

自身肢体运动破坏生物运动的工作记忆复述*

黄 坚^{1,2,3}, 鲁溪芊⁴

(1. 浙江大学医学院附属儿童医院数据信息部, 杭州 310052; 2. 浙江-芬兰儿童健康人工智能联合实验室, 杭州 310052;

3. 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童健康医工交叉研究中心, 杭州 310052;

4. 中国科学院心理研究所, 北京 100101)

摘 要:生物运动指人或其他生物体的运动,在其加工过程中为了形成时空上整合的表征需要将其存储于工作记忆。以往研究发现生物运动的工作记忆复述会引发镜像神经元活动,此研究则从反方面探求在生物运动工作记忆复述过程中记忆保持是否会被干扰镜像神经元的活动所破坏。通过在生物运动的工作记忆保持阶段插入自身肢体运动以干扰镜像神经元的活动,发现生物运动工作记忆绩效受到的破坏显著大于控制组。该结果说明镜像神经元在生物运动工作记忆复述中起核心作用。

关键词:生物运动;工作记忆;镜像神经元

中图分类号:B842.5

文献标志码:A

文章编号:1003-5184(2024)05-0409-07

1 引言

生物运动 (Biological Motion) 指人或其他生物体的运动,它是环境中最常见的一种视觉刺激,有着与其他视觉刺激不同的独特加工机制 (Ben-Ami et al., 2022)。生物运动往往包含复杂的物理特征而人类可以迅速从中提取大量有意义的社会信息 (如:身份、个性、性别、意图、情绪状态等) (Blake & Shiffrar, 2007; Pavlova, 2012)。由于生物运动并非静态,而是在时空上不断变化,人们需要不仅需要对其进行知觉加工,还需要将其存储于工作记忆以形成连贯表征 (Gao et al., 2015; Lu et al., 2016; Shen et al., 2014)。研究者已经发现,生物运动在工作记忆中的存储空间与两类典型的视觉刺激 (客体和空间位置) 均不相同 (Shen et al., 2014; Smyth et al., 1988; Smyth & Pendleton, 1990)。更重要的是,个体的生物运动工作记忆容量可以预测其共情能力,而客体和非生物运动的工作记忆容量则与此无关 (Gao et al., 2016)。儿童生物运动工作记忆容量发展与他们心理理论能力的发展也存在高度关联 (He et al., 2019)。由此可见,生物运动的工作记忆加工是一种与社会认知能力密切相关的高度特异性的过程。

作为短暂存储和加工有限信息的认知加工子系

统,工作记忆的一项基本加工机制是对其中存储的信息进行复述 (rehearsal) 以防止其衰退 (Baddeley, 2012)。有关生物运动在工作记忆中复述的机制,以往研究的主要发现是,镜像神经元系统 (Mirror Neuron System) 在其中起核心作用 (Gao et al., 2015; Lu et al., 2016)。人类镜像神经元 (Mirror Neuron) 主要分布于顶下小叶、额下回及腹侧前运动皮层等脑区并构成镜像神经元系统。镜像神经元系统的正如其名一般具有“镜像”特性,即在个体自身执行动作和观察他人同样动作时均会触发激活 (Rizzolatti & Craighero, 2004)。该系统不仅参与生物运动知觉 (Saygin, 2007),还与许多社会认知功能有关,如语言发展、社会能力形成以及意图识别等 (Iacoboni & Dapretto, 2006)。研究者基于镜像神经元这种将外部动作观察和内部动作表征联结在一起的特性,以及其在生物运动加工中的作用,推测它们参与生物运动的工作记忆复述。为了验证这一猜想, Gao 等人 (2015) 首先采用脑电图 (electroencephalogram, EEG) 对生物运动在工作记忆中复述的神经机制进行探讨。他们以频率范围为 8~12 Hz 的中央顶区 μ 节律抑制为镜像神经元活动指标 (Hobson & Bishop, 2016),发现生物运动工作记忆保持过程中的 μ 节律抑制同步记忆负荷上升,并且两者同

* 基金项目:国家重点研发计划 (2023YFC2706400),国家自然科学基金面上项目 (62076218),中国博士后科学基金第 69 批面上资助 (2021M693376)。

