

不同水平排球运动员平衡功能与认知功能的相关性研究*

王骏昇¹ 荣湘江¹ 尹军¹ 刘坤^{1,2,3}

摘要

目的:通过对比不同水平排球运动员的平衡功能和认知功能,探索排球运动员平衡与认知功能之间的关系,为防治运动损伤和提高科学训练水平奠定基础。

方法:选取省市职业队青年排球运动员20例(HV组)和体育学院运动训练专业排球专项在校大学生20例(UV组)作为实验对象,所有实验对象采集年龄、身高、体重信息、计算身体质量指数(BMI),之后采用意大利Postural Equa平衡分析系统分别测定实验对象单脚站立时睁眼10s和闭眼10s两个状态的静态平衡指标。同时测定所有实验样本的简单反应时间、注意力和空间记忆位置广度。使用Prism统计分析软件进行平衡与认知功能的相关性分析。

结果:HV组和UV组相比,两组样本在年龄、身高、体重、BMI等指标之间差异没有显著性。在睁眼状态下,HV组运动员的身体重心摆动总长度和最大摆幅都显著小于UV组运动员,在闭眼状态下HV组和UV组运动员之间各项平衡功能参数差异均没有显著性。HV组和UV组运动员闭眼状态的线形图面积和最大摆幅都显著高于睁眼状态。HV组运动员的简单反应时和注意力显著优于UV组运动员。与UV组运动员相比,HV组运动员在认知功能与平衡功能之间有更强的相关性。

结论:在本实验条件下,HV组高水平排球运动员的静态平衡功能、简单反应时和注意力优于UV组,HV组的简单反应时、注意力和空间记忆等认知功能与平衡功能参数之间存在显著相关性。

关键词 静态平衡;简单反应时;注意力;空间位置记忆广度;相关性

中图分类号:R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2018)-09-1043-07

Correlation analysis between balance function and cognitive function of volleyball players in different levels/WANG Junsheng, RONG Xiangjiang, YIN Jun, et al//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33(9): 1043—1049

Abstract

Objective: To compare balance function and cognitive function between two groups of volleyball players in different levels.

Method: Twenty national level young volleyball players (HV group) and 20 matched young volleyball players (UV group) from a sports university were enrolled in this study. Their age, height, weight, and body mass index were collected. Balance function was tested by Postural Equa Balance Test System in open eyes single foot and close eyes single foot condition for 10 seconds. Cognitive tests include simple reaction time, attention and spatial memory. Correlation between balance and cognition was evaluated with Pearson correlation coefficient.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.09.007

*基金项目:国家自然科学基金面上项目(Grant Nos. 21475089);2015北京市教委科技创新平台项目(PXM2015_014206_000053,PXM2015_014206_000072,PXM2015_014206_000051);北京市属高校高水平教师队伍支持计划青年拔尖人才项目(CIT&TCD201804092);首都体育学院内涵建设—青少年身体运动功能训练方法手段及其效果研究项目(28517001)

1 首都体育学院,北京,100191; 2 耶鲁大学医学院精神病学; 3 通讯作者

作者简介:王骏昇,男,博士,讲师; 收稿日期:2018-04-13

Result: There is no difference in age, height, weight, or BMI between HV and UV groups. In open eyes single foot condition, TL and ML in HV group are significant lower than those in UV group. No difference was found between the two groups in close eyes condition. The both groups have significant higher Area and ML in close eyes condition than in open eyes condition. HV group has better reaction time and attention than UV group. Only HV group has significant correlation between balance and cognition.

Conclusion: In the condition of this study, HV group has better static balance function, reaction time and attention than UV group. Only HV group has significant correlation between cognition and balance.

