

证券研究报告

2024年03月29日

行业报告：行业专题研究

医药生物

# 天风医药产业前沿专题系列研究 脑机接口产业：盛放前夜，未来已至

作者：

分析师 杨松 SAC执业证书编号：S1110521020001

分析师 李慧瑶 SAC执业证书编号：S1110522080004

分析师 张雪 SAC执业证书编号：S1110521020004



天风证券  
TF SECURITIES

行业评级：强于大市（维持评级）  
上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

## 摘要：脑机接口行业市场前景广阔 重点把握场景落地可能

**脑机接口 (Brain Computer Interfaces, BCI)** 是在生物脑与智能机器之间建立信息交流的直接通道，既可以解读脑部信号、控制外部设备，也可以将信息编码输入大脑，实现替代、修复、增强或改善脑功能的作用，以实现大脑与智能机器的双向交互、协同工作及功能融合。

**未来市场发展潜力巨大，鼓励政策频出，应用场景广阔。** 市场端：据麦肯锡2020年研究报告显示，2030-2040年脑机接口全球每年的市场规模可能在700亿到2000亿美元之间；政策端：2024年1月，工信部等七部门发布《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，突破脑机融合、类脑芯片、大脑计算神经模型等关键技术和核心器件，研制一批易用安全的脑机接口产品，鼓励探索在医疗康复、无人驾驶、虚拟现实等典型领域的应用；应用端：科研实验平台重视神经创新技术的研发，具有交叉融合特色实验支撑的能力。神经影像技术研发、神经计算软件研发、神经电子技术研发等多方面神经技术的研发，对神经感知、神经调控和神经计算的研究提供技术支持，开展以脑疾病诊治与康复为核心的重大基础科学问题和智能决策、人机交互等关键技术应用基础研究，布局神经数字疗法、神经电子药物和智能神经康复三个研究方向。

**海外头部公司技术迅猛发展。** 1) Neuralink：2023年9月19日，Neuralink宣布开始招募首次人体临床试验；2) BrainGate：2023年8月，研究合作的科学家在恢复因瘫痪而失去说话能力的人的言语方面达到了一个重要的里程碑，使用植入与语音相关的大脑皮层区域的传感器可以准确地将ALS患者的大脑活动转化为屏幕上的单词；3) Synchron：2023年9月5日，完成脑机接口COMMAND试验患者入组；4) Mindmaze：2023年，公司推出超灵敏控制器Izar，手部运动功能障碍护理获得突破性进展。

**国内代表公司捷报频传。** 1) 诚益通：2024年3月11日，加入由中国信息通信研究院牵头并联合几十家脑机接口领域高校、科研机构、企业共同发起成立的脑机接口产业联盟；2) 翔宇医疗：2024年3月17日，由翔宇医疗联合天津大学、中国人民解放军军事科学院国防科技创新研究院等8家国内从事脑机接口、生物感知反馈、人机交互和系统研发的优势单位共同申报的“国家重点研发计划”生物与信息融合（BT与IT融合）“重点专项”高精度生物感知觉反馈操纵技术与系统项目启动会顺利召开。3) 三博脑科：公司用脑磁图、头皮脑电图、术中电生理、电极植入进行癫痫和帕金森病等功能神经疾病的诊断和病情监测，同时通过迷走神经刺激、DBS等技术方法用于治疗癫痫和帕金森病患者。

风险提示：研发风险、政策风险、市场风险

# 目录

---

一、脑机接口概念

二、应用领域

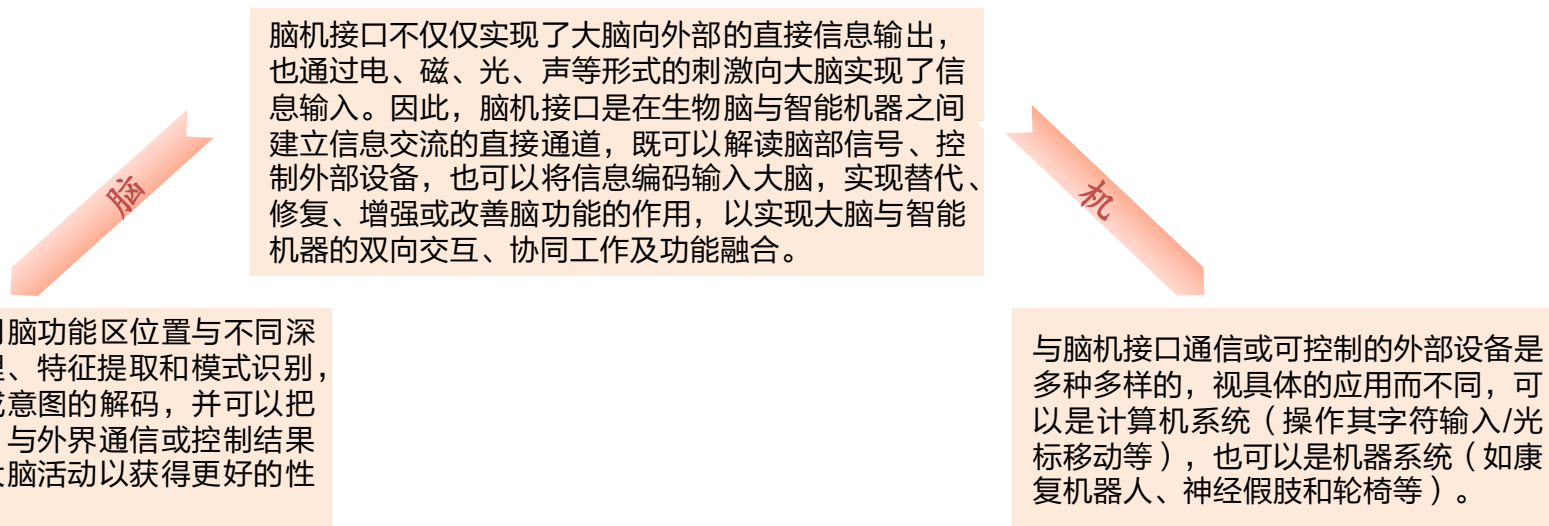
三、临床进展

四、相关标的

## 脑机接口定义

- **定义：**脑机接口（Brain Computer Interfaces, BCI）是在生物脑与智能机器之间建立信息交流的直接通道，既可以解读脑部信号、控制外部设备，也可以将信息编码输入大脑，实现替代、修复、增强或改善脑功能的作用，以实现大脑与智能机器的双向交互、协同工作及功能融合。
- **原理：**脑机接口的原理基础是脑科学，通过采集不同脑功能区位置与不同深度的电信号，并利用预处理、特征提取和模式识别，从而实现对大脑活动状态或意图的解码，并可以把大脑活动状态、解码结果、与外界通信或控制结果反馈给用户，进而调节其大脑活动以获得更好的性能。

