

• 研究方法(Research Method) •

表象测量方法述评

马 晓 张 禹

(北京体育大学运动心理学教研室, 北京 100084)

摘 要 表象测量在训练领域广泛应用, 也是训练成败的关键环节。表象测量方法可分为口头报告纸笔法、实验操作法, 以及神经科学技术共三种方法。其中纸笔报告法以量表测量为主, 包括 Betts 量表、视觉表象清晰度量表及其修订版和运动表象清晰度量表及其修订版; 实验操作法以心理旋转为基本范式; 神经科学技术主要以经颅磁刺激和功能磁共振成像为主, 测量多种表象过程中不同脑区兴奋性。三者各有优劣, 均有待提高和改进。

关键词 表象; 测量方法; 心理旋转; 生理心理指标

分类号 B842

1 引言

自表象概念问世以来, 表象测量便是表象研究的主要领域, 它伴随着表象研究的浮沉先后经历了行为主义时期的低迷与认知主义时期的复兴(刘鸣, 2004)。这与表象自身在知觉与思维之间归属不清、操作编码隐蔽有关, 而且客观条件的限制亦是重要原因之一。口头报告与纸笔测验、操作检验、神经电生理学和脑功能成像技术分别代表了表象测量发展的不同研究阶段。其中口头报告与纸笔测验、操作检验分别始于 19 世纪末和 20 世纪中叶, 经不断改进和完善沿用至今; 神经电生理学和脑功能成像则是借助神经科学研究技术的进步, 于 20 世纪末引入表象测量研究领域, 并成为近年关注的热点课题之一。回顾表象测量由口头报告形式走向标准化量表的过程, 近百年来表象测量虽然发展迅速, 但令人遗憾的是相应测量手段却相形见绌。自单纯言语报告法, 以及逐渐增加的汇报内容和一些行为学、生理学指标, 到建立以反应时为衡量指标的研究范式, 再到目前逐渐融入的神经电生理学和脑功能成像技术, 虽然取得了一些成就, 使表象测量能力有所提高,

但就根本而言, 尚无一种方法能够准确而全面地呈现表象操作的水平。笔者拟结合多年来表象测量研究领域的一些进展, 以及表象训练中的三种主要测量方法进行一般性述评。

2 常见表象操作测量方法:

2.1 口头报告和纸笔测量法

口头报告和纸笔测量两种测量方法或可称为最早的表象操作测量方法, 主要用于实验前测量受试者的表象能力, 或在表象建构任务后以口头报告或量表的形式检验表象建构的质量, 以测定受试者的表象建构程度。其中以内省(Introspection)为依据的纸笔测验法始于 1880 年 Galton 的研究, 他以问卷的形式了解不同个体的想象(Clauser, 2007; Galton, 1880); 1909 年, Betts 量表(QMI, Betts' Questionnaire Upon Mental Imagery)问世, 并成为半个世纪以来最具综合性的权威表象测量方法(Sheehan, 1967a)。该量表共计 150 项测试内容, 分别从视觉、听觉、触觉、动觉、味觉、嗅觉和组织形态七个方面对个体的表象能力进行 7 点评价, 其中除视觉表象测量为 40 题、组织形态 10 题外, 其余 5 类均包含 20 题(Betts, 1909)。Betts 与 Galton 的区别在于, 他不要求受试者描述其表象内容, 而是要求其对象象清晰度进行评价, 这一改进对后来的表象测量量表影响深远。此后

收稿日期: 2012-11-13

通讯作者: 张禹, E-mail: btzy1973@126.com

数十年,行为主义观点盛行,心理学的主要研究对象转向揭示刺激与行为之间的关系,以观察、预测、控制人类与其它动物的行为作为研究主题,使得意识构造与机制研究进入低潮,内省法遭到了猛烈地抨击,连带心理表征的研究也停滞不前。虽然,后来发表的 Gordon 视觉表象控制量表(the Gordon Test of Visual Imagery Control)(Gordon, 1949)以 12 题测量普通人群的视觉表象操作能力,然而由于其有效性受到质疑(Ashton & White, 1974),也倍受冷遇。直到心理学研究走上认知主义道路,针对人类认知的内部加工过程的研究才复兴盛(叶浩生, 1992)。针对 QMI 内容繁杂、完成难度大、耗时长不足,Sheehan (1967a, b)对 Betts 量表进行删繁就简,将其缩减为 35 项简表,七大类题目中每一类仅保留 5 道具有代表性和承载能力(载荷系数均值为 0.57)、均值标准差相似且性别差异不显著的题目。该简本之重测信度为 0.78,效度与原题本交叉验证相关度高达 0.99,且有效缩短了测量时间,并可在一定程度上体现表象在清晰度和生动性上的个体差异。

后来, Marks(1973)又完成了视觉表象清晰度量表(the vividness of visual imagery questionnaire, VVIQ),至此表象研究才再度引起注意。该项问卷要求受试者对 4 组共 16 种情景进行想象,并做出 5 级自评,其评分可以预测不同个体在完成任务时的认知水平、操作能力和创造性水平,在实测过程中要求受试者每题睁眼状态、闭眼状态各表象 1 次。其结果显示,采用分半法计算的内部一致性信度为 0.96 (Rossi, 1977),视觉表象生动度 Cronbach α 系数达到 0.90 以上,而且高分组与低评分组受试者对色彩图片回忆的评分存在明显差异(Marks, 1973),提示该量表对鉴别表象能力高低具有一定有效性。该量表自问世以来,获得了广泛的肯定并被推广应用,但其结构效度受到一定质疑。究其原因,主要是由于该量表最初提出的概念不够清晰,而且回忆验证表象程度的方法、结构和结构效度亦不十分明确(Chara & Hamm, 1989; McKelvie, 1990; 1995),因此而引发了持续数年的争论。1995 年, Marks 对其视觉表象清晰度量表进行修订并生成改良版视觉表象清晰度量表(the new version of VVIQ, VVIQ2)。改良后的量表在保留原有测试内容的基础上将 16 项内容增补至 32 项,并在此基础上修改了评分方法,

由递减评分改为了递增评分,即由评分越低代表表象能力越佳改为评分越高代表表象能力越佳,从而增强了高分组与低评分组的辨识度。后经验证,认为修订后的视觉表象清晰度量表在变化方面测量效果良好(Rodway, Gillies, & Schepman, 2006)。同年, Marks 又发布了视觉表象清晰度量表修订版(Vividness of Visual Imagery Questionnaire-Revised Version, VVIQ-RV),除保留了第 2 版的原有测试题目外,新增补了 McKelvie 制作的指导语,评分由 5 点评分改为 7 点评分,将之前表象过程中闭眼睛的要求,修改为要求受试者测试时保持眼睛睁开(McKelvie, 1995)。VVIQ2 和 VVIQ-RV 的 Cronbach α 系数均达到 0.90 以上。由于其良好的信效度和鉴别力,后续研制的新量表多以自身与 VVIQ 的关联性为量表有效的佐证(Reisberg, Pearson, & Kosslyn, 2003)。

从分类上看,表象除视觉表象外还有听觉表象(Auditory imagery)、动觉表象(Kinesthetic imagery)、嗅觉表象(Olfactory imagery)、味觉表象(Gustatory imagery)、触觉表象(Tactile imagery),即每一感觉通道都有属于自己的表象。从测量上看,除了对清晰度(vividness)的测量,还有对表象操控性(controllability)的测量。随着表象研究的再度兴起,除了视觉表象测量量表的开发,运动表象量表也陆续公之于众。诸如,目前运动领域较为常用的运动表象清晰度量表(Vividness of Movement Imagery Questionnaire, VMIQ) (Isaac, Marks, & Russell, 1986)和运动表象量表修订版(Movement Imagery Questionnaire-Revised, MIQ-R) (Hall & Martin, 1997)。前者通过受试者表象不同的肢体动作和行为进行生动度自评,测量其视觉和动觉表象能力;后者则反其道而行之,以受试者在多大程度上表象出了题目所描绘的动作为评价方式。近年, Gregg 和 Hall (2006)又发表了动作表象能力测试量表(Motivational Imagery Ability Measure for Sport, MIAMS),在测试过程中,既需要根据题目描述完成表象任务,又需要对表象过程中的情绪体验和放松程度进行评价。与此同时,一些体育领域专用表象能力问卷也进行了修订,如 Martens 量表和基于运动表象能力量表(Sport Imagery Ability Questionnaire, SIAQ) (Williams & Cumming, 2011)相继问世。而且, Hall 等(Hall, 2007; Hall, Mack, Paivio, & Hausenblas, 1998,

