·慢性病的生命早期预防·

18～72 月龄正常儿童视动性眼球震颤反应视力分布及发育特征

黄丹[1]，王立华[2]，陈欣华[3]，李靖宇[4]，李曼丽[5]，孙鹏华[6]，安德祥[7]，仲爱梅[8]，张佩斌[1]，袁松涛[1]，
中华预防医学会儿童 OKN 筛查多中心研究协作组

1. 南京医科大学第一附属医院眼科，江苏 南京　210029；2. 北京市海淀区妇幼保健院眼保健中心；
3. 四川省妇幼保健院眼科；4. 南通市妇幼保健院眼科；5. 镇江市妇幼保健院儿童保健科；
6. 泰州市妇幼保健院眼科；7. 连云港市妇幼保健院眼科；8. 东台市妇幼保健院儿童保健科

摘　要：目的　基于多中心数据，探索 18～72 月龄正常儿童视动性眼球震颤反应（OKN）视力的年龄相关分布与发育轨迹特征。**方法**　本研究为横断面研究。于 2024—2025 年在 8 个参与中心招募 18～72 月龄受试儿童 3 118 例（其中男童占 50.8%，女童 49.2%），仅纳入无弱视风险因素的正常儿童，进行包括自动化 OKN 视力检测在内的综合性眼科检查。年龄按照每 6 个月的间隔分为 10 个组进行分析，双眼 OKN 视力比较采用配对 Wilcoxon 符号秩检验，Spearman 秩相关用于非参数单调趋势检验。**结果**　OKN 视力随年龄呈显著上升趋势（Spearman $\rho=0.888$，$P<0.001$）。18 月龄时测 OKN 视力 P_5 与 P_{50} 分别为 4.3 与 4.4，至 72 月龄上升至 4.6 与 4.9。分段线性回归显示 OKN 视力发育轨迹存在明确的年龄“拐点”：最优断点为 36 月龄；36 月龄前斜率为 0.110/每 6 个月，36 月龄后斜率约为 0.015/每 6 个月。分段模型较单线模型拟合显著更优（ΔAIC=514.0，LRT $F=560.6$，$P<2.2\times10^{-16}$）。**结论**　正常儿童 OKN 视力呈两阶段发育模式：18～36 月龄为快速增长期，年龄每增长 6 个月视力提升约 1 行，此后进入缓慢提升/平台期。该结果为建立 18～72 月龄 OKN 视力参照范围与临床解释提供了依据。

关键词：　视力；视动性眼球震颤；发育；百分位数；儿童

中图分类号：R779.7　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1008-6579(2026)10-1087-06　　doi:10.11852/zgetbjzz2026-0006

Age-related distribution and developmental characteristics of optokinetic nystagmus-based visual acuity in normal children aged 18 - 72 months

HUANG Dan[1], WANG Lihua[2], CHEN Xinhua[3], LI Jingyu[4], LI Manli[5], SUN Penghua[6], AN Dexiang[7], ZHONG Aimei[8], ZHANG Peibin[1], YUAN Songtao[1],
Multi-center Pediatric OKN Screening Collaboration of the Chinese Preventive Medicine Association

1. Department of Ophthalmology, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 2. Eye Care Center, Haidian Maternal and Child Health Hospital, Beijing; 3. Department of Ophthalmology, Sichuan Maternal and Child Health Hospital; 4. Department of Ophthalmology, Nantong Maternal and Child Health Hospital; 5. Department of Child Health Care, Zhenjiang Maternal and Child Health Hospital; 6. Department of Ophthalmology, Taizhou Maternal and Child Health Hospital; 7. Department of Ophthalmology, Lianyungang Maternal and Child Health Hospital; 8. Department of Child Health Care, Dongtai Maternal and Child Health Hospital

Corresponding authors: ZHANG Peibin, E-mail: peibinzhang@126.com; YUAN Songtao, E-mail: songtaoyuan@njmu.edu.cn

Abstract: Objective　To characterize the age-specific distribution and developmental pattern of optokinetic nystagmus (OKN)-based visual acuity in children aged 18 - 72 months using multicenter data. **Methods**　This multicenter cross-sectional study recruited 3 118 children aged 18 - 72 months from eight participating centers between 2024 and 2025, including 50.8% boys and 49.2% girls. Only children without identified amblyopia risk factors were included. All participants underwent comprehensive ophthalmic examinations, including automated OKN-based visual-acuity testing.

