

Thermal-sensing respiration detector applied in chest digital radiography for children under 5 years

FAN Yun, LIU Jie, YANG Feng, YANG Ming, WANG Ying*

(Department of Radiology, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of thermal-sensing respiratory detector for chest digital radiography (DR) in children under 5 years. **Methods** A total of 1 000 children aged <5 years and unable to cooperate with standing position examination who would undergo chest DR examination were prospectively enrolled and randomly divided into observation group and control group (each $n=500$), then were further divided into 5 subgroups according to ages. A thermal-sensing respiratory detector was used to monitor the oral and nasal area, and automatic exposure was triggered during inspiration with a temperature decrease threshold of $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in observation group, while the manual exposure time was subjectively determined by technician based on chest and abdominal wall motion in control group to obtain chest DR. Two-way analysis of variance was used to explore the impact of examination method and age on the number of intercostal spaces with lung field expansion, while two-way analysis of covariance, with height as a covariate, was used to observe the impact of examination method and age on the maximum transverse diameter of lung field. The improvement of inspiratory quality was represented by the adjusted marginal mean differences and the 95% confidence interval (CI) in the same ages between groups. **Results** The number of visible intercostal spaces and maximum transverse diameter of lung fields in observation group were higher than those in control group (both $P<0.05$). Compared with control group, the number of visible intercostal spaces increased 0.45 (0.37, 0.53), and the height-adjusted maximum transverse diameter of lung fields increased 9.58 (7.38, 11.77) mm in observation group (both $P<0.05$), and improvements of inspiratory quality indicators were observed across all subgroups. The reject film rate was 0 (0/500) in observation group and 2.20% (11/500) in control group. **Conclusion** Thermal-sensing respiratory detector enabled objective identification of inspiratory phase in children under 5 years, hence optimizing exposure timing and improving imaging quality of chest DR.

[Keywords] child, preschool; infant; radiography, thoracic; thermography; prospective studies

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.03.027

热感应呼吸探测仪用于 5 岁以下儿童胸部数字 X 线摄影

樊云, 刘杰, 杨凤, 杨明, 王颖*

(南京医科大学附属儿童医院影像科, 江苏南京 210000)

[摘要] **目的** 观察热感应呼吸探测仪用于 5 岁以下儿童胸部数字 X 线摄影(DR)的价值。**方法** 前瞻性招募 1 000 名拟接受胸部 DR 检查的 <5 岁且不能立位配合儿童, 随机将其均分为观察组和对照组各 500 名, 并于组内根据年龄划分 5 个亚组。对观察组以热感应呼吸探测仪监测口鼻区域吸气相(设温度降低阈值为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)并自动触发曝光; 对照组由技师根据呼吸状态选择曝光时机进行手动曝光。利用双因素方差分析观察摄片方法与年龄对肺野充盈肋间数的影响, 以身高为协变量、采用双因素协方差分析评估上述因素对肺野最大横径的影响; 根据校正后组间同龄边际均值的差值及其 95% 置信区间(CI)判断吸气质量指标改善效果。**结果** 观察组肺野充盈肋间数及肺野最大横径均大于对照组(P 均 <

[第一作者] 樊云(1990—), 女, 江苏南京人, 本科, 主管技师。研究方向: 儿童影像技术与图像质量控制。E-mail: 524629952@qq.com

[通信作者] 王颖, 南京医科大学附属儿童医院影像科, 210000。E-mail: 13739194062@163.com

[收稿日期] 2025-12-22 **[修回日期]** 2026-03-06

0.05)。相比对照组,观察组肺野充盈肋间数增加 0.45(0.37, 0.53)个、校正身高后肺野最大横径增加 9.58(7.38, 11.77)mm(P 均 <0.05),且各亚组吸气质量指标均获改善。观察组废片率为 0(0/500),对照组废片率为 2.20%(11/500)。**结论** 利用热感应呼吸探测仪能捕捉 5 岁以下各龄儿童吸气相、优化曝光时机、提升胸部 DR 图像质量。

