城市街道环境要素对学龄儿童视觉关注与情绪反应的影响*

刘忠义 刘涟涟 蔡 军

大连理工大学建筑与艺术学院 辽宁大连 116024

摘要：【目的】揭示城市街道环境要素对学龄儿童的视觉关注分布及情绪反应的影响机制，为儿童友好街道设计提供科学依据。【方法】通过在实验室播放大连市 5 类街道视频，使用 Tobii Glasses 3 眼动仪记录学龄儿童的眼动数据；采用 SegNet 语义分割技术量化街道绿化、交通设施、街道家具等 7 类要素占比，结合斯皮尔曼相关分析和多元回归模型，探讨环境要素、视觉关注与情绪反应的关联。【结果】街道绿化与沿街界面显著吸引儿童关注（注视时长与注视点数量最高，单位面积注视时间突出），与积极情绪呈强正相关（$r=0.800$）；街道家具初期吸引强但持续关注弱，情绪影响偏负（$Beta=-0.116$）；车辆与交通设施引发较多扫视干扰但注视不持久，情绪激发显著（车辆 $Beta=0.401$、交通设施 $Beta=0.174$）；天空与行人影响较弱，但对情绪有轻微正向调节。【结论】学龄儿童的视觉关注度和情绪反应受街道环境要素显著影响：绿化与界面的自然属性和高视觉复杂度提升持续关注与积极情绪，而动态要素如车辆虽激发情绪但需优化以减少干扰。城市街道设计应优化街道绿化和沿街界面，改进交通设施，提升儿童安全与情绪体验。

关键词：城市街道环境；儿童友好；眼动追踪；情绪反应；视觉关注度

DOI：10.12169/zgcsly.2025.08.02.0001

Impact of Urban Street Environment Elements on Visual Attention and Emotional Responses of School-aged Children

Liu Zhongyi Liu Lianlian Cai Jun

(School of Architecture & Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】 It is to elucidate the influence of urban street environment elements on the visual attention distribution and emotional responses of school-aged children, providing scientific evidence for child-friendly street design. 【Method】 Videos of five types of street in Dalian, China, are presented in a laboratory setting, with eye movement data from school-aged children recorded using Tobii Glasses 3. SegNet semantic segmentation is employed to quantify the proportions of seven elements: street greening, traffic facilities, street furniture, street interfaces, people, vehicles, and sky. Spearman correlation and multiple regression analyses are conducted to explore the relationships among environmental elements, visual attention, and emotional responses. 【Result】 Street greening and interfaces significantly capture children's attention (highest fixation duration and count, prominent fixation time per unit area), showing a strong positive correlation with positive emotions ($r=0.800$). Street furniture attracts initial attention but exhibits weak sustained attention, imposing a negative emotional impact ($Beta=-0.116$). Vehicles and traffic facilities induce frequent saccades but limited fixation duration, with notable emotional arousal

收稿日期：2025-08-02

* 基金项目：国家自然科学基金面上项目（52278048）

第一作者：刘忠义（1991-），男，博士，中级工程师，环境行为、城市更新。E-mail：1687433821@qq.com

通信作者：刘涟涟（1976-），女，博士，副教授，博士生导师，城市更新、绿色交通、环境行为、乡村规划。E-mail：liulianlian@dlut.edu.cn

(Vehicles *Beta* = 0.401, Traffic Facilities *Beta* = 0.174). Sky and people have minimal influence but slightly positive emotional regulation.【Conclusion】 School-aged children's visual attention and emotional responses are significantly shaped by street environment elements. The natural attributes and high visual complexity of greening and interfaces enhance sustained attention and positive emotions, while dynamic elements like vehicles, despite eliciting emotional arousal, require optimization to reduce interference. Urban street design should prioritize greening and street interfaces and improve traffic facilities to enhance children's safety and emotional experience.

Keywords: urban street environment; child-friendly; eye-tracking; emotional response; visual attention

城市街道环境不仅是学龄儿童进行户外活动和接触现实社会的媒介，也是他们学习空间、时间和因果关系，理解事物与现象的关键场所。学龄儿童的观察是他们学习过程中的决定性要素，能够帮助他们建立对空间和时间的认知[1]。在快速城市化的背景下，街道环境的复杂性和多样性不断增加，这对学龄儿童的视觉认知、观察和出行能力提出了新的挑战。学龄儿童作为城市公共空间的重要使用群体，其视觉关注特点与行为模式对城市街道环境设计具有重要的参考价值。然而，当前的城市环境设计多从成人视角出发，而忽视了成人与学龄儿童在观察能力和行为上的差异。

