

团 体 标 准

T/FDSA 0121—2026

肺通气电阻抗断层成像应用技术要求

Technical requirements for application of electrical impedance tomography of lung ventilation

2026 - 02 - 11 发布

2026 - 3 - 11 实施

中国食品药品企业质量安全促进会 发 布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 3

5 原理 4

6 应用参数通用要求 4

 6.1 阻抗-时间曲线 4

 6.2 感兴趣区 4

 6.3 潮气阻抗变化 4

 6.4 呼气末肺阻抗与呼气末肺阻抗变化 5

 6.5 通气中心 6

 6.6 背侧区域通气比例 6

 6.7 非对称性指数 6

 6.8 水平腹侧通气指数 6

 6.9 全局不均一性指数 6

 6.10 区域性通气延迟 7

 6.11 通气钟摆幅度 7

 6.12 过度膨胀/塌陷法 PEEP 滴定 7

7 肺通气 EIT 监测流程 7

 7.1 患者评估 7

 7.2 环境准备 7

 7.3 设备准备与校准 8

 7.4 连接患者 8

8 肺通气 EIT 监测检查报告 8

 8.1 概述 8

 8.2 一般信息 8

 8.3 检查项目内容 8

 8.4 检查结果显示 9

 8.5 质控评估和数据存档 9

 8.6 报告模版 9

9 注意事项 10

 9.1 操作相关 10

 9.2 报告解读 10

附 录 A （资料性） 肺通气 EIT 缺失评分 11

附 录 B （资料性） 肺通气 EIT 常规监测检查报告 12

附 录 C （资料性） 肺通气 EIT 导向肺复张及 PEEP 滴定检查报告 13

附 录 D （资料性） 肺通气 EIT 动态连续监测报告 15

参 考 文 献 17

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国医学科学院北京协和医院提出。

本文件由中国食品药品企业质量安全促进会归口。

本文件起草单位：中国医学科学院北京协和医院、广州医科大学、上海交通大学医学院附属瑞金医院、浙江大学医学院附属邵逸夫医院、首都医科大学附属北京世纪坛医院、广州医科大学附属第一医院（广州呼吸中心）、复旦大学附属中山医院、武汉协和医院、重庆市人民医院（重庆大学附属人民医院）、四川省医学科学院·四川省人民医院、四川大学华西医院、云南省曲靖中心医院、湖南省人民医院、首都医科大学附属北京康复医院、西南医科大学附属医院、天津市第三中心医院、安徽省公共卫生临床中心（安医大一附院北区）、首都医科大学附属北京友谊医院、天津市天津医院、东阿县人民医院、山东省公共卫生临床中心、重庆医科大学附属第一医院、中国人民解放军总医院、山东大学齐鲁第三医院、大连医科大学附属第一医院、昆明医科大学第二附属医院、吉林大学第二医院、上海交通大学医学院附属仁济医院、山东第一医科大学第一附属医院（山东省千佛山医院）、贵州医科大学附属医院、山东第一医科大学附属菏泽医院（菏泽市立医院）、山东第一医科大学附属省立医院、衡水市人民医院、河北医科大学第二医院、衢州市人民医院、吉林大学第一医院、贵州中医药大学第二附属医院、重庆市第十三人民医院、广州中医药大学附属东莞市中医院、云南省第一人民医院、遵义医科大学附属医院、达州市中心医院、中山市人民医院、河北工程大学附属医院、复旦大学附属肿瘤医院、空军军医大学西京医院、苏州大学附属第四医院、加拿大卡尔顿大学、暨南大学、清华大学、空军军医大学、点奇生物医疗科技（苏州）有限公司、北京华睿博视医学影像技术有限公司、思澜科技（成都）有限公司、深圳米达思医疗科技有限公司、深圳市元角玉衡科技有限公司、杭州永川科技有限公司、深圳市麦德安医疗设备有限公司、深圳市安保医疗科技股份有限公司、德尔格医疗设备（上海）有限公司、广州市华昇医疗技术有限公司、《中国卫生标准管理》杂志社有限责任公司。

本文件主要起草人：何怀武、隆云、池熠、袁思依、徐梦茹、邸晨义、龚超、苏龙翔、招展奇、张瑞、葛慧青、周建新、桑岭、杨汉字、钟鸣、王禹娴、尚游、蒋静、杨缙、潘纯、王波、岳朝辅、韩小彤、姜宏英、吴松林、雷贤英、尹承芬、王楠、刘培、周凌青、刘新艳、吕宝、段均、徐昉、胡兴硕、潘盼、孙运波、万献尧、万林骏、尹永杰、李喆、孙楠楠、陈启敏、牛祖西、方巍、亢宏山、佟飞、王丹琼、王广、宋国林、郑慧峰、陈冠帅、安娜、宋仁杰、刘小毅、李斌、李焰、杨礼、屈朔瑶、蒋军红、Andy Adler、Inéz Frerichs、姚佳烽、李懋坤、杨琳、陆彧、崔刚、张可、戴涛、彭霄、赵娜、谭励夫、尤富生、李军、高贵锋、Tim Ehlers、贺心雅、郑恒全、吴建全、于聪聪。

肺通气电阻抗断层成像应用技术要求

1 范围

本文件界定了肺通气电阻抗断层成像应用技术的术语和定义，规定了应用参数通用要求，给出了检查监测流程、检查报告、注意事项等相关内容。

本文件适用于医疗机构、科研单位及相关企业开展肺通气电阻抗断层成像应用技术的设计、开发、临床应用及质量控制。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电阻抗断层成像 electrical impedance tomography; EIT

通过在体表施加安全激励电流，测量相应边界电压变化，重建人体内部某一横断面的电导率动态分布图像。

3.2

肺通气电阻抗断层成像 electrical impedance tomography of lung ventilation

通过胸部电极阵列注入微小交变电流并测量电压变化，实时重建胸腔内电阻抗(主要是肺内气体含量)分布，可视化监测胸腔内肺通气动态变化。

3.3

阻抗-时间曲线 impedance-time curve

实时记录胸腔阻抗随时间变化的动态曲线，其横轴为时间刻度，纵轴为胸腔阻抗值。

3.4

感兴趣区 region of interest; ROI

根据兴趣需求所定义的EIT 图像区域。

注：EIT图像轮廓主要通过有限元模型构建，不同设备方法有所不同，为便于临床解读应用，图像多呈现一个肺形状的轮廓边界，理论上ROI还包含肺形状边界外部区域，可为正方形或长方形图像。

