

对射击项目认知能力研究的回顾与前瞻

丁宇^{1*}, 赵涛¹, 张可盈¹, 郑满¹, 刘钰², 曹春梅^{1#}

¹清华大学体育部, 北京

²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12日; 录用日期: 2021年12月16日; 发布日期: 2021年12月22日

摘要

认知能力是指人脑接受信息、加工处理、进而支配行为的能力, 从狩猎行为发展而来的射击项目与认知能力密不可分。本文综述了射击的认知能力国内外相关研究, 从外部因素看, 执行功能、注意、门控等认知能力可以排除观众和环境等无关信息的干扰, 从内部因素看, 认知能力有助于赛前和赛中的情绪调控。认知能力对射击过程的影响有其神经基础, 在射击准备阶段和静息态中, 专业射击员与射击新手的EEG特征均有不同, 中枢神经的差异可以用来预测运动员的射击水平。认知能力可以被非侵入性脑刺激如经颅直流电刺激所干预, 这种干预可以提高有经验或无经验的射击运动员的射击成绩, 这种成绩的提高可能与各频段的脑电变化有关。目前针对射击的认知能力已经有一定的研究基础以及在选材、训练指导方面的应用, 然而射击的核心认知能力仍缺乏系统性的研究。

关键词

认知能力, 注意, 执行功能, 射击, 脑电, 经颅直流电刺激

Review and Prospect of Research on Cognitive Ability of Shooting Events

Yu Ding^{1*}, Tao Zhao¹, Keying Zhang¹, Man Zheng¹, Yu Liu², Chunmei Cao^{1#}

¹Department of Physical Education, Tsinghua University, Beijing

²College of National Culture and Cognitive Science, Guizhou Minzu University, Guiyang Guizhou

Received: Nov. 12th, 2021; accepted: Dec. 16th, 2021; published: Dec. 22nd, 2021

Abstract

Cognitive ability refers to the ability of human brain to receive information, process and then do-

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 丁宇, 赵涛, 张可盈, 郑满, 刘钰, 曹春梅. 对射击项目认知能力研究的回顾与前瞻[J]. 体育科学进展, 2021, 9(4): 521-532. DOI: 10.12677/aps.2021.94077

minate behavior. Shooting events developed from hunting behavior are inseparable from cognitive ability. This paper summarizes the relevant research on shooting cognitive ability at home and abroad. From the perspective of external factors, cognitive abilities such as executive function, attention and gating can eliminate the interference of irrelevant information such as audience and environment. From the perspective of internal factors, cognitive ability is conducive to emotional regulation before and during the game. The influence of cognitive ability on the shooting process has its neural basis. In the shooting preparation stage and resting state, the EEG characteristics of professional shooters and novices are different. The difference of central nerve can be used to predict the shooting level of athletes. Cognitive ability can be interfered by non-invasive brain stimulation, such as transcranial direct current stimulation. This intervention can improve the shooting performance of experienced or inexperienced shooters, which may be related to the changes of EEG in each frequency band. At present, there has been a certain research basis for the cognitive ability of shooting and its application in material selection and training guidance. However, the core cognitive ability of shooting is still lack of systematic research.

Keywords

Cognitive Function, Attention, Executive Function, Shooting, EEG, tDCS

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

认知(cognition)是指获得和应用知识的过程,由于认知科学涉及到心理学、神经科学、人工智能、语言学和哲学等不同领域的专家,因此在不同的研究中对认知过程和认知能力有不同的定义,目前相对公认的定义为认知是信息加工的过程,这个过程可以延展到从大脑接收到外界的信息,加工处理,转换成心理活动,进而支配行为的完整过程。感觉、知觉、记忆、思维、想象和语言等都属于认知功能,另外在大量研究中,注意能力作为有限认知资源的分配能力也属于认知能力,而执行功能作为支配行为的能力也被归为认知能力。

射击项目起源于狩猎活动,而狩猎活动依赖于对猎物 and 枪械(或弓箭)的感觉信息处理和知觉加工,进而依赖本体感觉和精细动作控制引发扣动扳机等发射动作从而完成射击活动[1]。由于狩猎活动与生存息息相关,而人类区别于其他动物的特点之一是可以熟练的使用工具,因此与其说射击项目与认知能力有关,更有可能是人脑在进化过程中适应了射击过程所需要的能力,这种能力通常是自动化的,无意识的,因此很多射击精英运动员都表示射击不是依赖于视觉,而是基本“凭感觉”,那么这种主观上的“凭感觉”究竟是何种认知能力?这种能力是否可以被研究、量化以及测量?对射击项目认知能力方面的研究不仅有助于精英射击运动员的选材、训练指导、赛前状态监测预警等,也有助于丰富对脑基本功能的理解。

2. 射击的认知能力研究回顾

2.1. 射击的认知能力行为学表现

注意(attention)是认知过程的一部分,并且逐渐被国内外的教练和运动员重视起来。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,由于训练内容的差异,不同项目的运动员

有不同的注意特点,而不同运动项目对注意能力的特征需求也不同[2]。更重要的是,即使同样是射击类的项目,不同项目之间的注意能力的特征也有不同。例如在—项大学生的研究中,活动靶射击运动员的注意广度比正常大学生更高,而固定靶射击大学生的注意转移能力却显著低于正常大学生[3],这可能是由于训练模式的不同,也可能是由于选材时原本的认知能力差异。

