

# 视觉预期和注意指向对姿势和动作肌肉 预期和补偿姿势调节的影响\*

王 健<sup>1,2</sup> 袁立伟<sup>1</sup> 张 芷<sup>3</sup> 王诗忠<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028) (<sup>2</sup>浙江大学体育与科学技术研究所, 杭州 310028)

(<sup>3</sup>浙江警察学院侦查系, 杭州 310000) (<sup>4</sup>福建中医药大学, 福州 350122)

**摘 要** 采用经典落球试验研究范式, 同步观察视觉预期和注意指向对腰部姿势肌肉和上肢运动肌肉预期和补偿姿势调节的影响, 探索视觉预期和注意指向影响姿势控制的早期心理生理机制。24 名青年志愿者(10 名男性, 14 名女性)参与完成本实验, 分别在有、无视觉预期以及注意指向“托盘稳定”或者“重心稳定”的实验条件下观察外部姿势干扰对腰部姿势肌肉(L5~S1 腰部多裂肌)和上肢动作肌肉(肱二头肌)预期姿势调节(anticipatory postural adjustments, APAs)和补偿姿势调节(compensatory postural adjustments, CPAs)相关时间和强度参数的影响。APAs 和 CPAs 的时间和强度参数通过获取被检肌肉 sEMG 信号并参照相关检测规范进行。结果显示: (1)视觉预期对多裂肌的 APAs 启动时间, 对肱二头肌的 APAs 启动时间、APAs 强度和 CPAs 强度有显著影响; (2)注意指向对多裂肌的 CPAs 启动时间和肱二头肌 APAs 启动时间有显著影响; (3)视觉预期和注意指向对肱二头肌的 APAs 启动时间和 APAs 强度有交互作用。研究认为, 突发外部姿势干扰条件下姿势肌肉和动作肌肉的姿势调节策略具有一定的差异, 视觉预期和注意指向仅对姿势肌肉的时间参数有影响, 对动作肌肉 APAs 和 CPAs 时间和强度参数都产生调节作用, 表明在中枢神经系统的姿势控制中, 人体姿势策略的调节是通过对姿势肌肉和动作肌肉的双重控制来完成的, 视觉预期效应和心理指向效应反映在对不同功能肌肉前馈控制和反馈控制相应参数的调节。

**关键词** 视觉预期; 注意指向; 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

大脑具有适应不同身体活动的需要, 依据预知或者感知的各种突发性内部或外部姿势干扰(Postural perturbation), 通过中枢神经系统(central nervous system, CNS)主导的前馈控制(feed-forward control, FFC)、反馈控制(feed-back control, FBC)和随意运动控制(voluntary control, VC)机制, 激活姿势肌肉活动、发动动作肌肉活动以及协调姿势肌肉与动作肌肉之间的活动, 快速有效地应对各种突发姿势干扰对身体姿势的破坏和动作任务绩效的影响(Massion, 1994, 1998; Morasso, Baratto, Capra, &

Spada, 1999)。其中, FFC 和 FBC 分别是 CNS“自上而下”和“自下而上”的无意识性运动控制过程, 前者是指 CNS 通过预先激活姿势肌肉活动而产生的一种开环控制(Open chain control), 发生于突发姿势干扰之前, 相应的中枢姿势控制活动被称为预期姿势调节(anticipatory postural adjustments, APAs)。FBC 则是 CNS 依据外周肌肉本体感受、位觉、听觉等感觉传入信息产生的一种闭环控制(Close chain control), 发生于突发姿势干扰之后, 相应的姿势控制活动被称为补偿姿势调节(compensatory postural adjustments, CPAs); 而 VC 则是由大脑通过随意运动控制指令驱动的运动控制过程(Eriksson

收稿日期: 2015-12-23

\* 国家自然科学基金项目(31671239); 2013~2017 国家科技支撑计划项目(2013BAI10B05)。

通讯作者: 张芷, E-mail: zhangzhi@zjjcxy.cn

& Thorstensson, 2009)。

APAs 和 CPAs 受突发姿势干扰方向、干扰强度等物理因素以及心理预期(Visual Anticipation, VA)、注意指向(focus of attention, FOA)、任务目标等心理因素的影响,通常情况下心理预期和注意关注是影响 APAs 和 CPAs 最基本和最重要的心理因素(Shumway-Cook & Woollacott, 2009)。视觉预期是姿势控制心理预期效应研究的经典范式。Leinonen 等采用此研究范式发现,睁眼条件下的突发身体加载时,被试背部竖脊肌和腰部多裂肌姿势预期调节起始时间显著缩短且强度减小,表现出明显的前馈控制效应(Leinonen, Kankaanpää, Hänninen, Airaksinen, & Taimela, 2002)。Santos 等采用重物摆干扰研究了视觉预期对姿势肌肉 APAs 和 CPAs 的影响,发现大部分姿势肌肉在有预期条件下出现预期姿势激活,而无预期条件下则不产生预期姿势激活,但有较大幅度的补偿姿势激活,提示视觉预期对突发干扰条件下 APAs 和 CPAs 的调节作用(Santos, Kanekar, & Aruin, 2010)。以上相关研究表明了视觉预期对姿势调节中被试姿势肌肉的重要影响,而对于姿势调节系统中动作肌肉缺乏相关探索。因此本研究的第一个目标就是同步观察外界姿势干扰下,视觉预期对动作肌肉姿势调节的影响。本研究的第一个假设为:人体受到外界干扰时,视觉预期对动作肌肉也会产生相应的姿势调节,且此调节策略可能与姿势肌肉存在差异。