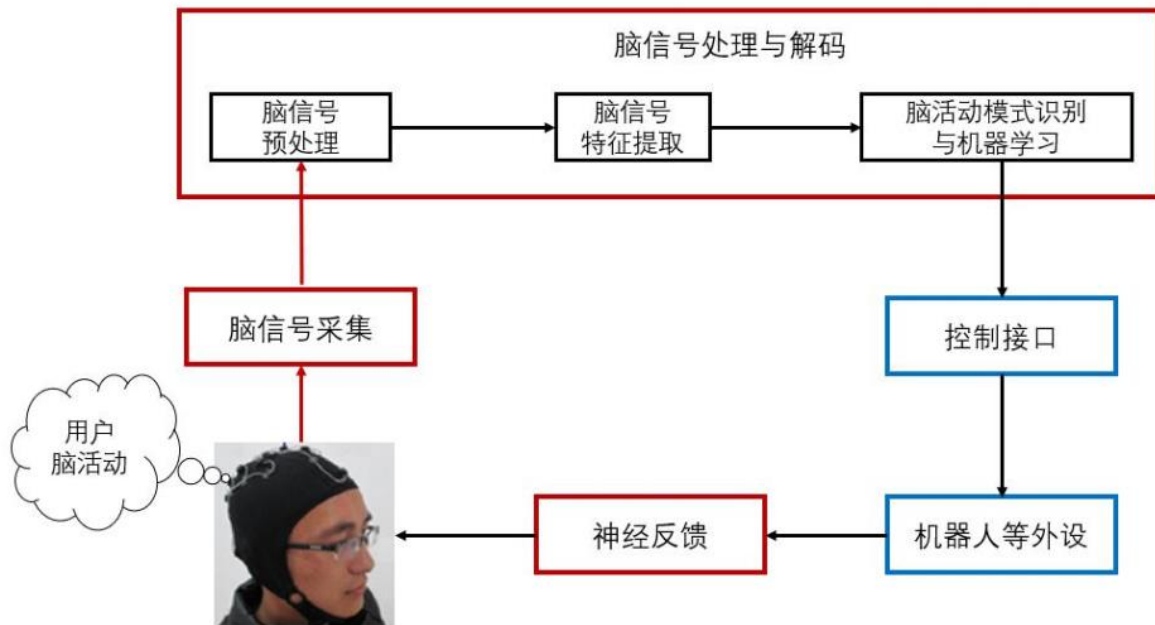
### 脑机接口概念示意



资料来源：《2022脑机交互神经调控前沿进展白皮书》，天风证券研究所

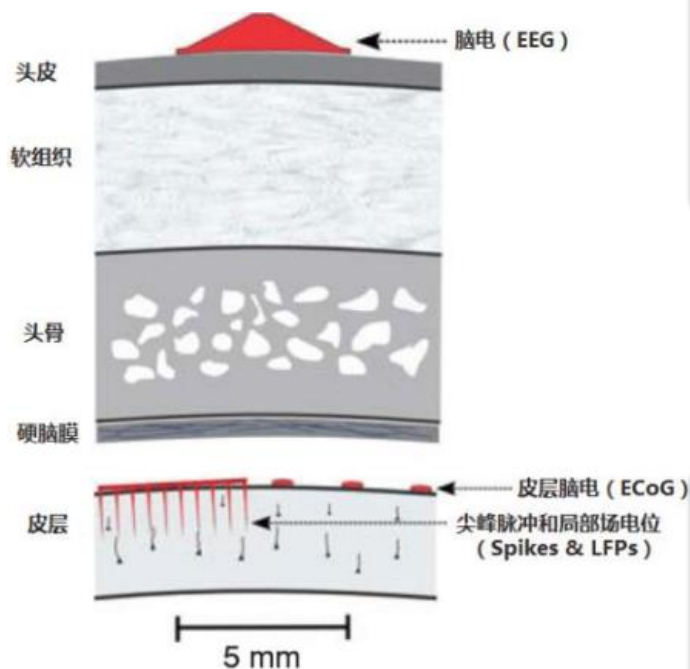
## 脑机接口系统组成及示意图

- 传统或狭义的 BCI 是指利用中枢神经系统产生的信号，在不依赖外周神经或肌肉的条件下，把用户或被试的感知觉、表象、认知和思维等直接转化为动作，在大脑（含人与动物脑）与外部设备之间建立直接的交流和控制通道，其目的主要是为疾病患者、残障人士和健康个体提供可选的与外部世界通信和控制的方式，以改善或进一步提高他们的生活质量。这类 BCI 系统主要由大脑向外部设备输出通信或控制指令（输出式 BCI），并把结果通过神经反馈给用户或被试形成闭环以调节其脑活动信号，从而提升脑机交互的性能。



资料来源：中国人工智能产业发展联盟：脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书，天风证券研究所

## 脑机接口分类：按电极连接方式，分为侵入式/非侵入式脑机接口



植入式

这类脑机接口需要采用神经外科手术方法将采集电极植入大脑皮层、硬脑膜外或硬脑膜下。根据是否植入皮层内或创伤的程度，可分为完全植入式脑机接口（创伤性较大的皮层内记录脑机接口）和微创脑机接口（基于 ECoG 的脑机接口）。侵入式脑机接口的电极长期稳定放置，直接记录神经元电活动，信号衰减小，信噪比和空间分辨率高。但这属有创伤植入，技术难度大，存在继发感染可能性，一旦发生颅脑感染、电极故障或电极寿命结束，需将电极取出，会造成二次损伤。微创脑机接口可能比皮层内记录脑机接口更易实用化，但总的来说，侵入式脑机接口有待深入研究，突破相关技术瓶颈，具有重要的科学研究价值和潜在的应用前景。

非植入式

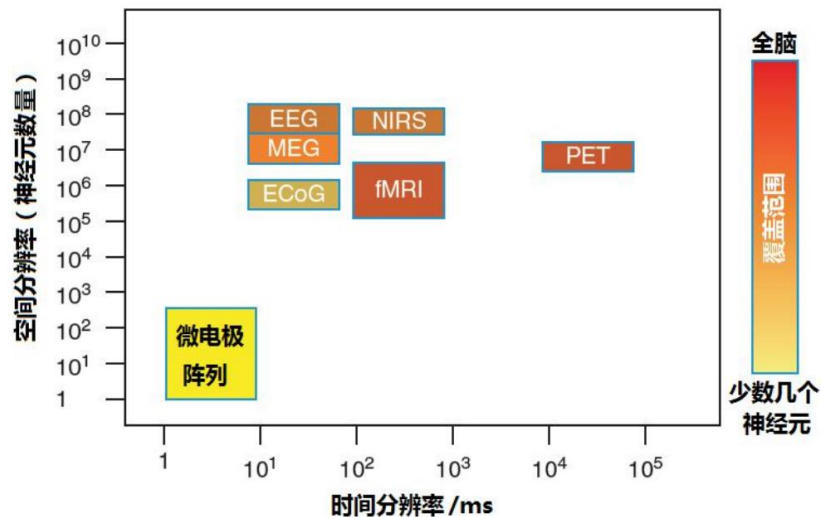
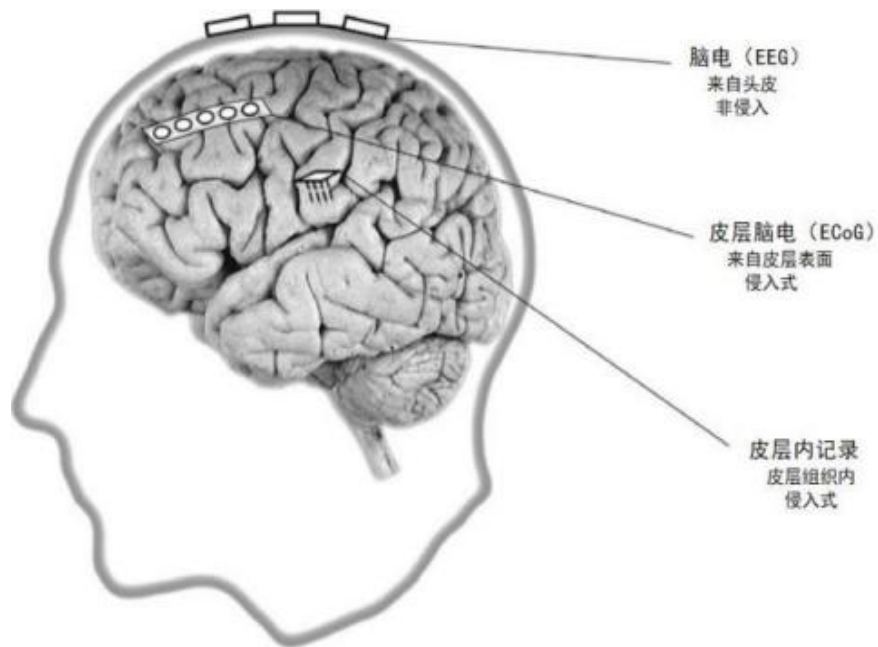
这类脑机接口通过附着在头皮上的穿戴设备（如脑电帽、近红外头盔或磁共振头线圈等）测量大脑的电活动或代谢活动，无需手术，安全无创。其中脑电帽是最常用的非侵入式传感器，可以在头皮上监测到群体神经元的放电活动，时间分辨率高，但空间分辨率低，且受大脑容积导体效应的影响，传递至头皮表面时衰减较大，易被噪声污染，信噪比低。

资料来源：中国人工智能产业发展联盟：脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书，天风证券研究所

## BCI信号采集技术的关键：如何在信号质量和安全性之间找到平衡

- 侵入式脑机接口的电极长期稳定放置，直接记录神经元电活动，信号衰减小，信噪比和空间分辨率高。但这属有创伤植入，技术难度大，存在继发感染可能性，一旦发生颅脑感染、电极故障或电极寿命结束，需将电极取出，会造成二次损伤。微创脑机接口可能比皮层内记录脑机接口更易实用化，但总的来说，侵入式脑机接口有待深入研究，突破相关技术瓶颈，具有重要的科学研究价值和潜在的应用前景。

除了最常用的从头皮采集脑电信号，现今用于非侵入式脑机接口系统的脑信号采集方法还有以下几种：功能近红外光谱(fNIRS)、功能性磁共振成像(fMRI)、脑磁(MEG)等。这些脑信号采集技术的时间分辨率和空间分辨率各不相同。