注意的作用是选择重要信息进行深度加工,而这依赖于脑干的门控功能排除无关信息的干扰,注意和门控的能力决定了运动员的赛场发挥。在射击类项目中,无关信息的干扰包括外部干扰和内部干扰两方面,其中内部干扰是指运动员自身产生的干扰,而外部干扰包括观众、裁判、竞争对手、以及赛场环境的干扰等[4]。研究发现,观众的干扰对射击手的影响依据射击的经验而不同,非专业的射击手在有观众的情况下射击的准确度会下降,专业射击手在有观众的情况下射击的准确度反而有提高[5]。这说明,排除无关信息干扰的能力也是射击运动员选材的重要能力。Foss 等人在早期的一项实验中发现,瞄准任务会被一个突然的惊刺激引发的惊反射所干扰,而在惊刺激之前先呈现一个弱的前脉冲刺激则会保护瞄准的认知任务并抑制这种干扰效果[6],这就是惊反射的前脉冲抑制(prepulse inhibition, PPI)。PPI 反应的是大脑排除无关信息干扰的门控作用,这种门控作用可以被注意进一步增强,因此 PPI 及其注意调节范式[7]可以作为预测运动员排除无关信息干扰能力的指标。

运动员的内部干扰主要来自于身体的疲惫状态等生理因素,以及不稳定的情绪、自信心缺乏等心理因素。对于提高射击运动员心理调控能力方面已经有大量的研究。其中,李京诚等人运用生理相干和自主平衡系统(Self-Generate Physiological Coherence System, SPCS)结合生物反馈的心理技能训练,提高了射击运动员心理训练的积极性和应用效果[8],并对中国奥运射击冠军进行了比赛心理定向的研究,发现我国奥运射击冠军的心理定向焦点是关注自我、把握过程、打好每一发,对心理定向偏差的觉察和调控,是其正常发挥技术水平的心理基础[9]。赛前的心理状态分为应战准备状态、赛前兴奋状态、赛前紧张状态以及盲目自信状态,关建军以中国射击运动员为研究对象,提出前期准备工作的完善、适当的回避赛前信息、将心理训练与技术训练结合等方法营造良好心理状态的关键[10]。进一步的,李玉伟等人提出合理采用腹式呼吸法、心理暗示法以及意念控制法进行心理调节[11]。另外,学会自我反思、提高抗压能力、强化心理素质并加强对心理训练的重视是提升飞碟射击运动员比赛心理调控能力的有效途径[12]。最新的研究发现,高度的集中注意可以缓解运动员的心理压力[13],因此认知能力对排除运动员的内部干扰也至关重要。

在认知能力中,完成目标导向行为的能力被称为执行功能(Executive Function),—般认为包括抑制控制、任务转换功能、工作记忆的刷新功能和工作记忆容量等功能成分,通常分别通过 Stroop 任务或 Flanker 任务,More_oddshifting (大小-奇偶转换)任务,N-back 任务和中性词汇记忆等任务进行测量[14] [15]。通常的研究认为,执行功能主要与较为激烈的运动有关,而静态的运动则表现出相对较差的执行功能[16],射击正是一项以静力性为主的运动。然而近期的研究发现在简单任务 300 到 400 毫秒的刺激间隔(Inter-Stimulus Interval, ISI)条件下,射击专家组的 Flanker 任务成绩要好于射击新手组,对于复杂任务 300 到 400 毫秒的刺激间隔射击组要好于对照组[17]。另一项近期的研究也显示虽然 N-back 任务与射击表现无关,但 Stroop 任务成绩可以预测射击表现[18]。—般认为,Stroop 任务和 Flanker 任务属于基于刺激的冲突驱动的认知控制任务[19],综上所述,执行功能中的基于刺激的抑制控制成分与射击的关系最为密切,而这与早期的射击研究相吻合。例如,研究者结合自身的射击经验,认为射击专项的知觉能力是本体感觉而不是视觉,对视觉的过度依赖会干扰本体感觉进而影响射击成绩[20],而执行功能中的抑制控制就可能在这个阶段发挥作用,即执行功能与射击的关系可以从排除无关干扰的角度来解释。

综上所述,注意和门控能力共同作用可以排除观众、裁判、竞争对手、赛场环境等外部干扰,也可以排除疲惫状态、情绪异常、信息缺乏等内部干扰。执行功能中与射击相关的部分是抑制控制,而抑制

控制与射击的关系也可以从排除无关干扰来解释。如图 1 所示, 目前与射击有关的认知能力行为学表现主要从排除内、外部干扰的角度影响运动员的射击表现, 从而发挥运动员的最大水平。

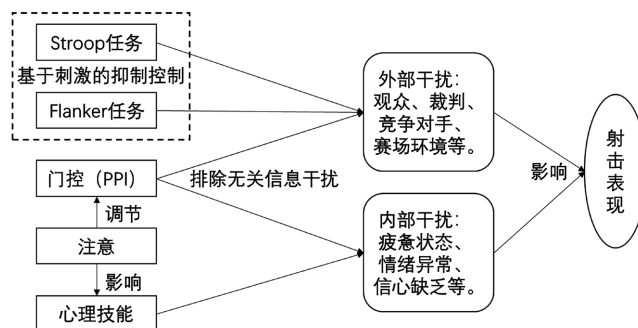


Figure 1. The relationship between cognitive ability and shooting performance

图 1. 认知能力与射击表现的关系

2.2. 射击认知能力的神经生理基础

近年来, 对脑功能的观察手段主要有脑电(Electro Encephalo Graphy, EEG)、功能性磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)、脑磁图(magnetoencephalogram, MEG)等。这些观察手段有利于探索脑中认知能力对射击影响的神经生理学基础。其中, fMRI 虽然在空间分辨率上超过脑电, 但其低时间分辨率、通过血氧间接测量脑活动等固有缺陷仍然不能满足所有实验的需求, EEG 相比 fMRI 能够更加客观地对运动员进行头皮电位的直接测量, 更重要的是, EEG 可以在运动员射击过程中佩戴并采集数据, 而 fMRI 和 MEG 则必须要在固定的仪器中进行测试, 因此目前与射击相关的脑功能研究主要以 EEG 为主。在临床以及脑科学研究中, 脑电按频率可以划分为以下几种: delta 节律(0.5~3.5 Hz)、theta 节律(4~7 Hz)、alpha 节律(8~13 Hz)、beta 节律(14~25 Hz)和 gamma 节律(25 Hz 以上) [21]。其中 alpha 节律一般与放松和静息态相关, beta 节律与精神专注和活跃思考相关, 而 theta 节律和早期睡眠相关, gamma 节律和神经系统的很多功能, 如感觉和知觉、运动、注意和记忆等都相关[22] [23]。目前射击相关的脑电研究主要分为两种, 其一是在准备射击阶段进行数据的采集, 这与射击瞄准过程的心理状态有关; 另一种则是通过采集运动员的静息态脑电, 获得射击运动员的中枢神经功能等特点。

