PIBB 生物化学与生物物理进展
Progress in Biochemistry and Biophysics
2018, 45(3): 325~335
www.pibb.ac.cn

感觉-运动系统参与隐喻理解的认知神经机制 *

郑玮琦[1,2] 刘 烨[1,2)**] 傅小兰[1,2]
([1] 中国科学院心理研究所，脑与认知科学国家重点实验室，北京 100101；[2] 中国科学院大学心理学系，北京 100049)

摘要 最近十几年的研究发现，人们常借助感觉 - 运动经验来获取具体概念，表明感觉 - 运动系统与言语系统存在紧密联系．隐喻是借助具体概念描述抽象概念的常见修辞方式，因此，探讨感觉 - 运动系统在隐喻理解中的作用有助于解决抽象概念形成与理解的科学问题，进一步阐明感觉 - 运动系统与言语系统的关系．本文总结了研究感觉 - 运动系统参与隐喻理解所采用的实验范式，归纳了感觉 - 运动系统参与隐喻理解的影响因素，综述了与感觉通道、动作控制和执行有关的脑区参与隐喻理解时的认知神经机制，并且在此基础上，提出了以下观点：感觉运动经验有选择性地参与隐喻理解，理解过程依赖与感觉 - 运动有关脑区的激活；感觉运动经验的模拟不是快速即时的，受到语言理解策略的影响；在“具身提取理论”的框架下，“感觉运动模拟隐喻理论”能进一步说明感觉 - 运动系统与隐喻的相互作用．最后结合研究现状，从研究方法、语法规则、言语习得、运动障碍这四个方面提出了未来研究展望．

关键词 感觉 - 运动系统，隐喻，认知机制，神经机制
学科分类号 B845，R338
DOI: 10.16476/j.pibb.2017.0141

语义信息如何在头脑中表征与加工是认知科学的核心问题．一直以来，言语理解通常被认为是非模态化(amodal)的过程，与感知觉、动作无关[1-2]，但是近几十年来逐渐兴起的具身语言观则认为，语义知识植根于身体的感觉运动经验[3]．越来越多的实验结果支持具身语言观，例如行为学研究表明言语系统与知觉[4]和动作[5]紧密联系，神经影像学研究表明，与感知觉、运动有关的大脑区域会在语言材料的加工过程中激活[6-8]．以往关于具身语言观的大量研究主要围绕具体概念或字面义语言材料展开．然而，日常生活中充满了抽象概念或非字面含义的语言，这种情况下，具身语言观是否同样适用仍需进一步探讨．

考察隐喻理解过程中是否存在感觉 - 运动系统的参与是解决这一问题的有效途径之一．隐喻是一种常见的修辞方式，通过运用与身体经验有关的具体概念来建构与身体经验远离的抽象概念．例如，我们常常借助空间的概念来表征时间概念，当我们说到上周、下月、前年等词语时，都借用了空间方位词语；又例如，我们经常将人生比作一段旅程，这就是借用了“旅程”的一些性质与特点，用来形容更加抽象的概念——人生．心理语言学家认为隐喻不仅是修辞手法，更是一种认知方式[9-10]．在自然语言中，隐喻使用的高频率反映了概念系统潜在的隐喻性本质[11]，目前已有大量研究表明，当使用的语句在表面上没有出现隐喻的修辞方式时，人们仍然会借助隐喻来进行思考[12]．研究隐喻能更加直观地探讨大脑如何通过感觉 - 运动系统的参与来表征抽象、复杂的概念，有助于我们进一步了解抽象概念的形成与理解过程．因此，研究感觉 - 运动系统参与隐喻理解的认知神经机制具有重要的理论意义．

本文将首先梳理有关感觉 - 运动系统与言语系统关系的实证研究．其次归纳目前研究感觉 - 运动系统参与隐喻理解的常用实验范式、影响因素，并

* 国家自然科学基金重点项目(61632004)，国家自然科学基金委和德国基金会中德合作项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169) 资助.
** 通讯联系人.
Tel: 010-64847125, E-mail: liuye@psych.ac.cn
收稿日期：2017-04-11，接受日期：2017-10-31

将从参与脑区、时间进程等角度总结感觉-运动系统参与隐喻理解的神经机制．然后评述目前已有的理论模型．最后，结合研究现状，提出未来研究的方向．

1　感觉-运动系统与言语系统

最近十几年的研究结果表明，在言语加工过程中，感觉-运动系统的参与渗透到了语音、词汇、句子、篇章加工等各个层面[5, 13]．a．在语音加工阶段，听音位或音节激活了与发音阶段有关的嘴唇和舌头的运动脑区，表明语音知觉时运动皮层的激活[14-16]，而且前运动皮层参与音位种类识别的过程与目标任务无关，是自动的过程[17]．b．在词汇通达层面，对动作词的理解会引起运动皮层或前运动皮层的躯体特异性激活[18-19]，而且在加工可操作性物体的名词时也出现这一区域的激活[20]．c．在句子理解层面，听与动作有关的句子能改变运动系统的激活水平[21-22]；此外，理解动作句与观察他人执行该动作时激活的脑区相同[23]．d．在语篇理解层面，阅读与动作有关的语篇时，当语篇中的人物与物体间出现动作交互时，大脑的躯体感觉区域激活程度变高[24]．

以上研究尽管已经表明，感觉-运动系统的确参与了不同水平的言语活动的加工，但是上述研究主要关注具体的字面义的加工，采用的词语、句子或语篇均涉及比较明确、具体的感知觉与动作的字面义．然而，日常语言不仅包含具体概念，还充斥着大量的抽象概念，而且已有研究表明抽象概念与感觉运动经验之间也存在密切关联，例如，理解有关“传递”的抽象语义概念(例如，委托职责)时，大脑运动皮层的激活类似于理解有关“传递”的具体概念(例如，递东西)[25]；利用具体概念“容器”作为心理表征来理解抽象概念“类别”，属于某类别即为在该类别的里面，不属于则在外面[26]；理解某些抽象动词会激活空间的意象图式(image schema)，例如“尊敬”会激活垂直方向的空间图式[27]．但是，感觉运动经验是否是抽象概念加工的必要条件，抽象概念“具身”的程度如何，这些问题仍存在争议．例如 Sakreida 等[28]利用脑成像技术比较理解具体与抽象语句时大脑不同部位的激活程度，结果发现，尽管具体与抽象语句的理解都涉及到感觉运动皮层的参与，但具体语句的理解相对来说更加依赖感觉-运动系统，如左侧前运动区，而抽象语句更加依赖言语系统，如左侧颞中回(left middle temporal gyrus，left MTG)(言语加工系统的一部分)．还有观点认为无论是具身认知理论还是基于特征的语义表征理论，都不能充分解释抽象概念的完整语义，例如有关失读症患者的研究表明在认知系统里具体和抽象的词语的语义表征存在部分分离[29]，脑成像的证据也表明大脑左侧额下回(left inferior frontal gyrus，left IFG)在编译抽象语义时，相比编译具体语义起到了更重要的作用[30]．可见，目前有关抽象概念加工的研究仍存在很大争议，尤其是对于感觉-运动系统在其中所起的作用尚没有统一的结论．

