

不可逆电穿孔消融技术的应用原理与实践

主编 吴沛宏 余俊豪



人民卫生出版社

不可逆电穿孔消融技术的应用原理与实践

主 编：吴沛宏 余俊豪

副主编：黎 升

编 者：（按姓氏汉语拼音排序）

董 军（中山大学肿瘤医院）

董安楠（中山大学肿瘤医院）

黎 升（中山大学肿瘤医院）

李 旺（中山大学肿瘤医院）

毛思月（中山大学肿瘤医院）

沈露俊（中山大学肿瘤医院）

王 悦（中山大学肿瘤医院）

吴沛宏（中山大学肿瘤医院）

余俊豪（香港中文大学威尔士亲王医院）

曾 奇（中山大学肿瘤医院）

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

不可逆电穿孔消融技术的应用原理与实践/吴沛宏,
余俊豪主编. —北京:人民卫生出版社,2015

ISBN 978-7-117-20092-9

I. ①不… II. ①吴…②余… III. ①肿瘤-导管消
融术 IV. ①R730.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 009635 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数 据库服务, 医学教育资 源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

不可逆电穿孔消融技术的应用原理与实践

主 编: 吴沛宏 余俊豪

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 8

字 数: 195 千字

版 次: 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-20092-9/R · 20093

定 价: 58.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

不可逆电穿孔是一种新的微创消融技术,近年来正在逐渐走向临床应用。

目前,各种消融技术,以其创伤小、恢复快,在我国日益受到医生和肿瘤患者的关注和欢迎。然而,目前的各种消融存在着一些固有缺点,引起了一些并发症,例如神经血管损伤、胆管、胰管、输尿管、气管的损伤等。不可逆电穿孔技术是通过高压电脉冲造成细胞膜不可逆穿孔而使细胞凋亡,由于上述结构,除细胞成分外,还含有较多胶原纤维等细胞外基质,因此消融过程中损伤甚微。不可逆电穿孔技术具有消融精确、不易损伤神经和血管结构、无热池效应等优点,给解决上述问题带来了曙光。

本书分为总论和各论两部分。总论(1~4章)介绍了不可逆电穿孔的原理和临床注意事项,有利于读者了解其使用;并介绍了不可逆电穿孔技术以后发展的方向和在肿瘤治疗方面的一些进展。各论(5~15章)为目前国内外报道的使用不可逆电穿孔消融的脏器或组织,主要有肝、肺、乳腺、胰腺、脑、肠道、狭窄的血管等,从电流参数、影像学、病理学等方面详细介绍了其可行性和安全性,囊括细胞层次、动物实验层次和临床研究层次,介绍了应用中的其他消融手段不具有的一些优势。

本书编写的原则是宁缺毋滥,不因为目前公开发表的相关研究较少就扩充篇幅,并做了一些必要的动物实验来验证本书所引用文献的结果和结论,以保证本书的质量。本书在讲述不可逆电穿孔的应用时,融合了作者的肿瘤的建设性治疗模式这一理念,即在有效治疗肿瘤的同时,最大限度保护患者的生理功能,最大限度保护和提高患者的免疫功能,最大限度保护和改善患者的生活质量。在治疗策略及方法选择上,尽可能通过无创或微创治疗联合其他综合治疗的模式避免大创和巨创。希望本书最

后对读者有所裨益。

本书的成功完成,归功于各位作者在繁忙的临床工作之余的辛勤努力和不懈付出,他们阅读了国内外绝大部分不可逆电穿孔技术相关文献,结合自身临床经验和认识,反复修改。特别是黎升博士为本书做了很多工作,沈露俊博士、毛思月博士、董军博士、曾奇博士、董安楠硕士、王悦副教授、李旺主治医师、钟锐主管技师也为本书付出了相当多的休息时间。也特别感谢 AngioDynamics 公司提供了本书部分图片和资料以及阳光基金的支持。感谢香港中文大学余俊豪教授提供了部分实验图片。

影像导引下的微创治疗和生物免疫治疗是 21 世纪肿瘤治疗的热点和发展趋势,该领域的发展日新月异,推动着肿瘤治疗模式的转变,不断更新、充实着肿瘤治疗的指南。由于水平所限,本书失误之处在所难免,希望读者不吝赐教。本书适合肿瘤相关专业医师,特别是从事肿瘤消融的医师阅读,对从事介入工作的心脑血管医师和医学研究生亦有参考价值。

中山大学肿瘤医院医学影像与微创介入中心

吴沛宏

2014 年 9 月 14 日

目 录

第一章 不可逆电穿孔的原理及优势	1
第一节 不可逆电穿孔的消融效应	2
第二节 不可逆电穿孔的优势	3
第三节 不可逆电穿孔消融非靶区器官的影响及适应证、禁忌证	5
第四节 无需肌松剂的高频不可逆电穿孔	6
第五节 不可逆电穿孔消融的设备介绍	7
第二章 不可逆电穿孔消融电极的放置	21
第一节 放置电极及测量电极间距	21
第二节 估算消融区	26
第三节 不可逆电穿孔消融参数的修改	29
第三章 不可逆电穿孔脉冲发射的注意事项及特殊消融技术	33
第四章 不可逆电穿孔消融心电图同步仪故障诊断	41
第五章 不可逆电穿孔与头颈部疾病治疗的研究	44
第一节 可逆性和不可逆电穿孔作用于血脑屏障的 MRI 研究	44
第二节 不可逆电穿孔消融脑组织的研究	45
第三节 不可逆电穿孔联合其他方式治疗颅内肿瘤	47
第四节 不可逆电穿孔在甲状腺中的应用	48
第五节 不可逆电穿孔在腮腺中的应用	51
第六章 不可逆电穿孔在肺癌中的应用	58
第一节 总论	58

