

神经肌肉下意识前馈与反馈控制的知觉线索效应*

张 芷¹ 王 健^{1,2}

(¹ 浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028) (² 浙江大学体育科学与技术研究所, 杭州 310028)

摘 要 为研究视觉和时间知觉线索对突发外部姿势干扰下中枢神经系统对动作肌肉和姿势肌肉预期姿势调节(APAs)和补偿姿势调节(CPAs)的影响,本研究被试分别在视觉和时间线索引导下完成经典落球试验,同步采集右侧动作肌肉肱二头肌和姿势肌肉腰部竖脊肌和腰部多裂肌的sEMG信号,计算被检肌肉APAs发生率、预激活时间和CPAs反应强度。结果发现,视觉线索可以引发动作肌肉和姿势肌肉APAs发生率明显增加,预激活时间明显提前,以及动作肌肉CPAs反应强度明显减小;而时间线索主要引发动作肌肉预激活提前,对姿势肌肉APAs和CPAs无明显影响。该结果表明,视觉和时间引导线索对突发外部姿势干扰条件下人体姿势肌肉和动作肌肉的中枢运动控制具有不同的作用。视觉引导线索能够明显增加姿势肌肉和动作肌肉预激活发生率和提早预激活时间,表现出明显的“视觉线索预激活优势现象”;而时间引导线索主要引发动作肌肉预激活提前,对姿势肌肉APAs和CPAs无明显影响。

关键词 视觉线索; 时间线索; 预期姿势调节; 补偿姿势调节; 外部姿势干扰

分类号 B842; B845

1 引言

突发外部和内部姿势干扰(Posture perturbation)条件下,中枢神经系统(Central nervous system, CNS)对身体姿势肌肉的快速反应分别动用了下意识的前馈(Feed-forward mechanisms, FFM)和反馈(Feedback mechanisms, FBM)两种不同的神经肌肉控制机制,以维系身体重心稳定和保持特定身体姿势(Shumway-Cook & Woollacott, 1995)。其中,FFM是CNS依据来自视觉、听觉、本体感觉和运动意图等感知与认知神经信息预先激活相关肌肉活动,以实现肌肉活动优化控制的一种自上而下的下意识神经肌肉运动控制模式,因其运动控制是在姿势干扰前由知觉心理预期所引发,故又称预期姿势调节(Anticipatory postural adjustments, APAs)(Latash, 2008)。而FBM则是CNS低位运动控制中枢依据肌肉、韧带和关节本体感受器的传入冲动产生,以实现快速运动反应的一种自下而上的下意识反射性运动控制模式,因其中枢运动控制是在姿势干扰

后发生的,故又称补偿性姿势调节(Compensatory postural adjustments, CPAs)(Shumway-Cook et al., 1995)。APAs通过对被检肌肉的预激活(Pre-activation)以及降低激活阈限等机制调节和控制CPAs的快速反应时间和反应强度,构成了CNS在机体遭遇突发内部和外部姿势干扰条件下对身体姿势肌肉和动作肌肉产生快速协同反应的基本认知神经控制机制。

视觉线索结合被检肌肉sEMG信号分析技术是用于量化检测和研究中枢APAs和CPAs的经典实验范式,前者主要用以考察视觉通道开启状态对姿势肌肉运动控制的影响,包括睁眼、闭眼以及改变视敏度等,而后者重在考察被检肌肉激活时间、激活强度以及相关肌群间活动的协同性等,以实时刻画视觉通道状态改变对肌肉活动的影响。其他用以量化反映中枢运动控制的检测技术如EEG、fMRI等则因响应速度慢、特异性差等原因难以满足快速运动控制研究的需要。Leinonen, Kankaanpää, Hanninen, Airaksinen和Taimela(2002)采用该方法

收稿日期: 2013-02-08

* 2013~2016 国家科技支撑计划资助项目(2013BAI10B00, 2013BAI10B05)。

通讯作者: 王健, E-mail: wangjian1961@aliyun.com

研究发现, 睁眼时被试背部竖脊肌和腰部多裂肌对突发身体加载的快速反应潜伏期明显缩短且反应强度减小, 表现出明显的前馈控制效应; 而慢性腰痛患者的反应则不同, 表现出明显的前馈控制障碍; Allison 和 Henry (2002)通过对背伸肌疲劳作用的观察, 发现中等强度运动引发的背伸肌疲劳可以加快腰部竖脊肌的快速反应时间和增强快速反应强度, 以代偿肌肉疲劳引起的腰椎整体稳定肌功能下降和维稳能力下降, 维系腰椎稳定性; 而 Dupeyron, Perrey, Micallef 和 P é lissier (2010)则发现, 最大收缩引起的肌肉疲劳可以减小腰椎稳定肌的前馈控制效应和延迟腰椎稳定肌的激活, 从而易于导致腰椎损伤。Hwang, Lee, Park 和 Kwon (2008)研究发现, 与青年人相比, 老年人局部腰椎稳定肌多裂肌和整体稳定肌竖脊肌在无视觉预期条件下对突发性上肢加载的反应时间没有明显差异, 但是在有视觉预期条件下明显慢于年轻人, 证明老年人的腰椎稳定肌具备完善的本体感受性快速反馈控制功能, 但其前馈控制功能出现明显衰退。

