

# 门控及其注意调节在体育研究中的重要意义

## ——来自精神疾病研究领域的经验与启示

丁宇<sup>1\*</sup>, 赵涛<sup>1</sup>, 刘钰<sup>2</sup>, 曹春梅<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>清华大学体育部, 北京

<sup>2</sup>贵州民族大学民族文化与认知科学学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2021年11月13日; 录用日期: 2021年12月16日; 发布日期: 2021年12月23日

### 摘要

大脑排除无关信息干扰并选择重要信息进行深度加工的能力来自于门控和注意两种机制共同发挥作用, 惊反射的前脉冲抑制及其注意调节是测量门控和注意能力的有效工具, 并已经在多种精神疾病的研究中有成熟的应用。精神疾病的早期诊断及治疗评价与运动员的选材和状态评估是相反或相似的过程, 因此借鉴精神疾病的研究范式和研究成果, 对于提高运动员选材和训练监测、赛前状态预警等均具有积极意义。另外, 不同运动项目会导致中枢神经产生不同的可塑性变化, 开展不同运动项目的门控及其注意调节的研究有助于精神疾病的早期预防和干预。本研究采用文献资料法总结了惊反射的前脉冲抑制及其注意调节在精神疾病领域和体育领域的应用, 从实验方法的角度促进体育领域与精神卫生领域之间的融合。

### 关键词

感觉运动门控, 惊反射的前脉冲抑制, 注意, 精神疾病, 体育, 医体融合

# The Significance of Gating and Its Attentional Modulation in Sports Research

## —Experience and Enlightenment from the Research Field of Mental Diseases

Yu Ding<sup>1\*</sup>, Tao Zhao<sup>1</sup>, Yu Liu<sup>2</sup>, Chunmei Cao<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing

<sup>2</sup>College of National Culture and Cognitive Science, Guizhou Minzu University, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 13<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 16<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2021

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 丁宇, 赵涛, 刘钰, 曹春梅. 门控及其注意调节在体育研究中的重要意义[J]. 体育科学进展, 2021, 9(4): 551-561. DOI: 10.12677/aps.2021.94080

## Abstract

The brain's ability to eliminate interference from irrelevant information and select important information for deep processing comes from the two mechanisms of gating and attention working together. The prepulse inhibition of the startle reflex and its attentional modulation are effective tools for this ability and have mature applications in the research of a variety of mental diseases. The early diagnosis and treatment evaluation of mental illness are opposite or similar to the selection and status evaluation of athletes. Therefore, the research paradigm and results of mental illnesses are illustrated, which improves athletes' selection, training monitoring, and pre-match state warning. In addition, different sports events will lead to different plastic changes in the central nervous system. Research on the gate control and attention adjustment of different sports events is helpful to the early prevention and intervention of mental illness. This study uses the literature method to summarize the application of the prepulse inhibition of the startle reflex and its attentional modulation in the field of mental illness and sports, and promotes the integration between the field of sports and the field of mental health from the perspective of experimental methods.

## Keywords

Sensorimotor Gating, Prepulse Inhibition of the Startle Reflex, Attention, Mental Illness, Sports, Medical and Physical Integration

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

随着心理与认知科学的发展,人们对精英运动员背后的心理与神经过程越来越感兴趣。优秀运动员的运动表现与认知能力关系密切,并且长期的运动训练也会通过对大脑产生可塑性变化进而改变其认知能力[1] [2]。无论是赛场上还是日常训练过程中,精英运动员都需要对正在进行的认知任务高度专注[3],例如,在射箭运动中,天气因素、观众、不规范的比赛场地等都会给运动员带来外部干扰,进而影响其注意力和比赛成绩[4];飞碟比赛中,年轻运动员经常因为注意分散而导致脱靶[5]。因此,排除无关信息干扰的能力对运动员比赛结果有决定性的影响[6]。

人脑时刻面临大量的感觉信息输入,但我们的大脑能够同时处理的信息是有限的,因此需要过滤掉大量的无关信息。大脑的这种过滤无关信息的能力依赖于前脑水平的注意和脑干水平的门控两种机制共同发挥作用。如果注意和门控功能受损,导致大量信息同时涌入大脑,引起认知活动异常,便会产生精神分裂症等精神疾病,这就是精神分裂症的感觉门控理论[7]。惊反射的前脉冲抑制(Prepulse Inhibition, PPI)是一种公认的感觉运动门控测量模型,并且可以被情绪和注意等高级认知活动所调节,因此注意对PPI的调节范式被认为可以综合测量大脑信息选择和排除无关信息干扰能力的手段,并且已经应用于精神分裂症[8] [9]和双向情感障碍的早期筛查过程[10],均具有很好的区分度。

综上所述,PPI及其注意调节与多种精神疾病的发生关系密切,不同的精神疾病在PPI及其注意调节的表现方面有不同的特点,而不同类型的运动项目对中枢神经会产生不同的可塑性改变,那么,长期的运动训练对脑产生的可塑性变化是否也改变了PPI及其注意调节能力,进而影响人们的精神健康?另一

方面,不同类型的运动项目对门控及其注意调节能力是否有特殊的要求,即精神疾病早期筛查的范式是否可以反过来用于精英运动员的选材指导?本研究采用文献资料法总结了 PPI 及其注意调节在精神疾病领域和体育领域的应用,从实验方法的角度促进体育领域与精神卫生领域之间的融合。

## 2. 听觉惊反射及其应用

一个突然的强感觉刺激,无论是突然的闪光或者强声音,亦或是突然接近的物体,都会导致一个全身性的反射活动,这就是惊反射(Startle Reflex)。惊反射的存在可以使生物警觉并躲避危险,从而保护了生物的安全。Landis 和 Hunt 在 1939 年对惊反射进行了一系列的实验,使用移动相机进行动作捕捉,实验被试涉及到不同种族、不同年龄阶段、多种疾病、以及多种动物等,这项系统性的实验证实了惊反射是一种人和动物所共有的反射活动[11]。实验的各种被试也对之后的应用产生了铺垫,如在多种精神疾病中的早期诊断和动物模型等。反射是最简单的运动形式,一旦被触发,反射通常是无法被主观意愿所改变的,因此有些研究认为反射本身就可以作为某些运动技能的评估标准[12] [13]。

