

公开课演讲实录 | 尧德中：脑器交互学，一个发展中的新学科

奖励办 人工智能人物 1周前



导读：为发挥多学科综合交叉，引领前沿的科学家品牌，推动人工智能赋能地方传统产业转型升级，促进人工智能创新融合发展，中国人工智能学会结合吴文俊人工智能科学技术奖成立十周年主题活动，联动吴文俊人工智能科学技术奖办公室和吴文俊人工智能科学技术奖评选基地发起主办“人工智能产学研创新融合科普公开课”。**第四期公开课已于2020年6月27日晚上20:00-22:35（北京时间）进行了线上直播。**“科普公开课”采用单位推荐及专家报名的并行方式，邀请了国内知名行业企业、科研院所及医疗机构专家参加在线视频论坛，四位重量级嘉宾分别作了专场报告，干货满满，现小编分期整理出报告嘉宾的演讲实录，适时为各界同仁进行分享，欢迎大家持续关注“人工智能产学研创新融合科普公开课”精彩报告。



尧
德
中

专家简介：电子科技大学信息医学研究中心主任，生命科学与技术学院首任院长（2001-2017）；四川省脑科学与类脑智能研究院院长，神经信息科技部国际联合研究中心主任/教育部重点实验室主任。中国脑电联盟理事长，中国生物医学工程学会副理事长，中国认知科学学会理事，全国人大代表，全国优秀教师；杰青，长江学者，AIMBE Fellow。代表性工作：原创脑电零参考技术获国际学术组织推荐使用，被纳入EEGLAB等主流软件，已成为脑电领域主要参考之一；倡导建立脑器交互学学科，获得同行初步认可。获国际脑电图与临床神经科学学会(ECNS) Roy John Award以及教育部自然科学一等奖等。

报告题目：脑器交互学，一个发展中的新学科

报告摘要：定义脑器交互学(Brain-Apparatus-Conversation+omics—Bacomics) 为脑与脑外人体器官以及脑与环境、器械之间对话的新兴交叉学科。对话渠道的损伤、中断或对话内容的扭曲就是各种疾病的状态。BAC研究涉及大脑功能作用的正常发挥、异常大脑功能的干预与矫正，以及脑功能的维护与增强。本报告将结合实例，较详细的介绍BAC的概念和内容分类，探讨相关技术在多个方面的应用现状和可能的未来发展。最后介绍了我们近年来在相关方面的研究进展，主要包括脑波音乐技术及应用；视频动作游戏及应用；脑控机器人及应用等方面的内容。

论坛授课环节

张成文（主持人）：大家好，欢迎新老朋友，欢迎各位嘉宾。我是主持人，北京邮电大学的张成文。大家来到的是人工智能产学研创新融合科普公开课，今天是第四期线上直播论坛。吴文俊人工智能科学技术奖是我国在智能科学技术领域的最高奖，具有提名国家科学技术奖资格，欢迎大家来申报。



我们邀请已获奖、将来获奖的来自产学研各界的专家来到论坛进行交流和分享。下面给大家隆重的介绍嘉宾。

第一位嘉宾是我国脑信息专家、四川省脑科学与类脑智能研究院院长尧德中教授。欢迎您的到来。尧教授作为全国人大代表上月刚刚参加两会，为我国的科技发展建言献策，他也是去年刚刚成立的中国脑电联盟的首任理事长，也是中国生物医学工程学会的副理事长。美国医学与生物工程学院的Fellow，长江，杰青，做出了很多开创性工作。

第二位嘉宾是剑桥大学生物医学与工程研究组负责人滕忠照教授，欢迎您的到来。滕教授致力于产学研结合，创立了景三医疗进行成果转化。

第三位嘉宾是天坛医院脑血管外科主任张东老师，欢迎您的到来。张主任是中国卒中学会脑血管外科分会副主委，在很多协会和学会做推动工作，承担多项国家项目，获得了包括国家科技进步二等奖在内的多个奖项。

第四位嘉宾是数坤科技CTO郑超老师，欢迎您的到来。郑总是大数据、人工智能、云计算全球资深专家，在IBM等多个公司从事专业领导工作。

再次感谢各位老师莅临论坛授课，下面我们进入精彩的授课环节。

脑器交互学是一门新兴的交叉学科，是以大脑为中心。覆盖了多种类型的脑器交互方面的问题，包括脑与脑外人体器官，脑与环境，脑与器械之间单向或者双向一些通信问题。下面有请尧德中教授给大家讲授**脑器交互学，一个发展中的新学科**，有请。



