

· 综述 ·

前馈运动控制的研究进展

谢琳 王健

姿势控制 (postural control) 作为神经肌肉系统维持身体姿势稳定和空间定位的能力^[1], 对于实现坐、立、行等日常活动具有重要的生理学意义。抓取物体、迈步等造成的内部干扰, 被撞击、突发失衡等形成的外部干扰以及衰老、疾病、疲劳等引起的姿势控制障碍均会对姿势控制造成影响。基于对干扰信息和自身姿势肌肉状态的判断从而预先做出反应的前馈运动控制 (feed-forward motor control) 是其应对干扰的基本控制策略之一, 对维持身体的平衡和姿势的稳定起到保护作用。

前馈控制的概念

姿势控制涉及身体重心与重心支撑面关系的控制、体内各力学环节之间的控制以及身体与作业任务适配关系的控制^[2], 需要整合视觉、前庭觉、本体感受等多种感受器的传入信息, 经过无意识或有意识的中枢加工, 最终实现整体协调和有效的神经肌肉活动^[1]。其核心控制机制包括基于心理预期活动的前馈控制、基于感受器传入信息的反馈控制和基于意识性活动的随意控制^[3]。其中, 前馈控制是指中枢神经系统基于视觉等主观心理预期因素实现的姿势肌肉活动的下意识中枢运动控制现象^[4], 以预先姿势调整 (anticipatory postural adjustments, APAs) 为具体表现之一^[5]。其生物学意义在于当身体平衡和姿势稳定受到各种内外因素干扰时, 预先知晓干扰发生的相关信息会使相应肌肉应对突发干扰的快速反应时间明显加快, 肌肉活动的反应强度减小, 从而对突发的身体和姿势变化做出合理的应对, 以维持身体稳定性并减少伤害事故的发生^[6-7]。

作为姿势控制的重要生理学机制, 前馈控制与随意运动控制密切相关。平行控制模型认为动作控制和姿势控制是两种互相独立的控制机制, 中枢运动控制指令分别借由两条传出信息通路传达至动作肌肉和姿势肌肉, 实现相应动作控制和姿势控制。其中, 前馈控制作为独立的反应机制, 具有控制自主性^[8]。预先知晓姿势干扰的发生时间和过程能够明显加快预期姿势控制的反应时间是这一观点的主要实验证据^[9-10]。而系列控制模型则认为动作控制和姿势控制是由一个整合和统一的控制机制所实现, 姿势控制是动作控制的外周机制^[11]。中枢运动控制指令抵达效应器的过程, 会激发过往相同或相似的任务经验, 从而将既往经验联系到当前的运动控制任务当中。这一观点认为, 前馈控制是随意运动控制的一部分, 其活动强度与目标动作的强度有显著的相关。一系列的快速举臂和双手负重-提举任务的实验结果表明, 肌肉的预激活反应与目标动作的时间差是相对固定的, 其强度与干扰的大小、姿势的不稳定性等有关^[11-13]。当干扰来自外部时, 平行控制机制模型与实验证据更为符合; 系列控制机制则更适用于发生于内部的干扰。

经典研究范式

目前国内外使用的前馈控制机制的实验研究方法主要有快速举臂运动、突发载荷变化、双手提举任务以及重物摆等范式, 根据干扰的来源可分为内部和外部两种基本类型。

一、内部干扰研究范式

(一) 快速举臂试验

快速举臂试验 (arm raising test) 始于 Belen'kii 等的研究, 通过这个研究最早提出了预激活的概念。试验要求直立的受试者快速举起手臂, 在此过程中腿和躯干的姿势肌肉会因手臂的自主运动而发生活动。腰腿部的姿势肌肉激活比手臂活动早 50 ms, 这被认为是对姿势干扰的代偿性运动。这是随意动作造成的内部干扰下, 姿势肌肉前馈控制的典型表现。Aruin 和 Latash^[14]利用快速举臂运动试验研究不同举臂方向和不同负重对前馈控制效应的影响, 发现不同方向的手臂活动会引起不同的肌肉反应模式, 其中前后方向的举臂活动相较侧向会造成更强的前馈控制效应; 而负重对于前馈控制的影响并不显著。除了上肢, 该范式还被扩展应用于腿部、躯干等其它部位的随意运动。

