doi：10.3969/j.issn.2095-4301.2021.03.009

· 综　述　Review ·

“五何”教育：基于神经通路的教育

荆秀娟[1]，王一峰[2*]

1. 西南财经大学天府学院（中国成都　610052）；
2. 四川师范大学脑与心理科学研究院（中国成都　610066）

［**摘要**］　教育要遵循大脑活动的规律。基于神经通路研究提出的包含“何事”“何时”“何处”“为何”和“如何”的“五何”教育适用于所有学科的教学，强调知识的全面性、整合性以及知行合一，符合大脑工作的原理和“实践-认识-实践”的唯物主义认知规律。“五何”教育的特点决定了它对提高学生的科学素养，提升生活和科研技能，激发原始创新能力起重要作用。“五何”教育的实施是一项系统工程，需从多方面着手建立完整的教育体系。

［**关键词**］　“五何”教育；　教育神经科学；　神经通路；　脑科学

“What-when-where-why-how” education: education based on neural pathways

JING Xiujuan[1], *WANG Yifeng*[2*]

1. *Tianfu College*, *Southwestern University of Finance and Economics*, *Chengdu 610052*, *Sichuan Province*, *China*;
2. *Institute of Brain and Psychological Sciences*, *Sichuan Normal University*, *Chengdu 610066*, *Sichuan Province*, *China*

［**Abstract**］　Education should follow the rules of brain functions. Education on “what” “when” “where” “why” and “how” is proposed based on investigations into neural pathways in the brain. The “what-when-where-why-how” education is applicable to the teaching of all disciplines, emphasizing the comprehensiveness and integration of knowledge and the integration of knowledge and practice, which further accords with the principle of brain function and the materialistic cognitive law of “practice-cognition-practice”. The characteristics of “what-when-where-why-how” education determine that it plays critical roles in improving students’ scientific literacy, life and scientific research skills, and stimulating their original innovation ability. The implementation of “what-when-where-why-how” education is a systematic project, which needs to establish a complete education system from the aspects of training teachers, compiling textbooks, activating classes, and strengthening science popularization and social guidance.

［**Key words**］　“what-when-where-why-how” education;　educational neuroscience;　neural pathways;　brain science

“给我十几个强健而没有缺陷的婴儿，让我放在自己特制的世界里教养，那么我可以担保，在这十几个婴儿之中，我随便拿出 1 个来，都可以训练其成为任何一种专家——无论他的能力、嗜好、趋向、才能、职业及种族是怎样的，我都能够任意训练他成为一个医师，或一个律师，或一个艺术家，或一个商业界首领，或甚至也可以训练他成为一个乞丐或窃贼。”[1] 行为主义心理学家华生的这段话不仅显示了教育的巨大威力，而且强调了教育内容和教育方法可决定孩子的未来。换言之，教育应该教什么，怎么教，取决于教育者要培养什么人。习近平总书记在 2018 年全国教育大会上把“培养什么人”提升为教育的首要问题。在中国特色社会主义新时代的背景下，培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人是我国教育的根本任务。针对这一根本任务，社会主义建设者和接班人在知识学习的高级层次上需要掌握什么是社会主义、为什么要建设社会主