3.5

功能感兴趣区 functional region of interest; fROI

通过分析通气过程中像素点功能特征来定义肺部区域，以大于潮气阻抗图像中最大阻抗变化幅度 ΔZ 的10%~20%的像素点定义为肺通气区域，由像素矩阵构成。

3.6

潮气阻抗变化 tidal impedance variation; TIV

在一个潮气呼吸周期内胸腔内阻抗变化，即吸气末相对于呼气末的阻抗变化幅度（ ΔZ ），可表示为该周期的全局TIV或在ROI内/各像素的TIV。

3.7

呼气末肺阻抗 end-expiratory lung impedance; EELI

呼气末全肺或区域阻抗值。

3.8

呼气末肺电阻抗变化 change of end-expiratory lung impedance; $\Delta EELI$

呼气末全肺或区域阻抗值相对于基线的变化，反映呼气末肺容积的改变。

3.9

通气中心 center of ventilation; CoV

肺ROI内各像素的TIV在腹侧—背侧方向位置坐标的加权平均。

3.10

背侧区域通气比例 dorsal fraction of ventilation

在垂直方向上按“层次”划分的通气区域中，重力依赖区（仰卧位时即为背侧区域）通气量占全局通气量的比例。

3.11

前-后通气比 anterior-to-posterior ventilation ratio; A/P

前部（腹侧或仰卧位时的非重力依赖区）与后部（背侧或仰卧位时的重力依赖区）两个区域的通气比例之比。

3.12

非对称性指数 asymmetrical index; AI

左右两侧肺通气百分比的差值。

3.13

水平腹侧通气指数 horizontal ventral ventilation index; HVVI

腹侧左右两个感兴趣区（ROI左上与ROI右上）通气百分比中较大值与较小值之比。

3.14

全局不均一性指数 global inhomogeneity index; GI

通过计算全肺区域阻抗变化与其中位数的偏差。

3.15

区域性通气延迟 regional ventilation delay; RVD

通过记全局阻抗-时间曲线在吸气相阻抗变化值达到TIV某一阈值（常用40%）的时刻为T0，某像素点/区域阻抗-时间曲线在吸气相阻抗变化值到达该区域TIV相应阈值的时刻为T1，若 $T1 > T0$ ，则说明该像素点出现通气延迟，两者的差值即为该区域的RVD时间。

3.16

区域性通气延迟标准差 standard deviation of regional ventilation delay; RVD_{SD}

计算像素点RVD的标准差获得的参数。

3.17

局部顺应性 regional compliance

通过计算某一区域/像素点的TIV分布比例，乘以潮气量即可获得某一区域或像素点的局部潮气量，再除以驱动压，可获得局部顺应性。

3.18

过度膨胀 overdistension; OD

基于3.17的基础，PEEP滴定过程中，以每个像素点最大顺应性的PEEP定义为 P_{max} ，在某一设定PEEP水平下，若 $PEEP > P_{max}$ ，则判定该像素点区域处于过度膨胀状态。

3.19

塌陷 collapse; CL

基于3.17的基础，以每个像素点最大顺应性的PEEP定义为 P_{max} ，在某一设定PEEP水平下，若 $PEEP < P_{max}$ ，则判定该像素点区域处于塌陷状态。

3.20

过度膨胀/塌陷方法 overdistension/collapse method

用于个体化的PEEP滴定，也称为Costa算法，通过计算不同PEEP水平下区域/像素点局部顺应性变化，进而判定该区域/像素点处于过度膨胀或塌陷状态，进一步计算不同PEEP下过度膨胀和塌陷百分比描绘OD与CL曲线，最后一OD与CL曲线交叉点来确定最佳PEEP。

3.21

通气钟摆 pendel luft

在机械通气或自主呼吸的患者中，不同病因（COPD、ARDS或自主呼吸过强）可引起各肺泡时间常数不一致和/或胸膜腔内压分布不均，从而使不同肺泡的充气-呼气时相存在差异，导致呼吸时气体在肺泡间重新分布的现象。

3.22

通气钟摆幅度 amplitude of pendel luft; A_p

计算各局部TIV之和减去整体TIV，再将两者差值除以整体潮气电阻变化值，以百分比表示，是通气钟摆现象评估的量化参数。

3.23

通气缺失评分 ventilation defect score; VDS

根据健康人群“象限”四分区的肺通气分布范围的下限作为判定区域通气缺失程度阈值，半定量评估区域通气缺失的严重程度。

注：区域通气缺失评分见附录A中表A.1。

4 缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

A/P: 前-后通气比值 (Anterior-to-Posterior ventilation ratio)

ARDS: 急性呼吸窘迫综合征 (Acute Respiratory Distress Syndrome)

A.U: 任意单位 (arbitrary unit)

BP: 血压 (Blood Pressure)

COPD: 慢性阻塞性肺疾病 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)

ECMO: 体外膜肺氧合 (Extracorporeal Membrane Oxygenation)

EELV: 呼气末肺容积 (End-expiratory Lung Volume)

EPAP: 呼气相正压 (Expiratory Positive Airway Pressure)

FiO₂: 吸入氧浓度 (Fraction of inspired oxygen)

HR: 心率 (Heart Rate)

IPAP: 吸气相正压 (Inspiratory Positive Airway Pressure)

PC: 压力控制通气 (Pressure Control ventilation)

PS: 压力支持 (Pressure Support)

PEEP: 呼气末正压 (Positive End-Expiratory Pressure)

PEEP_{max}: 最高呼气末正压 (Maximum positive end-expiratory pressure)

PEEP_{min}: 最低呼气末正压 (Minimum positive end-expiratory pressure)

P_{max}: 最大顺应性对应的PEEP水平 (PEEP at maximal compliance)

ROI_{左上}: 左上感兴趣区 (Upper left ROI)

ROI_{左下}: 左下感兴趣区 (Lower left ROI)

ROI_{右上}: 右上感兴趣区 (Upper right ROI)

ROI_{右下}: 右下感兴趣区 (Lower right ROI)

ROI 1: 第一感兴趣区 (First-layer ROI)

ROI 2: 第二感兴趣区 (Second-layer ROI)

ROI 3: 第三感兴趣区 (Third-layer ROI)

ROI 4: 第四感兴趣区 (Fourth-layer ROI)

RR: 呼吸频率 (Respiratory Rate)

RVD_{SD}: 区域通气延迟标准差 (Standard deviation of regional ventilation delay)

SpO₂: 脉搏血氧饱和度 (Pulse oxygen saturation)

TIV_{Global}: 全局潮气阻抗变化 (Global tidal impedance variation)

TIV_{ROI}: 区域潮气阻抗变化 (Regional tidal impedance variation)

TIV_{ROI%}: 区域潮气阻抗变化占全局阻抗变化的百分比

Vt: 潮气量 (Tidal volume)

Δ EELV: 呼气末肺容积变化 (Change in end-expiratory lung volume)

Δ Z: 阻抗变化幅度 (Change of impedance)

