



安徽医科大学学报

Acta Universitatis Medicinalis Anhui

ISSN 1000-1492, CN 34-1065/R

《安徽医科大学学报》网络首发论文

题目： 基于 Lab 颜色空间鉴别早期食管癌与非癌性病变的探索性研究
作者： 张永新, 陈涵文, 樊人瑜, 李杨, 王亚雷, 赵媛媛
网络首发日期： 2026-02-09
引用格式： 张永新, 陈涵文, 樊人瑜, 李杨, 王亚雷, 赵媛媛. 基于 Lab 颜色空间鉴别早期食管癌与非癌性病变的探索性研究[J/OL]. 安徽医科大学学报.
<https://link.cnki.net/urlid/34.1065.R.20260208.1403.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于 Lab 颜色空间鉴别早期食管癌与非癌性病变的探索性研究

张永新, 陈涵文, 樊人瑜, 李 杨, 王亚雷, 赵媛媛

(安徽医科大学第一附属医院消化内科, 合肥 230022)

摘要 目的 探讨 CIE 1976 L*a*b*(Lab)颜色空间鉴别早期食管癌和非癌性病变的临床应用价值。**方法** 选取行白光成像内镜(WLI)和窄带成像内镜(NBI)检查并有病理证实的食管病变患者的内镜图像, 从病变区域黏膜及周围正常区域黏膜各选取 5 个感兴趣区域(ROI)进行标记, 提取并统计 Lab 颜色空间参数, 计算颜色差异值(ΔE^*)。**结果** 共纳入符合条件的 213 例患者数据进行分析。在 WLI 和 NBI 模式下, 早期食管癌组和非癌组病变区域黏膜颜色存在差异($P < 0.05$)。与 WLI 模式相比, NBI 模式下早期食管癌和非癌性病变的颜色差异增加($P < 0.05$)。早期食管癌病变区域的亮度分量值(L*值)低于非癌性病变区域, 这种颜色差异在 NBI 模式下更为显著($P < 0.05$)。在 WLI 模式下, 早期食管癌和非癌性病变区域黏膜的黄-蓝轴分量值(b*值)差异无统计学意义; 但在 NBI 模式下, 非癌性病变区域黏膜的 b*值高于早期食管癌病变区域黏膜($P < 0.05$)。而在红绿轴上, 早期食管癌与非癌性病变区域黏膜在 WLI 模式下均呈红色, 在 NBI 模式下呈绿色, 两者红-绿轴分量值(a*值)差异无统计学意义。**结论** 早期食管癌和非癌性病变在 WLI 和 NBI 下均存在颜色差异, 在 WLI 下早期食管癌颜色表现偏暗, 在非放大 NBI 模式下非癌性病变颜色表现偏黄。Lab 颜色空间有助于鉴别早期食管癌与非癌性病变。

关键词 早期食管癌; 非癌性病变; 白光成像内镜; 窄带成像内镜; Lab 颜色空间; CIE 色彩空间

中图分类号 R 735.1; R 571

文献标志码 A

An exploratory study on the identification of early esophageal cancer and non-cancerous lesions based on Lab color space

Zhang Yongxin, Chen Hanwen, Fan Renyu, Li Yang, Wang Yalei, Zhao Yuanyuan

(Dept of Gastroenterology, The First Affiliated Hospital of Anhui Medicine University, Hefei 230022)

Abstract Objective To explore the clinical application value of CIE 1976 L*a*b*(Lab) color space in the differential diagnosis of early esophageal cancer and non-cancerous lesions. **Methods**

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 82103040)

作者简介: 张永新, 女, 硕士研究生;

赵媛媛, 女, 博士, 主治医师, 硕士生导师, 通信作者, E-mail: yzhaol993@163.com

We selected the endoscopic images of patients with esophageal lesions confirmed by pathology who underwent white light imaging endoscopy (WLI) and narrow band imaging endoscopy (NBI). Five regions of interest (ROI) were selected respectively from the mucosa of the lesion area and the mucosa of the surrounding normal area for labeling. The Lab color space parameters were extracted and counted, and the color difference values (ΔE^*) were calculated. **Results** A total of 213 eligible patients were included for analysis in the study. In WLI and NBI modes, there were differences in mucosal color between the early esophageal cancer group and the non-cancer group ($P < 0.05$). Compared with WLI mode, NBI mode could significantly increase the color difference between early esophageal cancer and non-cancerous lesions ($P < 0.05$). The lightness component value (L^* value) of the early esophageal cancer lesion area was lower than that of the non-cancerous lesion area, and this color difference was more significant in the NBI mode ($P < 0.05$). In WLI mode, there was no significant difference in yellow-blue component value (b^* value) between the mucosa of early esophageal cancer and non-cancerous lesions ($P > 0.05$). However, in the NBI mode, the b^* value of the mucosa in the non-cancerous lesion area was higher than that in the early esophageal cancer lesion area ($P < 0.05$). On the red-green axis, the mucosa of the early esophageal cancer and non-cancerous lesions was red in WLI mode and green in NBI mode. There was no significant difference in red-green component value (a^* value) between the two groups. **Conclusion** There are color differences between early esophageal cancer and non-cancerous lesions under WLI and NBI. The color of early esophageal cancer is darker under WLI, and the color of non-cancerous lesions is yellower under non-magnified NBI mode. Lab color space is helpful to identify early esophageal cancer and non-cancerous lesions.

