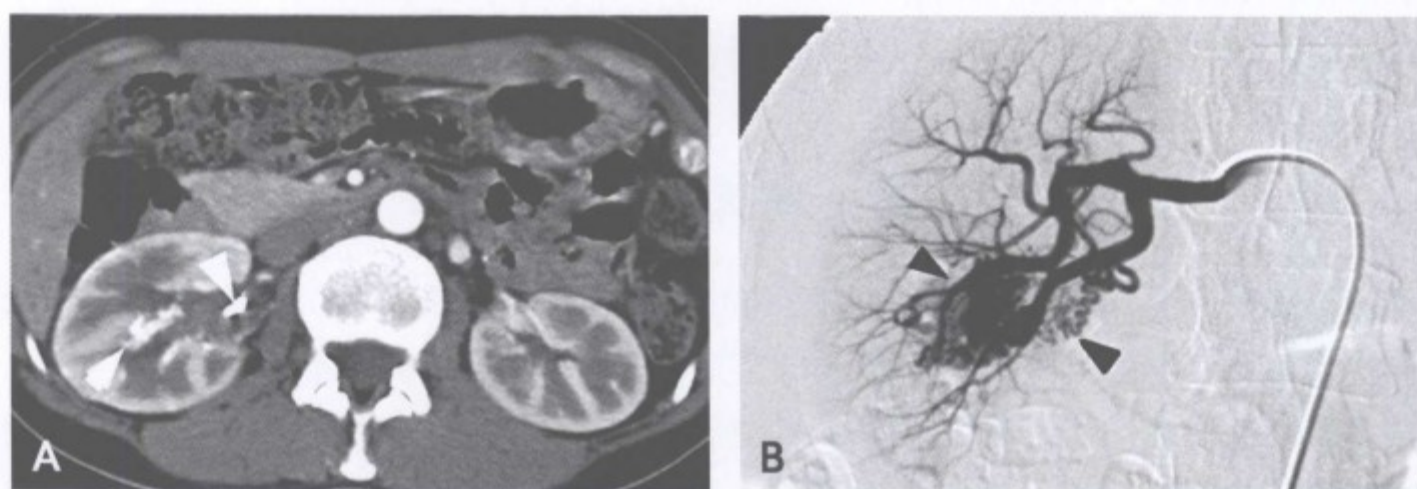


图 19-24 右肾内先天性动静脉瘘

CT 轴位增强扫描动脉期图像(A)及 DSA 动脉期图像(B)均显示右肾内迂曲、扩张血管团(黑箭头)

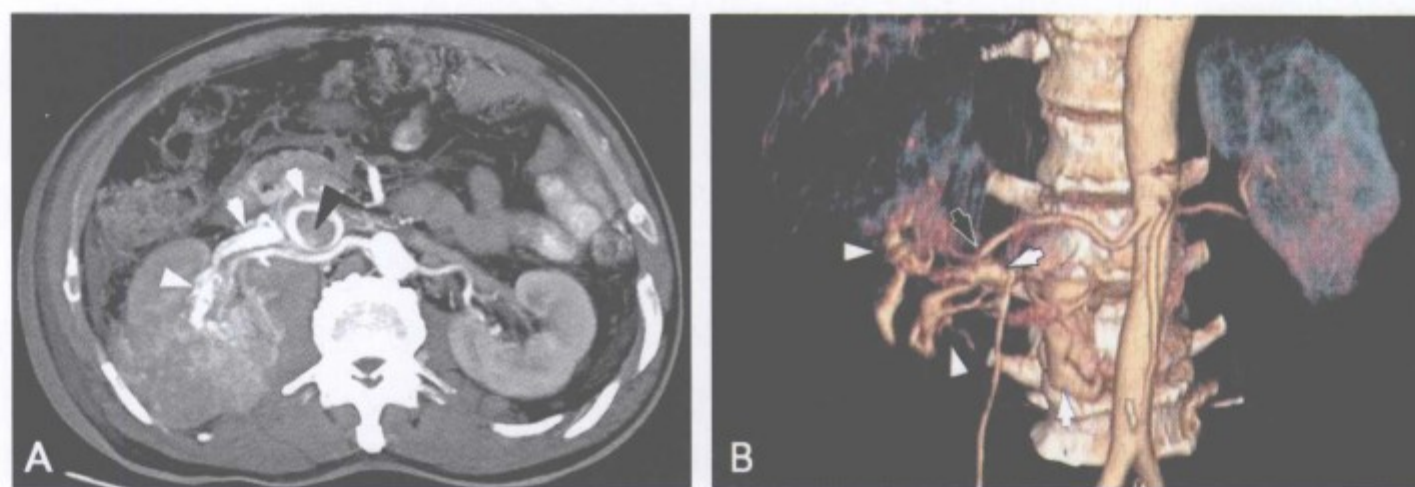


图 19-25 右肾癌继发动静脉瘘

MIP(A)及 VR(B)图像均显示动脉期右肾静脉及下腔静脉(内见癌栓)提早显影(白箭头),右肾内见迂曲、扩张血管团,VR 图像尚可见瘘口(黑箭头)



(余元新 谢淑飞 梁长虹)

## 参考文献

- [1] 张龙江,包颜明,杨亚英.多层螺旋CT血管成像.昆明:云南科技出版社,2004:153-161
- [2] 杨星,马彪,苏勤,等.螺旋CT三维重组的方法和技巧.中华放射学杂志,1999,33:492-493
- [3] 吴春根,周康荣.多层螺旋CT血管造影术.临床放射学杂志,2002,5:397-399
- [4] 梁春香,牟楠楠,曲歌,等.肾动脉瘤的彩色多普勒超声评价.中国超声医学杂志,2000,16:(1)22-25
- [5] Maxwell MH,Bleifer KH,Franklin SS.Demographic analysis of study:cooperative study of renovascular hypertension.JAMA,1987,220:1195
- [6] Johnston SL,Lock RJ,Gompels MM.Takayasu arteritis;a review.J Clin Pathol,2002,55(7):481-486
- [7] Dorros G,Jaff M,Mathiak L,et al.Four-year follow-up of Plamaz-Schatz stent revascularization as treatment for atherosclerotic renal artery stenosis.Circulation,1998,98:642-647
- [8] Van de Ven PJ,Kaatee R,Beutler JJ,et al.Arterial stenting and balloon angioplasty in ostial atherosclerotic renovascular disease;a randomised trial.Lancet,1999,353:282-286
- [9] Rodriguez-Lopez JA,Werner A,Ray Li,et al.Renal artery stenosis treated with stent deployment: indications,technique,and outcome for 108 patients.J Vasc Surg,1999,29:617-624
- [10] Chu,C;Young,N;Lau,H.Comparison of spiral CT angiography with conventional digital subtraction angiography in the evaluation of renal transplant donors;a pilot study.Australas-Radiol.2001,45(2):118-122
- [11] Manu,M A,Harza,M,Manu,R,et al.Comparative study of helical CT scan angiography,conventional arteriography,and intraoperative findings for the evaluation of living renal transplant donors.Transplant-Proc,2001,33(12):2028-2029
- [12] Pozniak,M A;Balison,D J,Lee,F T Jr,et al.CT angiography of potential renal transplant donors.Radiographics,1998,18(3):565
- [13] Wwndel R G,Crawford E D,Hehman K N.The "Nutcracker" phenomenon;an unusual cause for renal varicosities with hematuria.J Urol,1980,123:761-763
- [14] Weiner S N,Bernstein R G,Morehouse H.Hematuria secondary to left peripelvic and gonadal vein varices.Urology,1983,22:81-84
- [15] Itoh S,Yoshida K,Nakamura Y.Aggravation of the nutcracker syndrome during pregnancy.Obstet Gynecol,1997,90:661-663
- [16] Chen YM,Wang IK,Ng KK,et al.Nutcracker syndrome;an overlooked cause of hematuria.Chang Gung Med J,2002,25(10):700-705
- [17] Chivate JG,Blewilt WV.Congenital renal arterovenous fistula.Br J Urol,1993,71:358-359

## 肝脏螺旋 CT 血管成像

### 第一节 肝脏 CTA 检查技术

CTA在腹部的应用已不再局限于对腹部大血管本身病变的诊断和评价,而是开始逐渐扩展到中小血管的评价。螺旋CT血管成像,特别是多层螺旋CT血管成像(MDCTA),能清晰地显示肝动脉分支、门静脉、肝静脉、肠系膜血管的分支等细管径血管,对肝癌术前评价、肝切除术、肝移植术、肝灌注化疗前计划及各种原因所致门静脉扩张的治疗前评价等方面显示出其独特的价值。

#### 一、CTA 成像技术

针对肝脏的MDCTA,要获得良好的图像,达到诊断目的,取决于合理的增强扫描参数的设定、对比剂的使用和患者的充分配合。扫描参数包括螺距、层厚、重组间隔等。扫描参数的选择应兼顾扫描区域的长度(或体积)、兴趣血管的直径及其走行方向、个体差异、受检者所能屏气的时间等因素的影响。

MDCT 扫描覆盖范围与准直器宽度、螺距和连续扫描时间呈正相关关系。因此,准直器宽度和螺距是两个重要的选择因素,它们通过层敏感曲线(section sensitivity profile,SSP)影响空间分辨率。SSP决定Z轴方向像素的大小及特征。准直宽度增加,SSP宽度增加,有效层厚加大,部分容积效应增加,空间分辨率下降。扫描参数组合是否恰当对后处理图像质量影响比较大。

##### (一)准直器宽度(层厚)的选择

准直器宽度和层厚是两个完全不同的概念,二者关系密切。

准直器宽度指准直器间距。有效层厚指一幅 CT 图像所代表的人体实际厚度。对螺旋 CT 来

说,二者大小是不等的。一般来说,有效层厚大于准直器宽度,二者存在正相关。增大准直器宽度,层厚相应增大,反之亦然。二者对图像质量的影响结果是一致的。CT机和照片上所标记的层厚有的是准直器宽度,有的是有效层厚。实际工作中,使用者经常将二者混为一谈。许多学者所说的层厚往往是指准直器宽度,而不是有效层厚。值得注意的是,在准直器宽度相等的条件下,有效层厚受螺距和重组算法的不同而产生大小不同的变化,其影响是间接的。准直器宽度是影响CTA空间分辨率的最重要因素。腹部血管的走行很多都与身体长轴平行(与扫描面垂直、与Z轴平行)或斜行,因此,Z轴的空间分辨率对血管成像质量的影响非常大,合适的准直器宽度是获得良好重组图像质量的关键。准直器宽度越小,SSP宽度越小,有效层厚越薄,空间分辨率越高。同时减小准直器宽度还可降低部分容积效应。若兴趣血管与扫描层面平行,理论上准直器宽度应小于兴趣血管直径的一半,则部分容积效应对重组图像质量影响较小,所得重组血管图像清晰。

单螺旋CT的腹部CTA宜采用3mm准直器宽度,而MDCT宜采用1~2.5mm准直器宽度。有学者认为不应一味追求准直器宽度超薄,因为这样将会同时伴有图像噪声增大、密度分辨率降低。扫描时间延长(受检者屏气时间延长),不仅导致血管内对比剂浓度下降(或需要较大量的对比剂来保持血管内的浓度),从而影响重组图像质量,而且受检者辐射剂量也会相应增加。

## (二)螺距的选择

螺距是影响密度分辨率的重要因素。当准直器宽度在一定范围( $\leq 3\text{mm}$ )时,螺距从1.0增加至2.0,扫描速度提高1倍,而重组图像的密度分辨率下降不明显。针对肝脏的增强扫描,在保证一定的空间分辨率的情况下,主要是追求时间分辨率,所以,可以适当使用高螺距。

## (三)准直器宽度与螺距的匹配

准直器宽度对MDCTA图像质量(主要是空间分辨率)的影响大于螺距对图像质量(主要是密度分辨率)的影响。血管成像主要要求较高的空间分辨率,减小准直器宽度可使空间分辨率增大,以提高细小血管的显示能力。螺旋CT扫描血管成像时,血管强化显著,血管与周围组织密度差别大,可忍受较大噪声;加大螺距导致密度分辨率下降,但对图像质量的总体水平影响较小。因此,对于给定的长范围的扫描,可尽量选用小准直器宽度、大螺距,以获取最大的Z轴分辨率(主要是空间分辨率),从而提高CTA的图像质量。但是,门静脉成像与其他血管成像不同,门脉期扫描时肝脏强化程度正处于高峰,与门静脉本身的CT值差别较小,因此,采用过薄的准直器宽度会因密度分辨率的下降而实际影响门静脉边缘的清晰度从而降低血管成像的质量。

## (四)曝光参数的选择

增加球管电流和(或)球管电压可提高密度分辨率和信噪比。由于CTA采用薄层扫描,所以,要获得较高的信噪比就必须相应提高曝光量。具体使用的球管电流量大小与各个厂家的设备密切相关。

### (五)扫描野的选择

较小的扫描野可获得较高的空间分辨率,但信噪比将降低。因此,在实际扫描中,为了获得尽可能高的空间分辨率,尽量地缩小扫描野,以提高血管成像质量。

## 二、对比剂应用技术

### (一)对比剂对 CTA 的影响

对比剂的合理应用是决定 CTA 优劣成败的关键。合理应用对比剂的影响因素主要是对比剂的注射流率、总剂量、延迟扫描时间及对比剂种类的选择。这些因素决定了对比剂在靶血管中的最佳强化状态。

### (二)对比剂的注射流率和剂量的选择

对比剂在血管内保持较高浓度可增大血管与周围组织的密度差,使二者对比明显,靶血管容易显影,重组图像质量高。对比剂注射流率和总剂量通过影响靶血管强化峰值(maximum contrast enhancement,  $I_{max}$ )、到达时间(time to peak,  $T_p$ )和持续时间(time to equilibrium phase,  $T_{eq}$ )影响血管成像质量。

提高注射流率,  $I_{max}$ 相应增加,所得三维重组图像优于慢流率注射者,但注射流率过快易导致对比剂外渗等不良反应。增大对比剂总量,  $I_{max}$ ,  $T_p$ 和  $T_{eq}$ 相应增大,即较大的剂量可在较长时间内维持较高的血药浓度。

CTA的对比剂用量往往大于一般增强扫描所用剂量(需要一定的剂量确保门静脉显示足够密度),单螺旋CT的对比剂用量大于MDCT,随着扫描速度加快,所要求使用的对比剂量减少。使用相同的对比剂总量和注射流率时,由于生理、病理因素的影响,图像质量水平仍存在个体差异。有学者研究发现正常组和肝硬化组门静脉与肝脏密度差之间存在差异,可能会影响肝硬化组的门静脉血管造影图像质量。肝脏疾患(如肝硬化、门脉高压、巨块型肝癌或弥漫性肝癌、门脉栓塞等)可影响门脉强化或使门脉管腔变细,使血管成像质量下降。

### (三)对比剂种类的选择

由于不同对比剂的碘浓度和渗透压不同,使用相同注射流率所得血管强化程度和持续时间也相应不同。碘浓度高者的平均峰值强化(mean peak enhancements)比碘浓度低者高,碘浓度相同者平均峰值强化无显著性差异;碘浓度相同时,低渗者的峰值后血药浓度衰减比高渗者慢,低渗低碘浓度者与高渗高碘浓度者无显著性差异。对于CT血管成像,扫描范围长,使用相同碘浓度对比剂时,选用低渗者所得血管图像质量高。总碘量相同的情况下,高浓度碘对比剂有利于保持血液内对比剂的高浓度平台期或降低注射流率。



#### (四)扫描延迟时间的选择

选用合理的扫描延迟时间是保证CTA图像质量的关键因素之一。过早扫描时靶血管内血药浓度不够,过晚扫描时则扫描后期血药峰值已过,二者均可导致全部或部分血管显影不良。延迟时间主要与受检者循环时间有关,受生理、病理影响而存在个体差异。较准确的延迟时间可通过小剂量团注预试验技术估算,亦可采用对比剂追踪触发软件智能扫描。后者是注入对比剂后,在同一层面用CT透视方式监测感兴趣区CT值的变化,当达到预设的阈值时,自动启动扫描程序,在更好地显示靶血管的同时,省去了小剂量试验时间,减少了对比剂用量。设置恰当的阈值是触发智能扫描成功的关键。根据广东省人民医院的经验,显示腹腔动脉、肝动脉延迟时间为18~25s,门静脉、下腔静脉延迟时间为60~85s。随着探测器的增多和扫描速度加快,延时时间相应滞后。当然,更准确的延迟时间以小剂量团注测试达到峰值时间的结果较为准确。

#### (五)口服对比剂对CTA的影响

阳性胃肠对比剂可干扰强化血管的显示,尤其是干扰三维后处理图像质量。因此,腹部CTA常规用水作为胃肠标记物,当增强扫描时候,肠道腔呈低密度,肠黏膜面强化呈线形强化。

### 三、CTA的后处理技术

CTA原始数据传输到工作站后可进行多种图像后处理,得到2D或3D各种血管图像。

腹部CTA图像采集多采用标准函数算法,既可避免采用锐利函数所造成的密度分辨率下降,又可避免采用平滑函数所造成的空间分辨率下降。

常用的后处理方法包括最大密度投影(MIP)、多平面重组(MPR)、曲面重组(CPR)、容积再现重组(VR)和仿真内镜(VE)。据我们的经验,在临床实际工作中,腹部CTA最常用VR、MIP、MPR、CPR等重组技术。测量血管直径、判断血管狭窄程度时,可选MPR、MIP或VR;需要观察血管之间、血管与邻近其他解剖结构的毗邻关系时,首选VR;观察血管与肿瘤之间的关系时,首选CPR、MPR。

(张忠林 刘于宝 梁长虹)



## 第二节 肝脏血管解剖基础

### 一、肝脏动脉

#### (一) 腹腔动脉

腹腔动脉在 T<sub>12</sub> 椎体下部或 T<sub>12</sub>~L<sub>1</sub> 椎体间, 起自腹主动脉的腹侧中线。其主干向右、前、下方走行, 末端发出分支供应上腹部脏器(图 20-1)。腹腔动脉通常分为 3 支: 胃左动脉、脾动脉和肝总动脉, 但常常出现变异情况, 变异多达几十种。Adochi 将腹腔动脉的分支分为 6 种类型(图 20-2)。

I 型: 即肝-胃-脾动脉干型, 腹腔动脉分为胃左动脉、脾动脉和肝总动脉 3 个分支。此型最常见, 占 73%~90%。

II 型: 即肝-脾动脉干型, 腹腔动脉分为肝总动脉和脾动脉 2 支, 胃左动脉直接发自腹主动脉。此型约占 7.5%。

III 型: 即肝-脾-肠系膜动脉干型, 腹腔动脉分成肝总动脉、脾动脉和肠系膜上动脉, 胃左动脉单独发自腹主动脉。此型约占 1.2%。

IV 型: 即腹腔动脉-肠系膜动脉干型, 腹腔动脉和肠系膜上动脉形成共干。此型约占 1.3%。

V 型: 即肝-肠系膜动脉干和胃-脾动脉干型, 肝总动脉和肠系膜上动脉共干, 胃左动脉与脾动脉共干。此型约占 0.4%。

VI 型: 即胃脾动脉干型: 肝总动脉缺如, 肝脏由胃左动脉发出的左副肝动脉和肠系膜上动脉发出的右副肝动脉供血。此型占 2%~4%。

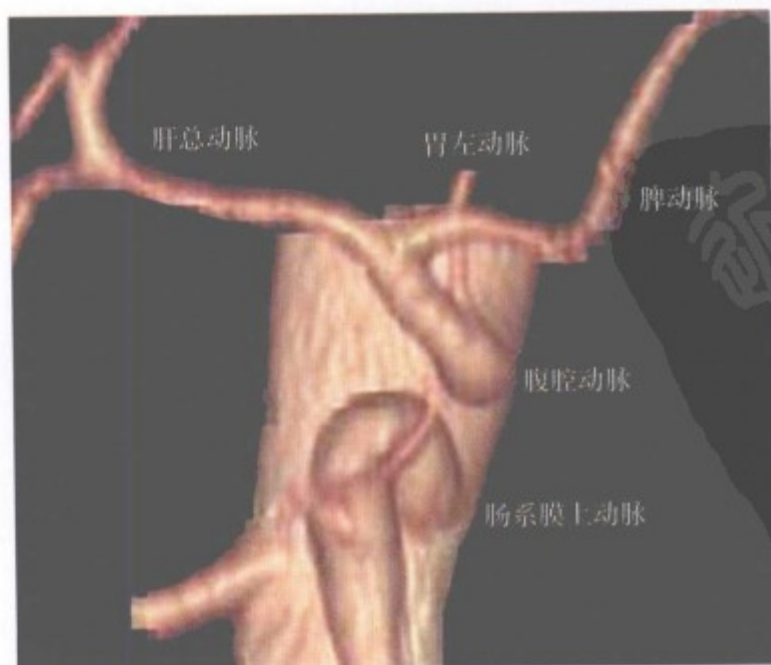


图 20-1 正常腹腔动脉 CTA

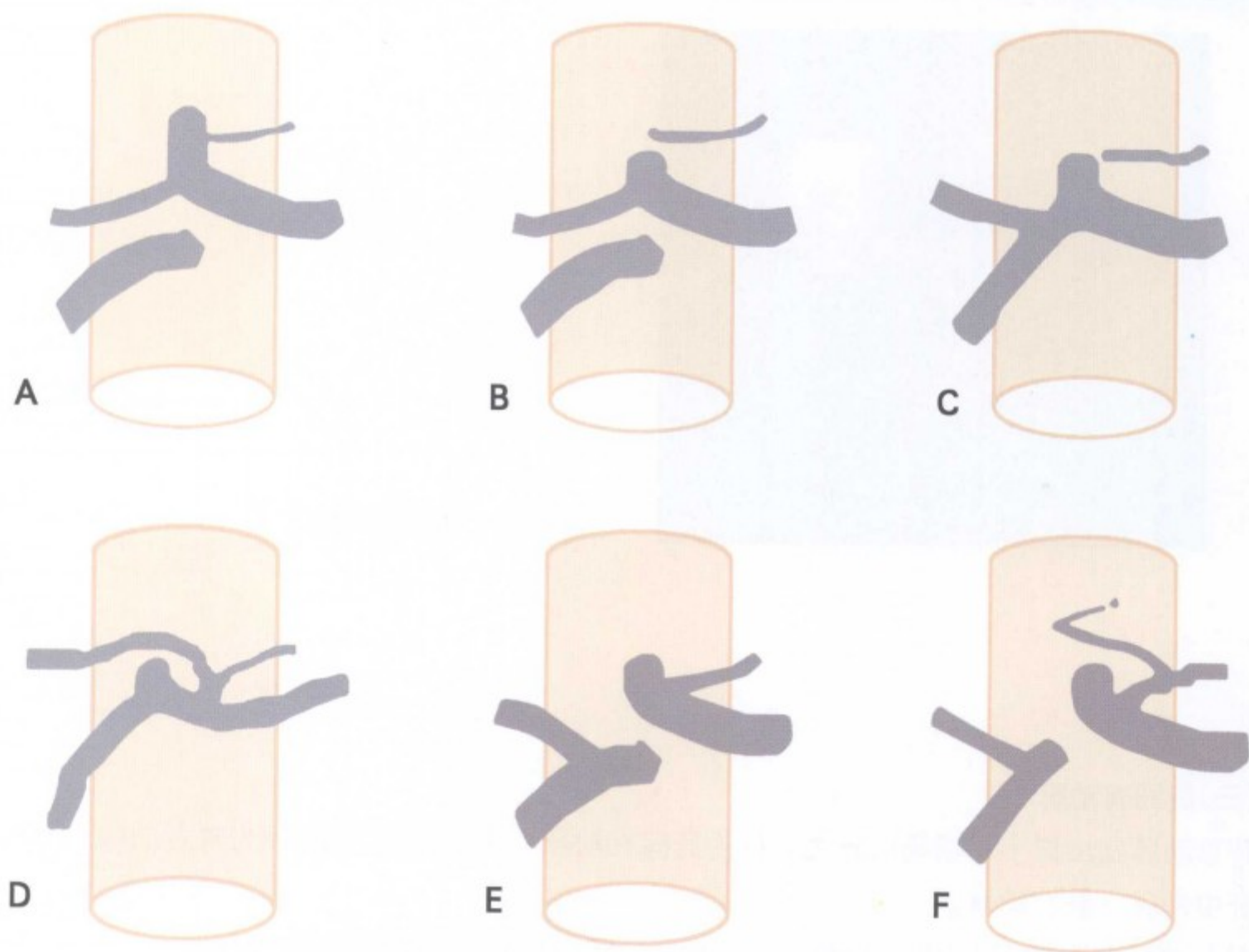


图20-2 腹腔动脉分支模式图  
A~F线图分别表示I~VI型

## (二)肝总动脉

肝总动脉一般比脾动脉稍细,自腹腔动脉发出后,向右、前、下方走行,其末端分为胃十二指肠动脉和肝固有动脉(图20-3)。

1. 胃十二指肠动脉 此动脉与肝总动脉几乎呈直角的关系,垂直向下走行,其分支为胰十二指肠前上动脉、胰十二指肠后上动脉和胃网膜右动脉。

2. 胰十二指肠前上动脉 在胰头的腹侧面下行,与胰十二指肠下动脉的前支吻合,形成胰十二指肠前弓。发出的分支与胰十二指肠后弓、胰背动脉和胰横动脉吻合。

3. 胰十二指肠后上动脉 向后下走行,在胰头背侧与胰十二指肠下动脉的后支吻合,形成胰十二指肠后弓。这一动脉沿途发出分支供应十二指肠和胰头,并与胰十二指肠前弓及胰背动脉吻合。此动脉也可发自肝总动脉、肝右动脉或缺如。

4. 胃网膜右动脉 比胰十二指肠前上及后上动脉较粗,是胃十二指肠动脉的终支。此动脉沿胃大弯向左走行,与胃网膜左动脉吻合。

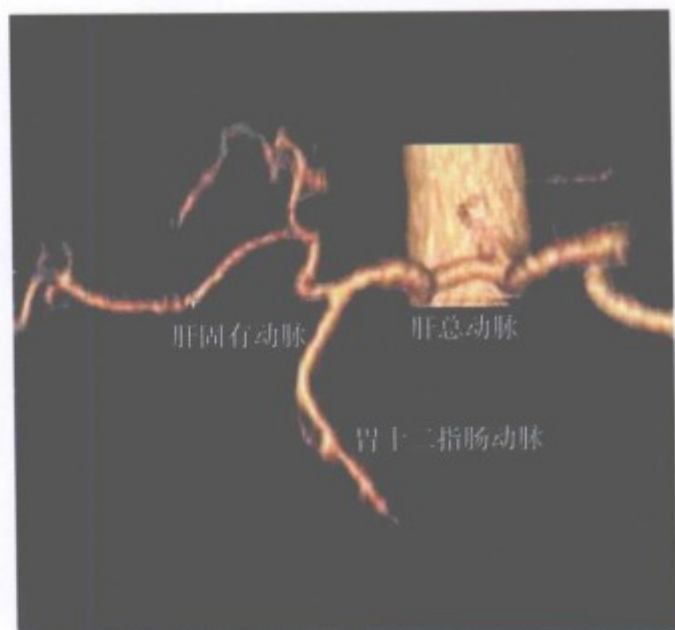


图 20-3 正常肝总动脉 CTA

### (三)肝固有动脉

肝总动脉发出胃十二指肠动脉之后称为肝固有动脉。主干较短,主要分为胃右动脉、肝左动脉、肝中动脉、肝右动脉。

胃右动脉多起始于肝固有动脉的起始部,沿胃小弯向左与胃左动脉吻合。

肝右动脉的近侧段在入肝之前发出一支胆囊动脉。胆囊动脉向右下方走行,远端分为两支,其走行迂曲,分布到胆囊壁。

肝左动脉一般比肝右动脉稍细,向左上方走行,末端分为内叶动脉和外叶动脉,外叶动脉又分为上段动脉及下段动脉。

肝中动脉多起自肝右动脉或肝左动脉,直接起自肝固有动脉者仅占 10%。此动脉发出后向上走行,主要供应肝方叶,或供应肝尾叶和胆囊。

## 二、肝脏静脉

### (一)肝静脉

肝静脉包括肝左静脉、肝中静脉和肝右静脉,分别接收肝的左叶、中叶和右叶的血液。肝左静脉和肝中静脉通常汇合成共干。肝静脉在肝脏后部斜向下腔静脉的方向走行,在下腔静脉窝的上端注入下腔静脉,此处称为第二肝门。在下腔静脉窝的下端,来自肝右叶的右副肝静脉和来自尾状叶的几支小静脉注入下腔静脉,此处称为第三肝门。有时还有一些附加的肝脏小静脉单独注入下腔静脉。

### (二)门静脉

门静脉由肠系膜上静脉和脾静脉在L<sub>1-2</sub>平面汇合而成,主干向右上走行,与脊柱轴线成40° ~

90° (图20-4)。入肝门后,主干分为左右支,经5~6级分支至肝窦。主干长3~9cm,近肝端宽约1.9cm,远肝端宽约2.3cm。门静脉主要有以下分支。

1. 脾静脉 脾静脉在脾门处由3~5支小静脉汇合而成,向右水平走行,平均长度为12.8cm(8~19cm),平均宽为1.02cm(0.6~1.6cm)。沿途有数支小静脉汇入,包括胰静脉、胃短静脉、胃网膜左静脉,并接受肠系膜下静脉。

2. 胃冠状静脉 又称为胃左静脉。引流食管下部、胃体小弯及贲门附近的静脉血,向右走行,汇入脾静脉、门静脉或者二者汇合之处。胃冠状静脉的食管支与奇静脉的食管支吻合,形成食管静脉丛。门静脉高压时食管静脉丛怒张。

3. 肠系膜上静脉 肠系膜上静脉由来自升结肠、横结肠和小肠的静脉血汇合而成,由下向上走行,与脾静脉汇合成门静脉。

4. 肠系膜下静脉 肠系膜下静脉由直肠、乙状结肠和左侧结肠的小静脉汇合而成,向上走行,在脾静脉与肠系膜上静脉汇合处之左侧注入脾静脉。

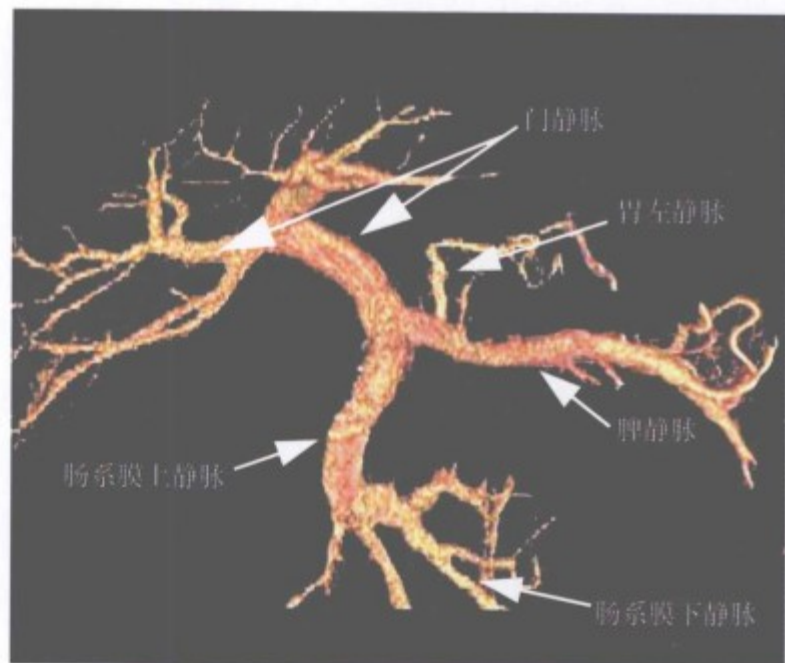


图20-4 正常门静脉CTA

(张忠林 张水兴 李景雷)

## 第三节 肝脏动脉病变 MDCTA

### 一、肝脏动脉瘤

#### 【临床及病理】

自 1819 年 Wilson 报道第一例肝动脉瘤后,文献中已有 300 多例报道。肝动脉瘤形成的确切机制目前尚不清楚,其病因包括动脉粥样硬化、创伤、真菌性感染、动脉壁中层退行性变、结核、病毒等。肝内动脉瘤大多数是外伤所致,外伤性动脉瘤可以是真性或假性动脉瘤,创伤性假性动脉瘤可由医源性因素引起,多为胆囊切除时误伤了肝动脉所致。肝外动脉瘤多数是动脉粥样硬化性动脉瘤。

肝动脉瘤的发病率在内脏动脉瘤中仅次于脾动脉瘤。肝动脉瘤在破裂之前可无症状,约 1/3 患者有腹痛、黄疸、胆道出血的典型症状,称之为 charcot 三联征,瘤体破裂后死亡率高达 35%。因此,破裂前的诊断尤为重要。

肝动脉瘤可发生于肝动脉及其分支的任何一处部位,常见于肝右动脉、肝总动脉、肝左动脉、肝固有动脉、胃十二指肠动脉,也可发生于胆囊动脉。但医源性假性肝动脉瘤,临床上则最多见于肝右动脉。

#### 【CTA 表现】

MDCTA 是诊断肝动脉瘤的最佳无创或微创手段之一。CT 平扫表现为圆形稍低密度区,与腹主动脉密度相似,周边可出现弧条形的瘤壁钙化。增强扫描显示病灶强化与腹主动脉强化一致,边界清楚。如果有血栓存在,表现为强化的血管瘤腔内有低密度充盈缺损区,载瘤肝动脉局部增粗。

后处理三维图像,可以显示动脉瘤的部位、大小、形态、血供来源以及有无变异血管供血等情况,可较好显示瘤体、载瘤动脉、动脉瘤周供血及肝侧支供血的情况(图 20-5)。

### 二、肝动脉解剖变异

肝动脉先天性异常很常见,通常没有临床意义,但在患者需要进行手术治疗或介入治疗的时候,就显得非常重要了。由于肝动脉解剖变异多,介入治疗前彻底检查肝脏的供血动脉尤为重要,如未证实肝脏所有的供血动脉,不仅可导致诊断错误,而且可以使外科医师和介入放射学医师误入歧途。外科手术前全面了解肝脏血管结构是肝脏肿瘤外科切除、肝脏移植的先决条件,有助于缩短手术时间、增加手术的准确性,对手术方案的选择、制订以及患者的处理有重要影响。

#### 【CTA 表现及分型】

MDCTA 3D 容积显示几乎可以完全替代 DSA 作为术前评价的手段。VR、MIP 可全面而细致地显示肝动脉的各种变异。

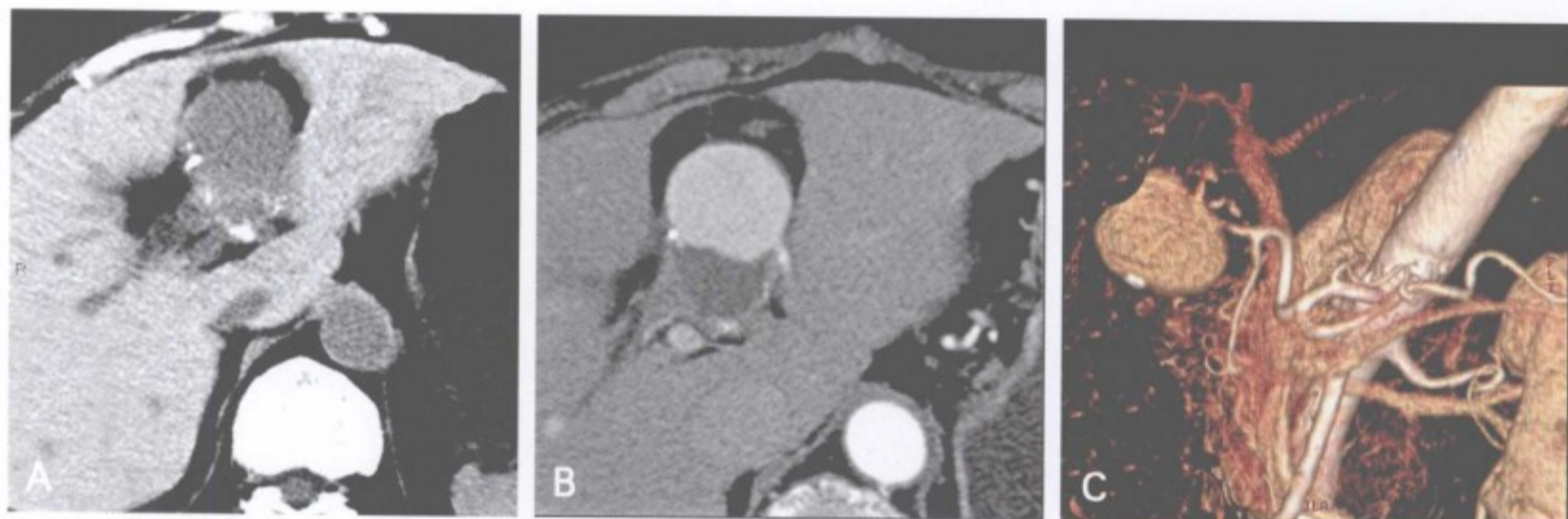


图 20-5 肝动脉瘤

A. CT 平扫显示肝左叶纵裂边界清楚类圆形低密度影; B. 增强扫描明显强化; C. VR 显示病灶与肝动脉相连

肝动脉经典 Michels 分型为 10 型。1 型: 正常型, 肝固有动脉分出肝左动脉、肝中动脉与肝右动脉; 2 型: 替代肝左动脉来自胃左动脉; 3 型: 替代肝右动脉来自肠系膜上动脉(图 20-6); 4 型: 替代肝右动脉来自肠系膜上动脉, 替代肝左动脉来自胃左动脉; 5 型: 副肝左动脉来自胃左动脉; 6 型: 副肝右动脉来自肠系膜上动脉; 7 型: 副肝右动脉来自肠系膜上动脉, 副肝左动脉来自胃左动脉; 8 型: 替代肝右动脉与副肝左动脉, 或替代肝左动脉与副肝右动脉; 9 型: 肝总动脉来自肠系膜上动脉; 10 型: 肝总动脉来自胃左动脉。

现在国际学术界通行将 Michels 分型简化为 6 型。1 型: 正常解剖结构, 肝总动脉起源于腹腔干, 分成肝固有动脉及胃十二指肠动脉, 前者向远端分为肝左、右动脉; 2 型: 替代或副肝左动脉起源于胃左动脉; 3 型: 替代或副肝右动脉起源于肠系膜上动脉; 4 型: 双替代型, 肝右动脉起源于肠系膜上动脉, 肝左动脉起源于胃左动脉; 5 型: 肝总动脉起源于肠系膜上动脉; 6 型: 肝总动脉起源于腹主动脉。



图 20-6 肝动脉解剖变异  
Michels 3 型

### 三、肝癌与 MDCTA

MDCTA 能良好显示肝脏供血动脉及解剖参照物,可多方位旋转观察及测量血管角度。临床上 MDCTA 不仅可在介入治疗前了解有无肝动脉解剖变异以及有无癌肿寄生供血动脉存在,并且 MDCTA 在并发门静脉癌栓、动静脉瘘等方面具有良好的临床应用价值,可作为肝癌介入治疗前后首选的影像学检查方法。

#### 【MDCT 及 CTA 表现】

MDCT 肝动脉早期利用重组肝动脉 2D、3D 图像可完整地显示腹主动脉发出的各脏器供血动脉及其主要分支。MDCTA 显示富血供肝癌的肝动脉供血复杂,由单支或多支动脉供血。表现为肿块灶内、外供血动脉增多,血管有不同程度的迂曲、延长、扩张,呈藤网状(图 20-7)。

动脉早期门静脉主干和(或)分支显影,提示有动静脉瘘形成。门静脉癌栓形成后,扩张、增粗的门静脉滋养血管(肝动脉分支)是形成经血管性肝动脉-门静脉分流的重要途径。MPR、MIP、VR 技术可显示动静脉瘘,部分病例还可直接显示动静脉瘘瘘口(图 20-8)。

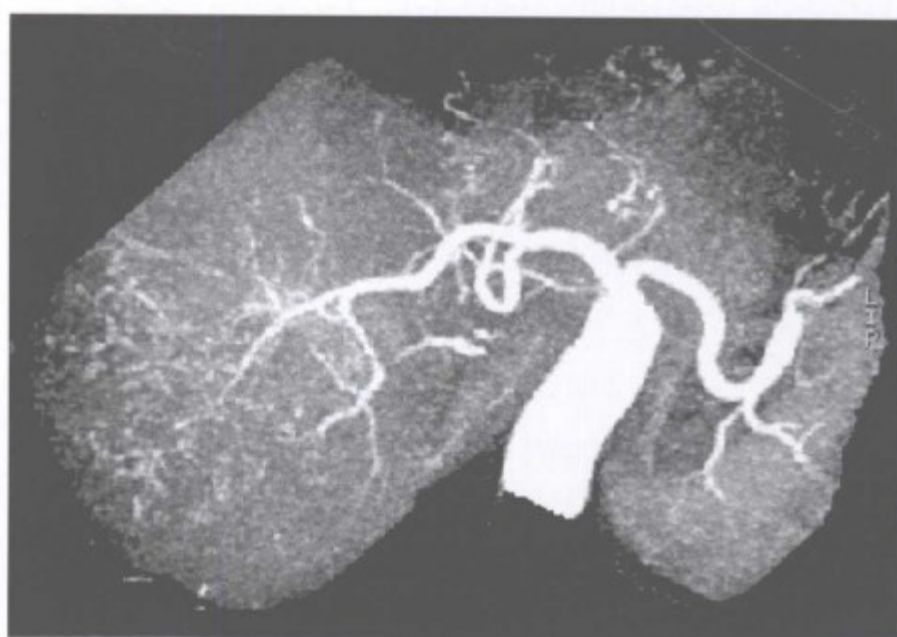


图 20-7 肝右叶巨块型肝癌

肿瘤新生血管丰富但不成熟,血管边缘毛糙,形态不规则

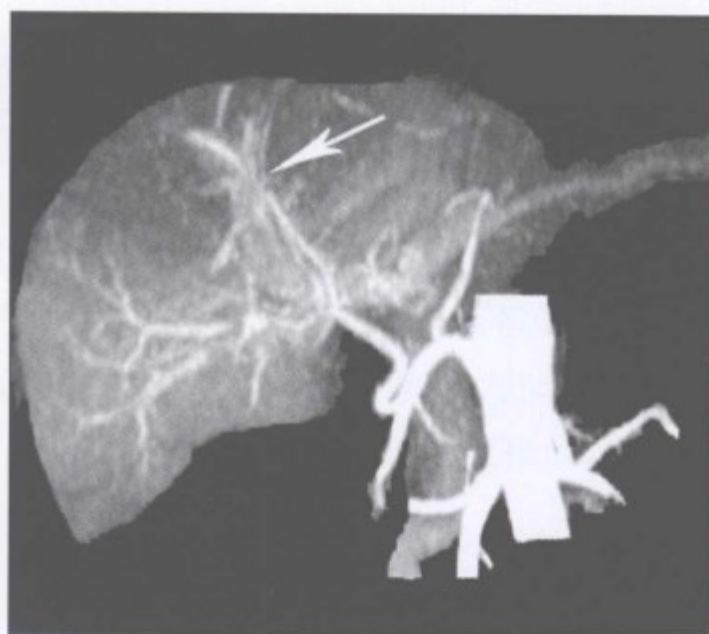


图 20-8 肝癌合并动静脉瘘

门静脉癌栓形成,癌栓周围有大量扩张、增粗的动脉与静脉直接沟通

经肝动脉插管后 MDCT 扫描可见对比剂大量进入肿瘤血管,主要由肝动脉供血的肿瘤密度明显升高,对比剂易经肿瘤破坏的血管壁进入毛细血管间隙。病灶在动脉期呈明显的均一强化,少数不均匀强化的病灶可见到有低密度区存在,这些低密度区为非肝动脉供血区,主要由门脉供血。

肝癌周边出现条带状、扭曲状增粗的供血动脉。一般来说,病灶越大,获得动脉供血的可能性越大,增粗的供血动脉显示的机会越多;病灶越小,获得双重供血的可能性越大,动脉供血相对减少,则



不易显示供血动脉。恶性肿瘤的周边部比中央部更有可能存在双重供血,即双重供血主要存在于肿瘤的周边部。

(张忠林 刘于宝 赵振军 李景雷)

## 第四节 肝脏静脉病变MDCTA

### 一、门静脉高压症

#### 【临床及病理】

门静脉高压症是由于肝内血管系统在肝硬化时被破坏改建引起的。机制有二:①由于假小叶形成及肝实质纤维化的压迫使小叶下静脉(窦后)、小叶中央静脉及肝静脉窦受压,致门静脉回流受阻。②肝动脉与门静脉间形成异常吻合支,压力高的动脉血流入门静脉,使后者压力增高。

门静脉压升高,胃、肠、脾等器官的静脉血回流受阻。晚期因代偿失调,临床上可出现以下症状。①脾大(splenomegaly)。重量多在500g以下,少数可达800~1000g。镜下,红髓内有含铁血黄素沉着及纤维组织增生,形成黄褐色的含铁结节。②胃肠淤血。黏膜淤血、水肿,致患者食欲缺乏,消化不良。③腹水(ascites)。在晚期出现,在腹腔内聚积大量淡黄色透明液体(漏出液)。腹水形成原因:小叶中央静脉及小叶下静脉受压,肝窦内压上升,液体自窦壁漏出,部分经肝被膜漏入腹腔;肝细胞合成白蛋白功能降低,导致低蛋白血症,使血浆胶体渗透压降低;肝灭活作用降低,血中醛固酮、抗利尿素水平升高,引起水、钠潴留。④侧支循环形成。门静脉系统静脉内无瓣膜,两端均为毛细血管,因而构成独立的循环系统。它与体静脉之间有四处主要的交通支:胃冠状静脉与食管静脉丛吻合,通过奇静脉汇入上腔静脉,如破裂可引起大呕血,是肝硬化患者常见的死因之一;肠系膜下静脉与直肠静脉丛吻合,经阴部内静脉注入下腔静脉,直肠静脉丛曲张、破裂常发生便血,长期便血可引起贫血;副脐静脉与腹壁上、下静脉吻合,然后分别流入上、下腔静脉,脐周围静脉网曲张,临床上出现“海蛇头”(caput medusae)现象;腹膜后肠系膜静脉的分支与下腔静脉分支吻合,进入下腔静脉。

#### 【CTA表现】

1. 门静脉主干、左右分支及脾静脉较正常明显增粗,而段以下分支突然变细、变小。
2. 肝内门静脉血管显示级别少,大部分仅显示2~3级分支,末梢血管分布范围小,肝外缘内1/4~1/2可表现无血管分布。
3. 门静脉血管走行僵直或扭曲,血管边缘毛糙,分叉角开大,可呈枯树状。
4. 合并肝癌者,见门脉分支被肿块推移、压迫、侵犯及癌栓形成,主干周围小血管扩张,形成门脉海绵样变。
5. 侧支血管形成。根据侧支血管汇入上腔静脉或下腔静脉,可将其分为两组(图20-9)。
  - (1) 汇入上腔静脉的侧支血管
    - ① 胃左静脉和胃短静脉。胃左静脉也称胃冠状静脉,是肝硬化门脉高压最常见的曲张静脉(图

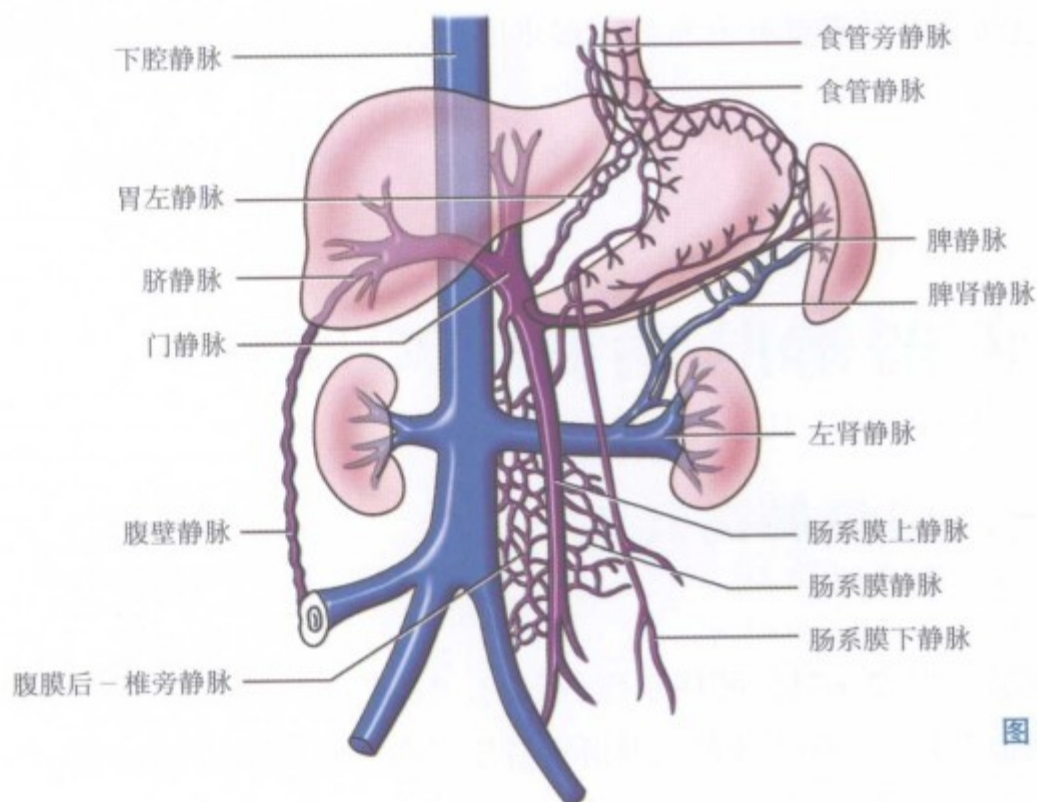


图 20-9 肝硬化门静脉高压侧支血管示意图

20-10)。胃左静脉起源于脾静脉和门静脉汇合处附近，其主干向头侧走行，在胃上部水平分为前支和后支。前支在胃前水平走行，之后在胃食管交界处形成栅状血管进入曲张静脉，再流入奇静脉、半奇静脉；后支(即胃后静脉)向后、向上行走，随后与食管旁静脉相连，流入奇静脉、半奇静脉。胃左静脉曲张常伴有食管静脉或食管旁静脉曲张，偶伴胃后静脉曲张。

CTA显示胃冠状静脉直径 $>6\text{mm}$ ，胃短静脉和胃后静脉直径 $>4\text{mm}$ ，胃网膜静脉直径 $>3\text{mm}$ 即为增粗，提示门脉高压形成。增粗的胃左静脉显示为由门静脉主干发出的走行在肝胃韧带和胃小弯侧的迂曲血管影。胃短静脉起源于脾静脉，走行在胃底与脾门之间的胃脾韧带内，收集胃底静脉丛和左半胃大弯的静脉血，增粗的胃短静脉表现为脾门和胃底部数支迂曲的血管。

②食管静脉和食管旁静脉。食管静脉曲张通常指食管下段管壁的黏膜下层内增粗的静脉，而食管旁静脉曲张指在食管壁浆膜外分布的增粗静脉。胃冠状静脉的静脉血分前、后两支汇入上述的曲张静脉，然后再汇入体循环的奇静脉和半奇静脉系统，这是最常见的门体分流通道。虽然食管静脉曲张和胃的静脉曲张常同时存在，但食管静脉更多的是接受来自胃左静脉的静脉血，而胃的静脉通常接受

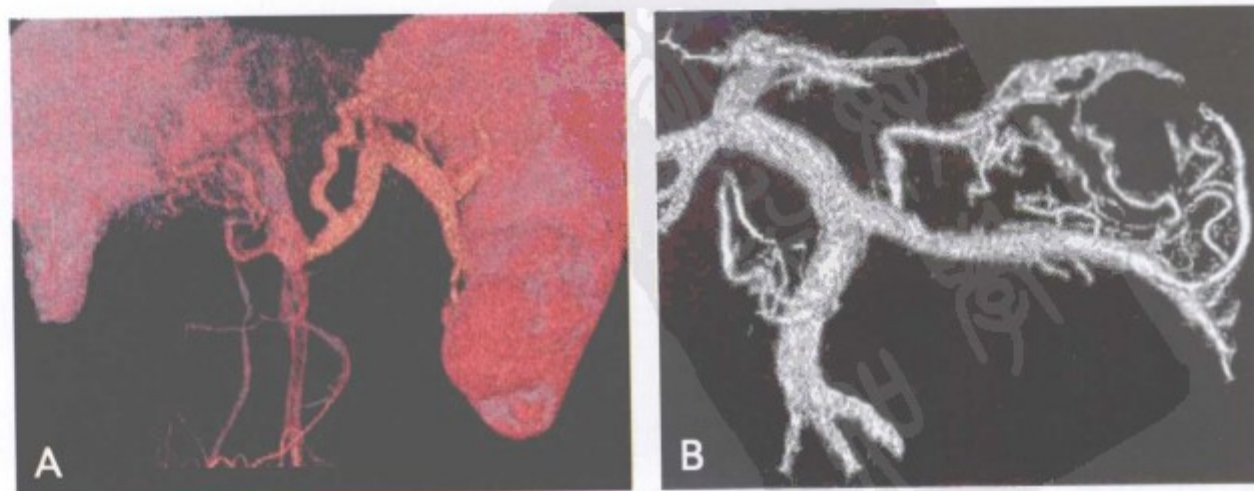


图 20-10 门静脉高压引起胃左静脉增粗迂曲

胃短静脉和胃后静脉的静脉血,这一区别在晚期门脉高压中尤为明显。CTA可显示食管静脉曲张的分布范围和并存的食管旁静脉曲张(图20-11)。

③脾门附近静脉曲张。脾静脉是门静脉主要属支之一,可与胃短静脉、胃网膜静脉、肠系膜静脉、膈下静脉相通,其直径 $>10\text{mm}$ 提示静脉曲张。增强扫描时于门静脉期见脾门附近静脉曲张明显强化。脾周静脉曲张包括脾前下方结肠韧带内、脾后方脾肾韧带内的静脉曲张,甚至可延伸至左肾后方(图20-12)。

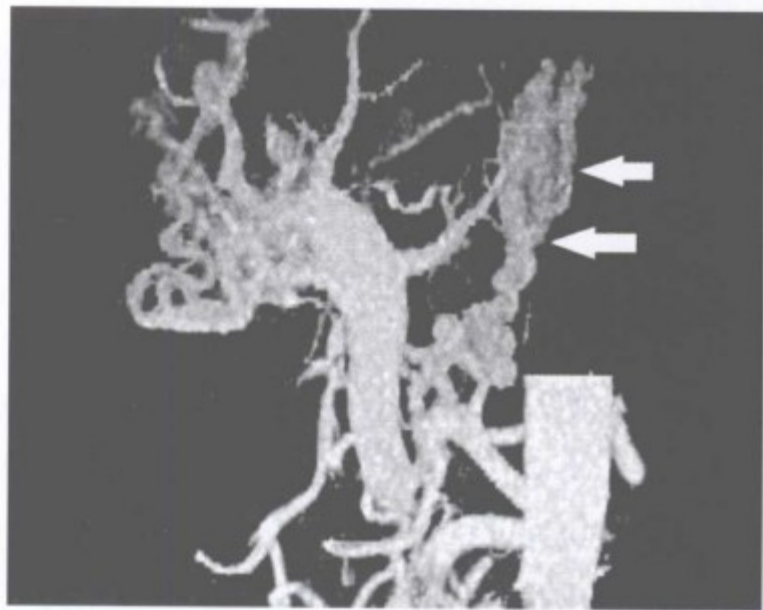


图20-11 门静脉高压食管静脉曲张

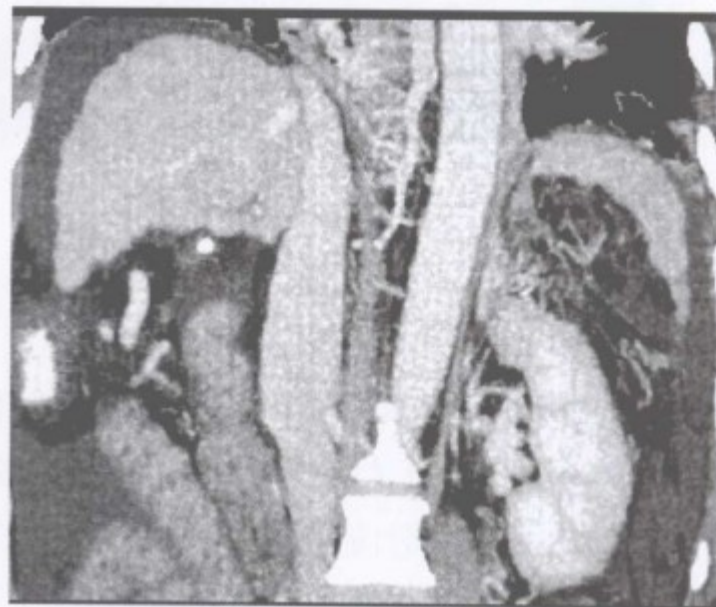


图20-12 门静脉高压,广泛侧支循环  
图示腰升静脉及奇静脉扩张

## (2) 汇入下腔静脉的侧支血管

①胃-脾-肾分流。左肾静脉常常参与门体分流侧支循环通道。胃冠状静脉及胃短静脉可以通过脾静脉汇入左肾静脉(胃肾分流),粗大的脾静脉也可通过一些增粗的静脉属支与左肾静脉直接交通(脾肾分流)。CTA显示脾肾或胃肾分流显示为胃底小弯侧、脾门和左肾门区域迂曲粗大的静脉血管影,汇入增粗的左肾静脉。由于胃-脾-肾之间的分流侧支血管走行比较迂曲,因而在轴位CT图像上不易观察到它们与脾静脉的交通,冠状位和矢状位的三维成像有助于显示。

②脐旁静脉和腹壁静脉。脐静脉一旦关闭后就不再开放,在圆韧带和镰状韧带区域开放的侧支静脉其实是扩张的脐旁静脉(paraumbilical vein)。脐旁静脉起自门静脉左支,向上可与上腹壁静脉或胸内静脉吻合,汇入上腔静脉;向下也可与下腹壁静脉吻合,通过髂外静脉汇入下腔静脉。横断面图像上,脐旁静脉显示为圆点状或条状血管影,直径 $>2\text{mm}$ ,位于肝脏左叶内、外段之间镰状韧带的前缘。CTA可清晰显示脐静脉,表现为迂曲、纵行的血管影,偶可见其汇入腹壁静脉形成“海蛇头”征(图20-13)。脐旁静脉的开放被视为门脉高压时较大的减压通道。

③肾及肾上腺静脉曲张。肾门及肾上腺区结节状扭曲高密度增强影,密度与下腔静脉相同。

(3)其他侧支血管:肠系膜区域的肠系膜上静脉或肠系膜下静脉的静脉曲张分支,可通过腹膜后

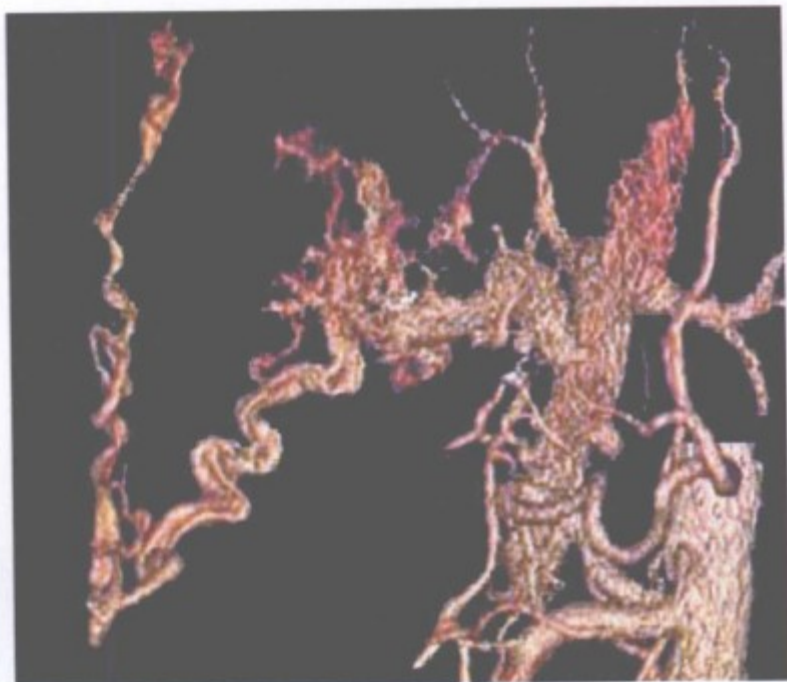


图 20-13 纵行纡曲的脾静脉汇入腹壁静脉

静脉或盆腔静脉与体循环静脉吻合而形成肠系膜侧支循环通道。因其走行复杂、血管众多,常规CT成像不易追踪其门体分流的血管通路。通过对多层螺旋CT图像进行三维图像重组处理,常可清楚显示其分流路径。腹膜后分流可显示为肠系膜静脉与肾静脉或下腔静脉的交通,其中与下腔静脉的交通支称为Retzius静脉;网膜侧支血管不易被血管造影和其余影像方法显示,通常不纳入门-体分流侧支血管之内;肠系膜下静脉通过直肠静脉丛与属于体循环的髂内静脉相交通。