通信作者:鲁溪芊, E-mail: luxq@psych.ac.cn。

时达到顶点。不仅如此,该指标还与个体的生物运动工作记忆容量呈现显著相关性。在此基础上,Lu 等人(2016)进一步采用功能磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)对参与生物运动工作记忆加工的脑区进行了更为精细的定位和功能区分。他们通过分析不同脑区在生物运动工作记忆加工过程中的时间序列发现,镜像神经元系统所在脑区不仅参与生物运动工作记忆的编码,还参与其保持,具体体现在这两个加工阶段中记忆负荷为4时的激活均显著高于记忆负荷为2时的激活,但其他参与生物运动知觉的脑区仅参与了生物运动工作记忆编码,而并未参与保持过程。该研究结果进一步证明了在生物运动工作记忆复述过程中镜像神经元的特殊作用。

上述发现虽证实了生物运动工作记忆复述中镜像神经元起到的核心作用,但若说明镜像神经元的活动与生物运动工作记忆复述之间的因果关系,则不仅要在生物运动工作记忆复述过程观察到镜像神经元的活动,还需要从反面提供干扰镜像神经元的活动会导致生物运动在工作记忆中的复述过程遭到破坏的证据。考虑到个体自身的运动会使镜像神经元产生激活(Rizzolatti et al., 1996),因此有可能影响其他同样依赖于镜像神经元激活的加工过程执行(Fadiga et al., 1995)。另一方面,个体自身运动是一个运动产生过程,与视觉加工完全无关,不会在视觉信息表征这个维度上干扰生物运动的工作记忆加工。因此在生物运动的工作记忆保持阶段要求被试做出身体运动可能是干扰镜像神经元活动的有效方法。在早期的研究中存在支持这一猜想的证据。Smyth 等研究者在90年代(1988, 1990)便完成了被试短暂记忆保持后完成演示肢体动作的实验。在记忆保持过程中,被试需要用双手不断轮流拍击自己的头、肩、腿。结果发现,与记忆单词相比,记忆动作会受到自身肢体运动更大的破坏。但该研究一方面由于被试记忆的对象是主试演示的动作,因此不能确定被试所记忆的只有运动信息本身还是包括了其他人体外观信息,另一方面记忆检测时需要被试自己做出动作,亦不能确定被试受到干扰的是对生物运动的记忆本身还是动作计划过程。因此,在工作记忆保持阶段插入自身肢体运动是否能破坏生物运动的工作记忆复述仍有待实验证明。

综上,此研究将考察在生物运动的工作记忆保持过程中插入自身肢体运动任务是否会对生物运动

的工作记忆加工绩效造成破坏。生物运动采用光点动画(point-light display, PLD, 图1a; Johansson, 1973)作为刺激材料,这种刺激材料广泛运用于生物运动研究领域,它由一组描绘生物体关节运动轨迹的光点构成,可以排除生物体的外观而仅保留其运动信息。此外采用光点构成的圆形运动动画(图1b)作为与生物运动匹配的控制组刺激材料,该刺激在物理属性上与生物运动刺激类似,但无任何生物性,与生物运动的加工方式不同(Gao et al., 2015)。工作记忆任务采用变化觉察范式,首先向被试呈现若干个生物运动并要求他们记忆,刺激消失后进行数秒短暂的记忆保持过程,然后向被试呈现一个生物运动,要求他们判断该刺激是否为记忆项中出现过的刺激(Luck & Vogel, 1997; Shen et al., 2014)。在工作记忆的保持阶段,被试需按要求连续轮流拍击头、肩、腿(图2)。如果镜像神经元的活动确实与生物运动工作记忆复述之间存在因果关系,那么被试在完成有自身肢体运动干扰的任务与无此任务相比,工作记忆在生物运动任务的绩效将比圆形运动任务有更明显的下降。

2 方法

2.1 被试

24名健康大学生被试参与实验,男性10名,女性14名,年龄范围18~24岁,平均年龄 20.4 ± 1.4 岁,所有被试均为右利手,无色盲色弱且视力/矫正视力正常。被试在实验前签署知情同意书,并在实验完成后获取适当报酬。

2.2 实验设备

实验场所为具备隔音条件的暗室,每位被试独自正坐于事先放置的电脑屏幕前完成实验,眼睛与屏幕距离约为60厘米。CRT纯平显示器因其可视角度大、色度均匀、色彩还原度高、响应时间短等优点,故用来作为实验的刺激呈现设备,具体参数如下:屏幕尺寸为19寸,屏幕刷新率60 Hz,屏幕分辨率为 1024×768 ,屏幕背景为纯黑色。Matlab(The MathWorks, Natick, MA, USA)和Psychtoolbox(Brainard, 1997)用来进行实验刺激呈现的程序开发以及实验流程控制,以上软件均获得正版授权。