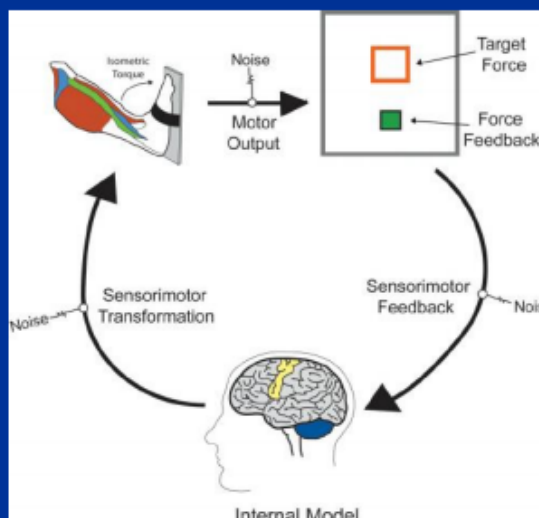
谢谢组委会的邀请，有这个机会跟大家分享我们对脑器交互的一些认识。我们把它定位为一个发展中的新学科，下面我从三个方面给大家介绍。先讲几个例子，然后再讲一下脑器交互学到底是什么，最后介绍一下我们的工作。

01 脑器交互的例子

例子1A（运动）



体内有一个精致的感觉运动系统
(脑-身体运动器官)



大脑、小脑、肌肉、关节、肌梭..各司其职

图片来自开源网络

先看例子，这里是运动的例子，不管是人类还是动物界的。运动起来都非常得心应手，还有一种美感。为什么我们具有这么好的运动能力呢？因为我们体内有一套非常精致的感觉运动系统，也就是我们的脑和身体运动器官之间有很好的和谐而协调的配合。这中间涉及到很多脑外器官，包括肌肉、关节器官等。基于这个生物的例子，我们在想，**如果不是用人本身器官，大脑能不能控制外界的器械，也能够做很好的运动？这就是脑机结合的内容。**这方面去年有个非常热的例子，就是用脑电信号来控制机械手去跟踪一个物体的二维运动。这个运动跟前面人的运动或者动物的运动相比还是有很大的距离。

例子2B（听觉）



脑-电子器械

色盲的世界



电子人：Neil Harbisson

将颜色转换成声音/频率

- 听颜色（色盲）
- 听紫外、红外
- 将声音转换成颜色（艺术）

https://en.wikipedia.org/wiki/Neil_Harbisson

再看一个听觉的例子，假设我们在一个鸡尾酒会场，环境是非常嘈杂的，但是人类能够去倾听某一个人的声音，而屏蔽掉其它的声音，说明我们这套听觉系统具有很强的空间定位能力，以及屏蔽或者筛选能力。为什么我们有这种能力呢？还是得益于脑和听觉器官之间相互的配合。与这个对应的，人造听觉系统也是有的，最容易想到的就是人工耳蜗。但我这里举的例子是网上可以搜得到的，一个所谓电子人（Neil Harbisson）的例子。他是一个全色盲的患者，他看到的世界是一个黑白世界，为了他能看到彩色东西，工程师为他装了一个摄像头，把不同颜色转换成频率，通过他的颅骨传递到他的听觉系统。通过这样一套系统再加上一些训练，他听到不同的频率/不同的声音就对应到不同的颜色，从而使他最后具有了听颜色的能力。**这套系统因为是人为设计，甚至可以听紫外、红外。反过来还可以把声音转换成颜色，不同人讲话，声音/颜色频率不一样，可以换成不同的颜色。**

例子的启示



- “脑” --- “生命**器**官Organ” 之间的交互 （进化）
- “脑” --- “非生命**器**械Machine” 之间的交互 （技术）

Apparatus（器）：

器械 - machine 非生命

器官 -- organ 生命（含脑）

} 泛指“脑外事物”

脑器交互(BAC):

Brain-Apparatus-Conversation (BAC)

这些例子给我们一个启示，人类在进化过程当中形成了脑与生命器官的交互，这个交互目前看是非常有效的，已经是我们生命和生活的非常重要的方面；另一方面，近年科学技术的进步，人们又发展了脑与非生命器械的交互，比如机械手，或从颜色到频率的转化器。这两类交互，在中文字里面都有一个共同的字就是“器”字。那么英文单词里面是否也有一个共同的字呢？我们去查字典，还真发现了这么一个字，就是apparatus，它在英文单词里面也能够同时表示器械和器官，因此，我们选用“apparatus”来同时表达生命和非生命的“器”。基于这样一种背景，我们特别提出了“脑器交互”概念，据此，**我们就可以把脑与生命器官，和脑与非生命器械这两类交互统一起来**。我们也回溯一下文献，发现最早的脑机接口论文（1973）中就用了这个单词来代表宇宙飞船

