

可操作性在物体表征中的作用*

倪 龙^{1,2} 刘 焯¹ 傅小兰¹

(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, 北京 100049)

摘 要 近 10 年来, 越来越多的研究表明, 对可操作物体的识别不仅依赖物体的视觉信息, 同时也依赖操作它的动作信息和知识, 即可操作性。来自行为实验、脑成像和脑损伤病人的研究都表明, 物体的可操作性在物体识别中会被激活, 并起着重要的作用。可操作性的研究不但重新解释了生物与非生物、名词与动词的分离现象, 而且对于研究物体表征, 以及视觉物体识别的神经通路有着重要的理论意义。

关键词 可操作性; 物体识别; 物体表征

分类号 B842

物体在人脑中如何表征一直以来都是心理学家们关注的重要问题。近年来, 有关物体识别的研究表明, 与物体相关的感觉运动信息(sensory-motor information)可能参与了物体的表征和识别过程。首先, 神经心理学的研究发现, 可操作性(manipulability)很可能是造成物体识别的范畴特异性现象的重要原因(王晓莎, 王效莹, 韩在柱, 毕彦超, 2011; Lin, Guo, Han, & Bi, 2011)。其次, 针对正常被试的行为研究表明, 操作动作表征可以在物体加工过程中自动激活, 并且会影响随后的物体识别和动作反应(Bub, Masson, & Cree, 2008; Masson, Bub, & Newton-Taylor, 2008; McNair & Harris, 2012)。另外, 神经成像的研究也证实在识别可操作物体时, 与操作动作相关的运动脑区会自动激活(Chao & Martin, 2000; Vingerhoets, 2008)。上述来自不同领域的研究都表明物体的可操作性(即动作信息)是物体表征的重要组成部分。

在以往的研究中, 对可操作性有不同的界定。某些研究将其定义为我们如何用手将物体拾

起并移动的知识, 例如, 怎样拿起一块砖头进行上下移动(Filliter, McMullen, & Westwood, 2005); 另一些研究将其定义为抓握物体后如何对其使用的知识, 例如, 如何使用一把剪刀(Arévalo et al., 2007); 物体的可操作性甚至可以涉及其他身体部位, 例如, 用脚对物体进行操作(Magnié, Besson, Poncet, & Dolisi, 2003)。与这些不同的可操作性内涵相对应, 砖块、剪刀以及自行车在不同定义层面上都可以看作是可操作的物体。

本文通过回顾和评述近些年来围绕物体可操作性的相关研究, 旨在说明可操作性在物体表征中的作用, 并在此基础上论述其心理机制和可能的理论解释。文章由四部分组成: 第一部分, 总结和分析目前支持可操作性在物体表征中起重要作用的各方面证据, 其中涵盖行为实验、神经心理学和脑成像研究的成果; 第二部分, 总结目前可操作性研究存在的主要问题和争议; 第三部分, 分析可操作性研究的理论意义, 讨论可操作性背后的认知机制和神经生理基础; 最后, 根据目前可操作性研究的现状, 分析并展望其研究前景, 及可能的实践意义。

1 支持可操作性在物体表征中起重要作用的相关证据

1.1 可操作性在范畴特异性现象中的作用

1.1.1 生物和非生物的分

Warrington 和 Shallice (1984)的开创性研究拉

收稿日期: 2013-06-20

* 中国科技部国家重点基础研究发展计划 973 计划项目(2011CB302201), 中国国家自然科学基金委面上项目(61375009)。

通讯作者: 刘焯, E-mail: liuye@psych.ac.cn

开了语义知识范畴特异性研究的序幕。随后,物体识别和语义知识的范畴特异性现象被频频发现,研究者们也相继提出各种理论解释(详见 Forde & Humphreys, 2002; Capitani, Laiacina, Mahon, & Caramazza, 2003)。有研究(Filliter et al., 2005; Gerlach, Law, & Paulson, 2002)发现,生物和非生物的加工分离可能混淆了物体的可操作性这一感觉运动信息维度,物体是否拥有可操作性可能是造成生物和非生物表征和加工分离的主要因素。行为研究、神经心理学和脑成像研究分别为此提供了支持证据。

首先,以往探讨范畴特异性现象的行为研究选用的生物大多都是不可操作的(如,动物),而非生物一般是可操作的(如,工具)。如果将生物和非生物进一步区分成可操作的生物(如,水果和蔬菜)、不可操作的生物(如,动物)、可操作的生物(如,工具)以及不可操作的生物(如,建筑物),那么被试识别可操作物体的速度会显著快于识别不可操作物体的速度,而生物和非生物的速度没有显著差异(Filliter et al., 2005)。

其次,针对脑损伤病人的研究也发现可操作性是造成语义范畴特异性损伤的主要原因。例如,王晓莎等人(2011)发现一名脑损伤病人在图片命名和图词匹配等任务中均表现出对非生物范畴项目的加工优势,但是加入可操作性指标后,逻辑回归分析的结果显示可操作性取代了物体范畴成为影响该病人命名成绩的显著因素。另有研究发现腹侧通路受损的视觉失认症病人,可以借助相对完好的背侧通路,通达与物体操作相关的动作信息,从而完成对物体的识别;并且物体可操作性的高低会影响病人识别物体的成绩,识别可操作性高的物体的成绩显著高于识别可操作性低的物体的成绩(Wolk, Coslett, & Glosser, 2005)。这些结果表明,即便物体的其他信息受损或通达受阻,我们仍然可以借助保留的操作信息对非生物进行识别(另见 Sirigu, Duhamel, & Poncet, 1991)。

最后,脑成像的研究表明可操作与不可操作物体的加工脑区也存在差异。首先,一项使用正电子发射计算机断层扫描(positron emission tomography, PET)技术的研究(Gerlach et al., 2002)发现当被试归类可操作物体(既包含人造物也包含自然物)时,左半球的腹侧运动前皮层(left ventral premotor cortex)会显著激活,该脑区是参

与完成物体使用和操作的神经网络中的重要部分(综述见 Lewis, 2006)。相反,在归类人造物和自然物时,左侧运动前皮层的激活程度没有显著差异。此外,当要求在短时工作记忆中保持可操作物体信息时,被试的左侧腹侧运动前皮层和前顶内沟(anterior intraparietal sulcus)都有显著激活(Mecklinger, Gruenewald, Besson, Magnié, & Von Cramon, 2002)。已有研究表明上述两个神经区域构成了一条手部抓握动作的神经通路(Davare, Rothwell, & Lemon, 2010)。在这条神经通路中,前顶内沟负责加工与物体抓握相关的动作信息,并传递给运动前皮层,左侧运动前皮层则利用这些信息激活动作表征,从而实现对物体的抓握。

1.1.2 动词和名词的分离

与范畴特异性研究中强调的生物和非生物的分相类似,以往的大量研究表明名词和动词在表征和加工上也存在分离(Yu, Bi, Han, Zhu, & Law, 2012; Crepaldi, Berlingeri, Paulesu, & Luzzatti, 2011)。部分研究者将两者的分离归因于名词和动词在语法层面上的差异(Shapiro & Caramazza, 2003),另有研究者则认为这种分离实际反映了二者在概念水平上的差异,如,名词和动词分别指代物体和动作(Vigliocco, Vinson, Druks, Barber, & Cappa, 2011)。除了上述两种观点,也有研究者认为名词和动词所指代的事物或事件在操作动作维度上的差异,可能是导致二者在认知加工和神经系统表征上分离的真正原因(Arévalo et al., 2007)。

Arévalo 等人(2007)比较了失语症病人和健康被试完成图片命名、词汇阅读和词汇重复三项任务时的成绩差异,结果发现两组被试在图片命名任务中都表现出名词加工优势。但是,如果根据操作姿势常模(gesture norming, 详见 Arévalo, Moineau, Saygin, Ludy, & Bates, 2005)将所有词汇重新划分为可操作词汇(如名词“梳子”和动词“刷”)和不可操作词汇(如名词“蛇”和动词“跌倒”),结果发现病人在图片命名和词汇重复两项任务中都表现出对可操作项目的加工困难,而正常被试却表现出对可操作项目的加工优势(Arévalo et al., 2007)。失语症患者和健康被试在加工操作性维度时表现出的双重分离说明了可操作性很可能是构成名词-动词加工分离的潜在因素。