基金项目　国家社会科学基金（BBA200030）

* **通信作者**（Corresponding author）王一峰，博士，研究员，硕士生导师；E-mail：wyf@ sicnu.edu.cn

收稿日期　2021-02-03

义、怎样建设社会主义。从“是什么”到“为什么”再到“怎么样”是层层递进的关系，这种关系深刻体现在大脑的神经通路中。

教育神经科学（educational neuroscience）或神经教育学（neuro-education）的蓬勃发展对当今教育产生了深刻的影响。教育要遵循脑和心理活动发生和发展的规律已经成为教育界的共识[2]。大脑作为一个复杂系统，有着精密的网络和层级结构，而构成这些组织结构的正是神经通路[3]。Ungerleider 等[4]首先提出人脑中存在两条重要的信息通路。一条始于枕叶，沿枕下回和颞下回向前延伸，止于颞叶的大脑腹侧通路，负责加工客体特征，因而被称为 what 通路；一条始于枕叶，沿着顶枕区向前延伸，止于顶叶的大脑背侧通路，负责加工客体的位置和运动信息，因而被称为 where 通路；在此基础上，Battelli 等[5]提出一条始于枕叶，沿顶枕颞边界向前延伸，止于顶叶下部的中部大脑通路，负责时间和时序信息加工，因而被称为 when 通路。除了这些自下而上的信息通路，大脑还自上而下地对信息进行整合。对事物的基本特征、相互关系、发展演变等信息整合后首先形成对事物的整体认识，这一功能主要由额叶和顶叶来完成，在额叶、顶叶之间形成一条 why 通路[6]。最终，整合后的信息用来指导行为，通过“实践-认识-实践”的发展过程与外界信息互动，从而对事物的发展变化做出动态反应。行为的产生需要额叶与运动区、基底神经节等神经结构的紧密配合，从而形成如何反应的 how 通路[7]。如图 1 所示，这些信息通路涵盖了从“何事(what)”“何时(when)”“何处(where)”到“为何(why)”及“如何(how)”的紧密联系又层层递进的层级结构。其中，“何事”“何时”“何处”为自下而上的信息通路，“为何”和“如何”为自上而下的整合和决策通路。基于这些信息通路，我们把教育内容归纳为“为何”在“何时”“何处”“如何”发生“何事”的“五何”教育。

1　“五何”教育的内涵和外延

与传统的学科知识不同，“五何”教育是依据大脑中的信息通路对教育内容进行类别划分。这种基于脑科学研究对教育内容的界定方式不仅回答了教什么的问题，还内在地限定了如何教。

1.1　“五何”教育的内涵

“五何”教育是基于大脑中的信息通路所承载

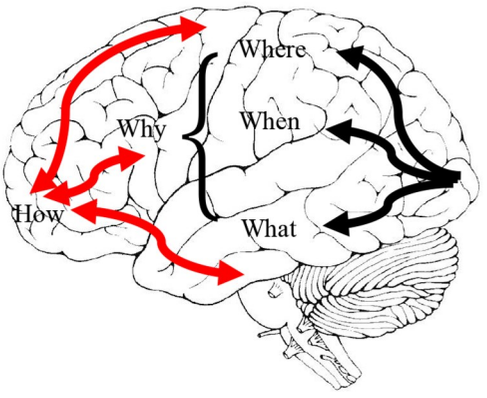

图 1　大脑中的信息通路

的信息类型对教育内容做出的界定，其内涵包含何事、何时、何处、为何、如何 5 个方面。“何事”是基于可分解的特征或属性形成的对事物的理解，涉及事物的特征、组成、结构的知识。“何时”是基于时间结构形成的对事物的理解，涉及事物的时序、时间延展、发展与演化的知识。“何处”是基于空间位置形成的对事物的理解，涉及事物的延展、定位、空间关系的知识。“为何”是整合了时空特征和自身属性形成的对事物的综合理解，涉及何事、何时、何处的有机整合。知识整合形成知识网络，使得新知识更容易与已有的知识体系建立联系，促进新知识的学习，减轻学习负担。“如何”不仅包含对事物的认识，还包括与事物相互作用的实践过程，是认识与实践的有机统一。知与行的互动能增强对知识学习的主动性和能动性，有利于学生主动探索新知识，主动建立不同知识之间的联系，进一步提高创造能力。因此，“如何”比“为何”更加高级，反映了教育的能动性和实践性，体现了知行合一的教育理念。