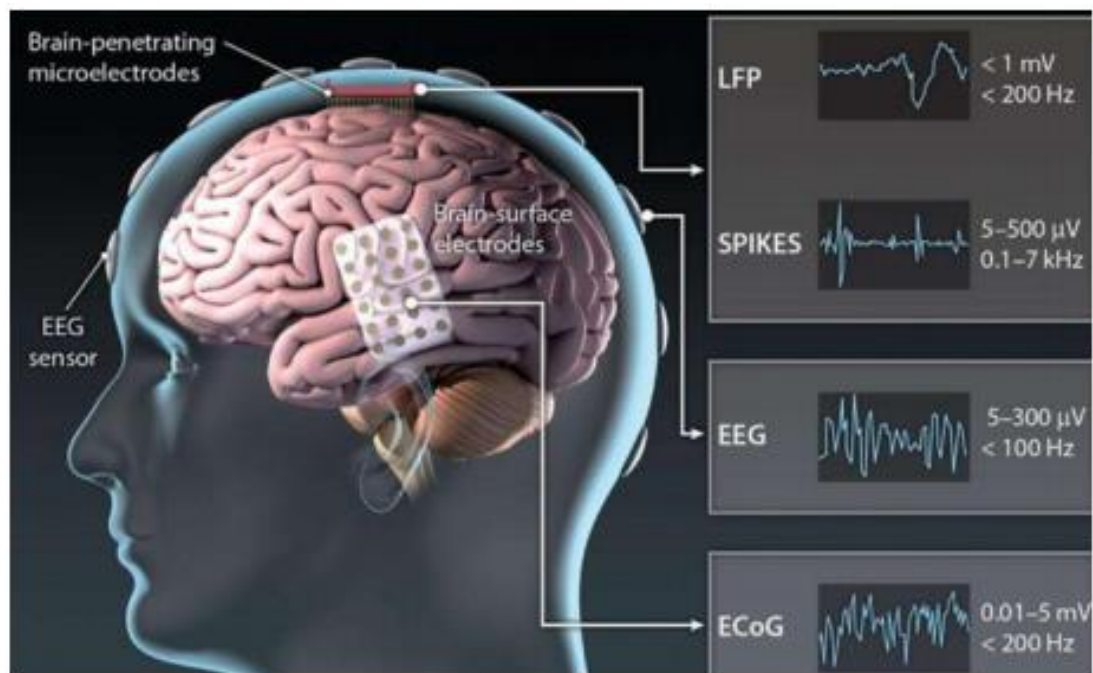


资料来源：中国人工智能产业发展联盟：脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书，天风证券研究所

## 脑机接口不同电极连接方式的特点

- **侵入式脑机接口**是通过手术等方式将信号采集装置（电极）直接植入患者大脑皮层，以获得高强度、高质量的信号，但此种方式经济成本和安全风险均较高，极有可能引发免疫反应和脑胶质细胞结痂等炎症反应，从而导致信号质量下降。
- **半侵入式脑机接口**同样是通过手术方式植入电极，但电极处于颅腔内，未达到大脑皮层，相较于侵入式脑机接口，虽采集到的信号较弱，但免疫反应和炎症反应发生率均较低，安全系数较高。
- **非侵入式脑机接口**则无需手术，只需将电极附着在头皮上，虽记录到的信号强度较弱，但避免了昂贵的手术费用和不良反应的发生。

图：不同的检测大脑电活动方式



资料来源：《2022脑机交互神经调控前沿进展白皮书》，脑机接口在卒中患者上肢功能和手功能恢复中的应用（郭晓辉等），天风证券研究所

## 2030-2040年脑机接口全球市场规模可能在700-2000亿美元

- 据麦肯锡2020年研究报告显示，脑机接口在某些领域产生了影响，包括恢复人类听力或视力健康和表现的神经义肢，以及在消费产品和服务中，通过电子信号监测压力水平的头带。各应用实现有所不同，目前，最先进的脑机接口应用于医疗保健领域，其中很多都不太可能在未来十年内实现商业化。
- 在接下来的10到20年里，脑机接口全球每年的市场规模可能在700亿到2000亿美元之间。
- 为失去肢体或肢体完好但因神经系统损伤而失去控制的人提供运动控制的神经义肢已取得重大进展。

### For applications in biomachine interfaces, timing of adoption varies.

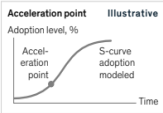
Example use cases

Not exhaustive

#### Estimated time horizon of acceleration point of use cases in biomachine interfaces

The acceleration point is when adoption starts to experience rapid growth<sup>1</sup>

Existing Before 2020	Short term 2020-30	Medium term 2030-40	Long term Beyond 2040
Provide basic gaming control via brain monitoring headsets	Neuroprosthetics for sight (bionic vision)	Neuroergonomics to improve workplace design (eg. reduce stress levels in cockpit)	Interpret pet's emotions through measured brain waves
Deep brain stimulation for Parkinson's and essential tremor	Deep brain stimulation for Alzheimer's, depression, anxiety	Direct brain-to-device communication for paralyzed patients unable to communicate	Enhance sensory perception for consumer use
Neuroprosthetics for hearing (cochlear implants)	Neuropriming for athletic performance	Computational augmentation of the brain (link directly to computer chip)	Control consumer electronics via headsets reading brain signals (eg. smartphone)
Brain activity monitoring to diagnose disease (eg. EEG)	Neuroprosthetics for motor control (implant or external headset) of human or robotic limb		
	Mental state monitoring via measured brain waves		

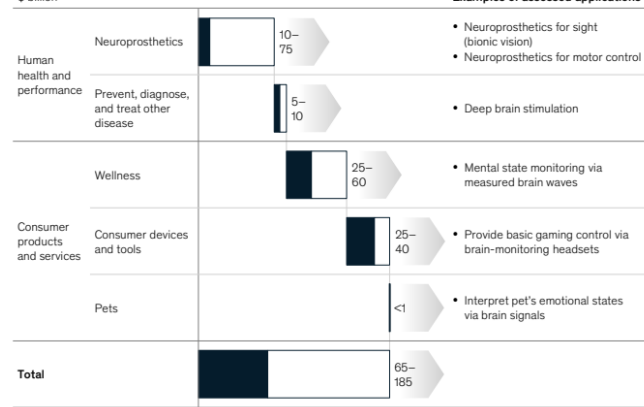


<sup>1</sup> The point at which adoption accelerates. We characterize this as the max of the second derivative of the adoption curve—see our technical appendix for more detail. Adoption level and timing for each use case depend on many variables, including commercial availability, regulation, and public acceptance. These estimates are not fully risk- or probability-adjusted.

Source: McKinsey Global Institute analysis

### Annual impact of \$70 billion to \$200 billion could be created in biomachine interfaces in the next ten to 20 years.

#### Partial estimate of range of annual potential direct economic impact, 2030-40

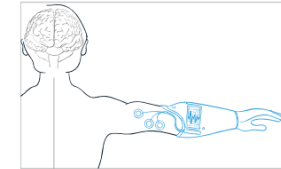


<sup>1</sup> Including, but not limited to, indirect impacts from assessed applications and impacts from unassessed applications. Note: Figures may not sum to 100% because of rounding. These impact estimates are not comprehensive; they include only potential direct impact of the visible pipeline of applications identified and assessed. Estimates do not represent GDP or market size (revenue), but direct economic impact; broader knock-on economic effects are not included. Estimates are relative to the 2020 economy; they do not include changes in variables such as demographics and inflation. Source: McKinsey Global Institute analysis

### Neuroprosthetics can restore motor control for different conditions.

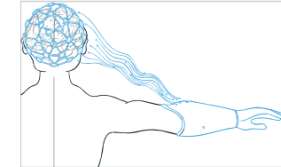
#### Patients with physical limb loss

##### Myoelectric devices



Read electric signals from muscle of remaining limb to control prosthetic limb

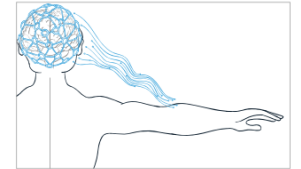
##### Neural implant or headband devices



Read signals directly from brain, through surgically implanted chip or through headband, to control artificial limb

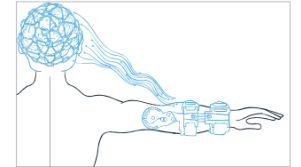
#### Patients with limb paralysis (nervous system damage)

##### Muscle stimulation



Read signals directly from brain, through surgically implanted chip or through headband, and convert signals to electric stimulation of muscles to control existing limb

##### Exoskeletons



Read electric signals directly from brain, through surgically implanted chip or through headband, to control external exoskeletal brace

Source: McKinsey Global Institute analysis

图：麦肯锡2020年研究报告

资料来源：麦肯锡；天风证券研究所

## 国家地方鼓励政策密集落地，脑机接口行业振兴动能强劲

图：“十四五”期间中国各省市脑机接口行业发展目标

- 由于脑机接口行业目前还处于起步阶段，基础技术比较薄弱，“十四五”期间，我国大部分省份仍然将发展脑机接口和脑科学的重点放在基础研究和突破方面，未来，随着技术的逐渐成熟，脑机接口在医疗康复、虚拟现实等领域的产业化应用将成为行业发展的重点。
- 2024年1月，工信部等七部门发布《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，指出要做优信息服务产品。发展下一代操作系统，构筑安全可靠的数字底座。推广开源技术，建设开源社区，构建开源生态体系。探索以区块链为核心技术、以数据为关键要素，构建下一代互联网创新应用和数字化生态。面向新一代移动信息网络、类脑智能等加快软件产品研发，鼓励新产品示范应用，激发信息服务潜能。



