



青春期前儿童眼动追踪能力的研究

报告人：洪宝

导师：李黎(上海纽约大学)

2023.08.02

不同类型的眼动

- 眼动追踪涉及两种不同类型的眼球运动：
 - (1) 平滑追踪(smooth pursuit)
 - (2) 眼跳(saccades)

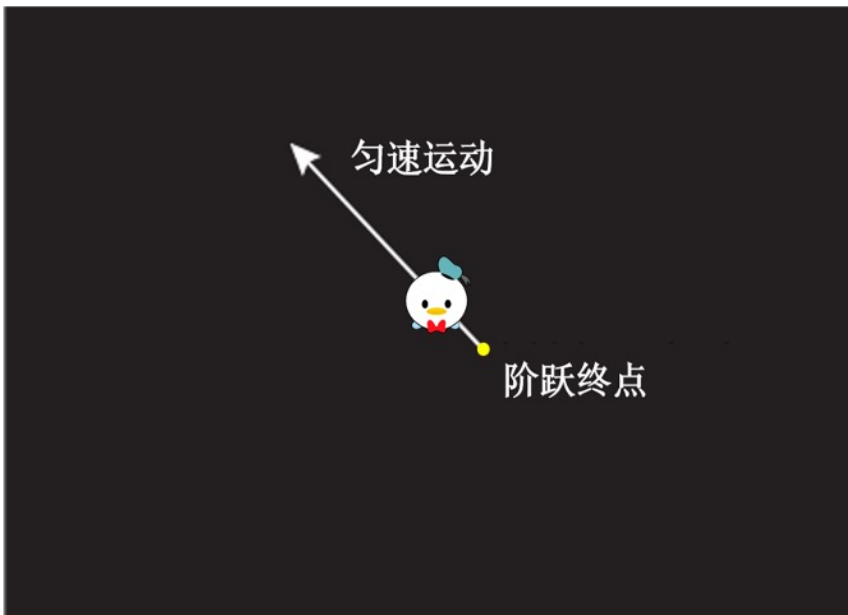


以往研究的局限

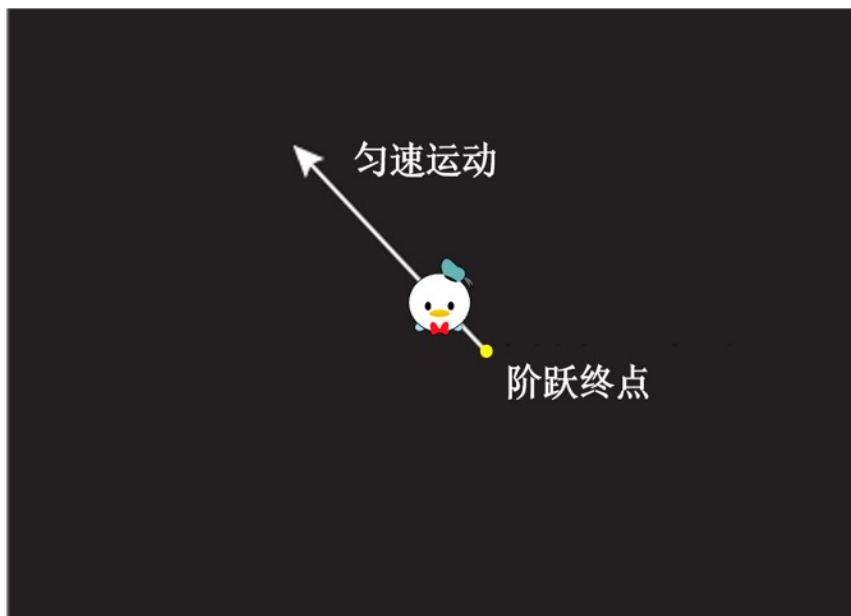
- 使用的眼动追踪任务仅对平滑追踪和眼跳的某些指标进行测量
- 测量的眼动追踪能力混杂了预测能力

当前研究任务范式

- 成熟的实验范式
 - Step-ramp
 - 2018年美国航天局专利技术
- 儿童友好的设计
 - 任务时长：~ 8分钟
 - 卡通目标
 - 每个试次后积极反馈（与表现无关）
- 全面的眼动追踪能力评估
 - 平滑追踪
 - 眼跳对平滑追踪的补偿
 - 眼动追踪中的视觉运动处理能力



该任务在不同人群的应用



- 脑外伤群体 (Liston et al., 2016)
- 睡眠剥夺者 (Stone et al., 2019)
- 酒精影响 (Tyson et al., 2021; Chen et al., in preparation)
- 棒球运动员 (Chen, Stone, & Li, 2021)
- 神经退行性疾病患者 (Chen et al., 2022)

Chen, Stone, & Li. (2021). *Journal of Vision*.

Chen et al., (2022). *Movement Disorders*.