2007; Hall, Stevens, & Paivio, 2005) 根据 Paivio(Paivio, 1971)表象五功能理论制定的运动表象测量问卷(The Sport Imagery Questionnaire, SIQ), 将表象所具有的认知和动机两大职能细化为一般认知水平(cognitive general, CG)、特殊认知水平(cognitive specific, CS)、一般动机水平(motivational general, MGM)、生理与情绪唤起水平(physiological arousal levels and emotions, MGA)和特殊动机水平(motivational specific, MS)。经研究证实, 其具有良好的信效度(Watt, Jaakkola, & Morris, 2006; Watt, Spittle, Jaakkola, & Morris, 2008), 目前已被标准化为西班牙语版(Ruiz & Watt, 2012)和中文版(彭云, 龙家勇, 梁建平, 2010), 同时还修订了专门适用于小运动员的儿童版(SIQ-C, The sport imagery questionnaire for children) (Hall, Munroe-Chandler, Fishburne, & Hall, 2009)。其后的一些智力测验亦涵盖了表象测量, 如 MMPI 和中国科学院心理研究所李德明(李德明, 刘昌, 李贵芸, 2001)课题组推出的《基本认知能力测验》量表等。

由此可见, 根据量表筛查和选择受试者是筛选受试者和对受试者进行区组匹配简单易行的有效手段, 目前已在训练和医学(Pearson, Deeprrose, Wallace-Hadrill, Heyes, & Holmes, 2013)等领域广泛应用。Takahashi 和 Yasunaga (2012)根据 VVIQ 量表对 60 名受试者进行表象能力测量, 分别选择分值最高的 20 名和分值最低的 20 名受试者作为表象能力高组与表象能力低组, 以脑电图(EEG)记录、观察对任务视动内容的觉察差异, 结果表明两组受试者在视运动知觉上存在差异。

量表筛查有时也会出现不一致的测量结果, 其原因或可归为研究过程中对表象任务和工具的选择, 以及二者之间的相互影响。但大多数研究结果均支持表象测量的有效性, 而且随着测量工具的进步, 表象测量结果对表象任务完成表现的预测能力也在不断提高(Hall, Pongrac, & Buckholz, 1985), 作为测量工具量表仍具有一定可靠性。但是, 由于当前使用的量表大多仅聚焦于个体表象单一任务的能力, 而忽略了对个体真正表象能力的测试, 缺乏能够从整体上评价表象能力和表象应用能力的测试问卷。同时, 当前使用的量表本身亦存在一些问题。首先是表象能力与应用表象能力之间关系复杂, 而聚焦于能力测

量的结果是否能够真正反映个体应用表象的能力, 值得商榷。其次, 量表大多为自陈式, 以受试者内省程度、表达能力、受教育程度、合作性等众多内隐因素为基础, 而且由受试者自评表象生动性, 相对而言缺乏客观性亦是不争的事实, 故其测量信效度始终存在争议。宋薇和殷小川(2012)的最新研究结果显示, 心理旋转与马丁表象技能量表对高低评分组的区分存在明显局限性。由此可见, 量表的应用仍然有些“力不从心”。尽管许多研究者都试图通过添加一些客观指标(Marks, 1973)以增加自陈式量表和口头报告的客观性, 但是事实证明其结果无异于隔靴搔痒, 收效甚微, 依然无法取得相对客观的衡量标准, 用以评价每一位受试者的表象能力和实际表现, 甚至无法确定受试者在训练过程中应用表象表征的程度, 以及在完成表象任务时究竟是应用逻辑推理还是表象操作。这种模糊观念使得实验无法区分受试者原有水平和提升水平, 也无法判断其行为改善程度。而且, 口头报告和自陈式量表的测量形式已不能满足研究的深度, 对新检验方法的需求呼之欲出。

2.2 以操作代替检验

表象操作系指对物体进行想象中的空间操作。对表象操作的研究可以追溯至皮亚杰根据三山问题对儿童空间认知能力进行研究的时代。虽然, 该研究之目的在于证明儿童存在自我中心性, 但在客观上为后来的表象操作研究提供了一种可能。

表象研究的再度兴起得益于认知心理学的蓬勃发展, 研究手段也从单纯的理论探讨、纸笔测验走上了更加客观化的研究道路。认知心理学吸纳了减法反应时与计算机模拟的实验设计思路, 一改以往对表象内在体验的关注, 转向表象的转换与操作, 通过精巧的实验设计和缜密的实验逻辑, 建立了以反应时为衡量指标的研究范式。反应时无疑是一项具有量化特征的客观评价指标, 可以直接记录个体对测试内容的反应和操作时间, 在一定程度上以外显的方式呈现了表象加工的时间。

以反应时描述表象转换的研究始于心理旋转范式的出现, 即多立方体组合的三维多臂图形与其投影所形成的二维影像的一致性对比(Shepard & Metzler, 1971)。有研究显示, 当二维影像中有

些为原三维多臂图形的投影而有些不是时,实验要求受试者判断影像与原图之间的关系,受试者的反应时随图形旋转角度的增大而逐渐延长,二者之间存在明显的线性关系(Shepard, 1978)。这一结果支持个体在做出决策前会先在头脑中进行旋转作业的观点,并由此确立了心理旋转范式。此后, Sekuler 和 Nash(1972)采用相同的实验方法观察受试者对大小相异、角度相异矩形图的判断,发现判断一致度的反应时与图形大小无关,而与旋转角度有关。由于三维多臂图形复杂、干扰因素多,故有研究者将“心理旋转”的实验材料拓展至字母“R”或“F”(Cooper & Shepard, 1973),以及常见生活用品(Jolicoeur, 1985)。而后续的实验则证明,三维图形或二维图形并非心理旋转的影响因素(Shepard & Cooper, 1986)。

随着实验材料种类的增加,使心理学表象研究水平进一步提高,按照实验材料种类的不同可将心理旋转范式分为客体旋转与主体旋转两大类。其中,客体旋转系指旋转主体以外的事物,即简单的单字母和二维三维复杂的立体图象等(Jansen, Lange, & Heil, 2011)。而主体旋转(自我旋转)则依研究对象分为两种,其一主要指旋转主体自身或其上的某一部分,如手、足等(Parsons, 1987; 2003; 祁乐瑛, 2009);其二为针对场景的旋转,即判断某一由多种客体组成的场景的位置(Kozhevnikov, Motes, Rasch, & Blajenkova, 2006; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; Parsons, 1987)。三种旋转范式的主要区别在于非自我中心参考框架和自我中心参考框架。其中身体部分的判断正确率易受到现实情况的影响(Ionta, Fourkas, Fiorio, & Aglioti, 2007; Ionta, et al., 2007; Parsons, 1987; Sirigu & Duhamel, 2001)。有研究者凭借对多种旋转任务的比较,展开了对心理旋转内在机制的推论。如在 Dalecki 等(Dalecki, Hoffmann, & Bock, 2012)的研究中,纳入 24 名 30 岁以下的青年受试者,实验材料为模拟图片,由简单至复杂分为三组旋转任务(字母、手和复合场景),每一项任务共进行 96 个试次,以客体的本像或镜像、左右手、相对位置为观察项目,并记录反应时长短和判断准确率,将图片旋转一周平均划分为 12 个方位(0° 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ 、 $\pm 120^\circ$ 、 $\pm 150^\circ$ 和 180°)、每一旋转角度各出现 4 次,其中镜像与本像、字母 G 或 R、左手或右手,以及手枪或刀出现次数

均各半;执行字母“G”或“R”(各 48 个试次)任务时主要判断其为本像或镜像;手背任务则明确图像为左手或右手;复合场景[参照 Kessler 和 Thomson (2010)]从俯视视角判断图片中的桌面上客体(鲜花、武器(刀和枪))的相对位置。结果显示,复合场景的视知觉和决策机制与字母和身体部分的旋转在基本的认知过程上存在差异,字母旋转机制与其他两种(身体部分和复合场景)旋转机制有所不同。除了上述清晰内容的表象研究外,Thompson 等(2008)还观察了个体对新异客体和模糊客体的表象。