Author's address Capital University of Physical Education and Sports, Beijing, 100191

Key word static balance; simple reaction time; attention; spatial memory; correlation

在各种涉及跳跃的运动中,平衡功能对运动表现的影响非常突出,其中排球运动员的平衡能力对其运动技能发展非常重要^[1]。平衡功能是人体的重要素质之一,能够帮助人体保持稳定状态,对抗破坏平衡的外力。平衡功能的维持是一个复杂的反馈调节体系,涉及人体的中枢神经系统与运动系统之间的紧密联系^[2]。一直以来,小脑被认为是维持身体平衡并协调随意运动的调控中枢,但是近年来的研究表明,大脑的高级功能及认知与情感功能在平衡的维持过程中有着非常重要的作用^[3]。大量研究结果表明,在不同年龄的人群中平衡与认知功能之间存在重要的联系,平衡功能的下降与认知功能下降相关,反之亦然。例如,在老年人中的研究表明,随着年龄增长平衡功能下降,同时伴随着认知功能下降。因损伤导致的平衡功能下降也会导致认知功能下降^[4-5]。健康成年人的运动行为特征会影响平衡功能并影响相应的认知功能^[6]。相关的干预研究表明,提高老年人平衡能力或认知能力有利于防治跌倒损伤^[7-8]。然而,在专业的运动员中平衡能力是否与认知功能相关,以及平衡功能改变是否会导致认知功能改变至今仍旧是一个有待于深入探索的科学问题。因此,本研究拟通过测定两组不同水平排球运动员的静态平衡能力和认知功能,分析运动员的平衡与认知的相关性,为进一步防治运动损伤和提高科学训练水平奠定基础。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取省市职业队的健将或一级青年排球运动员20例(HV组)和体育院校运动训练专业排球专项在校大学生20例(UV组)作为实验对象(高中生二级

运动员升入大学),所有实验对象均为男性,参与排球运动5年以上,每周排球运动时间6h以上。所有实验对象排除神经系统疾病、耳鼻喉科疾病等影响平衡功能或认知功能的疾病,排除近一年以来的躯干或下肢运动损伤等影响平衡功能的损伤病史。实验样本测试前通过问卷确定无反常情绪、睡眠充分、饮食合理、生活行为规律,并签署知情同意书。

1.2 测试仪器

1.2.1 身高测试和体重测试仪器:使用身高体重计(XTC-PYA/S型身高体重测量仪,辽宁丹东天康体育用品有限公司)。

1.2.2 平衡测试:采用Postural Equa平衡分析系统(Elettronica Pagani公司,意大利),参考标准与分类符合欧洲93/42/EEC指令和IEC601-1总规定。系统由三大部分组成,①测试平台,其下是三块高度敏感的压力传感器,每块负荷最大100kg;②AD转换器,可把压力传感器的力学信号转化为数字信号,并输入计算机;③专用平衡分析软件,即时对传入的信号进行处理,并直观地显示在计算机显示器上。

1.2.3 心理测试:采用PsyKey心理教学系统(北京心灵方舟科技发展有限公司,中国)。系统由三大部分组成,①操作手柄,受试者通过手柄完成测试要求的任务;②PsyKey接口箱,将操作手柄上的信息转化为数字信号或文字信息,并输入计算机;③PsyKey心理教学软件,对转入信号进行处理。

1.3 测试方法

测试在实验室中进行,要求环境安静、无噪声,保持光线均匀。测试前,向受试者说明测试的意义和方法。

1.3.1 基本信息收集:主要包括姓名、性别、年龄、运动史、运动专项。

1.3.2 身高测试和体重测试内容:受试者脱鞋站于身高体重测量仪上,待体重示数稳定后,记录体重数据(kg)。然后测量身高,身体直立,记录身高数据(m)。进而计算身体质量指数(BMI)。