Liston, Wong, & Stone. (2017). *Optometry and Vision Science*

Stone, Tyson, Cravalho, Feick, & Flynn-Evans, (2019). *The Journal of Physiology*

Tyson, Feick, Cravalho, Flynn-Evans, & Stone. (2021). *The Journal of Physiology*

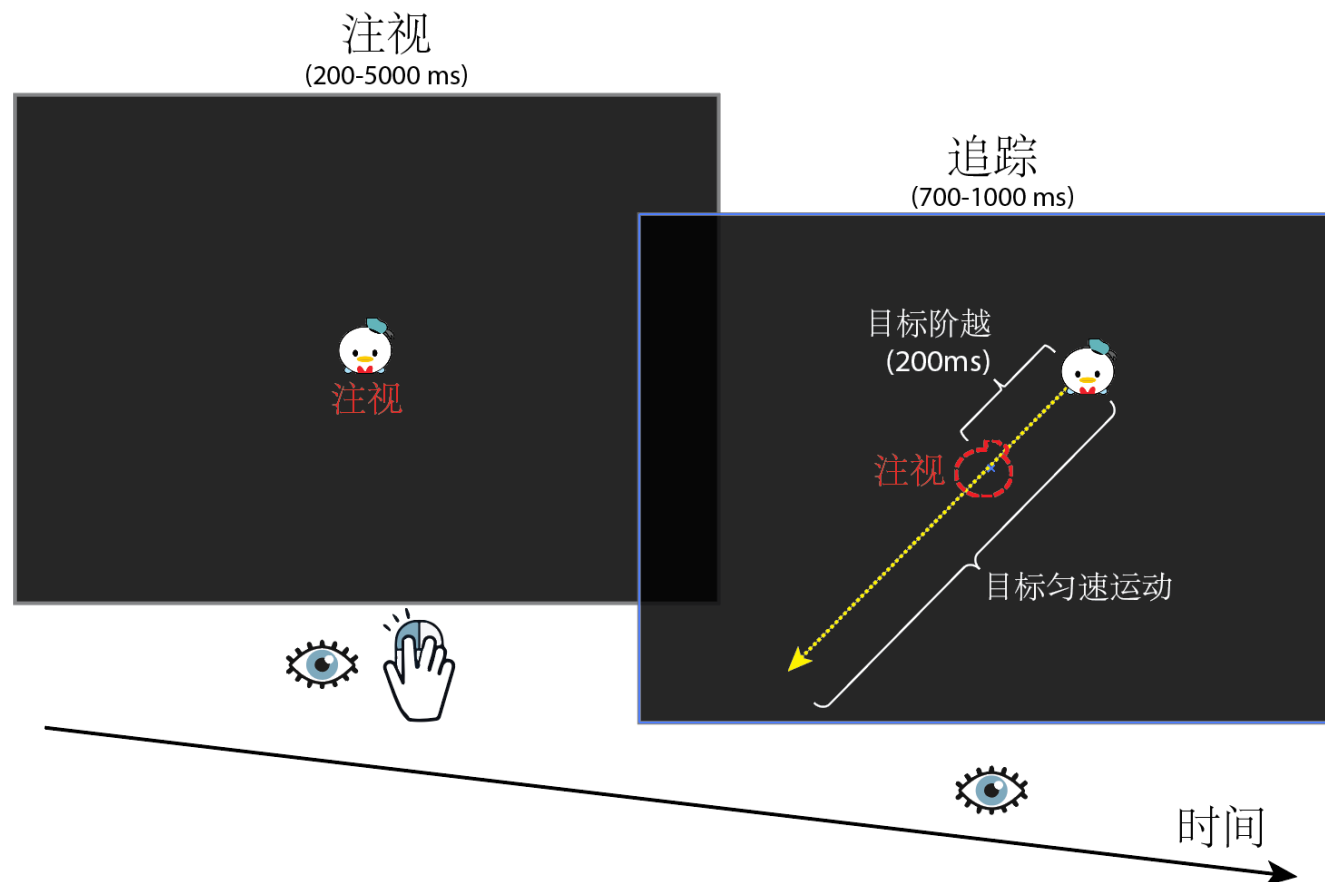
眼动追踪任务



EyeLink 1000 Plus (SR Research, Canada)

试次数量
目标运动方向
目标运动速度

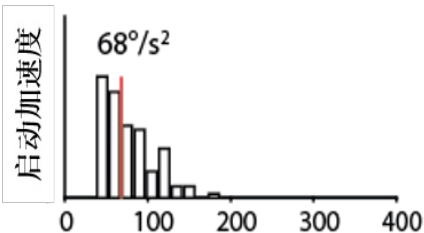
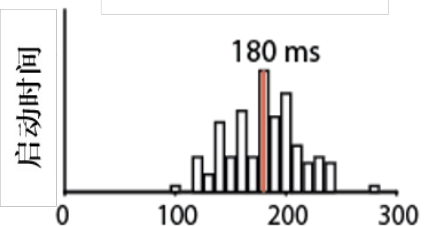
90
0-360°, in 4° steps
16-24 deg/s