## 二、门静脉栓塞

### 【临床及病理】

门静脉栓塞最常见的原因因为血栓和癌栓。门静脉血栓(portal venous thrombosis, PVT)继发于多种疾病,最常见的病因为肝硬化、脾切术后、肝癌、胆道术后、急性胰腺炎、血小板增多症等,可发生于妊娠(特别是子痫患者)和引起门静脉淤血的患者(如肝静脉阻塞、慢性心力衰竭、缩窄性心包炎)。与Budd-Chiari综合征相似,有血栓形成倾向的血液学情况也可导致PVT。而门静脉癌栓为恶性门静脉栓塞,总是继发于肝癌出现。因此,临床上将门静脉栓塞定性是至关重要的。

### 【CTA表现】

1. 门静脉栓塞的位置 血栓栓塞部位依次为主干、右支、左支、脾静脉及肠系膜上静脉,以门静脉主干所占比例最高。由于门静脉内血流缓慢,血液黏滞度高,故可在门静脉主干内形成附壁血栓,形成血栓体头部,并进而顺血流向门脉左右支蔓延,形成血栓体尾部。在脾静脉内的血栓可独立于主干血栓而单独出现,多见于脾切除、严重肝硬化及胰腺炎,并可经主干沿血流方向向左右支内蔓延。而癌栓的位置与癌灶有明显的对应性,左叶或右叶癌栓可进一步逆流方向蔓延生长,侵犯主干、肠系膜上静脉及脾静脉,肠系膜上静脉及脾静脉栓塞几乎都伴有主干栓塞,很少见肠系膜上静脉及脾静脉独立于主干而出现栓塞。

2. 不同栓子的形态改变 通常血栓栓子密度较高,与主动脉相比,血栓栓子的密度略高或二者呈等密度。这是由于血栓的主要成分为纤维机化组织,并有钙盐沉着,故密度较高,并且陈旧血栓的密度要高于新鲜血栓。血栓多呈部分偏心性,附壁血栓形成后,血栓可沿血流方向进一步蔓延,但往往沿管壁爬行,并且由于血栓受周围通畅血流的冲刷作用,其游离缘往往较光滑,故在增强CT扫描显示为条状或柴捆状充盈缺损。在管腔较粗的主干,由于血栓呈部分偏心性栓塞,增强扫描形成部分充盈缺损,形似“阴阳镜”,这是典型的门脉主干血栓的表现(图20-14)。

癌栓多为完全性栓塞。相邻肝叶肿瘤侵犯相应门静脉分支并不断繁殖生长,等到完全充盈管腔后继续向下逆血流生长蔓延,并进一步繁殖增大,故在较粗的门脉主干内也常见肿瘤栓子大部或完全充盈管腔,形成局部结节状、团块状甚至分支型广泛性门静脉充盈缺损,有明显异常强化。癌栓的强化模式与原发肿瘤的强化模式相似,往往可以发现动静脉瘘的存在(图20-15)。



图20-14 门静脉血栓

门静脉腔内血栓不规则,无强化,呈低密度改变,延伸至脾静脉



图20-15 门静脉癌栓

门静脉增宽,管腔不规则中断,局部软组织与肝内病灶延续

3. 附栓管腔情况 血栓栓塞时,由于栓塞往往是不完全的,因此,很少出现受累管腔局部扩张。大多数出现的管腔扩张是因为门静脉高压引起门静脉系统广泛扩张(而非局部),附栓管壁多未受侵犯而表现血管管壁光滑连续,无外突结节。在癌栓形成的血管中,血管往往因为癌栓膨胀性生长而扩张,并且由于血管壁受侵或血管内癌栓膨胀性生长对管壁造成压迫,栓塞的血管壁可以不光滑连续,并有外突结节。增强扫描显示血管壁可有粗细不均线状、波浪状或花边状强化(图20-16)。

4. 肝外侧支循环情况 血栓多继发于肝硬化、门静脉高压而形成。由于栓塞程度较轻,肝脏血供受阻情况较轻,侧支循环的建立往往不是直接灌注肝脏而多为缓解门静脉高压,因此,所建立的侧支循环多以食管胃丛、脾丛为主。癌栓阻塞门静脉的情况较为严重,肝脏血供较差,侧支循环大部分供应缺血的肝组织,部分是为缓解门脉高压而建立的,因此,在门静脉恶性栓塞中,可出现较独特的肝

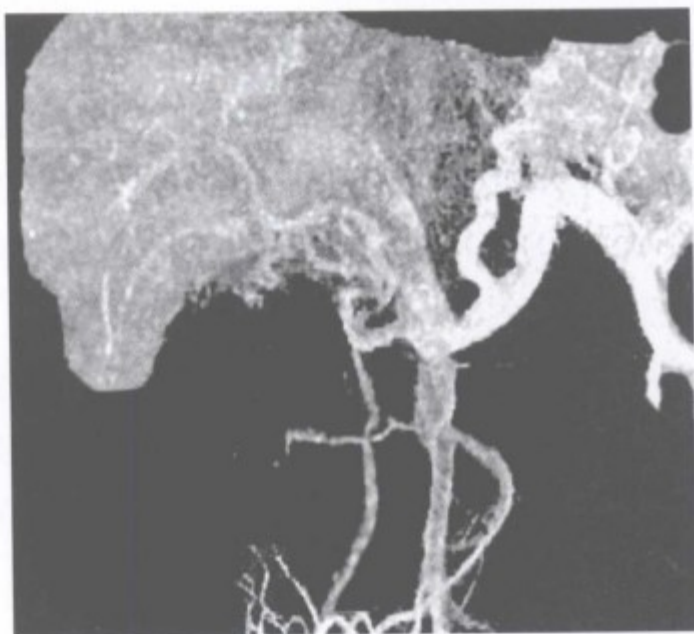


图 20-16 门静脉癌栓

门静脉增宽,管壁毛糙,管腔内有低密度充盈缺损

外侧支循环,如胆囊周围丛与胆总管周围丛。

5. 其他 血栓栓塞并未造成门脉小血管破坏及与周围小动脉交通,因此不会形成动脉-门静脉瘘。癌栓出现动脉-门静脉瘘较为常见,表现为增强后动脉期早期受累的门静脉分支显影,癌栓迅速增长,破坏了门静脉旁的动脉分支,造成了来自小叶间动脉的血液直接引入门静脉腔,形成动-静脉之间的短路。一旦栓子周围出现动脉-门静脉瘘,应首先考虑癌栓存在的可能。

### 三、门静脉海绵样变性

由各种原因引起的门静脉阻塞并导致广泛的侧支循环血管开放,称之为门静脉海绵样变性(cavernous transformation of the portal vein, CTPV)。病理基础为肝十二指肠韧带和肝门区有许多细小的、相互扭曲呈肿块状的静脉网,形似海绵,故此得名。

MDCT MIP 重组图像直观、全面、准确显示了门静脉癌栓的范围和门静脉阻塞程度,并能很好地显示CTPV侧支血管的开放情况,包括其起止部位和走行区域等。CTPV侧支血管包括胆囊静脉、胆管静脉、胃左静脉、胃右静脉、胰十二指肠后上静脉、脐静脉等。

#### (一)门静脉胆支

门静脉胆支包括胆囊静脉和胆管周围静脉丛。

胆囊静脉起自门静脉右支,沿胆总管达胆囊,汇入胆囊周围静脉,使胆囊壁呈锯齿状改变,这些胆囊周围的静脉引流门静脉血进入门静脉右支的肝内分支。胆管周围静脉丛由许多细小的静脉血管组成,起自胰十二指肠后上静脉和(或)幽门十二指肠静脉,部分可起自门静脉主干,表现为胆总管周围扩张迂曲的静脉血管网(图20-17)。

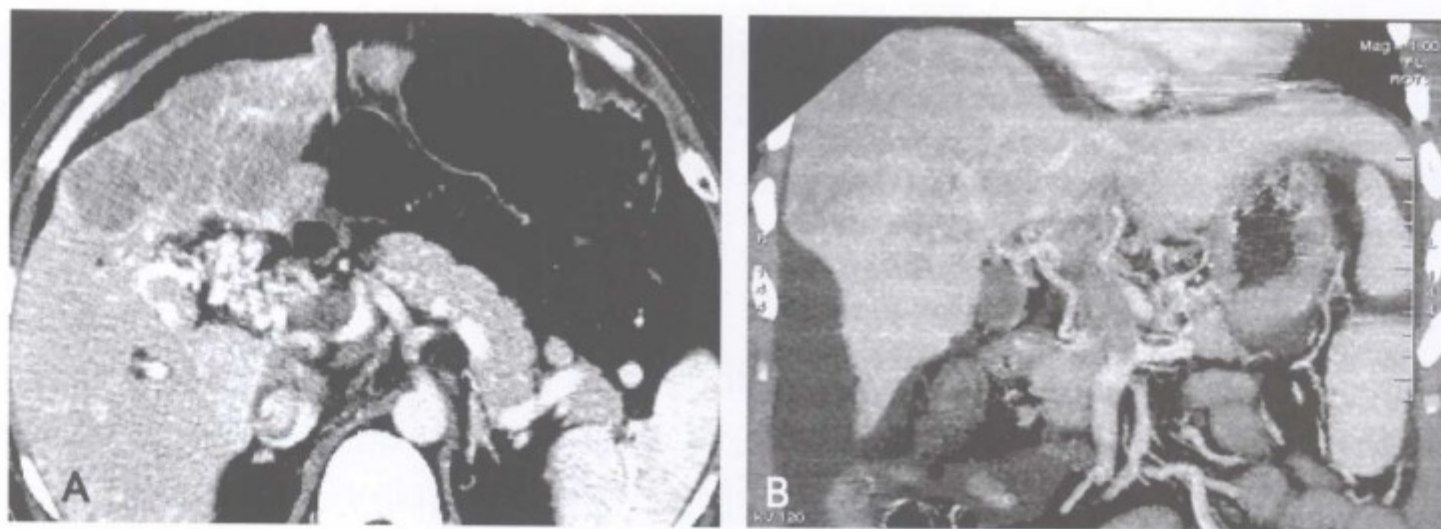


图 20-17 巨块型肝癌伴门静脉海绵样变性

横断面图像(A)和冠状面图像(B)显示门静脉被癌栓闭塞,周围见扩张、扭曲、紊乱的血管

## (二)门静脉胃支

门静脉胃支包括胃左静脉和胃右静脉及其属支,如食道静脉、胃短静脉和幽门十二指肠静脉等。CTA 表现见门静脉高压症章节。

## (三)胰十二指肠后上静脉

胰十二指肠后上静脉是胰头静脉弓的组成血管,位于胆总管与十二指肠降段之间。

## (四)脐旁静脉

脐旁静脉是门静脉与前腹壁静脉之间的通道。CTA 表现见门静脉高压症章节。

## 四、Budd-Chiari 综合征

### 【发病机制和病理】

Budd-chiari 综合征(Budd-chiari syndrome, BCS)是由 Budd 和 Chiari 分别于 1846 年及 1899 年先后提出,是由于肝静脉流出道和(或)下腔静脉梗阻所导致的淤血性肝大和门静脉高压症候群。肝静脉闭塞可发生在肝静脉和(或)肝静脉开口或在下腔静脉肝内段。

发病原因包括先天性和后天性。前者指肝静脉或肝静脉下腔静脉入口处存在先天性蹼或隔,造成阻塞,后者为继发于肿瘤、血栓形成或外伤等疾病引起的肝静脉或下腔静脉肝段阻塞。

通常,血栓是获得性的,并与高凝状态有关。这种状态见于骨髓增生异常疾病,如真性红细胞增多症,也见于镰状细胞性贫血、阵发性血红蛋白尿,正常凝血抑制物(如抗血栓素Ⅲ,蛋白C,蛋白S)的遗传缺陷、女性激素(口服避孕药和妊娠)。此外,腹部外伤、化脓性肝内病灶、静脉内的肿瘤特别是原发性肝癌和肾细胞癌可直接压迫血管和引起凝血倾向,但有时也因血栓或增生性炎症遗留的纤维素、纤维网、纤维膜所致。

在急性期,肝脏肿大,表面光滑,呈紫色;镜下肝实质表现为肝窦严重充血,肝腺泡区内的肝细胞结构破坏。慢性期可发生纤维化和结节样再生,从而使正常肝脏结构丧失。此外,可发生门脉高压从而导致脾肿大和门-体分流,而且,20%的患者可继发门静脉血栓形成。由于肝尾叶血流直接汇入下腔静脉而通常不受影响,后期可代偿性增大。

### 【症状和体征】

该病以21~25岁最多见。患者常出现腹痛,肝大并有触痛,但表面光滑,而且并发大量难治性腹水和轻度黄疸。急性发病可致肝功能衰竭和死亡。更常见的是Budd-Chiari综合征经数月而转为慢性,患者存在模糊不清的腹痛和门脉高压、脾大等肝硬化表现。因尾叶增大,可在上腹部触及一包块,压迫肝区不能使颈静脉充盈(肝颈静脉反流征阴性)。下腔静脉阻塞可导致腹壁明显水肿,伴腹壁静脉曲张(血流由盆腔经脐静脉流入肋缘静脉)和下肢重度水肿。

### 【CTA 表现】

影像诊断的要点在于确定狭窄或闭塞的部位、程度和范围;了解下腔静脉内是否有血栓形成;侧支循环的种类;是否有肝脏原发病变等。

CTA 3D 重组可立体显示肝静脉、下腔静脉和侧支循环。MPR 重组侧重于直观地显示类似于血管造影的二维图像,但它可随意多角度、多方位、多层面再现病变部位和病变程度,为一种常用的方法。SSD 重组着重于全面显示病变和侧支循环情况,阈值的选择可影响血管的显示。VR 比较直观地显示各部分血管及侧支血管,立体感强。

CTA 将 Budd-chiari 综合征分为 3 型(图 20-18),即下腔静脉型、肝静脉型、混合型。其中下腔静脉型又分为 I a 膜性和 I b 节段性两种。I a 膜型:第二肝门水平自下腔静脉外缘向腔内突出的圆弧形充盈缺损影; I b 节段型:梗阻段呈节段性狭窄,边缘光整,不甚规则(图 20-19)。肝静脉型:肝静脉近端狭窄或闭塞,累及 1~3 个主干;混合型:表现多样,可表现为下腔静脉膜性闭塞合并肝中静脉近端 1/3 闭塞;下腔静脉膜性狭窄伴肝左、中、右静脉近端闭塞;下腔静脉节段性闭塞伴肝右静脉闭塞,伴肝左、中、右静脉近端闭塞。

肝内的侧支血管包括以下两种。一是包膜下血管与体循环相交通,二是阻塞的肝静脉与开放的肝静脉或副肝静脉之间形成肝内紊乱的侧支血管。侧支血管表现为“逗号”样或迂曲粗大的血管影,走行无规律,为 Budd-chiari 综合征特征性征象。

肝外侧支血管的出现率达 95%。CTA 常可显示的肝外侧支循环有以下几种途径(图 20-20)。①左肾静脉-半奇静脉通路;②腰升静脉-奇静脉通路;③腹壁浅静脉通路;④腹壁下静脉、心隔周围侧支血管;⑤副肝静脉。奇静脉和半奇静脉扩张常见,易被误认为主动脉旁肿块或肿大的淋巴结。CTA 图像上腹壁下静脉分布于腹壁内侧,腹壁浅静脉分布于腹壁后外侧。心隔周围静脉可表现为左心隔角处血管性肿块,沿着左心室的左缘上升。当肝静脉阻塞时部分患者通过右下肝静脉(副肝静脉)代偿,使得肝的静脉血流回流到下腔静脉,表现为肝右叶的下部有粗大的血管与下腔静脉的右侧壁相连接。

肝炎后肝硬化的侧支血管常出现在肝外,主要表现为门体循环通路,而 Budd-chiari 综合征则在肝内和肝外都能出现侧支血管。体循环的侧支血管或钙化的显示是 Budd-chiari 综合征与肝炎后肝硬化的重要鉴别征象。



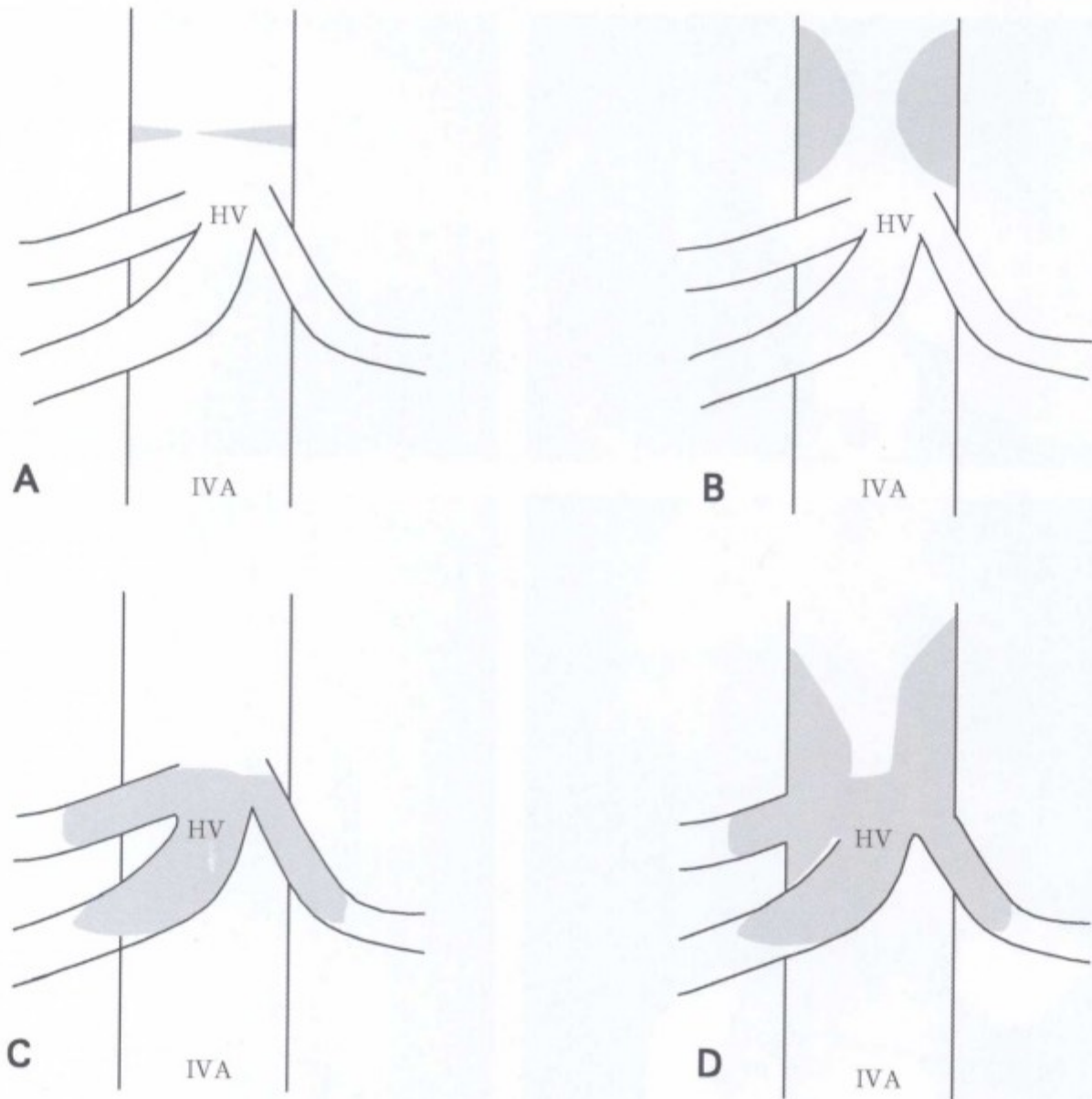


图 20-18 Budd-chiari 综合征分型示意图  
A. Ia 膜型; B. Ib 节段型; C. 肝静脉型; D. 混合型

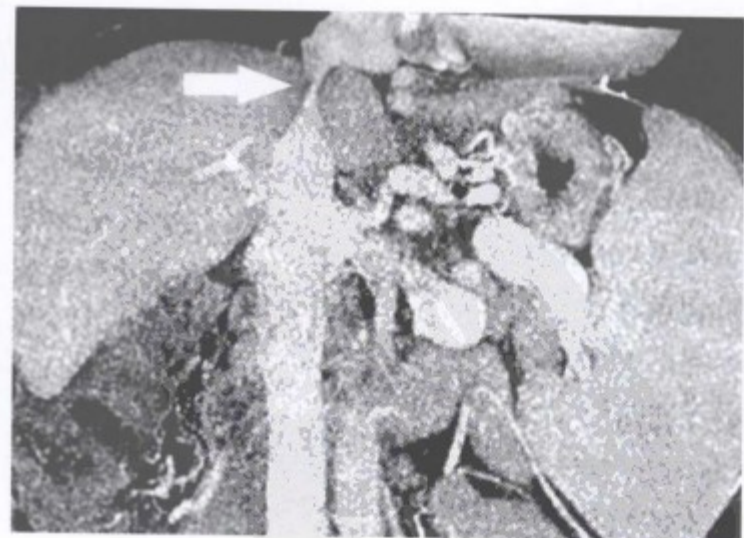


图 20-19 Budd-chiari 综合征节段型  
下腔静脉呈节段性狭窄, 边缘光整

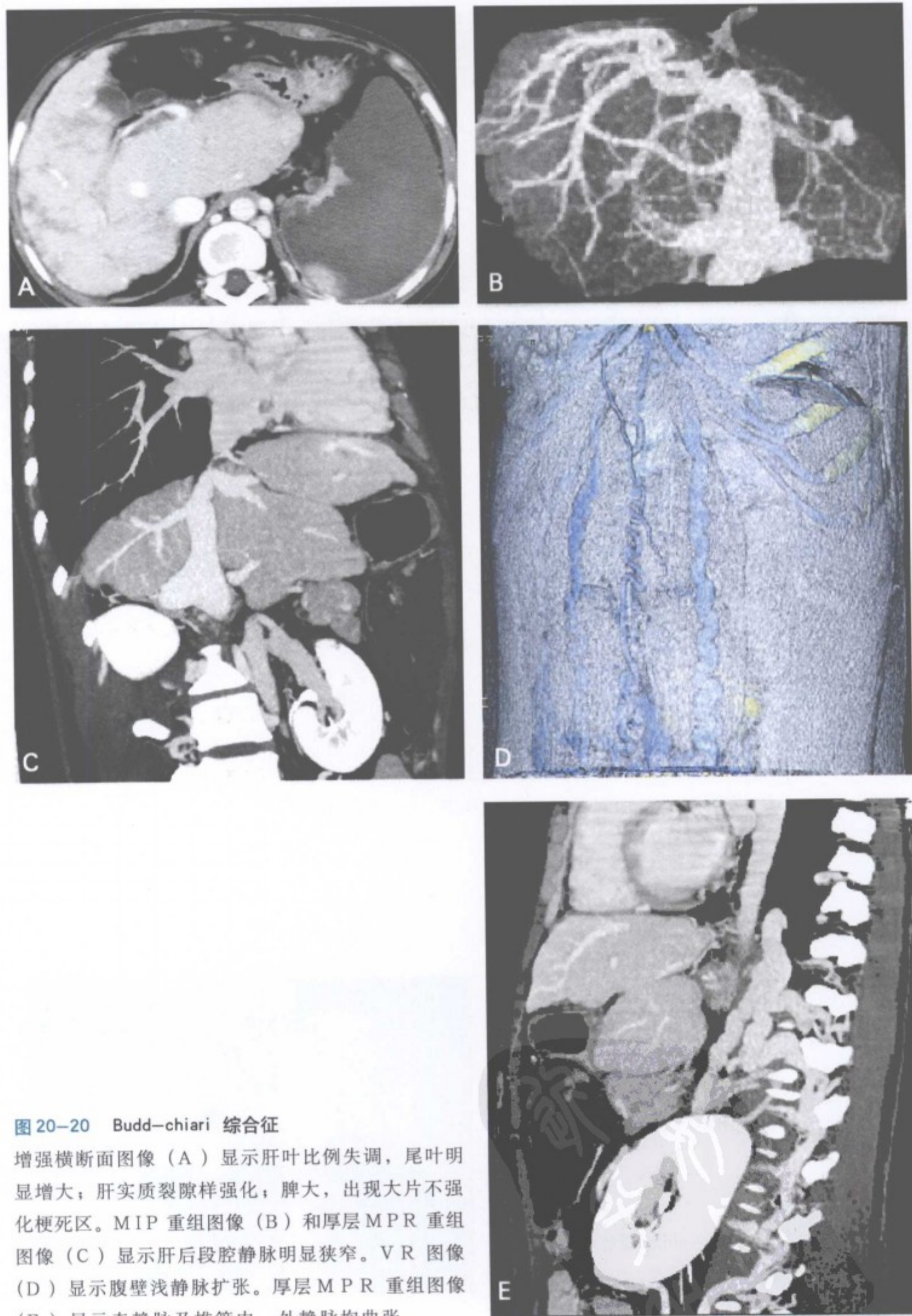


图 20-20 Budd-chiari 综合征

增强横断面图像 (A) 显示肝叶比例失调, 尾叶明显增大; 肝实质裂隙样强化; 脾大, 出现大片不强化梗死区。MIP 重组图像 (B) 和厚层 MPR 重组图像 (C) 显示肝后段腔静脉明显狭窄。VR 图像 (D) 显示腹壁浅静脉扩张。厚层 MPR 重组图像 (E) 显示奇静脉及椎管内、外静脉均曲张

(张忠林 谢淑飞 梁长虹 刘于宝)

## 第五节 肝移植

肝移植(liver transplantation, LT)已经成为治疗不可逆性、进展性肝病的一种选择。自1963年人类首次肝移植以来,全世界每年肝移植手术已达5 000余例。MDCTA逐渐成为肝移植术前和术后评估的重要影像学手段,特别是对血管变异、移植前血管评估、移植后血管并发症等评价具有非常有用的价值。

### 一、肝移植术前 MDCTA

LT术前血管影像学评估包括受体和供体血管评估,特别是前者更为重要,往往决定手术的可行性和成功率。

#### (一)肝移植术前活体供肝 MDCTA 评价

1. 肝动脉MDCTA 肝移植时需行供体肝动脉与受体肝动脉的吻合,因此,术前了解有无肝动脉解剖变异,对排除不适宜供体和确定手术方法十分重要。由于保证肝左叶内侧段的血供对维持供体该段肝功能非常重要,因此,详细了解左叶内侧段肝动脉的起源和走行对于手术具有重要指导意义。当肝左内叶动脉起自右肝动脉时,肝右叶切除受到限制,反之左外叶切除受限。

MDCTA可以清楚地了解供体动脉血管系统,包括起源、走行、分支等解剖情况以及有无发育变异、狭窄或闭塞等异常情况。VR处理后图像能很好地显示左、右肝动脉解剖变异。

2. 肝静脉、下腔静脉和门静脉 MDCTA 肝静脉有左、中、右3支汇入下腔静脉。CTA可以显示正常的3支肝静脉及右肝后下静脉,可以判断肝静脉主干汇合情况及其与下腔静脉之间的关系,以及是否存在比较粗大的肝短静脉。

肝中静脉的解剖结构尤其重要,因为肝左叶移植过程中,肝中静脉的分支和汇流变异会影响肝叶断面的选择,断面通常选择在肝中静脉右侧1cm并沿胆囊窝走行。如果有邻近的肝右叶大静脉汇入肝中静脉,就需要改肝叶切除面或者重新制定外科手术计划。在原位肝移植中,上述大静脉必须吻合到受体的下腔静脉上,否则移植的肝叶可能因为充血而引起移植排斥。

供体存在右肝后下静脉,移植前一定要测量肝静脉右支(下腔静脉交汇处)到右肝后下静脉(下腔静脉交汇处)的距离,如果距离大于4cm,移植过程中必须用2个血管夹分别夹闭肝静脉才能比较顺利完成血管吻合。右肝后下静脉的直径也是很重要的。假如它的直径 $>5\text{mm}$ ,就必须保留并把它吻合到受体的下腔静脉,否则移植的肝叶可能因为充血而引起移植排斥。如果供体有3支或3支以上的右肝后下静脉,术前发现这种变异可减少术中出血,这对手术非常有指导意义。MDCTA通过VR和MIP法所重组的图像可以很好的显示肝静脉的变异、起源和汇流类型。

门静脉的变异比较少,但有些门静脉的变异认为是肝移植手术的相对禁忌证。比如,门静脉主干

分3支,即左支、右前支和右后支,这种供体需要二次吻合门静脉,增加了术后供体门静脉血栓形成的危险性。MDCT的VR和MIP重组门静脉图像可以很好地显示门静脉的分支。

## (二)肝移植术前受体 MDCTA 评价

肝硬化合并门静脉高压发生门静脉系统血栓后,在行肝移植时应取净栓子或进行血管重组;门脉癌栓可能导致术后复发,因此术前需明确受体肝血管系统的状态,主要包括门静脉系统(主干、肠系膜上静脉和脾静脉),肝静脉与下腔静脉及其汇合处等。

1. 肝实质病变的检出和定性 由于原发性或转移性肝肿瘤主要由肝动脉供血,而肝实质主要由门静脉供血,螺旋CT增强扫描能提高发现和定性肝肿瘤的能力。<3cm的小肝癌患者和没有血管侵犯或转移的肝癌患者可进行肝移植术,因为此肿瘤往往病理分级比较低,应优先考虑进行肝移植术,而具有血管侵犯和转移的肝癌患者不再考虑肝移植术。

2. 肝移植术前血管评估 对于外科医师来说,肝脏血管方面的异常对肝移植手术的成功与否至关重要,因为肝移植术需要进行动脉和静脉的重建。

(1)静脉血栓:门静脉血栓的存在及程度对门静脉手术重建计划非常重要,故移植术前必须进行门静脉评估。MDCTA能显示正常门静脉的4~5级分支,并能清楚显示门静脉血栓及其程度,也可以显示门静脉血栓是否累及到肠系膜上静脉、脾静脉。如门静脉血栓延伸到肠系膜上静脉,需要利用供体的髂静脉在门静脉和肠系膜上静脉之间放置跳跃式的静脉移植片。

MPR、MIP图像可以显示附壁低密度影或全部低密度的血管影,可以观察血栓的起止部位及管腔狭窄情况。门静脉的血液有分流现象,即来自肠系膜上静脉的血液经门静脉右干入右肝,肠系膜下静脉和脾静脉的血液经门静脉左干入左肝,有时可见门静脉右半部分密度偏低,造成血栓的假象,静脉期延迟后密度变均匀,即可排除血栓的诊断。

(2)腹腔干狭窄:膈脚受侵导致腹腔干狭窄很常见。腹腔干是移植后肝脏的唯一动脉血供来源,虽然门静脉为大部分肝细胞供血,但胆管仅靠肝动脉供血。肝动脉的闭塞将导致致命的肝梗死或引起胆管的慢性缺血性损害,导致狭窄性胆管炎和移植片的丢失。MDCTA能清楚地显示腹腔干,并能估计狭窄的程度。

(3)肝动脉管腔细小:肝动脉重建需要受体有足够的血流,血供不足常常是由于受体的肝动脉管腔细小,多发生于具有多起源的肝动脉解剖变异病例中。MDCTA能很好地显示肝动脉的解剖结构,并能进行肝动脉管径的测量。

(4)脾动脉瘤:肝硬化和门静脉高压症患者发生脾动脉瘤的危险性明显提高,在肝硬化患者中发生脾动脉瘤的主要原因是由于脾动脉的高血流导致脾动脉的扩张、弯曲、延长。发生率为7%~10%。肝移植后一段时间内这些患者发生脾动脉瘤破裂的危险性很大,因为移植术后门静脉压力降低及可能的脾动脉血流增加将导致脾动脉瘤扩张和破裂。

MDCTA能直观而准确地显示脾动脉瘤,表现为与脾动脉相连的乳头形或球形致密影,与动脉同步强化。

(5)肝动脉解剖变异:肝动脉解剖变异较为常见,发生率为21%~45%。迷走动脉是指发起异常的动脉,迷走肝左动脉常发自胃左动脉,迷走肝右动脉发自肠系膜上动脉,称Michels 4型肝动脉

解剖变异,此型肝动脉解剖变异的存在,需在肝移植术中先重建肝动脉而后重建门静脉。副肝动脉是指有两支以上动脉进入左半肝或右半肝,其中有起自肝固有动脉以外的附加支,则此支称为副肝动脉。其中副肝左动脉多见起自胃左动脉,少见可起自肝右动脉、肝总动脉、胃右动脉、胃十二指肠动脉、腹腔干动脉等。副肝右动脉多数来自肝左动脉,也可起自肠系膜上动脉。MPR和MIP相结合显示肝动脉,可避免遗漏异常动脉又可较为直观地整体显示肝总动脉之肝固有动脉-胃十二指肠动脉分叉处,观察肝固有动脉的内径、长度及角度;以及可以显示肝固有动脉之肝左右动脉分叉处,观察是否存在异常肝动脉。

## 二、MDCTA 评估肝移植术后血管并发症

### (一)肝动脉并发症

肝动脉并发症为最常见的血管并发症,包括肝动脉血栓、狭窄、动脉瘤、动脉破裂等,发生率为7%~9%。

1. 肝动脉血栓 肝动脉血栓是最常见的肝动脉并发症,成人组为3%~5%,儿童组为10%~25%。移植肝因缺血再灌注损伤,术后早期凝血系统与抗凝血系统失去平衡,使血液呈高凝状态,促进了血栓的形成。另外,肝移植术后早期易产生急性排斥反应,血管内皮细胞受免疫攻击后表达多种黏附分子;动脉血流减慢,易出现肝动脉血栓。慢性排斥反应是肝移植后期肝动脉血栓的主要原因。肝动脉直径 $>3\text{mm}$ 者,比 $<3\text{mm}$ 者肝动脉血栓形成显著增高。

临床上表现为急性肝坏死、延迟胆漏、间歇性菌血症、上消化道出血、不明原因发热、凝血机制紊乱或不明原因的肝功能异常等。

MDCTA能显示整个肝动脉管腔,腔内可见不规则充盈缺损,无强化。CRP、MPR重组为最佳显示方法(图20-21)。肝动脉血栓形成常伴随胆汁瘤、梗死、脓肿及胆管扩张。

2. 肝动脉狭窄或闭塞 肝动脉狭窄可发生在术后数天到术后数年,主要相关因素为肝动脉吻合条件、吻合技术、取肝或植肝时损伤、排斥反应等。表现为严重肝损害、肝坏死、胆道狭窄、胆漏,也可表现为轻微的肝功能损害,甚至无明显的临床表现。MDCTA表现为肝动脉节段性狭窄,狭窄后扩张不明显(图20-22)。

肝动脉闭塞是肝移植常见的并发症,成人发生率为2%~8%。肝动脉闭塞与供肝冷缺血时间、严重的急性排斥反应、肝血管解剖变异、血管吻合方式等有关。MDCTA显示肝动脉中断,可见丰富的侧支血管。

3. 肝假性动脉瘤 肝移植术后肝动脉假性动脉瘤是一种少见且可对生命造成严重威胁的并发症,其发病率为1%~2%,大多数发生在移植术后第2周和第3周,常发生在血管吻合口部位,亦可位于肝内或肝周。MDCTA显示吻合口动脉瘤样扩张,同时压迫邻近门静脉,使其受压变窄。

### (二)门静脉并发症

门静脉并发症主要包括门静脉血栓(PVT)、门静脉狭窄。血栓的发生率在3%以下,狭窄发生率在2%以下。此外,还有门静脉破裂、门静脉动脉瘘等罕见并发症。门静脉破裂主要是因门静脉吻



图 20-21 肝移植术后  
横断面增强扫描图像显示肝固有动脉血栓形成,血管周围渗出

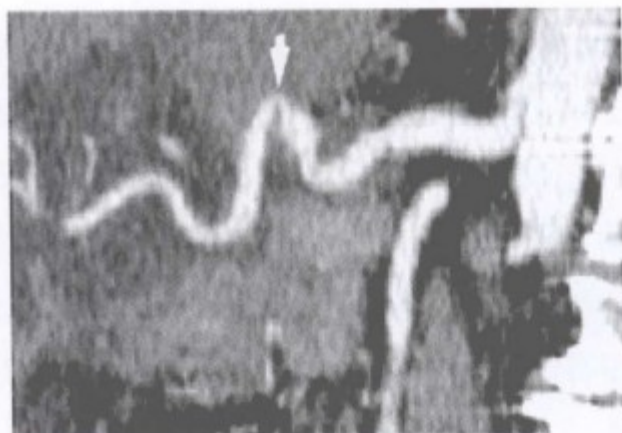


图 20-22 肝移植术后  
供体与受体动脉吻合口狭窄(箭头)

合口并发感染而继发造成,门静脉动脉瘘常因穿刺活检造成。

1. 门静脉血栓 其发生主要与术前行已存在门静脉血栓、供受体的门静脉管径不匹配、使用了人工血管或冻存的血管、脾切除等因素有关。在大多数晚期肝硬化受体,尤其已行门腔分流、合并有 Budd-chiari 综合征、已行脾切除者,门静脉血栓较为常见,发生率高达 27%~50%。

PVT 分为 4 级,1 级:门静脉血栓较少,小于门静脉管腔 50%,肠系膜上静脉正常或轻度扩张;2 级:门静脉血栓大于门静脉管腔 50%,或完全阻塞,肠系膜上静脉正常或轻度扩张;3 级:门静脉及邻近的肠系膜静脉完全被血栓阻塞,而肠系膜静脉通畅;4 级:门静脉及远端肠系膜静脉均被血栓阻塞。

厚层 MIP、CRP 可显示血栓,表现为无强化的充盈缺损,形态不规则(图 20-23)。

2. 门静脉狭窄 轻度的门静脉狭窄,门静脉直径 $>50\%$ ,通常无明显的临床症状。当门静脉狭窄 $>80\%$ ,除可出现门静脉高压、腹水等症状外,还可表现为急性肝功能衰竭、移植物无功能等。

MPR、CRP 重组可测量门静脉管径(图 20-24)。



图 20-23 移植术后  
受体门静脉左支血栓形成,未见强化



图 20-24 肝移植术后  
门静脉左支受周围液体压迫而致狭窄

### (三)腔静脉并发症

腔静脉并发症较门静脉更为少见,其常见原因有技术因素或供肝太大与受体不匹配,占35.3%,其次为 Budd-Chiari 综合征复发,另外还有少部分静脉并发症原因不明。

下腔静脉狭窄罕见,发生率低于3%。往往由于技术问题、受体肿胀或液体积聚压迫所致(图20-25)。出现腹痛、肝功能迅速损坏,出现肾功能不全、肝大。MDCTA显示下腔静脉狭窄以及周围组织的情况,如液体聚集等。

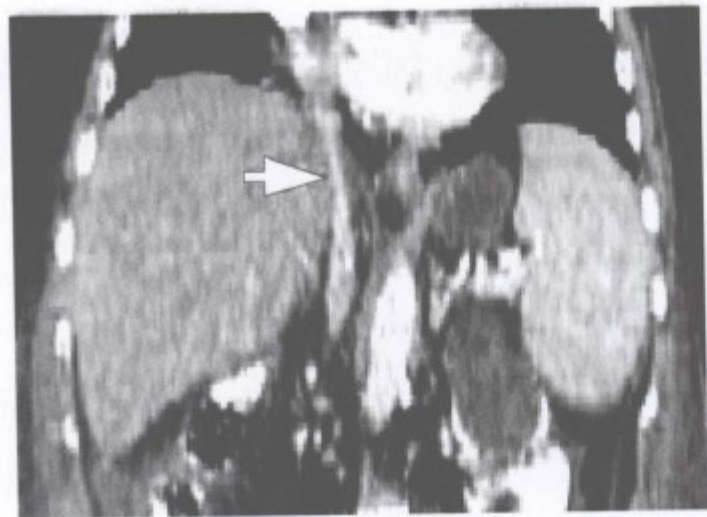


图20-25 移植术后  
受体肿胀致下腔静脉狭窄(箭头)

(张忠林 梁长虹 李景雷)

### 参 考 文 献

- [1] Boraschi P, Donati F, Cossu MC, et al. Multi-detector computed tomography angiography of the hepatic artery in liver transplant recipients. *Acta Radiol*, 2005, 46(5):455-461
- [2] Byun JH, Kim TK, Lee SS, et al. Evaluation of the hepatic artery in potential donors for living donor liver transplantation by computed tomography angiography using multidetector-row computed tomography: comparison of volume rendering and maximum intensity projection techniques. *J Comput Assist Tomogr*, 2003, 27(2):125-131
- [3] Brancatelli G, Katyal S, Federle MP, et al. Three-dimensional multislice helical computed tomography with the volume rendering technique in the detection of vascular complications after liver transplantation. *Transplantation*, 2002, 73(2):237-242
- [4] Hirano K, Kondo Y, Teratani T, et al. Hepatocellular carcinoma depicted as hypoattenuation on CT hepatic arteriography (CTA) and hyperattenuation on CT during arterial portography (CTAP). *J Gastroenterol*, 2001, 36(5):346-349

- [5] Furuse J, Maru Y, Yoshino M, et al. Assessment of arterial tumor vascularity in small hepatocellular carcinoma. Comparison between color doppler ultrasonography and radiographic imagings with contrast medium; dynamic CT, angiography, and CT hepatic arteriography. *Eur J Radiol*, 2000, 36(1):20-27
- [6] Honda H, Tajima T, Taguchi K, et al. Recent developments in imaging diagnostics for HCC: CT arteriography and CT arteriportography evaluation of vascular changes in premalignant and malignant hepatic nodules. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 2000, 7(3):245-251
- [7] Takayasu K, Yoshie K, Muramatsu Y, et al. Haemodynamic changes in non-alcoholic (viral) liver cirrhosis studied by computed tomography (CT) arterial portography and CT arteriography. *J Gastroenterol Hepatol*, 1999, 14(9):908-914
- [8] Nghiem HV, Dimas CT, McVicar JP, et al. Impact of double helical CT and three-dimensional CT arteriography on surgical planning for hepatic transplantation. *Abdom Imaging*, 1999, 24(3):278-284
- [9] Ueda K, Matsui O, Kawamori Y, et al. Differentiation of hypervascular hepatic pseudolesions from hepatocellular carcinoma; value of single-level dynamic CT during hepatic arteriography. *J Comput Assist Tomogr*, 1998, 22(5):703-708
- [10] Tanikake M, Shimizu T, Narabayashi i, et al. Three-dimensional CT angiography of the hepatic artery—use of multidetector row helical CT and a contrast agent. *Radiology*, 2003, 227(3):883-889
- [11] Winter MD, Kinney LM, Kleine LJ. Three-dimensional helical computed tomographic angiography of the liver in five dogs. *Vet Radiol Ultrasound*, 2005, 46(6):494-499
- [12] Stemmler BJ, Paulson EK, Thornton FJ, et al. Dual-phase 3D MDCT angiography for evaluation of the liver before hepatic resection. *AJR Am J Roentgenol*, 2004, 183(6):1551-1557
- [13] Piccoli G, Smania S, Toso F, et al. Multislice CT anatomy of hepatic artery in patients undergoing liver transplantation using 3D reconstructions. *Radiol Med (Torino)*, 2004, 108(4):372-379





## 腹部血管 CT 成像

### 第一节 腹部血管 CTA 检查技术

螺旋 CT 检查,尤其是多层螺旋 CT 血管成像检查对腹部血管性病变的显示具有重要意义。

#### 一、检查前准备

患者检查前空腹 4~8h,以腹部 CTA 检查为目的者,检查前 1h 内口服阴性对比剂 800~1500ml 充盈胃肠道,应避免口服阳性对比剂,以避免后处理时影响血管的显示。临床主要使用水作为阴性口服对比剂。

#### 二、CT 平扫

腹部 CT 平扫为常规 CT 检查,可以发现腹腔积液,胆囊、泌尿系统、胆管系统结石等。扫描范围视临床要求、检查部位及病情而定。

#### 三、CT 增强扫描

增强扫描的目的主要是通过增加病变的密度或增加正常组织器官的密度,提高病变与正常组织的密度差,使平扫不能发现的或可疑的病变显示更明确,使血管影像显示更清晰,有利于鉴别平扫图像上血管断面的低密度影与病变。

CT 增强扫描方法有静脉内团注非动态扫描、静脉内团注动态扫描、双期扫描(动脉期、门静

脉期)、三期扫描(动脉期、门静脉期、平衡期)等。

## 四、CT 血管成像(CTA)

CT 血管成像分外周静脉法 CTA 及导管法 CTA,其中导管法 CTA 又分为 CT 动脉造影、经动脉 CT 门静脉造影(CTAP)。

### (一)外周静脉法 CTA

一般经肘前浅静脉注射对比剂,依据 CT 平扫选择增强扫描范围、层厚及重组间距,于开始注射对比剂后 20~25s 行第一次扫描,获得动脉期图像,于注射对比剂后 55~70s 行第二次扫描获得门静脉期图像,于 3min 或稍长时间扫描获得平衡期图像,所得原始图像经重组后即得清晰直观的动脉分支及静脉属支图像。

### (二)CT 动脉造影

本方法是将导管插入腹部实质器官的动脉(如肝动脉)内注射对比剂后进行增强扫描。肝脏 CT 动脉成像采用 Seldinger 技术,经股动脉插管,将导管置于肝固有动脉,经导管直接注射对比剂。通常用较低浓度对比剂(如碘浓度为 150mg/ml 非离子对比剂),以减少扫描时产生伪影。由于肝动脉常存在变异,故可将导管置入腹腔动脉内注射对比剂,经重组后即得到肝动脉及其分支图像。

### (三)经动脉 CT 门静脉成像(CTAP)

经股动脉插管,将导管置于脾动脉或肠系膜上动脉内,注射对比剂后增强扫描。在门静脉期,含对比剂的血液经脾或肠道循环回到肝脏,经重组后可得到清晰的门静脉图像。

## 五、腹腔血管 CTA 影像后处理技术

CTA 的影像后处理技术有:最大密度投影法(MIP)、表面遮盖法或表面三维重组法(SSD)、多平面重组(MPR)、血管的 CT 内镜技术(VE)、容积再现重组(VR)。

(谢淑飞 王广谊 刘再毅)

## 第二节 胃肠血管解剖

### 一、胃供血动脉

胃的血供十分丰富,包括胃左动脉、胃右动脉、胃网膜左动脉、胃网膜右动脉和胃短动脉等。胃供血动脉在胃壁上有丰富的吻合支,形成立体网状动脉结构。

胃左动脉由腹腔干直接分出,向左上方行至胃贲门附近,沿胃小弯向右行于小网膜两层腹膜之间,沿途分支分布于食管腹段、贲门和胃小弯附近胃壁。胃右动脉由肝固有动脉分支,在小网膜内行至幽门上缘,再沿胃小弯向左,与胃左动脉吻合,沿途分支至十二指肠上部和胃小弯附近胃壁。胃十二指肠动脉(gastroduodenal artery)由肝总动脉分出,经胃幽门下缘分为胃网膜右动脉和胰十二指肠上动脉,前者沿胃大弯向左,沿途分出胃支和网膜支至胃和大网膜,其终末支与胃网膜左动脉吻合,后者有前后两支,分别沿胰头和十二指肠降部之间前后面下行,分布到胰头和十二指肠。

胃后动脉、胃短动脉、胃网膜左动脉均由脾动脉发出。脾动脉发出1~2支胃后动脉(出现率为60%~80%),在网膜囊后壁腹膜后面,经胃膈韧带上行,分布于胃体后壁上部。脾动脉在脾门附近,发出3~5支胃短动脉,经胃脾韧带至胃底;脾动脉发出胃网膜左动脉沿胃大弯右行,发出胃支和网膜支营养胃和大网膜,其终末支和胃网膜右动脉吻合成动脉弓。

胃供血动脉起源于发自腹主动脉的胃左动脉、肝总动脉和脾动脉。胃左动脉上行分出食管外支与食管动脉吻合;向下行分支与胃右动脉吻合。肝总动脉分出肝固有动脉与胃十二指肠动脉;前者又分出胃右动脉并与胃左动脉吻合,形成胃小弯动脉弓。脾动脉分出胃短动脉和胃网膜左动脉,其末端与胃网膜右动脉吻合。胃十二指肠动脉下行分出胃网膜右动脉与胃网膜左动脉吻合,形成胃大弯动脉弓。由胃大、小弯两个动脉弓发出许多小分支至胃前、后壁,在胃壁内互相吻合,形成非常丰富的动脉网。

胃引流静脉在胃壁内与动脉一样,形成广泛的吻合,最后汇合成小静脉和动脉伴行,构成许多胃静脉;在胃大弯侧、小弯侧分别汇入胃左静脉、胃右静脉、胃网膜左静脉和右静脉、胃短静脉等,这些静脉均与胃的动脉伴行,在不同部位分别汇入门静脉向肝回流。

### 二、肠系膜上动脉

肠系膜上动脉在腹腔干稍下方,约平第1腰椎高度起自腹主动脉前壁,经胰头与胰体交界处后方下行,越过十二指肠水平部前面进入小肠系膜根,随小肠系膜向右髂窝方向走行,其分支如下(图21-1)。

1. 胰十二指肠下动脉 包括胰十二指肠下前和下后动脉,分别走行于胰头与十二指肠之间的前、后方,向上分别与胰十二指肠上动脉前、后支吻合,形成胰十二指肠前、后动脉弓,营养胰和十二指肠。

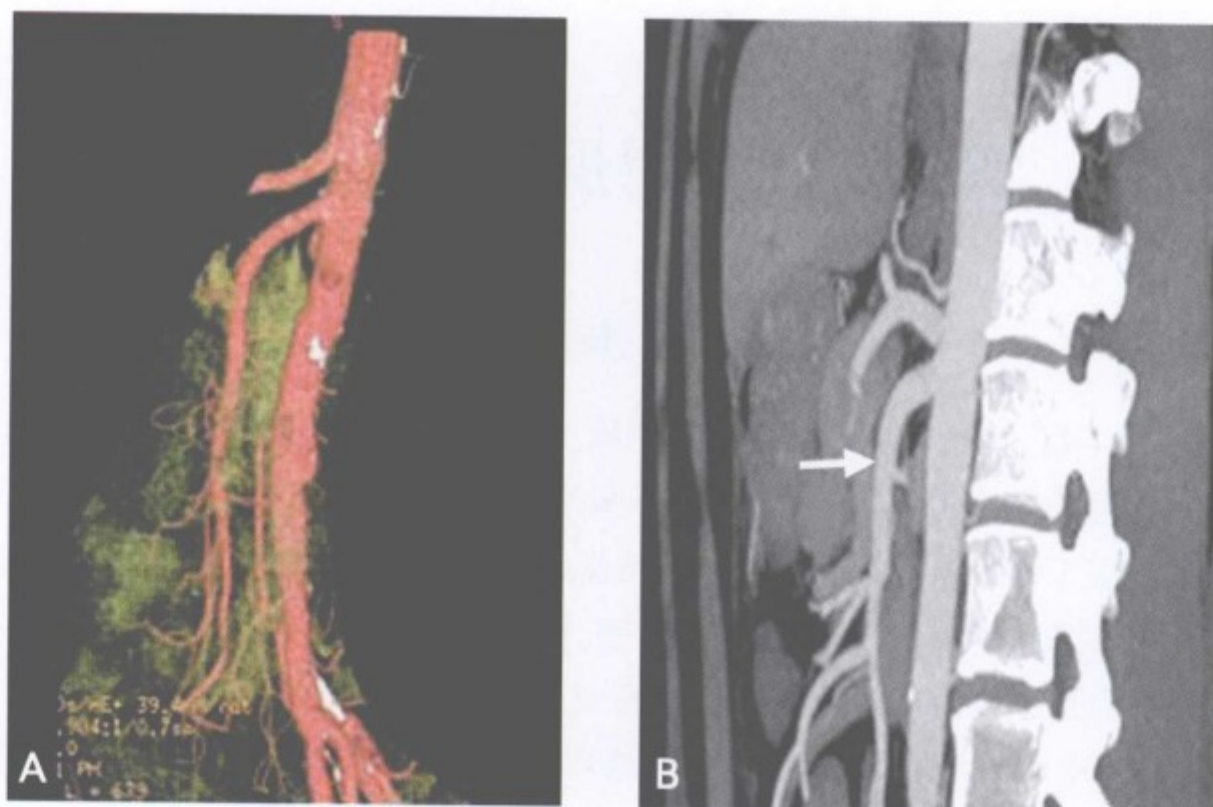


图 21-1 肠系膜上动脉正常解剖 (箭头)

2. 空肠动脉和回肠动脉 共有 13~18 支分支,由肠系膜上动脉左侧壁发出,行于小肠系膜内,反复分支并吻合形成多级动脉弓,由最后一级动脉弓发出直行小支进入肠壁,分布于空肠和回肠。

3. 回结肠动脉 为肠系膜上动脉右侧壁发出的最下一级分支,斜向右下至盲肠附近分数支营养回肠末端、盲肠、阑尾和升结肠。至阑尾的分支称阑尾动脉,经回肠末端的后方进入阑尾系膜,分支营养阑尾。

4. 右结肠动脉 在回肠动脉上方发出,向右行,分升、降支与中结肠动脉和回肠动脉吻合,分支至升结肠。

5. 中结肠动脉 在胰腺下缘附近起于肠系膜上动脉、向前并稍偏右侧进入横结肠系膜,分为左、右支,分别与左、右结肠动脉吻合,分支营养横结肠。

### 三、肠系膜下动脉

肠系膜下动脉约平 $L_3$ 高度,起于腹主动脉前壁,在腹膜壁后面沿腹后壁向左下走行,分支分布于降结肠、乙状结肠和直肠上部。

1. 左结肠动脉 横行向左,至降结肠附近分升、降支,分别与中结肠动脉和乙状结肠动脉吻合,分支分布于降结肠。

2. 乙状结肠动脉 有 2 或 3 支,斜向左下方进入乙状结肠系膜内,各支间相互吻合成动脉弓,分支营养乙状结肠。乙状结肠动脉与左结肠动脉和直肠上动脉均有吻合,但一般认为与直肠上动脉之间的吻合不够充分。

3. 直肠上动脉 为肠系膜下动脉的直接延续,在乙状结肠系膜内下行,至S<sub>3</sub>处分为2支,沿直肠两侧分布于直肠上部,在直肠表面和壁内与直肠下动脉的分支吻合。

#### 四、肠系膜静脉

肠系膜静脉与动脉一样,其广泛的吻合支最后汇合成小静脉和动脉伴行,汇入门静脉向肝回流。肠系膜上静脉(SMV)由空肠静脉、回盲肠静脉、右结肠静脉及中结肠静脉等汇合而成,向上横过十二指肠水平部,在胰腺钩突的腹侧面与SMA并行,再向上后方向斜行,沿胰颈后方向上注入门静脉(图21-2)。

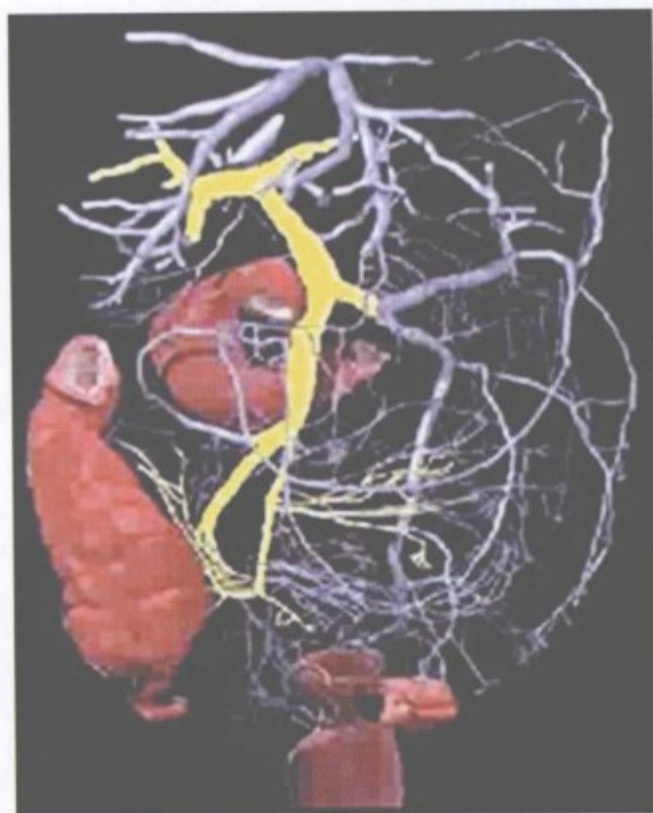


图21-2 肠系膜上静脉正常解剖

(谢淑飞 刘再毅 李景雷)

### 第三节 胃肠道动脉性病变

#### 一、胃血管畸形

胃血管畸形亦称 Dieulafoy 病,文献中的命名较多,包括血管发育不良、血管畸形、血管瘤、动脉瘤等。许多学者研究认为与先天血管发育不良有关。病变基础为胃黏膜下动脉畸形所致,系胃

黏膜下动脉先天或后天畸形, 迂曲扩张或行走异常, 局部扩张的血管将胃黏膜抬起, 致胃黏膜隆起, 导致胃黏膜血液交换障碍, 食物机械刺激、消化液侵袭、乙醇、药物、应激等诸多因素作用导致胃黏膜损伤、浅表溃疡、黏膜下血管壁溃疡破裂而导致出血。

### 【临床概述】

本病是上消化道出血少见病因之一, 临床上较难识别, 以呕血、黑便、失血性休克为主要症状。有以下共同点。①男多于女, 约11:4; ②潜伏期较长; ③出现无征兆性、致命性呕血和(或)黑便, 随后反复出血; ④胃镜或剖腹探查均见胃充盈, 腔内充满暗红色血液和血凝块, 距贲门4~6cm胃小弯前壁和后壁可有黏膜缺损, 小动脉呈喷射性出血, 或黏膜呈息肉样突起。在其底部可见动脉搏动和动脉走行。在除外胃出血的常见病因后, 应考虑本病。

### 【CTA 表现】

CT 无特异性表现。CTA 可显示较大血管畸形, 表现为迂曲扩张血管影。

## 二、腹腔干病变

### (一) 腹腔干动脉瘤

腹腔干可与肠系膜上动脉共干或伴其他动脉变异。腹腔干动脉瘤病因尚不清楚, 可能与动脉粥样硬化(27%)、动脉壁中层退化(17%)、创伤、狭窄后扩张以及感染等因素有关。

### 【临床概述】

腹腔干动脉瘤临床症状无特征性, 包括右上腹部不适(60%), 有时由于动脉瘤扩张疼痛甚至放射至背部, 伴恶心、呕吐、腹部搏动性肿块(30%)。如果动脉瘤自发破裂则表现为腹腔内出血及消化道出血, 临床表现包括腹痛后休克、便血等, 腹部穿刺可抽出不凝血。该病术前临床诊断困难。

### 【CTA 表现】

CTA 可明确有动脉瘤存在。CT 平扫显示呈等密度病灶, 增强扫描显示病变与邻近其他动脉同步强化, 往往密度均匀。CTA 后处理图像可明确动脉瘤的部位、大小、内脏动脉的解剖关系、动脉瘤的血管供应及侧支循环情况, 特别是了解肝动脉侧支循环情况, 为制定手术方案提供了可靠的依据。随着影像技术的发展, CTA 对诊断腹腔干动脉瘤的价值不亚于血管造影或 DSA。腹腔干动脉瘤主要并发症为动脉瘤破裂, 其死亡率约为 80%。

### (二) 腹腔干狭窄

腹腔干狭窄的主要原因有二。一是中弓韧带的压迫。中弓韧带来源于膈肌, 在主动脉裂孔前下方包绕主动脉, 如果中弓韧带位置较低或腹腔干起始处位置较高, 则腹腔干起始处就会受到压迫而形成狭窄。在大部分腹腔干狭窄患者的 CTA 图像中, 近心段腹腔干显示呈“U”形, 这是由于腹腔干被中弓韧带压迫所致。腹腔干起始段受压狭窄而引起临床症状者, 称为腹腔干压迫综合征。有些学者认为, 腹腔神经丛可以协同中弓韧带或单独对腹腔干进行压迫造成狭窄。二是动脉粥样硬化。动脉粥样硬化所致病变多是全身性的, 有性别和年龄差异。部分患者在中弓韧带压迫的基础上合并动脉硬化, 硬化斑块往往存在于腹腔干起始处而引起动脉狭窄。