传统的姿势控制理论认为,FFC 和 FBC 通常情况下发生于突发姿势干扰起始点  $T_0$  的  $-200\text{ ms} \sim +200\text{ ms}$  之间,且不伴随明晰的运动知觉与控制意图,属无意识运动控制,因而较少或者不受具有明确意识属性的“注意指向”(focus of attention, FOA)的影响;而 VC 通常情况下发生于  $T_0$  点  $+200\text{ ms}$  之后,且运动的组织、发动和控制均需意识活动的参与,因此易受 FOA 的影响(张芷,王健,冯金升,2013)。然而,近年来有研究发现,FOA 不仅可以明显影响 VC 的绩效,而且也可在一定程度上影响无意识运动控制活动 FFC 和 FBC,从而对传统的注意运动控制理论提出质疑。Olivier 等以身体压力中心移动速度考察注意对姿势控制的影响,发现注意条件下身体压力中心移动速度明显加快(Olivier, Palluel, & Nougier, 2008)。Uemura 和 Yamada 等以 APAs 考察注意对姿势肌肉 FFC 的影响,发现担心跌倒的老年人由于消耗更多的注意资源用以动作控制,从而较不担心跌倒的老年人具有更早发动的 APAs (Uemura et al., 2012)。McNevin 和 Wulf 采用经典 FOA

研究范式,以身体晃动频率考证内部和外部注意指向对姿势控制的影响,发现内部 FOA 较外部 FOA 更容易造成身体晃动(McNevin & Wulf, 2002)。而 Cluff 等人另一项研究探索了内、外 FOA 对直立姿势控制的影响,发现两者没有显著差异(Cluff, Gharib, & Balasubramainiam, 2010)。以上研究结果的差异提示注意关注对姿势调节的影响可能受多种因素的影响。此外,现有大多数研究的实验都是在睁眼条件下进行的,并未考虑注意关注作用时视觉预期的影响。本研究的第二个假设为:同步控制心理预期和注意指向,外界干扰下的姿势调节策略可能与以往研究存在差异。为此,本研究在以往研究的基础上,采用经典的落球试验研究范式(Ball hitting paradigm, BHP)和注意关注操作方法,同步考察视觉预期和注意指向对腰部多裂肌和肱二头肌 APAs 和 CPAs 各项时间和强度参数的影响,深入探讨视觉预期和注意指向影响姿势控制的脑机制。

## 2 方法

### 2.1 实验被试

本研究共征集 29 名青年志愿者参与实验,实验中 5 人的 sEMG 信号采集无效,最终有效被试为 24 名(10 名男性,14 名女性)。被试基本信息如下:平均年龄  $22.71 \pm 2.70$  岁,平均身高  $169.50 \pm 7.09\text{ cm}$ ,平均体重  $58.20 \pm 10.42\text{ kg}$ 。被试入选标准为:身体健康,矫正视力良好,听力正常,没有运动相关神经肌肉系统疾病。本实验进行前已征求所有被试的知情同意。

### 2.2 实验设计

本研究实验设计为 2(视觉预期:有视觉预期、无视觉预期) $\times$ 2(注意指向:注意维持托盘的稳定、注意维持身体重心的稳定)的被试内设计。对被试优势侧的肱二头肌(BIC)和腰部多裂肌(LMF)进行 sEMG 信号采集。计算并分析不同条件下 sEMG 信号的 APAs 启动时间、APAs 强度和 CPAs 启动时间和强度的差异,从而探索视觉预期和注意指向对动作肌肉和姿势肌肉的影响。

实验时,被试需在不同条件下执行落球试验:要求其在站立姿势下双手持托盘,接住从托盘上方视线水平高度掉落下来的负荷,过程中要尽量维持上肢的空间位置和身体重心稳定。视觉预期条件分为睁眼和闭眼两种:在睁眼条件下,被试可以看到重物从开始释放到掉落在托盘的整体过程;在闭眼条件下,被试带上耳罩和眼罩,无法看到或听到主

试释放重物掉落过程。在以上睁眼、闭眼条件下,分别要求被试完成两种不同的“注意关注”。一种是要注意“托盘稳定”,另外一种是要注意“保持身体重心稳定”。通过视频记录被试接沙袋过程中肘关节的角度和身体扰动度变化。不同注意指向的操作通过主试的指导语和评分量表来进行评估。

