

生理经济学

刘承宜^{*}, 任占兵²

(1 华南师范大学激光运动医学实验室, 广东广州 510631; 2 广州体育学院, 广东广州 510500)

摘要: 功能内稳态(FSH)用负反馈的方式维持功能特异的涨落, 实现功能充分稳定的发挥. FSH特异的应激因子(FSSR)打破FSH. FSH特异的应激(FSH-specific stress, FSS)是系统对FSSR的响应, 也可以处于FSS特异的内稳态(FSS-specific homeostasis, FSSH). 处于FSSH的FSS打破FSH1, 建立FSH2, 称为成功应激. Sirtuin 1(SIRT1)是烟酰胺腺嘌呤二核苷酸辅酶(nicotinamide adenine dinucleotide, NAD⁺)依赖的组蛋白去乙酰化酶. 人体存在FSH/FSSH特异的SIRT1活性. FSS可增加SIRT1活性. 一个人可以同时有多种FSH, {FSH_{*i*}, *i* = 1, 2, ..., *n*}. 每个FSH具有一个品质 Q_i , { Q_i , *i* = 1, 2, ..., *n*}. 定义 $Q_{max} = \max\{Q_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, 相应的功能记为 F_{max} . 最佳品质结构是金字塔形, Q_{max} 处于塔顶, 只要 F_{max} 可以获得最佳发挥, 其它品质越小越好.

关键词: 内稳态; 应激; 组蛋白去乙酰化酶; 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸辅酶

中图分类号: Q411 **文献标志码:** A

早在上世纪初就有人在《Science》提出生理经济学^[1], 但回应者只有4篇论文, 多局限在营养和运动生理学. 本文从功能内稳态(Function-specific homeostasis, FSH)^[2]的角度给出进一步的阐述.

1 功能内稳态

FSH是维持功能充分稳定发挥的负反馈机制^[2], 其品质包括功能的复杂性和功能发挥的稳定性. 负反馈机制所维持的稳定性越大, 生物系统越复杂^[3]. 蛋白质内稳态是细胞的主要FSH之一^[4]. 运动员的主要FSH为项目内稳态(sport-specific homeostasis, SpSH)^[2], 运动成绩表征了功能的复杂性, 不同时间不同地点的比赛成绩的变异系数则表征了功能发挥的稳定性.

已知, 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸辅酶(nicotinamide adenine dinucleotide, NAD⁺)依赖的组蛋白去乙酰化酶1(sirtuin 1, SIRT1)是维持FSH的重要酶之一, 存在FSH特异的SIRT1活性(FSH-specific SIRT1 activity, FSSA1)^[5]. FSH品质越高, FSSA1越高^[5]. NAD⁺与其还原形式NADH的比值(NAD⁺/NADH)越高, SIRT1活性越高^[6]. 身体各个器官或功能各自适当的SIRT1的活性是维持身体各个器官

或功能的前提^[6]. FSSA1所标志的FSH维持功能充分稳定的发挥^[5].

2 成功应激

狭义的应激通常指心理应激^[7]. 这里讨论的应激是超过FSH阈值的干扰引起的机体的相应反应, 称为FSH特异的应激(FSH-specific stress, FSS). FSH可以抵抗低于阈值的干扰, 但不能抵抗高于阈值的FSS. FSH由FSSA1维持. 饮食节制、氧化应激和多酚类物质等应激引起SIRT1活性提高^[6, 8]. 因此, 存在FSH特异的SIRT1活性势阱(FSH-specific SIRT1 activity potential well, FSAP1), FSSA1处于势阱底部, 任何应激都会使系统爬上势阱的壁.

应激是生物系统对干扰因素的适应, 其最佳发挥由应激内稳态(FSS-specific homeostasis, FSSH)维持. FSS促使功能远离FSH1, 处于FSSH的应激会进一步建立FSH2. 因此, 处于FSSH的应激成功地实现了从FSH1向FSH2的跃迁, 又可以称为成功应激. 运动应激可以打破SpSH. 成功的运动应激可以将低品质的SpSH1跃迁为高品质的SpSH2.