1.2　“五何”教育的外延

“五何”教育的依据是大脑中的信息通路所承载的信息类型，其与一般学科知识是并行不悖的。“五何”教育的外延包含了所有学科的教学内容，解决的是“教育应该教什么”或“教育应该从哪些方面教”的问题。“五何”教育对这一问题的回答与传统回答有极大的区别。在此，“五何”教育秉持一套新的论述知识的逻辑，它的重心不在具体的学科，而是涵盖所有学科；强调学科内知识体系的逻辑及神经通路的层级逻辑，构建基于跨学科内容的心理图式。“五何”教育实际上强调将不同学科知识紧密结合起来，在个体的心理图式中构建统一的逻辑框架，讲究融会贯通。

以英语单词的学习为例，在教与学的过程中

既要明确每个单词的拼写和意义（何事），又要了解其近义词、反义词及与之有关联的词（何处），还要追究它的词源及发展脉络（何时）。对这些知识的系统学习有助于建立对其使用规则的认识（为何），进一步促进其在实际情境中的运用（如何）。经过“五何”的学习，可实现对一个单词深入理解和熟练运用，如此才能说掌握了这个单词。在这个过程中，语言学、历史学、语用学、社会学等多个学科的知识共同贡献于一个单词的学习。

再以唐诗学习为例，一首诗本身的内容（何事）是教与学的核心，这首诗与作者其他诗词的关系以及与同时代其他诗人的诗词的关系（何处）提供了横向的空间对比，作者的生平、写作该诗的时代背景、乃至唐诗在文学长河中的位置，提供了诗歌理解的时间信息（何时），对上述内容的整合可以形成对这首诗的创作背景、内容情感、文学特色等知识的整体认识（为何），进一步可以依据上述知识去理解其他诗词和文学作品，甚至创作新的作品（如何）。在这一过程中，文学、历史、政治等不同学科的知识均可融入其中，使得学习内容更加丰富，理解程度更加深入，知识应用更加生动。

由上述 2 个例子可见，“五何”教育自然地整合知识、整合学科、整合知行，因而其外延能够包含所有学科知识。换言之，“五何”教育适合于所有学科知识的教学。此外，“五何”教育可能模糊现已形成的学科分界，从知识本身的逻辑出发构建更合理的知识体系。“五何”教育的这一特征与当前时代对学科交叉、跨界创新的诉求不谋而合。

2　“五何”教育的基本特点

“五何”教育源于大脑工作的模式，因而其必然具有大脑活动的基本特点，如层级性、发展性、系统性等。同时，“五何”教育基于大脑信息加工过程中自上而下和自下而上相互作用的原理对知和行进行统一，将实践-认识-实践的辩证唯物主义哲学观成功应用到教育学实践，体现了鲜明的时代特征和国家需求。

2.1　“五何”教育具有层级性与发展性

“五何”教育具有天然的层级结构。负责加工“为何”信息的脑区对“何时”“何事”“何处”的信息具有整合作用，而负责加工“如何”信息的脑区进一步整合上述信息，做出最后的决策和行为反应。这种逐级整合的功能是逐步发展的。自后向前的信息通路在婴儿出生后的半年内迅速发展，在生命发展的早期就能执行完整的功能[8]。前额叶是大脑中最晚发育成熟的区域，它自婴儿 2 岁前就开始发育并执行重要的控制功能[9]，在整个儿童青少年期持续发育，直到青少年晚期甚至成年早期才发育完全[10]。这种发育特征决定了早期教育应更多关注“何时”“何事”“何处”，而由于额叶的执行控制能力未发育成熟，“为何”和“如何”教育应较少涉及，或只涉及简单的“为何”和“如何”教育。换言之，从幼儿园教育到高等教育应越来越多地融入“为何”和“如何”教育，越来越多地淡出“何时”“何处”“何事”教育。教育内容的整合程度、复杂程度应随着年级逐步加深。