国外学者发现腹腔干狭窄的最主要病因为动脉粥样硬化。血栓形成及先天发育异常也是腹腔干狭窄的原因。

### 【临床表现】

在产生症状的患者中,女性多于男性,男女之比为1:3,多发生于40~60岁。腹腔干狭窄临床表现主要为慢性胃肠道缺血,表现为上中腹的绞痛或钝痛,位置较深,有时放射至背部。80%发生于餐后15~30min,持续1~3h,且与用餐量有关。餐后腹痛的发生与餐后胃肠道需要更多的氧耗以供应食物的消化和吸收有关,由于腹腔干狭窄提供不了足够的血流与氧,因而产生疼痛。餐后腹痛有时表现为呼气时加重,吸气时减轻。由于呼气时膈肌抬高,上腹部脏器(肝、脾、胃)上升,脾动脉、胃左动脉、肝总动脉上抬,腹腔干由于根部受中弓韧带压迫,远端上抬,形成“V”形的折角,加重狭窄。吸气时膈肌下降,上腹部脏器(肝、脾、胃)下降,脾动脉、胃左动脉、肝总动脉下降,腹腔干被拉直,供血略改善。也有作者认为,腹痛与腹腔神经丛受压有关。患者由于用餐后腹痛,逐渐出现惧怕用餐的现象,超过50%的患者体重下降,体重较病前下降15%或10kg以上。这种体重下降与肿瘤性或其他消耗性疾病不同,完全由于进食减少而造成。偶有少部分患者表现为持续腹部轻度不适。偶然在上腹部可听到血管杂音。没有腹膜炎的体征。

**腹腔干狭窄的侧支循环** 腹腔干狭窄是慢性腹痛重要原因之一,但发生率较高,临床上因腹腔干狭窄或完全闭塞而造成明显的胃肠道和上腹部缺血症状相对较少。原因在于来自肠系膜上动脉的丰富的侧支循环,最主要的是胰十二指肠动脉弓和胰背动脉。一部分胰十二指肠动脉瘤合并腹腔干狭窄,有学者认为是由于腹腔干狭窄引起胰十二指肠动脉弓血流增加的结果。通过胰背动脉的侧支循环主要是腹腔干分支与肠系膜上动脉及分支间的纵向交通,以及到脾动脉或胃十二指肠动脉的横向交通。另外,右肝动脉与肠系膜上动脉的交通也提供侧支循环的途径。肝动脉的变异导致了不同类型的侧支循环。还有一些侧支循环包括肝内及叶内的侧支血管,胃右动脉和胃左动脉的吻合支,肝左和胃左动脉之间的吻合支,胆道动脉丛等。在腹腔干狭窄合并肠系膜上动脉病变的时候,肠系膜下动脉也为小肠和上腹部脏器的血供提供侧支循环。通过左结肠动脉上行的分支与中结肠动脉形成吻合支,再通过胰十二指肠动脉弓向腹腔干提供侧支循环。

### 【CTA表现】

CT轴位图像及CTA图像可显示腹腔干狭窄的程度和范围。诊断腹腔干狭窄标准为狭窄段内径与远端正常段内径相比,狭窄程度达到或超过50%(图21-3)。

CTA可以清晰显示腹腔干和腹主动脉。由于中弓韧带的压迫,CTA重组矢状面图像近心段腹腔干显示为“U”形;前后位冠状面图像由于腹主动脉和腹腔干的重叠不能仔细辨别,但可进一步了解分支和侧支循环情况。

## 三、肠系膜动脉病变

肠系膜动脉病变包括急性肠系膜动脉缺血、非闭塞性肠系膜缺血及慢性肠系膜动脉缺血等。

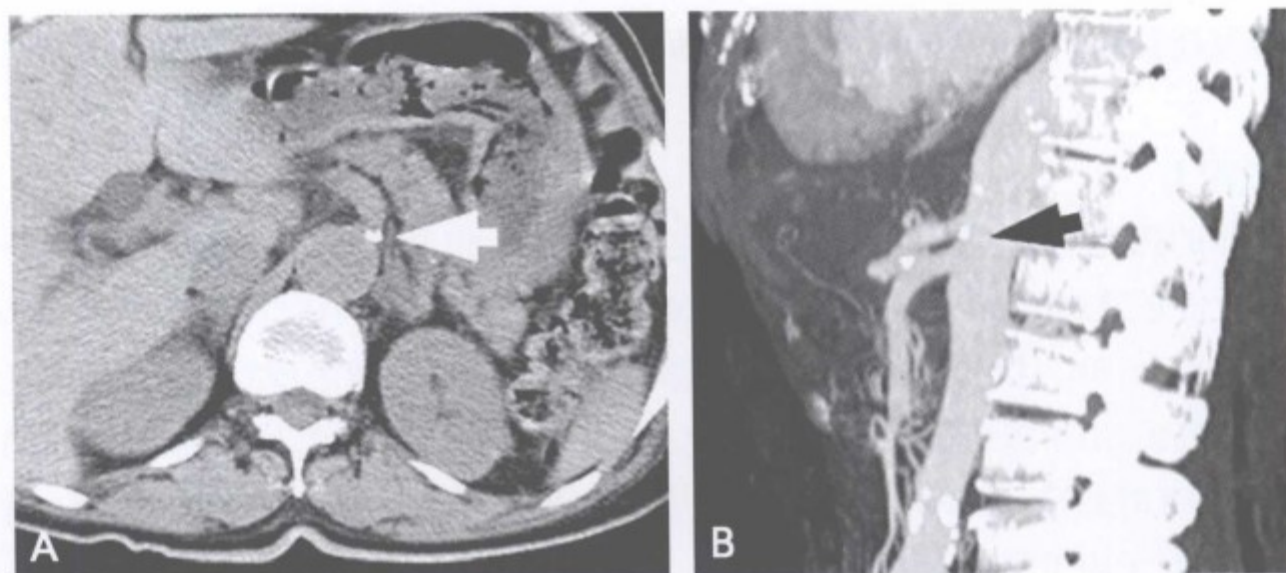


图 21-3 腹腔干动脉硬化

CT 平扫图像(A)显示腹腔干动脉开口管壁不规则钙化;矢状面重组图像(B)显示局部管腔狭窄

### (一)急性肠系膜动脉缺血

急性肠系膜动脉缺血可由下列原因引起。①肠系膜动脉栓塞,栓子多来自心脏,如心肌梗死后的附壁血栓、心瓣膜病、心房颤动、心内膜炎等;②肠系膜动脉血栓形成,大多在动脉硬化性阻塞和狭窄的基础上发生,常涉及整个肠系膜上动脉,但也有较局限者。

#### 【临床表现】

急性肠系膜动脉缺血多以急腹症就诊,常因临床医生认识不足而延误治疗。绝大多数患者的预后较差,死亡率达60%~100%。骤起的剧烈腹痛是本病突出表现,持续加重,不为一般止痛剂缓解。老年患者平时存在肠系膜上动脉慢性供血不足表现,一旦出现持续剧烈腹痛,则肠系膜动脉急性缺血可能性极大。

在周围血管栓塞中,5%见于肠系膜上动脉,其中1/3患者有以往发作史,20%患者同时有其他血管栓塞。急性动脉栓塞约占急性肠系膜血管缺血的1/3病例,多见于左心房的栓子脱落。栓子多来源于心脏,也可来源于主动脉壁上粥样斑块等。动脉粥样硬化、心功能不全、低血压状态、缩血管药物、洋地黄类药物过量也应引起重视。

肠系膜上动脉栓塞早期,栓子多嵌顿于结肠中动脉远端。肠系膜上动脉所发出的供应空肠上段的动脉支多位于结肠中动脉开口近端,所以,近端空肠血流正常。回结肠动脉支配肠管的血运可由结肠中动脉分支动脉弓供应,所以肠系膜上动脉栓塞发生后末端回肠仍有血流通过,近回盲部回肠可保存生机。当病情发展,血栓可向近端蔓延,栓塞肠系膜上动脉根部,发生空肠、回肠、右半结肠广泛缺血、坏死。

因肠系膜血管急性血循环障碍而导致的肠管缺血坏死,临床可表现为血运性肠梗阻。原发性小肠缺血与结肠缺血不同,后者多见于脾曲结肠区,各种结肠梗阻是其诱发因素,也见于慢性结肠炎。结肠缺血的症状较小肠者为轻,15%~25%可无腹痛;有症状者可表现为腹胀、胃肠出血和腹泻等。



**【CTA 表现】**

肠系膜上动脉CTA可以发现发病早期的动脉血管多个分支起始部的狭窄,血管交替出现狭窄和扩张,血管弓痉挛和肠壁内血管充盈不良。静脉相可排除静脉血栓形成。

肠系膜上动脉发出3~8cm后,血管显影中断,呈圆形或半月形充盈缺损,远端血管完全或不完全闭塞(图21-4~21-6)。

延迟扫描显示动脉供血区域肠壁不强化或强化程度明显降低,此征象为肠系膜上动脉缺血特征性表现之一(图21-7)。

**(二)非闭塞性肠系膜缺血**

急性肠系膜缺血性疾病中20%~30%是由于肠系膜血管痉挛引起的,即非闭塞性肠系膜缺血,临床病死率高达70%。主要由低血流和强烈内脏血管收缩所致,见于大手术后、心肌梗死、胰腺炎、肾衰竭、肝病或创伤。应用硝酸盐和钙通道阻滞药已减少此病的发生。

**【临床概述】**

1958年,Ende在充血性心力衰竭伴发肠梗死病例的尸解基础上首次提出非闭塞性肠系膜缺血概念,并推测肠梗死的发生与肠系膜血管痉挛导致的低血流量状态有关。

此病常被误诊为肠系膜静脉血栓形成。肠系膜动脉持续性痉挛和肠管血供急剧下降,可导致肠壁缺氧,引发非闭塞性肠系膜缺血,肠壁由黏膜层坏死开始发展到全层出血性梗死或坏疽。有充血性心衰、心律失常、低血容量、败血症,以及使用内脏血管收缩药物如肾上腺素能药物、洋地黄者发生非闭塞性肠系膜缺血危险性增加。可卡因、某些口服避孕药或非甾体类抗炎药等对于年轻患者亦有危险。全层梗死前,患者即可能出现全身毒性反应和感染性并发症。近年来文献报道右半结肠和末端回肠是较为固定的损伤靶器官,可能与其终末动脉血管较长,侧支血供较差有关。

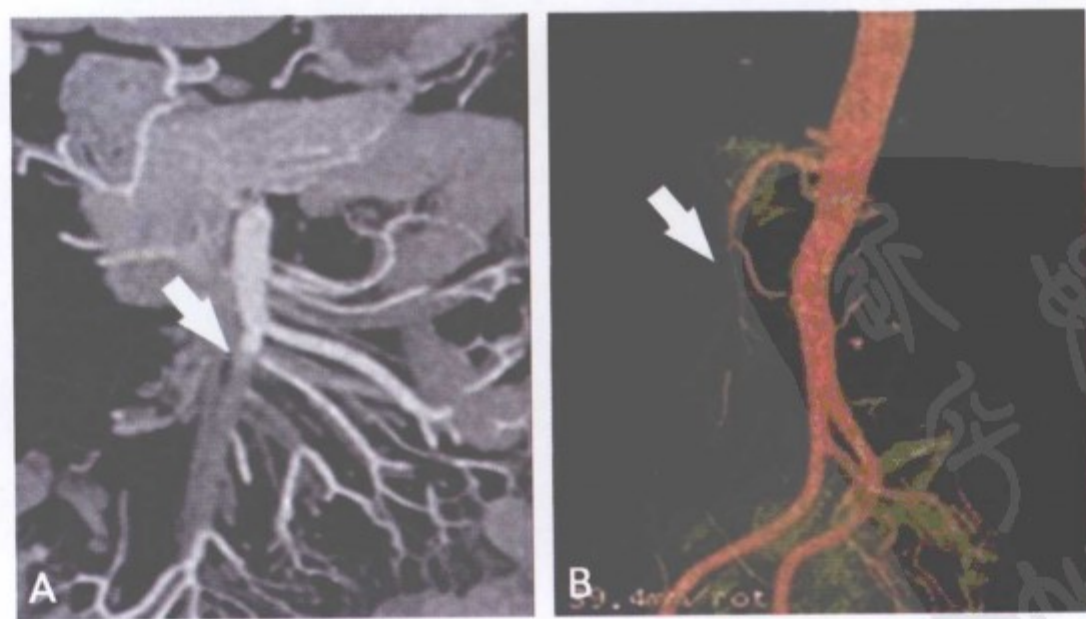


图21-4 急性肠系膜缺血:肠系膜上动脉栓塞  
栓子来源于风湿性心脏病二尖瓣病变,肠系膜上动脉长段充盈缺损(箭头)

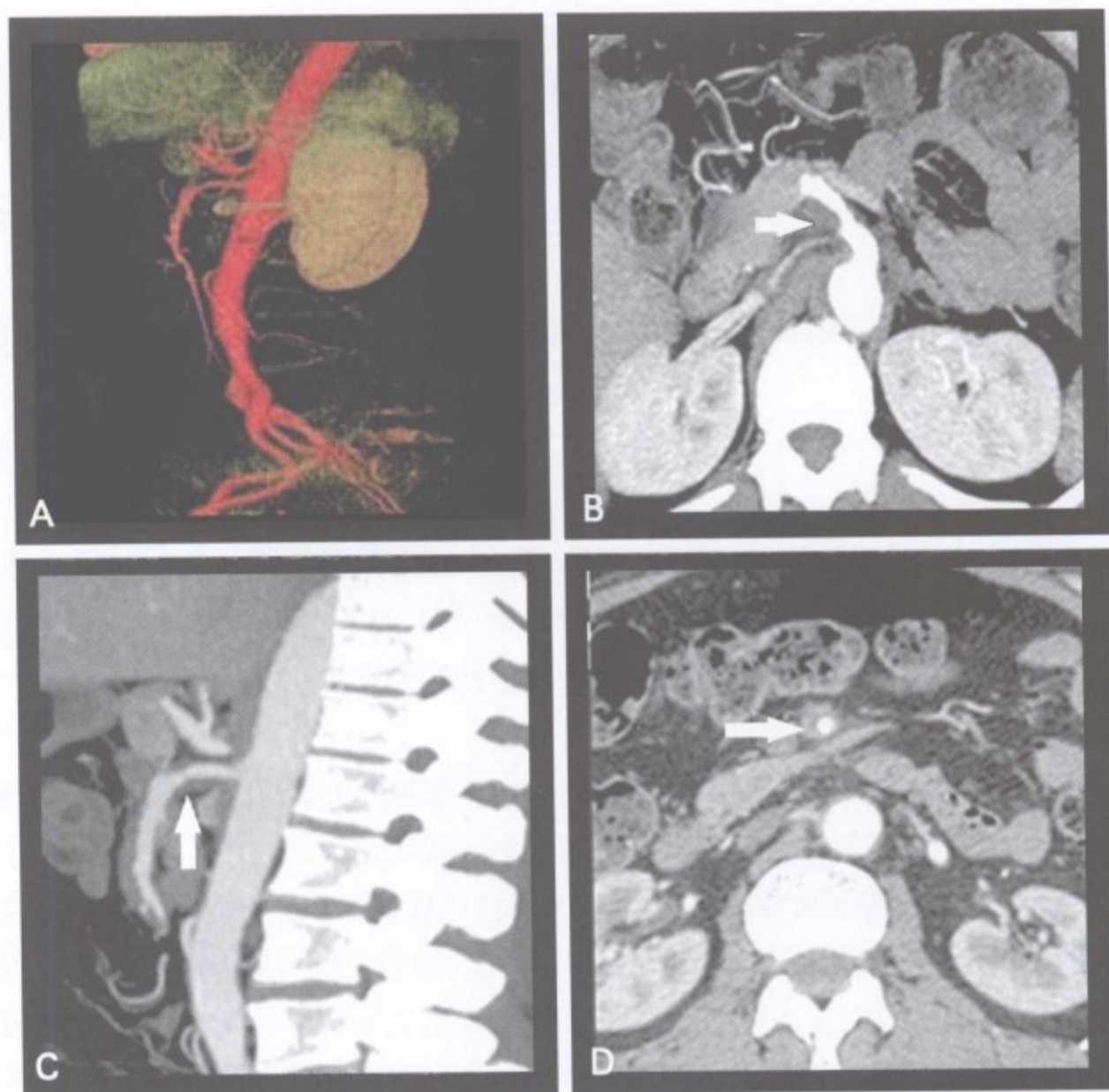


图 21-5 肠系膜上动脉起始部血栓形成

肠系膜上动脉起始部为肠系膜上动脉血栓形成最好发部位 (箭头)

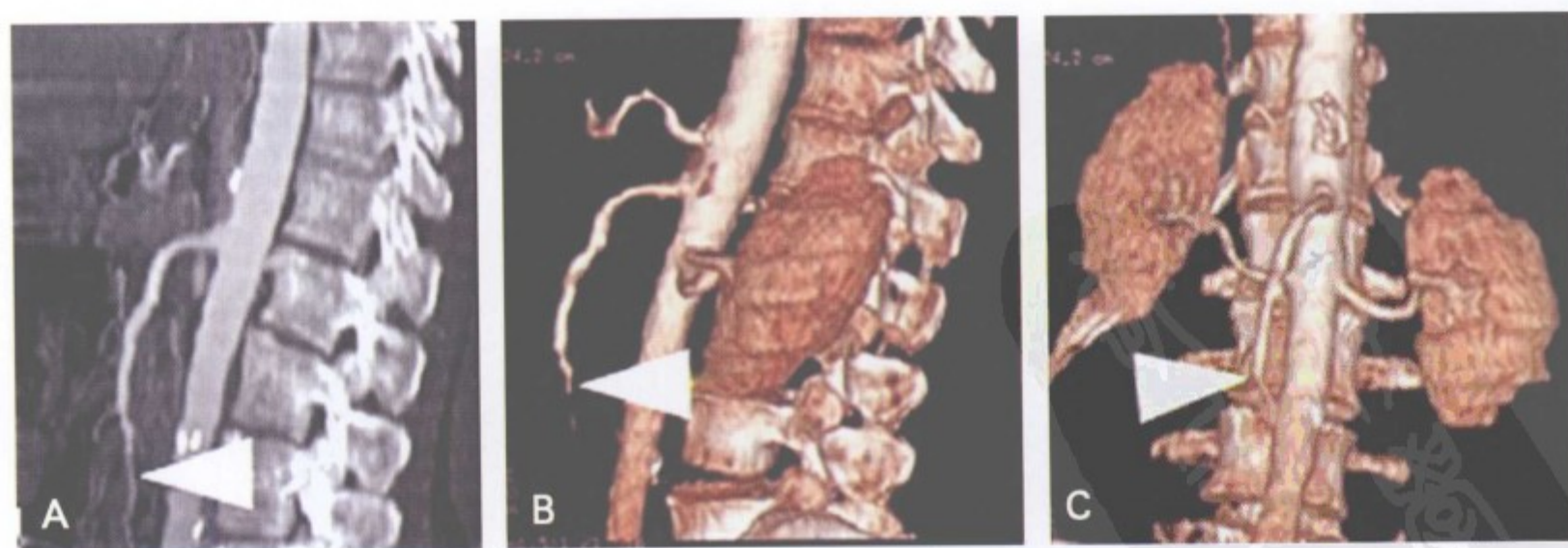


图 21-6 肠系膜上动脉远端及其分支血栓形成 (箭头)



图 21-7 肠系膜上动脉缺血

受累血管供血区的小肠壁不强化,此征象为肠系膜上动脉缺血特征性表现之一(箭头)

非闭塞性肠系膜缺血很少能在早期或术前作出诊断。非闭塞性肠系膜缺血引起的血运性肠梗阻与机械性肠梗阻并肠绞窄在术前很难鉴别。

动脉搏动性血流存在,静脉内无血栓形成,可排除闭塞性肠系膜缺血可能。

#### 【CTA 表现】

非闭塞性肠系膜缺血 CTA 显示肠系膜上血管网有弥漫性“截断”现象;或肠系膜上动脉的分支呈狭窄、扩张交替出现,动脉弓痉挛。

### (三) 慢性肠系膜动脉缺血

多数患者是由于腹腔内脏动脉口动脉粥样硬化所致,少数的病因有Fabry病(弥漫性体血管角质瘤)、抗磷脂抗体综合征、贝赫切特综合征(眼、口、生殖器三联综合征)、闭塞性血栓性血管炎、Takayasu动脉炎、克罗恩病和外在压迫等。

#### 【临床概述】

肠绞痛多在餐后 1h 内发生,几小时后逐渐消退,几分钟后腹痛又起。原因不明,可能由肠系膜血管床迷走神经性血管扩张或小肠盗血所致。腹痛与进食容量有关。患者为缓解疼痛而减少进食量,加上吸收不良等原因患者体重下降。

老年动脉硬化、高血压伴慢性肠缺血三联征常是肠系膜动脉血栓形成的征象。慢性肠缺血持续数日、数周,甚至数月是肠系膜动脉血栓形成的特点。慢性肠系膜动脉缺血与急性肠系膜动脉闭塞相似,但其病程较缓慢。

部分患者上腹部可听见血流杂音,其他症状有恶心和呕吐或持续性腹痛等。

#### 【CTA 表现】

CTA 可显示受累动脉阻塞的形式、范围和程度,侧支循环的范围以及选择主动脉和髂动脉转流术的合适位置。

动脉粥样硬化引起肠系膜动脉狭窄者,CTA 显示受累血管不规则狭窄,管腔内壁出现不规则改变,往往还可以发现钙化斑块。慢性血栓形成者,往往可以发现管壁不规则,管腔内不规则充盈缺损(图 21-8)。

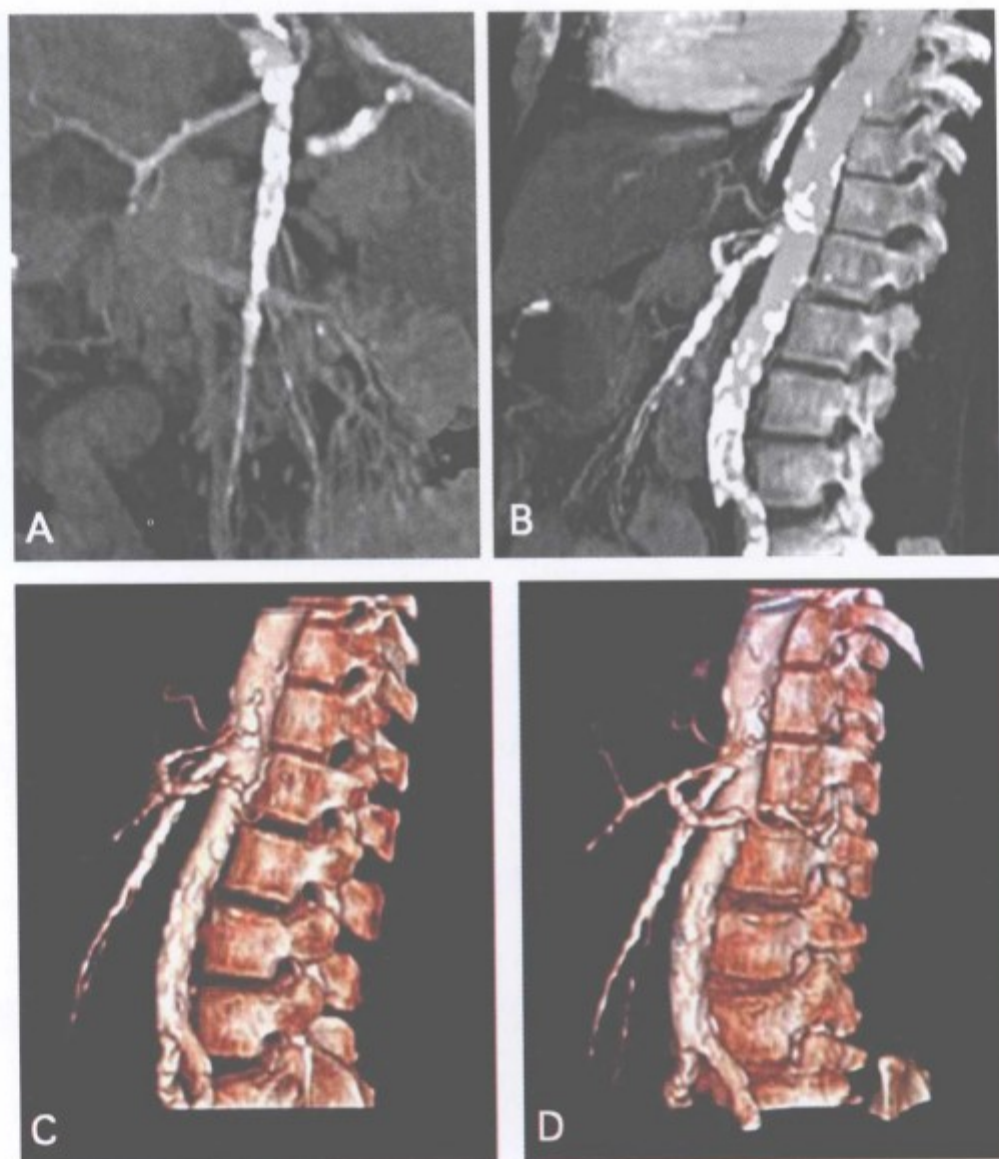


图 21-8 慢性肠系膜上动脉缺血  
肠系膜上动脉粥样硬化斑块形成，血管广泛狭窄

#### (四) 肠系膜上动脉压迫综合征

肠系膜上动脉压迫综合征又称良性十二指肠淤滞症，文献中也称之为Wilkie病或十二指肠血管性压迫。肠系膜上动脉在低于腹腔动脉1~2cm处由腹主动脉腹侧发出，呈锐角向下与腹主动脉平行，在此动脉与腹主动脉之间有肾静脉和十二指肠第3段通过。如果该夹角值太小，可造成十二指肠第3段狭窄，而形成梗阻。临床上可表现为恶心、呕吐、上腹痛、嗝气、腹胀、肠鸣等。反复发作可引起贫血消瘦，严重者可引起水电解质和酸碱失衡。

正常人的十二指肠水平部以及它与升部交界处的前方，有肠系膜上动脉及肠系膜根部通过，远侧被屈氏韧带固定于后腹壁，其后方则为脊柱及主动脉，肠系膜上动脉与腹主动脉之间形成 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 夹角，中间由脂肪组织充填，不致压迫十二指肠，如果这一夹角太小(一般认为本病患者其夹角为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，平均 $14.57^{\circ}$ )，就会对十二指肠第3段产生压迫甚至引起梗阻，使受压部以上的十二指肠扩张。如果屈氏韧带过短，而使十二指肠升段被悬吊固定于较高位置，十二指肠水平部的位置在 $L_2$ 平面；肠系膜上动脉开口于腹主动脉的位置过低，均可使十二指肠居于肠系膜上动脉与腹主动脉间的狭小的夹角中。从产生压迫到引起梗阻还与许多因素有关，如长期营养不良及消瘦，使十二指肠与肠系膜上

动脉间的脂肪垫消失,尤其是伴有内脏下垂或腹壁松弛者,严重脱水、腰椎严重侧弯、严重外伤、烧伤、动脉硬化、肠系膜根部的紧张度增强、肠系膜上动脉根部附近的附属组织(如脂肪或筋膜等)的肥厚、长期卧床及石膏固定等都可能诱发本病的出现。

### 【临床概述】

肠系膜上动脉压迫综合征,临床多以慢性间歇性高位小肠梗阻表现为主。患者主诉进食后感觉上腹部疼痛或不适,伴有恶心、呕吐,常发生于餐后2~3h,食欲缺乏,体重下降,发作时上腹部膨隆,出现蠕动波。呕吐物带胆汁及体位改变能使症状暂时缓解是临床上的重要特点。

### 【影像学表现】

典型X线表现:①站立位检查时钡剂通过十二指肠水平部时受阻,近段肠管显著扩张,扩张肠管可见较强的蠕动波及逆蠕动,构成所谓“钟摆样运动”;②在十二指肠水平部受压处,有一光滑整齐的纵行压迹,肠管紧贴于脊柱,黏膜变平;③十二指肠壶腹可见扩张,钡剂可由十二指肠内经逆蠕动而返流入胃腔;④胃内钡剂滞留及排空延迟;⑤患者采取俯卧位,透视可见逆蠕动消失,钡剂顺利通过到达空肠;⑥胃扩张但幽门通畅,甚至表现为松弛。钡剂显示十二指肠的“钟摆样运动”和十二指肠水平部光滑压迹以及改变体位后钡剂顺利通过压迹部是X线诊断之重要依据。

以往对十二指肠淤积症的诊断,主要依靠X线上消化道钡剂检查,但一部分患者对吞服钡剂难以接受,同时X线亦难以显示肠系膜上动脉与腹主动脉之夹角。CTA能够直接清晰地显示肠系膜上动脉与腹主动脉之间所形成的夹角和从该夹角中通过的十二指肠水平部及左肾静脉之间的解剖关系,了解肠系膜上动脉周围脂肪组织的厚度,肠系膜上动脉与腹主动脉的方位变化以及肠系膜上动脉综合征的特征性图像,且能直观显示肠系膜上动脉的走行,观察肠系膜上动脉的血流情况,对肠系膜上动脉综合征作出准确诊断,明确病因及指导临床治疗(图21-9)。

CTA诊断标准:①肠系膜上动脉起始部距腹腔干动脉起始部 $>15\text{mm}$ ,与腹主动脉之夹角 $<12^\circ$ ;②矢状位重组图像显示肠系膜上动脉后方十二指肠水平部前后径 $<10\text{mm}$ ;③十二指肠降部及近端水

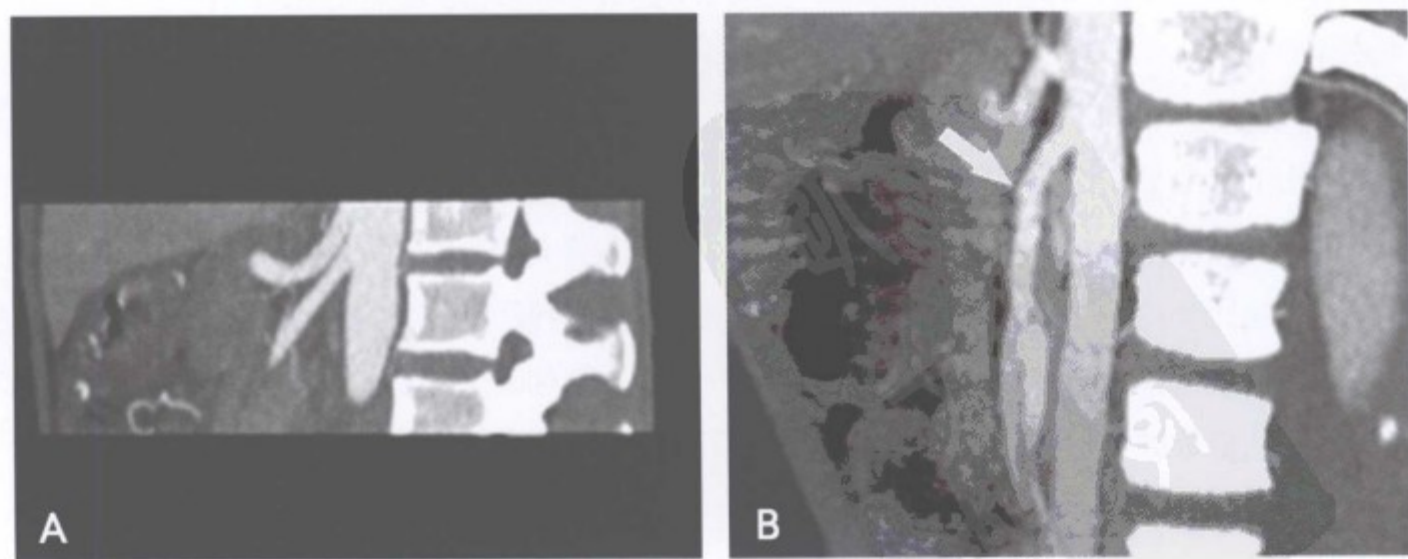


图21-9 正常肠系膜上动脉

正常肠系膜上动脉与腹主动脉形成夹角,肠系膜上动脉压迫综合征此夹角明显变小(箭头)

平部扩张形成特殊的“漏斗形”或“葫芦形”图像,十二指肠降部扩张 $>30\text{mm}$ ;④常合并有胃等内脏下垂、左肾静脉受压扩张、肠系膜上动脉周围脂肪稀疏等表现。

此外,CT在排除十二指肠外病变压迫(如胃后壁肿瘤、胰腺肿瘤、胆囊肿瘤、腹主动脉旁淋巴结肿大及腹主动脉瘤等)、十二指肠内梗阻(如十二指肠内肿瘤、胆石排入肠腔及异物等)和先天性肠道发育异常引起的十二指肠淤滞方面也有一定的价值。

### (五)肠系膜上动脉假性动脉瘤

肠系膜上动脉假性动脉瘤的病因多与炎症、外伤、肿瘤侵犯和先天异常有关。

#### 【临床概述】

假性动脉瘤临床症状常无特异性,肿块较大时体检可发现搏动性肿块,并可闻及血管杂音。随时间变化,包块由小变大,由囊性变为囊实性。剧烈腹痛与肠系膜上动脉破裂形成假性动脉瘤、局部缺血缺氧、肠痉挛有关,腹痛缓解与局部凝血块形成、损伤血管修复有关。

#### 【CTA表现】

螺旋CT双期增强扫描及CTA图像可明确诊断假性动脉瘤。病灶在动、静脉期有以下强化特点。①病灶增强后CT值多与同层面腹主动脉一致;②CTA检查,MIP、MPR和VR重组图像可以显示病灶的部位、以及病灶与邻近结构的关系。

### (六)Crohn病血管改变

虽然CT已经广泛应用于诊断Crohn病,但很少有文献报道肠系膜血管的改变,急性、复发性Crohn病空肠血管扭曲扩张,称为“梳齿征”。其机制为:活动期纤维原细胞生长因子刺激血管生长,同时生长激素抑制素、花生四烯酸也可促进活动性Crohn病的血管生成。因此肠周血管增多与Crohn病活动性有关,活动期病例肠系膜血管增多,慢性静止期肠系膜血管无明显变化。

#### 【临床表现】

肠系膜周围血管增多与Crohn病进展期改变如纵行溃疡和病变肠管长度增加一致。但肠系膜血管增多不是诊断Crohn病特异性表现,也可出现于其他胃肠道疾病,如系统性红斑狼疮、肠系膜血栓形成、肠梗阻等。

#### 【CTA表现】

Crohn病CTA显示肠系膜动脉迂曲扩张,呈“梳齿征”样改变(图21-10)。

多平面图像对显示病变肠段的范围及长度较轴位图像优越。虽然单独轴位图像发现病变与轴位图像结合多平面图像发现的病变无显著性差异,但当轴位图像发现病变时,结合多平面图像可进一步明确病变,尤其是在轴位图像发现可疑病变时,多平面成像对确定有无病变极有帮助。另外,多平面图像对显示并发症如脓肿、窦道或瘘管的范围及走行等也具有重要意义。

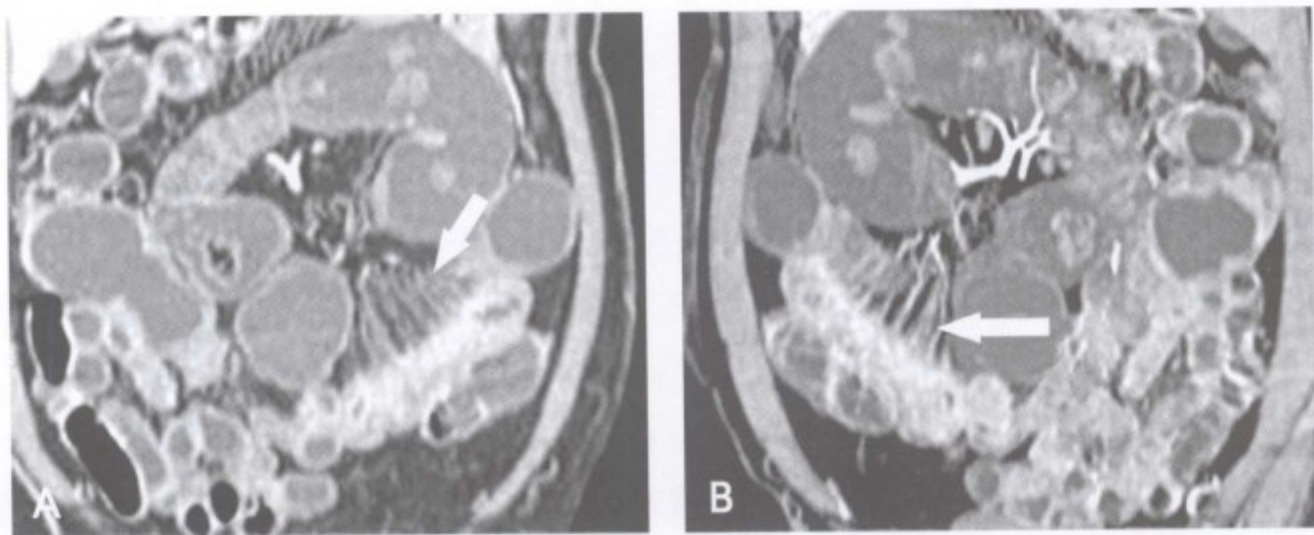


图 21-10 Crohn 病

活动期病变肠段邻近的肠系膜血管增多、迂曲、扩张，提示病变为活动性（箭头）

## 第四节 胃肠道静脉性病变

### 一、门静脉高压所致胃肠道静脉病变

门静脉高压症分肝内型、肝外型，肝外型又分肝前型和肝后型。肝内型门静脉高压最为常见，主要是各种肝硬化所致。肝前型有先天性门静脉闭塞与狭窄，因感染、外伤、肿瘤等引起的门静脉栓塞或压迫阻塞（如胰源性区域性门静脉高压症等），以及特发性门静脉高压症（肝门静脉硬化症）等。肝后型见于 Budd-Chiari 综合征、缩窄性心包炎、严重心力衰竭等。

#### （一）食管黏膜下静脉、食管周围静脉、胃底静脉曲张

食管黏膜下静脉、食管周围静脉、胃底静脉曲张为门静脉高压症的重要并发症。

##### 【临床概述】

正常情况下，食管下半段的静脉网与肝门静脉系统的胃冠状静脉、胃短静脉之间存在吻合支，当肝门静脉血液受阻时，来自消化器官及脾等的回心血液不能进入肝脏，而是通过胃冠状静脉和胃短静脉进入食管黏膜下静脉和食管周围静脉丛，经奇静脉进入上腔静脉，形成食管和胃底静脉曲张。不伴食管静脉曲张的胃底静脉曲张还可因继发于胰腺炎、胰腺肿瘤造成的脾静脉阻塞引起，此时脾内血流逆行通过胃短静脉在胃底部与胃冠状静脉分支和远端食管静脉丛吻合，如肝门静脉通路正常，则血流通过扩张的胃冠状静脉回入肝内，临床上仅出现胃底静脉曲张，而无食管静脉曲张发生。

临床上，食管、胃静脉曲张依据 Sarin 标准分为 4 型。①食管、胃静脉曲张 1 型，食管静脉曲张跨过胃、食管交界处，沿胃小弯侧向下延伸达 20~50mm；②食管、胃静脉曲张 2 型，食管静脉曲张伴胃底静脉曲张，曲张静脉位于胃底部；③孤立性胃静脉曲张 1 型，胃底可见曲张静脉而食管无静脉曲张；④孤立性胃静脉曲张 2 型，曲张静脉位于胃体、胃窦、幽门或十二指肠上部而不伴食

管静脉曲张。

### 【影像学及 CTA 表现】

X 线检查是发现食管静脉曲张的有效、简便、安全的一种方法。早期食管静脉曲张发生于食管下段,表现为黏膜皱襞稍增宽或略纡曲,黏膜皱襞有时显示不连续而呈虚线状,管壁边缘稍不整齐。典型表现为食管中下段的黏膜皱襞明显增宽纡曲,呈蚯蚓状或串珠状充盈缺损,管壁边缘呈锯齿状。病变加重时上述表现更明显,食管张力降低,管腔扩张,蠕动减弱,钡剂排空延迟,病变逐渐向上发展,但食管壁柔软而伸缩自如,是其与食管癌的鉴别要点。食管周围静脉曲张表现为圆形、长条形,亦可表现为下后纵隔分叶状强化肿块,即“假肿瘤征”;或表现为食管周围扭曲成簇的静脉丛。伴发奇静脉扩张和半奇静脉扩张。胃底静脉曲张表现为病变处黏膜条状增粗,走行纡曲,也可表现为多发散在的结节及较大的分叶状肿块,在大多数情况下,依据其典型的 X 线表现及病史,在良好的胃底静脉曲张双重对比造影检查中能做出正确的诊断。

胃底静脉曲张表现为结节或肿块者,尤其是局限于胃底贲门部分布的胃底静脉曲张,有时难以与胃贲门癌鉴别,此时需行 CT 或 MRI 检查。CT 增强扫描可见该肿块影系由明显强化的条状扭曲的血管影构成,且与胃腔间无分隔面,CTA 可直观显示纡曲扩张的静脉(图 21-11)。此外,CT 检查可同时显示肝硬化、腹水、脾大等,并可同时显示位于肝胃韧带内纡曲增粗的食管静脉丛,以及肝门静脉主干扩张增粗等门静脉高压的其他表现。



图 21-11 门静脉高压食管胃底静脉曲张 (箭头)

### (二) 下行性食管静脉曲张

下行性食管静脉曲张常因纵隔肿瘤、纵隔纤维化等引起的上腔静脉综合征或因甲状腺肿瘤等引起的甲状腺下静脉梗阻所致。

### 【临床概述】

上腔静脉本身栓塞少见,偶尔见于心力衰竭的老年人。食管上段和食管前的静脉丛以及喉下静脉等均经甲状腺下静脉回流至颈内静脉或无名静脉。当甲状腺下静脉回流受阻时,则上述的血流必须经上段



食管静脉丛及奇静脉流入上腔静脉,从而引起上段食管静脉曲张。中段食管血液经奇静脉和半奇静脉回流至上腔静脉。上腔静脉梗阻时,纵隔的侧支循环血管扩张,与食管静脉交通从而形成血流向下的静脉曲张。如果梗阻只限于上腔静脉时,奇静脉及其分支为血液回流的主要径路。当上腔静脉和奇静脉同时阻塞时,则腹部深、浅静脉及椎静脉为主要侧支循环,所有血流均经下腔静脉回流入右心。食管下段的血流则是经胃冠状静脉流入肝门静脉,最后经下腔静脉流入右心。

### 【影像学表现】

当右侧心力衰竭时,上腔静脉、奇静脉和下腔静脉(肝门静脉)的血液回流均受阻,引起食管全段的静脉曲张。下行性食管静脉曲张可局限于食管上1/3或累及食管全部,可能与原发病变部位和静脉梗阻的范围有关。如颈部病变所引起的易局限于食管上1/3;梗阻在奇静脉以上,则食管上1/2可受累;如上腔静脉和奇静脉同时阻塞,则食管全长皆可受累。

食管钡剂检查目前仍为较简便的检查方法。一般认为,下行性食管静脉曲张与上行性食管静脉曲张有相同表现,只是病变始于食管上段并向下发展。在全食管静脉曲张时,病变的起始部位表现典型,重于其逐渐受累的部位。病变的起始部位较其他原因引起食管全段静脉曲张的起始部位表现轻。可能与右侧心力衰竭时,上腔静脉、奇静脉和下腔静脉(肝门静脉)的血液回流同时受阻有关。

此外,本病病变范围广、表现典型,结合临床病史,一般不难与腐蚀性食管炎、反流性食管炎和食管肿瘤等疾病做出鉴别。

### (三)门静脉高压性胃病

因门静脉高压而产生的胃黏膜病变称门静脉高压性胃病(portal hypertensive gastropathy, PHG)。

### 【临床概述】

门静脉高压是产生 PHG 的必要条件。食管静脉曲张与门静脉高压性胃病的发生无直接平行关系,无静脉曲张不等于无门静脉高压性胃病。

### 【影像学表现】

门静脉高压性胃病时,因胃黏膜淤血增厚,CT 平扫可见胃壁广泛增厚,增强扫描时尤为明显,但无特异性。

### (四)小网膜静脉曲张

小网膜静脉曲张包括胃周静脉(由胃左静脉、胃右静脉、胃短静脉及胃后静脉构成)(参阅图 20-10),肝门及胆囊窝静脉丛的曲张,呈密集梳齿状、蚯蚓状。

### (五)胃-肾及脾-肾分流

肾及肾上腺静脉丛状静脉曲张,CT 平扫时可与肾上腺肿瘤相似,常与胃底、胃后、脾周静脉曲张同时存在。脾-肾及胃-肾静脉曲张表现为胃后左膈与左肾静脉平面之间异常增粗的强化血管,呈椭圆形或圆形,部分血管呈曲线状,但以椭圆形多见,少数血管呈瘤样扩张(图21-12)。

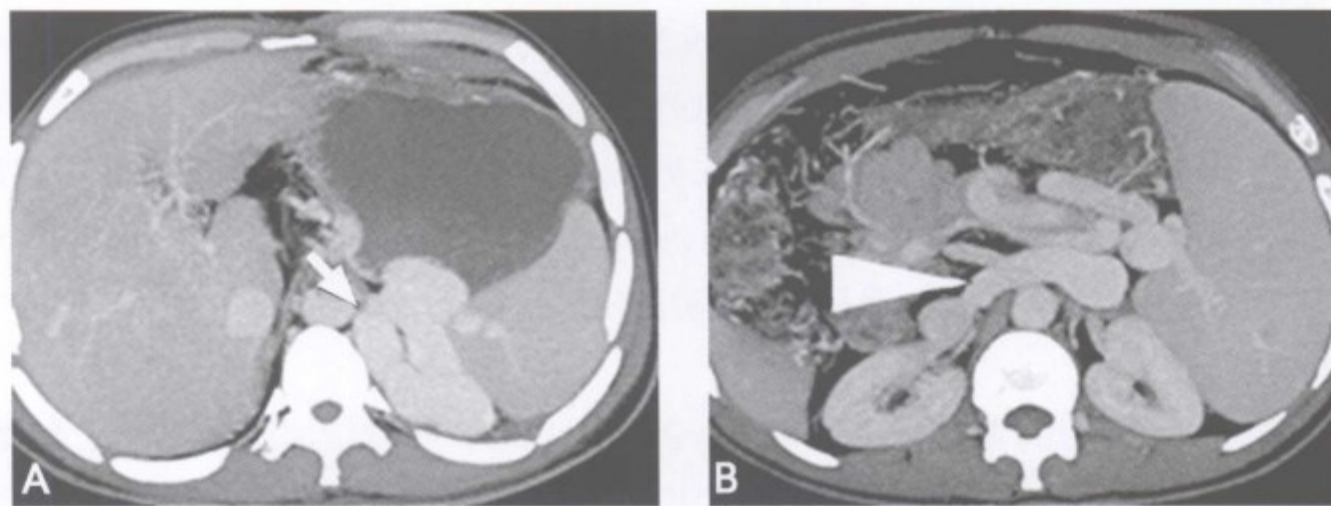


图 21-12 门静脉高压

A 图显示脾肾分流 (箭头), B 图显示左肾静脉迂曲扩张 (箭头)

### (六)肝门静脉系曲张

螺旋 CT 血管成像可显示门静脉 1 或 2 级分支增粗、扩张,肝内门静脉 2 级以下分支减少、纤细,走行扭曲、僵硬不规则。脾静脉扩张、肠系膜上静脉曲张和肠系膜下静脉曲张表现为大量蚯蚓状、蜂窝状细小血管影,可伴有腰静脉、腰升静脉明显扩张、增粗或伴有下腔静脉多节段血栓形成及卵巢静脉扩张、增粗及迂曲。

CT 不仅能显示食管和胃底的静脉曲张,而且能显示食管周围及小网膜的静脉曲张,以及腹膜后 Retzius 静脉丛(肝门静脉及肠系膜上、下静脉在小肠系膜的细小分支与腹膜后体循环系统的肾静脉、肾上腺静脉、腰静脉及膈静脉的广泛交通支)、脐静脉、脾肾及胃肾静脉等侧支的开放情况。肝硬化门静脉高压时,存在于肝内外门静脉系与体静脉系之间的交通支或吻合支均可开放而形成侧支循环(参阅图 20-9)。

### (七)门静脉海绵样变性

门静脉海绵样变性(cavernous transformation of portal vein, CTPV)是指在由不同病因所致门静脉主干和(或)分支完全或部分阻塞或闭塞后,在其周围形成大量的微小静脉,构成侧支静脉或旁路,以补充肝门静脉内血流的丢失,是机体为保证肝脏血流量和肝功能正常的一种代偿性病变,是肝门静脉阻塞后病理改变的最终结果。

#### 【临床概述】

由于肝门静脉解剖结构较为特殊,易于发生栓塞。首先,肝门静脉始末均为毛细血管,一端始于胃肠、胰、脾的毛细血管网,另一端止于肝小叶的窦状间隙,其内血流缓慢,易形成血栓;其次,肝门静脉及其属支均缺乏静脉瓣,一旦栓塞,可迅速蔓延至肝门静脉系统的任何部分;另外,肝门静脉左支比右支粗大平直,左支分流的血量较多,水平部至矢状部血管呈近直角相交,在该处血流迅速减慢或产生涡流。因此癌栓或感染性栓子均易在肝门静脉发生栓塞。CTPV 多发生在栓塞后的 1~12 个月,在栓塞处肝门静脉主干或其分支周围、肝十二指肠韧带及肝门处、胆囊窝周围、胃小弯侧见大量侧支静

脉呈海绵窦样扭曲,其来源于和淋巴管、胆管、血管伴行的小静脉或新生的静脉管道,并越过阻塞端进入肝内门静脉分支,由于这些血管在大体标本切面呈海绵状血管瘤样改变,故称门静脉海绵样变性(CTPV)。

### 【影像学表现】

CT平扫对肝门静脉系栓塞显示意义不大,极少数病例可见腔内高密度影。因此,要明确肝门静脉系有无栓塞,动态增强CT扫描是必要的检查方法。

门静脉海绵样变性的增强CT直接征象为主干不显示,其周围建立侧支静脉网(图21-13)。门静脉期在肝门、肝十二指肠韧带区见多支扭曲强化的小静脉,横断面上表现为多个大小相近的密度增高结节影。三维血管重组可显示为密度增高扭曲团状的海绵样结构。单纯肝门静脉左、右支阻塞表现为肝门静脉分支周围密度增高的点状、细网状静脉血管团。肝内门静脉属支阻塞表现为细网状血管团影。同时,胆囊窝周围、胃小弯侧可发现迂曲扩张静脉血管影。随着肝门静脉的狭窄及阻塞、海绵样侧支血管的建立,肝脏血流灌注可出现异常改变,这是肝门静脉海绵样变性的另一CT表现特点。动脉期肝脏边缘区或周围局部出现强化,静脉期全肝均一强化并变为等密度。这是因为肝门附近肝组织可通过肝门静脉海绵样结构供血,来弥补肝门静脉系栓塞造成的缺血,周围肝组织通过肝门静脉海绵样结构供血减少,肝动脉供血增加,说明肝门静脉系阻塞后肝动脉供血可以增加。

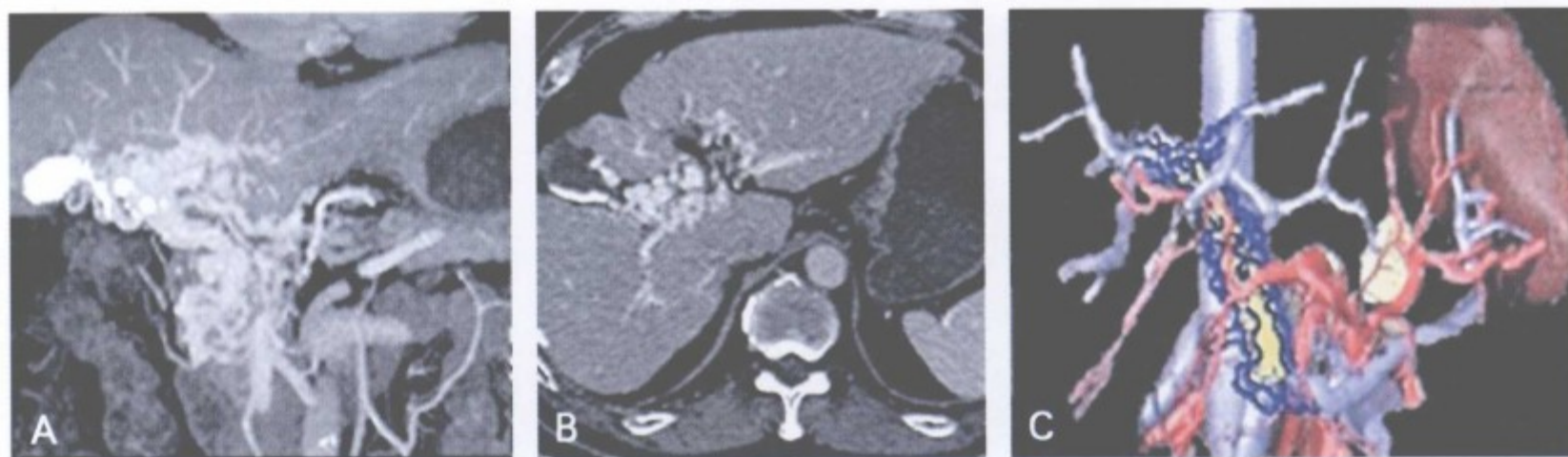


图21-13 肠系膜上静脉、门静脉血栓形成  
门静脉海绵样变性,大量侧支循环血管形成

## 二、肠系膜上静脉血栓形成

肠系膜上静脉血栓形成可分为原发性和继发性。原发性肠系膜上静脉血栓形成占20%~25%,与先天性凝血功能障碍有关,多数患者有深静脉血栓史或游走性血栓性静脉炎病史。继发性肠系膜上静脉血栓形成与获得性凝血功能障碍有关,任何可导致身体其他部位血栓形成的因素均可引起肠系膜静脉血栓形成。

**【临床概述】**

常见诱因包括各种原因造成的门静脉高压时肠系膜上静脉血流缓慢,胃肠道淤血;腹腔、盆腔感染造成肠系膜动脉血流减少,静脉回流缓慢,细菌释放的凝血因子及毒素可造成局部高凝状态;脾切除术后血小板继发性增多;腹部手术及外伤时组织细胞损害,肠系膜发生炎症反应可导致机体处于高凝状态;腹部肿瘤、口服避孕药、糖尿病、流产、便秘等病因均有文献报道。

15%~30%的患者出现肠缺血性表现。急性静脉阻塞与动脉阻塞一样,可发生体液和血浆蛋白渗透到肠腔和腹腔,引起低血容量、血液浓缩和心力衰竭,继之导致高凝状态而使血栓形成扩展、小动脉停滞、毛细血管完整性丧失和肠壁内出血,最终出现肠坏死。血栓可扩展至脾、门静脉和肝静脉,引起门静脉高压症和Budd-Chiari综合征。肠系膜上静脉血栓形成起病较缓,常有数日乃至数月的非特异性前驱症状,如腹痛、腹胀、恶心、呕吐、腹泻,程度因病变进展情况而异,而此时腹部体征轻微,此期患者几乎百分之百被误诊为其他病变。在前驱期,肠系膜上静脉内血栓尚未累及病变血管旁的侧支血管和肠管之直小血管,肠管活力一般尚存在。一旦上述血管受累,将致肠管血运障碍,临床表现加重,一般状况迅速恶化。此时腹痛加剧、范围扩大,出现肠麻痹、弥漫性腹膜炎、血性腹水及呕吐,全身中毒症状明显,如不及时治疗,很快出现感染中毒性休克。

**【影像学表现】**

CT扫描的诊断准确率可达90%,已替代传统血管造影成为首选检查方法。

肠系膜上静脉血栓形成CT表现平扫显示肠壁水肿增厚、密度减低;腹水等。增强扫描显示静脉腔内低密度影形成充盈缺损,血管腔部分或者完全阻塞;肠壁分层强化,呈多层环状(图21-14~21-17)。尽管影像学已取得不少进展,但仅有10%~15%的病例能做出术前诊断。

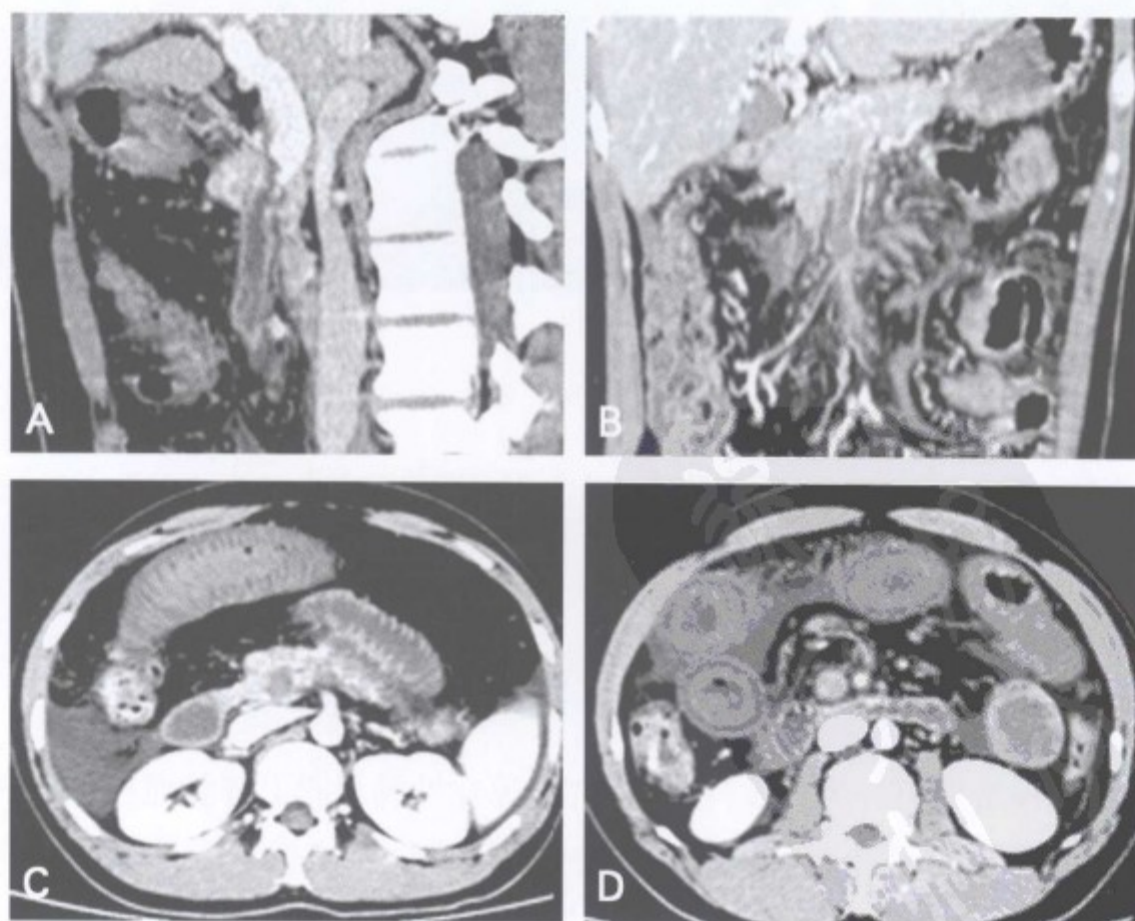
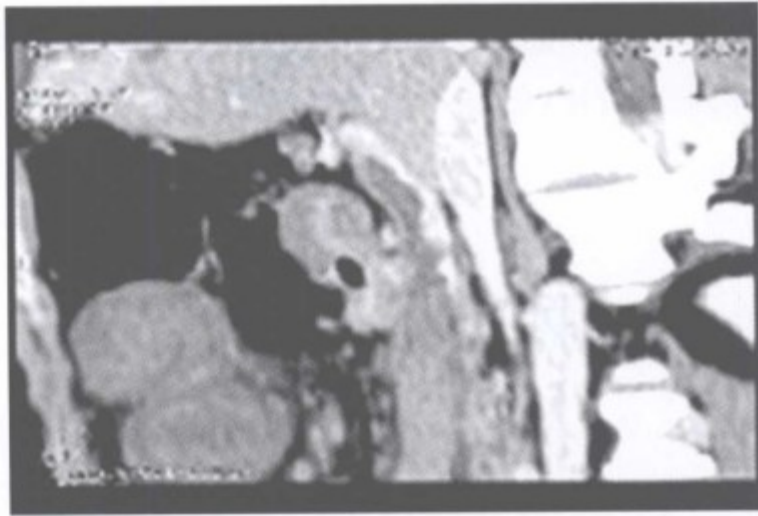
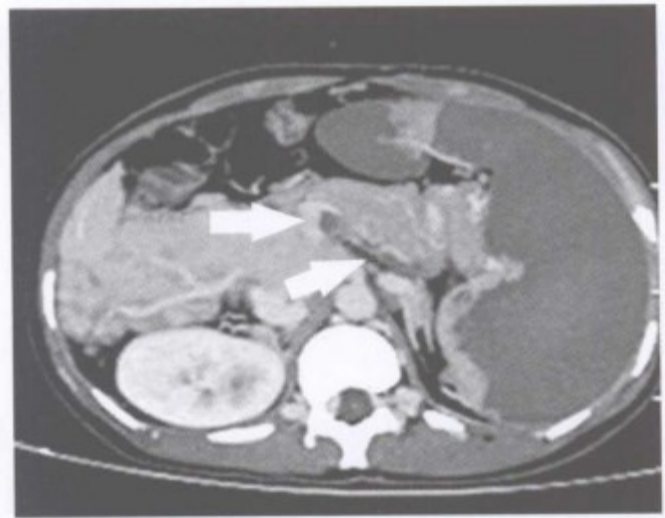