时间线索是近年来用于研究突发载荷变化条件下神经肌肉快速反应控制的新方法, 该方法采用视觉隔离排除了视觉线索引导的 APAs, 转而采用“知晓”和“不知晓”的实验操作研究主观心理预期对神经肌肉运动控制的影响。采用这一方法可以排除非感知性的“视神经活动”对神经肌肉运动控制的影响(Boulinguez & Nougier, 1999)。Brown, Haumann 和 Potvin (2003)采用该方法研究发现, 在视觉被遮挡时遭遇突发性减载, 被试自主控制减载时 APAs 最为明显, 而 CPAs 最小, 其次为主试倒数, 而当被试不被告知何时发生减载时则无 APAs, 但有较为明显的 CPAs。

采用时间线索范式研究突发姿势干扰条件下的中枢 APAs 和 CPAs 尚属起步阶段, 视觉线索和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 与 CPAs 的作用以及不同引导线索之间的相互作用尚缺乏必要的研究。为此, 本研究拟采用经典落球试验(Ball hitting test, BHT), 考察不同知觉引导线索在突发外部姿势干扰条件下对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 和 CPAs 的影响, 探讨视觉和时间线索诱发下意识中枢前馈和反馈控制的异同性, 为进一步发展和完善大脑下意识神经肌肉认知神经控制理论提供科学依据。本研究假设, 由于视觉线索和时间线索对于落球刺激对身体姿势干扰作用预测的差异性, 不

同知觉引导线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 和 CPAs 将产生不尽相同的作用。

2 方法

2.1 实验被试

共 21 人参与了本实验研究, 其中 5 人由于 sEMG 信号采集失败而将其剔除, 剩下 16 人为有效实验对象。其中, 男性 9 人, 女性 7 人, 平均年龄 24.9 ± 1.9 岁, 平均身高 167.5 ± 4.5 cm, 平均体重 55.7 ± 8.1 kg。所有被试均身体健康, 矫正视力良好, 听力良好, 无神经肌肉系统疾病。本实验在征得所有被试的同意后进行。

2.2 实验设计

本实验采用重复测量的 2×3 被试内设计, 自变量为视觉线索(睁眼、闭眼)和时间线索(无倒数、主试倒数、被试倒数)。因变量为动作肌肉右侧肱二头肌(BIC)和姿势肌肉右侧腰部竖脊肌(LS)和右侧腰部多裂肌(LMF)的 APAs 发生率和预激活时间, 以及 CPAs 的反应强度。

本实验采用经典落球试验(BHT)范式, 要求被试在直立姿势下双手端握金属托盘以接住掉落下来的重物并保持手臂和身体的平衡。实验分为被试睁眼和闭眼两部分。睁眼条件下, 被试可以看着重物从眼睛高度掉落盘中, 闭眼条件下, 被试闭上双眼无法看到重物的掉落过程。在每种条件下又分为无倒数、主试倒数和被试倒数三种情况。无倒数情况下, 主试自由控制释放重物的时间, 主试倒数情况下, 主试匀速倒数“3、2、1”然后释放重物, 被试倒数情况下, 被试匀速倒数“3、2、1”然后主试释放重物。

2.3 实验程序

被试在实验中保持直立姿势, 双脚自然分开, 与肩同宽。双手握持一个上口直径约 32 cm、底部直径约 21 cm、重约 0.9 kg 的金属托盘, 托盘两侧各有一个手柄, 要求被试双手抓握手柄, 上臂与地面垂直, 维持肘关节 90 度, 保持身体重心稳定。托盘底部安装有振动传感器以记录刺激重物掉落托盘底部并引起其位置改变的时间。传感器采用蜂鸣片及触点弹簧组成, 灵敏度为 0~105 dB, 响应时间约 1 ms, 能够较准确及时地反映托盘的振动情况。刺激重物为 1.5 kg 的沙袋, 由主试从被试眼睛高度释放而垂直落下, 要求被试在沙袋落下时尽可能保持手臂和身体的平衡。主试面朝被试站立, 双手将沙袋举至底部与被试眼睛高度平行处释放沙袋, 使

其落于托盘中心位置。本实验共有 6 种实验条件, 分别为睁眼无倒数, 睁眼主试倒数, 睁眼被试倒数, 闭眼无倒数, 闭眼主试倒数和闭眼被试倒数, 每种实验条件进行 3 次重复实验。其中一半被试先在睁眼条件下按顺序完成无倒数、主试倒数和被试倒数的实验, 另一半被试则先在闭眼条件下完成以上实验。在正式实验开始前主试从被试眼睛高度释放沙袋两次使被试熟悉沙袋重量。正式实验中除闭眼无倒数情况外两次实验之间间隔约 15 s, 闭眼无倒数的情况第一次和第二次实验间隔为 20 s, 第二次和第三次实验间隔为 30 s, 以防止被试对于释放时间的猜测。