1.3.3 平衡能力测试:受试者测完体成分之后休息1min,然后脱鞋站于平台上。本实验采用单脚站立,站立脚在平台设好的左右脚基准线中间。身体直立,两上肢自然下垂体侧,双眼平视前方。测试分睁眼、闭眼两种状态,每种状态各测试10s。主要观察指标:①压力中心(COP):测定重心摆动中心与足底中心(平台上的标准点)在X轴、Y轴上的距离;②线形图总长度(TL):表示重心摆动轨迹的总长度;③最大摆幅(ML):表示两最远的压力中心相距的最大距离;④线形图面积(Area):测定重心摆动轨迹所包络的面积;⑤LFS指数:即线形图总长度与线形图面积的比值;⑥压力分布(Distr.P):反映压力中心分布的百分比,有左、右、前、后方向的分布。

1.3.4 认知功能测试:简单反应时测试:在测试中呈现的刺激和要求被试做出的反应都只有一个且固定不变。本实验均测试视觉的简单反应时。视觉的刺激为一绿圆,受试者均按绿键反应。测30次,每次预备后间隔2s呈现刺激。如果测试中受试者在准备阶段有抢先现象,则该次测试结果无效,并由计算机提出抢按警告。最后以有效的结果均值为其简单反应时,单位为s。

注意力测试:注意力测试使用舒尔特表进行,采用5×5表格,要求被试者从1开始按由小到大的顺序点击数字至25结束,记录从开始点击到结束的时间,单位为s。

空间位置记忆广度测试:在计算机屏幕上呈现一个5×3的绿色表格,然后在这15个格中的某几个格中随机呈现粉色圆点(从一次连续呈现3个格开始),要求受试者尽量记住圆点出现的位置及顺序。在圆点出现完之后,要求受试者按照刚才圆点呈现的位置顺序点击表格,并用鼠标点击“确定”按钮输入。在某个广度做了3次之后,如果不是全错,则广度加1后继续,直到某个广度连续3次都错或者完成数目为12格的任务为止。主要指标是空间位置记忆广度值。

1.4 统计学分析

采用Prism 7软件进行统计,组间独立样本 t 检验,组内配对 t 检验。 $P < 0.05$ 时认为差异具有显著性意义。平衡功能指标和认知功能指标的相关性分析使用Pearson相关系数分析, $|r| \geq 0.8$ 为高度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关。

2 结果

2.1 HV组与UV组运动员的体成分参数

见表1,HV组与UV组运动员在年龄、身高、体重和BMI这4项指标之间差异都没有显著性。

	HV组	UV组
年龄	19.4±1.14	18.4±1.14
身高(m)	1.95±0.05	1.94±0.04
体重(kg)	84±4.30	81±2.45
BMI	21.78±1.14	21.26±0.49

2.2 HV组与UV组运动员的平衡功能参数

在睁眼状态下,HV组与UV组相比,身体压力中心在前后方向的分布具有显著性差异($P < 0.01$),HV组的身体重心摆动总长度和最大摆幅都显著小于UV组运动员(分别为 $P < 0.01$, $P < 0.05$)。在闭眼状态下HV组和UV组运动员之间各项平衡功能参数均没有显著性差异($P > 0.05$)。

组内比较分析发现,HV组运动员睁眼和闭眼状态之间,身体压力中心在前后方向的分布具有显著性差异($P < 0.01$),闭眼状态的线形图面积和最大摆幅都显著高于睁眼状态($P < 0.01$)。HV组运动员其他平衡功能参数在睁眼和闭眼状态之间没有显著差异($P > 0.05$)。UV组运动员睁眼和闭眼状态下,身体压力中心在前后方向的分布具有显著性差异($P < 0.05$),在闭眼状态下线形图总长度、线形图面积和最大摆幅都显著高于睁眼状态($P < 0.01$),见表2。

2.3 HV组与UV组运动员的认知功能测试结果

HV组的简单反应时间显著低于UV组($P < 0.01$),注意力显著高于UV组($P < 0.01$),两组之间空间位置记忆广度值没有显著性差异($P > 0.05$),见表3)。