一个调节如果不能调节成功应激或处于FSH的功能, 但可以调节远离FSSH的应激或远离FSH

的功能,称为低水平调节(low level modulation, LIM).低水平激光治疗(low level laser therapy, LLLT)属于LIM.我们的研究发现,LLLT可以调节 NAD^+ / $NADH$ 和SRT1活性,帮助远离FSSH的应激恢复FSSH,帮助远离FSH的功能恢复FSH,具有广泛的治疗作用^[2-5].提高运动强度可以引起骨骼肌的运动应激,表现为延迟性肌肉酸痛(delayed onset muscle soreness, DOMS).除非有疲劳积累等其他应激因素干预,DOMS处于蛋白质代谢内稳态,不但可以正常康复,而且不受烟酸^[9]或其他LIM的影响.力竭性离心运动诱导的DOMS远离蛋白质代谢内稳态,LLLT^[10]或其他LIM都可以促进DOMS的康复.

3 多重应激或慢性应激

同时有多个功能面临应激称为多重应激.FSSH品质很低,容易被额外的应激所打破.同时面临多重应激会面临更严重的困难.应激对SRT1活性的升高^[6-8],会消耗 NAD^+ .如果只有一种功能面临应激,机体也许可以处于FSSH.如果同时有多个功能面临应激,机体的 NAD^+ 池也许会枯竭,导致机体不得不寻求外在的帮助或治疗.如果帮助或治疗不及时,多重应激就会导致疾病的发生.只要不受到疲劳和感染,健康人的伤口可以正常愈合,糖尿病或癌症等患者的伤口愈合受到延迟^[11],需要激光^[12]等方法治疗.胰岛淀粉样多肽(islet amyloid polypeptide, IAPP)可以诱导 β 细胞内质网的应激.MATVEYENKO等^[13]研究了野生和IAPP转基因两种大鼠对高脂饮食的应激反应.发现野生大鼠可以适应高脂饮食,但IAPP转基因大鼠罹患了糖尿病.

如果多种功能面临不能建立FSSH的慢性应激,机体 NAD^+ 池的持续消耗,会导致需要高水平 NAD^+ / $NADH$ 维持的高品质的FSH无法维持,机体只能维持低水平 NAD^+ / $NADH$ 所能维持的低品质的FSH.DIAS-FERREIRA等^[14]对慢性压力对大鼠脑子的与目标导向行为有关的边缘前皮层和背内侧纹状体这2个形成习惯所必需的脑区域的影响进行了调查.社交挫折、强迫性游泳和约束三种之一随机选择,每天1次,持续21天,形成慢性应激.与正常、对照组的大鼠不同,那些反复接触压力刺激的大鼠会一直按压同一根杠杆,哪怕这样做已经不再会带来最好的奖励.他们发现,与正常大鼠脑相比,这些受到压力的大鼠脑边缘前皮层及背内侧纹状体已经

萎缩,而其背外侧纹状体则增大.DIAS-FERREIRA等^[14]的研究提示,长期的压力会影响脑内的神经连接,使得动物会按照习惯而做出低品质FSH所能维持的固定程序的决定,而非根据具体问题做出具体的决定.选择是日常生活经常遇到的一种应激.根据特别的因果关系成功地选择某种做法属于一种成功应激.这是日常生活所必需的,但需要一定量的 NAD^+ / $NADH$,而受到长期压力的动物可能无法提供这样水平的 NAD^+ / $NADH$.中年持续一个月或以上的激惹、紧张、神经紧张、焦虑、害怕或者睡眠问题容易导致晚年的阿尔茨海默氏病(Alzheimer's disease, AD)^[15].

4 局部经济学

应激打破FSH,引起SRT1活性的升高,后者需要 NAD^+ 支撑.远离FSH不但引起功能失调,而且耗费的 NAD^+ 增加.因此,处于FSH是生理上最经济的策略,不但功能得到充分稳定的发挥,而且所耗费的 NAD^+ 最少.

维持FSH的条件很多,但FSH所必需的条件并不多,有稀疏编码、工作记忆、“无脑人”和盲人幸运射手等典型的例子^[2].蛋白质内稳态由蛋白质降解和蛋白质折叠这2个阴阳过程的阴平阳秘来维持^[4].我们在优秀运动员SpSH的代谢组学研究中发现了类似的SpSH必需条件稀疏的现象^[16].当时中国游泳运动员正在为一个月后参加2006年多哈亚运会进行训练,我们获得了其中18名男运动员的晨尿,连续3周,每周1次,并用核磁共振分析.每个尿样获得409个数据.运动员参加比赛的成绩可以分为决赛组和非决赛组.通过主成份分析发现,只要2个主成份就可以将运动员分为决赛组和非决赛组.这2个主成份是所有主成份中最稳定的主成份.