基金项目：中华预防医学会儿童保健研究项目（39）；国家自然科学基金青年科学项目（82003475）；江苏省妇幼保健协会科研项目（FYX202340）；江苏省人民医院妇幼高质量发展项目（GZL2533）

作者简介：黄丹（1991—），男，博士，主治医师，主要研究方向为小儿眼科。

通信作者：张佩斌，E-mail：peibinzhang@126.com；袁松涛，E-mail：songtaoyuan@njmu.edu.cn

Children were stratified into 10 age groups at 6-month intervals. Interocular differences in OKN-based visual acuity were assessed using the paired Wilcoxon signed-rank test, and monotonic age trends were evaluated using Spearman rank correlation. **Results** OKN-based visual acuity increased significantly with age (Spearman's $\rho=0.888$, $P<0.001$). The 5th and 50th percentile values at 18 months were 4.3 and 4.4, respectively, and increased to 4.6 and 4.9 at 72 months. Piecewise linear regression identified an age-related change point at 36 months. The slope was 0.110 per 6 months before the change point and approximately 0.015 per 6 months thereafter. The piecewise model provided a significantly better fit than the single linear model ($\Delta AIC=514.0$, $F=560.6$, $P<2.2\times10^{-16}$). **Conclusions** OKN-based visual acuity exhibited a two-phase age-related pattern. Values increase rapidly between 18 and 36 months—by approximately one visual-acuity line per 6-month increase in age—and then showed a slower increase or approaches a plateau. These findings provide an empirical basis for establishing age-specific reference values and interpreting OKN-based visual acuity in children aged 18-72 months.

Keywords: visual acuity; optokinetic nystagmus; development; percentile; children

视动性眼球震颤(optokinetic nystagmus, OKN)诱发的眼震是一种无需受试者主观配合即可客观评估视功能的方法,对于婴幼儿等无法配合常规视力表检查的人群具有重要临床意义[1-3]。研究表明,通过诱发 OKN 可获得与常规视力表一致性较高的视力指标[4]。此外,计算机化的 OKN 检测仪大幅提高了检查可行性和精确度[5],在 2～6 岁儿童中的总体检查成功率达 90%以上,显著高于传统视力表检查的 71%[6]。这些特点使 OKN 视力检测成为早期发现视力发育异常的有力工具。

尽管 OKN 检测具有独特优势,但既往研究仍存在不足。不同年龄段儿童 OKN 视力的发育规律和参考范围尚未被大规模、多中心研究充分确定。早期文献多为小样本研究,定性描述婴幼儿视觉行为或提供粗略标准,缺乏详细的年龄相关视力分布数据和百分位参考值。基于以上背景,本研究拟开展针对儿童 OKN 视力的大样本研究,系统描绘其随年龄发育变化的规律,提供各年龄段视力分布的参考百分位值,考察双眼间及性别间差异,并探索 OKN 视力是否存在不同的阶段特点,以期为临床提供客观视力筛查的新依据。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为多中心横断面研究。于 2024—2025 年在江苏省妇幼保健院、北京市海淀区妇幼保健院、四川省妇幼保健院、南通市妇幼保健院、镇江市妇幼保健院、泰州市妇幼保健院、连云港市妇幼保健院、东台市妇幼保健院等 8 个参与中心招募受试儿童。受试对象均为接受定期健康检查的儿童。纳入标准:1)儿童接受完整眼检查项目;2)监护人同意接受 OKN 检查。排除标准:1)患有先天性或继发性眼球震颤以及头部晃动等影响检测结果的疾病者;2)近期有眼部感染及其他活动性眼部病变者;3)家属拒绝接受 OKN 视力检查;4)根据《国家卫生健康委办公厅关于印发 0～6 岁儿童眼保健及视力检查服务规范(试行)的通知》制定的异常标准,患有严重屈光不正、显性斜视或屈光介质浑浊[7]。

本研究仅纳入无弱视风险因素的正常儿童。受试儿童根据不同体检时点被分入 10 个年龄亚组,包括:18 月龄组(16～21 月)、24 月龄组(22～27 月)、30 月龄组(28～33 月)、36 月龄组(34～39 月)、42 月龄组(40～45 月)、48 月龄组(46～51 月)、54 月龄组(52～57 月)、60 月龄组(58～63 月)、66 月龄组(64～69 月)、72 月龄组(70～75 月)。