第二节 不可逆电穿孔的相关研究	60
第三节 前景与展望	63
第七章 不可逆电穿孔在乳腺肿瘤治疗中的应用	65
第八章 不可逆电穿孔对心脏的影响及相关研究	71
第一节 不可逆电穿孔心脏消融的病理改变	71
第二节 不可逆电穿孔心脏消融的安全性	72
第三节 展望	72
第九章 不可逆电穿孔在肝肿瘤治疗中的应用	73
第十章 胰腺癌的不可逆电穿孔消融	89
第十一章 不可逆电穿孔对肾脏的影响及相关研究	97
第一节 不可逆电穿孔对正常肾脏组织的影响	97
第二节 肾癌的不可逆电穿孔消融治疗	100
第十二章 不可逆电穿孔对前列腺的影响及相关研究	103
第一节 不可逆电穿孔对正常前列腺组织的影响	103
第二节 前列腺癌的不可逆电穿孔消融	104
第十三章 不可逆电穿孔消融坐骨神经的研究	107
第十四章 不可逆电穿孔对肠道损伤或消融肠道肿瘤的研究	115
第十五章 不可逆电穿孔对血管及血管内膜的影响	119

吴沛宏 黎升 王悦 李旺

不可逆电穿孔(irreversible electroporation, IRE)是一种新的软组织消融技术,利用超短的高压直流电(高达3千伏),在消融组织内细胞在的细胞膜上产生多个纳米级微孔,不可逆转地破坏细胞内外的平衡,诱导细胞凋亡并最终死亡(图1-1)。

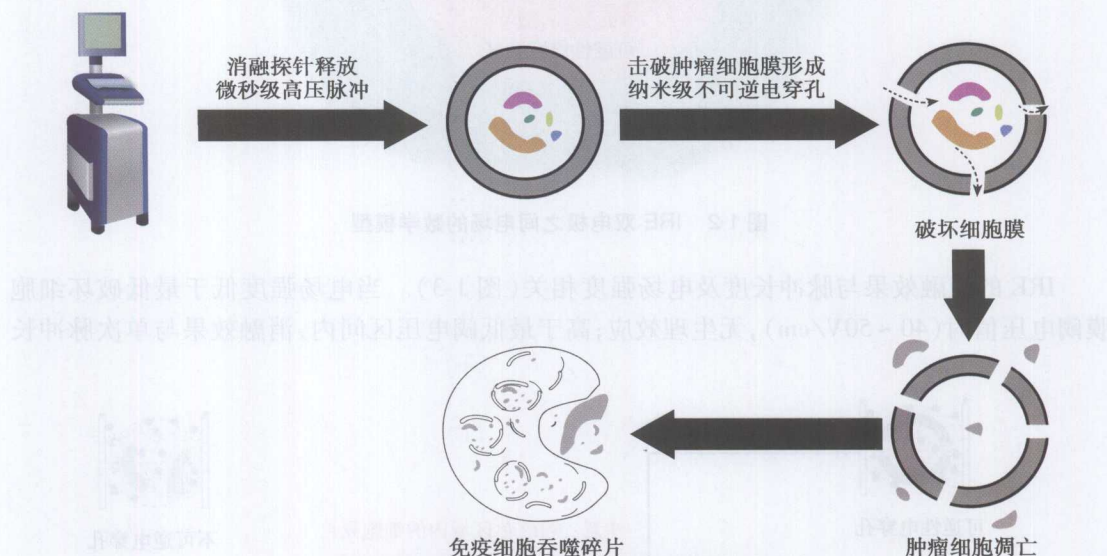


图1-1 IRE 的基本工作原理

早在1898年,Fuller等在研究美国俄亥俄州河水净化问题时便观察到不可逆电穿孔效应的存在,一直未受重视。20世纪90年代,科学家们发现使用高达1千伏的能量在细胞膜上产生可逆微孔的可逆电穿孔技术(reversible electroporation),可以让基因药物或化疗药物进入细胞,开启了基因治疗和电化学治疗的篇章。然而,当时科学家们主要致力于可逆性电穿孔的应用研究,不可逆电穿孔则作为电穿孔技术中的副作用而并未得到重视。国内在2002年左右逐渐开展不可逆电穿孔临床应用的基础研究和设备研发。美国加州大学的Rubinsky及其同事的研究也发现,将靶区间的电压增加到3千伏,会在细胞膜上形成不可逆微孔,引起细胞凋亡,并激活单核-巨噬细胞系统,吞噬、清除凋亡细胞。目前,美国FDA批准IRE用于软组织的治疗,全球多家机构都在积极开展IRE的相关研究,研究领域包括:胰腺癌、肝癌、脑肿瘤、乳腺癌、前列腺癌、肺癌、肾癌及腮腺、甲状腺等。