2.4 sEMG 采集与信号处理

实验使用双电极法采集被检肌肉表面肌电 (Surface electromyography, sEMG) 活动, 测量的肌肉包括动作肌肉 (右侧 BIC) 和姿势肌肉 (右侧 LES、右侧 LMF)。按照“生物医学与健康研究计划 (SENIAM 计划)”要求, 完成 sEMG 信号采集的准备工作 (Hermens & Freriks, 1997)。贴放氧化银体表引导电极, 探测电极连线与被检肌肉长轴走向一致, 电极直径约 0.5 cm, 电极间距约 2 cm, 参照电极置于探测电极外侧约 3 cm 处。放置电极前用细砂纸和 75% 酒精棉球擦拭清洁皮肤表面以减小阻抗。sEMG 信号采样频率 1000 Hz, 输入阻抗小于 10 G Ω , 通带滤波 10~500 Hz, 噪声水平小于 3.5 μ V。采用 ME6000 (Mega Electronics Ltd, Finland) 表面肌电仪采集 sEMG 信号。

本实验中姿势干扰的起始点 (T_0) 判断依据为盘底振动传感器产生振动信号。肌电信号基准值为姿势干扰起始点前 500~450 ms 的平均值, 某一肌肉“开启”的阈值为大于基准值 3 个标准差并持续 15 ms 时的 EMG 值。肌肉在姿势干扰起始点 T_0 前 200 ms 内“开启”的时刻为肌肉的预激活时刻。CPAs 反应强度定义为 CPAs 绝对强度与基线的比值, 前者为被检肌肉从姿势干扰起始点的“开启”时刻算起 100 ms 内肌电振幅的平均值。被检肌肉反应模式图见图 1。

2.5 统计分析

数据采用 SPSS 16.0 进行统计分析。采用卡方检验比较视觉和时间线索引导下 APAs 发生率的差异。采用重复测量的双因素方差分析对视觉线索和时间线索的主效应进行显著性检验, 并用事后分析比较不同条件下预激活时间和 CPAs 的反应强度的差异。显著性差异水平为 $p < 0.05$ 。

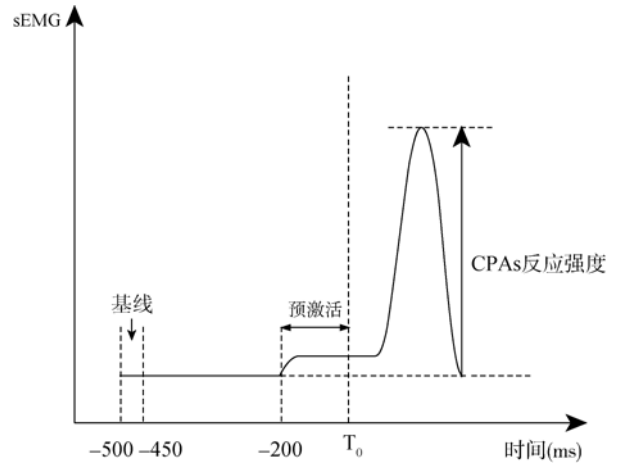


图1 被检肌肉反应模式图

3 结果

3.1 视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的影响

视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的影响详见图 2。皮尔逊卡方检验表明, 无倒数条件下, 睁眼时姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发

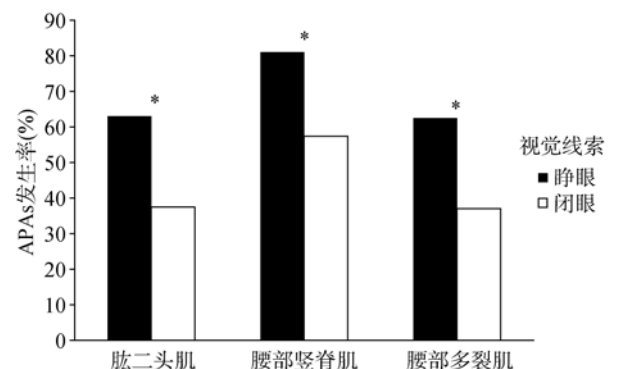


图2a 视觉线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的影响(*表示 $p < 0.05$)

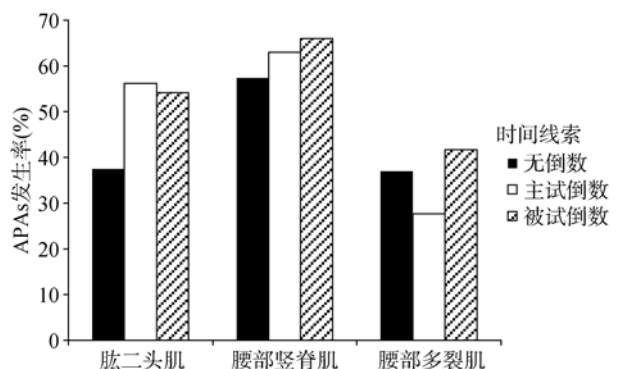


图2b 时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的影响(*表示 $p < 0.05$)

生率均显著高于闭眼(图 2a; LES: $\chi^2(1) = 6.34, p = 0.012, \phi = 0.264$; LMF: $\chi^2(1) = 6.13, p = 0.013, \phi = 0.255$; BIC: $\chi^2(1) = 6.13, p = 0.013, \phi = 0.255$), 显示出睁、闭眼视觉线索预期姿势调节作用的差异性。闭眼条件下, 无倒数、主试倒数和被试倒数对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率均无显著影响(图 2b; LES: $\chi^2(2) = 0.75, p = 0.688, \phi = 0.073$; LMF: $\chi^2(2) = 2.10, p = 0.349, \phi = 0.122$; BIC: $\chi^2(2) = 4.06, p = 0.132, \phi = 0.168$), 未能表现出明显的预期姿势调节作用。

