

# 不同足球水平女大学生反应抑制能力的 差异及其脑结构基础\*

毕妍<sup>1)</sup> 李炬<sup>1)</sup> 秦喆<sup>1)</sup> 孙序鹏<sup>2)</sup> 史冀龙<sup>1)</sup> 郎健<sup>1)†</sup>

(1)北京师范大学体育与运动学院, 100875, 北京; (2)青岛市崂山区金家岭学校, 266101, 山东青岛)

**摘要** 采用磁共振成像技术, 结合 Stop-Signal 任务范式测评不同足球训练水平女大学生反应抑制能力的差异并探究其脑结构基础. 34 名被试按照足球训练水平分为对照组(CG)、业余组(AG)和专业组(PG), 采用 Stop-Signal 任务评估反应抑制能力; 基于体素形态学对 T1 结构像进行组间差异分析, 并进行 FDR 校正; 采用相关分析探究反应抑制能力和差异脑区之间的关系. 结果表明: 1) 与 CG 相比, PG 和 AG 的反应时分别缩短 48 和 44 ms( $P<0.05$ ); PG、AG 较 CG 的停止信号反应时分别减少 116 和 96 ms( $P<0.05$ ), PG 较 AG 停止信号反应时显著减少 10 ms( $P<0.05$ ); PG(57%) 抑制正确率显著高于 CG(55%)( $P<0.05$ ). 2) 与 CG 相比, PG 右侧小脑 Crus1、丘脑、中央前后回及小脑蚓部Ⅷ, 左侧小脑 Crus1、苍白球、丘脑, 灰质体积显著增大( $P<0.05$ , FDR); PG 较 AG 右侧梭状回、中央前回、左侧扣带回灰质体积显著增大( $P<0.001$ ); AG 较 CG 在双侧苍白球灰质体积显著增大( $P<0.001$ ). 3) 小脑蚓部Ⅷ灰质密度和反应时存在显著负相关( $P<0.05$ ,  $r=-0.12$ ); 停止信号反应时与右侧丘脑( $P<0.05$ ,  $r=-0.41$ )、左侧苍白球( $P<0.01$ ,  $r=-0.49$ )呈显著负相关; 抑制正确率与右侧梭状回( $P<0.05$ ,  $r=0.46$ )、左侧苍白球( $P<0.01$ ,  $r=0.47$ )呈显著正相关. 长期足球训练显著提高女大学生反应抑制能力, 且反应抑制能力与小脑蚓部Ⅷ、左侧苍白球、右侧丘脑、右侧梭状回灰质密度显著相关. 推测长期足球训练通过诱导基底神经节、小脑灰质体积的变化来调节反应抑制能力的提升. 因为本文采用了横断面研究, 不能得出反应抑制和足球训练之间的直接因果关系, 但在一定程度上表明二者之间存在显著相关关系. 因此, 后续还需要更多纵向对照研究, 进一步确定因果关系.

**关键词** 足球; 女大学生; 灰质体积; 反应抑制; 基底神经节

中图分类号 G843

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2021273

## 0 引言

反应抑制是指当前动作与目标定向行为矛盾时, 终止已经启动或将要启动动作的能力, 它对目标动作的准确完成有重要意义<sup>[1]</sup>. 现实生活中, 人们需要根据不断变化的外界环境来调整或改变自己的动作模式, 例如紧急情况的刹车. 此外在运动项目中反应抑制更是有着举足轻重的作用, 不仅是身体素质的综合体现, 更是运动员根据场上局势做出正确决策的重要认知基础.

近年来运动训练对反应抑制能力的影响成为研究热点. 运动员作为一个特殊群体, 经过长时间专业训练, 需要对场上不断变化的情景进行加工, 做出正确、适宜的动作. 同时, 对于进攻运动员逼真的带球假动作, 需要快速反应, 不断地调整重心, 多数情况一个动作指令刚发出, 下一刻便会被抑制以避免被进攻

方诱导而失去防守位置. 同样, 进攻运动员也要根据防守变化, 快速调整下一动作模式, 以达到更好进攻选择<sup>[2]</sup>. 信号停止任务作为评价反应抑制能力的经典范式被广泛采用. 前人研究发现, 网球、乒乓球以及羽毛球等运动能够显著缩短 Go 任务的反应时间, 但仅有羽毛球能够减少停止信号反应时间<sup>[3-4]</sup>. 最近 Huang 等<sup>[5]</sup>采用身体活动量表将老年人分为开放式运动组、封闭式运动组以及无运动组, 采用 Flanker 任务探究不同组别反应抑制能力差异, 结果表明相较于久坐组, 无论闭合运动还是开放运动都展示出更短的反应时间, 且长期从事开放运动老人在不一致条件下较闭合运动有更短的反应时. 尽管上述研究证实了相较于久坐人群或者新手人群, 长期规律运动人群或专业运动员显示出更优反应抑制能力, 但对于同一运动项目不同水平人群, 反应抑制功能的特异性仍有待进一步探究. 再者相较于单人运动, 团体运动有截然不

\* 教育部人文社会科学研究规划基金资助项目(19YJA890009)