第一节 不可逆电穿孔的消融效应

消融针及消融效应

目前,已获批使用的 IRE 消融针有单极针及双极针两种,最常用的为单极针。单极针消融 2 根电极(正极及负极)间的电场的数学模型图如图 1-2:

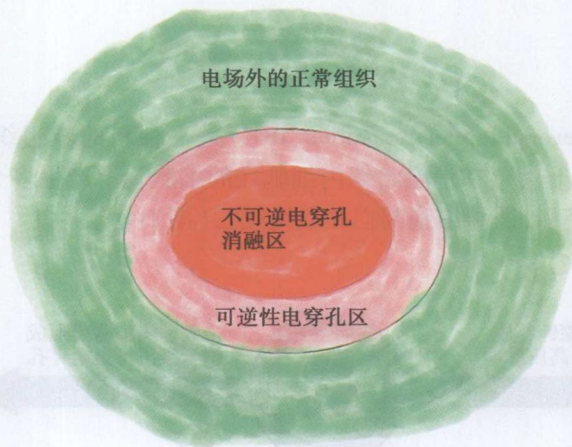


图 1-2 IRE 双电极之间电场的数学模型

IRE 的消融效果与脉冲长度及电场强度相关(图 1-3)。当电场强度低于最低破坏细胞膜阈值电压时($40 \sim 50\text{V/cm}$),无生理效应;高于最低阈值电压区间内,消融效果与单次脉冲长

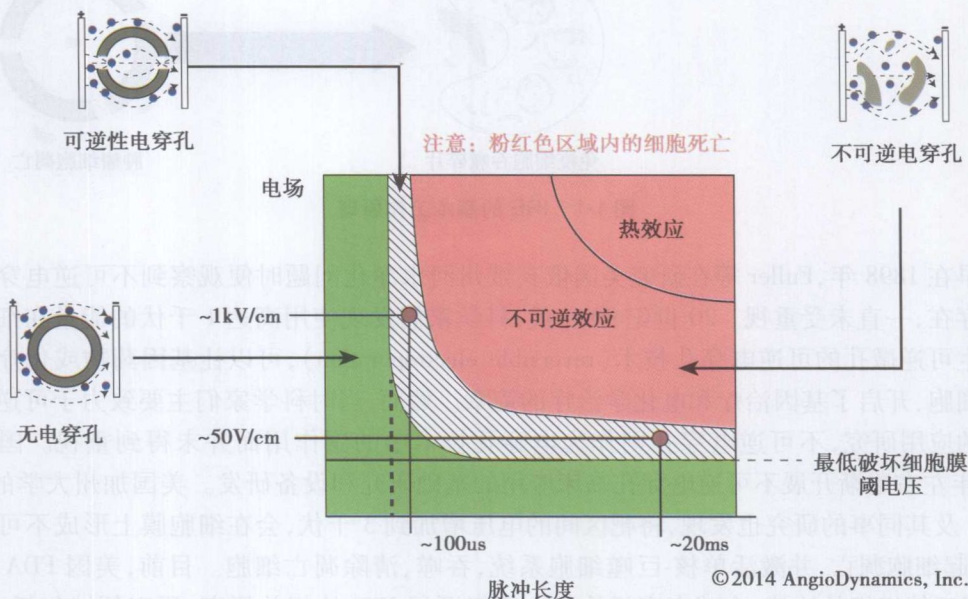


图 1-3 消融电场及脉冲长度和消融区域消融效应间关系

度相关,消融的电压越高,脉冲时间越长,越趋向于不可逆消融;消融电压越低,脉冲时间越短,消融效应越趋向于可逆性消融。当电压及脉冲长度超过一定范围内,可产生热效应。

IRE 的消融区在不同的消融针排布后可以用数学模型预测如图 1-4 所示,数学模型计算出来的消融区与超声低回声区及大体病理消融区高度一致。

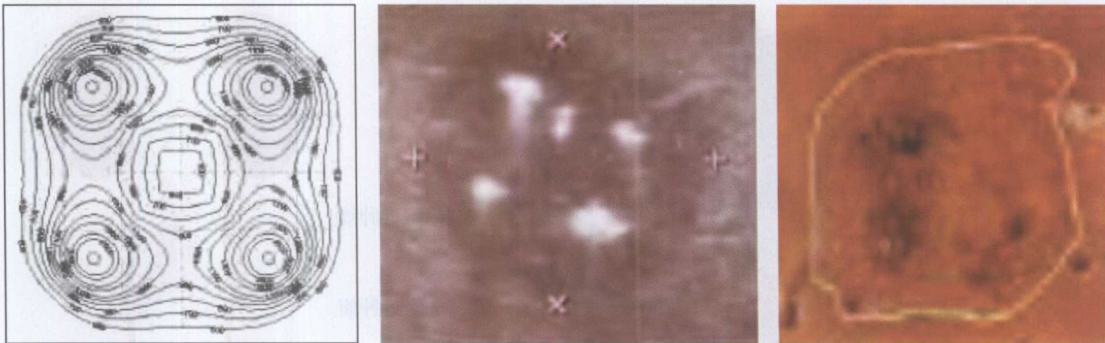


图 1-4 IRE 消融区范围计算机模拟、超声及病理结果间的关系,超声可反映组织的实际消融区

第二节 不可逆电穿孔的优势

相对于传统的消融方法,IRE 具有以下优势:

