

胸部电阻抗断层成像技术概述

第一节 胸部 EIT 技术的发展历史

电阻抗断层成像技术 (electrical impedance tomography, EIT) 是一种以生物体内电阻抗的分布或变化为成像目标的一种医学成像技术。其通过在生物体表面应用多个电极, 将安全电流注入生物体内部, 测量生物体表面的电压值, 从而计算出物体内部每个位置的电导率, 以绘制出生物体内部组织的分布情况。

EIT 的发展历史可以追溯到 20 世纪 20 年代, 一种类似于 EIT 的技术被应用于地球物理和工业过程的监测。20 世纪 70 年代, 其开始应用于生物研究领域。1983 年开始出现电阻抗断层成像研究, 并首次提出将 EIT 应用于医学, 检测肺的局部通气情况 (图 1-1)。

20 世纪 90 年代, EIT 成为检测呼吸功能的有效工具, 并开始应用于肺功能领域, 表明 EIT 能够像通气灌注闪烁显像一样准确地估计差异性肺功能。同期提出 EIT 应用于循环系统肺灌注方面是有可能的, 并于 2012 年首次

胸部电阻抗断层成像技术

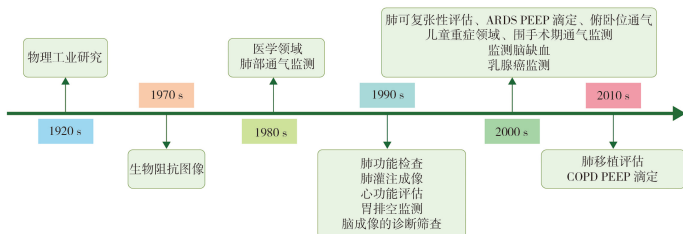


图 1-1 胸部 EIT 历史发展图

注：PFT：肺功能检查（pulmonary function test, PFT）；ARDS：急性呼吸窘迫综合征（acute respiratory distress syndrome）；PEEP：呼气末正压（positive end-expiratory pressure）；COPD：慢性阻塞性肺病（chronic obstructive pulmonary disease）

通过高渗盐水造影剂定量评估区域肺灌注。同时也应用于循环系统中心脏功能的评估，主要通过测量心脏在收缩和舒张过程中的电阻抗变化，可以推断出心脏的泵血功能以及心室壁的运动情况，这对于心脏疾病的早期诊断和治疗方案的制订具有重要意义。20 世纪 90 年代中期至 21 世纪初的相关研究证明了 EIT 在临床应用方面的实际潜力，例如肺或脑成像和诊断筛查。EIT 可以提供关于脑组织电阻抗分布的信息，从而帮助医生更好地了解脑组织的结构和功能。EIT 对体内组织因疾病病程或生理功能改变引起的组织电阻率变化十分敏感。在脑缺血的情况下，由于缺血部位的组织结构和功能发生变化，其电阻抗值也会相应改变。因此，EIT 可以监测到脑缺血早期出现的特征性图像，并对缺血部位进行定位。其在消化

系统中的应用显示出了良好的有效性，主要表现在胃排空方面。21 世纪开始，EIT 在乳腺癌筛查和诊断方面具有一定的应用潜力，该技术通过测量乳腺组织的电阻抗差异，有助于发现异常组织，从而辅助乳腺癌的诊断。EIT 是危重症患者监测区域肺通气的床边有效工具，在重症监护病房、围手术期患者的管理中使用，如肺移植的管理、ARDS 患者 PEEP 滴定过程中的肺塌陷和肺复张、在俯卧位通气后的效果评价、COPD 患者呼气末正压滴定的临床广泛应用等。

EIT 目前涉及的临床应用包括中枢神经、呼吸、心血管和消化系统等，主要应用于呼吸系统、区域性肺功能监测、肺灌注。EIT 最大的潜在应用领域是心肺功能的监测，但需要与迄今为止进行的更大的患者群体的研究对比，以充分评估 EIT 作为临床工具的价值及潜力。

第二节 EIT 技术的临床应用

EIT 可用于组织、液体或气体之间存在导电性的对比，例如呼吸、神经活动、血流、胃肠功能、癌症等成像的功能监测。

一、呼吸系统

EIT 通过测定不同通气和灌注状况下的电阻抗变化，

胸部电阻抗断层成像技术

实时动态监测肺通气、血流分布，可用于机械通气参数设定、肺灌注评估以及肺功能检查等（表 1-1）。

表 1-1 EIT 技术的临床应用

系统	临床应用	局限性
呼吸系统	通过分析呼吸过程中图像区域像素点电阻 - 时间曲线的变化	只能局部监测肺部
	根据高渗盐水注射后电阻 - 时间曲线的变化建构 EIT 肺灌注图像	应注意排除呼吸因素的干扰
	监测与自主呼吸相关性肺损伤有关的呼吸钟摆现象	应排除膈肌与胸腔积液所致的反向电阻变化信号对钟摆现象识别的干扰
	可动态评估机械通气患者撤机过程中区域肺通气的变化	样本量较小，在未来需要进一步行大样本研究证实 EIT 指导脱机的价值
	可用于术前、麻醉诱导、术中和术后等不同阶段的肺通气功能评估	术中使用电刀或电凝时，需要暂时断开电极缚带与主电缆之间的连接线，以免可能造成的 EIT 设备损坏
	可评估俯卧位对区域肺通气、血流的作用	体位的大幅变动易造成图像干扰
肺灌注		在临床中仍处于起步阶段，需大样本研究验证
中枢神经系统	脑卒中（出血性与缺血性）	大多数研究集中在 EIT 系统动物模型上的应用