5 原理

肺通气EIT是一种无创、无辐射、可连续床旁监测的功能性成像技术，其原理是通过对胸腔电阻抗的实时测量，用于评估和研究各种生理或病理状态下肺内气体异常分布情况和动态变化规律，可实现肺通气从全局到局部的实时监测。在临床实践中，肺EIT技术可用于肺损伤监测评估、区域通气缺失快速识别、窄化呼吸衰竭病因诊断、指导机械通气参数设置和个体化调整、实时动态评估各种呼吸治疗干预的疗效、肺功能检查评估、指导肺康复锻炼等。该技术可在重症医学、呼吸与危重症医学、急诊医学、麻醉学及康复医学等多学科的临床场景开展应用。

6 应用参数通用要求

6.1 阻抗-时间曲线

阻抗-时间曲线分为全局和局部的阻抗-时间曲线，通过分析局部阻抗-时间曲线可监测肺局部呼吸生理特征的相关信息。EIT图像由像素矩阵构成，EIT图像的每个像素点均有对应的阻抗-时间曲线，可提供通气的空间分布信息及局部通气的动态时序特征。肺通气EIT图像通过色度差异反映局部阻抗变化，颜色从黑色→深蓝色→浅蓝色→白色，对应的阻抗变化幅度阶梯增加，即区域通气比例增加。其中，黑色表示阻抗变化低于阈值（ ΔZ 小于最大阻抗变化的10%~20%，即无通气区域），白色表示最大区域阻抗变化，紫色表示负向阻抗变化。

6.2 感兴趣区

ROI一般有以下两种分区方法（图1）。

- “层次”分区：自腹侧到背侧采用等距的4个ROI，其中ROI1、ROI2代表腹侧区域，仰卧位时也称为非重力依赖区；ROI3、ROI4代表背侧区域，仰卧位时也称为重力依赖区。
- “象限”分区：以图像中心为原点十字交叉分为“左上、左下、右上、右下”4个ROI，其中“ROI_{左上}+ROI_{左下}”代表左侧区域，“ROI_{右上}+ROI_{右下}”代表右侧区域，左右肺差异可反映肺通气对称性，用于非对称肺损伤评估。各ROI通气分布比例可根据功能EIT图像中每个ROI像素值占总体像素值百分比得到。此外，还可选择“自由”式分区，根据需要在图像范围内任意移动并调整ROI的位置。

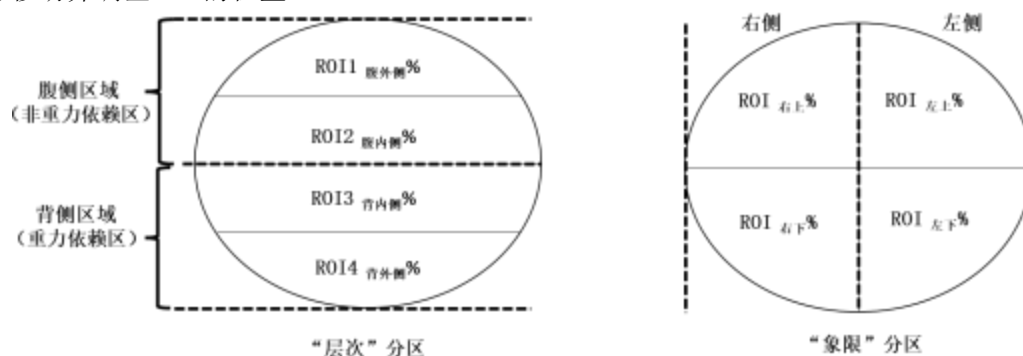


图1 肺通气EIT图像ROI分区

6.3 潮气阻抗变化

6.3.1 TIV的计算方法基于区域阻抗变化的累加。单次潮气通气的全局吸气末阻抗值减去全局呼气末阻抗值（图2），即本次全局潮气阻抗变化值（ TIV_{Global} ）。EIT设备上可通过以下两种方式呈现：

- 单次潮气图像：与吸气开始相比，呼气末阻抗变化图像，反映一次呼吸阻抗区域性分布变化；
- 分钟潮气图像：一分钟平均潮气图像，可减少单次潮气图像变异的影响。

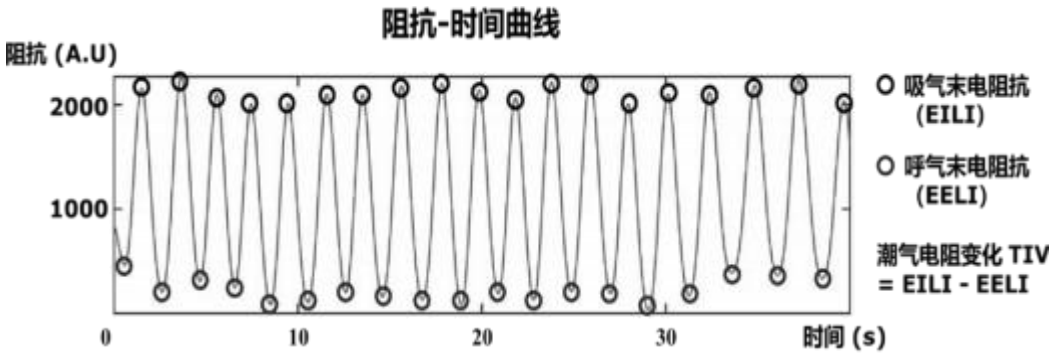


图 2 潮气阻抗变化示意图

6.3.2 TIV 与潮气量相关性良好，TIV 值越大，潮气量越高。可通过计算不同 ROI 区域潮气阻抗变化（ TIV_{ROI} ）占全局阻抗变化的百分比 $TIV_{ROI}\%$ ，即 $TIV_{ROI}\% = TIV_{ROI} / TIV_{Global} \times 100\%$ 。TIV 在不同 ROI 的分布比例反映肺通气在肺不同区域的分布情况。健康成人不同区域 ROI 通气分布比例参考范围见表 1。

表 1 不同 ROI 区域的潮气阻抗分布参考值范围（健康成人）

分区方法	ROI 区域	均值±标准差	参考区间（均值±1.96标准差）
“层次”分区	ROI 1（%）	11.0±2.8	5.52~16.42
	ROI 2（%）	40.9±4.9	31.20~50.56
	ROI 3（%）	40.6±6.2	28.40~52.78
	ROI 4（%）	7.6±2.1	3.45~11.77
“象限”分区	ROI 左上（%）	25.7±5.4	15.13~36.21
	ROI 右上（%）	26.0±3.8	18.56~33.34
	ROI 左下（%）	22.9±3.8	15.56~30.30
	ROI 右下（%）	25.4±4.6	16.52~34.36

6.3.3 临床解读：ROI 潮气阻抗分布比例增加，提示该区域通气增加，可作为定量指标用于指导治疗及评估疗效；以成人 ROI 通气范围下限作为异常病理生理状态的判断阈值，具有较高的特异性；ROI 潮气阻抗分布变化需结合呼吸支持条件和呼吸状态进行综合解读。