† 通信作者: 郎健(1963—), 男, 教授, 硕士. 研究方向: 体育教育训练学. E-mail: langjian@bnu.edu.cn

收稿日期: 2021-11-11

同的技战术和体能训练。足球作为典型团体运动,球员根据队友及对手位置和动作进行相应调整,从而更好地进攻和防守<sup>[6]</sup>。众多研究表明,反应抑制能力和足球运动员综合表现关系密切,良好的反应抑制能力是优异感知觉和决策能力的外在表现<sup>[7-8]</sup>。在某种程度上,足球运动员的性格特征和反应抑制能力有一定联系,抑制能力较差球员倾向于易怒冲动性格<sup>[9]</sup>。因此,探究不同水平足球运动员反应抑制能力对于运动员评价和选才有重要意义。

随着脑电和功能成像的发展,众多研究发现在执行反应抑制任务过程中,前额叶、基底神经节、辅助运动区等脑区显著激活<sup>[10-11]</sup>。同时事件相关电位揭示,长期运动训练能够显著缩短额叶 P3 成分的潜伏期且提高 P3 成分的振幅<sup>[12-14]</sup>。说明长期训练能够改变中枢在任务加工时的功能模式。但是先前研究表明,相较于新手,运动专家相应脑区有更大灰质体积且短时运动就能引起大脑结构在介观层面的改变<sup>[15-16]</sup>。Won 等<sup>[17]</sup>表明大脑结构网络和功能网络在空间尺度上并非一一对应。因此,长期运动促进反应抑制能力的提升与大脑结构有怎样的联系需要进一步佐证。

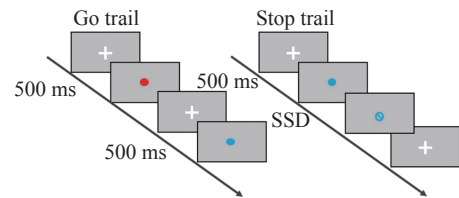
综上所述,本研究旨在采用信号停止任务,探究不同足球水平运动员反应抑制功能的差异性;同时结合磁共振成像技术,探究行为差异的神经结构基础,为足球训练乃至团体运动对反应抑制能力的影响提供一定的理论依据。

## 1 测试对象与方法

**1.1 测试对象** 本研究募集 34 名健康女大学生,均为右利手。对照组(control group, CG)为 15 名普通女大学生,未经任何训练,业余组(amateur group, AG)为 9 名业余女子足球运动员,训练年限小于 3 年,专业组(professional group, PG)为 10 名专业高水平女子足球运动员,训练年限大于 8 年。所有被试均为右利手,脑部均无肿瘤,无药物成瘾、抽烟及酗酒行为。整个实验过程按照北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室相关指南和准则进行。

**1.2 停止信号任务测试与数据收集** 采用停止信号任务对所有被试进行反应抑制能力测试。采用 E-prime 2.0 进行任务的编写和呈现(图 1)。根据 Logan 等<sup>[18]</sup>所提赛马模型理论对任务流程进行设计。该任务由 Go 试次(要求被试尽快用食指做出按键反应)和 Stop 试次(抑制当前的按键反应)组成。所有试次开始前在屏幕中心呈现 500 ms“+”:在 Go 试次中“+”后紧接出现红色或者蓝色实心圆圈,提示被试快速用食指按 w 键;在 Stop 试次中“+”后紧跟出现红色或者

蓝色实心圆圈,持续一段时间之后出现空心圆圈(停止信号)被试需要立即取消启动的按键反应,且实心圆圈和空心圈之间的间隔时间不定,起始时间为 250 ms (stop signal delay, SSD),在 100~800 ms 波动,成功抑制 1 次按键反应增加 50 ms,失败 1 次减少 50 ms<sup>[19]</sup>,这样可以保证 50% 左右的正确率。任务开始前提醒被试不能为提高正确率而故意等待停止信号出现。整个任务持续大约 15 min,共 160 个试次,其中 Go 和 Stop 试次的比例为 7 : 3。



注：“+”表示注视点；SSD 表示停止信号延迟。

图 1 Stop-Signal 任务范式

**1.3 磁共振数据采集** 所有被试均使用北师大脑成像中心 3T 西门子扫描仪进行图像扫描。固定受试者头部,以梯度回波序列(MPRAGE)采集 T1 结构像,重复时间 2 s,回波时间 20 ms,翻转角 9°,视野 256 mm×256 mm,厚度 1 mm,层数 176 层。

**1.4 MRI 数据处理流程** 采用 SPM8 (Statistical Parametric Mapping)的 VBM8 (VBM, <http://dbm.neuro.unj-jena.de/vbm>)对影像数据进行预处理。首先采用 VBM8 自带的 DARTEL 算法将个体空间的图像转化到标准空间,然后将标准化图像进行分割,得到灰质、白质和脑脊液。为了避免全脑体积的影响,采用非线性变化进行调制。最后采用半高宽为 8 mm 的各向异性高斯滤波器进行空间平滑处理,同时排除强度值 < 0.1 的体素,以减少白质和灰质的不一致性。

### 1.5 统计分析

**1.5.1 行为数据** 计算停止信号任务中正确 Go 试次的平均反应时,即出现 Go 刺激至按键完成的时间、Go 试次的正确率、Stop 试次的正确率以及停止信号反应时间(SSRT)。停止信号反应时间是由平均 Go 反应时间减去正确 Stop 试次中平均 SSD 计算得到<sup>[20]</sup>。采用 SPSS 22.0 对上述指标进行单因素方差分析,采用 Bonferroni 进行事后检验,显著水平设为 0.05。