2.4 HV组与UV组运动员认知功能与平衡功能的相关性分析结果

2.4.1 睁眼状态HV组认知功能与平衡功能相关性

表2 不同水平排球运动员平衡功能参数

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

平衡功能参数	睁眼		闭眼	
	HV	UV	HV	UV
COP				
X(mm)	2.28±1.44	3.92±2.17	3.72±2.04	4.06±2.39
Y(mm)	16.96±4.92	20.91±11.22	20.98±11.35	22.49±6.84
Distr.P				
Distr.P-F%	56.73±1.83 ^②	51.89±2.52	53.68±2.06 ^③	54.55±3.13 ^③
Distr.P-B%	43.27±1.83 ^②	48.11±2.52	46.32±2.06 ^④	45.45±3.13 ^③
Distr.P-L%	49.91±0.83	50.19±1.14	49.27±2.27	50.37±3.54
Distr.P-R%	50.09±0.83	49.81±1.14	50.73±2.27	49.63±3.54
TL(mm)	265.50±39.18 ^②	398.40±67.81	665.00±184.51	697.20±176.59 ^④
Area(mm ²)	162.40±35.27	193.40±47.76	365.80±130.60 ^④	435.10±203.80 ^④
LFS 指数	1.69±0.34	2.17±0.56	1.94±0.71	1.94±1.15
ML(mm)	19.81±2.68 ^①	24.02±4.26	47.90±6.31 ^④	46.80±7.57 ^④

注:HV组与UV组组间差异比较,①P<0.05,②P<0.01;HV组或UV组组内睁眼与闭眼状态差异比较,③P<0.05,④P<0.01

表3 不同水平排球运动员认知功能参数 ($\bar{x} \pm s$)

认知功能参数	HV	UV
简单反应时(s)	0.23±0.01 ^①	0.26±0.01
注意力(s)	17.69±3.15 ^①	20.21±1.87
空间位置记忆广度	6.50±0.28	6.23±0.41

注:①HV组与UV组比较P<0.01

分析:通过相关性分析我们发现HV组排球运动员的简单反应时间与身体压力中心在左右方向的分布中度负相关,与最大摆幅中度正相关;注意力与身体压力中心在前后方向的分布、身体重心摆动总长度、摆动面积中度负相关;空间记忆广度与身体压力中心在Y轴的分布呈中度负相关(表4)。

2.4.2 闭眼状态HV组认知功能与平衡功能相关性分析:通过相关性分析我们发现在闭眼状态下,HV组运动员的简单反应时与身体压力中心在左右方向的分布、线形图总面积呈高度负相关,与身体重心摆动总长度和最大摆幅呈中度负相关;注意力与身体

压力重心在Y轴的摆动中度正相关(表5)。

2.4.3 睁眼状态UV组认知功能与平衡功能相关性分析:业余水平的排球运动员睁眼状态下简单反应时和最大摆幅之间呈中度正相关,注意力与身体重心摆动总面积呈中度正相关,与LFS指数中度负相关。其他认知功能参数与身体平衡功能参数之间没有显著的相关性(表6)。

2.4.4 闭眼状态UV组认知功能与平衡功能相关性分析:在闭眼状态下,业余水平排球运动员的简单反应时间和线形图总长度之间存在中度负相关关系,其他认知功能参数与平衡功能参数之间均未发现显著相关关系(表7)。

3 讨论

3.1 高水平排球运动员具有更好的平衡调节功能
平衡功能是评价运动员运动功能的重要指标,同时也是评价认知功能的重要指标。本研究中采用

表4 高水平排球运动员睁眼状态下认知功能与平衡功能参数的相关性

(r)

	COP-X(mm)	COP-Y(mm)	Distr.P-F%	Distr.P-L%	TL(mm)	Area(mm ²)	LFS 指数	ML(mm)
简单反应时间	0.35	-0.24	-0.11	-0.60 ^②	-0.29	0.07	-0.23	0.59 ^②
注意力	-0.08	-0.04	-0.65 ^②	0.13	-0.62 ^②	-0.69 ^②	0.36	0.12
空间记忆	-0.38	-0.57 ^②	-0.22	-0.41	-0.22	0.01	-0.21	-0.20