在准备射击阶段, 通过比较专业射击员与射击新手的脑电可以获得不同的特征。例如, 新手在准备射击阶段, 倾向于一直调用右脑及顶叶的大块脑区来处理视觉和身体感知信息, 而专业射击员则在实现任务自动化后抑制了认知分析的参与, 实现了更高的效率[24]。专业射击员的 alpha 节律和 beta 节律在枕骨和顶叶区域的活动在瞄准阶段有所增强, theta 节律在额叶的活动也有所增加[25]。另外有研究发现, 虽然专业射击员左脑的 alpha 节律和 beta 节律增强, 但是右脑的 alpha 节律和 beta 节律有所降低, 射击新手左右脑节律的不对称性则要小很多[26]。相比射击新手而言, 专业射击员的高、低 alpha 节律均有着更低的事件相关去同步(Event-Related Desynchronization, ERD), 其左脑中央区 - 额叶 - 顶叶区有着更少的皮质激活, 反映出更高的神经效率[27] [28] [29] [30]。专业射击员左脑的额叶和枕叶的 alpha 节律活动显著增加, 而右脑相应脑区的活动则保持相对恒定[31] [32], 皮质网络间交流更少, 特别是在左脑额叶区域和运动控制区域之间, 其在低 alpha 节律和低 beta 节律上的左脑额叶(T3)和中线额叶(Fz)之间的相干性(Coherence)更低, 在高 alpha 节律上的左脑和中线额叶之间的相干性更低, 在低 beta 节律上则是左脑额叶和中线区域之间的相干性更低[33]。专业射击员在额叶中线的 theta 节律也有一个平稳的升高, 其前扣带回和内侧额叶皮层的 theta 节律活动显著高于新手[34], 原因可能是中央额叶的 theta 节律和思维活动相

关[35]。也有研究表明专业射击员在 alpha 节律和低 beta 节律上有着更多的功能连接，P3-C3 连接强度在准备射击阶段平稳升高[36]。低 beta 节律受不同心理活动的影响而改变，既参与了脑的智力活动，在保持警觉状态中也扮演了重要的作用[37] [38]。新手在准备射击时压力和焦虑水平更高，有着更多的内部注意力，而专业射击员有更好的可控感[39]。尽管新手对目标的注意力保持相对恒定的水平，但专业射击员倾向于把注意力更专注于触发扳机的时刻[34]。

在静息状态下，专业射击员相比新手也有不同。例如在左脑颞叶区、左脑后颞叶区、左脑额叶区，左脑中央区，右脑顶叶区，专业射击员有着更强的功能连接，而且在 theta 节律和低 alpha 节律中有着更高的网络聚类系数和小世界特征[40]。有研究探讨了静息态下脑电节律和射击准确度的关系，全脑高 beta 节律的强度越低，额叶和顶叶、额叶和枕叶之间的连接强度越低，大脑网络的重构能力越强，射击反应时越短，射击准确度越高[41]。这种从新手到专业射击员的训练不仅改变了脑的功能，还可能改变了脑的结构。另外，也有大量的研究借助 FPS 射击类游戏来研究脑功能的变化，FPS 射击训练能够提高认知能力，显著提升静息态下的左丘脑和左海马旁回之间的功能连接[42]，并增加双侧海马旁皮质(PHC)、躯体感觉皮质(S1)、顶叶(SPL)和右侧脑岛的厚度[43]。综上所述，如图 2 所示，专业射击员与射击新手的认知神经基础在射击准备阶段和精细状态下均有区别，而这种区别通常被解释为注意、神经效率的提高、偏侧性的产生等等。可见，目前无论是行为学的研究还是脑功能的研究均无法解释射击运动员的“凭感觉”究竟是何种认知成分。