和康复器械，同时在生物通讯方面的论文中，也用了这个单词来描述生物的听觉系统的器官，这说明这个“apparatus/器”字不管是国内还是国外都不是一个陌生的词，是可以为大家所接受的。

02 什么是脑器交互学？

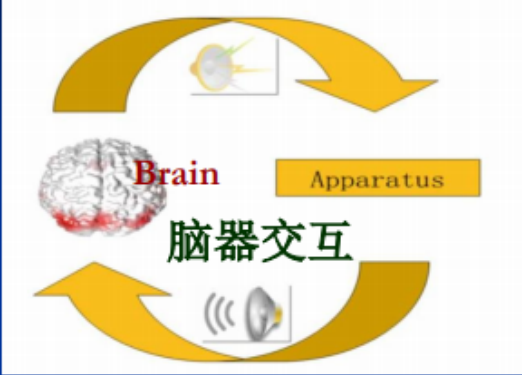
发展历程



从脑机接口到脑器交互

From Brain-Computer Interface(BCI)
to Brain-Apparatus Interaction (BAI)

尧德中
神经信息教育部重点实验室
电子科技大学 成都



Brain Apparatus
脑器交互

Yao D. 2010-11-26 中国第一届脑机接口大赛（清华大学）会议邀请报告

Yao D. LNAI 10654, pp.315-324, 2017

Cognitive Neurodynamics
<https://doi.org/10.1007/s11571-020-09577-7>

REVIEW PAPER

脑器交互学

Bacomics: a comprehensive cross area originating in the studies of various brain-apparatus conversations

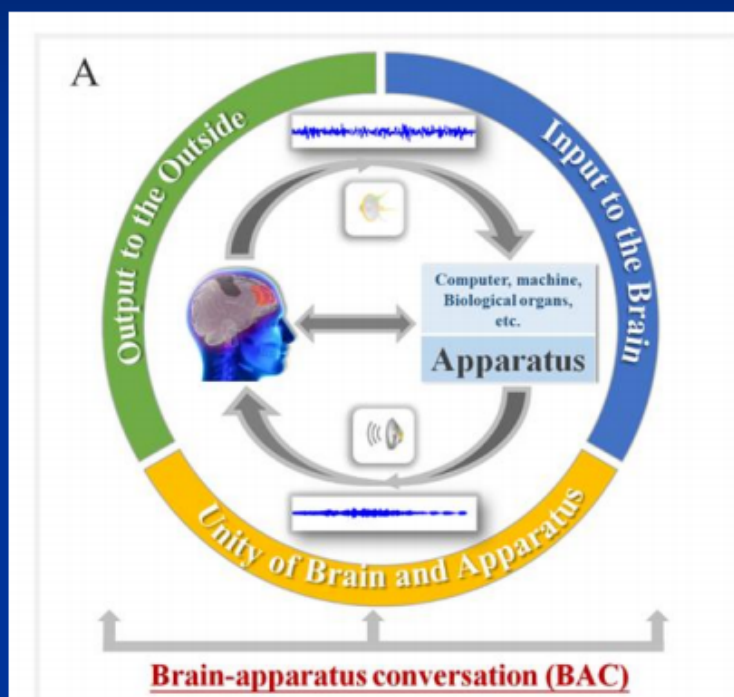
Dezhong Yao^{1,2,4,5} · Yangsong Zhang^{1,2,3} · Tiejun Liu^{1,2,5} · Peng Xu^{1,2,5} · Diankun Gong^{1,2,5} · Jing Lu^{1,2,4} · Yang Xia^{1,2} · Cheng Luo^{1,2} · Daqing Guo^{1,2,5} · Li Dong^{1,2,5} · Yongxiu Lai^{1,2} · Ke Chen^{1,2,5} · Jianfu Li^{1,2,5}

Received: 20 June 2019 / Revised: 17 February 2020 / Accepted: March 2020
© Springer Nature B.V. 2020

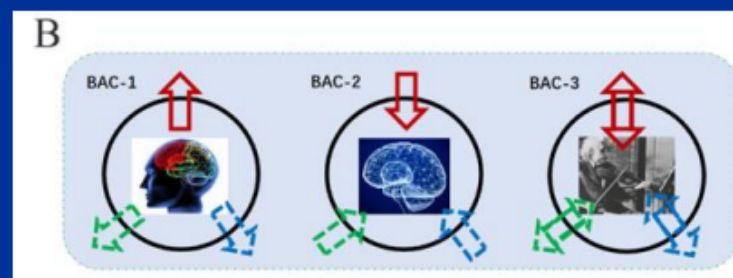


有了这些例子之后，下面我们来介绍脑器交互学到底指的哪些内容？实际上，**在我们课题组内部，大概是在2008年就开始用脑器交互(Brain-apparatus Interaction)这个概念**，但第一次在公开场合讲，是2010年11月26日，在清华大学举办的中国第一届脑机接口大赛会议上，我的大会报告题目就是“从脑机接口到脑器交互”，2017年，我们在一个国际会议上做了类似的介绍，今年则正式发了一篇文章 (Cognitive Neurodynamics,2020)，并延伸提出了脑器交互学(Brain-apparatus conversationss+omics,Bacomics)的框架，我们定义它为涵盖各种脑器交互的一个综合性领域。