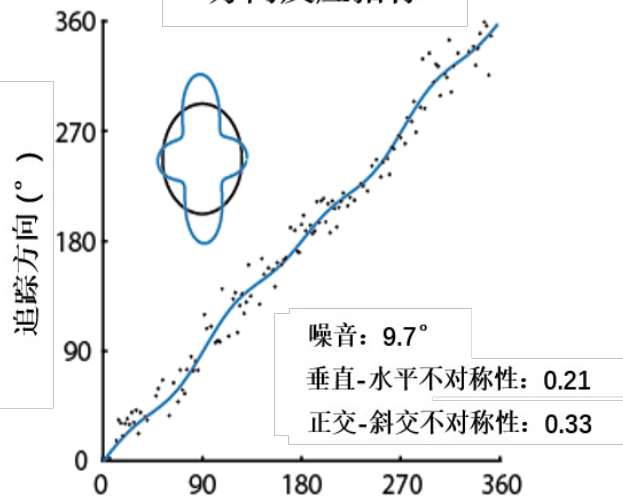


12个测量指标

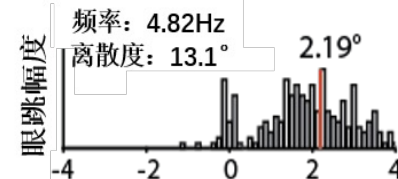
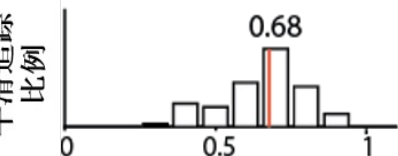
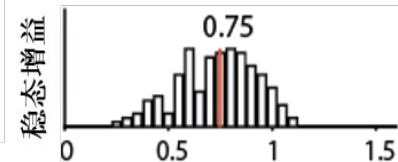
启动阶段