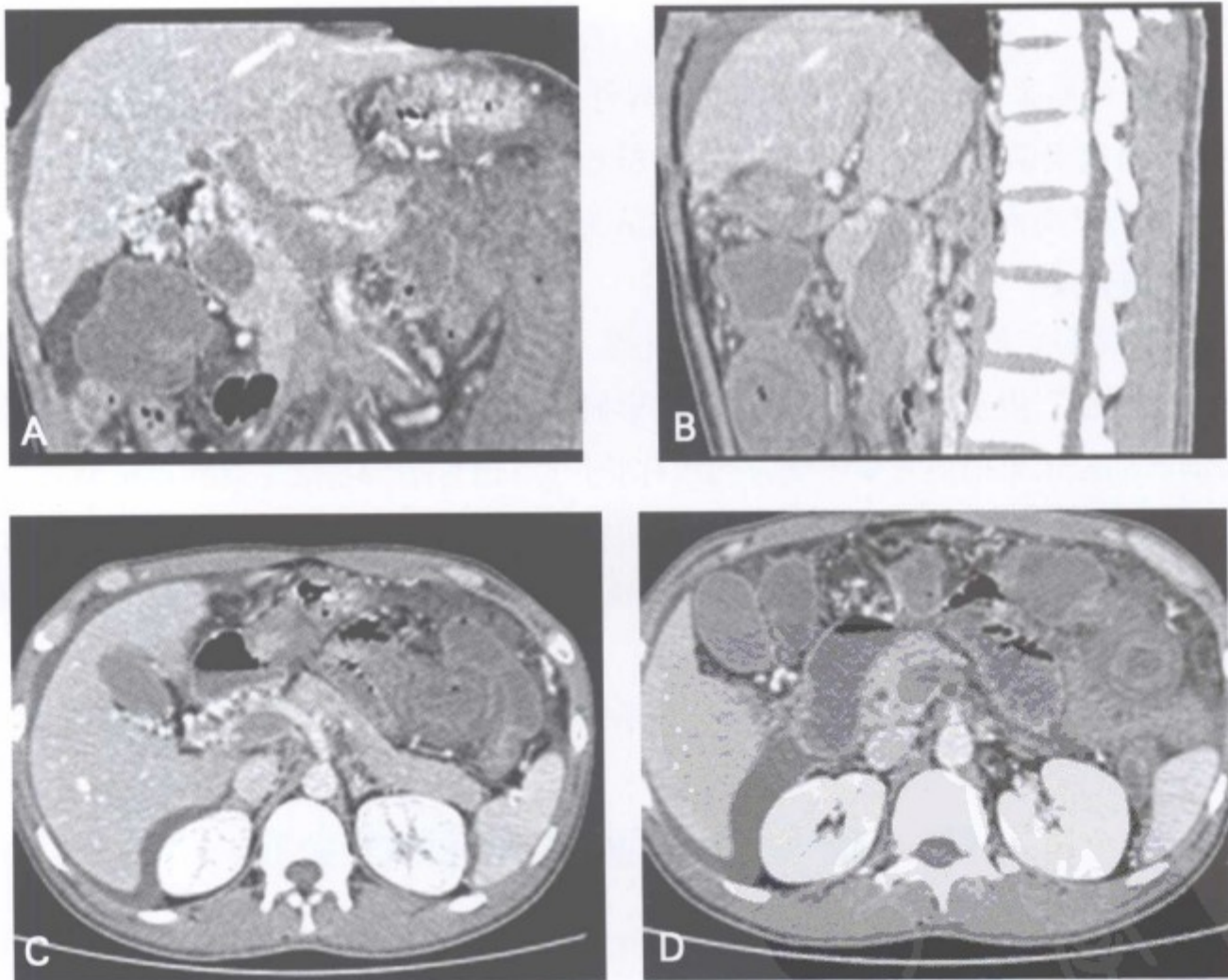
图 21-14 肠系膜上静脉血栓  
肠系膜上静脉血栓形成, 静脉血管内形成充盈缺损(A、B、C), 小肠壁水肿增厚, 呈多层环状(D)



**图 21-15 肠系膜上静脉血栓形成**  
冠状面重组图像显示肠系膜上静脉无对比剂充盈，门静脉部分充盈，见不规则充盈缺损



**图 21-16 肠系膜上静脉、脾静脉血栓形成合并脾梗死**  
脾静脉内长条形不规则充盈缺损；脾大，大片不规则不强化



**图 21-17 肠系膜上静脉血栓**  
多平面重组冠状面图像(A)、矢状面图像(B)显示肠系膜上静脉无对比剂充盈，周围见侧支循环血管。横断面图像(C、D)显示小肠壁水肿增厚，环形强化。中等量腹水

CTA是诊断肠系膜缺血最可靠的方法,可以明确肠系膜缺血的原因是肠系膜上动脉血管阻塞,抑或是肠系膜上静脉血栓形成。如果CTA发现下列一种或多种征象强烈提示肠系膜上静脉血栓形成。①肠系膜上静脉内充盈缺损;②肠系膜上静脉或门静脉不显影;③肠系膜静脉充盈缓慢;④动脉痉挛;⑤受累肠段强化时间延长等征象。

### 三、肠血管畸形

肠血管畸形(intestinal vascular malformation),又称肠血管发育不良或结构不良(intestinal angiodysplasia),以往称血管扩张症、错构瘤以及末端毛细血管扩张症。

#### 【临床概述】

近年来发现肠血管畸形为下消化道出血的常见原因之一。肠血管畸形可分为先天性和后天性,可发生在胃肠道的任何部位,但多见于右半结肠和小肠。

Moore等将本病分为3个类型。I型:孤立型,肠黏膜血管畸形,好发于盲肠和右半结肠,发病年龄较大,是一种后天获得性血管畸形;II型:好发于小肠,病灶较大、较广泛,属先天性肠血管发育畸形,考虑为错构瘤,常见于青年人;III型:罕见,即遗传性出血性毛细血管扩张症,可位于肠道任何部位,常伴有皮肤、黏膜血管扩张症。

#### 【病因】

I型病因目前尚未完全明了,属老年人特异性疾病,一般认为其发病机制是肠壁张力升高使黏膜下静脉血液回流受阻,致使毛细血管前动静脉短路形成、血管扩张,导致后天性血管退行性变,因右半结肠壁张力高而成为好发部位。一般认为病变发展累及黏膜后破溃出血。

#### 【影像学表现】

肠血管畸形常见CTA特征可归纳为以下几点。①动静脉瘘和动脉期静脉早显,动静脉瘘出现在动脉早期呈“双轨征”,提示动静脉有沟通。静脉早显出现在动脉相晚期和静脉相早期。②局部异常增多血管丛,动脉期显示末梢血管呈密集排列或杵状扩张,血管结构紊乱呈蔓状或乱麻状改变。③局部明显强化,出现在动脉期或实质期,而且持续时间较长,动脉期时病变肠段在正常肠段衬托下呈一轮廓较清楚的高密度影,提示出血外渗。④静脉期显示系膜缘肠壁内静脉扩张、迂曲,提示黏膜下静脉扩张。

当小肠发育过程中,如果小肠旋转不良,肠系膜血管同样会产生旋转不良(图21-18)。

### 四、蓝色橡皮大疱样痣综合征

蓝色橡皮大疱样痣综合征(blue rubber bleb nevus syndrome, BRBNS)为少见疾病,其临床特征为皮肤胃肠道多发性血管瘤,可累及肝脏,引起肝毛细血管瘤,胃肠道血管瘤可引起消化道出血。由于皮肤血管瘤呈橡皮乳头状,故将其命名为蓝色橡皮大疱样痣综合征,1958年由Bean首先描述,因此又称Bean综合征。

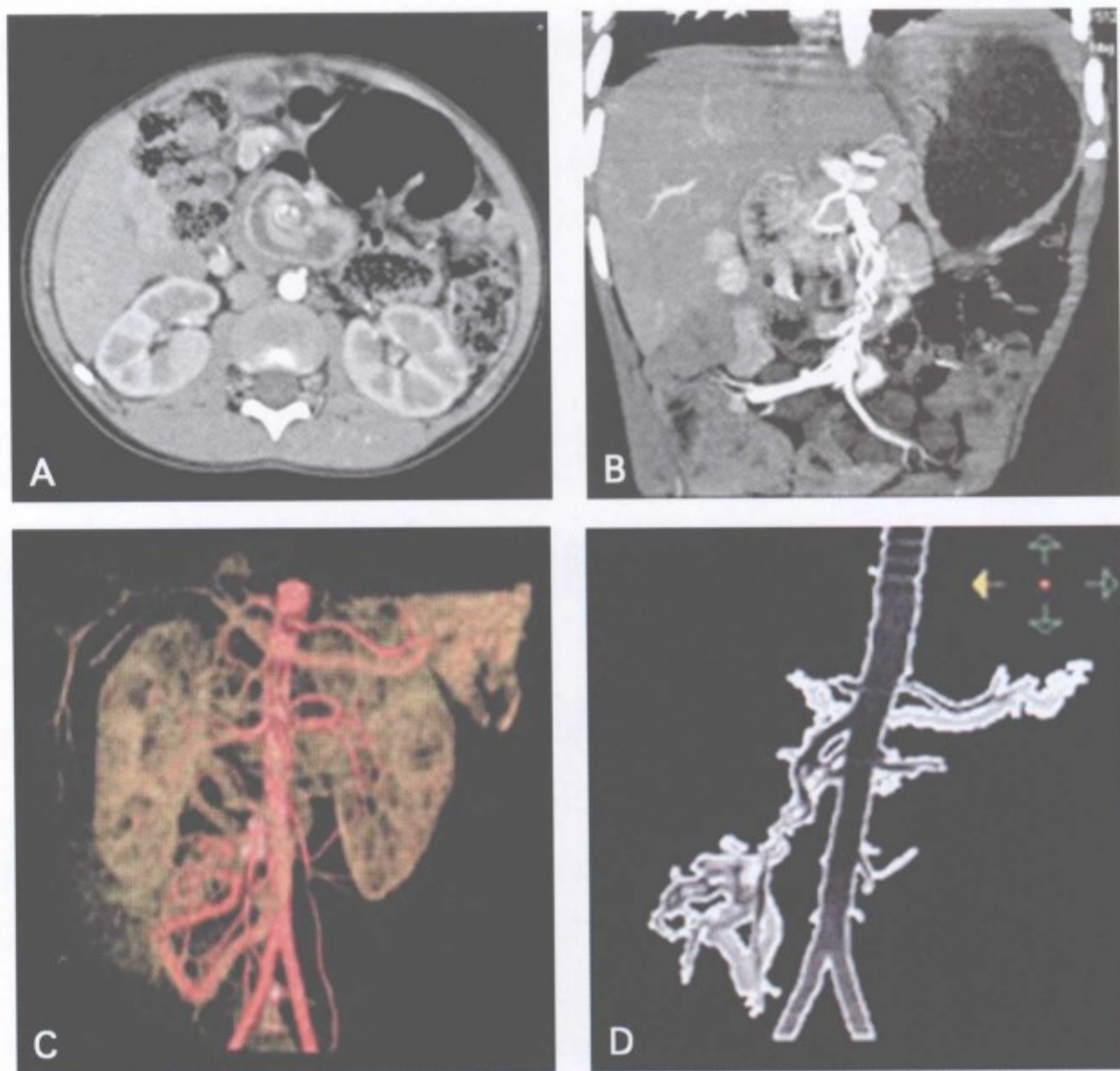


图 21-18 肠系膜血管旋转不良

### 【临床概述】

本病病因不明,可能与遗传有关,表现为常染色体显性遗传,但多为散发性。皮肤血管瘤出生后或童年时即可发现,该血管瘤数目由单个至数百个不等,其数目及大小可逐渐增加,不能自行萎缩,可见于任何部位,以躯干及四肢多见,表现为皮内及皮下紫蓝色突出的异常血管,质地似软橡皮,可压缩,压力解除后立即恢复,组织学可见成团扩张的毛细血管,管腔被覆薄层内皮细胞。内脏血管病变多见于胃肠道,小肠的损害较大肠多见,可位于黏膜下,也可突出于肠腔内,常有隐匿或间歇性少量出血引起反复黑粪及贫血,急性出血时则表现为呕血、便血或黑粪,手术所见肠道血管瘤均位于小肠,内镜下典型表现为孤立的黏膜上结节,中央呈紫红色小帽状,似乳头,有时也可呈扁平状或息肉状隆起,出血时行选择性血管造影可显示出血部位、性质及数目,血管瘤也可见于其他脏器,如鼻咽部、眼、胸腹膜、心包、肺、食管、肝、脾、骨骼肌、肺和中枢神经系统、泌尿生殖系统等。本病一般不发生恶变,消化道出血是其致死的主要原因。

### 【影像学表现】

诊断本病的重要性在于可以发现一些不能解释的肠道出血性疾病。若胃肠道出血患者,CT、

DSA 或内镜发现胃肠道、肝脏多发血管瘤,并伴有皮肤等部位多发血管瘤存在,应考虑本病。

本病需要与伴有胃肠出血的皮肤病相鉴别。① Osler病(遗传性出血性毛细血管扩张症),有口唇和手背部集簇细小的毛细血管扩张损害和出现鼻出血;② Maffucci综合征,有软骨发育障碍表现;③ 巨型血管瘤伴血小板减少症(Kasabach-merritt syndrome)及黑色素斑-胃肠道息肉病等,借助以上临床特征可与本病加以鉴别。

(谢淑飞 刘再毅 刘于宝)

## 第五节 胰腺CT血管成像

### 一、胰腺血管成像技术

#### (一)常规检查

1. 扫描前准备 检查前准备同其他上腹部检查,为获取较佳对比,宜空腹4~8h,检查前半小时口服600~800ml水以充盈胃肠道。不宜口服阳性对比剂,以避免干扰增强后血管的后处理重组。

#### 2. 扫描参数的设定

(1)平扫:常规上腹部平扫,初步了解上腹部情况,具体可根据不同的多层螺旋CT机的设备设定扫描参数。

(2)增强扫描:CTA图像是否优质,增强扫描各因素的合理选择是其关键,这些因素包括对比剂的浓度、用量、注射流率及扫描的时间窗选择。

(3)对比剂的总用量及注射速率的选择:使用对比剂的目的是增加靶血管与周围组织之间密度差,两者间的差值越大,重组的CTA图像质量越优。对比剂浓度越高、用的总量越大、注射流率越快,靶血管或实质脏器的增强的效果就越显著。较高浓度的对比剂和较高的注射流速使得单位体积内碘的含量增高,从而增加靶血管内的CT值;较大的对比剂量有助于血管内较长时间维持有效碘对比剂浓度。因此,为了获取最佳的对比效果,以采用高浓度、高剂量、高注射流速为最佳。但在临床上,胰腺的病变以胰腺癌及胰腺炎多见,胰腺炎是一个影响多器官的疾病,大剂量对比剂的使用,是否会引起胰腺炎症状的加重及进一步诱发对比剂肾病是临床医生需要关注的问题。而胰腺癌好发于中老年人,血管脆性增加,注射流率过高,易引起注射部位血管破裂而导致注射失败。因此在具体应用中,需个体化处理。多数文献推荐使用以1.5ml/kg计算,总量为80~120ml。目前使用的对比剂以碘浓度为370mg/ml和320mg/ml为宜。观察胰腺肿瘤是否侵犯血管,注射流率可用3~5ml/s。

(4)增强扫描时间窗的选择:扫描分为动脉期、胰腺期、门静脉期。对于每期相扫描时间最佳选择,已引起国内外许多学者的重视,但有关胰腺扫描最佳时间窗及对比剂的注射条件等一系列问题尚未达成共识。因为年龄、体重因素都有可能造成患者血液循环时间的不同,进而影响多期增强扫描最佳延迟时间的设定。多层螺旋CT多期增强扫描各期延迟时间的设定必须随对比剂总量



及注射流率的不同而异。在靶血管或靶器官强化达峰值时启动扫描,就会增加对比组织之间的密度差,使靶血管及病变显得更加明确,与周围结构关系更加清晰。然而不同对比剂总量及注射流率,胰腺与肝脏实质,胰周动、静脉强化峰值时间各不相同。当胰周动脉强化峰值到达时,胰周静脉亦大多显示,从而使胰周小动、静脉不易分辨。因此为使胰周动、静脉分别成像,有必要在动脉达一定强化幅度而胰周静脉尚未明显强化时启动扫描。有作者推荐,对比剂总量为120ml,注射流率为5ml/s时,动脉期延迟时间为20s,胰腺期延迟时间为45s,肝脏门静脉期延迟时间为65s;对比剂总量为90ml,注射流率为3ml/s时,动脉期延迟时间为25s,胰腺期延迟时间为50s,肝脏门静脉期延迟时间为65s。

动脉期图像可观察到扫描范围内腹腔动脉及其2~3级分支、肠系膜上动脉及主要分支,对胰周主要动脉血管有较高的显示率,可以了解血管的起源位置和走行路线,确定有无变异,明确肿瘤对动脉血管的侵犯情况等。门静脉期图像可观察到门静脉主干、门静脉属支及其汇流类型,确定肿瘤是否侵犯门静脉、脾静脉及肠系膜上静脉及其属支,侵犯的程度、大小、部位等,部分胰头静脉弓的细小静脉血管如胃肠干、胰十二指肠上前后静脉也可显示。

## (二) CTA 的后处理技术

血管重组图像主要在独立的工作站进行。对各期的扫描原始资料进行二次图像重组,一般重组层厚为1.25~3.0mm,重组间距为0.7~1.5mm。根据需要确定进行重组的范围。不同的厂家虽然重组软件版本不尽相同,但重组方法基本相似。目前常用于胰腺CTA重组方法主要有容积再现重组(VR)、最大密度投影法(MIP)和多平面重组(MPR)。其中MPR包括平面重组和曲面重组。平面重组可进行冠状位、矢状位及任意角度的平面重组。曲面重组是沿着划定轨迹重组出单体素的曲面图,可以将弯曲的血管重组在一个断面上显示。

## 二、胰腺的血管解剖

### (一) 胰周血管解剖

胰腺周围的血管较多,动脉主要有腹腔干、肝总动脉、胃十二指肠动脉、肠系膜上动脉、脾动脉(图21-19)。静脉主要有门静脉、肠系膜上静脉、脾静脉、下腔静脉、左肾静脉等(图21-20)。

### (二) 胰腺直接供血血管

1. 胰腺的动脉供应 胰腺的血液供应比较丰富,主要来自腹腔干动脉的分支及肠系膜上动脉的分支。直接供应胰腺的血管主要有4条:胰十二指肠动脉、胰背动脉、胰下(横)动脉和胰大动脉,另外还有胰尾动脉(图21-21)。胰头部的血液供应主要由胰十二指肠动脉弓供应。胰十二指肠动脉弓由上前、上后、下前、下后4条动脉分别吻合形成,形成前、后两弓,分支供应十二指肠的第二、三、四部及胰腺头部。动脉弓一般完整,但少数情况下可不完整。

(1)胰十二指肠上前动脉:由胃十二指肠动脉在十二指肠第一部下缘处分出,向下跨过胰头走向

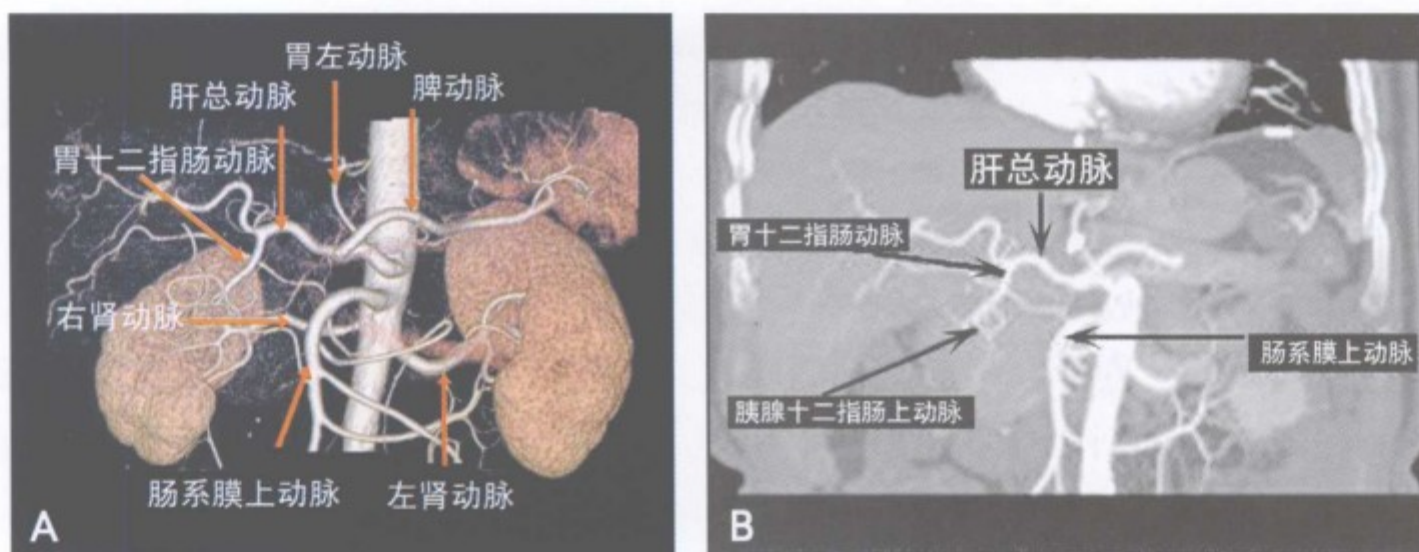


图 21-19 胰腺周围的动脉

VR(A)及MIP(B)重建：立体显示胰腺周围的主要动脉血管及其分支

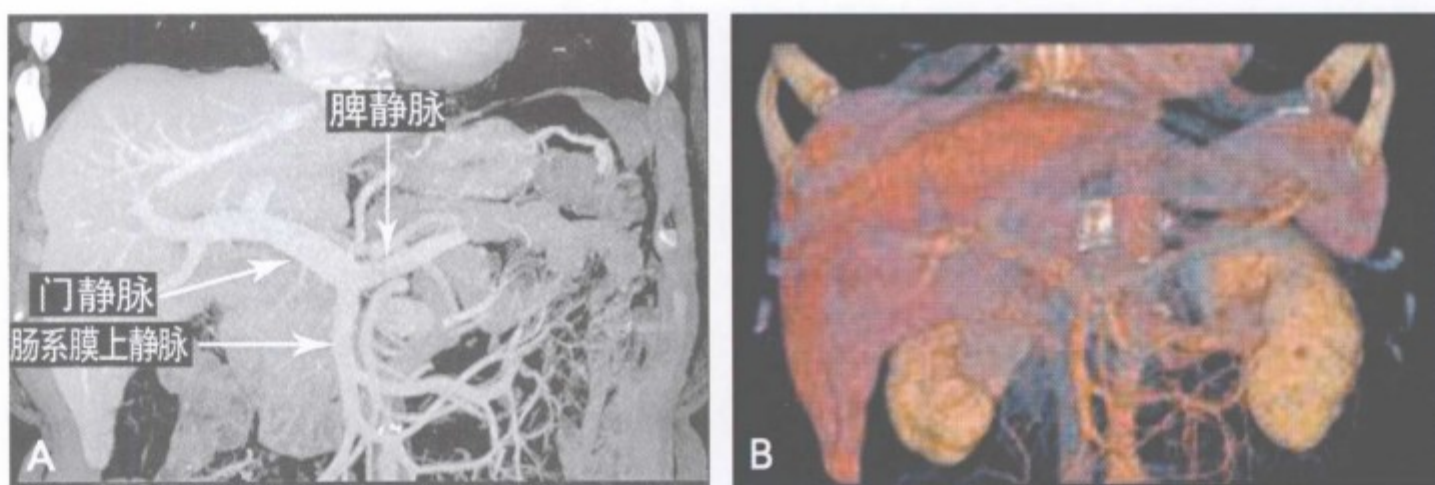


图 21-20 胰腺周围的静脉

门静脉期MIP(A)及VR(B)重建：清晰显示胰腺周围的静脉及其关系

十二指肠第二、三部交界处,可位于胰头表面,也可部分埋入胰头中。胰十二指肠上前动脉偶可起自肠系膜上动脉,或为胰十二指肠下动脉的一大分支所替代。

(2)胰十二指肠上后动脉:常为胃十二指肠动脉第一条分支,在胰头上缘以上,十二指肠的第一部的上方或后面水平发出。如果胃十二指肠动脉位于胆总管左侧,胰十二指肠上后动脉发出后即跨过胆总管前面到达胰头后面,向左下沿十二指肠曲曲行,再跨过胆总管的后方,向下与胰十二指肠下后动脉吻合成后弓。胰十二指肠上后动脉偶可起自肝动脉,发自肠系膜上动脉的肝右动脉、胰背动脉。

(3)胰十二指肠下动脉:在胰颈下缘平面发自肠系膜上动脉或第一支空肠动脉,而后再分为前后2支,也可分别起始。胰十二指肠下前动脉向右穿过胰头部,再转向上至胰头浅处与胰十二指肠上前动脉吻合,胰十二指肠下后动脉向外穿过胰头或经过其表面,与胰十二指肠上后动脉吻合。

(4)胰背动脉:常直接起自腹腔动脉、肝动脉或脾动脉的起始部,也可起自肠系膜上动脉、主动脉或膈下动脉,在胰腺体部或颈部后方下行,通过脾静脉的后方分为左右支,右支至胰头与胰十二指肠

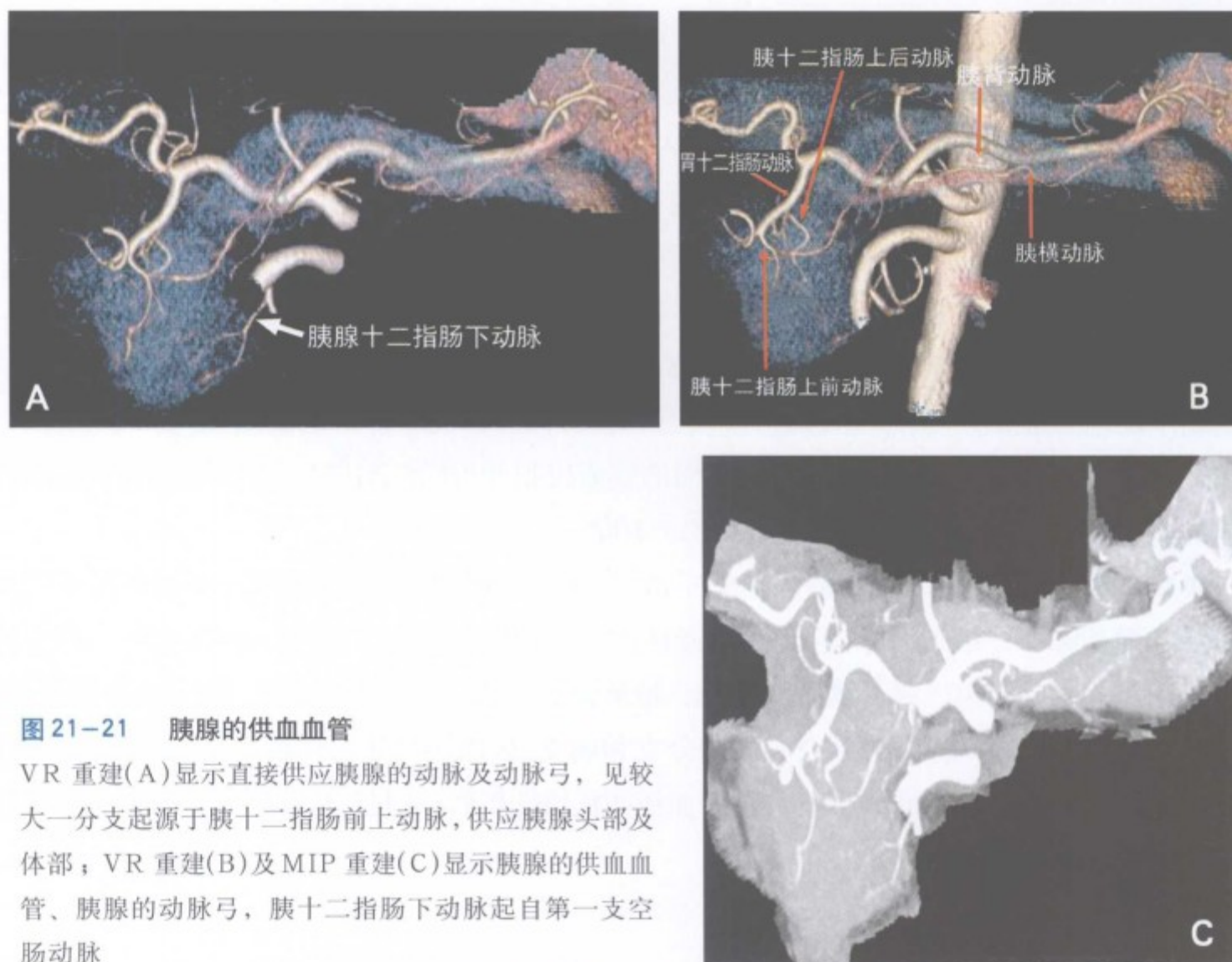


图 21-21 胰腺的供血血管

VR重建(A)显示直接供应胰腺的动脉及动脉弓,见较大一支起源于胰十二指肠前上动脉,供应胰腺头部及体部;VR重建(B)及MIP重建(C)显示胰腺的供血血管、胰腺的动脉弓,胰十二指肠下动脉起自第一支空肠动脉

前动脉弓吻合,左支即胰下(横)动脉。胰横动脉沿胰腺下缘向左,供应体部及尾部,并与发自脾动脉的分支吻合。脾动脉在沿胰腺上缘的行程中发出数支胰上动脉供应胰腺体尾部,其中进入胰腺左中1/3交界处的一支较大,叫胰大动脉,至胰尾部的分支有时出现,叫胰尾动脉。胃网膜左动脉或脾动脉终支也可有分支供应胰尾。

2. 胰腺的静脉回流 胰十二指肠上前静脉汇入胃网膜右静脉。胰十二指肠上后静脉直接汇入门静脉,常经过胆总管的后方,也可随动脉通过胆总管的前方。胰十二指肠下静脉常汇入肠系膜上静脉,少数汇入脾静脉或肠系膜上静脉的属支。胰下静脉多汇入肠系膜上或下静脉。胰上静脉分段汇入脾静脉。

### 三、胰腺三维血管成像在临床中的应用

#### (一)CTA对胰腺癌的术前分期及可切除性的评估

胰腺癌手术具有较高的致死率及各种各样的围手术期并发症,胰腺癌除了需早期诊断、提高检出率,还需准确判断肿瘤分期及可切除性,避免不必要的手术。在关于胰腺癌诊断进展中最主要的问题是判断患者是否能进行外科手术切除或者因为不可切除而避免不必要的手术。胰腺癌手术可切除

性的评估已经成为临床诊断的焦点,胰腺癌不可切除的因素包括胰周侵犯、血管受累、腹腔种植、淋巴结和肝转移。在没有远处转移的情况下,胰周血管受累与否和受侵犯程度是决定可切除性的重要因素。其中肿瘤对周围血管侵犯的术前评估对肿瘤的可切除性评估尤其重要。既往胰腺癌手术可切除性判断准确性不高,除了由于普通CT对直径<2cm的肝脏转移灶或肝脏表面小转移灶的低敏感性外,对胰周血管受侵犯的低估也是其重要原因之一。多层螺旋CT及其CTA较准确地显示了肿瘤与邻近血管的空间关系,因此提高了肿瘤局部手术可切除性评估的准确性。有文献指出,CT动态增强扫描对胰周血管受侵犯的显示较介入血管造影更准确。目前螺旋CT动态增强扫描完全取代了胰腺癌术前血管造影。文献报道螺旋CT动态扫描对门静脉受累评价的准确度为76%~84%,对胰周动脉受累评价的准确度为81%~84%,对肿瘤的胰周侵犯评价的准确度为72%~88%;对手术可切除性评估的敏感性为53%~91%,特异性为90%~100%。

1. 胰腺癌侵犯的血管 胰腺周围血管丰富,发生在不同胰腺部位的肿瘤,可能累及不同血管。胰头癌常以累及胃十二指肠动脉、胰十二指肠动脉、肠系膜上动脉、门静脉、肝总动脉、下腔静脉为多见(图21-22);胰体癌常以累及腹腔干动脉、肠系膜上动脉、脾动脉、静脉、腹主动脉和肾静脉为多见;胰尾癌主要累及脾脏动、静脉及其周围分支和属支。胰周小静脉出现扩张是因肿瘤侵及胰腺表面的静脉,未受侵犯的小静脉引流胰腺大部分血液而代偿性扩张,或是门静脉和肠系膜上静脉受侵,使引流属支小静脉扩张所致(图21-23)。

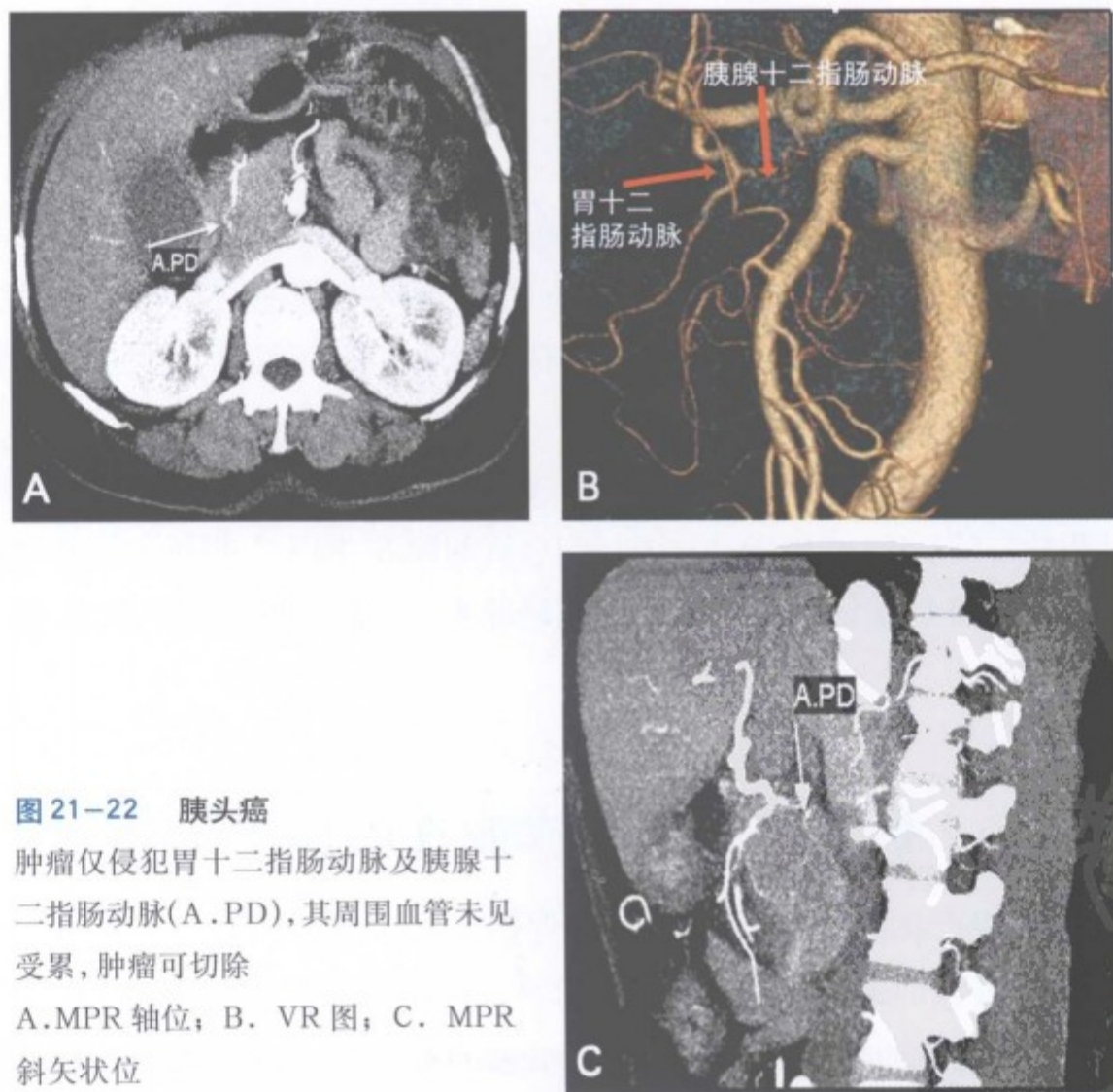


图 21-22 胰头癌

肿瘤仅侵犯胃十二指肠动脉及胰腺十二指肠动脉(A.P.D),其周围血管未见受累,肿瘤可切除

A.MPR 轴位; B. VR 图; C. MPR 斜矢状位

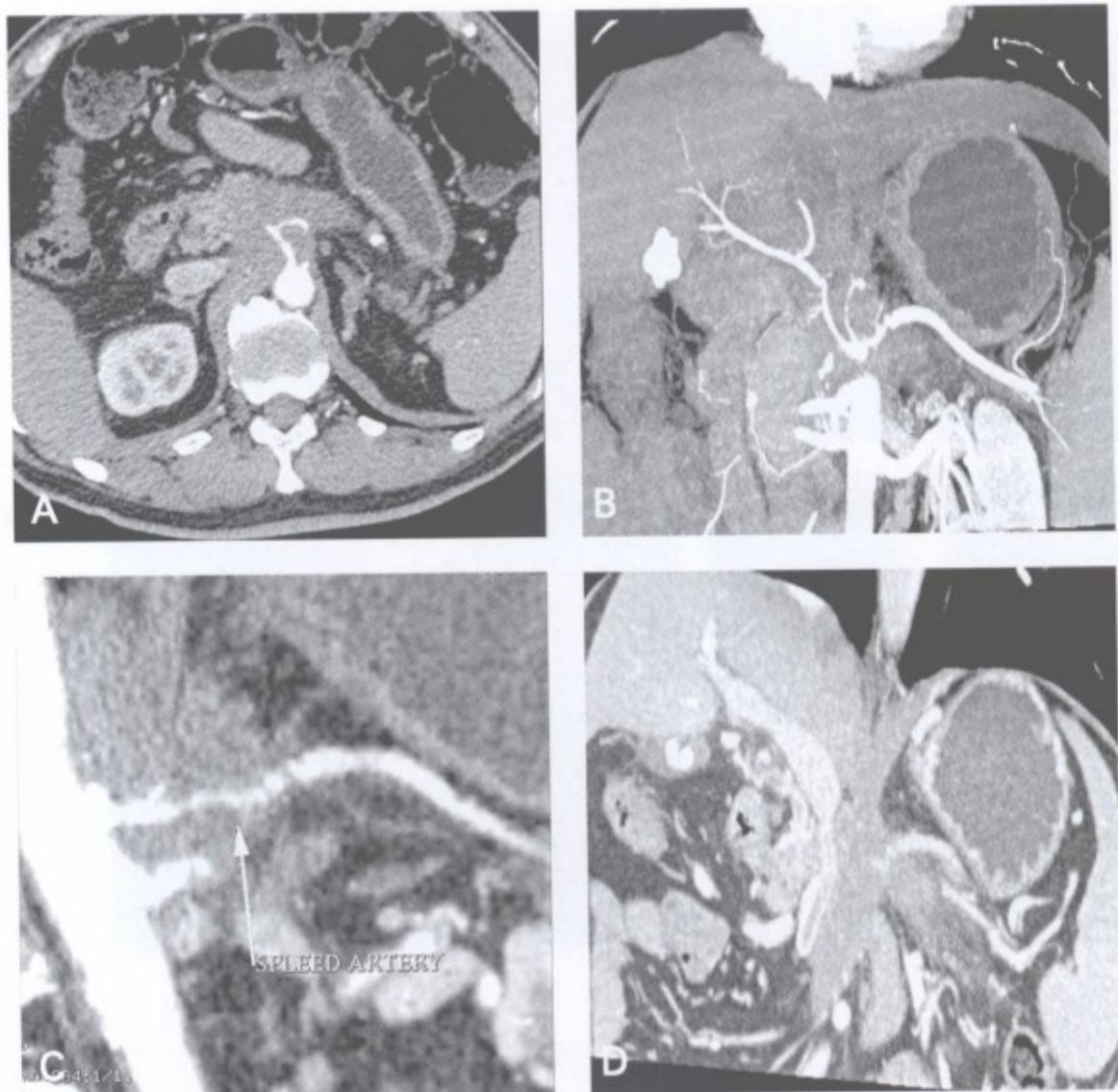
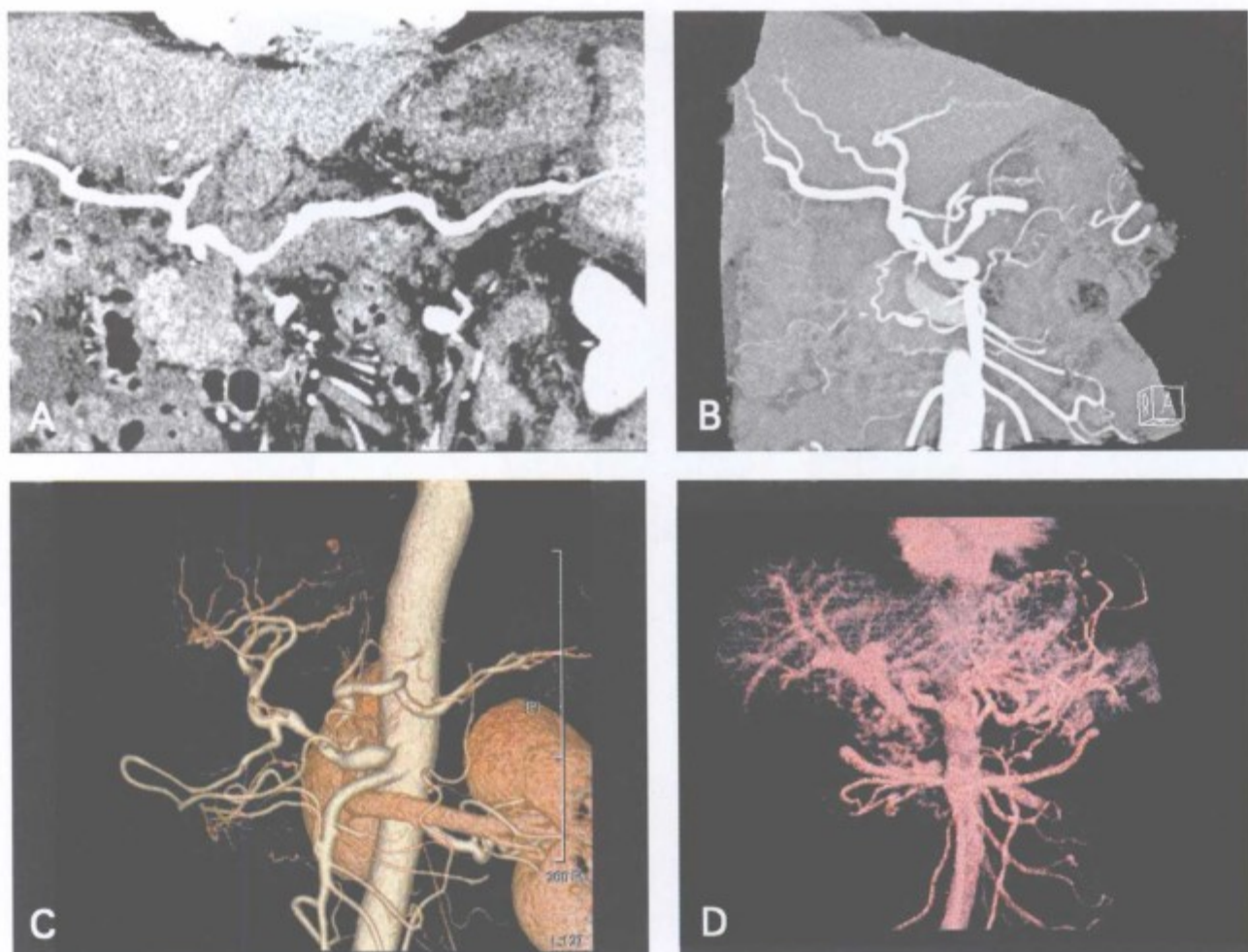


图 21-23 胰头及体部肿瘤

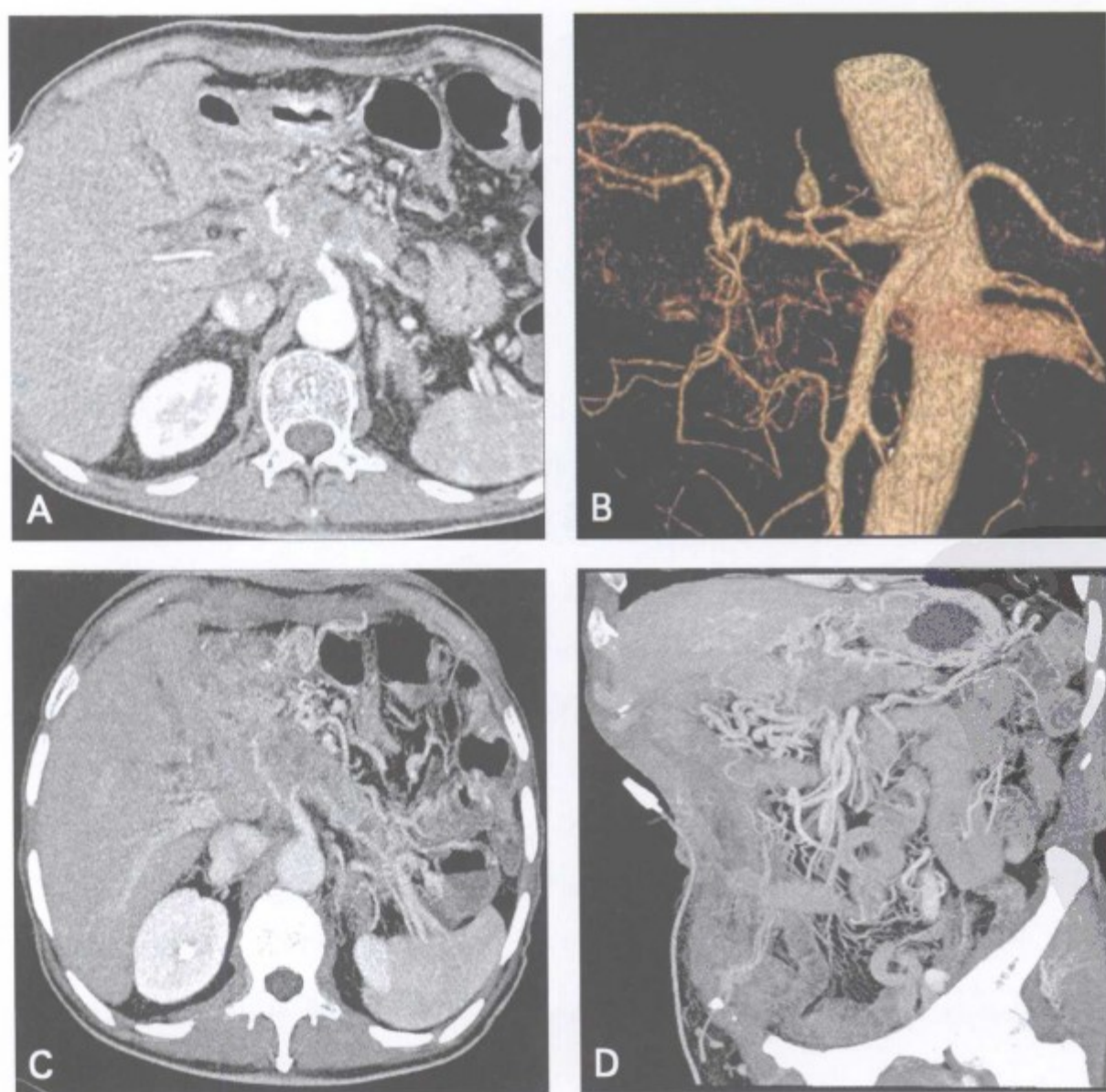
肿瘤包绕腹腔干、肝总动脉、脾动脉,胃左动脉,血管管壁毛糙不整;门静脉、脾静脉及肠系膜上静脉受累,肠系膜上静脉近心端内见癌栓,门静脉起始端管壁不整,管腔狭窄,脾静脉中断

A. 轴位图;B. 动脉期 MIP 重组图;C. 曲面重组图;D. MPR 重组图

2. CTA 评价血管受侵的标准 血管受侵的征象主要有以下几个方面。①直接相贴,胰腺与血管间的脂肪消失;②血管周边不齐、变形,管壁毛糙、不光整,管腔局限性狭窄或明显狭窄(图21-24);③血管截断闭塞,出现充盈缺损;④胰周小静脉回流受阻而扩张(图21-25)。目前有学者将不同CT诊断血管受侵的标准与外科手术进行了对比。其中之一为Lu等提出的根据肿瘤包绕血管的范围分为5级。0级:未包绕;1级:包绕 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ;2级:包绕 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ;3级:包绕 $180^{\circ} \sim 270^{\circ}$ ;4级:包绕 $270^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。通过与手术对照发现,肿瘤包绕血管的范围越大,手术不可切除的可能性越大。以肿瘤包绕血管 $1/2$ 周作为阈值标准,即肿瘤包绕血管小于 $180^{\circ}$ ,肿瘤可手术切除;肿瘤包绕血管大于 $180^{\circ}$ ,肿瘤手术不可切除。CTA的敏感性为84%,特异性为98%。该标准被大多数学者所接受。但有部分学者对2级病例进行研究,发现其有切除的可能性仅为50%。另外一个血管受侵的常用标准是肿瘤区域的血管管径的改变。这个标准须慎用,因为静脉管径可由于肿瘤的推压变窄,却无肿瘤浸润。而动脉虽出现明显的肿瘤包绕,其管径有可能不出现改变。有学者认为CTA图像评价动脉受侵其准确性比轴位图像低。



**图 21-24 胰头癌**  
 动脉期重建显示脾脏动脉近端受侵，管腔狭窄；静脉期显示胰腺主要静脉受累，周围见大量迂曲的小静脉显影  
 A. 曲面重组图；B. 动脉期 MIP 重组图；C. VR 动脉期重组图；D. 静脉期 VR 重组图



**图 21-25 胰头癌**  
 肿瘤累及周围动、静脉。  
 A. 轴位显示肿瘤组织包绕血管；B. VR 清晰显示胰腺周围的动脉受侵，管腔粗细不均，明显不规则狭窄；  
 C. 与 D. 静脉期轴位及 MIP-3D 重组图像显示门静脉、脾脏静脉受累及，胰周围小静脉明显扩张

3. 不同重组方法的比较 容积再现重组(VR)、最大密度投影法(MIP)、多平面重组(MPR)是最常选择的图像重组技术。MIP图像对血管内部结构和肿瘤的全貌的显示较优,但是由于MIP图像重组是取投射射线所经过路径的最大像素成像,一些中低密度的软组织结构很容易相互干扰或受CT值较高的血管和骨骼结构的遮盖而不能显示。因此在MIP图像上无法区分重叠的血管,胰腺肿瘤与相邻血管间的关系受上述因素的影响难以精确地反映。

MPR虽不能完整显示肿瘤和血管的形态,但MPR可以自由选择所需要的容积范围,在任意切面上进行图像重组,从而能够将病变区以外的图像信息排除在重组平面以外,直观显示病变区局部解剖信息,但能较精细地显示胰腺癌与局部相邻血管的关系。MPR重组图像可提供任意视角的观察,可多角度旋转和多层次重组,并结合横断面图像,有利于清晰显示肿瘤累及胰周血管的部位、范围及程度,对肿瘤与周围血管关系以及血管受侵程度进行较为精细的评判。

VR技术成像可同时显示胰腺、肿瘤和血管,能够立体观察肿瘤与血管的空间位置关系,立体感较强,医生所关注的解剖变异能清楚地显示出来,但对血管受侵程度难以精确显示。

总之,在胰腺癌CTA重组中,多种重组技术的应用,并结合原始轴位图,不但能清晰地显示胰腺、肿瘤和血管三者间的关系,而且能清晰显示肿瘤累及胰周及血管的精细情况,对胰腺癌的术前分期及可切除性做出准确的判断。

## (二) 急性胰腺炎所致的胰周血管性病变

1. 临床及病理 急性胰腺炎是常见的急腹症之一,其严重程度及死亡率与出血、血管并发症、假性囊肿或脓肿等并发症的发生与否密切相关。而出血及血管并发症是胰腺炎最严重的并发症之一。其形成机制是急性胰腺炎释放出的胰酶侵蚀胰腺周围的血管,致血管破裂出血,被纤维组织包裹后引起静脉阻塞或假性血管瘤。静脉血栓是最常见的血管并发症。被累及的静脉以脾静脉最常见,其次为门静脉及肠系膜上静脉(图21-26)。脾静脉由于最接近胰腺,故发生静脉血栓的机会最多,可伴行胃短动脉及胃网膜动脉扩张,在因胰腺炎诱发脾静脉血栓所致的胃底静脉曲张中,4%可伴发曲张静脉出血。假性动脉瘤较少见,被累及血管以脾动脉最常见,其次为胃十二指肠动脉和胰十二指肠动脉及其分支,肝动脉、肠系膜上动脉等少见。假性动脉瘤破裂出血是最危急的并发症,其发生率为4%~10%。血管CTA不但可明确假性动脉瘤的诊断,而且可明确病变的部位、范围及血供情况。对本病的诊断敏感性达100%。

2. 影像学及CTA表现 静脉血栓以与胰腺邻近的脾静脉及肠系膜上静脉多见,平扫密度接近或略高于主动脉密度。多为沿管壁爬行的偏心性血栓,增强后呈条片状充盈缺损。

假性动脉瘤多为边界清晰的圆形或类圆形肿块,平扫可见弧条形的瘤壁钙化,强化明显,其强化幅度接近腹主动脉,并与胰周动脉关系密切,病灶可与胰腺假性囊肿相连。CTA成像可较好地显示假性动脉瘤的部位、大小、形态等情况(图21-27~21-29)。

## (三) 胰腺移植

随着外科胰腺移植技术的进展,移植后1年存活率已提高到95%。胰腺移植中约90%同时进行肾脏移植。随访中,必须了解胰腺移植外科手术的方式和术后解剖的影像表现,从而诊断出术后并发

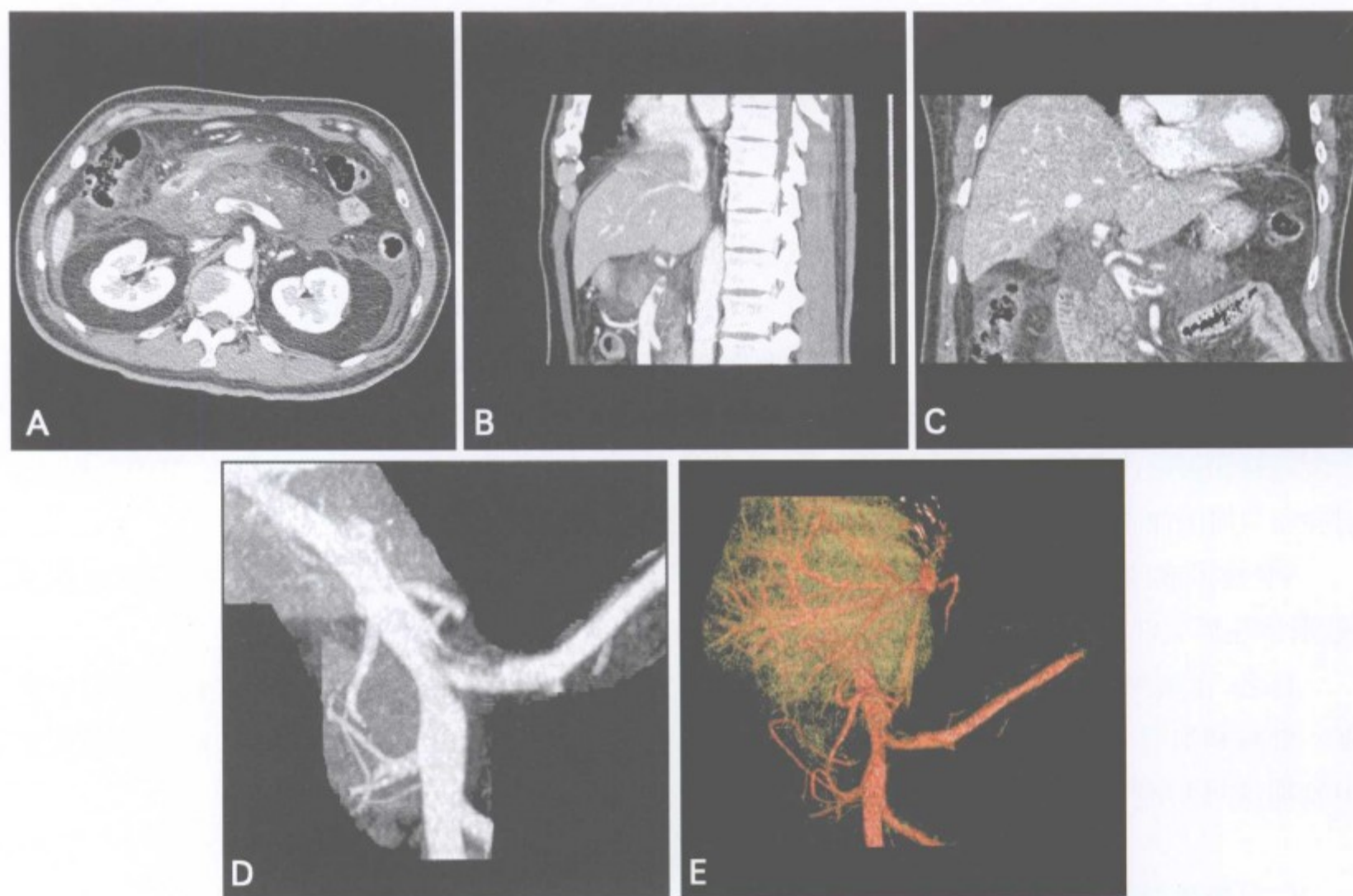


图 21-26 急性胰腺炎

脾静脉、肠系膜上静脉汇合处血栓形成,增强扫描形成偏心性充盈缺损

A. MRP 轴位;B.MRP 矢状位;C.MRP 冠状位;D.MIP-3D;E.VR 重组图

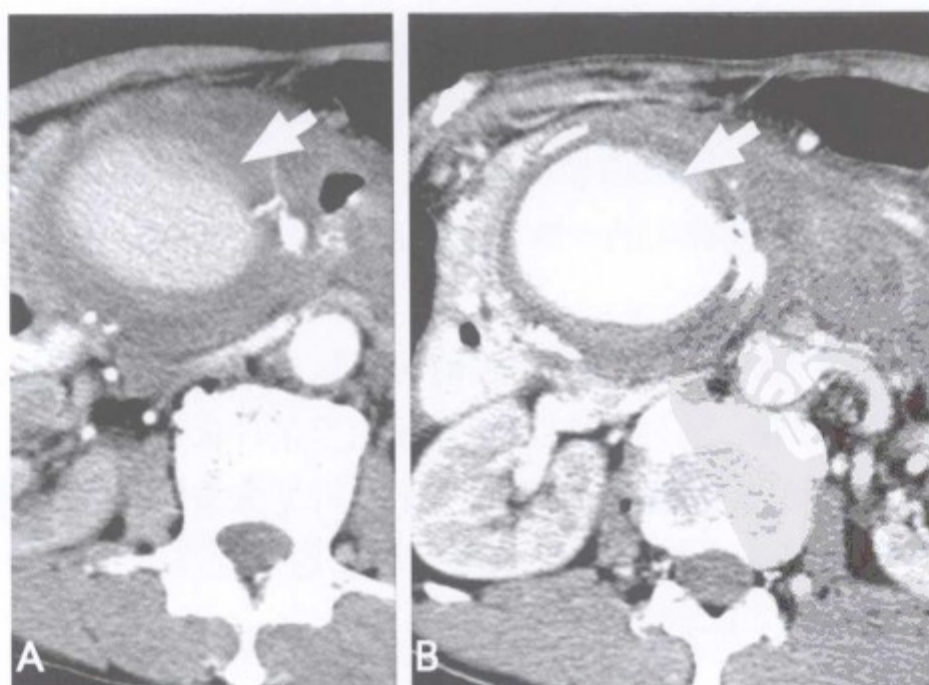


图 21-27 急性胰腺炎后胃十二指肠动脉假性动脉瘤形成

动脉期见圆形强化明显的肿块,持续强化,幅度与主动脉接近,肿块发自胃十二指肠动脉



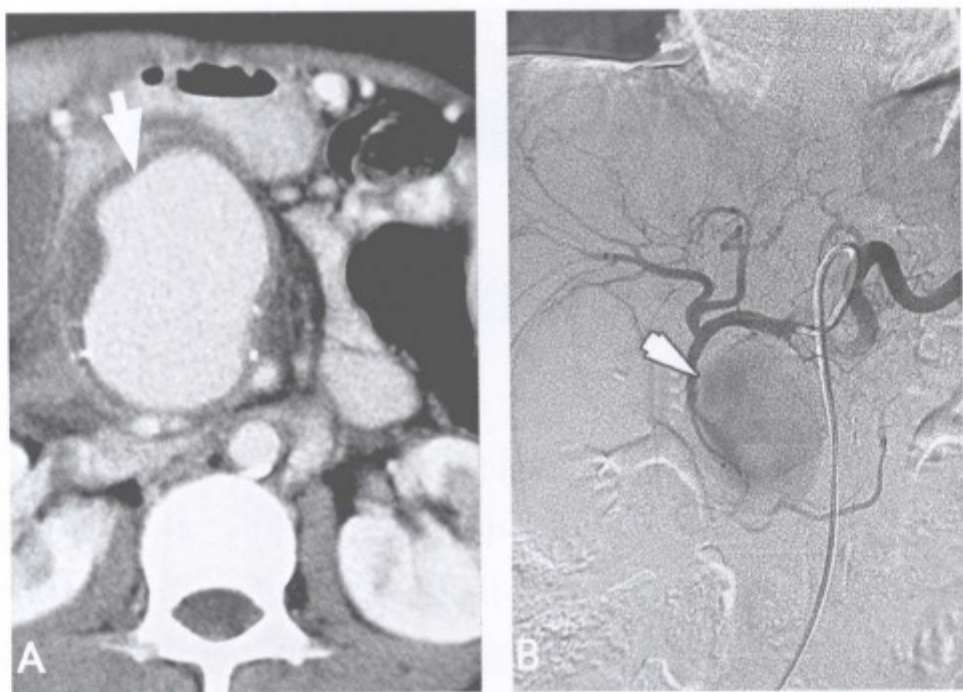


图 21-28 急性胰腺炎后胰十二指肠上动脉假性动脉瘤形成  
横断位显示假性动脉瘤瘤腔, DSA 造影显示动脉假性动脉瘤起源胰  
十二指肠上动脉

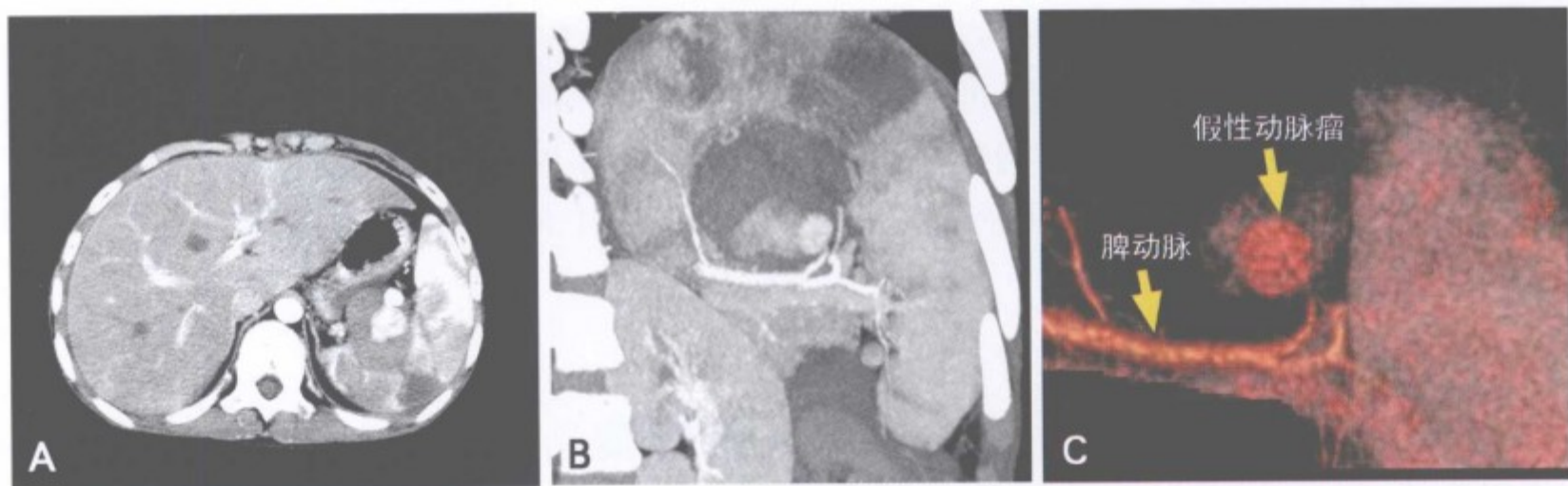


图 21-29 急性胰腺炎后脾脏假性动脉瘤  
A. 轴位图示脾门区假性动脉瘤瘤腔, 大量血栓形成; B. MRP 重组图显示假性动脉瘤起源于脾动脉; C. VR 重  
重组图立体显示假性动脉瘤与脾动脉的关系