主要内容



研究内容



- BAC-1 输出为主
- BAC-2 输入为主
- BAC-3 双向沟通

下面介绍一下脑器交互学到底包含哪些内容？从这张图上可以清晰的看到，左边是我们的大脑，右边这个器可以是计算机/机器，也可以是生物器官。他们间的交互包括三个方面，**大脑“输出”到器，器反馈“输入”到大脑，以及两者之间的双向通讯。**

这样一来，我们研究的内容也可以分成三类。

第一类以输出为主，这里面需要解决的问题就是，输出通道可能不流畅，甚至出了问题，我们需要修复这个输出通道，或者开辟新的输出通道，常见的脑机交互里面的脑控外界设备，实际上就是用了一个新通道，从头表取信号来控制外界设备。

第二类以输入为主，传统输入通道，比如说我们生病了出现头疼，一般是通过吃药去解决这个问题，吃药是通过消化系统，然后再经过代谢系统等把关键分子送进大脑去解决问题，然而，许多难治性疾病的存在说明这条通路是不够的，此时，我们就应该想想是不是可以开辟另外的通道呢？比如用电刺激去完成这样的工作呢？深部脑刺激就是这样的方案。

第三类是双向沟通的情况，对一般大众而言，我们的通道或者大脑都没有大的问题，但是我们希望变的更加强大，这个时候也需要改进我们的输入输出通道，或者更好的更有效的利用输入输出通道，甚至开辟新的通道。

脑器交互的内容，细说起来是相当丰富的，如果它们遵守一些共同的基本的规律，就可以把它当成一个学科来对待，并予以发展。当然，如果把它当成一个新学科，我们也要问：它的学术意义在哪里呢？**我们觉得它是一个横跨脑认知、脑疾病和混合智能领域的一个新学科，它里面有一些基本原理、基本技术对这些领域都有用。**更详细的内容可以参考百度百科的“脑器交互学”词条。



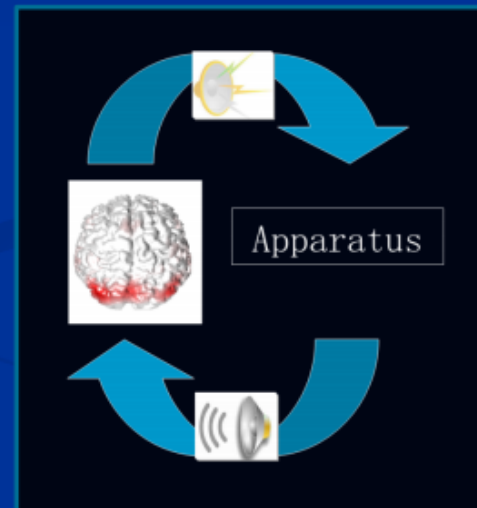
作为一个学科应该有一些基本原理，为此我们也在思考哪些原理可以作为脑器交互学的基本原理呢？我们认为，**第一个应该是正负反馈的原理**，这个在控制科学里面讲的很多，与我们这里对应的就是神经反馈，可以通过反馈信号来调节大脑跟外界的沟通，这是一个最基本的原理。



第二个原理我们称之为脑器合一的原理，我们想强调的是，脑和器之间的交互最理想的情况应该是它们共享某些相同的规则，基于相同规则进行交互，那就会非常的流畅。比如说音乐和脑电，现在已有很多研究发现，音乐很多属性都满足指数规律。同样我们的神经信号，也基本上都满足这样的指数规律，说明他们服从了相同的规则。有了这样的共同规律之后，我们就可以把脑电翻译成音乐，也可以把音乐翻译成“脑电”，从而可以比较自然的实现双向沟通。