低强度激光(low intensity laser irradiation, LIL)治疗属于LLLT.大鼠钝挫伤后第1天起连续10天实施LIL照射.LIU等^[17]发现LIL可以同时促进超氧化物歧化酶(superoxidase dismutase, SOD)作用、调节胰岛素类生长因子1(Insulin-like growth factor-1, IGF-1)信使核糖核酸(messenger ribonucleic acid, mRNA)的表达和转化生长因子 β_1 (transforming growth factor- β_1 , TGF- β_1)水平.如果将TGF- β_1 与IGF-1相关的过程分别看作成肌细胞增殖与分化的阴阳,LIL的作用揭示了钝挫伤康复的内稳态特征.钝挫伤后第1天是阴阳互补.启动成肌细

胞增殖;第 3 天是阴阳拮抗,成肌细胞增殖与分化的过渡期;第 7 天是阴阳互补,成肌细胞分化;第 2 和 3 周是阴阳拮抗,肌管分化和成熟的过渡期;第 4 周是阴阳互补,肌管成熟,肌肉再生完成.显然,肌肉再生过程的精细的阴平阳秘维持了钝挫伤的康复内稳态.

来自烟酸等营养的 NAD^+ 是有限的^[18]. 应激消耗 NAD^+ . 我们的研究表明,处于增殖内稳态的成肌细胞或 PC12 细胞增殖速度最快,高低糖都会降低增殖速度,引起 NAD^+ 水平的增高和 SIRT1 活性的增高. 应激越多,机体 $NAD^+ / NADH$ 所能维持的 FSSA1 越低,相应的 FSH 品质越低. 减少甚至消除应激,是建立 $NAD^+ / NADH$ 较高的 FSH 的必需条件. 我们对参加多哈亚运会的中国游泳运动员晨尿的代谢组学研究结果^[16]表明,决赛组的甲基尼克酰胺高于非决赛组,但前者的氨基酸浓度低于后者. 甲基尼克酰胺是烟酸的代谢产物,其水平较高说明高水平运动员 NAD^+ 较高. 氨基酸与肌肉损伤相关,其水平较低说明高水平运动员应激较少. 显然,降低应激与增高 NAD^+ 是一致的,说明降低应激是提高运动员水平的一条有效途径.

5 整体经济学

默认网络 (default network DN) 现象是大脑工作经济性的一种体现. DN 激活是大脑在无目标行为下的状态. 目标行为会导致 DN 去激活^[19]. 经常性的有目标行为当然处于行为内稳态,因此,有目标行为是一种无意识的行为^[20]. PHLA JAM ÄK I 等^[21]比较了不同老人 DN 去激活的情况. 他们发现,从正常衰老、轻度认知功能障碍到 AD 患者, DN 去激活的程度越来越低. PARK 等^[19]进一步比较了年轻人和老年人 DN 的去激活现象. 发现完成类似的任务,年轻人 DN 去激活程度高于老年人. 脑中淀粉样蛋白斑块是 AD 的元凶. MAWUENYEGA 等^[22]指出,导致 AD 的原因是清除淀粉样蛋白太慢. 只有去激活的 DN 有清除淀粉样蛋白的能力. KILLING-SWORTH 等^[23]指出,散漫的思想 (DN 没有去激活) 会导致不高兴. 因此,高兴与经济性有直接关系,大脑在高兴时才会清除淀粉样蛋白. 流行病学揭示^[24]抑郁和 AD 常常同时发生,早年的抑郁是引发 AD 的重要危险因素之一.