心理学家埃克哈特·赫斯（Eckhard Hess）证实瞳孔变化是一个反映人类心理的敏感指标，情绪变化会刺激瞳孔的扩张与收缩[2]。近年来，眼动追踪和语义分割技术在城市环境感知研究中广泛应用。研究表明，眼动追踪可揭示行人的视觉注意力分布和情绪状态[3]，语义分割技术则用于量化街道要素，如绿化、交通设施等[4-5]。例如，通过眼动追踪发现，视觉复杂性、颜色对比度及其空间布局对视觉注意力有显著影响，丰富的视觉细节和高对比度的颜色能够吸引更长时间的注视，而简约的设计可能导致注意力分散[6-7]。结合语义分割的街道绿化研究显示，其自然属性通常能够有效吸引视觉注意并带来积极的情绪效应[8]。此外，部分研究发现，学龄儿童相较于成人在视觉信息处理上存在更长的反应时间，并且对于复杂环境的认知能力较低[6]。相较于成人，学龄儿童更容易被动态物体（如行人、车辆）吸引，同时对高饱和度色彩和丰富的视觉信息表现出更强的关注度[9]，无法简单套用成人的普遍结论，所以针对他们的研究具有特殊性和必要性。

当前城市环境研究多聚焦成人，针对学龄儿童的视觉注意力分配及情绪反应研究较少，缺乏系统性定量分析[7]。鉴于儿童视觉关注与其认知功能密切相关[10]，本研究采用眼动追踪和语义分割技术，分析学龄儿童在不同街道环境中的视觉关注特征，探索街道环境要素、视觉关注与情绪反应的关联。研究通过量化眼动数据，揭示儿童对街道环境要素的关注分布及影响机制，为儿童友好街道设计提供科学依据。

1 研究方法

1.1 数据采集

依据《城市综合交通体系规划标准》（GB/T 51328-2018）和《城市步行和自行车交通系统规划标准》（GB/T 51439-2021），精选大连市 5 个等级（Ⅰ级主干路，Ⅱ、Ⅲ级主干路，次干路，Ⅰ级支路、Ⅱ级支路）街道环境作为试验刺激材料[11]。视频材料通过实地拍摄获取，首先，针对每条案例街道采集 5 min 视频，筛选出每条街道用于实验的视频时长为 30 s，筛选方法包括去除模糊、低质量视频图像，并确保每类街道均衡代表性。选取的道路包括联合路（Ⅰ级主干路）、武汉街（Ⅱ、Ⅲ级主干路）、马栏北街（次干路）、松云街（Ⅰ级支路）和联合街（Ⅱ级支路）。其次，每间隔 200 ms 取一帧作为关键帧，即每条街道共有 150 个关键帧，获取 5 条街道共计 750 帧街景作为街道空间要素量化样本。

1.2 被试选取

依据世界卫生组织标准，选取 6~12 岁具有独立或半独立出行能力的小学生作为研究对象。参考 30 篇使用穿戴式眼动仪和动态刺激材料的文献（影响因子 0.8~11），80%文献被试数低于 20 人（其中 53.3%为 12 人及以下，20 人以上占 20%），研究共招募 12 名被试（男 4 人，女 8 人，

有效被试 11 人，有效率 91.67%）[12]，其中有效被试中男 4 人，女 7 人，平均年龄 9.5 岁。所有被试家长均已知情并签署同意书。

1.3　指标选择

1.3.1　城市街道环境要素

基于预试验，构建城市街道环境要素框架，利用语义分割技术（SegNet 模型），精确识别并量化 7 类要素：街道绿化、交通设施、街道家具、沿街界面、行人、车辆和天空（表 1），获取各等级街道的街景图像占比数据（图 1）[4-5,13-18]。

表 1　城市街道环境要素指标体系

类别	内容
交通设施	公交专用道、机动车道、停车道、隔离带、非机动车道、人行道、标识标线、公交站、安全岛等的街景图像占比(%)
街道家具	招牌、照明设施、无障碍设施、休憩设施、信息设施等的街景图像占比(%)
沿街界面	墙裙、入口抬高、建筑立面、遮阳棚/雨棚、窗户等的街景图像占比(%)
街道绿化	行道树、攀爬植物、街头绿地、沿街绿化带等的街景图像占比(%)
天空	天空等的街景图像占比(%)
人	老人、儿童、妇女、残疾人等的街景图像占比(%)
车辆	公交车、出租车、私家车、货车、自行车、电瓶车等的街景图像占比(%)