[关键词] 儿童,学龄前; 婴儿; 放射摄影术,胸部; 热成像术; 前瞻性研究

[中图分类号] R725.6; R814 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)03-0453-04

胸部影像学检查是诊断儿童呼吸道疾病的重要手段;其中的数字 X 线摄影(digital radiography, DR)具有操作简便、成像迅速及辐射剂量相对较低等优点,已成为临床常用检查方法^[1],但 5 岁以下儿童常无法配合呼吸指令,导致曝光时相难以准确把握、不易获得高质量图像甚至需要重复摄片,增加辐射暴露风险^[2-3]。本研究观察利用热感应呼吸探测技术监测儿童吸气相触发曝光用于 5 岁以下儿童胸部 DR 检查的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 于 2025 年 8 月—12 月前瞻性招募南京医科大学附属儿童医院 1 000 名拟接受胸部 DR 但不能配合立位检查的 5 岁以下儿童,采用随机数字法将其均分为观察组与对照组各 500 名。排除胸廓发育畸形,以及罹患胸部占位、严重肺不张及肺气肿等影响评估胸廓的疾病者。观察组男 272 名、女 228 名,中位年龄 1.0 岁;对照组男 301 名、女 199 名,中位年龄 1.3 岁;于组内根据年龄划分 5 个亚组。见表 1。本研究通过医院医学伦理委员会审查(202508004-1);检查前患儿家属均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 GE Definium 6000 DR 系统,使儿童仰卧、双臂上举,充分暴露胸廓,去除照射野内金属等高密度物品,由家长协助固定儿童手臂及双膝;以 0.5 mm 铅当量防护材料遮挡非检查部位^[4];对哭闹严重者待其熟睡后进行检查。对观察组采用热感应呼吸探测仪〔宏创数字科技(江苏)有限公司,专利号 CN307195146S, CN307237064S〕监测口鼻区温度,将其内置的高灵敏度红外热成像探头对准面部,采集实时温度图像(图 1),分析口鼻区域相邻帧的温度场差

异;基于预试验结果设吸气相冷空气流动致局部温度下降的阈值为 0.3 ℃,连续温度差值超过阈值时触发指示灯转为绿色,信号持续 150~250 ms,确保在最佳吸气相内成像。对照组由技师根据胸腹部起伏状态主观判断吸气相并手动曝光。设照射野上界为肩部上方 3 cm,下界至剑突下 1~2 cm,使中心线垂直入射双侧乳头连线中点^[5];焦-片距 100 cm,管电压 55~65 kV(依体厚调整),管电流 1.6~2.0 mAs,曝光时间 ≤ 20 ms。

1.3 分析图像 由 2 名具有 6 年及以上工作经验的主管技师遵盲法独立阅片,测量肺野最大横径及肺野充盈肋间数,取二者平均值作为结果。计数肺野充盈肋间数时,以右侧肋膈角对应后肋为起始点,平肋骨记整数,平肋间记其相邻肋骨数的均数(图 2);肺野最大横径指双侧肋膈角至中线距离之和^[6](图 3)。

表 1 1 000 名 5 岁以下儿童一般资料

组别	亚组别	性别(名)		年龄(岁)
		男	女	
观察组(n=500)	<1岁亚组(n=165)	84	81	1.0(0.5,1.0)
	1~<2岁亚组(n=111)	66	45	1.6(1.3,1.8)
	2~<3岁亚组(n=101)	60	41	2.5(2.3,2.8)
	3~<4岁亚组(n=73)	40	33	3.5(3.3,3.8)
	4~<5岁亚组(n=50)	22	28	4.4(4.2,4.6)
对照组(n=500)	<1岁亚组(n=165)	89	76	1.0(0.5,1.0)
	1~<2岁亚组(n=116)	76	40	1.5(1.2,1.7)
	2~<3岁亚组(n=104)	65	39	2.5(2.3,2.8)
	3~<4岁亚组(n=71)	51	20	3.3(3.2,3.6)
	4~<5岁亚组(n=44)	20	24	4.3(4.2,4.6)