2.3 刺激材料

如图1所示,生物和圆形运动为实验的记忆项刺激材料,分别用于记忆生物运动和记忆圆形运动的记忆任务中。Vanrie 和 Verfaillie(2004)数据集包含丰富的光点动画刺激,因此实验选择该数据集作

为研究的生物运动刺激,共选取六种 BM 刺激:走路、跳跃、骑车、挥舞、敲打、挖掘。每种 BM 刺激均由 13 个光点($0.07^{\circ} \times 0.07^{\circ}$)构成,呈现的视角大小约为 $3.42^{\circ} \times 1.35^{\circ}$ 。圆形运动刺激包含左旋、右旋、向上、向下、放大和缩小六种光点构成的圆形运

动(Shen et al., 2014; Gao et al., 2015)。每种圆形运动刺激均由 12 个光点($0.07^{\circ} \times 0.07^{\circ}$)构成,半径为 1.15° 视角。所有生物运动和圆形运动刺激均为 30 帧图像,完整呈现一遍用时为 1 s。

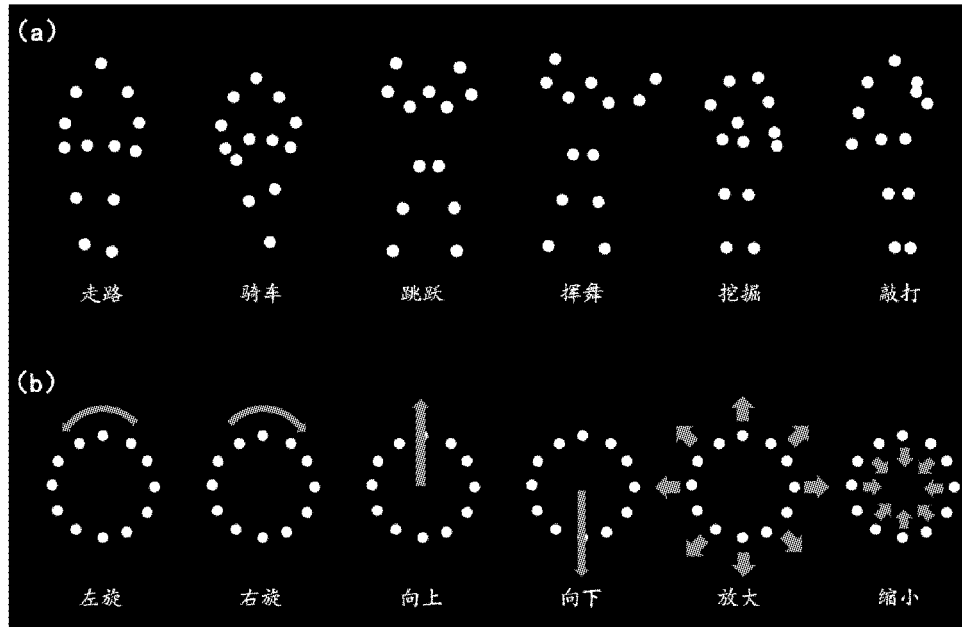


图1 实验刺激示例,(a)显示每个生物运动刺激的典型帧,(b)显示圆形运动的运动方式

2.4 实验设计与实验流程

实验设计采用 2 记忆任务 \times 2 次任务负荷被试内设计,其中记忆任务的两个水平为记忆生物运动与记忆圆形运动,次任务负荷为有/无自身肢体运动。四种条件分别在不同区组中呈现,并运用被试间对抗平衡法平衡,具体的平衡方法如下:首先根据有/无自身肢体运动将实验分为两部分,两部分的顺序在被试间对抗平衡;然后每部分实验均又分为记忆生物运动与记忆圆形运动两个区组,其排序方式同样遵循被试间对抗平衡法。每个区组由 32 个试次组成,整个实验共包含 128 个试次。在每个区组开始前,被试被告知这部分对应的指导语,即需要记忆什么样的刺激和是否需要自身肢体运动,同时他们也被告知详细的实验流程。被试在每个区组开始前需进行至少 16 试次练习,确保理解实验任务和正确率达到要求(不低于 70%)后才可正式开始实验。