心理旋转研究的意义不仅在于判定表象操作具有时间过程性,更重要的是有助于对表象本质的诠释,即表象编码与储存。Shepard 和 Cooper 通过最初的旋转实验提出了表象旋转假说,也称类似物假说(analog process)。后来纸盒折叠表象实验(Shepard & Feng, 1972)和 Kosslyn 的地图认知(mapcognition)实验结果佐证了该假说。心理旋转研究的不断深入,继而推动了假说的形成。Cooper 和 Shepard (1973)推测与方向相关的参照物会对心理旋转产生影响,故在旋转刺激前加入一个带有方向性的标志(数字或字母)作为前置刺激,遗憾的是,其结果表明个体仍然先将客体转至竖直方向再进行判断,否定了“与方向相关的参照物可对心理旋转产生影响”的假设,进而否定了参照物对心理旋转的影响。然而, Hinton 和 Parson (1981)对此持不同观点:虽然个体对物体的描述可能会因知觉策略的不同而有所区别,但是物体固有的基本架构不会改变,因此内部参照框架和当前视觉中心框架之间应存在必然的联系,他们认为 Cooper 和 Shepard 的结论是由于实验设计限制和反应倾向所致。鉴于此, Hinton 和 Parson 将作为前置刺激的字母或数字的朝向进行了区分,并将反应方式由双手分别对正像镜像进行反应改为单手只对正像进行反应。经实验发现,12 名受试者在不同朝向前置刺激影响下心理旋转反应时存在差异,提示个体可以对抽象框架进行旋转,后来其他研究者也获得了同样的实验结果(Koriat & Norman, 1984, 1988, 1989; Robertson, Palmer, & Gomez, 1987)。例如, Koriat 和 Norman (1984)对 56 名受试者的字母旋转结果进行比较,发现先前刺激与前刺激间的角度差的增加会延长心理旋转的时间,进一步证实了框架旋转的存在。由此,研

研究者开始倾向于: 心理旋转过程中个体旋转的目标位置并不稳定, 而会受到参照物的影响, 即先前出现的方向指示性图形或字母会影响后续心理旋转的判断, 逐渐形成了后向校正加工假说(backward alignment process hypothesis)。直到1987年, Robertson等人将知觉组织研究中的参考框架概念引入心理旋转研究领域, 参考框架旋转假说(internal reference frame/ subject reference frame)才正式形成。后来的研究表明, 心理旋转的框架可能存在多种, 即本体感受与重力感受的双重参照, 当重力线索缺失则本体感受线索将独立完成(任务)(Mcintyre, Lipshits, Zaoui, Berthoz, & Gurfinkel, 2001)。虽然, 类似物假说与参考框架旋转假说在旋转对象是旋转目标还是主观参考框架、旋转过程中是否经历物理旋转的想象过程, 以及旋转的参照物是内在的还是外在的等方面存在分歧, 但这两种假说均认为心理旋转任务是以图形表征完成的。最终, Kosslyn等(Finke, 1980; Kosslyn, 1994; Kosslyn, 1994; Kosslyn, Thompson, & Ganis, 2006; Kosslyn & Thompson, 2003)通过对上述研究的总结, 提出了知觉预期理论(perceptual anticipation theory), 从编码、表征高度概括了表象为描述性或准图形表征, 其信息组织形式遵循地形(topographical)原则, 并指出视觉缓冲器是描述性表征形成的地方, 且其既应用于知觉也应用于表象, 既划清了表象与知觉的界限, 又肯定了知觉与表象之间的联系。然而, 以Pylyshyn为代表的部分认知心理学家对此理论提出质疑(Anderson, 1978; Pylyshyn, 1973, 1979, 1981, 2000, 2003), 坚持认为表象与其他认知过程一样遵循命题表征, 否定图形表征, 并称以内隐知识(tacit knowledge)为基础的命题表征也能完成心理旋转, 语词信息形成的命题表征才是认知过程的根本。这一争论归根结底是表象呈现、编码和储存机制的争议。但是究竟谁能更确切地体现表象旋转的内部机制, 还有待后续研究彻底揭示表象的本质。

研究者一方面利用心理旋转范式继续对表象的编码进行争论, 一方面开始关注心理旋转实验研究领域与实验设计的多元化, 希望借此揭示表象中的个体差异(鲍旭辉, 何立国, 石梅, 游旭群, 2012; 王鹏, 游旭群, 刘永芳, 2005), 包括性别差异(Beacher, & et al., 2012; Moore, 2008; Voyer,

2011)、情绪影响(Mammarella, 2011)、人格作用(Parker & Lovell, 2009; Vannucci & Mazzoni, 2009)、年龄、认知能力、对任务熟悉度、表象偏好、习惯(Callow & Roberts, 2010)等。除了主观因素的影响, 表象操作的指导语、实验者效应、任务中个体所扮演的角色, 即旋转中第一人称与第三人称的差异(王鹏, 游旭群, 2005; 2006)、视角大小(邱香, 2006)、知觉深度(游旭群, 王鹏, 晏碧华, 2007)等外部因素也会造成个体表象操作表现的不稳定(Stefanello, Marques, & Rodacki, 2010; 漆昌柱, 徐培, 2001)。

在以操作考察表象建构的领域内, 除心理旋转, 还有另一个广泛应用的手段是表象运动推断(image-motion extrapolation)。其以Kosslyn的表象理论为依托, 要求受试者基于一定的线索运用视觉表象推断目标客体的运动轨迹、运动速度和距离。基本范式通常是由一个运动着的目标物以一定速度匀速向某一方向或循某一固定轨迹(如圆形)运动, 在运行过程中目标物消失, 由受试者运用表象完成其整个运动过程, 并在此基础上做出相应的判断。判断内容以判断探测刺激出现位置是否与目标物未来运行轨迹重合(游旭群, 杨治良, 1998), 推断目标物以初始速度运行一段距离所用的时间(Rosenbaum, 1975; Tresilian, 1995), 或运行一段时间后所到达的位置。这种针对速度知觉和时间知觉的表象能力测量方法广泛用于航空航天和体育运动领域, 训练飞行员和运动员对客体速度、运行时间和最终位置的判断。其任务的完成在主观上受制于个体的视觉搜索能力、工作记忆和空间注意能力, 在客观上受目标特征, 如速度、大小、方向、呈现方式等多种因素的影响(Hubbard, 2005)。在目标消失这一点上与目标追踪任务中经常出现的目标有异曲同工之处, 但是推断任务中的目标消失后便不再出现, 而目标追踪任务中目标消失数百毫秒后还会再次出现。

以上两种测量表象的技术均是以操作作业代替内省的实验手段, 无疑将表象研究推到新的高度。空间表象测量虽然也由问卷测量开始, 如空间相关测验(Bennett, Seashore, & Wesman, 1947), 但与VVIQ等关注表象清晰度的问卷略有不同, 它们更注重表象的可操作性和操作空间。这种转变一方面是由于认知主义大势所趋, 另一方面也是为了跳出了对表象概念和归属的讨论, 从更具

应用价值的操作角度研究表象。正是由于这一转变,进一步证明了表象既是一种类似知觉的信息表征,但又与知觉有所不同。表象是由一种剔除了重要信息的简单结构性描述所组成的(1979年Hinton的方块提取位置实验),从另一个侧面揭示了表象的内在含义,为后来表象理论的发展奠定了基础,也由此揭开了关于表象编码方式的研究。

操作研究固然可以很好地度量个体差异,但是由于影响因素过于庞杂,导致其无法成为彻底解决表象操作测量和基线测量的有效手段(王鹏,游旭群,2005)。虽然如此,鉴于其可有效排除记忆阈限差异(钱国英,游旭群,2008),且受即时训练影响较小(游旭群,晏碧华,李瑛,2005),故目前研究者仍接受其作为判断个体在实验过程中是否应用表象操作的有效手段。表象能力测量中的另一可能出现的问题,即实验者效应。主试会本能地认为表象训练组的表现优于控制组,为了防止这种偏倚可采用双盲法,即打乱实验组与控制组的顺序,将组员混编,由不参与分组过程的助手对受试者共同进行最终测试(程杰,1999)。

总之,表象训练过程中的操作测量也是应用较多的训练方法,以此提升受试者的心理表征能力,从而更好地表征训练动作和运动空间。但鉴于心理旋转主要关注空间表象和个体差异产生的不稳定性,以其作为客观评价标准并非十分理想。

2.3 生理心理学指标和神经科学技术的应用

在前文所叙述的表象操作测量方法中,量表测量主要关注个体进行表象时的主观体验,操作测量则侧重个体表象时的认知加工过程。然而,二者均未能彻底揭示表象建构与大脑机制之间的内在联系。为此,有研究者在进行表象操作测量的同时辅助应用一些生理心理学指标,如观察受试者心率、血压、眼动、肌电活动(Brandt, 1997; Decety, Jeannerod, Germain, & Pastene, 1991; Marks, 1973; Takahashi & Yasunaga, 2012)等生理学或电生理学测量指标,以期更加全面地了解表象操作的发生机制。

其中最早引入的生理心理学指标是对表象过程中眼动的观察,其起始时间与量表同时(Galton, 1880)。随着技术的改进,眼动观察内容亦逐渐丰富,从单纯观察眼动频次到通过仪器监测眼动、