在高等教育中，“知”的比重应逐步减少，“行”的比重应逐渐增加，同时把“知”的教育纳入到“行”的教育当中，即“为何”知、“如何”知，这与《淮南子·说林训》中提倡的“授人以鱼不如授人以渔”的观念相吻合。此外，高等教育阶段的学生大脑高级功能已发育完善，辩证思维已经建立[11]，此时的教育应更加着力正确的人生观、价值观、世界观等高级思维观念的培养[12]，以更好地指导对知识的学习和行为实践。

2.2　“五何”教育重视科学性、系统性

“五何”教育的科学性和系统性取决于大脑的工作模式。大脑的决策是建立在对所有可利用信息的整合和权衡基础上的。整合加工决定了事物之间的联系不是一因一果，而是多因并存。充分的“何时”“何事”“何处”信息能提高信息整合的精度，有利于作出更科学合理的决策。自额叶向下传输的决策信息进一步与自下而上的信息相比较，修正决策。总体来讲，大脑是一个预期反馈系统，而不是传统观点所认为的刺激响应系统[13]。预期反馈过程就是自上而下的信息与自下而上的信息相互交流、相互作用的过程，也是一个实践-认识-实践的能动的动态发展过程。因此，只有构成一个完整的“五何”回路，教育才能真正产生效果。而教育效果的提升则在于遵循“五何”的运行规律和发展规律，既重视知识的完整性又重视决策的能动性。

2.3　“五何”教育具有时代性

“五何”教育的提出基于对大脑活动规律的最新发现，又与实践-认识-实践的辩证唯物主义认

知体系相吻合。脑科学的发展为哲学理论和教育学理论提供了坚实的支撑证据，使得基于这些理论和实证研究的“五何”教育方案的提出正当其时。“五何”教育知行统一、科学系统的理念是将教育真正落到实处，培养明事理、能做事、会做事的社会主义建设者和接班人的必然举措。尤其是“为何”和“如何”教育对培养真正的实干者和真正的创新者至关重要。当今时代科技迅猛发展，信息急速增加。在这种时代背景下，充分利用复杂多样的信息、加强信息整合、提高决策和行为能力对适应社会进步、引领时代潮流、创造美好未来有重要意义。“五何”教育将提供给学生更宽广的知识面、更完整的知识体系、更灵活多样的知识运用途径。随着“五何”教育的展开，学生将更好地掌握“为何”学习和“如何”学习，更好地成为社会主义建设者和接班人。

3 “五何”教育的价值

“五何”教育注重“知其然并知其所以然”，注重“心理完型”，注重“知行合一”。这些特点对提高学生的科学素养，提升生活和科研技能，激发原始创新能力至关重要。

3.1 提高科学素养

2018 年 9 月，中国科学技术协会公布的第十次《中国公民科学素养调查》结果显示，我国具备科学素质的人口在总人口中的比例仅为 8.47%，相比 2001 年的 1.44%提高了约 7 个百分点。迄今为止，尚有九成人口不具备基本科学素养，科学普及工作任重而道远。“五何”教育的实施能够使学生知晓科学知识的来龙去脉，在知识间建立紧密联系，学会科学思维，用科学方法指导实践，因而能有效提高学生的科学素养，在较短时间内提高我国公民的整体科学素养。

3.2 提升生活和科研技能

“为何”和“如何”是“五何”教育的高层次要求，注重对知识的综合理解和实践应用。而对知识的深入理解和实际应用能力的欠缺是当前普遍存在的严重问题。在生活中缺乏对科学和伪科学的辨别能力，缺乏为人处事的技巧，缺乏组织管理技能的情况比比皆是，归根结底是缺乏对事物来龙去脉的认识和对知识使用的技能。在科研方面，我国目前大量科研工作者只能进行低水平重复、低水平建设，亦步亦趋、照葫芦画瓢，缺乏自己对知识体系的建设、对知识系统的思考和对创新思维的运用。这种状况严重浪费了国家和社会各界对科研的人财物投入，严重制约了我国科技的全面崛起。因而，开展“五何”教育，尤其是“为何”和“如何”教育成为提升国民生活技能和科研人员的科研技能的迫切需求。

