·临床研究·

长期体育锻炼对青年人不同认知任务干扰时平衡能力的影响*

游永豪^{1,2,6} 温爱玲³ 谢云^{6,7} 汪毅⁴ 赵梦贤⁵ 邵梦霓¹

摘要

目的:探索青年人在不同认知任务干扰时的平衡表现,以及长期体育锻炼的调节效应。

方法:测试有体育锻炼习惯组和无体育锻炼习惯组的健康青年人在不同认知任务干扰时的静态、动态平衡,并以分组变量(group)为主体间变量、多次平衡测试结果(task)为主体内变量进行单因素重复测量方差分析。

结果:长期体育锻炼对计算、唱歌、书写干扰时的静态平衡、书写干扰时的静态左右对称平衡、唱歌干扰时的静态前后对称平衡以及计算干扰时的动态平衡具有积极的调节效应($P < 0.05$),且能够明显降低青年人受到相应认知任务干扰时的双任务成本($P < 0.05$),但是对计算干扰时的静态左右对称平衡、朗读干扰时的静态前后对称平衡以及计算和唱歌干扰时的动态左右对称平衡具有消极的调节效应($P < 0.05$)。

结论:长期体育锻炼对青年人在不同认知任务干扰时的动态和静态平衡表现都具有显著的调节效应。

关键词 认知任务;动态平衡;静态平衡;对称平衡;调节效应

中图分类号:G804, R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2024)-03-0382-10

Effects of long-term physical exercise on young people's balance ability under different cognitive tasks/
YOU Yonghao, WEN Ailing, XIE Yun, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2024, 39
(3): 382—391

Abstract

Objective: To explore the balance performance of young adults under the interference of different cognitive tasks, and the moderating effect of long-term physical exercise.

Method: The static and dynamic balance of healthy young people with physical exercise habit and without physical exercise habit were tested under the interference of different cognitive tasks. One-way repeated measures ANOVA was performed with the group variable (Group) as the between-subjects factor and the results of multiple balance tests (Task) as the within-subjects variable.

Result: Long term physical exercise had a positive moderating effect on the static balance during calculation, singing, and writing interference, the static mediolateral symmetrical balance during writing interference, the static anteroposterior symmetrical balance during singing interference, and the dynamic balance during computing interference ($P < 0.05$). The dual-task cost of young people was significantly reduced when they are disturbed by the corresponding cognitive tasks ($P < 0.05$). However, it had a negative regulatory effect on the static mediolateral balance of calculation interference, the static anteroposterior balance of reading interference, and the dynamic mediolateral balance of calculation and singing interference ($P < 0.05$).

Conclusion: Long term physical exercise has a significant moderating effect on young people's dynamic and static balance performance when different cognitive tasks are disturbed.

Author's address Department of Sports Science, Hefei Normal University, Hefei, 230601

Key word cognitive tasks; dynamic balance; static balance; symmetrical balance; moderating effect

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.03.012

*基金项目:安徽省运动健康监测信息技术工程研究中心开放基金项目(KF2022ZD01);国家自然科学基金(22BTY079)

1 合肥师范学院体育科学学院,安徽省合肥市,230601; 2 安徽省运动健康监测信息技术工程研究中心; 3 淮南师范学院体育学院;
4 中国人民大学体育部; 5 深圳大学体育学院; 6 天津体育学院运动训练学院; 7 通讯作者
第一作者简介:游永豪,男,教授; 收稿日期:2022-11-17

人们在日常活动中经常需要同时执行两项或多项任务,比如行走时打电话、跑步时听音乐等,这种并行执行两项可以独立执行、单独测量、目标不同的任务的能力称为双任务能力^[1]。双任务能力是人们维持日常生活的一项基本能力。根据中枢能量共享模型^[2],总的注意力资源是有限的,执行运动-认知双任务时,运动任务和认知任务会争夺注意力资源,从而影响运动任务和认知任务的执行效果。所以,人们在维持平衡(运动任务)时受到认知任务干扰后平衡表现可能会显著降低,而降低的幅度可能会受体育锻炼习惯的影响。由于身体锻炼时需要较高的认知负荷,所以长期体育锻炼是在锻炼身体也是在锻炼认知能力。长期体育锻炼同时可以改善心血管功能,提高氧气和营养物质输送到大脑的效率^[3-4],增加血液中的脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)^[5-6],从而改善大脑结构和功能^[7]。因此,长期体育锻炼可以提高认知能力,减少执行运动-认知双任务时认知任务所需要的注意力资源,从而降低对运动任务的影响。长期的有氧运动、抗阻训练、力量练习等能够增强老年人、青年人、儿童的平衡能力^[8-12]。可见,长期体育锻炼能够提高认知能力和平衡能力,那么长期体育锻炼对认知任务干扰时的平衡表现可能具有调节效应。但是目前国内外学者的研究主要集中在单一因素(认知任务或体育锻炼)对平衡能力的影响,鲜有人探索双因素(认知任务和体育锻炼)对平衡能力的影响,也就是长期体育锻炼的调节效应。

本研究参考文献资料,设计了日常生活中常见的认知任务干扰模式(计算^[13]、唱歌^[31]、朗读^[32]、书写^[33]),探索青年人在不同认知任务干扰时的平衡表现,以及长期体育锻炼的调节效应。基于长期体育锻炼的认知益处和平衡益处,提出本研究假设:青年人在执行维持平衡的运动任务时,受到认知任务的干扰后平衡表现会显著降低,但是有锻炼习惯的青

年人降低幅度会较小,无锻炼习惯的青年人降低幅度会较大,也就是长期体育锻炼对认知任务干扰时的平衡表现具有调节效应。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用问卷调查的方法从19—23岁的350例普通大学男生中筛选受试者。