DN 现象进一步可以拓展研究整体经济学. 人体功能 F 的充分稳定发挥由 $F SH$ 的维持 相应的

FSSA1 记为 $F_i SSA 1 (i = 1, 2, \dots, N)$, 后者必须由相应的 NAD^+ 来维持. 来自烟酸等营养的 NAD^+ 是有限的^[18]. 人体 NAD^+ 池的容量有限, N 值越大, 每个功能 F_i 分配到的 NAD^+ 越有限, 相应的 $F_i SH$ 即使能够建立, 其品质 $Q_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 也不会很高. 展现同样的功能, 营养消耗越少, 相应的 FSH 的品质越高. HUG 等^[25]的研究表明, 大学生与优秀自行车运动员完成同样的自行车运动, 后者运动时所消耗的磷酸肌酸显著低于前者, 后者运动后 pH 值的康复显著快于前者. SEDANO 等^[26]从身体特征和无氧体能两方面研究了优秀女足运动员与普通女足运动员的区别. 他们发现, 不同水平女足运动员身体特征方面的差异显著, 但爆发力和踢球速度等无氧体能差异不显著, 并进一步发现球场上不同位置的球员所要求的无氧体能不同.

令 $Q_{max} = \max \{Q_i, i = 1, 2, \dots, n\}$, 相应的功能记为 F_{max} , 相应的功能内稳态记为 $F_{max} SH$. 显然, 形成以 $F_{max} SH$ 为顶点的金字塔形的 FSH 组合 $\{F_i SH, i = 1, 2, \dots, N\}$ 是最经济的人体活动模式. 跑步经济学 (running economy RE) 和体能训练是这方面的典型例子. SAUNDERS 等^[27]发现, 高住低训 (live high (simulated altitude of 2 000 ~ 3 100 m) - train low (natural altitude of 600 m)) 可以改善优秀耐力运动员的 RE. 对影响跑步经济性的动作表现的初步研究^[28-30]表明, 跑步经济性的影响因素是多方面的, 单纯的运动学、动力学都不足以解释中长跑运动员个体间 RE 的差异. 该研究说明, 跑步经济性是一个整体概念, 它是由人体 FSH 整体稳定发挥的结果, 跑步经济性表现得越好, 其 FSH 的整体品质表现越好.

刘承宜等^[2]研究发现, 成长阶段 Q_{max} 上升, 衰老阶段 Q_{max} 下降, 峰值对应的年龄为最佳年龄 h , 人的最可几寿命 $y = 2h + 1$. 令 $SIRT1_{max} = \max \{F_i SSA 1, i = 1, 2, \dots, n\}$. Q_{max} 越高, $SIRT1_{max}$ 越高. 因此, 成长阶段 $SIRT1_{max}$ 上升, 衰老阶段 $SIRT1_{max}$ 下降, 峰值对应的年龄与 Q_{max} 一样, 为最佳年龄 h . 无论是成长, 还是衰老, 都实现了不同 FSH 的成功转换, 因此, 整个一生属于人生内稳态 (life-specific homeostasis LSH) 这个成功应激. 寿命标志了 LSH 的品质. 寿命越长, LSH 的品质越高. 来自烟酸等营养的 NAD^+ 是有限的^[18]. 应激或疾病对 NAD^+ 的消耗会妨碍 $SIRT1_{max}$ 的升高或维持, 降低 LSH 的品质. FONTANA 等^[31]的研究表明, 节制饮食可以提升 LSH 的品质 延长寿命

一个人越早发现 F_{max} , 其 Q_{max} 可以提升的程度越高. 最近的研究发现^[32], 大鼠刚出生时可能已具备空间认知能力. ZHOU 等^[33]指出, 人们会在视野中寻找已经闻到味道的东西.

选择 F_{max} 是不可逆转的. TASHIRO 等^[34]发现选择让哪些新神经元存活取决于它们的突触输入. 不同的选择方式会维持相关的神经元存活, 但却会导致不相关的神经元死亡. 该发现为在学习和记忆过程中新的、但却一致的神经回路的建立提供了一个可能的机制.

6 生存经济学

如果身体的各种功能处于相应的 FSH, 其发挥则不受饮食和环境的影响. 如果有部分功能失调, 就需要饮食或环境调节. 值得指出的是, 鉴于诊断的误差, 饮食或环境调节的特异性越强, 浪费的可能性越大. 这里着力推荐的是一种自适应调节, 调节因素会自动寻找需要调节的地方, 并且促进 FSH 的建立.