3.3 激发原始创新能力

与一般创新能力相比，原始创新强调最基础、最前沿的创新，强调首创性和引领性[14]。原始创新需要在对知识深刻理解的基础上在不同知识之间建立新的联系，从而创造新事物、新现象。“何事”“何时”“何处”教育致力于建立对知识的系统、全面理解，为原始创新提供了基本素材。“为何”教育就是对知识进行整合，在知识间建立广泛联系的教育，因而为原始创新提供了操作空间。而“如何”教育则致力于如何在知识之间建立联系，提供了对可能的操作空间的有效探索，因而直接关系到原始创新的水平。由此可见，“五何”教育的实施将极大促进我国的原始创新能力。

4 “五何”教育的实施策略

与传统观点不同，“五何”教育基于脑科学的发现对教育内容进行了重新界定。新的界定不是从学科的角度出发，而是从脑与心理功能的角度出发。这与传统观点并行不悖，但是“五何”教育对教育内容的界定方式更符合大脑活动的规律，更注重知识的整合，更强调知行合一。这些要求决定了“五何”教育的实施应从教师、教材、课堂、社会等多个方面做出规划，全面而有效地梳理、修订教学内容。

4.1 培养师资

教师是教育的直接实施者，是教育的核心力量。教师的教学直接关系到教育的结果。教育部于 2014 年印发《关于实施卓越教师培养计划的意见》，并于 2018 年印发意见的 2.0 版本。意见指出，对幼儿园教师的培养要厚基础、强能力、重融合，对小学教师的培养要重点探索全科教师培养模式，对中等职业学校教师的培养要能胜任理论和实践一体化教学，对特殊教育教师的培养要促进学科交叉、具有复合型知识技能。这些要求与“五何”教育重知识融合、重知行合一的观点不谋而合。“五何”教育首先应从师资的培养入手，着力打造一支学科交叉共融、知识综合全面、理论实践统一的高水平师资队伍。教师首先具备“五何”教育的条件才能有效地开展教育工作。

4.2　编订教材

教材是教育内容的主要载体。“五何”教育因其综合性、统一性而对教材有特殊的要求。一方面要求教材能将知识点有机联系，建立知识网络；另一方面要求教材具有开放性，能跟更开放的实践课程、课外资料相衔接；此外，要求教材具有启发性，鼓励学生自由探索、建立自己的心理图式。教材建设是“五何”教育的核心内容，一方面要修订旧教材，将知识点的表述更透彻、联系更密切、拓展更宽广；另一方面要编写新教材，有机整合跨学科知识、开放型知识、创新型知识。

4.3　活化课堂

为适应新时代教育的发展，当前课堂教学改革已经取得巨大成就，小班教学、对分课堂、翻转课堂等新的课堂教学形式层出不穷。课堂教学改革的主要目的是提高教学效率、提升教学效果。“五何”教育的整合性特征一方面要求知识的传授要点面结合、加强联系、提升效果，另一方面要求拓展课堂的形式，将第二课堂、学术讲座、科学体验有机整合。在“五何”教育的框架下，课堂的概念不再局限于教室和学校，而是将家庭课堂和社会课堂融入到课堂的理念，运用观察学习、体验学习、生活技能培养等沉浸式、现场式、参与式的教育方法提升教学效果。

4.4　加强科普

著名思想家培根说过：一个民族是否真正热爱和理解科学，决定了这个民族的竞争力和发展前景[15]。科普是科学传播的重要途经，也是儿童青少年学习科学知识的有效方式。《人民日报》刊发的文章[16]指出，及时、有料的科学普及和知识传播，不仅能够及时解疑释惑、提升全社会对各种流言和虚假宣传的鉴别力，还能激发各界群众了解新知识、新技术的热情，也有利于激励更多青少年投身科学研究和科普事业。与课堂教学相比，科普作品能更好地针对某一问题、某一领域进行透彻、系统地描述。此外，博物馆及其他科普场馆在科普教育中发挥的作用也不容小觑。当前，我国公民的科学素养较低，急需把科普和科技创新放在同等重要的位置。通过生动活泼的科普教育，让学生理解科学、体验科学，培养科学思维，树立科学精神，进一步促进“科教兴国”战略的实施。