功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的研究发现,命名具有

可操作性的物体(如斧头)图片或动作(特指手部动作,如梳头)图片会显著激活表征操作动作信息的额-顶系统(fronto-parietal system);相反,命名名词和动词图片时的脑区激活没有显著差异(Saccuman et al., 2006)。经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)的研究同样发现,当被试提取含有操作动作信息的物体名称、动词(Oliveri et al., 2004),或命名可抓握的人造物名称(Gough et al., 2012)时,初级运动皮层(primary motor cortex)会显著地激活。而该运动皮层的激活量对单词的语法类别并不敏感(Oliveri et al., 2004)。近年来,考察动作表征和语言理解关系的研究也表明,加工指代不同身体部位的动词或含有该动词的句子会自动激活与该身体部位关联的运动皮层(Chersi, Thill, Ziemke, & Borghi, 2010; Fischer & Zwaan, 2008; Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Hauk & Pulvermüller, 2004; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Tettamanti et al., 2005),同时也会易化对应身体部位的动作反应(Borghi & Riggio, 2009; Borghi & Scorolli, 2009; Scorolli & Borghi, 2007)。此外,也有研究发现语义缺失病人命名非生物和动词图片的成绩都要显著好于命名生物和名词图片的成绩,多重回归的分析结果进一步表明,非生物和动词的加工优势也主要受其动作信息的调节(Lin et al., 2011)。

上述行为实验、脑成像以及脑损伤病人的研究都一致表明,无论是生物-非生物的分隔还是名词-动词的分隔,都可能仅仅反映了物体或事件在可操作性维度上的差异。加工可操作与不可操作的物体或词汇不仅存在行为绩效的差异,参与两者加工的神经机制也存在差异。这些证据都说明了与物体操作相关的动作信息在物体表征中的重要作用。

1.2 可操作性的自动激活——来自行为研究和脑成像研究的证据

越来越多的行为研究和脑成像研究发现,即使不要求被试有意提取物体的操作性知识(也就是说,与物体操作相关的动作信息与实验任务无关),物体的可操作性仍然会自动提取并且参与物体的加工和识别。这表明操作动作信息可以在无动作意图参与的条件下自动激活,这为可操作性在物体表征中的作用提供了更为直接的证据。

1.2.1 行为研究证据

首先,研究发现与任务无关的物体特征,如

把手朝向和物体大小,都会影响被试的动作反应。例如,当物体的把手朝向和反应手一致,或者当物体大小和抓握姿势一致时,被试对物体的正立/倒立判断(Tucker & Ellis, 2001)、生物/非生物的分类判断(Tucker & Ellis, 2004)或背景颜色变化的反应会明显加快(Makris, Hadar, & Yarrow, 2011)。甚至当目标物体以单词的形式呈现时,物体的大小信息也会影响被试的动作反应(Glover, Rosenbaum, Graham, & Dixon, 2004)。

其次,利用启动范式,研究者们也发现了手部动作模拟的操作一致性效应。无论是视觉呈现的物体图片(Bub et al., 2008)、视觉呈现的物体名称(Masson et al., 2008),还是听觉呈现的物体名称(Bub & Masson, 2012),当启动物体的操作动作(例如,使用剪刀)和手部操作姿势线索一致时,被试对手部操作姿势的模拟会显著加快。

最后,通过启动范式,研究者发现在物体识别任务中可操作性也可以自动激活(Helbig, Graf, & Kiefer, 2006; Myung, Blumstein, & Sedivy, 2006)。例如,当图片呈现的启动物体和目标物体的操作动作一致时,被试对目标物体的命名准确率会显著高于不一致条件,即出现了动作启动效应(Helbig et al., 2006)。此外,操作动作一致性效应的产生并不依赖于启动项的类型和呈现方式,当启动项是指代可操作物体的名称(Tucker & Ellis, 2004)、静态的手部操作姿势(Borghi et al., 2007; Bub, Masson, & Lin, 2013)、动态的手部操作姿势(Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008)或动态的物体操作视频时(Helbig, Steinwender, Graf, & Kiefer, 2010),被试对目标物体的识别同样会出现易化(一致条件)或干扰(不一致条件)效应。甚至听觉呈现的启动项,也会易化对具有相同操作动作的目标项的词汇判断(Myung et al., 2006)。

上述行为研究表明:物体的抓握操作或使用操作可以在任务无关的条件下自动激活,且不需要动作意图的参与,不局限于物体的呈现方式(图片或名称)以及呈现通道(视觉呈现或听觉呈现)。这些证据有力地说明了可操作性很有可能是物体表征的重要组成部分,因而即便对物体加工水平较低时,物体的操作动作信息也可以通过不同通路得到激活。

1.2.2 脑成像研究证据

脑成像的研究结果也表明物体的可操作性可

以被自动激活。fMRI 和 PET 的研究均表明相对于不可操作的物体或假物体,被试在观看(Grafton, Fadiga, Arbib, & Rizzolatti, 1997; Creem-Regehr, Dilda, Vicchirilli, Federer, & Lee, 2007; Grèzes, Tucker, Armony, Ellis, & Passingham, 2003; Vingerhoets, 2008; Wadsworth & Kana, 2011)、命名(Chao & Martin, 2000; Chouinard & Goodale, 2010)或归类(Gerlach et al., 2002)可操作物体时,运动前皮层和后顶叶皮层,包含顶下小叶(inferior parietal lobule)、顶内沟(intraparietal sulcus)和顶上小叶(superior parietal lobule)等会显著激活。这些脑区与想象(Creem-Regehr & Lee, 2005; Creem-Regehr et al., 2007; Vingerhoets, Acke, Vandemaele, & Achten, 2009; Wadsworth & Kana, 2011)或观看他人(Peeters et al., 2009; Valyear & Culham, 2010)操作物体时激活的运动脑区基本重叠,共同构成了物体使用和抓握的皮层网络(Davare, Montague, Olivier, Rothwell, & Lemon, 2009; Davare, Kraskov, Rothwell, & Lemon, 2011; Johnson-Frey, 2004; Lewis, 2006)。

然而,由于fMRI的时间分辨率较低,因此无法确定被试在完成任务时运动相关脑区的激活发生在物体加工的哪个阶段。具体来说,操作动作表征的激活是直接参与了物体加工和物体识别的过程,还只是物体识别之后或物体识别过程中附带加工的结果?例如,被试想象对物体进行操作也可能导致运动脑区的激活。为此,有研究者使用高时间分辨率的事件相关电位(event-related potential, ERP)技术考察了在物体识别过程中,运动相关脑区激活的时间进程(Hoenig, Sim, Bochev, Herrnberger, & Kiefer, 2008; Kiefer, Sim, Helbig, & Graf, 2011; Kumar, Yoon, & Humphreys, 2012; Petit, Pegna, Harris, & Michel, 2006)。ERP的研究发现,与任务无关的手部抓握姿势(Kumar et al., 2012)或启动物体(Kiefer et al., 2011)会通过操作动作一致性效应影响目标物体的识别,并且操作动作一致性效应在物体知觉加工的早期阶段(150ms之前)就已经出现。例如,在额-顶运动皮层,相对于操作动作不一致条件,P1和N1成分在操作动作一致条件下会更显著的激活。