西药寻找特异性靶点, 中药寻找特异性功能, LLLT 则寻找远离 FSH 的功能或远离 FSSH 的 FSS. 根据功能离 FSH 的远近或 FSS 离 FSSH 的远近, LLLT 会自动调节本身的效应. 一旦功能处于 FSH 或 FSS 处于 FSSH, LLLT 就不再产生任何作用. 显然, LLLT 的作用具有自适应特性. LU 等^[17]的研究发现, 7天以前, LIL 促进 SOD 活性, 但 14天以后 SOD 活性达到正常水平, LIL 就不再起作用; 7天以前, LIL 促进 IGF-1 的 mRNA 的表达, 第 14天和第 21天则抑制 IGF-1 的 mRNA 表达, 但对第 28天 IGF-1 的 mRNA 没有显著性影响; 7~21天 LLLT 提高 TGF- β_1 的水平, 但在第 28天则降低 TGF- β_1 的水平. 因此, LLLT 是预防和处理多重应激的良好方法.

阳光影响疾病发生率或死亡率、功能失调、生长和衰老, 中医用五行学说进行了很好的总结. 由于生物进化产生的生物适应, 阳光中的绿、蓝或紫等冷光和红、橙或黄等暖光的效应是相互拮抗的^[2], 只有被鼻甲衰减后的鼻腔中的光在阳光效应中起了重要作用. 太阳照射人体, 会在鼻腔内留下剩余阳光 (residue of external sunlight in nasal cavity, RSN). 冷光和紫外等短波部分被鼻甲衰减, RSN 主要是暖光和红外等长波部分, 可以产生类似于鼻腔内低强度激光照射疗法 (intranasal low intensity laser therapy, LLT)^[21]一样的作用. 相应的机理称之为类 ILILT

机理 (ILILT-like mechanism, ILILM).

LLLT 只调节远离 FSH 的功能或远离 FSSH 的 FSS 对处于 FSH 的功能或成功应激无效. 因此, LLLT 没有任何毒副作用, 与每日的阳光照射一样可以长期使用. 一般的饮食或药物作用存在疗程的概念, 是因为饮食或药物具有特异的作用靶点和副作用. 凡是药物都需要肝肾代谢, 对肝肾产生压力. LLLT 效果的降低意味着所调节的功能已经处于 FSH 或所调节的 FSS 已经处于 FSSH. 要进一步获得 LLLT 的疗效, 可以利用体育锻炼等应激因素打破 FSH. LLLT 可以促进应激成为成功应激, 具有促进健康的功能.

7 讨论

从应激方面可以比较出中西文化的差异. 西方文化是法制文化, 各行各业存在的规则都有明文可查, 人们的行为长期遵循规则或法制形成了相应的行为内稳态. 遵循规则或法制成为无意识的自动行为. 规则或法制的修改虽然有应激, 但由具有较高专业水平的专家去应付. 每个人都有自己的专业, 专业之外遵循规则或法制, 只消耗最低水平的 NAD^+ , 大量的 NAD^+ 用于专业挑战.

中国文化则是人制文化, 有规则或法制难依, 潜规则难数, 引发应激的几率不可预测, 大量应激消耗了人们的大量 NAD^+ , 即使专业人员也很难有足够的 NAD^+ 用于专业挑战, 造成社会资源和个人精力的大量浪费.

中国的文化能够延续千年与农耕文明是分不开的. 农民多以素食为主, 素食中的大量多酚类物质可以帮助提高 FSSA1 活性, 有助于应付应激. 农民的耕作离不开太阳照射, 阳光可以通过鼻腔按照 ILILM 提高 NAD^+ 水平, 有助于应付应激. 几千年的延续, 形成了中国文化善于忍让的元素. 现代生活方式不但增加了肉食, 而且增加了室内活动. 多酚类物质和阳光的优势失去, 人们应付应激的水平大大降低.

从应激的角度来看, 法制文化是最经济的文化, 当然, 文化建设是一个漫长的过程, 即刻的应对方法应该提倡素食和使用可以代替阳光的 LLLT.