症。发症包括血管血栓、胰肠吻合口瘘、水肿、脓肿、胰腺炎及假性囊肿等。增强多层螺旋 CT 对术后并发症能明确诊断, 三维 CTA 重组清晰显示移植后的动静脉解剖情况。

(谢淑飞 梁长虹 刘再毅)

## 第六节 脾血管CTA

### 一、脾血管解剖

#### (一)脾动脉解剖

脾动脉的一级分支多为2支(即脾上叶动脉和脾下叶动脉),而且在入脾门前又分出3~8支二级动脉(即脾段动脉)。这样每个脾可分为若干个叶和段,大部分为2叶4段型,少见的有3叶6段型、3叶4段型。2叶4段型绝大部分由脾上叶动脉发出脾上段动脉和脾中上段动脉,脾下叶动脉发出脾中下段动脉和脾下段动脉,供应所属的脾段。脾极动脉分上极支、下极支,且上、下极动脉支绝大多数供血给上、下段的一部分,并非为段动脉支。脾叶动脉长约为脾长的1/4,且脾段动脉更靠近脾门。相邻脾叶或脾段之间的血管吻合较少,仅有交错和重叠现象,这种现象在脾叶间尤其明显,所以此处有“相对无血管区”之称。

脾切迹多为2~4个,且其延长线与脾长轴垂直,位于脾叶或脾段的分界面,因而脾切迹可视为脾叶或脾段的表面分界。

#### (二)脾静脉解剖

脾静脉在脾门处由数条脾支静脉血管集合而成,沿胰后面于脾动脉的下方向右行,与肠系膜上静脉汇合,构成肝门静脉,在与肠系膜上静脉汇合前,接受肠系膜下静脉和胃后静脉的血液。脾静脉的属支有肠系膜下静脉、胰腺静脉、胃网膜左静脉、胃冠状静脉等。以上属支注入脾静脉的部位变异极大。肠系膜下静脉大多注入脾静脉,而注入处仅相距门静脉角( $1.80 \pm 0.51$ )cm,且有36%注入门静脉角或肠系膜上静脉。

### 二、脾动脉病变

#### (一)脾动脉真性动脉瘤和假性动脉瘤

由于脾动脉的动脉壁某一段局限性结构异常、薄弱或受到创伤后,致使该段动脉持久性扩张、膨出而形成动脉瘤。可分为两型。①真性动脉瘤,其动脉壁完整,由于其结构异常或薄弱而形成瘤样扩张;②假性动脉瘤,因外伤致动脉管壁破裂,周围形成血肿,瘤壁由纤维组织包裹而形成,瘤腔与动脉管腔相通。

1.脾动脉真性动脉瘤 在内脏动脉瘤中脾动脉瘤相对多见,其次为肝动脉和肠系膜上动脉。脾动脉瘤形成的原因目前还不清楚,有学者认为门静脉高压能促使动脉瘤的形成。病理显示瘤壁内膜和中膜增厚伴纤维化、玻璃样变,提示动脉壁有薄弱的现象。

脾动脉瘤可以发生在各个年龄段,最好发于50~60岁,女性较常见,脾动脉瘤患者通常无症状,有时可闻及杂音或触及搏动性肿块。脾动脉瘤破裂是最主要的并发症,导致腹腔内大出血,主要表现为

急性左上腹疼痛和休克。脾动脉瘤破裂的发生率为3%~10%，大的动脉瘤破裂的发生率高达28%，95%的脾动脉瘤破裂发生在怀孕期妇女。

大多数脾动脉瘤为单发，呈囊状，位于脾动脉的中远段，直径<3cm。左上腹脾动脉走行区有环形钙化是脾动脉瘤的平片表现，但有时与迂曲的脾动脉壁钙化相混淆。CT平扫显示为边界光整的低密度肿块，伴或不伴有壁的钙化。增强扫描显示为特征性的、与动脉同步强化的影像。如瘤内有血栓形成，显示充盈缺损。能实现术前无创性诊断和观察动脉瘤与脾动脉的关系。在诊断方面，螺旋CT完全可以替代血管造影(图21-30)。

影像学检查的目的除了明确动脉瘤的诊断以外，还有助于了解动脉瘤在脾动脉的起始位置、是否同时有其他内脏动脉瘤以及脾动脉瘤是否为多发。

2. 脾动脉假性动脉瘤 脾动脉假性动脉瘤多为胰腺炎的并发症。急性或慢性胰腺炎均可并发脾动脉假性动脉瘤，以慢性胰腺炎多见。其发生机制为胰液或炎症侵蚀脾动脉并致其破裂，血液通过破裂处进入周围组织并形成血肿，血肿机化后被纤维组织包裹而形成假性动脉瘤。胰腺炎并发脾动脉假性动脉瘤最常见(45%)，其次为胃十二指肠动脉和胰十二指肠动脉及其分支。

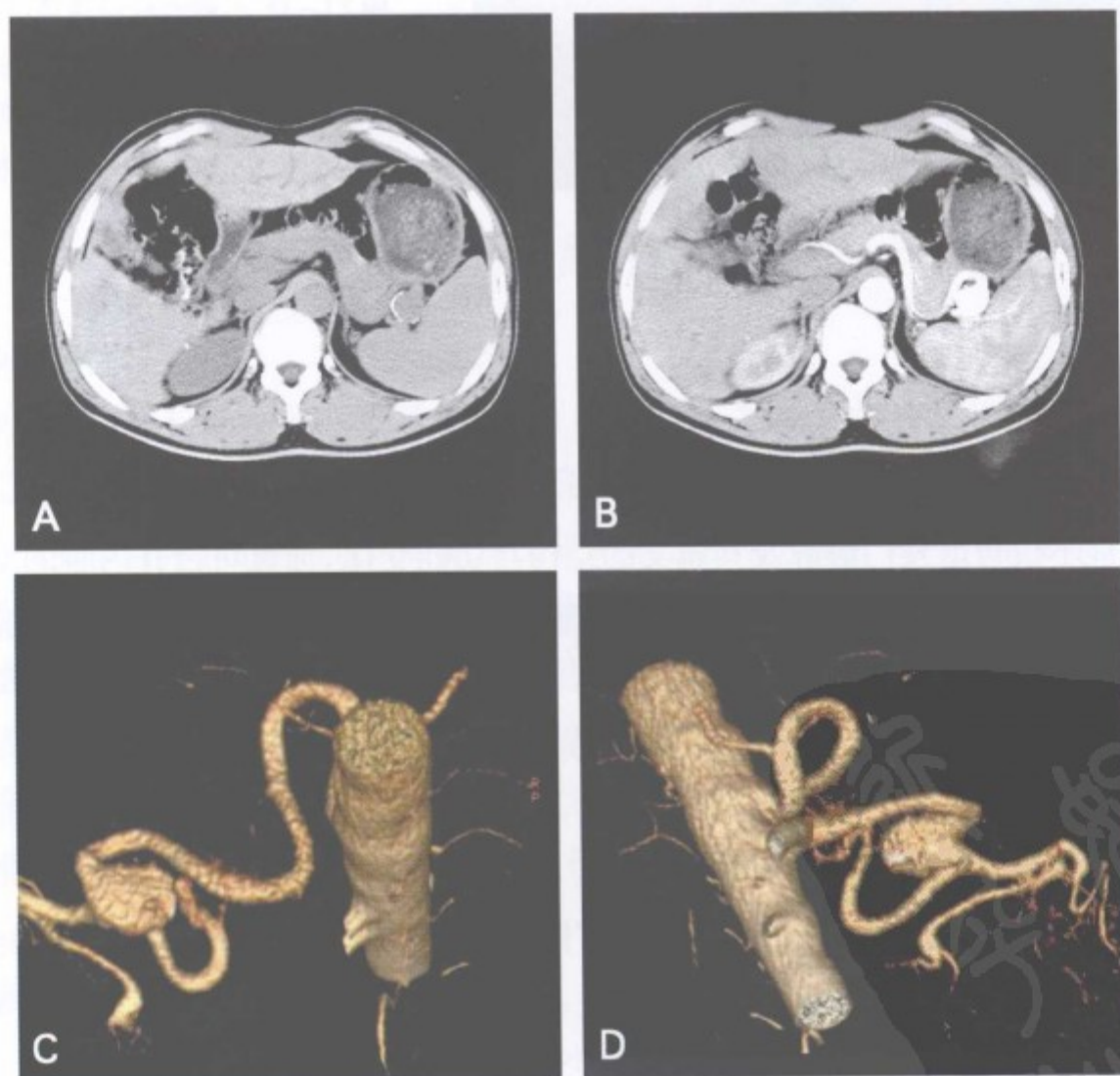
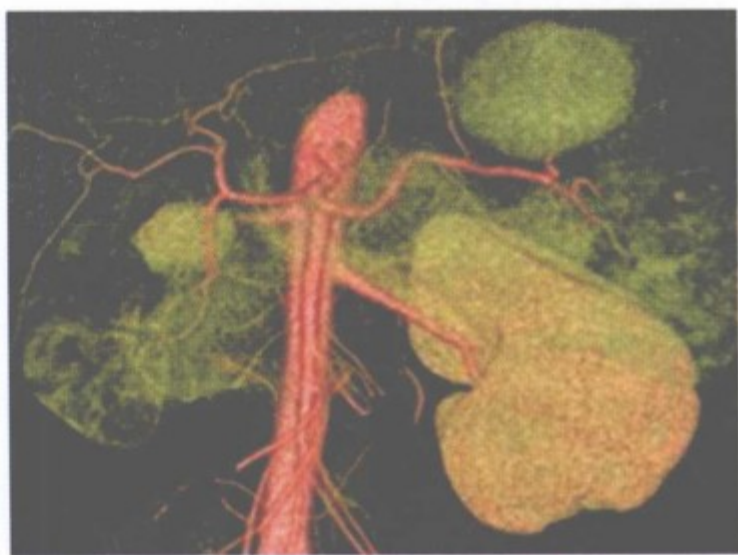


图21-30 脾动脉真性动脉瘤,脾动脉瘤样扩张

A. 平扫脾门类圆形低密度影,壁钙化;B. 增强扫描显著强化,与脾动脉相通;C. 与  
D. VR 重组直观显示动脉瘤与脾动脉的关系

胰腺炎时胰酶外漏到胰腺周围,消化腐蚀胰腺周围的组织和脉管,造成出血并出现局限包裹;另外,慢性胰腺炎常伴有假囊肿形成,被腐蚀的血管壁破入假囊肿内,是胰腺炎假性动脉瘤形成的主要原因。也有人认为假性动脉瘤的形成与动脉血压增高有关。常累及的血管有脾动脉、胃十二指肠动脉、胰十二指肠动脉、胃左动脉、胃右动脉、胃网膜动脉、胆囊动脉等,也有累及静脉引起出血的报道。由于假性动脉瘤瘤壁菲薄、脆弱,在全身和局部因素的影响下,极易引起破裂出血。

CT 不仅能清晰显示瘤体本身的部位、大小、密度、是否伴有钙化,而且大多数能明确其供血动脉及瘤颈的形态(图 21-31)。CT 还能对病因,如胰腺本身的病理改变、胰腺周围假囊肿的显示有较大的帮助。



**图 21-31 脾动脉假性动脉瘤**  
脾动脉周围见与脾动脉相连的类圆形高密度影,为脾动脉破裂,周围纤维组织包裹形成,并与脾动脉相通

## (二)门静脉高压症脾动脉病变

门静脉高压症不仅可继发门静脉及其属支的结构与功能变化,而且可合并内脏的动脉病变,使其收缩结构破坏,导致动脉扩张,收缩力减弱和对缩血管活性物质反应性下降。这是形成高动力循环异常的原因之一。

门静脉高压症脾动脉病变 CT 及 CTA 表现为脾动脉迂曲扩张(图 21-32)。

## (三)继发性脾动脉出血

胰腺假性囊肿破裂可导致脾动脉破裂出血,可能与胰腺分泌的硬弹力纤维蛋白酶原被胰蛋白酶和肠激酶激活,使胶原纤维溶解而损伤脾血管有关;此外囊肿内压力急剧增加,再加上可能存在腹内压增高的因素,也可使囊壁破裂,出现血性腹膜炎。

## (四)其他脾动脉病变

肝细胞癌可由脾动脉发出分支供血,CTA 可显示供血血管的走行及分布。

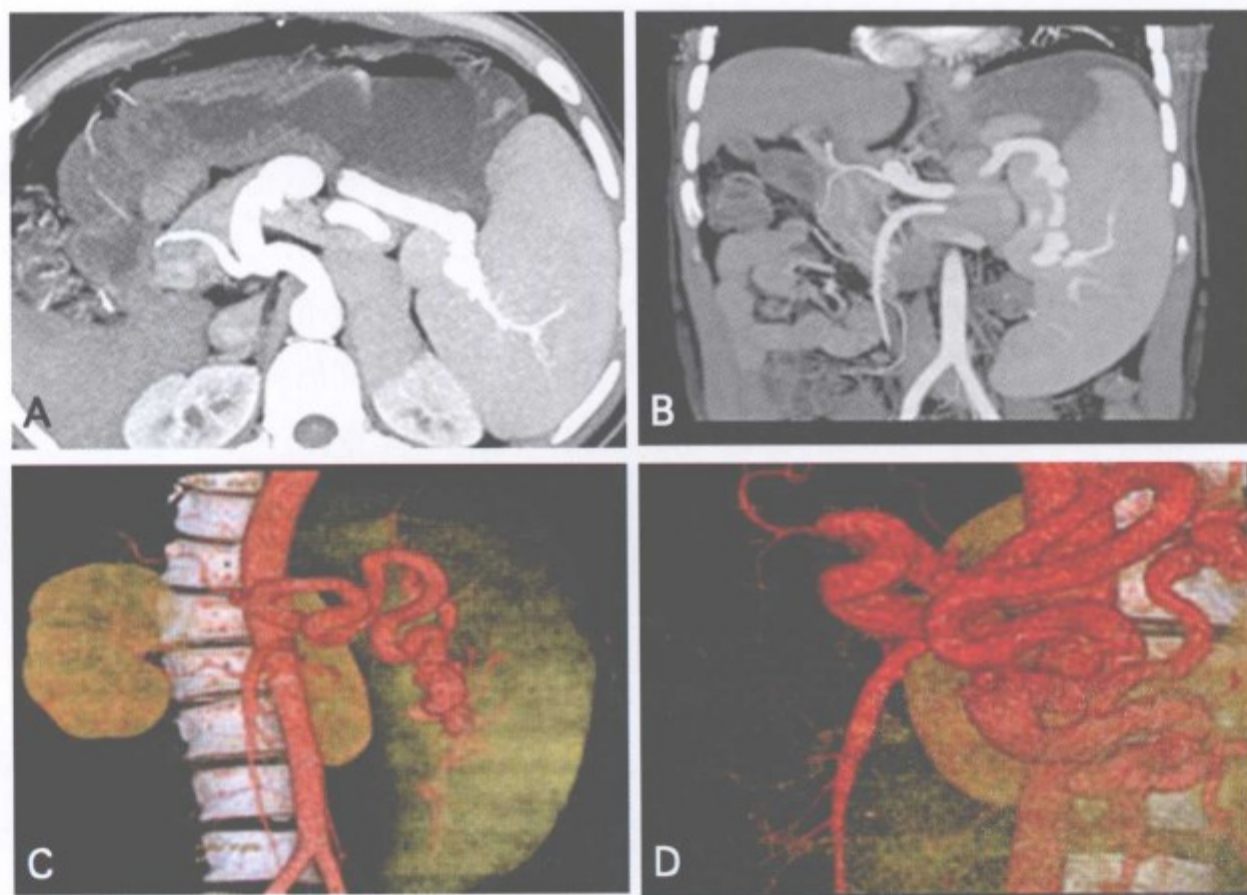


图 21-32 门静脉高压症脾动脉病变  
脾动脉明显迂曲扩张

### 三、脾静脉病变

#### (一)脾静脉血栓

引起门静脉系统血栓的主要原因是肝硬化、胰腺炎、凝血系统异常和其他综合原因。其中肝硬化门静脉高压是主要原因,因为肝硬化门静脉高压导致向肝性血流减少和血流速度减慢,造成血液涡流而致血小板堆积,而高危静脉曲张出血及反复出血后使用大量止血药物的患者,其门静脉系统血栓发生率更高;另一因素是门腔静脉吻合及脾切除术后,原血小板计数正常的病例,易导致静脉血栓形成。脾静脉血栓引起脾静脉主干及其主要分支的梗阻。门静脉其他属支血栓阻塞可致第一肝门形成侧支循环,是否出现典型的门静脉海绵样变与门静脉阻塞时间长短有关。

CTA 不但能直接显示血栓的范围,而且能显示血栓的急、慢性期,以及机体代偿的情况。CTA 可以完整显示脾静脉血栓的范围、机体代偿程度以及继发改变如脾梗死等(参阅图 21-16)。

#### (二)脾静脉瘤

脾静脉瘤也称为脾静脉瘤样扩张,多数由于肝硬化门静脉高压而引起,由于脾静脉瘤壁受血流剪切力的作用容易引起瘤内血栓形成或瘤破裂等并发症。

脾静脉瘤 CTA 表现为脾静脉瘤样扩张。除观察其大小及与周围血管的关系外,还应注意瘤壁的情况及瘤内密度改变。

### (三) 门静脉高压脾静脉与左肾静脉自发交通

脾静脉、胃底静脉与左肾静脉之间有细小的交通支,在正常生理情况下几乎处于关闭状态,门静脉高压时,这些交通支开放,形成自发性脾静脉与左肾静脉交通。肝硬化门静脉高压患者,自发性脾-肾静脉交通发生率约为15.7%,胃短静脉注入左肾静脉发生率约为5.6%,能在一定程度上改善门静脉高压。由于交通支扩张、扭曲,血流缓慢,分流量小,因此常合并其他侧支循环开放。

CT表现为脾门及左肾门之间团块状软组织密度影;增粗之脾静脉、左肾静脉及其交通支强化时相和强化程度与门静脉一致,且密度均匀,边缘光整、锐利。当脾静脉向左肾静脉分流量大时,由于门静脉血流量减少,肝脏血供相应减少,肝静脉变纤细(参阅图21-12)。

### (四) 胰源性脾静脉阻塞侧支循环

1. 脾静脉阻塞后侧支循环的相关解剖学基础 脾静脉(SV)、肠系膜上静脉(SMV)是汇合成门静脉(PV)的两个主要属支,且与同名动脉伴行,故门静脉循环实质上可分为两个流域,即脾-胃血流区和肠系膜血流区。脾-胃血流区的血管组成了门静脉系统小循环,脾动脉是其主要的血液流入通道,脾静脉是主要的血液回流通道,而胃短静脉、胃冠状静脉和胃网膜静脉是主要的两个侧支血液回流通道。由于门静脉系统静脉无静脉瓣,血液在血管中流动方向主要取决于血管两侧的压力差,当脾静脉阻塞时,脾静脉压增高,血流方向改变,上述两条侧支循环通路开放,其相应的血管增粗。

2. 脾静脉阻塞后的侧支循环通路 脾静脉阻塞后主要的侧支循环通路有两条。①脾门-胃底-胃小弯通路;②脾-胃大弯侧通路。

在孤立性脾静脉阻塞后,胃短静脉和胃冠状静脉是组成脾门-胃底-胃小弯侧支循环通道的侧支静脉血管,而食管下段黏膜下及食管周围的静脉曲张少见。

合并门静脉主干阻塞的非孤立性脾静脉阻塞特征表现包括孤立性脾静脉阻塞的表现和门静脉海绵样变性,即在肝门区及肝十二指肠韧带上由增粗的门静脉主干及其增粗、扭曲的侧支血管所组成的海绵状结构。

### (五) 脾血管淋巴管瘤

由脾血管及淋巴管先天性发育异常而形成,属良性肿瘤,主要以淋巴管成分为主,尚有少部分血管成分。

(谢淑飞 梁长虹 刘再毅)

## 参 考 文 献

- [1] 陈卫霞,周翔平,闵鹏秋.门静脉高压脾静脉与左肾静脉自发交通 CT表现.临床放射学杂志,1999,18(5):284-286
- [2] 杨镇,任大宏,李大鹏.门静脉高压性脾动脉病变.中华外科杂志,1999,37(7):412-416
- [3] 胡红杰,沈来根,林敏.脾动脉动脉瘤伴脾肿大一例.中华放射学杂志,2004,38(9):1005-1006
- [4] 刘于宝,胡道予,夏黎明,等.门静脉海绵样变性门静脉胆支及胆系改变的研究.中华肝胆外科杂志,2005,11(2):90-93
- [5] 吴苾,宋彬,陈卫霞.胰源性脾静脉阻塞侧支循环的螺旋 CT表现.中国普外基础与临床杂志,2003,10(6):619-622
- [6] 周国锋,冯敢生,梁惠明.脾动脉栓塞治疗胰源性假性脾动脉瘤.中华放射学杂志,2005,39(4):387-390
- [7] Hendrik B,Irene H,Stephan K,et al.Management and outcome of hemorrhage due to arterial pseudoaneurysms.Surgery,2005,137:323-328
- [8] Raj Mohan Paspulati.Multidetector CT of the pancreas.Radiol Clin N Am,2005,43:999-1020
- [9] Elliot K,Fishman,Karen M,et al.Multidetector CT angiography in the evaluation of pancreatic carcinoma: preliminary observations. J Comput Assist Tomogr,2000,24(6):849-853
- [10] Seung YB,Douglas H,Sheafor,et al.Two-dimensional multiplanar and three-dimensional volume-rendered vascular CT in pancreatic carcinoma:interobserver agreement and comparison with standard helical techniques.AJR,2001,176:1467-1473
- [11] M.Brugel,E.J.Rummeny,M.Dobritz.Vascular invasion in pancreatic cancer:value of multislice helical CT. Abdominal Imaging,2004,29:239-245
- [12] Denys A,Helenon O,Lafortune M,et al.Thickening of the wall of the bile duct due to intramural collaterals in three patients with portal vein thrombosis.AJR,1998,171:455-456
- [13] Schaible R,Textor J,Schepke M,et al.MRI in cavernous transformation of the portal vein:secondary biliary abnormalities and portoportal collaterals.Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr,2002,174: 1408-1414
- [14] Dhiman RK,Puri P,Chawla Y,et al.Biliary changes in extrahepatic portal venous obstruction:compression by collaterals or ischemic? Gastrointest Endosc,1999,50:646-652

## 盆腔疾病 MDCTA 应用

### 第一节 盆腔 MDCTA 扫描技术

盆腔MDCTA除可评价血管本身的病变外,还可判断血管外病变对血管本身的影响,如肿瘤对血管的侵犯或压迫等,有助于临床医生对肿瘤的分期进行判断以及选择手术方式。利用后处理技术,可模拟手术过程,选择合适的入路方式,了解切开后不同层面的解剖结构,对术前评价手术难度具有重要意义。

由于MDCTA能在一次屏气内对靶血管完成容积数据采集,因此克服了单层螺旋CT由于多次屏气不均造成的信息错移。盆腔的检查往往受到呼吸的影响非常小,所以盆腔的CT扫描和CTA扫描均无需屏气。在血管成像过程中,应该遵循扫描方向与血流方向一致的原则。如从双侧下肢远端静脉注射对比剂显示盆腔内血管,应从足侧向头侧扫描。如果采用再循环的间接法显示盆腔内血管,应从头侧向足侧扫描。

#### 一、成像范围

根据靶血管的范围选择不同的扫描方案。一般来说,扫描范围要稍大于病变范围,以产生较完整的血管观察效果。当范围增大时,如果保持扫描时间不变,会相应影响纵向成像血管的空间分辨率。因此,在大范围扫描时,需要选择相应的扫描参数。

针对4层螺旋CT, Prokop根据扫描速度(范围)及扫描图像质量优先的原则,提述三种扫描方案。①高速(大范围)扫描方案:准直器宽度为 $4\text{mm} \times 2\text{mm}$ 或 $4\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ ,进床速度为 $12 \sim 16\text{mm/s}$ ,主要适用于主动脉、下肢动脉、肺动脉和头颈部动脉;②高分辨扫描(小范围)扫描方案:准直器宽度为 $4\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 或 $4\text{mm} \times 1.25\text{mm}$ ,进床速度为 $6 \sim 8\text{mm/s}$ ,主要适用于肝动脉、肾



动脉、腹腔动脉、颅内动脉等。③超高分辨扫描方案:多数厂商的 MDCT 可提供  $2\text{mm} \times 0.5\text{mm}$  的准直器宽度,个别公司的 MDCT 具有  $4\text{mm} \times 0.5\text{mm}$  的准直器宽度。由于超高分辨扫描方案的扫描范围更小,一定程度上限制了在临床上的应用。

盆腔疾病检查时,如果需要了解病变与血管关系,扫描范围需要包括肾动脉或静脉以上  $2\text{cm}$  到坐骨结节水平以下。

## 二、层厚和螺距

层厚和螺距是 MDCTA 的重要参数。理论上,层厚和螺距越小越好。但过小的层厚和螺距会使扫描时间延长,扫描范围减小。当层厚增厚时,同一扫描时间内所覆盖的扫描范围增大,空间分辨率下降;反之,则扫描范围较小,空间分辨率增加。螺距越大,同一扫描时间内所覆盖的扫描范围越大,部分容积效应越明显;反之,螺距越小,扫描范围越小,而部分容积效应影响越小。因而,有必要在扫描层厚与螺距上寻求平衡。

具体针对盆腔的 CT 血管成像,由于盆腔内器官和组织相对静止,不容易产生运动伪影,可以采用小螺距和薄层厚。

## 三、对比剂注射剂量、方式及延迟时间

单层螺旋 CTA 的对比剂总量一般为  $100 \sim 150\text{ml}$ ,注射流率为  $3 \sim 5\text{ml/s}$ ,用 22 号针头经肘前静脉注射。根据 Rubin 等的研究,MDCT(4 层)血管造影的扫描速度是单层螺旋 CT 的 2.6 倍。扫描效率为其 4.1 倍,血管强化效率为其 2.5 倍,持续扫描时间缩短 59%,对比剂总量平均减少 57%。

对比剂总量及注射流率对血管的良好显示也有重要影响。由于 MDCT 的扫描速度快,在相同注射流率条件下,所用对比剂的总量比单层螺旋 CT 少。此外,合理的延迟扫描时间对保证血管内对比剂浓度达最大值,避免实质器官强化的影响有重要作用。

延迟扫描时间目前有两种较为精确的解决方法:①小剂量团注预试验时间-密度曲线法;②对比剂自动跟踪技术。

由于对比剂从周围静脉内注射后,达到盆腔血管时间相对较长,所以,延迟时间需要考虑。另外,对比剂经肾脏排泄进入输尿管和膀胱,都将影响血管显示,这个因素也必须考虑。

## 四、重组技术

常规的横断面图像的层厚为  $5\text{mm}$ ,是评价盆腔血管疾病及其周围脏器的主要方式。多层螺旋 CT 的薄层横断面图像层厚为  $0.5 \sim 3.0\text{mm}$ ,作为重组 CTA 图像的基础。

主要有三种成像技术应用于 CTA,即表面遮盖显示、最大密度投影、多平面重组和容积再现重组技术。

Addis 等对血管模型进行了 5 种后处理技术的对比研究,发现对于直径  $2.0 \sim 4.0\text{mm}$  的血管测

量,VR 技术较 SSD、MIP 和 MPR 技术更加准确,特别是对于 0.5~1.0mm 的血管,测量的准确度有着显著性差异。

(刘波 刘岷)

## 第二节 MDCTA 在盆腔血管病变中的应用

### 一、髂动脉瘤

CTA 轴位图像能够显示动脉瘤体、瘤体与周围血管的关系、管壁钙化等信息,但缺乏对病变三维空间关系的显示,重组图像可弥补轴位图像的不足,为临床提供形象资料。后处理过程仍以 VR、MIP 为主要手段。VR 对显示血管走行、病变段定位、病变与邻近组织结构的关系非常有效,可区分前后重叠的血管,图像直观、立体感强。VE 可动态观察,如管腔狭窄、闭塞、动脉瘤腔、附壁血栓和粥样斑块。结合 VR 技术可以同时观察管壁和管腔外的情况,测量病变的实际容积,对于临床术前评估有重要意义(图 22-1)。

但各种重组较费时,对每个患者不可能行多种重组,故应了解各种方法的特点及其优缺点。对于动脉瘤患者,多选用 VR(或 SSD)和 MIP 重组,观察瘤体范围和周围解剖结构;对于主动脉内支架,MIP 和 MPR 能较好显示支架情况。

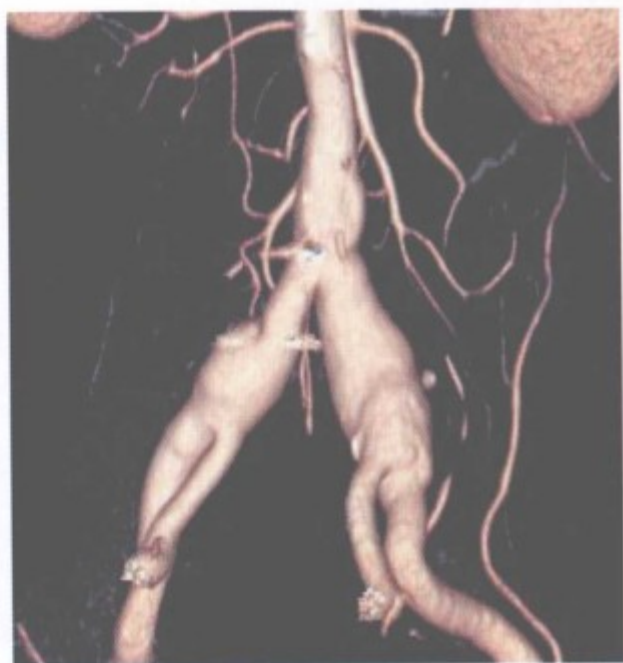


图 22-1 髂动脉瘤

VR 重组图像显示双侧髂总动脉呈梭形扩张,而且累及腹主动脉下端

### 二、髂静脉受压综合征

髂静脉受压综合征(iliac vein compression syndrome,IVCS)是髂静脉受压和(或)存在盆腔内异

常粘连结构所引起的下肢和盆腔静脉回流障碍性疾病。主要临床表现为下肢肿胀和浅静脉曲张,极易引发深静脉血栓形成。

因左髂总静脉特殊的解剖关系和男女生理的差异,本病症状大多位于左下肢,且女性更常见。

### 【分型】

根据临床症状将左IVCS分为无症状型、水肿型、髂股静脉血栓形成型和精索静脉曲张型,以髂股静脉血栓形成型多见。

徐惊伯将髂静脉受压综合征分为6个类型,按其发生率的高低依次为:①左髂总静脉受压(68.8%);②右髂外静脉受压(10.4%);③双髂静脉受压(7.5%);④右髂总静脉和髂外静脉受压(6.0%);⑤下腔静脉分叉平面受压(4.5%);⑥左髂总静脉和髂外静脉受压(3.0%)。左髂总静脉受压是髂静脉压迫综合征并发血栓形成的最常见的类型,其原因为左髂总静脉前方有右髂总动脉斜行交叉而过,而后方有腰椎的生理性前凸的推挤,入下腔静脉时又几乎近似于直角,因此解剖上的狭窄和血液回流角度使回流受限的影响促进了血栓形成。

### 【髂静脉CTA技术】

髂静脉显示可以采用间接法和直接法。间接法采用80~100ml对比剂经周围静脉内注射,注射流率采用1~3ml/s,延迟时间为50~70s,顺静脉血流方向扫描。直接法将碘浓度为300mg/ml的对比剂与生理盐水按1:3比例容量混合稀释,稀释液通过Y形管从双侧肢体(上肢或下肢)同时灌注。通常碘浓度为300mg/ml的对比剂40ml就足够。采用从双侧下肢远端穿刺周围静脉,从双侧同时向静脉灌注稀释后低浓度对比剂。开始注射对比剂后10s开始从足端向近心端扫描。

后处理技术采用VR和CPR,VR重组解剖关系清楚,伪彩技术的应用能更加清晰地显示髂静脉受压情况和盆腔侧支范围;CPR重组可跟踪左髂总静脉,直观显示左髂总静脉受右髂总动脉和腰骶椎的压迫程度,还可进行任意方向的旋转和狭窄的测量,但对于髂总静脉血栓形成而致管腔闭塞,CPR作用有限。另外CPR对操作者的技术要求较高,其操作高度依赖沿血管划线,如果划线不准确,血管结构将不能显示。因此在阅读VR、CPR重组图像的同时,必须同时参考横断面图像,才能提供有价值的信息,不致被操作技术失误所致的假象所迷惑。对于在动脉CTA检查中常规应用的最大密度投影技术,一般未予采用,这主要由于左髂总静脉紧贴后缘椎体及盆腔大量侧支血管的存在,去骨将非常困难,处理不当可使血管同时被去除且很耗时。

### 【CTA表现】

髂静脉压迫综合征造影表现可分为直接征象和间接征象两大类。

直接征象为髂静脉受压段的形态改变,主要有以下几种征象。①静脉狭窄或闭塞处充盈缺损(血栓形成),缺损可呈点状、长条状或多发细条状;②闭塞下方管径增宽,闭塞段远侧静脉向旁鼓起,形成翻褶征;③受压段静脉横径变窄,多见于右髂外静脉,也可见于左髂总静脉及左髂外静脉;④受压段静脉局限性充盈缺损或密度降低,多见于左髂总静脉近端受压段的上中部;⑤受压段静脉闭塞,主要见于左髂总静脉近端;⑥受压静脉移位,主要见于右髂总静脉远端和髂外静脉近端受压向内向下移位。

间接征象有:①患侧下肢浅静脉曲张,侧支循环形成;②静脉排空延迟。

若由Cocktt综合征引起,则可见左髂总静脉受左髂总动脉明显压迫致管腔狭窄甚至闭塞。

与下肢顺行静脉造影相比,左髂静脉系统CTA的征象表现得更直观,主要表现为左髂总静脉受明显压迫致管腔狭窄甚至闭塞,盆腔大量侧支血管开放和右髂内静脉相通,左髂总静脉横径增宽,前后径狭窄或闭塞,左髂总静脉血栓形成而闭塞,左下肢浅静脉曲张。

与下肢顺行静脉造影比较,MDCTA检查不能显示深静脉的瓣膜功能情况,无法观察对比剂是否倒流。另外,对于左髂总静脉腔内结构如嵴、瓣、桥、束带等不能明确显示。虽有很多不足,但MDCTA作为下肢顺行静脉造影后的一种补充检查技术,其价值是显而易见的(图22-2)。

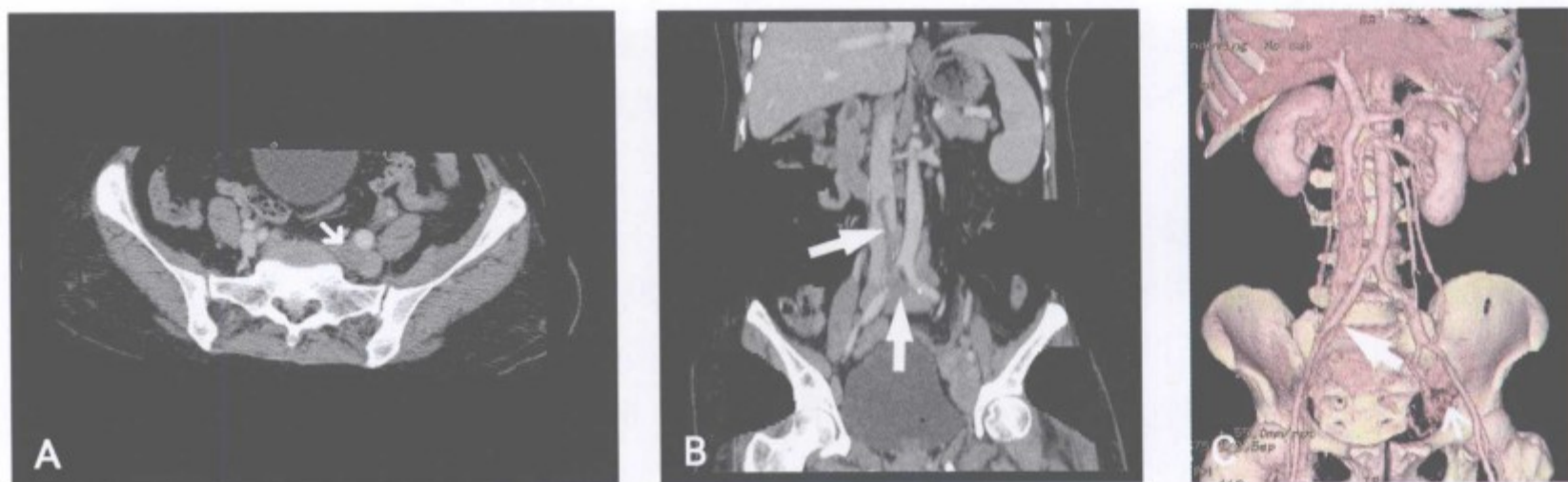


图 22-2 左侧髂静脉血栓性闭塞

横断面图像(A)显示左侧髂静脉内血栓形成,管腔扩张;冠状位重组图像(B)显示左侧髂静脉内血栓形成(箭头),血栓头向头侧延伸至下腔静脉;VR 重组图像(C)显示左侧髂静脉未见显影(箭头),左侧卵巢静脉迂曲扩张(箭头)

### 三、卵巢静脉曲张

卵巢静脉曲张(ovarian varices, OV)是导致女性慢性盆腔疼痛的常见原因之一。在所有引起女性盆腔慢性疼痛的疾病中,卵巢静脉曲张是最易被忽视的病变。

导致卵巢静脉曲张的确切机制尚不完全明了。可能引起卵巢静脉曲张的因素有:①先天性卵巢静脉瓣缺损或功能不全,尸检发现左侧静脉瓣缺损占15%,右侧占6%;②解剖因素,此与男性精索静脉曲张的机制相似,卵巢静脉曲张发生于左侧占85%~95%,双侧占5%~15%,未见单独发生于右侧的报道;③多次怀孕、生育;④其他因素,长期站立、从事重体力劳动及长期服用激素等。解剖因素是导致卵巢静脉曲张的主要因素,卵巢静脉曲张发生于左侧者占绝大多数,这是由于左侧的卵巢静脉行程长,汇入左肾静脉处呈直角,不利于静脉回流;另外,左侧髂总动脉对左侧卵巢静脉搏动性压迫是另一重要因素。

卵巢静脉曲张的临床表现主要为下腹部即盆腔区疼痛、腰骶区疼痛。病程一般较长,据报道最长者为10年;90%患者在月经期前疼痛症状加剧,其他伴随症状还包括月经紊乱、尿路压迫症状、

自由神经功能紊乱等。对于卵巢静脉曲张的治疗,目前最为实用的是介入治疗,手术(结扎或静脉曲张切除)和经腹腔镜结扎也有良好疗效,但均有一定创伤性。

#### 【CTA 表现】

卵巢静脉曲张的MDCTA主要表现为卵巢静脉扩张,主干直径不小于10mm,子宫旁可见迂曲扩张的静脉团(图22-3)。



图22-3 卵巢静脉曲张

横断面图像(A)显示左侧卵巢静脉增多、增粗(箭头);多平面冠状位重组图像(B)显示左侧卵巢静脉迂曲、增粗(箭头);VR重组(C)显示全程双侧迂曲、增粗的卵巢静脉,同时可见子宫旁迂曲增粗的静脉团

## 四、精索静脉曲张

精索静脉曲张是指精索静脉的血流淤积而导致精索的蔓延,静脉丛扩张、伸长、迂曲改变。本病以中青年多见,发病率为10%~15%,可致不育。然而据近年的报道发现,精索静脉曲张可以早至6岁开始发病,至11~17岁达到高峰,发病率可达20%左右,高于成年人,可见精索静脉曲张并非仅仅成人发病。

任何能使精索内静脉血流回流不畅的因素均可引起精索静脉曲张,分为原发性和症状性两种。常见原因有以下几点。①左侧精索内静脉的解剖特点所致,故左侧发生率较右侧为高;②精索内静脉周围的结缔组织薄弱,使静脉壁张力降低;③精索内静脉瓣膜功能不健全;④乙状结肠压迫所致;⑤Cocktt综合征所致精索内静脉回流障碍;⑥肿瘤压迫或下腔静脉瘤栓形成。

多数患者为无自觉不适而在体检时被发现,或因不育症就诊时被发现。有症状者多表现为阴囊坠胀不适或坠痛,疼痛可向腹股沟区、下腹部及腰骶部放射,症状于劳累后或站立、行走过久后加重,休息后可缓解。严重者可伴有患侧睾丸萎缩或男性不育。

临床型精索静脉曲张主要通过症状、体征多能诊断;亚临床型目前主要借助超声检查进行诊断。

**【CTA 表现】**

MDCTA对精索静脉曲张有一定的诊断价值,能明确曲张静脉的范围。主要表现为睾丸蔓状静脉丛血管增粗、迂曲,可见曲张扭曲的静脉团,精索静脉扭曲并沿精索走向延伸到腹股沟区。

## 五、肾移植供体血管评价

螺旋CT在肾移植供体肾脏评估中,具有常规CT和DSA所无法比拟的优势。

在肾移植供体血管评价中,CTA的作用体现在以下几方面。①能够评价肾脏血管的数目、长度和部位。②能够直接显示血管壁钙斑,准确地评价血管壁钙化的程度和厚度。③直接显示移植动脉内的疾病,例如局限或全程狭窄、局限性狭窄后扩张、血栓形成、动静脉瘘、动脉瘤和假性动脉瘤等;对于肾静脉内血栓形成,螺旋CT除了能直接显示肾静脉内血管充盈缺损,还能敏感地显示双肾实质增强不对称及肾盂增强延迟出现现象。④螺旋CT三维成像能够准确地显示输尿管和输尿管周围的疾病。

由于螺旋CT在评价移植前肾脏血管的上述优势,以及其无创性、操作简单等优点,已经开始逐渐取代DSA成为移植前亲者供肾血管的常规检查。

## 六、CTA在盆腔肿瘤疾病中的应用

盆腔原发性肿瘤发病率低,病理类型复杂,以恶性肿瘤居多。加之盆腔狭小,其内器官、组织较多,解剖结构较复杂,因而诊断较困难。发生于盆腔的肿瘤常压迫、推移、包绕或侵犯邻近血管,给外科手术切除造成困难。术前影像学检查,尤其是CT增强及CTA检查,对病灶进行准确的定位、定性以及判断血管累及的范围和程度具有重要意义。CTA能准确显示肿瘤对盆内大血管的推压、包绕以及盆内血管有无扩张;另外,有时还可显示肿瘤供血动脉等。有助于对病变的全面了解,帮助临床选择合理的治疗方案、制定手术计划,尤其是对盆腔重要血管的保护、减少术中出血等提供较全面的影像学信息。

根据其组织学起源盆腔原发性肿瘤主要分为4种基本类型。①间叶性肿瘤;②泌尿生殖源性肿瘤;③神经源性肿瘤;④生殖细胞源性瘤。

良性肿瘤CTA表现为压迫、推移邻近血管,但血管管壁光滑,周围脂肪间隙清晰;肿瘤压迫使盆腔内器官血液回流受阻,静脉扩张、扭曲(图22-4)。

恶性肿瘤CTA表现为肿块与血管分界不清、产生包绕或侵犯,肿块与血管脂肪间隙密度增高,管壁毛糙,可见附壁血栓,血管中断,侧支循环形成等(图22-5)。另外,对巨大肿瘤,CTA还可清晰显示其增粗的供血动脉(图22-6)。

多层螺旋CT可在相同的扫描时间内采用更薄的层厚对相同范围的病变进行精细扫描。并配合多种方式重组使影像立体化,便于理解复杂的解剖关系,多方位完整地显示肿瘤的全貌,反映病变与血管的关系。对于子宫和卵巢病变的显示,重组时根据子宫位置(前倾、前屈、后屈)进行相应的斜位、曲面重组,对于较大的肿瘤,MPR可直观显示肿瘤累及范围及对周围器官的影响。VR不仅可以进行任

意斜面的切割、旋转,同时还可显示盆腔血管与肿瘤的关系,对确定肿瘤的血供来源有一定帮助,如可显示子宫动脉参与子宫瘤的血供;结肠癌则可显示供应肿瘤的肠系膜上、下动脉一级分支血管有增粗表现,血管包绕肿瘤及供血动脉侵蚀等征象(图22-7)。MDCT的后处理技术优势在于能多平面、多角度、立体直观地展示肿瘤的播散、侵犯范围及与盆腔大血管的关系,对介入、放疗及化疗计划的制定具有重要意义。薄层MIP技术更能显示盆腔小血管的移位及与肿瘤的包绕关系,利于精确放疗(如X刀、调强放疗等)的设计与评估。

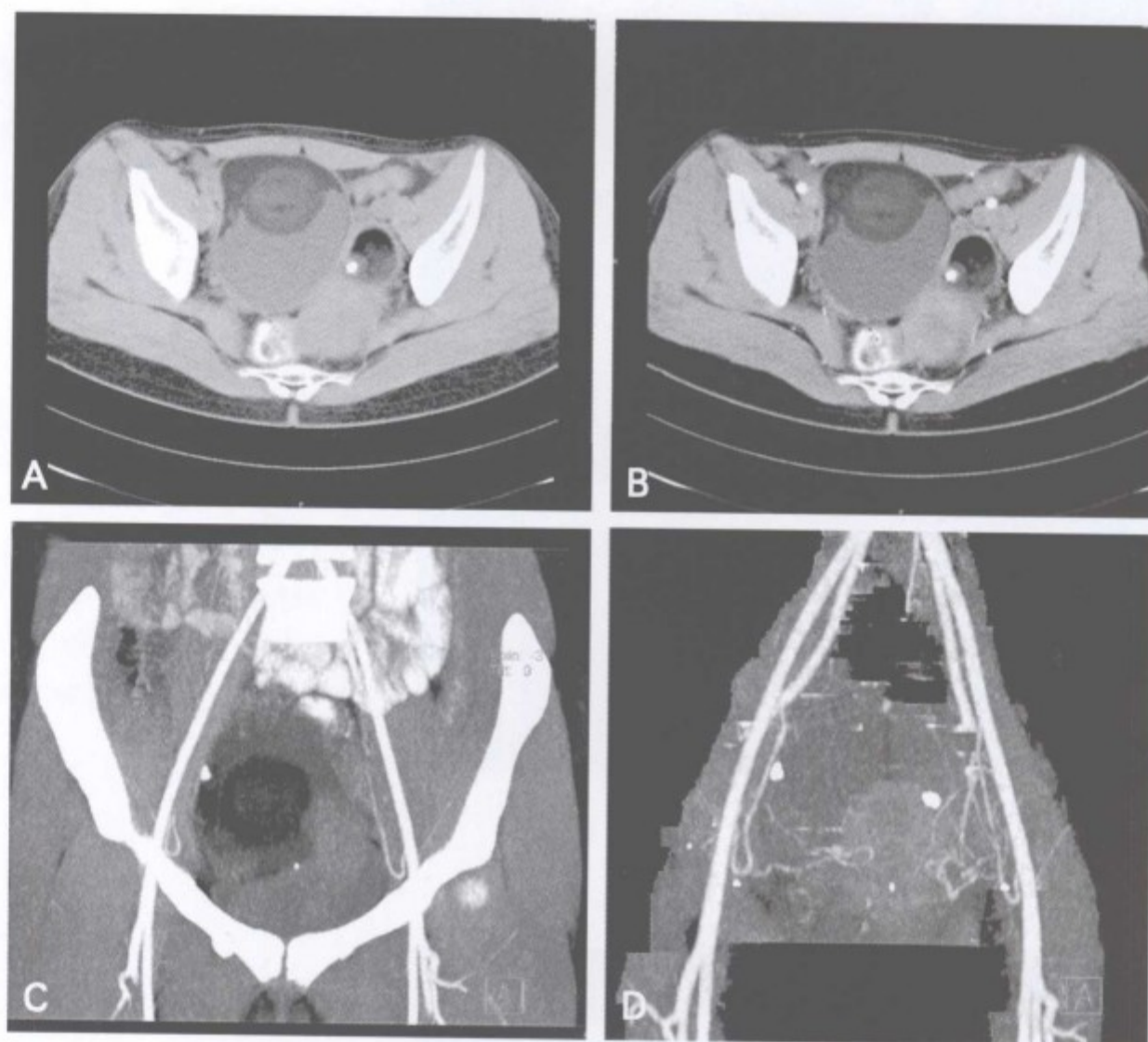


图 22-4 畸胎瘤

平扫(A)及增强横断面(B)图像显示双侧卵巢区密度高度不均一软组织肿块,含钙化和脂肪密度;MIP 重组图像(C、D)显示双侧子宫动脉及其分支受推移位,左侧卵巢支局部包绕肿瘤

图 22-5 宫颈癌侵犯左侧髂外静脉  
重组图像显示左侧髂外静脉狭窄,并可见  
盆腔下壁多发侧支血管形成(箭头)



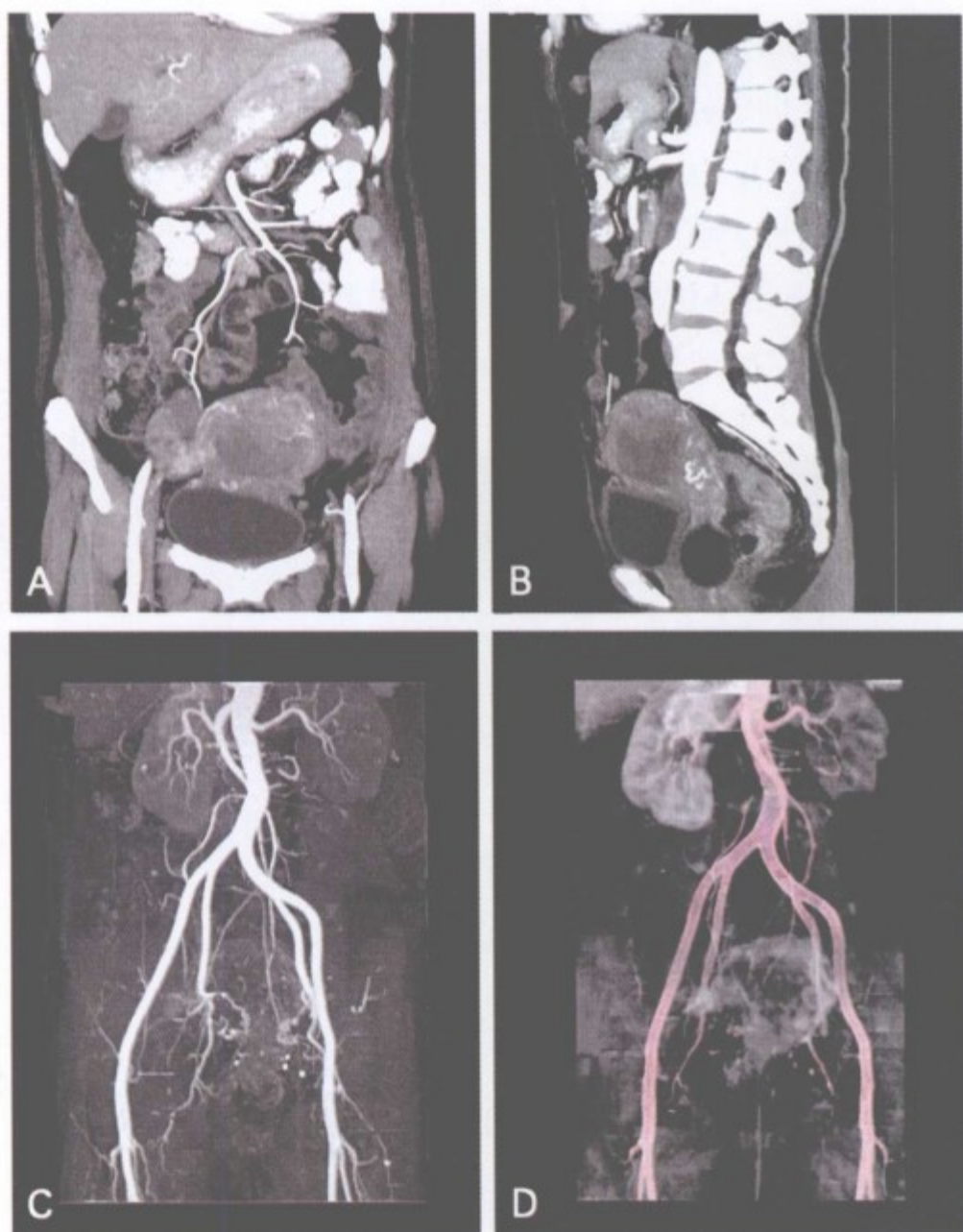


图 22-6 子宫内膜癌

冠状面(A)及矢状面(B)MPR 重组图像显示子宫增大,密度不均匀,大量不规则血管影;MIP(C)和VR(D)重组图像显示双侧子宫动脉分出肿瘤供血动脉,肿瘤供血动脉走向迂曲、增粗

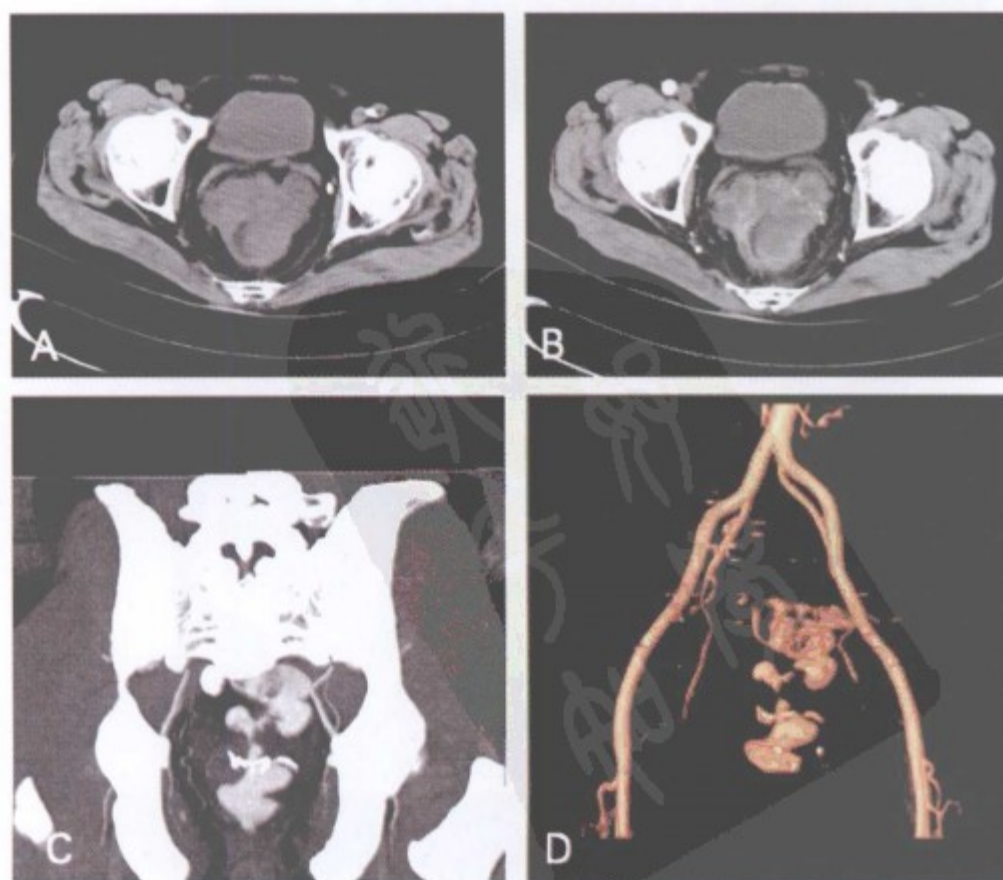


图 22-7 直肠癌

CT 平扫(A)和增强扫描(B)显示直肠区不规则软组织肿块,增强不均匀,散在分布点状和条状血管影;MIP(C)和VR(D)重组图像显示直肠肿块区域供血血管较正常增粗



## 七、腹主动脉闭塞

腹主动脉闭塞属于大动脉闭塞性疾病,多为全身性疾病的一种局部表现。随着人们生活水平的提高,饮食结构的改变和社会老龄化现象日趋严重,动脉粥样硬化及其闭塞性疾病的发病率逐年升高。

### 【病因】

腹主动脉闭塞的原因包括动脉粥样硬化、大动脉炎、急性血栓形成、栓塞、创伤、动脉内膜损伤等。动脉粥样硬化最常见,且多见于中老年人。其次为大动脉炎。患者多有冠心病合并心房颤动、风湿性心脏病合并心房颤动、心功能不全、糖尿病、高血压、凝血因子 I 及血黏稠度高、血脂增高等病史。

