·科研论著·

基于多中心研究的学龄前儿童静态平衡发展变化趋势分析

杨志勇[1*]，何彦璐[1*]，董文红[2]，匡晓妮[3]，张雪娇[4]，王念蓉[5]，骆艳[6]，杨琳[7]，朱宗涵[8]，王健[9]，关宏岩[10]，童梅玲[1]

1. 南京医科大学附属妇产医院(南京市妇幼保健院)儿童保健科 南京市发育行为医学重点实验室，江苏 南京 210004；2. 浙江大学附属儿童医院 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心；3. 长沙市妇幼保健院；4. 沈阳市妇幼保健院；5. 重庆市妇幼保健院；6. 贵阳市妇幼保健院；7. 西安交通大学第二附属医院；8. 全国妇幼健康研究会儿童早期发展专委会；9. 浙江大学教育学院体育学系；10. 首都儿科研究所婴幼儿照护服务研究指导中心

摘　要：目的　分析学龄前儿童静态平衡能力随年龄增长的变化趋势及年龄对其影响的异质性，为儿童早期平衡能力的评估及干预提供依据。**方法**　采取分层整群抽样方法，于 2020 年 8 月—2021 年 5 月在全国六大行政区 8 个城市抽取共 1 605 例 3～6 岁儿童，按半岁一组划分为 7 个年龄组，进行不同条件下的单脚站测试，记录睁眼左脚单脚站时间(OL)、睁眼右脚单脚站时间(OR)、闭眼左脚单脚站时间(CL)、闭眼右脚单脚站时间(CR)。采用 Wilcoxon 符号秩检验及 Kruskal-Wallis 检验等分析静态平衡发展变化趋势，采用分位数回归方法分析年龄对单脚站时间影响的异质性。**结果**　OL(H=424.881)、OR(H=383.511)、CL(H=216.635)、CR(H=209.754)随年龄增加显著延长，差异有统计学意义(P<0.001)。OL 和 CL、OR 和 CR 的差值呈逐年稳定增长趋势，年龄组间结果差异有统计学意义(H=355.351，303.520，P<0.001)。单脚站时间 0.05 分位数水平上年龄对单脚站时间影响的回归系数远低于 0.50 和 0.95 分位数水平。**结论**　学龄前儿童静态平衡能力随年龄增长而提高，但呈现年龄特征性，4～5 岁可能是关键的平衡能力提升期，且影响平衡能力的感觉机制中视觉权重更大。年龄对学龄前儿童单脚站时间的影响存在异质性，能力较差儿童未显示随年龄增长而改善的迹象。因此，需要早期关注学龄前儿童平衡能力，及时干预，促进其运动能力发展。

关键词：　平衡；睁眼单脚站；闭眼单脚站；学龄前儿童；分位数回归

中图分类号：R179　**文献标识码：**A　**文章编号：**1008-6579(2025)03-0265-06　doi:10.11852/zgetbjzz2024-0882

Analysis of developmental trends in static balance among preschool children based on multicenter research

YANG Zhiyong[1*], HE Yanlu[1*], DONG Wenhong[2], KUANG Xiaoni[3], ZHANG Xuejiao[4], WANG Nianrong[5], LUO Yan[6], YANG Lin[7], ZHU Zonghan[8], WANG Jian[9], GUAN Hongyan[10], TONG Meiling[1]

1. Department of Child Health Care, Women's Hospital of Nanjing Medical University (Nanjing Women and Children's Healthcare Hospital), Nanjing Medical Key Laboratory of Developmental Behavioral Pediatrics, Nanjing, Jiangsu 210004, China; 2. Children's Hospital of Zhejiang University, National Clinical Research Center for Child Health; 3. Changsha Hospital for Municipal Maternal and Child Health Care; 4. Shenyang Maternity and Child Health Hospital; 5. Chongqing Health Center for Women and Children; 6. Guiyang Maternal and Child Health Hospital; 7. The Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University; 8. Early Childhood Development Technical Committee, Chinese Association for Maternal and Child Health Studies; 9. Department of Physical Education, Zhejiang University; 10. Nurturing Care Research and Guidance Center, Capital Institute of Pediatrics

