·短篇论著·

虚拟现实训练对唐氏综合征青少年平衡和下肢肌力的影响*

于 浩[1] 杨晓东[2] 王疆娜[3] 宋祺鹏[3] 张 翠[4] 孙 威[3,5]

根据中国优生协会提供的统计数据,中国每年2000万新生儿中约有2.66万婴儿出生时患有唐氏综合征(Down's syndrome,DS)高于全球平均发病率1.17‰[1],是导致中度到重度精神发育迟缓和严重运动障碍的残疾之一[2—3]。DS青少年肌肉无力、下肢肌张力降低及平衡能力的缺陷,从而导致运动障碍[4]。学校体育课程对学龄期青少年身心素质具有重要作用,然而由于DS青少年存在智力障碍,从事体育活动的主观能动性严重受阻。因此,DS青少年通常多以静坐少动的生活方式为主,身体活动时间、活动强度,以及活动量严重不足,身体活动的缺乏可能导致精神与运动能力进一步发育迟缓,久而久之造成恶性循环,严重损害DS的身心健康[5—6]。因此,增强DS体育课程趣味性、加强DS青少年体育活动主动参与度,是增加体育活动时间,提升孩子身体素质、促进身心发展的关键。虚拟现实(virtual reality,VR)是一种新颖、趣味性强的技术,它允许用户与计算机生成的虚拟世界进行互动,基于VR的活动更注重训练有氧运动和平衡功能,如姿势控制、动态平衡和下肢肌力[7]。虽然有一些研究探讨了DS青少年进行运动训练干预的可行性和有效性,但涉及DS青少年使用虚拟现实训练来促进平衡和下肢肌力康复的效果很少。本研究的目的是评估DS青少年使用虚拟现实训练计划的有效性,以及对平衡和下肢肌力的康复效果。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择30例唐氏综合征青少年参与本研究,受试者来自济南市某所特殊教育学校的学生,研究对象一般资料见表1。经Shapiro-Wilk检验正态分布检验后,所有参数均成正态分布。独立样本t检验发现,DS青少年的年龄、身高和体重没有发现显著的差异($P>0.05$)。纳入标准:诊断为唐氏综合征、智商在轻度智力低下(50—70)的范围内,年龄在11—18岁,能理解简单指令、独立站立和行走的能力[8]。排除标准:其他神经系统疾病、相关内科疾病(如并发白血病或严重的心脏缺陷)、不稳定精神障碍或接受任何可能干扰认知功能的治疗、前3个月内的任何重大疾病或大手术、研究前1个月内的药物治疗[8—9]。

表1 受试者一般资料 ($\bar{x}\pm s$)

	例数	身高(m)	体重(kg)	年龄(岁)
试验组	15	1.67±0.11	65.46±20.90	13±0.8
对照组	15	1.60±0.10	61.73±10.26	14±2.2
P值		0.069	0.541	0.081

使用随机生成软件,受试者被随机分配为两组。试验组15例,接受虚拟现实训练体育课,对照组15例,按照正常的课表上体育课。本研究共有41例学生(男35例,女6例)接受了筛查,最终30例男性符合纳入标准,被纳入并完成本研究。其中,5例自闭症学生(2男,3女)、3例脑瘫学生(1男,2女)、1例学生骨折(1男)、2例学生不理解测试指令(1男,1女)均被排除。父母或法定监护人在参与之前都签署了书面知情同意书。研究方案得到了山东体育学院伦理审查委员会的批准,已在中国临床试验注册中心进行注册(ChiCTR1900021352),允许DS青少年参与该项目并获得相关信息。

1.2 仪器设备

VR训练系统包括白屏、Kinect摄像头、跳舞毯、控制台和投影仪。虚拟现实利用Kinect人体动作信息采集技术,结合图像与声音信号实时处理技术,用于自闭症、脑瘫、智障和各种脑损伤后智力认知下降人群的评估、康复训练与疗效监控。

MicroFET3是一款精确的便携式肌力评估测试系统,能提供客观的、量化的测试数值。MicroFET3有左右两个屏幕,分别显示峰值肌力和完成测试的时间,可用作神经肌肉和骨骼肌肉紊乱的特定诊断、预后并提供治疗方案。

1.3 干预方案

试验组连续8周,每周3次,每次40min,体育教师负责协助和指导参与者,并确保安全。虚拟现实训练频率和持续时间的设计与该学校的教育计划大纲是一致的。锻炼计划

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.02.017

*基金项目:山东省自然科学基金(ZR2020QC091);山东省重点研发计划(2019GSF108211);教育部人文社会科学项目(19YJC880083);国家自然科学基金(31700815)

1 山东体育学院研究生教育学院,山东省济南市,250100; 2 济南黎明学校; 3 山东体育学院运动与健康学院; 4 山东省体育科学研究中心; 5 通讯作者

第一作者简介:于浩,男,初级治疗师;收稿日期:2021-10-10

由三个部分组成：①热身阶段：进行5min的步行和伸展运动；②练习期：使用虚拟现实进行平衡和下肢肌肉力量的练习；③降温阶段：进行与热身阶段相同的伸展运动。

虚拟现实训练系统提供了许多的虚拟游戏，体育教师提前从15个运动项目中选择了5个体育项目，分别是酷跑、打地鼠、接礼物、赛车和踢足球。这5个运动项目需要四肢的粗大运动和持续的姿势变换才能完成，而且每一场比赛对平衡和下肢肌肉力量表现的要求都不同。例如，接礼物需要快速的位置转移，而打地鼠则需要下肢之间的重量转移。DS青少年在8周内参加了24个疗程。前6次干预的重点是体育教师与DS青少年共同训练。第7—24次干预中DS青少年独立使用虚拟现实训练系统。在对照组中，参与者坚持自己的正常课表，包括每周参加3次体育活动，时间为40min，包括参加体育活动的频率和持续时间与虚拟现实训练组相同。

1.4 观察指标

1.4.1 平衡能力：采用Berg平衡量表(Berg balance scale，BBS)[10]和计时起跑试验(timed up and go，TUG)[11]评价平衡能力。BBS是一种基于绩效的平衡测量方法，由14项观察任务组成。任务的例子有安静地站立，从地面上捡起一个物体，以及绕着身体轴旋转360°等。这些项目按顺序评分(0—4分)，0分表示没有能力完成任务，4分表示完全有能力完成任务。这项测试是一种等级量表，最高分为56分。TUG测试内容包括一个人从扶手椅站起来、走3m、转身、走回椅子，受试者可以穿着普通鞋或使用助行器。使用秒表测量完成1次测试所需的总时间，测试重复了3次，记录了最快的时间。这项测试评估受试者的动态姿势平衡，动作越迅速表明动态姿势平衡越好。

1.4.2 下肢肌力：手持测力仪测量髋屈肌、髋伸肌、髋外展肌、膝关节伸肌、膝关节屈肌和踝跖屈肌的肌力[12—13]。屏幕在测试过程中显示触垫上的实时受力，在测试结束时显示测试达到的最大肌力。这在测量DS青少年的等长肌力方面被证明是可靠的，组内系数为0.89—0.95[14]。在解释和演示了测试程序之后，对优势侧下肢的测试肌肉进行了试验(表2)，每组肌肉测试完中间休息30s，采用3次有效数据的平均值进行数据分析。

1.5 统计学分析

统计学分析使用SPSS 25.0软件完成，所有数据结果均以平均值±标准差的形式表示。所有参数均使用正态性检验(Shapiro-Wilk检验)来确定是否属于正态分布。本研究自变量为组间变量和时间变量，因变量为DS青少年平衡功能和下肢肌肉力量指标。数据呈正态分布时采用双因素重复测量方差分析观察DS青少年平衡功能和下肢肌肉力量的主效应与交互效应分析，应用Bonferroni进行事后检验，非正态分布时采用非参数检验，$P<0.05$有显著性差异。

2 结果

2.1 DS青少年平衡功能

双因素重复测量方差结果显示，组别和时间两个因素对Berg和TUG测试不存在交互作用($P>0.05$)。试验组的Berg($P=0.269$)和TUG测试($P=0.336$)和对照组相比均没有显著性差异。干预后Berg($P=0.269$)和TUG测试($P=0.811$)与干预前相比均没有显著性差异(表3)。

2.2 DS青少年下肢肌肉力量

双因素重复测量方差结果显示，组别和时间这两个因素在髋屈肌、膝伸肌和踝跖屈肌的肌力上不存在交互作用($P>0.05$)，在髋伸肌($P=0.043$)、髋外展肌($P=0.015$)和膝屈肌($P=0.006$)的肌力上存在交互作用(表4)。Bonferroni事后检验发现，干预后试验组的髋伸肌($P=0.002$)、髋外展肌($P<0.001$)、膝屈肌($P<0.001$)的肌力显著高于对照组并显著高于干预前。

3 讨论

本研究的主要发现是，DS青少年经过8周的虚拟现实训练后，能够显著改善下肢肌肉的力量。虚拟现实训练对DS

表2 肌肉力量测试方法

肌肉	测试方法
髋屈肌	坐位，双手放于体侧，脚无支撑，测试人员在受试者测试侧，触垫放在受试者股骨远端靠近膝关节的位置，对抗触垫屈曲髋关节，嘱受试者双手支撑床面。
髋伸肌	俯卧位，直腿后伸髋关节约20°，测试人员在受试者测试肢体对侧，将触垫放在受试者股骨远端中央靠近膝关节的位置，抵抗触垫后伸髋关节，禁止受试者屈膝。
髋外展肌	侧卧位，被测肢体在上，直腿外展髋关节约20°，测试人员一手固定髋关节，另一手将触垫放在腓骨远端靠近踝关节的位置，对抗触垫做髋关节外展的动作。
膝屈肌	俯卧位，屈膝90°，髋关节轻度外旋位，测试人员在受试者背面，测试肢体对侧，将触垫放在受试者胫骨后侧下方踝关节位置，抵抗触垫屈曲膝关节，禁止受试者臀部抬起。
膝伸肌	坐位，被测肢体屈膝，双下肢无支撑，测试人员在受试者前面，将触垫放在受试者胫骨前侧靠近踝关节的位置，抵抗触垫伸膝，禁止受试者双手着床。
踝跖屈肌	仰卧位，直腿屈髋至最大，测试人员在受试者一侧，一手固定受试者踝关节，另一手将触垫放在受试者前脚掌处(第一二三节跖骨的位置)，对抗触垫跖屈。

表3 DS青少年下肢平衡能力的比较 ($\bar{x}\pm s$)

指标	试验组		对照组		AVONA *P*值		
	干预前	干预后	干预前	干预后	T	G	T*G
Berg(分)	50.66±3.56	52.07±2.94	50.12±4.25	50.62±3.21	0.269	0.269	0.604
TUG(s)	9.15±2.01	9.08±2.09	9.42±1.15	9.73±2.01	0.336	0.811	0.700

注:T: 干预影响主效应;G: 组间影响主效应;T*G: 干预和组间的交互效应。

表4 DS青少年下肢肌力的对比 ($\bar{x}\pm s$,N)

指标	试验组		对照组		AVONA *P*值		
	干预前	干预后	干预前	干预后	T	G	T*G
髋屈肌	68.98±7.56	75.65±9.35	63.59±9.48	63.50±8.32	0.258	< 0.001	0.249
髋伸肌	53.53±8.23①	61.72±5.38②	52.51±9.39	51.97±9.03	0.013	0.075	0.043
髋外展肌	53.36±9.39①	64.21±7.65②	51.53±8.10	51.48±8.14	0.015	0.01	0.015
膝伸肌	62.57±6.72	71.24±8.14	58.07±6.90	60.97±6.40	0.020	< 0.001	0.114
膝屈肌	62.52±7.39①	76.01±8.46②	56.20±1.60	59.59±5.43	< 0.001	< 0.001	0.006
踝跖屈肌	53.67±7.65	62.34±5.26	52.46±3.25	57.00±6.68	0.010	0.076	0.259

注:①干预前后组内差异有显著性$P<0.05$;②干预后两组间差异有显著性$P<0.05$;T: 干预影响主效应;G: 组间影响主效应;T*G: 干预和组间的交互效应。

青少年是一种可以接受的运动形式。因为部分智力残疾患者及其照顾者担心参与锻炼和剧烈活动引起不适,认为患者不应该锻炼[15]。本研究可能有利于扭转这种观念,鼓励患者参加锻炼计划,提升体育锻炼趣味性,有助于缓解DS青少年面临久坐少动对健康造成不利影响的高风险。

本研究结果显示,试验组在8周的虚拟现实训练后,髋屈肌、髋伸肌、髋外展肌、膝伸肌、膝屈肌和踝跖屈肌肌力都显著提升。结果表明,虚拟现实训练可以显著改善DS青少年的下肢肌力。Lin等[16]发现,DS青少年在6周的虚拟现实训练后下肢肌肉力量都得到了显著性的提高,这和本研究的测试结果相一致。肌肉力量的改善可能有助于延长唐氏综合征患者进行剧烈活动的时间,减缓患者疲劳的程度,有利于延长体育运动时间[16]。

本研究结果表明,虚拟现实训练可以显著改善DS青少年的下肢肌力。相关文献研究发现,DS儿童的下肢肌力低于正常水平,严重影响患者正常生长发育,虚拟现实运动训练可以提升肌力,可能有助于促进DS青少年生长发育[17—18]。虚拟现实训练提升患者肌力的效果,原因可能在于:第一,相比于传统体育活动,虚拟现实训练是集趣味性、多感官系统输入整合、多模式协调运动控制的有氧运动[7],有效调动学生运动积极性,可能有助于提升锻炼效果;第二,本研究中虚拟现实训练,包含较多的下肢髋膝关节肌力训练游戏模块,需要四肢的粗大运动和持续的姿势变换才能完成任务,相当于中等到高水平的体力活动,对肌肉力量的有效增强具有促进作用。在本研究中,DS青少年在进行"虚拟足球射门"和"打地鼠游戏"时,受试者需要单脚站立的同时另一脚不断进行屈伸来控制屏幕中人物完成游戏。DS青少年需要一侧下肢进行自身负重训练,另一侧下肢的髋膝关节做伸展运动训练,可能有助于下肢髋膝关节伸肌群力量增长。DS青少年在"虚拟酷跑"和"接礼物游戏"中,不断的进行左右移动和上下蹲起跳跃运动来完成游戏,需要下肢髋关节外展肌群及髋膝踝关节伸肌群交替进行向心收缩、离心收缩完成动作,进而可能促进相应肌群伸肌力提升。

本研究发现,试验组进行虚拟现实运动训练后髋关节和膝关节屈肌群的肌力显著改善,可能与虚拟游戏特定运动动作相关。游戏中具有较多的单腿支撑动作练习,如前述中的"虚拟足球射门"和"打地鼠游戏",支撑腿髋膝关节屈伸肌群进行等长收缩,维持关节稳固,提高支撑稳定性,反复的虚拟动作训练可能有助于提升屈肌群肌力。此外,本研究的五个虚拟现实游戏,需要下肢关节屈肌群作为拮抗肌被动收缩发力,以协调配合伸肌群主动收缩完成虚拟游戏动作,如游戏中的"射门"动作,"蹲起"动作等,规律的虚拟现实动作训练,可能有助于提升下肢关节屈肌肌群力量。

本研究发现,试验组Berg测试和TUG测试虽有一定改善,但差异没有显著性意义。本研究中DS患者均是轻度,运动功能虽然有所下降,但部分患者仍可能较好的完成Berg平衡测试,本研究中患者训练前平均得分为(50.66±3.56)分,表明对于部分患者可能存在"天花板效应",训练后其Berg得分提升空间有限,提示应选择更适合的平衡量表进行测评。试验组TUG行走测试时间在虚拟训练后没有显著提升的原因可能与虚拟游戏中缺乏坐下-站立-起步走的功能训练有关。虚拟游戏中的平衡训练为"虚拟赛车游戏",是通过保持自身站立姿势的稳定来控制游戏中赛车处于固定轨道上,以完成游戏。因此,为提升患者的动态平衡控制,可能需要开发相关动态姿势控制虚拟游戏。

本研究的局限性主要包括:只有男性青少年完成全部试验,缺乏女性相关数据;样本量较小,未来的研究可以增大样本量进行相关干预训练,以增强结果的适用性;可以使用更

精准、更客观的测量方法，如等速肌力测试、测力台等设备进行肌肉量与平衡能力的研究。

4 结论

DS青少年在经过8周的虚拟现实训练后，下肢肌肉的力量得到提升，但平衡能力未显著改善。本研究选取的虚拟现实训练，为DS青少年下肢肌肉力量提升训练方法的改进提供客观依据。

参考文献

[1] Huang J，Chen Y，Pong RW. Factors Influencing prenatal screening for down's syndrome：evidence from Zhejiang (China) [J]. Asia Pac J Public Health，2012，27(2)：1288—1297.

[2] Presson AP，Partyka G，Jensen KM，et al. Current estimate of down syndrome population prevalence in the United States [J]. J Pediatr，2013，163(4)：1163—1168.

[3] Wu J，Morris JK. Trends in maternal age distribution and the live birth prevalence of Down's syndrome in England and Wales：1938—2010[J]. Eur J Hum Genet，2013，21(9)：943—947.

[4] Eid MA，Aly SM，Huneif MA，et al. Effect of isokinetic training on muscle strength and postural balance in children with Down's syndrome [J]. Int J Rehabil Res，2017，40(2)：127—133.

[5] Frey GC，Stanish HI，Temple VA. Physical activity of youth with intellectual disability：review and research agenda [J]. Adapt Phys Activ Q，2008(2)95—117.

[6] Frey GC，Buchanan AM，Sandt DDR. "I'd rather watch TV"：an examination of physical activity in adults with mental retardation [J]. Ment Retard，2005(4)241—254.

[7] Stander J，Preez JCD，Kritzinger C，et al. Effect of virtual reality therapy，combined with physiotherapy for improving motor proficiency in individuals with Down syndrome：a systematic review [J]. S Afr J Physiother，2021，77(1)：1516.

[8] Eid MA，Aly SM，Huneif MA，et al. Effect of isokinetic training on muscle strength and postural balance in children with Down's syndrome [J]. Int J Rehabil Res，2017，40(2)：127—133.

[9] Alsakhawi RS，Elshafey MA. Effect of core stability exercises and treadmill training on balance in children with Down syndrome：Randomized controlled trial [J]. Adv Ther，2019，36(9)：2364—2373.

[10] Downs S，Marquez J，Chiarelli P. The Berg balance scale has high intra- and inter-rater reliability but absolute reliability varies across the scale：a systematic review [J]. J Physiother，2013，59(2)：93—99.

[11] Beerse M，Lelko M，Wu J. Biomechanical analysis of the timed up-and-go (TUG) test in children with and without Down syndrome [J]. Gait Posture，2018，68：409—414.

[12] 刘根林，李建军，周红俊，等. 肌力定量检查方法研究进展[J]. 中国康复理论与实践，2017，23(7)：766—769.

[13] 翟淳. 手持式肌力测定仪在儿童力量测试的应用研究进展[J]. 中国康复医学杂志，2019，34(7)：862—865.

[14] Wuang YP，Chang JJ，Wang MH，et al. Test-retest reliabilities of hand-held dynamometer for lower-limb muscle strength in intellectual disabilities[J]. Res Dev Disabil，2013，34(8)：2281—2290.

[15] Tamar H，Kelly H，James-HR. Attitudinal and psychosocial outcomes of a fitness and health education program on adults with down syndrome [J]. Am J Ment Retard，2004(2)：175—185.

[16] Lin HC，Wuang YP. Strength and agility training in adolescents with Down syndrome：a randomized controlled trial [J]. Res Dev Disabil，2012(6)：2236—2244.

[17] Silva V，Campos C，Sá A，et al. Wii-based exercise program to improve physical fitness，motor proficiency and functional mobility in adults with Down syndrome[J]. J Intellect Disabil Res，2017，61(8)：755—765.

[18] Dupre C，Weidman-evans E. Musculoskeletal development in patients with Down syndrome [J]. JAAPA，2017，30(12)：38—40.