本研究通过南京医科大学第一附属医院伦理审查委员会的审核(伦理批号:2024-SR-190),严格按照《赫尔辛基宣言》实行。调查人员向受试者法定监护人讲解检查内容,愿意参与者由监护人签署知情同意书。

1.2 检查方法

1.2.1 眼科检查项目 包括自动 OKN 视力检测仪(青岛鹏锋诚医疗科技有限公司,中国)、眼外观、视物行为观察、单眼遮盖厌恶试验、屈光筛查仪(The Spot Vision Screener, Welch Allyn 公司, 美国)、眼位及眼球运动、红光反射检查等。

1.2.2 自动 OKN 视力检测方法 OKN 视力检测是在检测仪形成的暗箱中进行。受试儿童的双眼位于检测镜头的上方,自然睁开。先检测右眼,遮盖左眼;再检测左眼,遮盖右眼。受试儿童需要注视距离为 1.5m 处的黑白移动条栅视标,视标黑色部分和白色部分的宽度与标准对数视力表视力各等级 E 的线宽一一对应。条栅视标自 4.0 开始,由大到小依次显示。设备内的红外摄像仪捕捉移动条栅视标引出的 OKN,随即在计算机中生成锯齿状眼震波形,系统自动筛选符合 OKN 特征的锯齿状眼震波形。当在一轮检测中锯齿状眼震波形≥3 个时,则计算机默认受试儿童可辨认此轮视标,并自动进入下一轮视力检测。单轮视力检测时间为 2.5s。检测终点

为能引出锯齿状眼震波形的最小移动视标。根据是否产生有意义眼震波形的情况，系统自动判读视力结果。左眼检测过程与右眼一致。使用缪氏五分记录法记录视力结果，以 5 分减去视角的对数值表达视力。

1.2.3　质量控制　本研究开展前对各参与中心研究人员进行统一培训，确保统一的检查流程和操作规范。所有中心均使用同型号 OKN 视力检测设备。研究数据汇总后，由研究团队进行数据完整性检查及异常值核查，对缺失数据、异常记录进行复核，以保证数据质量和分析结果的可靠性。

1.3　统计学方法　采用 R 软件（version 4.5.1）完成分析。以右眼 OKN 视力为主要指标。按各月龄组计算第 5、25、50、75、95 百分位数（P_5、P_{25}、P_{50}、P_{75}、P_{95}）用于描述分布特征。其中 P_{50} 用于反映该年龄组的典型水平；P_{25}～P_{75} 表示四分位间距（IQR），P_5～P_{95} 表示总体离散范围。双眼 OKN 视力比较采用配对 Wilcoxon 符号秩检验。不同性别组间的视力比较采用 Mann-Whitney U 检验。Spearman 秩相关用于非参数单调趋势检验，并绘制“OKN 视力-月龄组”百分位趋势图。

为检验 OKN 视力发育是否存在阶段性变化，采用带铰链函数的分段线性回归模型：$OKN=\beta_0+\beta_1\cdot Age+\beta_2\cdot \max(0, Age-k)+\varepsilon$。其中，Age 为组中位月龄，k 为未知断点，max(0，Age－k) 表示铰链函数，ε 为误差项。断点前斜率＝β_1；断点后斜率＝$\beta_1+\beta_2$。

在剔除边界后的所有可选月龄点上进行网格搜索，以赤池信息准则（Akaike Information Criterion，AIC）最小作为最优断点的判据，并与单一线性模型（OKN～Age）进行似然比检验（LRT）/方差分析比较（ANOVA）。报告：1）断点估计值 k（月龄）；2）断点前斜率 β_1 与断点后斜率 $\beta_1+\beta_2$；3）模型拟合优度差异（ΔAIC、F 值及 P 值）。为便于临床解释，同时将斜率换算为每 6 个月的视力变化量。AIC 在相同数据的候选模型间进行相对比较，不提供“显著性”的 P 值；LRT 则提供显著性检验，用于验证更复杂模型是否显著改进拟合。所有检验均为双侧检验，$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　研究对象与总体双眼比较　共纳入 3 118 例正常儿童（男童占比 50.8%），月龄范围 18～72 月，$M(P_{25}, P_{75})$ 为 38（30，46）。右眼与左眼 OKN 视力呈高度正相关（$r=0.958$，$P<0.001$）。右眼 OKN 视力为 4.80（4.60，4.90），左眼为 4.80（4.60，4.90）；双眼视力差（OD-OS）为 0.00（0.00，0.00），Wilcoxon 符号秩检验显示差异具有统计学意义（$W=358111$，$P=0.001$）。按中心分层后，各中心样本量、性别比例、月龄范围与 OKN 视力见表 1。