在抽象概念系统与感觉-运动系统关系的研究中，有些涉及到比较特殊的语言形式，例如隐喻、习语、虚拟运动句等．与虚拟运动句主要描述静止的空间关系不同(虚拟运动句指用无生命的主语，例如道路、铁路、小径等，搭配表示运动的动词，用动态表达静态场景)，动作隐喻句使用动作词来表达更高层面的目标指向的动作[31]．而相比于高度惯用化、通俗化的习语，感觉-运动隐喻句仍保留了词语的感知觉或运动含义．因此，在感觉-运动隐喻句中，有关感知觉、运动的词语的字面义和隐喻义之间仍然存在着关联．考察感知觉、运动有关的隐喻理解，能搭建抽象概念与具体概念之间的桥梁．已有行为实验发现，在理解隐喻句之前，先实际执行或者想象与语义相容的动作可以加快隐喻句的理解[32]；事件相关电位(event-related potential，ERP)研究发现，不同感觉-运动模态隐喻的加工时间进程存在差异，脑区分布也存在特异性[33]；脑成像研究也发现在理解与动作有关的隐喻时，大脑中的初级运动皮层[34]和较高级的运动区域[35-36]都会被激活．这些研究都表明隐喻理解过程中存在感觉-运动系统的参与．

2　感觉-运动系统参与隐喻理解的研究范式

目前主要采用三种研究范式来研究感觉-运动系统与隐喻理解的关系，分别是动作-句子相容效应范式、运动后效范式、生物运动启动范式．

动作-句子相容效应范式(action-sentence compatibility effect，ACE)最早由 Glenberg 和 Kaschak[37]提出，该研究中的实验语句分为有意义与无意义两种类型，有意义的句子包含趋近或远离身体的动作方向，无意义句子则不暗示任何运动方

向，被试需要通过按键反应来判断句子是否有意义，按键反应的方向包括两种，趋近或远离身体．结果发现，当按键反应的方向与句子暗含方向一致时，被试的反应速度更快．这个范式的思路是受到具身认知理论的启发．具身认知理论认为，理解动作语句的过程会诱发对所描述动作的心理模拟[38]，即当加工与动作有关的语言时，该过程会被内隐的动作模拟所调节，并且与实际的运动过程共享相同的神经机制，因此，当反应方向与句中动作方向一致时，反应速度更快．隐喻研究借鉴了这种范式的思路，要求被试在阅读隐喻句前做与句中包含动作一致或不一致的身体动作，结果发现一致的动作会加快对隐喻句的理解，同样地，当被试想象一个确定、具体的身体动作后，对包含一致动作的隐喻句的理解也会加快[32]．与垂直方向有关的空间隐喻研究采用修改后的 ACE 范式发现，如果要求被试在阅读垂直方向隐喻或其他类型句子时完成向上或向下的手部运动，那么在实际动作与语义相匹配的条件下，手部动作会更快，表明垂直空间隐喻的理解会影响垂直方向的身体动作[39]，这也说明隐喻理解过程中激活的运动系统可能会反过来影响身体效应器的反应速度．

运动后效(motion after effect，MAE)范式借助运动后效这一视觉适应而产生的视错觉现象，进而考察人们在理解包含运动的隐喻句时是否发生运动知觉系统的激活．运动后效是指注视一个移动的视觉刺激并保持眼睛不动(几十毫秒到几分钟不等)，一段时间后将眼睛注视到静止的物体上，静止物体看起来会朝着刚才注视物体运动的相反方向运动．运动后效的产生也常常被认为是运动知觉系统中朝向选择性神经机制参与任务的标志[40]．借助运动后效范式可以证明暗示性运动图片和心理表象会激活运动知觉系统[41]．Dils 与 Boroditsky[42]的实验中给被试听包含向上或向下运动的字面义或隐喻义故事，随后在屏幕上呈现有部分圆点朝着某一方向一致运动的动态图，让被试判断圆点运动的方向，结果发现，无论是字面义或隐喻义的材料，随着故事的进展，被试表现出的运动后效逐渐增强，即认为真实运动的圆点朝着相反方向运动．从而说明被试在加工包含运动含义的字面句与隐喻句的同时能产生心理表象，并在视知觉上引起运动适应．因此，视觉适应现象是运动知觉系统参与动作隐喻理解的有力证据．

在运动后效范式中，刺激材料是单一朝向的圆点，但在生活中，我们更多接触的是生物运动(biological motion)信息，如果将生物运动信息作为启动材料，将更贴近于生活中人类对于一些动作的模拟过程，生态效度更高．因此，Troyer 等[43]提出了生物运动的启动范式，要求被试观看完整的光点步行者或杂乱光点对照组的视频片段，然后以自定速度的方式阅读与生物运动有关的字面句或隐喻句．结果发现，观看光点步行者视频后，阅读与视频中生物运动语义相近的字面句时速度变慢(如视频中是漫步，句子中采用的词语也是漫步)，而阅读与生物运动语义较远的隐喻句时速度会变慢(如视频中是漫步，句子中采用的词语是跳跃)．这可能是由于加工视觉运动信息后，立刻理解有关的字面义动作句会受到前面任务的干扰，而相比于字面句，隐喻句的理解会提取更广义的语义记忆，因此，在阅读与生物运动语义较远的隐喻句时，会受到之前观看视频的干扰．该结果说明，加工生物运动的视觉信息或语义信息时，可能采用了相同的认知神经机制，但字面句与隐喻句对生物运动信息的依赖程度和方式不完全相同，相比于字面句，隐喻句的加工对生物运动信息的特异性与具体性的依赖更弱．但目前采用生物运动启动范式的研究非常少，未来研究可以更多地借鉴这种范式来进一步探讨生物运动信息对隐喻句理解的影响．

3 感觉-运动系统参与隐喻理解的影响因素

在理解隐喻句的过程中，感觉 - 运动系统的参与会受到很多因素的影响，包括语言材料的特点、被试的心理想象能力和情绪．

首先是语言材料自身特点的影响，例如熟悉性．Aziz-Zadeh 和 Damasio[6]提出，以往一些实验中常规隐喻加工过程未能激活运动区域，可能是由于隐喻材料的过度练习或过度学习．感觉 - 运动系统的参与是渐变的过程，随着隐喻材料的熟悉性增强，动作模拟会逐渐减弱．神经影像学研究提供了直接证据，大脑双侧中央沟、左侧后颞上沟等脑区的激活与熟悉性程度成反比[36]．但也有研究发现当听与触觉相关的高熟悉性隐喻句和听控制组的字面句时，包括双侧顶叶岛盖、右侧下中央前回在内的躯体感觉皮层都被激活[44]．即加工高熟悉性的触觉隐喻句也同样依赖于感觉 - 运动系统的参与．因此，这可能说明熟悉性对不同感觉 - 运动模态的隐

喻的影响程度不完全相同.