### 【临床表现】

患者常常表现为双侧肢体和盆腔缺血,肢体疼痛、发凉、发麻、间歇性跛行,性功能障碍等,局部皮肤温度下降,皮肤颜色苍白或苍黄,或发绀,或紫褐斑,大中动脉搏动正常或减弱,重者表现为肢体溃疡、坏疽导致截肢,甚至危及生命。其他常见表现有性功能障碍,脊髓缺血等症状。

### 【分型和分级】

(1)按病程分型:可分为急性腹主动脉闭塞和慢性腹主动脉闭塞

①急性腹主动脉闭塞病情重、变化快,临床症状不典型,为突发性,肌病肾病代谢综合征是常见的严重并发症。典型临床表现为“5P”征象:突发双下肢疼痛、双下肢无脉、苍白、感觉异常、功能障碍。栓塞和血栓形成是两大主要病因,绝大多数栓子来源于心脏,以风湿性心脏病伴心房颤动为主;近年来,冠心病引起的动脉栓塞有逐年上升趋势。在国内原发病以风湿性心脏病合并心房颤动者居多,欧美国家多以动脉硬化性心脏病合并其他各种心律失常为主。

②动脉硬化及大动脉炎是慢性腹主动脉闭塞常见原因,其中后者是发生于腹主动脉及其主要分支的慢性非特异性炎症。早期受累动脉壁全层均有炎症反应,外膜广泛性纤维增生及增厚,中层破坏并肉芽形成,管壁由纤维组织替换,呈广泛的不规则增厚和硬化,纤维组织收缩致不同程度狭窄,内膜破溃致血栓形成或管腔闭塞。动脉狭窄可呈节段性、串珠状。患者常有上半身高血压、头痛、眩晕、胸闷、气促;下肢发凉,行走后酸麻无力或间歇性跛行等症状。

(2)按闭塞形态和位置分型

①按病变闭塞形态腹主动脉闭塞可分为一般型、索状型和动脉瘤样闭塞型(图22-8)。一般型为腹主动脉末端狭窄继发血栓形成;索状型为腹主动脉末端有条索样闭塞,呈线状伴有侧支循环;动脉瘤样闭塞型表现为腹主动脉末端动脉瘤形成,血栓形成导致完全性闭塞。

②按病变位置腹主动脉闭塞可分为近肾动脉腹主动脉闭塞征(图22-9)和Leriche综合征(图22-10)两种类型,二者均属于主髂动脉硬化闭塞症的特殊类型,两者的病变向下可达双髂动脉甚至股动脉。近肾动脉腹主动脉闭塞症(juxtarenal aortic occlusion, JAO)是多种原因所致的靠近肾动脉平面的腹主动脉中下段闭塞性疾病,较为少见,属于主髂动脉硬化闭塞症中的特殊类型。病变位置较高,达肾动脉开口或更高。在主髂动脉硬化闭塞症中有7.7%为近肾动脉腹主动脉闭塞症。临床表现为下肢间

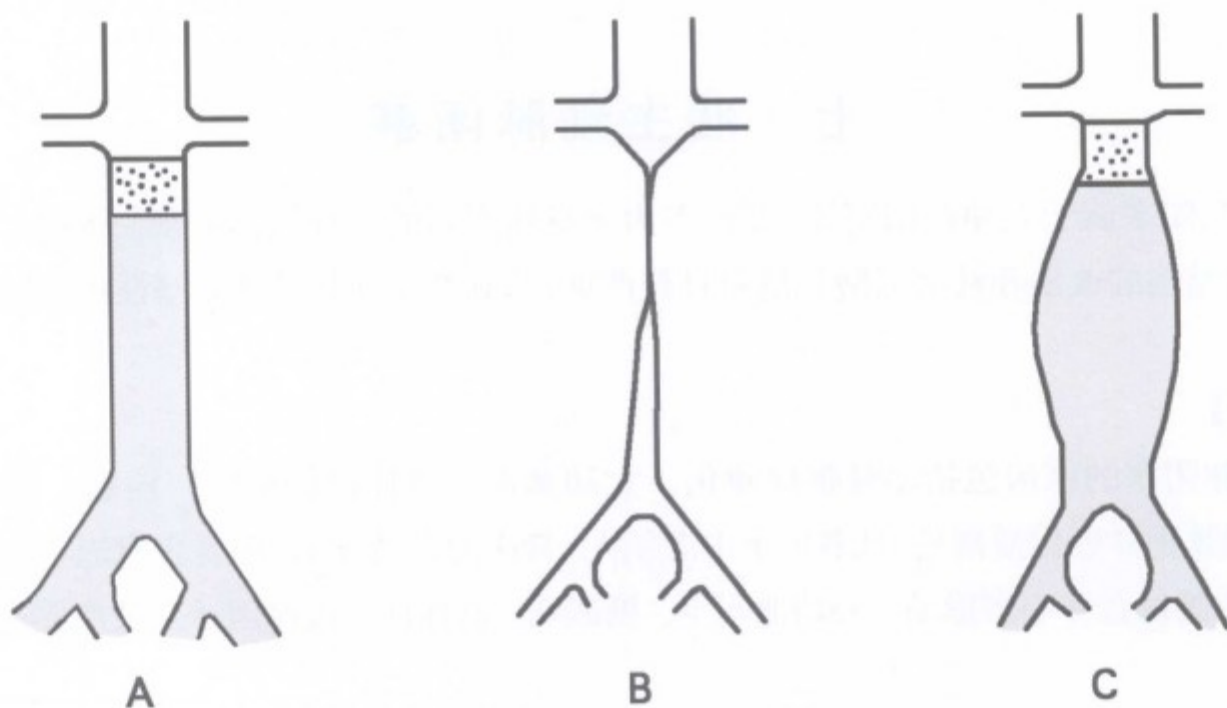


图 22-8 腹主动脉闭塞类型模式图

A. 一般型；B. 索状型；C. 动脉瘤样闭塞型[引自：《中华外科杂志》，1994, 32(4)]

歇性跛行甚至静息痛和坏疽。动脉粥样硬化是主髂动脉狭窄闭塞最常见的病因，其次为大动脉炎。Leriche综合征的病变部位在腹主动脉末段的腹主动脉分叉处，如其病变向上发展至肾动脉水平，则成为近肾动脉腹主动脉闭塞症。

JAO临床表现类似于Leriche综合征，只是阻塞平面较其为高，双下肢缺血症状更为突出。JAO与Leriche综合征的区别在于JAO的双下肢缺血症状更严重，这与高位的闭塞进一步减少了双下肢侧支循环供血有关。

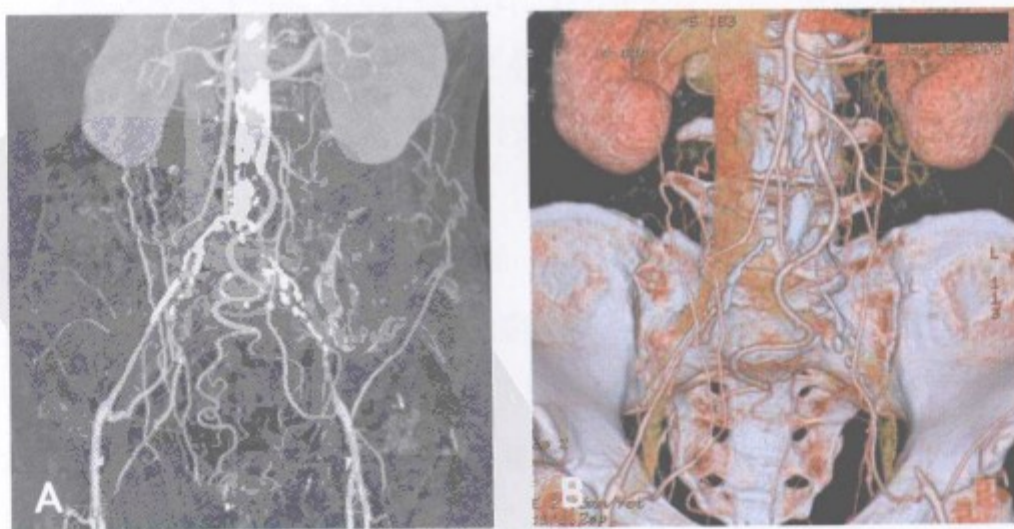


图 22-9 近肾动脉腹主动脉闭塞症

MIP 重组图像(A)及 VR 重组图像(B)显示近肾动脉腹主动脉闭塞，闭塞两端有大量粗大侧支形成

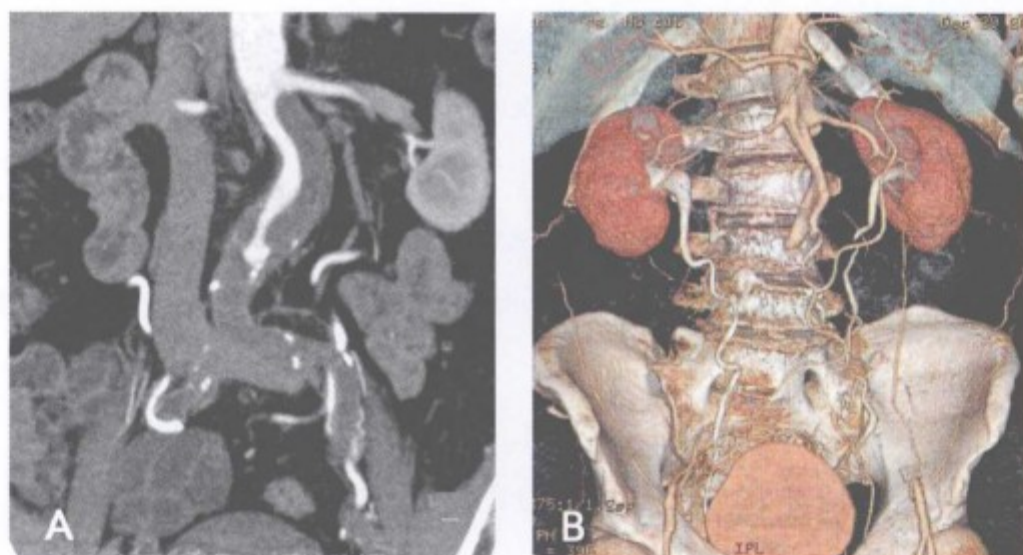


图 22-10 Leriche 综合征

MIP 重组图像(A)及 VR 重组图像(B)显示腹主动脉末端的腹主动脉分叉处及双侧髂总动脉闭塞,粗大侧支形成

### 【影像学检查】

常用的方法有 CDUS、CTA、MRA 以及 DSA。其中 CDUS 方便便宜为首选检查,CTA、MRA、DSA 可了解病变部位、范围、性质,近端血管、闭塞段血管及远端流出道情况,以及侧支血管及远端动脉情况等,为设计手术方案意义重大。

CTA 显示腹主动脉向心性不规整狭窄,并向远心端延伸,逐渐闭塞,呈萝卜根或“鼠尾”状腔隙;远端动脉及分支不显影;大量侧支循环血管形成。

结合病史、临床表现及影像学检查一般容易诊断。临床上此类疾病由于临床表现不同,可误诊为腰椎间盘突出症,缺血性脊髓血管病,缺血性周围神经病,不明原因阳痿等,临床上应注意结合病史选择影像学检查明确诊断,及时正确治疗。

(刘波 李景雷 高强 刘健萍)

### 参 考 文 献

- [1] 李澄,王礼同,汤晓,等.多层螺旋 CT 曲面重组尿路成像技术的应用.放射学实践,2004,19(9):644-646
- [2] 赵红,尹彤,周宏斌.多层螺旋 CT 对肾移植前亲者供体肾脏血管的评价.中国医学影像学杂志,2003,11(1):64-65
- [3] 林顺发,林珏慧,吴敏,等.多层螺旋 CT 血管成像的方法学研究.汕头大学医学院学报,2005,18(3):182-184
- [4] 李明利,金征宇.多层螺旋 CT 血管成像技术临床应用进展.国外医学临床放射学分册,2003,26(4):255-258
- [5] 孙明华,余强,范新东.多层螺旋 CT 血管造影对髂静脉受压综合症的诊断.上海第二医科大学学报,2005,25(10):996-998

- [6] 吴春根,周康荣.多层螺旋 CT 血管造影术.临床放射学杂志,2002,21(5):397-399
- [7] 杜娟,左约维,陈晓明,等.子宫肌瘤的血管造影表现及其临床意义.中国基层医药,2005,12 (2):195-196
- [8] 杨星,马彪,苏勤.螺旋 CT 三维重组的方法及技巧.中华放射学杂志,1999,33(7):492-493
- [9] 王毅,刘触灵,龚水根.直肠癌血供研究的现状.中华普通外科杂志,2003,18(3):191-192
- [10] 叶朝阳,戎旻,毛志国,等.CT血管造影三维血管重组在诊断透析血管通路狭窄中的应用.中华肾脏病杂志,2005,21(4):227-228
- [11] 祝玉芬,王小玲.CT 血管造影(CTA)的方法及临床应用.实用放射学杂志.2003,19(4):381
- [12] 谭理连,李扬彬,李树欣,等.螺旋 CT 血管造影在盆腔血管病变的临床应用.中国临床医学影像杂志,2003,14(6):413-415
- [13] 段志泉,张国君,赵虹,等.腹主动脉末端硬化闭塞症的诊断和治疗.中华外科杂志,1994,32(4),234-236
- [14] Prokop M.Multislice CT:technical principles and future trends.Eur Radiol,2003,13(5):3-13
- [15] Prokop M .Protocols and future directions in imaging of renal artery stenosis:CT angiography.J Comput Assist Tomogr,1999,Suppl 1:S101-110
- [16] Prokop M.CT angiography of the abdominal arteries.Abdom Imaging,1998,23(5):462-468
- [17] Sueyoshi E,Sakamoto I,Matsuoka Y,et al.Aortoiliac and lower extremity arteries:comparison of three-dimension dynamic contrast-enhanced subtract MR angiography and conventional angiography.Radiology,1999,210:683-688
- [18] Addis KA,Hopper KD,Iyriboz TA,et al.Optimization of shaded surface display of CT angiography.Acad Radiol,2001,8:976-981
- [19] Galanski M,Prokop M,Chanvan A,et al.Accuracy of CT angiography in the diagnosis of renal artery stenosis.Rofo,1994,16:519-525
- [20] Hideki O,Kei T,Kazumasa I,et al.MDCT compared with digital subtraction angiography for assessment for assessment of lower extremity arterial occlusive diseases:importance of reviewing cross-sectional images.AJR,2004,182:201-209
- [21] Arnold JR,Greenberg J,Reddy K,et al.Internal mammary artery perfusing Leriche's syndrome in association with significant coronary arteriosclerosis:four case reports and review of literature.Catheter Cardiovascular Interv,2000,49:441-444
- [22] Agrifoglio G,Agus G B,Castelli P,et al.Bypass procedures in the management of juxtarenal aortic occlusion.J Cardiovasc Surg(Torino),1984,25(1):43-46

## 肢体 CT 血管成像

### 第一节 肢体动脉 CT 血管成像

近年来,随着人们饮食结构的改善及人口的老年化,肢体血管病变,特别是下肢血管病变的发病率逐渐增高。肢体血管性病变主要有血管闭塞及狭窄性病变、动脉瘤、血管瘤、动静脉畸形、血液循环障碍及血管的损伤。在肢体血管性病变中,虽然动脉系统的病变只占14%,但由于进展往往迅速,后果十分严重,导致肢体的缺血或坏死,最终需要截肢。在美国每年有100 000人因下肢动脉闭塞或狭窄需要血管成形术、外科手术或溶栓治疗。因此,准确早期检出下肢动脉病变,并对病变的程度分级有重要的临床意义,可使患者及时进行合理的血管手术治疗。

对于下肢动脉的病变,过去一直以传统的血管造影(DSA)为诊断的金标准,但它是创的检查,会出现并发症,如穿刺部位的血肿或假性动脉瘤形成或下肢缺血症状加重;此外,DSA仅能显示管腔投影,无法对管腔结构进行评价,对动脉内偏心斑块难以准确反映,对轻度粥样硬化斑块容易漏诊。CT血管成像在显示肢体动脉病变方面有自己的优势,特别是多层螺旋CT能在短时间内进行大范围的扫描,对比剂用量较少,动静脉分别成像,纵向空间分辨率高。

#### 一、肢体动脉 CTA 的技术方法

##### (一)下肢动脉 CTA 的技术方法

下肢动脉血管CTA检查时,患者仰卧在扫描床上,足先进,将双腿膝部并拢用绑带固定,两足大脚趾靠拢,双腿稍内旋,以便分开胫腓骨及小腿动脉的三分叉部。血管硬化闭塞性病变患者的扫描范围从腹腔干到足背动脉,包括腹主动脉、肾动脉、髂内外动脉、股动脉、腘动脉、胫前动脉、胫后动脉、腓动脉及足背动脉(图 23-1),或者根据诊断的需要对下肢血管不同部位进行成像。

扫描层厚一般为1~1.25mm。如果扫描范围从腹腔干到足背水平(约1024mm),扫描所需时间因多层螺旋CT机的排数及选择扫描参数而不同。以GE多层螺旋CT为例,4层螺旋CT一般选用4mm×2.5mm通道,螺距(pitch)为1.375~1.5mm,如果用扫描时间为0.5s,层厚为3mm,床速为15mm/转(30mm/s),根据患者的扫描长度不同,扫描时间为35~45s。8层螺旋CT选用1.25~2.5mm层厚,螺距为1.35~1.5mm,如选用8mm×1.25mm准直,床速为16.75mm/转(33.5mm/s),扫描时间在31~39s之间;如使用8mm×2.5mm准直,床速为33.55mm/转(67mm/s),扫描时间为16~20s。16层螺旋CT层厚为0.5~2mm,螺距为0.9375~1.5mm;如用高分辨扫描,使用16mm×0.63mm或16mm×0.75mm扫描,床速为17.5~18mm/转(35~36mm/s),扫描时间为29~37s;如用16mm×(1.25~1.5)mm准直,床速为33~35mm/转(66~70mm/s),扫描时间为15~20s。如使用64层螺旋CT,用64mm×0.625mm准直,扫描时间为10s左右。

对比剂的用量及扫描开始时间根据不同的扫描范围或部位、不同的机型(如4层、8层、16层、64层等)、对比剂浓度,患者的全身状况(包括心率、心排血量及下肢血管阻塞的程度)而定。如从腹腔干到足背,用碘浓度为300mg/ml非离子对比剂,用量为120~160ml,对比剂注射流量一般在3.5~4ml/s。外周血管阻塞性病变(peripheral angiopathy disease, PAD)的患者由于并存有心血管病变降低了心排血量,血管显影不良,对于这些病例,可通过提高对比剂流率(如在注射的前5s流率为5~6ml/s),使用高浓度的对比剂(碘浓度为350~400mg/ml),或加大对比剂用量,增加扫描延迟时间来基本解决。有作者建议使用16层CT(16mm×0.75mm),使用高浓度对比剂90ml(碘浓度为400mg/ml)分两期注射,首先用4.5ml/s注射20ml对比剂,随后以2.5ml/s流率注射70ml对比剂,可达到满意的血管显影效果。

确定扫描开始的时间有3种方式。一种使用小剂量团注测试到达时间技术,首先注射15ml对比剂,采集髂总动脉的时间-密度曲线来确定扫描开始的时间。使用4层到单层CT,一般根据测得的时间开始扫描;使用8层、16层、64层CT的扫描时间缩短,扫描开始时间比测得的时间延迟8~10s,甚至更长。也有作者建议测量扫描段起始点及终点的峰值时间,取其中间值作为扫描开始时间。其二,使用CT值检测触发扫描延迟时间,兴趣区设在髂动脉分叉点上方,阈值为100Hu。其三,根据经验,对于血管损伤、肿瘤、血管瘤、动静脉畸形,从腹腔干开始,扫描时间一般延迟28s左右,从髂动脉开始延迟时间为35s左右。16层及以上的CT机可在65~70s后行第二期扫描,方向从足背到髂动脉,可增加血管成像的成功率,减少假阳性及静脉影像的污染。

由于PAD是全身血管性病变,常常累及心血管,引起心功能的改变,如心率减慢、心排血量降低,导致血管显影延迟。虽然使用了追踪技术或峰值测定近段血管进行预测延迟时间,但远端胫前动脉、胫后动脉、腓动脉由于近段血管明显狭窄或闭塞,只能靠细小的侧支血管再通,血流减慢,血供减少,远段血管血管显影不良。根据血管造影显像原理,PAD在行下肢动脉造影时,增加对比剂用量及延长扫描时间可更清晰地显示阻塞远端血管及侧支循环。可使用高浓度对比剂(碘浓度为350~400mg/ml)分两期注射,即少量高流率及大量低流率,增加对比剂剂量,以维持血管内对比剂的浓度;适当延长扫描时间,从腹腔干开始扫描延迟时间约35s,从髂动脉开始扫描延迟时间40s左右。此外在75s左右或在120s后行第二期扫描,可减少假阳性及静脉污染。

### (二) 上肢动脉CTA技术方法

上肢动脉CTA技术较简单。扫描时患者仰卧在扫描床上,双手紧贴侧胸壁。扫描定位从下颈到手指近段或根据需要确定扫描部位。扫描延迟时间同样可用小剂量团注测试对比剂到达时间技术,注射15ml对比剂,采集锁骨下动脉近段的时间-密度曲线来确定扫描开始的时间。也可使用CT值检测触发扫描延迟时间,兴趣区设在锁骨下动脉近段上方,阈值在100Hu开始扫描。其三,根据经验,延迟时间在20~25s,65s行第二期扫描。

高浓度对比剂(碘浓度为350~400mg/ml)用量80ml左右,低浓度对比剂(碘浓度为300mg/ml)用量100ml左右,流率3.5~4.5ml/s。

### (三) 后处理

多层螺旋CT外周血管扫描后产生大量的数据,这些数据的重组间隔采用层厚的30%~50%最经济有效,可提高血管的重组光滑度。这些数据送到工作站进行后处理。外周动脉后处理仍以VR及MIP为主(图23-1),MPR及cMPR及轴位图像为辅。

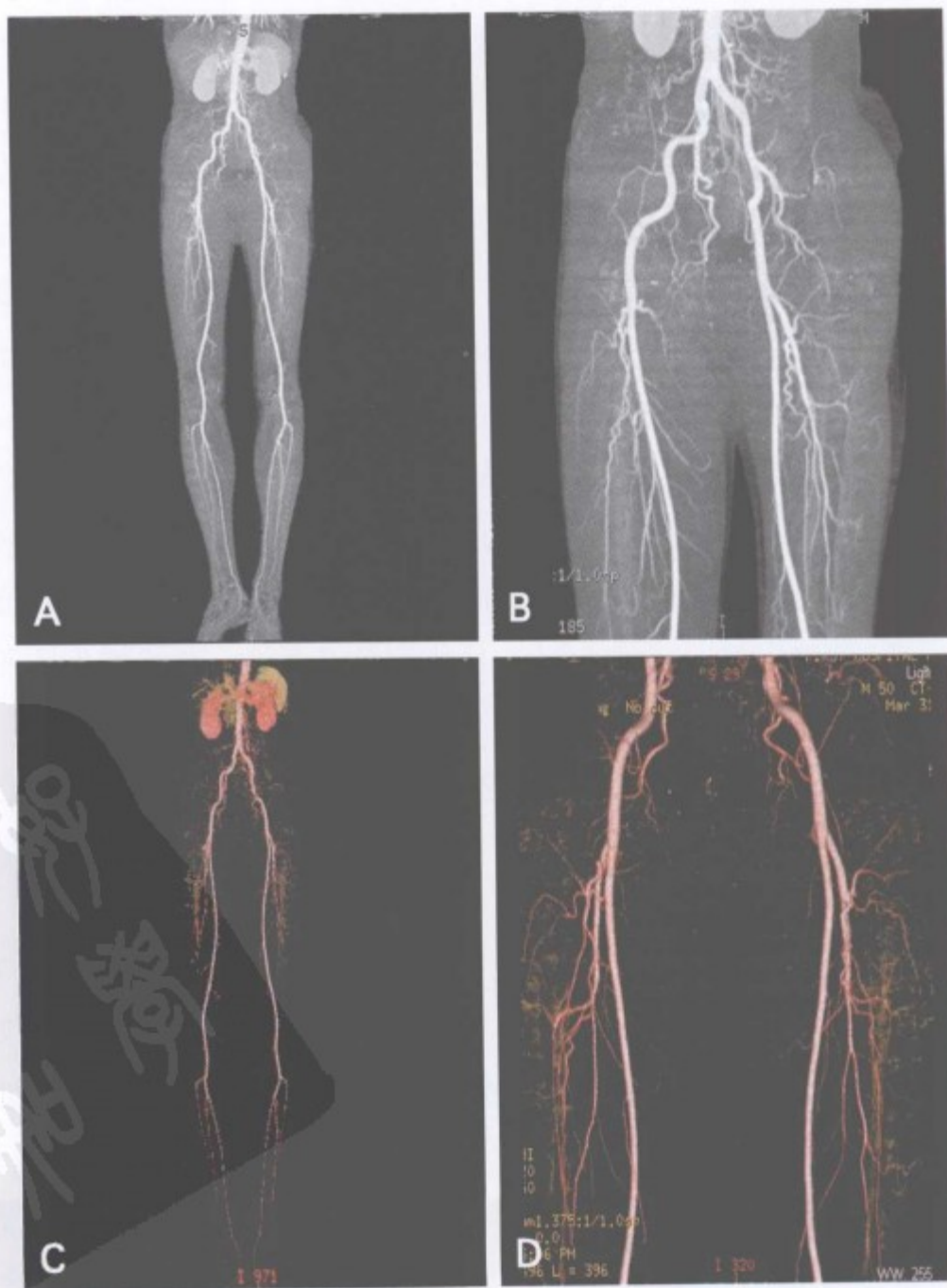


图23-1 正常腹部下肢动脉CTA MIP图像(A、B)及VR图像(C、D)清晰显示腹主动脉、肾动脉、髂股动脉及下肢动脉及细小分支,图像平滑

具体步骤为:首先进行VR重组,进行各段显示后,然后进行去骨或隐骨,显示血管的MIP图像,必要时对病变段进行MPR及cMPR重组。VR图像直观、立体感强,不需要去骨就能显示血管走行、区分前后重叠血管,能准确的给病变段血管定位及显示周围结构的关系。MIP显示细小血管能力较强,可显示动脉壁的钙化及软斑块,管腔狭窄,但与周围骨性结构重叠,需要去骨才能完整的显示血管,合并有钙化时不能准确地评价血管狭窄程度。MPR及cMPR可将血管显示在一个平面上,虽然血管有些变形,病变长度可能不准确,但可以显示血管壁钙化、软硬斑块、血栓,并能测量狭窄血管的径线,计算狭窄程度,可作为VR及MIP评价血管的补充。上述几种重组技术结合可使病变的部位、范围、程度、侧支及闭塞远段血管主干得以准确显示,为临床判定手术适应证和制定手术方案提供更便捷、有效的手段。

## 二、四肢动脉CTA的临床应用

### (一)动脉闭塞及狭窄性病变

动脉闭塞及狭窄性病变以血栓闭塞性脉管炎和闭塞性动脉硬化症最为常见。动脉硬化闭塞性病变更多见于中老年人,由动脉硬化引起,属全身系统疾病,好发于大中型血管的分叉起始部,如腹主动脉下段、股动脉、腘动脉等。动脉粥样硬化病变的发展使动脉管腔逐渐狭窄而致闭塞,也可因斑块内出血或其表面血栓形成而突然堵塞。此外,又可导致动脉壁的瘤样扩张。其供血肢体的缺血程度取决于阻塞的部位、数目、阻塞发展的速度和侧支循环的供血能力。

下肢动脉硬化症严重威胁着老年人,如不早期发现和治疗,晚期不得不以截肢为代价。血栓闭塞性脉管炎(Buerger病),主要见于30岁以下青年男性,重度嗜烟者。主要累及中、小动脉。上肢常同时受累。病程较长,发展较慢。患者多有浅表静脉炎和雷诺(Raynaud)现象的病史,而无糖尿病、高脂血症和高血压的病史。

与下肢缺血相比,上肢动脉缺血的病因复杂得多。动脉阻塞分小动脉阻塞与大动脉阻塞两大类。其中导致小动脉阻塞的致病因素有结缔组织病、骨髓增生性疾病、血栓闭塞性脉管炎、高凝状态、过敏性血管炎、冻伤、长期接触细胞毒性药品(如化疗科护士);导致大动脉阻塞的致病因素有动脉硬化、胸廓出口综合征、大动脉炎、巨细胞性血管炎、肌纤维发育不良。

### 【CTA表现】

多层螺旋CT下肢动脉成像,可一次显示腹主动脉下段到足背的动脉病变状况,很好地判断血管的流入及流出道情况,为早期进行搭桥手术及支架手术提供准确资料。上肢动脉成像可以包括从主动脉弓分支到手指端血管。

动脉狭窄在CTA上表现为管径变细、变窄、闭塞。各种血管重组图像显示狭窄段管腔呈虫蚀样或细线样改变,管壁毛糙,部分伴有管壁钙化,闭塞段管腔局部中断,范围因病变而异,部分病变周围有侧支血管形成。轻度狭窄表现为血管管径缩小至正常管径的50%以下,中度狭窄为正常的50%~74%,重度狭窄为正常的75%~99%。100%的狭窄为血管闭塞。

CTA(图23-2~23-4)图像从各方位、多角度直观地观察受检血管,VR血管图像空间解剖关系明确,能识别胫前、胫后动脉等前后重叠的血管,并能清晰显示血管壁的钙化,血管狭窄的程度,对股浅、胫



前、胫后动脉等中小血管等均能清晰显示。MIP 不仅能显示动脉狭窄或闭塞,而且能显示狭窄的原因,如粥样斑块的性质及形态;此外,MIP 能显示更多细小血管;MPR 技术中的曲面重组技术或血管重组软件可以勾勒出感兴趣区单一血管的行径,也可以对血管狭窄的程度及长度准确量化。

血管炎表现为血管壁扭曲、形态不规则和程度不等的强化,但无管壁的钙化。

此外,CTA 可发现闭塞动脉远段血管的能力优于 DSA,因为 CTA 可显示通过侧支循环显示远段血管的供血。

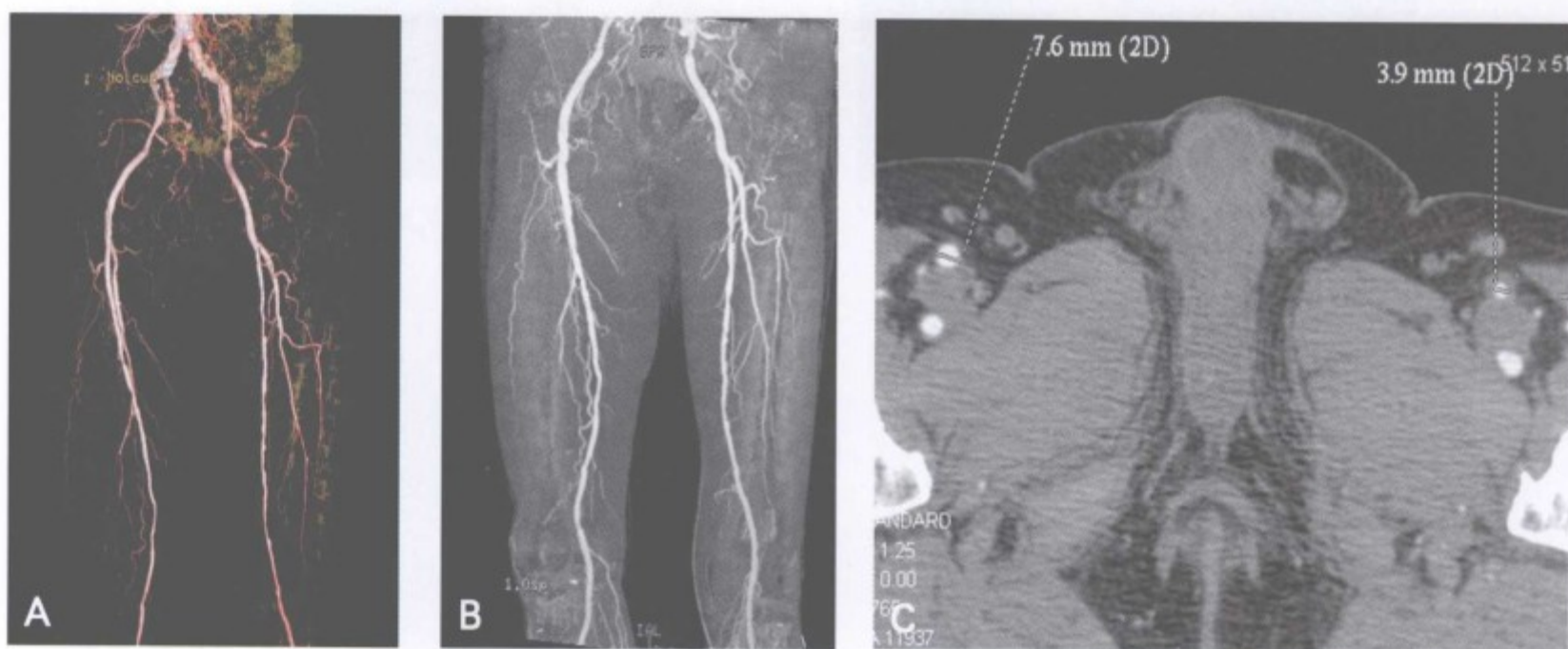


图 23-2 下肢动脉硬化狭窄

VR 图像 (A) 显示腹主动脉下段及髂动脉管壁的钙化灶;VR 图像及 MIP 图像 (B) 显示双侧髂股动脉粗细不均匀,程度不同的狭窄,其中左髂动脉及股动脉近段明显狭窄;轴位图像 (C) 可测量管径的真实大小,显示管壁及管腔状况,左侧股动脉腔狭窄,周壁见低密度的粥样斑块

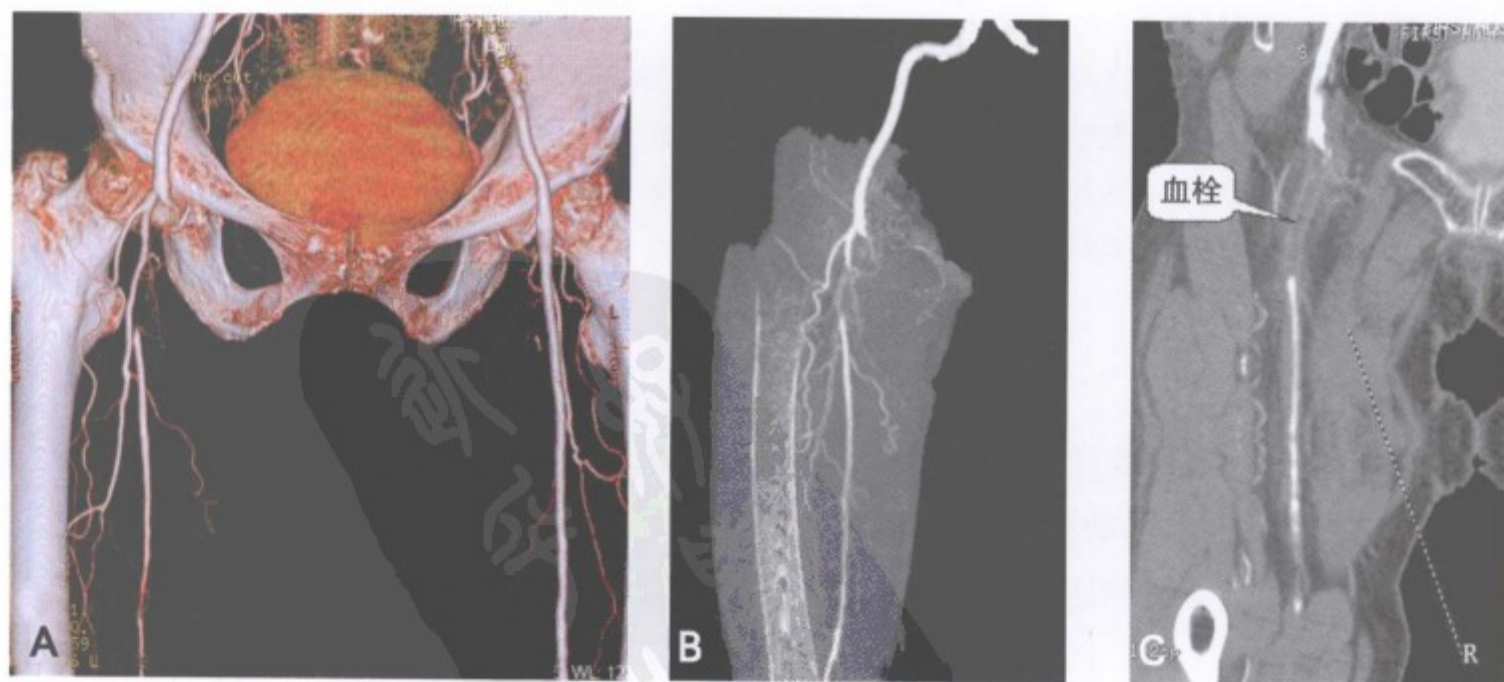


图 23-3 动脉闭塞

86 岁女性,右侧下肢疼痛,血管搏动减弱。CTA 重组,VR 图像 (A) 及 MIP 图像 (B) 显示右侧股浅动脉近段闭塞,中远段狭窄,闭塞段周围见较多的侧支血管,闭塞远端经侧支血管再通,MIP 显示周围小血管较 VR 更清晰、更多。曲面 MPR (C) 显示闭塞段管腔内低密度血栓,狭窄段管壁内见低密度粥样斑块

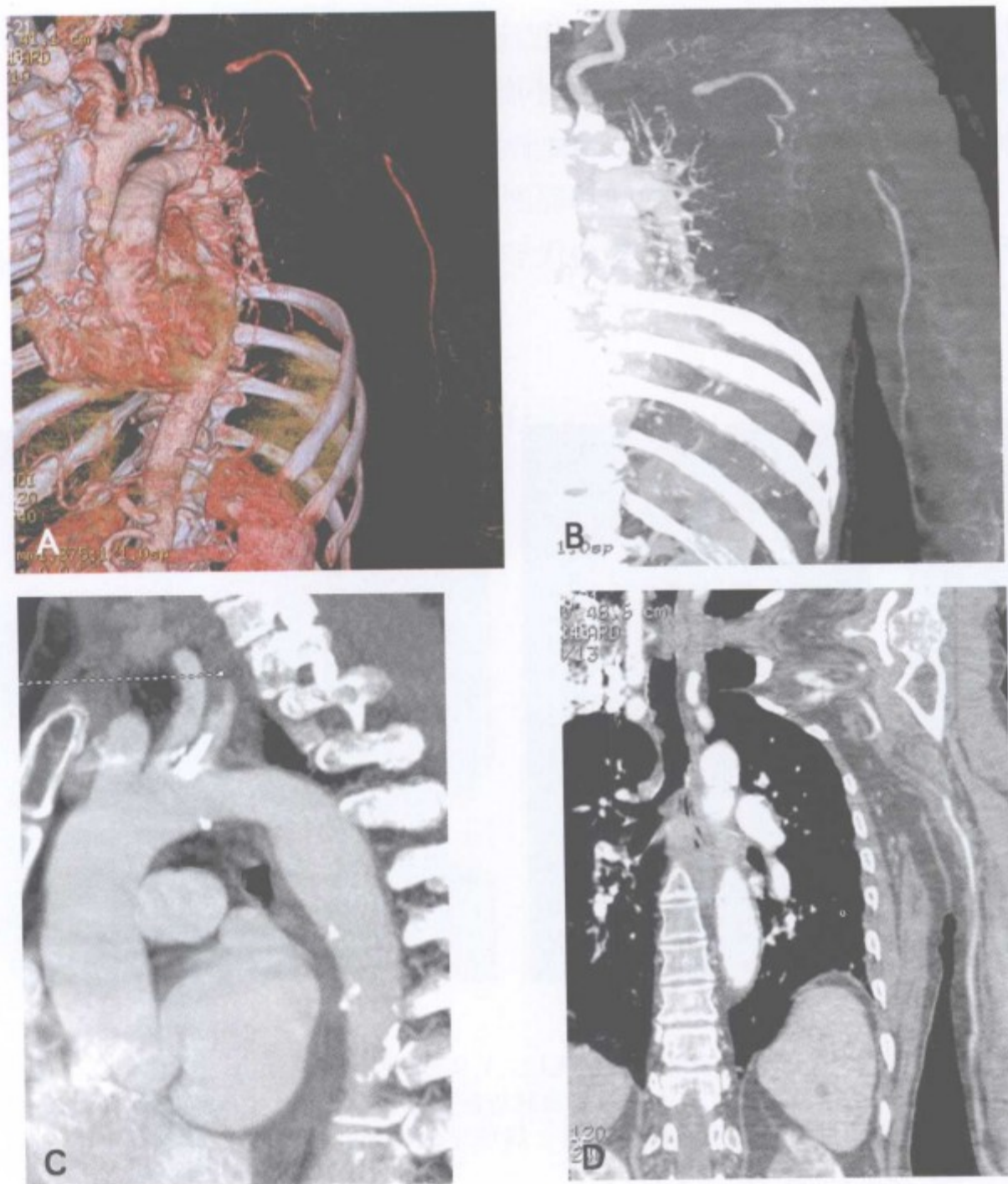


图 23-4 动脉闭塞

VR 图像 (A) 及 MIP 图像(B)显示主动脉、左颈总动脉、左锁骨下动脉壁钙化, 左锁骨下动脉近段及腋动脉闭塞, 同时 MIP 显示肩部及手臂软组织肿胀。MIP 图像(C)显示左颈总动脉及左锁骨下动脉壁内粥样斑块及钙化。曲面 MPR 图像 (D) 显示腋动脉管腔闭塞及低密度血栓

虽然肢体动脉CT血管成像可显示动脉粥样硬化的范围、程度及累及血管的节段,但在三维重组图像诊断时要鉴别闭塞后的缺血引起的动脉痉挛与真正血管闭塞。另外,要观察阻塞血管入口、出口及侧支循环情况,便于外科医生选择手术的方式及范围。

## (二)急性肢体动脉栓塞

急性肢体动脉栓塞多数由心源性及血源性的栓子进入动脉,造成远端动脉管腔阻塞,肢体、组织缺血的过程。好发部位常见于动脉分叉处。

CTA可清晰地显示栓塞的部位(图23-5),常表现为栓塞处管腔突然中断。MIP重组表现为栓塞处动脉管壁平直,远端血管内无对比剂充盈。由于动脉栓塞起病急,周围循环未建立,CTA上见栓塞周围基本无侧支循环。

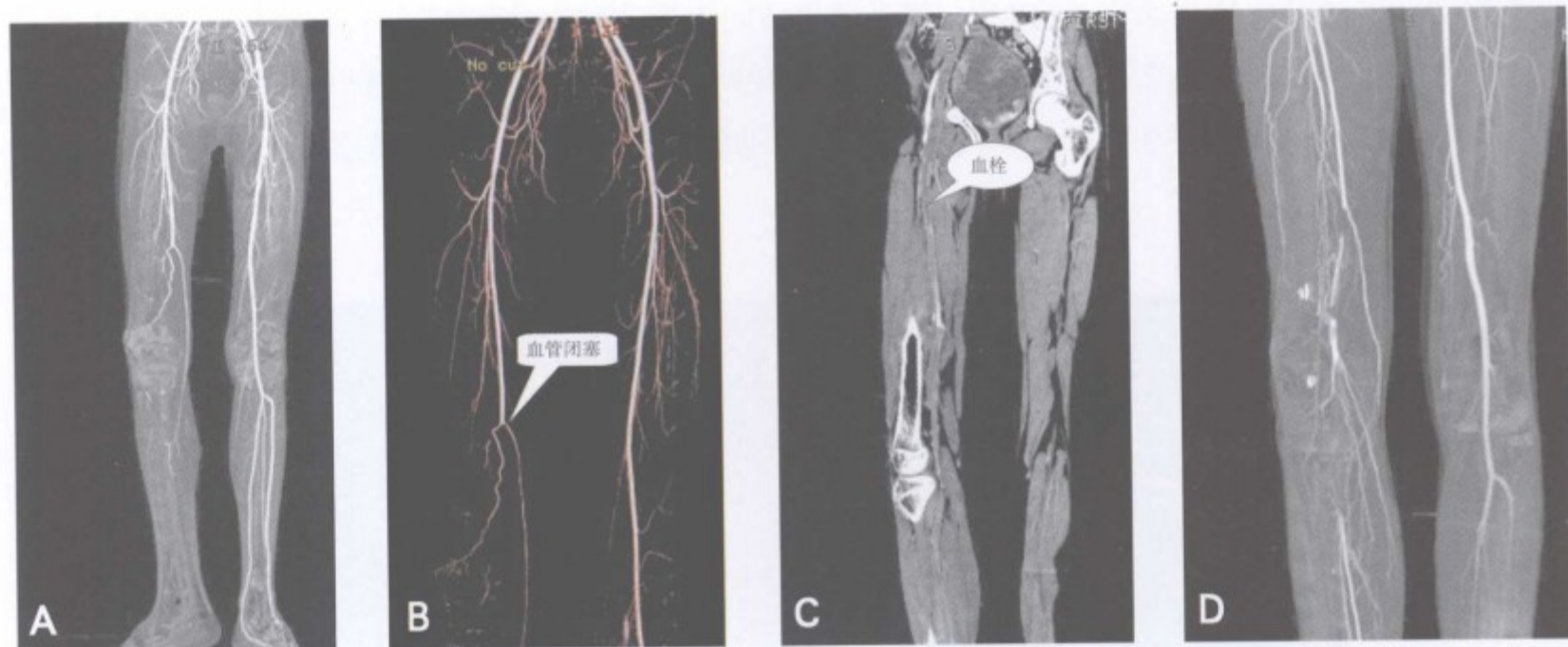


图23-5 急性动脉栓塞

男性,14岁,患风湿性心脏病,血栓栓塞右侧股动脉下段、腘动脉,VR图像(A)及MIP图像(B)显示股浅动脉下段、腘动脉中段、下肢胫前后动脉及腓动脉未见显影,周围未见明显的侧支循环形成。曲面MPR(C)显示股动脉下段及股静脉髂静脉内血栓形成。另一例62岁PDA病例MIP图像(D)显示右侧股动脉及腘动脉闭塞,周围见较多的侧支血管网

### (三)动脉瘤

动脉瘤一般认为是血管壁局部薄弱引起的。动脉粥样硬化为最常见的病因,它可使动脉壁变薄弱,使其扩张。

CTA表现为动脉的局部异常扩张,对比剂均匀分布在瘤腔内。附壁血栓或粥样斑块表现为动脉腔内附壁的片状或不规则形低密度影。

CTA在发现下肢动脉瘤的敏感性方面优于DSA。VR及MIP可清晰显示肿瘤的大小及部位,MPR可显示动脉瘤的大小、瘤颈位置及直径、上下段正常血管的直径、附壁血栓或粥样斑块,VE可清晰地显示异常扩大的瘤腔及其血管壁的钙化斑块。可给临床提供更多的信息,指导临床治疗。

### (四)假性动脉瘤(pseudoaneurysm, PSA)

假性动脉瘤是介入性检查或治疗操作后较常见的血管并发症(图23-6),也见于动脉损伤(图23-7)、长期吸毒静脉注射者(图23-8)或血管硬化性病变。由于瘤壁内没有动脉组织(如中膜或外膜),故称之为假性动脉瘤。

发生部位最常位于股动脉(股总动脉、股浅动脉、股深动脉),其次为髂动脉远端、桡动脉。上肢PSA虽少见,但其后果严重,常有严重的并发症及后遗症。PSA若未及时治疗,可产生以下后果。①血流的冲击使瘤壁容易破裂、瘤体不断扩大;②瘤内血流缓慢时可形成血栓并向动脉及其远端释放;③压迫邻近的神经血管结构;④皮肤和皮下组织的坏死;⑤显著失血。

假性动脉瘤在血管外存在一个或多个腔隙(瘤腔),内部有血液流动,并经通道(瘤颈部)与动脉相连,收缩期动脉血液经过瘤颈部流入瘤腔内,舒张期血液回流到动脉内。脉冲多普勒超声检查有特征性的血流往复征。在急性期,由新鲜血肿形成瘤壁;在慢性期,由机化血栓与纤维组织形成瘤壁。

CTA显示穿刺部位存在瘤腔,并有通道(瘤颈)与动脉相连,早期瘤腔部分充盈,延迟扫描见瘤腔内

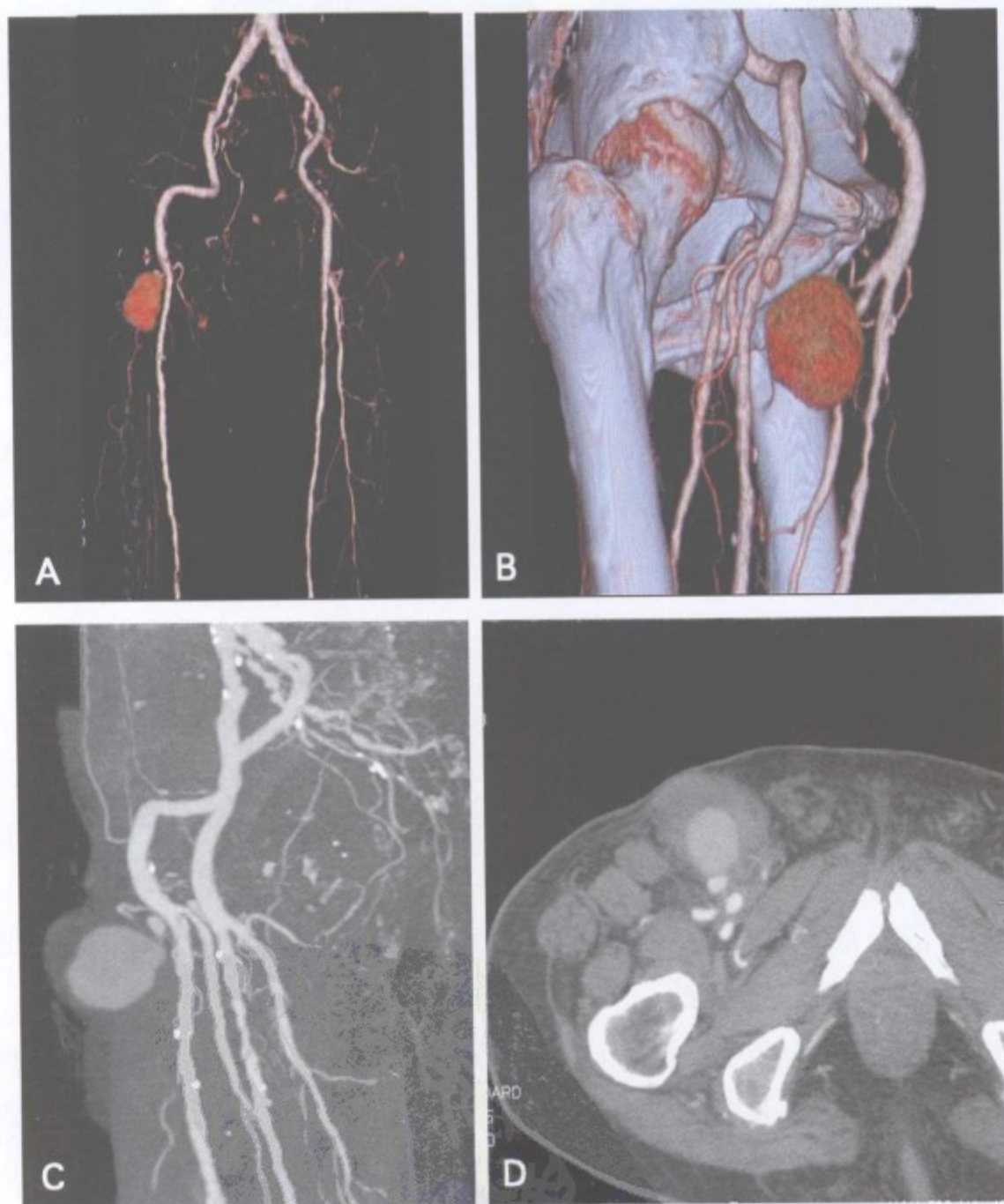


图 23-6 假性动脉瘤

男性,89岁,心导管插管术后右腹股沟出现搏动性包块(假性动脉瘤)。VR图像(A、B)及MIP图像(C)显示双侧髂股动脉粥样硬化,多段不同程度狭窄。右侧股动脉分支部见两密度不等的密影(瘤腔),形态不规则,两者之间有细条状高密度影相连,旋转及曲面重组图像显示瘤体与股浅动脉相连,延迟扫描病灶密度增高,边缘更清晰。VR同时显示瘤体的位置及与周围骨骼的关系。轴位图像(D)显示瘤腔内的血流及周围的血栓

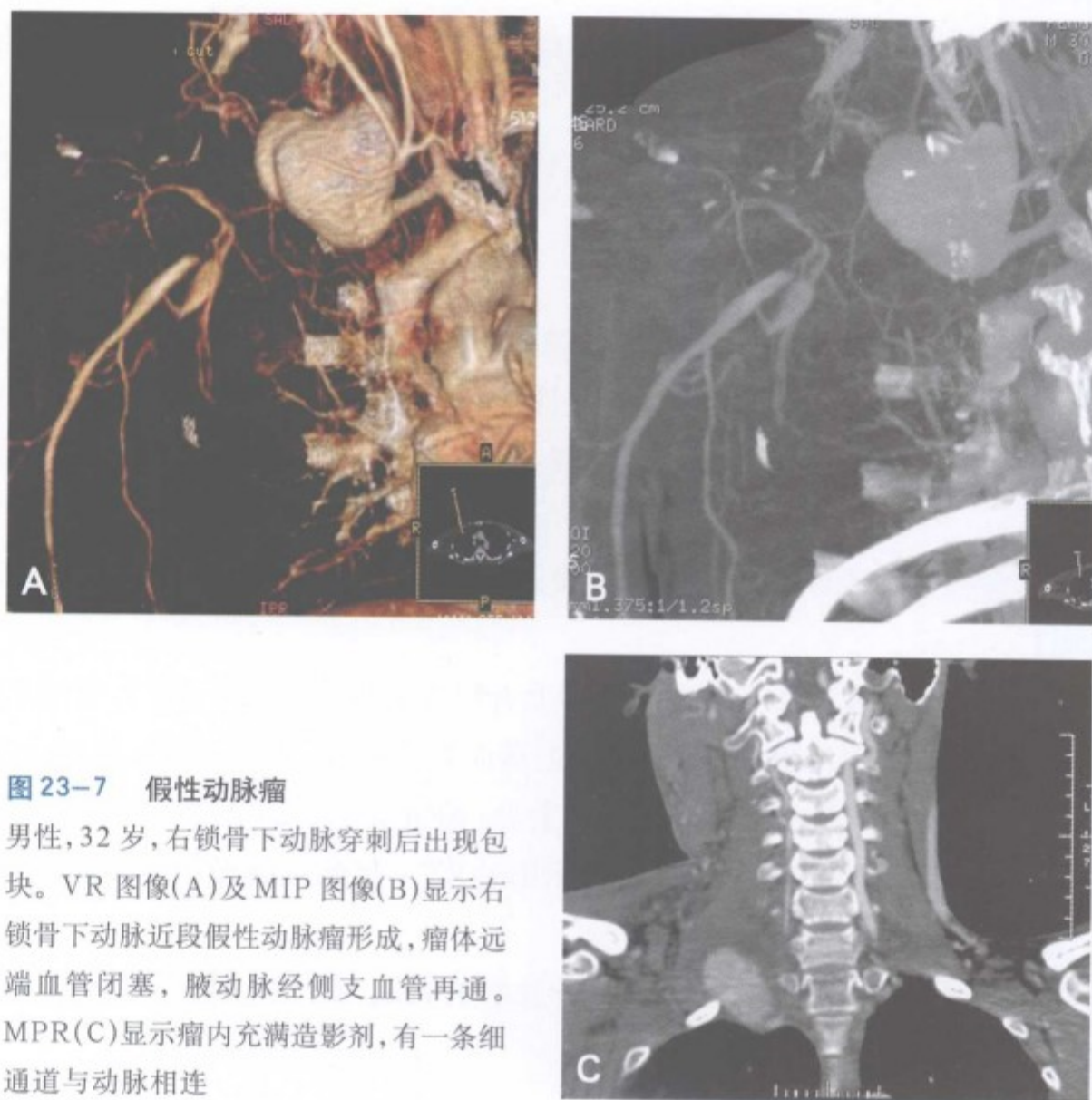


图 23-7 假性动脉瘤

男性, 32岁, 右锁骨下动脉穿刺后出现包块。VR 图像(A)及MIP 图像(B)显示右锁骨下动脉近段假性动脉瘤形成, 瘤体远端血管闭塞, 腋动脉经侧支血管再通。MPR(C)显示瘤内充满造影剂, 有一条细通道与动脉相连

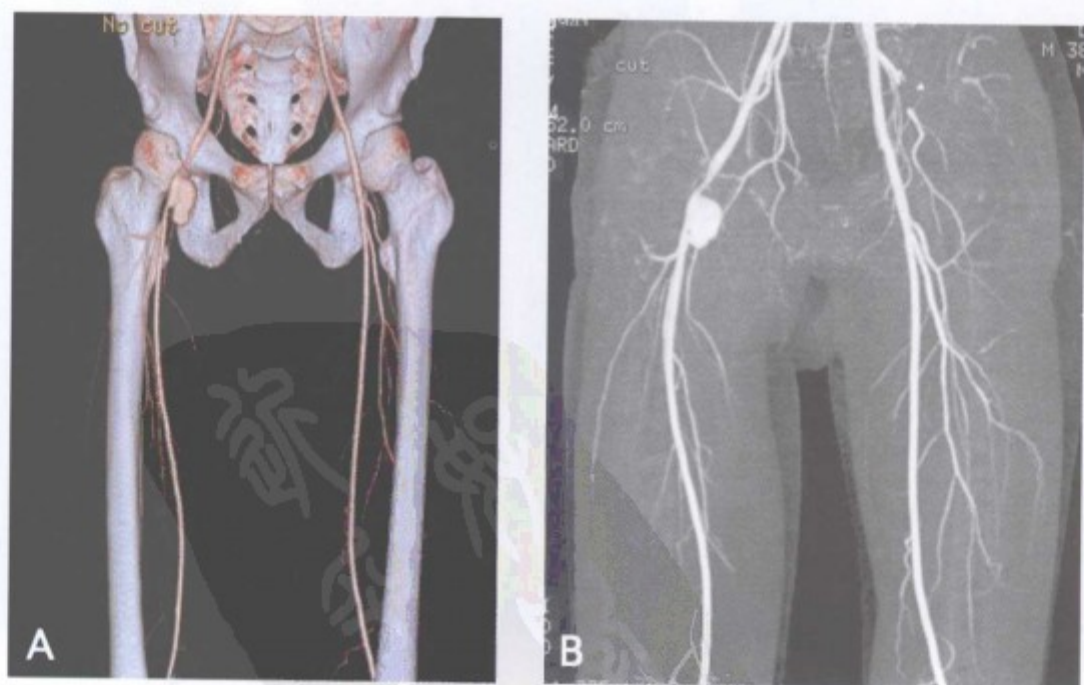


图 23-8 假性动脉瘤

男性, 38岁, 吸毒者。右腹股沟出现搏动性包块。VR 图像(A)及MIP 图像(B)显示右股动脉假性动脉瘤形成, 见血管的内侧有一高密度影, 密度几乎等同于血管密度, 与血管壁分界不清, 相连的血管及上下段受压变窄。右侧股动脉分支明显减少

对比剂增多,最终充满整个瘤腔,CTA不仅可显示瘤腔的大小,瘤内血栓,也可显示周围组织的压迫程度及供血血管的状况。

Doppler 检查可显示典型往复性血流信号,CTA 及彩色多普勒超声波检查有确诊价值。

### (五)动静脉畸形(AVM)

AVM 是由动脉与静脉纠缠在一起的扩张的血管所组成的先天性畸形,其中动脉的输入性血流直接进入静脉的输出性通道,中间缺乏毛细血管床形成的阻力。这种特殊畸形结构造成的后果是畸形血管出现进展性扩大,通过压迫、刺激作用或分流血供、出血损害邻近的组织,引起远端血管缺血。

肢体 AVM 大多数为后天性动静脉损伤所致,少数为先天性。

#### 【CTA 表现】

肢体 CTA,特别是 VR 及 MIP 在诊断 AVM 上有很大的价值(图 23-9),不仅可清晰显示 AVM 的范围、增粗的供血动脉及引流静脉,也能显示远端血管的粗细、形态,MIP 能显示畸形血管与周围组织的关系,如畸形血管对骨的侵蚀、骨的增生等。研究显示,CTA 对 AVM 畸形血管团的确诊率达 100%,对病灶的 1、2 级动脉供血血管的显示率达 87%,反映血管畸形团块的范围较 DSA 更清晰。

