



生成式人工智能与医疗

马为之
2025年4月10日

提纲

智慧医疗领域发展回顾

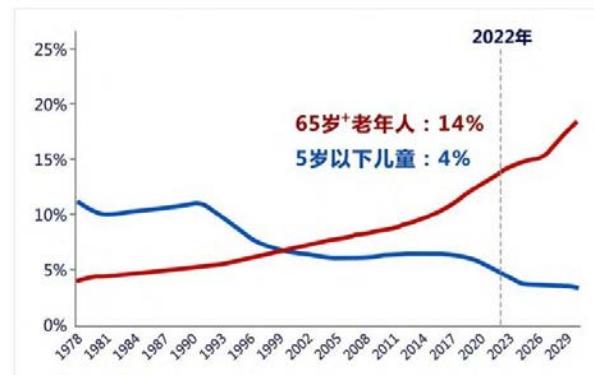
生成式人工智能+医疗前沿研究

Agent Hospital

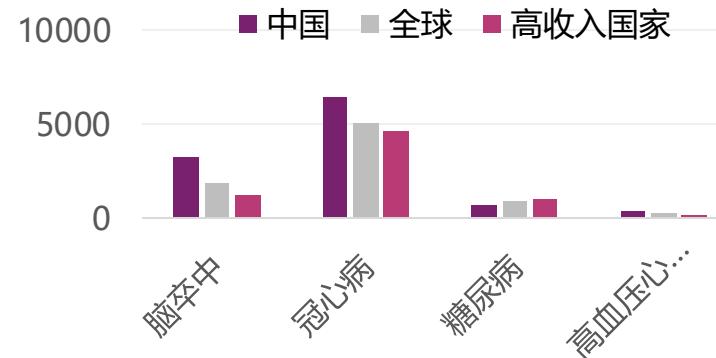
医疗领域面临一系列挑战

● 我国已步入老龄化社会，医疗行业面临很多挑战。

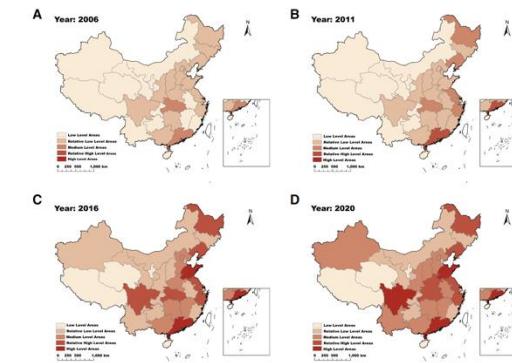
- 据第七次全国人口普查数据，60岁以上人口占近20%且比例逐年上升。
- 挑战：国家负担重，医院收入少，患者就诊难，医护压力大。



60岁以上人群比例逐渐升高



重大疾病负担高于全球
(伤残调整寿命年/10万人)



医疗水平分布不均、水平差异大

智慧医疗应用面临技术挑战

- 医疗场景下，以复杂信号理解为代表的多样任务存在极大技术挑战：

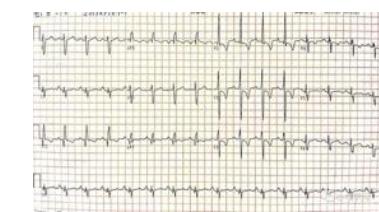
数据庞杂



表格结构



医疗影像



连续信号...