### 2.3 实验程序

被试在实验中需要保持躯干直立,两脚自然分开一定距离。双手握持一个约 0.9 kg 的金属托盘(上直径 32 cm、底直径为 21 cm),要求被试左右手分别抓握托盘两侧的手柄,上臂垂直于地平面,两个肘关节保持 90 度。重物下落接触到托盘的时间通过固定在底部的振动传感器来记录,该时间即反映人体躯干受到干扰产生振动的时间。传感器的结构由蜂鸣片和触点弹簧共同构成组成,经检测能够比较准确和及时地反映出肢体干扰引发的托盘振动情况。加载的负荷为 1.5 kg 的沙袋,开始时候被放置于与被试视线相平行位置,然后由主试来控制并释放。主试与被试面对面的站立,双手托举沙袋,使其落于托盘中心位置。

本实验共有 4 种试验条件,分别为睁眼—注意维持托盘稳定,睁眼—注意维持身体重心稳定,闭眼—注意维持托盘稳定,闭眼—注意维持身体重心稳定,每种试验条件重复 3 次。注意托盘稳定时,指导语为“在落球试验中,注意保持托盘稳定”;注意身体重心稳定时,指导语为“在落球试验中,注意保持将身体重心稳定”。其中一半被试先在睁眼条件下按顺序完成注意托盘稳定和注意身体重心的试验,另一半被试则先在闭眼条件下完成以上试验。在正式试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。睁眼条件下两次试验之间间隔约 15 秒;闭眼条件下两次试验间隔在 15~30 秒之间,以防止被试对于释放时间的猜测。每次试验完成后,要求被试在数字 1~7 中进行选择以便对“目标关注度”进行反馈,其中数字越小表示越将注意力集中于“维持托盘稳定”,数字越大表示越将注意力集中于“维系身体重心稳定”,数字 4 表示注意力在肘关节和身体重心之间平均分配。该步骤的目的是检查被试对实验指导语的完成度,确保被试按照实验要求完成目标关注。

### 2.4 实验设备和信号处理

实验使用表面肌电(Surface electromyography, sEMG)设备进行信号采集。研究目标为优势侧的动作肌和姿势肌。动作肌选取上肢肱二头肌(BIC),姿

势肌选取躯干的多裂肌(LMF)。表面肌电的两个差分探测电极放置于被检肌肉的肌腹位置,两电极中心点连线与肌纤维方向一致。每个电极直径约为 0.5 cm,电极间距离为 2 cm,参考电极贴于探测电极旁侧 3 cm 处。放置电极之前用 75%酒精棉球对相应部位的皮肤预先进行清洁擦拭,从而减小阻抗及噪声干扰。表面肌电仪采用 ME6000 (Mega Electronics Ltd, Finland),信号采样频率为 1000 Hz,输入阻抗  $< 10 \text{ G}\Omega$ ,通带滤波 10~500 Hz,噪声水平小于  $3.5 \mu\text{V}$ 。

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身体姿势改变的时间。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。

依据相关研究文献(Santos et al., 2010),本研究设定的各项姿势控制观察变量及其操作定义如下:以托盘底部的振动传感器产生振动信号( $T_0$ )作为姿势干扰的起始点,取  $T_0$  前 500~350 ms 时段的 sEMG 振幅平均值作为参考基线,被检肌肉开启活动的时间为 sEMG 平均振幅开始大于参考基线 3 个标准差并持续 15 ms 所对应的时间(ms)。被检肌肉开始活动时间若出现在  $T_0$  的 -200 ms ~ +50 ms 之间,被定义为 APAs;若出现在 +50 ms ~ +200 ms 之内则称为 CPAs。被检肌肉在 APAs 阶段从“开始活动”到  $T_0$  后 +50 ms 内肌电振幅的平均值与参考基线的比值为 APAs 强度;被检肌肉在 CPAs 阶段从启动时刻到  $T_0$  后 200 ms 内肌电振幅的平均值与基线的比值为 CPAs 强度。

### 2.5 统计分析

所有数据的统计分析在 SPSS 19.0 上执行。采用相关样本 t 检验分别对不同“目标关注度”执行情况显著性检验。以视觉(有、无)和注意关注(托盘稳定、身体重心稳定)为被试内变量,对被试多裂肌和肱二头肌的肌电信号指标(APA 启动时间、APAs 强度、CPAs 启动时间和 CPAs 强度)采用重复测量的方差分析。不符合球形标准的方差分析自由度采用 Greenhouse-Geisser 方法进行校正,选择显著性水平为  $\alpha = 0.05$ 。

## 3 结果

### 3.1 注意指向对“目标关注度”的影响

不同注意指向条件下被试“目标关注度”见图 1。不同“目标关注度”的得分为:指向托盘稳定  $2.33 \pm 1.12$  分,指向身体重心稳定  $5.42 \pm 1.13$  分。统计结果表明,要求被试将注意力指向托盘稳定或指向身

体重心稳定的“目标关注度”均与平均分配注意力 4 有显著差异( $p < 0.001$ ), 表明被试认为自己按照实验要求完成对目标的主观关注。

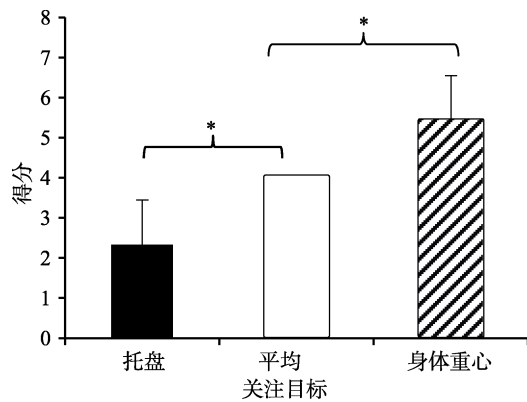


图 1 不同注意指向实验效率研究结果(\*表示  $p < 0.05$ )