对于病变范围大、有多支供血动脉及引流静脉的 AVM,由于动脉期、静脉早期显影,常难以显示真正的供血及引流血管。

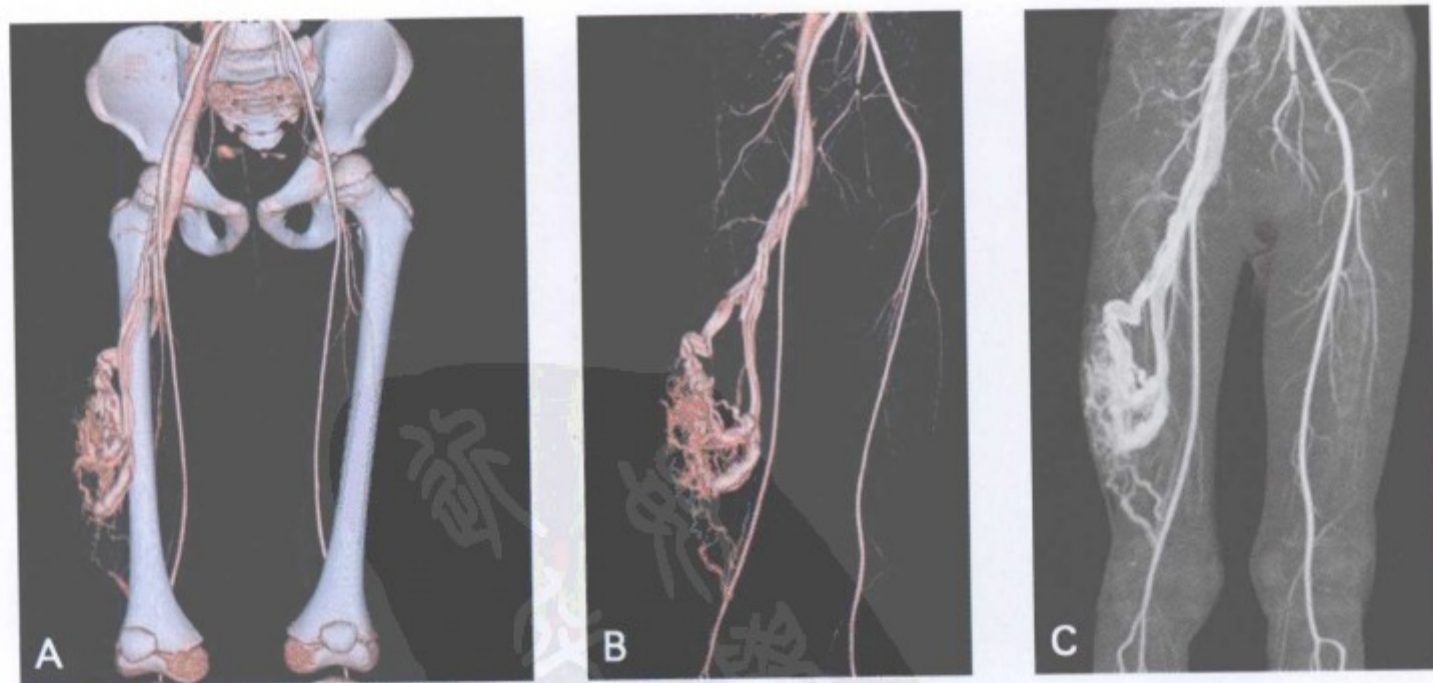


图 23-9 AVM

8 岁男孩,大腿肿胀数年,逐渐增大。VR 图像(A、B)及 MIP 图像(C)显示右侧股动静脉明显增粗,股深及股浅动脉与一团异常增粗迂曲的血管相连,回流到股静脉,上段股静脉提早显影,股髂静脉明显增粗

## (六) 血管瘤

血管瘤是胚胎期血管细胞增生异常而形成的一类良性肿瘤样病变。血管瘤的种类很多,包括毛细管型血管瘤(包括草莓状血管瘤、葡萄酒斑血管瘤)、海绵状血管瘤、静脉性血管瘤、蔓状血管瘤等。毛细管型血管瘤由大量错杂交织的扩张毛细血管构成;海绵状血管瘤由衬有内皮细胞的无数血窦所组成,血窦大小、形状不一,如海绵状,窦腔内充满静脉血,并且彼此交通,有时窦腔内血液凝固而形成血栓,血栓可钙化为静脉石;蔓状血管瘤主要由血管壁显著扩张的动脉与静脉直接吻合而成,是一种迂回弯曲、极不规则而有搏动性的血管瘤,多见于成年人。蔓状血管瘤可与毛细管型或海绵型血管瘤同时并存。

### 【CTA表现】

平扫可显示病灶内静脉石、钙化及出血;

增强扫描显示团状、条状、蚓状扩张、迂曲的血管影(图23-10);延迟扫描异常血管影数量增多,密度增高、范围增大。如混合型可见增粗、扩张的动静脉影,此外可见扩张血管内的血栓。

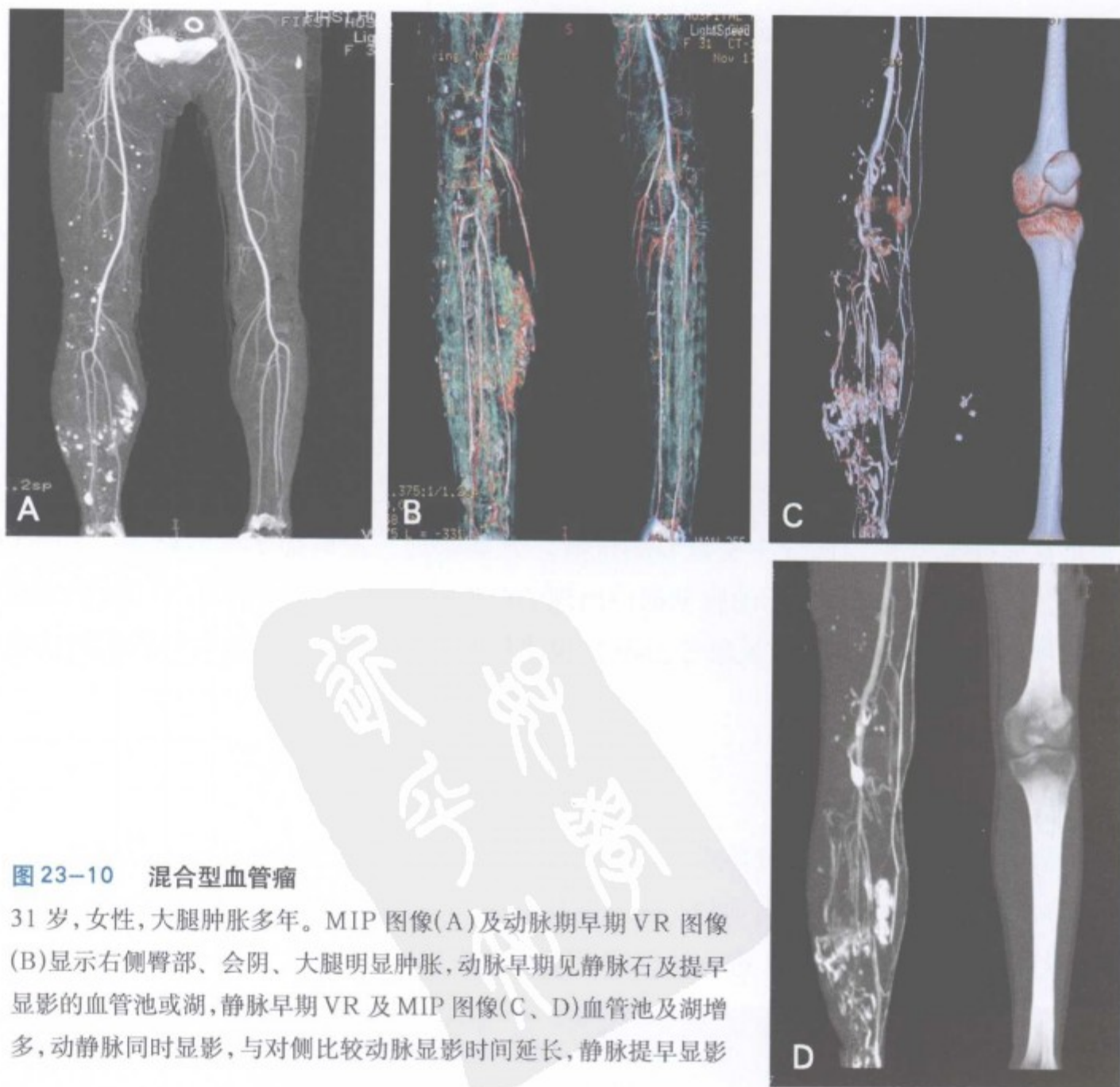


图23-10 混合型血管瘤

31岁,女性,大腿肿胀多年。MIP图像(A)及动脉期早期VR图像(B)显示右侧臀部、会阴、大腿明显肿胀,动脉早期见静脉石及提早显影的血管池或湖,静脉早期VR及MIP图像(C、D)血管池及湖增多,动静脉同时显影,与对侧比较动脉显影时间延长,静脉提早显影

MPR 重组可清晰地显示肿瘤是否侵犯周围组织,如肌筋膜、骨质、血管等,也可以显示是否合并周围软组织水肿。

### (七)动脉压迫综合征(Popliteal artery entrapment syndrome PAES)

动脉压迫综合征(PAE)是一种发育缺陷性疾病,常因腘动脉走行异常或腓肌、腓肠肌的解剖位置异常引起。

在腘动脉走行异常或腓肌、腓肠肌的解剖位置异常的情况下,肌肉收缩时,腘动脉被挤在胫骨和腓肠肌内侧头之间,长期受压后,引起动脉壁变性,形成动脉瘤样扩张或产生斑块,导致血栓形成,出现间歇性跛行。其严重的程度与腘动脉狭窄的轻重以及侧支循环的情况有关。

该病不常见,据统计,到 2002 年为止,文献报告的腘动脉压迫综合征共 249 例。患者以男性为主,占 90%左右,发病多在 30 岁以下,间歇性跛行是腘动脉压迫综合征的典型表现,与慢性下肢缺血不同,表现为行走时出现疼痛,而跑步时缓解或消失。

#### 【影像学表现】

利用彩色多普勒超声血管功能检查仪分别在患者屈膝位和伸膝位探查足背动脉波幅,可以看到伸膝位血流降低而屈膝位血流恢复正常,但不能提供动脉受压迫的原因。

DSA在膝伸直位时注入对比剂,拍片显示腘动脉中段受压或向内偏离,也不能提供动脉压迫的原因。

CTA对腘动脉压迫综合征有重要的诊断价值。VR及MIP能显示腘动脉受压移位,而MPR重组可以清晰显示腓肠肌内侧头压迫腘动脉的情况。此外,CTA可显示其他征象如管腔狭窄、闭塞及周围侧支循环建立等。

### (八)动脉损伤性病变

四肢动脉损伤是四肢创伤中最严重的创伤之一,常合并有肢体的其他损伤及全身严重并发症,如不能进行及时的诊断和正确的处理,极易造成肢体的坏死,甚至引起大量出血而危及生命。动脉损伤包括血管断裂、挫伤、栓塞、痉挛、受压。

CTA在四肢血管损伤病变中有重要的价值,其能快速、及时显示动脉断裂、动脉内脂肪栓子、动脉受压情况等,也可以显示动脉壁损伤出现的假性动脉瘤(图23-11)及动-静脉瘘(图23-12),如动脉期静脉过早充盈以及盗血现象等。同时,也能显示周围骨骼、肌肉及各种软组织状况,有助于指导临床治疗。

### (九)动脉病变术后复查

CTA用于下肢血管搭桥、置换或支架术后复查(图23-13,图23-14),显示连接口有无狭窄,人工血管或桥血管是否通畅,是否有血栓形成。文献报道,多层螺旋CTA在血管病变复查优于彩色B超,建议用CTA代替B超或DSA进行血管病变术后复查。



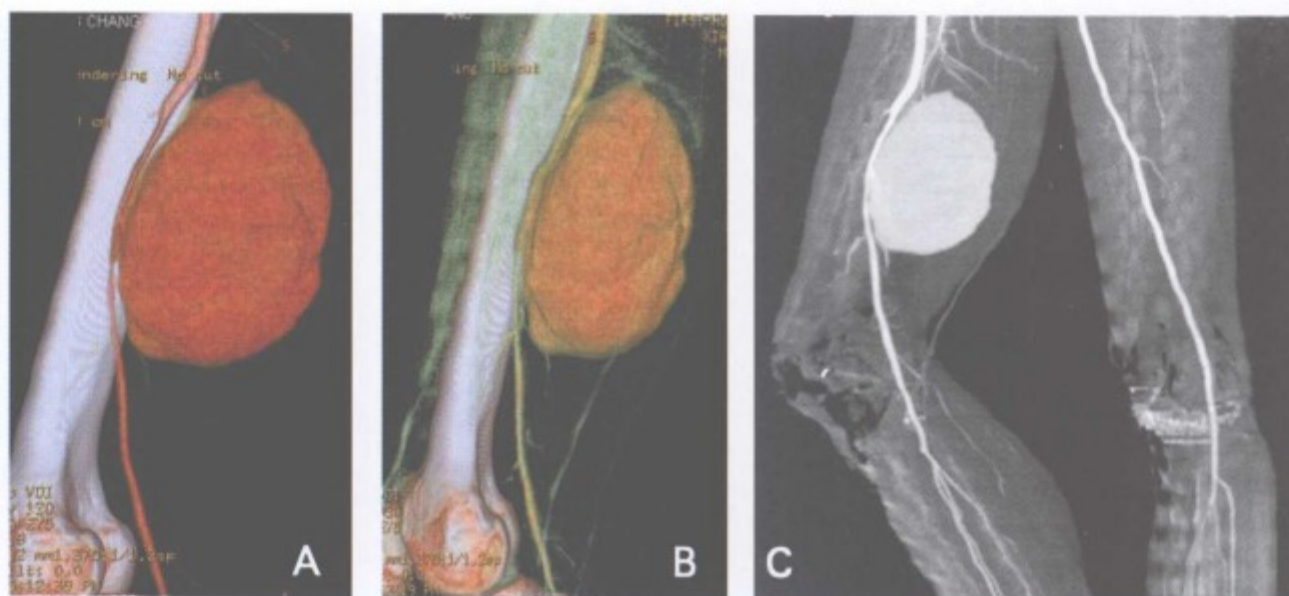


图 23-11 外伤后假性动脉瘤形成

刀刺伤病例。VR 图像(A、B)及 MIP 图像(C)显示右侧股动脉中段与血管壁相通的高密度影,局部血管受压、移位、变窄,VR 同时显示血管瘤的具体位置及其与周围骨骼的关系,MIP 还显示周围软组织肿胀及肢体处于被动体位

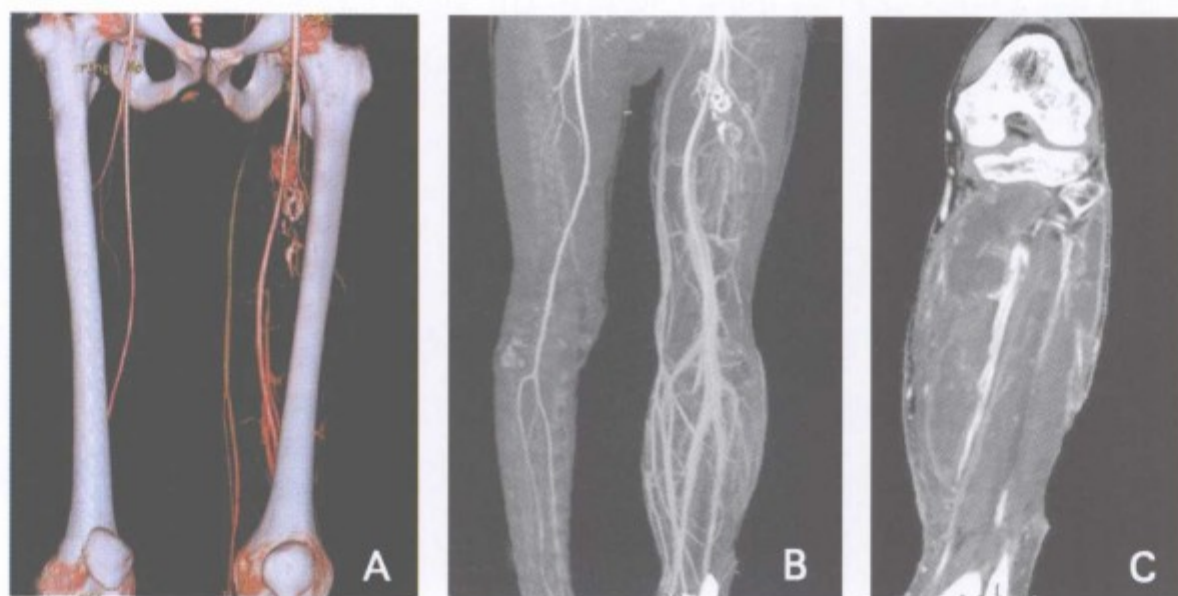


图 23-12 外伤后动静脉瘘

刀刺伤病例。左侧股浅动脉中段断裂接拔术后,下肢血管搏动减弱。VR 图像(A)及 MIP 图像(B)显示左侧股浅动脉中段狭窄,周围及小腿见早期显影增粗的静脉,下肢动脉充盈不良。MPR 图像(C)显示小腿软组织坏死、水肿

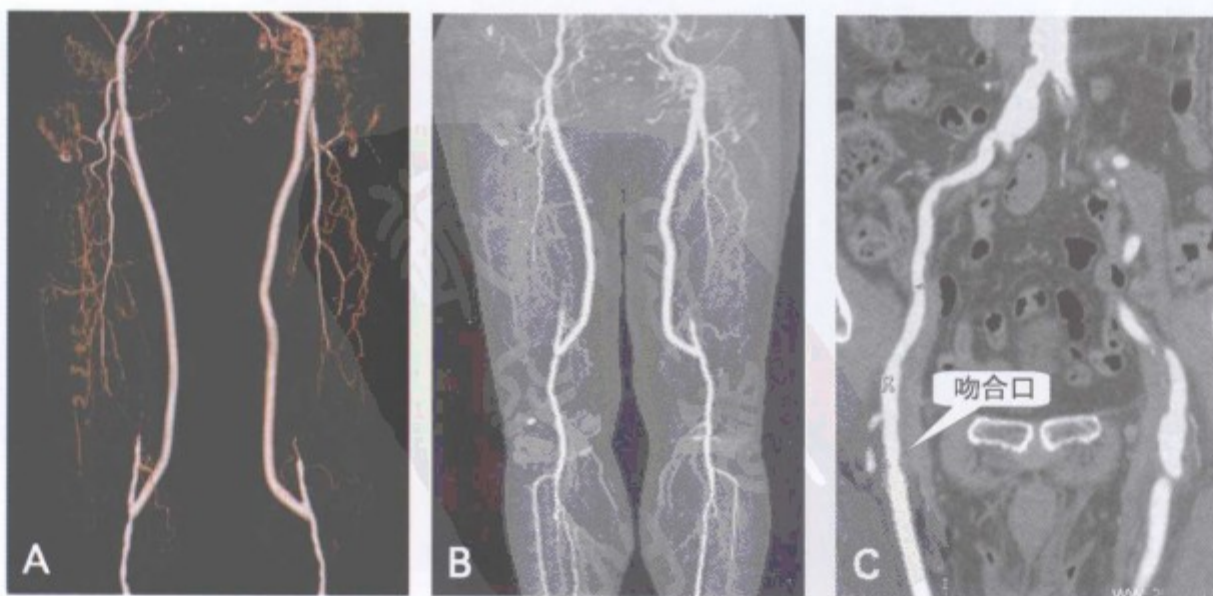


图 23-13 PDA 桥血管术后复查

VR 图像(A)及 MIP 图像(B)显示双侧股浅动脉桥血管通畅,与正常血管密度相等,桥血管两端接口无明显狭窄。MPR 图像(C)显示桥血管腔内外状况良好及接口无狭窄

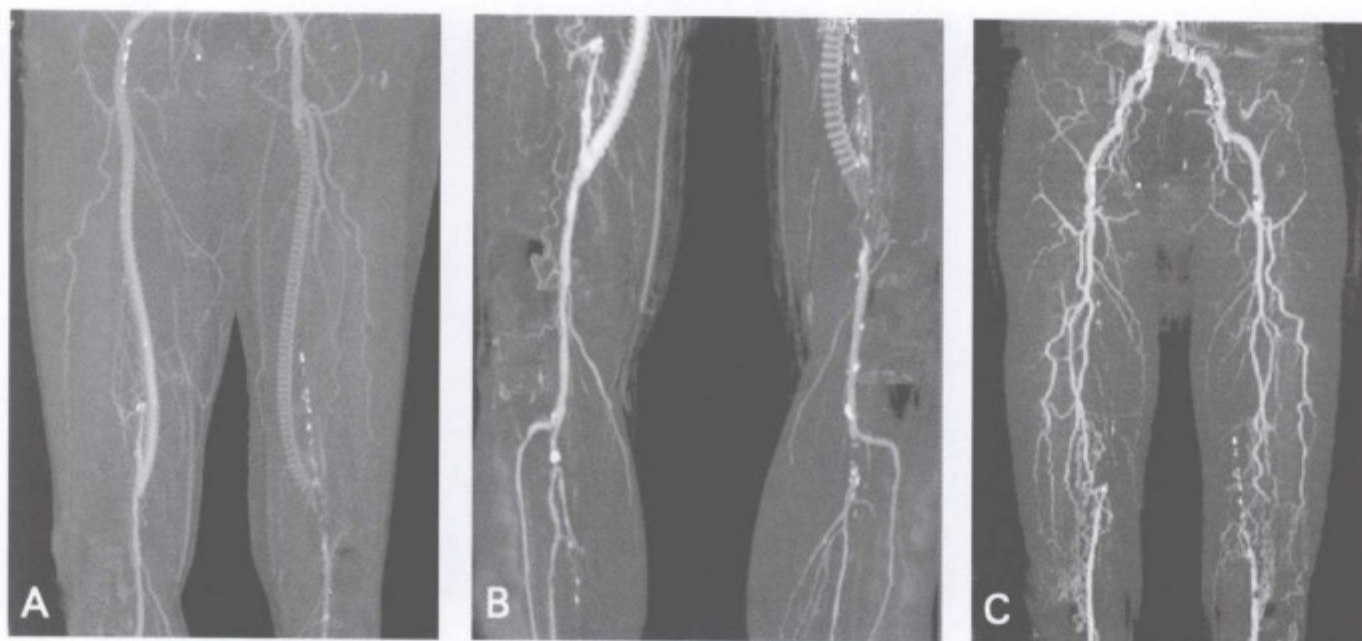


图 23-14 PDA 桥血管术后复查

MIP 图像(A、B)显示右侧股浅动脉桥血管通畅,出口及入口无狭窄;左侧股浅动脉桥血管全段闭塞,呈低密度,出口及相连的血管闭塞。复习术前 CTA 图片,MIP 图像(C)显示桥血管的出口段见血管重度狭窄,桥血管远段血流不畅,导致桥血管积血及狭窄近段血管血栓形成,桥血管闭塞

#### (十)其他

CTA 可用于四肢肿瘤病变的诊断与治疗(图 23-15),可显示肿瘤的供血血管、肿瘤的血供状况、肿瘤与血管的关系,有利于肿瘤的定位及定性,指导临床治疗。此外,对于放疗后引起的周围组织肿胀的病例,CTA 可显示放疗区动脉及静脉的狭窄或闭塞,动静脉内血栓形成等,也可以显示侧支循环及软组织的情况,帮助手术方案的确立。此外可显示透析性瘘及长期透析过程中需要反复穿刺,导致血管壁损伤而形成假性动脉瘤。

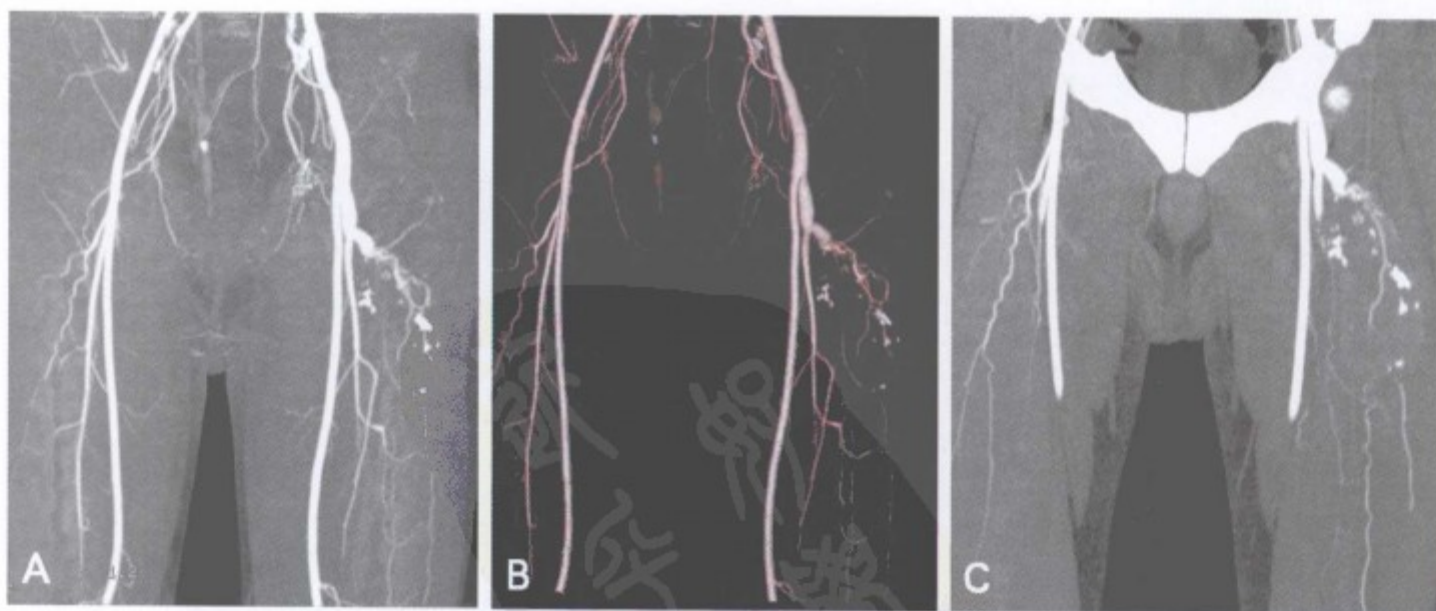


图 23-15 左大腿良性肿瘤

MIP 图像(A)及 VR 图像(B)显示左侧股深动脉及旋股外侧动脉近段明显增粗,旋股外侧动脉中远段形态不规则,肿瘤区见钙化灶;MPR 图像(C)显示肿瘤密度较周围组织高,边缘基本清晰,周围肌肉受压推移,内见少许迂曲的小血管

(潘爱珍 张 佳 梁长虹)

## 第二节 肢体静脉CT血管成像

### 一、下肢静脉解剖

下肢静脉系统的解剖复杂且多变,尤其在下肢出现静脉曲张和下肢血管重构的时候更加复杂。

#### (一) 髂总静脉

髂总静脉收纳同名动脉分布区域的血液。在骶髂关节前方由髂内静脉和髂外静脉合成,各向内上方斜行,至第5腰椎处汇合成下腔静脉。

1. 髂内静脉 在坐骨大孔的稍上方由盆部静脉合成,伴同名动脉的后内侧上行,至骶髂关节前方与髂外静脉汇合成髂总动脉。髂内静脉的属支为壁支和脏支。

(1) 壁支:收集同名动脉分布区的静脉血。

(2) 脏支:包括直肠下静脉、阴部内静脉和子宫静脉等。它们分别起自直肠丛、阴部丛、膀胱丛和子宫阴道丛等,汇入髂内静脉。各静脉丛均位于相应脏器的周围,互相连络,其中血流缓慢。静脉丛内无瓣膜,各丛可自由交通,有利于血液回流。因此,某些疾病也易经血流扩散。直肠丛的血液经以下途径回流。①直肠上部经直肠上静脉注入肠系膜下静脉,回到门静脉;②直肠中部经直肠下静脉汇入髂内静脉;③直肠下部经肛静脉回流入阴部内静脉。

2. 髂外静脉 是股静脉的直接延续,收集下肢所有浅、深静脉的血液,其本干和属支均与同名动脉伴行。

#### (二) 下肢静脉

下肢静脉有浅、深两种,均有丰富的静脉瓣,浅、深静脉间借很多交通支相连。

##### 1. 下肢浅静脉

(1) 足背静脉弓:由趾背静脉合成,横位于跖骨远侧端皮下。弓的两端沿足的两侧缘上行外侧续小隐静脉,内侧续大隐静脉。

(2) 小隐静脉:在足的外侧缘起自足背静脉弓,经外踝后方,沿小腿后面上行,过腓肠肌两头之间至腘窝,穿深筋膜注入腘静脉,沿途收集小腿的浅静脉。

(3) 大隐静脉:在足的内侧缘起自足背静脉弓,经内踝前面沿小腿内侧伴随隐神经上行,过膝关节内侧,绕股骨内侧踝后方,再沿大腿内侧上行,并逐渐转至前面,于耻骨结节下外方3~4cm处,穿隐静脉裂孔表面的筛筋膜注入股静脉。大隐静脉除沿途收集小腿和大腿内侧浅静脉外,在穿筛筋膜前还接纳以下5条浅静脉,即股外侧浅静脉(位于大腿外侧部)、阴部外静脉、腹壁浅静脉和旋髂浅静脉。大隐静脉经内踝前上方处,位置表浅,临床常在此作静脉穿刺或切开。

2. 下肢深静脉 从足到小腿的深静脉都与同名动脉伴行,每条动脉有两条伴行静脉,胫前、胫后静脉在腓肌下缘合成一条腓静脉与腓动脉伴行,穿收肌裂孔移行为股静脉。

3. 股静脉 伴随股动脉上行,初在其外侧,后转至内侧,达腹股沟韧带深面移行为髂外静脉。股静脉接受股动脉分支的伴行静脉(如股深静脉等)和大隐静脉,借此收集下肢所有浅、深部的静脉血。

## 二、上肢静脉解剖

上肢静脉富有静脉瓣,分浅、深两种,浅、深静脉间借很多交通支相连,最终均汇入腋静脉。

### 1. 上肢浅静脉

(1)头静脉:起于手背静脉网的桡侧,转至前臂前面,沿肱二头肌外侧上行至肩部,穿深筋膜注入腋静脉或锁骨下动脉。

(2)贵要静脉:起于手背静脉网的尺侧,转至前臂尺侧,沿肱二头肌内侧上行至臂中部,穿深筋膜注入肱静脉,或与肱静脉汇合成腋静脉。

(3)肘正中静脉:为一短粗的静脉干,在肘窝处连接头静脉和贵要静脉,常接受前臂正中静脉。该血管变异较多,是临床注射、输液或抽血的常见部位。

2. 上肢深静脉 从手掌到臂部都与同名动脉伴行,每条动脉通常有两条伴行静脉,两条伴行静脉间有许多交通支连接。上臂两条肱静脉通常在胸大肌下缘处合成一条腋静脉。

3. 腋静脉 位于腋动脉的前内侧,收集上肢浅、深静脉的前壁血液,在第一肋外缘处续于锁骨下静脉。

## 三、肢体静脉 CT 血管成像检查技术

由于多种检查方法的运用,传统的静脉血管造影已经不再是肢体静脉检查的金标准。

多层螺旋 CT 在肢体静脉疾病的研究和临床应用出现了很大的进展。静脉 CT 血管成像(CTV)既可以显示整个肢体静脉血管的三维图像,还可以显示超声多普勒无法显示的部分血流动力学改变。

### (一)肢体深静脉血栓(deep venous thrombosis, DVT)CTV 检查方法

1. 直接法 CTV Manfred 等在 1997 年发表的文章中描述了他们采用螺旋 CT 进行 DVT 检查的情况。患者取仰卧位,距小腿关节绑扎止血带,双足背静脉穿刺放置 22G 的套管针,并通过 Y 形管连接高压注射器。对比剂碘浓度为 300mg/ml,用量为 200ml,注射流率为 4ml/s,从而保证每侧的注药速度均为 2ml/s。注入对比剂后延迟 35s 开始扫描,扫描范围为距小腿关节至下肢静脉约 100cm。扫描条件为层厚 10mm、床速 20mm/s,螺距为 2,完成全部扫描大约需要 50s 的时间。重组图像为 10mm 层厚、5mm 层距共约 200 幅。每个患者完成检查平均需要 11min,图像后重组需要约 17min。由于受工作站计算机条件所限,Manfred 等主要依靠原始的横断面图像进行分析诊断。

我们的经验是将碘浓度为 300mg/ml 的对比剂与生理盐水按 1:3 容积比例混合稀释,稀释液

通过Y形管从双侧肢体(上肢或下肢)同时灌注。通常碘浓度为300mg/ml的对比剂40ml就足够。可以一次灌注对比剂扫描双侧肢体,减少了单侧灌注扫描双侧肢体需要分两次进行带来的辐射损害。

直接法肢体深静脉血栓CTV检查需要注意以下几点。

(1)稀释碘对比剂:碘浓度为300mg/ml的对比剂与生理盐水按1:3比例混合。对比剂浓度高,将会引起血管内密度过高而产生伪影。

(2)双侧同时以相同流率注入对比剂:一侧肢体静脉病变或一侧肢体静脉病变较对侧肢体静脉病变明显严重时,两侧血管的阻力不同。注射对比剂时,阻力低的血管内容易进入,阻力高的血管可能显影不佳。在这两种情况下,在健侧或病变轻侧肢体近心端使用止血带捆扎,调节血管阻力,达到双侧深静脉内进入的对比剂接近。

(3)根据具体情况调节对比剂注射流率:通常使用低流率灌注,流率在2ml/s,左右分别达到1ml/s。有时候,注射流率更低。

(4)扫描方向:由于采用低浓度对比剂低流率、双侧同时注射,所以,建议注射后一段时间延迟,对比剂充盈整个扫描肢体时候开始扫描,而且扫描时维持相同的注射流率,确保兴趣区血管腔充盈均匀,而且,建议从肢体远端向近心端方向扫描,与对比剂灌注流向一致。

2.间接法CTV Yoshida等对42例下肢DVT伴有腿部肿胀的患者进行检查,其中25个患者双侧下肢肿胀,17个患者单侧下肢肿胀,他们采用穿刺肘静脉注入对比剂,通过体循环到达下肢静脉显影成像的方法。层厚为5mm、床速为7~10mm/s,以2~3mm的间隔重组图像,总的连续曝光时间为40s。为了X线球管的冷却,分为2个阶段曝光,每次连续曝光20s。第一次从盆腔扫描至腹股沟,第二次从腹股沟扫描至膝关节。碘浓度为370mg/ml的对比剂,剂量为150ml,以3ml/s的流率注入,注入对比剂后延迟120s进行第一次扫描,延迟180s进行第二次扫描。这种间接检查法可以用于肺动脉和下肢静脉联合成像,给肺栓塞的患者带来了很大的方便,减少了肺栓塞患者的检查流程,为其治疗提供了更长的时间窗。同时,间接法具有检查范围大、时间短的优点。若一侧肢体静脉血栓时,可以以对侧为对照;没有血流伪影;避免了肢体静脉造影术后并发静脉炎的可能;对急、慢性DVT均可检查,并且可以显示肢体部骨及软组织病变,尤其对髂静脉血栓有独特的诊断价值。

## (二)肢体深静脉CTV扫描技术

1.扫描方法 上肢静脉CTV扫描采用仰卧位,双上肢置于头顶(在患者的病情允许,而且患者可以完成这个动作的情况下),双手掌心朝扫描床,双手尽量并拢。如果双手不能至于头顶,将双手至于身体双侧,掌心向上。下肢静脉CTV扫描采用仰卧位,双腿尽量伸直并并拢,双侧脚趾尽量靠拢。

2.扫描范围 上肢静脉CTV扫描包括主动脉弓至掌指关节水平。下肢静脉CTV包括肾静脉至双足水平。

3.图像后处理 所有原始横断面图像传送至工作站进行处理,后处理方法包括最大密度投影、表面重组、多平面重组及容积再现重组。

## 四、肢体静脉性疾病CTV表现

### (一)肢体静脉血栓的形成

1. 肢体静脉血栓的形成及分型 肢体深静脉血栓(deep venous thrombosis, DVT)常常发生于下肢,是肢体肿胀的主要病因,治疗不当常可引起后遗症。血流滞缓、静脉壁损伤和高凝状态为静脉血栓形成的3大因素。

下肢深静脉血栓形成分为3种类型。①始发于小腿肌肉静脉丛者称周围型;②发生于髂股静脉者称中央型;③二者均可向近侧或远侧扩展而成为混合型。超声检查和电阻抗体描记能可靠地判断主干静脉是否阻塞。静脉造影可有效地判断有无血栓、血栓的位置、侧支循环情况。

上肢深静脉血栓包括两种类型,即上腔静脉血栓和上肢深静脉血栓。

上肢DVT病变多发生于锁骨下静脉和腋静脉,临床上主要表现为上肢肿胀、疼痛和浅静脉扩张等症状。

原发性上肢DVT也称肌紧张后血栓形成,多见于健康男青年,发病前患者上肢往往有拉伤、过度用力、过伸或过度外展等病史。

继发性上肢DVT约占上肢DVT的75%,病因包括置入中心静脉导管和心脏起搏器、高凝状态和纵隔肿瘤等。有文献报道60%是由于使用中心静脉导管和心脏起搏器所致。从导管置入到通过超声检查,发现血栓形成的平均时间为42.2d。上肢DVT所致的有症状或无症状的肺栓塞发生率为10%~30%,与下肢DVT相近。接受中心静脉导管置入的患者多为病情危重者,如果再发生上肢DVT或是肺栓塞,无疑是“雪上加霜”。因此对于可能诱发上肢DVT尤其是无症状的上肢DVT应给予足够重视。

2. DVT CT检查方法 CT在肢体深静脉血栓形成的诊断中有独到优势,直接和间接增强法均可应用。

在以往DVT的诊断中,均以肢体静脉造影术为标准检查。遇到穿刺困难,血栓易脱落,髂静脉压迫综合征或上腔静脉压迫综合征等情况时,肢体静脉造影术就有技术上的风险或诊断上的遗漏。多层螺旋CT可在行肺动脉的CTA后2min行下肢或上肢深静脉扫描,对临床检出肺血栓有积极的意义。

3. 肢体静脉血栓形成的MDCTV征象(图23-16,图23-17)

- (1)轴位图像显示病变血管腔内低密度充盈缺损。
- (2)MIP、SSD及VR图像显示管腔狭窄、中断或变细。
- (3)浅静脉、侧支静脉扩张、迂曲。
- (4)肢体软组织增厚。

Sterling等认为曲张静脉内中心性充盈缺损为急性DVT的特征,静脉壁附着缺损是慢性DVT特征。

文献报道,以US作对照,MDCTV对股静脉血栓显示的敏感性为96.0%,特异性为97.8%,阳性预测值为96.0%,阴性预测值为97.8%,准确性为97.2%。

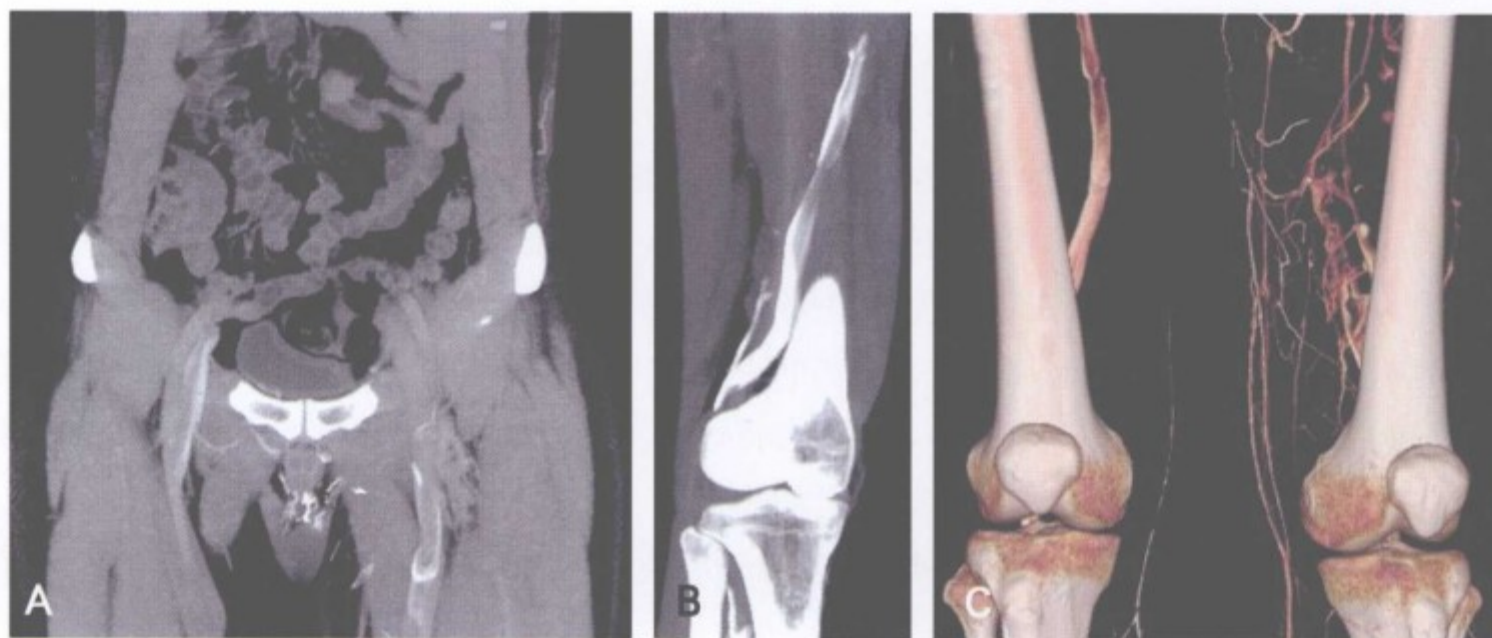


图 23-16 下肢静脉血栓形成

MIP 重组图像(A、B)可见血管腔内充盈缺损;VR 重组图像(C)显示右侧胫深静脉内充盈缺损,左侧胫浅静脉曲张

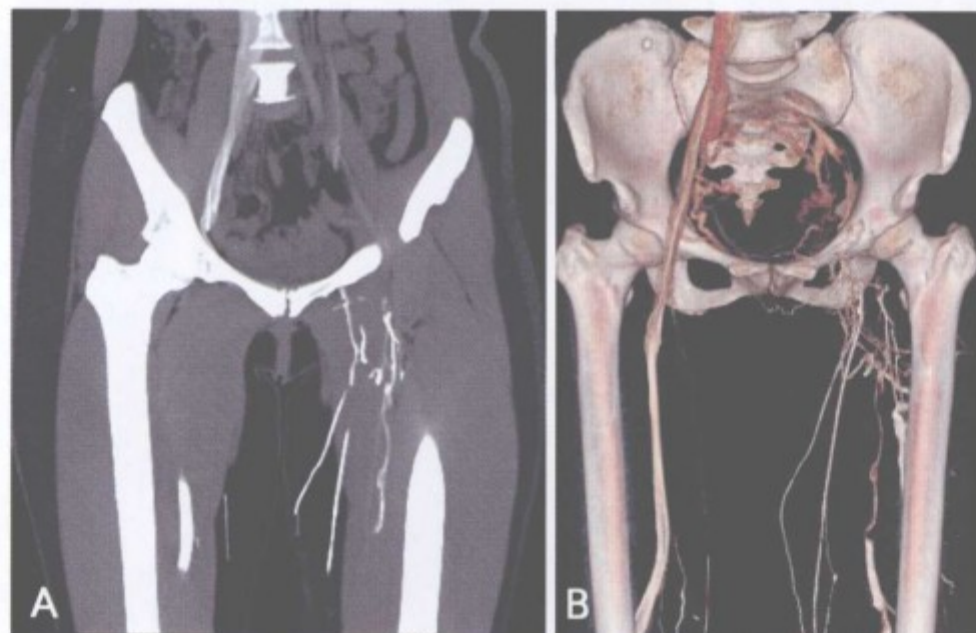


图 23-17 肢体静脉血栓形成

MIP 重组图像(A)显示左侧髂总静脉、髂外静脉内充盈缺损;VR 重组图像(B)显示左侧髂总静脉、髂外静脉未见明显显影,但见大量不规则侧支血管襻

由于密度分辨率高以及横断面成像避免了高密度骨骼重叠的影响,MDCTV可直接显示血栓,且对盆腔、下腔静脉病变显示更清晰。MDCTV较静脉造影能大大减少对比剂用量,双侧CTV仅需对比剂40ml,而静脉造影需对比剂200ml,这对于肾功能不全者特别有利。再者,CTV所用对比剂为稀释后的低浓度对比剂,低浓度的对比剂引起静脉炎的几率较高浓度者大大减低。

吴新淮等用直接造影法行下肢深静脉的CTA检查,横断面图像表现为整个股静脉甚至髂外静脉血管腔内低密度充盈缺损,在周围对比剂衬托下,表现为靶征;MPR以及PR重组图像可见典型双轨征,尤其是CPR重组图像可将整个下肢深静脉血栓勾勒出来,其表现更为形象。MDCTV在评价股静脉血栓方面与超声同样敏感,尚可检出超声不能检出的上述部位的血栓,弥补了超声的不足。

## (二) 肢体静脉曲张

下肢静脉曲张系指下肢浅静脉系统处于伸长、蜿蜒和曲张的状态。多发生于从事持久站立工作或体力劳动的人。其发病原因主要为静脉瓣功能不全、静脉壁薄弱和静脉内压力持久增高。静脉瓣功能不全的原因主要是静脉瓣缺陷。静脉瓣缺陷与静脉壁薄弱是全身支持组织薄弱的一种表现,其与遗传因素有关,是造成下肢静脉压力持久增高的主要原因。在下肢静脉曲张形成的过程中,静脉瓣膜和静脉壁强度离心越远越低,静脉压力则是离心越远则越高。因此,下肢静脉曲张的远期进展要比开始阶段迅速,小腿部扩张的迂曲的浅静脉远比大腿明显。

MIP 及 VR 重组可以显示由于深静脉闭塞导致的浅静脉曲张,明确深静脉梗阻部位。但对于静脉瓣功能不全的病例显示欠佳(图23-18)。

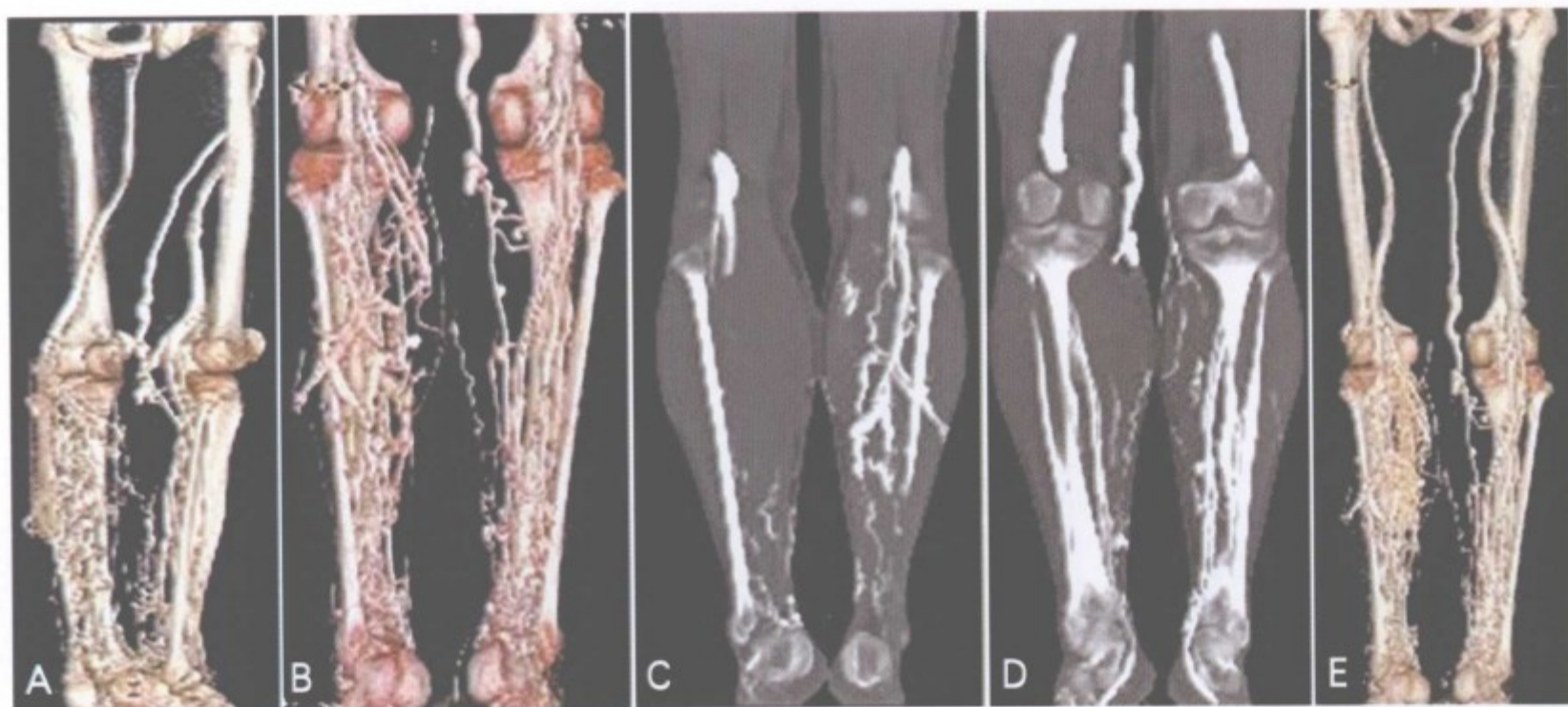


图 23-18 下肢静脉曲张

VR 重组图像 (A、B、E) 及 MIP 重组图像(C、D)示双侧下肢静脉曲张

## (三) 髂静脉压迫综合征致急性髂-股静脉血栓形成

1. 髂静脉压迫综合征的定义 髂静脉压迫综合征(ilic vein compression syndrome, IVCS)是左髂总静脉受到右髂总动脉及腰骶椎的压迫和静脉内粘连结构形成,引起下肢和盆腔的静脉回流障碍,产生一系列临床症状和体征。IVCS 的发病率还不清楚,发病机制不明。

在临床上,IVCS并未引起足够的重视,大多数病例是在左下肢深静脉血栓形成后才得以诊断。一旦IVCS伴髂股静脉血栓形成,由于髂静脉在解剖上受压及静脉内粘连结构的存在,各种治疗措施效果均不满意,髂静脉可由部分阻塞发展为完全阻塞,出现严重的血栓后遗症。临床表现为患侧下肢肿胀、



疼痛,继发性大隐静脉曲张,反复下肢深静脉血栓形成等。已有学者指出,左下肢静脉曲张与髂静脉受压综合征有明显关系。有作者报告左髂总静脉受压与左下肢深静脉血栓形成关系密切,当左髂总静脉直径狭窄接近一半时,随时可能发生左下肢深静脉血栓形成。

2. IVCS 分型及造影表现 徐惊伯将髂静脉受压综合征分为6个类型,按其发生率的高低依次为:①左髂总静脉受压(68.8%);②右髂外静脉受压(10.4%);③双髂静脉受压(7.5%);④右髂总静脉和髂外静脉受压(6.0%);⑤下腔静脉分叉平面受压(4.5%);⑥左髂总静脉和髂外静脉受压(3.0%)。左髂总静脉受压是髂静脉压迫综合征并发血栓形成的最常见的类型,其原因为左髂总静脉前方有右髂总动脉斜行交叉而过,而后方有腰椎的生理性前凸的推挤,入下腔静脉时又几乎近似于直角,因此解剖上的狭窄和血液回流受限促进了血栓形成。

髂静脉压迫综合征造影表现可分为直接征象和间接征象两大类。

直接征象:①受压段及邻近静脉横径增宽,主要见于左髂总静脉近端;②受压段静脉横径变窄,多见于右髂外静脉,也可见于左髂总静脉及左髂外静脉;③受压段静脉局限性充盈缺损或密度降低,多见于左髂总静脉近端受压段的上中部;④受压段静脉闭塞,主要见于左髂总静脉近端;⑤受压静脉移位,主要见于右髂总静脉远端和髂外静脉近端受压向内向下移位。

间接征象:①侧支循环形成;②静脉排空延迟。

#### (四) 静脉瘤

静脉瘤可见于全身各部位,下肢深、浅静脉,上肢腋静脉、颈部静脉、颅脑静脉以及纵隔奇静脉等皆可发生静脉瘤;可见于任何年龄,中年人居多,平均发病年龄为48(7~75)岁,男女发病率相近或女性略占优势。

静脉瘤可无症状或体征。临床有症状和体征的患者依静脉瘤发生的部位不同而各具特点。静脉瘤常为先天性,静脉壁内弹力纤维发育不良导致静脉壁局限性变薄、扩张而形成静脉瘤。静脉瘤亦可继发于血管壁硬化、血管炎症、肝硬化和结缔组织病以及手术和外伤。继发的静脉瘤常发生于活动度较大的躯体静脉内,这是由于静脉内自身压力高,再有毗邻动脉传递过来的侧压力造成血管壁负荷过重、血流紊乱所致。无症状的静脉瘤多在行其他检查时,特别是静脉造影时发现,对发生于上肢、下肢等静脉穿行的浅表部位的囊性肿块要考虑到静脉瘤的可能。

静脉瘤要与囊肿、血肿、化脓性淋巴结炎、淋巴瘤、血管瘤等鉴别。这些疾病各有不同的临床特点,临床经常选择超声、MRI检查手段。最准确的确诊方法是静脉造影,在相应病变部位呈现圆形、类圆形或纺锤形的高密度影,当受相邻组织挤压时可发生形态上的变化,静脉造影诊断本病并不困难。CT可清晰显示肿块的形态学特征及内部密度,借以与囊肿、血肿、化脓性淋巴结炎、淋巴瘤、血管瘤等鉴别。同时通过MIP及VR重组,显示瘤体的血管引流情况。

(潘爱珍 张佳 梁长虹)

## 参 考 文 献

- [1] 潘爱珍,甘毅,罗灿华,等.16排CT用于腹主动脉及下肢动脉阻塞性病变的成像研究.中国医学影像技术,2004,20(6):898-900
- [2] 余建明,冯敢生,曾军,等.下肢动脉阻塞性病变的DSA成像探讨.放射学实践,2000,15(4):265-267
- [3] 凌华威,丁蓓,管永靖,等.多层螺旋CT血管造影对下肢动脉闭塞性疾病的诊断价值.外科理论与实践,2001,6(5):305-307
- [4] 王锡明,武乐斌,邵广瑞,等.多层螺旋CT成像技术在全身血管造影中的应用.中国医学影像技术,2002,18(4):333-334
- [5] 包颜明,张龙江,杨亚英.静脉系统的CT血管成像.放射学实践,2003,19(2):77-80
- [6] 吴新淮,王志文,常钧,等.间接下肢CT静脉造影检查的初步研究.中国医学影像技术,2004,20(2):262-263
- [7] 赵渝,李德卫,时德,等.髂静脉受压综合症的解剖基础.中国实用外科杂志,2003,23(12):745-746
- [8] 徐惊伯,顾小平.髂静脉受压综合征造影诊断67例分析.中华放射学杂志,1988,22(3):144-147
- [9] Dormandy JA,Rutherford RB.Management of peripheral arterial disease (PAD);TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC) Working Group.J Vasc Surg,2000,31:S1-S296
- [10] Lawrence JA,Kim D,Kent KC,et al.Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. Radiology,1995,194:903-908
- [11] Rieker O,Düber C,Schmiedt,et al.Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography.AJR,1996,166:269-276
- [12] Tins B,Oxtoby J,Patel S.Comparison of CT angiography with conventional arterial angiography in aortoiliac occlusive disease.BMJ,2001,74:219-225
- [13] Rubin GD,Shiau MC,Schmidt AJ,et al.Computed tomographic angiography:historical perspective and new state-of-the-art using multi detector-row helical computed tomography.J Comput Assist Tomogr,1999,23:S83-S90
- [14] Rubin GD,Shiau MC,Leung AN,et al.Aorta and iliac arteries:single versus multiple detector-row helical CT angiography.Radiology,2000,215:670-676
- [15] Rubin GD,Schmidt AJ,Logan LJ,et al.Multidetector CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff:initial experience.Radiology,2001,221:146-158
- [16] Martin ML,Tay KH,Flak B,et al.Multidetector CT angiography of the aortoiliac system and lower extremities;a prospective comparison with digital subtraction angiography.AJR,2003,180:1085-1091
- [17] Takase K,Sawamura Y,Igarashi K,et al.Demonstration of the artery of Adamkiewicz at multidetector row helical CT.Radiology,2002,223:39-45
- [18] Beregi JP,Djabbari M,Desmoucelle F,et al.Popliteal vascular disease:evaluation with spiral CT angiography.Radiology,1997,203:477-483

- [19] Hideki Ota, Kei Takase, Kazumasa Igarashi, et al. MDCT Compared with Digital Subtraction Angiography for Assessment of Lower Extremity Arterial Occlusive Disease: Importance of Reviewing Cross-Sectional Images. *AJR*, 2004, 182: 201-209
- [20] Jürgen K, Willmann MD, Dieter Mayer MD, et al. Evaluation of Peripheral Arterial Bypass Grafts with Multi-Detector Row CT Angiography: Comparison with Duplex US and Digital Subtraction Angiography. *Radiology*, 2003, 229: 465-474
- [21] Douglas S, Katz MD, Man Hon MD. CT Angiography of the Lower Extremities and Aortoiliac System with a Multi-Detector Row Helical CT Scanner: Promise of New Opportunities Fulfilled. *Radiology*, 2001, 221: 7-10
- [22] Geoffrey D, Rubin MD, Andrew J, et al. Multi-Detector Row CT Angiography of Lower Extremity Arterial Inflow and Runoff: Initial Experience. *Radiology*, 2001, 221: 146-158
- [23] Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, et al. Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol*, 1999, 31: 110-115
- [24] Katz DS, Hon M. CT angiography of the lower extremities and aortoiliac system with a multi-detector row helical CT scanner: promise of new opportunities fulfilled. *Radiology*, 2001, 221: 7-10
- [25] Rubin GD, Walker PJ, Dake MD, et al. Three-dimensional spiral computed tomographic angiography: an alternative imaging modality for the abdominal aorta and its branches. *J Vasc Surg*, 1993, 18: 656-665
- [26] Lawrence JA, Kim D, Kent KC, et al. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography. *Radiology*, 1995, 194: 903-908
- [27] Rieker O, Düber C, Schmiedt W, et al. Prospective comparison of CT angiography of the legs with intraarterial digital subtraction angiography. *AJR Am J Roentgenol*, 1996, 166: 269-276
- [28] Beregi JP, Djabbari M, Desmoucelle F, et al. Popliteal vascular disease: evaluation with spiral CT angiography. *Radiology*, 1997, 203: 477-483
- [29] Perrin M, Guex J. Edema and leg volume: methods of assessment. *Angiology*, 2000, 51(1): 9-12
- [30] Stanton AW, Badger C, Sitzia J. Noninvasive assessment of the lymph edematous limb. *Lymphology*, 2000, 33(3): 122-135



### 第一节 肿瘤微血管灌注

微循环的血流动力学状态称为灌注(perfusion),是指血流从动脉向毛细血管网灌注,然后,汇入到静脉的过程。通过影像学手段来直观显示活体灌注过程和作定量或半定量分析的方法称为灌注成像(perfusion imaging)。

CT灌注成像(CT perfusion imaging,CTP)或称灌注CT(perfusion CT),它利用动态增强CT扫描和图像后处理技术,在静脉注射对比剂的同时,对选定的层面进行连续多次扫描,获得该层面内感兴趣区的时间-密度曲线(time-density curve,TDC)。根据该曲线,利用不同的数学模型计算出灌注参数和彩色函数图,从而来反映组织血管化程度和血流灌注状况,提供组织器官血流动力学方面的信息。目前,CT灌注成像已经越来越多地应用于肿瘤血管生成和微血管灌注的研究中。

#### 一、CT灌注成像的原理

CT灌注成像的概念由Miles等在1991年最先提出。其理论基础是核医学的放射性示踪剂稀释原理和中心容积定律,即:血流量(blood flow,BF)=血容量(blood volume,BV)/平均通过时间(mean transit time,MTT)。Miles认为,X线对比剂经静脉注入,具有与放射性示踪剂相同的药理学。当对比剂在短时间内高浓度通过某一区域的毛细血管网时,其浓度的变化基本上可以代表血流通过的情况。因此,组织中对对比剂作为一种生理性示踪剂,可有效地反映局部血流灌注量的改变。

目前用于CT灌注成像的数学模型主要为两大类:非去卷积模型和去卷积模型。

1. 非去卷积模型 由Meles和Hamberg先后提出,主要根据Fick原理,即在某一时间段内组

织器官中对比剂的含量等于在该段时间内动脉流入量减去静脉流出量,用公式表示如下:

$$dQ(t)/dt = FC_{\alpha}(t) - FC_{\nu}(t) \quad (24-1)$$

式中:  $Q(t)$  为所测的组织 TDC;  $F$  为血流量;  $C_{\alpha}(t)$  为所测的动脉 TDC;  $C_{\nu}(t)$  为所测的静脉 TDC