不同线索引导下的姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的差异详见图 3。皮尔逊卡方检验表明, 不同引导线索对动作肌肉肱二头肌的 APAs 发生率无明显影响($\chi^2(2) = 1.83, p = 0.401, \phi = 0.078$), 而对姿势肌肉腰部竖脊肌和腰部多裂肌的 APAs 发生率有明显影响(LES: $\chi^2(2) = 10.00, p = 0.007, \phi = 0.183$; LMF: $\chi^2(2) = 23.70, p < 0.001, \phi = 0.281$), 表现为睁眼无倒数条件下 APAs 发生率明显高于闭眼主试倒数条件(LES: $\chi^2(1) = 9.05, p = 0.003, \phi = 0.213$; LMF: $\chi^2(1) = 23.35, p < 0.001, \phi = 0.342$)和闭眼被试倒数条件(LES: $\chi^2(1) = 6.65, p = 0.010, \phi = 0.182$; LMF: $\chi^2(1) = 8.01, p = 0.005, \phi = 0.200$), 并且对于腰部多裂肌闭眼被试倒数条件下 APAs 发生率明显高于闭眼主试倒数条件, $\chi^2(1) = 4.31, p = 0.038, \phi = 0.147$ 。

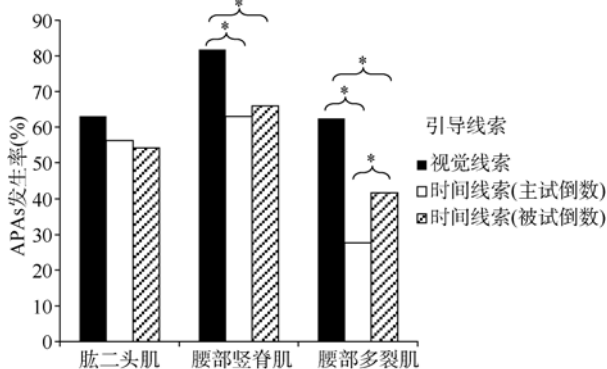


图 3 不同线索引导下的姿势肌肉和动作肌肉 APAs 发生率的差异(*表示 $p < 0.05$)

3.2 视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉预激活时间的影响

视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉预激活时间的影响详见图 4。双因素方差分析表明, 视觉线索对姿势肌肉的预激活时间有明显影响(图 4b, 图 4c; LES: $F(1,91) = 14.96, p < 0.001, \eta^2 = 0.052$; LMF: $F(1,91) = 28.47, p < 0.001, \eta^2 = 0.095$), 表现为睁眼条件下的预激活时间明显早于闭眼, 而时间线

索的作用无显著统计学意义(LES: $F(2,91) = 0.27, p = 0.761, \eta^2 = 0.002$; LMF: $F(2,91) = 0.05, p = 0.954, \eta^2 = 0.000$), 视觉线索和时间线索对姿势肌肉的预激活时间也无明显交互作用(LES: $F(2,91) = 1.52, p = 0.221, \eta^2 = 0.011$; LMF: $F(2,91) = 0.24, p = 0.786, \eta^2 = 0.002$)。视觉线索和时间线索对动作肌肉

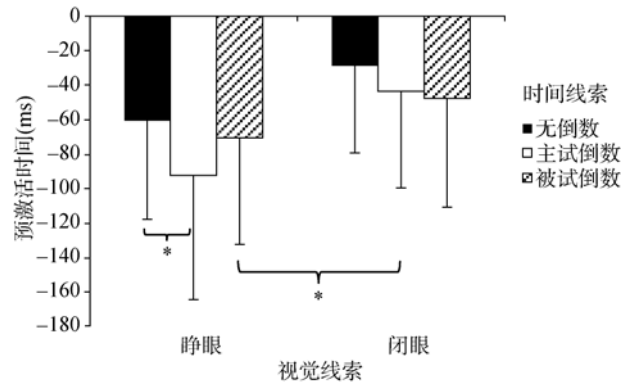


图 4a 视觉和时间线索对肱二头肌预激活时间的影响(*表示 $p < 0.05$)

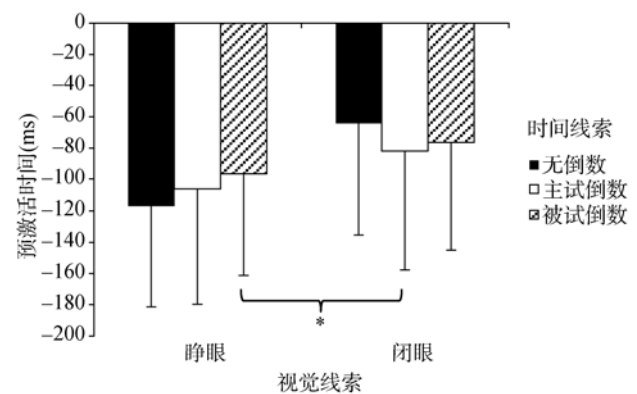


图 4b 视觉和时间线索对腰部竖脊肌预激活时间的影响(*表示 $p < 0.05$)