资料来源：各省市官网，前瞻产业研究院，天风证券研究所

## 国家地方鼓励政策密集落地，脑机接口行业振兴动能强劲

表：脑机接口政府重大政策

时间	政府机构	政策名称	内容
2020年8月	发改委、科技部、工信部等	《国家新一代人工智能标准体系建设指南》	规范人与信息系统多通道。多模式和多维度的交互途径、模式、方法和技术要求，解决语音、手势、体感、 <b>脑机</b> 等多模态交互的融合协调和高效应用的问题，确保高可靠性和安全性交互模式。人机交互标准包括智能感知、动态识别、多模态交互三个部分。
2020年12月	科技部	《长三角科技创新共同体建设发展规划》	在智能计算、高端芯片、智能感知、脑机融合等重点领域加快布局，筹建 <b>类脑智能</b> 、智能计算、数字孪生、全维可定义网络等重大基础平台。
2021年9月	人力资源社会保障部、工信部等	《专业技术人员知识更新工程实施方案》	瞄准量子信息、生命健康、 <b>脑科学</b> 、生物育种、空天科技、深地深海等前沿领域，攻关关键核心技术，推动传统产业高端化、智能化、绿色化，按照高水平、小规模、重特色的要求，主要面向中高层次专业技术人员和经营管理人员，每年举办300期左右国家级高级研修班，培养培训2万名左右高层次专业技术人才和经营管理人员，培养造就一批素质优良、创新能力强、具有较强竞争力的专业技术人才。
2021年10月	国务院	《“十四五”国家知识产权保护和运用规划》	促进知识产权高质量创造。健全高质量创造支持政策，加强人工智能、量子信息、集成电路、基础软件、生命健康、 <b>脑科学</b> 、生物育种、空天科技、深地深海探测等领域自主知识产权创造和储备。
2021年12月	国务院	《“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划》	发展健康促进类康复辅助器具。加快人工智能、 <b>脑科学</b> 、虚拟现实、可穿戴等新技术在健康促进类康复辅助器具中的集成应用。发展外骨骼康复训练、认知障碍评估和训练、沟通训练、失禁康复训练、运动肌力和平衡训练、老年能力评估和日常活动训练等康复辅助器具。
2022年4月	国务院	《“十四五”国民健康规划》	面向人民生命健康，开展卫生健康领域科技体制改革试点，启动卫生健康领域科技创新2030-重大项目、“十四五”重点研发计划等国家科技计划。实施“ <b>脑科学与类脑研究</b> ”等重大项目以及“常见多发病防治研究”、“生育健康及妇女儿童健康保障”等重点专项。
2022年8月	科技部、中宣部等	《“十四五”国家科学技术普及及发展规划》	面向关键核心技术攻关，聚焦国家科技发展的重点方向，强化 <b>脑科学</b> 、量子计算等战略导向基础研究领域的科普，引导科研人员从实践中提炼重大科学问题，为科学家潜心研究创造良好氛围。
2022年10月	工信部、教育部等	《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022-2026年）》	重点推动由内向外追踪定位技术研究，发展手势追踪、眼动追踪、表情追踪、全身动捕、沉浸声场、高精度环境理解与三维重建技术，加强机电传感、气味模拟、虚拟移动、触觉反馈、 <b>脑机接口</b> 等多通道交互技术研究，促进感知交互向自然化、情景化、智能化方向发展。
2023年8月	工信部、科技部等	《新产业标准化领航工程实施方案(2023-2035年)》	开展 <b>脑机接口</b> 标准化路线图研究。加快研制脑机接口术语、参考架构等基础共性标准。开展脑信息读取与写入等输入输出接口标准，数据格式、传输、存储、表示及预处理标准，脑信息编解码算法标准研究。开展制造、医疗健康、教育、娱乐等行业应用以及安全伦理标准预研。
2023年9月	工信部、教育部等	《元宇宙产业创新发展三年行动计划(2023-2025年)》	拓展元宇宙入口，加速XR头显、裸眼3D等沉浸显示终端的规模化推广，丰富基于手机、计算机、电视机等终端的元宇宙应用，支持 <b>脑机接口</b> 等前沿产品研发。
2024年1月	工信部、教育部等	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	突破脑机融合、类脑芯片、大脑计算神经模型等关键技术和核心器件，研制一批易用安全的 <b>脑机接口</b> 产品，鼓励探索在医疗康复、无人驾驶、虚拟现实等典型领域的应用。
2024年2月	科技部	《脑机接口研究伦理指引》	明确开展 <b>脑机接口</b> 研究，应确保研究具有社会价值，应主要致力于修复型脑机接口技术，强调通过技术的发展服务公众的健康需求。

资料来源：中国政府网、财政部官网、科技部官网，天风证券研究所

# 目录

---

一、脑机接口概念

二、应用领域

三、临床进展

四、相关标的

## 脑机接口：从科研走向应用

### 科学幻想

二十世纪七十年代至八十年代

- 1977 年，Jacques J. Vidal 开发了基于视觉事件相关电位的脑机接口系统，通过注视同一视觉刺激的不同位置实现了对 4 种控制指令的选择。
- 1980 年，德国学者提出了基于皮层慢电位的脑机接口系统。

### 科学论证

二十世纪八十年代至九十年代末

- 1988 年，L.A. Farwell 和 E. Donchin 提出了著名且广泛使用的脑机接口范式，即“P300 拼写器”。
- 1992 年 Erich E. Sutter 提出了一种高效的基于视觉诱发电位的脑机接口系统，在该系统中，设计了 8×8 拼写器。
- 1995 年，Grant R. McMillan 等人提出了基于稳态视觉诱发电位（steady-state visual evoked potentials, SSVEP）的脑机接口。

### 技术爆发

二十一世纪初至今

- 第一份专门针对脑机接口领域的学术期刊——《脑机接口》杂志于 2013 年创刊，并于 2014 年出版了第一期。
- 国际脑机接口协会也于 2015 年成立，其宗旨是促进研发使人们能够通过大脑信号与世界交互的技术。
- 2018 年第七届国际脑机接口会议聚集了来自 221 个研究团队或组织的 432 名参会者。

资料来源：中国人工智能产业发展联盟：脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书，天风证券研究所

## BCI技术：主要涉及硬件、软件和算法

- **脑机接口技术的发展依赖于多学科综合发展。**随着脑科学、材料学、计算机科学等学科的发展，脑机接口技术的进步步伐加速
- **脑机接口技术主要涉及硬件、软件和算法。**其中，硬件主要包括用于脑电信号采集或神经刺激的电极、用于信号采集处理的芯片以及外部设备；算法主要是用于信号处理的机器学习，软件主要涉及刺激呈现、数据采集、信号处理与输出、系统级操作协议等多个关键技术环节

### 电极

决定了采集信号的空间分辨率和质量，是保障脑机接口性能的前提

### 芯片

决定了信号处理质量的上限

- ✓ 硬件：
- ✓ 用于侵入式脑机接口的电极趋向于**柔性、小型化、无线化、高通量和集成化发展**
- ✓ 在非侵入式脑机接口中，基于水凝胶的脑电电极的研发较为活跃

### 机器学习

决定了脑电信号的处理质量

- ✓ 算法：
- ✓ 经典的机器学习方法仍展现出较大优势
- ✓ 深度学习方法正愈发频繁地应用于脑机接口

### 软件平台

促进各种脑机接口方法的实施、验证和传播

- ✓ 软件：
- ✓ 软件多自研自用，市面缺乏高兼容性的底层平台系统
- ✓ 针对软件平台性能提升的研究持续推进
- 天津大学团队发布了一款脑机接口领域的综合性开源软件平台 **MetaBCI**，解决了数据分布散乱、算法复现困难、在线系统效率低的问题
- 迈阿密大学及合作研究团队开发一个独立于输入和输出设备的便携式、模块化脑机接口软件平台，并将其应用于颈脊髓损伤患者

资料来源：2022年脑机接口研究进展（陈小刚等），亿欧，天风证券研究所

## 电极是BCI信号采集技术的核心，当前研发方向为针对不同电极的固有缺陷的突破和改善

### 侵入式电极

- ✓ 犹他电极 (Cyberkinetics公司)
  - 多通道电极阵列
  - 高密度、高通量、尺寸小、损伤小



- ✓ Neuropixel探针 (美国麻省总医院)
  - 可同时记录200余个个体神经元活动
  - 实现在单个神经元水平上大规模记录神经活动，极大提升了信号的时空分辨率



- ✓ SiMNA—1024 通道穿透硅微针阵列 (加州大学圣地亚哥分校)
  - 因具有柔性背衬可以均匀地贴合大脑复杂的曲面
  - 光学透明的，允许同时对神经元活动进行光学成像和电生理记录

### 非侵入式电极

- ✓ 基于弹性体-水凝胶复合物的柔性电极 (天津大学)
  - 具有弹性
  - 能够高质量地检测脑电信号，并成功应用于脑机接口研究



- ✓ 导电聚合物-水凝胶脑电电极 (德克萨斯大学奥斯汀分校)
  - 长期稳定性高且电极-皮肤界面阻抗低

- ✓ 预置凝胶 (pre-gelled, PreG) (中国科学院半导体研究所)
  - 安装时间短、舒适度好

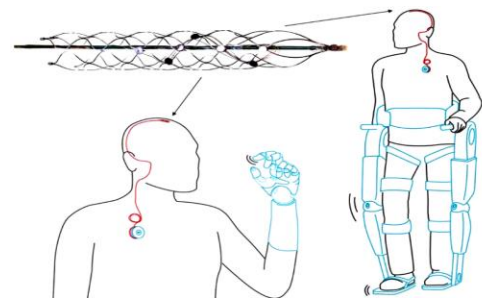
- ✓ 柔性电极网格 (韩国科学技术院)
  - 采用密集分布且小尺寸电极，使得电极间距从常规的60-65mm减小至8.6mm，极大提高了空间分辨率