Keywords early esophageal cancer; non-cancerous lesion; white light imaging endoscopy; narrow band imaging endoscopy; Lab color space; CIE color space

Fund program National Natural Science Foundation of China (No. 82103040)

Corresponding author Zhao Yuanyuan, E-mail: yzhaol993@163.com

当前，白光成像内镜（white light imaging, WLI）仍然是我国早期食管癌筛查的常用方法，但多数早期食管癌在白光内镜下不易发现。窄带成像内镜(narrow band imaging, NBI)通过特殊的滤光器，可增强病变表面微血管和黏膜颜色的对比，对初级内镜医师而言更易发现食管病变，但非放大模式下 NBI 诊断早期食管癌的特异性较低^[1]。因此，在内镜检查中，初

步鉴别早期食管癌和非癌性病变仍存在一定困难。

CIE 色彩空间是一种由国际照明委员会(Commission Internationale de l'Éclairage, CIE)定义的色彩表示和计算标注体系。其中, CIE 1976 L*a*b* 颜色空间(CIE 1976 L*a*b* color space, Lab)是 CIE 色彩空间中的核心颜色模型。Lab 颜色空间可通过亮度分量值(Lightness, L*)、红绿轴分量值(red-green axis, a*)和黄蓝轴分量值(yellow-blue axis, b*)三维数据,用数字化方式对人类视觉感知进行颜色特性精准描述,不受仪器设备影响,具有感知均匀的特点^[2]。近几年, Lab 颜色空间已在医学图像处理领域得到一定的应用^[3-4]。因此,本研究旨在探讨基于 Lab 颜色空间,在 WLI 和非放大 NBI 模式下鉴别早期食管癌和非癌性病变的应用价值,为提高早期食管癌的诊断准确性提供新的方法和思路。

1 材料与方法

1.1 一般资料 回顾性研究选取 2020 年 12 月—2024 年 12 月在安徽医科大学第一附属医院行胃镜检查的食管病变患者为研究对象。排除标准:① 无清晰的内镜图像;② 无活检病理或 ESD 术后病理结果;③ 内镜下符合进展期食管癌;④ 行食管切除术或食管放化疗术。本研究已获得安徽医科大学第一附属医院的机构审查和伦理委员会批准(编号:科研伦审-PJ 2025-03-58)。所有参与者在内镜检查前均签署了知情同意书。

1.2 Lab 颜色空间 根据 CIE 色彩空间标准,利用 L*a*b* 颜色参数对病变区域黏膜及周围正常区域黏膜颜色差异进行计算评估。在 Lab 颜色空间中, L*表示亮度, a*和 b*表示颜色方向。其中, L*值越大,颜色越亮。+a*表示红色方向, -a*表示绿色方向, +b*表示黄色方向, -b*表示蓝色方向,计算得出两种颜色之间的色差值(ΔE^*)。为了准确评估食管黏膜的颜色变化,本研究采用了 4 种 CIE 推荐的色差计算公式,分别为国际照明委员会 1976 年 L*a*b* 色差公式(CIE 1976 L*a*b* Color Difference Formula, CIE 1976)、国际照明委员会 1994 年色差公式(CIE 1994 Color Difference Formula, CIE 1994)、国际照明委员会 CMC 色差公式(CIE CMC Color Difference Formula, CIE CMC)、国际照明委员会 2000 年色差公式(CIE 2000 Color Difference Formula, CIE 2000)。其中, CIE 1976 公式是基础色差测量公式,后面公式通过引入明度、色度以及色调的加权调整,提升了色差测量的感知均匀性和准确性。CIE CMC (1:c)色差公式中“1:c”为容差因子,使用 CMC (1:1)。

1.3 图像获取及感兴趣区域标注 使用 CV-290 图像处理设备和 CLV-290SL 冷光源适配 GIF-H290 胃镜(购自日本 Olympus 公司)获取 WLI 和 NBI 图像。观察食管时,白光模式选用 A3 模式, NBI 模式采用增强 B8 模式。每次操作前均已调节白平衡。同一病变图像采用同

样角度及距离分别在两种内镜模式下获取并以 JPEG 文件形式保存。选取 2 名具有 10 年以上内镜操作经验的内镜医师在双盲情况下对 WLI 和非放大 NBI 图像进行黏膜感兴趣区域 (region of interest, ROI) 标注。本研究以内镜黏膜下剥离术(endoscopic submucosal dissection, ESD)术后病理结果或内镜活检病理结果作为病变诊断“金标准”。

