



运动操作过程中心理状态与大脑效率间关系的研究（综述）

郑樊慧, 王道, 许汪宇, 马铁铮

摘要: 目前国外研究者利用脑电功率谱和事件关联电位分析技术对运动操作过程中心理状态与大脑效率间关系进行了一系列的研究。研究表明:(1)与初学者相比,优秀射击运动员在准备击发期间全脑 α 波段功率明显的增加。(2)优秀射击运动员在准备击发期间呈现出左侧颞区(T_3)的激活程度低于右侧颞区区域(T_4),但在休息期间这种差异却没有出现。而初学者在准备击发期间,颞区 α 波段没有表现出这种大脑功能侧化现象。(3)脑波的变化模式与所执行的任务有关,它能表现出任务特点。(4)脑波活动模式可能是运动员长期训练的结果,并且具有个人的独特性。(5)有益于运动表现的脑波活动模式可以通过训练加以改善。并提出了“心理运动功效”(Psychomotor Efficiency)理论对以上结果加以解释和概括。该理论认为,运动技能的获得是一个适应性过程,训练的结果表现为减少或精化大脑皮层中的非运动过程,即与任务无关的过程被删减,使神经资源能更经济或有效地分配。

关键词: 脑电; 功率谱分析; 事件相关电位; 心理运动功效; 运动操作

中图分类号: G804.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)04-0059-07

Relationship between Mental State and Brain Efficiency in the Process of Movement Operation

ZHENG Fan-hui, WANG Dao, XU Wang-yu, et al

(Shanghai Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: The researchers abroad have made a series of studies on the relationship between mental state and brain efficiency in the process of movement operation with EEG power spectrum and the technique of event-related potential analysis. The result shows the following:(1)Compared with the beginners, the whole-brain α wave band power of the elite shooters increases significantly in the ready-to-shoot period. (2)The activation degree of the left temple (T_3) of the elite shooters is lower than the right temple (T_4) during the ready-to-shoot period. This difference does not appear during breaks. The temporal α wave of the beginners at the ready-to-shoot stage does not show the same phenomenon of the brain functions. (3)EEG activity patterns correlates with the implementing tasks. It can display the characteristics of the tasks. (4) EEG activity patterns may be the result of athletes' long-term training and possess individual speciality. (5) The EEG activity patterns that are beneficial to movement can be improved by training. The Theory of Psychomotor Efficiency has been put forward to explain and sum up the above-mentioned results. According to the theory, the acquirement of exercise ability is a process of adaptation. The training shows the result of reducing or refining the non-movement process in cerebral cortex. Thus the process that has nothing to do with the task is deleted. The nerve resources can be distributed more economically and efficiently.

Key words: EEG; power spectrum analysis; event-related potential; psychomotor efficiency; movement operation

1 前言

在上世纪90年代, Williams等人^[1]就对伴随着最佳竞技状态的心理状态进行了总结和描述。它们是:没有畏惧感——不怕失败;不考虑运动技能或对运动技能进行认知分析;把注意力集中在运动技能本身;不费力感;自我控制感;缺少时间和空间定向感,感到时间过得很慢。但这些

心理状态是怎样及为什么会影响到肌肉运动并不清楚。目前神经科学通过研究大脑活动过程把心理学与动作质量连接起来,利用脑电(EEG)来研究运动操作过程中心理状态与大脑效率间的关系已成为运动心理学研究中热点问题^[2],这方面的研究试图揭示最佳竞技状态的生理基础。纵观这方面的研究,从脑电测试和分析方法上来讲,主要有两种:一是对脑电进行频率面的分析,即将记录后的脑电进行功率谱

收稿日期: 2009-06-22

基金项目: 上海市体育局科技攻关课题(06JT004)

第一作者简介: 郑樊慧(1969-),女,研究员,主要研究方向:运动心理学。E-mail:zhengfanhui@hotmail.com. Tel:021-64330794

作者单位: 上海体育科学研究所,上海,200030



分析,此方法的基本程序是将不含伪迹的脑电波进行快速傅立叶转换后,可得到各频段的功率谱值,再用统计方法比较不同组别或情境间某频段功率值的差异。因为不同的频段有与之对应的心理状态,如 α 波常与放松状态有关,而 β 波常与思考、紧张等激活状态有关^[3]。因此,某频段功率值的差异就可以探究运动员在运动操作时心理状态的差异。第二种方法是对脑电进行时间面的分析,也就是事件关联电位分析(ERPs)。事件关联电位是大脑对外界事物进行反应前或反应时的大脑活动。它通常代表皮层对特定刺激特定时间里的激活。ERPs来自于对多重刺激的叠加平均以增加信噪比。它通常藉由测量某特定成分的波峰的方向(即正向或负向的)和振幅或潜伏时间来推测大脑处理该刺激的信息^[2]。

目前,国外研究者利用脑电对运动操作过程中心理状态进行了系列研究,并取得较一致的研究结果。也许由于仪器等方面的限制,目前我国研究者在这方面的研究比较少,因此,本文主要对国外的研究进行综述,为我国研究者进一步地从事这方面的研究提供参考。