1. IRE 消融区的重要组织结构得以保留 IRE 消融技术主要使细胞膜的磷脂双分子层形成不可逆的纳米级微孔来诱导细胞凋亡,而胶原纤维和其他结缔组织成分在 IRE 消融中未发生变性(图 1-5),因此能够保护消融区内重要的组织结构,治疗时对管道结构如血管、胆管、胰管和神经有选择性保护作用。例如,经过 IRE 消融的肝组织中,肝动脉、肝静脉、门静脉及肝内胆管能得到良好的保护,肝组织瘢痕形成反应小,有利于快速吸收。这对于治疗有肝硬化的肝癌,或许能够防止肝小叶的重构和进一步结构的紊乱,当然,由于结构中相关功

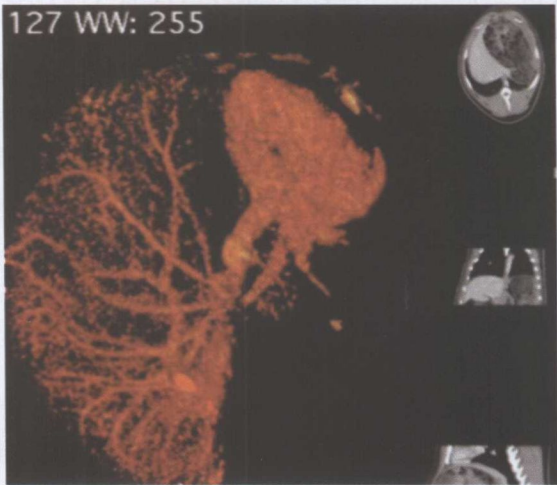


图 1-5 IRE 消融区的血管、神经等重要组织得以保留

能的缺失,在治疗完的一段时间内,这些管道结构的功能都会受到一定影响。尽管神经细胞也具有磷脂双分子层,IRE 对神经损伤是可逆的,结构和功能可以恢复,这可能与 IRE 对于髓鞘以及神经膜组织的保护作用有关。对其他管道系统,如胰腺,乳腺,腮腺导管的保护作用也正在研究中。因此,IRE 可能适用于一些处于复杂部位的肿瘤的治疗(图 1-6)。

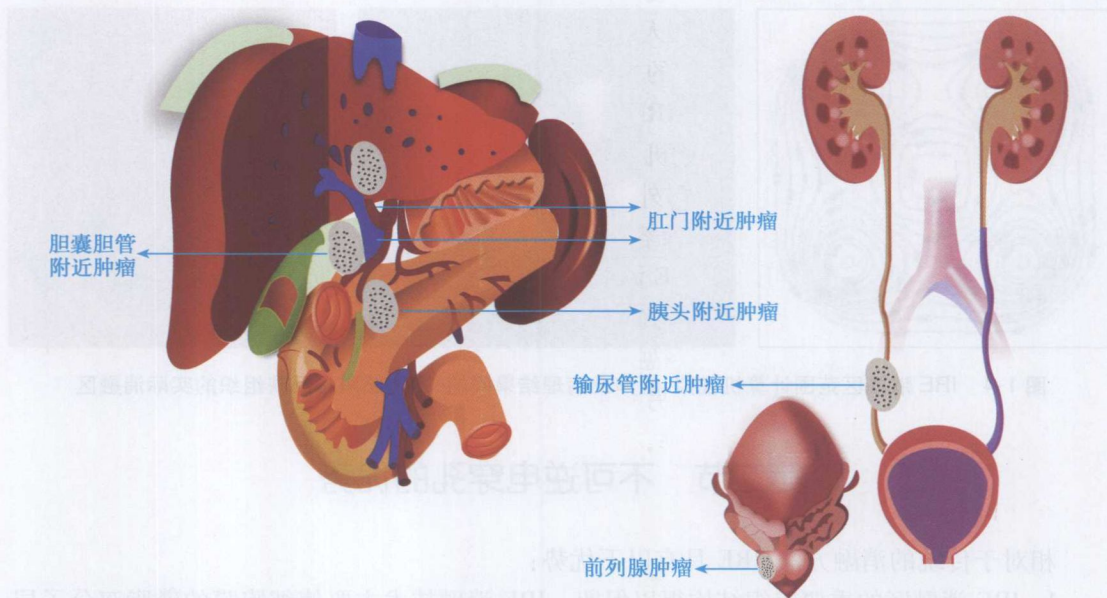


图 1-6 IRE 可能适用于更多复杂的病情

2. 治疗时间短 治疗直径小于等于 3cm 的实体肿瘤时,一组 IRE 脉冲(90 个 100 微秒的超短脉冲)治疗时间不到 1 分钟。即使有三个或四个相互重叠的消融区,全程的消融时间也不会超过 5 分钟。对于大于 3cm 或形状不规则的病灶,治疗时间可能需要相应延长。IRE 如此短的治疗时间也会相应缩短其麻醉时间和治疗时疼痛时间,减少发生并发症的概率以及降低手术费用,并有可能在有限时间内对一个病灶进行重复消融。