纳入标准:①身体健康;②1周内未饮酒;③前一天睡眠正常且未进行大强度运动;④BMI:18.5—23.9;⑤原意签订知情同意书。

排除标准:①有视觉、本体感觉、前庭功能或认知障碍;②有神经性疾病;③有参加体力活动的禁忌证;④1年内下肢做过手术。

坚持以下运动习惯2年以上的认为有体育锻炼习惯,纳入长期体育锻炼组(long-term physical exercise group, LPE):每周锻炼3次以上;每次锻炼30min以上;每次锻炼强度在中等强度以上。对LPE受试者的锻炼内容不作限制。近两年一直没有规律性体育锻炼习惯的纳入无体育锻炼习惯组(no physical exercise habit group, NPE)。最终筛选LPE组受试者35例,NPE组受试者34例(表1)。经独立样本 t 检验,两组的年龄、身高、体重、BMI差异不具有显著性意义($P > 0.05$)。

1.2 静态平衡测试

采用中国科学院研制的IIM-BAL-100静态平衡测试仪测试受试者站立时的静态平衡。该设备采用高精度三维力传感器获取人体站立时的压力中心,根据压力中心移动的轨迹和速度等评估人体站立时的静态平衡。

静态平衡测试指标:①静态平衡分数:对静态平衡的综合评价;②移动速度:压力中心移动的速度;③摆动角度:单位时间内重心摆动的角度。

静态对称平衡测试指标:①静态左右对称平衡:

表1 试验对象的一般资料

基本信息	无体育锻炼组(NPE) ($\bar{x} \pm s$)	长期体育锻炼组(LPE) ($\bar{x} \pm s$)	方差齐性检验		t 检验		
			F 值	P 值	t 值	df	P 值
年龄(岁)	20.7±1.3	21.2±1.2	0.858	0.358	1.647	67	0.104
身高(cm)	175.1±5.0	177.1±4.7	0.153	0.697	1.724	67	0.089
体重(kg)	65.9±8.4	66.3±8.2	0.065	0.800	0.220	67	0.826
BMI	21.4±1.5	21.1±1.5	0.056	0.813	-0.904	67	0.369

单位时间内压力中心在身体左侧与右侧移动轨迹长的差值绝对值;②静态前后对称平衡:单位时间内压力中心在身体前侧与后侧移动轨迹长的差值绝对值。

静态平衡分数的值越大则静态平衡越好,其余指标的值越小则静态平衡越好。

共5种测试:一种无干扰测试(无干扰);4种干扰测试,干扰方式分别为计算、唱歌、朗读、书写。

①无干扰:无干扰状态下完成静态平衡测试。要求受试者赤双脚站在静态平衡仪的平衡板上,两眼平视前方,双臂自然垂放于体侧。两脚跟水平间距10cm,脚尖自然摆放。

②计算干扰:在无干扰的基础上,增加计算干预。请受试者从90—100之间的任一数字(由测试人员随机选择)开始,用正常速度做连续减3的口算题,并说出计算结果。

③唱歌干扰:在无干扰的基础上,增加唱歌干预。受试者听歌曲并跟着哼唱出声,歌曲为《成都》(歌手赵雷)。从第18s出现歌词的地方开始播放。

④朗读干扰:在无干扰的基础上,增加朗读干预。受试者以正常速度朗读《成都》的歌词。朗读时,要求受试者双手握印有歌词的A4纸,上臂垂于体侧,前臂前屈约45°,躯干和四肢的姿势处于固定状态。

⑤书写干扰:在无干扰的基础上,增加书写干预。受试者以正常速度临摹书写《成都》的歌词。书写时,受试者两侧上臂垂于体侧,前臂前屈约45°,左手拖夹板,夹板上夹着一张印有歌词的A4纸。受试者右手持圆珠笔在空白区完成书写动作。

1.3 动态平衡测试

采用德国 Dr-Wolff 公司生产的 Balance-check 动态平衡测试仪测试受试者站立时的动态平衡。该设备由平衡板和安装有相应软件的电脑组成。平衡板处于水平位置时,目标球在正方形区域的中心;平衡板倾斜时,电脑屏幕上的目标球会同向移动。目标球的移动轨迹形成动态姿势图。受试者可以通过观察目标球的在正方形区域中的位置调整平衡状态。该设备主要根据目标球在正方形各区域停留的时间、平衡板倾斜的速度评估受试者的动态平衡。测试难度设定为中等难度(难度等级为5),控制设

备选择 Sensor+高敏传感器,测试时间为60s。

动态平衡测试指标:①动态平衡分数:根据目标球在正方形各区域停留的时间对动态平衡的综合评价;②旋转速度:平衡板在单位时间内倾斜的角度平均值;③最大旋转速度:平衡板在单位时间内倾斜的角度最大值。

动态对称平衡测试指标:①动态左右对称平衡:目标球在正方形左侧与右侧停留时间百分比的差值绝对值;②动态前后对称平衡:目标球在正方形前侧与后侧停留时间百分比的差值绝对值。

动态平衡分数的值越大则动态平衡越好,其余指标的值越小则动态平衡越好。

由于动态平衡测试时要求受试者通过观察电脑屏幕上目标球的移动来调整动态平衡状态,所以无法实施朗读、书写两种干扰,仅实施了三种动态平衡测试:一种无干扰测试(无干扰);两种干扰测试,干扰方式分别为计算、唱歌。

①无干扰:无干扰状态下完成动态平衡测试。要求受试者赤双脚站在平衡板上,两眼平视前方电脑屏幕上的目标球,双臂自然垂放于体侧。两脚跟水平间距10cm,脚尖自然摆放。

②计算:在无干扰的基础上,增加计算干预。干扰方法与静态平衡测试时一致。

③唱歌:在无干扰的基础上,增加唱歌干预。干扰方法与静态平衡测试时一致。

1.4 实验处理

所有受试者先接受静态平衡测试,再接受动态平衡测试。为了排除干扰顺序的影响,静态平衡测试的第1位受试者接受的干扰顺序为无干扰—计算—唱歌—朗读—书写,第2位受试者为计算—唱歌—朗读—书写—无干扰,第3位受试者为唱歌—朗读—书写—无干扰—计算,以此类推。动态平衡测试第1位受试者接受的干扰顺序为无干扰—计算—唱歌,第2位受试者为计算—唱歌—无干扰,第3位受试者为唱歌—无干扰—计算,以此类推。静态平衡前后两个测试之间的时间间隔约2min,动态平衡前后两个测试之间的时间间隔约5min。每个测试提前5s让受试者进入测试状态,并延后5s结束测试状态,以避免进入测试和结束测试时数据不稳定对结果产生影响。为了保证每位受试者对歌曲《成都》

