

文章编号:1000-5471(2011)03-0064-06

心理疲劳发生的认知神经机制^①

晏双平¹, 张进辅¹, 熊春金², 甘霖³

1. 西南大学 心理学院, 重庆 400715; 2. 江西新余欧里卫生院, 江西 新余 338000;

3. 赣南师范学院 教育科学学院, 江西 赣州 341000

摘要: 心理疲劳是人们长时间从事脑力活动而形成的一种包括认知、情绪和行为改变的复杂心理现象。心理疲劳的发生有个体差异, 它与奖赏得失的衡量、错误监控受损和信息加工扰乱等因素有关。回顾近十年相关研究, 发现心理疲劳发生的神经生理机制主要涉及多巴胺、感觉运动门控、自主神经(迷走神经和副交感神经)、大脑的扣带回和基底神经节等神经系统, 认为目前对心理疲劳的研究方法和手段有待改进, 心理疲劳的各种理论观点有待整合, 对心理疲劳发生的认知机制和神经机制需作进一步深入研究。

关键词: 心理疲劳; 认知机制; 错误监控; 多巴胺

中图分类号: B845

文献标志码: A

心理疲劳是指人们在认知活动过程中, 由于长时间集中精力于工作和学习, 导致注意力集中困难、易受无关信息的干扰、工作学习效率下降, 从而体验到的一种劳累、疲乏感。心理疲劳在一定程度上影响当前工作任务的进程, 如果不注意休整和调节, 会对我们的身心健康产生重大影响。心理疲劳的发生有个体差异, 有研究表明, 除完美主义倾向者^[1-2]、高神经质者和内倾者更容易感到心理疲劳外^[3], 病理性担忧也与心理疲劳发生密切相关, 过度担忧的人更容易发生心理疲劳^[4]。Craig 等^[5]在一项心理因素影响疲劳形成的科学调查中发现, 疲劳与焦虑易感性、抑郁、较少的自我确信、规则束缚、社会勇气的缺乏、社会适应不良和低活力有关。思虑、担忧和不自信导致能量自我耗损, 使用于完成当前任务的能量大大缩水, 容易产生疲劳感, 而在疲劳状态下, 注意力难以集中, 易被无关信息干扰, 不能按时完成当前工作任务^[6]。近年来, 探索心理疲劳发生的内在认知神经机制成为研究心理疲劳的一大热点, 事件相关脑电位、肌电图、近红外光谱技术、功能性磁共振成像等技术为研究心理疲劳发生机制提供了方法上的支持, 并取得一定的成果。本文对十年来与心理疲劳相关的认知神经机制的研究成果进行了归纳评述, 以期为进一步研究心理疲劳提供参考。

1 心理疲劳发生的认知机制

1.1 心理疲劳发生与奖赏得失的衡量

通常人们认为工作时间越长, 越容易感到疲劳, 然而有研究表明, 当工作所得到的回报比较高, 长时间工作并不是有害的^[6-7]。Van der Hulst 等^[8-9]认为高酬劳的加班工作不会导致身体损害, 而低回报的工作则会导致集体损害; Tops 等^[10]在前人研究的基础上提出心理疲劳的发生可以看做是由努力和回报失去平衡而引起的, Boksem 等^[11]的脑电实验支持了 Tops 的理论, 研究结果发现, 增加的奖赏能平衡被试的付

① 收稿日期: 2010-09-09

作者简介: 晏双平(1984-), 女, 江西高安人, 硕士研究生, 主要从事人格心理的研究。

通信作者: 张进辅, 教授, 博士生导师。

出,在一定程度上抵消了疲劳的产生.

Boksem 等还从潜意识角度提出心理疲劳发生与潜意识地分析该任务是否值得消耗能量或者保存能量有关^[12],当人们预期一项任务值得去做时,从事这项任务就不容易感觉疲劳;相反,如果一项任务付出的努力多于预期的回报,人们从事该任务的动机可能降低,强迫其继续去做,就很容易感觉疲劳.他们认为,心理疲劳发生时的感觉与当能量消耗超过持续工作所得继而想放弃行为的感觉是一致的,心理疲劳现象的核心就是评估预期的奖赏和能量消耗.对工作奖赏得失的衡量从深层次来说也与该工作动机密切相关.Chaudhuri 等^[13]研究了动机与疲劳的关系后认为,人们之所以感到疲劳,至少有一部分是由于动机的缺乏而引起.

1.2 心理疲劳发生与错误监控的受损

心理疲劳的发生与监控过程受到影响有关^[14].Linden 等^[15]用威斯康辛卡片分类测验和伦敦塔测验证实心理疲劳确实与受损的控制执行有关,并发现在心理疲劳状态下执行控制能力受到损害;Lorist 等通过认知任务诱发被试心理疲劳后,也发现心理疲劳与受损的认知监控和错误监控能力下降有关^[16];Boksem 等^[11]用错误相关负波、N2 和伴随性负电位对心理疲劳状态下监控的不同水平进行了深入研究,在诱发被试心理疲劳后发现,被试的错误负波 ERN/NE 波减少,表明认知系统不检测错误的行为,行为反应监控受到损害.因为错误监控是通过错误负波 ERN/NE 来反映,错误监控能力降低故而不能及时调整错误行为;Kato 等^[17]也发现在心理疲劳状态下反应抑制过程受损、错误监控的效能降低,并且反应执行的紧张度受到损害.

1.3 心理疲劳发生与信息加工的扰乱

早在 1943 年 Bartlett^[18]就发现心理疲劳最难以执行自上而下的加工.心理疲劳影响自上而下加工的结果是行为“逃脱”控制,无关注意增加且倾向于犯错误,这也是疲劳发生时的典型表现^[15].一般疲劳状态时人们做出的计划准备和设定的目标在当前状态下很难发生作用,容易受无关信息的干扰而偏离当前目标和计划.Lorist^[19]通过时间任务诱发心理疲劳,用目标行为和冲突决策的脑电数据来研究心理疲劳在计划和目标导向行为中的影响,结果发现,先前信息随着心理疲劳的加深其影响在减少^[20],心理疲劳影响或者损害了自上而下的加工.

局部加工依靠自上而下加工,反应时间比整体加工要慢^[21].因为整体加工的执行是一个相对迅速和自动的过程,心理疲劳的状态下,局部加工比整体加工扰乱更严重^[22],疲劳中的个体一般较少地分析信息加工过程,对于细节或者要求更多精细加工过程^[23]更难以集中,因为精细加工需要消耗心理努力,而疲劳状态下个体是很难从事需要心理努力的任务^[24].Linden 和 Eling 研究发现,与整体加工相比,局部加工在疲劳状态下受到更多影响.疲劳的被试与没有疲劳的被试相比反应时间比较慢,且局部加工时间与整体加工反应时间相比,约延长了 30%左右^[22].局部加工受到扰乱与注意力集中困难密切相关,在疲劳状态下很难将注意力保持在当前任务上,且容易受环境中无关信息的影响,Boksem 等^[20]的脑电实验也证明心理疲劳影响注意力集中.自上而下加工和局部加工在逻辑上其实是一致的,反映的都是在心理疲劳状态下信息加工受到影响或者扰乱.

2 心理疲劳发生的神经机制

心理疲劳的发生与从事紧张的脑力劳动密切相关,它是大脑皮层和神经系统进入抑制状态而引起的主观疲劳感,其神经生理机制涉及神经递质、自主神经、感觉运动门控、脑中枢神经等一系列神经系统.

2.1 心理疲劳与神经递质多巴胺

神经递质涉及运动中枢性疲劳和慢性疲劳综合症的相关研究已取得突破性进展,涉及的神经递质有 5-羟色胺、氨基酸类、乙酰胆碱等,但是这些神经递质对心理疲劳的影响的研究则相对较少,目前仅有研究如:Watanabe^[25]等发现饮食补充的肌酸能降低通过不断重复数学计算诱发的心理疲劳的影响;Nozaki^[26]等在心理和身体疲劳发生时生化物质如何改变的研究中,通过 8 个小时精神任务诱发心理疲劳后,发现血浆中缬氨酸水平降低;Sarter^[27]等人研究表明,长时间工作可能降低前额皮质中乙酰胆碱的活性,从

而导致注意力和控制能力的降低,使目标变得不那么有吸引力。

而对于多巴胺与心理疲劳之间的关系的研究,则相对成熟。多巴胺是所有奖赏通路最终的神经递质,同时也是第一个被验证在中枢性疲劳中起作用的神经递质^[28]。多巴胺神经功能的一个重要特征是在平衡状态下对改变很敏感,通过神经信号传递到大脑中枢引起脑内环境的改变,并为恰当的行为改变提供可能^[29]。Chaudhuri 等^[13]在临床研究发现心理疲劳发生时多巴胺活性有降低的倾向;Lorist 等^[11, 14, 16, 19]做了一系列与心理疲劳相关的研究,也发现在心理疲劳的状态下多巴胺确实有降低的倾向,特别是在认知引起的疲劳中,多巴胺起着重要的作用;Boksem 和 Tops^[12]根据前人的研究结果提出,连接心理疲劳与奖赏得失的神经物质很可能就是多巴胺。心理疲劳发生时大脑内多巴胺水平降低,而多巴胺也是奖赏通路最终的神经递质^[30],多巴胺水平的降低影响奖赏得失的评估。多巴胺还是一种与愉悦感、成瘾有关的神经递质^[29],心理疲劳发生时愉悦感降低,推测可能与多巴胺活性下降有关。Lorist 等^[31]用脑电相干分析方法研究心理疲劳和动机对神经网络动态的影响,也发现多巴胺能够调节系统,是心理疲劳的一个基本机制。

2.2 心理疲劳与感觉运动门控

感觉运动门控是指去除无关感觉信息的干扰以保证中枢神经系统对有意义的感觉信息进行深度编码的神经控制机制^[32],它具有阻止新异信息对正在处理的信息进行干扰的作用,在认知控制和注意中起重要的作用^[33]。感觉运动门控有一种模型是惊跳反射的前脉冲抑制,前脉冲抑制是指在强的惊跳反射刺激之前出现在一定时间内的弱感觉刺激对惊反射所产生的抑制作用。有趣的是,疲劳状态与感觉运动门控功能下降时的现象相似,即容易被无关信息或者自动连串的无关信息的干扰。Vander Linden 等^[34]用肌电图研究记录疲劳与不疲劳被试前脉冲抑制状况来分析感觉运动门控与心理疲劳的认知神经机制,结果发现,与不疲劳的被试相比,疲劳的被试前脉冲抑制显著降低,可能的解释是心理疲劳确实扰乱了感觉运动门控,因为感觉运动门控影响认知加工,而心理疲劳的表现与认知控制的损害有关,这在一定程度上解释了心理疲劳发生的现象。该研究还推测前脉冲抑制扰乱可能与多巴胺活性的降低有关,因为多巴胺是一种用来帮助细胞传送脉冲的神经传导物质。Ellenbroek 等^[35]也发现内侧前额叶皮质中的多巴胺拮抗者会导致前脉冲抑制的降低。

2.3 心理疲劳与自主神经

对心理疲劳的评估很多是通过与自主神经系统相连的参数指标来反映,如心率变异性 and 瞳孔直径大小。有研究表明,慢性疲劳症患者中的自主神经功能是失调的^[36],说明自主神经系统与疲劳的发生有关,但对于健康人的心理疲劳,是否也与自主神经的功能改变有关呢? Tanaka 等^[37]的研究支持了这种假设。他以正常健康的被试为对象诱发心理疲劳后,让被试在疲劳阶段完成认知任务,实验过程中,用心电图检测和记录自主神经系统的活性,发现心理疲劳时交感神经活性增强,而迷走神经活性降低;Toichi 和 Kamio^[38]的研究也表明由于心理负荷,迷走神经的活性会降低。

2.4 心理疲劳发生的主要脑区域定位

奖赏得失、错误监控和信息加工等脑区域的活动变化在一定程度上也反映心理疲劳发生时的脑区活动,心理疲劳发生时主要与纹状体—丘脑—大脑中的多巴胺功能受限有关^[13, 39]。奖赏系统中多巴胺传播路径和基底神经节的传出神经的对象主要是扣带回、眶额皮质、基底外侧杏仁核和脑岛等,且伏核和中脑多巴胺的活性也通过努力与回报的奖赏得失来调节^[12]。奖赏系统整合各种刺激事件和行为,与奖赏系统中脑区域活动一起评估奖赏事件的进行。错误反应监视系统位于基底神经节上并产生错误的信号,而这个错误信号能激活网状的多巴胺系统,同时多巴胺活性也被扣带回上错误负波引出,错误负波产生区域是纹状体和扣带回^[40]。扣带回的监控功能依靠多巴胺能的输入,而在心理疲劳的状态下很难保持纹状体和扣带回中多巴胺的传递水平,认知监控受到损害^[16]。故扣带回功能改变可能也是心理疲劳发生的一种神经机制。

Murata 等^[41]发现可以用 P300 总平均波幅和每个波幅之间的时间函数来评估心理疲劳。P300 的成分作为信息加工过程的标志或者用来测量心理负荷逐渐得到重视,它的波幅会随着认知难度而逐渐降低。P300 的波幅和潜伏期变化可以反映心理疲劳时的脑电活动。Suda 等^[42]采用近红外光谱技术研究了心理疲劳发生时的脑区域活动,实验通过近红外光谱图观察健康被试心理疲劳的主观感觉与大脑活动,发现心理

疲劳的主观感觉与大脑额叶腹侧的反应减弱有关。

3 总 结

近十年来,虽然先进的研究手段如功能磁共振等为研究心理疲劳提供了技术上的支持,但是由于心理疲劳现象的复杂性,目前对心理疲劳的研究还存在一些局限性。

首先,对心理疲劳的定义还存在分歧。心理疲劳是一个日常概念,由于每个研究者对它内涵的把握有其主观差异,使心理疲劳的研究成果难以达成一致。同时心理疲劳是一个跨心理学和生理学等学科的概念,其概念系统的构建应该采取心理与生理结合的方式和取向。第二,对心理疲劳的认知神经机制的研究还处于初级阶段,很多研究不彻底,很多结论仍是推测性的,如心理疲劳与前脉冲抑制有关系,但两者的交互作用也可能发生在不同的神经生物水平,但具体是哪一神经生物水平还需进一步研究;心理疲劳的神经通道和神经化学物质还不清晰,心理疲劳发生时激活的脑区也没有形成系统的看法。第三,研究方法上,可以采用同时记录脑电图(EEG)和fMRI数据,在更精确的神经网络动态中展现心理疲劳随时间变化而形成的丰富信息。心理疲劳影响的高水平的认知活动涉及的脑区应该是整体的,对心理疲劳的研究应该整合信息加工过程的脑区域功能,深入彻底地了解心理疲劳发生的机制。最后,心理疲劳与奖赏得失的衡量、错误监控受损、信息加工扰乱、多巴胺活性降低和感觉运动门控受损等有关,它们之间具体是怎样的关系?是否存在一个综合的系统机制?这些问题都有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] MAGNUSSON A E, NIAS D K B, WHITE P D. Is Perfectionism Associated with Fatigue? [J]. *Journal of Psychosomatic Research*, 1996, 41(4): 377—383.
- [2] CHANTAL A, ARPIN-CRIBBIE, ROBERT A. CRIBBIE. Psychological Correlates of Fatigue; Examining Depression, Perfectionism, and Automatic Negative Thoughts [J]. *Personality and Individual Differences*, 2007(43): 1310—1320.
- [3] PRINS J B, BLEIJENBERG G, VANDER J W M. Chronic Fatigue Syndrome-Reply. *Lancet* [J]. 2006(43): 1575—1575.
- [4] ANDREA H, BEURSKENS A, KANT I J, et al. The Relation Between Pathological Worrying and Fatigue in a Working Population [J]. *Journal of Psychosomatic Research*, 2004, 57(4): 399—407.
- [5] CRAIG A, TRAN Y, WIJESURIYA N, et al. A Controlled Investigation Into the Psychological Determinants of Fatigue [J]. *Biological Psychology*, 2006, 72(1): 78—87.
- [6] HOCKEY G R J, EARLE F. Control Over the Scheduling of Simulated Office Work Reduces the Impact of Workload on Mental Fatigue and Task Performance [J]. *Journal of Experimental Psychology-Applied*, 2006, 12(1): 50—65.
- [7] PARK J S, KIM Y H, CHUNG H K, et al. Long Working Hours and Subjective Fatigue Symptoms [J]. *Industrial Health*, 2001(39): 250—254.
- [8] VANDER HULST M, GEURTS S. Associations Between Overtime and Psychological Health in High and Low Reward jobs [J]. *Work Stress*, 2001(15): 227—240.
- [9] VANDER HULST M. Long Workhours and Health [J]. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 2003, 29(3): 171—188.
- [10] TOPS M, LORIST M M, WIJERS A A, et al. O Stress or Relax; Neurochemical Aspects of Activity and Rest [J]. *Ge-drag Organisatie*, 2004(T17): 32—42.
- [11] BOKSEM M A S, MEIJMAN T F, LORIST M M. Mental Fatigue, Motivation and Action Monitoring [J]. *Biological Psychology*, 2006, 72(2): 123—132.
- [12] BOKSEM M A S, TOPS M. Mental Fatigue: Costs and Benefits [J]. *Brain Research Reviews*, 2008, 59(1): 125—139.
- [13] CHAUDHURI A, BEHAN P O. Fatigue and Basal Ganglia [J]. *Journal of the Neurological Sciences*, 2000, 179(1—2): 34—42.
- [14] LORIST M M, KLEIN M, NIEUWENHUIS S, et al. Mental Fatigue and Task Control: Planning and Preparation [J]. *Psychophysiology*, 2000, 37(5): 614—625.

- [15] VANDER LINDEN D, FRESE M, MEIJMAN T F. Mental Fatigue and the Control of Cognitive Processes: Effects on Perseveration and Planning [J]. *Acta Psychologica*, 2003(113): 45—65.
- [16] LORIST M M, BOKSEM M A S, RIDDERINKHOF K R. Impaired Cognitive Control and Reduced Cingulate Activity During Mental Fatigue [J]. *Cognitive Brain Research*, 2005, 24(2): 199—205.
- [17] KATO Y, ENDO H, KIZUKA T. Mental Fatigue and Impaired Response Processes: Event-related Brain Potentials in a Go/NoGo Task [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2009, 72(2): 204—211.
- [18] BARTLETT F C. Fatigue Following Highly Skilled Work [J]. *Proceedings of the Royal Society*, 1943(B131): 247—257.
- [19] LORIST M M. Impact of Top-down Control During Mental Fatigue [J]. *Brain Research*, 2008(1232): 113—123.
- [20] BOKSEM M A S, MEIJMAN T F, LORIST M M. Effects of Mental Fatigue on Attention: an ERP Study [J]. *Cognitive Brain Research*, 2005, 25(1): 107—116.
- [21] MILLER J, NAVON D. Global Precedence and Response Activation: Evidence from LRPs [J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section a-Human Experimental Psychology*, 2002, 55(1): 289—310.
- [22] VANDER L D, ELING P. Mental Fatigue Disturbs Local Processing More than Global Processing [J]. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 2006, 70(5): 395—402.
- [23] HOCKEY G R J. Compensatory Control in the Regulation of Human Performance Under Stress and High Workload: A Cognitive-energetical Framework [J]. *Biological Psychology*, 1997, 45(1—3): 73—93.
- [24] HANCOCK P A, DESMOND P A. *Stress, Workload, and Fatigue* [M]. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associate, 2001.
- [25] WATANABE A, KATO N, KATO T. Effects of Creatine on Mental Fatigue and Cerebral Hemoglobin Oxygenation [J]. *Neuroscience Research*, 2002, 42(4): 279—285.
- [26] NOZAKI S, TANAKA M, MIZUNO K, et al. Mental and Physical Fatigue-related Biochemical Alterations [J]. *Nutrition*, 2009, 25(1): 51—57.
- [27] SARTER M, GEHRING W J, KOZAK R. More Attention Must Be Paid: The Neurobiology of Attentional Effort [J]. *Brain Research Reviews*, 2006, 51(2): 145—160.
- [28] 刘瑾彦. 神经递质和调质对运动性中枢疲劳影响的研究进展 [J]. *体育学刊*, 2002, 9(6): 55—58.
- [29] 沃尔夫. 脑的功能: 将研究结果应用于课堂实践 [M]. 北京师范大学“认知神经科学与学习”国家重点实验室, 脑科学与教育, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
- [30] 许望超. 脑奖赏系统研究进展 [J]. *广州医药*, 2008, 39(2): 1—2.
- [31] LORIST M M, BEZDAN E, TENCAAT M, et al. The Influence of Mental Fatigue and Motivation on Neural Network Dynamics; an EEG Coherence Study [J]. *Brain Research*, 2009(1270): 95—106.
- [32] 李 量, 邵 枫. 精神分裂症的听感觉运动门控障碍的动物模型 [J]. *科学通报*, 2003, 48(15): 1603—1611.
- [33] BITSIOS P, GIAKOUMAKI S G, FRANGOU S. The Effects of Dopamine Agonists on Prepulse Inhibition in Healthy Men Depend on Baseline PPI Values [J]. *Psychopharmacology*, 2005, 182(1): 144—152.
- [34] VANDER LINDEN D, STIJN A A, Massar, Arnt F. A. Schellekens, Bart A. Ellenbroek, Robbert-Jan Verkes. Disrupted Sensorimotor Gating Due to Mental Fatigue: Preliminary Evidence [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2006(62): 168—174.
- [35] ELLENBROEK B A, BUDDE S, COOLS A R. Prepulse Inhibition and Latent Inhibition: The Role of Dopamine in the Medial Prefrontal Cortex [J]. *Neuroscience*, 1996, 75(2): 535—542.
- [36] NEWTON J L, OKONKWO O, SUTCLIFFE K, et al. Symptoms of Autonomic Dysfunction in Chronic Fatigue Syndrome [J]. *Qjm-an International Journal of Medicine*, 2007, 100(8): 519—526.
- [37] TANAKA M, MIZUNO K, TAJIMA S, et al. Central Nervous System Fatigue Alters Autonomic Nerve Activity [J]. *Life Sciences*, 2009, 84(7—8): 235—239.
- [38] TOICHI M, KAMIO Y. Paradoxical Autonomic Response to Mental Tasks in Autism [J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2003, 33(4): 417—426.
- [39] LORIST M M, TOPS M. Caffeine, Fatigue, and Cognition [J]. *Brain Cognitive*, 2003(53): 82—94.
- [40] HOLROYD C B, COLES M G H. The Neural Basis of Human Error Processing: Reinforcement Learning, Dopamine, and the Error-related Negativity [J]. *Psychological Review*, 2002, 109(4): 679—709.

- [41] MURATA A, UETAKE A, TAKASAWA Y. Evaluation of Mental Fatigue Using Feature Parameter Extracted from Event-related Potential [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, 35(8): 761—770.
- [42] SUDA M, FUKUDA M, SATO T, et al. Subjective Feeling of Psychological Fatigue is Related to Decreased Reactivity in Ventrolateral Prefrontal Cortex [J]. *Brain Research*, 2009(1252): 152—160.

Cognitive and Neural Mechanism of Mental Fatigue

YAN Shuang-ping¹, ZHANG Jin-fu¹, XIONG Chun-jin², GAN Lin³

1. School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Rural Township Hospital Ouli Xinyu Jiangxi, Xinyu Jiangxi 338000, China;

3. School of Educational Science, Gannan Normal University, Ganzhou Jiangxi 341000, China

Abstract: Mental fatigue is a complex psychological phenomenon involving changes in cognition, emotion and behavior resulting from people engaging in long-time mental activity. There are individual differences in the occurrence of mental fatigue. Its occurrence is relevant to the reward measure of gains and losses, impaired error monitoring, information processing disruption, and so on. Based on reviewing the research over the past decade, the authors found the neural mechanisms of mental fatigue mainly involved dopamine, sensorimotor gating, autonomic nervous system (vagus nerve and parasympathetic), the brain's cingulate gyrus and basal ganglia and other neural basis. The research methods and means of mental fatigue need to be improved; various theoretical perspectives of mental fatigue need to be integrated. Moreover, researches on the cognitive and neural mechanisms of mental fatigue are immature, and need to be deepened and improved.

Key words: mental fatigue; cognitive mechanism; error monitoring; dopamine

责任编辑 胡 杨