### 3.2 视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 启动时间的影响

姿势肌肉和动作肌肉 APAs 启动时间的描述性统计信息详见表 1。

视觉预期对腰部多裂肌的 APAs 启动时间主效应显著(图 2A,  $F(1, 23) = 9.68$ ,  $p = 0.005$ ,  $\eta^2 = 0.30$ ), 表现为睁眼条件下的启动时间明显早于闭眼; 注意指向对腰部裂肌的主效应不显著,  $F(1, 23) = 0.15$ ,  $p =$

0.699; 视觉预期和注意指向对腰部多裂肌的 APAs 启动时间交互作用不显著,  $F(1, 23) = 0.14$ ,  $p = 0.711$ 。

表 1 不同视觉预期和注意指向条件下腰部多裂肌和肱二头肌 APAs 启动时间(ms)

肌肉	注意指向	睁眼	闭眼
腰部多裂肌	托盘稳定	33.63 ± 83.18	80.37 ± 69.15
	重心稳定	34.13 ± 80.47	90.33 ± 65.01
肱二头肌	托盘稳定	-118.92 ± 57.60	9.63 ± 33.52
	重心稳定	-68.50 ± 67.10	-0.75 ± 39.11

视觉预期对肱二头肌的 APAs 启动时间主效应显著(图 2B,  $F(1, 23) = 80.10$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.77$ ), 表现为睁眼条件下的启动时间明显早于闭眼; 注意指向对肱二头肌 APAs 启动时间主效应显著( $F(1, 23) = 10.02$ ,  $p = 0.004$ ,  $\eta^2 = 0.30$ ), 表现为关注托盘稳定的启动时间显著早于关注身体重心稳定; 视觉预期和注意指向对肱二头肌 APAs 启动时间交互作用显著,  $F(1, 23) = 5.64$ ,  $p = 0.026$ ,  $\eta^2 = 0.20$ 。简单效应分析表明, 注意关注托盘稳定条件下, 睁眼 APAs 启动时间显著早于闭眼,  $F(1, 23) = 18.60$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.45$ 。注意关注重心稳定条件下, 睁眼 APAs 启动时间也显著早于闭眼( $F(1, 23) = 92.74$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.80$ ), 关注托盘时有无视觉的时间差值(128.55 ms)大于关注托盘(68 ms)(见图 3)。

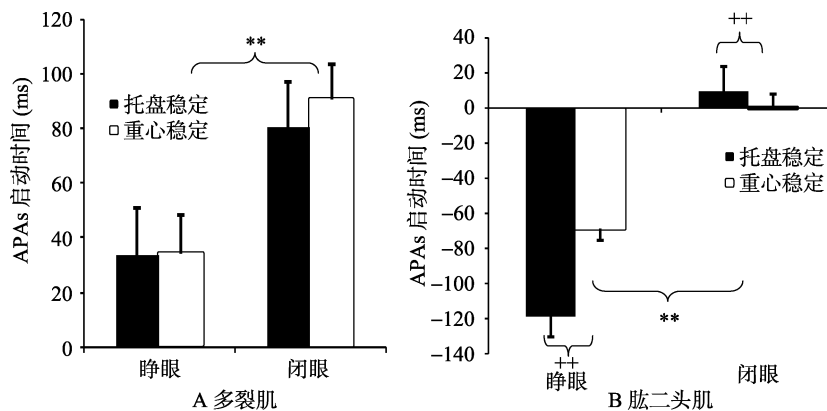


图 2 视觉预期和注意指向对 APAs 启动时间的影响(++、\*\*表示  $p < 0.01$ )

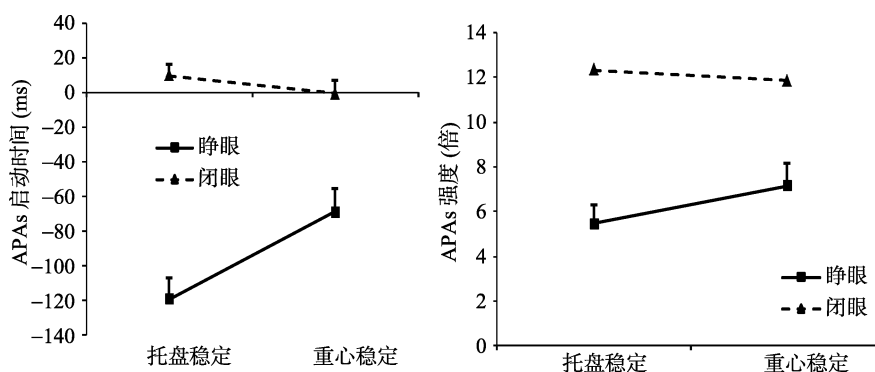


图 3 肱二头肌视觉预期和注意指向的交互作用

3.3 视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 强度的影响

视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 强度的影响详见表 2。

表 2 不同视觉预期和注意指向条件下的腰部多裂肌和肱二头肌的 APAs 强度(倍)