以上行为和脑成像的研究表明,与任务无关的可操作性在物体加工过程中可以自动激活,并且这种激活在物体视觉加工的早期阶段就已经发

生。这些证据说明可操作性很可能是物体表征和加工不可或缺的一部分,而并不是物体识别和语义加工后期的产物。

1.3 功能性知识和操作性知识的分离

一些研究者认为物体的功能性知识在非生物的表征中起关键作用(详见 Forde & Humphreys, 2002)。然而,在具体的研究中,功能性特征既指物体用来做什么的知识(what it is used for),又指如何操作物体的知识(Myung et al., 2006)。神经心理学和脑成像的大量研究表明物体的功能性知识和操作性知识是分离的,并且操作性知识在可操作物体的表征中起着更为关键的作用(e.g. Canessa et al., 2008; Ishibashi, Ralph, Saito, & Pobric, 2011; Kellenbach, Brett, & Patterson, 2003; Sirigu et al., 1991)。

首先,部分失认症患者在缺失人造物功能性知识的情况下仍然保留着人造物的操作性知识(Sirigu et al., 1991)。而失用症患者则表现出相反的症状,即在缺失操作性知识的情况下却保留了物体的功能性知识(Buxbaum, Veramonti, & Schwartz, 2000; Buxbaum, & Saffran, 2002)。此外,功能性知识和操作性知识在物体识别中的作用也是不对等的。当功能性知识受损时,我们仍然可以借助物体的操作性知识完成对物体的识别(Sirigu et al., 1991),而操作性知识的缺失则可能直接造成可操作物体的识别受损(Buxbaum & Saffran, 2002)。操作性知识和功能性知识的分离在患者的损伤脑区上也有体现,功能性知识缺失的患者往往是负责语义加工的颞叶受损(Sirigu et al., 1991),而操作性知识缺失的患者则是影响操作动作的额-顶叶系统受损(Buxbaum et al., 2000)。

其次,两种知识的分离不仅体现在脑损伤患者身上,正常被试在提取功能性知识和操作性知识时也会出现分离。如果要求被试在两个物体中选择并命名与目标项具有相同操作动作的物体,那么当物体以图片形式呈现时,被试做出选择并命名的速度要显著快于物体以名称形式呈现时的命名速度;相反,如果要求选择并命名与目标项具有相同功能的物体,当物体以词汇名称形式呈现时,被试做出选择并命名的速度要显著快于物体以图片形式呈现时的命名速度(Garcea, Almeida, & Mahon, 2012)。双重分离的结果很好地说明了两种知识的存储和提取是相互独立的,功能性知

识表征在抽象的语义系统中,而操作动作信息则更有可能表征在感觉运动系统中(Garcea et al., 2012)。

最后,脑成像的研究也为这两种知识表征系统的分离提供了有力证据。PET 和 fMRI 的研究结果表明,提取人造物的操作性知识会显著激活左半球运动相关皮层,包括左侧的顶下小叶、靠近后顶叶的顶内沟以及运动前皮层等(Boronat et al., 2005; Kellenbach et al., 2003);而外显地提取功能性知识则会选择性激活颞下皮层(inferior temporal cortices, Canessa et al., 2008)。此外,对左侧顶下小叶皮层施加重复经颅磁刺激会导致被试提取操作性知识减慢,对功能性知识的提取则没有影响;相反,对前颞叶(anterior temporal lobes, ATL)实施经颅磁刺激,则会造成被试提取功能性知识减慢,对操作性知识的提取没有影响(Ishibashi et al., 2011)。

以上研究表明,物体功能性知识和操作性知识的分离不仅表现在认知加工上,也体现在神经表征系统上。对于可操作物体而言,其功能性知识主要表征在抽象的符号系统,而操作性知识则更可能表征在分布的感觉运动系统中(Mahon & Caramazza, 2008, 2011)。

1.4 来自发展心理学的证据

如果可操作性在物体表征中确实起着重要作用,那么这种作用不仅应该体现在成人的认知加工中,也应该体现于儿童的认知加工过程。虽然目前针对物体可操作性的发展心理学研究还非常少,但已有的研究表明与物体操作相关的动作信息同样参与了儿童的物体加工和表征(James & Swain, 2011; Kalénine & Bonthoux, 2008; Mounoud, Duscherer, Moy, & Perraudin, 2007)。

首先,儿童很早就区分了可操作物体和不可操作物体的概念,并且知觉特征在儿童不可操作物体概念的形成中起重要作用,而功能特征和操作动作特征在儿童可操作物体概念的形成中更为重要。5~7 岁的儿童对可操作物体之间的主题关系的判断(基于物体的功能和情景特征关系)要显著快于对不可操作物体的主题关系的判断;相反,对不可操作物体之间的基本水平的类别关系判断(基于物体知觉特征的相似性)要显著快于对可操作物体的类别关系判断(Kalénine & Bonthoux, 2008)。其次,操作动作信息和物体表征的相互关

系随着个体的认知发展而不断变化。Mounoud 等人(2007)采用动作启动范式发现,虽然儿童组和成人组被试都表现出了可操作性的启动效应,即当启动项(展示操作动作的视频)和目标物体的操作动作一致时,被试对目标项的识别和归类加快。但是操作动作的一致性效应却随年龄的增长逐渐降低。这表明对于儿童而言,他们更依赖与物体的动作接触和实际操作来获取对物体概念的理解,因此操作动作信息在他们的物体概念形成中起着更为重要的作用(Mounoud et al., 2007)。最后,儿童获取物体的操作性知识需要通过对物体的实际操作。如果在训练阶段让儿童自主操作新异物体并学习与每种操作动作对应的新异动词,那么在测验阶段当儿童再听到新异动词或看到新异物体时,与操作动作相关的运动脑区才会显著激活,相反,单纯地观看主试操作新异物体并学习相关的新异动词,并不足以让儿童形成物体和操作动作之间的稳固连接(James & Swain, 2011)。

2 目前关于可操作性研究存在的争议

虽然已有大量证据表明可操作性在物体表征中起重要作用,但是,目前围绕物体可操作性的研究仍然存在很多争议和有待解决的问题。本文将从三方面对目前的争议和问题进行讨论。

2.1 可操作性的定义缺乏统一标准

虽然可操作性通常指物体如何被移动或使用的属性或知识,并且大多数情况下特指用手对物体进行移动或使用,但是不同研究者在具体研究中对可操作性的定义并不统一(Arévalo et al., 2007; Myung et al., 2006; Saccuman et al., 2006)。依据不同的界定方法和标准,研究者对可操作性的定义大致分为 4 类。第一类将可操作的物体定义为“你可以用一只手拿起来的物体”,根据这一定义,不仅人造物(如,工具和衣服)可以被界定为可操作的,一部分生物,如蔬菜、水果等也是可操作的(Filliter et al., 2005; Gerlach et al., 2002)。第二类研究强调只有使用精细手指运动进行抓握的物体才算是可操作的(Arévalo et al., 2007)。第三类研究将可操作性界定为使用物体的手部运动,并不包括对物体的抓握和移动(Myung et al., 2006)。第四类研究从物体识别的角度将可操作物体定义为“你能很容易地做出与该物体相关的动作,使得他人看到该动作时能够识别出与之连接

的物体”(Magnié et al., 2003)。依据该定义,对物体的操作就不再局限于抓握以及手部操作,诸如自行车和床等物体也被评定为高操作性的,而草莓等生物则被认为不可操作。

可操作性的定义缺乏统一标准为不同研究结果的解释带来了困难。例如,Myung 等人(2006)在研究中发现当启动物体和目标物体拥有相同的操作动作时,被试对目标项的判断加快。然而,由于对可操作性的定义不统一,研究者将实验材料中的“钥匙”和“螺丝刀”视为具备相同操作动作(相似的手腕动作)的两个物体。但是在其他研究中,钥匙和螺丝刀可能分别代表了两种不同的操作动作,前者属于精细抓握,而后者则属于大体积抓握(Tucker & Ellis, 2004)。这使得我们无法肯定 Myung 等人(2006)实验结果中的启动效应的是由操作动作一致性引起的。此外,由于对可操作性定义不同,研究者在评定可操作的物体时也会出现差异。例如,在 Magnié 等人(2003)的评定结果中汽车和自行车都具备高操作性,草莓和树叶则是不可操作的。但是在 Salmon, McMullen 和 Filliter (2010)构建的图库中前两个物体都是不可操作的,而后两个物体却属于可操作的。这种明显的不一致阻碍了后续研究者们选取统一的实验材料。