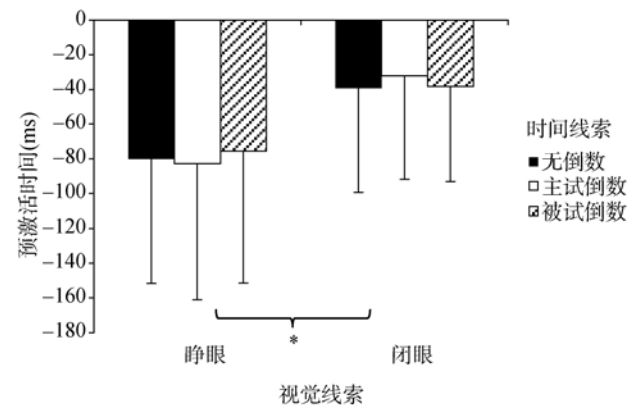


图 4c 视觉和时间线索对腰部多裂肌预激活时间的影响(*表示 $p < 0.05$)

肱二头肌的预激活时间均有明显影响(图 4a; 视觉线索: $F(1,91) = 20.90, p < 0.001, \eta^2 = 0.069$; 时间线索: $F(2,91) = 3.89, p = 0.022, \eta^2 = 0.027$), 表现为睁眼条件下的预激活时间明显早于闭眼, 且主试倒数条件下的预激活明显早于无倒数($p = 0.005$), 但视觉线索和时间线索对动作肌肉预激活时间无明显交互作用($F(2,91) = 1.31, p = 0.272, \eta^2 = 0.009$)。此外, 在视觉线索引导条件下, 分别以被检肌肉和睁眼闭眼为实验变量进行双因素方差分析, 结果表明视觉线索和肌肉类型对预激活时间均有明显主效应(图 5; 视觉线索: $F(1,91) = 62.87, p < 0.001, \eta^2 = 0.070$; 肌肉类型: $F(2,91) = 23.21, p < 0.001, \eta^2 = 0.053$), 表现为睁眼条件下的预激活时间明显早于闭眼, 姿势肌肉预激活时间明显早于动作肌肉, 视觉线索和肌肉类型对预激活时间无明显交互作用, $F(2,91) = 0.58, p = 0.559, \eta^2 = 0.001$ 。

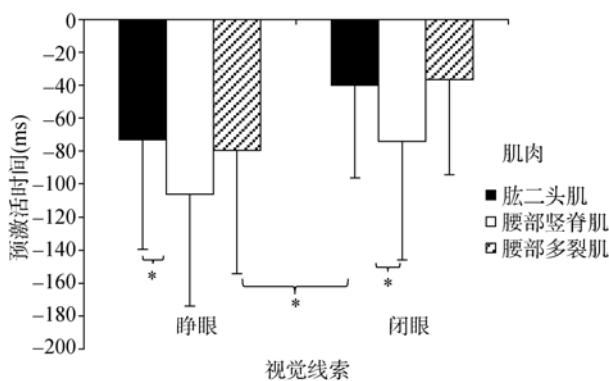


图 5 视觉线索和肌肉类型对预激活时间的影响 (*表示 $p < 0.05$)

3.3 视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 CPAs 反应强度的影响

视觉和时间线索对姿势肌肉和动作肌肉 CPAs 反应强度的影响详见图 6。双因素方差分析表明, 视觉线索对动作肌肉肱二头肌 CPAs 反应强度有明显作用(图 6a; $F(1,91) = 7.32, p = 0.007, \eta^2 = 0.025$), 表现为闭眼时的 CPAs 反应强度显著大于睁眼, 而时间线索的作用无统计学意义($F(2,91) = 1.25, p = 0.289, \eta^2 = 0.009$), 视觉和时间线索对 CPAs 反应强度无明显交互作用($F(2,91) = 0.51, p = 0.599, \eta^2 = 0.004$)。此外, 视觉和时间线索对姿势肌肉的作用也均无明显统计学意义(图 6b,6c; 视觉线索: LES: $F(1,91) = 2.15, p = 0.144, \eta^2 = 0.008$; LMF: $F(1,91) = 0.92, p = 0.338, \eta^2 = 0.003$; 时间线索: LES: $F(2,91) = 1.39, p = 0.251, \eta^2 = 0.010$; LMF: $F(2,91)$

$= 0.26, p = 0.772, \eta^2 = 0.002$), 且无明显交互作用 (LES: $F(2,91) = 0.14, p = 0.866, \eta^2 = 0.001$; LMF: $F(2,91) = 0.13, p = 0.882, \eta^2 = 0.001$)。

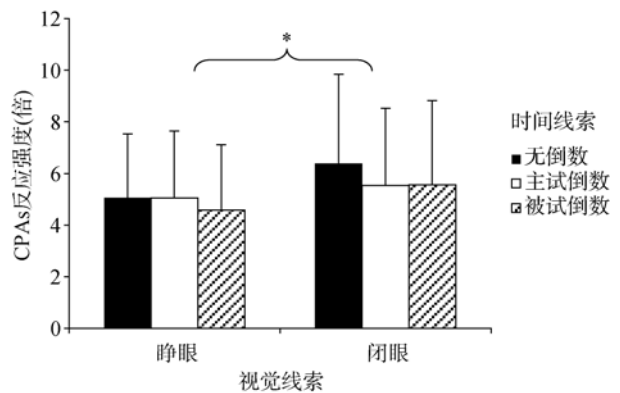


图 6a 视觉和时间线索对肱二头肌 CPAs 反应强度的影响 (*表示 $p < 0.05$)