肌肉	注意指向	睁眼	闭眼
腰部多裂肌	托盘稳定	1.90 ± 1.44	2.06 ± 1.04
	重心稳定	1.92 ± 1.31	1.87 ± 0.66
肱二头肌	托盘稳定	5.45 ± 4.13	12.32 ± 10.32
	重心稳定	7.14 ± 4.89	11.86 ± 7.86

视觉预期对腰部多裂肌 APAs 强度的主效应不显著(图 3A),  $F(1,23) = 0.53, p = 0.475$ ; 注意指向对多裂肌 APAs 强度的主效应不显著,  $F(1,23) = 0.21, p = 0.649$ 。视觉预期和注意指向对腰部多裂肌 APAs 强度的交互作用不显著,  $F(1,23) = 0.13, p = 0.727$ 。

视觉预期对肱二头肌的 APAs 强度的主效应不显著(图 3B),  $F(1,23) = 0.50, p = 0.487$ ; 注意指向对动作肌肉 APAs 强度的主效应不显著,  $F(1,23) = 1.86, p = 0.186$ 。视觉预期和注意指向对肱二头肌 APAs 强度的交互作用不显著,  $F(1,23) = 9.27, p = 0.005, \eta^2 = 0.30$ 。简单效应分析表明, 在注意关注于托盘稳定时, 有、无视觉预期的 APAs 强度差异显著,  $F(1,23) = 91.80, p < 0.001, \eta^2 = 0.80$ ; 在注意关注于重心稳定时, 有、无视觉预期的 APAs 强度差异显

著( $F(1,23) = 26.47, p < 0.001, \eta^2 = 0.54$ ), 关注托盘稳定条件下睁、闭眼的差异(6.87)大于关注重心稳定的差异(4.72) (见图 4)。

3.4 视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 CPAs 时间的影响

视觉预期和注意指向对腰部多裂肌和肱二头肌 CPAs 时间的影响描述信息见表 3。

重复测量方差分析表明, 注意指向对腰部多裂肌 CPAs 时间的主效应显著(图 5A) ( $F(1,23) = 26.43, p < 0.001, \eta^2 = 0.54$ ); 其余均无显著差异(LMF: 视觉预期:  $F(1,23) = 2.55, p = 0.124$ ; 视觉预期×注意指向:  $F(1,23) = 1.33, p = 0.260$ ), (BIC: 视觉预期:  $F(1,23) = 0.20, p = 0.660$ , 注意指向:  $F(1, 23) = 0.001, p = 0.991$ ; 视觉×注意指向:  $F(1,23) = 2.65, p = 0.117$ )。

3.5 视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 CPAs 强度的影响

视觉预期和注意指向对姿势肌肉和动作肌肉 CPAs 强度的影响详见表 4。

重复测量方差分析表明, 视觉预期对肱二头肌 CPAs 强度的主效应显著(图 5B) ( $F(1,23) = 10.85, p = 0.003, \eta^2 = 0.32$ ); 其余均无显著差异(LMF: 视觉预期:  $F(1,23) = 0.10, p = 0.758$ ; 注意指向:  $F(1,23) = 0.51, p = 0.481$ ; 视觉预期×注意指向:  $F(1,23) = 0.77, p = 0.338$ ), (BIC: 注意指向:  $F(1, 23) = 3.27, p = 0.084$ ; 视觉预期×注意指向:  $F(1,23) = 0.04, p = 0.839$ )。

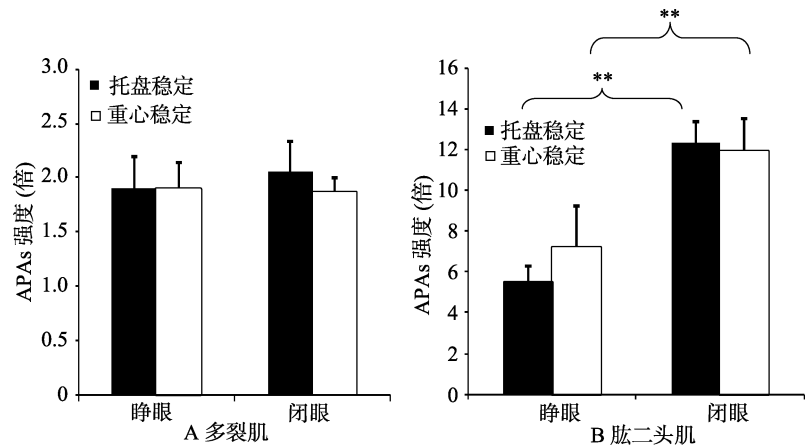


图 4 视觉预期和注意指向对 APAs 强度的影响 (\*\*表示  $p < 0.01$ )

表 3 不同视觉预期和注意指向条件下腰部多裂肌和肱二头肌 CPAs 时间(ms)