3. 不受热池效应(heat-sink effect)的影响 IRE 并不是通过冷/热消融使细胞凝固性坏死,而是利用微秒级高压电脉冲对靶区内细胞进行不可逆的电消融,使细胞膜上形成无数个纳米级微孔,破坏细胞膜的完整性从而使细胞内环境失衡,诱导细胞凋亡或死亡。在一定的脉冲时间及电场强度范围内,短脉冲发射并不会明显引起周围组织温度的上升。尽管相关研究显示 IRE 消融针附近仍有一定的热效应,可以产生凝固性坏死区,但是其热消融区域比 IRE 的消融区域要小得多,不是影响疗效的主要因素。在临床应用上,热池效应会让血管周围的肿瘤消融不彻底,容易出现复发,而 IRE 不依赖温度对肿瘤进行消融,无需考虑热池效应的影响,即使肿瘤区内有大血管经过,也同样可以彻底消融肿瘤。

4. IRE 消融彻底,消融边界清晰、可预测 目前的研究表明,无论是靠近血管的肿瘤,还是形状不规则的肿瘤,IRE 都能对其进行彻底消融。IRE 消融区边界清晰,厚度仅为 1~2 个细胞层。大体病理和镜下病理所观察到的消融区基本一致,可以准确判断治疗区域。因此,对 IRE 的治疗结果以及后续跟踪都能进行准确的判断和评估。而其他消融方式如射频或微

波消融,均会在消融区边缘出现“灰色区域”,即消融区的边缘组织出现一定损伤,却没有完全坏死。这种“灰色区域”是造成肿瘤复发的隐患之一。

5. IRE 诱导细胞凋亡 传统的消融手段如射频、微波、冷冻和化学消融主要通过热、冷或化学直接作用让组织发生蛋白质变性凝固性坏死,坏死后整个消融区里的组织结构不复存在,而消融区内的坏死组织被机体缓慢吸收或纤维化。在肝脏、胰腺等器官的研究表明,IRE 能够诱导细胞凋亡。细胞凋亡是人体在不同的内源或外源的刺激物的诱导下发生的程序性细胞死亡,凋亡细胞能够被人体的单核-巨噬系统识别,并通过细胞吞噬作用以非炎性的方式清除。相较传统的消融手段,IRE 诱导细胞凋亡的特点有利于消融区正常组织的再生和修复,能够“建设性”地保存部分机体的功能。

6. IRE 消融实时监控 IRE 的另外一个临床优势是能够利用超声和 CT 进行实时的影像导航和监控。因为目前尚无磁兼容的 IRE 消融电极,MRI 仅可用于术前和术后复查。在影像设备的辅助下,我们可以对 IRE 消融电极的定位、靶区消融过程以及最终消融区的范围实时监控,而且影像上消融边界的精确度可与组织学精确度相媲美。用超声或 CT 监控到的消融区与病理分析中测量真实的消融区的范围偏差极小,影像中还能清楚显示未消融的残余肿瘤,便于医生对其再次消融。另外,实时监控还可以观察到消融区周围组织的变化(图 1-7),从而推断并发症出现的概率,有利患者安全。

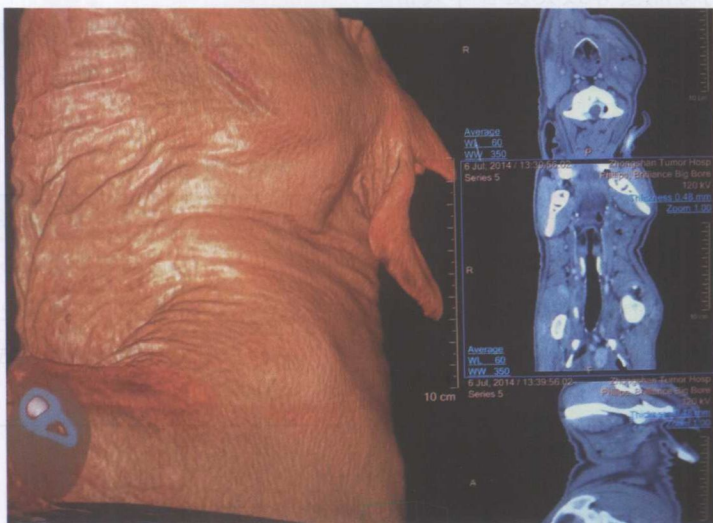


图 1-7 IRE 后可用 CT 即时评估疗效,并三维重建观察对邻近组织器官的损伤

第三节 不可逆电穿孔消融非靶区器官的影响及适应证、禁忌证

电脉冲会使肌肉收缩,目前 IRE 的所有动物试验中均出现了肌肉收缩。肌肉收缩的程度与电场的强度和脉冲时间成正比;缩短脉冲时间长度、降低电场强度可降低肌肉收缩的强度。为抑制肌肉收缩,在动物试验中会使用肌肉松弛药泮库溴铵,而在临床应用上则使用顺

式阿曲库铵。

IRE 有可能会引起心律失常,若研究对象有器质性或功能性心脏病史,他们出现心律失常的概率会非常高。目前还没有文献报道过因 IRE 诱发心律失常而死亡的病例。所有进行 IRE 治疗的手术室都应当配备心电同步设备以确保患者安全。IRE 在心电同步设备的控制下,只会在心房/心室收缩期以外的心动周期发射脉冲;此后,IRE 的临床研究中未再出现心律失常的报告。