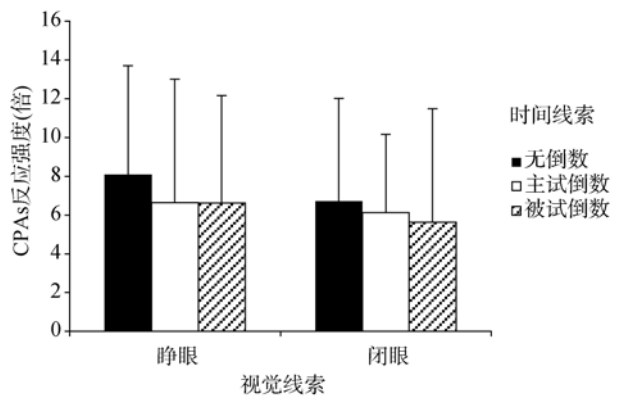


图 6b 视觉和时间线索对腰部竖脊肌 CPAs 反应强度的影响

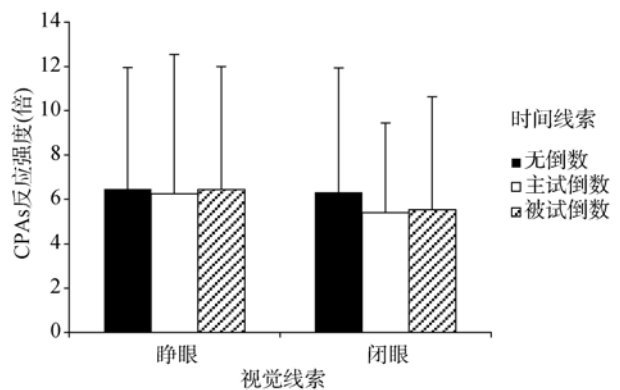


图 6c 视觉和时间线索对腰部多裂肌 CPAs 反应强度的影响

4 讨论

突发姿势干扰条件下 CNS 对肌肉活动的系统

控制与调节不仅是近年来认知神经科学研究的热点科学问题,而且对于深入揭示老年人摔倒和增龄性运动障碍等现象的发生机制,从而实现针对性预防干预和保护具有重要的应用价值(Ghez & Krakauer, 2000)。以往研究指出,机体在遭遇各种内部和外部姿势干扰条件下 CNS 对姿势肌肉和动作肌肉的快速反应分别启用了 FFM 和 FBM 两种不同的神经控制机制,以优化 CNS 运动控制活动、提高运动控制效率和实现整体协同控制(Santos, Kanekar, & Aruin, 2010b; Hyodo et al., 2012; Krishnan, Latash, & Aruin, 2012),但针对不同知觉引导线索及其对姿势肌肉和动作肌肉的中枢运动控制的作用,目前尚不清楚。本实验在外部姿势干扰条件下,研究了视觉和时间引导线索对姿势肌肉和动作肌肉下意识 APAs 和 CPAs 的影响,发现视觉引导线索既可以引发姿势肌肉和动作肌肉 APAs 的提前发生,还可以引起动作肌肉 CPAs 反应强度减小;而时间引导线索仅能引发动作肌肉预激活提前,对姿势肌肉 APAs 和 CPAs 无明显影响。以上结果提示,视觉和时间引导线索对突发外部姿势干扰条件下人体姿势肌肉和动作肌肉的中枢运动控制具有不尽相同的作用。

视觉和时间线索是用以引发神经肌肉系统产生 APAs 的两种知觉刺激,虽然目前研究认为这两种知觉刺激均能够在突发姿势干扰条件下通过中枢前馈控制机制对姿势肌肉产生预激活作用和缩短快速反应延迟时间(Crommert & Thorstensson, 2009; Leinonen et al., 2002; Hwang et al., 2008; Brown et al., 2003; Santos et al., 2010a),但是对于两种知觉刺激作用的差异性,尤其是针对姿势肌肉和动作肌肉两类不同功能分工肌肉作用的差异性,目前研究尚不多见。本研究结果一方面发现视觉线索能够明显提高姿势肌肉 APAs 发生率、提早姿势肌肉预激活时间以及促成姿势肌肉先于动作肌肉产生反应的现象发生,从而验证了前人关于视觉线索引导姿势肌肉 APAs 现象的存在;另一方面,研究还进一步发现视觉线索无论在引发姿势肌肉 APAs 发生率,还是在提早预激活时间方面都明显优于时间线索,表明不同知觉线索对中枢 APAs 具有不同的作用。

姿势肌肉与动作肌肉活动的协同活动是确保突发姿势干扰条件下身体重心稳定和动作肌肉活动效率的另外一个重要因素,其主要行为表现包括姿势肌肉与动作肌肉的活动顺序及其强度反应。主