**1.5.2 影像数据** 基于 SPM8 采用广义线性模型对对照组、专业组和业余组两两之间进行双样本 *T* 检验,排除头动 > 3 mm 的被试,并回归年龄的影响,采用 FDR 进行多重比较校正,显著性水平设为  $P < 0.05$ 。采用 SPSS 22.0 统计软件对全脑、灰质和白质体积进行单因素方差分析,显著水平为  $P < 0.05$ 。此外,提取差

异脑区灰质密度与反应时间、停止信号反应时间、正确率进行相关分析,显著水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 不同足球训练水平女大学生基本生理指标信息

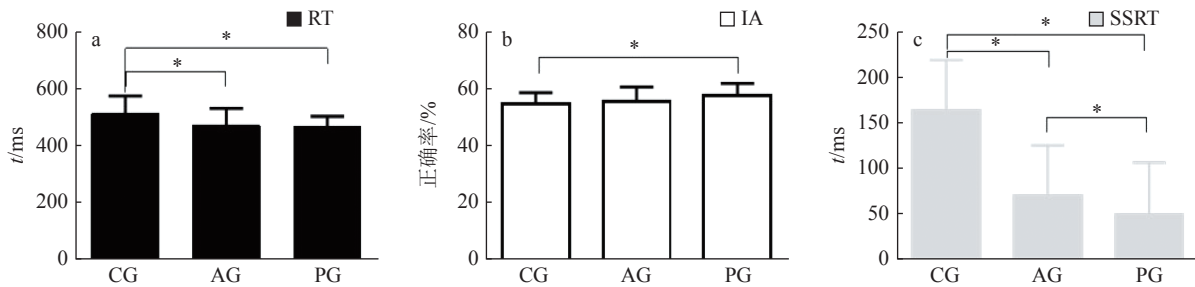
以组别为自变量,对被试身高、体质量、年龄、BMI 进行差异检验。结果显示身高 ( $F_{(2,27)}=2.6365$ ,  $P=0.09$ )、体质量 ( $F_{(2,27)}=3.1537$ ,  $P=0.058$ )、年龄 ( $F_{(2,27)}=0.38$ ,  $P=0.68$ ) 以及 BMI ( $F_{(2,27)}=0.78$ ,  $P=0.4668$ ) 在组主效应下都不存在统计学差异(表 1)。

**2.2 足球训练对女大学生反应抑制能力的影响** 单因素方差分析显示,3 组间反应时间 ( $F_{(2,27)}=8.26$ ,  $P=0.002$ )、正确率 ( $F_{(2,27)}=6.37$ ,  $P=0.005$ ) 和停止信号反应时间 ( $F_{(2,27)}=39.77$ ,  $P < 0.001$ ) 存在显著差异。事

表 1 被试基本生理指标信息

参数	CG	AG	PG
身高/m	1.61±0.05	1.64±0.04	1.66±0.05
体质量/kg	52.1±6.07	54.1±3.55	57.4±4.08
年龄/岁	18.9±0.8	19.2±2.2	19.5±1.5
BMI	20.2±1.4	20.0±1.3	20.7±1.5

后检验表明,相较于对照组,专业组 ( $t=-3.8836$ ,  $P=0.001$ , 图 2-a) 和业余组 ( $t=-2.8836$ ,  $P=0.01$ , 图 2-a) 反应时间显著低于对照组。停止信号反应时间方面,专业组显著低于业余组 ( $t=2.644$ ,  $P < 0.05$ , 图 2-c) 和对照组 ( $t=-9.4720$ ,  $P < 0.001$ , 图 2-c), 业余组显著低于对照组 ( $t=-6.8629$ ,  $P < 0.001$ , 图 2-c)。此外,专业组正确率显著高于对照组 ( $t=2.82$ ,  $P=0.019$ , 图 2-b)。



注: RT 表示反应时间; IA 表示抑制正确率; SSRT 表示停止信号反应时间; \*代表  $P < 0.05$ 。

图 2 长期足球训练对反应抑制能力的影响

### 2.3 足球训练对女大学生大脑结构的影响

**2.3.1 足球训练对女大学生全脑结构的影响** 以组别为自变量,对被试灰质、白质以及全脑体积进行单因素方法分析。结果表明,无论全脑体积 ( $F_{(2,27)}=1.77$ ,  $P=0.1887$ )、灰质体积 ( $F_{(2,27)}=0.74$ ,  $P=0.4868$ ) 还是白质 ( $F_{(2,27)}=0.65$ ,  $P=0.5279$ ) 体积在组别主效应下都不存在显著差异(图 3)。

