

镜像神经元、具身模拟与心智阅读

叶浩生 曾 红*

【摘 要】 镜像神经元是意大利帕尔玛大学的神经科学家 Rizzolatti 所领导的团队发现的一种新的运动神经元。这种神经元不仅在恒河猴执行一个指向目标的动作时被激活,而且在恒河猴观察同类其他个体或者实验者执行同样或类似的动作时也被激活。TMS 和 FMRI 的研究证实在人类大脑皮层中存在着具有类似功能的镜像神经机制。镜像神经机制的存在为具身模拟提供了神经生理学的基础。镜像神经元在操作和观察两个阶段都可以被激活的事实表明,模拟过程实际上就是运动系统在观察阶段的重新激活。这种激活是知觉和运动状态在离线条件下的再使用。同时,镜像神经元在操作和观察两个阶段都被激活也解释了为什么我们能对他人的心理进行阅读和理解。通过具身的模拟,我们把他人的行为同自己的行为进行匹配,从而达到了解他人行为意义的目的。

【关键词】 镜像神经元;具身模拟;心智阅读;具身认知

镜像神经元的神奇之处莫过于它不仅在恒河猴操作某个指向目标的动作时被激活,而且在被动观察同类其他个体,甚至实验者操作类似的动作时,也被激活。这一事实表明,身体动作和认知判断之间存在着某种联系,或许这正是个体之间相互理解的神经基础。个体心灵之间通过镜像神经元而架起了一座沟通的桥梁,心智阅读或称读心(mind-reading)因此而成为可能。

一、镜像神经元与人类的镜像神经机制

大约在 90 年代中期,意大利帕尔玛大学的神经科学家 Rizzolatti 等人发现了一种新的运动神经元。它们位于恒河猴腹侧前运动皮层所谓的 F5 区。这种新的运动神经元“不仅在猴子执行一个行动,如精确地捡起一粒葡萄干时产生放电现象,而且当它被动地观察另一个个体做出类似的举动时也产生放电现象”(Heyes,2010)。由于这种神经元具有映射其他个体动作的能力,因此,这类神经元被命名为“镜像神经元”(mirror neuron)。大量的实证证据表明,恒河猴大脑皮层的腹侧前运动皮层

* 叶浩生,心理学博士,广州大学教育学院教授、博士生导师,510006;曾红,心理学博士,暨南大学医学院副教授,510005。本文为国家自然科学基金项目“相关线索诱发的心理渴求及镜像神经活动——基于具身理论的药物依赖神经机制研究”(31271113)的阶段性成果。

和后顶叶皮层是镜像神经元的主要聚居区 (Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2001)。

镜像神经元大致可分为两类:严格相符和总体相符。严格相符 (strictly congruent) 的镜像神经元大约占镜像神经元总数的三分之一。这类神经元只有在同一动作的操作或观察时才产生放电效应。总体相符 (broadly congruent) 的镜像神经元大约占镜像神经元总数的三分之二,这类神经元不仅在同一动作的执行和观察时产生电效应,而且在执行逻辑上相关的动作,或者达到同一目标的其他动作,甚至听到与特定动作相关联的声音时,也会被激活,产生放电效应。总体相符的镜像神经元在数量上超过严格相符的镜像神经元的事实说明,镜像神经元的镜像性质并非单一地针对具体的动作,而是指向行为的目标。在理解相互之间行为目标的基础上达到交流和互动的目的 (Fogassi, 2011)。