Corresponding author: TONG Meiling, E-mail: meilingtong111@126.com

Abstract:　Objective　To analyze the trend of static balance ability among preschool children with age and the heterogeneity of age influence on it, in order to provide a basis for the assessment and intervention of early childhood balance ability.　**Methods**　Using stratified cluster sampling, a total of 1 605 children aged 3 to 6 years were recruited from eight cities in six administrative regions across China between August 2020 and May 2021. They were divided into seven age

基金项目：国家卫健委妇幼司儿童健康科研相关课题(2019 年)

作者简介：杨志勇(1993—)，男，中级治疗师，本科学历，主要研究方向为儿童康复；何彦璐(1987—)，女，副主任治疗师，硕士学位，主要研究方向为儿童康复。

通信作者：童梅玲，E-mail：meilingtong111@126.com

注：*共同第一作者。

groups by half-year increments. The one-leg standing test was conducted under different conditions, and the following durations were recorded: Open-eye left-foot stand(OL), open-eye right-foot stand(OR), closed-eye left-foot stand(CL), and closed-eye right-foot stand(CR). Wilcoxon signed-rank test and Kruskal-Wallis test were used to analyze the trend of static balance development. Quantile regression analysis was used to assess the heterogeneity of age's influence on one-leg standing time. **Results** The duration of OL($H=424.881$), OR($H=383.511$), CL($H=216.635$), and CR($H=209.754$) significantly increased with age($P<0.001$). The differences between OL and CL, and between OR and CR, showed a steady increase each year, with statistically significant differences among age groups ($H=355.351$, 303.520, $P<0.001$). At the 0.05 quantile level of one-leg standing time, the regression coefficient for age's influence on one-leg standing time was much lower than that at the 0.50 and 0.95 quantile levels. **Conclusions** The static balance ability of preschool children improves with age but exhibits age-specific characteristics, with 4 to 5 years being a critical period for balance ability enhancement. Among the sensory mechanisms affecting balance ability, vision plays a more significant role. There is heterogeneity in the influence of age on one-leg standing time among preschool children, and those with poorer ability do not show signs of improvement with age. Therefore, early attention should be paid to the balance ability of preschool children, with timely interventions to promote the development of their motor skills.

Keywords: balance; one-leg stance with eyes open; one-leg stance with eyes closed; preschool children; quantile regression

静态平衡是平衡能力的一种[1]，对儿童基本动作技能学习、心理健康发展具有重要意义[2]。儿童平衡能力在3～6岁飞速提高[3]，需要多种感觉系统相互整合以维持躯体稳定[4]。现有文献虽然提供了上述关于儿童平衡能力发展的一般理解，但大多为小样本研究，且纳入人群年龄分布不一，研究时未明确区分静态与动态平衡，关于学龄前儿童静态平衡能力随年龄增长的发展特征及详细变化趋势等方面研究仍较为有限，缺乏多中心研究结果。单脚站是测量儿童静态平衡能力最常用的方法之一[5]，其操作简单、成本低廉且普适性强[6]。因此，本研究旨在对全国多中心的大样本学龄前儿童进行睁眼及闭眼单脚站测试，系统性分析3～6岁学龄前儿童静态平衡能力在不同年龄段的发展变化规律，探索不同感觉系统在平衡能力发展中的作用，以及评估年龄对其影响的异质性，以期为后续开展临床和科研工作提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象 采取分层整群随机抽样方法，于2020年8月—2021年5月，在全国范围内六大行政区抽取南京、北京、杭州、长沙、重庆、贵阳、沈阳、西安8个城市。每个城市抽取3所中等水平幼儿园(根据当地政府规定的幼儿园基础设施、师资条件、课程建设和实施水平)，每所幼儿园小班、中班、大班各选取1个，每个班级序号相同(如均为小1班、中1班、大1班)。抽取到的班级，在符合入排标准的前提下全部测试，共测试1 607例儿童。按半岁一个年龄段划分之后，6.5～7岁儿童仅2例，无法纳入统计研究，故剔除，最终有效样本合计1 605例，其中3～岁组112例、3.5～岁组302例、4～岁组296例、4.5～岁组294例、5～岁组208例、5.5～岁组273例、6～<6.5岁组120例。纳入标准：3～6岁在园正常儿童。排除标准：1)视听障碍；2)肢体障碍；3)全面发育迟缓；4)智力障碍；5)前庭系统疾病；6)因情绪/行为问题不能配合者。本研究获得南京市妇幼保健院医学伦理委员会审查批准(宁妇伦字[2019]KY-032)，所有受试儿童均由其家长签署书面知情同意。