当我们将电极插入体内时,随时都可能出现出血、瘘管形成或感染等并发症——特别是在同时使用两或三根电极的时候。

此外,使用不可逆电穿孔治疗特定部位的病灶可能会出现某些风险,例如,治疗肺癌时可能会出现气胸或诱发呼吸衰竭等;使用不可逆电穿孔治疗肾脏病灶可能会存在损伤输尿管或血管的风险。

1. IRE 的适应证 IRE 消融适用于位于特定器官内且不出现全身转移的肿瘤,一般直径在 3~4cm 的单个病灶效果最佳。

2. IRE 的禁忌证 IRE 应尽量避免用于安装有心脏起搏器或患有严重心律失常的患者,因为不可逆电穿孔可能会干扰心脏或起搏器正常的电活动。对于无明显心脏病史的患者,虽然使用心电 R 波同步设备能显著降低心律失常的风险,但由于不可逆电穿孔使用高压电流,因此手术仍可能会导致突发心律失常。

IRE 也不能用于特定器官外存在多种病变的患者身上;如果在患者的其他器官上已有肿瘤转移,那么他/她将不能进行这种治疗。另外,如果病变范围大,那么也不适合进行不可逆电穿孔治疗(表 1-1)。

表 1-1 IRE 消融的禁忌证和相对禁忌证

IRE 消融的禁忌证	IRE 消融的相对禁忌证
1. 安装有心脏起搏器或除颤器的胸部区域的消融	1. 患者有癫痫或心律失常病史
2. 消融区域附近有植入的电子设备或植入设备有金属部件	2. 近期有心脏病史
3. 患有严重的心律失常	3. Q-T 间期大于 550 毫秒的患者
	4. 多发转移

第四节 无需肌松剂的高频不可逆电穿孔

要点:

高频 IRE 在消融过程中避免肌肉收缩。

目前的 IRE 治疗时,因电流刺激产生肌肉收缩,需要含有肌松剂的全麻来配合进行 IRE。如果肌肉松弛效果不佳,可能会引起电极移位,误伤邻近重要组织,造成潜在危险。如果能够避免 IRE 消融时的肌肉收缩,则有希望在不使用肌松药和插管全麻的条件下实施消融,进一步降低手术风险,减少医疗费用。

目前已有学者综合运用数学模型及动物实验方法,研究不产生肌肉收缩的 IRE 技

术——高频 IRE。他们用高频 IRE 消融鼠的脑部,通过放在颈胸连接处的高频 IRE 加速度计记录肌肉收缩的次数。术后用磁共振和组织病理检查评估消融情况。术后发现,当消融频率为 250kHz 或 500kHz 时,没有肉眼可见或可触摸到的肌肉收缩。而所有的常规 IRE 均可引起可探测到的肌肉收缩。高频 IRE 产生的消融灶是典型的非热消融灶,消融区域有凋亡和坏死,无明显炎症。整个消融区可见散在的神经胶质和神经核退变。MRI 下圆形消融灶内表现为 T1WI 等或低信号,T2WI 高信号,增强扫描可见显著均匀强化。在治疗区域内,细胞死亡非常均一而彻底;在消融灶和正常组织之间的边界非常清晰锐利。研究者认为高频 IRE 可用于非热消融,且不引起肌肉收缩。如果能够用于临床,这将是一个极大的进步。

第五节 不可逆电穿孔消融的设备介绍

(一) 电脉冲发射电极

电脉冲发射电极分单极针和双极针两种。单极针治疗时需要将 2~6 根 19G 电极同时置入病灶,可根据肿瘤形态和体积调整电极和数量,从而实现较好的适形性(图 1-8)。双极针 16G,治疗时将一根电极置入病灶即可。

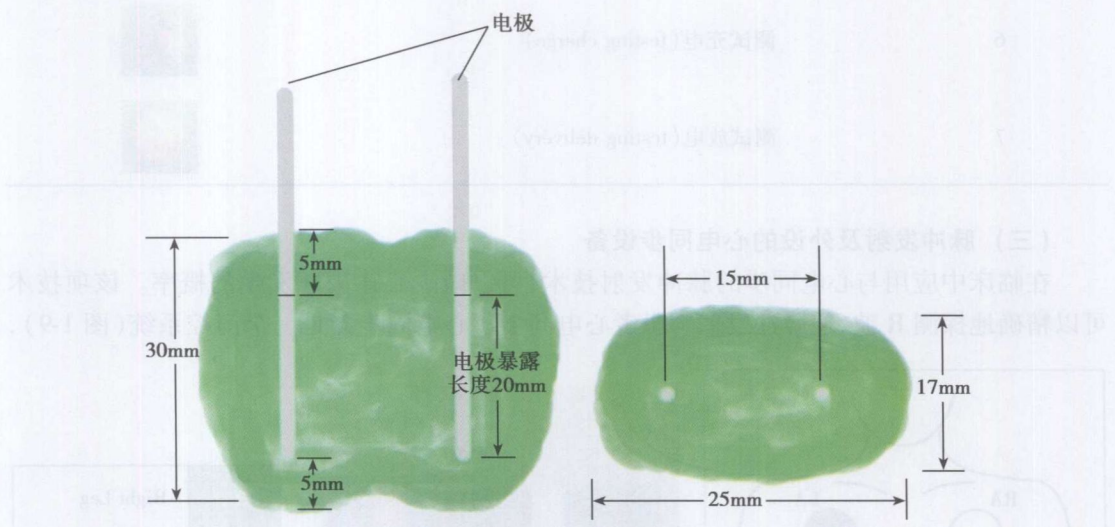


图 1-8 单极针消融范围模拟

单极针必须至少跟另一根针同时使用,最多可以同时使用 6 根单极针。暴露的电极尖端可以产生高回声,有利于超声监控。纳米刀的电极有 2 种长度:15cm 和 25cm,电极只能一次性使用。单极针的尖端可调,从而可以调节消融的深度(沿电极杆方向的消融长度),可调节长度为 0~40mm,每次调节 5mm。