2.2 存在两种不同的操作性

随着对物体可操作性研究的进一步深入,研究者们发现存在两种不同的操作动作,一种是结构性操作(structural manipulation),另一种则是功能性操作(functional manipulation)。结构性操作仅指“拿起并移动物体”,如拿起并移动砖块,而功能性操作则针对使用物体功能的操作,如使用钢笔(Bub et al., 2008; Buxbaum & Kalénine, 2010; Rueschemeyer, van Rooij, Lindemann, Willems, & Bekkering, 2010)。研究表明两种操作动作表征在功能和神经基础上都存在差异。

首先,尽管有研究发现两种操作性在物体加工过程中都可以自动激活(Bub & Masson, 2006),但是两者的表征和加工却是独立的。功能性操作表征的激活并不意味着结构性操作一定要激活(Bub et al., 2008);同样,结构性操作表征的通达也不依赖于功能性操作的激活(McNair & Harris, 2012)。此外,两种操作性表征的激活和保持的时程也不同。Jax 和 Buxbaum (2010)发现对冲突物体

(功能性操作和结构性操作不同,如,计算器)进行功能性操作的速度要慢于非冲突物体(两种操作性相同,如,起子),这体现了结构性操作对功能性操作的干扰;但是只有当功能性操作在前一试次中已经激活时,功能性操作才会对冲突物体的结构性操作产生干扰。这说明视觉呈现的物体最先激活的是结构性操作表征,功能性操作随后才得以激活。但是功能性操作表征的激活能够维持几分钟,因此会影响随后的结构性操作;相反,结构性操作迅速激活后也会迅速消退(Jax & Buxbaum, 2010; Lee, Middleton, Mirman, Kalénine, & Buxbaum, 2013)。然而,也有研究者采用启动范式发现功能性操作表征不仅维持的时间更长,激活也更早;而结构性操作表征激活较慢且迅速消退(Bub & Masson, 2012)。这两类结果的差异可能反映了不同形式的刺激材料的作用。前者使用的是可操作物体的图片,后者使用的则是听觉呈现的物体名称。已有研究表明结构性操作表征的激活主要依赖于对物体视觉特征的直接加工(Binkofski & Buxbaum, 2012),因此听觉呈现物体名称可能会阻碍其快速通达。

其次,部分脑损伤病人的研究结果也支持了功能性操作和结构性操作的分离。例如, Sirigu 等人(1995)发现失用症病人虽然无法正确使用熟悉的物体,也不能区分正确和错误地使用物体的动作,却可以准确无误地对这些物体进行抓握。这类失用症病人往往是后顶叶皮层尤其是左侧的顶下小叶受损(Sirigu et al., 1995)。已有研究发现顶下小叶可能存储了物体功能性操作的信息(Buxbaum, Sirigu, Schwartz, & Klatzky, 2003; Buxbaum, Kyle, Tang, & Detre, 2006)。相反,另有研究发现某些视觉共济失调症患者虽然保留了操作和使用熟悉物体的能力,但利用合适手部姿势对新异物体进行抓握的能力却严重受损(Jeanerod, Decety, & Michel, 1994)。这类病人的受损脑区主要出现在顶上小叶以及顶内沟附近。此外,利用 fMRI 进一步发现两种操作性在脑区激活的范围和程度上也存在差异。相对于只具有结构性操作的物体名称(如书夹),同时具备功能性操作和结构性操作的物体名称(如水杯、锤子)能够更大程度地激活额-顶感觉运动皮层,包括左侧的顶下小叶、腹侧的运动前皮层以及辅助运动区前部(pre-supplementary motor area, pre-SMA)等

操作相关的运动脑区(Rueschemeyer et al., 2010)。

尽管不同层面的证据都表明两种操作性在神经基础和功能上存在分离,但是目前很多行为和脑成像研究在选取实验材料,以及解释实验结果时并没有考虑二者的差异。因此,一方面,我们不能确定操作动作一致性效应反映的是功能性操作的一致性还是结构性操作的一致性;另一方面,我们也不能确定当被试被动观看、命名或者归类可操作物体时激活的是哪种操作动作表征。

另一个重要的问题是,如果确实存在两种不同的操作动作,并且两种操作性均可以被物体图片和物体名称激活,那么这是否意味着结构性操作和功能性操作都参与了物体的表征?已有的研究还不能给我们提供明确的答案。有研究者认为尽管功能性操作在物体表征中起着更为核心的作用,但是结构性操作同样参与了物体的表征和加工(Bub et al., 2008; Bub & Masson, 2012)。然而,也有研究者持不同的观点。Binkofski 和 Buxbaum (2012)认为只有功能性操作信息存储在相关的运动脑区中,因而是物体表征的一个重要部分;而结构性操作信息并不存储在记忆中,结构性操作的计划和执行主要依赖对物体操作特征的实时加工,例如,直接加工视觉呈现物体的大小、朝向等操作相关信息。Binkofski 和 Buxbaum (2012)进一步认为 Gibson 提出的物体提供量(object affordances)对应的正是结构性操作。提供量主要依赖大脑的物体抓握系统(grasp system)得以实现。目前,两种可操作性在物体表征中的具体作用仍处于争议中。

2.3 可操作性表征的激活

目前,研究者普遍认同在视觉加工可操作物体时,操作动作表征可以在无动作意图参与的情况下激活。但是对于注意在操作动作表征激活中的作用,研究者们并没有一致观点。一方面,脑成像的研究发现被动地观看可操作物体,就足以激活与物体操作相关的运动脑区(Chao & Martin, 2000; Creem-Regehr & Lee, 2005; Wadsworth & Kana, 2011)。另一方面,多数行为研究却发现物体操作动作表征的激活依赖于不同的实验任务(Gerlach et al., 2002; Bub, Masson, & Bukach, 2003),并且可操作物体必须被注意并且完成一定程度的加工后,其操作动作表征才能激活(Bub & Masson, 2006; Vainio, Ellis, & Tucker, 2007)。例如,

Bub 和 Masson (2006)在启动范式中首先给被试呈现一张可操作的启动物体图片,之后呈现一张展现手部操作动作的线索图片(如,精细抓握的手部姿势)。要求被试模仿所看到的手部操作姿势。实验设置两种条件:(1)只要求被试模拟手部姿势;(2)模拟手部姿势后被试还需要命名启动物体。结果发现只有在后一种条件下操作动作一致性效应才会出现。这表明额外的命名任务迫使被试对启动项进行了一定程度的加工,因此其操作动作表征才能激活。

由于物体的操作动作可能包含结构性操作和功能性操作两种,因此分别研究注意在这两种操作动作激活过程中的作用也很有必要。Bub 和 Masson (2006)发现无论是结构性操作还是功能性操作,都需要被试对可操作物体进行一定程度的加工后才能激活(另见 Anderson, Yamagishi, & Karavia, 2002; Helbig et al., 2006)。但也有研究表明,结构性操作可以在无注意参与甚至无意识知觉的条件下自动激活(Pappas & Mack, 2008)。Pappas 和 Mack (2008)使用快速呈现掩蔽范式和注意瞬脱范式,使具有把手朝向(朝左或右)的启动物体处于无意识知觉状态中,实验要求被试根据屏幕中蓝点的上下位置做出左右手的按键反应。结果发现,当启动物体的把手朝向和反应手一致时被试的反应时间显著缩短。但是目前还没有研究能说明功能性操作也可以在不注意参与的情况下自动激活。