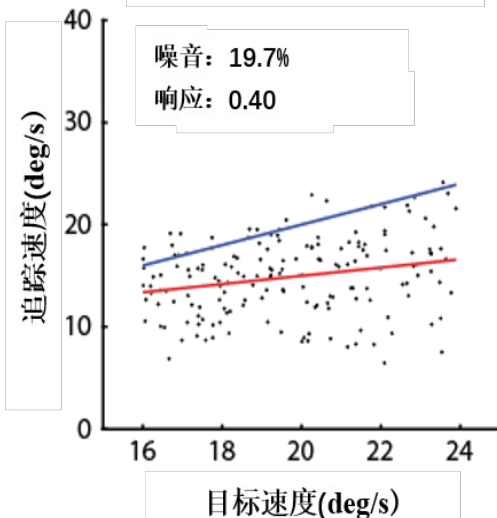
方向反应指标



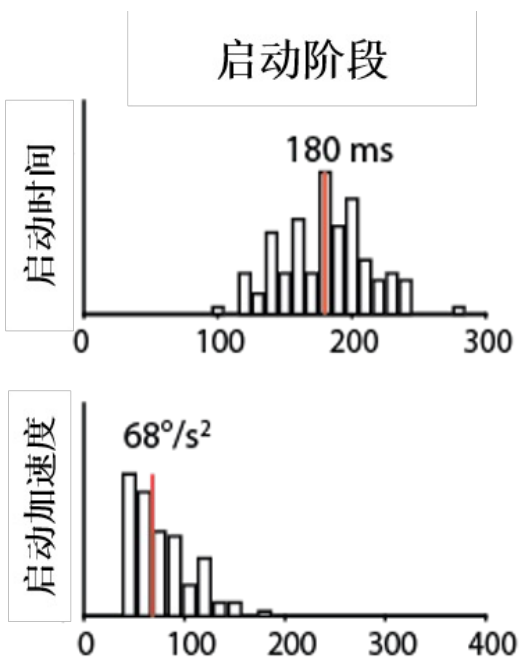
稳态追踪阶段



目标方向(°)
速度反应指标

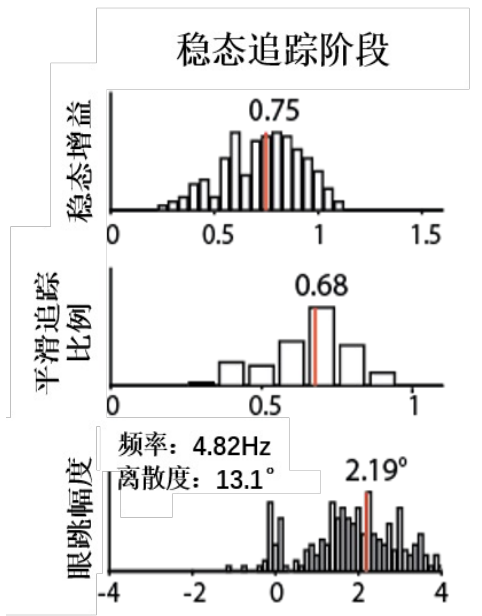


12个测量指标



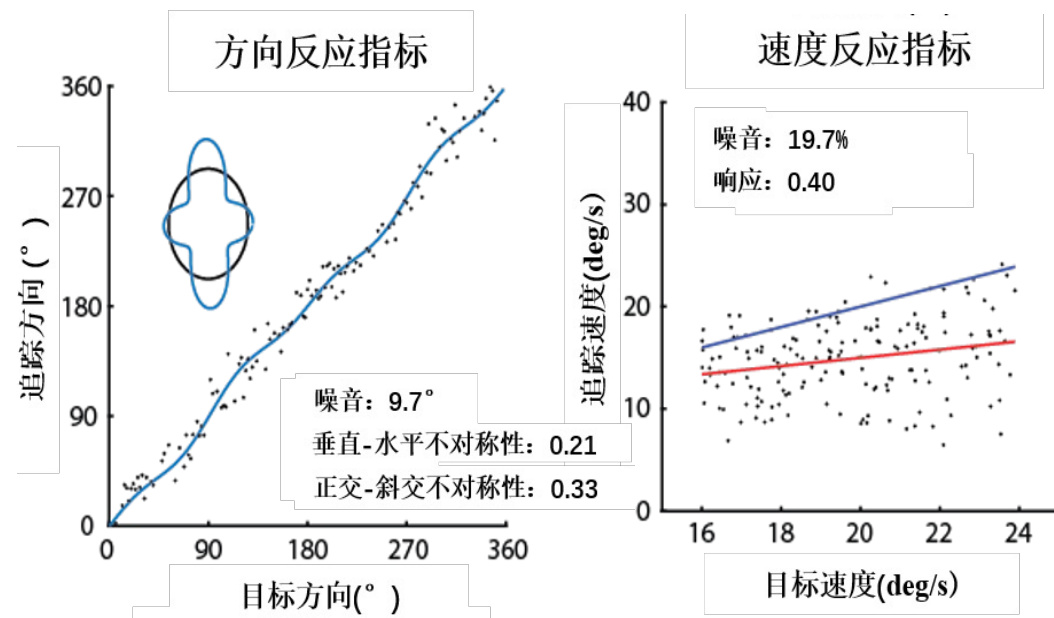
| 指标模块 | 含义 | 指标名称 | 指标含义 | 功能 |
|----------------|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------|
| 初始启动 (开环反应) | 测试眼动快速启动追踪的能力 | 启动反应时 | 眼睛开始追踪目标的反应时间 | 测试平滑追踪 |
| | | 启动加速度 | 眼睛为了能够从静止状态达到与目标匹配的速度而产生的加速度 | |
| 稳态追踪 (闭环反应) | 测试追踪时眼动运动匹配目标运动的能力 | 稳态增益 | 眼睛的速度(矢量)与目标的速度(矢量)的匹配程度 | 测试眼跳对平滑追踪的补偿 |
| | | 平滑追踪比例 | 眼睛进行平滑追踪的时间占整个稳态追踪时间的比例 | |
| | | 眼跳频率 | 在平滑追踪过程中的眼跳频率 | |
| | | 眼跳幅度 | 眼睛在追赶目标时眼跳幅度的大小 | |
| | | 眼跳离散度 | 眼睛在追赶目标时眼跳方向的精度 | |
| 对目标的方向进行反应 | 描述区分不同目标方向的能力 | 垂直-水平不对称性 | 眼睛沿水平方向和沿垂直方向追踪时的方向准确度的差异 | 测试眼动追踪中的视觉运动处理能力 |
| | | 正交-斜交不对称性 | 眼睛沿正交坐标方向和沿斜交坐标方向追踪目标时的方向准确度的差异 | |