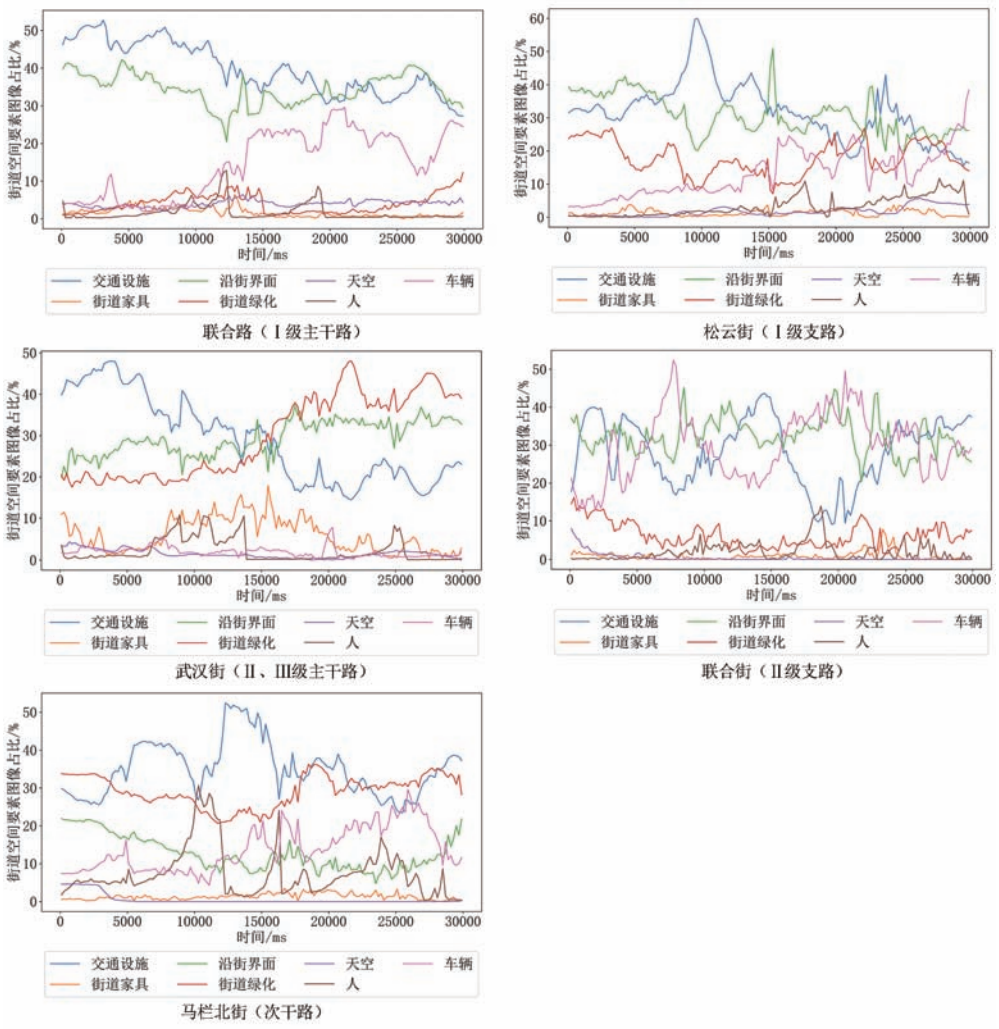


图 1　街道空间要素图像占比变化

1.3.2　眼动指标筛选

使用 Tobii Glasses 3 眼动仪（赢富仪器科技（上海）有限公司，中国上海）测量被试的注视指标、扫视指标、情绪指标（表 2）[4,13-18]。

表 2 视觉关注度指标体系

类别	指标	内容
注视指标	访问时长/ms	累计访问时间总和（包括注视和扫视时长）
	视点固定时长/ms	累计注视持续时间
	注视点数量	累计注视频数
	首次注视持续时长/ms	首次视点固定持续时间
	单位面积注视时间/（ms·m^{-2}）	访问时长相对于每个要素 AOI 的比例
扫视指标	扫视时长/ms	扫视行为持续的时间
	扫视数量	注视之间眼球运动的次数
情绪指标	瞳孔直径/mm	瞳孔的直径长度
	样本视线捕捉率/%	被试眼动行为被设备捕捉到的时间占比

1.4 数据标准化

本研究采用 StandardScaler、MinMaxScaler、RobustScaler 和 MaxAbsScaler4 种方法标准化瞳孔直径均值数据[19]。经（Shapiro-Wilk）正态性检验显示数据不服从正态分布（$P<0.05$），故选用 MaxAbsScaler 方法处理瞳孔直径数据（图 2）。