总体相符的镜像神经元占多数也说明镜像神经元似乎并非仅仅对动作的视觉特征做出反应,而是针对动作的意图做出颇为复杂的抽象编码。在 Umiltà 等人 (2001) 的实验中,实验者首先安排猴子观察一个实验助手伸手抓食物的动作。在一种条件下,猴子看到实验助手伸手抓住了食物,在另一种条件下,只有手势动作,没有食物可抓。在前一种条件下, F5 区的镜像神经元被激活,但是在后一种条件下没有激活产生。接下来,实验助手手臂动作的后半部分被遮蔽,猴子看不到手究竟有没有触及食物。实验结果显示,当猴子知道挡板后有食物存在,即使没有看到最后的动作结果, F5 区的镜像神经元也产生强烈的激活,但是如果猴子事前知道挡板后没有食物存在,则镜像神经元没有激活效应的产生。总体相符镜像神经元的这种特性可能就是理解他人行为的神经基础。在日常生活中,他人行为一般来说是“半透明的”,但却总是能被理解和识别。总体相符的镜像神经元对动作意图的抽象编码为此提供了可能的解释。

镜像神经元对抽象意义的编码也可以从所谓的视听 (audio-visual) 镜像神经元激活模式中

得以证明。Kohler 等 (2002) 在实验中发现, F5 区的镜像神经元不仅在手部动作的执行和观察时可被激活,而且在听到与手部动作相关联的声音 (如剥花生、撕纸等) 时也被激活。这也说明镜像神经元并非对单一感觉通道的信息做出反应,而是一种多通道的,对抽象意图的编码过程。另外一个实验中, Bonini 等人 (2010) 发现,猴子顶叶皮层的镜像神经元选择性地对“抓起来吃”和“抓起来放入盒中”动作产生电反应。那些在操作“抓起来吃”时有更多电反应的神经元,在观察“抓起来吃”的动作时也产生更多的电反应;而那些在操作“抓起来放入盒中”产生更多电反应的镜像神经元在观察同一动作时,也出现更多电反应。这些结果都说明了镜像神经元编码的是所观察动作的意图。似乎在观察其他个体达到目标的动作时,猴子大脑中的镜像神经元也模拟了这种动作及其意图,处于观察地位的猴子仿佛自己在执行这些达到目标的动作,以此达到对他人动作的识别和理解。

上述实验证据说明:“镜像神经元具有两个重要特征:首先,激活它们的是所观察动作的目标,而与怎样获得这一目标无关;其次,镜像神经元对不同的动作结果显示选择性” (Ocampo & Kritikos, 2011)。这两个特征都说明镜像神经元与理解和认知过程存在联系。

如果发生于恒河猴大脑皮层的镜像神经元具有表征他人行为意图的功能,那么是否意味着人的理解和认识过程也建筑在同样的神经机制上? 镜像神经元发现之后,许多学者开始寻求在人身类似于镜像神经元功能的神经机制存在的证据。“通过早期的脑成像研究,对动作知觉和动作执行神经活动的比较,研究者普遍认为人类大脑腹侧前运动皮层、后额下回岛盖部是恒河猴镜像神经元 F5 区的对应物,而喙状顶下小叶是恒河猴后顶叶皮层 PF/PFG 区的对应物” (Molenberghs et al., 2012), 人类大脑皮层的这两个区域的神经细胞具有与恒河猴镜像神经元同样的功能,这间接证实了人类镜像神经元的存在。

由于无法使用单细胞电极植入方法,人类

镜像神经机制的研究大多采用了 TMS(颅磁刺激) 和 fMRI(功能磁共振成像) 等技术。TMS 研究发现(Fadiga et al. ,1995; Urgesi et al. ,2010) , 当被试观察指向一定目标的手臂动作时,其相应手臂的肌肉也记录到运动诱发电位(MEPs) 的提高。在另一次实验中,实验者观察到,当被试观察一个正在进行的手臂动作的图片时,MEPs 有了明显增强,而观察静止的手臂动作图片时 MEPs 却没有明显的变化。这些实验说明在人类身上存在着镜像神经系统,也说明当人类观察和理解其他个体的动作时,个体神经系统内部存在着一种模拟过程。这种内部模拟促使了相应部位肌肉 MEPs 的提高。