在 WLI 与 NBI 的内镜图像中, 2 名内镜医师采用由美国 Adobe Inc.开发的 Adobe Photoshop 2023 软件分别从病变区域黏膜和周围正常区域黏膜随机挑选 5 个 ROI, 每个 ROI 由 500 像素(25*25 像素)组成。分别统计 ROI 的 L*值、a*值和 b*值并计算其平均值(图 1), 得出 ΔL^* 值、 Δa^* 值和 Δb^* 值, 再计算出色差值 ΔE^* [$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{(1/2)}$]^[5]。采用 CIE 1976、CIE 1994、CIE CMC、CIE 2000 四种色差公式来评估颜色差异。

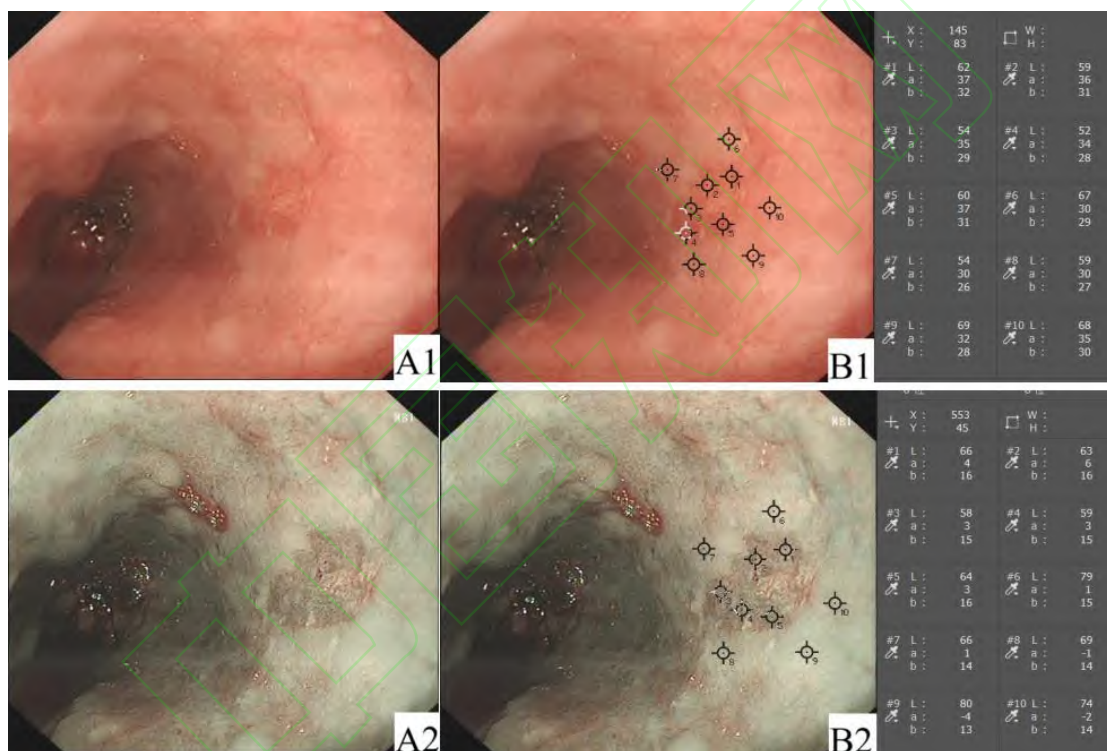


图 1 早期食管癌病变区域与周围正常区域 ROI 标注及色彩差异评估图

Fig.1 Evaluation diagram of ROI labeling and color difference of lesional and surrounding normal regions in early esophageal cancer

A: Original image of early esophageal cancer; B: Labeled image of early esophageal cancer ; 1: WLI mode; 2: NBI mode; Black circle 1-5: mucosa of lesion area; black circle 6-10: mucosa of the surrounding normal area.

1.4 统计学处理 使用 SPSS16.0 软件进行数据处理和统计分析。对于符合正态分布的连续性变量用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 分类型变量以例数(构成比) [$n(\%)$]表示。采用 t 检验对连续性变量进行比较, 分类型变量组间比较采用 χ^2 检验。采用受试者工作特征(receiver

operating characteristic, ROC)曲线评估四种公式下 WLI 和 NBI 模式对食管疾病的诊断效能, 计算 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)及其对应的 95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)。根据 Youden 指数确定最佳截断值(cut-off value), 并依次计算敏感度、特异度, 阳性预测值(positive predictive value, PPV)和阴性预测值(negative predictive value, NPV)。使用均值差及其对应的 95%CI 进行优效性检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 共收集 271 例患者数据进行分析, 其中, 58 例患者因缺乏 WLI 或 NBI 模式下的相同图像、存在多处食管病变或未行病理活检予以剔除, 共纳入 213 例患者数据进行后续研究分析。213 例患者中, 早期食管癌患者共 155 例, 其中男性 122 例, 女性 33 例, 年龄 45~85(66.7±8.0)岁; 非癌性病变患者共 58 例, 其中男性 39 例, 女性 19 例, 年龄为 25~81(64.0±9.5)岁。早期食管癌和非癌性病变在内镜下均以黏膜发红多见, 两组患者在性别、年龄、病变颜色方面比较差异无统计学意义。见表 1。