在早期的研究中,用于运动员分类或者技能评估的反射通常是基于脊髓牵张反射等,通过本体感觉来触发特定运动项目相关的特定肌肉的爆发力等,而近期的研究也开始尝试使用起源于脑干的、基于听觉惊刺激触发的惊反射与运动表现的关系,结果发现与对照组相比,运动员具有更好运动水平的同时也具有更低的听觉惊反射幅度,他们对听觉惊刺激的反应更快,并且消除了性别差异[14] [15]。

## 3. 感觉运动门控及其应用

### 3.1. 感觉运动门控的测量

虽然惊反射对于生物的生存(如躲避危险)具有极大的意义,但是惊反射会打断正在进行的认知活动,试想如果认知活动时常被打断,人和动物将无法进行长时程的工作,因此中枢神经系统进化出了一套对当前认知活动进行保护的机制,即如果在能够产生惊反射的强刺激之前,先呈现一个弱的、不足以引发惊反射的前脉冲刺激,那么这个强感觉刺激所引起的惊反射幅度就会被减弱,这就是惊反射的前脉冲抑制(即 PPI)。由于前脉冲刺激的呈现导致了一个门控作用,阻挡了随后而来的惊刺激,并且作为结果的全身性反射运动被抑制,因此 PPI 被称为感觉运动门控的测量模型[16]。

早在 1989 年 Foss 等人通过射击运动中的瞄准任务对惊反射导致的注意下降以及前脉冲刺激对注意的保护作用进行了研究[17]。实验使用 50 ms 的噪声(130 dB)作为惊刺激来诱发听觉惊反射,实验要求被试使用来复枪进行瞄准,并比较准星产生的偏差。实验中 60 次的瞄准任务中有 8 次会出现惊刺激,其中有 4 次在惊刺激之前,被试会得到提醒,告知随后多长时间会出现惊刺激;另外的 4 次被试并不知道在瞄准任务中会有惊刺激出现,实验记录了惊刺激前后的准星偏差的大小,结果显示出了惊反射对于注意的减弱作用,并且对惊刺激的提醒可以对当前的射击瞄准任务产生保护。之后 Foss 将语音的提醒改成了纯音刺激(1000 Hz, 80 dB, 25 ms, 与惊刺激间隔 100 ms)进行了实验,得到了类似的结果。Foss 的实验方法与现今的 PPI 研究范式已经十分接近,这也是最早的 PPI 与体育运动领域的交叉研究。Hoffman 与 Overman 于 1971 年对动物也进行了类似的实验并得到了类似的结果[18]。为了避免不同被试间惊反射幅度基线的差异的干扰,PPI 的计算公式采用比值的形式,具体如下:

$$PPI = \frac{\text{单独呈现惊刺激时的惊反射幅度} - \text{前脉冲刺激呈现后惊刺激呈现的惊反射幅度}}{\text{单独呈现惊刺激时的惊反射幅度}}$$

### 3.2. 感觉运动门控的应用

感觉运动门控及其测量方式 PPI 反应了早期感觉处理的能力,而早期的感觉处理能力与许多精神疾

病的发病机制有关[19] [20], 这种相关可以用来揭示精神疾病的生物标志物及其靶点, 以用于未来的早期诊断、干预和治疗[21] [22] [23], 因此感觉运动门控是心理学范式中应用于精神疾病探索的最广泛使用的方法之一, 并且高级认知活动对 PPI 的调节在多种精神疾病中的应用仍在发展之中[24]。在动物试验中通常使用特制的压力传感器将动物的全身性抖动转换为电压值进行记录, 而在人类实验中通常的做法是记录眼轮匝肌的肌电反应, 因此, 前脉冲刺激往往代表一种模拟的正在进行的认知活动, 惊刺激模拟了一种强的干扰, 而肌电反应的减弱模拟了中枢神经系统对于干扰刺激的一种过滤作用[25]。很多精神疾病都有这种门控的过滤作用的异常或缺失, 因此 PPI 常用于各种精神疾病的研究之中。

早在 1978 年, Braff 等人就发现精神分裂症病人的 PPI 显著低于正常对照, 这一结果在后面的实验中得到多次验证[26] [27]。认知缺损是精神分裂症的核心症状之一, 其中信息加工的缺陷可以通过对感觉运动门控系统, 即 PPI 进行测量, 进一步的研究还发现, 精神分裂症患者的 PPI 缺失与患者的其他认知缺陷, 如思维障碍、注意力涣散存在相关性。这里研究涉及的人群既包括已经确诊的精神分裂症病人, 也包括精神分裂型人格障碍的病人和精神分裂症患者的一级亲属。然而, PPI 的缺失不仅发生在精神分裂症中, 许多其他精神疾病也被证实有 PPI 的缺失[28], 例如阿尔兹海默症[29]、强迫症、Tourette 综合征[24]、自闭症[30]、亨廷顿氏舞蹈症都被报告有感觉运动门控的缺失, 双相情感障碍则依据状态也表现出 PPI 的下降, 另外, 创伤后应激障碍也与 PPI 有关[31]。