眼跳、注视轨迹及注视时间。生理心理学指标的应用无疑推动了表象操作研究的进一步深化,许多研究先后揭示了眼动与表象之间的直接关系(Brandt, 1997; Laeng & Teodorescu, 2002; Martini, Furtner, & Sachse, 2011; 张霞,刘鸣,2009),认为眼动是研究视觉表象的可靠手段。Heremans, Helsen 和 Feys (2008)通过肌电图(EMG)和眼电图(electro-oculogram, EOG)对15名受试者表象和实践过程中眼动表现进行观察,发现在表象过程中无论睁眼状态、闭眼状态均会出现任务相关眼动,因此推荐以眼动作为衡量个体表象操作能力的指标。Gueugneau, Crognier 和 Papaxanthis(2008)等以9名受试者作为研究对象,分别观察控制眼动和不控制眼动时上肢动作实践和上肢动作表象在眼动时间特征上所存在的差异,其结果显示,表象与真实动作在眼电图上十分相似,由此推测真实动作与表象之间存在相似的神经学机制。除了眼动技术,其次便是在表象过程中对心率和呼吸等生理指标的观察。Decety 等人(1991)在测量实际步速(5km/h)和表象步速(12km/h)时对受试者所表现出的心率与呼吸差异进行比较,发现二者自主神经兴奋程度无明显差异,提示生理指标亦是检验表象操作的有效途径。此后,由多项生理指标共同参与的表象研究蓬勃兴起,Gentili 及其同事(2006)采用右臂快速准确指向物体的方法进行表象训练研究,以动作时间、最大加速度和上肢肌电图为测量指标,40名受试者分别被分入实践组、表象组、眼动组和控制组,其观察结果表明实践和表象均可提高受试者动作速度并降低时间,且对未经训练的左臂控制有促进作用,进一步证实表象训练对动作控制及技能迁移的有效性。遗憾的是,在现实生活中,单纯生理学指标不能明确地指向单一心理活动,如焦虑和恐惧在生理学指标上均可体现为心率增快、呼吸加剧,故而单纯以外部指标测量表象操作的程度与能力显得有些牵强。

为了更好地解决生理学指标与表象操作不对应(刘鸣,2004)的问题,研究者将目光投向迅速发展的神经影像学技术,对脑功能测量指标的研究开始崭露头角。自20世纪90年代以来,越来越多的研究者凭借功能磁共振成像(fMRI)、发射型计算机断层摄影术(PET)、事件相关电位(ERP)、经颅磁刺激(TMS)等脑功能成像或电生理学研究

技术揭示表象形成的机制和操作过程。其中 fMRI 以其清晰、准确的组织结构定位,以及脑血流、脑氧代谢呈现,为研究神经活动与外在功能之间的关系提供了便利(陈爱国,席嘉辰,殷恒婵,颜军,2011)。同时其无创性、无放射性、可重复性、高时空分辨力,更为研究者所青睐。有研究者(Cui, Jeter, Yang, Montague, & Eagleman, 2007)称 fMRI 是衡量个体表象生动性、摆脱口头报告局限性的有效研究手段。目前较为常用的实验设计有组块设计(block design)和事件相关设计(event related),数据收集完成后需经校正、配准、归一化和平滑等预处理方可通过专业统计软件进行统计学分析,如相关分析、t 检验等,相关统计软件以 SPM 为主并在不断更新(张江,2010)。目前表象研究多采用量表测量、心理旋转任务或表象动作与神经影像学技术相结合的方式,从对广泛脑区的观察逐渐走向对不同脑区精细功能的测量,而对脑区关注的起点自然是视觉区在表象中的作用和视觉区与知觉区之间的关联性。

Kosslyn 采用 fMRI 和局部经颅磁刺激(rTMS)等多种技术手段对初级视觉皮质、顶叶后部皮质在表象中的作用进行研究(Kosslyn, 1999; Kosslyn et al., 1999; Kosslyn & Thompson, 2003),证实在表象过程中视觉激活区与知觉过程中的激活区存在重叠(Ishai, Ungerleider, & Haxby, 2000; Ishai & Sagi, 1995; Kosslyn et al., 1999),并得到其他研究结果的佐证(Amedi, Malach, & Pascual-Leone, 2005)。Kosslyn 的这一结果也进一步证实了其早年提出的知觉预期理论,间接反驳了 Pylyshyn 对图形表征的否定。同时来自神经影像学的研究结果也更多地支持 Kosslyn 视觉预期理论的核心假说,持续多年的表征之争似有落幕之趋势。

在此基础上, Cohen 等(Cohen, Kosslyn, Breiter, & Digirolamo, 1996)进一步开展表象操作与 Brodmann 分区之间的关联性研究,采用 Shepard 和 Metzler 的实验范式,通过 fMRI 对 10 名受试者在完成心理旋转任务时脑血流量的变化进行观察,发现在进行心理旋转的过程中大脑皮质追踪任务和空间编码区被激活,如联想视觉皮质[Area 19, Associative visual cortex (V3, V4, V5)]、体感联合皮质(Area 7, Somatosensory Association Cortex)、额叶眼区(Frontal eye fields)和缘上回(Wernicke's area, Supramarginal gyrus)

等。与此同时, Porro(2000)对右利手受试者在实践或表象简单单侧手指运动时大脑皮质功能区血流量变化的观察显示,在实践和表象过程中受试者对侧皮质区显著兴奋,而且同侧和对侧大脑半球控制和前运动皮质中枢的重叠神经网络共同参与了表象和实践活动。此外, Porro 等(Porro, 2000; Porro, Francescato, Cettolo, & Diamond, 1996)和 Roth 等(1996)对右利手受试者实践和表象手指位置任务的 fMRI 指标差异的研究亦发现,前运动皮质区(Premotor Cortex, PM)和辅助运动区(Supplementary Motor Area, SMA)边缘后部在表象阶段双侧被激活。许多 fMRI 研究均支持表象与实际运动激活脑区有所重叠的观点(Ehrsson, Geyer, & Naito, 2003; Gerardin et al., 2000; Hanakawa et al., 2003; Lotze et al., 1999),而且与 PET 观察结果可相互印证(Deiber et al., 1998; Jackson, Lafleur, Malouin, Richards, & Doyon, 2003)。在所有运动功能区中,以控制皮质中的 Brodmann 区[BA4, 又称初级运动皮质 primary motor cortex (M1)]在表象操作中最为活跃(Ehrsson et al., 2003; Lotze et al., 1999),这一结论已被后续研究所证实(Sharma, Jones, Carpenter, & Baron, 2008)。但亦有实验未获得相同的结果(Gerardin et al., 2000)。至今,该区域在表象操作中所起的作用仍存有争议,而不同研究者所采用的检测技术、分析方法、范式和受试者的表象策略差异是导致结果不一的原因(Johnson, 2000; Parsons, 1998)。鉴于此, Hanakawa, Dimyan 和 Hallett(2008)选择 13 名健康志愿者作为研究对象,均为右利手,进行实践或表象延迟手指敲击任务,结果表明刺激相关指令可激活多个控制脑区而延迟阶段则可激活额叶内侧区。由此可见,表象与实践虽然具有激活控制网络的作用,但表象对指令相关任务的激活更加明显。该项研究还称,额叶内侧回(medial superior frontal gyrus)、皮质前扣带回(anterior cingulate cortex)、中央前沟(precentral sulcus)、缘上回(supramarginal gyrus)、梭状回(fusiform gyrus)和小脑后外侧皮质(posterolateral cerebellum)兴奋可能与控制命令和虚拟感觉信号有关。吕慧在 2011 年也报告了同样的实验结果(吕慧,李建英,2011)。另有研究显示,表象能力较好组在顶叶和前控制区(parietal and premotor areas)兴奋水平更高(Guillot et al., 2008)。