每个试次的实验流程如图 2 所示,首先为抑制对于记忆材料的言语编码(Gao et al., 2015),被试需要快速重复念屏幕上最初呈现的三个随机白色数字,该过程持续时间为 500 ms。之后,红色十字注

视点($0.336^{\circ} \times 0.336^{\circ}$)在屏幕中央呈现以提醒被试做好记忆任务准备,该过程持续 300 ms。然后被试需要记住屏幕上呈现的三个生物运动/圆形运动刺激,这些刺激在每个试次中随机从六个备选刺激中选取并呈现于一个虚拟圆环上的随机位置,呈现时间持续 3000 ms。记忆刺激结束后会呈现 300 ms 空屏,之后语音提示被试开始进行次任务实验,然后再接 3000 ms 的空屏呈现。有自身肢体运动负荷任务中,被试被要求用左手不断依次拍头部、肩膀、腿部,持续 3000 ms;无自身肢体运动负荷任务中,被试被告知忽略提示音。随后在记忆检测项任务中,屏幕呈现一个红色生物或圆形运动,该过程持续时间 2000 ms,被试被要求在这段时间内用右手做出按键反应。在随机试次中,检测项为记忆项刺激中出现和未出现过的比例各占 50%。选择按“J”键代表被试认为该检测项为之前出现过,否则选择按“K”键。最后被试需通过按键反应来选择屏幕出现的一个红色数字是否为最初所念三个白色数字中一个,该过程持续 2000 ms。之后空屏 1000 ms 并进入下一试次。

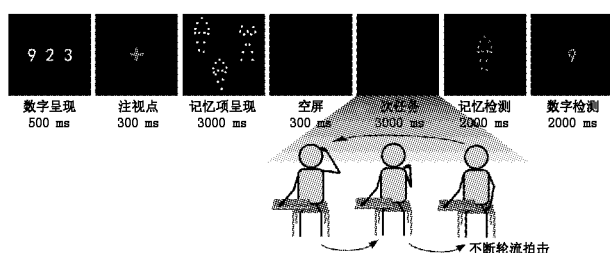


图2 实验流程图。对于有自身肢体运动任务的区组，在次任务阶段，被试需要不断轮流拍击自己的头、肩、腿

2.5 数据分析

为了排除反应偏向对结果造成的影响，采用矫正正确率 (corrected recognition; Snodgrass & Corwin, 1988) 作为实验结果指标。矫正正确率的计算方式为击中率减去虚惊率。根据检测项是否为记忆项中已出现的刺激和判断是否正确将被试的反应分为四种：击中（正确地判断出已出现刺激）、漏报（未能判断出已出现刺激）、正确拒斥（正确地判断出未出现的新刺激）和虚惊（错误地将未出现过的新刺激判断为已出现刺激）。击中率的计算方式为击中试次/所有已出现过刺激试次，虚惊率的计算方式为虚

惊试次/所有未出现过的新刺激试次。矫正正确率指标通过虚惊率来估计击中率中猜测的成分，并从击中率中将其减去，从而从统计上去除正确反应中猜测的成分。

统计分析采用 JASP(0.9.2.0) 软件。统计方法为基于矫正正确率和实验四种条件的双因素重复测量方差分析，具体实验条件可参考前文实验设计部分。研究主要关注点为不同任务条件下是否存在交互作用，即工作记忆在生物运动任务的绩效是否比圆形运动任务有更显著的下降。此外，研究还运用贝叶斯因子分析 (Bayesian analysis of variance; Rouder et al., 2012; 吴凡 等, 2018) 对四种条件的矫正正确率进行了分析，对于每个主效应和交互作用以 $BF_{10} - inclusion$ 为指标，该指标表示分析模型纳入或排除对应主效应或交互作用时对数据解释能力的比值。该指标越大表示支持对应效应存在的证据越充足，通常以 $BF_{10} > 3$ 作为有足够证据支持备择假设成立的衡量标准， $BF_{10} < 1/3$ 作为有足够证据支持虚无假设成立的衡量标准。

3 结果

表1 实验结果描述性统计 ($M(SD)$)