功能磁共振成像的有关研究表明,人类的镜像神经系统(hMNS) 所针对的同样是动作的意图或目的,而不是动作的视觉特征。美国加州大学的 Marco Iacoboni 等人(2005) 进行了一项功能磁共振成像实验。在这个实验中,被试观看同一动作在不同背景中的录像。第一段录像中,被试看到的是在无背景的场景中一只手臂伸手抓起杯子;第二段录像中,被试看到一只手臂从准备好用餐的餐桌上拿起了杯子,第三段录像被试看到的是手臂从吃剩余的餐桌上拿起杯子。实验安排的用意是看看人类的镜像系统是否可以在抓起水杯喝水、抓起水杯清理餐桌之间做出明确的区分。实验结果证实,不同情境中的同一手臂动作导致了皮层不同区域的激活,但是在第二种情境下,即餐具摆放整洁的背景中,观察到手臂抓握水杯的动作导致了被试额下回后端和腹外侧前运动皮层区域的强烈激活。在这三种条件下,被试观察到的是同一抓握水杯的动作,激活的皮层区域却不同。这说明被试在观察的过程中对动作的结果有了一定程度的理解,并产生了相应的内部模拟,因而激活了不同的皮层区域。前运动皮层所表现出的这种镜像功能启示人们,那些本来被视为仅仅主管动作执行与动作识别的皮层区域,可能也主管着对他人动作意图的理解。

新近的一些研究表明,镜像神经机制也是人类个体之间情绪理解的神经基础(Ebish et

al. ,2008;Enticott et al. ,2012)。当人类观察到同类其他个体表现出疼痛、恶心、喜悦等基本情绪时,个体自身体验到这些情绪时激活的脑区再次被使用。换言之,个体本身的情绪体验所使用的大脑皮层区域与理解他人的同一情绪体验所使用的皮层区域是一致的。所有这些研究都说明了一点,即当我们观察到其他个体操作某个指向一定目标的动作,或者表现出某种情绪体验时,我们的大脑皮层中也会产生同样的激活。这种激活的神经通路同我们自己亲身操作这些动作和体验到这些情绪时在性质上是同一的。尽管从外表上看,我们并没有操作这些动作,也没有表现这种情绪,但是我们产生了某种下意识的“模拟”(simulation),仿佛我们自己在操作和体验。以此达到对他人动作意图和情绪体验的识别和理解。那么,这种模拟是怎样发生的? 模拟的性质是什么? 它是符号性的,还是以身体感觉-运动系统的表象为基础的? 这正是本文第二部分所要讨论的问题。

二、镜像神经机制与具身模拟

人类最神奇的能力之一我们能有意地进行想象。在想象中间,我们模拟现实世界的各种事件,仿佛那些事件真的出现在我们眼前。我们甚至可以想象一些虚幻的事件,尽管这些事件在现实世界中并不存在,但是我们的感觉却是真实的。就像在阅读一个言情小说时,尽管我们知道小说中的人物和事件都是虚构的,但是我们的情绪和感受却随着故事情节的变化而起伏跌宕,仿佛我们在经历着同样的事件。

想象中一个关键方面是模拟过程。模拟指的是“由对物体的观察而诱发的运动系统的激活”(Ambrosini et al. ,2012)。换言之,当观察过程进行时,观察者本身的运动系统进入活跃的状态,而这种活跃状态模拟了操作特定动作时运动系统的激活模式。从观察和操作两种过程都激活同样的神经生理机制这一点上来说,模拟过程实际上就是镜像神经机制的激活过程。

因此,模拟过程是以镜像神经机制为其生理基础的。

模拟的观念古已有之,经验主义哲学家大卫·休莫曾经在“sympathy”的名义下谈论模拟的思想。他指出:“概括地说,我们可以认为人的心灵是一些相互映照的镜子……当我从任何人的声音和姿势中发现某种激情的效应时,我的心灵立即从这些效应追溯到其原因,并且形成有关激情的活生生的观念,仿佛我们自己沉溺于激情本身”(Hume, 1958)。尼采也曾经指出,“为了理解另外一个人,也就是说,从我们自身去模仿他的感受。我们从自身开始,根据他人的表现和展示出来的效应,通过我们自己的身体,模仿着他人的眼神、声音、举止……这样一来,由于在动作和感觉之间那古老联结的缘故,类似的感受就形成了”(Nietzsche, 1977)。