| | | 方向噪音 | 追踪方向的精度 | |
| 对目标的速度进行反应 | 描述区分不同目标速度的能力 | 速度反应 | 眼睛绝对速度与目标绝对速度的匹配程度 | |
| | | 速度噪音 | 追踪速度的精度 | |

12个测量指标



| 指标模块 | 含义 | 指标名称 | 指标含义 | 功能 |
|----------------|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------|
| 初始启动 (开环反应) | 测试眼动快速启动追踪的能力 | 启动反应时 | 眼睛开始追踪目标的反应时间 | 测试平滑追踪 |
| | | 启动加速度 | 眼睛为了能够从静止状态达到与目标匹配的速度而产生的加速度 | |
| 稳态追踪 (闭环反应) | 测试追踪时眼动运动匹配目标运动的能力 | 稳态增益 | 眼睛的速度(矢量)与目标的速度(矢量)的匹配程度 | 测试眼跳对平滑追踪的补偿 |
| | | 平滑追踪比例 | 眼睛进行平滑追踪的时间占整个稳态追踪时间的比例 | |
| | | 眼跳频率 | 在平滑追踪过程中的眼跳频率 | |
| | | 眼跳幅度 | 眼睛在追赶目标时眼跳幅度的大小 | |
| | | 眼跳离散度 | 眼睛在追赶目标时眼跳方向的精度 | |
| 对目标的方向进行反应 | 描述区分不同目标方向的能力 | 垂直-水平不对称性 | 眼睛沿水平方向和沿垂直方向追踪时的方向准确度的差异 | 测试眼动追踪中的视觉运动处理能力 |
| | | 正交-斜交不对称性 | 眼睛沿正交坐标方向和沿斜交坐标方向追踪目标时的方向准确度的差异 | |
| | | 方向噪音 | 追踪方向的精度 | |
| 对目标的速度进行反应 | 描述区分不同目标速度的能力 | 速度反应 | 眼睛绝对速度与目标绝对速度的匹配程度 | |
| | | 速度噪音 | 追踪速度的精度 | |