2 运动操作过程中心理状态与脑电功率谱值变化特征的研究

在运动操作过程中心理状态与大脑的关系研究中,国外研究者多以射击、射箭等封闭性运动项目为研究对象。因为在射击或射箭时,运动员的注意力需要高度集中,同时运动员在做动作时运动的幅度较小,可以把由于身体运动所引起的脑电伪迹降到最低^[4]。他们的研究涉及动作完成过程中,优秀运动员大脑左右两半球脑电功率谱变化特征,优秀运动员与新手的脑电功率谱间的差异,脑电功率谱与成绩间的关系、脑电生物反馈训练对运动技能学习或成绩的影响及与运动技能操作相伴的情绪状态及对运动成绩的影响等5个方面。

2.1 优秀运动员动作操作过程中脑电功率谱变化特征

美国运动心理学学者Hatfield等人率先进行了一系列的实验研究,并建立研究了该领域的研究范式,这种范式具有较高的生态学效应,为研究熟练技能操作中所伴随的认知过程提供了机会。Hatfield等人^[5]先以15名美国世界级水平的步枪运动员为研究对象。测试了他们从准备到扣扳机前7.5 s里 α 频段的功率值的变化,每人共测试了40发子弹。测试时电极安放在左、右颞区(T_3 、 T_4)和左、右枕区(O_1 、 O_2),以 C_z 参考电极放。他们的研究发现,与休息状态相比,从瞄准到临近扣扳机时, T_3 处的 α 频段的功率值增加,而 T_4 处的 α 频段的功率值减少,即运动员大脑功能出现了一侧化的现象。

随后,Hatfield等人^[6]又重复进行了实验,并增加了测试内容。被试同样是优秀的气步枪运动员,除了射击外,还要求他们完成两种认知任务:一类是以左半球功能为主的算术运算和言语理解,一类是以右半球功能为主的几何图形匹配任务,同样进行了脑电测试。他们将扣扳机前7.5 s依次分成3个2.5 s时间,比较了颞叶区(T_3 和 T_4) α 频段功率在这3个时间段的差异,研究结果表明,随着扣扳机时间的临近, T_3 处的功率值增加而 T_4 处的却保持相对的稳定。而且射击时的半球变化模式与完成几何图形任务的变化模式相类似,但射击时脑功能一侧化更加明显。他们还发现,与

右半球相比,左半球的 β 频段的功率相对降低。他们认为,这些研究结果表明从准备到扣扳机前,左半球的激活程度逐渐下降,而右半球的加工逐渐变得重要。他们把这种现象解释为即将扣扳机时以左半球功能为主的言语分析、数理分析过程逐渐降低,而以右半球功能为主的视觉空间加工过程逐渐增加,大脑活动表现出“经济性”。

Bird^[7]以一名国际级男子步枪运动员为研究对象,记录了扣扳机前后各8 s左颞叶区(T_3)脑电频率的变化,探讨其成绩好与成绩差时脑电频率的差异。研究发现,与比成绩差时相比,成绩好时脑电频率时呈现较稳定状态。他认为比较稳定的脑电频率表示较少的心智活动与分心,因此有益于射击的成绩。

除射击外,射箭也是研究比较多的一个项目。Salazar^[8]等人以28名优秀射箭运动员(其中13名男运动员15名女运动员)为研究对象,电极安放在 T_3 和 T_4 ,以双侧乳突间为参考电极。记录了放箭前3 s左右颞叶区脑电的变化。结果发现,在瞄准的时候, α 波是主要频率,而且这个现象左颞叶区比右颞叶区显著。在放箭前3 s期间,右颞叶区脑电无明显变化,但是左颞叶区在10 Hz、12 Hz与24 Hz的脑电功率值有显著增加。在放箭前1 s,右颞叶区在成绩最差与最好时并无显著性差异,但左颞叶区在成绩最差是,6 Hz、12 Hz与24 Hz的功率增加。

Crew与Landers^[9]则以34名(男、女各17名)职业高尔夫运动员各为研究对象。测试了他们在推杆前3 s脑电的变化。测试时电极安放在 T_3 、 T_4 、 O_1 、 O_2 ,以双侧乳突间为参考电极。研究结果发现,左脑的活动有降低的现象,但是右脑的 α 波功率有增加的现象,这个发现与Hatfield等人的研究结果有些不一致。但在慢波以及40 Hz的分析部分,则发现左脑的慢波增加但40 Hz降低,右脑则无改变,这个研究结果与射击、射箭的研究结果大致相似。

Collin^[10]等人则以8名优秀男空手道运动员为研究对象,要求他们完成高难度的击破与低难度的击破动作。记录了他们出手前4 s脑电的变化。电极安放在左、右颞区(T_3 和 T_4),左、右运动区(C_3 和 C_4)、左、右耳后乳突(A_1 和 A_2)、左、右顶区(P_3 和 P_4),参考电极放在 C_z 。研究结果发现,出手前各脑区的 α 波频段的功率值都有增加的现象,特别是在完成复杂动作前,这种 α 波频段功率的增加的现象更加明显。在出手前颞区的 α 波功率的增加接近显著性水平。

2.2 优秀运动员与新手动作操作过程中脑电功率谱值间的差异

为了判断优秀运动员运动操作过程表现出的大脑功能一侧化的现象是否是随着运动技能的形成而发展的。研究者采用了专家-新手对比研究的范式对此问题进行进一步探讨。

Haufler等人^[11]比较了15名高水平的射击运动员和21名从未接受过训练的新手之间射击时大脑激活方式是否存在差异。测试时电极安放在左、右额区(F_3 、 F_4),左、右运动区(C_3 、 C_4)、左、右顶区(P_3 、 P_4),左、右枕区(O_1 、 O_2),左、右颞区(T_3 、 T_4),以双耳为参考电极。他们假设,高水平的射击运动员相对自动化地执行动作,而新手在射击时则需要做出更多的努力并伴有言语分析,



因此,新手在准备射击期间,左半球具有相对高的激活水平,就 α 频段的功率值来说,它的变化与完成言语任务时的变化相一致。即与右半球相比,左半球的 α 频段(10~11 Hz)的功率值降低。为了验证这个假设,他们要求被试完成射击、言语、空间任务。后面两个任务与Hatfield等人的研究所用的心理认知任务一样。研究结果验证了他们的假设,与高水平的射击运动员相比,新手左半球的 α 频段的功率值降低, β 和 γ 频段的活动增加,而右半球没有表现这种差异。而在完成语言和空间任务时,两组被试没有表现出差异。而且新手射击时右脑 α 频段的功率值变化与完成空间任务时相似。更有趣的是,高水平运动员各脑区的 α 频段的功率值都比新手高,尤其是左颞(T_3)。他们认为,从未练过射击的新手在完成射击任务时分配资源的效率要低。而高水平的运动员只将与任务最有关的特定的脑区激活,以提高工作效率。

Landers等人^[12]让从未接触过射箭的11名大学生(5男6女)上了一个学期的射箭课,以他们为被试进行了研究,比较了15周的射箭课程前后对左、右颞区(T_3 和 T_4)脑电功率值的影响。研究结果表明,在上了15周的射箭课后,被试的成绩提高了62%,上课后左半球的 α 波频段功率值显著地高于上课前,右颞叶区则无改变。他们认为,与运动操作能力有关的脑电一侧化是一种习得而来的模式,他们可促进与特定任务有关的环境的交流。虽然在这个研究中没有设对照组,由于左半球同步性的增加暗示着无关过程(如,语词分析)的降低,而右半球视觉空间任务仍在继续。

但Janelle等人^[13]的研究结果却没有支持以上结果。他们也以高水平射击运动员和低水平的射击运动员为被试。他们也假设,技能水平低的运动员将展示出不同于高水平运动员的优势半球和激活方式。即与高水平的射手相比,低水平的射手将表现出左半球 α 波功率降低。但他们研究结果与假设相反,低水平运动员的左、右脑半球的 α 频段功率值均增加。他们认为这一结果可能的解释是,低水平的运动员不能象高水平运动员那样激活相关皮层资源。这与Pfurtscheller等人^[14]的观点相一致,他们提出由于水平低的射手可能缺乏把注意力集中相关线索的体验,他们的皮质具有相当程度的“空载”特征。在Haufler等人的研究中所采用的被试从未接触过射击,而在这个研究中,低技能水平的运动员已经不需要努力地加工信息。 α 波功率值较高也符合这样一种事后的解释。此外,该研究还结果表明,与技能水平比较低的运动员相比,技能水平高的运动员左半球的 α 频段(8~12 Hz)和 β 频段(13~20 Hz)功率值增加,而右半球的 α 和 β 频段功率值降低,因此,高水平射击运动员左、右两半球的各频段功率差比低水平的运动员要大,这表明高水平射击运动员的大脑一侧化程度更高。这一项调查结果可能意味着技能水平高的射击运动员的半球更具特异性(即专业化),他们神经资源分配和任务需求能更有效地匹配。

虽然在豪夫勒等人的研究中证明这种大脑功能一侧化的现象是训练的结果,但由于他们的研究均采用被试间的横向比较,因此,研究表明这种组间的差异可能来自头颅的形态学之间及皮层神经解剖学的差异,而不仅仅是神经认知的差异^[15~16]。因此,为了进一步说明这种脑电的变化是由训练产生的。Kerick等人^[17]进行了纵向的追踪研究。他们以

11名没有手枪射击经验的海军学院的学生为被试,让他们接受12~14周的气枪训练。记录了他们在训练早、中期、训练、后期的扣扳机前5 s及两个控制条件下(安静状态和举空枪)的 α_2 (11~13 HZ)事件相关电位的功率值(ERAP)。测试时电极安放在 F_3 、 F_2 、 F_4 、 C_3 、 C_2 、 C_4 、 T_3 、 T_4 、 P_3 、 P_2 、 P_4 。他们的研究表明,在射击和举空枪的条件下,左颞(T_3)的ERAP均值从训练初期到末期呈上升趋势,而在安静状态下,这个值保持稳定。而右颞(T_4)的值在任何一种状态下都未改变。这些被试在训练后,整个大脑皮层的兴奋性呈下降趋势,其中左颞表现的最明显。他们认为这种大脑皮层的激活的降低可能是由于感觉运动的整合达到自动化而无须较多的认知努力的结果。

2.3 动作操作过程中脑电功率谱值与运动成绩间的关系

从上面的众多的研究得知,优秀运动员在动作操作过程中和成绩优异时所记录的脑波表现为记录到左颞叶区 α 频段功率值增加和 β 频段的功率值降低,而成绩较差时 α 频段功率值增加可能表明过度的同步化,因此,不能不使研究者推测大脑功能一侧化水平可能影响运动成绩。

为了进一步了解大脑皮层电活动与运动成绩间因果关系,有研究者研究了运动员成功地击发和未成功击发(收枪)的瞄准期间大脑皮质激活的差异性。Hillman等人^[18]以高水平的步枪运动员为研究对象,比较了他们成功击发和未能成功击发的瞄准期间的脑电 α 波和 β 波的活动。未能成功击发指的是当运动员用他或她的步枪瞄准靶子,但没有击发而是收了枪。测试时电极安放在 F_3 、 F_4 、 T_3 、 T_4 、 C_3 、 C_4 、 P_3 和 P_4 ,以 C_z 作为参考电极。他们假设,左半球 α 波功率值降低时,将伴随着未能成功射击。即左半球的相对激活将不利于动作的执行。但研究结果并没有支持他们的假设相反,未成功击发时,越接近扣扳机时所有脑区 α 频段和 β 频段的功率值增加。其中颞区增加最多而中央区增加最少。而成功击发时各脑区的功率值则保持稳定。他们认为,这种结果可能是因为未能成功击发前,运动员没有把大脑皮层激活到适宜的程度,导致了心理运动操作的失调。所以,他们指出,缺乏经验的运动员或未能发挥出理想成绩的优秀运动是由于在完成动作时,没能有效地分配与任务有关的神经生理资源。在未能成功地击发前,运动员没有把大脑皮层激活到适宜的程度。

在对从事新颖性任务而不是心理运动操作的研究中也发现被试没有能恰当地运用与任务相关的资源。如Earle^[19]研究了在从事视觉空间任务时被试颞区和顶区的 α 频段功率值的变化。研究发现,那些感到完成任务难度很大的被试的 α 频段功率增加。他也认为, α 频段功率的增加是由于未能激活与任务有关的神经资源。

而Loze等人^[20]以6名优秀的男子气手枪运动员为研究对象,测试时电极安放在 T_3 、 T_4 、 O_z ,参考电极放在两侧乳突。他们的研究发现, T_3 处的 α 频段的功率值高于 T_4 处的。成绩好时, O_z 处的 α 频段的功率值显著性地增高,成绩差时, O_z 处的 α 频段的功率值则逐渐下降。

2.4 脑电生物反馈训练对运动技能学习或成绩的影响

Landers等人^[21]率先尝试通过用左、右颞叶区(T_3 和



T₄) 脑波进行生物反馈训练来促进射箭运动员运动技能的获得和提高。他们以 24 名 (16 名男运动员 8 名女运动员) 中等以上水平的射箭选手为研究对象, 把他们分配在 3 组中: 正确的反馈组 (左颞叶区较高的低频脑波功率), 错误的反馈组 (右颞叶区较高的低频脑波功率) 和无反馈的对照组。在训练前和训练后的比较中发现, 正确生物反馈训练显著地改善射箭成绩, 而错误的生物反馈训练显著地降低射箭成绩。无反馈对照组成绩无显著变化。此外, 不正确的反馈组表现出右半球的 beta (13~31 Hz) 功率增加, 而其他两组没有出现这种变化。

2.5 运动技能操作过程中的情绪状态及对运动成绩影响

上面的研究都是在没有压力的条件下, 从神经认知的角度研究了射击、射箭等项目运动员在完成动作过程中脑电的变化规律。目前有研究者已将这种研究扩展到情感领域, 研究了在有压力状态下, 运动员脑电的变化过程及对运动成绩的影响。这些研究都是基于 Davidsion 等人^[22]的研究。他们提出左前额的相对激活 (即与 F₄ 相比, F₃ 处的 α 频段降低) 与接近性的行为 (approach-behavior) 和积极、愉快的情绪有关, 而右前额的相对激活 (即与 F₃ 相比, F₄ 处的 α 频段降低) 与回避性的行为 (avoidance-behavior) 和消极、不愉快的情绪有关。他们在研究中通常用右前额 α 频段功率的以 e 为底的自然对数转换值减去左前额的以 e 为底的自然对数转换值 (即 \ln (右前额 α 频段功率) - \ln (左前额 α 频段功率)) 来反映前额的不对称性, 两者的差如果是正值表示接近性行为 and 积极情绪状态, 如果是负值则表示回避性的行为和消极的情绪状态。萨里拉 (Saarela, 1999)^[23] 利用这个公式研究了应激状态对高水平射击运动员的前额的不对称性及对运动成绩的影响。他们以 12 名高水平的射击运动员为研究对象。他利用变化比赛时间给运动员施加压力, 要求他们在两种条件完成射击任务: 一个是按照常规, 在 80 min 时间里完成 40 发子弹; 另一个是要求运动员在 40 min (时间压力) 时间里完成 40 发子弹。研究表明, 在有时间压力的情况下, 射手右前额激活程度增加 (即 F₄ 处的 α 频段功率减少), 而在常规射击情景下, 射手为左前额激活。而且前额的不对称性与运动成绩显著相关, 不对称性较低 (即右前额激活) 常伴随着较低的射击环数。因此, 他们认为在没有压力条件下的接近性定向可以被认为是积极参与任务或注意力高度集中, 从而导致了优异的运动成绩。相反, 时间压力以消极的方式影响了情绪状态及随后的运动成绩。更重要的是, 前额区不仅与情绪状态有关, 也与大脑的运动控制中枢有着复杂的联系^[24]。因此, 情绪上的变化可能也会潜在地影响运动通路的改变, 从而导致动作质量的变化。

为了进一步研究情绪状态对运动成绩的影响, Kerick 等人^[25] 研究了给射击新手提供消极的反馈时他们的前额不对称性。他们假设, 提供积极的反馈可加强对任务的投入或接近性行为。而消极反馈则会降低对任务的投入程度或减少工作的参与。研究表明, 前额不对称性并没有显著性差异, 但变化趋势与假设的方向相同。他们认为由于射手还处于刚刚学习动作技能阶段, 因此, 研究结果没有显著性差异可能与技能学习初期有关的认知 - 情感过程中固有的可变性造成的。这些可变性的产生可能与他们不能协调地分配神经资源

有关。已有研究者指出, 没有经验的初学者不能有效地满足任务的要求^[26]。

3 事件相关电位和熟练运动作业

除了利用脑电图功率谱进行研究获得信息外, 由于事件相关电位 (ERPs) 具有较高的时间解析度, 可以分析自刺激接受至反应输出的整个信息处理过程, 因此, 已经成为验证认知心理学的各种信息处理流程理论的重要研究方法。在竞技运动领域, 也有研究者用这种方法来研究射击等封闭性项目在完成动作前的注意过程。

Kontinen 等人^[27] 在该领域进行了一系列的研究。他们以 3 名步枪运动员 (2 男 1 女) 和 3 名男子新手为研究对象, 首先研究了他们扣扳机前 7.5 s 的脑波慢波 (SP) 的变化, 测试时电极安放在 F_z, C₃, C₄, O_z, 以有右乳突为参考电极。慢电位 (SPS) 是特定类型的 ERP, 预示着与处理有关刺激时大脑皮层激活的慢变化。他们的研究表明, 在射击运动员中, 较高的负极波与较差的射击成绩有关。但在新手中却没有这种表现。他们对此结果的解释是较高的负极波可能表示唤醒水平较高或表示射手主动地去控制动作。而他们的运动技能水平应达到自动化阶段, 采用主动控制的模式可能对于他们的运动技能表现是一种妨碍, 因此, 成绩较差。根据这些研究结果, 他们认为成绩不好的射击前唤醒水平过大, 更经济性大脑皮层激活是与优异的成绩相关。

随后, Kontinen 等人^[28] 又研究了持枪的动作控制与瞄准的视觉过程对于慢波的正极和负极波的影响。该实验以 8 名无射击经验者为被试。测试时时电极安放在 F_z, C₃, C₄, O_z, 以有右乳突为参考电极。研究结果发现, 动作控制与慢波的正极波有关, 而瞄准的视觉过程则与负极波有关。他们又在另一个研究中^[29] 进一步区分出射击时个人内以及不同人之间脑波慢波的剖面图。该研究以 12 名 (7 男子和 5 名女子) 优秀步枪运动员为研究对象。测试时时电极安放在 F_z, C_z, O_z, 以有右乳突为参考电极, C₃, C₄ 双极导联。结果发现, 每位运动员在成绩好和成绩差时都有一个主要的脑波慢波剖面图, 这个剖面图具有相当大的个体差异。这表明射击运动员系统地使用一种射击表现模式。这个个别化的模式可能是学习而来的, 而每个人模式具有个体特征。

了解到正极波与负极波与射击过程相关后, Kontinen 等人^[30] 进一步以 6 名优秀和 6 名准优秀步枪运动员为研究对象, 更深入地比较了成绩好坏与脑波慢活动状态间关系。测试时时电极安放在 F_z, O_z, 以乳突为参考电极, C₃, C₄ 双极导联。结果发现, 只有在右运动区比左运动区具有更高的负极波的情况下, 前额的正极波与较佳的射击表现有关。该研究者认为, 这个研究结果表明, 前额的正极波代表射手能够抑制无关的动作。而右运动区负极波比左运动区高代表射手同时能够专注在视觉空间的射击过程。因此, 有比较佳的射击表现。

Kontinen 等人^[31] 进一步以 6 名优秀和 6 名准优秀步枪运动员研究对象, 测试时时电极安放在 F_z, 以乳突为参考电极, C₃, C₄ 双极导联。结果发现, 不同水平的运动员使用不同的握枪方式。在准优秀运动员组, 随着前额 (F_z) 的正极波和右运动区 (C₄) 负极波的增加, 枪的稳定性增加。而在优秀运动员组, 只有前额 (F_z) 处的正极波的增加与枪的稳



定性下降有关。

为了更清楚地探明皮层活动与行为之间的关系，Kontinen等人^[32]又采用了心理学与生物力学相结合的研究方法。他们以优秀（芬兰国家奥运会代表队）和非优秀步枪运动员（在国内比赛有排名，但没有参加国际比赛的经验）为研究对象，测试时电极安放在 F_7 ，以乳突为参考电极， C_3 、 C_4 双极导联，并同时测试了运动员身体的晃动。结果表明，优秀组的身体晃动幅度低，同时表现出前额正变化的降低，而非优秀组的皮质活动与生物力学的变量之间则表现出不同的关系。即前后晃动的幅度和晃动速度与中央区慢电位负变化的单侧化有关，身体倾斜的减少是和 C_4 消极性减少相关联的。他们认为，优异的运动表现具有皮层活动少的特点（等同于慢电位正变化的幅度降低），这反过来又会减少身体的晃动。

此外，目前还有研究者利用ERP研究了运动员在动态，快速变化及不可预测的环境中的注意力特点。这类研究的意义对于一些开放性的运动项目尤为重要，因为运动员通常面临一系列复杂的视觉空间任务，他们必须把注意力集中在有关的线索上。台湾学者洪聪敏教授等人^[33]利用Posner的线索性注意任务研究了15名乒乓球运动员和15名非运动员在不确定状态下视觉空间的选择性注意力策略。所测变量是RT和ERPs中 P_1 和 N_1 做为视觉空间的选择性注意力的指标。 P_1 是脑波在视觉刺激呈现后约70~110 ms其最大反应幅度出现在枕区第一视觉中枢侧面的一个正极性反应。 N_1 是脑波在视觉刺激呈现后约90~130 ms在枕区第一视觉中枢侧面所出现的一个负极性反应。这两个ERPs成份的振幅随着被试的专注而加大。他们的结果表明，运动员的RT更快。乒乓球运动员组和非运动员组在不确定状态下视觉空间的选择性注意力策略有所差异。非运动员组在面对不确定状态时，随着作业时所提供的线索将注意力分配至刺激最有可能出现的区域。而乒乓球队运动员在面对不确定状态时，将他们的注意力分配在刺激出现机率很小的地方。因此，他们认为，技能熟练、需要心理运动操作的运动员可能在应对高概率事件的同时把注意力也分配在小概率性事件以在不确定或模棱两可的情况下使反应性行为为最优化，这样的适应似乎把对难以预料事件的不良适应降到最低。

4 心理运动功效学理论 (the principle of psychomotor efficiency)

Hatfield^[34]等人综合了以上的研究结果，运动操作过程中心理状态与脑电间的关系做了以下概括。

(1) 与初学者相比，优秀射击运动员在准备击发期间全脑 α 波频段(8~13 Hz)功率明显的增加。这表明他们大脑皮质的激活程度低，这可能说明他们大脑的神经网络效率更高，大脑的活动更“经济”。

(2) 优秀射击运动员在准备击发期间呈现出左侧颞区(T_3)的激活程度低于右侧颞区区域(T_4)，但在休息期间这种差异却没有出现。而初学者在准备击发期间，颞区 α 波频没有表现出这种大脑功能侧化。这表明，运动员的左侧颞区的活动降低，而右侧活动增加。这种变化模式随着运动技能的获得越来越明显，而且这种脑波变化模式与运动表现的好坏有关，透过了解脑波的变化模式可以促进对优异表现过

程的了解。这也说明，在训练过程中与完成任务相关的大脑皮质得到强化，而其他无关区域则会减弱。

(3) 脑波的变化模式与所执行的任务有关，它能表现出任务特点。如，优秀运动在完成认知任务时的脑电变化模式与初学者无差异。而随着运动水平的提高，左侧颞区(T_3)的 α 波功率的增加越明显。但在高尔夫推杆、跆拳道等项目中，功率值的增加主要表现在运动区。

(4) 脑波活动模式可能是运动员长期训练的结果，并且具有个人的独特性。

(5) 有益于运动表现的脑波活动模式可以通过训练加以改善。

众多运动生理学的研究表明^[35]，经过训练后，人体生理系统通常表现为能以最小的能量消耗完成最大的工作量，即身体各系统的功效提高。例如，当骨骼肌完成一个给定的力量收缩时，经过训练的肌肉的工作效率表现为相对更少地动用运动单位，优秀长跑运动员的能量消耗要比一般运动员更少等，优秀运动员的动作表现出流畅、完美和经济的特征。同时，有机体在面对内、外环境的挑战还表现出适应的特点。对此Seley^[36]所提出的GAS理论已充分论述。此外，有研究者指出，动作技能的学习是运动指导的内化或以记忆为基础模式的形成过程，运动学习与发展是大脑非运动过程弱化的自然过程^[37]。

因此，根据以上众多研究结果及现有的理论，Hatfield等人^[38]提出了“心理运动功效”(Psychomotor Efficiency)理论。他用公式：心理运动功效=心理运动行为/神经中枢资源分配来形象地描述该理论。该理论认为，运动技能的获得是一个适应性过程，训练的结果表现为减少或精化大脑皮层中的非运动过程，即与任务无关的过程被删减，使神经资源能更经济或有效地分配。具体地讲，是减少运动神经通路上的“噪音”和前额叶区皮质中的运动计划与控制对任务执行的潜在影响。他们把这种精化过程也描述为“剪枝”过程。他们认为该理论在提高教练的指导质量及了解认知-情感因素如何影响运动员的运动行为的质量方面都具有重要的意义。

5 未来的研究方向

虽然众多研究者对于运动操作过程中心理状态与大脑效率间的关系进行了大量、系统的研究，并提出了合理的理论框架。但从脑电测试来看，大多数研究中脑电的测试只安放了两到4个电极。到目前为止，用来测量大脑皮层电活动的电极可多达256个。也许这么多的电极对于运动心理学的研究显得过多，但提高我们对运动员运动操作过程的理解的一个方法是增加大脑空间分辨率。因此，采用较多的电极是获得大脑的活动的认识是我们以后研究值得考虑的一个方面。此外，参考电极的安放是另一个值得我们关注的问题，在已有的众多研究中参考电极的安放缺乏统一性，参考电极安放位置的不同就会导致脑电功率谱的值有差异。虽然参考的位置与研究者的所要研究的问题有关，但在一定程度上的标准化可使众多研究更具有可比性。

从研究对象来看，许多研究采用了专家-新手的研究范式，但研究对象中的“熟练”及“非熟练”，“优秀”与“新手”的界定缺乏统一的标准。这将导致不同的研究



者可能将技能水平不同的被试用相同名称来标识的。即在一个研究中被称作“熟练者”的能力不同于另一个研究中也表示为“熟练者”的能力。因此,在以后的研究中,如果可能的话,最好应用绝对的行为或成绩标准代替相对的标准来表明被试的技能水平。这也许能帮助将解决在各种研究结果中可能出现的矛盾。

从研究内容来看,利用脑电进行生物反馈训练对运动员运动技术的掌握和改进,甚至运动员的伤病康复都有着重要的应用价值,但这方面的研究数量还比较少。此外,目前,对运动员平时训练及赛前的情绪状态的测量多采用心理学问卷,缺乏较为客观的心理生理学指标,因此,利用脑电指标反映运动员的情绪状态也具有较大的应用价值,这也是我们以后可以重点和系统地进行研究的一个领域。

最后, Hatfield 等人提出的“心理运动功效”理论为运动心理学的研究提供了揭示大脑皮质过程与运动操作间关系及心理过程作用于神经肌肉运动的机制及基本模型。但他们指出,运动心理学的研究应该运用运动控制理论,通过测试基因—环境的相互作用,进一步精炼这个理论框架与模型,有关的理论的发展还有赖于数学、工程与物理的技术来探索大脑的工作状态^[38]。