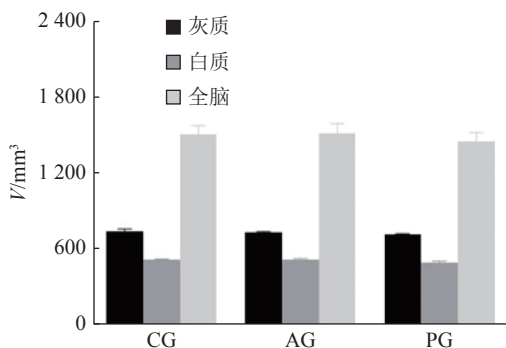


图 3 长期足球训练对全脑体积的影响

**2.3.2 足球训练对女大学生大脑灰质体积的影响** 专业组较对照组在小脑下叶、皮层下核团以及感觉运动皮层的灰质体积显著增大 ( $P < 0.05$ , FDR),

具体区域为左侧小脑 Crus1、苍白球和丘脑,右侧小脑 Crus1、丘脑、中央前回和中央后回(表 2, 图 4-a)。

专业组较业余组在右侧梭状回、中央前回,扣带中回等区域的灰质体积显著增大 ( $P < 0.001$ , 表 2, 图 4-b)。业余组双侧苍白球灰质体积显著大于对照组 ( $P < 0.001$ , 表 2, 图 4-c)。

### 2.4 差异脑区灰质密度和反应抑制能力的相关分析

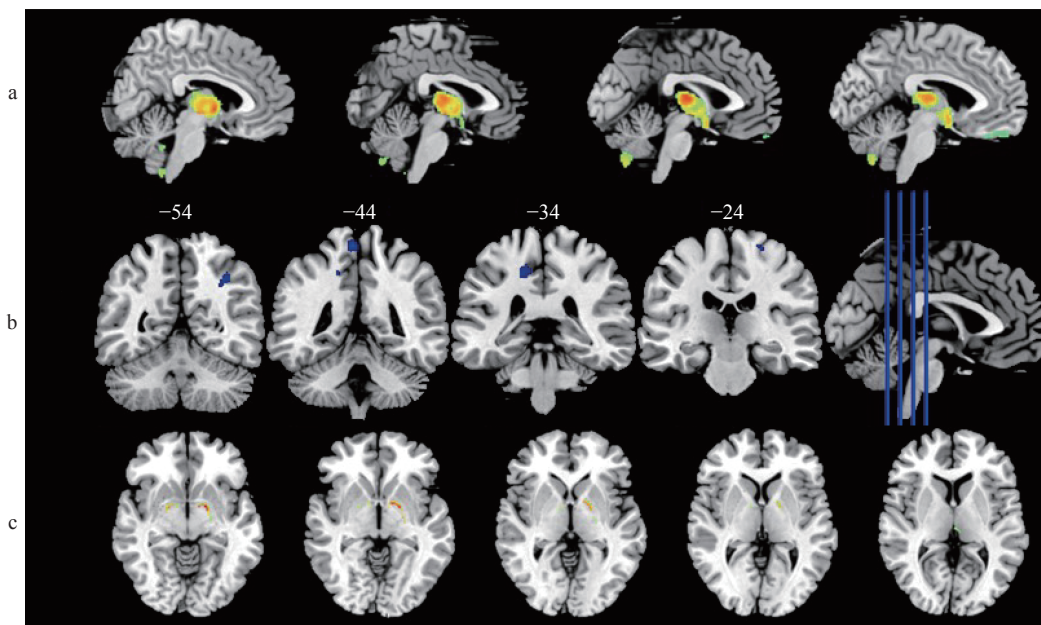
提取差异脑区灰质密度与 RT、IA 以及 SSRT 进行相关分析,发现小脑蚓部Ⅷ和 RT 呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ,  $r=-0.12$ , 图 5-a)。SSRT 与左侧苍白球 ( $P < 0.01$ ,  $r=-0.49$ , 图 5-b)、右侧丘脑呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ,  $r=-0.41$ , 图 5-b), 说明右侧丘脑和左侧苍白球的灰质体积越大抑制能力越强。此外,IA 和左侧苍白球 ( $P < 0.01$ ,  $r=0.47$ , 图 5-c)、右侧梭状回 ( $P < 0.05$ ,  $r=0.46$ , 图 5-c) 呈显著正相关。