表 1　纳入的各中心儿童基本特征

Tab. 1　Characteristics of children in different centers

中心	人数	男（%）	女（%）	月龄范围	月龄[$M(P_{25}, P_{75})$]	OKN 视力[$M(P_{25}, P_{75})$]
江苏省妇幼保健院	261	54.80	45.20	18～72	25（18，34）	4.6（4.5，4.7）
北京市海淀区妇幼保健院	792	51.80	48.20	18～54	38（33，42）	4.9（4.8，5.0）
四川省妇幼保健院	436	51.40	48.60	18～48	40（35，45）	4.8（4.8，4.9）
南通市妇幼保健院	494	47.00	53.00	18～72	31（24，36）	4.5（4.5，4.7）
镇江市妇幼保健院	355	55.50	44.50	18～72	53（44，63）	4.7（4.6，4.8）
泰州市妇幼保健院	339	46.90	53.10	24～72	57（48，66）	4.9（4.9，5.0）
连云港市妇幼保健院	109	56.90	43.10	18～48	30（24，37）	4.6（4.6，4.7）
东台市妇幼保健院	332	47.30	52.70	18～60	38（36，43）	4.7（4.7，4.7）
总体	3 118	50.80	49.20	18～72	38（30，46）	4.8（4.6，4.9）

2.2　各月龄组 OKN 视力分布及性别比较　10 个月龄组儿童 OKN 视力的 P_{50} 值随月龄增加呈上升趋势：18 月龄组为 4.4，至 72 月龄组增至 4.9；各组 P_5～P_{95} 值总体位于 4.3～5.0 之间，P_{25}～P_{75} 区间与 P_5～P_{95} 区间也随年龄增加整体上移。但以 Wilcoxon 秩和检验比较不同性别儿童 OKN 视力在各年龄组的 P_{50} 值，差异均无统计学意义（$P>0.05$）；整体样本性别间差异亦无统计学意义（$P>0.05$）。见表 2。

2.3　年龄相关性与组间差异　单因素方差分析显示 18～72 月龄儿童 OKN 视力在 10 个年龄组间差异有统计学意义（$F=233.2$，$P<0.001$）。在线性回归模型中，OKN 视力与月龄呈正相关，斜率 $\beta=0.0076$/月（$P<0.001$），模型决定系数 $R^2=0.283$。

年龄相关的百分位趋势显示：P_{50}（实线）随月龄上升，于 36 月龄附近趋平并在 66～72 月出现轻度上移；P_{25}～P_{75}（深色阴影）与 P_5～P_{95}（浅色阴影）整体上移并在 36 月龄后带宽基本稳定。图内标注的相关性（Spearman $\rho=0.888$，$P<0.001$）对应组水平的中位数趋势。见图 1。

表 2 各月龄组儿童 OKN 视力分布及性别对比

Tab. 2 Age- and sex-specific distribution of OKN-based visual acuity

年龄组(月)	人数	P_5	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{95}	男童(%)	男童 P_{50}	女童(%)	女童 P_{50}	Z 值	P 值
18	203	4.3	4.3	4.4	4.5	4.8	50.7	4.4	49.3	4.4	0.15	0.880
24	378	4.4	4.5	4.5	4.6	4.9	47.1	4.6	52.9	4.5	0.83	0.405
30	365	4.5	4.5	4.6	4.8	4.9	49.0	4.6	51.0	4.6	0.12	0.906
36	768	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0	48.7	4.8	51.3	4.8	0.26	0.794
42	592	4.6	4.8	4.8	4.9	5.0	53.9	4.8	46.1	4.8	−0.68	0.500
48	360	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	53.1	4.8	46.9	4.8	−0.80	0.424
54	129	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	54.3	4.8	45.7	4.8	0.77	0.439
60	127	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	50.4	4.8	49.6	4.9	−1.36	0.173
66	97	4.6	4.7	4.8	5.0	5.0	55.7	4.8	44.3	4.9	0.05	0.958
72	99	4.6	4.8	4.9	5.0	5.0	53.1	4.9	46.9	4.9	0.33	0.742