其次，被试的心理想象能力也会影响感觉 - 运动系统参与隐喻理解的程度. 在阅读与知觉或动作有关的语句时，心理想象能力强的人会在头脑中形成生动的图像. 心理想象能力强的被试更倾向于采用感觉运动经验来促进隐喻的理解，尤其是针对不熟悉的隐喻，可以通过联系字面义包含的感觉运动信息来帮助理解隐喻义，而心理想象能力差的被试在隐喻理解过程中更依赖一般的语义通达机制，即通过发现隐喻义与字面义之间的语义不匹配来提取语义记忆[45]. 此外，以往有些研究认为个体认知能力的差异会影响隐喻理解的效率[46]，但是，Shen等[45]的研究认为心理想象能力的差异只会影响隐喻理解策略的倾向，以及隐喻在长时记忆中如何存储(是否包含感觉 - 运动信息)，而无论采取何种方式，被试都能成功理解隐喻，理解结果也是相似的.

另外，在生活中，我们常常采用隐喻的表达方式来描述情绪，例如，“燃起心中的怒火”就是用火来形容怒气. 研究发现与感觉、运动有关的隐喻可能会受到情绪的影响或调节，与情绪相关的脑区也会激活. 例如，在味觉隐喻理解过程中，大脑左侧海马(left hippocampus)，海马旁回(parahippocampal gyrus)以及杏仁核(amygdala)会激活，这几个脑区都与情绪相关[47]. 以往研究表明杏仁核的激活与强烈的情感刺激的自动加工有关[48]，左侧杏仁核的激活能促进情绪性的言语材料在海马中成功编码[49]，而这两个区域的共同激活与情绪记忆的成功提取有关[50]. 还有研究发现，对于可以解读成隐喻义或字面义的模棱两可的句子，当被试解读成隐喻含义时，大脑的视觉运动区域的激活会受到含有情绪信息的上下文的调节，但当被试解读成字面义时，则不会出现情绪的调节作用[51]. 但目前，情绪对隐喻理解带来的影响的具体机制还不明确，未来需要更多的研究来深入探究其中的神经机制.

综上所述，可以看出对隐喻的理解并不只是感觉与运动经验的简单重建，感觉 - 运动系统的参与也并非是采取“全或无”的方式，会受到语言材料特点、被试心理想象能力，情绪等因素的影响，从而采用有选择性地激活的方式，加工过程也非常灵活.

4 感觉-运动系统参与隐喻理解的神经机制

4.1 感觉-运动系统参与隐喻理解的激活脑区

首先总结有关动作隐喻理解的神经影像学研究[6, 52-53]，本文着重汇总了在理解动作隐喻的过程中几个重要的激活脑区，这几个区域分别是左侧中央前回(left precentral gyrus)、左侧顶上小叶(left superior parietal lobule， left SPL)、双侧顶下小叶(bilateral inferior parietal lobule，bilateral IPL)、左侧颞中回(left middle temporal gyrus，left MTG)、左侧颞上沟(left superior temporal sulcus，left STS).

理解有关动作的隐喻能激活大脑左侧中央前回[34]. 中央前回属于大脑的运动区，管理全身骨骼肌运动，这是大脑运动系统可能参与动作隐喻理解的有力佐证之一，也意味着在动作隐喻句中，具体的字面义与抽象的隐喻义之间的关联确实存在. 在Lauro 等[34]的研究中，实验材料包括含有动词的字面句、隐喻句、习语句、虚拟运动句，脑成像结果发现当被试阅读与上肢运动有关的字面句与隐喻句时，大脑左侧中央前回显著激活. 大脑左侧中央前回还被证明当加工缺乏外显知觉线索的语义信息时，能调节与心理动作有关的工作记忆[54].

相比于理解字面句或抽象句，在加工动作隐喻句时，左侧顶上小叶会激活[35]. 研究表明左侧顶上小叶与动作控制以及动态空间信息的计算有紧密联系[55]，并且参与视觉运动信息的转换[56]. 因此在隐喻理解过程中，左侧顶上小叶可能主要负责视觉运动经验、动态空间信息的加工与整合.

理解动作隐喻句时左侧前顶下小叶(left anterior inferior parietal lobule，left aIPL)的激活与动作执行有紧密的关联，左侧前顶下小叶也属于次级感觉运动区域[36]. 以往研究发现顶下小叶能为更高级的运动功能提供神经基础，包括动作意图的理解等[56]，这表明加工抽象的隐喻义激活了更高级的运动功能，为字面的动作含义与抽象的隐喻义之间的联结提供了桥梁. 而且相比于猴子等灵长类动物，前顶下小叶是人类特有的与动作有关的激活脑区，在语言与动作领域都起到了作用，因此是联系语言与动作系统的交互脑区[35]. 右侧顶下小叶的激活与Beeman 等[57]提出的右脑粗略语义编码(coarse semantic coding theory)理论一致，即大脑右半球存在一个更广的语义域，包含同一个词语不同的含义以及较远关联的特征，而大脑左半球则主要加工概念最核心的含义与特征.

左侧颞中回在动作隐喻句的理解中也扮演了重要角色. Rapp 等[58]的研究曾发现左侧颞中回与其他皮层区域有大量联结，例如左侧额下回、额中回、顶下小叶等区域. 颞中回在语言理解的脑网络

中被认为是多模态联结的脑区[59]. 在理解非字面义的语言时，其功能可能是参与了正确含义选择的过程，即在理解过程中将语义保留在工作记忆中，然后结合语境整合语义[60]. Chen 等[61]的研究结果则强调了左侧颞中回的前部在动作隐喻句理解时的显著激活.

左侧颞上沟的激活一般反映隐喻句抽象含义的编码，然而，在理解不包含动作词的抽象句时，左侧颞上沟也会激活，说明隐喻的表征并不是完全依赖于感觉 - 运动的形式，抽象语义的成分在理解过程中也有体现[35]. 这与前文中总结的感觉 - 运动系统参与隐喻理解的选择性，灵活性的结论一致.

根据以上综述，可以将感觉 - 运动系统参与动作隐喻理解的神经环路总结如图 1 所示. 阅读动作隐喻材料时，视觉皮层加工文字信息后，大脑左侧顶上小叶加工视觉运动经验，随后大脑初级运动皮层参与动作模拟过程激活，属于次级感觉运动区域的左侧顶下小叶则负责对语义信息中动作意图进行理解，与此同时，左侧颞上沟主要负责编码隐喻句的抽象含义，最后，感觉、运动、抽象语义等多模态信息主要在左侧颞中回整合.