对于模拟概念,认知科学和神经科学家有着许多不同的理解。瑞典生理学家 Hesslow 主张模拟是思维过程的组成成分。他认为思维是由一系列与环境模拟的交互作用组成。模拟有三个核心成分:第一,行动的模拟。这是行为的内部模拟。在这种模拟过程中,大脑的运动中枢被激活,而这种激活模式同行为在通常条件下激活的大脑中枢模式是类似的,但是却没有导致任何外显的动作。其次,知觉的模拟。我们在想象中间,对事物的知觉同实际的知觉基本上是一致的。这也是在阅读小说的过程中,我们为什么能如此投入,以至忘记小说的虚构属性。不同的是,实际的知觉是由外部刺激引起的,而模拟的知觉却仅仅是大脑本身活动导致的。再次,预期(anticipation)的作用。在人的大脑中存在着某种联结机制。这种联结机制使得眼前的行为和知觉活动可以诱发大脑感觉运动区域其他的知觉活动。大量的实验证据表明,想象中将要发生的事件可诱发鲜活的知觉体验,而这种体验基本上类似于实际事件发生时产生的体验(Hesslow, 2012)。

认知科学家 Jeannerod(2006)提出了一种运动认知的模拟理论。Jeannerod 认为行为包含着外显和内隐两个阶段,而内隐阶段实际上是行

为的实用性表征。它包括了行为的目标、达到目标的手段和可能的结果或效应。行为的实用性表征并不像外显阶段的行为,外部观察无法触及。但是这种表征却可以在多种与行为相关的条件下被激活,且这种激活可能是意识的,也可能是无意识的。在大多数条件下,激活是无意识的,行为者并没有意识的觉察。许多 TMS 研究支持了这种模拟理论。前文曾经指出,仅仅观察一个手臂的抓握动作导致了被试相应手臂肌肉记录到运动诱发电位的提高。这种激活是无意识的,观察者在无意识中模拟了观察到的动作。此时的行为似乎处于内隐阶段。

心灵哲学和发展心理学家 Goldman 应用模拟理论去解释他人认知过程(Goldman & Jordan, 2012)。依据这种观点,我们之所以能理解他人的意图、愿望、情感、态度和信念等等,是因为我们能使用自身的心理机制去模仿他人的心理活动。也就是说,当观察其他人的行为时,为了能理解其心理状态,观察者想象自身在执行或操作着这些动作。这样一种隐蔽的模拟过程并不必然导致外显的行为操作。当然,在这一过程中,观察者要放弃自己的心理状态,而代之以被观察者的心理状态。用通俗的话来说,就是穿上他人的鞋子走路,以便产生与他人类似的心理体验。

有关模拟过程的这些理解在两个方面有着关键的分歧:第一是意识的参与程度,即模拟究竟是自动的、不受意识控制的,还是有意识的、受到意识控制的。大多数模拟理论的主张者认为模拟过程是下意识的,是一种自动的过程,但是也有一些学者主张意识的控制是必要的。通过一种有意的想象,我们才可以精确把握他人的心理状态。其次是模拟过程的使用范围,心灵哲学和发展心理学的模拟理论把模拟看做是他心认知的关键手段,而运动认知的模拟理论把模拟视为一种思维方式,且认为模拟过程与身体的运动系统紧密联系在一起。