尽管越来越多的研究表明可操作性很可能是物体表征的重要部分,但是对部分研究结果的解释仍存在争议。首先,脑成像的结果虽然发现被动观看、命名和归类可操作物体时,与操作动作相关的脑区会激活,但是我们既无法确定激活的是哪种操作性(因为在这些研究中使用的可操作物体大多是工具,两种操作性可能同时存在);同时也无法排除另外一种可能性:即操作动作表征的激活仅仅是物体后语义加工阶段的产物,例如,针对物体操作的想象(Machery, 2007; Mahon & Caramazza, 2008)。其次,在部分行为研究中,实验任务要求被试进行抓握动作(例如,精细抓握或大体积抓握)以完成判断反应(例如,判断物体是生物还是非生物,见 Tucker & Ellis, 2001, 2004)或根据手部姿势线索模拟操作动作(Bub & Masson, 2006; Bub et al., 2008)。这种实验设计很

有可能促使被试形成自上而下的动作意图,同时引导被试将注意资源转向物体的操作动作特征(如,物体的大小或把手朝向)。因此,操作动作一致性效应很可能是被试自上而下的动作意图的结果,启动项操作动作的激活也可能只是物体加工的副产品(Buxbaum & Kalénine, 2010)。如果有研究可以充分证明在被动观看的条件下,物体的操作动作也足以激活,就能有力说明可操作性确实是物体表征不可或缺的部分。因为在被动观看物体时,既没有动作意图,也不需要对象体进行注意投入,在这种条件下可操作性如果依然得到激活则说明该部分信息是物体表征必不可少的。因此对物体可操作性激活条件的研究有待进一步深入。

3 物体可操作性的心理机制及神经基础

3.1 知识表征的多模态理论

如果操作性知识是物体表征的重要部分,那么这类知识是如何表征在概念系统中的?目前尚未有认知理论模型对此进行系统的论述。但是,近几十年兴起的知识表征的多模态理论可以为操作性知识的表征提供间接的理论解释。传统概念表征的理论强调概念表征的非模态(amodal)特征,认为概念是以抽象符号的形式表征在统一的语义网络中(详见 Kiefer & Pulvermüller, 2012)。根据语义缺失的脑损伤病人的研究结果,非模态概念表征的支持者们进一步提出前额叶皮层可能是概念表征的神经基础(McClelland & Rogers, 2003; Patterson, Nestor, & Rogers, 2007)。然而,随着感觉和运动信息在概念表征中的作用得到越来越多证据的支持(见本文的第一部分),研究者开始以不同形式提出概念表征本质上基于感觉和运动系统,即具身认知(Embodied cognition)或极地认知假设(Grounded cognition, Barsalou, 2008; Kiefer & Pulvermüller, 2012)。非具身(Disembodied cognition)的概念表征理论(Machery, 2007; Weiskopf, 2010)虽然并不否认感觉和运动系统在概念加工中的作用,但是仅仅将其置于概念加工过程的附属和边缘地位,认为从环境中提取的概念的感觉和运动信息需要转换成非模态的符号形式才能得以表征。相反,概念表征的具身认知理论(Barsalou, 2008; Kiefer et al., 2011)则强调感觉和运动系统直接参与了概念的加工和表征,因而感觉和运动信

息也是概念构成的重要部分。

本文论述的众多研究为概念表征的具身理论提供了三方面重要的实验证据:(1)在对可操作物体进行知觉或概念水平的加工时,与操作相关的运动脑区会自动激活(Helbig et al., 2006; Myung et al., 2006);(2)运动脑区的激活会影响可操作物体知觉和概念水平的加工(Ishibashi et al., 2011; Pulvermüller, Hauk, Nikulin, & Ilmoniemi, 2005);(3)言语理解过程中与可操作物体相关的感觉和运动系统也会被激活(Buccino et al., 2005; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Tettamanti et al., 2005)。这些证据直接或间接地支持了多模态的知识表征观点,说明感觉运动信息是直接参与了物体概念的形成、表征和加工。

需要指出的是,概念表征的具身理论虽然得到越来越多实验结果的支持,但由于对实验结果理解的角度不同,围绕具身认知理论仍然存在较大争议(Chatterjee, 2010; Machery, 2007; Weiskopf, 2010)。然而,无论是 Mahon 和 Caramazza (2008)等人提出的交互极地(grounding by interaction)理论,Chatterjee (2010)提出的渐进极地(graded grounding)理论(弱极地认知理论),还是 Barsalou (2008)等人推崇的极地认知(强极地认知)理论,都在不同程度上肯定了操作动作信息在物体概念表征中的重要作用。因此,针对物体可操作性的进一步研究也很有可能成为考察物体概念表征本质的一个重要突破口。

3.2 操作动作表征的神经基础

前文已论述在物体表征中可能存在两种不同的操作动作。进一步的研究发现功能性操作和结构性操作还存在各自的神经通路。

继视觉加工的背侧和腹侧通路被研究者区分后,根据神经基础和功能上的差异,视觉加工的背侧通路被进一步划分为背侧-背侧通路(dorso-dorsal stream)和腹侧-背侧通路(ventro-dorsal stream, Rizzolatti & Matelli, 2003)。背侧-背侧通路从视觉皮层 V3 区到视觉皮层 V6 区,经过顶上小叶再到背侧的运动前脑区(dorsal pre-motor areas),主要负责对视觉呈现的物体进行实时动作(online action)加工和控制,例如,根据物体的形状、大小或方向等信息调整和控制伸展(reaching)和抓握(grasping)等动作。该通路的损伤会造成视觉性共济失调(optic ataxia),表现为伸够和抓握物体的能

力受损。腹侧-背侧通路则从内上颞区(medial superior temporal area)到顶下小叶,再经后顶叶到腹侧运动前皮层,主要负责加工物体使用的动作信息。该通路的阻断会造成模拟使用物体的能力和实际操作物体的能力受损(Binkofski & Buxbaum, 2012)。Buxbaum 和 Kalénine (2010)在此基础上进一步提出了基于人脑的双重动作系统(Two action system),即结构性操作系统(或抓握系统)和功能性操作系统(或使用系统)。Buxbaum 和 Kalénine (2010)认为 Gibson 提出的提供量主要是由结构性操作系统或抓握系统负责实现,其依靠的正是背侧-背侧通路。相反,功能性操作系统的激活需要通达物体的语义信息,依赖的是腹侧-背侧通路。

该模型也得到了研究证据的支持。例如,有研究采用连续闪烁抑制范式使启动物体处于无意识知觉状态,并要求被试对目标物体进行类别判断,结果发现,只有当启动物体具有显著的长轴时,启动项和目标项的类别一致性效应(即当启动项为工具时,被试对同为工具的目标项反应更快)才会出现。这说明“背侧通路加工的并不是工具类别本身,而只是工具的形状特征”(Sakuraba, Sakai, Yamanaka, Yokosawa, & Hirayama, 2012)。Sakuraba 等人(2012)虽然没有区分背侧通路,但是负责“加工物体形状特征”的工作应该是由背侧-背侧通路完成的。此外,脑成像研究发现,相对于想象抓握物体或使用不熟悉的物体,当想象使用熟悉的工具时,左侧的顶下小叶会显著激活(Vingerhoets et al., 2009)。而顶下小叶是腹侧-背侧通路的重要组成部分,也被认为负责存储物体的功能性操作知识(Buxbaum & Kalénine, 2010)。前文谈到的结构性操作和功能性操作的加工差异,反映的也很可能正是其各自神经通路的不同。

4 研究前景和应用展望

4.1 研究前景

上述各方面研究为可操作性在物体表征中的作用提供了直接或间接的证据,然而我们也必须看到,目前针对可操作性的研究仍然存在很多争议和不足,仍有很多问题亟待解决。

首先,对于“可操作性是什么?”这一最基本的问题,仍然没有明确的答案。这表现在研究者在定义可操作性时仍然存在混乱。此外,虽然

已有相当数量的证据支持存在两种不同的操作性,但许多研究者在实验材料的选取和实验结果的解释上并不考虑这两者的差异(e.g. Maratos, Anderson, Hillebrand, Singh, & Barnes, 2007; Vingerhoets et al., 2009)。很显然,如果研究者想要说明可操作性在物体表征中具有重要作用,那么首先必须要清楚地界定可操作性到底是什么。