感觉运动门控是一种大脑排除无关信息干扰的操作, 而通常情况下运动员也需要将注意力集中在单一的目标上, 因此与精神疾病相反, 运动员也许是 PPI 高于正常人群的特殊群体。研究者对比了中距离跑步运动员和正常的健康人群的惊反射及其前脉冲抑制的情况, 发现相比于正常对照, 运动员的前脉冲抑制的效果(即 PPI)更强, 并且 PPI 的增强与身体素质的提高有明显的相关[14] [15]。这些结果有两种可能的解释, 第一种解释是运动员长期的运动不仅提高了身体素质, 也对大脑进行了重塑, 减弱了惊刺激对认知活动的干扰, 增强了门控功能对无关信息的屏蔽能力; 第二种解释是潜在的精英运动员本身就具有较强的门控功能, 可以更好的对当前正在进行的认知任务进行保护, 因此在平时的训练中有更好的提升效果, 并且在比赛中可以取得更好的成绩。

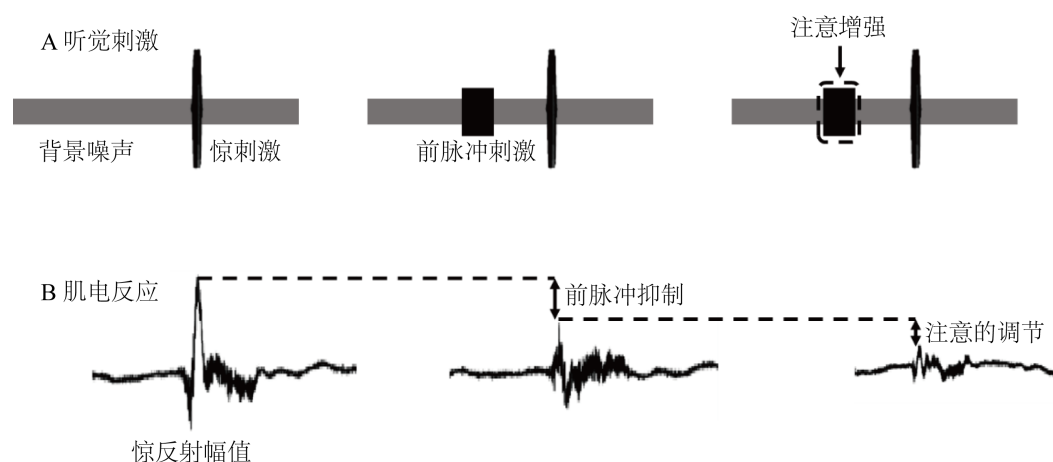
## 4. 感觉运动门控的注意调节及其应用

一系列的研究表明 PPI 的主要神经环路位于脑干[32], 然而 PPI 可以受到注意的调节[33], 即被试对前脉冲信号的选择性注意会增强其对随后而来的惊刺激的抑制作用, 体现在注意信号比非注意信号对惊刺激有更好的抑制, 即引发更大的 PPI。如图 1 所示, 背景噪声持续播放, 惊刺激会引发一个相应的惊反射, 以眼轮匝肌的肌电测得惊反射幅值(动物实验中使用压力传感器转换为电信号); 当惊刺激之前先呈现一个弱的前脉冲刺激, 则惊反射的幅值会下降, 这就是前脉冲抑制效果, 当被试主动或被动注意前脉冲刺激, 则前脉冲抑制的效果会进一步增强。注意对 PPI 的增强效果的本质在于提高了感觉运动门控对无关信息的过滤效果, 在跑步类的运动中, 运动员需要锻炼出根据枪声等信息开始起跑的条件反射, 赛场环境等因素会干扰运动员的起跑过程, 而对起跑任务的注意则会使得运动员更好的完成起跑动作, 因此高度集中注意力是获得 100 米快速跑等项目的主要因素[34]。注意对 PPI 的调节的环路涉及到大脑的多个脑区, 并且不同注意类型所涉及的脑区也各不相同[35]。关于 PPI 注意调节的研究主要来自人类实验和动物实验(如大鼠)两部分, 目前已经形成了人类和动物通用的听觉 PPI 空间注意调节的模型[8] [36]。

### 4.1. 感觉运动门控的注意调节能力的测量

实践中, 感觉运动门控最常见的注意调节是基于听觉优先效应的空间注意[35]。在日常生活中, 声源发出的声音经过墙壁等尖锐物体的反射会形成反射波, 但是我们平时并不会听到一个混响的声音, 而是

只听到一个融合的声音，并且方向来自于直达声的声源，这是因为我们的大脑有一种能力，可以将落后声音的特征捕捉到领先声音，形成一个声源方向的融合的声音，这就是听觉优先效应。在实验室中，我们可以使用两个喇叭播放相同的声音，其中一个喇叭稍微领先(例如 3 毫秒)，则落后的喇叭的声音会被领先喇叭所捕捉，进而被试只在领先喇叭的方向听到一个融合的声音。



**Figure 1.** Schematic diagram of prepulse inhibition of the startle reflex and its attentional modulation  
**图 1.** 惊反射的前脉冲抑制及其注意调节示意图

基于上述的听觉优先效应，操作 PPI 测试过程中的背景噪声，使其中一个喇叭领先(如左侧喇叭领先)，这样被试会将背景噪声知觉为领先侧(如左侧)，同样的，使前脉冲刺激也在两个喇叭播放，并且在另一侧(如右侧)领先，这样被试会将前脉冲刺激知觉为另一侧(如右侧)。这样的操作使得两个喇叭都播放背景噪声和前脉冲刺激，但被试却在知觉上感受到背景噪声和前脉冲刺激来自不同的方向，即形成了知觉空间分离。已有多篇研究发现，相比于知觉空间融合(即背景噪声与前脉冲刺激同侧喇叭领先)，知觉空间分离条件下的前脉冲刺激进一步增强了 PPI。这种知觉空间分离引入空间注意的方式的优点是不改变声音的物理属性，其重要意义在于区分了物理与心理的区别，体现了空间特征的心理属性。近期的一项研究发现，PPI 与女性的月经周期以及 Val158Met 基因多态性有关，而注意对 PPI 的调节则没有体现出月经周期和基因的差异[37]。