纳米刀的双极针表面有厘米刻度,消融时仅需一根消融针。电极尖端在超声下为高回声。该种电极有 2 种长度:15cm 和 25cm。同样,双极针不可以重复使用。活性电极部分长度为 2cm,其消融面积约为 1.5cm×3cm。另一方面是双极针的多针重叠消融,可能会遗漏部分病灶。

(二) 设备使用前的准备工作

开机自检顺序(以纳米刀为例)

步骤	项 目	图像
1	设备初始化(initializing device)	
2	测试连接(checking connection)	
3	测试主机(checking status)	
4	测试内存(checking memory)	
5	设备启动(device setup)	
6	测试充电(testing charge)	
7	测试放电(testing delivery)	

(三) 脉冲发射及外设的心电同步设备

在临床中应用与心电同步的脉冲发射技术,可以减少心律失常发生的概率。该项技术可以精确地探测 R 波,使脉冲发射与患者心电同步。心电同步器是一个门控系统(图 1-9),

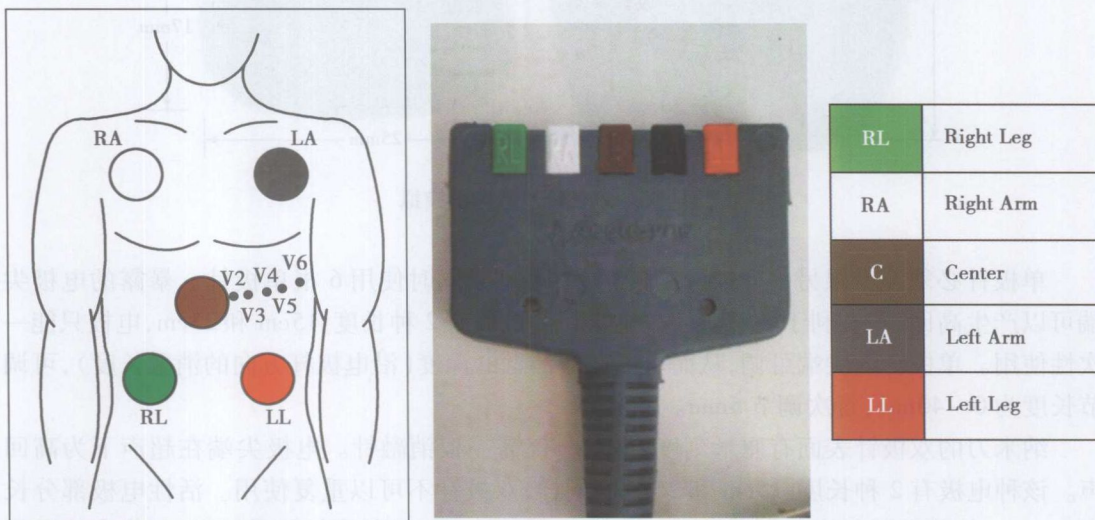


图 1-9 心电同步器导联设置

用于探测 R 波的上升峰,并发送信号给纳米刀系统,纳米刀系统在接收到信号 50 微秒后(此时心电周期处于绝对不应期)发射一个高电压脉冲。同步器的目的就是测出心电周期中的绝对不应期,以便及时发射脉冲。

使用时需要打开心电同步设备开关,确保 BNC 电缆插进纳米刀主机底部接口。如果心电同步设备导联没有插入机器右下方并连接患者,则显示无患者连接。在使用心电同步模式时,应先连接心电导联,这需要贴上五个导联电极,粘贴部位如下,然后选择心电图导联和观察波形,好的波形应该是高 R 波,低 T 波。

(四) 麻醉

纳米刀发射的脉冲会刺激肌肉收缩,为了防止肌肉收缩及其引起的电极移位,在发射电脉冲时,必须保证肌肉完全松弛。在布针过程中,患者无需肌肉松弛。进行 IRE 治疗时,因为需要完全的神经肌肉阻断,患者必须进行气管插管和全身麻醉。因此,在治疗前需要告知麻醉师和护士相关知识:如纳米刀的基本技术,脉冲发射期间的神经肌肉阻断,心电同步的脉冲发射,预计的电极放置和手术时间,注意监测患者心率以及潜在的并发症。

(五) 电极的选择

消融计划就是利用机载软件估计消融体积、电极放置位置和数量。消融策略就是首先测量目标组织的大小,然后估计需要的电极数量,最后决定每根电极的摆放位置。

如果使用单极针,将电极平行插入非常重要,应该避免 2 根电极不平行。因为电极不平行会造成消融不均匀,增加病灶残留概率,并导致消融区与机器软件估计的区域不一致。当需要测量两电极之间的距离时,不平行置针会造成电极间距离的变化。发送的电压取决于电极间距,电压太高或者太低会导致高电流或者病灶残留。