参考文献:

- [1] 著者不详. Physiological economy in nutrition[J]. Science, 1906, 24(620): 631-633.
- [2] 刘承宜 朱平 激光功能医学及其应用[M] 香港: 精

- 英出版社, 2011: 53- 413.
- [3] LESTAS I V, NINCOMBE G, PAULSSON J. Fundamental limits on the suppression of molecular fluctuations[J]. *Nature*, 2010, 467(7312): 174- 178.
- [4] HUTT D, BALCH W E. Cell biology: The proteome in balance[J]. *Science*, 2010, 329(5993): 766- 767.
- [5] 刘承宜, 李方晖, 朱玲. 组蛋白去乙酰化酶介导的动物非视觉细胞的光康复机制[J]. *中国激光*, 2009(10): 2485- 2492.
- LIU Chengyi, LI Fanghui, ZHU Ling. Sirtuins- Mediated mechanism of optical rehabilitation of animal Non- Vision cells[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009(10): 2485- 2492.
- [6] FNKEL T, DENG C X, MOSTOSLAVSKY R. Recent progress in the biology and physiology of sirtuins[J]. *Nature*, 2009, 460(7255): 587- 591.
- [7] MCEWEN B S, GIANAROS P J. Central role of the brain in stress and adaptation: links to socioeconomic status, health, and disease[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2010, 1186: 190- 222.
- [8] SAUNDERS L R, VERDIN E. Cell biology: Stress response and aging[J]. *Science*, 2009, 323(5917): 1021- 1022.
- [9] 付德荣. 运动性骨骼肌损伤及其烟酸调节的分子机制[D]. 广州: 华南师范大学, 2010.
- [10] LIU X G, ZHOU Y J, LIU T C, et al. Effects of low- level laser irradiation on rat skeletal muscle injury after eccentric exercise[J]. *Photon Laser Surg*, 2009, 27(6): 863- 869.
- [11] MENKE M N, MENKE N B, BOARDMAN C H, et al. Biologic therapeutics and molecular profiling to optimize wound healing[J]. *Gynecol Oncol*, 2008, 111(S2): 87- 91.
- [12] ZHOU J D, LUO C Q, XIE H Q, et al. Increased expression of heat shock protein 70 and heat shock factor 1 in chronic dental ulcer tissues treated with laser- aided therapy[J]. *Chin Med J Engl*, 2008, 121(14): 1269- 1273.
- [13] MATVEYENKO A V, GURLO T, DAVAL M, et al. Successful versus failed adaptation to high- fat diet- induced insulin resistance: the role of IAPP- induced beta- cell endoplasmic reticulum stress[J]. *Diabetes*, 2009, 58(4): 906- 916.
- [14] DIAS- FERREIRA E, SOUSA J C, MELO J, et al. Chronic stress causes frontostriatal reorganization and affects decision- making[J]. *Science*, 2009, 325(5940): 621- 625.
- [15] JOHANSSON L, GUO X, WAERN M, et al. Midlife psychological stress and risk of dementia: a 35- year longitudinal population study[J]. *Brain*, 2010, 133(Part 8): 2217- 2224.
- [16] 李江华, 刘承宜, 徐晓阳, 等. 2006 年多哈亚运会短距离游泳男运动员代谢组学研究[J]. *体育科学*, 2008, 28(2): 42- 46.
- LI Jianghua, LIU Chengyi, XU Xiaoyang, et al. Metabolic study on sprint swimmer participating in the 15th Doha Asian Games[J]. *China Sport Science*, 2008, 28(2): 42- 46.
- [17] LIU TCY, LUO L, ZHANG L. Self- adaptive effects of low intensity laser irradiation in prophylaxis of muscular fibrosis[J]. *Lasers Surg Med*, 2011, 43(S23): 975.
- [18] KIRKLAND J B. Niacin status, NAD distribution and ADP- ribose metabolism[J]. *Curr Pharm Des*, 2009, 15(1): 3- 11.
- [19] PARK D C, POLK T A, HEBRANK A C, et al. Age differences in default mode activity on easy and difficult spatial judgment tasks[J]. *Front Hum Neurosci*, 2010, 3: Art75, 6pp.
- [20] CUSTERS R, AARTS H. The unconscious will: how the pursuit of goals operates outside of conscious awareness[J]. *Science*, 2010, 329(5987): 47- 50.
- [21] PHILAJAMÄKIM, SPERLING R A. Functional MRI assessment of task- induced deactivation of the default mode network in Alzheimer's disease and at- risk older individuals[J]. *Behav Neuro*, 2009, 21(1): 77- 91.
- [22] MAWUENYEGA K G, SIGURDSON W, OVOD V, et al. Decreased clearance of cns {beta}- amyloid in Alzheimer's disease[J]. *Science*, 2011, DOI 10. 1126/ science. 1197623, [http:// www. sciencemag. org/ content/ early/ 2010/ 12/ 08/ science. 1197623. abstract](http://www.sciencemag.org/content/early/2010/12/08/science.1197623.abstract)
- [23] KILLINGSWORTH M A, GILBERT D T. A wandering mind is an unhappy mind[J]. *Science*, 2010, 330(6006): 932.
- [24] AZNAR S K G, KNUDSEN G M. Depression and Alzheimer's disease: Is stress the initiating factor in a common neuropathological cascade? [J]. *J Alzheimer Dis*, 2011, 23(2): 177- 193.
- [25] HUG F, GRELOT L, LE FUR Y, et al. Recovery kinetics throughout successive bouts of various exercises in elite cyclists[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2006, 38(12): 2151- 2158.
- [26] SEDANO S, VAEYENS R, PHILIPPAERTS R M, et al. Anthropometric and anaerobic fitness profile of elite and non- elite female soccer players[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2009, 49(4): 387- 394.
- [27] SAUNDERS P U, TELFORD R D, PYNE D B, et al. In-