(二) 拉杆试验

拉杆试验 (stick pulling test) 是基于快速举臂范式而发展出来的。受试者双脚开立、与肩同宽, 躯干保持直立状态, 双手抓住固定于墙上的拉杆, 以声音或闪光为信号用力拉动拉杆, 同步记录其姿势和动作肌肉的肌电信号。相较快速举臂试验, 该范式在定性研究的基础上可通过调节拉杆阻力、控制受试者用力大小等方式进行前馈控制效应的定量研究。该范式后被发展为多种相似任务。Witherington 等^[15]通过让婴儿直立状态拉动抽屉发现其腓肠肌的前馈效应随着年龄增长而增强; 改变抽屉内部连接物体的重量来控制婴儿拉动的阻力, 则部分婴儿在面对较大的拉动阻力时会有更强的前馈控制效应, 经验在婴儿的前馈运动控制中起到一定的作用。

(三) 酒保试验

酒保试验 (barman test) 是指酒保抬着一箱玻璃酒瓶时本人从箱中拿起一瓶时能保持手臂不动; 而别人取走酒瓶时则会造成本臂向上的运动。双手负重-提举任务便是由此发展而来, 由 Hugon 等^[16]的实验室研究首先采用。该范式采用坐姿位, 要求受试者右肘呈 90° 臂保持水平, 右臂近手腕处放置重物。在自主条件下, 受试者用左手提举右臂上的重物; 在欺骗条件下, 即受试者没有预期的情况下, 由主试来触发被试右臂重物的释放^[17]。与酒保试验的经验相同, 自主触发的负重变化会造成前馈控制效应, 欺骗条件则不会。与前两种范式的主要研究对象为姿势肌肉的反应不同, 双手负重提举任务主要考察动作肌肉的前馈效应。

二、外部干扰研究范式

(一) 落球试验

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.08.023

作者单位: 310028 杭州, 浙江大学心理与行为科学系 (谢琳、王健); 浙江大学体育科学与技术研究所 (王健)

落球试验(Ball hitting test)要求受试者双脚与肩同宽站立,双肘 90 度弯曲手持托盘。从固定的高度释放小球、重锤等重物砸落受试者手中的托盘中心,要求受试者保持手持托盘姿势的稳定。该范式被应用于衰老、疾病等多种不同人群的前馈控制效应研究^[18-19]。与砸球实验的原理相似的还有腿部突发失衡、躯干突发加载等多种利用突发载荷变化研究肌肉反应模式和前馈控制效应的实验方法。Brown 等^[20]利用躯干突发减载实验,在受试者自主释放重物、主试突发释放重物和主试倒数释放重物三种条件下研究腰腿部肌肉反应的前馈控制效应,发现当受试者知道干扰何时发生时前馈控制效应会发生,从而抵抗对身体姿势平衡的干扰。

(二) 重物摆试验

重物摆试验(Pendulum releasing test)是近年来发展起来的研究前馈控制机制的新的实验范式。在重物摆的实验中,悬挂着重物如钟摆一样下落,当重物靠近身体时直立的受试者利用手臂或者肩部停下它。接触的瞬间重物对受试者的身体姿势平衡造成干扰^[21]。实验可通过控制重摆的重量来操作干扰的大小,以及通过睁闭眼等操作受试者对干扰发生时间的预期。Santos 和 Aruin^[22]研究发现在重物摆范式下,受试者以与重物下落方向不同的角度接受干扰时,只要知道干扰的强度和发生时间便会产生肌肉的预激活效应。可见这种范式下前馈控制效应的稳定性。Santos 等^[21]的重物摆范式研究验证,在干扰发生后肌肉会产生补偿姿势调整;Krishnan 等^[23]利用该范式的研究发现在预激活发生之前,还有早期动作调整(early postural adjustments)的存在,以此将前馈控制效应分为早期和晚期两个阶段。