实际上,镜像神经元的发现为解释模拟过程提供了神经生理基础。镜像神经元在观察和操作两个阶段都可以被激活的事实表明,模拟

过程实际上就是运动系统在观察阶段的重新激活。这种激活是知觉和运动状态在离线(off-line)条件下的再使用(reuse)。由于模拟过程是实际条件下的知觉和运动状态的重新激活过程,因而这种模拟是具身的(embodied)。也就是说,这种模拟是以原来的各种身体体验为原型的。模拟并非符号性的计算过程。它不是抽象的,而是具体的、依赖于身体的,即以身体的感觉运动系统的使用和再使用为基础。

因此,模拟发生于身体的感觉-运动系统中,是具身的模拟(embodied simulation)。具身模拟的两个关键特点是:第一,身体感觉-运动系统通道的再使用是模拟过程的核心成分。具身模拟的主张者 Gallese & Sinigaglia (2011) 指出,“具身模拟理论强调再使用是心理模拟的核心观念,并且假定镜像机制之所以能贯彻心理模拟主要是由于那些典型地应用于一种目的的大脑和认知资源因为另外一个目的而再次被使用”。镜像神经系统的研究证实了这一点。腹侧前运动皮层和顶下小叶皮层区域不仅在执行一个(如抓起食物)或一个序列(如拿出钥匙,插入锁孔、打开门)的动作时被激活,而且在观察和理解这些动作、了解动作者的意图时,同样被激活。情绪体验也遵循同样的机制。前脑岛区域不仅在恶心的主观体验产生时被激活,而且在观察他人恶心的表情,理解他人的这一情绪体验时同样被激活。这些事实都说明了一点,同一认知和大脑机制的再次使用是具身模拟的关键。

其次,模拟之所以是具身的,是因为模拟过程中的表征(representation)是身体格式的。对于同一内容,可以有不同的表征方式,就像一幅地图和一段文字都可以描述一个城市,但是其表述的格式是不同的。而模拟过程对于模拟内容的表征方式是身体化的。依照传统认知科学的观点,心理模拟的进行依赖于抽象符号。就像计算机的计算依赖的是010101……这些抽象符号的运算那样,心理过程的进行所依赖的也是数字、单词等抽象的符号。但是具身模拟的主张者认为,如果心理模拟依赖的是抽象符号,

那么神经系统就需要一种把抽象符号转换成神经或心理事件的能力,而没有任何科学证据证明神经系统具备这种神奇的转换能力。具身模拟的主张者强调那些通过身体的感觉-运动通道获得的具体的身体体验是模拟过程的基础。模拟过程再使用的正是这些身体格式的表征。“一种表征格式典型地表现了它独特加工的侧面。这些不同侧面(运动的、内脏运动的、体感的)体现出身体格式化表征的特征,使得它区别于命题性表征”(Gallese & Sinigaglia, 2012)。

但是具身模拟的这两个关键主张却受到反对者的质疑。反对者声称,“再使用”需要大脑和心理机制在人际之间的共享,而这种共享以类似性为前提,即需要在观察者和被观察者之间在心理和大脑机制方面存在共同点。但是镜像神经元的研究却证实观察者和被观察者的同一反应可能为不同的刺激所引起,听觉刺激和视觉刺激都可以激活镜像神经元。由于同一反应由不同的刺激所引起,因而其心理和脑机制可能并不存在共同点。此外,具身模拟所要求的身体格式表征似乎也是不必要的,因为身体格式表征只不过是脑中某些生理过程的再现,镜像神经元的激活过程完全可以解释这些身体格式表征,因此没有必要再假设一个多余的表征方式(de Bruin & Gallagher, 2012)。

三、镜像神经机制与心智阅读

无论如何,通过镜像神经机制,人类可以模拟他人的行为和心理状态,从而达到对他人动作的识别和行为意图的理解。虽然这可能并非人类相互理解的唯一机制,但是却可以为这种理解和认知过程提供一种可能的解释。人类同动物的本质区别在于人不仅具有各种形式的心理状态和体验,而且还具备了认识这些心理体验和状态的能力。通过内省,我们可以了解自己的心理状态;同时,以他人行为动作和言谈举止为基础,我们也对他人的心理状态有了理解和认识。对自己和他人心理状态的认识和理解