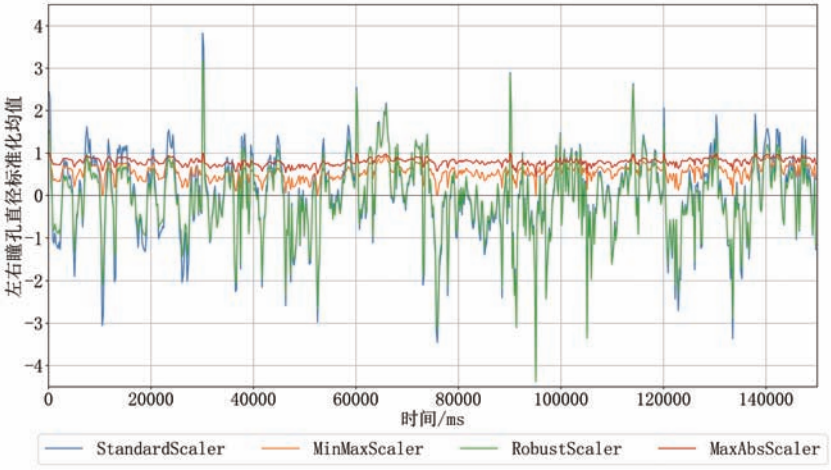


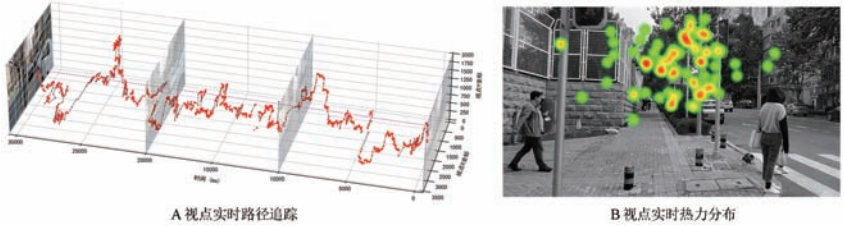
图 2 被试左右瞳孔直径均值 4 种标准化方法处理对比

1.5 试验设计

本研究在试验室进行，视频素材镜头高度设为 6~12 岁儿童平均身高范围（1.1~1.55 m），模拟真实街道视角。预试验对比不同视线高度街景显示，低视角下部分要素因绿篱、隔断遮挡不可见。为确保试验针对性和数据稳定性，采用 1.5 m 固定视角，增强真实感并保证眼动数据完整（图 3）。试验过程为：每名儿童先进行眼动仪佩戴与校准（约 5 min），然后观看 5 类街道视频，每类视频 30 s，每类视频间插入 5 s 的空白屏幕以避免干扰，整个试验时间约为 10 min。通过眼动试验记录学龄儿童观看城市街景视频的眼动行为（图 4A），统计 7 种环境要素的注视与扫视指标（表 2），量化学龄儿童视觉关注度分布（图 4B）。



图 3 眼动试验场景



A 视点实时路径追踪　　B 视点实时热力分布

图 4 眼动试验数据采集

2　结果与分析

2.1　学龄儿童对街道环境要素的视觉关注度分布特征

2.1.1　学龄儿童注视分布特征

街道绿化与沿街界面在累计访问时长、视点固定时长及注视点数量上显著高于其他要素，表明这些要素更能吸引学龄儿童的视觉关注。首次注视持续时长方面，街道绿化、街道家具、沿街界面的持续时间较长，反映儿童对这三要素的早期识别及信息加工难度较大。单位面积注视时间上，街道家具与绿化更突出，显示其对儿童的显著性及兴趣反应较强。车辆注视指标较低，表明儿童不愿过多关注。交通设施、天空及行人的注视指标低，视觉吸引力较弱（表 3、图 5）。

2.1.2　学龄儿童扫视分布特征

街道绿化、车辆和沿街界面在扫视时长和数量上高于其他要素，表明它们对学龄儿童的视觉干扰更强，更易吸引注意。街道家具的扫视指标较低，视觉干扰较弱，其显著性需进一步验证。车辆引发较多扫视，干扰明显，但注视时长短，显示儿童不愿过多关注。交通设施、天空和行人的扫视指标低，视觉干扰较小（表 3、图 5）。

表 3　学龄儿童视觉关注度指标数据统计

类别	指标	城市街道环境要素						
		交通设施	街道家具	沿街界面	街道绿化	天空	人	车辆
环境要素	图像占比/%	35.964 8	1.789 7	35.121 3	10.182 2	3.222 9	3.929 8	9.789 3
注视指标	访问时长/ms	6 270	7 960	21 120	43 010	4 210	2 210	6 960
	视点固定时长/ms	6 260	7 940	21 070	42 830	4 200	2 200	6 850
	注视点数量	626	794	2 107	4 283	420	220	685
	首次注视持续时长/ms	790	1 090	1 050	1 200	490	650	510
	单位面积注视时间/(ms · m^{-2})	3 090.54	78 773.04	10 652.00	74 686.79	23 138.75	9 940.07	12 424.42
扫视指标	扫视时长/ms	10	20	50	180	10	10	110
	扫视数量	1	2	5	18	1	1	11