影响前馈控制的因素

一、姿势干扰

姿势的干扰可来源于内部或者外部,其干扰的性质、方向、大小等均是前馈控制的影响因素,同时干扰发生时外部环境因素的影响也难以忽视。当干扰来源于内部,快速运动中的前馈控制是始终存在的;而当干扰来源于外部时,受试者自己触发干扰则前馈控制会发生,由别人触发干扰则前馈控制的效应往往会减弱甚至消失^[11,17,20]。可见,干扰的发生时间是否可知是外部干扰条件下产生前馈控制的条件之一。前馈控制效应的强度随干扰的性质不同而有所变化。Aruin 和 Latash^[11]以肩部运动释放手中连接重物的气球和手指运动扎破气球这两种不同幅度的运动来检测姿势肌肉的前馈控制效应,发现肩部运动会造成竖脊肌和股二头肌更强的肌电活动和压力中心的摇晃。同样是双肩活动减载重物,上身躯干前倾相较直立状态,腹直肌、股直肌表现出较小的预激活效应。可见面对同样的任务,身体姿势的区别会造成中枢神经系统发出不同的运动指令。另外,速度是前馈控制的影响因素之一,速度加快会导致更强的预激活效应,减慢则预激活会减小甚至消失。不同方向的快速举臂运动会造成不同的肌肉反应模式,在前后方向举臂时其前馈控制效应会比侧向更强;不同负载引起的姿势干扰强度的变化也是影响前馈控制效应的因素^[14,24-25]。此外,不稳定的支撑平面、减少足底支撑等使身体的稳定性降低,模糊的视觉造成对自身信息和周围信息传入的减少,以及站立在高台边缘等危险情境等环境因素均会影响前馈控制的效应^[5,13,26-27]。

二、成长与衰老

神经、感觉和运动系统在成长过程中的发展和在衰老过程中的退化,对于动作控制及前馈控制的效应都有影响。成年人动作控制中的前馈控制效应具有稳定的表现,儿童的前馈控制则随着神经动作控制系统的发育而发展。这普遍被认为是一个从无到有、最终稳定的过程。一岁左右开始独立站立的婴儿直立的姿态和步态的研究发现婴儿站立姿态下的前馈控制机制是与独立站立的能力共同发展的^[15],走路时首先依赖于反馈动作控制保持平衡,后逐渐发展出预先的姿势调整。少于 200 d 走路经验的婴儿,在走路起始瞬间前仅有不到半数能检测到压力中心的预先后移^[28];已拥有 4 个月走路经验的婴儿在迈步前压力中心会有侧向的晃动^[29]。儿童至 4~5 岁时在举臂和减载等运动中均能发现有肌肉的预激活^[30-31],但这种激活与成人相比是不稳定的。相反,衰老对神经肌肉控制的影响则是衰退性的,包括肌肉质量和力量的减少、运动单位的减少、轴突传导速度的下降和平衡功能的受损^[32-34]。基于生理机能的衰退,老年人前馈动作控制的效应减弱^[35-36]。Hwang 等^[19]通过双臂突发加载的范式研究发现,年龄越大竖脊肌和多裂肌的反射时间越长;主观心理预期会缩短肌肉的反射时间,但这种预期的作用随着年龄的增长而减弱。衰老对动作控制的影响主要表现为突发干扰时竖脊肌的前馈控制效应减少。另外,老年人的视力退化对维持姿势的稳定也有显著的影响。视觉是外界信息传入的主要手段,因衰老退化而难以提供干扰任务、周围环境以及身体运动方向的信息。视敏度较低的老年人会有身体摇晃增加的表现,视力差被认为是造成老年人摔倒的因素之一^[37]。

三、疾病

腰痛、帕金森病、多发性硬化、脑卒中等肌肉或运动神经系统的疾病对运动的前馈控制均有不良影响。腰痛和腰部损伤通常与突发加载或无预期运动有关,腰痛患者会表现出与健康人不同的肌肉应答策略^[38]。Radebold 等^[6]发现突发减载时腰痛患者的肌肉反应延时比健康人有显著增加。快速举臂运动时,以实验室手段造成的急性腰痛会引起腹外斜肌预激活时间的推迟。这种预激活的推迟与受试者对腰痛程度的认知有关,并在痛感消失之后依然持续一段时间;后在慢性腰痛患者身上验证同样有这种预激活推迟的现象,可见对干扰或运动后果的认知改变了中枢神经系统姿势控制的策略^[39-40]。Tsao 等^[41]认为腰痛患者腹横肌预激活延迟和反应模式的改变的原因在于初级运动皮层错误适应的可塑性。利用经颅磁刺激等手段进一步验证,初级运动皮层机制的改变是引起腰痛患者脊柱稳定性控制策略变化的重要原因^[42]。另外,帕金森病、多发性硬化、脑卒中等疾病的症状通常包括姿势平衡性的破坏,使患者在遇到突发的姿势干扰时肌肉正确回应的延迟、预先调整晃动的幅度减小,以至容易摔倒。Latash 等^[43]发现老年帕金森病患者直立姿态自主运动手臂时表现出与健康老人相似的动作控制反应;但由别人触发外部姿势干扰时,多数患者的肌肉并没有发生预激活。由此推断帕金森病患者前馈控制改变的原因不在于疾病造成的动作迟缓,而是与自主运动准备和开始过程的中枢神经通路受损有关。更有研究发现姿势干扰的大小会直接影响前馈控制效应的大小^[44],帕金森病会造成前馈控制效应的减少而不是彻底缺失。多发性硬化的患者在有预期的情况下肌肉预激活存在,但比正常人群反应强度小、起始时间延迟;在干扰发生前