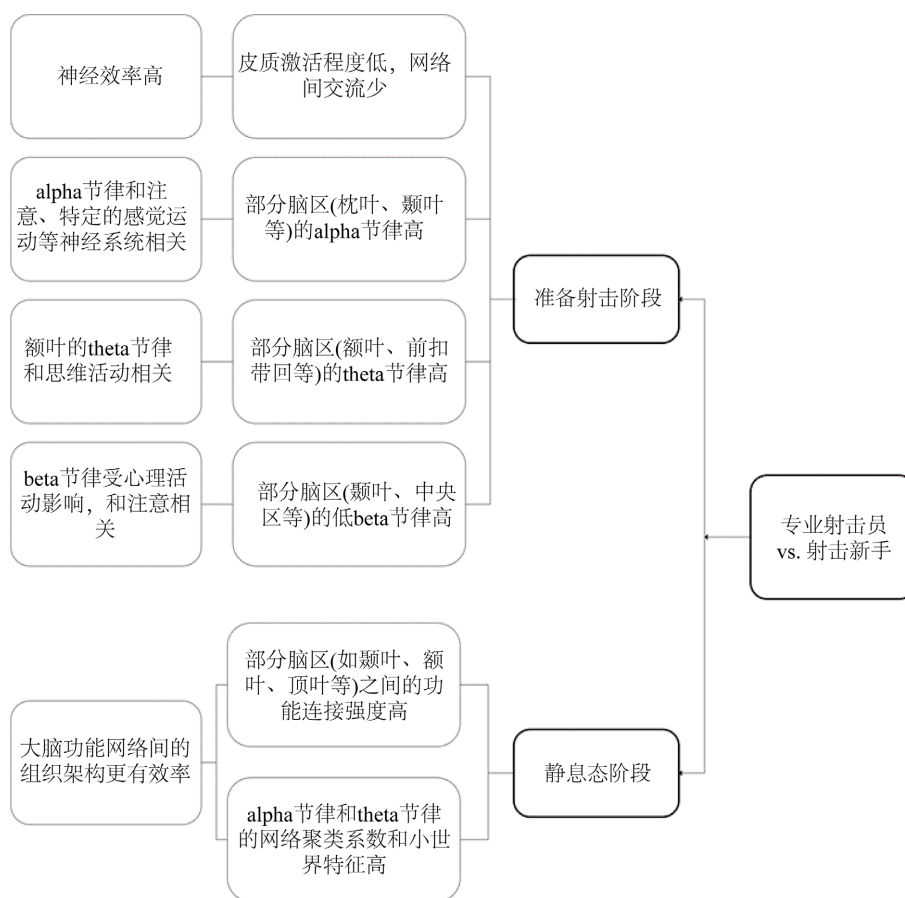


Figure 2. The central nervous system difference between professional shooters and novice shooters in the preparation phase and the resting phase

图 2. 专业射击员与射击新手在准备射击阶段与静息态阶段的中枢神经差异

3. 认知能力研究对射击的应用前瞻

3.1. 射击能力的预测

在体育竞技中,无论是国内还是国外,运动员的身体素质和技术之间的差异越来越小,心理状态与认知能力逐渐成为赛场上决定胜负的关键。有研究认为,在奥林匹克决赛阶段,影响运动员成绩的并非身体或技术上的差异,而是来自心理与认知能力的差异[44]。射击作为一项技能主导项目,对心理状态和认知能力有更高的要求,而心理状态又受到认知能力的调节。因此,对射击项目的认知能力的研究对射击运动员的选材、日常训练的指导与评估,以及赛场上的发挥都可以起到有利的影响。

脑电节律可以用于预测射击的准确度,如图3所示。和射击任务相关的脑皮层唤醒的全局同步有利于提高射击表现[45],对专业射击员,枕叶的alpha节律强度提高,左脑前颞叶的alpha节律强度高于右脑也有利于取得更好的射击成绩[46]。更具体的,专业射击员的左脑alpha节律强度和准确度成正相关,而右脑的alpha节律强度和准确度成负相关;而对新手来说,右脑颞叶的alpha节律强度和准确度成正相关,右脑激活程度越低,射击成绩越好[5]。原因可能是低alpha节律和全局注意准备有关,高alpha节律则和特定的感觉运动与语义信息加工的神经系统相关[47][48][49]。这表明alpha节律既支持了全局注意,也在特定的任务处理过程中发挥重要作用[28]。对专业射击员来说,射击表现和局部脑网路的一致性以及网络路径长度具有很强的正相关[50][51]。低beta节律和高beta节律的功能耦合越低,全局信息整合效率越高,局部信息整合效率越低,则射击员的射击表现越好[52]。也有研究表明对射击新手,beta节律和低gamma节律的强度和射击准确度成正相关[53]。注意可以增强刺激诱发的梭状回的gamma活动,并抑制外侧枕叶的gamma活动[23],alpha节律和beta节律指数也能用来反映运动员的注意力集中程度[38]。在虚拟现实(Virtual Reality, VR)环境下进行射击实验的研究发现,alpha节律的强度越低,被试抑制外界干扰的能力越强,进而射击任务的成绩越好[54]。

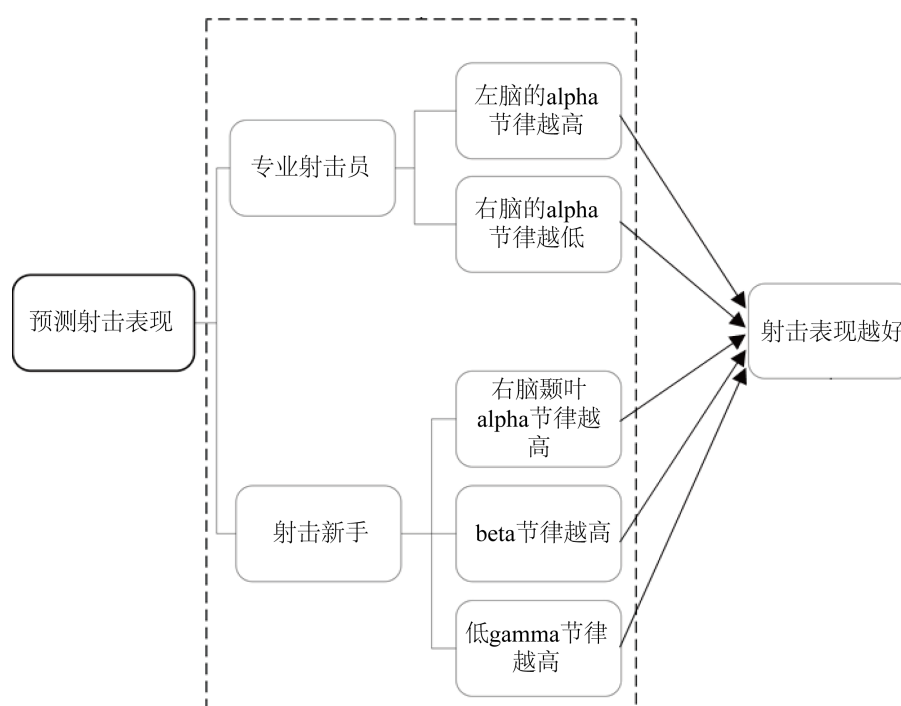


Figure 3. Predicting shooting performance based on central nervous system EEG rhythm