6.4 呼气末肺阻抗与呼气末肺阻抗变化

6.4.1 EELI 指呼气末时获得的全局或局部阻抗值，用于反映监测平面内呼气末肺含气量/呼气末肺容积状态的相对变化趋势。EIT 测得的阻抗为相对量，受电极接触阻抗、体位/胸廓形态、皮肤与软组织含水量、设备算法、重建参数等多因素影响，EELI 不能用于不同个体之间比较，也不能直接换算为 EELV 绝对值；在同一患者不同时间点，若电极带位置或测量条件发生变化，EELI 也不具可比性。

6.4.2 $\Delta EELI$ （呼气末肺阻抗变化）定义为某一时刻/某一时间窗内 EELI（t）相对于选定基线 EELI（base）的变化量： $\Delta EELI(t) = EELI(t) - EELI(base)$ 。定义 $\Delta EELI$ 时，应明确基线选择（如监测初始时段、某一干预前时段、设备默认参考值等）。一般会以监测时间内测到的最小 EELI 作为基线，不同设备对参考基线的设置方法可能不同，EELI（base）和 EELI（t）也可根据临床需求可自由选择。

6.4.3 连续实时监测区间内， $\Delta EELI$ 与 $\Delta EELV$ 具有较好相关的相关性，临床常以 $\Delta EELI$ 作为呼气末肺容积变化（ $\Delta EELV$ ）的替代指标，用于评估治疗效果。

6.4.4 临床解读： $\Delta EELI$ 反映从全局到局部的呼气末肺容积变化， $\Delta EELI$ 增加代表监测平面内呼气末肺含气量（即呼气末肺容积）增加；反之， $\Delta EELI$ 减少代表监测平面内呼气末肺含气量（即呼气末肺容积）减少（图 3）。临床解读 $\Delta EELI$ 还需考虑非通气因素的影响（如电极位置移动、监测中断重新校正、显著体位改变、快速液体输注或大量负平衡等）。

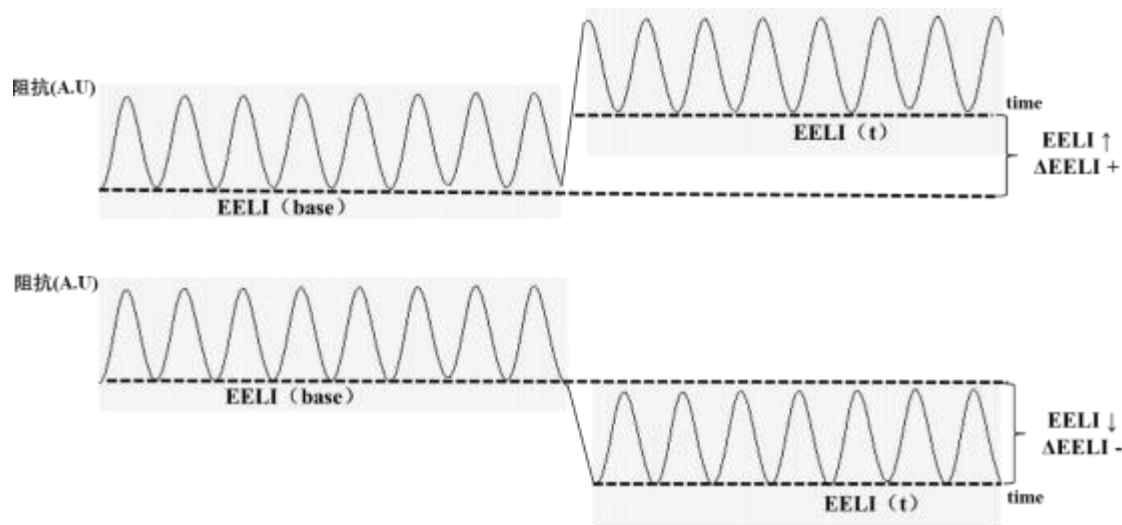


图 3 呼气末肺阻抗变化示意图

6.5 通气中心

6.5.1 CoV 以百分比表示，取值范围为 0%~100%，0%表示通气均发生在最靠近腹侧的像素点，而 100%表示通气均发生在最靠近背侧的像素点。CoV 也可用于表示从左侧到右侧的分布，但其应用不多见。如无特殊说明，CoV 默认为表示腹侧到背侧方向的通气分布。CoV50%说明通气中心在EIT 图像中心，并不完全等同于腹侧和背侧肺通气分布比例一致，腹侧和背侧的划分是根据空间区域上的ROI。CoV 腹侧—背侧方向以EIT 图像坐标系定义为准，使用时需记录体位与电极带平面。

6.5.2 参考范围（健康成人）：均值±标准差（48.2%±2.6%）；参考区间（均值±1.96 标准差）43.16%~53.24%。

6.5.3 临床解读：CoV 值越小，表示通气分布越偏向腹侧；CoV 值越大，表示通气分布越偏向背侧。CoV 可评估俯卧位对背侧通气改善的效果。

6.6 背侧区域通气比例

6.6.1 背侧区域通气比例反映垂直方向上的通气分布。该指标可计算为 A/P，计算公式为： $A/P = (ROI1+ROI2)\% / (ROI3+ROI4)\%$ 。若背侧区域通气比例为 50%，则 A/P 等于 1。

6.6.2 参考范围（健康成人）：均值±标准差（48%±6%）；参考区间（均值±1.96 标准差）35.6%~66.7%。

6.6.3 临床意义：评估腹背侧方向的通气中心，可指导俯卧位通气及评估治疗效果。

6.7 非对称性指数

6.7.1 AI用于定量评估左右两侧肺通气的对称性。

6.7.2 参考范围：AI>20%提示存在非对称性肺通气。

6.7.3 临床解读：AI数值越大提示对称性越差，可用于评估非对称肺损伤。

6.8 水平腹侧通气指数

6.8.1 HVVI用于定量评估肺腹侧区域左右两侧通气分布的对称性。HVVI数值升高提示腹侧左右通气分布不对称性增加。

6.8.2 参考范围：机械通气时HVVI>2.75, 提示气胸可能特异性较高。

6.8.3 临床解读：HVVI数值越大，提示腹侧水平方向左右侧通气分布不对称性越高，可用于协助气胸早期识别。

6.9 全局不均一性指数

6.9.1 GI反映肺内通气分布的整体不均一性。

6.9.2 参考范围（健康成人）：均值±标准差（ 0.36 ± 0.05 ）；参考区间（均值±1.96标准差） $0.27 \sim 0.45$ 。

6.9.3 临床解读：GI值越大，通气均一性越差。GI动态监测可评估肺通气均一性变化，尚缺少相关疾病诊断阈值。

6.10 区域性通气延迟

6.10.1 RVD是吸气非均一性的评价指标。基于像素点RVD可生成RVD图像，可视化不同肺区域通气延迟情况。RVD_{SD}因准确性高在临床更为常用。

6.10.2 RVD_{SD}参考范围（健康成人）：均值±标准差（ 5.48 ± 1.62 ）；参考区间（均值±1.96标准差） $2.30 \sim 8.66$ 。

6.10.3 临床解读：肺区域通气的延迟，可反映肺区域通气时间常数的差异；在PEEP滴定的监测中，RVD_{SD}可以反映肺泡周期性复张塌陷，疾病的参考范围仍需建立；RVD_{SD}的准确获得需要持续缓慢充气过程（吸气流速 $<10\text{L/min}$ ）和相对较大的潮气量（ 12mL/kg ）。