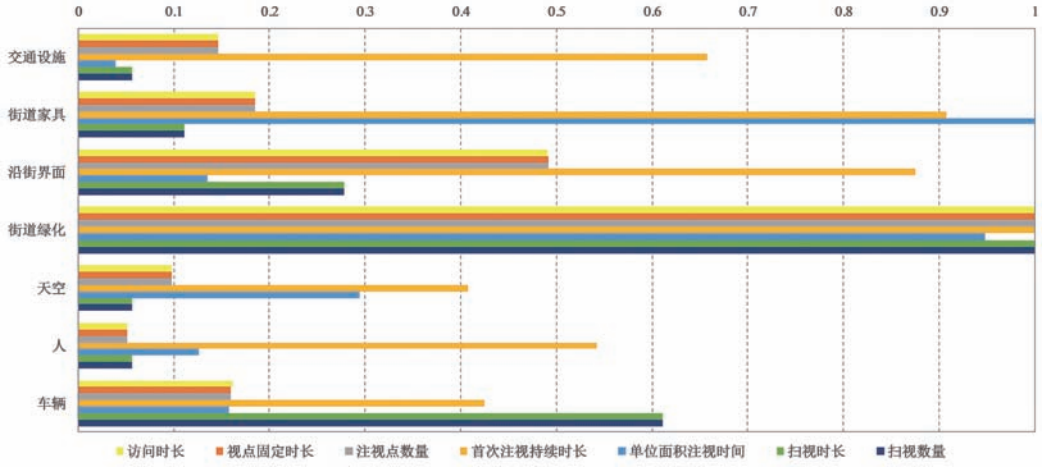


图 5　学龄儿童视觉关注度指标可视化（归一化）

2.2　学龄儿童对街道环境要素的视觉关注度影响机理

2.2.1　学龄儿童视觉关注度与街道环境要素图像占比相关性

斯皮尔曼相关分析（表 4）显示，天空与车辆图像占比增加显著提升眼动指标（$P<0.01$），表明两者有效吸引学龄儿童视觉关注。街道绿化与注视指标正相关，与扫视指标负相关，说明绿化占比增加有助于稳定注意力。沿街界面与注视、扫视指标均正相关，显示其吸引儿童关注。街道家具、交通设施和人的相关性较低或负相关，表明其视觉吸引力弱或可能分散注意力。

2.2.2　学龄儿童对街道环境要素的视觉关注度与情绪反应相关性分析

街道绿化的注视时长、固定时长和注视点数量与情绪反应呈强正相关（$P<0.01$），表明绿化显著提升积极情绪；沿街界面注视指标与情绪反应负相关，关注度越高，负向情绪越强；交通设施、街道家具、天空、行人和车辆无统计显著性（$P>0.05$）（表 5）。

表 4 学龄儿童视觉关注度与街道环境要素图像占比相关系数矩阵

类别	指标	城市街道环境要素						
		交通设施	街道家具	沿街界面	街道绿化	天空	人	车辆
注视指标	访问时长/ms	0.000	−0.200	0.600	0.800	0.975**	0.300	1.000**
	视点固定时长/ms							
	注视点数量							
	首次注视持续时长/ms	0.000	−0.300	−0.616	−0.300	0.667	−0.100	0.616
	单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	0.000	−0.700	0.600	−0.800	0.975**	−0.300	0.900*
扫视指标	扫视时长/ms	0.707	0.289	0.671	−0.264	0.354	−0.707	0.975**
	扫视数量							

注：** 表示 $P<0.01$；* 表示 $P<0.05$；下同。

表 5 学龄儿童视觉关注度与情绪反应相关系数矩阵

组别	类别	指标	情绪反应（左右瞳孔直径标准化均值）
交通设施	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	−0.400
		首次注视持续时长/ms	−0.700
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.400
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	−0.707
街道家具	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	−0.500
		首次注视持续时长/ms	−0.500
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.600
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	0.000
沿街界面	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	−0.700
		首次注视持续时长/ms	0.872
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.700
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	−0.894*
街道绿化	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	1.000**
		首次注视持续时长/ms	0.000
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.300
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	0.316
天空	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	−0.821
		首次注视持续时长/ms	−0.308
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.821
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数	−0.354
人	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	0.300
		首次注视持续时长/ms	−0.100
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.200
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	−0.707
车辆	注视指标	访问时长/视点固定时长/注视点数量	−0.300
		首次注视持续时长/ms	0.359
		单位面积注视时间/（ms · m^{-2}）	−0.500
	扫视指标	扫视时长（ms）/扫视数量	−0.205

2.2.3 学龄儿童的情绪反应与街道环境要素图像占比相关性

以瞳孔直径标准化均值作为因变量 Y（图 6），以交通设施（x_1），街道家具（x_2），沿街界面（x_3），街道绿化（x_4），天空（x_5），人（x_6），车辆（x_7）的图像占比为自变量（图 7），通过多元回归模型探讨学龄儿童情绪反应与街道环境要素之间的关系[20-23]。