肌肉	注意指向	有视觉预期	无视觉预期
腰部多裂肌	托盘稳定	73.50 ± 28.53	95.29 ± 35.19
	重心稳定	75.29 ± 28.98	108.63 ± 43.53
肱二头肌	托盘稳定	51.00 ± 1.00	54.46 ± 12.29
	重心稳定	55.29 ± 15.56	51.79 ± 2.04

表 4 不同视觉预期和注意指向条件下腰部多裂肌和肱二头肌 CPAs 强度(倍)

肌肉	注意指向	有视觉预期	无视觉预期
多裂肌	托盘稳定	2.37 ± 2.58	2.10 ± 1.05
	重心稳定	2.01 ± 1.36	2.08 ± 0.87
肱二头肌	托盘稳定	8.07 ± 6.17	14.00 ± 12.00
	重心稳定	9.17 ± 7.46	12.53 ± 10.31

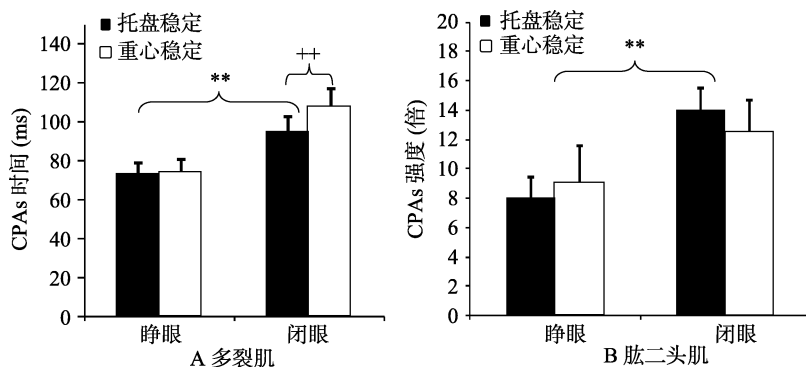


图5 视觉预期和注意指向对 CPAs 的影响(++,\*\*表示  $p < 0.01$ )

## 4 讨论

视觉预期和注意指向是影响干扰条件下人体姿势控制策略的关键因素。日常生活中,人体很多时候是同时接受这两个因素的刺激,因此同步控制这两个因素来探索人体相应肌肉活动可以为姿势调节策略提供重要依据。本研究采用姿势控制经典研究范式“落球试验”以及注意指向的常规操作方法“外部指向与内部指向”,同步考察视觉预期和主观注意指向对躯干姿势肌肉 LMF 和上肢动作肌肉 BIC 的 APAs 和 CPAs 的影响。研究发现,视觉预期能够明显提早多裂肌和肱二头肌 APAs 启动时间,弱化肱二头肌 APAs 强度,增强肱二头肌的 CPAs 强度;注意指向影响多裂肌的 CPAs 启动时间和肱二头肌 APAs 启动时间,表现为注意指向重心稳定时相对于关注托盘稳定 APAs 和 CPAs 启动时间延迟;视觉预期和注意指向有显著的交互作用,但交互作用仅存在于调节肱二头肌的 APAs 启动时间和强度。以上研究结果一方面验证了视觉预期对肌肉姿势调节策略的影响;另一方面也明确指出注意指向调节姿势肌肉的 CPAs 启动时间和动作肌肉的 APAs 启动时间,同时对动作肌肉 APAs 参数的调节作用和视觉预期具有交互。

姿势控制是人体维持重心稳定、维护平衡和进行躯干空间定位的基本身体能力,是运动控制的基础。视觉预期对姿势调节中姿势肌肉的影响已有很多研究,本研究的结果与多数研究是一致的:睁眼条件下,腰部多裂肌主要通过前馈姿势控制来进行相关姿势调节,表明视觉线索在姿势控制中具有重要作用(Leinonen et al., 2002; Santos et al., 2010; 张芷,王健,2014; 谢琳,王健,张芷,袁立伟,王楚婕,2014)。本实验同时观察了肱二头肌的 sEMG 表现,发现其视觉预期效应与姿势肌肉具有一定差异。具体表现为视觉预期仅对腰部多裂肌 APAs 启

动时间有影响,对肱二头肌 APAs 启动时间和强度,CPAs 强度均有影响。提示 CNS 对外界干扰下姿势肌肉和动作肌肉的调节可能是由不同中枢指令来控制的。在各种姿势干扰因素的作用下,机体一方面可以通过 CNS 主导的无意识的前馈控制和反馈控制,快速而有效地应对各种突发姿势干扰对身体重心稳定性和肢体空间定位的干扰和破坏。另一方面,还可以通过具有意识属性的心理预期、注意指向、行为意图等心理因素的作用,对姿势控制过程进行优化,从而使得无意识和有意识的姿势控制机制协同一致,实现对身体姿势的最优控制。人体的运动控制系统包括姿势控制和动作控制两部分,两个控制系统协调合作完成人体的日常运动并维持身体的稳定,CNS 指令对姿势和动作的控制过程构成了姿势控制的“内部模型”(Kawato, 1999)。本研究结果中,一方面观察到视觉预期对姿势肌肉腰部多裂肌 APAs 启动时间的提早作用,从而验证了 CNS 对姿势肌肉“预激活现象”的客观存在;另一方面,进一步观察到视觉预期对动作肌肉肱二头肌的姿势调节策略,即提早 APAs 启动时间,增强 APAs 和 CPAs 强度。以上研究结果为姿势控制的“内部模型”提供了重要的实验证据。