除了fMRI, 经颅磁刺激也是在表象测量研究中应用较为广泛的一种测量手段。Hashimoto 和 Rothwell (1999)采用经颅磁刺激检测 9 名表象手腕以每秒 1 次速度重复弯曲与舒展动作受试者的左侧控制皮质, 记录运动诱发电位(motor-evoked potentials, MEPs)波幅, 其实验结果也支持表象训练对实践动作时所兴奋的脑区具有影响的理论。针对fMRI研究中对M1区的争论, Ganis, Keenan, Kosslyn 和 Pascual-Leone(2000)以经颅磁刺激方法检验心理旋转过程中个体脑区的变化。该实验共纳入 10 名右利手健康志愿者作为研究对象, 分别观察手或足的成对图片, 发现左侧初级控制区、皮质脊髓与心理旋转任务的完成有关, 其结果与之前的实验结果相一致(Fadiga et al., 1998; Kosslyn, Digirolamo, Thompson, & Alpert, 1998; Stinear, Byblow, Steyvers, Levin, & Swinnen, 2006)。然而, 亦有研究显示(Creem-Regehr, Neil, & Yeh, 2007)任一对手对 Brodmann4 区的激活都是双侧的, 且仅在自体手部旋转作业中出现, 而不出现在情景旋转作业中, 而且经心理旋转研究发现, 顶叶后部皮质也在其中占据重要地位(Harris & Miniussi, 2003)。Pelgrims 等(Pelgrims, Michaux, Olivier, & Andres, 2011)以手部图片作为心理旋转实验材料, 对 12 名健康右利手个体进行经颅磁刺激和肌电图研究, 进一步证实 Brodmann4 区在表象操作中的作用。除此之外, 对运动员表象的经颅磁刺激研究还成功地验证了表象操作中确实存在练习效应的假设, 即有效训练可以提高个体表象能力, 但是这种能力无法进行跨专项迁移(Fourkas, Bonavolontà, Avenanti, & Aglioti, 2008)。Williams 等(Williams, Pearce, Loporto, Morris, & Holmes, 2012)对 15 名右利手健康志愿者在 VVIQ-2 的成绩和手部旋转的经颅磁刺激结果进行对比, 发现表象操作过程中表象清晰度越高, 控制皮质的唤醒程度越高, 证明表象能力与脑功能之间存在关联性。

除了对初级运动皮质和初级视觉皮质的研究, 研究者还通过其他多项指标对其他脑区的贡献进行探索。例如, 额叶前运动网络(Parieto-Premotor Network) (Lorey et al., 2011)、hV5/MT+与顶叶皮质在视觉表象认知过程中的参与(Seurinck, 2011), 事件相关电位 P300 的参与(刘练红, 皇甫恩, 苗丹民, 刘旭峰, 2004), 以及视觉表象与视知觉的

双重分离(任国防, 王金娥, 张庆林, 2010), 在心理旋转任务中左侧皮质的兴奋性更高(Pellkofer, Jansen, & Heil, 2012), 且男性与女性在事件相关电位 P3、P1 和 N1 上的差异体现了两性加工顺序上的差异(Jaušovec, 2012)。除了针对不同脑功能区的研究, 不同人群在表象操作过程中所表现出的差异也逐渐受到关注, 如高水平运动员与普通运动员在进行一般动作表象和专业技能表象时的差异(Wei & Luo, 2010), 以及表象建构时兴奋脑区之间存在的差异(陈耕春等, 2012)、专家与新运动员在运动表象过程中脑电波的差异(安燕, 郑樊慧, 2012)。而针对青少年语句匹配和心理旋转任务的研究则指出表象能力或与脑电图中 α 波的多少有关(潘昱, 沃建中, 林崇德, 2001)。

由此可见, 脑成像技术的应用除揭示了表象操作发生的神经学机制外, 还通过相似脑区激活进一步支持以下观点: (1)表象与知觉兴奋区域(Ganis, Thompson, & Kosslyn, 2004; Kosslyn, Thompson, & Alpert, 1997; Kreiman, Koch, & Fried, 2000)和视觉兴奋区域均有重叠(Amedi, Malach, & Pascual-Leone, 2005; Ganis, Thompson, & Kosslyn, 2004; Kosslyn et al., 1993; Kosslyn, Thompson, Klm, & Alpert, 1995; Kosslyn, Thompson, & Alpert, 1997; Mellet, Tzourio, Denis, & Mazoyer, 1995)。(2)脑成像研究客观地支持了表象主观体验测量手段的有效性, 即量表测量中以言语诱导受试者表象的有效性(Cui et al., 2007)。(3)表象测量评分高、低分组脑区激活程度存在差异(Fourkas et al., 2008)。虽然电生理学监测和脑功能成像技术的推广应用为表象测量带来了新的研究亮点, 但是至今这些研究结果仍然存在一些问题。目前与表象操作相关的神经电生理学和脑功能成像研究主要聚焦于对活跃脑区的观察, 而这些脑区的激活是否确与表象操作有关, 亦或存在某些影响因素对表象操作相关脑区活跃程度具有支持性作用, 尚不得而知。此外, 表象操作过程中除部分脑区兴奋外, 或许还存在可使其他无关脑区处于抑制状态的因素。因此, 在一项实验设计中同时应用两种或两种以上脑功能成像技术的研究, 获得具有关联性脑活动信息或将成为一种新的研究趋势。目前这一趋势已经体现在了 Logie 等(Logie, Pernet, Buonocore, & Sala, 2011)的研究中, 或针对已有的认知神经科学论文数据进行元

分析,以获得更为系统的综合结论。此外,各种脑功能成像技术在工作机制与结果呈现上各有侧重,如fMRI重在测量脑血流动力学变化,而PET则主要观察脑组织中化合物如N-乙酰天门冬氨酸、胆碱、乳酸、肌醇等物质的代谢分布,不同研究手段所得结果缺乏综合分析,在理论上也欠缺系统性,加之矛盾结果频出,导致解释与溯源更复杂。

在实际表象训练过程中,需要以实时、简单、易行的监控方式及时了解训练进程、评价训练效果,因此准确、及时和简单易行是测量工具必备的特点。由于电生理学和脑功能成像检查仪器不易搬动,从而限制了受试者的活动范围,且研究结果易受外界干扰,降低了其在表象操作过程中作为实时监控手段的便宜性。而且因其测量内容大多是在半封闭设备中进行的个体表象操作,因此生态效度较差(魏高峡,李佑发,2012)。针对初级控制区的讨论虽然广泛而深入,但是研究范式主要集中于手部任务,推广至其他动作表象操作仍有待商榷。除此之外,对实验结果的分析至今未能摆脱生理学指标与认知活动相对应失败的困境,若以脑功能成像和电生理学方法作为表象操作的测量指标,研究者尚有很长一段路要走。故而神经影像学的研究方法作为表象操作测量指标的可行性,仍不能确定。

3 展望

近百年来,表象研究的发展虽有低潮,但却未曾止步。随着研究焦点的转移和技术手段的提高,表象的主观体验、客观表现和生理兴奋位置逐渐清晰,测量方法的发展丰富了对表象的认识,并且推动了表象理论的发展,对表象的概念、认知过程、生理学机制的探讨日渐深入。问卷测量法、表象旋转法和神经影像学技术三者互相印证,相互支持,共同促进了表象理论的发展与完善。有学者提出对表象的测量可以综合使用心理测量、质性研究、限时任务和心理生理学等测量方法,并提出了相应的假设指数和计算公式(Collet, Guillot, Lebon, Macintyre, & Moran, 2011),但就表象测量工具及方法本身,仍然存在一些问题。

首先,缺乏对多通道表象测量的关注。目前表象操作检验主要集中于视觉表象操作,其他诸如听觉(Hubbard, 2010)、嗅觉(Stevenson, & Case,

2005; Stevenson, & Case, 2005)、味觉(Tiggemann & Kemps, 2005)和触觉(Jüttner & Rentschler, 2002)研究虽有涉及,但数量甚少且应用性不高。以听觉为例,现有的听觉表象研究仍以质性研究为主,研究内容也以声音的基本特质(音高、音色、响度)和语音、乐音的基础性研究居多,相应的测量量表范式等并不成熟,对训练方式的开发相对较少。其实,多通道表象训练的效果明显优于单纯视觉表象训练(Coelho et al., 2012)。因此,不能单纯依靠“用心看”还要有“用心感知”,应将表象测量拓展至空间、时间等更高级的认知作业领域中,这也是未来表象训练的发展趋势。测量方法作为训练的关键环节,也必须相应发展,以更加开放的态度接纳母科学发展带来的新技术、新可能,突破现有的视觉一枝独秀的格局,向遍地开花的方向努力。尝试对其他感知觉通道表象和空间操作能力的测量与研究,更好地为表象训练的发展服务。

其次,表象监测手段十分繁杂,应用于实际训练的难度较大。虽然从表象测量问卷向心理旋转再走向神经电生理学和脑功能成像技术使得表象测量更加客观、准确,但是这种准确性的提高是以生态学效度的牺牲为代价。在实际训练中,教练员需实时监控并综合各项指标,虽然从以往的口头报告发展到目前的监测手段,使所获得的数据更加科学、精准,但在监测环节上仍存在一些缺陷。如在表象操作过程中,受试者须同时携带各种仪器、设备即时监测,甚至进入设备内部进行表象,并仅能获得单一设备的数据,准备时间长、精力消耗大,对受试者造成的心理影响难以估量。由于设备之间的排斥和环境制约,所得研究数据也趋向单一化,这对全面了解表象无疑是一种阻碍,从而降低了实验效率,增加了无关变量。