表 1 两组基线对比资料[$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Tab.1 Baseline comparison data between the two groups [$\bar{x} \pm s, n(\%)$]

Characteristics	Early esophageal cancer group (n=155)	Non-cancer group (n=58)	χ^2/t value	P value
Age (years)	66.7±8.0	64.0±9.5	1.924	0.058
Gender			3.008	0.083
Male	122 (78.7)	39 (67.2)		
Female	33 (21.3)	19 (32.8)		
Color of lesion			0.544	0.461
reddish	146 (94.2)	53 (91.4)		
discolored	9 (5.8)	5 (8.6)		

2.2 早期食管癌和非癌性病变在 WLI 和 NBI 模式下的色差分析 采用 CIE 1976、CIE 1994、CIE CMC 和 CIE 2000 4 种色差公式分别计算早期食管癌组和非癌组病变在 WLI 和 NBI 模式下的色差值(ΔE^*)。见表 2。结果显示, 4 种色差公式都提示早期食管癌组和非癌组病变区域黏膜在 WLI 和 NBI 模式下均存在颜色差异(P < 0.05)。进一步绘制 WLI 和 NBI 模式下基于 Lab 颜色空间构建的 ROC 曲线, 计算出 cut-off value, 结合敏感度、特异度、PPV、NPV(表

3), 评估 4 种色差公式对早期食管癌和非癌性病变的诊断效能。结果显示, WLI 和 NBI 模式下 ROC 曲线下面积均处于较高水平。其中, NBI 模式下 4 种色差公式的 AUC 值均超过 0.8。见图 2。

表 2 WLI 和 NBI 模式下早期食管癌组和非癌组的颜色差异分析($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Analysis of color difference between early esophageal group and non-cancer group under WLI and NBI modes ($\bar{x} \pm s$)

DE	Mode	Early esophageal cancer group (n=155)	Non-cancer group (n=58)	P value
DE 1976	WLI	10.950±2.989	7.676±4.087	<0.001
	NBI	16.250±4.402	9.974±5.784	<0.001
	P value	<0.001	0.015	
DE 1994	WLI	9.150±2.908	5.495±3.312	<0.001
	NBI	15.980±4.383	9.433±5.563	<0.001
	P value	<0.001	<0.001	
DECMC	WLI	8.688±2.834	5.345±3.170	<0.001
	NBI	16.029±4.955	9.909±6.299	<0.001
	P value	<0.001	<0.001	
DE 2000	WLI	8.565±2.794	5.169±3.125	<0.001
	NBI	15.128±4.263	9.293±5.454	<0.001
	P value	<0.001	<0.001	

表 3 WLI 和 NBI 模式下 4 种色差计算公式的诊断效能

Tab.3 Diagnostic efficiency of four color difference calculation formulas in WLI and NBI modes

Mode	Formula	Cut-off value	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)
WLI	CIE 1976	6.97	93.5	51.7	83.8	75.0
	CIE 1994	7.60	74.2	72.4	87.8	51.2
	CIE CMC	7.03	73.5	72.4	87.7	50.6
	CIE 2000	6.16	82.6	63.8	85.9	57.8
NBI	CIE 1976	10.93	96.8	58.6	86.2	87.2