## 3 讨论

本研究结合磁共振成像技术,采用停止信号任务范式评估不同足球训练水平女大学生反应抑制能力,并探究其神经结构机制。结果表明,相较于对照组,

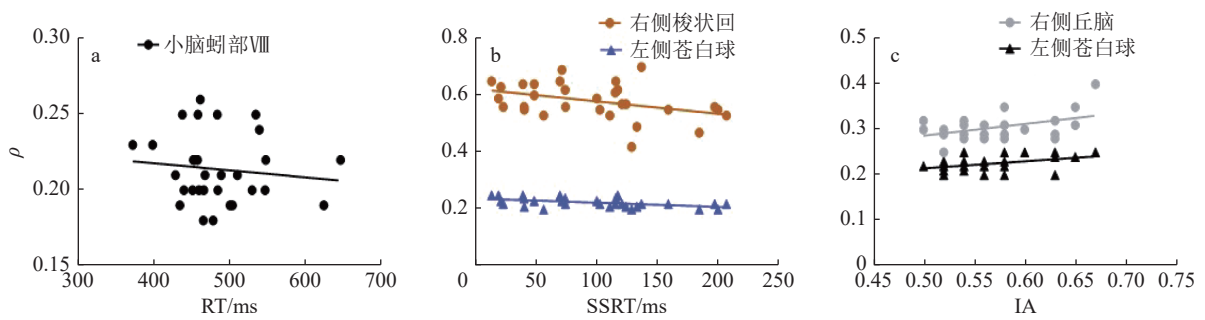
表 2 长期足球训练对大脑灰质体积的影响

脑区	BA	左右半球	MNI坐标	体素数量	T	脑区	BA	左右半球	MNI坐标	体素数量	T
专业组>对照组						专业组>业余组					
小脑蚓部Ⅷ			(3, -72, -40)	354	7.53	苍白球		左	(-9, -5, -9)	89	8.91
小脑_Crus1		右	(11, -90, -20)	18	4.78	梭状回	37	右	(-18, -3, -5)	18	4.14
中央前回	6	右	(30, -9, 45)	12	5.19	中央前回	6	右	(26, -23, 65)	33	4.77
丘脑		右	(2, -16, 8)	40	5.32	扣带中回		左	(-15, -36, 47)	95	4.56
中央后回	6	右	(35, -27, 53)	22	6.56	业余组>对照组					
丘脑		左	(0, -14, 9)	26	4.55	苍白球		右	(17, -3, -7.5)	13	4.86
小脑_Crus1		左	(-32, -74, -23)	11	5.22	苍白球		左	(-18, -3, -5)	79	5.83



注: a 表示专业组灰质体积大于对照组的区域; b 表示专业组灰质体积大业余组的区域; c 表示业余组灰质体积大于对照组的区域。

图 4 长期足球训练对大脑灰质体积的影响



注: a 反应时间与 小脑蚓部Ⅷ 密度相关关系; b SSRT 与 右侧丘脑、左侧苍白球密度之间的相关关系; c 抑制正确率和 右侧梭状回、左侧苍白球密度之间的相关关系。

图 5 差异脑区密度与反应时间、抑制正确率和停止信号反应时间的相关分析

专业组、业余组有更短的反应时间和停止信号反应时间。专业组较业余组有更短的停止反应信号时间。此外,专业组较对照组有更高的抑制正确率,各组间不同脑区灰质体积存在显著差异,且个别差异脑区与

反应抑制能力呈显著相关关系,表明这些脑区的灰质体积与反应抑制能力有密切关系。

长期足球训练可以缩短 Go 反应时间和停止信号反应时间。Shi 等<sup>[21]</sup>采用停止信号任务对高水平足球

运动员、健美操运动员和普通大学生进行反应抑制能力评估,结果相较于普通大学生,运动员有更强的反应抑制能力。但 Joyce 等<sup>[22]</sup>发现,一段时间中等强度运动干预之后(运动形式单一、每次持续 30 min),实验组仅停止信号反应时间有显著下降,而反应时间无显著变化。赛马模式理论认为“Stop”和“Go”这 2 个过程是相互独立的<sup>[23]</sup>,其中“Stop”过程涉及更多的认知加工,例如对停止信号的加工和反应抑制行为的参与,而“Go”过程涉及较少的认知加工,其仅对反应信号做出动作,最终输出行为取决于二者竞争的结果。在抑制任务中,若“Stop”在“Go”之前完成,则受试者能够成功完成抑制行为,反之则输出不恰当的反应行为<sup>[24-25]</sup>。足球训练形式复杂多变,涉及更多认知加工,因而对反应抑制能力产生更深刻的影响,或相较于单一运动形式,复杂开放式运动更能够对大脑结构和功能产生显著作用。此外,本研究结果表明,尽管业余组相较对照组停止信号反应时间显著减少,但正确率并无显著差异,说明足球训练对反应抑制影响并非全面而是呈现阶段性倾向,初期主要影响反应能力,而后期对反应和抑制都有影响,可能是由于业余足球运动员不能灵活转换自己的动作模式。

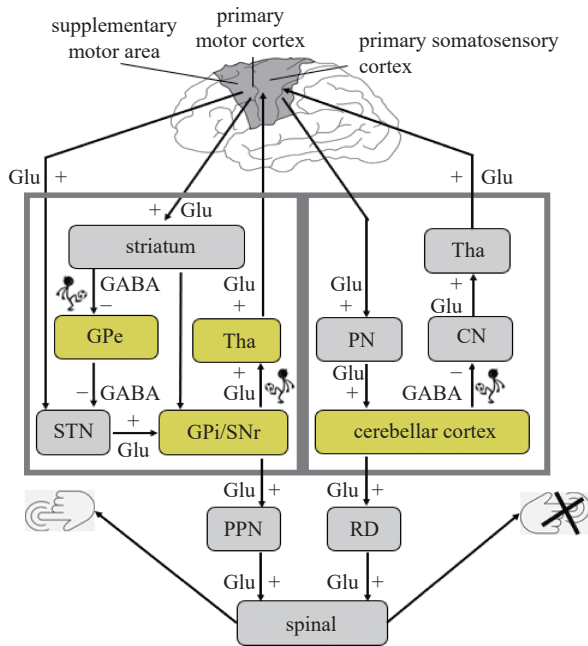
长期足球训练使专业组较对照组在大脑皮层、皮层下核团以及小脑部分区域有更大灰质体积,且部分差异脑区(右侧丘脑、左侧苍白球、右侧梭状回)与反应抑制指标显著相关。因此,这些脑区可塑性变化,可能是使运动员保持更优反应抑制能力的原因。尽管反应抑制能力的评估范式不尽相同(Stop-Signal, Go/Nogo, Double Task),但一致表明额叶、基底神经节在动作反应抑制过程中发挥着重要作用<sup>[26]</sup>。其中丘脑在皮层-基底神经节-皮层神经环路中发挥重要作用。基底神经节将来自皮层的信息进行加工,最后经丘脑中转至皮层,所以丘脑在该运动控制环路中发挥信息中继作用<sup>[27]</sup>。长期足球训练使得丘脑灰质体积显著增加,这可能促使基底神经节和皮层之间信息传递更加快速,进而表现出更快动作反应速度。除此以外,左侧苍白球密度和抑制能力显著相关。Meta 分析表明,在运动抑制阶段,苍白球外侧部显著激活<sup>[28]</sup>。内外侧苍白球分别参与额叶-基底神经节的不同通路,在直接通路中,苍白球内侧部接受来自纹状体的  $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)神经元释放的神经递质,抑制苍白球内侧部释放抑制性神经递质,从而使丘脑谷氨酸(glutamic acid, Glu)释放增加,兴奋额叶皮层进而产生运动<sup>[29]</sup>。在间接通路中内外侧苍白球都参与信息加工和传递,因此,苍白球灰质体积的增大,可能促使神经信号在基底神经节间传递更