图3. 基于中枢神经的脑电节律预测射击表现

3.2. 射击的中枢神经干预促进

如前所述, 射击项目的赛场发挥与认知能力的行为学表现和中枢神经表达均关系密切, 一方面, 认知能力中的注意、门控、执行功能等可以排除无关信息的干扰, 保护正在进行的射击认知任务, 另一方面, 认知能力也可以有助于调节赛前的紧张心理。由于认知能力具有其神经基础, 因此认知能力是可以被无创干预的, 近年来已经发展出许多无创的脑功能干预手段, 例如经颅直流电刺激、经颅交流电刺激、经颅磁刺激等[55]。其中, 经颅直流电刺激(transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)是一种无创性的脑刺激技术, 通常有两个位于头部的电极, 给予连续的低强度电流, 部分电流通过皮肤、头骨和脑脊液到达大脑, 注入的电流本身不会产生动作电位, 而是调节持续的大脑活动并影响突触传递, 从而达到调节大脑皮质兴奋性的目的[56]。作为一种非侵入性物理干预方法, 已有大量的临床试验证明 tDCS 是很安全的。tDCS 迄今除了偶有的轻微不良反应以外(tDCS 不良反应主要为轻微的痒感和麻感[56], 但存留时间较短, 对绝大多数受试者而言都是在可耐受范围的), 没有造成过重大不利影响, 目前也尚没有 tDCS 诱发癫痫发作的报道。

如图 4 所示, tDCS 可以提高专业射击运动员和射击新手的射击表现。对于专业射击运动员, 研究表明, 通过对小脑和背外侧前额叶(dorsolateral Prefrontal Cortex, dlPFC)分别进行阳极和阴极的电刺激, 可以进一步提高有射击经验的射击员的成绩[57]。该研究中, 有经验的射击者在 tDCS 干预后, 实验组比假刺激组(没有真实的电流刺激, 其他条件与实验组一致)手枪射击的平均射击得分提高了 $2.3\% \pm 0.65$ (Mean \pm SEM, $p = 0.018$)。这种干预的影响是有神经生物学上的理论依据的, 小脑在运动协调和平衡中起着关键作用, 这是射击时的核心功能[58], 对小脑的干预可能减少了手部的震颤, 进而提高了射击的成绩[59] [60], 已有研究报道, 以 tDCS 的阳极刺激小脑可以增强内隐学习的效果, 这对运动技能的学习至关重要[61] [62]。另外也有研究表明, 在 dlPFC 上的阴极 tDCS 可以提高运动控制能力, 增加高尔夫推杆任务的得分[63], 这可能也与减少手部的震颤有关。

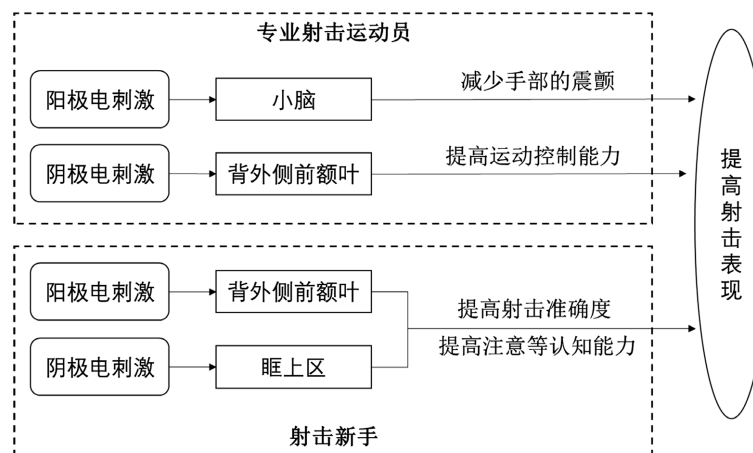


Figure 4. Transcranial direct current stimulation improves the shooting performance of professional shooting athletes and shooting novices

图 4. 经颅直流电刺激提高专业射击运动员和射击新手的射击表现

对于射击新手, tDCS 同样可以增强射击水平。对于专业射击手来说, 长期的射击任务的执行以及射击动作的训练使其认知和运动控制能力得到增强, 同样的, 通过多种干预手段提高认知能力也可以提高射击手的射击水平[64]。有研究首先在专业射击手的脑影像中发现右侧 dlPFC 是该人群活性最高的区域,

随后以右侧 dIPFC 作为阳极, 眶上区作为阴极, 对射击新手进行干预, 结果表明阳极干预右侧 dIPFC 可以提高射击新手的射击准确度, 研究者同时对射击新手的 EEG 进行了记录, 发现 beta 和低 gamma 节律的脑电也被 tDCS 的干预所增强[53], beta 和低 gamma 节律的脑电均与注意等认知能力有关, 对 dIPFC 的 tDCS 干预可能增强了射击新手认知能力, 进而更好的排除无关信息的干扰, 这也许是射击新手的射击准确度提高的原因。技术类型的运动项目如射击类项目涉及多种认知能力, 这需要多脑区的共同协调, 因此未来的研究可以扩充刺激的位点, 或使用 tACS 等包含频率信息的其他刺激方法, 无创脑刺激技术用于射击运动训练的机理研究仍有很大的发展空间。

4. 关于射击关键认知能力的猜想

在运动员的长期训练中, 运动技能的学习同样也伴随着认知能力的提高, 其中射击类项目对注意等认知能力有很高的要求, 因此在运动员的选材、训练效果的评估、赛场的发挥等方面都应该考虑认知能力的影响。在射击运动员认知能力的神经机理方面, 目前已经有基于头皮脑电的研究成果, EEG 在时间分辨率上有优势, 但在空间分辨率上有不足, 因此仍缺乏其他技术的研究补充, 未来将会有更多的基于功能性核磁共振(fMRI)、脑磁图(MEG)等新技术手段的相关研究。近年来, 无创脑刺激技术对运动员的干预研究逐渐成为热点, tDCS、tACS 等干预手段可以通过改善脑的认知能力进而提高运动员的表现, 目前的研究多是对单一脑区进行急性干预的机理研究, 可以预见, 未来对于无创脑刺激技术的应用将逐渐向多脑区及慢性干预发展, 机理研究将逐渐发展为应用型研究。