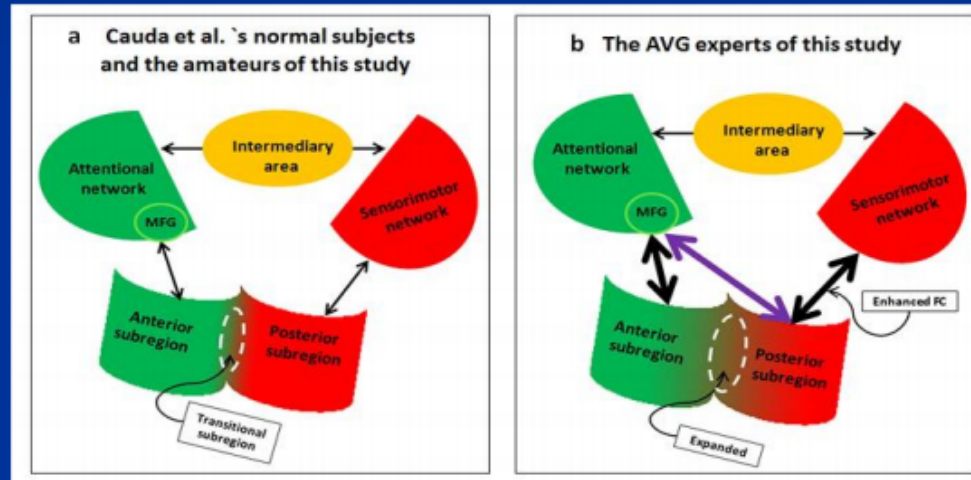
3. 系统性原理

- 脑的问题可能来自器官
- 器官的问题可能来自脑
- 通路也可以是问题之源



第三个基本原理就是系统性原理，对此可以从三个方面去理解，第一个就是，有些时候我们觉得大脑好像出了问题，但实际上问题可能来自于器官，比如说在当下的脑-肠轴概念下，大脑感觉不舒服，有可能是你吃了不合适的东西；同时，器官的问题也可能来自大脑，我们还是举脑-肠轴的例子。比如你拉肚子了，其真实原因不一定是肠胃有问题，有可能是大脑发出了错误的信号，比如有的人会在高考的时候拉肚子，高考一结束毛病就好了，其实就是因为大脑发出了错误的信号。当然也可能是两个都没有问题，而是通道出了问题，这个当中有很多例子，这里就不讲了。总之，我们看到的任何一个问题，都应该站在系统的角度去思考。

4. 脑的可塑性原理/脑功能重组原理



普通人与游戏专家组

Gong et al 2015,2016,2017

第四个是大脑的功能重组原理/可塑性原理，我们人从小到大、从大到老，在这个过程当中大脑一直在变化，它怎么变化取决于它受到了什么影响。这里举一个例子，比如游戏对大脑的影响。考察脑岛相关的影像脑网络，与不打游戏的普通人相比，长期打游戏的人，他的脑功能连接发生了明显的变化，有的连接会加强，甚至会出现特异的新连接。



第五个是对立统一原理，这里有很多的例子，比如尼古丁，这个抽烟的人应该很有体会。那么多资信都说抽烟有害，但还是有很多人要去抽烟，为什么呢？我觉得，至少抽烟时会有短暂的消除压力的功效，让你感到一丝的轻松，因此可以认为它是利、害兼具的。又比如打游戏，学龄儿童的父母都觉得打游戏是一件非常糟糕的事情，但我们很多为人父母的成人也在打游戏，可见它也是利、害兼备的，关键是不同的人、不同的阶段应该打不同的游戏。其实还包括音乐，我们一般认为音乐都是好的，但实际上也不是，有的音乐也会有副作用的。

除了这些基本原理外，我们还可以梳理出这个学科需要解决的很多重大科学问题，所以我们也希望今天的听众，如果有兴趣，也欢迎一起来做相关的工作。



第一是交互的原理与机制问题。这里面尤其是信息学的机制，我们今天的主题是人工智能。这里就涉及到信息科学、认知科学和神经科学的深度合作，怎么把神经科学和脑科学的原理变成信息科学意义上的原理？这是类脑智能需要重点做的事情。

第二是重大脑疾病的干预和调控。人类当今面临的重大神经精神疾病，有相当一部分仍然是无从下手的，说明传统的干预和调控方法没有能够对准问题的靶心，在我们这个脑器交互的框架下，也许能够找到一些新的干预调控途径，尤其是基于信息科学和脑信息原理的干预调控新途径。

第三是特殊人员的筛选、培训和能力的增强，我们应该让每一个人干最适合他的工作，因此我们首先要了解他适合做什么，我们可以通过交互技术发现相关的标识。

第四，类脑智能。我们觉得脑和身体器官的交互里面有很多机制与技术可以转化成智能技术，我们以为，类脑智能不只是若干抽象的算法，更应该是脑在参与很多具体工作中，所表现出来的特殊智能的转化和应用。