的熟悉程度基本一致,进入实验室后会先让受试者先静坐 20min 看歌词、听歌曲,然后让受试者以正常速度朗读歌词、跟唱歌曲,直到能流畅的(不卡壳、不中断)朗读歌词、跟唱歌曲为止。测试过程中没有任何任务优先级指示。

在唱歌、朗读、书写干扰时都选择了《成都》的原因是该民谣歌曲的曲调旋律和歌词信息都很清晰自然,“曲中有画、画中有曲”,代入感、画面感很强,对受试者能产生显著的“干扰作用”。

1.5 数据处理与分析

借鉴 Fabri 等^[14]提出的双任务成本(dual-task cost, DT_cost)量化评价认知任务对平衡的干扰程度。双任务成本越大,说明认知任务对平衡的干扰越大。评估平衡表现的指标为低优指标(值越小越好)时,DT_cost=(DT-ST)/ST×100;为高优指标(值越大越好)时,DT_cost=(ST-DT)/ST×100。其中,DT为执行双任务时的平衡指标值,ST为执行单任务时的平衡指标值。长期体育锻炼具有调节效应时,NPE组和LPE组双任务成本的差值(Diff)可以量化评估调节效应的大小。

以分组变量为主体间变量(group),多次平衡测试结果为主体内变量(task)进行单因素重复测量方差分析,探索主体间变量和主体内变量的主效应和两者的交互效应。交互效应具有显著性差异时,说明长期体育锻炼具有调节效应。group有2个水平,分别为NPE组、LPE组;分析静态平衡时Task有5个水平,分别为无干扰、计算、唱歌、朗读、书写,分析动态平衡时Task有3个水平,分别为无干扰、计算、唱歌。接受球形假设时,采纳主体内效应检验的结果;拒绝球形假设时,采用矫正系数ε(按Greenhouse-Geisser法)对结果进行矫正。根据P值和效应量(Partial η²)判断方差分析的统计结果。采用Cohen^[15-16]、Fritz CO等^[17]提出的Partial η²小、中、大判断标准:0.01、0.06和0.14。为了简化描述,下文用η²

代替Partial η²。单独效应分析时估计边际均值并进行成对比较,显著性水平的矫正方法采用Bonferroni法。数据描述方式为均值±标准差。统计分析软件采用IBM SPSS 26.0,显著性水平取0.05和0.01。

2 结果

2.1 静态平衡结果

2.1.1 静态平衡总体结果:单因素重复测量方差分析发现各指标皆拒绝球形假设,需要采用ε矫正系数进行矫正(表2)。各指标的task主效应、group主效应皆出现显著性差异(P<0.01,η²>0.06),交互效应也出现显著性差异(P<0.05,η²>0.05)。说明本研究所设计的认知任务以及长期体育锻炼对青年人的静态平衡产生了显著影响,且NPE组和LPE组受到的影响程度明显不同。也就是青年人的静态平衡受到不同认知任务干扰时,长期体育锻炼具有调节效应。

2.1.2 静态平衡中的调节效应:组内对比与组间对比的结果表明了静态平衡各指标交互效应的具体情况(表3)。NPE组和LPE组受到计算、唱歌、朗读、书写干扰时,静态平衡分数、移动速度、摆动角度等3个指标的组内(与无干扰相比)皆出现显著性差异(P<0.05),静态平衡分数显著增大(P<0.05),移动速度、摆动角度显著减小(P<0.05)。无干扰时,三个指标的组间(与NPE组相比)皆不存在显著性差异(P>0.05);受到计算、唱歌、书写干扰时,三个指标的组间皆出现显著性差异(P<0.05),且LPE组的静态平衡分数显著高于NPE组(P<0.05),移动速度、摆动角度显著低于NPE组(P<0.05);受到朗读干扰时,三个指标的组间(与NPE组相比)不存在显著性差异(P>0.05)。也就是只有受到朗读干扰时各指标的表现相同。由于静态平衡分数为高优指标,移动速度、摆动角度为低优指标,说明长期体育

表2 静态平衡的重复测量方差分析

静态平衡	球形检验			Task主效应		Group主效应		交互效应	
	Mauchly W	P值	ε	P值	η ²	P值	η ²	P值	η ²
静态平衡分数	0.107	0.000	0.514	0.000	0.398	0.004	0.120	0.020	0.056
移动速度	0.057	0.000	0.438	0.000	0.344	0.004	0.115	0.008	0.074
摆动角度	0.075	0.000	0.452	0.000	0.346	0.006	0.107	0.007	0.076
静态左右对称平衡	0.315	0.000	0.657	0.000	0.147	0.005	0.111	0.003	0.073
静态前后对称平衡	0.522	0.000	0.759	0.001	0.077	0.002	0.137	0.005	0.062

锻炼对计算、唱歌、书写干扰时的静态平衡表现具有积极的调节效应,能够明显降低青年人受到计算、唱歌、书写干扰时静态平衡的双任务成本,但是对朗读的干扰没有调节效应。

受到计算、唱歌和书写干扰时,NPE组静态平衡分数的双任务成本分别为2.9%、10.9%、2.7%,LPE组的双任务成本分别为2.2%、5.8%、1.1%(表4)。可见,受到以上三种干扰时,LPE组静态平衡分数的双任务成本皆小于NPE组,尤其是受到唱歌干扰时两组双任务成本的差异最大,NPE组的双任务成本为10.9%,LPE组的双任务成本为5.8%,Diff为5.1%。也就是说长期体育锻炼能够使青年人受到唱歌干扰时静态平衡分数的双任务成本降低5.1%。这进一步表明了长期体育锻炼的调节效应。采用类似的方法会发现,受到四种干扰时,LPE组移动速度和摆动角度双任务成本皆小于NPE组,尤其是受到唱歌干扰时表现更为明显(表4)。可见,长期体育锻炼对唱歌干扰时静态平衡表现的积极调节效应最大,对计算、书写干扰时的积极调节效应较小。