此外,受试者以大学生为主也是表象测量研究存在的问题之一。研究对象应涵盖社会各个层面,如在体育运动方面真正对运动员,特别是高水平运动员进行表象测量的研究较少,而且对竞技场景的模拟亦差强人意,脱离训练场地和比赛情景,缺乏外部效度。与此同时,各种训练项目所需要的表象训练方式和表象建构侧重点存在差异,但训练方式对所有项目“一视同仁”,测量手段也整齐划一,缺乏针对性,使测量效度降低,无法

根据表象训练结果制定出更加适宜运动员个体的训练计划。

今后的表象测量研究应向更为综合的方向发展。在开发或更新测量工具与研究范式的同时,注重对工具测量结果的整合,继续深化理论层面的探讨,进而推动表象理论的发展。还应根据不同受试对象,选择适宜的测量工具或范式,灵活搭配,获得更加全面的数据信息,从综合角度对结果进行解释(Collet et al., 2011)。同时关注针对实际表象能力的测量研究,单纯通过任务表象或主观体验推测表象能力的测量范式和工具已无法满足研究需要,直接而具体地表象能力测量的范式或工具才是研究者和使用者的诉求,也是未来表象测量研究的发展趋势。目前已有一些研究开始着手这方面的工作(Williams et al., 2012),希望可以找到衡量表象训练效果的统一标准,使表象能力的度量更加量化、更加清晰。表象能力既包括清晰度又包括操作能力,目前的测量工具大多仍滞留在清晰度维度上,而对表象操作能力的测量相对较少,尤其缺乏对操作空间大小的测量。

表象测量与表象可塑性相结合亦是今后研究的发展模式(宋晓蕾,游旭群,2011)。除了对表象训练机制进行深入研究,还应以发展的眼光看待表象建构能力,单纯着眼于对个体现场表象能力的测量,而忽略了对训练后表象能力增长的测量,同样也是制约表象测量在实际训练中应用的影响因素。开发具有检测表象成长情况的有效测量工具,配合训练,不仅可以提升训练效果,亦可提高测量工具之精度。尝试以纵向追踪或纵横交叉研究的方式对个体表象能力进行重复测量,探索与表象操作表现相关的影响因素,揭示表象建构的发展及其影响因素,开拓运动训练表象测量与评价的新领域。

参考文献

- 安燕,郑樊慧.(2012).专家与新手运动表象过程中的脑电变化特点研究. *浙江体育科学*, 34(3), 90-93.
- 鲍旭辉,何立国,石梅,游旭群.(2012).客体-空间表象和言语认知风格模型及其测量. *心理科学进展*, 4(4), 523-531.
- 陈爱国,席嘉辰,殷恒婵,颜军.(2011).功能磁共振成像技术及其在运动心理学研究中的应用. *中国运动医学杂志*, 30(5), 486-490.
- 陈耕春,万露,王丽君,赵诚民,王琦,孙晓凯.(2012).高水平运动员运动表象的 Erps 特征研究. *西安体育学院学报*, 29(2), 208-211.
- 程杰.(1999).表象训练运用于网球教学的实验研究. *体育与科学*, 6(6), 54-56.
- 李德明,刘昌,李贵芸.(2001).“基本认知能力测验”的编制及标准化工作. *心理学报*, 33(05), 453-460.
- 刘练红,皇甫恩,苗丹民,刘旭峰.(2004).心理旋转的事件相关电位 P₃(300)研究进展. *中华航空航天医学杂志*, 4(4), 248-250.
- 刘鸣.(2004).表象研究方法论. *心理科学*, 27(02), 258-260.
- 吕慧,李建英.(2011).优秀射箭运动员表象状态下脑内特定功能区 Mrs 表现的研究. *体育科学*, 31(5), 59-64.
- 潘昱,沃建中,林崇德.(2001).13-18岁青少年表象能力的发展和脑电 A 波的关系. *心理发展与教育*, 17(4), 6-11.
- 彭云,龙家勇,梁建平.(2010).大学生运动员运动表象的测量与 Siq 的初步修订. *沈阳体育学院学报*, 29(4), 55-60.
- 漆昌柱,徐培.(2001).表象训练的概念、理论及主要研究领域:现状与分析. *体育科学*, 21(3), 76-80.
- 祁乐瑛.(2009).表象表征:心理旋转的实证探索.博士学位论文,华东师范大学.
- 钱国英,游旭群.(2008).图形旋转的记忆效应. *心理科学*, 31(2), 285-288.
- 邱香.(2006).客体视角对视觉表象贮存、扫描和旋转的影响.硕士学位论文,陕西师范大学.
- 任国防,王金娥,张庆林.(2010).认知神经科学关于表象的研究. *心理学探新*, 30(1), 32-36.
- 宋薇,殷小川.(2012).心理旋转实验验证马丁表象技能量表有效性的实验研究. *首都体育学院学报*, 24(1), 85-87.
- 宋晓蕾,游旭群.(2011).视觉表象产生加工的可塑性水平研究. *心理科学*, 34(1), 7-14.
- 王鹏,游旭群.(2005).心理旋转的角色效应研究. *应用心理学*, 11(4), 336-340.
- 王鹏,游旭群.(2006).想象空间心理旋转的角色效应. *心理学探新*, 26(3), 39-42.
- 王鹏,游旭群,刘永芳.(2005).心理旋转研究的新进展. *心理科学*, 28(5), 1164-1166.
- 魏高峡, & 李佑发.(2012).21世纪中国运动心理学的新方向:运动认知神经科学研究. *体育科学*, 32(1), 54-63.
- 叶浩生.(1992).行为主义的演变与新的新行为主义. *心理学动态*, 2(2), 19-24.
- 游旭群,杨治良.(1998).表象运动推断加工子系统特性的实验研究. *心理科学*, 3(3), 231-233.
- 游旭群,王鹏,晏碧华.(2007).不同平面心理旋转的角色效应. *心理学报*, 39(1), 58-63.
- 游旭群,晏碧华,李瑛.(2005).心理模拟对完成表象反转的效应研究.见:第十届全国心理学学术大会论文摘要集,上海.

- 张江. (2010). 脑功能磁共振成像数据处理算法及应用研究. 博士学位论文, 电子科技大学.
- 张霞 刘鸣. (2009). 视觉表象操作加工的眼动实验研究. *心理学报*, 41(4), 305–315.
- Amedi, A., Malach, R., & Pascual-Leone, A. (2005). Negative bold differentiates visual imagery and perception. *Neuron*, 48(5), 859–872.
- Anderson, J. R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85(4), 249–277.
- Ashton, R., & White, K. (1974). Factor analysis of the gordon test of visual imagery control. *Perceptual and Motor Skills*, 38(3), 945–946.
- Beacher, F. D. C. C., Radulescu, E., Minati, L., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Lai, M. C., Walker, A. ... Critchley, H. D. (2012). Sex differences and autism: Brain function during verbal fluency and mental rotation. *PLoS One*, 7(6), e38355.
- Bennett, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1947). *Differential aptitude tests*. San Antonio, TX, US: Psychological Corporation.
- Betts, G. H. (1909). *The Distribution and Junctions of Mental Imagery*. New York: Columbia University.
- Brandt, S. A. S. L. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(1), 27–38.
- Callow, N., & Roberts, R. (2010). Imagery research: An investigation of three issues. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(4), 325–329.
- Chara, P. J., & Hamm, D. A. (1989). An inquiry into the construct validity of the vividness of visual imagery questionnaire. *Perceptual and Motor Skills*, 69(1), 127–136.
- Clauser, B. E. (2007). The life and labors of Francis Galton: A review of four recent books about the father of behavioral statistics. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 32(4), 440–444.
- Coelho, R. W., Keller, B., Kuczynski, K. M., Jr. Ribeiro, E., Lima, M. C. D. A., Grebogg, D., ... Stefanello, J. M. F. (2012). Use of multimodal imagery with precompetitive anxiety and stress of elite tennis players. *Perceptual and Motor Skills*, 114(2), 419–428.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., & Digirolamo, G. J. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation: A mapping study using functional MRI. *Brain: A Journal of Neurology*, 119(Pt 1), 89–100.
- Collet, C., Guillot, A., Lebon, F., Macintyre, T., & Moran, A. (2011). Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(2), 85–92.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. *Visual Information Processing: Proceedings*, 75.
- Creem-Regehr, S. H., Neil, J. A., & Yeh, H. J. (2007). Neural correlates of two imagined egocentric transformations. *Neuroimage*, 35(2), 916–927.
- Cui, X., Jeter, C. B., Yang, D. N., Montague, P. R., & Eagleman, D. M. (2007). Vividness of mental imagery: Individual variability can be measured objectively. *Vision Research*, 47(4), 474–478.
- Dalecki, M., Hoffmann, U., & Bock, O. (2012). Mental rotation of letters, body parts and complex scenes: Separate or Common Mechanisms? *Human Movement Science*, 31(5), 1151–1160.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*, 42(1), 1–5.
- Deiber, M. P., Ibanez, V., Honda, M., Sadato, N., Raman, R., & Hallett, M. (1998). Cerebral processes related to visuomotor imagery and generation of simple finger movements studied with positron emission tomography. *Neuroimage*, 7(2), 73–85.
- Ehrsson, H. H., Geyer, S., & Naito, E. (2003). Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. *Journal of Neurophysiology*, 90(5), 3304–3316.
- Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Pavesi, G. (1998). Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: A magnetic stimulation study. *Neuropsychologia*, 37(2), 147–158.
- Finke, R. A. (1980). Levels of equivalence in imagery and perception. *Psychological Review*, 87(2), 113–132.
- Fourkas, A. D., Bonavolontà, V., Avenanti, A., & Aglioti, S. M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral cortex*, 18(10), 2382–2390.
- Galton, F. (1880). I.—Statistics of mental imagery. *Mind*, (19), 301–318..
- Ganis, G., Keenan, J. P., Kosslyn, S. M., & Pascual-Leone, A. (2000). Transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex affects mental rotation. *Cerebral Cortex*, 10(2), 175–180.
- Ganis, G., Thompson, W. L., & Kosslyn, S. M. (2004). Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: An fMRI Study. *Brain research. Cognitive Brain Research*, 20(2), 226–241.
- Gentili, R., Papaxanthis, C., & Pozzo, T. (2006). Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice.