4.5　社会引导

社会环境对儿童发展产生多方面的影响。社会环境与学校的和谐一致是教育成功的标志。社会环境与教育的脱节严重影响教育的效力和效果。社会引导即是社会各界学科学、传科学、用科学的环境，一方面通过社会教育的形式促进学生的知识学习，另一方面通过与学校教育的对接让学生体会教育的和谐一致之美、真实实用之力。家长、教师、公职人员等个人和组织应摒弃不良社会风气、遵纪守法，为学生构建与教育内容吻合的社会规则。专家学者应承担起传播科学，营造气正风清的社会环境的责任，改变“砖家”、“叫兽”的负面形象。国家应该加强对广告、媒体所发布内容真实性的审查和处罚力度，营造良好的社会氛围。

“五何”教育的实施依赖于多方举措。“五何”教育本身对知识整合和知行合一的强调决定了其实施过程的多方统一。“五何”教育内部的递进关系又决定了其对“为何”和“如何”更加重视，比教育应该教什么更重要的是教育应该如何教。如何使所教知识有用，如何最大化教育的效益是“五何”教育格外关注的问题。

5　小结

本文基于大脑的信息加工通路提出“何时”“何事”“何处”“为何”和“如何”的“五何”教育。“五何”教育从大脑加工信息的类型角度阐述教育内容，与传统的学科教育并行不悖。“五何”教育强调“为何”和“如何”对“何时”“何事”“何处”的整合，强调在整合基础上的行为决策，强调自下而上和自上而下的信息加工的动态交互；因而，“五何”教育具有整合性、系统性等特点，既符合“知行合一”的教育观念，又符合实践-认识-实践的辩证唯物主义思想。

“五何”教育天然内含了创造力对知识系统化和灵活应用能力的需求，同时又特别强调行为决策对适应性认知世界的重要作用。这些特征决定了“五何”教育在培养创新型、实践型人才中的基础性作用，强烈响应了时代需求和国家要求。未来人才不仅应具备扎实的知识，还应具有科学和创新的思维；不仅应明事理，还应懂做人、会做事；不仅应理解什么是中国特色社会主义，还应懂得怎样建设社会主义。“五何”教育恰恰为完善的“知”和正确的“行”奠定了基础，因而必将为教育改革和国家发展贡献巨大的力量。