1.2 测试方法

1.2.1 睁眼单脚站 1)评估前准备：评估人员需向受试儿童清晰解释操作流程，并示范以确保儿童理解评估要求。正式评估前，儿童可先练习1～2遍。2)评估流程：①儿童自然站立，双手叉腰，目视前方，当听到“开始”指令后，缓慢抬起一条腿，保持平衡；②抬起腿不可倚靠或缠绕在支撑腿上；③当一条腿抬起时开始计时，当支撑腿移动或失去平衡时停止计时；④正式评估时仅1次机会；⑤两腿轮流测试，先后顺序不做要求，不区分优势腿，记录睁眼左脚单脚站时间(OL)和睁眼右脚单脚站时间(OR)，单位：秒(s)。

1.2.2 闭眼单脚站 除需闭眼外，测试方法同上，记录闭眼左脚单脚站时间(CL)和闭眼右脚单脚站时间(CR)。

1.3 质量控制 评估人员统一接受规范化培训，包括操作规范、评分标准和注意事项等，确保测试的准确性。

1.4 统计学方法 利用Epidata软件录入数据，经唯一性检查、双份核对检查确保资料录入正确后，使用SPSS 26.0进行统计学分析。正态性检验用K-S方法，结果显示单脚站时间数据不符合正态分布，因此采用$M(P_{25}, P_{75})$描述。配对样本采用Wilcoxon

符号秩检验，多组之间比较采用 Kruskal-Wallis 检验。采用分位数回归方法得出分位数回归曲线。检验水准 $\alpha=0.05$（双侧）。

2 结　果

2.1　各年龄组学龄前儿童 4 种单脚站时间比较　除 3.5～岁组外，其余各年龄组内儿童 OL 和 OR 差异无统计学意义（$P>0.05$）。除 4.5～岁组外，其余各年龄组内儿童 CL 和 CR 差异无统计学意义（$P>0.05$）；各年龄组儿童 OL＞CL、OR＞CR，差异有统计学意义（$P<0.001$）。不同年龄组间 4 种单脚站时间差异均有统计学意义（$P<0.001$）。OL 和 OR、CL 和 CR 随年龄增加显著延长，OL 从 3 岁的 3.21s 增加到 6 岁的 24.22s，OR 从 3 岁的 2.84s 增加到 6 岁的 20.40s，CL 从 3 岁的 1.43s 增加到 6 岁的 4.41s，CR 从 3 岁的 1.54s 增加到 6 岁的 3.91s。见表 1。

表 1　各年龄组学龄前儿童 4 种单脚站时间比较[s，$M(P_{25},P_{75})$]

Tab. 1　Comparison of single-leg standing times for preschool children across different age groups[s, $M(P_{25},P_{75})$]

年龄（岁）	例数	OL	OR	Z 值	P 值	CL	CR	Z 值	P 值
3～	112	3.21(1.87,6.41)	2.84(1.55,5.10)	−0.544	0.586	1.43(0.99,2.41)[a]	1.54(0.97,2.40)[b]	−1.916	0.055
3.5～	302	4.33(2.10,9.67)	3.81(2.13,9.60)	−2.250	0.024	2.08(1.22,3.37)[a]	1.81(1.27,2.88)[b]	−1.149	0.251
4～	296	6.67(3.02,16.66)	6.95(3.15,14.28)	−1.074	0.283	2.29(1.52,4.04)[a]	2.32(1.54,4.40)[b]	−1.300	0.194
4.5～	294	11.74(4.94,22.73)	11.55(4.65,23.55)	−1.647	0.099	2.89(1.77,6.33)[a]	3.00(1.93,5.60)[b]	−2.205	0.027
5～	208	15.25(6.69,26.47)	14.52(7.55,29.56)	−0.815	0.415	3.52(2.17,7.11)[a]	3.27(2.09,6.19)[b]	−0.122	0.903
5.5～	273	20.00(10.47,37.12)	18.16(9.66,37.65)	−0.166	0.868	4.04(2.44,7.85)[a]	4.19(2.44,8.50)[b]	−0.823	0.410
6～＜6.5	120	24.22(11.40,45.57)	20.40(12.17,39.73)	−0.443	0.658	4.41(2.64,6.33)[a]	3.91(2.74,7.95)[b]	−0.282	0.778
H 值		424.881	383.511			216.635	209.754		
P 值		＜0.001	＜0.001			＜0.001	＜0.001		