其次,从发展心理学角度确定可操作性在物体表征中的作用,还需要更多研究证据的支持。一方面,如果操作性知识是我们表征和加工物体必不可少的部分,那么它的作用就不仅应该体现在成人的物体表征中。在认知发展的早期,可操作性对物体表征的重要性就应该显现出来。另一方面,从认知发展的角度考察可操作性,也有助于我们了解操作性知识早期的获得情况,以及在不同的认知发展阶段,操作性知识对物体表征作用的变化情况。然而,目前针对可操作性的研究主要围绕着成人被试。在此背景下,Mounoud 等人(2007)针对儿童动作表征的研究具有重要意义。该研究发现,与物体操作相关的动作信息对物体表征的影响在5~12岁的儿童身上就表现出来,并且这种影响随着年龄的增长而减小(详见前文1.4部分)。该结果不仅更进一步说明了操作动作信息在物体表征中的作用,同时也说明了动作信息在概念形成过程中的作用。为了进一步了解操作性知识在物体概念形成和表征过程中的作用,从发展心理学角度开展可操作性研究也是今后需要关注的方向。

第三,围绕操作性知识如何存储或表征的争议,有待更多的研究来解决。如果操作性知识是物体概念表征的重要部分,那么这部分知识如何存储和表征在大脑中同样是我们需要关注的问题。从已有的研究来看,可操作性的表征形式存在两种可能,一种是以语义知识的形式表征在抽象的符号系统中(Campanella & Shallice, 2011; Petit et al., 2006),另一种偏向于以动作模式(motor pattern)或动作程序(motor program)的形式表征在分布的感觉运动脑区(Sirigu et al., 1991)。物体可操作性的研究之所以引起越来越多研究者的关注,一个重要的原因就是它可以作为研究知识表征的突破口。知识表征的非模态理论和多模态的分布理论争论已久,却一直没有得到解决(见综述 Mahon & Caramazza, 2008)。如果操作性知识

同样是物体知识的重要部分,那么通过考察操作性知识的表征方式会有助于我们验证或更新已有的知识表征理论。然而目前从可操作性出发直接考察知识表征方式的研究还很少。

最后,需要进一步考察物体可操作性的激活和提取条件。虽然研究者目前比较一致地认为操作动作表征可以在无动作意图参与的条件激活,但是对于注意在动作表征激活中的作用,研究者们并没有一致观点。被动观看可操作物体是否足以激活操作动作表征仍然需要更多的证据支持。此外,也有研究发现操作动作的激活还受到物体所在背景信息的调节(Borghi, Flumini, Natraj, & Wheaton, 2012; Girardi, Lindemann, & Bekkering, 2010; Kalénine, Bonthoux, & Borghi, 2009; Lee et al., 2013)以及物体和观察者个体之间距离的影响(Cardellicchio, Sinigaglia, & Costantini, 2011; Costantini, Ambrosini, Scorolli, & Borghi, 2011)。例如,尽管与任务无关的结构性操作和功能性操作信息都可以被自动激活,但是与动作相关的背景信息会影响操作动作激活的时程和强度(Lee et al., 2013);并且只有当物体处在观察者可抓握的空间范围时,操作动作表征(主要指结构性操作)才能激活(Cardellicchio et al., 2011; Costantini et al., 2011)。考察可操作性的激活条件不仅有助于我们进一步了解操作动作表征的性质,更重要的是,它可以帮助我们确定可操作性在物体表征中的作用,即可操作性是物体表征的核心部分并直接参与物体识别,或只是物体加工或识别的附属产物?解决这一争议,同样有待更多的研究证据。

4.2 应用展望

可操作性的研究不仅对考察物体识别和知识表征具有重要的理论意义,而且在提升部分脑损伤患者识别物体的能力,以及儿童习得和巩固概念的能力方面具有重要的应用价值。

某些失忆症患者或视觉失认症患者在日常生活中存在很多困难,尽管他们基本智力水平和言语能力保持完好,但识别日常物体的能力却严重受损。识别受损的物体涉及的类别非常广泛,既包括人造物(如工具),也包含生物(如动物)。更为重要的是,这些脑损伤患者虽然无法依据物体的功能性信息(例如,剪刀是用来裁纸的)和视觉信息(如,颜色、形状等)正确识别物体,但是却可以借助物体的操作动作信息完成识别(Humphreys &

Riddoch, 2001; Sirigu et al., 1991)。例如,如果给失认症患者呈现一把老虎钳,他不仅会说出老虎钳是如何使用的,而且会模拟做出相应的操作动作姿势,这种伴随的操作姿势会帮助患者识别老虎钳以及其功能(Sirigu et al., 1991)。并且物体的可操作性越高,失认症患者识别物体的成绩就越好(Wolk et al., 2005)。这些研究结果为我们提升和改善失认症患者识别物体的能力提供了有效途径。日常生活中我们接触的大多是可操作的人造物,因此,通过加强失认症患者对物体的操作经验并引导他们借助操作姿势来正确识别物体,会有效改善患者的生活困境。

前文已论述操作动作不仅参与了成人的物体概念表征,而且在学前儿童物体概念的习得与巩固方面也起着重要作用。学前儿童习得物体的功能性知识和物体概念本身很大程度上得益于他们与物体之间的交互经验(Mounoud et al., 2007; James & Swain, 2011)。例如,为了让学前儿童习得“剪刀”的功能和“剪刀”这个物体概念,有效的方法是让他们亲自接触并尝试操作剪刀。此外,增强儿童对物体的操作经验不仅有助于他们习得和归类新的人造物(Greif, Nelson, Keil, & Gutierrez, 2006),而且也会帮助他们巩固和加强已习得的物体概念的内存(Madan & Singhal, 2012)。因此,积极引导和鼓励学前儿童接触和操作新物体,对其概念和语言习得等认知发展具有重要的促进作用。

参考文献

- 王晓莎,王效莹,韩在柱,毕彦超(2011).语义范畴特异性损伤原因探索:物体可操作性的作用.《中国卒中杂志》,6(8),609-614.
- Anderson, S. J., Yamagishi, N., & Karavia, V. (2002). Attentional processes link perception and action. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 269(1497), 1225-1232.
- Arévalo, A., Moineau, S., Saygin, A. P., Ludy, C., & Bates, E. (2005). In search of Noun-Verb dissociations in aphasia across three processing tasks. *Center for Research in Language Newsletter*, 17(1), 3-17.
- Arévalo, A., Perani, D., Cappa, S. F., Butler, A., Bates, E., & Dronkers, N. (2007). Action and object processing in aphasia: From nouns and verbs to the effect of manipulability. *Brain and Language*, 100(1), 79-94.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.