CIE 1994	10.91	95.5	62.1	87.1	83.7
CIE CMC	10.21	94.2	60.3	86.4	79.5
CIE 2000	10.25	92.3	63.8	87.2	75.5

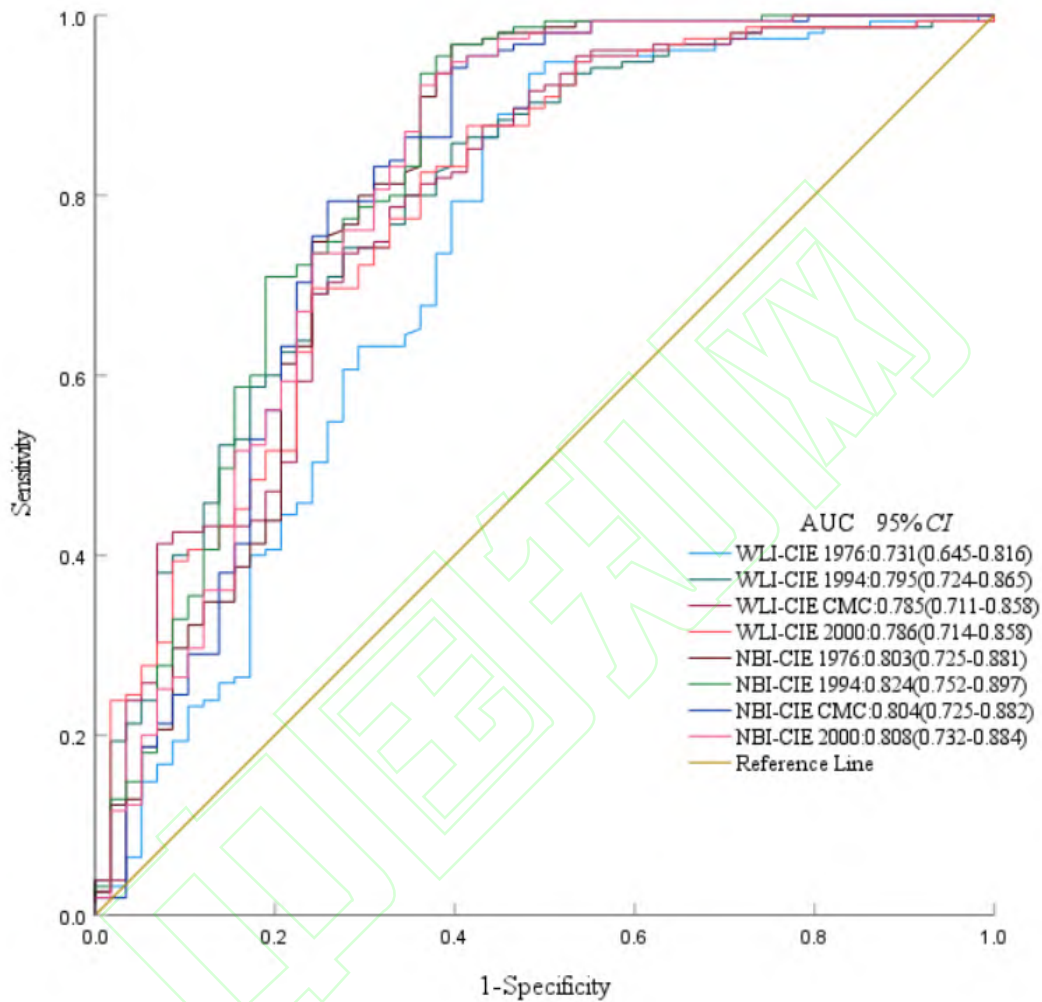


图2 WLI 和 NBI 在 4 种色差公式下诊断早期食管癌和非癌性病变的 ROC 曲线

Fig.2 ROC curves of WLI and NBI in the diagnosis of early esophageal cancer and non-cancerous lesions under four color difference formulas

进一步采用优效性检验评价 WLI 和 NBI 模式在早期食管癌和非癌性病变中的诊断效能, 预设优效性界值为 $\Delta=3^{[6-7]}$, 统计分析显示, 4 种公式下两组色差均值差均有统计学意义($P < 0.05$), 且均值差 95%CI 下限均高于预设的优效性界值, 统计学检验均呈显著差异($P < 0.05$)。结果表明, 与 WLI 相比, NBI 模式可显著增加早期食管癌和非癌性病变的颜色差异。

2.3 Lab 颜色空间参数比较 进一步对 WLI 和 NBI 模式下 Lab 颜色空间的 L*、a*和 b* 3

个参数进行比较分析,结果显示,癌性病变区域的 L*值明显低于非癌性病变区域,这种差异在 NBI 模式下更为显著($P<0.05$)。而早期食管癌和非癌性病变的周围正常区域黏膜的 L*值没有差异。在两种内镜模式下,早期食管癌和非癌性病变与其周围正常区域黏膜的 L*值均存在差异,且病变区域黏膜的 L*值均低于周围正常区域黏膜($P<0.05$)。当从 WLI 模式切换到非放大 NBI 模式后,非癌性病变的周围正常区域黏膜 L*值增加,病变区域黏膜的 L*值变化不明显;早期食管癌的周围正常区域黏膜 L*值也增加,而病变区域黏膜的 L*值减少,提示在 NBI 模式下,早期食管癌性病变表现更暗。见表 4。

表 4 WLI 和 NBI 模式在 L*上的色彩差异分析($\bar{x} \pm s$)

Tab.4 Analysis of color difference between WLI and NBI modes on L* ($\bar{x} \pm s$)

Mode	L*	Early esophageal cancer group (n=155)	Non-cancer group (n=58)	t value	P value
WLI	Lesion	51.564±6.195	54.455±7.086	2.913	0.004
	surrounding	60.059±5.945	58.628±6.345	-1.536	0.126
	t value	12.319	3.341		
	P value	<0.001	0.001		
NBI	Lesion	48.557±6.957	54.638±8.308	5.378	<0.001
	surrounding	64.048±6.559	62.872±7.255	-1.131	0.260
	t value	20.170	5.686		
	P value	<0.001	<0.001		

在红绿轴上,早期食管癌和非癌性病变区域黏膜的 a*值均明显高于周围正常区域黏膜($P<0.05$)。然而,早期食管癌与非癌性病变区域黏膜在 WLI 模式下均呈红色,在 NBI 模式下呈绿色,两者 a*值差异无统计学意义。结果表明,WLI 和 NBI 模式下的早期食管癌和非癌性病变在红绿轴上均难以区分。见表 5。