参考文献

[1]　WATSON J B. 华生氏行为主义[M]. 陈德容，译. 上

海：商务印书馆，1935.
[2] 董 奇. 运用认知神经科学读懂孩子的学习[J]. 教育家，2018(40)：62-63.
[3] MURRAY J D, BERNACCHIA A, FREEDMAN D J, et al. A hierarchy of intrinsic timescales across primate cortex[J]. Nat Neurosci, 2014, 17(12): 1661-1663.
[4] UNGERLEIDER L G, HAXBY J V. 'What' and 'where' in the human brain[J]. Curr Opin Neurobiol, 1994, 4(2): 157-165.
[5] BATTELLI L, PASCUAL-LEONE A, CAVANAGH P. The 'when' pathway of the right parietal lobe[J]. Trends Cogn Sci, 2007, 11(5): 204-210.
[6] COLE M W, REYNOLDS J R, POWER J D, et al. Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control[J]. Nat Neurosci, 2013, 16(9): 1348-1355.
[7] KOTZ S A, BROWN R M, SCHWARTZE M. Cortico-striatal circuits and the timing of action and perception [J]. Curr Opin Behav Sci, 2016(8): 42-45.
[8] SWINGLER M M, PERRY N B, CALKINS S D. Neural plasticity and the development of attention: intrinsic and extrinsic influences [J]. Dev Psychopathol, 2015, 27 (2): 443-457.
[9] POSNER M I, ROTHBART M K, SHEESE B E, et al. Control networks and neuromodulators of early development[J]. Dev Psychol, 2012, 48(3): 827-835.
[10] FUHRMANN D, KNOLL L J, BLAKEMORE S J. Adolescence as a sensitive period of brain development [J]. Trends Cogn Sci, 2015, 19(10): 558-566.
[11] 林崇德. 发展心理学[M]. 3 版. 北京：人民教育出版社，2018.
[12] 戴钢书，王一峰，徐瑞鸿，等. 两次磁共振调查对思修课六项教学工程手段教学效果的检验与支撑[C]. 全国思想政治教育高端论坛. 北京：人民出版社，2013.
[13] BERKES P, ORBÁN G, LENGYEL M, et al. Spontaneous cortical activity reveals hallmarks of an optimal internal model of the environment[J]. Science, 2011,331(6013): 83-87.
[14] 程 磊. 新中国 70 年科技创新发展：从技术模仿到自主创新[J]. 宏观质量研究，2019，7(3)：17-37.
[15] 牛红艳. 青少年科普教育活动的实践与探索[J]. 图书馆建设，2007(3)：17-19.
[16] 蒋建科. 创新谈：科学普及是一项系统工程[N]. 人民日报，2020-07-13(19).

(上接第 203 页)

[63] DUMONTHEIL I, BURGESS P W, BLAKEMORE S J. Development of rostral prefrontal cortex and cognitive and behavioural disorders[J]. Dev Med Child Neurol, 2008, 50(3): 168-181.
[64] KACELNIK A. Tools for thought or thoughts for tools? [J]. Proc Natl Acad Sci U S A, 2009, 106(25): 10071-10072.
[65] SCHWARTZ D L, HOLTON D L. Tool use and the effect of action on the imagination[J]. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2000, 26(6): 1655-1665.
[66] DEÁK G O. Development of adaptive tool-use in early childhood: sensorimotor, social, and conceptual factors [J]. Adv Child Dev Behav, 2014(46): 149-181.
[67] MILLER L E, LONGO M R, SAYGIN A P. Tool use modulates somatosensory cortical processing in humans [J]. J Cogn Neurosci, 2019, 31(12): 1782-1795.
[68] SUN Y, TANG R. Tool-use training induces changes of the body schema in the limb without using tool[J]. Front Hum Neurosci, 2019(13): 454.
[69] PARK G D, REED C L. Functional tool actions in near and far space affect the distribution of visual attention along the tool[J]. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2020, 46(4): 388-404.
[70] LOMBAO D, GUARDIOLA M, MOSQUERA M. Teaching to make stone tools: new experimental evidence supporting a technological hypothesis for the origins of language[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 14394.
[71] LARSSON M. Tool-use-associated sound in the evolution of language[J]. Anim Cogn, 2015, 18(5): 993-1005.
[72] YANG J, SHU H. Passive reading and motor imagery about hand actions and tool-use actions: an fMRI study [J]. Exp Brain Res, 2014, 232(2): 453-467.
[73] BADETS A, MICHELET T, DE RUGY A, et al. Creating semantics in tool use[J]. Cogn Process, 2017, 18(2): 129-134.
[74] DEHAENE S, PIAZZA M, PINEL P, et al. Three parietal circuits for number processing[J]. Cogn Neuropsychol, 2003, 20(3): 487-506.
[75] YOO K, SOHN W S, JEONG Y. Tool-use practice induces changes in intrinsic functional connectivity of parietal areas[J]. Front Hum Neurosci, 2013(7): 49.
[76] GARCEA F E, BUXBAUM L J. Gesturing tool use and tool transport actions modulates inferior parietal functional connectivity with the dorsal and ventral object processing pathways[J]. Hum Brain Mapp, 2019, 40(10): 2867-2883.