在动物实验中，对大鼠进行足底电击，若将足底电击与前脉冲刺激进行时间上的精确匹配，则原本是中性的前脉冲刺激会被赋予警觉信息的生态学意义，即对前脉冲刺激进行了恐惧条件化。条件化后的前脉冲刺激会使大鼠产生恐惧情绪，进而产生选择性注意。相对的，若足底电击与另一种前脉冲刺激(如与条件化的前脉冲刺激不同频率的声音)在时间上不匹配，则不会产生匹配学习的效果，这样的前脉冲刺激被称为条件化控制刺激。已有多篇报道发现，相比于条件化控制刺激，只有恐惧条件化的前脉冲刺激所引发的 PPI 被显著增强[38] [39] [40]，这种增强即具有频率特异性，又具有空间特异性[41]。

#### 4.2. 感觉运动门控注意调节能力的应用

虽然感觉运动门控的缺失与多种精神疾病有关，但是 PPI 的注意调节与精神分裂症的关系最为密切。精神分裂症可以理解成是对多余和干扰信息的过滤系统出现问题，而注意和门控正是这个过滤系统的两个重要组成部分，因此注意对门控调节的缺失可以作为精神分裂症早期诊断的指标。在包括被动注意和主动注意的范式中，精神分裂症病人在两种范式中的 PPI 与正常对照均有显著差异[42] [43] [44] [45]。在

被动注意范式中,即受试者不需要主动注意前脉冲刺激,精神分裂症患者 PPI 也显著小于正常对照[26]。

精神分裂症病人所缺乏的注意能力正是运动员所必须的,在技术复杂、对抗激烈、节奏快、强度高的运动例如现代冰球中,注意能力是影响运动员成绩的重要因素,与赛场表现密切相关[46],而在 100 米跑这样的短距离激烈竞争中,运动员的技术、体力差距日益缩小,起跑的零失误是获胜的关键,研究表明注意集中状态下反应速度可以提高 60% 左右[34]。在精神分裂症病人中, PPI 本身和注意对 PPI 的调节都有缺失,但注意对 PPI 调节的缺失与精神分裂症一些特异性症状(比如幻觉、概念错乱和多疑)的严重程度有更强的相关。Yang 等人近期的实验表明,以空间注意对 PPI 调节的缺失作为精神分裂症早期诊断的指标,具有很好的区分度[8]。动物实验也表明,注意对 PPI 的增强效果在精神分裂症模型大鼠中是缺失的,而抗精神病药物氯氮平,可以有效恢复精神分裂症模型大鼠的 PPI 的注意增强效果[47]。

另一方面,恐惧条件化后的前脉冲刺激会具有生态学含义而成为威胁性刺激,而对威胁性信息的注意偏向会产生恐惧和焦虑,恐惧和焦虑是创伤性应激障碍(Post-Traumatic Stress Disorder, PTSD)的典型症状。除了 PTSD 以外,恐慌症(Panic Disorder, PD)和焦虑症(Generalized Anxiety Disorder, GAD)个体也容易对环境中的威胁性刺激产生更多的注意偏向,而这会导致对中性刺激的误判,产生威胁性刺激的泛化效果,以上精神疾病对恐惧条件化的泛化效果已经有大量的报道[48] [49] [50] [51] [52]。另外,已经有报道发现恐慌症有 PPI [53]或听感觉门控[54]的缺失或异常。因此我们推测,注意对门控调节的异常与这些精神疾病也有关。我们可以将这几种疾病理解为对负性刺激的泛化和误判,由于恐惧和焦虑会导致对负性刺激的注意偏好,而注意偏好又会反过来增加恐惧和焦虑的情绪,因此这几种精神疾病很容易陷入恶性循环。注意对 PPI 的泛化是研究这几种精神疾病的有力范式。

综上所述,注意对门控的调节的异常和缺失与多种精神疾病有关,其中这种调节效果的缺失与精神分裂症关系密切,而调节的异常(例如对于情绪注意的泛化)与创伤性应激障碍、恐慌症和焦虑症等有关。PPI 是感觉运动门控的有力测量模型,对 PPI 的注意调节的神经机制的探究,已经极大推动了对多种精神疾病的早期诊断及它们的神经生物学机制的研究。注意的不同特征对应不同的精神疾病,同样的,在体育运动中,不同运动项目对注意的特征需求也不同。在体育运动中,注意的特征主要表现在稳定性、广度、分配及转移四个方面[3],不同项目对不同方面的侧重不同,例如,有研究认为注意广度可以作为蹦床项目选材的有效指标[55]。

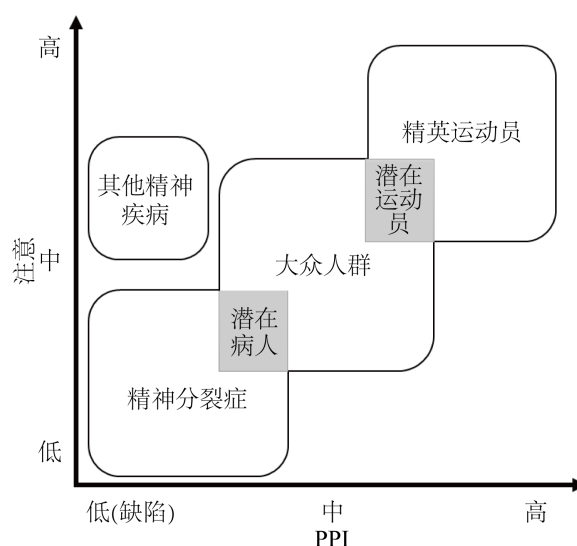
## 5. 感觉运动门控在体育运动领域的研究展望

### 5.1. 感觉运动门控的注意调节作为考察运动员认知能力的工具

注意一直是心理学家关注的领域,而越来越多的教练员和运动员开始重视起注意在运动中的作用,注意也逐渐成为运动心理学的热门研究领域之一[3]。运动员在日常训练中需要高度集中,例如动作的模仿、技巧的掌握过程等,而有效的训练依赖于大脑对当前正在进行的认知活动的加工保护,以及排除无关信息的干扰。如前所述,大脑的这种能力依赖于两种机制,门控和注意,而这两种机制并不是独立的,注意对门控具有自上而下的调节作用。PPI 是感觉运动门控的主要测量模型,并且可以被注意调节,因此注意对 PPI 的调节范式是考察运动员认知能力的有力工具。