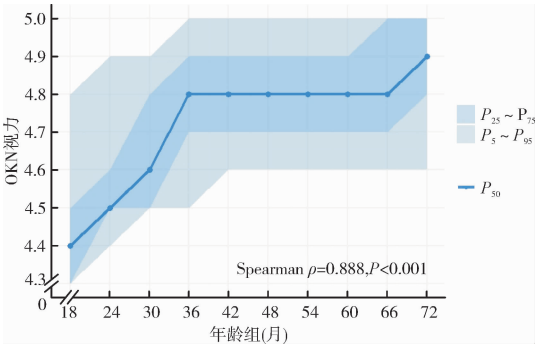

图 1 18～72 月龄学龄前儿童 OKN 视力的年龄相关百分位趋势图

Fig. 1 Age-related percentile trends of OKN-based visual acuity in children aged 18 - 72 months

2.4 *两阶段视力发育的分段回归证据* 分段线性回归提示 OKN 视力存在阶段性增长：最优断点在 36.0 月；断点前斜率为 0.0184/月(≈0.110/每 6 个月)；断点后斜率为 0.0025/月(≈0.015/每 6 个月)。

与单一直线模型相比，分段模型拟合显著更优(ΔAIC=514.0；LRT $F=560.6$，$P<2.2\times10^{-16}$)，调整 R^2 值由 0.283 提升至 0.392。上述结果表明：18～36 月为 OKN 视力的快速增长期，其后进入缓慢提升/平台期。

3 讨 论

3.1 *儿童 OKN 视力的分布界值与发育规律* OKN 的检测原理为：当视野中出现连续移动的黑白条纹刺激时，观察者的眼球会出现随条纹运动的慢相与快速回退的快相，这一反射可用于客观判断受试者是否能分辨条纹，是评估外周视或周边运动敏感性的重要指标，反映客观视力与周边视觉的功能[8-9]。本研究描绘了儿童 OKN 视力随年龄增长的发育轨迹，证实婴幼儿期视力迅速提高，此后逐渐趋于平稳的非线性模式。这与既往不同文献报道的结果相吻合：正常新生儿通过 OKN 诱发的视力下限约在 6/120 左右，在出生后数月内视觉敏感度快速提升[10]。利用偏好注视法的纵向研究同样显示，0～6 月龄婴儿视觉发育极为迅速[11]。一个基于 Teller 视力卡(Teller Acuity Cards Ⅱ)的荟萃分析显示，儿童视力在最初约 8 个月内快速增长[12]。本研究通过分段回归分析发现，幼儿期存在明确的视力发育拐点，OKN 视力在大约 3 岁时增速明显放缓，进入平稳发展阶段。这一点得到相关研究的支持：有研究通过 OKN 定量测定发现正常儿童在 3 岁左右已达到接近成人的视力[13]。另有研究报告健康儿童 6 个月时平均单眼视力约 5.7 cpd 空间频率，48 个月时提高至 24.8 cpd，4 年内提高了约 2.12 倍频程[14]。本研究结果基本再现了这一发育进程，通过大样本量的数据分析，将发育拐点定位到了 36 月龄左右，并提供了各年龄段更精细的视力分布百分位参考值。这些客观数据可为体检筛查场景下儿童视功能发育水平的评估提供年龄参照依据。现行《弱视诊治指南》主要基于表格式视力检查提出年龄相关的异常界值，例如 3～5 岁儿童单眼最佳矫正视力＜0.5、6 岁及以上＜0.7 可视为异常[15]。鉴于 OKN 视力属于客观诱发反应，其量化结果与表格式最佳矫正视力并不等同，本研究给出的 OKN 视力 P_5 曲线可作为体检筛查场景的客观参照下限，用于辅助早期识别视功能发育偏离个体，并为后续建立 OKN 相关的客观筛查阈值提供数据依据[16-17]。