然而, 无论是认知行为学研究还是反应中枢神经基础的脑电研究最终都落到排除无关信息干扰的注意能力等方面, 这些能力主要为保证射击运动员有一个好的射击状态, 因此很多人认为好的心态是提高射击成绩的关键。然而状态与射击所需要的核心认知能力是完全不同的概念, 目前射击精英的产生多依赖于天赋和自我的“悟性”, 这是因为提高射击水平所需要的核心认知能力尚不清楚, 因而无法描述和针对性的训练, 以至于很多射击精英产生了“凭感觉”的主观感受。那么射击所需要的核心认知能力有哪些可能呢? 目前的一个猜想是对时间和节奏的知觉能力[65]。射击表面上是一项视觉认知任务, 但是由于靶的相对面积较小, 真正影响射击位点的反而是身体的抖动, 微小的颤动就可能导致射击成绩有明显的变化[66]。减少射击颤动有多个方面, 例如提高上肢的稳定性, 这种稳定性的提高不仅依赖于身体素质的训练[67], 也依赖于认知功能, 上述研究中对小脑的 tDCS 干预便是基于此原理。另外, 研究发现, 稳定的呼吸控制可以提高射击水平[64], 这提示了身体存在呼吸、心跳等节律, 这些节律与身体和手臂的抖动一同构成了瞄准点的抖动频率, 而感受这些节律, 并在最佳的时机扣动扳机完成利落的击发过程便是射击的关键[68]。由于对时间的感知通常是自动化和无意识的, 因此这种对射击时机的把握能力也许是射击的关键能力, 进一步的, 体现在时间知觉能力、节奏感、扣动扳机时的手指感觉能力和精细动作控制能力等。虽然目前针对这些猜想也有一些零散的证据, 但仍缺乏系统性的研究, 如前所述, 射击项目起源于狩猎, 而狩猎与生存息息相关, 因此射击的关键认知能力与脑的基本功能密不可分, 未来可以针对射击的关键认知能力这一核心问题开展针对性和系统性的研究。

5. 结束语

近年来, 国内对于体育运动领域的认知能力的研究逐渐成为热点, 这些研究从实用性出发, 得到了很多重要的结果, 但理论层面上的基础研究仍然十分缺乏。运动员的心理状态也受到认知能力的调节, 认知能力对射击项目的影响是有其神经生理学基础的, 不同频段的脑电研究给运动员的认知能力提供了观测手段, 而经颅直流电刺激等非侵入性脑刺激的方法让研究者可以直接干预脑功能从而进行因果性的探究, 这些研究成果将有利于运动员的选材, 训练指导, 以及更好的赛场发挥等。然而对于

射击所需的关键认知能力目前尚无统一的结论，未来可以开展针对性的研究以便更有针对性的培养射击精英。

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] 刘敏. 中国优秀手枪射击运动员持枪臂表面肌电特征及其训练监测系统的应用研究[D]: [博士学位论文]. 太原: 山西大学, 2010.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Shelley-Tremblay, J., Jones, P.R., Demming, C.E., *et al.* (2020) Electroencephalographic Investigation of the Effect of Skill Level and Social Inhibition on Simulated Handgun Shooting. *Journal of Motor Behavior*, **53**, 445-457. <https://doi.org/10.1080/00222895.2020.1796569>
- [6] 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>
- [7] 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.
- [8] 李京诚, 刘淑慧, 李四化, 等. 提高射击运动员比赛心理调控能力的研究[J]. 首都体育学院学报, 2009, 21(3): 262-265+272.
- [9] 李京诚, 刘淑慧, 李四化. 中国奥运射击冠军比赛心理定向的质性研究[J]. 天津体育学院学报, 2017, 32(4): 320-325.
- [10] 关建军. 提高射击运动员比赛心理调控能力的研究[J]. 民营科技, 2016(9): 236.
- [11] 李玉伟. 提升射击运动员比赛心理调控能力的研究[J]. 当代体育科技, 2018(16): 181-182.
- [12] 魏宁. 提升飞碟射击运动员比赛心理调控能力的途径探讨[J]. 当代体育科技, 2019(31): 29-30.
- [13] 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.
- [14] 周雅. 情绪唤起对执行功能的作用[J]. 心理科学进展, 2013, 21(7): 1186-1199.
- [15] 郭芳, 赵庆柏, 胡丽霞, 等. 执行功能子成分对创造性思维不同认知加工阶段的影响[J]. 心理科学, 2019, 42(4): 790-797.
- [16] Pindus, D.M., Drollette, E.S., Raine, L.B., *et al.* (2019) Moving Fast, Thinking Fast: The Relations of Physical Activity Levels and Bouts to Neuroelectric Indices of Inhibitory Control in Preadolescents. *Journal of Sport and Health Science*, **8**, 301-304. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.02.003>
- [17] Shao, M., Lai, Y., Gong, A., *et al.* (2020) Effect of Shooting Experience on Executive Function: Differences between Experts and Novices. *PeerJ*, **8**, e9802. <https://doi.org/10.7717/peerj.9802>
- [18] Soleiman Beigi, S., Ghasemian Moghadam, M.R. and Zareian, E. (2020) The Relative Contribution of Core Executive Functions in Shooting Performance Prediction. *Motor Behavior*, **12**, 39-54.
- [19] 胡凤培, 王倩, 徐莲, 等. 基于Flanker、Stroop和Simon多重冲突驱动的认知控制机制[J]. 心理科学, 2012, 35(2): 276-281.
- [20] 胡智. “内在瞄准”训练是提高步枪射击专项知觉和内在狭窄注意力的有效方法——对射击专项知觉训练法的再探讨①[J]. 体育科学, 1989(3): 67-71+95.
- [21] 魏景汉, 罗跃嘉. 事件相关电位原理与技术: Principle and Technique of Event-Related Brain Potentials[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [22] Vernon, D., Egnér, T., Cooper, N., *et al.* (2003) The Effect of Training Distinct Neurofeedback Protocols on Aspects of Cognitive Performance. *International Journal of Psychophysiology*, **47**, 75-85. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(02\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(02)00091-0)
- [23] 王静, 李小俚, 邢国刚, 等. Gamma 神经振荡产生机制及其功能研究进展[J]. 生物化学与生物物理进展, 2011,