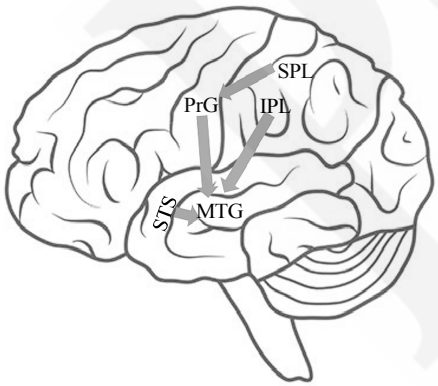

Fig. 1　The neural circuit of sensory-motor system's involvement in action metaphor comprehension

图 1　感觉-运动系统参与动作隐喻理解的神经环路

PrG: 中央前回；SPL: 顶上小叶； IPL: 顶下小叶；STS: 颞上沟；MTG: 颞中回.

除了大量与动作隐喻有关的研究以外，也有一些研究从感觉通道着手，研究感觉皮层是否参与了与感觉有关的隐喻的加工过程. 相比于相同含义的字面句，当加工包含纹理隐喻的语句时，大脑顶盖(tectum)部位与触觉特异性有关的躯体感觉皮层会被激活[44]；与感知觉体验有关的道德洁净隐喻在实验中也能激活大脑的躯体感觉皮层[33]；当默读与味觉有关的常规隐喻句时，大脑的初级与次级味觉皮层，主要包括眶额皮层外侧(the lateral orbitofrontal cortex)、额岛盖(frontal operculum)、前脑岛(anterior insula)等区域会显著激活[47]. 上述发现与动作隐喻研究的结果一致，都说明了隐喻的表达在一定程度上依赖感觉 - 运动系统的参与.

以上这些神经影像学的发现表明大脑感觉 - 运动区域参与了隐喻理解过程，除此之外，利用经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation，TMS)研究中运动诱发电位(motor evoked potentials，MEP)的测量，也能反映大脑运动皮层参与隐喻理解的激活程度. 当皮层激活时，运动诱发电位会升高，所以记录运动诱发电位是在给定任务中测量运动区域是否参与的有效手段. Cacciari 等[31]给被试呈现与腿部动作有关的字面句、隐喻句、习语句、虚拟运动句、心理状态抽象句，并在每句话呈现结束后在大脑左侧运动皮层(M1)给予单脉冲 TMS 刺激，同时记录了身体右侧腓肠肌与胫骨前肌的运动诱发电位，结果发现，阅读字面句时运动皮层激活程度最高，阅读隐喻句、虚拟运动句时运动皮层的激活程度较高，表明动词的隐喻义仍保留了动词的基本动作语义成分，进一步说明植根于感觉 - 运动系统的语义表征在隐喻句理解过程中扮演了重要的角色.

然而，目前脑成像结果关于隐喻的加工是否一定需要感觉 - 运动系统的参与，以及理解隐喻和字面义的过程是否有差异，还没有统一的答案. 例如，有研究发现阅读相同含义的隐喻句和字面句时，大脑前运动区和运动区的激活情况没有显著差异[31]，但也有研究只在字面句条件下发现了大脑前运动皮层的躯体特异性激活，在隐喻句条件下则没有发现[23]. 造成研究结果不一致的原因可能有实验中被试的任务难度不同、反应方式不同、实验材料不同等等，例如，习语或成语等语料很多也源于隐喻，但由于在生活中十分常见，人们可能都忘记了其隐喻的源头，所以在研究中，如果使用习语作为实验材料，得出的结论可能和比较新异的隐喻得出的结论不一致[31]. 因此，如何界定隐喻与习语是选用实验材料的重要依据，否则熟悉性、惯用性这些重要影响因素很容易形成结果的混淆.

4.2　感觉-运动系统参与隐喻理解的时间进程

探讨感觉 - 运动系统参与隐喻理解过程的时间进程可以明确感觉运动的模拟是快速即时的，还是

会受到其他因素的影响．相关的脑电研究根据实验采用的隐喻类型及研究方法的不同，可以分为以下两类．

第一类研究基于不同感觉 - 运动模态的隐喻，将 N400 成分与 P600 成分作为探究时间进程的重要参考指标．首先，视觉的 N400[62]是一个负走向波，刺激呈现约 400 ms 后在中央区与顶区达到峰值，对于语义违反、语义记忆通达的容易或困难程度非常敏感，在隐喻的习得与理解的研究中，N400 的时间窗口对词语的具体 - 抽象维度变化也很灵敏．另外，确定多模态信息的语义表征对于具身认知的本质十分重要，N400 与不同模态信息的整合也有关联[63]．P600 成分则主要体现句子理解过程中更多语义信息的修正与整合[63]．Schmidt-Snoek 等[33]的研究从不同模态的隐喻这一角度出发，使用 ERP 技术来比较不熟悉的运动模态隐喻与听觉模态隐喻加工的异同．实验结果发现在 N400 与 P600 的时间窗口，运动模态与听觉模态的隐喻的神经基础存在差异，在运动模态隐喻句的加工进程中，位于大脑左侧后部与中部的电极处的 N400 与 P600 峰值大于听觉模态隐喻句，即证实了隐喻理解过程中的模态特异性在神经层面的体现．此外，一般认为感觉 - 运动方面的语义在刺激呈现 200 ms 左右就能通达[64]，但该研究结果表明隐喻句的模态信息是在 350～650 ms 的时间窗口进行加工与整合，因此可以说明感觉 - 运动系统参与隐喻理解的过程不是快速即时的．

第二类研究基于空间方位隐喻，利用 ERP 技术进一步验证动作 - 句子的相容效应．空间方位隐喻是生活中最典型的概念隐喻之一，例如“胜利”对应“上”，“失败”对应“下”，“权利”对应“上”，“贫穷”对应“下”，这些抽象名词通过与垂直轴线的方向对应，使得人们可以利用身体体验来加深对抽象词义的理解．前文提到 ACE 范式可以用来验证空间方位隐喻的心理现实性，而利用 ERP 技术可以更好地探索身体动作与隐喻义包含的方向一致时，大脑对于与词语关联的空间属性的实时反应．在 Bardolph 和 Coulson[65]的研究中，被试在阅读与上下方位有关的字面义词或包含方位概念隐喻的抽象名词时，还需要在两个上下放置的托盘上移动物品，即完成手部向上或向下的动作，与此同时记录被试的 EEG．研究结果发现，对于与方位有关的字面义名词，在 200～300 ms，动作与词义不一致的条件比一致条件能诱发更正的 ERP 波幅，但对于包含方位概念隐喻的抽象名词，这种一致效应则出现在名词呈现 500 ms 后．对于字面义词早期的一致性效应，可能反映了动作任务冲突时大脑运动皮层的激活情况，这与以往研究观点一致，即具体概念的理解需要大脑感知觉与运动系统作为基础．而对于隐喻名词的晚期一致性效应，则可能说明了隐喻理解需要经过语用推理的过程．这种推测来源于以往有关笑话[66]、讽刺[67]、隐喻[68]、新异语义[69]理解的实验中，对于晚期 ERP 正成分的发现，这些语言材料的理解都与语用推理有直接关联．该研究的结果也进一步证实具有抽象语义的隐喻理解过程中感觉运动的模拟不是快速即时的，而是受到语言理解策略影响的．