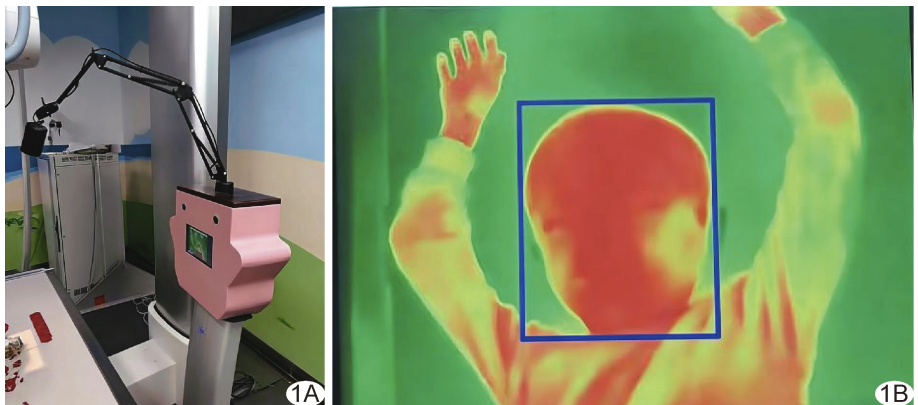


图 1 监测儿童口鼻区温度操作示意图 A. 热感应呼吸探测仪,将其红外热成像探头对准儿童面部; B. 显示屏所示实时温度图像

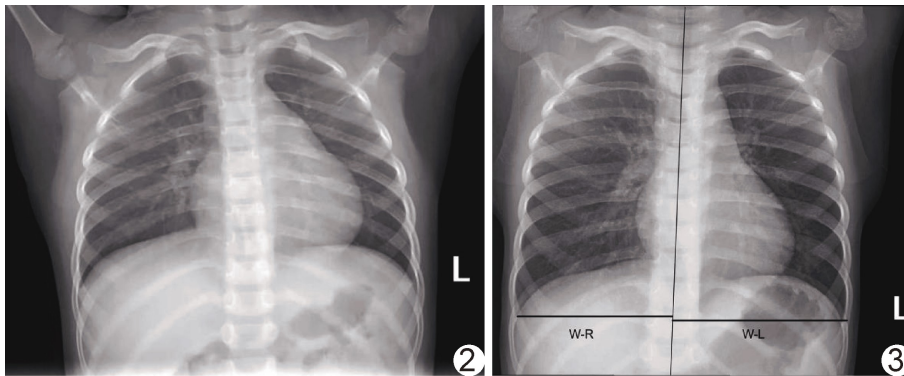


图 2 对照组女性儿童, 3.5 岁, 支气管炎治疗后复查, 胸部正位 DR 片示右侧肋膈角对应第 8~9 后肋间, 肺野充盈肋间数为 8.5 图 3 观察组儿童, 男, 4.3 岁, 腺样体切除术前, 胸部正位 DR 片示肺野最大横径[即双侧肋膈角至中线宽度(W-R、W-L)之和]

1.4 统计学分析 采用 SPSS 25.0 进行统计分析。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布且 2 组方差齐的计量资料, 否则以中位数(上下四分位数)表示; 以身高为协变量、采用双因素协方差分析观察摄片方法与年龄对肺野最大横径的影响; 采用双因素方差分析评估上述因素对肺野充盈肋间数的影响; 以偏 $\eta^2 < 0.01$ 为效应量非常小、 $0.01 \sim < 0.06$ 为效应量较小、 $0.06 \sim < 0.14$ 为效应量中等、 ≥ 0.14 为效应量大, 并以校正后 2 组边际均值的差值及其 95% 置信区间(confidence interval, CI)判断吸气质量指标改善效果。以频数表示计数资料, 组间行 χ^2 检验。所有检验均为双侧, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 组间性别($\chi^2 = 3.440, P = 0.064$)与年龄分布($\chi^2 = 3.210, P = 0.523$)差异均无统计学意义。