- Neuroscience*, 137(3), 761–772.
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J., Gaymard, B., Marsault, C., ... Le Bihan, D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral Cortex*, 10(11), 1093–1104.
- Gordon, R. (1949). An investigation into some of the factors that favour the formation of stereotyped images. *British Journal of Psychology*, 39, 156–167.
- Gregg, M., & Hall, C. (2006). Measurement of motivational imagery abilities in sport. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 961–971.
- Gueugneau, N., Crognier, L., & Papaxanthis, C. (2008). The influence of eye movements on the temporal features of executed and imagined arm movements. *Brain Research*, 1187, 95–102.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *Neuroimage*, 41(4), 1471–1483.
- Hall, C. R. (2007). Imagery use by athletes: development of the sport imagery questionnaire. In D. Smith & M. Bar-Eli (eds.), *Essential Readings in Sport and Exercise Psychology*, 258.
- Hall, C. R., Pongrac, J., & Buckholz, E. (1985). The measurement of imagery ability. *Human Movement Science*, 4(2), 107–118.
- Hall, C. R., & Martin, K. A. (1997). Measuring Movement Imagery Abilities: A Revision of the Movement Imagery Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21(1-2), 143–154.
- Hall, C. R., Mack, D. E., Paivio, A., & Hausenblas, H. A. (1998). Imagery use by athletes: Development of the Sport Imagery Questionnaire. *International Journal of Sport Psychology*, 29, 73–89.
- Hall, C. R., Mack, D. E., Paivio, A., & Hausenblas, H. A. (2007). Imagery use by athletes: Development of the Sport Imagery Questionnaire. *Essential Readings in Sport and Exercise Psychology*, 258–264.
- Hall, C. R., Munroe-Chandler, K. J., Fishburne, G. J., & Hall, N. D. (2009). The sport imagery questionnaire for children (Siq-C). *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 13(2), 93–107.
- Hall, C. R., Stevens, D. E., & Paivio, A. (2005). *The Sport Imagery Questionnaire: Test manual*. Morgantown, WV : Fitness Information Technology.
- Hanakawa, T., Dimyan, M. A., & Hallett, M. (2008). Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: A time-course study with functional MRI. *Cerebral Cortex*, 18(12), 2775–2788.
- Hanakawa, T., Immisch, I., Toma, K., Dimyan, M. A., van Gelderen, P., & Hallett, M. (2003). Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of Neurophysiology*, 89(2), 989–1002.
- Harris, I. M., & Miniussi, C. (2003). Parietal lobe contribution to mental rotation demonstrated with rtms. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3), 315–323.
- Hashimoto, R., & Rothwell, J. C. (1999). Dynamic changes in corticospinal excitability during motor imagery. *Experimental Brain Research*, 125(1), 75–81.
- Heremans, E., Helsen, W. F., & Feys, P. (2008). The eyes as a mirror of our thoughts: Quantification of motor imagery of goal-directed movements through eye movement registration. *Behavioural Brain Research*, 187(2), 351–360.
- Hinton, G. E., & Parsons, L. M. (1981). Frames of reference and mental imagery. *Attention and Performance*, 4, 260–277.
- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 822 – 851.
- Hubbard, T. L. (2010). Auditory imagery: empirical findings. *Psychological Bulletin*, 136(2), 302–329.
- Ionta, S., Fourkas, A. D., Fiorio, M., & Aglioti, S. M. (2007). The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Experimental Brain Research*, 183(1), 1–7.
- Isaac, A., Marks, D. F., & Russell, D. G. (1986). An instrument for assessing imagery of movement: The vividness of movement imagery questionnaire (Vmiq). *Journal of Mental Imagery*, 10(4), 23–30.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, 268(5218), 1772–1774.
- Ishai, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron*, 28(3), 979–990.
- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C. L., & Doyon, J. (2003). Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage*, 20(2), 1171–1180.
- Jansen, P., Lange, L., & Heil, M. (2011). The influence of juggling on mental rotation performance in children. *Biomedical Human Kinetics*, 3(3), 18–22.
- Jaušovec, N. (2012). Sex differences in event-related potential components during the solution of complex mental rotation tasks. *Neuroreport*, 23(6), 360–363.
- Johnson, S. H. (2000). Thinking ahead: The case for motor imagery in prospective judgements of prehension. *Cognition*, 74(1), 33–70.
- Jolicoeur, P. (1985). The time to name disoriented natural

- objects. *Memory & Cognition*, 13(4), 289–303.
- Jüttner, M., & Rentschler, I. (2002). Imagery in multi-modal object learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(2), 197–198..
- Kessler, K., & Thomson, L. A. (2010). The embodied nature of spatial perspective taking: Embodied transformation versus sensorimotor interference. *Cognition*, 114(1), 72–88.
- Koriat, A., & Norman, J. (1984). What is rotated in mental rotation? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(3), 421–434.
- Koriat, A., & Norman, J. (1988). Frames and images: Sequential effects in mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(1), 93–111.
- Koriat, A., & Norman, J. (1989). Establishing global and local correspondence between successive stimuli: The holistic nature of backward alignment. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(3), 480–494.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Elements of Graph Design*.. WH Freeman New York.
- Kosslyn, S. M. (1999). The role of area 17 in visual imagery : Convergent evidence from pet and rtms. *Science*, 284, 167–170.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Maljkovic, V., Weise, S. B., Chabris, C. F.,... Buonanno, F. S. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: Pet investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(3), 263–287.
- Kosslyn, S. M., Digirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35(2), 151–161.
- Kosslyn, S. M., Pascual-Leone, A., Felician, O., Camposano, S., Keenan, J. P., L., W.,... Alpert, N. M. (1999). The role of area 17 in visual imagery: Convergent evidence from pet and rtms. *Science*, 284(5411), 167–170.
- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual mental imagery? *Psychological Bulletin*, 129(5), 723–746.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1997). Neural systems shared by visual imagery and visual perception: A positron emission tomography study. *Neuroimage*, 6(4), 320–334.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Ganis, G. (2006). *The case for mental imagery*. New York, NY, US: Oxford University Press.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Klm, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex, *Nature*, 378(6556), 496–498.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29(5), 745–756.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., Rasch, B., & Blajenkova, O. (2006). Perspective-taking Vs. mental rotation transformations and how they predict spatial navigation performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 397–417.
- Kreiman, G., Koch, C., & Fried, I. (2000). Category-specific visual responses of single neurons in the human medial temporal lobe. *Nature Neuroscience*, 3(9), 946–953.
- Laeng, B., & Teodorescu, D. (2002). Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science*, 26(2), 207–231.
- Logie, R. H., Pernet, C. R., Buonocore, A., & Sala, S. D. (2011). Low and high imagers activate networks differentially in mental rotation. *Neuropsychologia*, 49(11), 3071–3077.
- Lorey, B., Pilgramm, S., Bischoff, M., Stark, R., Vaitl, D., Kindermann, S.,... Zentgraf, K. (2011). Activation of the parieto-premotor network is associated with vivid motor imagery--A parametric fMRI study. *PLoS One*, 6(5), e20368.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U.,... Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(5), 491–501.
- Mammarella, N. (2011). Is there a “Special Relationship” between unconscious emotions and visual imagery? evidence from a mental rotation test. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 20(2), 444–448.
- Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British Journal of Psychology*, 64(1), 17–24.
- Marks, D. F. (1995). New directions for mental imagery research. *Journal of Mental Imagery*, 19(3-4), 153–167.
- Martini, M., Furtner, M. R., & Sachse, P. (2011). Eye movements during mental rotation of nonmirrored and mirrored three-dimensional abstract objects. *Perceptual and Motor Skills*, 112(3), 829–837.
- Mcintyre, J., Lipshits, M., Zaoui, M., Berthoz, A., & Gurfinkel, V. (2001). Internal reference frames for representation and storage of visual information: The role of gravity. *Acta Astronautica*, 49(3–10), 111–121.
- Mckelvie, S. J. (1990). The vividness of visual imagery questionnaire: Commentary on the Marks-Chara debate. *Perceptual and Motor Skills*, 70(2), 551–560.
- Mckelvie, S. J. (1995). The VVIQ as a psychometric test of individual differences in visual imagery vividness: A