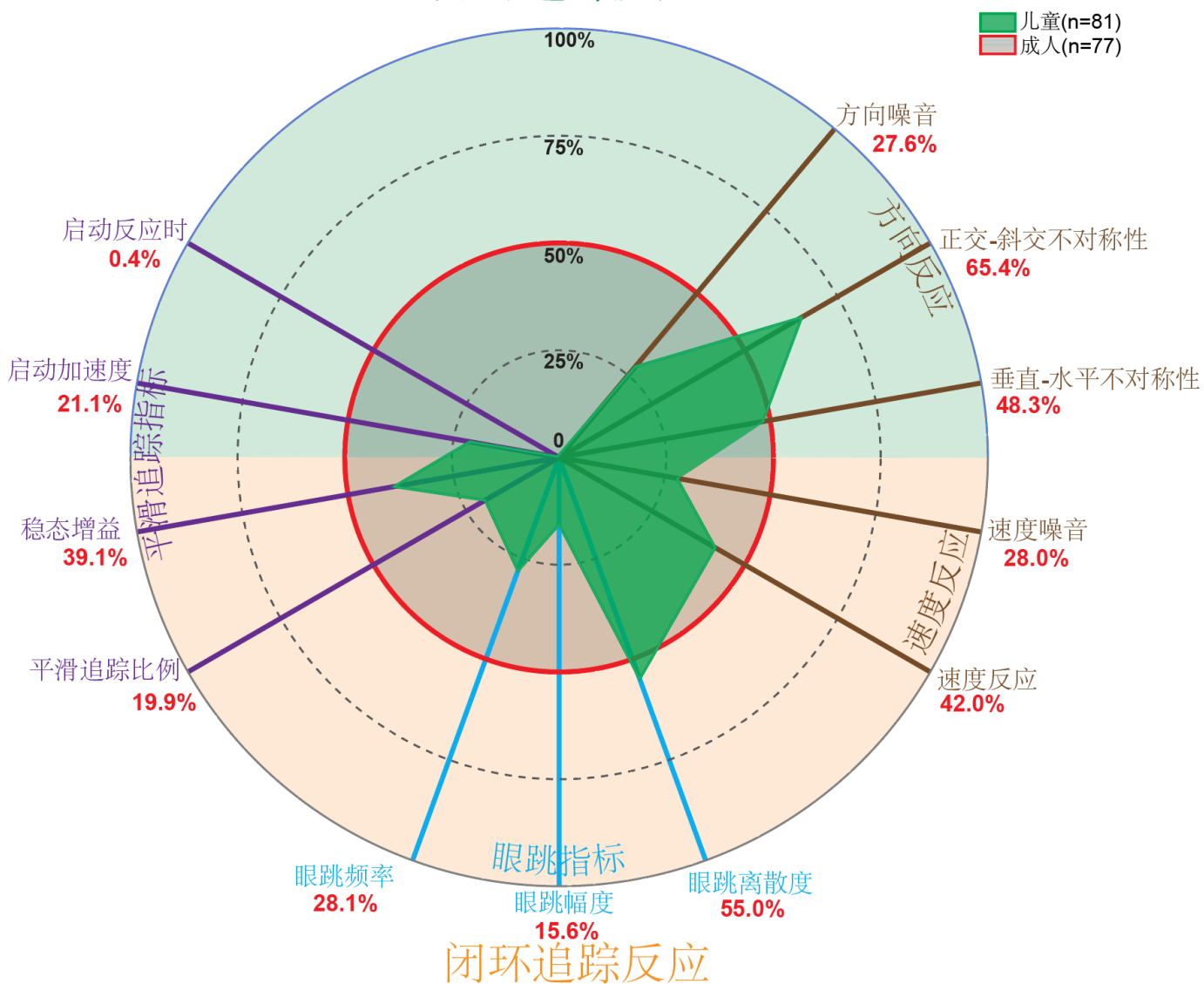
12个测量指标



| 指标模块 | 含义 | 指标名称 | 指标含义 | 功能 |
|----------------|--------------------|-----------|---------------------------------|------------------|
| 初始启动 (开环反应) | 测试眼动快速启动追踪的能力 | 启动反应时 | 眼睛开始追踪目标的反应时间 | 测试平滑追踪 |
| | | 启动加速度 | 眼睛为了能够从静止状态达到与目标匹配的速度而产生的加速度 | |
| 稳态追踪 (闭环反应) | 测试追踪时眼动运动匹配目标运动的能力 | 稳态增益 | 眼睛的速度(矢量)与目标的速度(矢量)的匹配程度 | 测试眼跳对平滑追踪的补偿 |
| | | 平滑追踪比例 | 眼睛进行平滑追踪的时间占整个稳态追踪时间的比例 | |
| | | 眼跳频率 | 在平滑追踪过程中的眼跳频率 | |
| | | 眼跳幅度 | 眼睛在追赶目标时眼跳幅度的大小 | |
| | | 眼跳离散度 | 眼睛在追赶目标时眼跳方向的精度 | |
| 对目标的方向进行反应 | 描述区分不同目标方向的能力 | 垂直-水平不对称性 | 眼睛沿水平方向和沿垂直方向追踪时的方向准确度的差异 | 测试眼动追踪中的视觉运动处理能力 |
| | | 正交-斜交不对称性 | 眼睛沿正交坐标方向和沿斜交坐标方向追踪目标时的方向准确度的差异 | |
| | | 方向噪音 | 追踪方向的精度 | |
| 对目标的速度进行反应 | 描述区分不同目标速度的能力 | 速度反应 | 眼睛绝对速度与目标绝对速度的匹配程度 | |
| | | 速度噪音 | 追踪速度的精度 | |