表 5 WLI 和 NBI 模式在 a*上的色彩差异分析($\bar{x} \pm s$)

Tab.5 Analysis of color difference between WLI and NBI modes on a* ($\bar{x} \pm s$)

Mode	a*	Early esophageal cancer group (n=155)	Non-cancer group(n=58)	t value	P value
WLI	Lesion	34.672±5.618	34.221±5.272	-0.531	0.596
	surrounding	32.196±4.878	31.559±4.774	-0.854	0.394

	<i>t</i> value	-4.144	-2.850		
	<i>P</i> value	<0.001	0.005		
NBI	Lesion	-2.194±4.238	-2.335±6.083	-0.162	0.871
	Surrounding	-5.940±4.076	-5.766±4.495	0.270	0.787
	<i>t</i> value	-7.932	-3.455		
	<i>P</i> value	<0.001	0.001		

早期食管癌病变区域黏膜 b^* 值在 WLI 模式下周围正常区域黏膜类似, 在 NBI 模式下则低于周围正常区域黏膜($P<0.05$)。非癌性病变区域黏膜 b^* 值在 WLI 模式下高于周围正常区域黏膜, 而在 NBI 模式下与周围正常区域黏膜类似。见表 6。与表 5 中部分结果类似, 在 WLI 模式下, 早期食管癌和非癌性病变区域黏膜的 b^* 值没有显著差异, 但在 NBI 模式下非癌性病变区域黏膜的 b^* 值高于早期食管癌病变区域黏膜($P<0.05$), 表明非癌性病变在 NBI 模式下颜色更黄。

表 6 WLI 和 NBI 模式在 b^* 上的色彩差异分析($\bar{x} \pm s$)

Tab.6 Analysis of color difference between WLI and NBI modes on b^* ($\bar{x} \pm s$)

Mode	b^*	Early esophageal cancer group ($n=155$)	Non-cancer group ($n=58$)	<i>t</i> value	<i>P</i> value
WLI	Lesion	25.461±4.880	25.900±4.268	0.604	0.546
	Surrounding	24.532±5.140	24.221±4.363	-0.409	0.683
	<i>t</i> value	-1.632	-2.095		
	<i>P</i> value	0.104	0.038		
NBI	Lesion	11.146±2.119	12.031±2.539	2.567	0.011
	Surrounding	11.898±1.479	11.993±1.614	0.407	0.684
	<i>t</i> value	3.624	-0.096		
	<i>P</i> value	<0.001	0.924		

3 讨论

内镜下发现早期食管癌并及时治疗, 是提高食管癌患者生存率的关键措施^[8]。早期食管癌内镜下常表现为黏膜色泽变化、形态不规则和微血管扭曲, 其诊断的“金标准”仍是内镜检查及病理活检。WLI 主要通过观察食管黏膜的色泽、病变大体形态进行识别, 但对于早期食管癌性病变的敏感度不高^[9]。非放大 NBI 通过选择性滤光, 仅保留 415 nm 的蓝光和 540 nm

的绿光 2 个与血红蛋白吸收峰值精确匹配的窄带光谱,蓝光被黏膜浅层血管中的血红蛋白吸收,绿光被黏膜深层和黏膜下层血管中的血红蛋白吸收^[10]。图像的蓝光信号被映射至显示器的蓝/绿通道,绿光信号被映射至显示器的红通道,最终呈现出吸收蓝绿光的病变黏膜色彩与反射光的周围正常黏膜色彩显著对比的清晰图像^[11]。虽然非放大 NBI 能够增强对黏膜颜色的显示,但是有部分反射蓝光走显示器的红通道,使得黏膜间对比度降低,导致 NBI 成像质量和诊断准确性受到影响^[12]。因此,在 WLI 下发现病变,非放大 NBI 下初步鉴别病变性质是目前内镜工作中的难点。

Lab 颜色空间通过 L^* 、 a^* 和 b^* 3 个参数,可将内镜图像色彩转化为可量化的指标,客观化描述病变与周围正常区域黏膜颜色差异。Takashi Murakami 团队^[3]基于 Lab 颜色空间对 89 例结肠锯齿状息肉内镜图像进行分析,比较关联色彩成像(linked color imaging, LCI)和 WLI 的诊断效能,结果发现,在所有锯齿状病变组中,LCI 模式下病变部位与相邻黏膜之间的 ΔE^* 值显著高于 WLI 模式。Masahiro Saito 团队^[13]基于 Lab 颜色空间对 20 例行 ESD 手术的 Barrett's 食管腺癌内镜图像进行分析,比较 LCI、蓝光成像技术(blue-light imaging, BLI)的诊断效能,结果发现,LCI 模式显著增加 Barrett's 食管腺癌和周围区域黏膜的颜色差异。另一项基于 Lab 颜色空间的研究来自 In Kyung Yoo 团队^[14],研究纳入 46 例未分化型早期胃癌的患者内镜图像进行分析,结果显示,低分化腺癌、合并伴有幽门螺杆菌感染或肠化生的病变在 LCI 模式下的颜色差异显著大于 WLI。以上研究表明 Lab 颜色空间在内镜图像处理领域具有一定应用价值。