2.2 吸气质量指标 观察组肺野充盈肋间数及校正身高后的肺野最大横径均大于对照组(P 均 < 0.05), 且效应量均为中等, 见表 2。年龄对儿童胸部 DR 吸气质量指标存在较小效应影响($F = 13.890, P < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.053$; $F = 3.550, P = 0.007$, 偏 $\eta^2 = 0.018$), 但与摄片方法均无交互作用($F = 0.980, P = 0.420$; $F = 1.410, P = 0.230$)。

表 2 1 000 名儿童 DR 片主要吸气质量指标比较

组别	肺野充盈肋间数(个)	校正身高后的肺野最大横径(mm)
观察组(n=500)	9.14±0.05	184.29±1.02
对照组(n=500)	8.69±0.06	174.15±0.97
F 值	120.220	53.220
P 值	<0.001	<0.001
偏 η^2 值	0.108	0.065

2.3 吸气质量指标改善效果 相比对照组, 观察组肺野充盈肋间数增加 0.45(0.37, 0.53) 个, 校正身高后肺野最大横径增加 9.58(7.38, 11.77) mm(P 均 < 0.05), 且各亚组吸气质量指标均获改善, 见表 3。

2.4 废片率 观察组 DR 图像均满足诊断要求, 废片率为 0(0/500)。对照组 11 名因吸气不足致肺野显示不佳而无法明确诊断, 废片率为 2.20%(11/500)。

表 3 观察组内各亚组吸气质量指标相比对照组改善效果

亚组别	增加肺野充盈肋间数(个)	校正身高后增加的肺野最大横径(mm)
<1 岁亚组	0.56(0.42, 0.69)	6.45(2.63, 10.27)
1~<2 岁亚组	0.49(0.32, 0.66)	12.04(8.80, 15.28)
2~<3 岁亚组	0.37(0.20, 0.54)	9.05(5.07, 13.03)
3~<4 岁亚组	0.46(0.29, 0.64)	9.59(5.69, 13.48)
4~<5 岁亚组	0.36(0.16, 0.56)	10.27(4.90, 15.64)

3 讨论

胸部 DR 是诊断儿童呼吸道疾病的首选影像学检查方法, 对能够配合的 3 岁以上儿童首选站立后前位投照^[7], 而对无法配合者依次选择站立后前位、仰卧前后位及站立前后位投照^[8]。胸部 DR 图像质量直接影响诊断的准确性、临床研究结论的可靠性及人工智能辅助诊断模型的训练效果^[9-10]。标准化胸部 DR 图像需满足体位端正、成像范围完整及吸气相充分等基本技术要求^[4]。对于无法遵从呼吸指令的 5 岁以下儿童, 传统是由技师根据其胸腹起伏状态主观判断曝光时相, 易受技师经验、儿童哭闹及呼吸节律异常的影响导致偏差, 使得图像质量下降甚至出现废片。

利用热感应技术、基于实时监测口鼻区气流引起的温度变化能客观识别吸气相。本研究结果显示, 观察组肺野充盈肋间数及校正身高后肺野最大横径均优于对照组(P 均 < 0.05), 表明热感应技术有助于在肺充气更充分的理想吸气相触发曝光, 提升儿童胸部 DR 标准化及质量水平。进一步分析发现, 相比对照组, 观察组各亚组吸气质量指标均获改善, 尤以 < 1 岁亚组肺野充盈肋间数改善、 $1 \sim < 2$ 岁亚组增加校正身高后的肺野最大横径改善较为突出, 提示热感应技术

用于 5 岁以下各龄儿童均具有优势。分析原因, <1 岁婴儿呼吸浅快、节律不规则, 利用热感应技术捕捉吸气相的优势更为明显; 1~<2 岁幼儿胸廓活动度大且配合度仍差, 利用热感应技术可精准锁定深吸末, 肺野扩张效果更佳。本研究观察组无废片, 提示热感应技术或可减少重复检查, 有助于降低辐射剂量。