注:①|r|≥0.8高度相关,②0.5≤|r|<0.8中度相关

表5 高水平排球运动员闭眼状态下认知功能与平衡功能参数的相关性

(r)

	COP-X(mm)	COP-Y(mm)	Distr.P-F%	Distr.P-L%	TL(mm)	Area(mm ²)	LFS 指数	ML(mm)
简单反应时间	-0.42	0.50	0.50	-0.87 ^①	-0.55	-0.80 ^①	0.39	-0.53 ^②
注意力	-0.29	0.56 ^②	0.33	-0.09	-0.10	-0.33	0.20	-0.05
空间记忆	0.26	-0.38	-0.24	-0.32	-0.15	-0.05	-0.18	0.61

注:①|r|≥0.8高度相关,②0.5≤|r|<0.8中度相关

表6 业余水平排球运动员睁眼状态下认知功能与平衡功能参数的相关性 (r)

	COP-X(mm)	COP-Y(mm)	Distr.P-F%	Distr.P-L%	TL(mm)	Area(mm ²)	LFS指数	ML(mm)
简单反应时间	-0.49	0.49	0.11	0.05	0.48	0.26	0.02	0.51 ^②
注意力	-0.37	0.09	0.38	0.29	-0.34	0.63 ^②	-0.66 ^②	-0.09
空间记忆	-0.34	-0.07	-0.10	-0.04	0.09	-0.05	-0.08	0.01

注:① $|r| \geq 0.8$ 高度相关,② $0.5 \leq |r| < 0.8$ 中度相关

表7 业余水平排球运动员闭眼状态下认知功能与平衡功能参数的相关性 (r)

	COP-X(mm)	COP-Y(mm)	Distr.P-F%	Distr.P-L%	TL(mm)	Area(mm ²)	LFS指数	ML(mm)
简单反应时间	-0.32	-0.02	0.11	0.36	-0.62 ^②	-0.27	-0.30	0.27
注意力	-0.36	0.26	0.47	0.27	-0.14	0.01	-0.30	-0.32
空间记忆	0.19	-0.17	0.09	-0.21	0.20	0.11	-0.12	-0.24

注:① $|r| \geq 0.8$ 高度相关,② $0.5 \leq |r| < 0.8$ 中度相关

的睁眼静态单脚平衡功能测试,是客观定量评价人体平衡功能的常用方法。我们的研究表明,在HV组与UV组运动员年龄、身高、体重和BMI等身体成分指标之间都没有显著性差异的基础上,HV组运动员睁眼状态的身体重心摆动总长度和最大摆幅都显著小于UV组运动员,闭眼状态时两组之间没有显著差异。这说明在睁眼状态下,HV组运动员具有更好的平衡调节功能,由此可以推断HV组运动员更有可能通过视觉为基础的感官功能调节平衡功能。我们的研究结果与以往的相关研究结果一致,都说明高水平排球运动员与非高水平排球运动员相比,在睁眼状态下有更强的平衡调节功能,这有可能与高水平排球运动员更多依赖视觉感觉调节平衡功能有关^[1]。此外,以往在不同运动项目中测定运动员平衡功能的研究结果也说明在足球、篮球等球类运动中,高水平运动员的睁眼平衡能力显著高于低水平运动员的睁眼平衡能力,而且显著高于其自身的闭眼平衡能力^[2,9],由此可见,在某些需要视觉判断球的位移和速度的运动项目中,高水平运动员的平衡功能主要依赖视觉神经环路的信号传到来完成^[10]。