在灌注时间内,假设静脉流出为 0,则在  $dQ(t)/dt = F \times C_{\nu}(t)$ 。经过推导得出灌注公式为:组织灌注 = 组织时间密度曲线(TDC)最大初始斜率 / 同层动脉强化峰值。通过组织和动脉的 TDC 计算 MTT,然后,根据中心容积定律  $BV = BF \times MTT$  得出 BV。

此模型的优点是概念容易理解,计算方法简单,只需组织 TDC 的最大斜率和同层动脉的强化峰值即可,不必对 TDC 进行  $\gamma$  转换以克服对比剂再循环的影响,与实际组织灌注量有一定的相关性。缺点是忽略了静脉的流出,出现对组织血流的低估的误差。另外,要求较高的团注流率(通常  $\geq 7 \sim 8 \text{ ml/s}$ ),注射时容易发生对比剂渗漏,故此方法尚待改进。

2. 去卷积算法 该数学模型是另外一种理论,表达式为:

$$Q(t) = F \times C_{\alpha}(t) * R(t) \quad (24-2)$$

式中:  $Q(t)$  是组织器官的 TDC;  $F$  为血流量;  $C_{\alpha}(t)$  为动脉的 TDC; \* 为卷积因子;  $R(t)$  为推动剩余函数

利用已知的  $Q(t)$  和  $C_{\alpha}(t)$  计算  $FR(t)$  的过程称为去卷积。利用  $FR(t)$  的 TDC 可计算出 BF、MTT。有学者将  $R(t)$  进一步分为血管内  $R_i(t)$  和血管外  $R_e(t)$  两部分,引入排出分数  $E$  (即对比剂从血管内间隙渗入到血管外间隙的分数)的概念,可计算出组织的毛细血管表面通透性(permeability surface, PS)。

去卷积模型的优点是不必作静脉流出的假设,根据实际情况综合考虑了流入动脉和流出静脉的血液而进行数学计算处理,主要反映的是注射对比剂后组织器官中存留的对比剂随时间的变化量,因此较真实地反映组织器官的内部血流动力学情况,计算出的灌注值与真实灌注值接近;并且受注射流率的影响不大,可以用常规流率注射对比剂(一般为  $3 \sim 4 \text{ ml/s}$ ),所以,更易在临床广泛应用。

该模型的缺点是概念复杂,需要采集数据的时间较长,对于易受呼吸运动影响的部位,获得成功的技术难度较大。

## 二、CT 灌注成像中常用灌注参数含义

血流量(blood flow, BF)指单位时间内流经局部组织的血容量,代表组织的毛细血管内血流流量。单位为毫升 / (分钟 · 毫升组织) [ $\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ] 或毫升 / (100 克 · 毫升组织) [ $\text{ml}/(100 \text{ g} \cdot \text{ml})$ ]。

血容量(blood volume, BV)指存在于一定组织血管结构内的血液容积总量,受血管大小和毛细血管开放数量的影响,单位为毫升 / 100 克 ( $\text{ml}/100 \text{ g}$ )。

平均通过时间(mean transit time, MTT)是血液自动脉端流至静脉端的循环时间,主要反映血液通过感兴趣区毛细血管所需要的时间,单位为秒(s)。

对比剂到达峰值时间(time to peak, TTP)为感兴趣组织开始出现强化至强化到达峰值的时

间,由 TDC 测得,单位为秒(s)。

表面通透性(permeability surface,PS)指单位重量的组织、单位时间内对比剂自血管内通透到细胞外液的量,是灌注毛细血管内皮间隙和总表面积乘积,反映对比剂由血管内向组织间隙内的单向传输速率,单位为毫升/(100克·分钟) $[ml/(100g \cdot min)]$ 。

CT 灌注成像通过上述参数的测定来综合评价所研究组织内部的血流灌注状态和组织血管化程度,为诊断和治疗提供可靠依据。

### 三、CT 灌注成像技术

CT灌注成像灌注参数的准确性和图像质量受多种因素影响,主要与以下两方面有关,使用的数学模型及灌注成像软件和理想TDC曲线的获取。另外,患者的心输出量、呼吸的控制情况及图像后处理中感兴趣区的选择等因素也与灌注参数的测量和图像质量有关,需要给予重视。

1.使用的数学模型及灌注成像软件 多数CT灌注所用数学模型以对比剂首次通过受检组织的数据资料为前提,因此,要求使用对比剂时必须团注。

非去卷积数学模型的关键在于能否排除静脉流出的干扰。该方法一般要求组织最大初始斜率时间小于对比剂最短通过时间,这就要求对比剂量小,但必须高流率注入。在保证图像信噪比的情况下,对比剂总量一般在40~50ml。国外有学者将注射流率用至20ml/s,但过高的注射流率会导致静脉逆流和对比剂外渗。一般认为,在患者可耐受的情况下,注射流率越高越好,国内多用7~8ml/s。去卷积模型允许使用较慢的注射流率,通常使用3~4ml/s,对比剂用量一般为50~100ml。

2.理想TDC曲线的获取 灌注参数的计算与组织、动脉的TDC有着密切的关系,所以,如何获得理想的TDC是灌注成像的关键,其中时间分辨率、延迟时间、扫描时间是主要的影响因素。

从理论上讲,时间分辨率越高,在1个成像间期内对比剂从血管内弥散到血管外的量就越少,就越能真实地反映组织血流灌注的情况;并且时间分辨率越高,曲线平滑度越好,计算值越准确。不过,需要特别注意,过多的扫描次数会增加患者接受的辐射量和球管负荷。从目前的临床经验来看,采用1~1.5s/次的时间间隔可得到满意的强化曲线。

文献报道,各个部位的扫描延迟时间各有不同,并且相同部位的扫描延迟时间也不同。对于静止的器官,为了获得完整的TDC,往往选择在注射同时启动扫描,即扫描延迟时间为0。研究发现,动脉和组织强化曲线在10s前少有变化,但是,如果扫描时间在10s以后开始,可能会影响动脉TDC形态,从而影响对灌注值的计算。因此,可以有5~10s的扫描延迟时间,既减少了扫描次数和减少患者接受的辐射剂量,又不会影响计算结果。

扫描持续时间随不同肿瘤的血流特征有所不同。对于单纯动脉血液供应的器官,其灌注持续时间应在二次灌注时间之前,因此,扫描持续时间在45s内即可。动态扫描时间过长会增加运动伪影产生的几率,同时增加了患者接受的辐射量。对于具有双重血液供应系统的肝脏而言,扫描持续时间则大大延长,应持续扫描至静脉血流进入器官后,需持续扫描60~70s以上,才能获得包括肝动脉与门静脉灌注在内的肝脏综合灌注数据,以全面评价血流状况。

(王秋实 梁长虹)

## 第二节 肿瘤血管生成与CT灌注成像

正常组织的血管生成被严格地控制于某些特定的生理过程中,如生殖、发育和伤口愈合等。肿瘤是血管生成依赖性疾病,持续的、失控的血管生成是其病理改变的特征。肿瘤血管生成是新生血管在肿瘤血管上形成的过程。实体瘤在无自身血供的情况下可以自行生长到 $1\sim 2\text{mm}^3$ ,继续生长则需要新生血管。肿瘤组织可产生多种促血管生成因子,使得肿瘤生长过程中会不断有新的血管生成;新生血管在肿瘤基质内形成网络,负责肿瘤组织的供养及酸性和毒性代谢产物的排泄,保证肿瘤得以继续生长,同时也为肿瘤细胞的转移提供了一个途径。研究表明,肿瘤血管生成是评价肿瘤生长、分级、转移、预后、良恶性及恶性程度的重要指标。

肿瘤与正常组织间、不同性质的肿瘤或分化程度不同的恶性肿瘤之间,其病理生理及血流动力学改变存在差异,这种差异为肿瘤的CT灌注成像对病变性质等诊断提供了可能(图24-1,图24-2)。肿瘤CT灌注成像实质上就是研究肿瘤内部的血流特点,也就是肿瘤内部血管的状况。因此,首先必须对肿瘤内部的新生血管特点有一个明确的认识。肿瘤新生血管与正常组织的毛细血管不仅存在数量上的

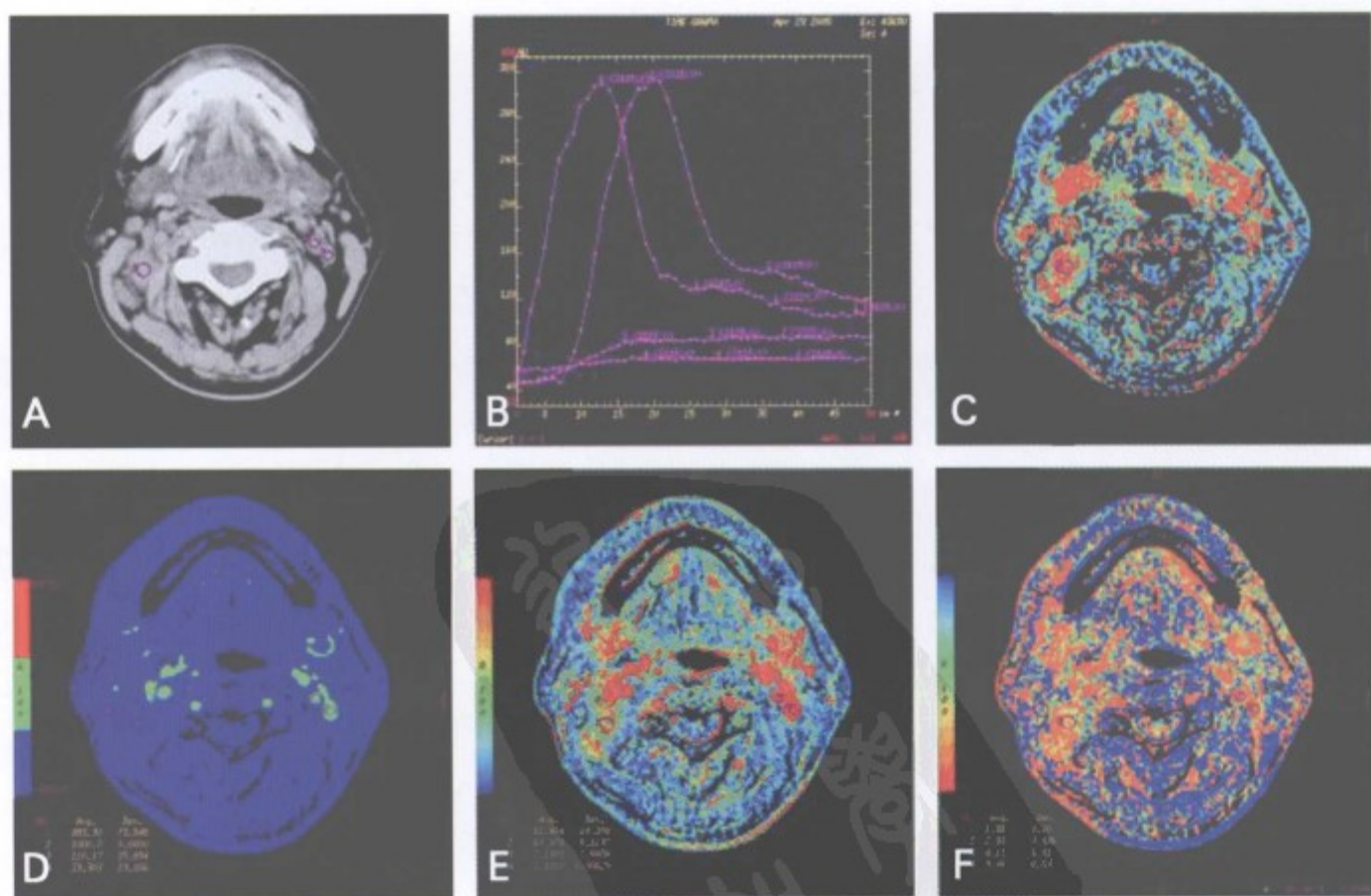


图24-1 右颈部淋巴结转移癌CT灌注图像

右侧鼻咽癌右颈部淋巴结转移,与周围肌肉相比,淋巴结转移癌TDC曲线显示明显上升斜率,CT灌注图像显示高灌注、高通透性的特点,提示恶性

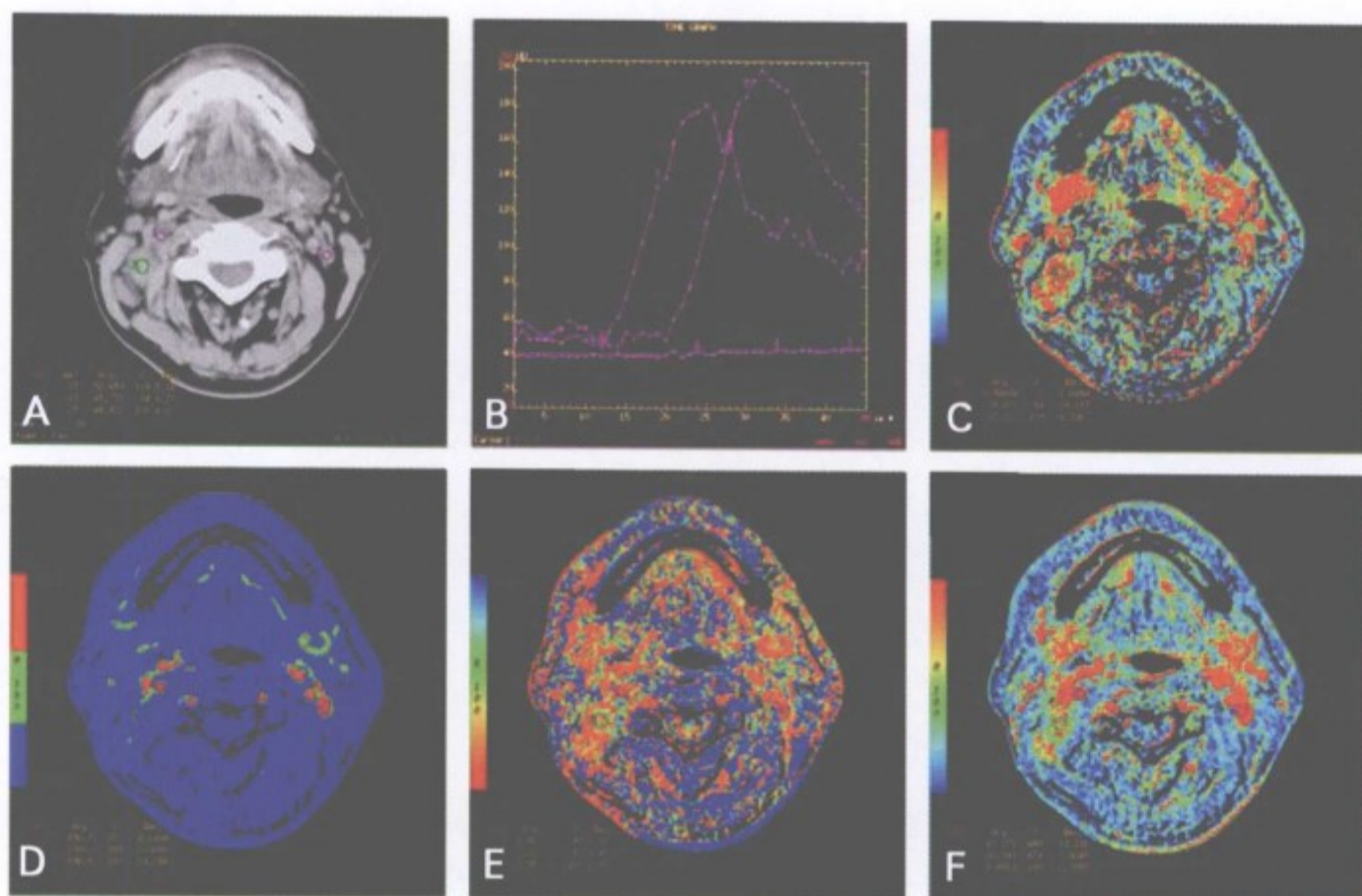


图 24-2 右颈部良性软骨瘤 CT 灌注图像

右颈部良性软骨瘤, 肿瘤 TDC 曲线为平坦型, 无明显上升斜率, CT 灌注图像显示低灌注、低通透性的特点, 提示良性

差异, 而且在血管形态、结构和功能方面也存在很大差异。①新生肿瘤血管产生高的微血管密度 (micro vessel density, MVD), 许多肿瘤的毛细血管床比正常组织有更高的血管密度; ②肿瘤诱导的新生血管结构不同于正常血管, 其血管基膜不完整、血管壁薄而且缺乏平滑肌和神经末梢, 血管通透性高; ③肿瘤组织内血管杂乱无章, 而且存在大量的动-静脉短路。

肿瘤新生血管的形成, 导致了肿瘤组织灌注量、血容量和毛细血管通透性的增加, CT 灌注参数如血流量、血容量、平均通过时间和表面通透性恰好可反映上述变化。肿瘤的血流灌注基础是肿瘤血管生成。目前公认微血管密度为评价肿瘤血管生成的“金标准”。研究显示, CT 灌注参数如血流量和表面通透性与微血管密度的相关性最好。因此, CT 灌注成像通过在毛细血管水平上量化灌注、血容量和毛细血管通透性, 非侵入性地判断肿瘤的微血管灌注情况, 从而准确评价肿瘤血管生成情况, 并进一步推断肿瘤的生物学特性及其预后。

(王秋实 梁长虹 张水兴)



## 第三节 CT灌注成像在肿瘤中的应用

CT灌注成像在肿瘤诊断、治疗疗效和预后评估中的应用价值日益受到重视,其应用主要有以下几方面。

### 一、肿瘤性病变的诊断和良、恶性鉴别

一般认为肿瘤生长需要丰富的毛细血管网,多数肿瘤的毛细血管密度较正常组织大,单位容积血流灌注也增多,而且,由于新生血管内皮细胞间连接疏松,基膜发育不成熟,毛细血管通透性也增高,在CT灌注成像表现为肿瘤血流量和表面通透性高于周围正常组织。良、恶性肿瘤的血液供应在性质和数量上有很大不同。往往肿瘤恶性程度越高,其肿瘤新生血管化越明显,微血管密度越高,并且新生血管的内皮细胞越不完整,肿瘤细胞越容易进出血管造成远处转移。

Zhang 等在对孤立性肺结节的研究中发现,恶性结节的CT灌注成像发现血流量为 $0.7\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,明显高于良性结节。肝脏原发性恶性肿瘤和转移瘤肝动脉供血分数明显升高,一般 $>0.25\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,而良性肿瘤肝动脉灌注量往往正常。Gandhi 等利用去卷积法模型研究了14例头颈部鳞状细胞癌,灌注CT结果显示,与舌根部及相邻肌肉结构相比,其血流量、血容量均升高,平均到达时间减少,认为灌注CT有助于鉴别头颈部鳞状细胞癌和相邻的正常组织。

### 二、发现形态上无改变而仅有血流动力学改变的隐匿性病变

新生肿瘤血管产生高微血管密度,虽然在影像上不能直接看到微血管,但可以从组织灌注方面发现相关信息。如在形态学无异常,但CT灌注显示肝动脉灌注增加、肝动脉指数(HPI)升高时提示微小肝转移瘤的可能。Miles等在进行肝灌注时还发现,不仅转移灶灌注异常,而且转移灶以外“貌似正常”的肝组织灌注也出现异常,这种现象提示可能有散在的微小肝转移灶的存在。Leconte等研究表明,CT灌注检查可发现直径 $>500\mu\text{m}$ 的微小转移瘤所引起的血供方面的异常。转移瘤及转移瘤周围肝动脉灌注增加、表面通透性增高,并且灌注函数图显示其病变范围比常规CT所见大。如果发现隐匿性微小病灶,则有助于临床医生选择正确的治疗方案。

### 三、指导活检

肿瘤不同部位的血管密度及结构可能不同,肿瘤边缘是肿瘤生长的活跃区,肿瘤的中心区往往由于肿瘤生长速度快而相对缺血、缺氧,导致恶性肿瘤边缘的血管化程度可能高于中心区域。肿瘤组

织的异质性导致了肿瘤内灌注参数的差异。Purdie等通过动物实验的研究结果显示,血液供应丰富的肿瘤边缘的灌注参数值与血液供应缺乏的肿瘤中心区域间的差异有显著性意义( $P<0.05$ ),且前者与正常组织间的差异最大。尽管肿瘤分级通常依赖组织学检查,但是对于那些不均质的肿瘤,可能由于取材不当而与实际不相符。CT灌注成像技术能在活体上全面评价肿瘤内部微血管构成情况,可以显示最有活性的肿瘤部分,通过CT引导穿刺活检这些部分,可减少因取材部位选择不当所造成的分级误差。

#### 四、在肿瘤分级、疗效判定和活动性中的应用

一般来说,肿瘤内微血管密度随着肿瘤恶性程度的增高而增高,在CT灌注成像上会表现为灌注值的升高。黄飏等研究发现,脑内不同级别的星形细胞瘤灌注参数不同,脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、表面通透性随肿瘤级别升高而升高。Ribatti和Dugdale等研究工作显示,中高分化淋巴瘤灌注参数值高于低分化淋巴瘤 [ $0.56\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ 对 $0.46\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ],高级别淋巴瘤的微血管密度最大。传统影像学评价肿瘤疗效依赖于肿瘤大小的改变。放射治疗主要是使肿瘤组织发生坏死,而后瘤体逐渐纤维化甚至钙化,而瘤体的大小变化相当缓慢甚至无明显的改变;多数的抗血管生成药物并不直接对肿瘤细胞形成细胞毒作用,常使病灶趋于稳定但并不使肿瘤回缩。因此,对于肿瘤治疗后残存肿块,单纯根据肿块大小并不能准确评价病灶活性。CT灌注可在活体定量测定与肿瘤血管生成相一致的微观生理改变,肿瘤治疗后如果营养需求减少,微血管床就会萎缩,这种变化会通过血流量、平均通过时间、表面通透性等灌注参数的变化来反映,因此,CT灌注成像已成为判定肿瘤疗效和活动性的有效手段。Sahani等在直肠癌放射治疗前后的研究中发现,肿瘤治疗后血流量明显减低,平均通过时间明显增加,说明治疗后肿瘤新生血管明显减少。Dugdale等研究表明,CT灌注参数值的测量与疾病状态有很高的相关性,可以判定肿瘤是否活动,活动性淋巴瘤灌注值高于非活动性淋巴瘤 [ $0.55\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ 对 $0.37\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ],灌注值低于 $0.2\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ 的提示为非活动性淋巴瘤,而高于 $0.5\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ 的提示为恶性淋巴瘤。

#### 五、监测肿瘤血管生成,提示关于治疗反应和预后的信息

血管生成的量化标准是微血管密度计数。许多研究表明,肿瘤内的微血管密度与肿瘤对治疗的反应及转移、复发和预后不良等因素密切相关,微血管密度高的肿瘤治疗效果不佳、预后较差。

CT的空间分辨率高,适于发现和量化血管生成区的生理变化。CT灌注成像可在毛细血管水平上定量检测单位肿瘤组织内的血流量、血容量、平均通过时间和表面通透性,并且与肿瘤微血管密度具有良好的相关性,因此它能间接准确地反映肿瘤血管生成。Sahani等研究发现,治疗前基线血流量和平均通过时间值高的直肠癌对放化疗反应差,可以用高灌注率肿瘤内大量的动静脉分流导致氧交换降低来解释。在脑星形细胞瘤和中晚期肺癌的研究中也发现,血管增生程度与恶性程度和预后相关,恶性度高的肿瘤,血供丰富,灌注量大,预后差。然而,也有相反情况。Miles等研究表明,肝转移瘤周

围的动脉灌注与存活期正相关,灌注量愈大,存活期愈长。因此,提示以灌注值为基础评价疗效和预后应该根据肿瘤类型、治疗方式和所用数学模型来个性化考虑。

(王秋实 刘于宝 梁长虹)

## 第四节 常见部位肿瘤的CT灌注成像

### 一、脑肿瘤CT灌注成像

脑的CT灌注成像起步较早,但由于数学模型多数以血脑屏障(blood brain barrier, BBB)完整为前提,限制了其在血脑屏障不完整的情况(如脑肿瘤)中的应用。

有学者在去卷积模型中将推动剩余函数 $R(t)$ 进一步分为血管内 $R_i(t)$ 和血管外 $R_e(t)$ 两部分,并引入排出分数 $E$ 的概念后,消除了血脑屏障受损的影响,可得出表面通透性值,使之适用于脑肿瘤的灌注研究。

在目前的商业化脑灌注成像软件中,GE公司推出的多层CT的灌注软件在脑肿瘤的灌注分析中显示出了较明显的优势,主要在于以下两点。①MDCT应用所谓的容积穿梭技术,即多层同层动态CT灌注扫描,可扩大Z轴扫描范围;②肿瘤灌注参数的算法利用科学的去卷积模型,即“一室一进一出”模式,即对肿瘤灌注中的流入动脉和流出静脉综合考虑,无需对血流进行限制性的假设,使灌注参数更接近于肿瘤组织的真实情况。因颅内肿瘤患者本身存在颅内压增高征象,注射速度过快往往加重患者症状,而去卷积模型允许使用较慢的注药速度(3~4ml/s),能改善患者对推注的耐受性,对血液循环生理过程影响较小,并且对比剂能较好地滞留于血管腔内,得到更好的效果。

CT灌注成像在脑肿瘤评价应用中,主要用于鉴别肿瘤性质、判定肿瘤级别和预后。正常脑组织血脑屏障完整,而脑肿瘤以破坏血脑屏障为特征,并且新生血管程度较身体其他部位肿瘤更明显。Cenic等用兔VX2肿瘤模型进行CT灌注研究,发现肿瘤区的血流量、血容量分别较肿瘤周围区高29%和44%,提示肿瘤组织血管增生显著;而肿瘤周围区的血流量、血容量分别较对侧正常脑组织高28%和38%,支持肿瘤周围区供血小动脉较正常血管扩张的假说;肿瘤及肿瘤周围组织的表面通透性也明显高于对侧正常脑组织,符合肿瘤组织血脑屏障破坏的病理改变。Bartolini等对不同性质脑肿瘤患者行CT灌注成像,发现脑膜瘤各项灌注指标均增高,恶性胶质瘤表现为明显的异质性,低级别胶质瘤各项灌注指标均无明显变化,脑转移瘤则表现为肿瘤边缘区各项灌注指标升高。因此,认为CT灌注成像可反映肿瘤血管结构方面的变化及由此造成的血流动力学和血脑屏障通透性变化,可用于各种脑肿瘤之间的鉴别。

脑恶性胶质瘤,尤其是星形细胞瘤是一种高度血管化肿瘤,并具有血管生成活性。星形细胞瘤的恶性程度与血管化程度及血脑屏障破坏程度之间的关系已得到公认,肿瘤血管密度测定已成为临床病理分级和判断预后的重要指标。还有研究发现,正常脑白质的表面通透性值接近于零,等同于噪声水平,星形细胞瘤表面通透性值是脑白质的25倍左右。高级别星形细胞瘤的血流量、血容量、表面通

透性较低级别星形细胞瘤明显升高,并且上述灌注值与病理微血管密度之间成正相关(图24-3,图24-4),说明星形细胞肿瘤CT灌注检查可作为观察肿瘤血管生成活性的替代指标,CT灌注检查可为星形细胞肿瘤术前分级提供有价值的信息。

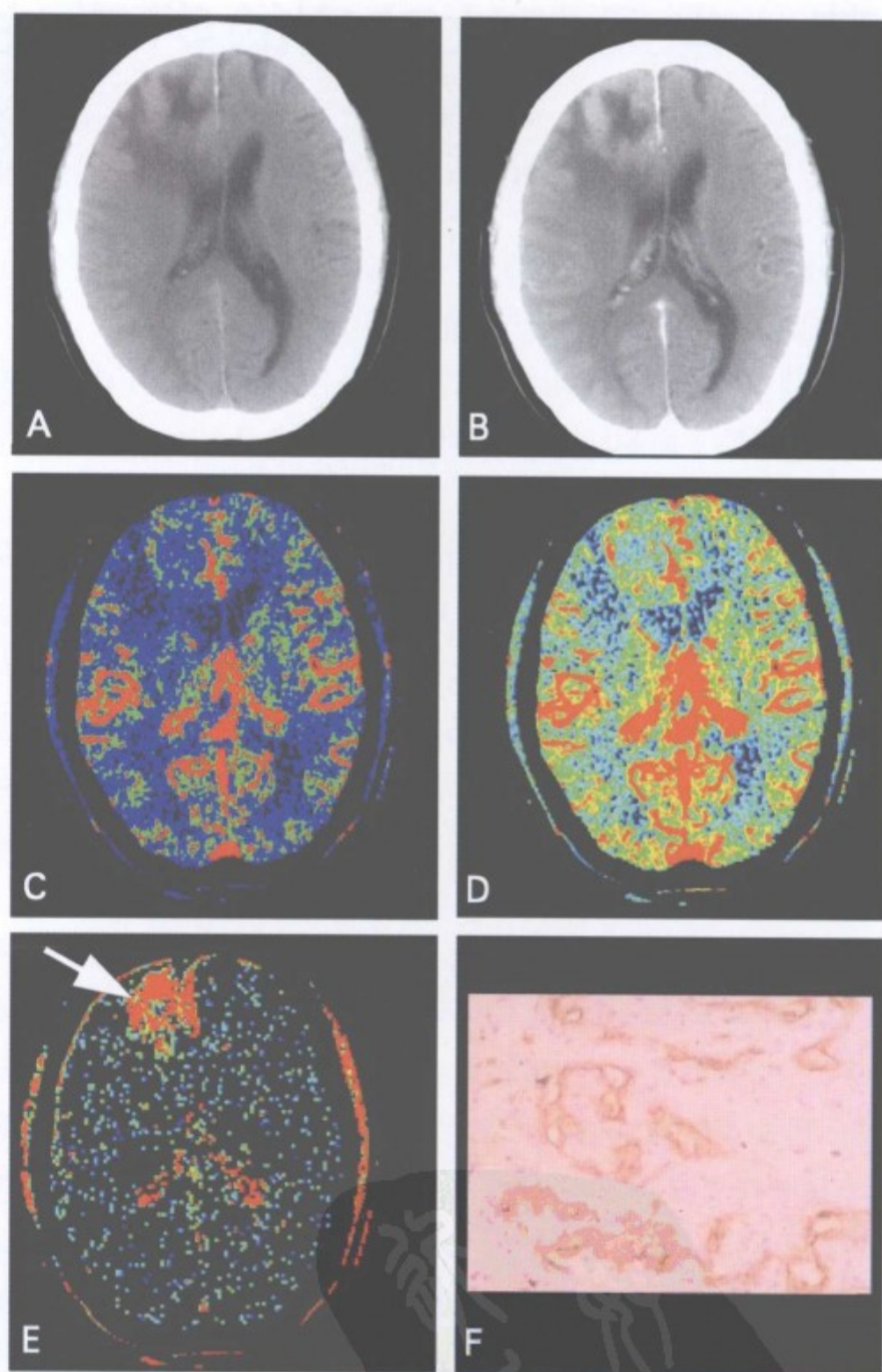


图 24-3 脑高级别星形细胞瘤 CT 灌注图像

右侧额叶胶质母细胞瘤,CT 平扫可见肿瘤中央有坏死,增强扫描图像显示肿瘤实质部分明显强化,CT 灌注图像显示肿瘤 CBF、CBV 及 PS 明显高于脑白质,呈高灌注、高通透性的特点;CD34 免疫组化染色(200 ×)可见肿瘤微血管非常丰富,走行迂曲

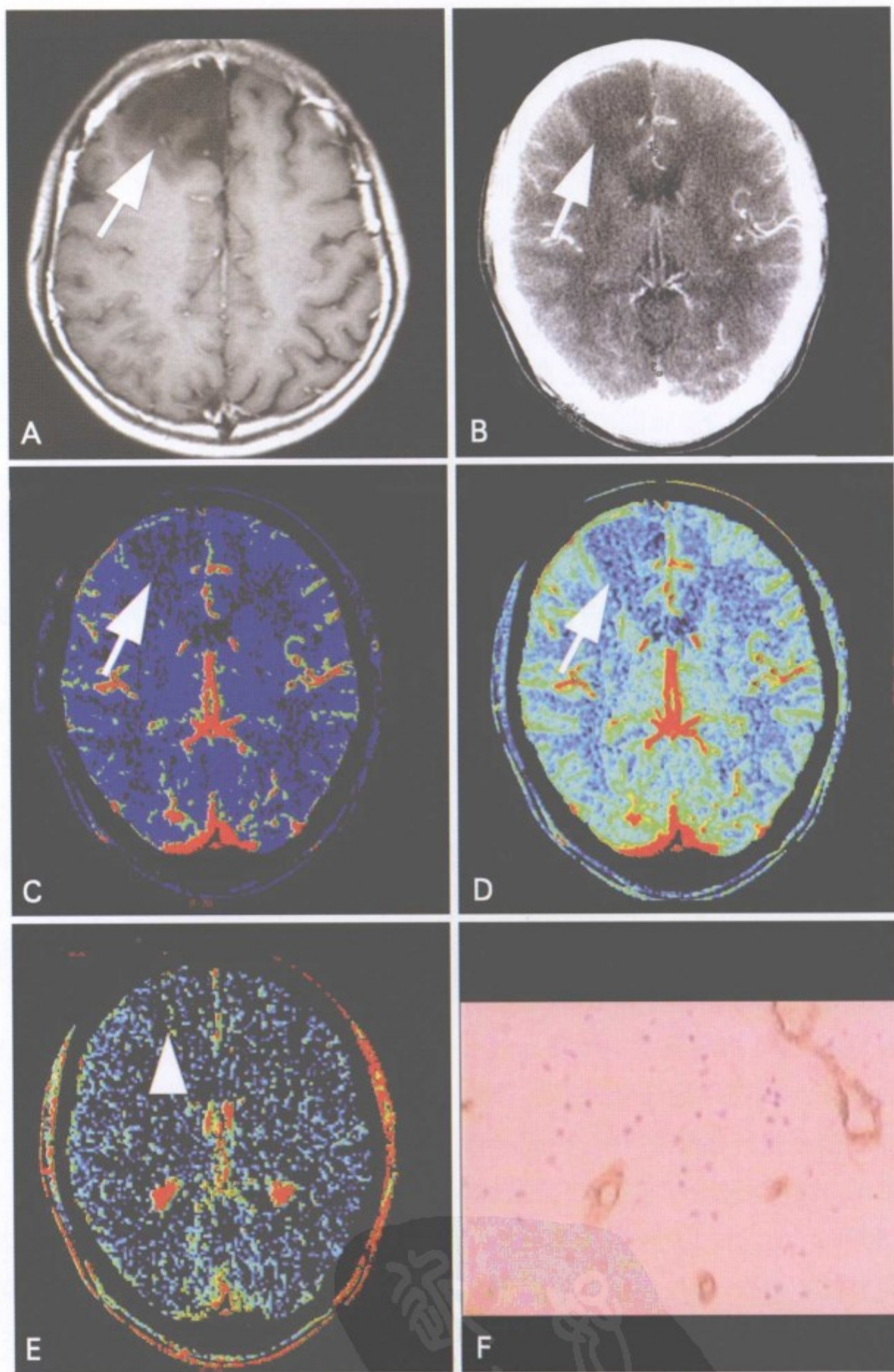


图 24-4 脑低级别星形细胞瘤 CT 灌注图像

右侧额叶纤维星形细胞瘤(Ⅱ级),MRI(A)及CT增强扫描(B)图像显示右额叶肿瘤无强化,CT灌注图像(C、D、E)显示肿瘤 CBF、CBV 较低,PS 值与正常脑组织相似,反映了肿瘤(箭头)低灌注、低通透性的特点;CD34 免疫组化染色(200 ×)(F)显示肿瘤微血管密度较低

## 二、肝脏肿瘤CT灌注成像

肝脏由肝动脉和门静脉两套系统供血,因此,肝脏的灌注情况较为复杂,必须分别评价。在肝脏CT灌注成像中,常用的灌注参数有以下几种。①肝动脉灌注量(hepatic arterial perfusion, HAP),指肝动脉供给肝的血流量。HAP为肝动脉灌注TDC最大斜率与肝动脉强化峰值之比,单位为 $\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ;②门静脉灌注量(portal vein perfusion, PVP),为门静脉供给肝的血流量,PVP为门脉灌注TDC最大斜率与门静脉强化峰值之比,单位为 $\text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ;③肝总灌注量(total liver perfusion, TLP),为HAP与PVP之和;④肝动脉灌注指数(hepatic arterial perfusion index, HPI),为HAP占TLP的比例;⑤门静脉灌注指数(portal vein perfusion index, PPI),为PVP占TLP的比例。

Miles等在肝灌注研究中,用脾的TDC峰值来区分肝动脉期和门静脉期,总的来说, $\text{HAP}/\text{PVP} \approx 1/4 \sim 1/3$ 。

目前,肝脏肿瘤CT灌注成像主要集中在肝肿瘤的诊断和鉴别诊断、隐匿性或微小肝转移灶的检测、肝癌经导管栓塞治疗后肝脏灌注情况的改变等方面。

Miles等认为,可从组织的灌注图像和灌注参数方面发现肿瘤产生新生血管引起的异常改变。恶性肝肿瘤组的肝动脉灌注指数为0.65,明显高于正常组的0.32( $P < 0.005$ ),肝动脉灌注量为 $0.5 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,也高于正常组的 $0.17 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ( $P < 0.02$ ),但门静脉灌注量多无改变。无论是原发性肝癌还是肝转移瘤,血液供应几乎均来自肝动脉,肿瘤的肝动脉灌注指数增高,前者的血供常更丰富。因此,原发性肝癌的肝动脉灌注指数一般较肝转移性肿瘤的肝动脉灌注指数为高(图24-5)。转移瘤的灌注参数变化较大,对它们的鉴别诊断价值还有待探讨。良性肿瘤多不由肝动脉供血,其肝动脉灌注指数正常。

隐匿性或早期、微小肝转移瘤因转移灶太小而不易被常规CT、MRI或手术观察发现。此时,尽管肝脏形态基本正常,但CT灌注可显示血流动力学出现的异常改变,如肝动脉灌注增加、肝动脉灌注指数升高,提示微小肝转移瘤的可能。因此,当怀疑有肝转移,而无其他影像学的阳性发现时,可行CT灌注成像。Cuenod等通过动物实验研究转移瘤对大鼠肝脏灌注的影响,发现有隐匿性微小转移瘤,直径在 $(500 \pm 300) \mu\text{m}$ 时,肝门静脉灌注量及肝总灌注量均降低,而肝动脉灌注量及肝动脉灌注指数无明显差别;有显性转移瘤,直径在 $7 \pm 3 \text{mm}$ 时,灌注参数除肝动脉灌注量外均异常,且改变较隐匿性转移瘤更大,肝动脉灌注指数因门静脉灌注量的明显降低而升高。

CT肝灌注成像对肝癌的介入治疗前后评价具有重要意义。Tsushima等研究了经动脉栓塞治疗(transcatheter arterial embolization, TAE)前后肿瘤灌注参数的改变,发现肝动脉灌注量在经动脉栓塞化疗后2~6d明显升高,1个月后降低;而门静脉灌注量在2~6d明显下降,1个月后变化不明显。故此,认为肝动脉灌注量升高可能由急性炎症反应引起,而门静脉灌注量降低可能因肝内组织压力增加所致。Lin等对比经动脉栓塞治疗前及治疗后7d的肝动脉灌注指数,发现后者与前者之比 $< 0.85$ 时,肿瘤在1个月内明显缩小的可能性增加( $P < 0.05$ ),说明肝动脉灌注指数能早期预测经导管动脉栓塞治疗肝癌的效果。

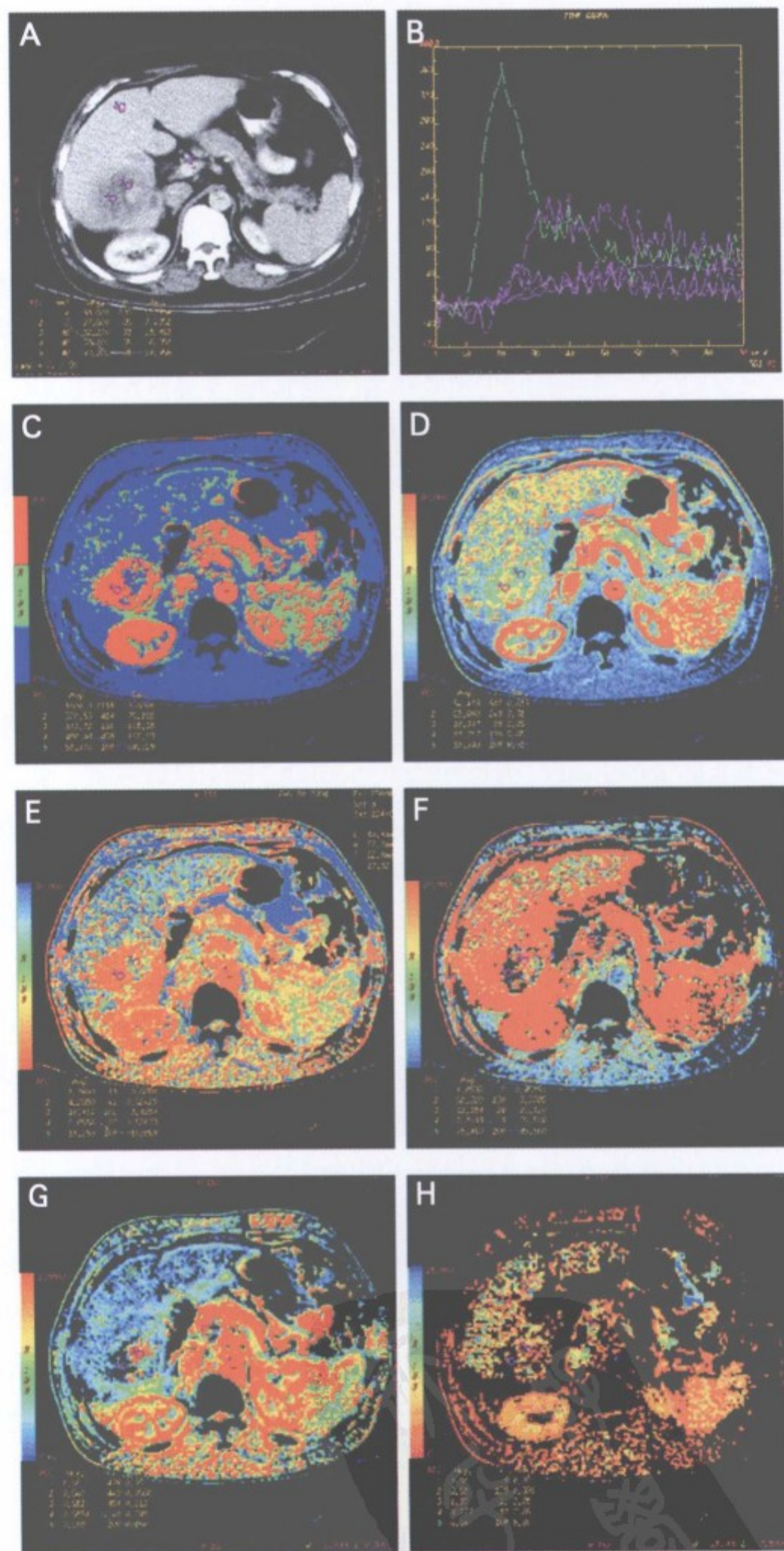


图 24-5 肝细胞肝癌 CT 灌注图像

上腹部 CT(A) 显示肝右叶肿块, 在主动脉、门静脉、肿块及正常肝实质内设置感兴趣区, 得到各感兴趣区的时间-密度曲线(B) 及 BF、BV、MTT、PS、HPI 灌注参数图(C、D、E、F、G、H), 肿瘤表现为高灌注, BF、BV、HPI 较正常肝组织明显增高

### 三、胰腺肿瘤 CT 灌注成像

胰腺主要由胰十二指肠动脉和脾动脉供血,血供比较丰富,其灌注信息非常有助于了解胰腺的病理变化。Miles 等对胰腺进行的 CT 灌注成像表明,正常胰腺灌注量在  $1.25 \sim 1.66 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,胰腺各部位的灌注无明显差别。多血管性胰腺肿瘤表现为高灌注。如胰岛细胞肿瘤,其总灌注量为  $2.11 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,周边表现为高灌注,中心坏死区表现为低灌注。胰腺癌多为少血供肿瘤,病理上,肿瘤引起局部组织纤维化,肿瘤邻近的小动脉新生内膜增生,导致血管硬化;在CT灌注图像上,胰腺癌表现为低灌注区,测得的血流量值低于正常胰腺组织,血流量下降与其病理学特点相符。赵心明等在正常胰腺和胰腺癌的CT灌注研究中,也得出正常胰腺血流量、血容量高于胰腺癌,而表面通透性低于胰腺癌的结果,认为由胰腺癌血供少、肿瘤血管壁不完整造成。

### 四、肺肿瘤 CT 灌注成像

肺肿瘤的良、恶性鉴别一直是影像诊断中的难点。以往学者多根据形态及增强CT中强化值和增强曲线的模式对肺孤立结节(solitary pulmonary nodule, SPN)进行鉴别。肺内恶性肿瘤的血液供应模式和代谢在性质和数量上与多数良性肿瘤有明显不同。理论上,可以用CT灌注成像帮助鉴别,但因为呼吸运动的影响,CT灌注成像在肺肿瘤中的应用难度很大,国内、外的研究文献有限。Zhang 等首次在对65例孤立性肺结节患者进行动态CT的研究中运用了灌注值的测量,结果表明恶性和炎性结节灌注量均高于良性结节,但恶性和炎性结节之间并无显著性差异;恶性结节的血流量为  $0.7 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,而肝癌的BF为  $0.59 \sim 0.7 \text{ml}/(\text{min} \cdot \text{ml})$ ,二者接近。赵振军等用多排螺旋CT对肺肿瘤的灌注与病理对照研究中发现,良、恶性肿瘤的血容量和表面通透性值有显著差异,恶性肿瘤的血容量和表面通透性明显大于良性肿瘤( $P < 0.01$ )(图24-6,图24-7),分别反映了肿瘤内微血管密度的增加和毛细血管成熟度的减低;而且,血容量测定值的敏感度高,而表面通透性测量值的特异度高,两者结合有利于提高诊断的正确率。

在单纯灌注值测量的基础上,Miles对肺结节的灌注研究中提出了标准化灌注值(SPV)的概念,SPV为组织灌注(Pt)与全身平均灌注(Pwb)的比值,并发现SPV和FDG PET中使用的标准化摄取值(SUV)有很好的相关性( $r=0.8$ ),说明定量的灌注CT有提供类似于PET功能信息的能力。SPV通过校正患者的体重和心排血量得到一个标准化的值,理论上与微血管密度之间的相关性比单纯的灌注测量更接近,尤其在对肿瘤的评价中。

### 五、软组织肿瘤 CT 灌注成像

由于部分软组织肿瘤的组织成分产生的CT密度或MRI信号在影像上缺乏特异性,单纯的常规影像检查常难以确定其组织生物学行为和类型。MDCT灌注成像能够反映肿瘤内部血管化程度,可以提供比传统图像更为准确的肿瘤血供信息,对软组织肿瘤良恶性鉴别有很大帮助。目前,国内、外



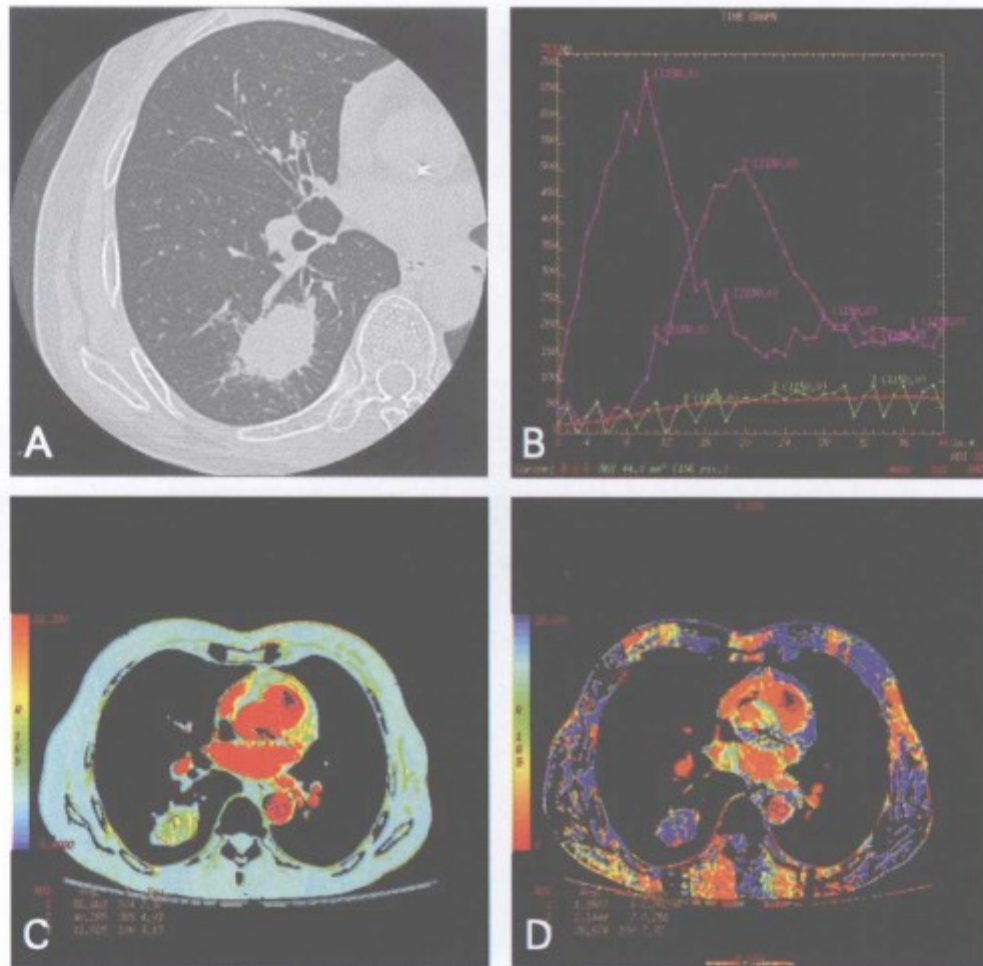


图 24-6 右肺下叶腺癌 CT 灌注图像

胸部 CT(A)显示右肺下叶背段一形态不规则肿块,边缘浅分叶并可见毛刺,CT 灌注图像(C、D)显示肿块有高的 BV 和 PS 值,说明肿块微血管灌注高、血管基膜不完整,符合恶性肿瘤的特点

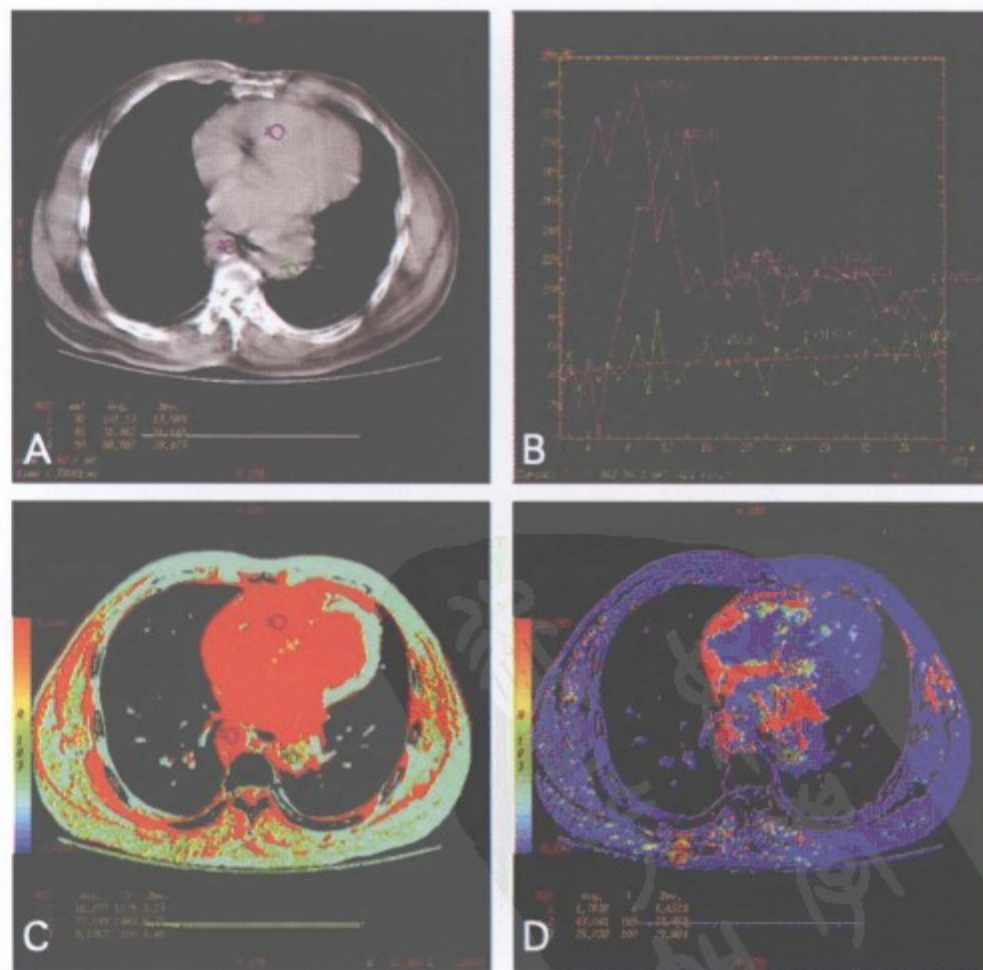


图 24-7 左肺下叶支气管囊肿 CT 灌注图像

胸部 CT(A)显示左肺下叶肿块,CT 灌注图像(C、D)显示肿块 BV 和 PS 值低,说明肿块微血管灌注少并且血管基膜完整,符合良性肿瘤的特点

软组织肿瘤 CT 灌注成像的研究还较少。Purdie 等对 10 例种植 VX2 软组织肿瘤的大白兔进行了 CT 灌注研究,发现肿瘤边缘的血流量值明显高于正常组织( $P < 0.05$ ),肿瘤边缘的表面通透性值亦明显高于正常组织( $P < 0.05$ )。国内薛彩霞等研究发现,良、恶性软组织肿瘤间的血流量、PS 值差异具有显著性意义;MDCT 灌注成像诊断软组织恶性肿瘤的灵敏性为 90.9%,特异性为 86.7%,准确率为 88.5%。不过,血管成分较多的血管源性肿瘤会导致灌注参数增高,造成假阳性,须结合传统的影像学形态特征进行综合分析。

总之,CT 灌注技术以其在评价肿瘤血管生成和微血管灌注方面的优势,在肿瘤早期诊断、鉴别诊断、疗效观察、预后分析等方面表现出了传统 CT 无法比拟的优越性,其在肿瘤中的应用价值已被广为接受和重视。多层螺旋 CT 的应用使 CT 扫描一次覆盖范围更广,提高了灌注扫描成功的几率及灌注结果的准确性。同时,随着软件的进一步开发,也使后处理更加便捷。其应用前景会越来越广阔,有望成为肿瘤 CT 扫描的常规方法。

(王秋实 梁长虹 黄 飏)

## 参 考 文 献

- [1] 黄飏,梁长虹,张云亭,等. 星形细胞肿瘤 CT 灌注成像与肿瘤微血管相关性的研究. 实用放射学杂志,2005,21(5): 463-467
- [2] 赵振军,梁长虹,谢淑飞,等. 多层螺旋 CT 肺灌注对肺肿瘤的诊断价值. 中国医学影像技术,2004,20(2):232-235
- [3] 赵心明,周纯武,吴宁,等. 胰腺多层螺旋 CT 灌注研究. 中华放射学杂志,2003,37(9):845-849
- [4] 薛彩霞,王绍武,袁飞,等. 软组织肿瘤的多层螺旋 CT、MR 灌注成像初步研究. 中华放射学杂志,2004,38(11):1135-1140
- [5] Miles KA. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography. Br J Radiol,1991,64(761): 409
- [6] Miles KA, Hayball M, Dixon AK. Colour perfusion imaging: a new application of computed tomography. Lancet,1991,337(8742):643
- [7] Hamberg LM, Hunter GJ, Halpern EF, et al. Quantitative, high resolution measurement of cerebral vascular physiology with slip-ring CT. AJNR,1996,17:639-650
- [8] Cenic A, Nabavi DG, Graen RA, et al. Dynamic CT measurement of cerebral blood flow: A validation study. AJNR,1999,20(1):63-73
- [9] Eastwood JD, Provenzale JM, Hurwitz LM, et al. Practical injection-rate CT perfusion in a case of stroke. Neuroradiology,2001,43(3):223-226
- [10] Gunnor B, Bahner ML, Hoffmann U. Regional blood flow, capillary permeability, and compartment volumes: measurement with dynamic CT—initial experience. Radiology,1999,210(1):269-276

- [11] Dugdale PE, Miles KA, Bunce I, et al. CT measurement of perfusion and permeability within lymphoma masses and its ability to assess grade, activity, and chemotherapeutic response. *JCAT*, 1999, 23(4):540-547
- [12] Miles KA. Tumor angiogenesis and its relation to contrast enhancement on computer tomography: a review. *Eur J Radiol*, 1999, 30(1):198-205
- [13] Zhang M, Kono M. Solitary pulmonary nodules; evaluation of blood flow patterns with dynamic CT. *Radiology*, 1997, 205:471-478
- [14] Lim JH, Choi D, Kim SH, et al. Detection of hepatocellular carcinoma; value of adding delayed phase imaging to dual phase helical CT. *AJR*, 2002, 179(1):67-69
- [15] Gandhi D, Hoeffner EG, Carlos RC, et al. Computed tomography perfusion of squamous cell carcinoma of the upper aerodigestive tract. *JCAT*, 2003, 27(5):687-693
- [16] Miles KA, Leggett DA, Kelley BB, et al. In vivo assessment of neovascularization of liver metastases using perfusion CT. *Br J Radiol*, 1998, 71(843):276
- [17] Leconte I, Cuenod C, Poulet B, et al. Early detection of occult liver metastases with functional CT. *Radiology*, 1998, 209(1):291
- [18] Purdie TG, Henderson E, Lee TY. Functional CT imaging of angiogenesis in rabbit VX2 soft tissue tumor. *Phys Med Biol*, 2001, 46(12):3161
- [19] Ribatti D, Vacca A, Nico B, et al. Angiogenesis spectrum in the stroma of B-cell non-Hodgkin's lymphomas; an immunohistochemical and ultrastructural study. *Eur J Haematol*, 1996, 56:45-53
- [20] Sahani DV, Kalva SP, Hamberg LM, et al. Assessing tumor perfusion and treatment response in rectal cancer with multisection CT: initial observations. *Radiology*, 2005, 234:785-792
- [21] Roberts HC, Roberts TPL, Smith WS, et al. Multi-section dynamic CT perfusion for acute cerebral ischemia: the "toggle-table" technique. *AJNR*, 2001, 22(6):1077-1080
- [22] Zagzag D, Brern S, Robert F. Neovascularization and tumor growth in the rabbit brain. *Am J Pathol*, 1998, 131(2):361-372
- [23] Cenic A, Nabavi DG, Craen RA, et al. A CT method to measure hemodynamics in brain tumors; validation and application of cerebral blood flow maps. *AJNR*, 2000, 21(3):462-470
- [24] Bartolini A, Gasparetto B, Furlan M, et al. Functional perfusion and BBB permeability images in the diagnosis of cerebral tumors by angio CT. *Comput Med Imaging Graph*, 1994, 18(3):145-150
- [25] Leon SP, Folkerth RD, Black PM. Microvessel density is a prognostic indicator for patients with astroglial brain tumors. *Cancer*, 1996, 77(2):362-372
- [26] Miles KA, Hayball MP, Dixon AK. Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT. *Radiology*, 1993, 188(2):405
- [27] Miles KA, Hayball MP, Dixon AK. Measurement of human pancreatic perfusion using dynamic computed tomography with perfusion imaging. *Br J Radiol*, 1995, 68(809):471
- [28] Dugdale PE, Miles KA. Hepatic metastases; the value of quantitative assessment of contrast enhancement on computed tomography. *Eur J Radiol*, 1999, 30(3):206-213

- [29] Cuenod CA,Leconte I,Siauve N,et al.Early changes in liver perfusion caused by occult metastases in rats: detection with quantitative CT.Radiology,2001,218(2):556-561
- [30] Tsushima Y,Unno Y,Koizumi J,et al.Hepatic perfusion changes after transcatheter arterial embolization (TAE) of hepatocellular carcinoma:measurement by dynamic computed tomography (CT).Dig Dis Sci,1998,43(2):317-322



[ G e n e r a l I n f o r m a t i o n ]

书名 = 多层螺旋CT血管成像

丛书名 =

作者 = 梁长虹著

出版社 = 人民军医出版社

出版日期 = 2008

形态项 = 380

页数 = 380

原书定价 = 220.00

读秀号 = 000006551997

SS号 = 12028148

ISBN = 7-5091-1767-4 / R543.04

分类号 = 16080403

主题词 =

参考文献格式 = 梁长虹著 . 多层螺旋CT血管成像 . 人民军医出版社 , 2008 .