另一方面,运动员在比赛中的表现更依赖于对不同的信息进行深度的认知加工,这种加工的有效性将影响动作的流畅性、队友的配合、对目标的精准击打等等。有研究认为,在奥林匹克决赛阶段,影响运动员成绩的并非技术、身体上的差异,而是来自心理与脑的差异[56]。门控机制和注意共同决定了哪些信息进入深度的认知加工,而另外一些信息则作为无关信息被排除。更重要的是,注意对门控的调节决定了对正在进行的认知活动的保护的强弱,因此注意对门控调节能力的提升将有效的提高运动员的比赛表现。

认知能力对运动员来说是至关重要的，这种重要性不仅体现在运动员的训练和评价上，也体现在运动员的选材方面。以足球运动员为例，我国青少年足球运动员选材曾经照搬国外的方式，重视身体素质，而忽略了运动技巧及天赋等因素[57]。从脑功能的角度考虑，精英运动员的筛选与精神疾病的早期诊断有相似的需求，都需要考察认知能力的变化，只是增强与减弱的不同，因此运动员选材可以借鉴精神疾病早期诊断的成熟范式。如图 2 所示，运动员的训练评估与精神疾病的治疗评估是相似的，都可以从门控和注意的相互关系的角度进行考量。



**Figure 2.** The specificity and similarity of attention and gating functions in the early diagnosis of schizophrenia and the selection of elite athletes

**图 2.** 注意与门控功能在精神分裂症早期诊断及精英运动员选材中的特异性和相似性

如表 1 所示，PPI 及其注意调节的范式已经在精神疾病的早期诊断和早期干预中有了大量研究和应用，这些研究都在关注 PPI 及其注意调节的缺失，然而对于运动员群体，PPI 的注意调节范式的相关研究还缺乏报道。PPI 及其注意调节将为运动员的心理与认知能力的测量提供一套简便、快速、廉价、有效的工具。反射活动可以作为衡量运动员能力的标准之一，惊反射也是一种基本的强反射活动，而 PPI 及其注意调节将提供更多的信息，这些信息从低级的自发性运动到高级的认知调节都有体现，简单的测量却拥有多维度的输出指标。多维度的指标可以更有效的评估运动员的心理与认知能力，这是因为不同的运动项目对注意等高级认知活动有不同的要求。研究发现，现代五项运动员需要着重考察注意的稳定性和转移能力[59]，冰球运动员对注意的转移和分配要求更高[46]，乒乓球大学生的注意的广度和稳定性有所提升，活动靶射击运动员的注意广度高于正常大学生，而固定靶射击大学生的注意转移能力却比正常大学生有所下降[60]。因此，多维度的指标可以更有针对性的对运动员进行测量。

具体来说，对于运动员而言，注意对 PPI 的调节范式有四个考察层次。首先，最基本的惊反射幅值代表了运动员基本的反射能力，而反射活动本身就可以作为运动员能力的参考指标之一；其次，惊反射的前脉冲抑制(即 PPI)测量了感觉运动门控的能力，感觉运动门控是一种自发的排除无关干扰并保护当前正在执行的认知任务的能力；进一步的，注意对 PPI 的调节代表了运动员的高级认知活动能力，这种能力体现在运动员对目标的选择性注意对门控的增强效果；最后，不同的运动项目有不同的注意特点，而注意对 PPI 的调节的泛化作用正代表了一种注意的迁移效果。

**Table 1.** Research on PPI and its attentional modulation in different target populations**表 1.** PPI 及其注意调节在不同目标人群中的研究

研究人群	惊反射	PPI	注意增强
中长跑运动员[15]	减弱	增强	
反复头部撞击的大学生运动员[58]	减弱	减弱	
精神分裂症[8]		减弱	缺失
双向情感障碍[10]		存在性别差异	缺失
阿尔兹海默症[29]		减弱	
强迫症[24]		存在性别差异	
Tourette 综合征[24]		存在年龄差异	
恐慌症[53]		减弱	
自闭症[30]	减弱	存在年龄、性别等因素差异	

目前针对各项体育运动,在身体素质和运动技巧方面的训练已经有一定的系统性,然而对心理与认知能力的训练仍然在探索之中。运动天才是先天的遗传与后天的环境动态作用的结果,因此测量范式的建立和完善,明确测量的时间、内容和方式等,有助于精英运动员的识别和发展[61]。目前体育运动领域常用的认知能力的测量存在多种问题,例如需要被试操作、没有针对性、受状态影响、精度低等。而精神疾病早期诊断已经有很深入的研究来解决这些问题,以 PPI 的注意调节范式对精神分裂症的早期诊断为例,就有操作简便(无需被试主动操作),疾病特异性,受状态影响比较小,精度高等优势。具体来说,惊反射的测量是通过眼轮匝肌的肌电反应,而 PPI 则是前脉冲刺激的呈现对惊反射的抑制程度,包括其注意调节在内的全部测量都不需要被试进行任何操作,也无需指导语,直接读取指标即可。由于很多精神疾病都有门控的缺陷,但只有注意对门控调节的缺失才与精神分裂症的典型症状的严重程度相关,因此 PPI 的注意调节作为精神分裂症的早期诊断具有很好的特异性,相似的,精英运动员既需要很好的门控能力排除无关信息干扰,也需要很好的注意能力执行运动任务,由于注意本身也有多个维度,因此实际的测量将从更多的维度考虑运动员的认知能力,以适应不同种类的运动的认知能力特异性。