5 感觉-运动系统参与隐喻理解的理论基础

根据概念系统与感觉 - 运动系统分离的强弱程度，阐述两者之间关联的观点可以被分为 4 类[70-71]．第一类观点认为概念系统与感觉 - 运动系统完全分离，即概念的表征是符号化的[72]．但大量研究结果表明，感觉、运动、情感等特定模态系统都参与了语言理解过程，因此这种“完全分离”的离身理论(disembodied)与实证研究结果不相符．另一类极端的观点是“强具身认知”理论(strong embodiment)，即概念系统与感觉 - 运动系统来自于大脑同一神经系统，感觉 - 运动区域对于概念表征是完全必需的[73]．然而也有研究发现了大脑中存在独立于模态信息的语义网络，因此“强具身认知”理论也不能很好地说明感觉 - 运动系统在概念理解中的作用[74]．第三类观点是次级具身认知理论(secondary embodiment)，认为语义信息是非模态化的，概念系统独立于感觉 - 运动系统但又与感觉 - 运动信息有直接联系[75]．但这种需要将概念系统单独区分出来的模型仍然受到了质疑，因为多模态的感知觉信息本身就能在一定程度上扮演语义信息的角色．第四类观点与目前的实证研究结果最符合，是弱具身认知理论(weak embodiment)，其中具有代表性的理论是具身提取理论(embodied abstraction)[76-77]．这种观点认为概念表征由不同水平的感觉、运动、情感的信息输入构成，这些信息的输入并不是自动获取或激活的，而是会受到语境、使用频率、熟悉度、任务要求等因素影响．例如，在高熟悉度的语境条件下，仅仅是简单的概念图示的表征就能使语言理解过程快速进行；但在新异语境下，就需要感觉 - 运动系统的参与来帮助具体化概念信息．正如

前文的总结，感觉 - 运动系统参与隐喻理解的过程是有选择性的，受到很多因素的影响，如语言材料的特点、被试的心理想象能力和情绪等，感觉运动的模拟也不是快速即时的，而是受到语言理解策略的影响，这些特征都表明隐喻理解过程更加符合具身提取理论所阐释的观点.

在具身提取这种弱具身认知理论的总体框架下，要进一步探讨感觉 - 运动系统与隐喻理解的关系，还需要考虑感觉 - 运动系统与隐喻所表达的概念之间双向映射的问题. 近年来，Slepian 与 Ambady[78]的研究中提出了感觉运动模拟隐喻理论 (simulated sensorimotor metaphor，SSM). 该理论认为通过习得隐喻，感觉运动经验会与抽象概念产生关联，即习得隐喻映射的形成能帮助建立抽象概念，但同时也能改变对概念的表征，因为感觉运动的模态信息成为了概念的神经表征的一部分，在加工概念时能被激活. Slepian 和 Ambady[78]设计了实验来验证这一理论模型，在实验中，研究者要求被试学习与“时间”和“重量”有关的新异隐喻，并分为学习“过去是沉重的”组和学习“现在是沉重的”组，然后去感受新书与旧书的重量. 结果发现，“过去 - 沉重”组的被试比“现在 - 沉重”组的被试认为旧书比新书更重，“现在 - 沉重”组则认为新书比旧书更重，但实际上新书与旧书重量是相同的. 该结果说明习得新的隐喻可以改变对概念所包含的属性的感知，即隐喻能反过来影响感觉经验的加工与塑造，从而进一步影响抽象概念的建构. 这也预示对隐喻的认知差异会影响对概念的具体表征. 感觉运动模拟隐喻理论能很好地推测隐喻如何帮助我们通过感觉运动经验形成抽象概念，并逐渐动态完善抽象概念的建构. 目前该研究的结论只证实了短暂的影响结果，而不是长期的影响，或许反复多次对新异隐喻的学习能达到长期影响的效果，但要想验证这些推测，还需要更多的研究论证.

综上所述，隐喻的理解是一个复杂的认知过程，在一定程度上涉及感知觉、运动等多模态信息的整合，感觉 - 运动系统在隐喻理解的加工过程中会有选择性的激活，激活过程不是快速即时的. 此外，感觉 - 运动经验的塑造也会反过来受到隐喻理解的影响. 与此同时，隐喻理解过程也需要言语系统的参与，并受到语言理解策略的调控. 结合实证研究结果与理论基础，本文将隐喻认知与感觉 - 运动系统、言语系统的关系总结如图 2 所示.

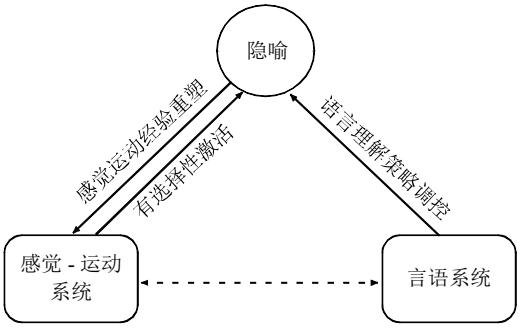

Fig. 2　The process of metaphor cognition
图 2　隐喻认知过程

6　研究展望

感觉 - 运动系统参与隐喻理解的研究正在逐渐成为心理语言学、认知科学、神经科学的热点问题，但正如前文所提到的，其中一些研究还存在不一致的结论，有关的理论解释也受到了质疑[71, 79]，所以，未来研究需要在目前的基础上，通过更多的实验来逐步统一理论模型的建构，与此同时拓展理论研究的应用价值. 下面从研究方法、语法规则、言语习得、运动障碍这 4 个方面入手，提出研究展望.

首先，运用更多的研究方法来验证与补充已有结论. 例如，在 ERP 研究中，可以借鉴 EEG 时频分析的方法，确定在隐喻的加工进程中是否有 Mu/Beta 节律的去同步化，以及时间进程等特征. Mu 节律是在感觉运动区记录到的 8～13 Hz 脑电波，与 alpha 节律区别在于 Mu 节律不受视觉影响，但会因动作、动作准备或运动想象发生变化. Beta 节律中部分频率是 Mu 节律的谐波，同样与运动或运动想象存在联系[80]. 研究显示，Mu/Beta 节律与运动或运动想象的联系表现为：想象某侧肢体的运动可导致同 / 对侧感觉运动皮层的 Mu/Beta 节律幅度的升高 / 降低[81]. 目前已有研究发现在加工与动作有关的句子时大脑前顶叶区域有 Mu 节律的抑制现象，即运动皮层参与了动作句的理解[82-83]. 因此，可以借鉴这种分析方法，把有关 Mu/Beta 节律变化的时频分析应用到隐喻加工进程的研究中，从而可以更加直观地了解运动皮层激活的时间进程.