结果:对比儿童和成人

开环追踪反应



被试信息

儿童组：81人(女/男: 47/34), 8-9 岁(8.6 ± 0.4)

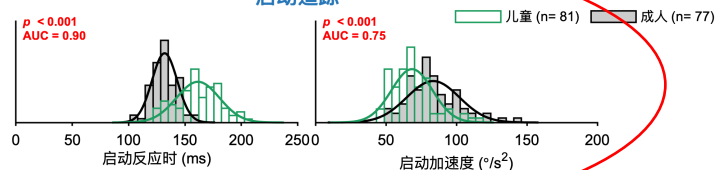
成人对照组：77人(女/男: 43/34), 18-30岁 (22.7 ± 2.6)

- 儿童的开环和闭环追踪反应均不及成人。
- 眼睛追踪能力的不同方面的发展可能遵循不同的时间进程。
- 儿童启动追踪阶段的反应时的平均值为成人人群的0.4%。

对比成人和儿童

开环追踪反应

启动追踪



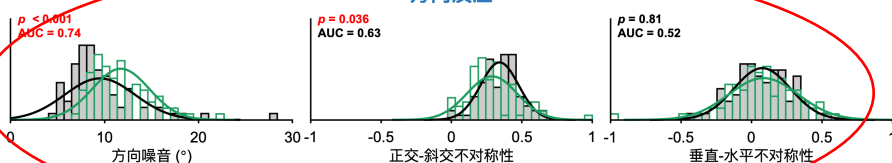
平滑追踪

更大的反应时和更小的开环加速度

更小的平滑追踪比例

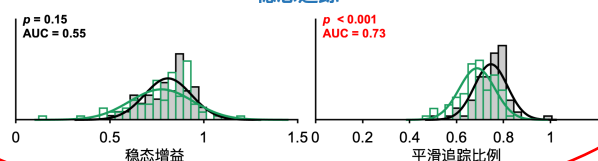
稳态增益与成人无显著差异

方向反应



闭环追踪反应

稳态追踪

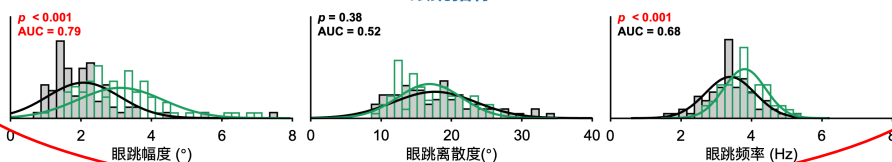


眼跳对平滑追踪的补偿

更大的追赶型眼跳幅度和更高的眼跳频率

眼跳方向的精度与成人无显著差异

眼跳指标

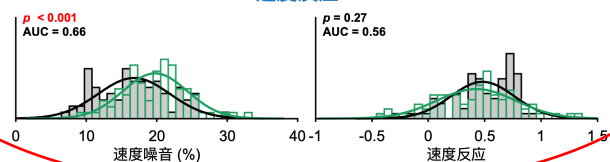


追踪过程中的视觉运动处理能力

视觉运动反应的幅度与成人无显著差异

更低的视觉运动处理的精度

速度反应



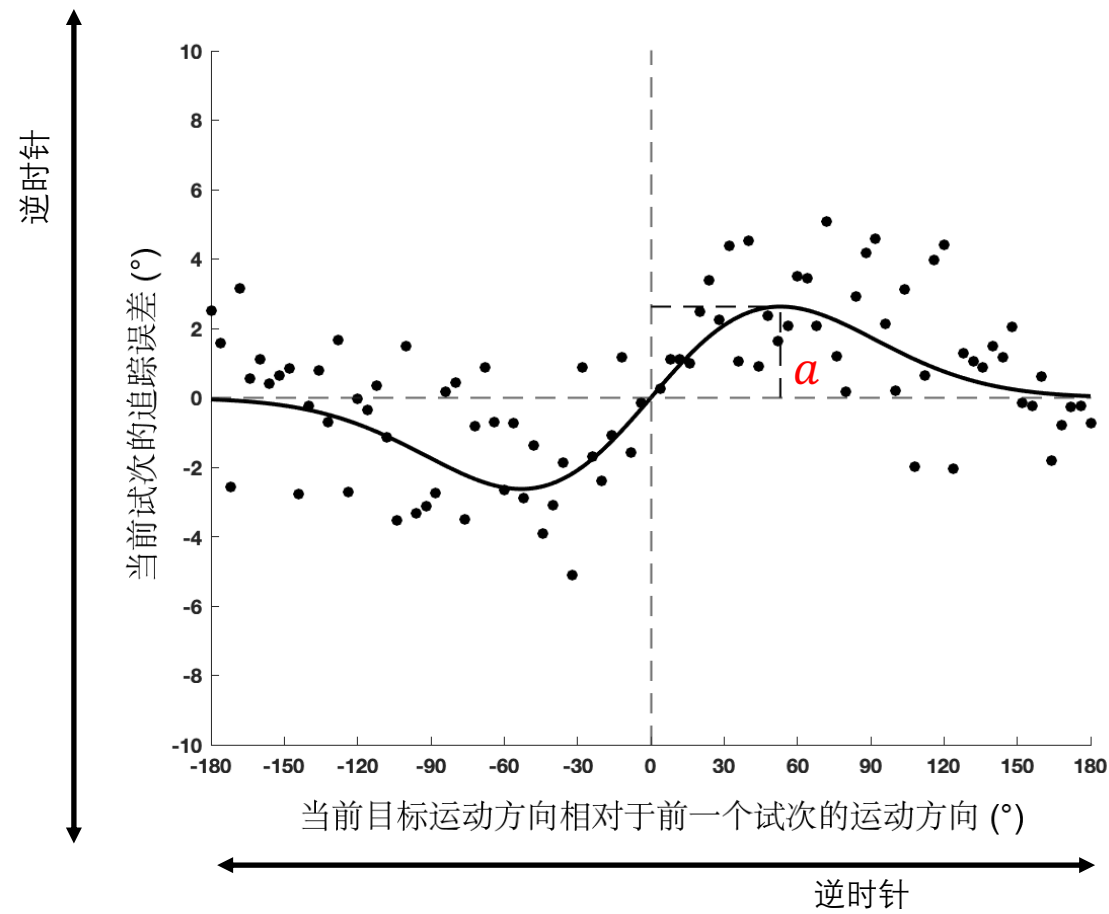
序列依赖在成人和儿童中的差异

- 儿童在眼动追踪中视觉运动处理的精度远不及成年人。
- 序列依赖 (serial dependence) : 过去信息对加工当前刺激的影响 (吸引)
- 以往研究表明朝向判断任务中的序列依赖变化遵循贝叶斯可靠性权重的规律, 即处理信息的噪音越大, 对当前刺激的加工会更多的依赖过去的信息。

相比于成人, 儿童在追踪过程中较低的视觉运动处理的精度是否会引起更大的序列依赖效应?

Cicchini, G. M et al., (2018). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*