就构成了心智阅读的主要内容。

心智阅读的主要功能有三:第一,理解和解释。通过心智阅读,我们不仅了解了个人自己的意愿和动机,也理解和识别了他人行为的意义和目的。在社会生活中,人们面临着各种类型的人。这些人的行为方式是类似,但是深层的意义可能完全相反。如果我们不能通过心智阅读而识别行为的意义,就会被社会生活的复杂性所淹没,从而产生极大的困惑。心智阅读能力通过赋予各种行为以意义而促进了人们对社会生活的适应。第二,预测和预期。心智阅读赋予我们预测他人行为的能力。这种预测和预期能力是我们进行正常的社会交往所必需的。在社会生活中,如果我们不能预测他人的行为,就会对社会交往无所适从,从而给人际交往和互动带来极大的障碍。第三,操纵和影响他人。通过心智阅读,我们多多少少了解了他人的意愿和想法。在这个基础上,通过掌控现有的信息和资源,达到控制和影响他人行为的目的。当然,达到这一目的的有效手段是准确地了解他人的目的、动机和欲望。

在心智阅读研究领域,存在着三种主要理论观点。最早出现的是理论论(theory theory)。这一观点的主张者声称,人类具备了一种所谓“常识心理学”(folk psychology)的能力,即对他人的心理状态和活动有着一般性的了解,就像人类对于自然界有着一般性的揣测那样。这种一般性的揣测能力促使我们形成了对他人心理的一种“理论”,而这种理论对于我们成功地应对生活事件、妥善处理各种人际事务是必需的。尽管人类每时每刻都在利用着这种理论,但是实际上我们并不了解这类理论的来源和构成方式。换言之,这种理论具有内隐和缄默的特性:我们可以使用这种理论为社会交往服务,但是我们不知道这种理论是怎样得到的,也不知道这种理论是怎样构成的。一些人认为这种理论的获得是人类进化和适应的一种表现。那些具备这类理论知识的个体为环境所选择,而不具备这种能力的个体则被淘汰。通过遗传,这种能力成为人类的一种固有属性,在儿童发展早

期逐步显现出来。另外一些人反对这种先天论的观点,认为这种能力的获得是一种后天经验的建构,其形成方式同职业科学家提出假设和进行假设验证,从而形成理论的过程在性质上是类似的。

解释心智阅读的另外一种有影响的学说来自于经济学领域的“理性人”假设。经济学家假定,作为经济决策主体的人是充满理智的,行为规则是理性和意志,既不会盲从,也不会受情感左右。在市场经济社会中,人们追求的是自身经济利益最大化,在理性规则的支配下。每一个从事经济活动的人所采取的行为都是力图以自己的最小经济代价去获得自己最大的经济收益。这是所有人的基本特征,符合理性规则。这种观点沿用至心智阅读领域,就形成了心智阅读的“理性论”(rationality theory)。

理性论认为人们使用理性原则对他人的心理状态进行归因,对其行为进行解释。依据这种观点,在读取和理解他人的心理状态时,人们在无意识里默认他人在信念、偏爱和决断方面是理智的。在任何判断和决定做出之前,人们都会对所搜集到的信息进行分析,理智的做出决定。而读取他人心理状态的过程就是应用理性规则解释他人的行为,对他人的心理状态进行推论。在这一基础上,达到对他人心理状态的读取或理解。