注意指向在姿势控制研究领域泛指认知与控制资源对特定任务目标的指向与集中,在本研究中特指对“重心稳定”和“托盘稳定”的注意关注。以往研究指出,不同注意指向策略对运动技能学习具有明显不同影响,主要表现为外部注意指向有利于提高和改善动作控制和技能学习的绩效,而内部注意指向则无此作用甚至有一定的负面干扰作用(Wulf, Lewthwaite & Töllner, 2009; Newell, 1985; Peh, Chow, & Davids, 2011)。现有实验设计多是在睁眼条件下进行,没有考虑视觉预期可能对注意指向产生的影响。本研究同时控制视觉预期和注意指向因素,主要结果和以上观点一致,即关注“托盘稳定”的姿势

调节效率好于关注“重心稳定”，但此作用对于肱二头肌的 APAs 调节具有交互影响，关注重心稳定时相对于关注托盘稳定，睁闭眼之间的差异减小。说明作为内部注意指向，关注重心稳定的负面干扰作用可能同时降低了神经中枢对视觉预期的关注，以致视觉有、无对人体姿势调节影响的差异减小。此外，注意指向影响多裂肌 CPAs 启动时间和肱二头肌 APAs 启动时间。这一注意指向策略在不同功能性质的肌肉动员上表现出来的差异性，具有重要的意义。说明属于意识活动范畴的“注意指向”不仅对受意识控制的动作肌肉有影响，同时也可以一定程度上影响无意识控制的姿势肌肉。

姿势控制系统是一个相对独立的运动控制系统，该系统可以自动地接受来自视觉、听觉、位觉和本体感觉等器官的感觉输入信息以及大脑运动控制区的运动控制指令，然后根据 CNS 业已形成的“身体图式(scheme)”，发动姿势肌肉和动作肌肉的活动，协同不同姿势肌肉和动作肌肉之间的活动，维持身体重心稳定和肢体空间定位。姿势控制系统具有自组织和自动控制的基本特点(Lestienne, Soechting, & Berthoz, 1977)，具有较强的鲁棒性和适应性、易受随意运动控制的干扰(Wing & Lederman, 1998)。目前研究认为，姿势控制的预期效应主要源自于大脑基于视觉输入和任务目标的姿势肌肉前馈控制作用(Shumway-Cook & Woollacott, 2009)，而外部注意指向优势效应则主要是因为该注意指向弱化了意识活动对自动化姿势控制的阻碍作用(Maki & McIlroy, 1996)。本研究关于外部姿势干扰条件下 CNS 对姿势肌肉和动作肌肉 APAs 启动时间和活动强度影响的研究结果，一方面同步控制视觉预期和注意指向两因素，认为视觉预期和注意指向具有交互作用，且此交互作用仅针对于动作肌肉的前馈控制；另一方面，本研究中的目标肌肉包括了动作肌肉，发现姿势肌肉和动作肌肉在外界干扰下的姿势调节策略具有差异：姿势肌肉仅从时间参数上进行调节，而动作肌肉则强度和参数都进行了调节。以上两点发现对中枢神经肌肉姿势控制研究进行的验证和拓展；第三，属于意识活动范围的“注意指向”可以对无意识控制的姿势肌肉产生一定程度的调节，该发现对于无意识和意识的相互关系领域研究提供了新的依据。

## 5 结论

(1)突发外部姿势干扰条件下，大脑可以在

-200 ms ~ +200 ms 的无意识加工时限内完成对姿势和动作肌肉活动的早期启动，并依此实现其对后续反射性神经肌肉活动和身体姿势的精准控制。

(2)突发外部姿势干扰条件下，视觉预期通过姿势肌肉的 APAs 启动时间和动作肌肉 APAs 和 CPAs 时间和强度参数来进行相关姿势调节。

(3)突发外部姿势干扰条件下，注意指向影响姿势肌肉反馈控制的启动时间和动作肌肉前馈控制的启动时间；在视觉预期同时存在时，对动作肌肉 APAs 的调节具有交互作用。