高效、准确,使动作抑制更准确、快速。相较于业余组,专业组梭状回灰质体积更大,且与抑制能力呈显著正相关。以上结果印证了额叶-基底神经节模型在运动控制中的作用,以及足球训练对该模型的影响可能存在自下而上的模式,起初影响皮层下核团(苍白球),进而影响感觉运动皮层(中央前回、中央后回、扣带回),暗示感觉运动皮层可塑性的发生是区分专业和业余足球运动员的一个可能的神经标志物。梭状回在背景相关的视觉注意中发挥重要作用,Wei 等<sup>[30]</sup>发现,专业芭蕾舞者观看光点运动或观看舞蹈视频时梭状回显著激活。Calvo-Merino 等<sup>[31]</sup>表示,专业运动员更擅长专注于观察场上变化的情况,从而做出更加符合战略的决策。所以长期足球训练使专业运动员能够在复杂背景中捕捉到重要信息,进而做出正确动作。同理,在反应抑制任务中运动员需要快速准确地注意到与抑制相关的信号,进而中断正在发生或者即将发生的按键反应。

小脑蚓部Ⅷ灰质密度与反应能力显著相关。小脑对动作协调,尤其是对手眼协调有重要作用。对动物研究也发现,动作技能学习和小脑神经元的可塑性有必然联系<sup>[32-34]</sup>。解剖结构上,小脑通过丘脑、脑桥核和大脑皮层构成上下 2 条通路,同时位于小脑后叶的脊髓小脑神经元投射到脊髓运动神经元直接发起相关动作。在反应抑制过程中,动作的启动和抑制取决于该动作是否符合长远目标和当下背景。Daniel 等<sup>[35]</sup>所提出内部模型理论表示,经过长期训练和相应动作技能习得,小脑可以将当前结果和即将发生的事件进行对比,将比较后信息传至更高级的感觉运动中枢进行反馈调节,即抑制正在发生的动作或者取消即将进行的不恰当动作计划。

本研究表明,长期足球训练可能通过改变动作控制神经环路相应节点的功能结构,使运动员有更优的反应抑制能力。如图 6 所示,动作控制依赖复杂神经环路,并形成层级关系。大脑皮层整合内外输入的信息,形成实现相应动作目标的指令,并下行至基底神经节,经丘脑返至皮层。在基底神经节中,纹状体根据大脑皮层指令选择不同路径,从而调整大脑运动皮层的兴奋、抑制状态产生正确动作模式。足球训练使苍白球、丘脑灰质体积显著增加,一方面加快基底神经节对皮层信息的整合并快速返至皮层,另一方面经过脑桥核下行至脊髓运动神经元直接发起相应的运动。此外,小脑和大脑通过丘脑、桥核形成双向神经环路。小脑在以往经验基础上将当下情况与目标行为进行比较,上传整合信息至大脑,后者做出相应调整经小脑至红核,继而下行传至脊髓运动神经元执行相

应动作. 足球训练显著增加小脑皮层灰质体积, 促进大脑动作指令的精确性并可快速对当前刺激做出反应.



注: cerebellar cortex: 小脑皮层; striatum: 纹状体; GPe: 苍白球外侧部; GPi: 苍白球内侧部; STN: 丘脑底核; SNr: 黑质网状部; Tha: 丘脑; PN: 脑桥核; CN: 小脑核; PP 脑核; PPN: 脑桥核; RD: 红核; “+”: 兴奋传递; “-”: 抑制传递; GABA: r-氨基丁酸; Glu: 谷氨酸; spinal: 脊髓; supplementary motor area: 辅助运动区; primary motor cortex: 主运动区; primary somatosensory cortex: 主躯体感觉区; 黄色区域表示灰质体积显著增加的部位.

图 6 基底神经节参与长期足球训练影响运动控制能力的可能机制

## 4 结论

长期足球训练显著提高女大学生反应抑制能力, 且反应抑制能力与小脑蚓部Ⅷ、左侧苍白球、右侧丘脑、右侧梭状回灰质密度显著相关. 推测长期足球训练通过诱导基底神经节、小脑灰质体积的变化来调节反应抑制能力的提升.