6.11 通气钟摆幅度

6.11.1 A_p 用于定量描述通气钟摆大小，反映不同肺泡间因充气-呼气时相差异所致的气体重分布程度，通常以百分比表示。

6.11.2 参考范围： $A_p > 2.5\%$ 提示存在隐匿钟摆， $A_p > 6.4\%$ 提示钟摆现象与不良预后相关。

6.11.3 临床解读： A_p 量化评估钟摆程度， A_p 越大，提示钟摆现象越严重。

6.12 过度膨胀/塌陷法 PEEP 滴定

OD/CL法通过评估不同PEEP水平下各像素点的局部顺应性变化，量化肺区域过度膨胀与塌陷的程度，进而确定最佳PEEP，具体计算步骤如下。

- 获得局部顺应性：压力控制通气进行PEEP滴定时，维持驱动压不变，结合像素点局部潮气量可获得像素点顺应性；容量控制通气时，维持潮气量不变，吸气末屏气测量平台压，计算驱动压，进而结合像素点局部潮气量计算局部顺应性。
- 判定像素点状态：识别每个像素点达到最大局部顺应性时的PEEP水平，在不同PEEP水平计算各像素点的顺应性与其最大顺应性的比值，若 $\text{PEEP} > P_{\text{max}}$ ，则判定该像素点处于过度膨胀状态，计算其过度膨胀百分比；反之，若 $\text{PEEP} < P_{\text{max}}$ ，则判定为塌陷状态，并计算其塌陷百分比。
- 计算整体OD%与CL%：分别对所有像素点的过度膨胀百分比和塌陷百分比进行加权平均（以各像素点最佳顺应性作为权重），得到该PEEP水平下的整体过度膨胀率（OD%）与塌陷率（CL%）。
- 绘制曲线并确定最佳PEEP：在不同PEEP水平下重复上述步骤，可分别得到过度膨胀率曲线与塌陷率曲线，两曲线交叉点对应的PEEP即为最佳PEEP。

基于OD/CL法确定最佳PEEP时，还需结合血流动力学情况，作出合适的PEEP设置建议。

7 肺通气 EIT 监测流程

7.1 患者评估

7.1.1 评估患者是否存在相对禁忌症：置入心脏起搏器/自动除颤器；监测胸廓区域存在大面积皮肤感染、开放性伤口或胸腔引流管等情况严重影响电极带放置；外伤脊柱不稳定，翻身存在禁忌。

7.1.2 如无相对禁忌症，则可实施肺通气EIT检查；如存在禁忌症，但临床需求仍实施EIT检查，需充分评估EIT检查获益和风险，做好风险的防护措施，并充分分析潜在干扰因素对EIT检查结果的影响。

7.2 环境准备

环境准备应包括以下内容：

- 停止正在实施电刺激治疗或其他生物阻抗设备的测量；
- 关闭高频电刀；

- c) 远离强磁场环境（避免过于接近 ECMO 主机，出现干扰）；
- d) 关闭循环充气床垫。

7.3 设备准备与校准

设备准备与校准应包括以下内容。

- a) 电极检查：确认电极阵列完整性，检查电极与皮肤接触面导电凝胶均匀性，避免电极氧化或污染。
- b) 设备消毒：使用设备厂家推荐的消毒方式进行电极带及设备表面的清洁消毒，非一次性电极使用严格遵循院内感染控制规范消毒。消毒时可用 75%酒精全面擦拭电极绑带（包括电极接触面和非接触面），单向进行擦拭，如由电极绑带左侧消毒至右侧，避免重复污染；消毒后于清洁环境中自然晾干，或使用无菌低纤维布擦干；存放于密闭、洁净容器内，避免污染。在多重耐药患者实施 EIT 检查时，严格执行接触性隔离要求，避免通过 EIT 设备或电极绑带接触导致耐药菌的传播，条件允许时优先考虑一次性电极带。
- c) 系统校准：开机后根据所使用的 EIT 厂家说明按需进行设备自检，确保信号采集稳定性。

7.4 连接患者

连接患者流程如下。

- a) 适当清洁部分皮肤，确保皮肤表面无任何物体阻碍电极与皮肤直接接触。
- b) 根据患者胸围选择合适的电极绑带，通常将电极绑带横向水平置于胸骨旁线第 4~5 肋间水平，或自膈肌位置（超声/胸片/CT 定位）向头侧移动 6cm 确定个体化的监测平面，电极绑带一般不宜过低（低于第六肋间）避免采集到膈肌相关信号。此外，对于膈肌抬高患者（如肥胖、腹腔高压等），电极绑带平面可提高至第 2~3 肋间。
- c) 通气阻抗信号采集。
 - 1) 信号检查：患者处于相对平静状态，固定体位；可在电极绑带与患者接触面涂抹清水或酒精或导电凝胶，改善皮肤和电极的接触，提高信号质量；根据所使用的 EIT 设备说明书，电极带定位完成后，应在信号质量检查和信号稳定一段时间后（至少 1 分钟），开始采集记录数据。
 - 2) 基线评估：连续采集时间不少于 60 秒，且包含不少于 10 个有效呼吸周期；如呼吸频率低或波形质量欠佳，应延长至包含不少于 20 个有效呼吸周期阻抗数据。
 - 3) 动态评估：连续记录呼吸治疗、体位变化等治疗干预过程中肺阻抗变化，采集数据过程中应避免 EIT 监测中断，记录时间至少包括干预前 1 分钟及干预后 1 分钟。

8 肺通气 EIT 监测检查报告

8.1 概述

建立规范 EIT 检查报告制度对于提高检查质量、标准化结果解读和促进临床应用具有重要意义。EIT 检查报告制度的基本框架包括三部分内容：一般信息、检查项目内容、检查结果提示。

8.2 一般信息

EIT 检查报告一般信息应包括以下内容：

- a) 肺通气 EIT 报告页眉起始部分列出报告发出医疗机构名称等信息，页脚结束部分包括 EIT 设备的基本信息（品牌、型号、软件版本）；
- b) 受检信息：姓名、ID 号、性别、年龄、身高、体重、检查日期、主要诊断；
- c) 数据采集相关信息：体位、电极绑带平面、呼吸状态及生命体征。