## 5.2. 明确不同运动项目对门控及其注意调节的影响有助于医体融合

人的运动能力与认知能力是密不可分的,一个优秀的运动员不仅要具有良好的身体素质,也要有优秀的认知功能。更重要的是,长期的运动训练不仅提高了训练者的肌肉密度等生理参数,强化和易化了大脑对肌肉的控制,还提高了大脑的唤醒水平以及多种认知功能,如执行功能、工作记忆、感觉敏感度等[62] [63]。运动对认知功能的影响可以从大脑发生的可塑性的改变来解释,并且不同的运动项目对中枢神经产生不同的影响。

近年来,随着生活压力的提高,精神疾病的患病人群正在逐年增加。不同的精神疾病涉及到中枢神经的不同变化,正是这些不同的变化导致了不同精神疾病在 PPI 及其注意调节能力方面有不同的特征,随着 PPI 及其注意调节的神经环路逐渐明确,其余各个精神疾病病因之间的关系也愈发明晰。从神经环路的角度来看,由于 PPI 的神经基础位于较低级的脑干,包括上丘、下丘、尾侧网状核、桥脑脚被盖核等多个低级脑区[38],因此多种精神疾病都有 PPI 的缺失。而 PPI 的注意调节随着注意形式的不同涉及不同的脑区,例如空间注意对 PPI 的增强涉及到后顶叶,负性情绪引起的注意对 PPI 的调节则涉及到杏仁核[36],因此注意对 PPI 的调节在不同精神疾病间有其特异性。也正是基于这种特异性,明确不同运动项



目对门控及其注意调节的特异性影响,有助于明确对特定精神疾病的预防和早期干预方法。

## 6. 结语

学科之间的交叉越来越普及,一个领域的问题往往可以通过另一个领域的方法来解决,其中体育运动领域关于脑与认知的研究可以从精神疾病的研究中借鉴成果和研究方法,对于不同项目运动员群体的研究也可以丰富精神疾病早期预防和干预的手段。大脑的一个重要功能就是排除无关信息干扰,而这种能力正是精英运动员所擅长的,也正是精神疾病患者所缺失的,作为这种能力的测量手段,惊反射的前脉冲抑制及其注意调节在多种精神疾病中都有广泛的应用,但仍缺乏精英运动员群体的研究和应用。未来会有更多优秀的研究从不同的领域吸收成熟的范式,来丰富体育运动领域的研究,为运动员的选材和训练指导提供更全面的评估手段和优化工具。

## 基金项目

《雪上专项特征研究与减阻技术训练和示范应用》,国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2020YFF0304605);清华大学“水木学者”项目(2020SM055)。

## 参考文献

- [1] 陈承宇, 吴嘉敏, 严进洪. 体育运动训练增强肌肉可塑性和大脑可塑性[J]. 生理科学进展, 2020, 51(4): 311-315.
- [2] 吴殿, 张剑, 曾雨雯, 等. 不同类型运动项目对运动员大脑结构可塑性变化研究[J]. 体育科学, 2015, 35(4): 52-57.
- [3] 唐宏, 赵娟. 体育运动中注意机制的研究综述[J]. 湘南学院学报, 2011, 32(2): 120-124.
- [4] 王斌. 射箭运动员注意力训练的必要性探究[J]. 当代体育科技, 2020, 10(5): 45-46.
- [5] 李文. 浅谈注意力集中水平在飞碟射击比赛中的影响[J]. 佳木斯教育学院学报, 2010(6): 306+308.
- [6] 周亚琴. 运动员的注意力及其训练[J]. 武汉体育学院学报, 2003, 37(6): 148-150.
- [7] 陈兴时, 王红星, 张明岛. 感觉运动门控理论和精神分裂症动物模型的研究进展[J]. 中华精神科杂志, 2006, 39(4): 247-249.
- [8] Yang, N.B., Tian, Q., Fan, Y., *et al.* (2017) Deficits of Perceived Spatial Separation Induced Prepulse Inhibition in Patients with Schizophrenia: Relationships to Symptoms and Neurocognition. *BMC Psychiatry*, **17**, Article No. 135. <https://doi.org/10.1186/s12888-017-1276-4>
- [9] Bo, Q.J., Mao, Z., Tian, Q., *et al.* (2021) Impaired Sensorimotor Gating Using the Acoustic Prepulse Inhibition Paradigm in Individuals at a Clinical High Risk for Psychosis. *Schizophrenia Bulletin*, **47**, 128-137. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbaa102>
- [10] Bo, Q.J., Mao, Z., Tian, Q., *et al.* (2018) Deficits of Perceived Spatial Separation-Induced Prepulse Inhibition in Patients with Bipolar Disorder Compared to Healthy Controls. *Journal of Affective Disorders*, **240**, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.07.050>
- [11] Landis, C. and Hunt, W.A. (1939) *The Startle Pattern*. Farrar and Rinehart, New York.
- [12] Kaltsatou, A., Kouidi, E., Fotiou, D., *et al.* (2011) The Use of Pupillometry in the Assessment of Cardiac Autonomic Function in Elite Different Type Trained Athletes. *European Journal of Applied Physiology*, **111**, 2079-2087. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0>
- [13] Judge, L.W. and Burke, J.R. (2015) Comparison of Stretch Reflex Responses Evoked during Drop Jumping in Highly Skilled Athletes versus Untrained Subjects. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, **55**, 587-595.
- [14] Hormigo, S., Cardoso, A., Sancho, C., *et al.* (2019) Associations between Sensorimotor Gating Mechanisms and Athletic Performance in a Variety of Physical Conditioning Tests. *European Journal of Applied Physiology*, **119**, 921-932. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04081-1>
- [15] Hormigo, S. and Moreno, C. (2019) Can Startle Response Magnitudes Be Used as a Tool to Predict Sportive Capacities? A Comparative Study between Healthy Young Adults and Athletes. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, **8**, 14-28. <https://doi.org/10.26524/ijpefs1923>
- [16] Gomez-Nieto, R., Hormigo, S. and Lopez, D.E. (2020) Prepulse Inhibition of the Auditory Startle Reflex Assessment