3.2 *儿童 OKN 视力“两阶段”发育轨迹的生理基础* 本研究中 OKN 视力出现随年龄增长“先快后缓”的轨迹，符合周边-亚皮层运动系统的成熟过程，与其成熟时间轴高度吻合。OKN 的发生器主要位于副视束系统与视束核(NOT)/背侧终核(DTN)等亚皮层结构，它们接收来自大感受野、慢速运动选择性的视网膜神经节细胞输入并对整场光流作出反应，是婴幼儿早期即可启动的反射通路。随着年龄

增长，皮层追随/追踪系统与亚皮层通路的耦合逐步增强，OKN 的方向不对称性（早期对颞→鼻方向更敏感）逐渐消退：在人类婴儿中，3～24 月龄间该不对称性显著缩小（约从 3.2 个倍频降至 0.7 个倍频），提示皮层参与度与网络整合度在头两年快速提升，导致所观察到的“快速段”增长[18]。此外，量化运动反应强度的 OKN gain 在人类健康人群中持续增加直至约 3 岁后进入平台期，这与本研究以 36 月为拐点、此后增速显著放缓的分段回归结果一致；成年后 OKN gain 在中年以前基本稳定，提示学龄前完成主要成熟[19]。

OKN 的这些发育特征体现的是周边运动加工-亚皮层驱动-皮层协同的成熟，并非中央凹的高分辨率功能。因此，当儿童进入较高视力区间时，OKN 作为客观运动反射的分辨能力可能出现“天花板”限制[10]，这也解释了 OKN 曲线后段趋于平缓，但主观表格式视力仍可细微提升的现象。两者评估维度不同、在临床上应互补使用。

3.3　*本研究优势与临床价值*　本研究结果对儿童眼保健和弱视筛查具有直接的应用价值。首先，本研究提供了不同年龄段儿童 OKN 客观视力的参考范围和下限值，有助于临床医生判断某一患儿视力是否在正常发育范围内。传统上，对于 3 岁以下幼儿临床上缺乏定量视力检查手段，往往难以及时发现严重视力不良或单眼异常。本研究弥补了这一不足，表明 OKN 检测可以在低龄儿童获得可靠的视力值，并据此筛查出潜在高风险个体。传统方法由于婴幼儿不易配合导致准确性难以保证，相较而言，基于计算机图像识别及追踪识别技术的 OKN 客观视力检查在婴幼儿中的成功率和准确性较高[6]，为早期筛查提供了新的途径。结合本研究的年龄百分位表，保健人员可以迅速客观地筛出低于阈值的儿童，及早转诊眼科进一步诊治，从而降低弱视漏诊和延误。可见 OKN 视力的标准数据为客观弱视筛查奠定了基础。

采用计算机化 OKN 检测仪进行儿童视力检查在本研究中展现出多项优势。其一是客观准确：设备通过红外眼动追踪自动记录眼震波形，以是否出现典型 OKN 波形判断视力阈值，避免了传统视力表依赖儿童配合和主观报告的不确定性。其二是适用低龄儿童：在前期研究中，本团队发现 OKN 检测的总体可测率在 18 月～4 岁幼儿中为 82%[20]。这与 Zhu 等[6]报告一致：在 2～6 岁组中 OKN 法成功率达 90.6%，而常规视力表只有 71.0%。对于学前儿童尤其是 2～3 岁幼儿，OKN 法的优势会更加明显。

3.4　*本研究的局限性*　OKN 检测也存在一定局限性。首先，本研究基于屈光筛查仪数据来判定正常人群，而非睫状肌麻痹验光结果，这可能导致屈光状态的误分类，少数儿童被误诊或漏诊，影响界值判定。因此，本研究提供的参考值更适用于体检筛查场景。其次，各参与中心覆盖的月龄范围存在差异，可能影响整体结果。OKN 反射固有的生理特点意味着检测结果需谨慎解释：例如，皮层视觉损伤但皮下通路完整者可能仍有眼震，必要时应结合其它检查（如 VEP 或影像学）综合评估；而神经运动发育迟缓的儿童可能 OKN 反应阈值偏高，并非纯粹视觉感知差异。这些都属于 OKN 法的局限，需在临床应用中充分考虑。

本研究所用 OKN 检测方法在客观量化儿童视力方面显示出巨大潜力，但在推广应用前仍有进一步优化和验证的空间，建议加强对基层儿保医生的培训，使其了解和掌握 OKN 检测技术，从而将其融入儿童视觉发育监测体系中。总之，OKN 视力检测为儿童视力评估和弱视筛查提供了宝贵的客观手段，后续研究和应用应不断深化，有望进一步提高弱视的早发现率和干预效果，促进儿童视觉健康。