## 5 不足与展望

本研究虽然在一定程度上表明长期足球训练能够改变大脑结构可塑性, 并且这种变化可能是运动员表现出更优反应抑制能力的潜在神经机制. 但由于本研究采用横断面研究无法直接得出长期足球训练是更优反应抑制能力的原因; 其次本研究所纳入的高水平足球运动员并未做位置、训练年限的细分, 也未进行生理功能评估; 因此下一阶段将采用纵向干预研究进一步验证本研所得猜想, 同时将根据球员位置

的不同, 进一步研究球员间的特异性. 阐述不同位置球员反应抑制功能是否存在差异性及其中的机制.

## 6 参考文献

[1] LIISA R, RENE W, NIAMH D, et al. Differences in unity: the Go/Nogo and Stop-Signal tasks rely on different mechanisms[J]. *Neuro Image*, 2020, 210(15): 1165

[2] AMEZ S, NEYT B, VAN NUFFEL F, et al. The right man in the right place? Substitutions and goal-scoring in soccer[J]. *Psychology of Sport & Exercise*, 2021, 54: 101898.

[3] 顾楠, 陶莹, 金晨曦. 左手手乒乓球运动员反应抑制的事件相关电位研究[J]. *上海体育学院学报*, 2014, 38(5): 90

[4] 陆颖之, 周成林. 网球运动员反应抑制能力及其最佳时区的ERP特点[J]. *中国运动医学杂志*, 2013, 32(11): 974

[5] HUANG C J, LIN P C, HUNG C L, et al. Type of physical exercise and inhibitory function in older adults: an event-related potential study[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2014, 15: 205

[6] POEHLING R A, TSAI M C, MANSON S A, et al. Physical performance development in a female national team soccer program[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2020, 24(6): 597

[7] LEVI H R, JACKSON R C. Contextual factors influencing decision making: perceptions of professional soccer players[J]. *Psychology of Sport & Exercise*, 2018, 37: 19

[8] ROMINGER C, MEMMERT D, PAPOUSEK I, et al. Female and male soccer players recruited different cognitive processes when generating creative soccer moves[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2020, 50: 249

[9] GUAN M Z, LIAO Y, REN H J, et al. Impaired response inhibition in juvenile delinquents with antisocial personality characteristics: a preliminary ERP study in a GO/NOgo task[J]. *Neuroscience Letters*, 2015, 603(31): 1

[10] SUSKAUER S J, SIMMONDS D J, FOTEDAR S, et al. Functional magnetic resonance imaging evidence for abnormalities in response selection in attention deficit hyperactivity disorder: differences in activation associated with response inhibition but not habitual motor response[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2008, 20(3): 478

[11] RIEGER M, GAUGGEL S, BURMEISTER K. Inhibition of ongoing responses following frontal, nonfrontal and basal ganglia lesions[J]. *Neuropsychology*, 2003, 17(2): 272

[12] DONCHIN E, ISREAL J B. Event-related potentials and psychological theory[J]. *Progress in Brain Research*, 1980,