资料来源：2022年脑机接口研究进展 (陈小刚等)，脑机接口：现状、问题与展望 (葛松等)，天风证券研究所

## 介入式脑机接口：侵入式BCI的新突破

### ➤ Synchron发明“Stentrode”并获FDA批准进行首次临床试验

- ✓ Stentrode是一种植入血管内部的脑机接口装置
- ✓ 无需开颅手术，采用神经介入技术通过颈静脉将植入物送达大脑中运动皮层上方的血管位置，到达后Stentrode就会膨胀，并将电极压在靠近大脑的血管壁上，从而在那里进行神经信号的记录，并将信号发送到胸部设备中



### ➤ 2023年5月，南开大学团队牵头完成全球首例非人灵长类动物介入式脑机接口试验

- ✓ 通过介入手术将介入脑电传感器贴附在猴脑血管壁上，无需开颅手术即可采集到颅内脑电信号
- ✓ 试验通过介入式脑机接口实现动物主动控制机械臂，实现了介入式脑电信号从被动采集到主动控制的技术飞跃，突破了血管内脑电信号采集、介入式脑电信号识别等核心技术



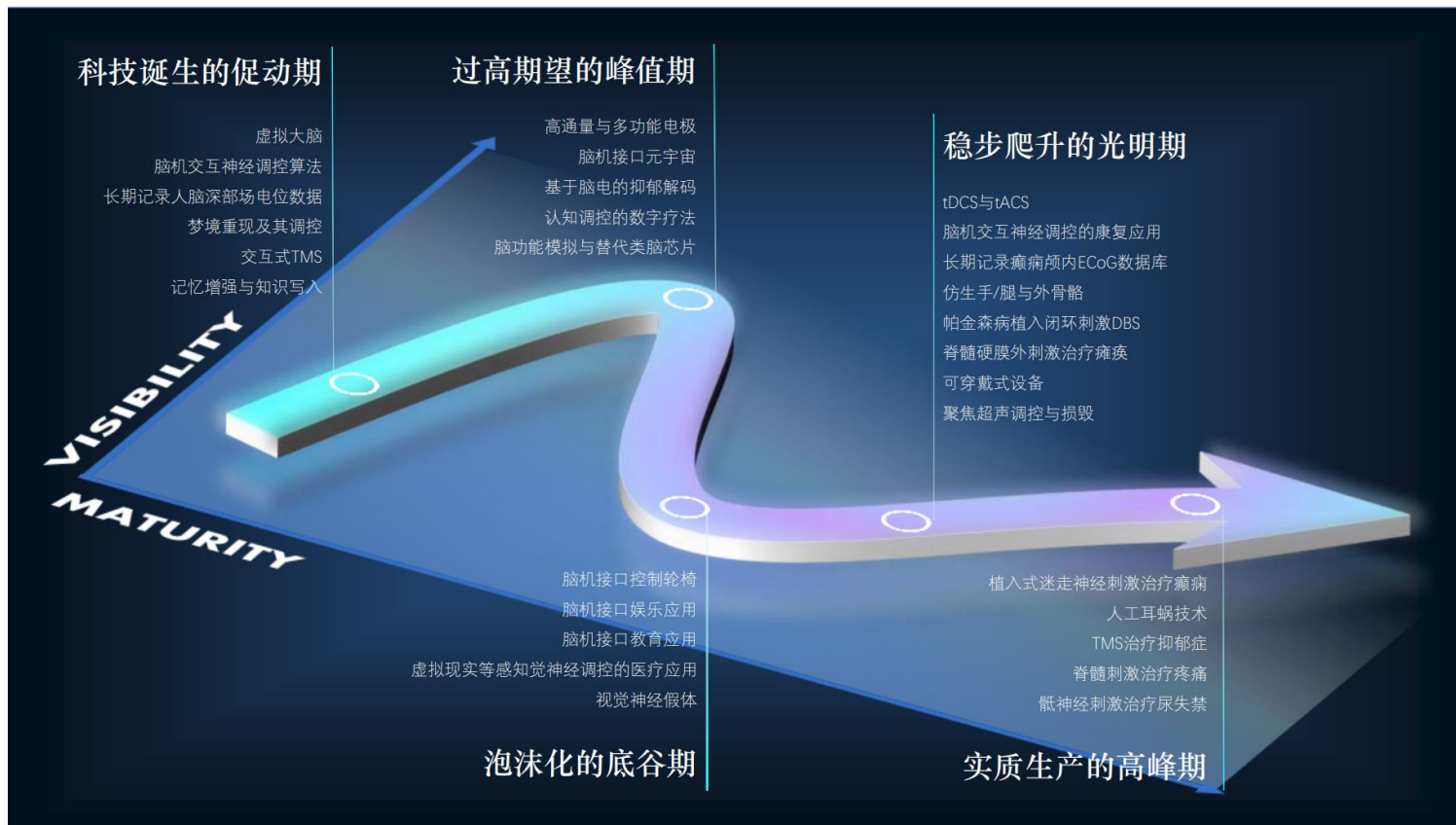
我们认为相较于传统侵入式BCI，介入式BCI手术风险低，创伤和炎症反应小，安全性和患者的可接受性大大提高

相较于非侵入式BCI，介入式BCI的识别稳定性高，信号质量优于非侵入式BCI

资料来源：中国青年报，Synchron receives FDA approval to begin early feasibility study of their endovascular, brain-computer interface device (Jason J. Han), MOVING WITH THE POWER OF THOUGHT (Jane Gardner), University of Melbourne, 天风证券研究所

# 脑机接口应用前景

脑机交互神经调控已成为国际学术和应用研究的前沿和热点方向，在面向未来的科技创新发展中占有重要地位。随着现代医学对大脑结构和功能的不断探索，人类对于视觉、听觉、运动、语言等大脑功能区有了更加深入的研究，通过脑机接口设备获取这些大脑功能区的信息并进行分析，在神经、精神系统疾病的诊断、筛查、监护、治疗与康复领域拥有广泛的应用前景。



资料来源：《2022脑机交互神经调控前沿进展白皮书》，天风证券研究所

## 脑机接口应用前景

科研实验平台重视神经创新技术的研发，具有交叉融合特色实验支撑的能力。神经影像技术研发、神经计算软件研发、神经电子技术研发等多方面神经技术的研发，对神经感知、神经调控和神经计算的研究提供技术支持，开展以脑疾病诊治与康复为核心的重大基础科学问题和智能决策、人机交互等关键技术应用基础研究，布局神经数字疗法、神经电子药物和智能神经康复三个研究方向。