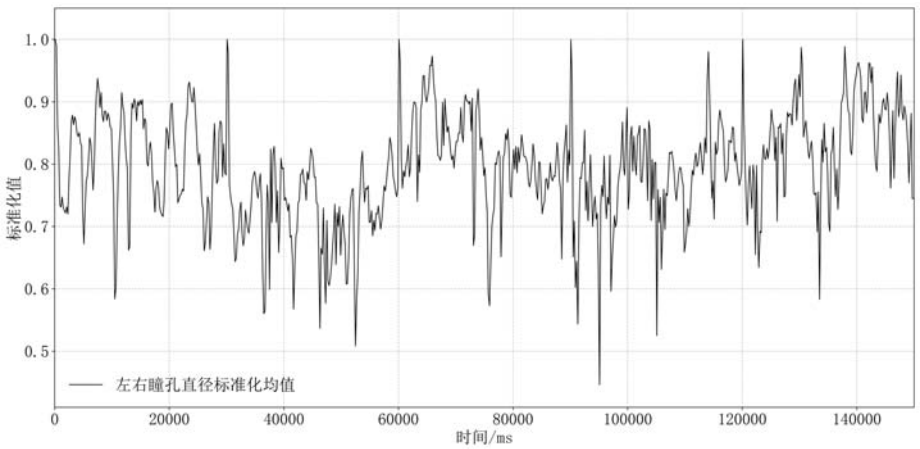


图 6 学龄儿童左右瞳孔直径标准化均值变化

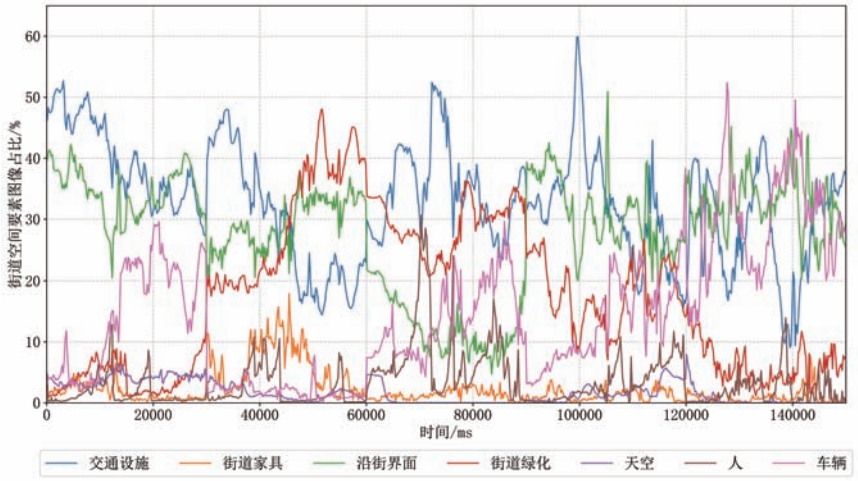


图 7　街道各类环境要素动态变化

采用逐步（Stepwise）回归分析（表 6～7）筛选出交通设施、街道家具、天空、人、车辆 5 个关键自变量。多重共线性诊断（表 6～7）显示，各变量相关性合理，容忍度均大于 0.2，*VIF* 值均小于 10，表明无多重共线性，适合多元回归分析。

随后构建多元线性回归模型（Multiple Linear Regression Model）[24]，模型表达式为：

$$Y=\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_i x_i+\in \quad (1)$$

式（1）中：β_0是截距项；β_i是第 i 个要素的回归系数；$\in$ 是误差项，假设其服从正态分布。通过最小化误差平方和来估计回归系数β_i。

表 6　被试情绪反应特征与街道空间要素构成的逐步回归模型信息

模型	R	R^2	调整后 R^2	标准估算的误差	F	显著性 p
1	0.382[a]	0.146	0.145	0.079 049	128.082	0.000
2	0.424[b]	0.179	0.177	0.077 546	81.686	0.000
3	0.447[c]	0.200	0.196	0.076 636	62.040	0.000
4	0.460[d]	0.211	0.207	0.076 130	49.891	0.000
5	0.466[e]	0.217	0.212	0.075 909	41.212	0.000

注：a. 预测变量（常量），车辆；b. 预测变量（常量），车辆，交通设施；c. 预测变量（常量），车辆，交通设施，人；d. 预测变量（常量），车辆，交通设施，人，街道家具；e. 预测变量（常量），车辆，交通设施，人，街道家具，天空。

表 7　被试情绪反应特征与街道空间要素构成的逐步回归分析

模型 5 变量	未标准化系数		标准化系数	t	p	B 的 95.0%置信区间		共线性统计	
	B	标准误差	*Beta*			下限	上限	容差	*VIF*
（常量）	0.691	0.015		45.113	0.000	0.661	0.721		
车辆	0.304	0.031	0.401	9.899	0.000	0.244	0.365	0.641	1.559
交通设施	0.156	0.032	0.174	4.831	0.000	0.093	0.220	0.815	1.227
人	0.294	0.066	0.147	4.431	0.000	0.164	0.424	0.956	1.046
街道家具	−0.355	0.116	−0.116	−3.055	0.002	−0.583	−0.127	0.728	1.374
天空	0.375	0.162	0.078	2.310	0.021	0.056	0.694	0.934	1.071