压力中心的晃动小于健康人群,而干扰发生后的补偿性晃动增大^[45-46]。多发性硬化的患者会出现髓鞘脱失、运动皮层损坏和下皮质结构的损坏,中央皮质回路信息传递的延迟被认为是前馈控制机制减弱的原因^[46]。

四、肌肉疲劳

肌肉疲劳通常定义为运动引起的最大肌力的减小,可引起中枢运动控制和运动单位收缩特性的变化,从而影响动作和姿势控制。Allison 和 Henry^[47]利用上臂的随意运动范式研究肌肉疲劳对前馈控制效应的影响,发现有预激活反应的腹外斜肌在最大持续收缩造成的疲劳状况下,预激活发生的时间提前。单臂快速抬举实验时,同侧的半腱肌被发现有类似的预激活提前^[48]。这种预激活的提前被认为是面对肌肉疲劳的情况,为了减少对姿势平衡的干扰而产生的中枢神经系统的功能性适应。关于疲劳对前馈控制的影响目前有两种认识。临界力假说(critical force hypothesis)认为抵消干扰影响而保持姿势需要肌肉产生超过阈限的力,这个超过临界值的力即使是疲劳之后的肌肉也能够产生,但是在疲劳影响下产生速率下降。因此在面临姿势干扰时为了达到临界力,肌肉需要提前预激活^[47]。而相似冲量假说(similar impulse hypothesis)则认为抵消干扰影响的关键不在于力的大小,而在于肌肉所产生的冲量大小。其前提是疲劳造成肌肉最大肌力的下降,抵抗干扰所能做出的姿势控制相关肌肉反应强度也同样减小。因此补偿性的通过预激活提前才能保持疲劳状态下的肌肉冲量与非疲劳状态下相同^[48]。Strang 和 Berg^[49]进一步验证疲劳对提前预激活的作用,并在不同的肌肉上发现不同的反应模式,分别对应以上两种假说。部分肌肉疲劳的状态下,非疲劳肌肉同样会产生预激活的提前,说明动作控制对疲劳状态的适应是产生于中枢过程中,而不是外周系统^[50]。

小 结

前馈控制是中枢神经系统对肌肉活动下意识控制作用的基本表现形式。基于随意运动或视觉信息传入等造成的主观心理预期,在姿势干扰发生之前由中枢神经系统发出运动指令提前激活或抑制肌肉系统的活动,对维持姿势的稳定和身体的平衡有重要的作用。快速举臂运动、突发载荷变化、重物摆试验等范式均是研究前馈控制机制的有效手段。干扰性质、环境因素、年龄、疲劳和疾病等对前馈控制的影响经过多种研究的验证,然而前馈控制具体的发展和衰退原因、其受到这些因素影响的机制尚待进一步的研究。在定性研究的同时量化不同因素影响下前馈控制效应的强度,能够更精确的描述动作控制中的姿势肌肉反应;同时引入神经影像学手段对前馈控制发生时大脑的活动进行考察,将有助于进一步揭示前馈控制的生理学机制。