03 我们的一些研究工作

下面我给大家汇报一下我们实验室做的一些工作。再回到刚才讲的脑与音乐的关系，前面我们讲了脑与音乐不仅在信号形貌上具有相似性，关键是他们符合共同的规律，另外他们都能够反映人的情绪，这说明它们两个之间一定有内在的联系。基于这个联系，我们前些年发展了**脑波音乐技术**。我在这给大家播几段音乐，大家听一下看。



大家可以非常清楚的听到这两段脑波音乐表达的情感完全不一样（一段REM脑电，一段SWS脑电）。重要的是，我们翻译脑波到音乐的时候，采用的是统一的规则，并不是像有的脑波音乐那样，有意把一段音乐翻译成什么情绪情况，**我们是基于它们共同遵守的科学规律进行翻译的，翻译结果很好的表达了脑电的情绪等状态内涵**，说明这个翻译确实抓住了问题的本质，这是我们这个脑波音乐比较独特的地方。

再给大家听一段脑波音乐（老年痴呆患者的脑电）。和前面两段音乐不太一样，从专业人士来看，他们觉得这个音乐非常的简单。但是对于我们这些普通听众来讲，这段音乐并不难听，实际上这段音乐是一位老年痴呆患者的脑电，**这类患者的大脑从结构到功能都变的越来越简单，越来越单纯。**从这个意义上讲，可能是没有那么丰富多彩了，但是他们并不一定痛苦，痛苦的是周围的人，因为没有办法跟他们沟通了。

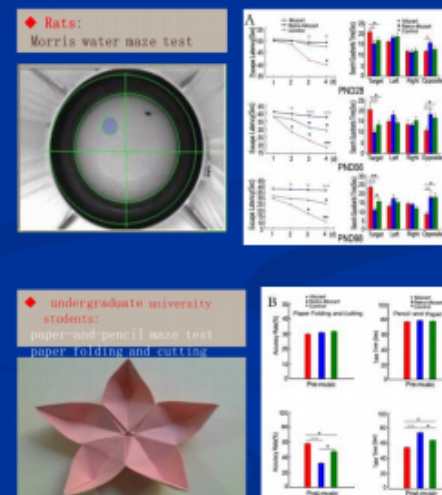
现在再来看一个工作，音乐怎么影响大脑？再给大家听两段音乐。

脑与音乐：音乐训练



改变空间记忆能力

安静状态



Xiong, Yao et al 2016

大家是不是觉得这两段音乐都很好听呢？我在其它地方报告的时候，我会让大家举手选择你最喜欢哪一段音乐，发现喜欢这两段音乐的人基本上是50%对50%，实际上第一段音乐是莫扎特K448，第二段音乐也是K448，但是从最后一个音符反过来播的，两种情况播放的物理量是一样的，只是顺序发生了变化。这样两段音乐让老鼠和人去听，结果发现，听K448都会增强空间记忆能力，但听反向的K448，空间记忆能力跟不听的人相比，不仅没有增强，而是有降低的。这就表明一个问题，**音乐也不一定总是有利的**。有文献报道，有个别作曲家的音乐，他的音乐正向播也有负作用的。但是在现实生活当中，有的人就喜欢听反播的音乐，这个就像我们前面讲的对立统一规律一样，他可能在听的过程中获得了某种意义上的快乐，但他也可能受到了某些伤害，这个就看当时情景下，他最需要的是什么。

脑与游戏：脑控游戏



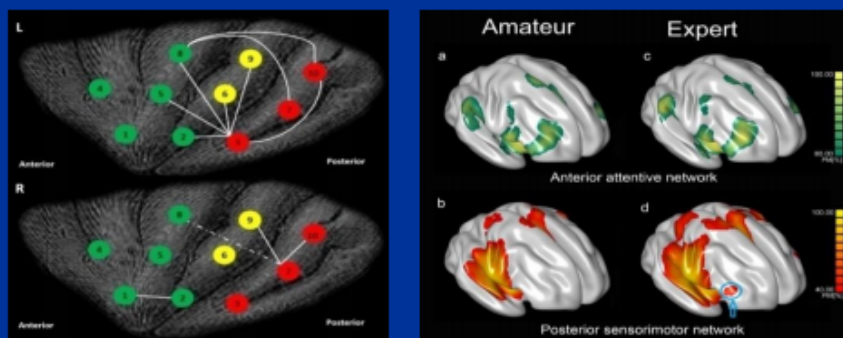
再看游戏，我们可以用脑机接口控制游戏，可以设计一个虚拟的小游戏，然后用脑电去控制场景里面的人去穿越障碍，过程中能不能有效的避开这些障碍，反映了其大脑的某些特征。这种游戏在概念上可以用来训练人的注意力以及决策能力等。