为了确保电极平行放置,目前有无菌间隔器可用,间隔距离设定为 1cm、1.5cm、2cm 和 2.5cm。当电极放好之后,间隔器可以取下,继续用于其他电极。使用多根电极时可同时使用多个间隔器。最好将间隔器尽可能靠近靶组织,以尽量避免可能产生的电极间的不平行。

开始的时候,推荐使用最大的电极间距,在导电性正常的组织中是 2cm,在导电性更好的组织中是 1.5cm。如果电流小于 25Amps,可以增加 5mm 的针尖距离。最佳的电极间距是 1.5~2cm。电极间距决定了所使用的电压,间距越远,就需要更高的电压或能量来消融电极之间和周围的区域。电极间距小于 1.5cm 将产生一个非常小的消融体积,电极间距大于 2cm 将产生 2 个围绕电极的消融区,而保持针间距在 1.5cm 和 2cm 之间将产生最大的消融体积。使用的默认电压为 1500V/cm,系统最大输出电压 3000V。

(六) 测量靶组织

消融的第一步是测量靶组织的长度、宽度、深度,为了准确测量靶组织的体积,首先必须确定进针路径。深度与针尖暴露长度有关,长度和宽度必须垂直深度来测量。当利用 CT 引导时,取最大截面计算深度及宽度(图 1-10)。对于 CT 引导的 IRE,需要做冠状面的重建和一定的空间想象能力,这有利于执行治疗计划。

(七) 估计消融区体积

利用软件估计消融区体积(图 1-11)以确定使用电极数量和位置。消融区体积估计基于这一假设:均质组织,电极平行,至少 70 个 70 微秒的脉冲。图 1-12~1-15 示消融范围的估计及退针技术,黄色代表靶区,蓝色代表消融边缘,一般是 1cm,灰色代表估计的消融区域。

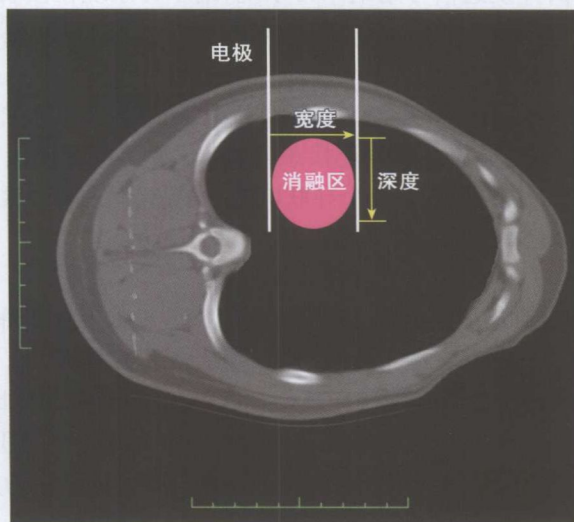


图 1-10 断层影像下进针的深度和宽度

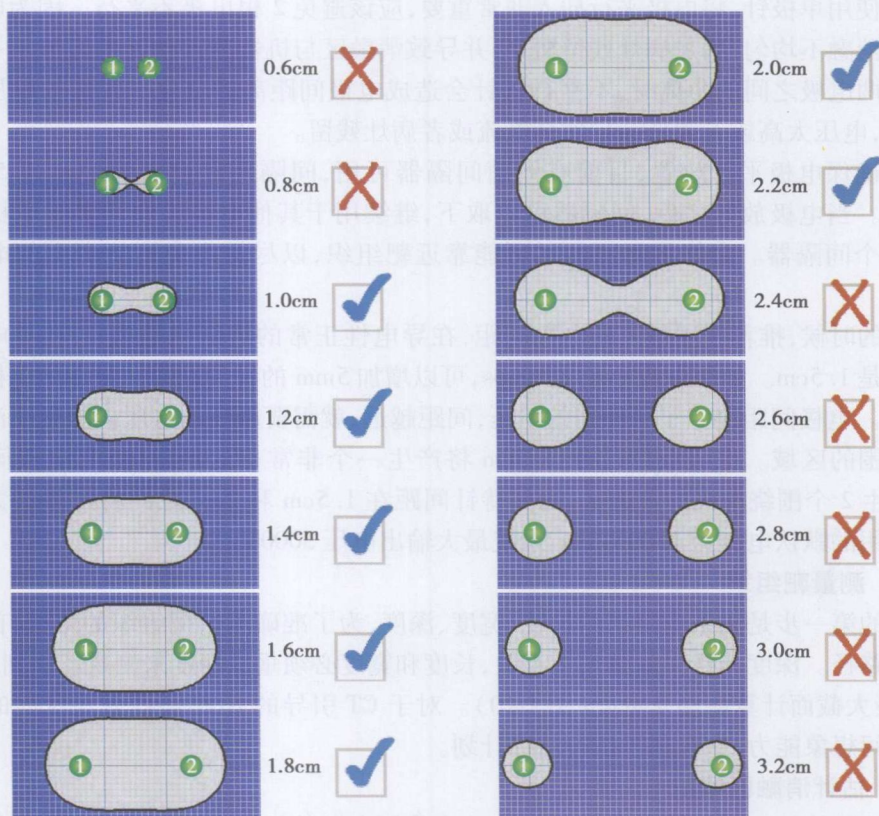


图 1-11 消融体积的估计