8.3 检查项目内容

在重症呼吸衰竭诊疗方面，肺通气 EIT 监测具体内容包括：

- a) 通气常规监测：评估区域通气分布和缺失情况、通气均一性及通气钟摆等内容，从而明确是否存在与通气相关的呼吸衰竭、并可识别隐匿性局部通气缺失和自发性肺损伤相关的高呼吸驱动等；
- b) 个体化 PEEP 滴定：在 PEEP 滴定过程中，基于 OD/CL 法确定个体化 PEEP 值，实施精准通气；
- c) 连续监测动态评估：在治疗干预过程中，连续评估相关呼吸治疗效果。

8.4 检查结果显示

EIT检查结果对肺通气分布及特征解读时，需要结合临床需求进行描述性记录，针对性给出检查提示。相关检查结果和提示可参考表2。

表 2 检查项目内容和结果提示

检查项目内容	结果提示
通气常规评估 “象限”及“分层”ROI (%) 通气缺失评分 (VDS) 背侧通气 (%) 通气非对称性指数 (AI) 水平腹侧通气指数 (HVVI) 通气中心 (CoV) 全局不均一性指数 (GI) 区域性通气延迟标准差 (RVD ₅₀) 钟摆幅度 (A _b)	a) 评估通气分布特点（缺失发生区域及严重程度、通气中心及背侧通气比例等），为呼吸衰竭病因判断提供参考； b) 评估通气中心及背侧通气比例，评估俯卧位通气改善效果；若 CoV<43%或背侧通气<35%，排除潜在胸腔外压性因素，提示俯卧位可能有效； c) 通气钟摆幅度过高提示呼吸驱动过强。
个体化PEEP滴定 PEEP滴定方式 OD/CL曲线 最佳PEEP的判定 是否存在血流动力学不稳定	推荐个体化PEEP，结合血流动力学情况综合判定 PEEP水平。
连续监测动态评估 各种干预措施（吸痰、气管镜、体位治疗、自主呼吸试验等）前后的通气参数变化	a) 治疗干预前后 EIT 通气目标参数定量变化 b) 治疗效果评估（改善、无变化、恶化）

8.5 质控评估和数据存档

质控评估和数据存档应包括以下内容：

- a) 肺通气 EIT 检查技术用于指导临床诊疗时，按医院规定实施医疗诊疗技术备案，并按相关规定授予资质认定及签发报告权限；
- b) EIT 建立检查登记及报告制度，定期开展设备性能检测质控；
- c) 肺通气 EIT 报告作为医疗文书时，按医疗检查报告实施“三单一致”的要求，及时归档；
- d) EIT 检查报告中记录数据信号质量，并报告数据采集是否受到环境或其他干扰；
- e) EIT 原始数据存档，保持数据可溯源及科学研究用。

8.6 报告模版

不同的临床需求，肺通气EIT检查报告可参考以下三个模版（见附录B～附录D）。在此基础上，结合不同EIT设备特点及检查需求，可进一步调整和优化。

- a) 肺通气 EIT 常规监测检查报告（附录 B），主要适用于单一时间的肺通气常规监测检查，EIT 检查过程中患者相对稳定，无相关治疗干预措施，可用床旁协助快速判断低氧血症、呼吸衰竭的潜在病因，识别肺损伤等，为治疗方向提供参考，见附录 B.1。
- b) 肺通气 EIT 导向肺复张及 PEEP 滴定检查报告（附录C），主要适用于评估肺复张效果，指导机械通气时个体化 PEEP 的滴定设置，肺复张和PEEP 滴定的具体实施需遵循临床需求，充分评估适应症及禁忌症，实施肺复张开放肺泡同时需警惕气压伤和循环波动的风险。
- c) 肺通气 EIT 导向肺复张及 PEEP 滴定检查报告（附录D），通过动态连续的监测评估相关治疗的效果，为治疗方向提供参考。

9 注意事项

9.1 操作相关

具体内容如下：

- a) 电极接触面材质应具有生物相容性，但需警惕特殊人群出现皮肤过敏；
- b) 电极绑带持续监测超过 4 小时需检查局部皮肤状况，连续监测不超过 12 小时；
- c) 出现局部皮肤过敏或压伤时，需停止 EIT 监测；
- d) 需避免与高频电刀、短波治疗仪等强干扰设备同时使用；
- e) 出现信号质量下降、信号不稳定、信号干扰及电极阻抗异常时，需暂停监测并排查相关原因（电极绑带接触不良、心电监测等潜在干扰源等）；
- f) 多次重复测量比较时，可在体表标记监测平面，确保每次电极绑带在同一平面位置，减少变异；
- g) 条件允许时，应避免在快速输液、鼓风机、气体毯时进行 EIT 监测，若实施了 EIT 监测需考虑其对 EELI 测量的影响。

9.2 报告解读

具体内容如下：

- a) 比较不同时点 EIT 通气图像，需结合对应的呼吸状态进行比较分析；
- b) EIT 是时差成像，图像重建后阻抗是相对阻抗值（AU 是任意单位），而非绝对欧姆值，计算分析时需要考虑基线的不同，应谨慎应用；
- c) 监测发现负向阻抗信号（图像多显示为紫色），需要鉴别膈肌信号、胸腔积液、气胸、胸外按压、咳嗽、高呼吸驱动努力及严重纵膈气肿/皮下气肿等原因；
- d) 技术条件允许时，同步测量 EIT 与其他呼吸生理信号（如呼吸力学波形与食道压等）有助于进一步精准分析和解释肺通气 EIT 图像；
- e) 患者自身因素如肥胖，胸廓形态可影响 EIT 图像，需综合判断；
- f) 胸部敷料、绷带、引流管、局部伤口会干扰正确电极带放置，可影响 EIT 监测平面及信号，需综合判断；
- g) 肺通气 EIT 相关参数在不同群体和疾病状态下的大样本参考范围尚未完全建立，本文件所提及 EIT 通气参数的参考阈值需考虑不同品牌设备之间的差异；
- h) 二维 EIT 主要反映电极绑带附近横断面肺通气情况，不能完全反映全肺立体通气情况；
- i) 肺通气 EIT 功能监测可出现与肺影像病变解剖位置不完全一致的现象，不宜用于精准的解剖诊断；
- j) 肺通气 EIT 检查评估作为临床辅助决策工具，可协助呼吸衰竭病因快速诊断，但不应用于病因直接诊断，需联合其它检查综合判断。

附 录 A
(资料性)
肺通气 E IT 缺失评分

肺通气EIT缺失评分见表A. 1。

表 A. 1 肺通气 E IT 缺失评分

评分	0（通气良好，无缺失）	1（通气轻-中度缺失）	2（通气重度缺失）
ROI _{左上} %	≥15	10~15	≤10
ROI _{右上} %	≥19	14~19	≤14
ROI _{左下} %	≥16	11~16	≤11
ROI _{右下} %	≥17	12~17	≤12
VDS总分	四个区域通气缺失评分总和		