第二，从语法规则层面出发，探究语法对感觉 - 运动隐喻理解的影响. 语法规则是相较于语义

内容本身更加抽象的元素，也是帮助丰富语义信息的重要元素，所以很有必要探究语法带来的影响是否仍然符合目前的理论解释[71]. 例如，可以探究时态对隐喻加工的影响，Bergen 和 Wheeler[84]的研究采用了 ACE 范式，发现当呈现的语句是进行时态时，会产生动作 - 句子相容效应，但在完成时态时没有发现. 文中推测可能是时态信息影响了对感觉运动经验的选择，现在进行时态的句子理解过程可能包含对动作信息的心理模拟，但完成时态的句子更多提取了视觉运动信息. 因此，下一步可以改变隐喻句的时态来探究该因素对感觉 - 运动系统参与过程的影响. 另外，还可以探究否定含义的隐喻句加工过程，研究发现加工否定含义的动作句可能会抑制动作的模拟或动作的执行进程，例如，听和动作有关的否定句时，大脑的运动皮层部分被抑制，从而给人们带来了对否定含义的体验[85-86]. 因此，研究否定含义的隐喻的加工过程可以为感觉 - 运动系统与概念表征关系的研究提供新的视角，未来研究中，可以利用脑成像技术探究在加工与感觉或运动有关的否定含义隐喻时，大脑感觉 - 运动皮层是否也会产生类似的抑制情况，如果产生抑制现象，则说明我们对否定含义的抽象义的体验可能和大脑感觉 - 运动系统的活动抑制有直接关系.

第三，研究言语习得与发展的过程中感觉 - 运动隐喻理解的认知特点. 目前，有关感觉 - 运动系统参与隐喻理解的大部分研究都是围绕着母语，即第一语言开展的，然而，随着人文、科技各个领域全球化的发展，越来越多的人开始逐渐掌握第二语言，甚至更多的外语. 了解人类在非婴幼儿时期掌握新的语言时如何利用大脑的感觉 - 运动系统也变得相当重要. 已有研究发现在有关情绪表达的第二语言加工过程中，尽管感觉 - 运动系统的激活在时间进程上稍晚于第一语言，在动作模拟的程度上也小于第一语言，但感觉 - 运动系统仍然部分参与其中[87]. 因此，我们可以把这类研究进一步聚焦于隐喻的语料，探究第二语言学习过程中感觉 - 运动系统在隐喻加工过程中起到怎样的作用，与第一语言相比有哪些差异. 研究结果对第二语言学习与教学有着深刻的启发与指导作用.

第四，从病理学角度探究脑部损伤患者在理解感觉 - 运动隐喻时的认知神经机制. 例如，考察帕金森患者在隐喻理解过程中的具体表现，帕金森病(Parkinson's disease，PD)是一种神经退行性疾病，主要表现为运动缺损，包括运动迟缓、静止性震颤、姿势步态等障碍[88]. 这些运动缺损主要由于初级运动皮层及辅助运动区的异常活动造成. Fernandino 等[89]的一项行为实验表明帕金森病患者在理解动作句时相比于抽象句更慢，支持了运动系统在动作句理解过程中起到重要作用的观点. 另外在理解隐喻动作句时帕金森患者的正确率相比于抽象句更低，也从一定程度上说明隐喻句的理解依赖于具身表征. 未来可以继续从这个角度出发，进一步验证前人的研究，并探究帕金森病严重程度与动作语言理解障碍之间的关联，帮助研究者探究采取何种语义理解策略可以帮助出现动作语言理解障碍的帕金森患者进行功能恢复.

参 考 文 献

[1] Fodor J A. The Language of Thought. Cambridge: Harvard University Press, 1975

[2] Hauser M D, Chomsky N, Fitch W T. The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve?. Science, 2002, **298**(5598): 1569-1579

[3] Zwaan R A, Madden C J. Grounding Cognition: The Role of Perception and Action in Mmemory, Language, and Thinking, New York: Cambridge University Press, 2005: 224-245

[4] Barsalou L. Grounded cognition: Past, present, and future. Topics in Cognitive Science, 2010, **2**(4): 716-724

[5] Fischer M H, Zwaan R A. Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2008, **61**(6): 825-850

[6] Aziz-Zadeh L, Damasio A. Embodied semantics for actions: Findings from functional brain imaging. Journal of Physiology-Paris, 2008, **102**(1): 35-39

[7] Kiefer M, Pulvermüller F. Conceptual representations in mind and brain: theoretical developments, current evidence and future directions. Cortex, 2012, **48**(7): 805-825

[8] Pulvermüller F, Fadiga L. Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. Nature Reviews Neuroscience, 2010, **11**(5): 351-360

[9] Lakoff G, Johnson M. Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought. New York: Basic Books, 1999

[10] Lakoff G, Johnson M. Metaphors We Live By. Chicago: University of Chicago Press, 2008

[11] Forgács B, Bardolph M D, Amsel B D, *et al*. Metaphors are physical and abstract: ERPs to metaphorically modified nouns resemble ERPs to abstract language. Frontiers in Human Neuroscience, 2015, **9**: 28

[12] Landau M J, Meier B P, Keefer L A. A metaphor-enriched social cognition. Psychological Bulletin, 2010, **136**(6): 1045-1067

[13] 曲方炳, 殷 融, 钟 元, 等. 语言理解中的动作知觉: 基于具身认知的视角. 心理科学进展, 2012, **20**(6): 834-842
Qu F B, Yin R, Zhong Y, *et al*. Advances in Psychological Science,

2012, **20**(6): 834−842

[14] Fadiga L, Craighero L, Buccino G, *et al*. Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. European Journal of Neuroscience, 2002, **15**(2): 399−402

[15] Pulvermüller F, Huss M, Kherif F, *et al*. Motor cortex maps articulatory features of speech sounds. Proc Natl Acad Sci USA, 2006, **103**(20): 7865−7870

[16] Wilson S M, Saygin A P, Sereno M I, *et al*. Listening to speech activates motor areas involved in speech production. Nature Neuroscience, 2004, **7**(7): 701−702

[17] Chevillet M A, Jiang X, Rauschecker J P, *et al*. Automatic phoneme category selectivity in the dorsal auditory stream. Journal of Neuroscience, 2013, **33**(12): 5208−5215

[18] Pulvermüller F, Hauk O, Nikulin V V, *et al*. Functional links between motor and language systems. European Journal of Neuroscience, 2005, **21**(3): 793−797