	生物运动		圆形运动	
	无自身肢体运动	有自身肢体运动	无自身肢体运动	有自身肢体运动
矫正正确率	0.76(0.20)	0.63(0.20)	0.78(0.18)	0.68(0.19)
击中率	0.86(0.15)	0.82(0.15)	0.87(0.15)	0.82(0.11)
正确拒斥率	0.10(0.10)	0.19(0.11)	0.09(0.08)	0.14(0.12)
原始正确率	0.88(0.10)	0.82(0.10)	0.89(0.09)	0.84(0.09)
反应时 (ms)	479(113)	494(98)	522(135)	587(152)
数字检测正确率	0.97(0.05)	0.96(0.06)	0.97(0.02)	0.96(0.06)

实验结果的描述性统计如表1所示，表中所示为各项平均数，括号中的数字表示标准差。四种实验条件下的矫正正确率结果如图3所示。双因素重复测量方差分析结果表明，次任务负荷主效应显著， $F(1, 23) = 20.78, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.48$ ，有次任务条件下的绩效对比无次任务条件显著降低 (0.75 vs. 0.85)。记忆任务主效应显著， $F(1, 23) = 7.89, p = 0.010, \eta_p^2 = 0.26$ ，生物运动记忆条件下的绩效对比圆形运动记忆条件下的绩效显著降低 (0.74 vs. 0.84)。有无次任务和记忆任务交互作用显著， $F(1, 23) = 10.75, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.32$ 。简单效应分析结果表明，在记忆生物运动工作条件下，有无自身肢体运动的记忆绩效差异具有统计学意义 ($p < 0.001$)，无次任务条件的绩效对比有次任务条件的绩效显著降低 (0.68 vs. 0.83)；在记忆圆形运动工作

条件下，有无自身肢体运动的记忆绩效差异也达到统计显著值 ($p = 0.017$)，无次任务条件的绩效对比有次任务条件的绩效显著降低 (0.81 vs. 0.87)。此外，无自身肢体运动条件下的生物运动与圆形运动记忆绩效无显著差异 ($t(23) = 1.21, p = 0.239$, Cohen's $d = 0.25$)。

贝叶斯因子分析结果如下：有无自身肢体运动负荷主效应的贝叶斯因子为 1085.35，记忆任务主效应的贝叶斯因子为 61.80，交互作用的贝叶斯因子为 5.19。以上结果表明了有无次任务条件的绩效和记忆生物运动/圆形运动任务条件的绩效均存在差异并且两者存在交互作用。

4 讨论

此研究结果发现，通过在生物运动的工作记忆保持阶段插入自身肢体运动，生物运动工作记忆绩

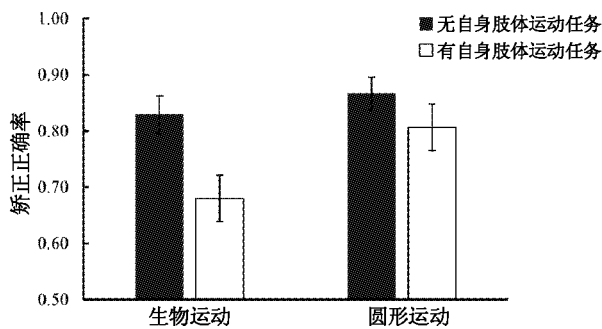


图3 四种实验条件下的矫正正确率结果, 误差线代表标准误

效受到的破坏显著大于控制组。该结果符合预期,说明镜像神经元在生物运动工作记忆复述过程中的核心作用。经比较无任务时生物运动与圆形运动的绩效发现,二者在统计学上无显著差异。因此,实验结果并非由于生物运动的记忆矫正正确率低于圆形运动,从而导致工作记忆中生物运动的存储更为脆弱,进而更容易被自身肢体运动破坏造成。对目前实验结果另一种潜在的解释是,生物运动刺激包含肢体运动,而圆形运动与肢体无关,可能是自身肢体运动与生物运动工作记忆均包含肢体表征相关的加工,因此存在相互干扰,而与肢体的运动无关。但考虑到Lu等人(2016)的研究表明,参与生物运动工作记忆加工的脑区主要包括镜像神经元系统,而并未包括表征肢体的脑区(如身体选择性脑区 Extrastriate Body Area),因此认为该解释似不能说明目前的实验结果,可以留待未来研究进一步验证。