热感应技术监测口鼻区域呼吸时相并触发曝光用于 5 岁以下儿童胸部 DR 具有以下优势: ①依托客观阈值触发信号, 利于影像同质化, 有助于推进区域医疗影像质量标准化和检查结果互认^[11]; ②相比接触式呼吸门控技术^[12], 非接触式工作模式能更有效地避免交叉感染, 减轻儿童不适与恐惧, 保障检查顺利进行; ③符合“辐射防护最优化”原则^[13-14]。

综上, 利用热感应呼吸探测仪能客观、精准地识别 5 岁以下各龄儿童的吸气相、优化胸部 DR 曝光时机、提升影像质量并降低辐射暴露。本研究的主要局限性: 为单中心分析, 且儿童严重喘息、呼吸浅弱致口鼻区气流温度变化幅度减小可能影响热感应探测的可靠性, 环境温湿度、气流扰动及口鼻遮挡等因素亦可能对设备性能造成干扰; 有待后续开展多中心研究, 优化设备及算法进一步观察。

利益冲突: 全体作者声明无利益冲突。

作者贡献: 樊云查阅文献、数据分析、撰写文章; 刘杰数据分析; 杨凤统计分析; 杨明研究设计、指导; 王颖指导、审阅和修改文章。

[参考文献]

- [1] 夏春潮, 李真林. 医学影像技术研究进展及展望[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(2): 89-94.
- [2] PRIYANKA, KADAVIGERE R, SUKUMAR S, et al. Diagnostic reference levels for computed tomography examinations in pediatric population: A systematic review[J]. J Cancer Res Ther, 2021, 17(4): 845-852.
- [3] HERRMANN T L, FAUBER T L, GILL J, et al. Best practices in digital radiography[J]. Radiol Technol, 2012, 84(1): 83-89.
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 130—2020 放射诊断放射防护要求[S/OL]. (2020-04-03) [2025-12-21]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/pcrb/202004/e9869f761b514a8c95ec2471596e9988/files/1739781028657_55110.pdf.
- [5] 中华医学会影像技术分会, 中国医师协会医学技师专业委员会. 儿童数字 X 线摄影专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(8): 796-806.
- [6] 孙记航, 彭芸, 曾骐, 等. 测量 3~13 岁儿童胸部 X 线片正常胸廓数据[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(3): 389-392.
- [7] 中华医学会影像技术分会, 中华医学会影像技术分会儿科影像技术专业委员会. 0~6 岁儿童胸部数字 X 线摄影规范化检查成像专家共识[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(5): 1-6.
- [8] 许宏荣, 刘波, 蔡金华, 等. 体位对 3~4 岁儿童胸部数字 X 线摄影辐射剂量与图像质量的影响[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(6): 350-353.
- [9] 胡莎莎, 朱永北, 董迪, 等. 基于胸部 X 线卷积神经网络模型诊断儿童不同病原体社区获得性肺炎[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(8): 1163-1167.
- [10] 蔡金秀, 任昕, 孙兆男, 等. 基于深度学习训练胸部 X 线片图像性质分类人工智能模型的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(7): 1184-1188.
- [11] 卫生健康委 医保局 中医药局 中央军委后勤保障部卫生局关于印发医疗机构检查检验结果互认管理办法的通知[EB/OL]. (2022-02-14) [2025-12-21]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5692864.htm.
- [12] 李建林, 刘美娟, 杜敦仁, 等. 一种基于呼吸门控技术的婴幼儿胸部 X 射线曝光控制系统的研究[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(7): 98-101.
- [13] HAN S, SOH J, NAH S, et al. Pediatric computed tomography scan and subsequent risk of malignancy: A nationwide population-based cohort study in Korea using National Cancer Institute dosimetry system for computed tomography (NCICT) [J]. BMC Med, 2025, 23(1): 355.
- [14] BOSCH de BASEA M, THIERRY-CHEF I, HARBRON R, et al. Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults [J]. Nat Med, 2023, 29(12): 3111-3119.