注：$R^2=0.217$，$F=41.212$，$P=0.000$。

通过回归模型（表 6）检验（$F=41.212$，$P<0.001$，调整后 $R^2=0.212$），表明模型有效，交通设施、街道家具、天空、人、车辆 5 个变量解释了瞳孔直径标准化均值 21.2% 的变化。模型公式为：

$$Y=0.691+0.156\ x_1-0.355\ x_2+0.375\ x_5+0.294\ x_6+0.304\ x_7 \quad (2)$$

式（2）中：Y 代表左右瞳孔直径标准化均值，x_1、x_2、x_5、x_6、x_7分别代表交通设施、街道家具、天空、人、车辆等要素的图像占比。

多元回归模型的 *Beta* 系数（表 7）显示，变量影响程度依次为车辆（0.401）、交通设施（0.174）、人（0.147）、街道家具（-0.116）、天空（0.078）。这表明交通设施正向激发儿童情绪，占比增加提升情绪积极效应；街道家具负向影响情绪，占比增加导致消极效应；天空、人、车辆正向调节情绪，占比增加增强积极情绪。

3 讨论

3.1 儿童情绪与街道环境要素的眼动分析

街道绿化与沿街界面显著吸引儿童关注，并与积极情绪相关，这与 Falfán 等[8]的研究一致。绿化注视时长达 43 010 ms、单位面积注视时间 74 686.79 ms · m^{-2}，远超其他要素，表明其通过自然属性和高对比度色彩稳定注意力[6]，减少扫视干扰（时长 180 ms）。绿化占比增加时注视指标正相关（r=0.800），扫视负相关，说明其降低视觉复杂度[7]，契合儿童对动态自然的偏好[9]。沿街界面关注度高（注视点数量 2 107 个，r=0.600），其建筑立面与入口设计提升空间可读性，但界面与情绪负相关（r=-0.700），可能是因为儿童认知能力有限[9]，复杂界面增加加工难度（首次注视 1 050 ms）[6]，与成人正向情绪反应不同[7]。这提示儿童友好设计需简化界面，避免高密度元素引发负面情绪[10]。街道家具初期吸引（首次注视 1 090 ms、单位面积注视时间 78 773.04 ms · m^{-2}），但持续关注弱（扫视数量 2 个），情绪负向（*Beta* = -0.116）。这表明家具设计复杂却缺乏吸引力[9]，与成人审美偏好不同[3]，需优化为互动型，提升儿童情绪调节。车辆与交通设施引发较多扫视（车辆扫视数量 11 个、时长 110 ms），关注不持久（注视时长 6 960 ms），但情绪正向（车辆 *Beta* = 0.401、交通设施 0.174），支持 Hess 和 Polt[2]动态刺激引发瞳孔扩张理论[20-23]。车辆占比与眼动指标正相关（r=1.000）[14]，但儿童不愿久留，可能是安全感知所致[16]。相比成人[7]，儿童对动态物更敏感[9]，需改进标示系统提升识别度[16]。天空与行人关注度低（注视时长 4 210 ms 与 2 210 ms），相关性不显著（$P>0.05$），但情绪正向（天空 *Beta* = 0.078、行人 0.147）。Kyttä[10]指出天空开阔感调节情绪，但占比低（3.222 9%）限制影响。行人未显著吸引，可能是因为视频缺乏互动性[17]，与真实环境不同。儿童对社会因素响应弱[9]，建议增强互动区促进认知[3]。

3.2 儿童与成人视觉关注差异及设计优化

儿童与成人视觉关注差异明显[3,7]，儿童偏好动态复杂要素[9]，而成人注重实用[7]。差异源于视角高度（1.5 m）[11]、认知能力[6,10]及情绪敏感性[2]。然而，某些要素如街道绿化对儿童和成人均产生积极感知效应[7-8]，表明其在设计中的普适性。儿童友好街道需优化绿化与界面[8,25]，改进交通设施[16,26]，避免家具负面效应[26]。应用于大连街道的改造[11]可提升儿童独立出行与认知发展[1,10]，未来需扩大样本[12]，结合真实环境验证[16]。

3.3 建议

总体来看，学龄儿童偏好复杂、动态的要素（如绿化、界面），对单一信息要素（如交通设施、天空）关注少。相比成人，儿童动态偏好强，对单一元素接受度低，凸显儿童研究的特殊性。为此，儿童友好街道设计应注重：1）优化绿化与界面：绿化与界面需兼顾安全与友好性，增加自然元素与视觉可读性，提升儿童认知与情绪体验。2）改进交通设施：通过优化标示系统提高识别度，加强儿童交通安全教育，提升安全意识。3）分级设计：根据道路等级差异，融入儿童安全、舒适需求，构建层次化的友好环境。与成人相比，儿童认知能力、视角高度及情绪敏感性差异显著，需针对性设计街道环境，引导儿童对安全要素的正向反应，提升视觉舒适度与独立出行能力。