长期训练—专家组

脑岛灰质体积有明显的增加

脑岛亚区间的功能连接性明显加强

脑岛与注意、感觉和运动相关脑区之间的功能连接性明显增强



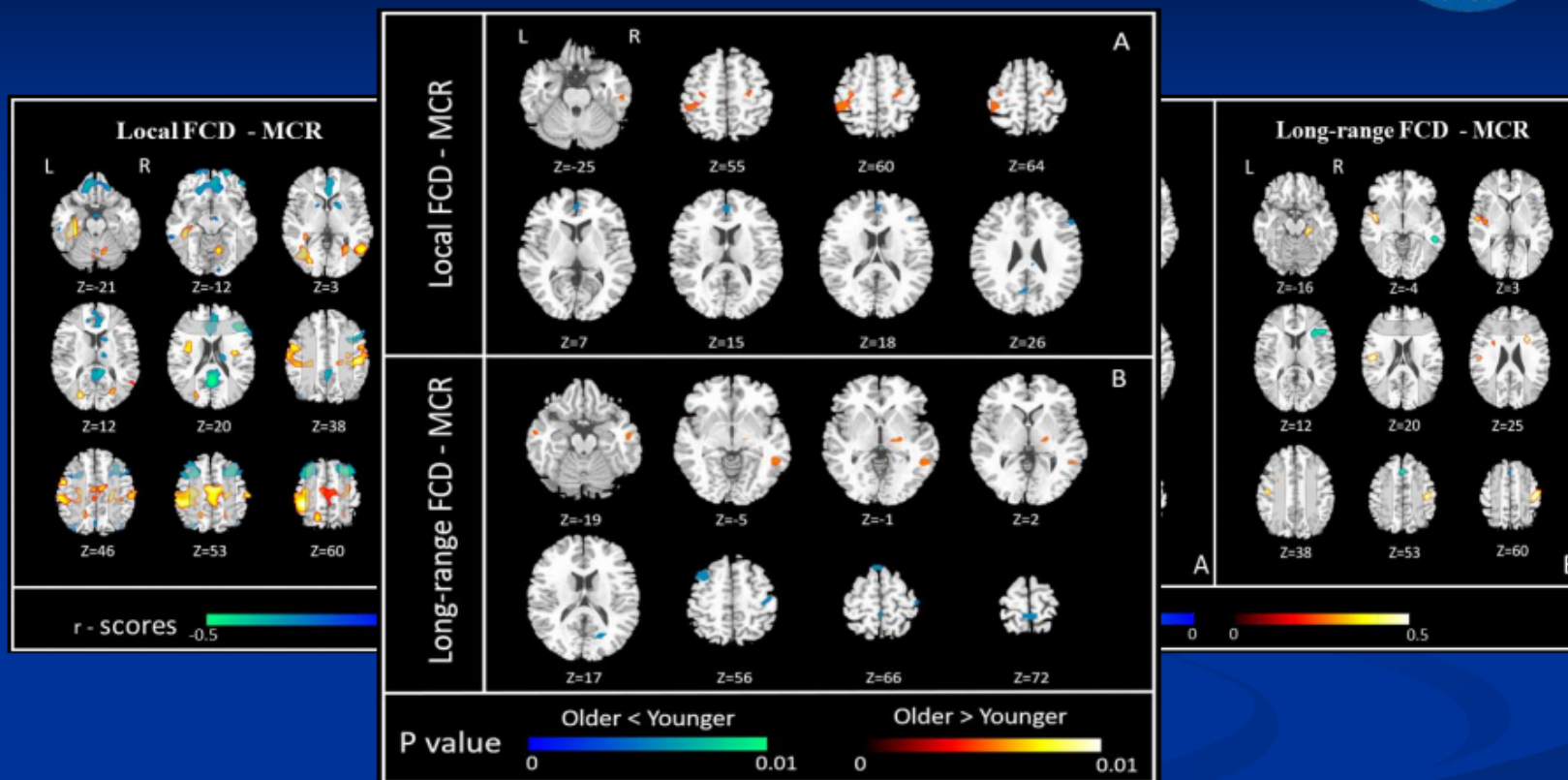
Gong et al 2015,2016,2017,2019

刚才讲了脑控游戏，再回过来看看游戏对人有什么影响？现在打游戏的人是很多的，据说有近一半的人一天会玩一个小时候的游戏，因此中国大概会有5-6亿人每天要玩一个小时游戏，可见游戏已经是现代人类社会生活的一个基本要素，我们必须去正视它、认识它。我们这些年在这方面做了比较多的工作，**发现长期的游戏经历，对大脑会有很大的影响。以脑岛为例，我们发现它的灰质体积，也就是神经元的数量都会有明显的改变。**