左右对称平衡方面(表3),计算的干扰对NPE组静态左右对称平衡的影响不具有显著性差异

($P > 0.05$),但是使LPE组的静态左右对称平衡显著增大($P < 0.05$);书写的干扰使NPE组的静态左右对称平衡显著增大($P < 0.05$),但是对LPE组的影响不具有显著性差异($P > 0.05$),且组间(与NPE组相比)具有显著性差异($P < 0.01$)。可见,计算、书写的干扰对NPE组的影响与对LPE组的影响明显不同。静态左右对称平衡属于低优指标,结合表4可知,长期体育锻炼对计算和书写干扰时的左右对称平衡具有不同方向的调节效应:计算干扰时具有消极的调节效应,会降低青年人受到计算干扰时的左右对称平衡,双任务成本为58.2%;书写干扰时具有较大且积极的调节效应,降低青年人受到书写干扰时左右对称平衡的双任务成本,Diff为127.4%。唱歌的干扰使NPE组和LPE组的静态左右对称平衡都显著增大($P < 0.01$),但是组间不具有显著性差异($P > 0.05$);朗读的干扰对NPE组和LPE组静态左右对称平衡的影响都不具有显著性差异($P > 0.05$),组间不具有显著性差异($P > 0.05$)。说明长期体育锻炼对唱歌和朗读干扰时的左右对称平衡不具有调节效应。

前后对称平衡方面(表3),计算和书写干扰时静态前后对称平衡的组内都不具有显著性差异($P > 0.05$),说明长期体育锻炼对计算和书写干扰时

表3 静态平衡的组间、组内对比

($\bar{x} \pm s$)

静态平衡	无干扰		计算		唱歌		朗读		书写	
	NPE	LPE	NPE	LPE	NPE	LPE	NPE	LPE	NPE	LPE
静态平衡(分)	93.75±88.47	95.35±91.04	90.99±91.19 ^④	93.25±94.26 ^{①③}	83.5±5.58 ^④	89.78±2.48 ^{②④}	88.47±4.67 ^④	91.04±2.73 ^④	91.19±9.47 ^④	94.26±6.38 ^{②③}
移动速度(mm/s)	14.54±18.45	12.99±16.3	16.75±16.13 ^④	14.49±13.93 ^{②④}	22.32±4.35 ^④	16.5±2.57 ^{②④}	18.45±3.91 ^④	16.3±2.78 ^④	16.13±8.22 ^④	13.93±6.19 ^{②④}
摆动角度(°)	0.84±1.06	0.75±0.94	0.96±0.91 ^④	0.83±0.80 ^{②④}	1.29±0.25 ^④	0.95±0.15 ^{②④}	1.06±0.23 ^④	0.94±0.16 ^④	0.91±0.47 ^④	0.80±0.36 ^{①③}
静态左右对称平衡(mm/s)	0.65±0.59	0.55±0.54	0.60±1.62	0.87±0.67 ^③	1.54±0.62 ^④	1.11±0.43 ^④	0.59±0.44	0.54±0.84	1.62±1.41 ^④	0.67±0.80 ^②
静态前后对称平衡(mm/s)	0.94±1.13	0.59±1.42 ^①	1.00±1.20	0.77±0.84	1.77±0.58 ^④	0.86±0.59 ^②	1.13±0.81	1.42±0.51 ^④	1.20±1.59	0.84±0.58 ^①

注:与NPE比较:① $P < 0.05$,② $P < 0.01$;与无干扰比较:③ $P < 0.05$,④ $P < 0.01$ 。

表4 静态平衡受到认知任务干扰时的双任务成本

静态平衡	计算				唱歌				朗读				书写			
	NPE	LPE	Mean	Diff	NPE	LPE	Mean	Diff	NPE	LPE	Mean	Diff	NPE	LPE	Mean	Diff
静态平衡分数(%)	2.9	2.2	2.6	0.7	10.9	5.8	8.4	5.1	5.6	4.5	5.1	1.1	2.7	1.1	1.9	1.6
移动速度(%)	15.2	11.5	13.4	3.7	53.5	27.0	40.3	26.5	26.9	25.5	26.2	1.4	10.9	7.2	9.1	3.7
摆动角度(%)	14.3	10.7	12.5	3.6	53.6	26.7	40.1	26.9	26.2	25.3	25.8	0.9	8.3	6.7	7.5	1.7
静态左右对称平衡(%)	-7.7	58.2	25.2	-65.9	136.9	101.8	119.4	35.1	-9.2	-1.8	-5.5	-7.4	149.2	21.8	85.5	127.4
静态前后对称平衡(%)	6.4	30.5	18.4	-24.1	88.3	45.8	67.0	42.5	20.2	140.7	80.4	-120.5	27.7	42.4	35.0	-14.7

注:NPE和LPE所在列对应数据为双任务成本。Mean为NPE和LPE的均值。Diff为NPE和LPE双任务成本的差值,Diff=NPE-LPE。

的静态前后对称平衡都不具有调节效应。唱歌的干扰对LPE组静态前后对称平衡的影响不具有显著性差异($P > 0.05$),但是使NPE组的静态前后对称平衡显著增大($P < 0.05$),且组间具有显著性差异($P < 0.05$)。朗读的干扰对NPE组静态前后对称平衡的影响不具有显著性差异($P > 0.05$),但是使LPE组的静态前后对称平衡显著增大($P < 0.05$)。可见,唱歌、朗读的干扰对NPE组的影响与对LPE组的影响明显不同。静态左右对称平衡属于低优指标,结合表4可知,长期体育锻炼对唱歌和朗读干扰时的前后对称平衡具有不同方向的调节效应:唱歌干扰时具有积极的调节效应,会降低青年人受到唱歌干扰时前后对称平衡的双任务成本,Diff为42.5%;朗读干扰时具有消极的调节效应,会增大青年人受到朗读干扰时前后对称平衡的双任务成本,Diff为-120.5%。