利益冲突声明　本文不存在利益冲突

数据可用性声明　本研究的原始数据因涉及参与者隐私保护、伦理限制及法律约束等原因，无法公开共享。经脱敏处理后的数据可根据合理请求，向负责人袁松涛教授（songtaoyuan@njmu.edu.cn）申请获取。申请人须通过伦理委员会审批，并签署数据使用协议。

AIGC **工具使用声明**　在本研究的准备过程中，作者使用了 ChatGPT 来核验校对 R 软件代码。作者已对生成内容进行了审查和编辑，并对出版物内容承担全部责任。

参考文献

[1] 李长菲，刘桂香，黄启坤，等. 视动性眼球震颤法在儿童视力检查中的应用分析[J]. 中国眼耳鼻喉科杂志，2022，22(5)：469-473.
Li CF, Liu GX, Huang QK, et al. Application analysis of optokinetic nystagmus method in visual acuity examination in children[J]. Chinese Journal of Ophthalmology and Otorhinolaryngology, 2022, 22(5): 469-473. (in Chinese)

[2] Turuwhenua J, LinTun Z, Norouzifard M, et al. OKN-Fast: Objective visual acuity threshold measurement using the optokinetic response[C]. IEEE EMBC, 2023, 2023: 1-4.

[3] 宋钰，马玉娜，刘桂香，等. 运用视动性眼球震颤法检测视力的可行性研究[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志，2020，28(1)：23,25, 28-29.
Song Y, Ma YN, Liu GX, et al. Feasibility study of visual acuity measurement using optokinetic nystagmus[J]. Chinese Journal of Strabismus and Pediatric Ophthalmology, 2020, 28(1): 23,25, 28-29. (in Chinese)

[4] Min X, Rehman FU, Jing W, et al. Preliminary study on the computer-based optokinetic nystagmus analyzer to detect the visual acuity of preschool children[J]. Indian J Ophthalmol, 2024, 72(Suppl 2): 162-166.
[5] Turuwhenua J, LinTun Z, Norouzifard M, et al. Automated visual acuity estimation by optokinetic nystagmus using a stepped sweep stimulus[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2024, 44(7): 1500-1512.
[6] Zhu B, Yang M, Liu X, et al. Assessing pediatric visual acuity with a computerized optokinetic nystagmus analyzer [J]. Clinics (Sao Paulo), 2025, 80: 100671.
[7] 国家卫生健康委办公厅. 关于印发 0～6 岁儿童眼保健及视力检查服务规范(试行)的通知[EB/OL]. 中华人民共和国国家卫生健康委员会公报, 2021(6): 8-37.
[8] Wester ST, Rizzo JF, Balkwill MD, et al. Optokinetic nystagmus as a measure of visual function in severely visually impaired patients[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2007, 48 (10): 4542-4548.
[9] Gurnani B, Kaur K, Chaudhary S, et al. Nystagmus in clinical practice: From diagnosis to treatment-a comprehensive review[J]. Clin Ophthalmol, 2025, 19: 1617-1657.
[10] Han S, Han E, Hyon J, et al. Measurement of distance objective visual acuity with the computerized optokinetic nystagmus test in patients with ocular diseases[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2011, 249: 1379-1385.
[11] Lim M, Soul JS, Hansen RM, et al. Development of visual acuity in children with cerebral visual impairment[J]. Arch Ophthalmol, 2005, 123(9): 1215-1220.
[12] Neijzen CM, de Wit FM, Hettinga YM, et al. Reference values for the Teller Acuity Cards Ⅱ (TAC Ⅱ) in infants and preverbal children, a meta-analysis[J]. Acta Ophthalmol, 2025, 103(4): 479-485.
[13] Doustkouhi SM, Turnbull PRK, Dakin SC. The effect of refractive error on optokinetic nystagmus[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 20062.
[14] Mayer DL, Beiser AS, Warner AF, et al. Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards between ages one month and four years[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 1995, 36(3): 671-685.
[15] 中华医学会眼科学分会斜视与小儿眼科学组, 中国医师协会眼科医师分会斜视与小儿眼科学组. 中国儿童弱视防治专家共识(2021 年)[J]. 中华眼科杂志, 2021, 57(5): 336-340.
Strabismus and Pediatric Ophthalmology Group, Chinese Ophthalmological Society, Chinese Medical Association, et al. Expert consensus on prevention and treatment of amblyopia in children (2021)[J]. Chinese Journal of Ophthalmology, 2021, 57(5): 336-340. (in Chinese)
[16] 李玲, 张红. 儿童青少年眼健康管理研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2022, 30(4): 413-416.
Li L, Zhang H. Research progress on eye health management in children and adolescents[J]. Chin J Child Health Care, 2022, 30(4): 413-416. (in Chinese)
[17] 崔丽红, 姚聪. 儿童视力障碍的诊断与检查判定[J]. 中国实用儿科杂志, 2018, 33(4): 265-267.
Cui LH, Yao C. Diagnosis and examination criteria for visual impairment in children[J]. Chin J Prac Pediatr, 2018, 33(4): 265-267. (in Chinese)
[18] Lewis TL, Maurer D, Chung JY, et al. The development of symmetrical OKN in infants: Quantification based on OKN acuity for nasalward versus temporalward motion[J]. Vision Res, 2000, 40(4): 445-453.
[19] Valmaggia C, Rütsche A, Baumann A, et al. Age related change of optokinetic nystagmus in healthy subjects: A study from infancy to senescence[J]. Br J Ophthalmol, 2004, 88(12): 1577-1581.
[20] 黄丹, 杨翎, 王荔, 等. 视动性眼球震颤法在 18 月～4 岁儿童视力检测中的应用研究[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2023, 31(4): 37-40, 68.
Huang D, Yang L, Wang L, et al. Application of optokinetic nystagmus method in visual acuity assessment among children aged 18 months to 4 years[J]. Chinese Journal of Strabismus and Pediatric Ophthalmology, 2023, 31(4): 37-40, 68. (in Chinese)