观心理预期可以分别通过对姿势肌肉和动作肌肉的预激活调控动作肌肉作出适度反应,以实现 CNS 的肌肉活动协同作用(Frank & Earl, 1990)。以往研究指出,主观心理知觉预期能够加快姿势肌肉的快速反应时间和优化快速反应强度,但是对于动作肌肉活动的作用尚不完全清楚,仅少数研究发现动作肌肉在有视觉预期的情况下会产生明显的预激活(Shiratori & Latash, 2001; Eckerle, 2010),而就时间线索对动作肌肉 APAs 的影响目前尚无研究。本研究发现,就动作肌肉而言,虽然视觉线索和时间线索对动作肌肉 APAs 发生率的作用无显著差异,且视觉线索和时间线索对预激活时间均表现出明显主效应,但视觉预期的作用远大于时间预期,反映出不同知觉预期效应的差异性;此外,视觉线索可以明显减小动作肌肉的 CPAs 强度,以实现更好的姿势肌肉与动作肌肉活动的协同效应,这一结果与 Leinonen 等(2002)的研究相一致,但时间线索对动作肌肉的快速反应无此影响。

突发姿势干扰条件下大脑对姿势肌肉和动作肌肉的 APAs 和 CPAs 是维持身体重心稳定和维系身体姿势的重要神经控制机制,它可以预先激活身体稳定肌和动作肌肉参与活动,协调和优化全身肌肉活动,避免在突发姿势干扰情况下身体重心晃动幅度过大,以维系身体重心稳定(Friedli, Hallett, & Simon, 1984)。以往研究发现,APAs 和 CPAs 受姿势干扰方向、干扰强度、干扰可预测性、指导语、注意水平、次作业任务和被试猜测等多种主客观因素的影响,表现出一定的规律性和不确定性(Hugon, Massion, & Wiesendanger, 1982; Shiratori & Latash, 2001; Uemura et al., 2012; Haridas, Gordon, & Misiaszek, 2005; Eckerle, 2010; Tomita & Fujiwara, 2008; Yaguchi & Fujiwara, 2012),而对于不同引导线索作用的神经心理机制尚不完全清楚。本文通过实验研究认为,视觉和时间线索对于突发姿势干扰条件下姿势肌肉和动作肌肉 APAs 和 CPAs 的作用可能与各自不同的神经心理控制机制有关。就视觉引导线索而言,视觉线索可以根据干扰刺激的大小、高度、速度等物理特征,形成自上而下的、下意识的和相对精准的姿势干扰预测,然后针对身体姿势肌肉和动作肌肉系统的活动作出相对精准的控制;而时间线索在心理学本质上仅仅是对即将发生的姿势干扰事件可能性的一种相对确定性判断,时间线索无法根据干扰刺激的物理特征准确判断干扰刺激的作用路径、作用方式和可能作用效果,

从而对身体姿势肌肉和动作肌肉作出相对精准的控制,由此造成了本研究所观察到的“姿势肌肉 APAs 视觉线索优势现象”。而就时间引导线索而言,虽然以往研究和本实验均观察到其对动作肌肉活动具有一定的“预激活”和“适度激活”作用(Brown et al., 2003),但其作用不能完全排除被试根据先前作业经验而采取的“主动收缩策略”和“猜测效应”,对此需要进一步的研究和验证。

5 结论

本研究采用经典“落球试验”比较了不同知觉引导线索对于突发外部姿势干扰条件下 CNS 对腰部姿势肌肉和上臂动作肌肉 APAs 和 CPAs 的作用,获得以下结论:

(1)视觉引导线索能够明显增加姿势肌肉和动作肌肉预激活发生率和提早预激活时间,表现出明显的“视觉线索预激活优势现象”;而时间引导线索主要引发动作肌肉预激活提前,对姿势肌肉 APAs 和 CPAs 无明显影响;

(2)视觉和时间线索对于突发姿势干扰条件下姿势肌肉和动作肌肉 APAs 和 CPAs 的作用可能与各自不同的神经心理控制机制有关。视觉线索可以利用姿势干扰刺激的物理特征,形成并实现相对精准的姿势干扰预测与中枢运动控制;