如果将脑岛分成前后亚区，可见游戏者前后亚区之间的连接有明显的增强。再看脑岛与其它脑区之间的功能联结，可以发现长期打游戏的，甚至会出现新的功能联结。说明游戏可以改变大脑结构和功能网络组织，自然也就改变大脑的功能，但改变是有益还是有害的，这个取决于是什么游戏，打了多少时

间，改变了哪些结构和功能属性，需要用严谨的科学实验来回答，也只有通过科学实验，我们才能扬长避短，发挥它好的方面，尽量回避它不好的方面。

脑与肾脏



Li,Luo, Yao etal NeuroImage, 2019

我们也做了**脑网络与肾脏氧合水平关系的研究**，观察可以发现大脑里的血管网和肾脏血管网有很多相似的地方，他们对氧气都非常敏感。我们发现大脑功能联结密度与肾脏的氧合水平是有相关性的，老年人和年轻人的相关性也不一样。当然，这个研究只是反映了大脑与脏器之间的关系，它们之间更深层次的交互作用，还需要结合生物学的其它手段进行研究。

我今天要讲的主要内容就是这些，我们觉得这是一个非常有意思的领域，我们后面还准备去创办一个期刊，如果顺利的话，预计在明年开始出版，到时候也欢迎大家来投稿，共同推动这个领域的发展。我就讲到这个地方，谢谢大家。

张成文（主持人）：“谢谢尧教授精彩授课，通过尧教授的讲解，我觉得脑器交互学的方向可能有两个。一个是治疗脑，另外一个增强脑，治疗脑就是治疗与脑相关的一些疾病，比如帕金森。增强脑比如脑控机器人，请尧教授多指导，非常感谢您的精彩授课。”

互动对话环节



张成文（主持人）：“首先请教一下尧教授，尧教授在学术领域跨界很大，我也是您的粉丝，您刚才在介绍的内容里面，在研究领域里面涉及到脑电、类脑智能、脑器交互，能不能跟观众科普一下这些之间的联系？”

尧德中（报告嘉宾）：“谢谢张老师的问题，脑电、脑器交互、类脑智能它们几个之间既有联系，也有各自独特的东西。比如脑电本身有自己的发生机制问题，同时有很多的应用场景，机制问题应该就是脑电本身特有的课题，但是它的应用场景跟脑器交互或者类脑智能就可能联系上了。类脑智能也有它自己独特的东西，就是人脑智能的生物基础和信息学基础，但研究类脑智能的信息学基础的时候，可能就要用到脑电，也可能用脑器交互平台来进行研究。

脑器交互也是一样，脑器交互本身有一些基础的问题，包括它的基本原理，我们需要去探索，同时，它也是实现类脑智能的途径，而脑电可能是实现脑器交互的重要载体。”

张成文（主持人）：“非常感谢尧教授的分享，既然类脑智能技术是未来人工智能的发展方向，**对于当前从事数据驱动算法智能科研人员来说，如何来迎接这样一个趋势呢？**”

尧德中（报告嘉宾）：“我的理解其实很简单，我们做算法驱动的人工智能的专家在做这个工作的同时，多去交一些脑科学或者神经科学的朋友，了解一些新的脑科学和神经科学的一些原理，然后想办法把它用信息科学实现。现在人工智能也用了脑科学的一些东西，但用的比较少，这个是逐步发展整合的过程。多交一些这方面的朋友，然后一起工作就可以了。”

张成文（主持人）：“智能+提法，在当前阶段是不是比较超前？因为我们现在都在说人工智能+，又提出了智能+，您能不能展望一下，如何从现在的人工智能+向智能+演进，路线是怎么样一个情况？”

尧德中（报告嘉宾）：“这个我的理解，智能+其实就是为这个+提供一个更开阔的空间，我们原来讲人工智能+，很多人就简单理解成深度学习，如果讲类脑智能，或者讲智能+就可以包括类脑智能，也包括脑器交互这些领域。**只是在广度和深度上打开了一个更大的口子，有更多的机会，其实就是希望拥有一个更开放的思维。**”

张成文（主持人）：“非常感谢尧教授的分享，以后有机会还会向您请教学习。”

END ○

小编寄语：看完尧德中老师的报告，您是不是觉得干货满满呢！下期刊继续为大家带来第四期“人工智能产学研创新融合科普公开课”来自剑桥大学心脑血管影像课题组负责人滕忠照老师给我们授课，他的报告题目是：**中风预防——从医学影像，人工智能，到血液动力学**。敬请关注！