附录 B

(资料性)

肺通气 EIT 常规监测检查报告

肺通气EIT常规监测检查报告见表B.1。

表 B.1 肺通气 EIT 常规监测检查报告表

XXXX医院

肺通气电阻抗断层成像常规监测检查报告

一、基础信息

姓 名:	性 别:	检查日期:
ID 号:	年 龄:	身高/体重:
体位: 平卧□、半坐□、俯卧□、其他_____		缚带位置: 胸骨旁线第__肋间
EIT 信号质量: 良好□、中等□、差□ EIT 数据是否受到干扰: 是□ 否□		
诊断:		

二、一般情况

HR____, BP____, SpO ₂ ____, RR____
鼻导管 ____ L/min, 面罩 ____ L/min, 高流量 ____ L/min FiO ₂ ____ %
无创通气: 潮气量 (ml) ____ IPAP____ EPAP____ FiO ₂ (%) ____
机械通气: 潮气量 (ml) ____ PC/PS____ PEEP____ FiO ₂ (%) ____ 模式____

三、项目内容及结果

1. 通气常规监测

“层次”分区	“象限”分区
ROI1 腹内侧 % ____	ROI 左上 % ____, VDS 左上 ____
ROI2 腹外侧 % ____	ROI 右上 % ____, VDS 右上 ____
ROI3 背内侧 % ____	ROI 左下 % ____, VDS 左下 ____
ROI4 背外侧 % ____	ROI 右下 % ____, VDS 右下 ____
背侧通气 ROI3+ROI4 % ____	ROI 左侧 % ____, ROI 右侧 % ____, VDS 总分 ____
通气垂直中心CoV ____	通气非对称性指数 AI ____
	水平腹侧通气指数HVVI ____
全局不均一性指数GI ____	区域通气延迟标准差 RVD _{SD} ____
钟摆幅度 A _p ____	

四、检查结果提示

① 通气情况描述及异常发现 ②诊疗建议及其他

报告医师/审核医师: _____ 报告日期: _____

EIT 机器品牌 xxx、型号 xxx、软件版本 xxx

附 录 C
(资料性)

肺通气 EIT 导向肺复张及 PEEP 滴定检查报告

肺通气EIT导向肺复张及PEEP滴定检查报告见表C.1。

表 C.1 肺通气 EIT 导向肺复张及 PEEP 滴定检查报告

XXXX医院

肺通气电阻抗断层成像导向肺复张及PEEP滴定检查报告

一、基础信息

姓 名:	性 别:	检查日期:
ID 号:	年 龄:	身高/体重:
体位: 平卧□、半坐□、俯卧□、其他_____		缚带位置: 胸骨旁线第____肋间
EIT 信号质量: 良好□、中等□、差□		EIT 数据是否受到干扰: 是□ 否□
诊断:		

二、一般情况

HR____ , BP____ , SpO ₂ ____ , RR____
鼻导管 ____ L/min , 面罩 ____ L/min, 高流量 ____ L/min FiO ₂ ____ %
无创通气: 潮气量 (ml) ____ IPAP (cmH ₂ O) ____ EPAP (cmH ₂ O) ____ FiO ₂ (%) ____
机械通气: 潮气量 (ml) ____ PC/PS (cmH ₂ O) ____ PEEP (cmH ₂ O) ____ FiO ₂ (%) ____ 模式 ____

三、肺复张及 PEEP 滴定结果

1. PEEP 滴定操作参数

压控 ☐ , PC ____ cmH ₂ O; 容控 ☐ , Vt ____ ml
复张压力 ____ cmH ₂ O 复张时间 ____ min
PEEP_max ____ cmH ₂ O, PEEP_min ____ cmH ₂ O, PEEP 递减步长 ____ cmH ₂ O

2. PEEP 滴定期间阻抗波形及 OD/CL 曲线

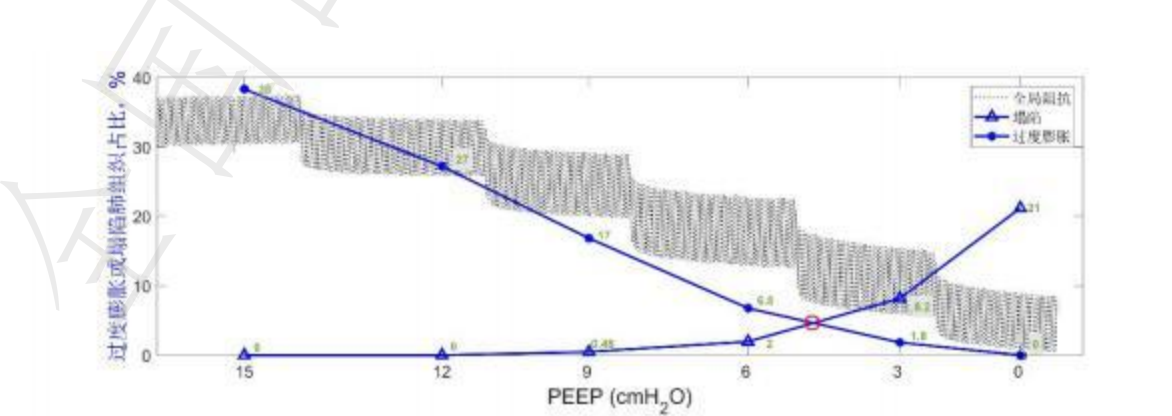


图 C.1 PEEP 滴定期间阻抗波形及 OD/CL 曲线

3. PEEP 滴定结果及建议

OD/CL 曲线交点确定最佳 PEEP____cmH ₂ O
是否出现血流动力学波动 否 ☐ ， 是 ☐ 具体描述 _____

四、检查结果提示

- ① PEEP 推荐建议
- ②其他

报告医师/审核医师：_____报告日期：_____

EIT 机器品牌 xxx、型号 xxx、软件版本 xxx

附 录 D
(资料性)
肺通气 EIT 动态连续监测报告

肺通气EIT动态连续监测报告见表D.1。

表 D.1 肺通气 EIT 动态连续监测报告

XXXX 医院
肺通气电阻抗断层成像动态连续监测报告

一、基础信息

姓 名:	性 别:	检查日期:
ID 号:	年 龄:	身高/体重:
体位: 平卧 ☐ 、半坐 ☐ 、俯卧 ☐ 、其他 ☐		缚带位置: 胸骨旁线第____肋间
EIT 信号质量: 良好 ☐ 、中等 ☐ 、差 ☐ EIT 数据是否受到干扰: 是 ☐ 否 ☐		
诊断:		