心智阅读领域目前最流行的观点是模拟论(simulation theory)。有关模拟论的观点在本文第二个部分已经有了较为详细的论述。在此,我们仅从心智阅读的视角分析模拟论的特征。模拟论拒绝理论论的观点。认为在读取他人心理状态的过程中,人们采用的并非是基于已有理论的推理,而是采用“共情”(empathy)的方式,把自己置于被读取者的境地,转换认识视角,从他人的立场和观点分析和认识问题,从而得出结论。在这一过程中,人们首先“假装”(pretend)自己具有被读取者的态度、愿望、偏爱、情感和信念等等,然后把利用自己的心理资源对这些虚假的心理状态进行认知加工,从而得出一个有关他人心理状态的认识,并把这种

心理状态投射至被读取者。这一过程完全是“离线”(off-line)的。换言之,其形成过程并没有通过认识者自身的感觉-运动系统。它仅仅发生于中枢,与实际行为无关。但是具身模拟的研究却显示出,模拟过程由于镜像神经元的作用而与身体感觉和运动系统紧密联系在一起。

具身模拟强调了身体感觉运动系统在心智阅读过程中所发挥的作用。模拟的必要条件是“共情”的态度。但是“我们的共情能力是以具身的模拟机制为中介的,也就是说,共情通过激活我们自身同样的运动、情绪和感觉经验的神经通路而实现的”(Gallese,2009)。神经科学的研究表明,镜像神经机制在其中发挥着举足轻重的作用。

文章的第一个部分曾经分析了镜像神经元的特征。镜像神经元的典型特征是它在操作和观察阶段都可以被激活。“对于他人行动的观

察诱发了观察者大脑中运动中枢的激活,而这种激活类似于观察者在计划和执行这一行动时大脑中枢产生的激活反应。这两种激活之间的类似性使得观察者能够直接地理解他人的行动,而不需要任何推理的过程”(Sinigaglia & Rizzolatti,2011)。

总而言之,镜像神经机制的存在让具身的模拟成为可能,并进而为了解他人行为的意义提供了一条神经生理学的通道。这种解释较之传统的理论论和理性论有着较大的优势。理论论虽然可以解释一些事实,但是其先天论的观点难以在科学阵营中有稳固的立足之处,而理性论的观点由于缺乏对非理性行为的解释,忽视了人类情绪和情感的作用,因而也难以令人信服。以镜像神经机制为基础的心智阅读理论克服了上述两种观点的局限,把对他人的理解建立在自身感觉运动经验的基础上,从而为心智阅读奠定了神经生理学的基础。

参考文献:

- Ambrosini, E. , C. Scorolli, A. Borghi & M. Costantini,2012, “Which body for embodied cognition? Affordance and language within actual and perceived reaching space”, *Consciousness and Cognition*, vol. 21, pp. 1551 – 1557.
- Bonini, L. , G. Rozzi, F. U. Serventi, L. Simone, P. F. Ferrari & L. Fogassi,2010, “Ventral premotor and inferior parietal cortices make distinct contribution to action organization and intention understanding”, *Cereb. Cortex*, vol. 20, pp. 1372 – 1385.
- de Bruin, L. & S. Gallagher,2012, “Embodied simulation, an unproductive explanation: Comment on Gallese and Sinigaglia”, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 16, pp. 98 – 99.
- Ebisch, S. J. , et al. ,2008, “The sense of touch: Embodied simulation in a visuo-tactile mirroring mechanism for the sight of any touch”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 20, pp. 1611 – 1623.
- Enticott, P. G. , et al. ,2012, “Emotional valence modulates putative mirror neuron activity”, *Neuroscience Letters*, vol. 508, pp. 56 – 59.
- Fogassi, L. ,2011, “The mirror neuron system: How cognitive functions emerge from motor organization”, *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 77, pp. 66 – 75.
- Fadiga, L. , L. Fgassi, G. Pavesi & G. Rizzolatti,1995, “Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study”, *Journal of Neurophysiology*, vol. 73, pp. 2608 – 2611.
- Gallese, V. ,2009, “Mirror neurons and the neural exploitation hypothesis: From embodied simulation to social cognition”, in J. A. Pineda (ed.), *Mirror Neuron Systems*, New York: Humana Press, pp. 163 – 190.
- Gallese, V. & C. Sinigaglia,2012, “Response to de Bruin and Gallagher: Embodied simulation as reuse is a productive explanation of a basic form of mind-reading”, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 16, pp. 99 – 100.
- Gallese, V. & C. Sinigaglia,2011, “What is so special about embodied simulation?”, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 15, no. 11, pp. 512 – 519.