- proved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate- altitude exposure[J]. *J Appl Physiol* 2004 96(3): 931- 937
- [28] 任占兵. 影响跑步经济性的动力学因素[J]. *体育科学*, 2010, 17(10): 95- 98
REN Zhanbing Kinetic factors that affect running economy[J]. *Journal of Physical Education*, 2010, 17(10): 95- 98
- [29] 任占兵. 影响跑步经济性的人体下肢肌肉做功研究[J]. *体育科学*, 2010 30(1): 86- 96
REN Zhanbing The impact of the lower limbs muscle work on running economy[J]. *China Sport Science* 2010 30(1): 86- 96
- [30] 任占兵, 郭元奇, 王卫星. 影响跑步经济性的运动学因素研究[J]. *北京体育大学学报*, 2010 33(4): 113- 117.
REN Zhanbing GUO Yuanqi WANG Weixing Kinematic factors affecting running economy[J]. *Journal of Beijing Sport University*, 2010, 33(4): 113- 117.
- [31] FONTANA L, PARTRIDGE L, LONGO V D. Extending healthy life span— from yeast to humans[J]. *Science*, 2010 328(5976): 321- 326
- [32] PALMER L, LYNCH G. Neuroscience A Kantian view of space[J]. *Science* 2010 328(5985): 1487- 1488
- [33] ZHOU W, JIANG Y, HE S, et al Olfaction modulates visual perception in binocular rivalry[J]. *Curr Biol* 2010 20(15): 1356- 1358
- [34] TASHIRO A, SANDLER V M, TONIN, et al NMDA- receptor- mediated cell- specific integration of new neurons in adult dentate gyrus[J]. *Nature*, 2006 442(7105): 929- 933.

PHYSIOLOGICAL ECONOMICS

LIU Chengyi¹, REN Zhanbing²

(1. Laboratory of Laser Sports Medicine, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

2. Guangzhou Institute of Physical Education, Guangzhou 510500, China)

Abstract Function- specific homeostasis(FSH) is a negative- feedback response of a biosystem to maintain the function- specific fluctuations inside the biosystem so that the function is perfectly performed. A stress is also a function of a biosystem. A FSH- specific stressor(FSSR) is so defined that it disrupts the FSH. A FSH- specific stress(FSS) of a biosystem is defined to be a response of the biosystem to a FSSR and may also be in FSS- specific homeostasis(FSSH) in which a FSS disrupts FSH1 but establish FSH2 so that it is called successful stress. There is FSH/FSSH- specific sirtuin 1(SIRT1) activity(FSSA1). SIRT1 is nicotinamide adenine dinucleotide (NAD⁺) dependent but NAD⁺ is limited by nutrition. A FSS increases SIRT1 activity so that FSSA1 is locally minimum. A person might simultaneously have many kinds of FSH, {FSH_{*i*}, *i*= 1, 2, ..., *n*}, each of which has quality Q_i , { Q_i , *i*= 1, 2, ..., *n*}. Let $Q_{max} = \max\{Q_i, i= 1, 2, \dots, n\}$ and the corresponding function is F_{max} . The best structure of Q is a pyramidal hierarchy in which Q_{max} is at its peak but the other Q_s are as low as possible if F_{max} can be optimized.

Key words homeostasis stress sirtuin nicotinamide adenine dinucleotide

【责任编辑 庄晓琼】