一般情况下,平衡功能的维持需要视觉、前庭感觉和本体感觉三个系统相互协调共同完成,但是根据不同人的不同发育阶段的身体功能差异、不同人群的运动习惯差异和不同运动专项的功能训练差异,不同的人群可以偏重于其中某一感觉系统维持平衡功能。陈灿等^[6]的研究结果曾经表明武术或体育舞蹈等身体旋转运动较多的专项运动要求运动员通过非视觉感觉系统维持平衡功能,这些运动员往

往在闭眼状态下会体现出更强的平衡调节能力。与陈灿的观点相似,Erika Zemkova的研究结果显示,舞蹈或花样游泳运动员因为在训练中有不断旋转的动作,在旋转之后身体重心摆动速度明显加快,同时这些运动员的身体重心摆动面积在睁眼状态下偏大^[1]。由此也说明,不同运动训练可能导致不同的平衡功能调节偏好。综上所述,本研究结果和前人的研究结果一致,都说明了高水平排球运动员具有更好的、视觉依赖的平衡调节功能,这种平衡功能调节的偏好可能与长时间高强度的排球相关视觉训练有关。

3.2 高水平排球运动员具有更好的认知功能

在以往的研究中,大多数运动人体科学和生物力学研究将平衡功能作为单一的身体运动功能来评价,但是在神经科学领域,人体平衡能力被认为与认知功能密切相关。作者在以往的研究中已经阐述过在人体发育过程中的儿童期和老年期,人体平衡功能变化与认知功能变化密切相关。在本研究中,为了说明在高水平运动员中,平衡功能与认知功能的相关性,还测定了HV组和UV组运动员的简单反应时间、注意力和空间记忆能力。研究结果发现,高水平排球运动员具有更快的简单反应时间和更强的注意力。这一结果与以往相关运动员认知功能研究结果类似,都说明长期专业化的专项运动训练会导致运动员的神经可塑性改变,由此塑造更强的相关认知功能^[11-12]。在以往的研究中尤其表明,高水平运动员的注意力往往高于常人和业余水平的运动员^[13],而简单反应时间的差异往往由于运动专项不同而存在较大差异^[14-15]。也有相关研究结果说明,

高水平运动员在空间记忆、逻辑记忆、反馈抑制性等认知功能上具有更好的表现^[6]。需要引起读者注意的是,本研究考察的简单反应时间、注意力和空间记忆功能仍旧是相对简单的认知功能,在作者正在进行的研究中,已经加入更加复杂的认知执行功能参数作为认知功能测定指标,未来将更加全面的反应运动员认知功能状态。

3.3 高水平排球运动员认知功能与平衡功能之间的关系

为进一步说明运动员平衡功能和认知功能之间的相关性,本研究对不同认知功能参数和平衡功能参数进行了相关性分析。研究结果说明,在睁眼状态下,高水平排球运动员的反应时间越快其身体重心最大摆幅越小;注意力越强其身体重心摆动总长度、总面积,以及身体压力中心在前后方向的分布都越小,空间记忆越好身体压力中心在Y轴的摆动越小,这说明简单反应时间、注意力和空间记忆等认知功能在高水平排球运动员睁眼状态调节身体平衡时具有重要的作用。同时也说明高水平运动员的简单反应时间越短,身体压力中心在左右方向的分布越多,这有可能与运动员通过视觉反应调整身体压力中心左右分布相关。

此外,在闭眼状态下,HV组运动员的简单反应时与身体压力中心在左右方向的分布、身体重心摆动总面积呈高度负相关,与身体重心摆动总长度和最大摆幅呈中度负相关,而注意力与身体压力重心在Y轴的摆动中度正相关。这说明HV组运动员会通过简单反应时间和注意力这两种认知功能迅速对身体压力中心和身体重心摆动做出调整,但是闭眼状态下这种调整可能导致身体压力中心和身体重心摆动增大,不一定有利于平衡调节。由此可见,相对于睁眼状态,闭眼状态下,HV组运动员的平衡调节能力并不很强。这也间接说明了高水平排球运动员更多依赖视觉调节平衡功能^[1]。