研究结果进一步揭示了生物运动工作记忆复述的加工机制。既然个体自身的运动能够破坏生物运动在工作记忆中的复述,这就意味着,在工作记忆的保持过程中,大脑可能是通过在镜像神经元上模拟对于动作的“执行”来复述所保持的生物运动信息。对于工作记忆中的信息复述问题,Baddeley早已指出语言信息在工作记忆中通过内部重复默读的方式以维持在较高的激活状态,而后又指出空间位置信息也是通过“内部的视线”(mind's eye)投向工作记忆中所表征的空间位置以维持(cf. Baddeley, 2012)。虽然其后的研究者已经极大程度地拓展了对工作记忆复述过程的认识,提出信息在工作记忆中的复述与相应类型注意资源的消耗有关(Matsukura & Vecera, 2009; Shen et al., 2015),但内部的“执行”始终是对工作记忆复述的一种隐喻。此研究是对生物运动这类刺激在工作记忆中复述的内部“执行”过程的补充,加强了人们对于工作记忆复述机制的理

解。此外,研究的发现也提示,个体自身的运动会通过影响动作信息在工作记忆中的保持进而影响其加工,这提醒研究者在自然交互设计中应将用户自身动作对其认知加工带来的潜在影响纳入考虑范围(王慈等, 2016)。

以往研究发现,生物运动的工作记忆加工与社会认知密切相关。生物运动的工作记忆容量可以预测个体的共情水平(Gao et al., 2016),也与儿童的心理理论发展存在高度关联(He et al., 2019)。考虑到镜像神经元在社会认知过程中的重要作用,可以推测,生物运动工作记忆容量之所以可以预测社会认知能力,很可能就是由于二者都与个体镜像神经元的加工能力有关。镜像神经元在意图理解过程中起关键作用(Iacoboni & Dapretto, 2006),在意图理解过程中,当他人的动作信息被加工进入认知系统后,认知系统会根据以往经验对这些信息进行模拟并推测其意图,然后将其结果与后续观察到的内容进行匹配,从而确认意图推测是否正确(Wolpert & Ghahramani, 2000)。实验结果提示了镜像神经元所做出的内部动作模拟很可能在工作记忆中进行短暂存储,以备后续加工,但生物运动工作记忆与意图理解是否存在关联仍有待未来研究进一步考察。

目前研究者对于生物运动加工的一个共识性认识是,人类(也包括一些动物)可以快速探测环境中存在的生物运动信息(Hirai & Senju, 2020),且这种探测能力与生物运动的整体构型无关,无论是加工人还是动物的生物运动都是通过相同的视觉加工机制(Troje & Westhoff, 2006)。然而,生物运动是社会信息的重要载体,与动物的生物运动相比,人类自身的生物运动必然对于生存发展而言更为关键,人类的大脑中也存在一套涉及多个脑区的网络用于评估生物运动所传达的多种属性信息(Hirai & Senju, 2020; Thompson & Parasuraman, 2012)。最近一项研究指出,对人类生物运动的识别能力可以独立于视觉经验而发展,且与动物生物运动的加工不同(Ben-Ami et al., 2022)。此研究所揭示的加工机制也特异于人类自身的生物运动加工,说明人类加工他人生物运动时会利用自我内部模拟的方式,为人类生物运动的独特加工机制提供了证据。