[19] Shtyrov Y, Butorina A, Nikolaeva A, *et al*. Automatic ultrarapid activation and inhibition of cortical motor systems in spoken word comprehension. Proc Natl Acad Sci USA, 2014, **111**(18): E1918−E1923

[20] Carota F, Moseley R, Pulvermü ller F. Body-part-specific representations of semantic noun categories. Journal of Cognitive Neuroscience, 2012, **24**(6): 1492−1509

[21] Buccino G, Riggio L, Melli G, *et al*. Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. Cognitive Brain Research, 2005, **24**(3): 355−363

[22] Gianelli C, Dalla Volta R. Does listening to action-related sentences modulate the activity of the motor system? Replication of a combined TMS and behavioral study. Frontiers in Psychology, 2014, **5**: 1511

[23] Aziz-Zadeh L, Wilson S M, Rizzolatti G, *et al*. Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. Current Biology, 2006, **16**(18): 1818−1823

[24] Speer N, Zacks J, Reynolds J, *et al*. Neural activity during reading reflects changes in the situation described by the text//Proceedings of The Society for Neuroscience Annual Meeting, Washington, DC, F, 2005

[25] Glenberg A M, Sato M, Cattaneo L, *et al*. Processing abstract language modulates motor system activity. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2008, **61**(6): 905−919

[26] Boot I, Pecher D. Representation of categories: Metaphorical use of the container schema. Experimental Psychology, 2011, **58** (2): 162−170

[27] Richardson D C, Spivey M J, Barsalou L W, *et al*. Spatial representations activated during real-time comprehension of verbs. Cognitive Science, 2003, **27**(5): 767−780

[28] Sakreida K, Scorolli C, Menz M M, *et al*. Are abstract action words embodied? An fMRI investigation at the interface between language and motor cognition. Frontiers in Human Neuroscience, 2013, **7**: 125

[29] Shallice T, Cooper R P. Is there a semantic system for abstract words? Frontiers in Human Neuroscience, 2013, **7**: 175

[30] Wang J, Conder J A, Blitzer D N, *et al*. Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta‐analysis of neuroimaging studies. Human Brain Mapping, 2010, **31**(10): 1459−1468

[31] Cacciari C, Bolognini N, Senna I, *et al*. Literal, fictive and metaphorical motion sentences preserve the motion component of the verb: a TMS study. Brain and Language, 2011, **119**(3): 149−157

[32] Wilson N L, Gibbs R W. Real and imagined body movement primes metaphor comprehension. Cognitive Science, 2007, **31**(4): 721−731

[33] Schmidt-Snoek G L, Drew A R, Barile E C, *et al*. Auditory and motion metaphors have different scalp distributions: an ERP study. Frontiers in Human Neuroscience, 2015, **9**: 126

[34] Lauro L J R, Mattavelli G, Papagno C, *et al*. She runs, the road runs, my mind runs, bad blood runs between us: literal and figurative motion verbs: an fMRI study. NeuroImage, 2013, **83**: 361−371

[35] Desai R H, Binder J R, Conant L L, *et al*. The neural career of sensory-motor metaphors. Journal of Cognitive Neuroscience, 2011, **23**(9): 2376−2386

[36] Desai R H, Conant L L, Binder J R, *et al*. A piece of the action: Modulation of sensory-motor regions by action idioms and metaphors. NeuroImage, 2013, **83**(1): 862−869

[37] Glenberg A M, Kaschak M P. Grounding language in action. Psychonomic Bulletin & Review, 2002, **9**(3): 558−565

[38] Barsalou L W. Grounded cognition. Annu Rev Psychol, 2008, **59**(1): 617−645

[39] Santana E, De Vega M. Metaphors are embodied, and so are their literal counterparts. Frontiers in Psychology, 2011, **2**: 90

[40] Kohn A, Movshon J A. Neuronal adaptation to visual motion in area MT of the macaque. Neuron, 2003, **39**(4): 681−691

[41] Winawer J, Huk A C, Boroditsky L. A motion aftereffect from still photographs depicting motion. Psychological Science, 2008, **19**(3): 276−283

[42] Dils A T, Boroditsky L. Visual motion aftereffect from understanding motion language. Proc Natl Acad Sci USA, 2010, **107**(37): 16396−16400

[43] Troyer M, Curley L B, Miller L E, *et al*. Action verbs are processed differently in metaphorical and literal sentences depending on the semantic match of visual primes. Frontiers in Human Neuroscience, 2014, **8**: 982

[44] Lacey S, Stilla R, Sathian K. Metaphorically feeling: comprehending textural metaphors activates somatosensory cortex. Brain and Language, 2012, **120**(3): 416−421

[45] Shen Z Y, Tsai Y T, Lee C L. Joint influence of metaphor familiarity and mental imagery ability on action metaphor comprehension: an event-related potential study. Language and Linguistics, 2015, **16**(4): 615−637

[46] Kazmerski V A, Blasko D G, Dessalegn B G. ERP and behavioral evidence of individual differences in metaphor comprehension. Memory & Cognition, 2003, **31**(5): 673−689

[47] Citron F M, Goldberg A E. Metaphorical sentences are more emotionally engaging than their literal counterparts. Journal of Cognitive Neuroscience, 2014, **26**(11): 2585−2595

[48] Citron F M. Neural correlates of written emotion word processing: a review of recent electrophysiological and hemodynamic neuroimaging studies. Brain and Language, 2012, **122**(3): 211-226

[49] Phelps E A. Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. Current Opinion in Neurobiology, 2004, **14**(2): 198-202

[50] Dolcos F, Labar K S, Cabeza R. Remembering one year later: role of the amygdala and the medial temporal lobe memory system in retrieving emotional memories. Proc Natl Acad Sci USA, 2005, **102**(7): 2626-2631

[51] Samur D, Lai V T, Hagoort P, *et al*. Emotional context modulates embodied metaphor comprehension. Neuropsychologia, 2015, **78**: 108-114

[52] Bohrn I C, Altmann U, Jacobs A M. Looking at the brains behind figurative language —— A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies on metaphor, idiom, and irony processing. Neuropsychologia, 2012, **50**(11): 2669-2683

[53] Yang J, Shu H. Involvement of the motor system in comprehension of non-literal action language: a meta-analysis study. Brain Topography, 2016, **29**(1): 94-107

[54] Gabrieli J D, Poldrack R A, Desmond J E. The role of left prefrontal cortex in language and memory. Proc Natl Acad Sci USA, 1998, **95**(3): 906-913

[55] Glover S. Separate visual representations in the planning and control of action. Behavioral and Brain Sciences, 2004, **27** (01): 3-24

[56] Fogassi L, Luppino G. Motor functions of the parietal lobe. Current Opinion in Neurobiology, 2005, **15**(6): 626-631