资料来源：《2022脑机交互神经调控前沿进展白皮书》，天风证券研究所

## 脑机接口可以替代、改善、增强、恢复和作为研究工具

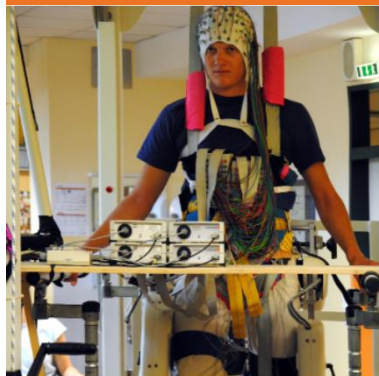
### 替代



机动轮椅控制

- BCI可以替代因受伤或疾病而损失的脑功能

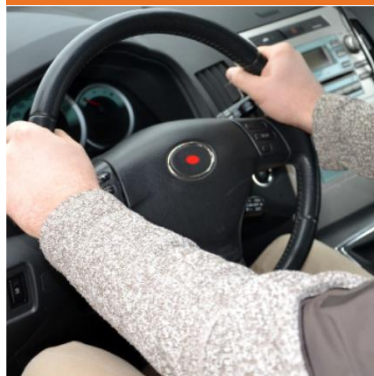
### 改善



在中风康复中使用BCI辅助

- BCI可以改善损失的脑功能

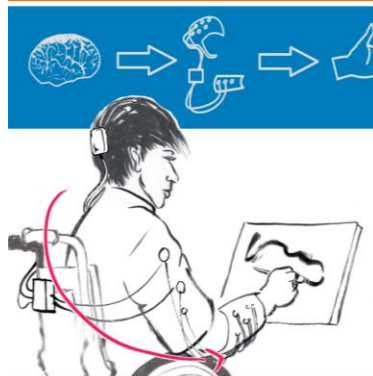
### 增强



在行驶过程中监测注意力的集中程度

- BCI可以增强脑功能

### 恢复



- BCI可以恢复丢失的脑功能
- ✓ 为人提供第三个(机器人)手臂

### 研究工具



- BCI可用作研究工具，用于研究临床和非临床研究中的脑功能

资料来源: BNCI-Horizon 2020, 天风证券研究所

# 不同脑机接口在医疗场景的运用

## 应用案例

输入式  
BCI  
机→脑



人工耳蜗：  
当前运用最为成功  
的和广泛的神经工  
程成果之一。



深脑电刺激：  
神经外科常用于治  
疗帕金森



经颅磁刺激：  
用电磁线圈传递磁  
脉冲诱发神经电位

输出式  
BCI  
脑→机

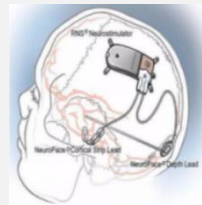


恢复全身瘫痪患者的交流能力

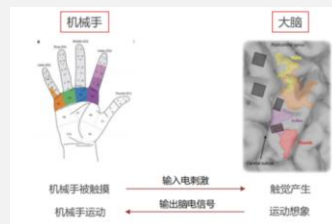


对患者的肢体进行功能电刺激或让患者通过脑机接口控制机器人肢体，可以恢复四肢瘫痪者或截肢患者的运动功能。

交互式BCI  
脑→机→脑



Neuropace公司研发的自主式癫痫治疗系统：  
根据分析监测到的脑部异常放电来决定输出电  
刺激的时机和参数，实现更精准有效的治疗



带触感反馈的机械手：  
除了实现大脑信号对机械手臂的控制，同时，将触觉反馈给大脑，还原自身神经通路的通信模式

资料来源：人工智能实验室、华兴资本分析，天津大学新闻网，植入式脑机接口在医疗与科研中的作用与应用（刘菱等），天风证券研究所

# 目录

---

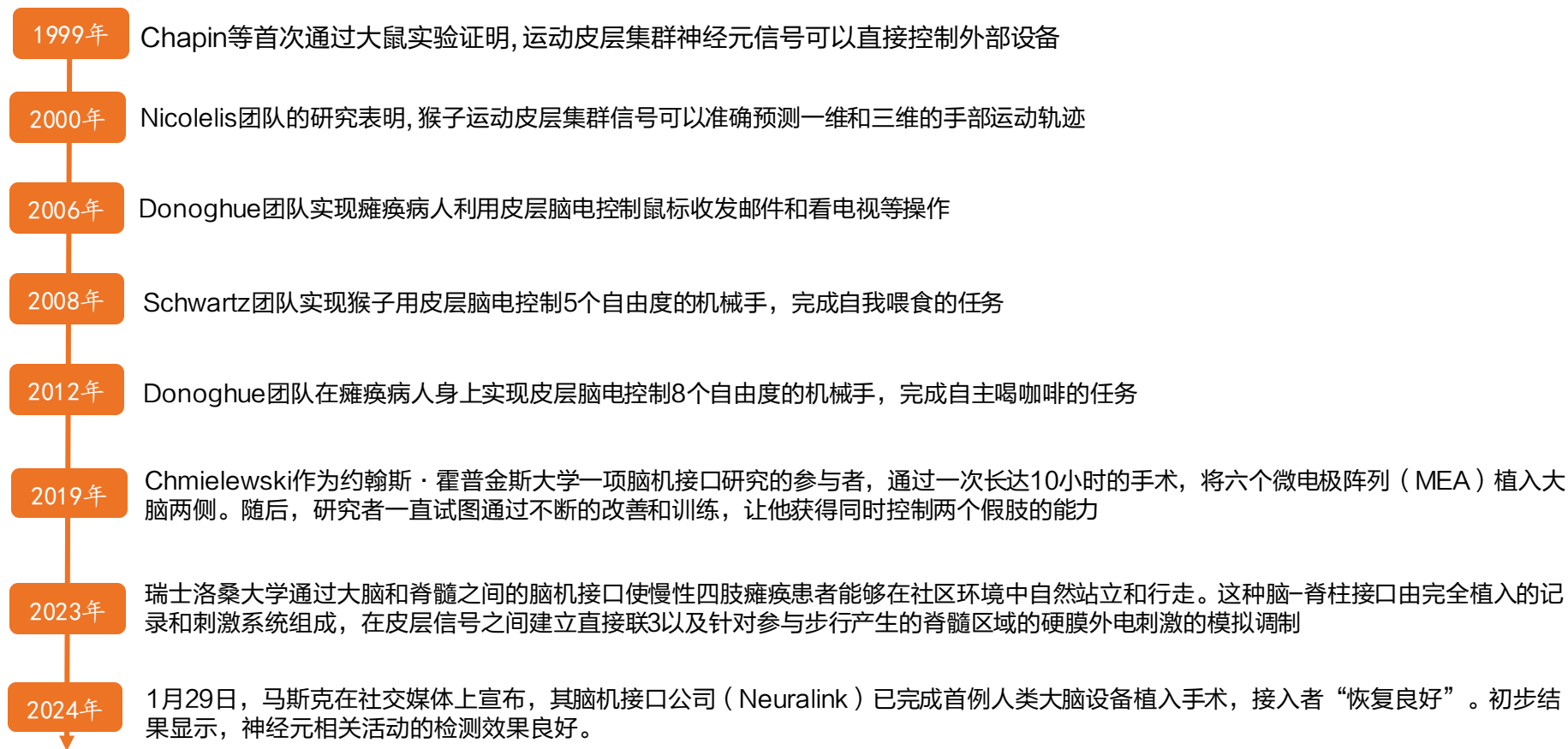
一、脑机接口概念

二、应用领域

三、临床进展

四、相关标的

## 侵入式脑机接口的国外临床研究



资料来源: 植入式脑机接口发展概况(郑筱祥等), *Walking naturally after spinal cord injury using a brain-spine interface* (Henri Lorach等), 澎湃新闻, 天风证券研究所

## 非侵入式脑机接口的国外临床研究

1988年 Farwell 和 Donchin 提出了最著名并且广泛使用的BCI实验范式，即“P300拼写器”

1990年 David Regan教授首次提出采用基于SSVEP振幅选择刺激模式作为闭环反馈SSVEP-BCI控制系统的实验范式

1992年

- Erich E. Sutter提出了一种高效的基于视觉诱发电位的脑机接口系统并首次用于临床,帮助肌萎缩侧索硬化症患者以高于10个单词/分钟的速度向外界传递信息
- G. Pfurtscheller 等人提出事件相关去同步 (Event-related desynchronization, ERD) 和事件相关同步 (Event-related synchronization, ERS) 的概念, 并开展了一系列相关研究

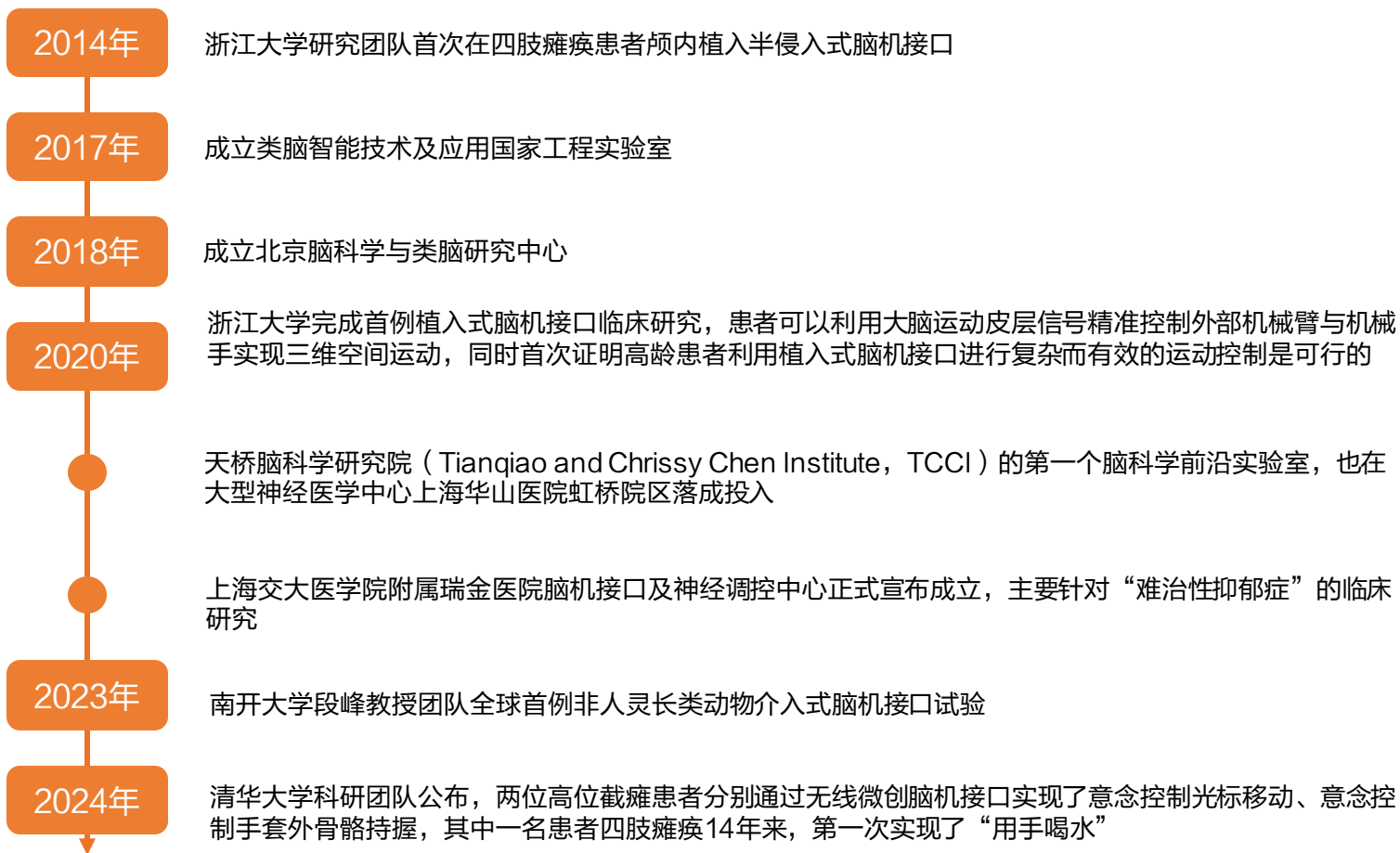
21世纪开始, 关于侵入式BCI的研究速度明显加快, 侵入式脑机接口技术超越了非侵入式脑机接口