(3)时间引导线索对动作肌肉的“预激活作用”,不能完全排除被试根据先前经验而采取的“主动收缩策略”和“猜测效应”。

参 考 文 献

- Allison, G. T., & Henry S. M. (2002). The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements, a pilot study. *Clinical Biomechanics*, 17, 414–417.
- Boulinguez, P., & Nougier, V. (1999). Control of goal-directed movements: The contribution of orienting of visual attention and motor preparation. *Acta Psychologica*, 103, 21–45.
- Brown, S. H. M., Haumann, M. L., & Potvin, J. R. (2003). The responses of leg and trunk muscles to sudden unloading of the hands: implications for balance and spine stability. *Clinical Biomechanics*, 18, 812–820.
- Crommert, A. E. M. E., & Thorstensson, A. (2009). Trunk muscle reactions to sudden unexpected and expected perturbations in the absence of upright postural demand. *Experimental Brain Research*, 196, 385–392.
- Dupeyron, A., Perrey, S., Micallef, J.-P., & Pélissier, J. (2010). Influence of back muscle fatigue on lumbar reflex adaptation during sudden external force perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 426–432.
- Eckerle, J. J. (2010). *The Effect of uncertainty about ball weight on anticipatory muscle activity in a one-handed catching task*. Unpublished doctoral dissertation, Miami University.
- Friedli, W. G., Hallett, M., & Simon, S. R. (1984). Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements: 1. Electromyographic data. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 47, 611–622.
- Ghez, C., & Krakauer, J. (2000). The organization of movement. In: E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, & A. J. Hudspeth (Eds.). *Principles of neural science* (4th ed., pp. 653–673). McGraw-Hill Medical.
- Haridas, C., Gordon, I. T., & Misiaszek, J. E. (2005). Walking delays anticipatory postural adjustments but not reaction times in a choice reaction task. *Experimental Brain Research*, 163, 440–444.
- Hermens, H. J., & Freriks, B. (1997). The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: A proposal for sensor placement procedures. *Deliverable of the SENIAM Project*.
- Hugon, M., Massion, J., & Wiesendanger, M. (1982). Anticipatory postural changes induced by active unloading and comparison with passive unloading in man. *Pflügers Archiv*, 393, 292–296.
- Hwang, J. H., Lee, Y.-T., Park, D. S., & Kwon, T.-K. (2008). Age affects the latency of the erector spinae response to sudden loading. *Clinical Biomechanics*, 23, 23–29.
- Hyodo, M., Saito, M., Ushiba, J., Tomita, Y., Minami, M., & Masakado, Y. (2012). Anticipatory postural adjustments contribute to age-related changes in compensatory steps associated with unilateral perturbations. *Gait & Posture*, 36, 625–630.
- Frank, J. S., & Earl, M. (1990). Coordination of posture and movement. *Physical Therapy*, 70(12), 855–863.
- Krishnan, V., Latash, M. L., & Aruin, A. S. (2012). Early and late components of feed-forward postural adjustments to predictable perturbations. *Clinical Neurophysiology*, 123(5), 1016–1026.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement*. The United States of America: Human Kinetics.
- Leinonen, V., Kankaanpää, M., Hänninen, O., Airaksinen, O., & Taimela, S. (2002). Paraspinal muscle responses during sudden upper limb loading. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 42–49.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2010a). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 388–397.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2010b). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 2. Biomechanical analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 398–405.
- Shiratori, T., & Latash, M. L. (2001). Anticipatory postural adjustments during load catching by standing subjects. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1250–1265.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1995). *Motor control: Theory and practical applications*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Tomita, H., & Fujiwara, K. (2008). Effects of allocation of visuo-spatial attention to visual stimuli triggering unilateral arm abduction on anticipatory postural control. *Clinical Neurophysiology*, 119, 2086–2097.
- Uemura, K., Yamada, M., Nagai, K., Tanaka, B., Mori, S., & Ichihashi, N. (2012). Fear of falling is associated with prolonged anticipatory postural adjustment during gait

initiation under dual-task conditions in older adults. *Gait & Posture*, 35, 282–286.

Yaguchi, C., & Fujiwara, K. (2012). Effects of attentional

dispersion on sensory-motor processing of anticipatory postural control during unilateral arm abduction. *Clinical Neurophysiology*, 123, 1361–1370.

Effects of Perceptual Clues on the Subconscious Neuromuscular Feed-forward and Feedback Control

ZHANG Zhi¹; WANG Jian^{1,2}

(¹ Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

(² Institute of Sports Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract

During self-induced and externally triggered posture perturbations the central nervous system (CNS) subconsciously activates two different neural control strategies named feed-forward mechanisms (FFM) which is presented as anticipatory postural adjustments (APAs) and feedback mechanisms (FBM) which is presented as compensatory postural adjustments (CPAs). Because of these two neural control strategies the postural muscles can respond rapidly in 50 to 120ms and the center of body gravity can be stable. It is a classic experiment paradigm that observing FFM by APAs changes of postural muscles triggered by optic clues. However, sudden loading and unloading triggered by temporal clues is a new way to examine neuromuscular rapid response control. Its impact on APAs and CPAs of postural and focal muscles during sudden posture perturbation is still unclear and the interaction between optic and temporal clues has not been reported yet.

This experiment aimed to examine the effects of the optic and temporal clues on APAs and CPAs by which CNS acts on postural and focal muscles during externally triggered posture perturbation. Sixteen healthy young adults were subjected to the classic ball hitting test (BHT) in six conditions combined by optic clues (eyes open and eyes closed) and temporal clues (no counting backwards for release, counting backwards of release by the experimenter and counting backwards by subjects themselves). EMG activity on right side musculus biceps brachii as focal muscle and right side lumbar erector spinae and lumbar multifidus as postural muscles was collected. The incidence of APAs, the latency of pre-activation and the response intensity of CPAs of the muscles mentioned above were calculated in order to reflect the effects of perceptual clues on APAs and CPAs of postural and focal muscles.

Our results showed that the incidence of APAs of postural and focal muscles was significantly increased and the pre-activation of postural and focal muscles was significantly earlier with optic clues than without. Besides, optic clues significantly decreased the response intensity of CPAs of the focal muscle. Nevertheless, temporal clues primarily induced earlier pre-activation of the focal muscle without significant effects on APAs or CPAs of postural muscles.

We conclude that the effects of optic and temporal clues on CNS motor control of postural and focal muscles during externally triggered posture perturbation are different. Optic clues have significant effects on APAs of postural and focal muscles and CPAs of the focal muscle, which suggests a pre-activation superiority for optic clues. Temporal clues only have significant effect on APAs of focal muscles.

Key words optic clues; temporal clues; anticipatory postural adjustments; compensatory postural adjustments; externally triggered postural perturbation