参考文献

- [1] Williams, J.M. & Krane, V. (1998). Psychological characteristics of peak performance [M]. In J.M. Williams (Ed). *Applied sport psychology*. CA: Mvayfield. 158-170.
- [2] 姚家新, 张力为等. 运动心理学研究进展 [J]. 天津体育学院学报, 2008, 23 (1) : 1-10.
- [3] 大熊辉熊著, 周锦华译. 临床脑电图学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005, 64-65.
- [4] Lawton, G.W., Hung, T., Salaarela, P., & Hatfield, B.D. (1998). Electroencephalography and mental states associated with elite performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 20: 35-53.
- [5] Hatfield, B.D., Landers, D.M. & Raw, W.J. (1982). An electroencephalographic study of elite rifle shooters [J]. *American Marksmen*, 7: 6-8.
- [6] Hatfield, B.D., Landers, D.M. & Raw, W.J. (1984). Cognitive process during self-paced motor performance [J]. *Journal of sport psychology*, 6: 422-459.
- [7] Bird, E.L. (1987). Psychophysiological processes during rifle shooting [J]. *International Journal of Sport Psychology*, 18: 9-18.
- [8] Salazar, W., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Han, M.W., & Crews, D.J. (1990). Hemispheric asymmetry, cardiac response and performance in elite archers [J]. *Research Quarterly for Exercise Sport*. 61: 351-359.
- [9] Crews, D.J., Landers, D.M. (1993). An electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 25: 116-126.
- [10] Collins, D., Powell, G. & Davies, I. (1990). An electroencephalographic study of hemispheric processing patterns during karate performance [J]. *Journal of sport & Exercise psychology*, 12: 223-243.
- [11] Haufler, A.J., Thomas, W. & Spalding, D.L. (2000). Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters [J]. *Biological Psychology*, 53, 131-160.
- [12] Landers, D.M., Han, M.W., Salazar, W., Petruzzello, S.J., Kubitz, K.A., Gannon, T.L. (1994). Effect of learning on electroencephalographic and electrocardiographic patterns in novice archers [J]. *International Journal of Sport Psychology*, 25: 313-330.
- [13] Janelle, C.M., Hillman, C.H., Apparies, R.J. & Murry, N.P. (2000). Expertise difference in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting [J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 22: 167-182.
- [14] Pfurtscheller, G., Stancak, A., & Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band: An electrophysiology correlate of cortical idling. A review [J]. *International Journal of Psychophysiology*. 24: 39-46.
- [15] Busk, J., & Galbraith, G.C. (1975). EEG correlates of visual-motor practice in man [J]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 35: 415-422.
- [16] Etnier, J.L., Whitwer, S.S., Landers, D.M., Petruzzello, S.J., & Salazar, W. (1996). Changes in electroencephalographic activity associate with learning a novel motor task [J]. *Research Quarterly for Exercise Sport*, 67: 272-279.
- [17] Kerick, S.E., Douglass, L., & Hatfield, B.D. (2004). Cerebral cortical adaptation associated with visuomotor practice [J]. *Medicine & Science in Sport and Exercise*, 36: 118-129.
- [18] Hillman, C.H., Apparies, R.J. & Janelle, C.M. (2000). An electrocortical comparison of execute and rejected shots in skilled marksman [J]. *Biological Psychology*, 52, 71-83.
- [19] Earle, J.B. (1988). Task difficulty and EEG alpha asymmetry: An amplitude and frequency analysis. *Neuropsychobiology*, 20: 96-112.
- [20] Loze, G.M., Collins, D. Holes, P.S. (2001). Pre-shot EEG alpha-power reactivity during expert air-pistol shooting: a comparison of best and worst shots [J]. *Journal of sport science*, 19: 727-733.
- [21] Landers, D.M., Petruzzello, S.J., Salazar, W., Crews, D.J., Kubitz, K.A., Gannon, T.L. Han, M.W., (1991). The influence of electrocortical biofeedback and performance in pre-elite archers [J]. *Medicine & Science in Sport and Exercise*, 23: 123-129.
- [22] Davidson, R.J. (1988). EEG measures of cerebral asymmetry: conceptual and methodological issues [J]. *International Journal of Neuroscience*, 39: 71-89.
- [23] Saarela, P.I. The effects of mental stress on cerebral hemispheric asymmetry and psychomotor performance in skilled marksmen. Unpublished doctoral dissertation, University of Maryland.
- [24] Bear, M.F., Connors, B.W., & Paradiso, M.A. (1996). Neuroscience: Exploring the brain [M]. Baltimore: Williams &



- Wilkins. 374-401.
- [25] Kerick, S.E., Iso-Ahola, S.E., & Hatfield, B.D. (2000). Psychological momentum in target shooting: cortical, cognitive affective, and behavioral responses[J]. *Journal of sport & Exercise psychology*, 22:1-20.
- [26] Smith, M.E., McEvoy, L.K., & Gevins, A. (1999). Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition[J]. *Cognitive Brain Research*, 7:389-404.
- [27] Konttinen, N. & Lyytinen, H. (1992). Individual variability in brain slow wave, heart rate, and respiration preceding triggering in rifle shooting[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 23:110-127.
- [28] Konttinen, N. & Lyytinen, H. (1993). Individual variability in brain slow wave profiles in skilled sharpshooters during the aiming period in rifle shooting[J]. *Journal of sport & Exercise psychology*, 22:1-20.
- [29] Konttinen, N. & Lyytinen, H. (1993). Brain slow preceding time-locked visuomotor performance[J]. *Journal of sport Science*, 11:257-266.
- [30] Konttinen, N. & Lyytinen, H. (1995). Brain slow preceding reflecting successful shooting performance[J]. *Research Quarterly Exercise Sport*, 66:64-72.
- [31] Konttinen, N. & Lyytinen, H. (1998). Rifle-balancing in precision shooting: behavior aspects and psychophysiological implication[J]. *Scandinavian Journal of medicine science sports*, 8:78-83.
- [32] Konttinen, N., Lyytinen, H. & Era, P. (1999). brain slow wave potentials and postural sway behavior during sharpshooting performance[J]. *Journal of Motor Behavior*, 31:11-20.
- [33] Hung, T., Spalding, T.W. Santa Maria, & D.L. Hatfield, B.D. (2004). Assessment of reactive motor performance with event-related brain potential: attention process in elite table tennis players[J]. *Journal of sport & Exercise psychology*, 26:317-337.
- [34] Hatfield, B.D., Haufler, A.J., Hung, T., Thomas, W.S. (2004). Electroencephalography studies of skilled psychomotor performance[J]. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 21:144-156.
- [35] McArdle, W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L. (1986). Exercise physiology: Energy, nutrition, and performance[M]. Philadelphia: Lea & Febiger.
- [36] Seley, H. (1976). The stress of life[M]. New York: McGraw-Hill.
- [37] Bell, M.A. & Fox, N.A. (1996). Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: Evidence from EEG coherence[J]. *Developmental Psychobiology*, 29:551-556.
- [38] Hatfield, B.D. Cognitive neuroscience aspects of sport psychology: brain mechanisms underlying performance. 2004年第28届奥运会科学大会论文摘要汇编(光盘).

(责任编辑: 何聪)