总的来说,研究发现与其他类型的刺激相比,自身肢体运动选择性地破坏生物运动的工作记忆复述,与前人研究一致地说明了镜像神经元在生物运动工作记忆复述中起核心作用。

参考文献

- 王慈,姜正丹,孙麟惠,杨扬,廖华宇,高在峰. (2016). 体感游戏训练对生物运动工作记忆容量的影响. *应用心理学*, 22(3), 211 – 217.
- 吴凡,顾全,施壮华,高在峰,沈模卫. (2018). 跳出传统假设检验方法的陷阱:贝叶斯因子在心理学研究领域的应用. *应用心理学*, 24(3), 195 – 202.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63(1), 1 – 29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>.
- Ben – Ami, S., Gupta, P., Yadav, M., Shah, P., Talwar, G., Paswan, S., Ganesh, S., Troje, N. F., & Sinha, P. (2022). Human (but not animal) motion can be recognized at first sight – After treatment for congenital blindness. *Neuropsychologia*, 108307. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108307>.
- Blake, R., & Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 47 – 73. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.57.102904.190152>.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433 – 436. <https://doi.org/10.1163/156856897X00357>.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73(6), 2608 – 2611. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.6.2608>.
- Gao, Z., Bentin, S., & Shen, M. (2015). Rehearsing biological motion in working memory: An EEG study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(1), 198 – 209. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00687.
- Gao, Z., Ye, T., Shen, M., & Perry, A. (2016). Working memory capacity of biological movements predicts empathy traits. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(2), 468 – 475. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0896-2>.
- He, J., Guo, D., Zhai, S., Shen, M., & Gao, Z. (2019). Development of social working memory in preschoolers and its relation to theory of mind. *Child Development*, 90(4), 1319 – 1332. <https://doi.org/10.1111/cdev.13025>.
- Hirai, M., & Senju, A. (2020). The two – process theory of biological motion processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 111, 114 – 124. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.01.010>.
- Hobson, H. M., & Bishop, D. V. M. (2016). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: Past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662. <https://doi.org/10.1098/rsos.160662>.
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(12), 942 – 951. <https://doi.org/10.1038/nrn2024>.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201 – 211. <https://doi.org/10.3758/BF03212378>.
- Lu, X., Huang, J., Yi, Y., Shen, M., Weng, X., & Gao, Z. (2016). Holding biological motion in working memory: An fMRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00251>.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279 – 281. <https://doi.org/10.1038/36846>.
- Matsukura, M., & Vecera, S. P. (2009). Interference between object – based attention and object – based memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 529 – 536. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.3.529>.
- Pavlova, (2012). Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cerebral Cortex*, 22(5), 981 – 995. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr156>.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror – neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169 – 192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111(2), 246 – 252. <https://doi.org/10.1007/BF00227301>.
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(5), 356 – 374. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>.
- Saygin, A. P. (2007). Superior temporal and premotor brain areas necessary for biological motion perception. *Brain*, 130(9), 2452 – 2461. <https://doi.org/10.1093/brain/awm162>.
- Shen, M., Gao, Z., Ding, X., Zhou, B., & Huang, X. (2014). Holding biological motion information in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1332 – 1345. <https://doi.org/10.1037/a0036839>.
- Shen, M., Huang, X., & Gao, Z. (2015). Object – based attention underlies the rehearsal of feature binding in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(2), 479 – 493. <https://doi.org/10.1037/xhp0000018>.
- Smyth, M. M., Pearson, N. A., & Pendleton, L. R. (1988). Movement and working memory: Patterns and positions in

- space. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 40 (3), 497 – 514. <https://doi.org/10.1080/02724988843000041>.
- Smyth, M. M. , & Pendleton, L. R. (1990). Space and movement in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 42 (2), 291 – 304. <https://doi.org/10.1080/14640749008401223>.
- Snodgrass, J. G. , & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117 (1), 34 – 50. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.117.1.34>.
- Thompson, J. , & Parasuraman, R. (2012). Attention, biological motion, and action recognition. *NeuroImage*, 59 (1), 4 – 13. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.044>.
- Troje, N. F. , & Westhoff, C. (2006). The inversion effect in biological motion perception: Evidence for a “Life Detector”? *Current Biology*, 16 (8), 821 – 824. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.03.022>.
- Vanrie, J. , & Verfaillie, K. (2004). Perception of biological motion: A stimulus set of human point – light actions. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 36 (4), 625 – 629. <https://doi.org/10.3758/BF03206542>.
- Wolpert, D. M. , & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3 (11), Article 11. <https://doi.org/10.1038/81497>.

Self – movements Destroy Biological Motion Rehearsal in Working Memory

Huang Jian^{1,2,3}, Lu Xiqian⁴

(1. Department of Data and Information, Children's Hospital Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310052;

2. Sino – Finland Joint AI Laboratory for Child Health of Zhejiang Province, Hangzhou 310052;

3. Pediatric Medicine Engineering and Information Research Center, National Clinical Research Center for Child Health,

Hangzhou 310052; 4. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract: To process the biological motion, the movements of animate entities, and form its coherent representations, persons need to retain the biological motion information in working memory. Previous studies have found that the mirror neuron system is involved in biological motion rehearsal in working memory. The present study examined whether interfering with the activity of mirror neurons would destroy the working memory retention of biological motion. Experiment required the participants to perform a self – movements task during the working memory maintenance phase. Results showed that self – movement led to a larger impairment for the memory performance of biological motion than the memory performance of circular motion. These results suggest that the mirror neuron system plays a key role in biological motion rehearsal in working memory.

Key words: biological motion; working memory; mirror neuron system