任务多样



健康问答



影像理解

病历生成

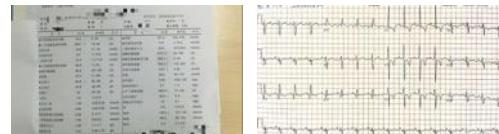
理解困难



如何识别图片中动脉？

知识性强

多项检查的最终结论？



多模融合

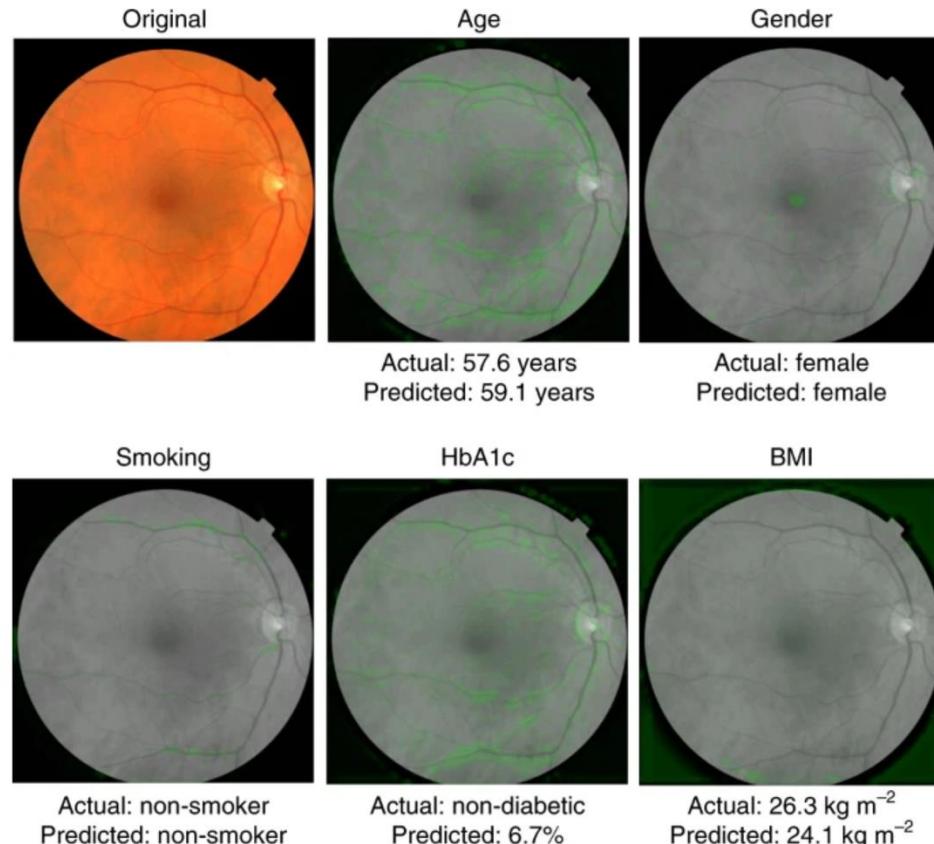
中医四诊 → 确定症候 → 依证立法 → 依法处方

复杂推理

人工智能在医疗领域的典型应用

- 医疗影像处理：

- 最早开始引入人工智能技术的场景之一
- 基于卷积网络等算法进行CT、眼底、X光等各类医疗影像的分类、分割等
- 近期的研究工作用于疾病关联预测
 - 眼底影像 -> 心血管疾病风险，患者的年龄(3.26岁以内)、性别 (AUC:0.97) 、吸烟状况(AUC:0.71)、收缩压 (11.23mmHg以内)等
 - 能够建模人类难以发现的细节



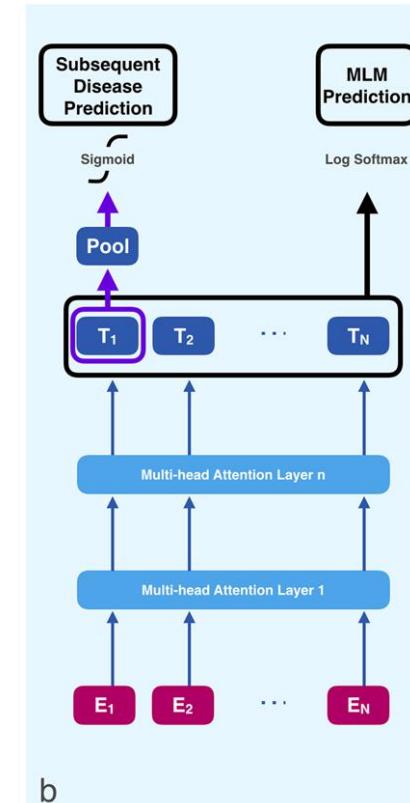
人工智能在医疗领域的典型应用

- 电子病历分析



a

Model Name	Next Visit (APS AUROC)	Next 6M (APS AUROC)	Next 12M (APS AUROC)
BEHRT	0.216 0.904	0.228 0.907	0.226 0.905
Deepr	0.095 0.800	0.104 0.814	0.098 0.805
RETAIN	0.108 0.836	0.115 0.845	0.109 0.836