（一）肺通气

EIT 技术可以测量肺部通气的分布，根据电导率分布变化判断呼气末正压（positive end-expiratory pressure, PEEP）的变化对肺泡通气的影响，进而滴定出合适的

PEEP；同时还可可在床旁实现对机械通气患者呼吸钟摆现象的识别，有助于半定量评估自主吸气努力的程度及区域肺通气、血流、通气/血流 (V/Q) 匹配。另外，联合食管压等监测手段可指导临床调整呼吸治疗方案，还可以从不同维度评估俯卧位治疗的作用效果及指导呼吸机模式、参数的调整。对于肺功能评估，其也可提供多维度定量指标，实现对患者病情的监测，成为个性化保护性机械通气和优化呼吸机调整的标准监测技术，提高机械通气期间的患者安全性并提供持续监测。

（二）肺灌注

EIT 在肺灌注的评价方面也有一定优势，主要是基于造影剂首次通过成像方法实现，针对 ARDS 患者存在严重通气/灌注不匹配的病理机制造成的危害，因此，床旁评估 ARDS 患者肺通气和灌注显得尤为重要。但对于重度 ARDS 患者，实现此项操作风险较高。EIT 是目前唯一能够揭示通气患者 V/Q 匹配的相对区域异质性的床旁成像工具，不会受到空间分辨率较低、不能提供通气和灌注绝对值等一些局限性的影响。然而 EIT 技术在临床中仍处于起步阶段，需要大样本研究验证。

（三）肺功能检查

常规肺功能检查可以检测到肺部的病变。但 EIT 监测可以在一段时间内观察到肺局部的变化，以量化肺部疾病的进展，如 COPD 或哮喘患者术前应用 EIT 可以动

态评估呼气流速受限的严重程度和对使用支气管扩张剂的疗效以及指导围术期用药。因此，使用 EIT 技术可以评估患者的局部肺功能，但 EIT 在这一领域需要更多的临床试验。

二、中枢神经系统

临床常用颅脑计算机断层扫描（computed tomography, CT）检查并判断脑水肿的严重程度以及梗死的组织发生缺血与水肿情况，但由于 CT 值下降不明显，导致脑水肿在 CT 上的显影存在延迟。随着病情的进展，水肿较前加重时，在 CT 上才能出现特征性的梗死病灶表现。

目前，脑电阻抗（cerebral electrical impedance, CEI）在神经外科领域有着广泛的应用，可以快速呈现图像，提供关于脑出血的诊断数据，区别缺血性和出血性脑卒中，同时连续反映脑水肿变化情况以及定量测量；还可以通过其变化情况指导临床用药，被认为是一种无创、安全、连续且有效的脑水肿监测方法。但该方法尚有不足之处，大多数研究集中在 EIT 系统动物模型上的应用。

三、心血管系统

由于心源性成分提取的技术困难，心脏 EIT 成像尚未成功，主要有以下原因。首先，肺通气、心血流量、内脏器官运动和胸部运动是同时发生的，测出的边界电

压数据会受所有因素的影响；同时心脏血流量对实测边界电压数据的影响远低于肺通气、心跳频率和呼吸循环频率的重叠，即使其基本频率可能不同，但仍需要较高的时间分辨率捕捉心脏血流的快速变化。

EIT 图像中心源性变化捕捉尚不清楚，因此对心脏 EIT 图像的解释仍然存在争议。尽管先前的研究表明心脏 EIT 成像的可行性，但在成像区域变化的准确性和可靠性方面还需要更多的技术改进。

四、消化系统

摄入导电的食物会降低 EIT 图像中胃的电阻率，这种变化会在胃排空过程中慢慢消失。然而胃肠功能在胃排空的影像变化方面也取得了一些成功。有证据表明，EIT 可作为胃酸分泌的指标，但仍需要更多的研究验证。

五、肌肉骨骼系统

骨折会导致血肿形成，由于血液的电阻率较骨骼的电阻率低，可以预期 EIT 成像将识别骨折位置。但需要做更多的工作评估 EIT 图像的一致性。目前，对骨折愈合阶段的评估主要采用放射学方法。

六、其他

EIT 的成像还可应用于病理的检测和定位，由于癌组

组织的电特性与良性组织不同，其通过配置于生物物体表面的电极阵列，施加一个安全电流，测量置于边界上电极的电压数据，进而重构并显示出与被测组织和器官生理、病理状态相关电特性信息的分布图像。目前，采用 PET-CT 能更详细地了解局部复发的疾病，并确定疾病是否发生了隐匿性的远程传播。

EIT 具有无创、便携、操作简单、功能信息丰富等特点。这种动态评估可以优化和制订个性化的参数，在临床应用方面具有潜在的重要价值。

第三节 小结

EIT 已经历了 30 多年的发展，应用模式可分为动态成像模式和功能监测模式。这种动态评估可以提供床旁其他技术难以获得的独特临床信息，也可以早期识别患者状态的变化，并对治疗和护理进行个体化调整；同时与其他监测方法相结合可以全面评估机械通气的安全性和有效性。通气和灌注分布的均匀性及是否存在对机体的危害现象，如肺泡过度膨胀、肺水肿形成、通气灌注不匹配、呼吸摆动或气胸的发生等信息，为充分指导和优化呼吸治疗提供了必要的信息，对有效地进行动态评估和指导临床决策具有重要的临床价值。