[57] Beeman M, Friedman R B, Grafman J, *et al*. Summation priming and coarse semantic coding in the right hemisphere. Journal of Cognitive Neuroscience, 1994, **6**(1): 26-45

[58] Rapp A M, Mutschler D E, Erb M. Where in the brain is nonliteral language? A coordinate-based meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. Neuroimage, 2012, **63**(1): 600-610

[59] Ralph M a L, Jefferies E, Patterson K, *et al*. The neural and computational bases of semantic cognition. Nature Reviews Neuroscience, 2017, **18**(1): 42-55

[60] Turken U, Dronkers N F. The neural architecture of the language comprehension network: converging evidence from lesion and connectivity analyses. Frontiers in Systems Neuroscience, 2011, **5**: 1

[61] Chen E, Widick P, Chatterjee A. Functional-anatomical organization of predicate metaphor processing. Brain and Language, 2008, **107**(3): 194-202

[62] Kutas M, Hillyard S A. Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. Science, 1980, **207**(4427): 203-205

[63] Kutas M, Federmeier K D. Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP). Annual Review of Psychology, 2011, **62**(1): 621-647

[64] Boulenger V, Shtyrov Y, Pulvermü ller F. When do you grasp the idea? MEG evidence for instantaneous idiom understanding. Neuroimage, 2012, **59**(4): 3502-3513

[65] Bardolph M, Coulson S. How vertical hand movements impact brain activity elicited by literally and metaphorically related words: an ERP study of embodied metaphor. Frontiers in Human Neuroscience, 2014, **8**: 1031

[66] Coulson S, Lovett C. Handedness, hemispheric asymmetries, and joke comprehension. Cognitive Brain Research, 2004, **19** (3): 275-288

[67] Regel S, Coulson S, Gunter T C. The communicative style of a speaker can affect language comprehension? ERP evidence from the comprehension of irony. Brain Research, 2010, **1311**: 121-135

[68] Coulson S, Van Petten C. Conceptual integration and metaphor: An event-related potential study. Memory & Cognition, 2002, **30** (6): 958-968

[69] Davenport T, Coulson S. Predictability and novelty in literal language comprehension: an ERP study. Brain Research, 2011, **1418**: 70-82

[70] Binder J R, Desai R H. The neurobiology of semantic memory. Trends in Cognitive Sciences, 2011, **15**(11): 527-536

[71] Meteyard L, Cuadrado S R, Bahrami B, *et al*. Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. Cortex, 2012, **48**(7): 788-804

[72] Pylyshyn Z W. Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive science [M]. The MIT Press, 1986

[73] Gallese V, Lakoff G. The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. Cognitive Neuropsychology, 2005, **22**(3-4): 455-479

[74] Aré valo A L, Baldo J V, Dronkers N F. What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? Cortex, 2012, **48**(2): 242-254

[75] Patterson K, Nestor P J, Rogers T T. Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. Nature Reviews Neuroscience, 2007, **8**(12): 976-987

[76] Dove G. On the need for embodied and dis-embodied cognition. Frontiers in Psychology, 2011, **1**: 242

[77] Taylor L J, Zwaan R A. Action in cognition: The case of language. Language and Cognition, 2009, **1**(1): 45-58

[78] Slepian M L, Ambady N. Simulating sensorimotor metaphors: Novel metaphors influence sensory judgments. Cognition, 2014, **130**(3): 309-314

[79] Mahon B Z, Caramazza A. A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. Journal of Physiology-Paris, 2008, **102**(1): 59-70

[80] Muthukumaraswamy S D, Johnson B W, Mcnair N A. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. Cognitive Brain Research, 2004, **19**(2): 195-201

[81] Pfurtscheller G, Brunner C, Schlögl A, *et al*. Mu rhythm (de) synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. Neuroimage, 2006, **31**(1): 153-159

[82] Moreno I, De Vega M, León I. Understanding action language modulates oscillatory mu and beta rhythms in the same way as observing actions. Brain and Cognition, 2013, **82**(3): 236-242

[83] Moreno I, De Vega M, León I, *et al*. Brain dynamics in the

comprehension of action-related language. A time-frequency analysis of mu rhythms. Neuroimage, 2015, **109**: 50−62

[84] Bergen B, Wheeler K. Grammatical aspect and mental simulation. Brain and Language, 2010, **112**(3): 150−158

[85] Tettamanti M, Manenti R, Della Rosa P A, *et al*. Negation in the brain: Modulating action representations. Neuroimage, 2008, **43**(2): 358−367

[86] Tomasino B, Weiss P H, Fink G R. To move or not to move: imperatives modulate action-related verb processing in the motor system. Neuroscience, 2010, **169**(1): 246−258

[87] Foroni F. Do we embody second language? Evidence for ‘partial’ simulation during processing of a second language. Brain and Cognition, 2015, **99**: 8−16

[88] Dauer W, Przedborski S. Parkinson's disease: mechanisms and models. Neuron, 2003, **39**(6): 889−909

[89] Fernandino L, Conant L L, Binder J R, *et al*. Where is the action? Action sentence processing in Parkinson's disease. Neuropsychologia, 2013, **51**(8): 1510−1517

Cognitive and Neural Mechanisms of Sensory-motor System’s Role in Metaphor Comprehension*

ZHENG Wei-Qi[1,2], LIU Ye[1,2)**], FU Xiao-Lan[1,2)]

([1)] *State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, China;

[2)] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, China)

Abstract In recent years, it has been proposed that sensory-motor experiences are often used to access concrete concepts， and the sensory-motor system is tightly related to the language system. Metaphors, which convey abstract concepts *via* concrete concepts, are common rhetoric in daily life. Exploring the role of the sensory-motor system in metaphor comprehension will lead to an improved understanding of the form and process of abstract concepts, and further elucidate the relationship between the sensory-motor system and the language system. In this paper, we summarize the experimental paradigm，cognitive features of sensory-motor metaphor comprehension, the mechanism of brain regions involved in sensory channels, action control and action performance during metaphor processing. We propose that the sensory-motor system selectively functions in metaphor comprehension, and the comprehension process relies on activities of sensory-motor regions, and the simulation of sensory-motor experience is not immediate and rapid but rather is influenced by language comprehension strategies. In the “Embodied abstraction” frame, “Simulated sensorimotor metaphor theory” further explains the interaction between the sensory-motor system and metaphor comprehension. Future studies are needed to verify and supplement these theories by adopting other analysis methods, and from other study perspectives like grammar, language acquisition and motion dysfunction.

Key words sensory-motor system, metaphor, cognitive mechanism, neural mechanism

DOI: 10.16476/j.pibb.2017.0141

*This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (61632004), and partially funded by the National Science Foundation of China and the German Research Foundation (NSFC 61621136008/DFG TRR-169).

**Corresponding author.

Tel: 86-10-64847125, E-mail: liuye@psych.ac.cn

Received: April 11, 2017 Accepted: October 31, 2017