- Binkofski, F., & Buxbaum, L. J. (2012). Two action systems in the human brain. *Brain and Language*, 127(2), 222–229.
- Borghi, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? Studies with hand primes. *Neuroscience Letters*, 411(1), 17–21.
- Borghi, A. M., Flumini, A., Natraj, N., & Wheaton, L. A. (2012). One hand, two objects: Emergence of affordance in contexts. *Brain and Cognition*, 80(1), 64–73.
- Borghi, A. M., & Riggio, L. (2009). Sentence comprehension and simulation of object temporary, canonical and stable affordances. *Brain Research*, 1253, 117–128.
- Borghi, A. M., & Scorolli, C. (2009). Language comprehension and dominant hand motion simulation. *Human Movement Science*, 28(1), 12–27.
- Boronat, C. B., Buxbaum, L. J., Coslett, H. B., Tang, K., Saffran, E. M., Kimberg, D. Y., & Detre, J. A. (2005). Distinctions between manipulation and function knowledge of objects: Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 361–373.
- Bub, D. N., & Masson, M. E. J. (2006). Gestural knowledge evoked by objects as part of conceptual representations. *Aphasiology*, 20(9), 1112–1124.
- Bub, D. N., & Masson, M. E. J. (2012). On the dynamics of action representations evoked by names of manipulable objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(3), 502–517.
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Bukach, C. M. (2003). Gesturing and naming: The use of functional knowledge in object identification. *Psychological Science*, 14(5), 467–472.
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, 106(1), 27–58.
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Lin, T. (2013). Features of planned hand actions influence identification of graspable objects. *Psychological Science*, 24, 1269–1276.
- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355–363.
- Buxbaum, L. J., Veramonti, T., & Schwartz, M. F. (2000). Function and manipulation tool knowledge in apraxia: Knowing 'what for' but not 'how'. *Neurocase*, 6(2), 83–97.
- Buxbaum, L. J., & Saffran, E. M. (2002). Knowledge of object manipulation and object function: Dissociations in apraxic and nonapraxic subjects. *Brain and Language*, 82(2), 179–199.
- Buxbaum, L. J., Sirigu, A., Schwartz, M. F., & Klatzky, R. (2003). Cognitive representations of hand posture in ideomotor apraxia. *Neuropsychologia*, 41(8), 1091–1113.
- Buxbaum, L. J., Kyle, K. M., Tang, K., & Detre, J. A. (2006). Neural substrates of knowledge of hand postures for object grasping and functional object use: Evidence from fMRI. *Brain Research*, 1117, 175–185.
- Buxbaum, L. J., & Kalénine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 201–218.
- Campanella, F., & Shallice, T. (2011). Manipulability and object recognition: Is manipulability a semantic feature? *Experimental Brain Research*, 208(3), 369–383.
- Canessa, N., Borgo, F., Cappa, S. F., Perani, D., Falini, A., Buccino, G., & Shallice, T. (2008). The different neural correlates of action and functional knowledge in semantic memory: An FMRI study. *Cerebral Cortex*, 18(4), 740–751.
- Capitani, E., Laiacina, M., Mahon, B., & Caramazza, A. (2003). What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 213–261.
- Cardellicchio, P., Sinigaglia, C., & Costantini, M. (2011). The space of affordances: A TMS study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1369–1372.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12(4), 478–484.
- Chatterjee, A. (2010). Disembodying cognition. *Language and Cognition*, 2(1), 79–116.
- Chersi, F., Thill, S., Ziemke, T., & Borghi, A. M. (2010). Sentence processing: Linking language to motor chains. *Frontiers in Neurorobotics*, 4, 4. doi: 10.3389/fnbot.2010.00004
- Chouinard, P. A., & Goodale, M. A. (2010). Category-specific neural processing for naming pictures of animals and naming pictures of tools: An ALE meta-analysis. *Neuropsychologia*, 48(2), 409–418.
- Costantini, M., Ambrosini, E., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). When objects are close to me: Affordances in the peripersonal space. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 302–308.
- Creem-Regehr, S. H., Dilda, V., Vicchirilli, A. E., Federer, F., & Lee, J. N. (2007). The influence of complex action knowledge on representations of novel graspable objects: Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Journal of the International Neuropsychological Society*,

- 13(6), 1009–1020.
- Creem-Regehr, S. H., & Lee, J. N. (2005). Neural representations of graspable objects: Are tools special? *Cognitive Brain Research*, 22(3), 457–469.
- Crepaldi, D., Berlingeri, M., Paulesu, E., & Luzzatti, C. (2011). A place for nouns and a place for verbs? A critical review of neurocognitive data on grammatical-class effects. *Brain and Language*, 116(1), 33–49.
- Davare, M., Kraskov, A., Rothwell, J. C., & Lemon, R. N. (2011). Interactions between areas of the cortical grasping network. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(4), 565–570.
- Davare, M., Montague, K., Olivier, E., Rothwell, J. C., & Lemon, R. N. (2009). Ventral premotor to primary motor cortical interactions during object-driven grasp in humans. *Cortex*, 45(9), 1050–1057.
- Davare, M., Rothwell, J. C., & Lemon, R. N. (2010). Causal connectivity between the human anterior intraparietal area and premotor cortex during grasp. *Current Biology*, 20(2), 176–181.
- Filliter, J. H., McMullen, P. A., & Westwood, D. (2005). Manipulability and living/non-living category effects on object identification. *Brain and Cognition*, 57(1), 61–65.
- Forde, E., & Humphreys, G. (Eds.). (2002). *Category specificity in brain and mind*. East Sussex, UK: Psychology Press.
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825–850.
- Garcea, F. E., Almeida, J., & Mahon, B. Z. (2012). A right visual field advantage for visual processing of manipulable objects. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(4), 813–825.
- Gerlach, C., Law, I., & Paulson, O. B. (2002). When action turns into words. Activation of motor-based knowledge during categorization of manipulable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1230–1239.
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(2), 330–340.
- Glover, S., Rosenbaum, D. A., Graham, J., & Dixon, P. (2004). Grasping the meaning of words. *Experimental Brain Research*, 154(1), 103–108.
- Gough, P. M., Riggio, L., Chersi, F., Sato, M., Fogassi, L., & Buccino, G. (2012). Nouns referring to tools and natural objects differentially modulate the motor system. *Neuropsychologia*, 50(1), 19–25.
- Grafton, S. T., Fadiga, L., Arbib, M. A., & Rizzolatti, G. (1997). Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *Neuroimage*, 6(4), 231–236.
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action: An fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, 17(12), 2735–2740.
- Greif, M. L., Nelson, D. G. K., Keil, F. C., & Gutierrez, F. (2006). What do children want to know about animals and artifacts? Domain-specific requests for information. *Psychological Science*, 17(6), 455–459.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301–307.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human Brain Mapping*, 21(3), 191–201.
- Helbig, H. B., Graf, M., & Kiefer, M. (2006). The role of action representations in visual object recognition. *Experimental Brain Research*, 174(2), 221–228.
- Helbig, H. B., Steinwender, J., Graf, M., & Kiefer, M. (2010). Action observation can prime visual object recognition. *Experimental Brain Research*, 200(3–4), 251–258.
- Hoenig, K., Sim, E. J., Bochev, V., Herrnberger, B., & Kiefer, M. (2008). Conceptual flexibility in the human brain: Dynamic recruitment of semantic maps from visual, motor, and motion-related areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(10), 1799–1814.
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (2001). Detection by action: Neuropsychological evidence for action-defined templates in search. *Nature Neuroscience*, 4(1), 84–88.
- Ishibashi, R., Ralph, M. A. L., Saito, S., & Pobric, G. (2011). Different roles of lateral anterior temporal lobe and inferior parietal lobule in coding function and manipulation tool knowledge: Evidence from an rTMS study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1128–1135.
- James, K. H., & Swain, S. N. (2011). Only self-generated actions create sensori-motor systems in the developing brain. *Developmental Science*, 14(4), 673–678.
- Jax, S. A., & Buxbaum, L. J. (2010). Response interference between functional and structural actions linked to the same familiar object. *Cognition*, 115(2), 350–355.
- Jeannerod, M., Decety, J., & Michel, F. (1994). Impairment of grasping movements following a bilateral posterior parietal lesion. *Neuropsychologia*, 32(4), 369–380.
- Johnson-Frey, S. H. (2004). The neural bases of complex tool use in humans. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 71–78.
- Kalénine, S., & Bonthoux, F. (2008). Object manipulability affects children's and adults' conceptual processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(3), 667–672.