- as a Hallmark of Brainstem Sensorimotor Gating Mechanisms. *Brain Sciences*, **10**, Article No. 639. <https://doi.org/10.3390/brainsci10090639>
- [17] Foss, J.A., Ison, J.R., Torre, J.P., *et al.* (1989) The Acoustic Startle Response and Disruption of Aiming: II. Modulation by Forewarning and Preliminary Stimuli. *Human Factors*, **31**, 319-333. <https://doi.org/10.1177/001872088903100306>
- [18] Hoffman, H.S. and Overman, W. (1971) Performance Disruption by Startle-Eliciting Acoustic Stimuli. *Psychonomic Science*, **24**, 233-235. <https://doi.org/10.3758/BF03331807>
- [19] Javitt, D.C. (2009) Sensory Processing in Schizophrenia: Neither Simple Nor Intact. *Schizophrenia Bulletin*, **35**, 1059-1064. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbp110>
- [20] Swerdlow, N.R., Weber, M., Qu, Y., *et al.* (2008) Realistic Expectations of Prepulse Inhibition in Translational Models for Schizophrenia Research. *Psychopharmacology*, **199**, 331-388. <https://doi.org/10.1007/s00213-008-1072-4>
- [21] Cuthbert, B.N. and Insel, T.R. (2013) Toward the Future of Psychiatric Diagnosis: The Seven Pillars of RDoC. *BMC Medicine*, **11**, Article No. 126. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-126>
- [22] Fendt, M. and Koch, M. (2013) Translational Value of Startle Modulations. *Cell and Tissue Research*, **354**, 287-295. <https://doi.org/10.1007/s00441-013-1599-5>
- [23] Hyman, S.E. (2012) Revolution Stalled. *Science Translational Medicine*, **4**, Article ID: 155cm11. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3003142>
- [24] 雷铭, 田晴, 王传跃, 等. 精神疾病前脉冲抑制研究[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2017, 26(2): 188-192.
- [25] Blumenthal, T.D., Reynolds, J.Z. and Spence, T.E. (2015) Support for the Interruption and Protection Hypotheses of Prepulse Inhibition of Startle: Evidence from a Modified Attention Network Test. *Psychophysiology*, **52**, 397-406. <https://doi.org/10.1111/psyp.12334>
- [26] Braff, D.L. and Geyer, M.A. (1990) Sensorimotor Gating and Schizophrenia Human and Animal Model Studies. *Archives of General Psychiatry*, **47**, 181-188. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1990.01810140081011>
- [27] Braff, D.L., Geyer, M.A. and Swerdlow, N.R. (2001) Human Studies of Prepulse Inhibition of Startle: Normal Subjects, Patient Groups, and Pharmacological Studies. *Psychopharmacology*, **156**, 234-258. <https://doi.org/10.1007/s002130100810>
- [28] Kohl, S., Heekeren, K., Klosterkötter, J., *et al.* (2013) Prepulse Inhibition in Psychiatric Disorders—Apart from Schizophrenia. *Journal of Psychiatric Research*, **47**, 445-452. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2012.11.018>
- [29] Jafari, Z., Kolb, B.E. and Mohajerani, M.H. (2020) Prepulse Inhibition of the Acoustic Startle Reflex and P50 Gating in Aging and Alzheimer's Disease. *Ageing Research Reviews*, **59**, Article ID: 101028. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101028>
- [30] 吴哲萌, 雷铭, 吴玺宏, 等. 前脉冲抑制在自闭症研究中的进展和展望[J]. 生理学报, 2014, 66(6): 730-738.
- [31] Vrana, S.R., Calhoun, P.S., Dennis, M.F., *et al.* (2015) Acoustic Startle and Prepulse Inhibition Predict Smoking Lapse in Posttraumatic Stress Disorder. *Journal of Psychopharmacology*, **29**, 1070-1076. <https://doi.org/10.1177/0269881115598319>
- [32] Li, L. and Frost, B.J. (2000) Azimuthal Directional Sensitivity of Prepulse Inhibition of the Pinna Startle Reflex in Decerebrate Rats. *Brain Research Bulletin*, **51**, 95-100. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(99\)00215-4](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(99)00215-4)
- [33] Li, L., Du, Y., Li, N., *et al.* (2009) Top-Down Modulation of Prepulse Inhibition of the Startle Reflex in Humans and Rats. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **33**, 1157-1167. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.02.001>
- [34] 曹晓培, 李秀梅. 高度地集中注意力是获得 100 米快速跑的主要因素[J]. 中国学校体育, 2000(4): 35.
- [35] 雷铭, 李朋波. 不同注意形式调节听感觉门控的神经机制[J]. 心理科学进展, 2020, 28(8): 1232-1245.
- [36] 杜忆, 李量. 对听感觉运动门控自上而下调节的动物模型和神经机制[J]. 心理科学进展, 2011, 19(7): 944-958.
- [37] Wu, C., Ding, Y., Chen, B., *et al.* (2019) Both Val158Met Polymorphism of Catechol-O-Methyltransferase Gene and Menstrual Cycle Affect Prepulse Inhibition but Not Attentional Modulation of Prepulse Inhibition in Younger-Adult Females. *Neuroscience*, **404**, 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.02.001>
- [38] Ding, Y., Xu, N., Gao, Y., *et al.* (2019) The Role of the Deeper Layers of the Superior Colliculus in Attentional Modulations of Prepulse Inhibition. *Behavioural Brain Research*, **364**, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.01.052>
- [39] Meng, Q.X., Ding, Y., Chen, L.J., *et al.* (2020) The Medial Agranular Cortex Mediates Attentional Enhancement of Prepulse Inhibition of the Startle Reflex. *Behavioural Brain Research*, **383**, Article ID: 112511. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112511>
- [40] Lei, M., Luo, L., Qu, T.S., *et al.* (2014) Perceived Location Specificity in Perceptual Separation-Induced but Not Fear Conditioning-Induced Enhancement of Prepulse Inhibition in Rats. *Behavioural Brain Research*, **269**, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.04.030>

- [41] Ding, Y., Chen, L.J., Meng, Q.X., *et al.* (2020) Spatial Specificity in Attentional Modulation of Prepulse Inhibition of the Startle Reflex in Rats. *Experimental Brain Research*, **238**, 1555-1561. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05818-7>
- [42] Dawson, M.E., Hazlett, E.A., Fillion, D.L., *et al.* (1993) Attention and Schizophrenia: Impaired Modulation of the Startle Reflex. *Journal of Abnormal Psychology*, **102**, 633-641. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.102.4.633>
- [43] Hazlett, E.A., Levine, J., Buchsbaum, M.S., *et al.* (2003) Deficient Attentional Modulation of the Startle Response in Patients with Schizotypal Personality Disorder. *American Journal of Psychiatry*, **160**, 1621-1626.
- [44] Hazlett, E.A., Romero, M.J., Haznedar, M.M., *et al.* (2007) Deficient Attentional Modulation of Startle Eyeblink Is Associated with Symptom Severity in the Schizophrenia Spectrum. *Schizophrenia Research*, **93**, 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2007.03.012>
- [45] Scholes, K.E. and Martin-Iverson, M.T. (2010) Disturbed Prepulse Inhibition in Patients with Schizophrenia Is Consequential to Dysfunction of Selective Attention. *Psychophysiology*, **47**, 223-235. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00927.x>
- [46] 于天舒, 黄玺章, 甄立军. 冰球运动员注意力及其训练[J]. 冰雪运动, 2008, 30(3): 67-69+76.
- [47] Wu, Z., Ding, Y., Jia, H.X., *et al.* (2016) Different Effects of Isolation-Rearing and Neonatal MK-801 Treatment on Attentional Modulations of Prepulse Inhibition of Startle in Rats. *Psychopharmacology*, **233**, 3089-3102. <https://doi.org/10.1007/s00213-016-4351-5>
- [48] Cisler, J.M., Bacon, A.K. and Williams, N.L. (2009) Phenomenological Characteristics of Attentional Biases towards Threat: A Critical Review. *Cognitive Therapy and Research*, **33**, 221-334. <https://doi.org/10.1007/s10608-007-9161-y>
- [49] Cisler, J.M. and Koster, E.H.W. (2010) Mechanisms of Attentional Biases towards Threat in Anxiety Disorders: An Integrative Review. *Clinical Psychology Review*, **30**, 203-216. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.003>
- [50] Goodwin, H., Yiend, J. and Hirsch, C.R. (2017) Generalized Anxiety Disorder, Worry and Attention to Threat: A Systematic Review. *Clinical Psychology Review*, **54**, 107-122. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.03.006>
- [51] Park, D., Lee, H.J. and Lee, S.H. (2018) Generalization of Conscious Fear Is Positively Correlated with Anxiety, but Not with Depression. *Experimental Neurobiology*, **27**, 34-44. <https://doi.org/10.5607/en.2018.27.1.34>
- [52] Tinoco-González, D., Fullana, M.A., Torrents-Rodas, D., *et al.* (2015) Conditioned Fear Acquisition and Generalization in Generalized Anxiety Disorder. *Behavior Therapy*, **46**, 627-639. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2014.12.004>
- [53] Ludewig, S., Ludewig, K., Geyer, M.A., *et al.* (2002) Prepulse Inhibition Deficits in Patients with Panic Disorder. *Depression and Anxiety*, **15**, 55-60. <https://doi.org/10.1002/da.10026>
- [54] Cheng, C.H., Chan, P.Y.S., Hsu, S.C., *et al.* (2019) Abnormal Frontal Generator during Auditory Sensory Gating in Panic Disorder: An MEG Study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, **288**, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.pscychresns.2019.04.006>
- [55] 杨芳. 蹦床运动员注意特征研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2004.
- [56] 李玉君. 谈篮球专业运动员与其它专业运动员注意品质的差异[J]. 哈尔滨体育学院学报, 2007, 25(3): 143-145.
- [57] 周蕾. 青少年足球运动员选材研究热点及其启示[J]. 祖国, 2019(11): 71-72.
- [58] Sivakumar, A. (2020) Interactions between Stroop Test Performance and Startle Reactivity in College Students and Student-Athletes. Wake Forest University, Winston-Salem.
- [59] 龚肖奕, 陈梦竹. 现代五项运动员的注意特征研究[J]. 新西部, 2020(6): 165+19.
- [60] 李永瑞, 梁承谋, 张厚粲. 不同运动项目高水平运动员注意能力特征研究[J]. 体育科学, 2005, 25(3): 19-21.
- [61] 梁斌, 赵刚. 足球天才识别与发展理论模型与应用体系研究[J]. 体育科学, 2018, 38(12): 81-90.
- [62] 娄莹, 周成林, 陆颖之. 不同体力活动水平大学生的生物运动工作记忆加工特征研究[J]. 首都体育学院学报, 2019, 31(4): 364-369+384.
- [63] 张斌, 刘莹. 急性有氧运动对认知表现的影响[J]. 心理科学进展, 2019, 27(6): 1058-1071.