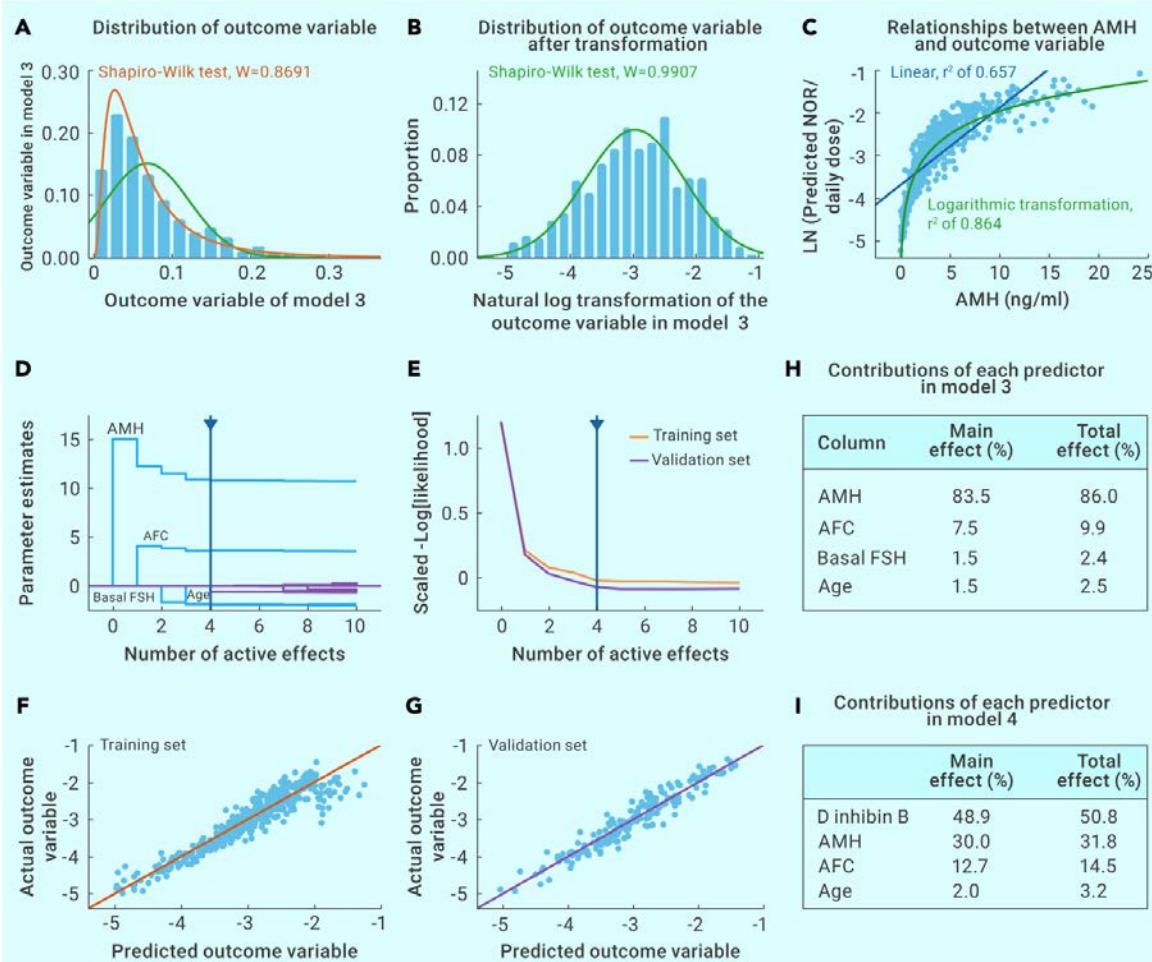
b

Model Name	Next Visit (APS AUROC)	Next 6M (APS AUROC)	Next 12M (APS AUROC)
BEHRT	0.462 0.954	0.525 0.958	0.506 0.955
Deepr	0.360 0.942	0.393 0.943	0.393 0.943
RETAIN	0.382 0.921	0.417 0.927	0.413 0.928