2.1.3 认知任务干扰时的静态平衡:静态平衡分数、移动速度、摆动角度三个指标的Task主效应都具有显著性差异($P < 0.01$)(表2),说明青年人的静态平衡受到四种干扰时的变化程度不同(表4)。受到计算、唱歌、朗读、书写干扰时,静态平衡分数的双任务成本分别为2.6%、8.4%、5.1%、1.9%,移动速度的双任务成本分别为13.4%、40.3%、26.2%、9.1%,摆动角度的双任务成本分别为12.5%、26.2%、25.8%、7.5%。整体而言,四种认知任务的干扰都降低了青年人的静态平衡表现,降低程度由大到小依次为唱歌、朗读、计算和书写。采用类似的方法发现,唱歌和书写的干扰降低了青年人的静态左右对称平衡表现,双任务成本分别为119.4%和85.5%(表4)。计算和朗读的干扰对静态左右对称平衡的影响不具有显著性差异($P > 0.05$)。朗读、唱歌和书写的干扰降低了青年人的前后对称平衡表现,双任务成本分别为80.4%、67.0%和35.0%(表4)。计算的干扰对静态前后对称平衡的影响不具有显著性差异($P > 0.05$)。

2.2 动态平衡结果

2.2.1 动态平衡总体结果:单因素重复测量方差分析发现旋转速度、动态左右对称平衡拒绝球形假设,需要采用 ϵ 校正系数进行矫正;动态平衡分数、最大旋转速度、动态前后对称平衡接受球形假设,不需要采用 ϵ 校正系数进行矫正(表5)。动态平衡分数、旋转速度和最大旋转速度的Task主效应、Group主效应

皆具有显著性差异($P < 0.05, \eta^2 > 0.10$),交互效应也具有显著性差异($P < 0.05, \eta^2 > 0.05$)。说明本研究设计的认知任务以及长期体育锻炼对青年人的动态平衡产生了显著影响,且NPE组受到的影响程度和LPE组明显不同。也就是青年人的动态平衡受到不同认知任务干扰时,长期体育锻炼具有调节效应。关于动态对称平衡,仅动态左右对称平衡的交互效应和Group主效应具有显著性差异($P < 0.05, \eta^2 > 0.06$),其他效应皆不具有显著性差异($P > 0.05$)。说明青年人的动态对称平衡受到不同认知任务干扰时,长期体育锻炼仅对动态左右对称平衡具有调节效应,对动态前后对称平衡不具有调节效应。

2.2.2 动态平衡中的调节效应:组内对比与组间对比的结果表明了动态平衡各指标交互效应的具体情况(表6)。受到计算干扰时,NPE组和LPE组动态平衡分数的组内皆具有显著性差异($P < 0.01$),NPE组的双任务成本为14.4%,LPE组的双任务成本为6.5%,Diff为7.9%(表7)。也就是受到计算干扰时LPE组比NPE组产生了更小的双任务成本。关于旋转速度和最大旋转速度,受到计算干扰时NPE组的组内都具有显著性差异($P < 0.05$),两个指标的双任务成本分别为54.7%、32.6%(表7),但是LPE组的组内都不具有显著性差异($P > 0.05$)。动态平衡分数、旋转速度和最大旋转速度三个指标都揭示了同一个现象:受到计算干扰时LPE组的变化与NPE组明显不同。由于动态平衡分数为高优指标,旋转速度和最大旋转速度为低优指标,结合表7可知,长期体育锻炼对计算干扰时的动态平衡表现具有积极的调节效应,能够明显降低青年人受到计算干扰时动态平衡的双任务成本。受到唱歌干扰时,动态平衡分数、旋转速度和最大旋转速度的组内皆具有显著性差异($P < 0.05$),动态平衡分数都有增大,旋转速度和最大旋转速度都有减小,但是两组的变化幅度基本一致。所以,长期体育锻炼对唱歌的干扰没有调节效应。

动态左右对称平衡方面(表6—7),计算、唱歌干扰时LPE组的组内都具有显著性差异($P < 0.01$),双任务成本分别为68.2%、38.9%;但是NPE组的组内不具有显著性差异($P > 0.05$);而且由无干扰时组间不具有显著性差异($P > 0.05$)转变成了受干扰时组间具有显著性差异($P < 0.01$)。动态左右对称平

衡为低劣指标,说明长期体育锻炼对计算和唱歌干扰时的动态左右对称平衡表现具有消极的调节效应,会明显降低青年人的动态左右对称平衡表现。由于动态前后对称平衡的交互效应不具有显著性差异($P > 0.05$,表5),所以长期体育锻炼对动态前后对称平衡不具有调节效应。

2.2.3 认知任务干扰时的动态平衡:动态平衡分数、旋转速度、最大旋转速度三个指标的主效应都具有显著性差异($P < 0.01$)(表5),说明青年人的动态平衡受到两种干扰时的变化程度不同(表7)。受到计

算、唱歌干扰时,两组的静态平衡分数双任务成本分别为10.4%、6.3%,旋转速度的双任务成本分别为32.4%、28.4%,最大旋转速度的双任务成本分别为21.4%、27.8%。在评估动态平衡时,最大旋转速度的代表性稍弱于动态平衡分数和旋转速度,所以,整体而言,计算、唱歌的干扰使青年人的动态平衡表现显著降低,双任务成本由大到小依次为计算、唱歌。动态左右对称平衡、动态前后对称平衡的主效应都不具有显著性差异($P > 0.05$),可以认为计算、唱歌的干扰整体上对受试者没有影响。