因此,本研究基于 Lab 颜色空间鉴别早期食管癌和非癌性病变。研究首次使用 DE 1976、DE 1994、DECMC 和 DE 2000 4 种色差比较早期食管癌和非癌性病变在 WLI 和 NBI 模式下的颜色差异。结果显示,4 种色差公式均提示早期食管癌与非癌性病变在 WLI 和 NBI 下存在颜色差异,基于 Lab 颜色空间的模型在两种内镜模式下对早期食管癌和非癌性病变的鉴别均具有一定的准确性,但因 CIE 2000 更符合人眼的感知,且当颜色差异的感知阈值为 3 时,对应人眼的明显差异,因此,后续优效性研究将优效性界值预设置为 3 分析发现,NBI 模式下食管病变更加明显。

进一步从 L^* 、 a^* 、 b^* 3 个参数分析显示,早期食管癌病变区域的 L^* 值较低,提示其亮度较非癌性病变较暗,且在 NBI 模式下颜色更暗,可能与食管癌性病变更新生血管有关。食管癌性病变中肿瘤细胞异常增生,对周围食管正常组织产生挤压作用,而血管受压后血流动力学改变与缺氧微环境驱动了血管的新生和病理性重构^[15],丰富的新生血管导致早期食管癌病变黏膜对蓝绿光的吸收增多,减少光反射,因此在 NBI 模式下早期食管癌病变区域的 L^*

较低。非癌性病变如食管炎性改变，因黏膜水肿增加光反射导致 L*值升高^[16]。NBI 模式下早期食管癌和非癌性病变在 a*值上无明显差异，因癌性病变新生血管丰富导致 a*值升高，而部分食管炎症的血管迂曲亦可引起 a*值升高，导致两者在 NBI 模式下难以区分^[17]。非癌性病变区域黏膜的 b*值高于早期食管癌病变区域黏膜，可能与非癌性病变上皮增厚阻挡蓝光导致 b*值升高有关^[18]。通过 CIE 2000 发现，当色差截断值在 WLI 模式下大于 6.16、NBI 模式下大于 10.25 时，提示病变更倾向于癌性病变。因此，在常规 WLI 筛查中，对于亮度低的病变立即切换 NBI 模式观察，对于 NBI 模式中表现偏蓝病灶立即启动放大内镜精查，结合 Lab 参数及色差截断值在 WLI 模式下快速锁定可疑病灶区域，在 NBI 模式下初步鉴别病变性质。

然而，本研究也存在一定的局限性。本研究样本量相对较小，未来需要进一步扩大样本量，同时进行多中心研究，以增加本研究结果的可靠性和普适性。研究未来有望结合深度学习，构建病变大体形态、色彩空间及血管多维度的人工智能内镜诊断模型，实现早期食管癌的智能化、量化诊断。

综上所述，本研究首次发现 Lab 颜色空间可量化区分早期食管癌和非癌性病变。在 WLI 模式下早期食管癌颜色表现偏暗，在非放大 NBI 模式下非癌性病变颜色表现偏黄。Lab 颜色空间有助于鉴别早期食管癌与非癌性病变。

参考文献

- [1] Gruner M, Denis A, Masliah C, et al. Narrow-band imaging versus Lugol chromoendoscopy for esophageal squamous cell cancer screening in normal endoscopic practice: randomized controlled trial[J]. *Endoscopy*, 2021, 53(7): 674-82. doi:10.1055/a-1224-6822.
- [2] 王鹏宇, 游有鹏, 杨雪峰. 基于颜色量化和密度峰聚类的彩色图像分割[J]. *计算机工程与应用*, 2020(2): 211-5. doi:10.3778/j.issn.1002-8331.1810-0147.
- [2] Wang P Y, You Y P, Yang X F. Color image segmentation based on color quantization and density peak clustering[J]. *Comput Eng Appl*, 2020,56(2): 211-5. doi:10.3778/j.issn.1002-8331.1810-0147.
- [3] Murakami T, Kamba E, Nomura K, et al. Linked color imaging improves visibility of colorectal serrated lesion by high color contrast to surrounding mucosa[J]. *Dig Endosc*, 2022, 34(7): 1422-32. doi:10.1111/den.14374.
- [4] Gotoda T, Kanzaki H, Okamoto Y, et al. Tolerability and efficacy of the concentration of iodine solution during esophageal chromoendoscopy: a double-blind randomized controlled trial[J]. *Gastrointest Endosc*, 2020, 91(4): 763-70. doi:10.1016/j.gie.2019.10.022.
- [5] Kuehni R G. Color-tolerance data and the tentative CIE 1976 L a b formula[J]. *J Opt Soc Am*, 1976, 66(5): 497-500. doi:10.1364/josa.66.000497.