- Goldman, A. & L. Jordan, 2012, "Mindreading by simulation: The roles of imagination and mirroring", in M. Lombardo, H. Tager-Flusberg & S. Baron-Cohen (eds.), *Understanding Other Minds*, 3rd edition, Oxford University Press.
- Hesslow, G., 2012, "The current status of the simulation theory of cognition", *Brain Research*, vol. 1428, pp. 71 – 79.
- Heyes, C., 2010, "Where do mirror neurons come from?", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol. 34, pp. 575 – 583.
- Hume, D., 1739/1958, *A Treatise of Human Nature* (1st ed.), L. A. Selby-Bigge, ed., New York: Oxford University Press.
- Iacoboni, M., I. Molnar-Szakacs, V. Gallese & G. Buccino, et al., "Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system", *PLoS Biology*, vol. 3, no. 3, 2005, pp. 529 – 535.
- Jeannerod, M., 2006, *Motor cognition: What Actions Tell the Self*, Oxford: Oxford University Press.
- Kohler, E., et al., 2002, "Hearing sounds understanding actions: Action representation in mirror neurons", *Science*, vol. 297, pp. 846 – 848.
- Molenberghs, P., R. Cunnington & J. Mattingley, 2012, "Brain regions with more properties: A meta-analysis of 125 human fMRI studies", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol. 36, pp. 341 – 349.
- Nietzsche, F., 1881/1977, "Daybreak", in R. J. Hollingdale, trans., *A Nietzsche Reader*, Harmondsworth, England: Penguin.
- Ocampo, B. & A. Kritikos, 2011, "Interpreting actions: The goal behind mirror neuron function", *Brain Research Reviews*, vol. 67, pp. 260 – 267.
- Rizzolatti, G., L. Fogassi & V. Gallese, 2001, "Neuro-physiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action", *Nature Reviews. Neuroscience*, vol. 2, no. 9, pp. 661 – 670.
- Sinigaglia, C. & G. Rizzolatti, 2011, "Through the looking glass: Self and others", *Consciousness and Cognition*, vol. 20, pp. 64 – 74.
- Umiltà, M. T., et al., 2001, "I know what you are doing: A neuro-physiological study", *Neuron*, vol. 32, pp. 91 – 101.
- Urgesi, C., M. Maieron, A. Avenanti, E. Tidoni, F. Fabbro & M. A. Salvatore, 2010, "Simulating the future of actions in the human corticospinal system", *Cereb. Cortex*, vol. 20, pp. 2511 – 2524.

(责任编辑: 蒋永华)

Mirror Neuron, Embodied Simulation and Mind-Reading

YE Hao-sheng, ZENG Hong

Abstract: Mirror neurons are a new class of visuomotor neurons in the premotor cortex of monkeys. These neurons fire both when an animal executes a goal-directed act and when the animal perceives the same kind of act being performed by a conspecific or by a human experimenter. Researches by TMS and fMRI provide evidence that there is mirror neuron system in human premotor cortex that has similar function like that of monkey's. Mirror neuron system in human brain is the neural-physiological foundation of embodied simulation. The fact that mirror neurons fire in both execution and observation shows that simulation processes are actually a kind of reuse of motor systems. The reason why we can understand others' behavior (or why we can read others' mind) is that we may simulate others' experiences by mirror neuron systems. By embodied simulation, we match others' behavior with our own and thus mind-reading becomes possible.

Key words: mirror neuron; embodied simulation; mind-reading; embodied cognition