与高水平排球运动员相比,无论在睁眼状态下还是闭眼状态下,业余水平排球运动员的认知功能与平衡功能之间的相关关系明显减少很多,这说明业余水平排球运动员并未明显通过本研究中检测的反应时间、注意力或空间记忆等认知功能来控制平衡功能。

值得注意的是,尽管目前仍旧没有直接的数据能够明确说明认知功能和平衡功能之间的因果联系,平衡功能和认知功能之间的影响可能是相互的,即平衡功能的提高可能改善认知功能,认知功能训练可能改善平衡功能。以往的研究结果曾经说明,训练中老年人平衡能力可以减少跌倒损伤发生率,同时发现平衡功能训练提高了中老年人的认知功能^[17]。反之,对儿童或老年人进行认知功能训练后,上述样本的平衡功能也有所提高^[18-19]。尽管在青年人和运动员中尚未有相关报道,但是本研究的相关性分析表明,平衡功能与认知功能之间确实存在相关性,以此为依据设计平衡功能训练或者认知功能训练都有可能导致另一功能指标的改善。因此,作者认为以平衡功能和认知功能相关性分析结果作为理论基础,设计靶向精准的身体运动功能训练方法和认知功能训练方法,有可能促进运动员下肢运动损伤防护能力,提高运动员科学训练水平并指导运动损伤的康复治疗。本研究组正在进行相关的科学实验进一步加以验证。

4 结论

在本实验条件下,HV组高水平排球运动员的静态平衡功能和认知功能优于UV组,高水平排球运动员的简单反应时、注意力和空间记忆等认知功能与平衡功能参数之间存在显著相关性。进一步干预平衡和认知功能有可能提高业余运动员的技术水平或促进运动损伤后的功能康复。

参考文献

- [1] Agostini V, Chiamello E, Canavese L, et al. Postural sway in volleyball players[J]. Human Movement Science, 2013, 32(3): 445—456.
- [2] Zemková E. Sport-specific balance [J]. Sports Medicine, 2014, 44(5): 579—590.
- [3] Montero-Odasso M, Verghese J, Beauchet O, et al. Gait and Cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling[J]. Journal of the American Geriatrics Society Pubmed Clinical Trials, 2012, 60(11): 2127—2136.
- [4] Borel L, Alescio-Lautier B. Posture and cognition in the elderly: interaction and contribution to the rehabilitation strategies[J]. Clin Neurophysiol, 2014, 44(1): 95—107.
- [5] Smith E, Cusack T, Blake C. The effect of a dual task on gait speed in community dwelling older adults: A systematic