- critical quantitative review and plea for direction. *Journal of Mental Imagery*, 19(3-4), 1-106.
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M., & Mazoyer, B. (1995). A positron emission tomography study of visual and mental spatial exploration. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(4), 433-445.
- Moore, D. S. J. S. (2008). Mental rotation in human infants: A sex difference. *Psychological Science*, 19(11), 1063-1066.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. Oxford, England: Holt, Rinehart & Winston.
- Parker, J. K., & Lovell, G. (2009). Characteristics affecting the use of imagery: A youth sports academy study. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 4(1), 1-15.
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19(2), 178-241.
- Parsons, L. M. (2003). Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 515-517.
- Parsons, L. M. F. P. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, 15(6-8), 583.
- Pearson, D. G., Deeprose, C., Wallace-Hadrill, S. M. A., Heyes, S. B., & Holmes, E. A. (2013). Assessing mental imagery in clinical psychology: A review of imagery measures and a guiding framework. *Clinical Psychology Review*, 33(1), 1-23.
- Pelgrims, B., Michaux, N., Olivier, E., & Andres, M. (2011). Contribution of the primary motor cortex to motor imagery: A subthreshold TMS study. *Human Brain Mapping*, 32(9), 1471-1482.
- Pellkofer, J., Jansen, P., & Heil, M. (2012). Lateralization of event-related potential effects during mental rotation of polygons. *Neuroreport*, 23(10), 585-589.
- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., & Diamond, M. E. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: A functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 16(23), 7688-7698.
- Porro, C. A. C. V. (2000). Ipsilateral involvement of primary motor cortex during motor imagery. *European Journal of Neuroscience*, 12(8), 3059-3063.
- Pylyshyn, Z. (2003). Return of the mental image: Are there really pictures in the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 113-118.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80(1), 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (1979). The rate of "mental rotation" of images: A test of a holistic analogue hypothesis. *Memory & Cognition*, 7(1), 19-28.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88(1), 16-45.
- Pylyshyn, Z. W. (2000). Situating vision in the world. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 197-207.
- Reisberg, D., Pearson, D. G., & Kosslyn, S. M. (2003). Intuitions and introspections about imagery: The role of imagery experience in shaping an investigator's theoretical views. *Applied Cognitive Psychology*, 17(2), 147-160.
- Robertson, L. C., Palmer, S. E., & Gomez, L. M. (1987). Reference frames in mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 368-379.
- Rodway, P., Gillies, K., & Schepman, A. (2006). Vivid imagers are better at detecting salient changes. *Journal of Individual Differences*, 27(4), 218-228.
- Rosenbaum, D. A. (1975). Perception and extrapolation of velocity and acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1(4), 395-403.
- Rossi, J. S. (1977). Reliability of a measure of visual imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 45(3), 694.
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C.,... Jeannerod, M. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*, 7(7), 1280-1284.
- Ruiz, M. C., & Watt, A. P. (2012). Translation and reliability of the preliminary Spanish version of the sport imagery questionnaire. *Advances in Physical Education*, 2(2), 73-75.
- Sekuler, R., & Nash, D. (1972). Speed of size scaling in human vision. *Psychonomic Science*, 27(2), 93-94.
- Seurinck, R. L. F. P. (2011). Mental rotation meets the motion aftereffect: The role of Hv5/Mt+ in Visual Mental Imagery. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(6), 1395-1404.
- Sharma, N., Jones, P. S., Carpenter, T. A., & Baron, J. (2008). Mapping the involvement of Ba 4a and 4P during motor imagery. *Neuroimage*, 41(1), 92-99.
- Sheehan, P. W. (1967a). Reliability of a short test of imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 25(3), 744.
- Sheehan, P. W. (1967b). A shortened form of Betts's questionnaire upon mental imagery. *Journal of Clinical Psychology*, 23(3), 386-389.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1986). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA, US: The MIT

- Press.
- Shepard, R. N., & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3(2), 228–243.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701–703.
- Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American Psychologist*, 33(2), 125–137.
- Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(7), 910–919.
- Stefanello, J. M. F., Marques, C. P., & Rodacki, A. L. F. (2010). Assessment of motor imagery ability and training. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 12, 395–400.
- Stevenson, R. J., & Case, T. I. (2005). Olfactory imagery: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(2), 244–264.
- Stinear, C. M., Byblow, W. D., Steyvers, M., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2006). Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Experimental Brain Research*, 168(1), 157–164.
- Takahashi, J., & Yasunaga, D. (2012). Reported visual imagery and apparent motion: An event-related potential study. *Neuroreport*, 23(15), 904–910.
- Thompson, W. L., Kosslyn, S. M., Hoffman, M. S., & Van der Kooij, K. (2008). Inspecting visual mental images: Can people 'see' implicit properties as easily in imagery and perception? *Memory & Cognition*, 36(5), 1024–1032.
- Tiggemann, M., & Kemps, E. (2005). The Phenomenology of Food Cravings: The Role of Mental Imagery. *Appetite*, 45(3), 305–313.
- Tresilian, J. R. (1995). Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment tasks. *Perception & Psychophysics*, 57(2), 231–245.
- Vannucci, M., & Mazzoni, G. (2009). Individual differences in object and spatial imagery: Personality correlates. *Personality and Individual Differences*, 46(4), 402–405.
- Voyer, D. (2011). Time limits and gender differences on paper-and-pencil tests of mental rotation: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 267–277.
- Watt, A. P., Jaakkola, T. T., & Morris, T. (2006). Reliability and factor structure of the finnish version of the sport imagery questionnaire. *Perceptual and Motor Skills*, 103(1), 107–114.
- Watt, A. P., Spittle, M., Jaakkola, T., & Morris, T. (2008). Adopting Paivio's general analytic framework to examine imagery use in sport. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*, 3(1), 1–15.
- Wei, G. X., & Luo, J. (2010). Sport expert's motor imagery: Functional imaging of professional motor skills and simple motor skills. *Brain Research*, 1341, 52–62.
- Williams, J., Pearce, A. J., Loporto, M., Morris, T., & Holmes, P. S. (2012). The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 369–375.
- Williams, S. E., & Cumming, J. (2011). Measuring athlete imagery ability: The sport imagery ability questionnaire. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33(3), 416–440.

Review of Measuring Imagery

MA Xiao; ZHANG Yu

(Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Measuring Imagery is widely used in training. It also a critical step of generating successful training. Three methods of Measuring Imagery are discussed in this paper: the paper and pencil tests, the experiments, and Physiological Psychology Indicators. The paper and pencil tests mainly involve measurement scales, such as the Betts' Questionnaire upon Mental Imagery, the Vividness of Visual Imagery Questionnaire (VVIQ), the new version of VVIQ (VVIQ2), the Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ), and the revision of VMIQ. For the experimental method, imagery rotation serves as the basic paradigm. As Physiological Psychology Indicators, transcranial magnetic stimulation (TMS) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) are used to observe the vividness of different brain regions during various imagery processes. Each of the three methods has its own advantages and drawbacks that require further improvements.

Key words: imagery; measurement; questionnaire; mental rotation; Physiological Psychology Indicators