表5 动态平衡的重复测量方差分析

动态平衡	球形检验			Task 主效应		Group 主效应		交互效应	
	Mauchly W	P值	ϵ	P值	η^2	P值	η^2	P值	η^2
动态平衡分数	0.962	0.279	-	0.000	0.291	0.004	0.115	0.011	0.065
旋转速度	0.815	0.001	0.844	0.000	0.210	0.000	0.335	0.000	0.132
最大旋转速度	0.969	0.352	-	0.000	0.107	0.000	0.255	0.028	0.052
动态左右对称平衡	0.659	0.000	0.746	0.113	0.034	0.007	0.105	0.023	0.062
动态前后对称平衡	0.915	0.054	-	0.172	0.026	0.061	0.051	0.599	0.008

表6 动态平衡的组间、组内对比

动态平衡	无干扰		计算		唱歌	
	NPE	LPE	NPE	LPE	NPE	LPE
动态平衡分数(分)	31998.8±3352.8	33505.8±2155.3 ^①	27387.7±5604.5 ^④	31340.9±3947.7 ^{②④}	29925.3±4310.7 ^④	31467.8±3588.8 ^④
旋转速度(°/s)	4.33±1.84	3.05±1.34 ^②	6.70±2.32 ^④	3.36±1.44 ^②	5.65±2.24 ^④	3.85±2.05 ^{②③}
最大旋转速度(°/s)	14.15±7.79	9.64±4.56 ^②	18.76±5.84 ^④	10.63±4.47 ^②	16.92±6.61 ^③	13.11±7.58 ^{①④}
动态左右对称平衡(%)	10.82±8.45	11.11±7.94	9.71±9.21	18.69±16.91 ^{②④}	9.38±5.52	15.43±10.41 ^{②④}
动态前后对称平衡(%)	16.38±10.63	20.6±17.04	19.88±16.46	24.20±23.10	13.79±9.62	22.17±18.74 ^①

注:与NPE,① $P < 0.05$,② $P < 0.01$;vs 无干扰,③ $P < 0.05$,④ $P < 0.01$ 。

表7 动态平衡受到认知任务干扰时的双任务成本

动态平衡	计算				唱歌			
	NPE	LPE	Mean	Diff	NPE	LPE	Mean	Diff
动态平衡分数(%)	14.4	6.5	10.4	7.9	6.5	6.1	6.3	0.4
旋转速度(%)	54.7	10.2	32.4	44.6	30.5	26.2	28.4	4.3
最大旋转速度(%)	32.6	10.3	21.4	22.3	19.6	36.0	27.8	- 16.4
动态左右对称平衡(%)	- 10.3	68.2	29.0	- 78.5	- 13.3	38.9	12.8	- 52.2
动态前后对称平衡(%)	21.4	17.5	19.4	3.9	- 15.8	7.6	- 4.1	- 23.4

注:NPE和LPE所在列对应数据为双任务成本。Mean为NPE和LPE的均值。Diff为NPE和LPE双任务成本的差值,Diff=NPE-LPE。

3 讨论

3.1 认知任务干扰对青年人平衡的影响

根据跨领域竞争模型(The crossdomain competition model)^[18],执行运动-认知双任务时,运动任务与认知任务会争夺注意力资源。与执行单运动任务时相比,认知任务干扰(运动-认知双任务)时运动任务的表现会降低^[19]。本研究中认知任务的干扰显著降低了青年人的静态和动态平衡表现,对静态平衡干扰程度由大到小依次为唱歌、朗读、计算和书

写;对动态平衡干扰程度由大到小依次为计算和唱歌。唱歌和计算的干扰都降低了青年人的静态和动态平衡表现,前者对静态平衡的影响较大,而后者对动态平衡的影响较大,说明同样的认知任务对青年人静态平衡和动态平衡的影响并不相同。这可能与青年人在执行运动-认知双任务时选择的注意策略有关。Bloem等^[20]提出“认知优先”策略,这一注意策略会让受试者分散更多注意力到认知任务上,从而降低运动任务的表现。Yogev-Seligmann等^[21]提

出“姿势优先”策略,这一注意策略会让受试者分散更多的注意力优先保障身体姿势处于稳定状态。本研究认为,由于一般人都有自我保护的本能,因此在无任务优先级要求的前提下,只有在无跌倒风险时才会选择“认知优先”策略,而在有跌倒风险时会选择“姿势优先”策略。静态平衡测试时脚下的平衡板是稳定平面,受试者在执行运动-认知双任务(静态平衡+认知任务)时不担心跌倒或失去平衡,会认为认知任务为主要任务,从而选择“认知优先”的注意策略;与之相反,动态平衡测试时脚下的平衡板是极不稳定的,受试者为了避免执行运动-认知双任务(动态平衡+认知任务)时发生跌倒或失去平衡,会认为运动任务(维持动态平衡)为主要任务,从而选择“姿势优先”的注意策略。

静态平衡受到认知任务干扰时,由于青年人选择了“认知优先”策略,其静态平衡表现会显著降低。执行运动-认知双任务时,认知任务越复杂,争夺的注意力资源就越多,对运动任务的影响也就越大^[22-23]。“认知优先”策略会使认知任务的干扰程度与其复杂程度成正相关。本研究中对静态平衡干扰程度由大到小依次为唱歌、朗读、计算和书写,因此,认知任务的复杂程度由高到低也依次是唱歌、朗读、计算和书写。唱歌干扰时,要求受试者听音乐并跟唱歌曲,在认知方面主要调用了听觉(听音乐)、语言(唱歌)、智慧(思考歌词和曲调)相关神经系统,歌曲的曲调相对复杂,思考歌词和曲调时会分散大量注意力;朗读干扰时,要求受试者阅读歌词,在认知方面同时主要调用了视觉(看歌词)、语言(阅读)、智慧(思考读法)相关神经系统;计算干扰时,要求受试者从90—100之间的任一数字开始用正常速度做连续减3的口算题,并说出计算结果,在认知方面主要调用了语言(唱歌)、智慧(思考算法)相关神经系统;书写干扰时,要求受试者临摹书写歌词,认知方面调用了视觉(看歌词)相关神经系统,同时还调用了上肢的运动系统(书写)。可见,认知任务的复杂程度与调用的神经系统数量和对神经系统的认知需求程度有关。唱歌的复杂程度最大是因为其调用的神经系统较多而且对“智慧”的需求较大。书写的干扰最小除了与任务本身的复杂程度有关外,还可能与书写时产生的全身性姿势反射有关。站立书写时为了使