- [6] 尚晓宇, 黄敏, 公绪平, 等. 印刷样品的可接受色差优化计算[J]. 光学学报, 2025, 45(1): 0133001. doi:10.3788/AOS241455.
- [6] Shang X Y, Huang M, Gong X P, et al. Optimization and calculation of acceptable color difference for printed samples[J]. Acta Opt Sin, 2025, 45(1): 0133001. doi:10.3788/AOS241455.
- [7] Paravina R D, Ghinea R, Herrera L J, et al. Color difference thresholds in dentistry[J]. J Esthet Restor Dent, 2015, 27(Suppl 1): S1-9. doi:10.1111/jerd.12149.
- [8] 许婷婷, 张朋悦, 冯慧, 等. 早期食管癌患者合并斑驳食管危险因素研究[J]. 安徽医科大学学报, 2024, 59(4): 698-702. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2024.04.022.
- [8] Xu T T, Zhang P Y, Feng H, et al. Risk factors associated with the presence of multiple Lugol-voiding lesions in patients with early esophageal carcinoma[J]. Acta Univ Med Anhui, 2024, 59(4): 698-702. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2024.04.022.
- [9] 刘云云, 王玉欣, 朱季军, 等. ME-NBI 联合卢戈氏液染色在食管癌高危人群筛查中的诊断价值[J]. 西部医学, 2020, 32(7): 1007-11. doi:10.3969/j.issn.1672-3511.2020.07.015.
- [9] Liu Y Y, Wang Y X, Zhu J J, et al. Diagnostic value of ME-NBI combined with Lugol's solution staining in screening high-risk population of esophageal cancer[J]. Med J West China, 2020, 32(7): 1007-11. doi:10.3969/j.issn.1672-3511.2020.07.015.
- [10] Vu A, Farah C S. Narrow band imaging: clinical applications in oral and oropharyngeal cancer[J]. Oral Dis, 2016, 22(5): 383-90. doi:10.1111/odi.12430.
- [11] Gono K. Narrow band imaging: technology basis and research and development history[J]. Clin Endosc, 2015, 48(6): 476-80. doi:10.5946/ce.2015.48.6.476.
- [12] Uraoka T, Igarashi M. Development and clinical usefulness of a unique red dichromatic imaging technology in gastrointestinal endoscopy: a narrative review[J]. Therap Adv Gastroenterol, 2022, 15:17562848221118302. doi:10.1177/17562848221118302.
- [13] Saito M, Koike T, Ohara Y, et al. Linked-color imaging may help improve the visibility of superficial Barrett's esophageal adenocarcinoma by increasing the color difference[J]. Intern Med, 2021, 60(21): 3351-8. doi:10.2169/internalmedicine.6674-20.
- [14] Kato M, Ono S, Kawada K, et al. Diagnostic performance of linked color imaging for gastric cancer by *Helicobacter pylori* infection status: a subanalysis of the large-scale, multicenter randomized controlled trial LCI-FIND[J]. Helicobacter, 2024, 29(2): e13080. doi:10.1111/hel.13080.
- [15] Liu B, Zhang B, Qi J, et al. Targeting MFG8 secreted by cancer-associated fibroblasts blocks angiogenesis and metastasis in esophageal squamous cell carcinoma[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2023, 120(42): e2307914120. doi:10.1073/pnas.2307914120.
- [16] 王德淳, 李若冰, 李鑫圻, 等. 嗜酸细胞性食管炎的诊治现状及进展[J]. 中华内科杂志, 2025, 64(3): 261-5. doi:10.3760/cma.j.cn112138-20240930-00629.
- [16] Wang D C, Li R B, Li X Q, et al. Diagnosis and treatment status and progress of eosinophilic esophagitis[J]. Chin J Intern Med, 2025, 64(3): 261-5. doi:10.3760/cma.j.cn112138-20240930-00629.
- [17] 柴大敏, 胡建国, 鲍正齐, 等. 血管生成拟态、VEGF-D 和 MVD 在食管鳞状细胞癌组织中表达的临床意义[J]. 四川大学学报(医学版), 2013, 44(5): 832-5. doi:10.13464/j.scuxbyxb.2013.05.032.
- [17] Chai D M, Hu J G, Bao Z Q, et al. Clinical significance of expression of vasculogenic mimicry, VEGF-D and MVD in esophageal squamous cell carcinoma[J]. J Sichuan Univ

(Med Sci), 2013,44(5): 832-5. doi:10.13464/j.scuxbyxb.2013.05.032.

[18] 丁亚利, 陈日寿, 曾今诚, 等. 图像增强内窥镜在结直肠病变检测中的应用进展[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(21): 3006-12. doi:10.3969/j.issn.1006-5725.2024.21.008.

[18] Ding Y L, Chen R S, Zeng J C, et al. Application progress of image-enhanced endoscopy in detection of colorectal lesions[J]. J Pract Med, 2024, 40(21): 3006-12. doi:10.3969/j.issn.1006-5725.2024.21.008.