4 结论

街道环境要素通过对儿童视觉关注的影响，能够间接或直接调节其情绪反应，显示街道空间环境设计对学龄儿童街道活动行为与身心健康的重要性。学龄儿童对各级街道的环境要素的关注度和情绪反应呈现以下特征：1）学龄儿童对街道绿化和沿街界面的视觉关注度占主导地位，街道绿化要素对学龄儿童视觉干扰刺激的作用显著。2）街道家具能够引起学龄儿童的兴趣反应，但

对情绪的刺激作用倾向于负向。3）交通设施对学龄儿童的情绪反应有正向激发作用，但交通设施对学龄儿童的视觉吸引力较弱。4）车辆对学龄儿童的情绪反应有正向激发作用，同时对学龄儿童具有较高的视觉干扰刺激，且与道路等级相关。5）天空和人等要素所引发的视觉关注的综合效果较弱，对学龄儿童的视觉干扰刺激的作用有限，但是在情绪调节中有一定正向作用。

参考文献

[1] W.A.拉伊.实验教育学[M].沈剑平，瞿葆奎，译.北京：人民教育出版社，2004.

[2] HESS E H, POLT J M. Pupil size as related to interest value of visual stimuli[J]. Science, 1960, 132(3423): 349-350.

[3] MEHTA V. The street: a quintessential social public space[M]. London: Routledge, 2013.

[4] YAO Y, LIANG Z T, YUAN Z H, et al. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2019, 33(12): 2363-2384.

[5] BADRINARAYANAN V, KENDALL A, CIPOLLA R. SegNet: a deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(12): 2481-2495.

[6] RAYNER K, SMITH T J, MALCOLM G L, et al. Eye movements and visual encoding during scene perception[J]. Psychological Science, 2009, 20(1): 6-10.

[7] CHEN W, RUAN R B, DENG W W, et al. The effect of visual attention process and thinking styles on environmental aesthetic preference: an eye-tracking study[J]. Frontiers in Psychology, 2023, 13: 1027742.

[8] FALFÁN I, MUÑOZ-ROBLES C A, BONILLA-MOHENO M, et al. Can you really see 'green'? Assessing physical and self-reported measurements of urban greenery[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 36: 13-21.

[9] KIRK U, SKOV M, HULME O, et al. Modulation of aesthetic value by semantic context: an fMRI study[J]. NeuroImage, 2009, 44(3): 1125-1132.

[10] KYTTÄ M. The extent of children's independent mobility and the number of actualized affordances as criteria for child-friendly environments[J]. Journal of Environmental Psychology, 2004, 24(2): 179-198.

[11] 刘忠义，刘涟涟，蔡军.基于语义分割技术的人性化街道空间特征量化分析：以大连与斯德哥尔摩为例[J].城市环境设计，2024(2)：278-282.

[12] DAS S, MAITI J. Assessment of cognitive workload based on information theory enabled eye metrics[J]. Safety Science, 2024, 176: 106567.

[13] YARBUS A L. Eye Movements and vision[M]. New York: Plenum Press, 1967.

[14] 闫国利，白学军.眼动研究心理学导论：揭开心灵之窗奥秘的神奇科学[M].北京：科学出版社.

[15] 谭少华，李英侠.住区街道步行安全影响因素实证研究[J].城市问题，2014(8)：50-54.

[16] DUCHOWSKI A T. Eye tracking methodology: theory and practice[M]. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2017.

[17] LI N, ZHANG S S, XIA L, et al. Investigating the visual behavior characteristics of architectural heritage using eye-tracking[J]. Buildings, 2022, 12(7): 1058.

[18] NYSTRÖM M, ANDERSSON R, NIEHORSTER D C, et al. What is a blink? Classifying and characterizing blinks in eye openness signals[J]. Behavior Research Methods, 2024, 56(4): 3280-3299.

[19] PIRES I M, HUSSAIN F, M GARCIA N, et al. Homogeneous data normalization and deep learning: a case study in human activity classification[J]. Future Internet, 2020, 12(11): 194.

[20] HESS E H, POLT J M. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving[J]. Science, 1964, 143(3611): 1190-1192.

[21] HESS E H. Attitude and pupil size[J]. Scientific American, 2024, 212(4): 46-54.

[22] HARRISON A A. Exposure and popularity[J]. Journal of Personality, 1969, 37(2): 359-377.

[23] JANISSE M P. Pupil size, affect and exposure frequency[J]. Social Behavior and Personality: an International Journal, 1974, 2(2): 125-146.

[24] GENÇ S, MENDEŞ M. Multiple linear regression versus automatic linear modelling[J]. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinúriae Zootecnia, 2024, 76(1): 131-136.

[25] AL MUSHAYT N S, DAL CIN F, BARREIROS PROENÇA S. New lens to reveal the street interface. a morphological-visual perception methodological contribution for decoding the public/private edge of arterial streets[J]. Sustainability, 2021, 13(20): 11442.

[26] ASADI-SHEKARI Z, MOEINADDINI M, ZALY SHAH M. Pedestrian safety index for evaluating street facilities in urban areas[J]. Safety Science, 2015, 74: 1-14.