参 考 文 献

- [1] Shumway-Cook A, Wollacott MH. 运动控制原理与实践. 3 版. 毕胜, 燕铁斌, 王宁华, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2009:134-135.
- [2] Horak FB, Macpherson JM. Postural orientation and equilibrium. Shepard J & Rowell L, ed. Handbook of physiology section 12. New York: Oxford University, 1996:255-292.
- [3] McGill SM, Grenier S, Kavcic N, et al. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. J Electromyogr Kinesiol, 2003, 13: 353-359.
- [4] Hodges PW, Cresswell A, Thorstensson A. Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. Exp Brain Res, 1999, 124:69-79.
- [5] Mohapatra S, Krishnan V, Aruin AS. The effect of decreased visual acuity on control of posture. Clin Neurophysiol, 2012, 123:173-182.
- [6] Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, et al. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. Spine, 2000, 25:947-954.
- [7] Eriksson CA, Thorstensson A. Trunk muscle reactions to sudden unexpected and expected perturbations in the absence of upright postural demand. Exp Brain Res, 2009, 196:385-392.
- [8] Massion J. Movement, posture and equilibrium; interaction and coordination. Prog Neurobiol, 1992, 38:35-56.
- [9] Nashner LM, Forssberg H. Phase-dependent organization of postural adjustments associated with arm movements while walking. J Neurophysiol, 1986, 55:1382-1394.
- [10] Lee WA, Buchanan TS, Rogers MW. Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. Exp Brain Res, 1987, 66:257-270.
- [11] Aruin AS, Latash ML. The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. Exp Brain Res, 1995, 106:291-300.
- [12] Aruin AS, Latash ML. Anticipatory postural adjustments during self-initiated perturbations of different magnitude triggered by a standard motor action. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1996, 101:497-503.
- [13] Aruin AS, Forrest WR, Latash ML. Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1998, 109:350-359.
- [14] Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. Exp Brain Res, 1995, 103:323-332.
- [15] Witherington DC, von Hofsten C, Rosander K, et al. The development of anticipatory postural adjustments in infancy. Infancy, 2002, 3:495-517.
- [16] Hugon M, Massion J, Wiesendanger M. Anticipatory postural changes induced by active unloading and comparison with passive unloading in man. Pflugers Arch, 1982, 393:292-296.
- [17] Massion J, Ioffe M, Schmitz C, et al. Acquisition of anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task: normal and pathological aspects. Exp Brain Res, 1999, 128:229-235.
- [18] Wilder DG, Aleksiev AR, Magnusson ML, et al. Muscular response to sudden load. A tool to evaluate fatigue and rehabilitation. Spine, 1996, 21:2628-2639.
- [19] Hwang JH, Lee Y, Park DS, et al. Age affects the latency of the erector spinae response to sudden loading. Clin Biomech, 2008, 23:23-29.
- [20] Brown SHM, Haumann ML, Potvin JR. The responses of leg and trunk muscles to sudden unloading of the hands: implications for balance and spine stability. Clin Biomech, 2003, 18:812-820.
- [21] Santos MJ, Kanekar N, Aruin AS. The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis. J Electromyogr Kinesiol, 2010, 20:388-397.
- [22] Santos MJ, Aruin AS. Role of lateral muscles and body orientation in feedforward postural control. Exp Brain Res, 2008, 184:547-559.
- [23] Krishnan V, Latash ML, Aruin AS. Early and late components of feed-forward postural adjustments to predictable perturbations. Clin Neurophysiol, 2012, 123:1016-1026.