## 参 考 文 献

- Cluff, T., Gharib, T., & Balasubramaniam, R. (2010). Attentional influences on the performance of secondary physical tasks during posture control. *Experimental Brain Research*, 203, 647-658.
- Eriksson, C. A., & Thorstensson, A. (2009). Trunk muscle reactions to sudden unexpected and expected perturbations in the absence of upright postural demand. *Experimental Brain Research*, 196(3), 385-392.
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 718-727.
- 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(1-2), 42-49.
- Lestienne, F., Soechting, J., & Berthoz, A. (1977). Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Experimental Brain Research*, 28, 363-384.
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (1996). Influence of arousal and attention on the control of postural sway. *Journal of Vestibular Research*, 6, 53-59.
- Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 877-887.
- Massion, J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22(4), 465-472.
- McNevin, N. H., & Wulf, G. (2002). Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human Movement Science*, 21, 187-202.
- Morasso, P. G., Baratto, L., Capra, R., & Spada, G. (1999). Internal models in the control of posture. *Neural Networks*, 12, 1173-1180.
- Newell, K. M. (1985). Coordination, control and skill. *Advances in Psychology*, 27, 295-317.
- Olivier, I., Palluel, E., & Nougier, V. (2008). Effects of attentional focus on postural sway in children and adults. *Experimental Brain Research*, 185(2), 341-345.
- Peh, S. Y. C., Chow, J. Y., & Davids, K. (2011). Focus of attention and its impact on movement behaviour. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(1), 70-78.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S. (2010). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 1. Electromyographic analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(3), 388-397.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2009). *Motor control translating research into clinical practice* (S. Bi, T. B. Yan, & N. H. Wang, Trans.) (pp. 3-155). Beijing, China:



- People's Medical Publishing House.
- [Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2009). 运动控制原理与实践 (毕胜, 燕铁斌, 王宁华 译) (pp. 3–155). 北京: 人民卫生出版社.]
- 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(2), 282–286.
- Wing, A. M., & Lederman, S. J. (1998). Anticipating load torques produced by voluntary movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(6), 1571–1581.
- Xie, L., Wang, J., Zhang, Z., Yuan, L. W., & Wang, C. J. (2014). Psychological predictive effects of sudden posture perturbation. *Acta Psychologica Sinica*, 46(7), 951–959.
- [谢琳, 王健, 张芷, 袁立伟, 王楚婕. (2014). 姿势干扰强度的心理预期效应. *心理学报*, 46(7), 951–959.]
- Zhang, Z., & Wang, J. (2014). Effects of perceptual clues on the subconscious neuromuscular feed-forward and feedback control. *Acta Psychologica Sinica*, 46(1), 50–57.
- [张芷, 王健. (2014). 神经肌肉下意识前馈与反馈控制的知觉线索效应. *心理学报*, 46(1), 50–57.]
- Zhang, Z., Wang, J., & Feng, J. S. (2013). A neuropsychology review of cognition and postural control. *Space Medicine & Medical Engineering*, 26(4), 333–337.
- [张芷, 王健, 冯金升. (2013). 认知与姿势控制的神经心理学研究进展. *航天医学与医学工程*, 26(4), 333–337.]

## Effects of visual anticipation and focus of attention on the anticipatory and compensatory postural adjustments of the lumbar postural muscle and upper limb focal muscle

WANG Jian<sup>1,2</sup>; YUAN Liwei<sup>1</sup>; ZHANG Zhi<sup>3</sup>; WANG Shizhong<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> Department of psychology and Behavioral Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

(<sup>2</sup> Institute of Sports Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

(<sup>3</sup> Investigation Department, Zhejiang Police College, Hangzhou 310000, China)

(<sup>4</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Fujian University of Traditional Medicine, Fuzhou 350122, China)

### Abstract

Body posture can be controlled by the central nervous system (CNS) in three ways: the feed-forward control (FFC), the feed-back control (FBC), and the voluntary control (VC). These neural control strategies not only enable rapid postural muscle responses but also stabilize the center of body gravity. While many studies indicated that visual anticipation (VA) and focus of attention (FOA) can affect the commands from the CNS, the effect of VA/FOA on posture control is not clear. The present study employed the classic ball hitting test (BHT) to simultaneously examine the effect of the VA/FOA-caused pre-activations in the lumbar postural muscle and upper motor muscle.

24 college students (10 males, 14 females) participated in the present study. The BHTs were conducted using a 2 by 2 within-subject design. That is, the participants either anticipated (with eyes open) or not anticipated (with eyes closed) the hitting ball, and they either focused on stabilizing the center of body mass (COM) or focused on the holding pan. A ball of 1.5 kg was used as a load to trigger a perturbation. To study the effects of external perturbation on APAs and CPAs, homemade ball-hitting platform and surface EMG equipment were used to study the response latency and response intensity of the target muscles. Electric activities from the lumbar multifidus muscle (LM) and from the biceps brachii muscle (BB) were collected. The response latency, response intensity of the APAs and CPAs of the target muscles were used to evaluate the effects on the postural and focal muscles.

The results showed (1) VA significantly affected the APAs' latency of the LM, and also affected the APAs' latency, APAs' AEMG, and CPAs' AEMG of the BB; (2) FOA significantly affected the CPAs' latency of the LM, and the APAs' latency of the BB; (3) Interactions between VA/FOA and APAs' latency and APAs' AEMG of BB were significant. These results showed that CNS may use different postural strategies to control postural and motor muscles. That is, VA and FOA may only affect temporal characteristics of the postural muscle, but they can affect both temporal and intensity parameters of the motor muscle. The CNS postural-control system is controlled by both the postural and motor muscles under external perturbation. These findings shed light on the mechanism of the CNS posture-control system.

**Key words** visual anticipation; focus of attention; anticipatory postural control; compensatory postural control; external postural perturbation