二、诊疗操作

支气管镜 ☐ ; 体位治疗 ☐ ____; 自主呼吸试验 ☐ ; 其他治疗 ☐ _____

三、一般情况（治疗前后）

	治疗前	治疗后
生命体征	HR ____ BP ____ SpO ₂ ____ RR ____	HR ____ BP ____ SpO ₂ ____ RR ____
呼吸支持	☐ 鼻导管 ____ L/min ☐ 面罩 ____ L/min ☐ 高流量 ____ L/min FiO ₂ ____ % ☐ 无创通气: Vt ____ ml IPAP ____ cmH ₂ O EPAP ____ cmH ₂ O FiO ₂ ____ % ☐ 机械通气: Vt ____ ml PC/PS ____ cmH ₂ O PEEP ____ cmH ₂ O FiO ₂ ____ %	☐ 鼻导管 ____ L/min ☐ 面罩 ____ L/min ☐ 高流量 ____ L/min FiO ₂ ____ % ☐ 无创通气: Vt ____ ml IPAP ____ cmH ₂ O EPAP ____ cmH ₂ O FiO ₂ ____ % ☐ 机械通气: Vt ____ ml PC/PS ____ cmH ₂ O PEEP ____ cmH ₂ O FiO ₂ ____ %

四、项目内容及结果（治疗前后）

治疗前		治疗后	
ROI1 腹外侧 % ____	ROI 左上 % ____, VDS ____	ROI1 腹外侧 % ____	ROI 左上 % ____, VDS ____
ROI2 腹内侧 % ____	ROI 右上 % ____, VDS ____	ROI2 腹内侧 % ____	ROI 右上 % ____, VDS ____
ROI3 背内侧 % ____	ROI 左下 % ____, VDS ____	ROI3 背内侧 % ____	ROI 左下 % ____, VDS ____
ROI4 背外侧 % ____	ROI 右下 % ____, VDS ____	ROI4 背外侧 % ____	ROI 右下 % ____, VDS ____
背侧通气 ROI3+ROI4 % ____	ROI 左侧 % ____, ROI 右侧 % ____, VDS 总分 ____	背侧通气 ROI3+ROI4 % ____	ROI 左侧 % ____, ROI 右侧 % ____, VDS 总分 ____
通气垂直中心 CoV ____	通气非对称性指数 AI ____ 水平腹侧通气指数HVVI ____	通气垂直中心 CoV ____	通气非对称性指数 AI ____ 水平腹侧通气指数HVVI ____
全局不均一性指数 GI ____ 区域通气延迟标准差 RVD _{SD} ____ 钟摆幅度 Ap ____		全局不均一性指数 GI ____ 区域通气延迟标准差 RVD _{SD} ____ 钟摆幅度 Ap ____	

T/FDSA 0121—2026

五、连续监测结果及相关建议：

① 治疗效果描述及评估：改善 ☐____；无变化 ☐____；恶化 ☐____

② 诊疗建议及其他

报告医师/审核医师：_____

报告日期：_____

EIT 机器品牌 xxx、型号 xxx、软件版本 xxx

参 考 文 献

- [1] 中国卫生信息与健康医疗大数据学会重症医学分会标准委员会, 北京肿瘤学会重症医学专业委员会, 中国重症肺电阻抗工作组: 肺电阻抗成像技术在重症呼吸管理中的临床应用中国专家共识[J]. 中华医学杂志 2021, 102 (9) :615-628.
- [2] 徐梦茹、何怀武、池熠、孙晓桐、隆云、招展奇. 中国健康成人基于电阻抗成像肺通气参数参考范围的研究[J]. 中华重症医学电子杂志, 2023, 09(04) :360 -367.
- [3] He H, Zhao Z, Becher T, Bellani G, Yoshida T, Amato MBP, Long Y, Frerichs I; REspiratory and Critical Care medicine EIT study (RECCE) group. Recommendations for lung ventilation and perfusion assessment with chest electrical impedance tomography in critically ill adult patients: an international evidence-based and expert Delphi consensus study. *EClinicalMedicine*. 2025 Oct 17 ;89 :103575.
- [4] Scaramuzzo G, Pavlovsky B, Adler A, Baccinelli W, Bodor DL, Damiani LF, Franchineau G, Francovich J, Frerichs I, Giralt JAS, Grychtol B, He H, Katira BH, Koopman AA, Leonhardt S, Menga LS, Mousa A, Pellegrini M, Piraino T, Priani P, Somhorst P, Spinelli E, Händel C, Suárez-Sipmann F, Wisse JJ, Becher T, Jonkman AH. Electrical impedance tomography monitoring in adult ICU patients: state-of-the-art, recommendations for standardized acquisition, processing, and clinical use, and future directions. *Crit Care*. 2024 Nov 19 ;28 (1) :377.
- [5] Frerichs I, Amato MB, van Kaam AH, Tingay DG, Zhao Z, Grychtol B, Bodenstein M, Gagnon H, Böhm SH, Teschner E, Stenqvist O, Mauri T, Torsani V, Camporota L, Schibler A, Wolf GK, Gommers D, Leonhardt S, Adler A; TREND study group. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDY group. *Thorax*. 2017 Jan;72 (1) :83-93.
- [6] Dalla Corte F, Mauri T, Spinelli E, Lazzeri M, Turrini C, Albanese M, Abbruzzese C, Lissoni A, Galazzi A, Eronia N, Bronco A, Maffezzini E, Pesenti A, Foti G, Bellani G, Grasselli G. Dynamic bedside assessment of the physiologic effects of prone position in acute respiratory distress syndrome patients by electrical impedance tomography. *Minerva Anesthesiol*. 2020 Oct ;86 (10) :1057-1064.
- [7] Roze H, Boisselier C, Bonnardel E, Perrier V, Repusseau B, Brochard L, et al. Electrical Impedance Tomography to Detect Airway Closure Heterogeneity in Asymmetrical Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2021 ;203 (4) :511-5.
- [8] He H, Chi Y, Long Y, Yuan S, Zhang R, Yang Y, Frerichs I, Möller K, Fu F, Zhao Z. Three broad classifications of acute respiratory failure etiologies based on regional ventilation and perfusion by electrical impedance tomography: a hypothesis-generating study. *Ann Intensive Care*. 2021 Aug 28 ;11 (1) :134.
- [9] Chi Y, Zhao Z, Frerichs I, Long Y, He H. Prevalence and prognosis of respiratory pendelluft phenomenon in mechanically ventilated ICU patients with acute respiratory failure: a retrospective cohort study. *Ann Intensive Care*. 2022 Mar 5 ;12 (1) :22.
- [10] Sun X, Chi Y, Yuan S, Zhao Z, Jiang J, Zhao Y, Gao Y, Yang J, Cao Y, Xu M, Wang Q, Han J, Long Y, He H. EIT-based ventilation phenotypes of left-to-right asymmetry and ventral-to-dorsal center in PEEP titration in ARDS. *Respir Res*. 2026 Jan 21