- [24] Horak FB, Esselman P, Anderson ME, et al. The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1984, 47:1020-1028.
- [25] Dick JP, Rothwell JC, Berardelli A, et al. Associated postural adjustments in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1986, 49:1378-1385.
- [26] Gantchev GN, Dimitrova DM. Anticipatory postural adjustments associated with arm movements during balancing on unstable support surface. *Int J Psychophysiol*, 1996, 22:117-122.
- [27] Adkin AL, Frank JS, Carpenter MG, et al. Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp Brain Res*, 2002, 143:160-170.
- [28] Breniere Y, Bril B, Fontaine R. Analysis of the transition from upright stance to steady state locomotion in children with under 200 days of autonomous walking. *J Mot Behav*, 1989, 21:20-37.
- [29] Assaiante C, Woollacott M, Amblard B. Development of postural adjustment during gait initiation: kinematic and EMG analysis. *J Mot Behav*, 2000, 32:211-226.
- [30] Riach CL, Hayes KC. Anticipatory postural control in children. *J Mot Behav*, 1990, 22:250-266.
- [31] Hay L, Redon C. Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance. *Exp Brain Res*, 1999, 125:153-162.
- [32] Vandervoort AA. Aging of the human neuromuscular system. *Muscle Nerve*, 2002, 25:17-25.
- [33] Fiatarone MA, Evans WJ. The etiology and reversibility of muscle dysfunction in the aged. *J Gerontol*, 1993, 48:77-83.
- [34] Mcardle A, Vasilaki A, Jackson M. Exercise and skeletal muscle ageing: cellular and molecular mechanisms. *Ageing Res Rev*, 2002, 1:79-93.
- [35] Inglin B, Woollacott M. Age-related changes in anticipatory postural adjustments associated with arm movements. *J Gerontol*, 1988, 43:M105-M113.
- [36] Olafsdottir H, Yoshida N, Zatsiorsky VM, et al. Elderly show decreased adjustments of motor synergies in preparation to action. *Clin Biomech*, 2007, 22:44-51.
- [37] Harwood RH. Visual problems and falls. *Age Ageing*, 2001, 30:S13-S18.
- [38] 李哲, 王健. 突发负荷变化条件下躯干肌肉运动控制策略. *中国康复医学杂志*, 2011:596-599.
- [39] Moseley GL, Hodges PW. Reduced variability of postural strategy prevents normalization of motor changes induced by back pain: a risk factor for chronic trouble. *Behav Neurosci*, 2006, 120:474-476.
- [40] Jacobs JV, Henry SM, Nagle KJ. People with chronic low back pain exhibit decreased variability in the timing of their anticipatory postural adjustments. *Behav Neurosci*, 2009, 123:455-458.
- [41] Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain*, 2008, 131:2161-2171.
- [42] Masse-Alarie H, Flamand VH, Moffet H, et al. Corticomotor control of deep abdominal muscles in chronic low back pain and anticipatory postural adjustments. *Exp Brain Res*, 2012, 218:99-109.
- [43] Latash ML, Aruin AS, Neyman I, et al. Anticipatory postural adjustments during self inflicted and predictable perturbations in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1995, 58:326-334.
- [44] Aruin AS, Neyman I, Nicholas JJ, et al. Are there deficits in anticipatory postural adjustments in Parkinson's disease. *Neuroreport*, 1996, 7:1794-1796.
- [45] Krishnan V, Kanekar N, Aruin AS. Anticipatory postural adjustments in individuals with multiple sclerosis. *Neurosci Lett*, 2012, 506:256-260.
- [46] Krishnan V, Kanekar N, Aruin AS. Feedforward postural control in individuals with multiple sclerosis during load release. *Gait Posture*, 2012, 36:225-230.
- [47] Allison GT, Henry SM. The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements, a pilot study. *Clin Biomech*, 2002, 17:414-417.
- [48] Vuilleme N, Nougier V, Teasdale N. Effects of lower limbs muscular fatigue on anticipatory postural adjustments during arm motions in humans. *J Sports Med Phys Fitness*, 2002, 42:289-294.
- [49] Strang AJ, Berg WP. Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments. *Exp Brain Res*, 2007, 178:49-61.
- [50] Strang AJ, Berg WP, Hieronymus M. Fatigue-induced early onset of anticipatory postural adjustments in non-fatigued muscles: support for a centrally mediated adaptation. *Exp Brain Res*, 2009, 197:245-254.

(修回日期:2013-01-16)

(本文编辑:汪 玲)

• 外刊摘英 •

Vitamin D and physical performance

BACKGROUND AND OBJECTIVE An increasing body of evidence suggests multiple roles for the vitamin D. One tissue regulated by vitamin D is skeletal muscle. This study examined the effects of vitamin D supplementation on physical performance.

METHODS Volunteer subjects were 30 club-level athletes in Great Britain, all of whom were tested between October and April at latitude 53° north. All athletes were assessed for physical performance with the vertical jump, 20 m sprints, a one-repetition max bench press and a one-repetition max leg press. Resting venous blood samples were drawn for 25 (OH) D measurement. The subjects were then allocated to groups by block randomization, based upon baseline total 25 (OH) D levels. The participants then received either 20 000 or 40 000 IU vitamin D3 or a placebo once a week for 12 weeks. The performance tests were repeated at six and 12 weeks.

RESULTS At baseline, 57% of the subjects were found to be vitamin D deficient. At 12 weeks, no significant changes were noted on any of the physical performance variables (1-RM-BP, $P=0.17$; 1-RM leg press, $P=0.18$; vertical jump, $P=0.90$ and 20-meter sprint, $P=0.64$).

CONCLUSION This study of athletes with vitamin D deficiency did not demonstrate improved physical performance after vitamin D supplementation.

[摘自:Close GL, Leckey J, Patterson M, et al. The effects of vitamin D(3) supplementation on serum total 25[OH]D concentration and physical performance: a randomised dose-response study. *Br J Sports Med*, 2013, 47: 692-697.]