序列依赖数据分析



横坐标: 相对方向, 过去目标方向-当前目标方向
纵坐标: 追踪误差, 眼动追踪方向-当前目标方向

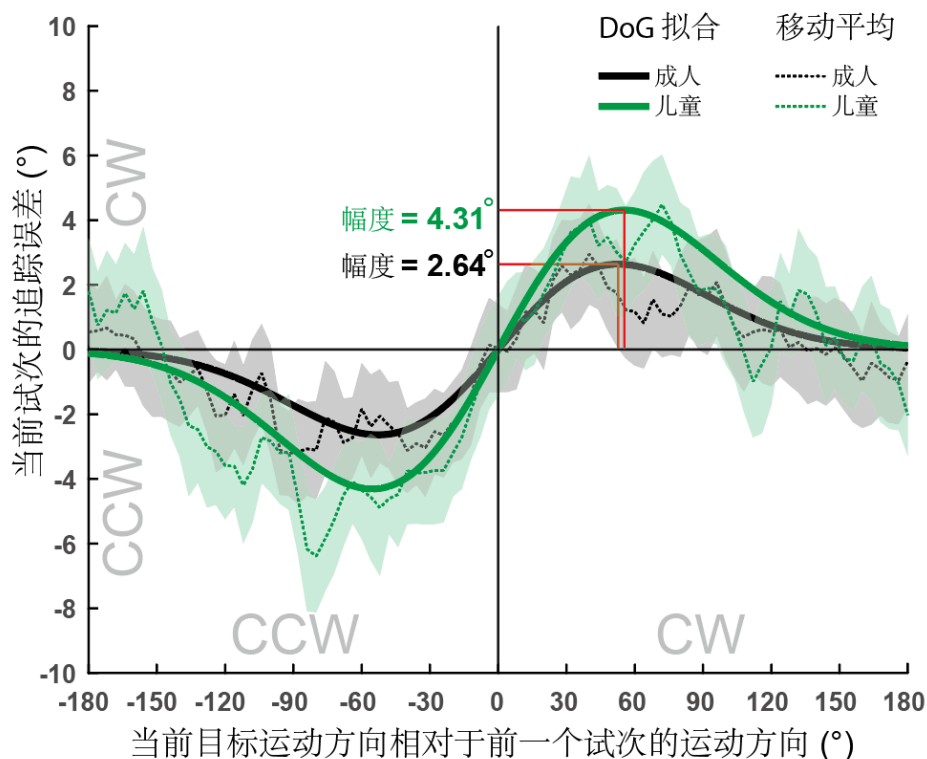
- 一阶高斯导数拟合

$$y = abcxe^{-(bx)^2}$$

- a : 代表序列依赖效应的幅度大小
- b : 代表最大偏差出现的位置
- c : 常数

序列依赖在成人和儿童中的差异

开环追踪

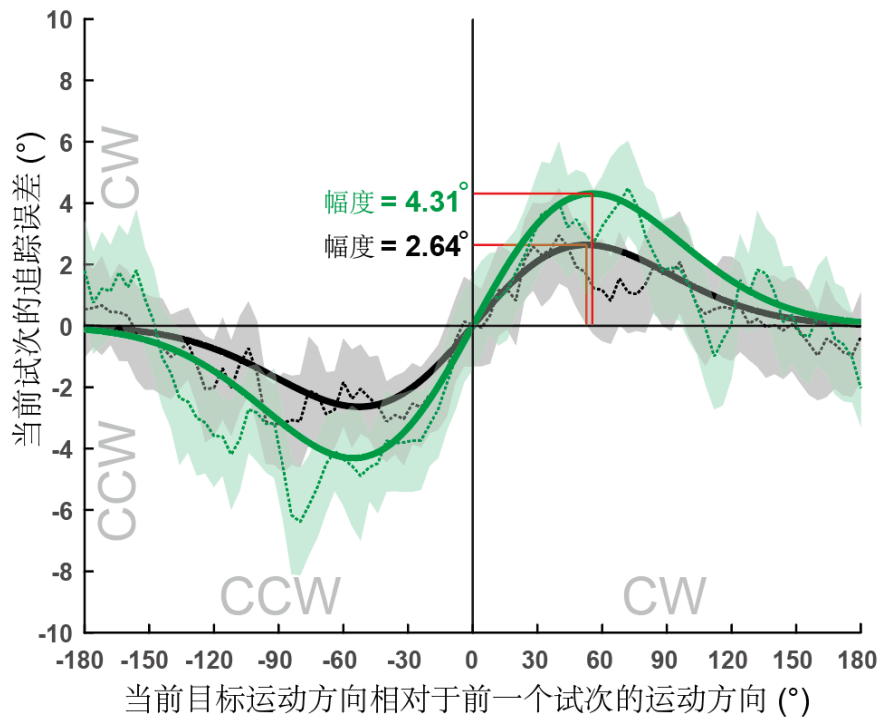


儿童在眼动启动追踪方向上的序列依赖效应大于成人。

儿童开环追踪反应比成人更依赖于过去的目标运动信息 (即儿童有着更强的序列依赖效应), 可能是由于儿童对目标运动信号的视觉加工不如成人可靠。

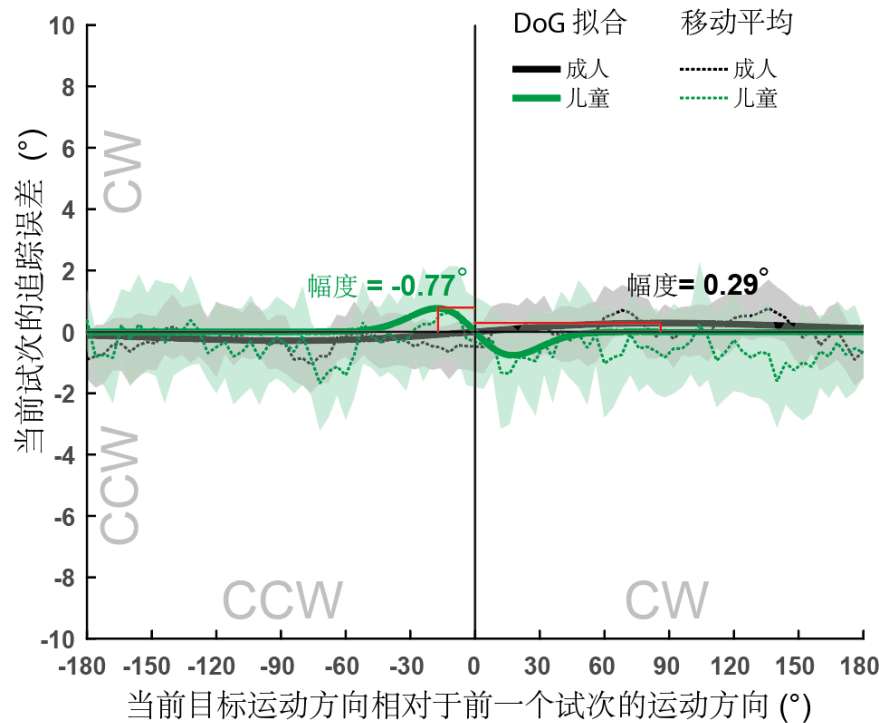
启动追踪和稳态追踪的差异

开环追踪



视觉运动信号

闭环追踪



非视觉反馈信号

序列依赖效应仅出现在由视觉运动信号所驱动的开环追踪中。
先前刺激信息的影响作用于早期的视觉运动信息处理阶段。

结论

- 儿童的开环和闭环追踪反应均不及成人。
- 本研究第一次发现儿童的视觉运动反应的幅度与成人相当，但两者的精度均未达到成人水平。
- 眼动追踪能力的不同方面的发展可能遵循不同的时间进程，开环追踪反应时的能力最晚成熟。
- 儿童开环追踪反应比成人更依赖于过去的目标运动信息 (即儿童有着更强的序列依赖效应)，可能是由于儿童对目标运动信号的视觉加工不如成人可靠。
- 眼动追踪的序列依赖效应中，先前刺激信息的影响作用于早期的视觉运动信息处理阶段。

致谢

• 人员

- 李黎（上纽大教授），陈静（上纽大青年副研究员），黄文君（华师大博士生），李逸洁（上纽大本科生），吴嘉禾（华师大博士生）

• 基金支持

- NSFC (32071041, 32161133009),
- 上海科委(20ZR1439500)
- 教育部(ECNU 111 Project, Base B1601)
- the major grant seed fund and the boost fund (NYU Shanghai)



谢谢！

bh2378@nyu.edu