收稿日期:2026-01-04 **修回日期**:2026-06-01 **本文编辑**:雷晓梅

(上接第 1086 页)

[8] Hernández-Barrera L, Trejo-Valdivia B, Téllez-Rojo MM, et al. Pre-gestational obesity and gestational weight gain as predictors of childhood obesity[J]. Arch Med Res, 2024, 55(4): 103006.
[9] Yuan N, Zhao D, Xu X, et al. Maternal prepregnancy overweight: Associations with maternal and offspring weight 4-7 years postpartum[J]. J Diabetes Res, 2026, 2026: 9989579.
[10] Lai T, Mao A, Yang L, et al. Association of maternal metabolic risk factors with offspring body mass index (BMI) trajectories in early childhood: A retrospective cohort study[J]. BMJ Open, 2025, 15(3): e088641.
[11] Frayling TM, Timpson NJ, Weedon MN, et al. Acommon variant in the FTO gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity[J]. Science, 2007, 316(5826): 889-894.
[12] de Araújo TM, Velloso LA. Hypothalamic IRX3: A new player in the development of obesity[J]. Trends Endocrinol Metab, 2020, 31(5): 368-377.
[13] de Araujo TM, Razolli DS, Correa-da-Silva F, et al. The partial inhibition of hypothalamic IRX3 exacerbates obesity [J]. EBioMedicine, 2019, 39: 448-460.
[14] Yao J, Wu D, Zhang C, et al. Macrophage IRX3 promotes diet-induced obesity and metabolic inflammation[J]. Nat Immunol, 2021, 22(10): 1268-1279.
[15] Barzen C, Vogel M, Kiess W, et al. Associations between gestational weight gain andweight development of the offspring: Differences depending on maternal pre-pregnancy BMI[J]. Arch Gynecol Obstet, 2024, 310(1): 395-403.
[16] Li N, Liu E, Guo J, et al. Maternal prepregnancy body mass index and gestational weight gain on offspring overweight in early infancy[J]. PLoS One, 2013, 8(10): e77809.
[17] Lee J, Lee NK, Moon JH. Gestational diabetes mellitus: Mechanisms underlying maternal and fetal complications [J]. Endocrinol Metab, 2025, 40(1): 10-25.
[18] Chu AHY, Godfrey KM. Gestational diabetes mellitus and developmental programming[J]. Ann Nutr Metab, 2020, 76(Suppl 3): 4-15.

收稿日期:2026-06-04 **修回日期**:2026-08-09 **本文编辑**:王悦