字迹规范,左、右上肢动作必须高度配合并保持姿势稳定,下肢和躯干必须有稳定的支撑,全身会产生固定身体姿势的反射活动,从而使其对静态平衡的影响最小。

动态平衡受到认知任务干扰时,青年人选择“姿势优先”策略,这需要分散较多的注意力资源优先保持身体姿势稳定,剩余的注意力资源才会用于执行认知任务,所以会导致认知任务的执行效果显著降低^[24],同时动态平衡依然会受到认知任务的干扰而显著降低。本研究中认知任务执行效果的显著降低主要表现在计算干扰时出现了“计算错误”、“重新计算”等现象,唱歌干扰时出现了“唱歌跑调”、“跟不上音乐节奏”等现象。这些现象在静态平衡受到认知任务干扰时几乎没有出现过。动态平衡受到认知任务干扰时,计算的干扰之所以比唱歌大,可能与任务的复杂程度以及对任务的熟悉程度有关。计算干扰时,受试者不知道开始的数字,也没有提前进行过类似的计算训练,所以对计算干扰处于“完全不熟悉”状态。唱歌干扰时,受试者对歌曲的歌词和曲调等都很熟悉。在认知任务的复杂程度以及对认知任务的熟悉程度的综合影响下,产生了计算对动态平衡的干扰比唱歌大的现象。

关于执行运动-认知双任务时的姿势控制模型还有U形非线性相互作用模型(the U-shaped non-linear interaction model)^[18]。该模型认为认知任务的认知需求较低(干扰较小)时,有益于姿势控制;认知任务的认知需求较高(干扰较大)时,有损于姿势控制。依据该模型,本研究中的认知任务对认知需求都较高,有损于姿势控制,所以降低了静态和动态平衡表现。

3.2 认知任务干扰对青年人对称平衡的影响

左右对称平衡和前后对称平衡可以分别评估受试者在额状面和矢状面的姿势稳定性或跌倒风险。青年人在认知任务干扰时的静态平衡测试中选择“认知优先”策略。本研究中对青年人静态左右对称平衡干扰程度由大到小依次为唱歌和书写。唱歌的影响最大,可能与认知任务的复杂性有关,根据前面的分析,唱歌是四种认知任务中最复杂的。书写对静态左右对称平衡有显著影响可能与姿势的对称性有关。书写时左手拖夹板、右手书写,两侧上肢的姿

势不对称。计算和朗读的干扰不具有显著性差异可能是因为两者的认知需求较低,不足以引起额状面的姿势稳定性产生变化。本研究中对青年人的静态前后对称平衡干扰程度由大到小依次为朗读、唱歌和书写,计算的干扰不具有显著性差异。朗读需要受试者向前看歌词,书写需要受试者头部稍微前倾,向前看和头部前倾可能会使受试者的身体重心前后晃动,从而降低矢状面上的姿势稳定性。唱歌的认知需求最大,也降低了青年人在矢状面上的姿势稳定性。

计算、唱歌的干扰没有影响青年人的动态对称平衡。这可能与青年人在认知任务干扰时的动态平衡测试中选择“姿势优先”策略有关。该策略使受试者集中更多的注意力维持姿势的对称性,使认知任务的干扰很难对姿势的对称性产生影响。

3.3 长期体育锻炼的调节效应

Bherer等^[25]采用2×2析因设计把87例老年人分成四组进行了为期两周2周的训练干预,分别实施无干预、有氧锻炼、认知训练、有氧锻炼+认知训练,发现体育锻炼和认知训练在提高老年人双任务能力方面具有协同效应。Vrinceanu等^[26]把78例受试者随机分为三组进行了为期12周的训练干预,分别为有氧锻炼、粗大动作锻炼、认知训练,发现身体和认知训练可以通过不同机制改善老年人的双任务能力,低强度体育锻炼可以作为增强老年人认知能力的有效方法。前面两项研究都进行了专门的体育锻炼干预,并发现体育锻炼的双任务益处以及认知益处,然而这些成果都是在实验室内产生,日常生活应用还有一定的距离。本研究选取日常生活中具有长期体育锻炼习惯的青年人与无体育锻炼习惯的青年人进行对比,发现在“自然条件”长期体育锻炼依然具有双任务益处,长期体育锻炼对青年人运动-认知双任务的调节效应能够适用于日常生活。长期体育锻炼对计算、唱歌、书写干扰时的静态平衡表现、书写干扰时的静态左右对称平衡表现、唱歌干扰时的静态前后对称平衡表现,以及计算干扰时的动态平衡表现具有积极的调节效应,能够明显降低青年人受到相应认知任务干扰时的双任务成本。但是,长期体育锻炼对计算干扰时的静态左右对称平衡具有消极的调节效应、朗读干扰时的静态前后对称平衡,

以及计算和唱歌干扰时的动态左右对称平衡具有消极的调节效应。可见长期体育锻炼对平衡受到认知任务干扰时的积极调节效应表现在静态平衡、动态平衡以及多数对称平衡方面,而消极调节效应表现在个别对称平衡方面。这意味着本研究提出的大部分研究假设被证实。

关于体育锻炼对青年人运动-认知双任务能力具有调节效应的机制,首先体现在体育锻炼的认知益处,比如长期体育锻炼能够提高人的记忆力、注意力、分析速度和执行功能等^[27-29]。其次体现在体育锻炼的双任务益处,比如有氧锻炼、抗阻训练等能够降低执行运动-认知双任务时的双任务成本^[25,30]。体育锻炼具有认知益处和双任务益处的原因可以归纳为两个方面。一是体育锻炼本身具有一定的认知需求。比如体育锻炼时要同时动员眼、耳、脑、四肢、躯干等身体部位,而且视觉观看、听觉感知、脑部分析、四肢和躯干动作必须协调一致,这本身就具有较高的认知需求,体育锻炼除了是在锻炼身体还是在锻炼认知。可以把体育锻炼当作锻炼身体为主、锻炼认知为辅的运动-认知双任务训练。二是体育锻炼改善了心血管功能,有助于提高氧气和营养物质输送到大脑的效率^[3-4],增加血液中的脑源性神经营养因子^[5-6],从而改善大脑结构和功能使认知能力得到提高^[7]。根据以上分析,日常生活中不同的体育锻炼内容会产生不同程度的认知益处和双任务益处,复杂的锻炼内容会比单一的锻炼内容产生更好的效果,双任务或多任务的锻炼会比单一任务的锻炼产生更好的效果。