- Kalénine, S., Bonthoux, F., & Borghi, A. M. (2009). How action and context priming influence categorization: A developmental study. *British Journal of Developmental Psychology*, 27, 717–730.
- Kellenbach, M. L., Brett, M., & Patterson, K. (2003). Actions speak louder than functions: The importance of manipulability and action in tool representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 30–46.
- Kiefer, M., Sim, E. J., Helbig, H., & Graf, M. (2011). Tracking the time course of action priming on object recognition: evidence for fast and slow influences of action on perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(8), 1864–1874.
- Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: Theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex*, 48(7), 805–825.
- Kumar, S., Yoon, E., & Humphreys, G. (2012). Perceptual and motor-based responses to hand actions on objects: Evidence from ERPs. *Experimental Brain Research*, 220(2), 153–164.
- Lee, C. L., Middleton, E., Mirman, D., Kalénine, S., & Buxbaum, L. J. (2013). Incidental and context-responsive activation of structure-and function-based action features during object identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(1), 257–270.
- Lewis, J. W. (2006). Cortical networks related to human use of tools. *Neuroscientist*, 12(3), 211–231.
- Lin, N., Guo, Q. H., Han, Z. Z., & Bi, Y. C. (2011). Motor knowledge is one dimension for concept organization: Further evidence from a Chinese semantic dementia case. *Brain and Language*, 119(2), 110–118.
- Machery, E. (2007). Concept empiricism: A methodological critique. *Cognition*, 104(1), 19–46.
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2012). Using actions to enhance memory: Effects of enactment, gestures, and exercise on human memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 507.
- Magnié, M. N., Besson, M., Poncet, M., & Dolisi, C. (2003). The Snodgrass and Vanderwart set revisited: Norms for object manipulability and for pictorial ambiguity of objects, chimeric objects, and nonobjects. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(4), 521–560.
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 59–70.
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2011). What drives the organization of object knowledge in the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 15(3), 97–103.
- Makris, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2011). Viewing objects and planning actions: On the potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain and Cognition*, 77(2), 257–264.
- Maratos, F. A., Anderson, S. J., Hillebrand, A., Singh, K. D., & Barnes, G. R. (2007). The spatial distribution and temporal dynamics of brain regions activated during the perception of object and non-object patterns. *Neuroimage*, 34(1), 371–383.
- Masson, M. E. J., Bub, D. N., & Newton-Taylor, M. (2008). Language-based access to gestural components of conceptual knowledge. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 869–882.
- McClelland, J. L., & Rogers, T. T. (2003). The parallel distributed processing approach to semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(4), 310–322.
- McNair, N., & Harris, I. (2012). Disentangling the contributions of grasp and action representations in the recognition of manipulable objects. *Experimental Brain Research*, 220(1), 71–77.
- Mecklinger, A., Gruenewald, C., Besson, M., Magnié, M. N., & Von Cramon, D. Y. (2002). Separable neuronal circuitries for manipulable and non-manipulable objects in working memory. *Cerebral Cortex*, 12(11), 1115–1123.
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: A developmental study. *Developmental Science*, 10(6), 836–852.
- Myung, J. Y., Blumstein, S. E., & Sedivy, J. C. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition*, 98(3), 223–243.
- Oliveri, M., Finocchiar, C., Shapiro, K., Gangitano, M., Caramazza, A., & Pascual-Leone, A. (2004). All talk and no action: A transcranial magnetic stimulation study of motor cortex activation during action word production. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(3), 374–381.
- Pappas, Z., & Mack, A. (2008). Potentiation of action by undetected affordant objects. *Visual Cognition*, 16(7), 892–915.
- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(12), 976–987.
- Petit, L. S., Pegna, A. J., Harris, I. M., & Michel, C. M. (2006). Automatic motor cortex activation for natural as compared to awkward grips of a manipulable object. *Experimental Brain Research*, 168(1-2), 120–130.

- Peeters, R., Simone, L., Nelissen, K., Fabbri-Destro, M., Vanduffel, W., Rizzolatti, G., & Orban, G. A. (2009). The Representation of Tool Use in Humans and Monkeys: Common and Uniquely Human Features. *Journal of Neuroscience*, 29(37), 11523–11539.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: Sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(5), 351–360.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, 21(3), 793–797.
- Rizzolatti, G., & Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: Anatomy and functions. *Experimental Brain Research*, 153(2), 146–157.
- Rueschemeyer, S. A., van Rooij, D., Lindemann, O., Willems, R. M., & Bekkering, H. (2010). The function of words: Distinct neural correlates for words denoting differently manipulable objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(8), 1844–1851.
- Saccuman, M. C., Cappa, S. F., Bates, E. A., Arévalo, A., Della Rosa, P., Danna, M., & Perani, D. (2006). The impact of semantic reference on word class: An fMRI study of action and object naming. *Neuroimage*, 32(4), 1865–1878.
- Sakuraba, S., Sakai, S., Yamanaka, M., Yokosawa, K., & Hirayama, K. (2012). Does the human dorsal stream really process a category for tools? *The Journal of Neuroscience*, 32(11), 3949–3953.
- Salmon, J. P., McMullen, P. A., & Filliter, J. H. (2010). Norms for two types of manipulability (graspability and functional usage), familiarity, and age of acquisition for 320 photographs of objects. *Behavioural Research Methods*, 42(1), 82–95.
- Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2007). Sentence comprehension and action: Effector specific modulation of the motor system. *Brain Research*, 1130(1), 119–124.
- Shapiro, K., & Caramazza, A. (2003). The representation of grammatical categories in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(5), 201–206.
- Sirigu, A., Cohen, L., Duhamel, J. R., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex*, 31(1), 41–55.
- Sirigu, A., Duhamel, J. R., & Poncet, M. (1991). The role of sensorimotor experience in object recognition. A case of multimodal agnosia. *Brain*, 114(Pt 6), 2555–2573.
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P.,... & Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 273–281.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, 8(6), 769–800.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, 116(2), 185–203.
- Vainio, L., Ellis, R., & Tucker, M. (2007). The role of visual attention in action priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(2), 241–261.
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, 108(2), 444–465.
- Valyear, K. F., & Culham, J. C. (2010). Observing learned object-specific functional grasps preferentially activates the ventral stream. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(5), 970–984.
- Vigliocco, G., Vinson, D. P., Druks, J., Barber, H., & Cappa, S. F. (2011). Nouns and verbs in the brain: A review of behavioural, electrophysiological, neuropsychological and imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 407–426.
- Vingerhoets, G. (2008). Knowing about tools: Neural correlates of tool familiarity and experience. *Neuroimage*, 40(3), 1380–1391.
- Vingerhoets, G., Acke, F., Vandemaele, P., & Achten, E. (2009). Tool responsive regions in the posterior parietal cortex: Effect of differences in motor goal and target object during imagined transitive movements. *Neuroimage*, 47(4), 1832–1843.
- Wadsworth, H. M., & Kana, R. K. (2011). Brain mechanisms of perceiving tools and imagining tool use acts: A functional MRI study. *Neuropsychologia*, 49(7), 1863–1869.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829–853.
- Weiskopf, D. A. (2010). Embodied cognition and linguistic comprehension. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 41(3), 294–304.
- Wolk, D. A., Coslett, H. B., & Glosser, G. (2005). The role of sensory-motor information in object recognition: Evidence from category-specific visual agnosia. *Brain and Language*, 94(2), 131–146.
- Yu, X., Bi, Y. C., Han, Z. Z., Zhu, C. Z., & Law, S. P. (2012). Neural correlates of comprehension and production of nouns and verbs in Chinese. *Brain and Language*, 122(2), 126–131.

The Role of Manipulability in Object Representation

NI Long^{1,2}; LIU Ye¹; FU Xiaolan¹

(¹ *Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

(² *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Over the last decade, there has been a growing body of research suggesting that recognition of a manipulable object not only involves analysis of visual information input, but also entails processing of action information associated with grasping or using it. Accumulating evidence from behavioral, neuropsychological and neuroimaging studies has suggested that action information automatically evoked in the process of object identification is an essential part of object representation. Research on object manipulability has shed new lights on the phenomenon of category specificity effect, including living/nonliving and noun/verb dissociations. It will also bring a new perspective for the better understanding of object representation as well as provide theoretical implication to further research on neural pathways of visual object recognition.

Key words: manipulability; object recognition; object representation