注：[a]CL 与 OL 比较，$P<0.001$；[b]CR 与 OR 比较，$P<0.001$。

2.2　不同年龄组睁眼和闭眼条件下单脚站时间的增长速度　绘制 4 种单脚站时间随年龄变化的百分位折线图（P_5、P_{25}、P_{50}、P_{75}、P_{95}）。见图 1。OL、OR 和 CL、CR 快速增长期出现的年龄不同，CL 和 CR 的快速增长期较 OL、OR 晚出现约半年，且增速相对稳定。睁眼条件下，4 岁以下儿童单脚站时间的增长速度较慢，4 岁以后进入快速增长期；闭眼条件下，4.5 岁以下儿童单脚站时间增长较为缓慢，4.5 岁以后增长速度有所加快，但整体增幅仍然较小。

2.3　各年龄组睁眼和闭眼条件下单脚站时间差值

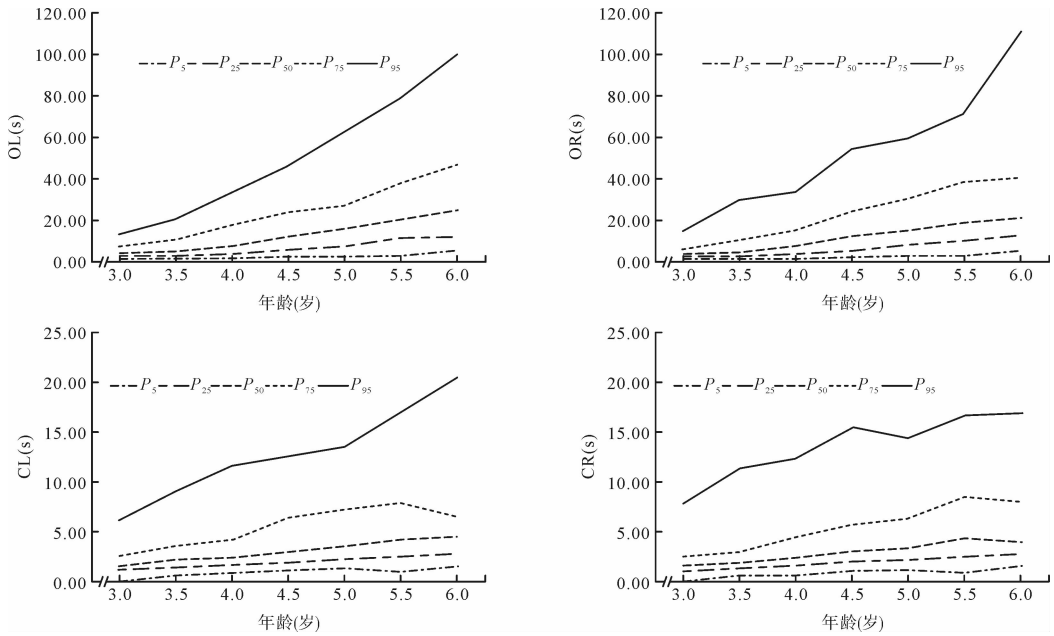


图 1　各年龄组睁眼和闭眼条件下单脚站时间随年龄变化百分位折线图

Fig. 1　Percentile line graph of age-related changes in single-leg standing time under eyes-open and eyes-closed conditions across different age groups

计算各年龄组内睁眼单脚站时间减去闭眼单脚站时间所得差值，并以此绘制差值随年龄变化趋势图。差值呈逐年稳定增长趋势，差异有统计学意义（$P<0.001$）；各年龄组内左侧差值与右侧差值比较，除 3.5～岁组外，其余组内差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 2、图 2。

表 2 各年龄组儿童睁眼单脚站与闭眼单脚站时间差值[s，$M(P_{25},P_{75})$]

Tab. 2 Differences in single-leg standing time between eyes-open and eyes-closed conditions across different age groups[s, $M(P_{25},P_{75})$]

年龄（岁）	例数	左侧差值	右侧差值	Z 值	P 值
3～	112	1.53(0.51,3.25)	1.31(0.43,3.09)	−1.044	0.296
3.5～	302	1.94(0.44,4.43)	1.95(0.56,6.03)	−2.408	0.016
4～	296	3.66(1.07,10.79)	4.30(0.86,9.52)	−0.709	0.478
4.5～	294	7.27(2.57,16.90)	7.75(1.85,17.60)	−0.861	0.389
5～	208	10.66(3.04,19.39)	9.78(3.64,21.86)	−0.675	0.500
5.5～	273	13.53(5.12,28.19)	12.80(5.39,28.85)	−0.288	0.774
6～<6.5	120	18.39(6.44,40.71)	15.24(7.45,33.03)	−0.422	0.673
H 值		355.351	303.520		
P 值		<0.001	<0.001		

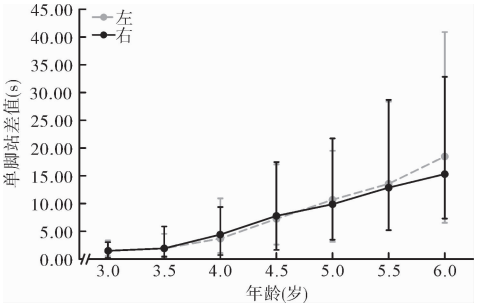


图 2 儿童睁眼单脚站与闭眼单脚站时间差值随年龄变化趋势

Fig. 2 Trend of age-related changes in the difference between eyes-open and eyes-closed single-leg standing times in children

2.4 年龄自变量对不同站立条件下单脚站时间影响的分位数回归分析 在 4 种站立条件单脚站时间的不同分布下（0.05～0.95 分位点），年龄对单脚站时间影响的回归系数不同，差异均有统计学意义（$P<0.05$），并绘制分位数回归可视化图形。随着单脚站时间增加，年龄对单脚站时间影响的回归系数逐渐增大：1）单脚站时间 0.05 分位点时（OL 及 OR 约 1.3s，CL 及 CR 约 0.7s），年龄对其影响虽有统计学差异（$P<0.05$），但回归系数微小；2）单脚站时间 0.5 分位点（OL 及 OR 约 9.8s，CL 及 CR 约 2.7s）之前，年龄对其影响有统计学差异，回归系数较小；3）单脚站时间 0.5 分位点之后，年龄对其影响差异有统计学意义（$P<0.05$），回归系数明显增大。见表 3、图 3。

3 讨 论

3.1 学龄前儿童静态平衡能力发展呈现年龄特征性，4～5 岁是快速发展期 儿童静态平衡能力随年龄增长而明显提升，但提升并非均匀，而是显示出与年龄相关的特征性变化。Ruiyuan 等[7]研究表明 3～5 岁儿童的平衡控制随年龄增长而改善，此年龄段是儿童平衡能力快速发展的关键时期。Sá 等[8]认为 4～5 岁儿童通常采用快速的大幅度的平衡调整策略，而 8～10 岁儿童则表现出更精细的小幅度调整。本研究数据显示 4 岁是平衡能力发展的重要节点。在 4～<5 岁年龄段内，单脚站时间增长速度明显加快，特别是睁眼条件下的高分位数增长，表明平衡能力在此阶段显著提升。这些发现验证了前人

表 3 年龄自变量对不同站立条件下单脚站时间影响的分位数回归分析（β，95%CI）

Tab. 3 Quantile regression analysis for the impact of age on single-leg standing time under different standing conditions（β，95%CI）

站立条件	分位数水平				
	0.05	0.25	0.50	0.75	0.95
OL	0.081(0.061～0.101)*	0.262(0.232～0.292)*	0.583(0.527～0.640)*	1.078(0.983～1.174)*	2.369(2.100～2.638)*
OR	0.070(0.052～0.089)*	0.270(0.241～0.298)*	0.550(0.493～0.606)*	1.067(0.950～1.183)*	1.983(1.609～2.357)*
CL	0.032(0.018～0.046)*	0.050(0.042～0.057)*	0.084(0.070～0.097)*	0.169(0.134～0.204)*	0.368(0.287～0.450)*
CR	0.029(0.014～0.044)*	0.050(0.043～0.057)*	0.084(0.071～0.096)*	0.186(0.139～0.234)*	0.260(0.180～0.339)*

注：* $P<0.05$。

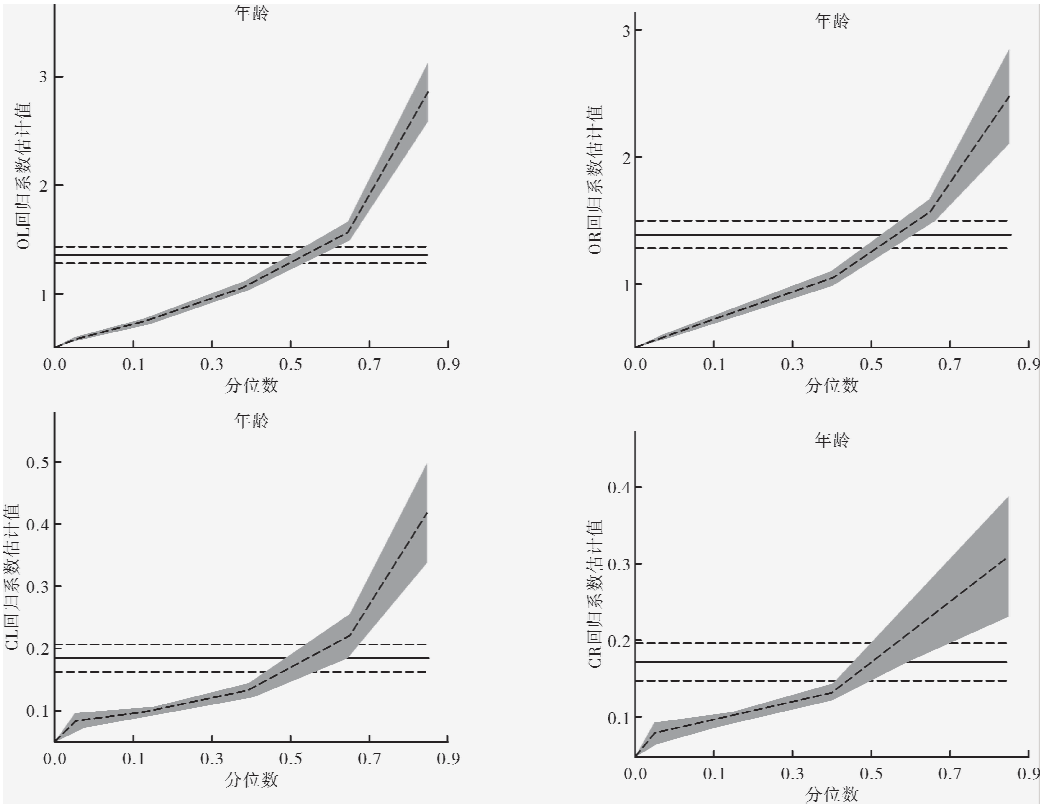


图 3　年龄自变量影响学龄前儿童单脚站时间的分位数回归曲线

Fig. 3　Quantile regression curves for the effect of age on single-leg standing time in preschool children

观点。同时，年龄组内四分位数区间也随年龄增长而扩大，显示了儿童在同一年龄段内的较大个体差异[9-10]。

3.2　学龄前儿童影响平衡能力的感觉机制中视觉权重更大　儿童青少年维持平衡的感觉机制与成人有所不同[11]，感觉系统的成熟和整合随年龄及环境不断适应变化[12-14]。睁眼单脚站涉及视觉、前庭与本体三大感觉系统[13]，而闭眼单脚站排除了视觉作用，更多反映了前庭与本体的整合[14]。研究显示，视觉、前庭和本体觉在不同年龄段对平衡的贡献各有不同。例如，Goodworth 等[15]的研究表明视觉反馈可以对姿势平衡产生强大影响；Sá 等[8]认为视觉系统是第一个成熟的感觉系统，在 5 岁时已能够应对各种外部刺激以维持平衡。然而，Riach 等[16]则指出过多的视觉信息输入会与其他感觉输入冲突，从而妨碍儿童平衡能力发展。另外，Solara 等[17]对 120 名健康儿童进行研究，结果表明本体觉功能在 5～8 岁时类似成人，前庭功能在 15～17 岁成熟。本研究通过比较睁眼与闭眼单脚站时间差值，能够较好地揭示视觉线索在 3～6 岁学龄前儿童姿势平衡中的调节作用，这一年龄段视觉处理功能快速发展[18]，其影响力显著超过前庭和本体系统[19-20]。

3.3　年龄对学龄前儿童平衡能力的影响存在异质性，能力较差儿童未显示随年龄增长而改善的迹象　本研究分位数回归结果显示年龄对不同能力水平学龄前儿童的影响程度存在较大异质性，特别是在 0.05 分位数水平上。这表明对于平衡能力较差的儿童而言，年龄对其影响有限，尽管能够观察到其单脚站水平随年龄而增长，但远达不到同龄儿应有的标准水平，自然发展中难以实现平衡能力的大幅提升。此现象可能受多种因素影响，如神经发育差异[21]、运动经验不足[22]或感觉信息处理障碍[23]等。一项长期跟踪研究表明，未经干预的平衡障碍儿童其平衡能力在成长过程中可能持续落后[22]。初筛单脚站时间短暂如抬脚便放下或仅能坚持 1～2s 的学龄前儿童需及时寻求医疗帮助，儿童保健从业者需以任务为导向或以身体结构和功能为导向[24]，引导发育落后儿童及早进行姿势控制及感觉处理训练[25]，以改善其平衡能力。

综上，本研究探索了学龄前儿童静态平衡随年龄增长的变化趋势，4～5 岁可能是其快速发展期，且影响平衡能力的感觉机制中视觉权重较前庭觉及本体觉更大。平衡能力较差的儿童未显示因年龄增长而对平衡能力发展产生明显改善。这些发现对于

今后开展儿童保健工作有较好的应用价值。同时，本研究也存在一些不足。本研究为横断面设计，在深入反映个体纵向发展轨迹方面稍有局限。其次，本研究通过睁闭眼单脚站差值来间接反映视觉在平衡控制中的重要性，未来可以借助其他实验设备，同时采集功能层面和生理层面的数据，以对相应的感觉机制作出更深入的阐述。

参考文献

[1] 黄春香，郝增明，王健. 学龄前儿童静态站姿平衡及其姿势控制策略[J]. 中国学校卫生，2021，42(11)：1708-1711.
Huang CX, Hao ZM, Wang J. Static balance and control strategy in preschool children[J]. Chin J Sch Health, 2021, 42(11): 1708-1711. (in Chinese)

[2] 杨志勇，何彦璐，陈玮锭，等. 平衡仪训练对发育性协调障碍儿童平衡能力的影响[J]. 中国妇幼保健，2021，36(9)：2051-2054.
Yang ZY, He YL, Chen WD, et al. Effect of balance instrument training on balance ability of children with developmental coordination disorder[J]. Matern Child Health Care China, 2021, 36(9): 2051-2054. (in Chinese)

[3] Endo S, Asano D, Asai H. Contribution of static and dynamic balance skills to activities of daily living in children with intellectual disabilities[J]. J Appl Res Intellect Disabil, 2024, 37(3): 13236.

[4] 刘如强，徐子纯，张如磊，等. 4～5 岁儿童静态平衡中的感觉融合特征研究[J]. 中国儿童保健杂志，2024，32(4)：372-376.
Liu RQ, Xu ZC, Zhang RL, et al. Characteristics of sensory integration in static balance of 4 - to 5-year-old children[J]. Chin J Child Health Care, 2024, 32(4): 372-376. (in Chinese)

[5] Danut GM, Gabriel M. The association of gender and body mass index on the values of static and dynamic balance of university students(A cross-sectional design study)[J]. Appl Sci, 2022, 12(8): 3770.

[6] Dandan K, Remili M, Shaoshuai S, et al. Field-based physical fitness assessment in preschool children: A scoping review[J]. Front Pediatr, 2022, 10: 939442.

[7] Ruiyuan L, Meng L, Jiefeng Z, et al. Age and gender differences in static and dynamic balance of Chinese preschool children [J]. Front Physiol, 2022, 13: 1013171.

[8] Sá CDSC, Boffino CC, Ramos TR, et al. Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study[J]. Braz J Phys Ther, 2018, 22(1): 70-76.

[9] Fei W, Anqi D, Kaiyu Z, et al. A Quantitative assessment grading study of balance performance based on lower limb dataset[J]. Sensors, 2022, 23(1): 33.

[10] 王雨生，贾子善，张攻孜，等. 自主平衡恢复过程中姿势调控反应时与运动时的增龄性变化研究[J]. 中国康复医学杂志，2024，39(5)：675-680.
Wang YS, Jia ZS, Zhang GZ, et al. Study on the aging change of postural control reaction time and movement time during adaptive balance[J]. Chin J Rehabil Med, 2024, 39(5): 675-680. (in Chinese)

[11] Boyi D, Jacob L, Cole V, et al. Baseline assessments of strength and balance performance and bilateral asymmetries in collegiate athletes[J]. J Strength Cond Res, 2019, 33(11): 3015-3029.

[12] Ramona RO, Elena A. Postural balance in relation with vision and physical activity in healthy young adults[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(9): 5021.

[13] Min KM, Jimin K, Yurim S, et al. Proprioception, the regulator of motor function[J]. BMB Rep, 2021, 54(8): 393-402.

[14] Missen JK, Carpenter GM, Assländer L. Velocity dependence of sensory reweighting in human balance control[J]. J Neurophysiol, 2024, 132(2): 454-460.

[15] Goodworth A, Kratzer A, Saavedra S. Influence of visual biofeedback and inherent stability on trunk postural control [J]. Gait Posture, 2020, 80: 308-314.

[16] Riach CL, Hayes KC. Maturation of postural sway in young children[J]. Dev Med Child Neurol, 1987, 29(5): 650-658.

[17] Solara S, Georges D, Art M, et al. Changes in the sensory weighting strategies in balance control throughout maturation in children[J]. J Am Acad Audiol, 2020, 32(2): 122-136

[18] St-Amant G, Rahman T, Polskaia N, et al. Unveilling the cerebral and sensory contributions to automatic postural control during dual-task standing[J]. Hum Mov Sci, 2020, 70(C): 102587.

[19] Cham R, Iverson MJ, Bailes HA, et al. Attention and sensory integration for postural control in young adults with autism spectrum disorders[J]. Exp Brain Res, 2021, 239(5): 1417-1426.

[20] Cone BL, Goble DJ, Rhea CK. Relationship between changes in vestibular sensory reweighting and postural control complexity[J]. Exp Brain Res, 2017, 235(2): 547-554.

[21] Zengming H, Yi Y, Anke H, et al. Age-related changes in standing balance in preschoolers using traditional and nonlinear methods[J]. Front Physiol, 2021, 12: 625553.

[22] John SL, Dudley D, Cairney J. A longitudinal examination of enjoyment of physical education in children with developmental coordination disorder through a physical literacy lens [J]. Prospects, 2020, 50(1): 1-13.

[23] Cham R, Iverson MJ, Bailes HA, et al. Attention and sensory integration for postural control in young adults with autism spectrum disorders[J]. Exp Brain Res, 2021, 239(5): 1-10.

[24] Blank R, Barnett AL, Cairney J, et al. International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder[J]. Dev Med Child Neurol, 2019, 61(3): 242-285.

[25] Appiah-Kubi K, Wright W. Vestibular training promotes adaptation of multisensory integration in postural control [J]. Gait Posture, 2019, 73: 215-220.

收稿日期：2024-07-25 **修回日期**：2024-11-08 **本文编辑**：李少闻