- review and meta-analysis[J]. *Gait & Posture*, 2016, 44, 250—258.
- [6] 陈灿,王雨晗,李宗浩,等.不同专业男性大学生平衡能力与认知功能的关系[J].*中国康复医学杂志*,2016, 31(3):291—295.
- [7] Granacher U, Gollhofer A, Hortobágyi T, et al. The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance and fall prevention in seniors: a systematic review [J]. *Sports Medicine*,2013, 43(7):627—641.
- [8] Gschwind YJ, Kressig RW, Lacroix A, et al. A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength/power, and psychosocial health in older adults: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *BMC Geriatrics*,2013, 13:105.
- [9] Brachman A, Kamieniarz A, Michalska J,et al. Balance training programs in athletes a systematic review[J]. *Journal of Human Kinetics*,2017, 58: 45—64.
- [10] Zhong X, Yost WA. Relationship between postural stability and spatial hearing[J]. *Journal of the American Academy of Audiology*,2013,24(9): 782—788.
- [11] Alves H, Voss MW, Boot WR, et al. Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players[J]. *Frontiers in Psychology*,2013, 4: 36.
- [12] Tomasino B, Maieron M, Guatto E, et al. How are the motor system activity and functional connectivity between the cognitive and sensorimotor systems modulated by athletic expertise?[J]. *Brain Research*,2013,1540: 21—41.
- [13] 付全.我国优秀击剑运动员神经活动特性的研究[J].*北京体育大学学报*,2011,3(2):68—70.
- [14] Eckner JT, Kutcher JS, Richardson JK. Pilot evaluation of a novel clinical test of reaction time in national collegiate athletic association division I football players[J]. *J Athl Train*, 2010, 7, 45(4):327—332.
- [15] Scanlan A, Humphries B, Tucker PS, et al. The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2014, 32(4):367—374.
- [16] Raichlen DA, Bharadwaj PK, Fitzhugh MC, et al. Differences in resting state functional connectivity between young adult endurance athletes and healthy controls[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016,10: 610.
- [17] Donath L, Rössler R, Faude O. Effects of virtual reality training (Exergaming) compared to alternative exercise training and passive control on standing balance and functional mobility in healthy community-dwelling seniors: a meta-analytical review[J].*Sports Medicine*,2016, 46(9): 1293—1309.
- [18] Ilg W, Schatton C, Schicks J, et al. Video game-based coordinative training improves ataxia in children with degenerative ataxia[J]. *Neurology*,2012, 79(20): 2056—2060.
- [19] Van het Reve E, de Bruin ED. Strength-balance supplemented with computerized cognitive training to improve dual task gait and divided attention in older adults: a multi-center randomized- controlled trial [J]. *BMC Geriatrics*, 2014, 14:134.

(上接第1028页)

- 功能改善作用的实验研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(6): 637—640.
- [20] Rauskolb S, Dombert B, Sendtner M. Insulin-like growth factor 1 in diabetic neuropathy and amyotrophic lateral sclerosis[J]. *Neurobiology of Disease*, 2017, 97: 103—113.
- [21] Cetinkaya C, Sisman AR, Kiray M, et al. Positive effects of aerobic exercise on learning and memory functioning, which correlate with hippocampal IGF-1 increase in adolescent rats[J]. *Neuroscience Letters*, 2013, 549: 177—181.
- [22] Deak F, Sonntag WE. Aging, synaptic dysfunction, and insulin-like growth factor (IGF)-1[J]. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 2012, 67(6): 611—625.
- [23] Bonilla C, Lewis SJ, Rowlands MA, et al. Assessing the role of insulin-like growth factors and binding proteins in prostate cancer using Mendelian randomization: Genetic variants as instruments for circulating levels[J]. *International Journal of Cancer*, 2016, 139(7): 1520—1533.
- [24] Hu M, Zhang X, Liu W, et al. Longitudinal changes of defensive and offensive factors in focal cerebral ischemia-reperfusion in rats[J]. *Brain Research Bulletin*, 2009, 79(6): 371—375.
- [25] Jansen JM, Daams JG, Koeter MW, et al. Effects of non-invasive neurostimulation on craving: a meta-analysis[J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2013, 37(10): 2472—2480.
- [26] 万佳佳,徐梅松,随瑞斌,等.重复经颅磁刺激和计算机辅助认知训练改善轻度认知功能障碍患者认知的临床研究[J].*中华老年心脑血管病杂志*, 2016, 18(4): 356—362.
- [27] McClelland J, Kekic M, Bozhilova N, et al. A randomised controlled trial of neuronavigated repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in anorexia nervosa[J]. *PLoS one*, 2016, 11(3): e0148606.
- [28] Sato A, Torii T, Nakahara Y, et al. The impact of rTMS over the dorsolateral prefrontal cortex on cognitive processing[C]//*Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE. IEEE*, 2013: 1988—1991.
- [29] 宋好.重复经颅磁刺激在脑卒中后康复治疗中的应用[J].*中华脑科疾病与康复杂志(电子版)*, 2013, 3(6): 52—55.