2016年 Bin He研究团队成功应用非侵入式脑机接口技术, 实现了对物体的多类别任务指令控制

2019年 Bin He团队与卡内基梅隆大学合作, 成功开发出非侵入式的意念控制机械臂, 预示着人机交互领域开始进入到了一个新的转折阶段

资料来源: 非侵入式多模态脑机接口研究与实现 (王婷婷), 红衫汇, 前瞻网, 天风证券研究所

## 国内临床进展



资料来源：脑机接口研究现状与展望（赵继宗），中国科学报，TCCL，上海交通大学，南开大学，人民日报等，天风证券研究所

# 目录

---

一、脑机接口概念

二、应用领域

三、临床进展

四、相关标的

## 国外代表公司



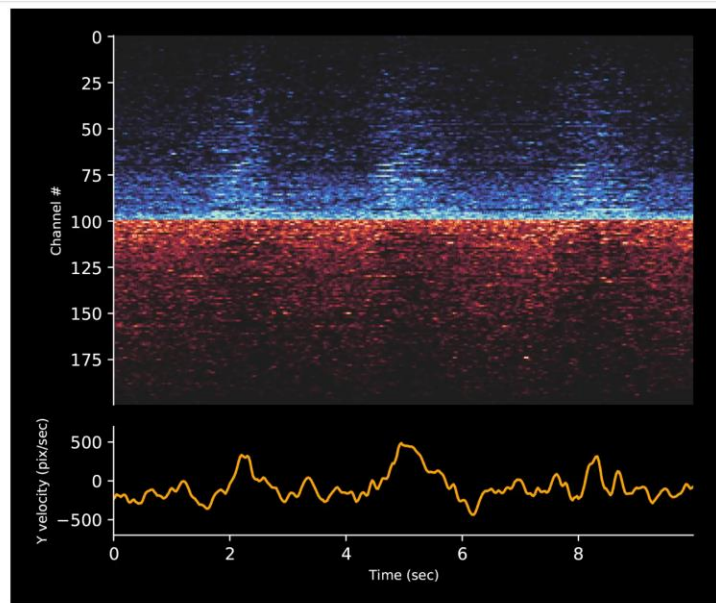
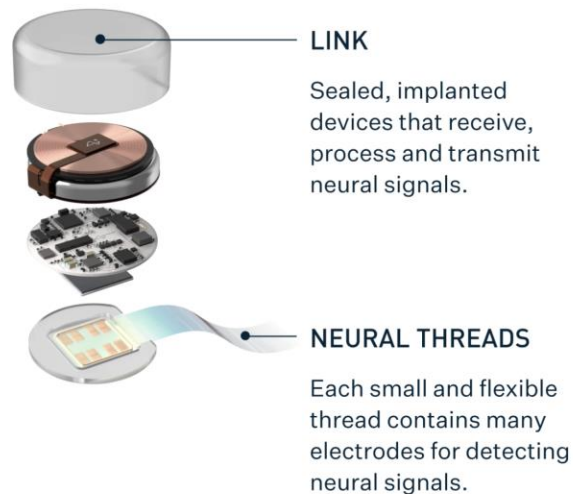
NeuraLink

- ❑ NeuraLink创立于2015年，2016年马斯克将其收购
- ❑ 2020年，将直径23mm的芯片（Link V0.9）植入了猪脑，并且实现了神经信号的读取及写入。
- ❑ 2021年，发布让植入大脑芯片的猴子通过意念玩游戏的研究成果。

### 核心亮点

1. 专注于侵入式脑机接口研究，主要研发将人工智能植入人类大脑皮层的脑机接口技术。
2. 2023年9月19日，Neuralink宣布开始招募首次人体临床试验

资料来源：Neuralink公司官网，天风证券研究所



## 国外代表公司



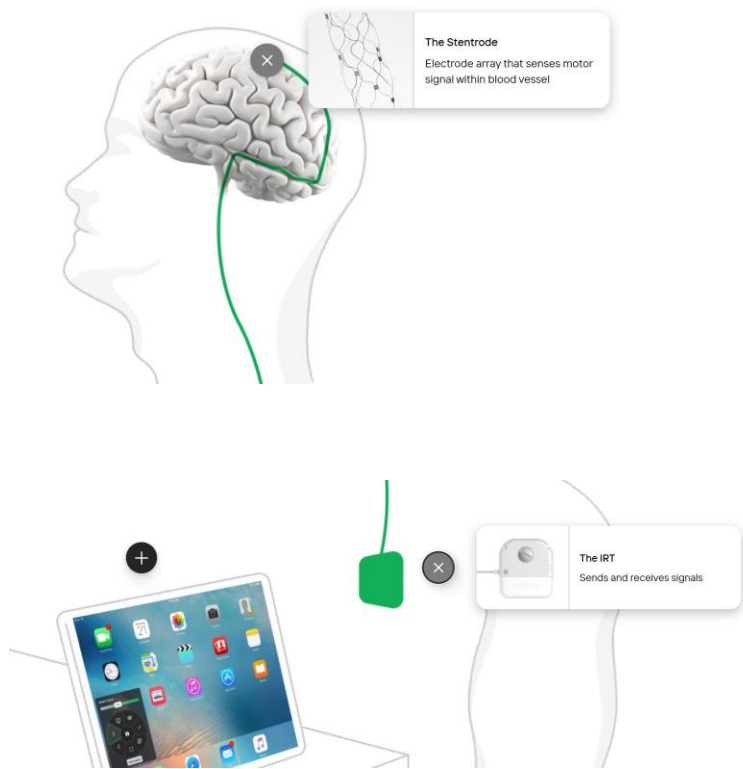
### Synchron

- ❑ Synchron成立于2012年
- ❑ Synchron 在 2021 年已获得 FDA 批准，在美国开始试验。
- ❑ 2022 年 7 月，Synchron 完成了在美国患者的第一例（第五例，前四例在澳大利亚）BCI植入手术
- ❑ Synchron的神经介入电生理学(NeuroEP)平台建立在血管内电极阵列 Stentrode上。它的设计目的是从血管内部记录或刺激大脑。功能性神经干预领域将包括脑机接口、脑绘图、脑监测和深部脑刺激。Synchron努力在未来10年实现这一愿景。
- ❑ 2023年9月5日，Synchron完成脑机接口COMMAND试验患者入组

### 核心亮点

公司致力于开发一种通过使用微创手术来避免进行开颅手术需要的解决方案

图：产品展示



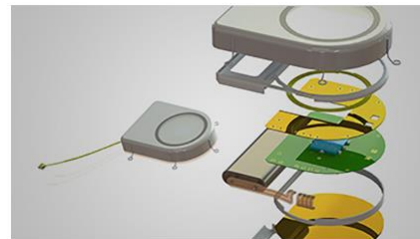
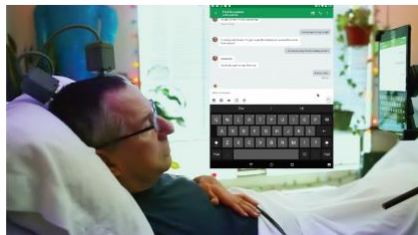
资料来源：Synchron公司官网，天风证券研究所

## 国外代表公司

### BRAIN GATE BrainGate

- 布朗大学、埃默里大学、麻省总医院、斯坦福大学、加州大学戴维斯分校和弗吉尼亚州普罗维登斯医疗保健系统的 BrainGate 研究团队由临床医生、科学家和工程师组成，致力于促进对人脑功能的理解，并为患有神经系统疾病、损伤或肢体丧失的人开发神经技术。
- 2002 年，布朗大学衍生/创业医疗设备公司 Cyberkinetics 成立，布朗大学的临床前研究转化为最初的人体设备，即 BrainGate 神经接口系统。
- 2004 年，Cyberkinetics 获得了美国食品和药物管理局（FDA）颁发的研究设备豁免（IDE）。
- 2008 年年中开始，BrainGate 获得了一个新的、完全基于学术的 IDE 应用程序（用于“BrainGate2 神经接口系统”），以继续进行研究。2009 年 5 月，FDA 为 BrainGate2 试点临床试验提供了新的 IDE。
- 2022 年，埃默里大学和加州大学戴维斯分校加入了 BrainGate 联盟。
- 2023 年 8 月，BrainGate 研究合作的科学家在恢复因瘫痪而失去说话能力的人的言语方面达到了一个重要的里程碑，使用植入与语音相关的大脑皮层区域的传感器可以准确地将 ALS 患者的大脑活动转化为屏幕上的单词。