- 54: 697
- [13] BEKKER E M, KENEMANS J L, HOEKSMAN M R, et al. The pure electrophysiology of stopping[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2005, 55(2): 191
- [14] FALKENSTEIN M, HOORMANN J, HOHNSBEIN J. ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition[J]. *Acta Psychologica*, 1999, 101(2/3): 267
- [15] SCHLAFFKE L, LISSEK S, LENZ M, et al. Sports and brain morphology: a voxel-based morphometry study with endurance athletes and martial artists[J]. *Neuroscience*, 2014, 259: 35
- [16] DRAGANSKI B, GASER C, BUSCH V, et al. Changes in grey matter induced by training[J]. *Nature*, 2004, 427(6972): 311
- [17] LEE W H, RODRIGUE A, GLAHN D C, et al. Heritability and cognitive relevance of structural brain controllability[J]. *Cerebral Cortex*, 2020, 30(5): 3044
- [18] LOGAN G D, COWAN W B. On the ability to inhibit thought and action: a theory of an act of control[J]. *Psychological Review*, 1984, 91(3): 295
- [19] VERBRUGGEN F, LOGAN G D. Models of response inhibition in the Stop-Signal and Stop-Change paradigms[J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2009, 33(5): 647
- [20] VERBRUGGEN F, ARON A R, BAND G P, et al. A consensus guide to capturing the ability to inhibition actions and impulsive behaviors in the Stop-Signal task[J]. *eLife*, 2019, 29(8): e46323
- [21] SHI J L, WANG J, LANG J, et al. Effect of different motor skills training on a motor control network in the frontal lobe and basal ganglia[J]. *Biology of Sport*, 2020, 37(4): 405
- [22] JOYCE J, GRAYDON J, MCMORRIS T, et al. The time course effect of moderate intensity exercise on response inhibition[J]. *Brain and Cognition*, 2009, 71(1): 14
- [23] HERVAULT M, HUYS R, BUISSON J C, et al. To start or stop an action depends on which movement we perform: an appraisal of the horse-race model[J]. *Acta Psychologica*, 2021, 217: 103332
- [24] ROBERTS W, FILLMORE M T, MILICH R, et al. Linking impulsivity and inhibitory control using manual and oculomotor response inhibition tasks[J]. *Acta Psychologica*, 2011, 138(3): 419
- [25] ARON A R. The neural basis of inhibition in cognitive control[J]. *The Neuroscientist*, 2007, 13(3): 214
- [26] ARON A R, BEHRENS T E, SMITH S, et al. Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance imaging(MRI) and functional MRI[J]. *The Journal of Neuroscience*, 2007, 27(14): 3743
- [27] 侯莉娟, 胡荣光, 张吉敏, 等. 运动疲劳状态下GPI/SNr在基底神经信息整合中的作用[J]. *北京体育大学学报*, 2016, 39(1): 76
- [28] GUO Y H, SCHMITZ T W, MUR M, et al. A supramodal role of the basal ganglia in memory and motor inhibition: Meta-analytic evidence[J]. *Neuropsychologia*, 2018, 108: 117
- [29] BAMFORD N S, ZHANG H, SCHMITZ Y, et al. Heterosynaptic dopamine neurotransmission selects sets of corticostriatal terminals[J]. *Neuron*, 2004, 42(4): 653
- [30] WEI G X, ZHANG Y C, JIANG T Z, et al. Increased cortical thickness in sports experts: a comparison of diving players with the controls[J]. *Plos One*, 2011, 6(2): e171112
- [31] CALVO-MERINO B, GLASER D E, GRÈZES J, et al. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers[J]. *Cerebral Cortex*, 2005, 15(8): 1243
- [32] 祝一虹, 狄海波, 袁艺, 等. 小脑在手指序列运动学习中作用的功能磁共振成像[J]. *科学通报*, 2005, 50(16): 1746
- [33] ANDERSON B J, LI X, ALCENTARA A A, et al. Glial hypertrophy is associated with synaptogenesis following motor-skill learning, but not with angiogenesis following exercise[J]. *Glia*, 1994, 11(1): 73
- [34] KLEIM J A, SWAIN R A, ARMSTRONG K A, et al. Structure stability within the lateral cerebellar nucleus of rat following complex motor learning[J]. *Neurobiology of Learning and Memory*, 1998, 69(3): 274
- [35] WOLPERT D M, MIALL R C, KAWATO M, et al. Internal models in the cerebellum[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 1998, 2(9): 338

## Differences in response inhibition in female college students of different soccer levels: correlation with brain anatomy

BI Yan<sup>1)</sup> LI Ju<sup>1)</sup> QIN Zhe<sup>1)</sup> SUN Xupeng<sup>2)</sup> SHI Jilong<sup>1)</sup> LANG Jian<sup>1)</sup>

(1) College of PE and Sports, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) Qingdao Laoshan Jinjialing School, 266101, Qingdao, Shandong, China)

**Abstract** Large differences in response inhibition during Stop-Signal task among female college students at different soccer levels were correlated with brain anatomy after magnetic resonance imaging. Participants (34) were divided into control group (CG), amateur group (AG) and professional group (PG) according to their soccer training levels. Stop-Signal task was used to assess response inhibition. Differences in T1 structural images among groups were analyzed by Voxel-based morphometry, and corrected by FDR. Correlation between response inhibition and brain regions was evaluated. Compared with reaction time in CG, reaction time in PG and AG was found to shorten by 48 and 44 ms ( $P < 0.05$ ) respectively. The Stop-Signal reaction time in PG and AG decreased by 116 and 96 ms respectively when compared to CG ( $P < 0.05$ ); Stop-Signal reaction time in PG decreased by 10 ms when compared with AG ( $P < 0.05$ ). PG showed higher accuracy rate than CG ( $P < 0.05$ ). Professional group showed bigger gray matter volume in the right postcentral gyrus, precentral gyrus, thalamus, cerebellum\_Crus1, cerebellum vermis, left thalamus, pallidum, cerebellum\_Crus1 than control group ( $P < 0.05$ , FDR). Compared with AG, PG showed increased gray matter volume in the right fusiform gyrus, precentral gyrus and left middle cingulate gyrus ( $P < 0.001$ ). Augmented gray matter volume was found in bilateral pallidum in AG when compared to CG ( $P < 0.001$ ). Response time showed significant negative correlation with concentration of cerebellum vermis VIII ( $P < 0.05$ ,  $r = -0.12$ ). SSRT showed significant negative correlation with concentration of right thalamus ( $P < 0.05$ ,  $r = -0.41$ ) and left pallidum ( $P < 0.01$ ,  $r = -0.49$ ). Accuracy rate of inhibition showed significant positive correlation with concentration of right fusiform gyrus ( $P < 0.05$ ,  $r = 0.46$ ) and left pallidum ( $P < 0.01$ ,  $r = 0.47$ ). It is concluded that long-term soccer training significantly improve response inhibition in college female students. Response inhibition is correlated with gray matter density in cerebellum vermis VIII, left pallidum, right fusiform gyrus and thalamus. Long-term soccer training may induce transformation of basal ganglia and cerebellum gray matter volume to mediate improved response inhibition. More longitudinal control studies are needed to further determine such causal relationships.

**Keywords** soccer; college-aged female; gray matter volume; response inhibition; basal ganglia

【责任编辑: 武 佳】