- 38(8): 688-693.
- [24] Deeny, S.P., Haufler, A.J., Saffer, M., *et al.* (2009) Electroencephalographic Coherence during Visuomotor Performance: A Comparison of Cortico-Cortical Communication in Experts and Novices. *Journal of Motor Behavior*, **41**, 106-116. <https://doi.org/10.3200/JMBR.41.2.106-116>
- [25] Zhang, L., Zhou, Q., Liu, Z., *et al.* (2017) EEG Features Extraction and Classification of Rifle Shooters in the Aiming Period. In: Duffy, V., Ed., *Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management: Health and Safety*, Springer, Cham, 306-317. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58466-9_28
- [26] Janelle, C.M., Hillman, C.H., Apparies, R.J., *et al.* (2000) Expertise Differences in Cortical Activation and Gaze Behavior during Rifle Shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **22**, 167-182. <https://doi.org/10.1123/jsep.22.2.167>
- [27] Haufler, A.J., Spalding, T.W., Santa Maria, D.L., *et al.* (2000) Neuro-Cognitive Activity during a Self-Paced Visuospatial Task: Comparative EEG Profiles in Marksmen and Novice Shooters. *Biological Psychology*, **53**, 131-160. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00047-8)
- [28] Del Percio, C., Babiloni, C., Bertollo, M., *et al.* (2009) Visuo-Attentional and Sensorimotor Alpha Rhythms Are Related to Visuo-Motor Performance in Athletes. *Human Brain Mapping*, **30**, 3527-3540. <https://doi.org/10.1002/hbm.20776>
- [29] Comani, S., Bortoli, L., Di Fronso, S., *et al.* (2013) ERD/ERS Patterns of Shooting Performance within the Multi-Action Plan Model. *XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013*, Seville, 25-28 September 2013, 141-144. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00846-2_35
- [30] Hatfield, B.D., Haufler, A.J., Hung, T.M., *et al.* (2004) Electroencephalographic Studies of Skilled Psychomotor Performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **21**, 144-156. <https://doi.org/10.1097/00004691-200405000-00003>
- [31] Hatfield, B.D., Landers, D.M. and Ray, W.J. (1984) Cognitive Processes during Self-Paced Motor Performance: An Electroencephalographic Profile of Skilled Marksmen. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **6**, 42-59. <https://doi.org/10.1123/jsp.6.1.42>
- [32] Kerick, S.E., Mcdowell, K., Hung, T.M., *et al.* (2001) The Role of the Left Temporal Region under the Cognitive Motor Demands of Shooting in Skilled Marksmen. *Biological Psychology*, **58**, 263-277. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00116-8)
- [33] Deeny, S.P., Hillman, C.H., Janelle, C.M., *et al.* (2003) Cortico-Cortical Communication and Superior Performance in Skilled Marksmen: An EEG Coherence Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, **25**, 188-204. <https://doi.org/10.1123/jsep.25.2.188>
- [34] Doppelmayr, M., Finkenzeller, T. and Sauseng, P. (2008) Frontal Midline Theta in the Pre-Shot Phase of Rifle Shooting: Differences between Experts and Novices. *Neuropsychologia*, **46**, 1463-1467. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.026>
- [35] 闫铮. 基于脑电节律的脑网络研究及应用[D]: [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 2012.
- [36] Zhang, L., Zhou, Q., Liu, Z., *et al.* (2019) Evaluation on Directed Functional Brain Connectivity during the Expert Rifle Pre-Shot Period. *Journal of Motor Behavior*, **51**, 511-520. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1523128>
- [37] 熊红川. 脑电 Alpha 节律研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [38] 姚俊, 刘青. 运动训练领域应用脑电图(EEG)的实验研究进展[J]. 冰雪运动, 2003(3): 80-82.
- [39] Yildiz, M. and Fidan, U. (2019) The Psychophysiological Differences between Expert and Novice Rifle Shooters during the Aiming Period. *Pedagogics, Psychology, Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, **23**, 313-317.
- [40] Gong, A., Liu, J., Lu, L., *et al.* (2019) Characteristic Differences between the Brain Networks of High-Level Shooting Athletes and Non-Athletes Calculated Using the Phase-Locking Value Algorithm. *Biomedical Signal Processing and Control*, **51**, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.02.009>
- [41] Rogala, J., Kublik, E., Krauz, R., *et al.* (2020) Resting-State EEG Activity Predicts Frontoparietal Network Reconfiguration and Improved Attentional Performance. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 5064. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61866-7>
- [42] Momi, D., Smeralda, C.L., Di Lorenzo, G., *et al.* (2020) Long-Lasting Connectivity Changes Induced by Intensive First-Person Shooter Gaming. *Brain Imaging and Behavior*, **15**, 1518-1532. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.06.013>
- [43] Momi, D., Smeralda, C., Sprugnoli, G., *et al.* (2018) Acute and Long-Lasting Cortical Thickness Changes Following Intensive First-Person Action Videogame Practice. *Behavioural Brain Research*, **353**, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.06.013>
- [44] 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.