图：产品展示



资料来源：BrainGate 公司官网；天风证券研究所

## 国外代表公司

### mindmaze Mindmaze

- ❑ Mindmaze成立于2012年。
- ❑ Mindmaze在 2013 年发布公司主要产品MindMotion™ Pro。
- ❑ 2017年，公司发布MASK技术。
- ❑ 2020年，公司建立MindMotion Go远程神经康复平台。
- ❑ 2023年，公司推出超灵敏控制器Izar，手部运动功能障碍护理获得突破性进展。

#### 核心亮点

- 1.MindMaze致力于加速人类恢复、学习和适应的能力。
- 2.公司的目标是将获得 FDA 批准和 CE 认证的数字疗法与一流的运动分析、人工智能和云技术相结合，为大脑健康创建一个通用平台。
- 3.公司的研发部门MindMaze Labs将影响力扩展到医疗保健之外，把突破性的神经科学带入日常生活。通过利用大脑的力量，增强下一代人机界面的能力。

图：产品展示



## 国内代表公司



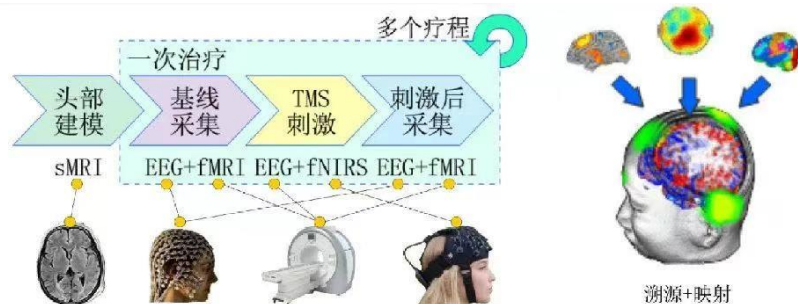
诚益通

- ❑ 诚益通成立于2003年，于2015年深交所创业板上市，2017年通过并购龙之杰将业务拓展至康复医疗设备领域，并确立了“一体两翼、双轮驱动”的发展战略和“让制造更智能，让大众更健康”的企业使命。目前公司业务涵盖智能制造业务和康复医疗设备业务两大板块，是国内领先的医药、生物制造行业智能制造系统整体解决方案供应商，一流的康复医学科建设综合解决方案提供商。
- ❑ 2024年3月11日，诚益通加入由中国信息通信研究院牵头并联合几十家脑机接口领域高校、科研机构、企业共同发起成立的脑机接口产业联盟。



- ❑ 自2020年，其子公司龙之杰便开启了基于脑科学的康复领域探索，协同华南理工大学开展产学研合作，成立了智能康复技术联合实验室，并与海南大学，澳门圣若瑟大学展开多中心研究，积累和储备了与脑科学领域相关的技术和产品模型，目前已研发了经颅磁导航系统及脑部的磁刺激治疗仪等产品。产品已与中山大学附属第三医院、第六医院等多家医院开展临床验证合作。
- ❑ 经颅磁刺激（Transcranial Magnetic Stimulation, TMS）技术是脑科学领域的一项重要技术，是一种非侵入性脑刺激方法，它利用磁场脉冲穿透头皮和颅骨，直接作用于大脑皮层，从而影响神经元的活动，进而影响认知功能或治疗某些神经系统疾病。经颅磁导航技术颠覆了传统的治疗模式，能真正实现TMS的精准定位刺激，精准定量重复刺激，从而有效提升TMS临床应用水平。

图：经颅磁刺激技术展示



资料来源：龙之杰Longest公众号，天风证券研究所

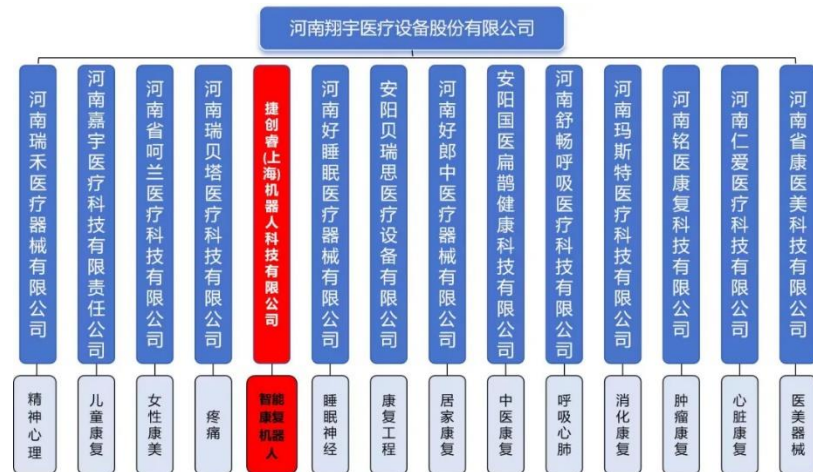
## 国内代表公司



- 翔宇医疗 (XIANGYU MEDICAL) 是中国康复医疗器械行业内的研发引领型企业，主要为全国各级综合医院、康复医院、基层诊疗机构等全国各级医疗机构，养老机构，残疾人康复中心，福利院机构客户提供全系列康复产品及整体解决方案。公司始终以技术创新为发展的第一驱动力，致力于康复评定、训练、理疗、辅具、护理、医养结合等领域，全系列智能康复医疗器械设备的自主研发、生产、推广与销售，协助各地打造覆盖全人群、全病种、全生命过程的智慧康养服务保障体系。
- 2023年8月10日，翔宇医疗成立“捷创睿（上海）机器人科技有限公司”，该子公司定位在高端康复机器人、智能机器人、养老照护机器人、脑机接口康复机器人等的研发、中试及批量化生产上。
- 2024年3月17日，翔宇医疗联合脑机接口产业联盟、天津大学等单位，共同举办“2024中原脑机接口与神经康复创新发展论坛”，启动了国家重点研发计划“生物与信息融合（BT与IT融合）”重点专项“高精度生物感知觉反馈操纵技术与系统”项目，进一步推动“产学研用”深度融合。
- 目前，翔宇医疗在脑电采集、新生儿脑功能监测等方面申报了众多专利，且已有专利获得授权，将会推出新生儿脑功能监测、微电流及团体脑功能训练相关产品，针对新生儿脑监测、大脑注意力问题、焦虑、抑郁及情绪控制等问题，形成脑功能诊疗一体的解决方案。

资料来源：翔宇医疗公司官网；翔宇医疗微信公众号，天风证券研究所

图：翔宇医疗部分器械类全资子公司



图：脑机接口相关论坛及项目启动会展示

2024中原脑机接口与神经康复创新发展论坛成功举办!

翔宇医疗 2024-03-17 23:39 河南 1人听过



国家重点研发计划“生物与信息融合（BT与IT融合）”重点专项“高精度生物感知觉反馈操纵技术与系统”项目启动会



## 国内外代表公司



三博脑科

图：公司介绍

- “三博”是以医疗投资、医院管理、品牌运营为主导，以“博医、博教、博研”为愿景，集“医疗、教学、科研”于一体的医疗集团。目前运营医院6家，其中神经专科三级医院4家，二级综合性医院2家，此外，还有多家正在筹建的医院。
- 集团各院开放床位 1,800 余张，年门诊量 78 万余人次，住院患者超 4 万人次，年手术量近 1.8 万台，其中神经外科手术 6,000 余台。集团以神经学科为龙头，强专科、小综合的发展模式，形成覆盖全国核心区域的医疗服务网。
- 集团坚持“技术、品质、服务”的发展理念，以技术为本，“高端技术服务大众”。经过多年发展将旗舰医院首医大三博打造成“医教研”一体化的学院型医院，是首都医科大学十一临床医学院及神经外科学院三系，也是国家临床重点专科(神经外科)建设单位及国家卫健委全国神经外科进修与培训基地。2022年9月，医院东坝新院区项目入选本年度中国国际服务贸易交易会“两区”重大项目。



### 连锁医院

Chain & hospital

首医大三博脑科	昆明三博脑科	重庆三博江陵	重庆三博长安	福建三博脑科	河南三博脑科
---------	--------	--------	--------	--------	--------



#### 首都医科大学三博脑科医院

- 国家临床重点专科 (神经外科)
  - 国家卫健委建立健全现代医院管理制度试点医院
  - 国家药物/器械临床试验机构 • 首都医科大学十一临床医学院
  - 首都医科大学神经科学三系 • 首都医科大学硕士点、博士点、博士后流动站
  - 国家医疗保障局指定全国异地结算定点医院 • 北京市三级专科医院保定点医院
- 首都医科大学三博脑科医院以博医、博教、博研为愿景，于2004年由一批国内知名的神经外科专家参与创建而成。是集医疗、教学、科研为一体的学院型医院，也是三博脑科医院管理集团的疑难病例诊疗中心、人才培养输出中心、科技...

资料来源：三博脑科公司官网，天风证券研究所

# 风险提示

## □ 研发风险

- 脑机接口临床试验尚在早期阶段，存在研发进度扰动或失败风险

## □ 政策风险

- 新兴产业的法律、规章缺失，导致脑机接口的合规性和伦理边界模糊，阻碍BCI的商业化发展

## □ 市场风险

- 下游需求短期难以形成，主要受限于有限的场景利用和高昂的成本费用，并且技术推广可能存在一定风险

## 分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

## 一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

## 特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

## 投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS