

儿童肥胖症运动干预研究进展

王烨妍^{1,2}, 王景刚³, 郜莉³, 郑浩轩³, 陈永强^{1,2}, 曹建国³

1. 佳木斯大学康复医学院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省儿童神经康复重点实验室,
黑龙江 佳木斯 154007; 3. 深圳市儿童医院康复医学科

摘要: 近年来, 儿童肥胖症的发病率逐年攀升, 已成为备受关注的公共卫生问题。该病症对儿童身心健康造成了诸多不良影响, 生理上可加重骨骼关节负担, 引发代谢紊乱; 心理上易导致自卑、焦虑等情绪问题。此外, 儿童肥胖显著提高了成年后罹患心血管疾病、糖尿病、高血压等慢性病的风险。本综述基于康复训练视角, 全面涵盖了运动评估、运动处方制定、运动方法选择、注意事项及并发症的治疗等多个关键领域, 详细阐述了针对儿童肥胖的正确运动干预策略。旨在深化医务人员对运动治疗儿童肥胖症的认识, 优化临床治疗方案, 提高治疗的有效性和精准性, 为儿童肥胖症的防治提供科学有效的指导。

关键词: 肥胖症; 运动干预; 减重; 儿童

中图分类号: R179 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2025)08-0878-05 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1396

Advances in exercise intervention for pediatric obesity

WANG Yeyan^{1,2}, WANG Jinggang³, GAO Li³, ZHENG Haoxuan³, CHEN Yongqiang^{1,2}, CAO Jianguo³

1. Rehabilitation Medical College of Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China;

2. Heilongjiang Key Laboratory of Children's Neurorehabilitation, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China;

3. Department of Rehabilitation Medicine, Shenzhen Children's Hospital

Corresponding author: WANG Jinggang, E-mail: storm786@163.com

Abstract: In recent years, the incidence of childhood obesity has been rising annually, becoming a major public health concern. This condition has numerous adverse effects on children's physical and mental health. Physiologically, it can increase the burden on bones and joints and lead to metabolic disorders; psychologically, it often triggers emotional issues such as low self-esteem and anxiety. Additionally, childhood obesity significantly raises the risk of developing chronic diseases in adulthood, including cardiovascular diseases, diabetes, and hypertension. From the perspective of rehabilitation training, this review comprehensively covers key areas such as exercise assessment, exercise prescription formulation, exercise method selection, precautions, and the treatment of complications. It elaborates in detail on the correct exercise intervention strategies for childhood obesity. The aim is to enhance healthcare professionals' understanding of exercise therapy for childhood obesity, optimize clinical treatment plans, improve therapeutic effectiveness and precision, and provide scientifically sound guidance for the prevention and management of childhood obesity.

Keywords: obesity; exercise intervention; lose weight; children

肥胖(obesity)是由于长期能量摄入超过人体消耗, 造成体内脂肪细胞过度积聚而引起的一种慢性营养性疾病^[1]。目前最实用的评估儿童超重和肥胖程度的指标是体质质量指数(body mass index, BMI), $BMI = \text{体重(kg)} / \text{身高}^2(\text{m}^2)$, 将儿童 BMI 百分位数 $\geq$ 同年龄同性别儿童 P_{85} 且 $< P_{95}$ 界值点者定义为超重, BMI 百分位数 $\geq$ 同年龄、性别儿童 P_{95} 界值点者定义为肥胖。一项数据显示, 全球近十年儿童肥胖率较前一个十年增加了 1.5 倍, 儿童和青少年肥胖总患病率达到 8.5%, 且逐年增加^[2]。儿童

超重会引发一系列健康问题, 对身体各个系统产生负面影响, 导致多种疾病风险增加。因此, 肥胖已成为威胁我国儿童青少年健康的一项不容忽视的公共卫生问题。运动干预相比于饮食控制、手术干预以及药物控制更具安全性和可行性, 不仅能加速新陈代谢、促进脂肪分解, 还能增加肌肉量以提高基础代谢率, 同时可调节内分泌系统、改善胰岛素抵抗。因此在体重管理方面运动干预是目前公认有效且相对安全的减重方法。现针对肥胖儿童运动干预进行综述, 以期提高医务人员对运动治疗儿童肥胖症的认

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金项目(A2022421)

作者简介: 王烨妍(2001—), 女, 黑龙江人, 在读硕士研究生, 研究方向为儿童肥胖早期干预。

通信作者: 王景刚, E-mail: storm786@163.com

识,优化临床治疗方案。

1 肥胖对青少年儿童的不良影响

儿童正处于生长发育的关键时期,肥胖带来的危害不仅即时损害身体各系统,更会延续至成年期。Sun 等^[3-4]研究发现,BMI 与 2 型糖尿病、心血管疾病、高血压、癌症、代谢综合征和慢性肾病的风险呈线性相关。具体来说,肥胖是高血压的独立危险因素,儿童期肥胖会显著增加成年期高血压风险^[5]。正如 Babinska 等^[6]对 109 名 7~18 岁肥胖儿童的观察研究发现,3% 的儿童患有高血压,48% 的儿童患有严重的动态高血压,且呈现出肥胖程度越高,高血压越严重的趋势。而儿童长期血压升高会对心脏、肾脏等器官造成损害,进一步增加成年后患心血管疾病的风险。此外,肥胖还会使儿童体内脂肪过度积聚,导致胰岛素敏感性下降,产生胰岛素抵抗,进而增加诱发 2 型糖尿病的可能性^[7]。除了对代谢和心血管系统的影响,肥胖对儿童骨骼及身体力学结构也会产生不良影响。长期过重的身体作用于骨骼可导致下肢力线异常,为了代偿这种异常,肥胖儿童在站立时会产生异常姿势,表现为屈髋屈膝、膝内翻或外翻^[8]。而且,肥胖还会影响儿童足底压力分布和行走稳定性。Mueller 等^[9]研究发现,与正常体重儿童相比,肥胖儿童足负荷明显增加。足部持续承受较高的压力不仅会导致足部不适和疼痛,还会降低儿童运动的积极性,而运动的减少可能进一步加重肥胖,形成恶性循环^[10]。另外,肥胖还会导致继发性扁平足^[11],扁平足增加了髌膝踝和脊柱的压力,这也是导致步态和姿势异常的原因之一。值得注意的是,儿童肥胖与骨关节炎显著相关。随着体重的增加,下肢及足部骨折的风险也随之上升^[12]。另外肥胖还会导致儿童骨龄老化进而影响身高^[13]。肥胖儿童除了会引起躯体疾病外,还会出现抑郁、焦虑、自卑等心理问题,对学业和生活工作产生不同程度的影响。

2 儿童肥胖症的运动干预

运动干预是儿童减重安全有效的方法,需评估后制定个性化的运动处方。运动处方(exercise prescription)的制定遵循 FITT-VP 原则,即运动频率(frequency, F)、运动强度(intensity, I)、运动时间(time, T)、运动方式(type, T)、运动总量(volume, V)及运动进阶(progression, P)等要素。

2.1 运动前评估 主要包括心肺功能评估、运动功能评估、身体状况评估等。心肺运动试验(cardiop-

ulmonary exercise testing, CPET)是评估心肺功能的常用方法,通过测定机体在静息、运动、运动恢复期的摄氧量(oxygen uptake, VO_2)、二氧化碳排出量(carbon dioxide production, VCO_2)、血压、心电图等指标,评估儿童的心血管、肌肉骨骼及呼吸系统功能。在测试过程中密切监测儿童症状、心率、血压、血氧饱和度及心电图改变,若出现不良反应应及时终止^[14]。CPET 测量的峰值摄氧量(VO_{2peak})是衡量心肺功能的金标准^[15]。更小年龄段儿童可选择简易运动评估试验,如 6min 步行试验^[16]。因此,根据心肺功能评估结果制定个体化运动处方,在实施一段时间运动干预后,为了判断上一阶段干预效果,需再次评估。此外,还需对儿童的步态、平衡功能以及关节活动度等方面进行评估^[17]。

2.2 运动强度 在运动干预时,可借助计数器、运动手表等可穿戴监测设备实时监测肥胖儿童的呼吸频率、心率、运动强度和能量消耗等指标^[18]。通常以心率作为运动强度标准,建议肥胖儿童进行中等强度的有氧运动,使其心率达到最大心率(HRmax)的 60%~75%。《儿童和青少年体育活动国际指南》建议,5~17 岁儿童每周至少参加 3 次、每次 60min 及以上的中至高强度的有氧体育活动^[19]。对于儿童和青少年,最适宜的单次运动时间为 30~40min。相关研究表明,每周进行 150min 中等强度运动,肥胖儿童可减重 0~2kg,若每周运动时间超 225min,体重可减轻 5%~8%,即肥胖儿童体重减轻效果与运动量呈线性相关^[20]。美国运动医学会建议,运动频率为每周 3~5 次,可先从每周 2 次的低强度运动开始,待身体适应后逐渐增加运动频率^[21]。运动量即每周运动总量,由运动时间、频率和强度共同组成,且持续运动 3 个月以上,体重减轻效果会更显著^[22]。此外,运动进阶需综合考虑儿童的健康状况、年龄和个人运动爱好,一般先调节运动频率和时间,最后再调节运动强度,且要循序渐进原则,以防因强度过高导致机体损伤。

2.3 减重运动方法 运动减重干预方法包括有氧运动、抗阻训练、有氧与抗阻训练相结合训练以及高强度间歇训练等。长期规律的有氧运动可诱导最高效率的脂肪氧化,同时增强心肺功能^[23]。抗阻训练则可增加肌肉质量、力量和耐力,并提高骨骼矿物质密度^[24]。在各类运动方式中,有氧运动结合抗阻训练是最为常见且有效的减重干预方式之一。García-Hermoso 等^[25]研究发现,有氧运动结合抗阻训练,可达到更好的减重目的。具体选择哪种训练方式需根据儿童的兴趣、运动基础、时间分配等实际情况综

合考虑。

2.3.1 跑步机训练 跑步机训练是常见的有氧运动方式之一,适合轻中度肥胖的儿童。研究表明,从每天 20min 的低强度运动开始,逐渐递增至每天 70min,每周进行 5~7d,能明显降低体脂量、BMI、腰围^[26]。此外,进行跑步机训练时建议佩戴好护膝护具,以预防关节损伤和意外发生。

2.3.2 水中运动 水中运动是适合肥胖儿童有氧运动方式之一,能有效减轻关节和骨骼的压力^[27]。儿童进行水中运动时,不仅可以避免关节损伤,还能矫正不良姿势。由于在水中运动需克服更大的阻力,因此能消耗更多能量。水中运动包括游泳、水中步行、水中有氧运动等。研究表明,游泳不仅具有良好的减脂效果,还能显著增强肥胖儿童的心肺功能,对肌肉骨骼系统起到保护作用^[28]。在进行游泳训练时,应采取循序渐进的原则,逐步增加运动强度。Bielec 等^[29]研究发现每周游泳 10h 左右,可抑制脂肪组织生长达到减脂效果,但需注意预防溺水和感染风险。

2.3.3 脚踏车运动 骑脚踏车是一种中等强度运动,对关节压力负荷较小,既能有效减重,又能强化心肺功能。骑车时建议保持缓慢且稳定的节奏,持续 30min 以上。同时在骑行过程中要保持正确的身体姿势并确保行车安全。一项为期 6 个月针对肥胖人群的随机对照试验显示^[30],中等强度和剧烈强度的骑行运动处方均能有效降低体重,且在 70%VO₂ peak 强度下进行的骑行训练可显著提升心肺功能。

2.3.4 力量训练 力量训练是提高肌肉力量与耐力的运动干预方式,主要锻炼躯干和四肢的大肌群,常见动作有俯卧撑、仰卧起坐、下蹲起立以及使用哑铃或拉力器的训练。通过力量训练能有效增强骨质结构、强化骨骼,从而降低关节损伤的概率^[31]。Méndez-Hernández 等^[32]研究表明,其对超重和肥胖儿童体重及体质成分改善效果显著。此外,相关证据显示,力量训练有助于提高儿童日常运动水平,激发运动兴趣^[33]。需要注意的是,不建议儿童和青少年进行如举重这类增加下肢负荷的训练,以免损伤对骨骼发育至关重要的生长板。同时,应注重关节保护,预防损伤,通过强化关节周围肌群来提升关节的稳固性。

2.3.5 高强度间歇训练 高强度间歇训练(high intensity interval training, HIIT)以高强度运动与轻度运动或被动恢复期的交替进行,较传统的中等强度连续训练(moderate intensity continuous training, MICT)省时。一项研究对比分析指出,高强度

间歇训练和中等强度训练对于体重、BMI 和体脂百分比的降低作用效果相近^[34]。但 HIIT 在改善心肺功能和收缩压方面具有更显著的效果。因此,对于身体素质较好并且具备一定运动基础的儿童青少年,HIIT 可作为 MICT 的有效替代方案,有助于更快速地提升心肺功能。反之,对于体能较弱且缺乏运动经验的低龄肥胖儿童(0~6 岁),应选择安全性更高、难度较低的 MICT,通过中等强度持续训练,逐步提升身体素质和运动能力。

2.4 运动训练注意事项 运动起始前,应选择舒适透气的运动装和合适的鞋子。充分热身 10~15min 至身体微微出汗、身体放松,且热身与运动间隔不宜过久。运动结束后应进行 10~15min 的放松运动。运动时间建议选择在饭后 2h。运动前 2~3h 应进行储备水分,避免临近运动时大量饮水。运动期间每隔 15~30min 补充水分 100~300mL。长时间高强度运动,儿童大量出汗会导致电解质流失,因此运动后需及时补充电解质。

3 儿童肥胖骨关节常见并发症的康复治疗

3.1 扁平足康复治疗 肥胖儿童中扁平足的患病率呈上升趋势,这不仅容易引发足部与小腿疼痛问题,严重时还可致不可逆的足部畸形^[35]。因此,应对扁平足儿童制定康复方案。

3.1.1 足底肌肉力量训练 针对扁平足康复治疗,应首选足底肌肉力量训练,例如进行足底韧带强化训练(毛巾卷训练),具体操作为每日进行 2~3 次,每次 3 组,每组需最大力度完成抓毛巾动作 20 次。此外,还应进行足底韧带等张训练,每次最大力量背伸保持 30~60s,同样每日 2~3 次,每次 3 组。另外,让患儿单脚踩在筋膜球上滚动 3min 后换脚,以此来锻炼足弓的稳定性^[36]。

3.1.2 物理因子疗法 物理因子治疗可作为扁平足治疗的一种辅助手段。运用直流电、低频电、超声波等方式刺激胫骨后肌,能显著改善足弓塌陷的情况。Abd-Elmonem 等^[37]曾选取 72 名 7~12 岁扁平足儿童,将其随机分为干预组和对照组,两组均接受为期 4 个月(3 次/周)的治疗,其中干预组采用足底肌肉力量练习联合神经肌肉刺激治疗,而对照组仅进行足底肌肉力量练习。4 个月后结果显示,干预组的足弓指数得到显著改善,这表明足底肌肉力量练习结合神经肌肉电刺激在改善扁平足更为突出。

3.1.3 矫正鞋垫 矫正鞋垫是治疗扁平足的常用保守疗法之一,它是依据儿童的足弓指数、步态分析和外翻角度等足部信息来定制的,为足弓提供额外

支撑,进而有效改善足弓角度。李金等^[38]研究发现学龄儿童每日穿戴矫正鞋垫 8h,持续 2 年,不仅可以缓解扁平足疼痛,还能有效改善外翻角度与足弓指数。

3.2 脊柱侧弯康复治疗 肥胖可致脊柱受力负荷增大,引发脊柱侧弯,甚至损害心肺功能,因此需积极干预和治疗。Cobb 角是国际上衡量脊柱侧弯严重程度的常用指标。根据病变程度,脊柱侧弯治疗分为保守治疗与手术治疗两类。其中保守治疗涵盖观察疗法、支具疗法和运动疗法等多种手段^[39]。当 Cobb 角处于 20°~25°时,多采用观察疗法,即每 3~6 个月进行一次复查以监测脊柱侧弯进展,在此期间,还可辅助采用 Schroth 疗法。研究表明 Schroth 疗法对 Cobb 角 10°~30°的轻度脊柱侧弯患者疗效更为显著^[40],是一种有效的保守治疗方法。此外,经皮电刺激疗法能够增强背部肌肉力量,从而提升脊柱稳定性^[41]。对于 Cobb 角在 25°~45°且骨骼发育尚未成熟的儿童,常采用支具疗法,其可重新分配脊柱所承受的机械应力,促进椎体的重塑,进而有效减缓脊柱侧弯程度^[42]。不过,Studer 等^[43]指出,相较于支具疗法,石膏矫正器固定在改善 Cobb 角方面效果更佳,并且还能够延迟手术干预的时间。当 Cobb 角超过 45°,且经过非手术干预措施仍未见效时,则需考虑进行脊柱矫正手术治疗^[44]。

运动干预是一种安全有效的减重方法,需要患者持之以恒,家庭积极配合,保持乐观向上的态度。但临床工作中医务人员要充分考虑儿童年龄、个人爱好、身体素质、运动能力、心理等因素,选择最佳的运动方式,制定个体化的运动方案。另外也要从饮食、心理因素、基础疾病治疗等方面综合干预才能获得更好的效果。

参考文献

- [1] 卢喜烈,杨庭树. 内科学[M]. 9 版. 上海:上海科学技术文献出版社, 2021.
- [2] Zhang X, Liu J, Ni Y, et al. Global prevalence of overweight and obesity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis [J]. JAMA Pediatr, 2024, 178 (8): 800-813.
- [3] Sun X, Yan AF, Shi Z, et al. Health consequences of obesity and projected future obesity health burden in China[J]. Obes (Silver Spring), 2022, 30(9): 1724-1751.
- [4] Chung ST, Krenke A, Magge SN. Childhood obesity and cardiovascular disease risk [J]. Curr Atheroscler Rep, 2023, 25 (7): 405-415.
- [5] Jeong SI, Kim SH. Obesity and hypertension in children and adolescents[J]. Clin Hypertens, 2024, 30(1): 23.
- [6] Babinska K, Kovacs L, Janko V, et al. Association between obesity and the severity of ambulatory hypertension in children and adolescents[J]. J Am Soc Hypertens, 2012, 6(5): 356-363.
- [7] 吴蔚,傅君芬,陈临琪. 儿童青少年 2 型糖尿病诊治中国专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2017, 55(6): 404-410. Wu W, Fu JF, Chen LQ, et al. Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment of type 2 diabetes mellitus in children and adolescents [J]. Chin J Pediatr, 2017, 55(6): 404-410. (in Chinese)
- [8] Calcaterra V, Marin L, Vandoni M, et al. Childhood obesity and incorrect body posture: Impact on physical activity and the therapeutic role of exercise[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(24): 16728.
- [9] Mueller S, Carlsohn A, Mueller J, et al. Influence of obesity on foot loading characteristics in gait for children aged 1 to 12 years[J]. PloS One, 2016, 11(2): e0149924.
- [10] Riddiford-Harland DL, Steele JR, Cliff DP, et al. Lower activity levels are related to higher plantar pressures in overweight children [J]. Med Sci Sports Exerc, 2015, 47 (2): 357-362.
- [11] Stolzman S, Irby MB, Callahan AB, et al. Pes planus and pediatric obesity: A systematic review of the literature[J]. Clin Obes, 2015, 5(2): 52-59.
- [12] Cao Z, Wu Y, Li Q, et al. A causal relationship between childhood obesity and risk of osteoarthritis: Results from a two-sample Mendelian randomization analysis [J]. Ann Med, 2022, 54(1): 1636-1645.
- [13] Ke D, Lu D, Cai G, et al. Accelerated skeletal maturation is associated with overweight and obesity as early as pre-school age: A cross-sectional study [J]. BMC Pediatrics, 2020, 20(1): 452.
- [14] 孙欣怡,徐昌富,李海燕,等. 心肺运动试验在儿童呼吸系统疾病中的应用 [J]. 中华儿科杂志, 2024, 62(6): 586-589. Sun XY, Xu CF, Li HY, et al. Application of cardiopulmonary exercise testing in respiratory diseases in children [J]. Chin J Pediatr, 2024, 62(6): 586-589. (in Chinese)
- [15] Orr L, Datta D. Comparison of measured peak oxygen uptake during exercise testing with calculated peak oxygen uptake in pulmonary arterial hypertension [J]. Chest, 2017, 152 (4): A1051.
- [16] Vandoni M, Correale L, Puci MV, et al. Six-minute Walk distance and reference values in healthy Italian children: A cross-sectional study [J]. PLoS ONE, 2018, 13 (10): e0205792.
- [17] Rubinstein M, Eliakim A, Steinberg N, et al. Biomechanical characteristics of overweight and obese children during five different walking and running velocities [J]. Footwear Sci, 2017, 9(3): 149-159.
- [18] Wang W, Cheng J, Song W, et al. The effectiveness of wearable devices as physical activity interventions for preventing and treating obesity in children and adolescents: Systematic review and meta-analysis [J]. JMIR mHealth UHealth, 2022, 10(4): e32435.

- [19] Chen P, Wang D, Shen H, et al. Physical activity and health in Chinese children and adolescents: Expert consensus statement (2020) [J]. *Br J Sports Med*, 2020, 54 (22): 1321-1331.
- [20] Swift DL, McGee JE, Earnest CP, et al. The effects of exercise and physical activity on weight loss and maintenance [J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2018, 61(2): 206-213.
- [21] Bray GA, Frühbeck G, Ryan DH, et al. Management of obesity[J]. *Lancet*, 2016, 387(10031): 1947-1956.
- [22] Stoner L, Beets MW, Brazendale K, et al. Exercise dose and weight loss in adolescents with overweight obesity: A meta-regression[J]. *Sports Med*, 2019, 49(1): 83-94.
- [23] Hillari Raj P, Subramanian P, Nehru M, et al. Therapeutic impact of aerobic exercise on adolescents with obesity and its association with expression of miRNAs and cytokines: A clinical approach[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2024, 60(3):459.
- [24] Schranz N, Tomkinson G, Olds T. What is the effect of resistance training on the strength, body composition and psychosocial status of overweight and obese children and adolescents? A systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med*, 2013, 43(9): 893-907.
- [25] García-Hermoso A, Ramírez-Vélez R, Ramírez-Campillo R, et al. Concurrent aerobic plus resistance exercise versus aerobic exercise alone to improve health outcomes in pediatric obesity: A systematic review and meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2018, 52(3): 161-166.
- [26] Wang R, Tian H, Guo D, et al. Impacts of exercise intervention on various diseases in rats[J]. *J Sport Health Sci*, 2020, 9(3): 211-227.
- [27] Hsu YJ, Lee MC, Huang CC, et al. The effects of different types of aquatic exercise training interventions on a high-fructose diet-fed mice[J]. *Int J Med Sci*, 2021, 18(3): 695-705.
- [28] 李寅翰, 谭思洁. 游泳运动对青少年肥胖患者身体机能的影响及其改善策略研究[J]. *当代体育科技*, 2022, 12(1): 31-33.
- Li YH, Tan SJ. Effect of swimming on physical function of adolescent obese patients and its improvement strategies [J]. *Contemp Sports Technology*, 2022, 12(1): 31-33. (in Chinese)
- [29] Bielec G, Gozdziewska A, Makar P. Changes in body composition and anthropomorphic measurements in children participating in swimming and non-swimming activities[J]. *Children (Basel)*, 2021, 8(7).
- [30] Blond MB, Rosenkilde M, Gram AS, et al. How does 6 months of active bike commuting or leisure-time exercise affect insulin sensitivity, cardiorespiratory fitness and intra-abdominal fat? A randomised controlled trial in individuals with overweight and obesity[J]. *Br J Sports Med*, 2019, 53(18): 1183-1192.
- [31] Comité Nacional de Medicina del Deporte Infantojuvenil. strength training in children and adolescents: Benefits, risks and recommendations [J]. *Arch Argent Pediatr*, 2018, 116 (Suppl 6): 82-91.
- [32] Méndez-Hernández LD, Ramírez-Moreno E, Barrera-Gálvez R, et al. Effects of strength training on body fat in children and adolescents with overweight and obesity: A systematic review with meta-analysis[J]. *Children (Basel)*, 2022, 9(7).
- [33] Stricker PR, Faigenbaum AD, McCambridge TM, et al. Resistance training for children and adolescents[J]. *Pediatr*, 2020, 145(6): e20201011.
- [34] Cao M, Tang Y, Li S, et al. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on cardiometabolic risk factors in overweight and obesity children and adolescents: A Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18 (22):11905.
- [35] Alghadir AH, Gabr SA, Rizk AA. Plasmatic adipocyte biomarkers and foot pain associated with flatfoot in schoolchildren with obesity[J]. *Rev Assoc Med Bras (1992)*, 2019, 65(8): 1061-1066.
- [36] 林朝阳, 吴成亮, 钱帅伟. 儿童青少年足底压力研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2024, 43(1): 65-74.
- Lin CY, Wu CL, Qian SW. Research progress on plantar pressure in children and adolescents[J]. *Chin J Sports Med*, 2024, 43 (1): 65-74. (in Chinese)
- [37] Abd-Elmonem AM, El-Negamy EH, Mahran MA, et al. Clinical and radiological outcomes of corrective exercises and neuromuscular electrical stimulation in children with flexible flatfeet: A randomized controlled trial [J]. *Gait Posture*, 2021, 88: 297-303.
- [38] Li J, Yang Z, Rai S, et al. Effect of insoles treatment on school-age children with symptomatic flexible flatfoot: A 2-year follow-up study[J]. *Indian J Orthop*, 2022, 56(11): 1985-1991.
- [39] Del Prete CM, Tarantino D, Viva MG, et al. Spinal orthosis in adolescent idiopathic scoliosis: An overview of the braces provided by the national health service in Italy[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2023, 60(1).
- [40] Park JH, Jeon HS, Park HW. Effects of the Schroth exercise on idiopathic scoliosis: A meta-analysis[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(3).
- [41] Curtin M, Lowery MM. Musculoskeletal modelling of muscle activation and applied external forces for the correction of scoliosis[J]. *Gait Posture*, 2014, 11(1): 52.
- [42] Tsirikos AI, Adam R, Sutters K, et al. Effectiveness of the Boston brace in the treatment of pediatric scoliosis: A longitudinal study from 2010-2020 in a national spinal center[J]. *Healthcare (Basel)*, 2023, 11(10).
- [43] Studer D, Hasler CC. Diagnostic and therapeutic strategies in early onset scoliosis: A current concept review [J]. *J Child Orthop*, 2024, 18(2): 113-123.
- [44] Braun S, Brenneis M, Schönnagel L, et al. Surgical treatment of spinal deformities in pediatric orthopedic patients [J]. *Life (Basel)*, 2023, 13(6):1341.