- [45] Di Fronso, S., Robazza, C., Filho, E., *et al.* (2016) Neural Markers of Performance States in an Olympic Athlete: An EEG Case Study in Air-Pistol Shooting. *Journal of Sports Science and Medicine*, **15**, 214-222.
- [46] Loze, G.M., Collins, D. and Holmes, P.S. (2001) Pre-Shot EEG Alpha-Power Reactivity during Expert Air-Pistol Shooting: A Comparison of Best and Worst Shots. *Journal of Sports Sciences*, **19**, 727-733. <https://doi.org/10.1080/02640410152475856>
- [47] Klimesch, W. (1996) Memory Processes, Brain Oscillations and EEG Synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, **24**, 61-100. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00057-8)
- [48] Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., *et al.* (1998) Induced Alpha Band Power Changes in the Human EEG and Attention. *Neuroscience Letters*, **244**, 73-76. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00122-0)
- [49] Klimesch, W. (1999). EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A Review and Analysis. *Brain Research Reviews*, **29**, 169-195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- [50] Gong, A., Liu, J., Li, F., *et al.* (2017) Correlation between Resting-State Electroencephalographic Characteristics and Shooting Performance. *Neuroscience*, **366**, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.10.016>
- [51] Bertollo, M., Di Fronso, S., Filho, E., *et al.* (2016) Proficient Brain for Optimal Performance: The MAP Model Perspective. *PeerJ*, **4**, e2082. <https://doi.org/10.7717/peerj.2082>
- [52] Gong, A., Liu, J., Jiang, C., *et al.* (2018) Rifle Shooting Performance Correlates with Electroencephalogram Beta Rhythm Network Activity during Aiming. *Computational Intelligence and Neuroscience*, **2018**, Article ID: 4097561. <https://doi.org/10.1155/2018/4097561>
- [53] Rocha, K., Marinho, V., Magalhaes, F., *et al.* (2020) Unskilled Shooters Improve Both Accuracy and Grouping Shot Having as Reference Skilled Shooters Cortical Area: An EEG and tDCS Study. *Physiology & Behavior*, **224**, Article ID: 113036. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113036>
- [54] Pereira, M., Argelaguet, F., Millán, J.D.R., *et al.* (2018) Novice Shooters with Lower Pre-Shooting Alpha Power Have Better Performance During Competition in a Virtual Reality Scenario. *Frontiers in Psychology*, **9**, Article No. 527. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00527>
- [55] Polanía, R., Nitsche, M.A. and Ruff, C.C. (2018) Studying and Modifying Brain Function with Non-Invasive Brain Stimulation. *Nature Neuroscience*, **21**, 174-187. <https://doi.org/10.1038/s41593-017-0054-4>
- [56] 关龙舟, 魏云, 李小隼. 经颅电刺激——一项具有发展前景的脑刺激技术[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(11): 1-5+9.
- [57] Kamali, A.M., Nami, M., Yahyavi, S.S., *et al.* (2019) Transcranial Direct Current Stimulation to Assist Experienced Pistol Shooters in Gaining Even-Better Performance Scores. *The Cerebellum*, **18**, 119-127. <https://doi.org/10.1007/s12311-018-0967-9>
- [58] Paulin, M.G. (1993) The Role of the Cerebellum in Motor Control and Perception. *Brain Behavior and Evolution*, **41**, 39-50. <https://doi.org/10.1159/000113822>
- [59] Boecker, H., Wills, A.J., Ceballosbaumann, A., *et al.* (1996) The Effect of Ethanol on Alcohol Responsive Essential Tremor: A Positron Emission Tomography Study. *Annals of Neurology*, **39**, 650-658. <https://doi.org/10.1002/ana.410390515>
- [60] Grimaldi, G., Oulad Ben Taib, N., Manto, M., *et al.* (2014) Marked Reduction of Cerebellar Deficits in Upper Limbs Following Transcranial Cerebello-Cerebral DC Stimulation: Tremor Reduction and Re-Programming of the Timing of Antagonist Commands. *Frontiers in Systems Neuroscience*, **8**, Article No. 9. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00009>
- [61] Ferrucci, R., Brunoni, A.R., Parazzini, M., *et al.* (2013) Modulating Human Procedural Learning by Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation. *The Cerebellum*, **12**, 485-492. <https://doi.org/10.1007/s12311-012-0436-9>
- [62] Jayaram, G., Tang, B., Pallegadda, R., *et al.* (2012) Modulating Locomotor Adaptation with Cerebellar Stimulation. *Journal of Neurophysiology*, **107**, 2950-2957. <https://doi.org/10.1152/jn.00645.2011>
- [63] Zhu, F.F., Yeung, A.Y., Poolton, J.M., *et al.* (2015) Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation over Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Area Promotes Implicit Motor Learning in a Golf Putting Task. *Brain Stimulation*, **8**, 784-786. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.02.005>
- [64] Park, H.K., Kim, D.W. and Kim, T.H. (2019) Improvements of Shooting Performance in Adolescent Air Rifle Athletes after 6-Week Balance and Respiration Training Programs. *Journal of Sport Rehabilitation*, **28**, 552-557. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0386>
- [65] 周治, 冯兵, 李家顺. 射击运动员时间知觉与运动水平关系的探讨[J]. 湖北体育科技, 1994(2): 16-17.
- [66] Hawkins, R. (2011) Identifying Mechanic Measures that Best Predict Air-Pistol Shooting Performance. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, **11**, 499-509. <https://doi.org/10.1080/24748668.2011.11868568>

- [67] Mon, D., Zakythinaki, M., Cordente, C., *et al.* (2014) Body Sway and Performance at Competition in Male Pistol and Rifle Olympic Shooters. *Biomedical Human Kinetics*, **6**, 56-62. <https://doi.org/10.2478/bhk-2014-0010>
- [68] Simo, I., Vesa, L., Kaisu, M., *et al.* (2016) Relation of Elite Rifle Shooters' Technique-Test Measures to Competition Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **11**, 671-677. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0211>