4 结论

最初的研究设计中考虑到动态平衡测试需要受试者观察电脑屏幕上的动态姿势图,以至于无法完成朗读和书写干扰时的动态平衡测试,但试验过程中发现受试者只需要感知两脚是否处于水平位即可,不观察动态姿势图也可以完成测试,由此导致对动态平衡进行认知任务干扰时少了朗读和书写两种类型。希望后续研究可以弥补这一缺憾。

日常生活中人们的体育锻炼习惯有很大的不同,由于不同的体育锻炼内容会产生不同程度的认知益处和双任务益处,那么探索长期锻炼健步走、广

场舞、太极拳、篮球、足球等大众喜闻乐见的运动项目产生的认知益处和双任务益处,可以为科学锻炼提供更好的建议。

综上所述,长期体育锻炼对青年人在不同认知任务干扰时的平衡表现具有显著的调节效应,具体表现为对计算、唱歌、书写干扰时的静态平衡、书写干扰时的静态左右对称平衡、唱歌干扰时的静态前后对称平衡,以及计算干扰时的动态平衡具有积极的调节效应,能够明显降低青年人受到相应认知任务干扰时的双任务成本,但是对计算干扰时的静态左右对称平衡、朗读干扰时的静态前后对称平衡,以及计算和唱歌干扰时的动态左右对称平衡具有消极的调节效应。

参考文献

- [1] McIsaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a framework for a dual task taxonomy[J]. *BioMed Research International*, 2015, 2015:591475.
- [2] Tombu M, Joliceur P. A central capacity sharing model of dual-task performance[J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2003, 29(1):3—18.
- [3] Ainslie PN, Cotter JD, George KP, et al. Elevation in cerebral blood flow velocity with aerobic fitness throughout healthy human ageing[J]. *The Journal of Physiology*, 2008, 586(16):4005—4010.
- [4] Vogiatzis I, Louvaris Z, Habazettl H, et al. Frontal cerebral cortex blood flow, oxygen delivery and oxygenation during normoxic and hypoxic exercise in athletes[J]. *The Journal of Physiology*, 2011, 589(16):4027—4039.
- [5] Heijnen S, Hommel B, Kibele A, et al. Neuromodulation of aerobic exercise: a review[J]. *Frontiers in Psychology*, 2016, 6:1890.
- [6] Grégoire CA, Berryman N, St-Onge F, et al. Gross motor skills training leads to increased brain-derived neurotrophic factor levels in healthy older adults: A pilot study[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019:410.
- [7] Brown AD, McMorris CA, Longman RS, et al. Effects of cardiorespiratory fitness and cerebral blood flow on cognitive outcomes in older women[J]. *Neurobiology of Aging*, 2010, 31(12):2047—2057.
- [8] Nejc S, Loeffler S, Cvecka J, et al. Strength training in elderly people improves static balance: a randomized controlled trial[J]. *European Journal of Translational Myology*, 2013, 23(3):85—89.
- [9] Ma Y, Wang L, Li M, et al. Meta-analysis of the effects of exercise programs in improving the balance ability of children with intellectual disabilities[J]. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 2020, 45(2):144—154.
- [10] Rehfeld K, Müller P, Aye N, et al. Dancing or fitness sport? The effects of two training programs on hippocampal plasticity and balance abilities in healthy seniors[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017, 11:305.
- [11] Kwon YJ, Park SJ, Jefferson J, et al. The effect of open and closed kinetic chain exercises on dynamic balance ability of normal healthy adults[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2013, 25(6):671—674.
- [12] Šarabon N, Kozinc Ž. Effects of resistance exercise on balance ability: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Life*, 2020, 10(11):284.
- [13] Beurskens R, Muehlbauer T, Grabow L, et al. Effects of backpack carriage on dual-task performance in children during standing and walking[J]. *Journal of Motor Behavior*, 2016, 48(6):500—508.
- [14] Fabri TL, Wilson KE, Holland N, et al. Using a dual-task protocol to investigate motor and cognitive performance in healthy children and youth[J]. *Gait & Posture*, 2017, 54:154—159.
- [15] Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*[M]. New York Academic Press, 1969.
- [16] Cohen J. *Statistical power analysis*[J]. *Current Directions in Psychological Science*, 1992, 1(3): 98—101.
- [17] Fritz CO, Morris PE, Richler JJ. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation[J]. *Journal of Experimental Psychology*, 2012, 141(1):2—18.
- [18] Lacour M, Bernard-Demanze L, Dumitrescu M. Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2008, 38(6):411—421.
- [19] Maylor EA, Wing AM. Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands[J]. *The Journals of Gerontology Series B*, 1996, 51(3):143—154.
- [20] Bloem BR, Grimbergen YAM, van Dijk J G, et al. The “posture second” strategy: a review of wrong priorities in Parkinson's disease[J]. *Journal of the Neurological Sciences*, 2006, 248(1—2):196—204.
- [21] Yogeve-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi N. Do we always prioritize balance when walking? Towards an integrated model of task prioritization[J]. *Movement Disorders*, 2012, 27(6):765—770.
- [22] Pavão SL, Lima CRG, Rocha NACF. Effects of motor and cognitive manipulation on the dual-task costs of center of pressure displacement in children, adolescents and young adults: A cross-sectional study[J]. *Clinical Biomechanics*, 2021, 84:105344.

(下转第411页)