人工智能在医疗领域的典型应用

• 药物剂量预测（个性化医疗）：

- 不同患者对于药物用量需求不同，需要长期的经验积累
- 药物剂量的选择是个体化医疗的最关键决策，需要临床医生尤其是年轻医生更规范、更精准的使用药物
 - 融合患者的人口属性和检查结果
 - 预测药物使用剂量

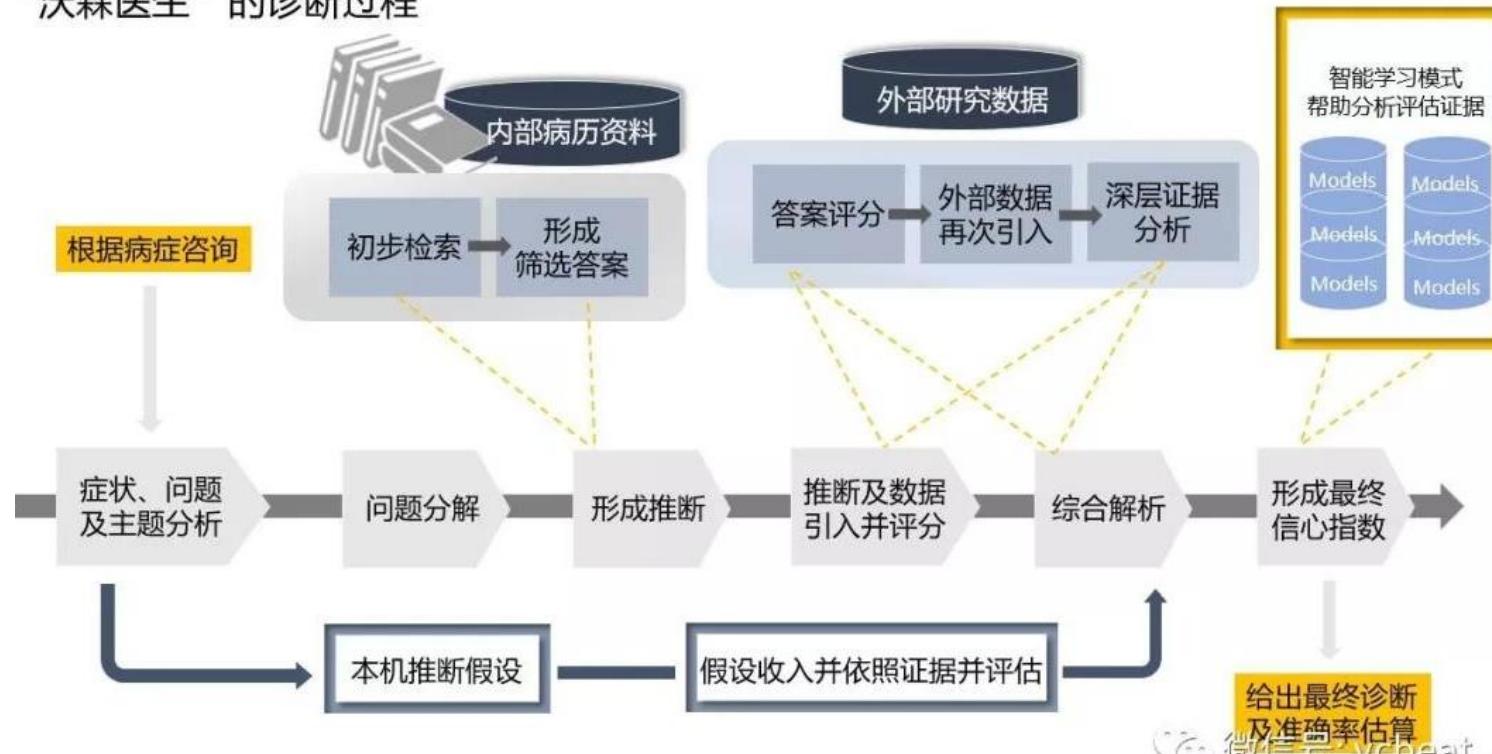


人工智能在医疗领域的典型应用

- 智能诊疗系统：

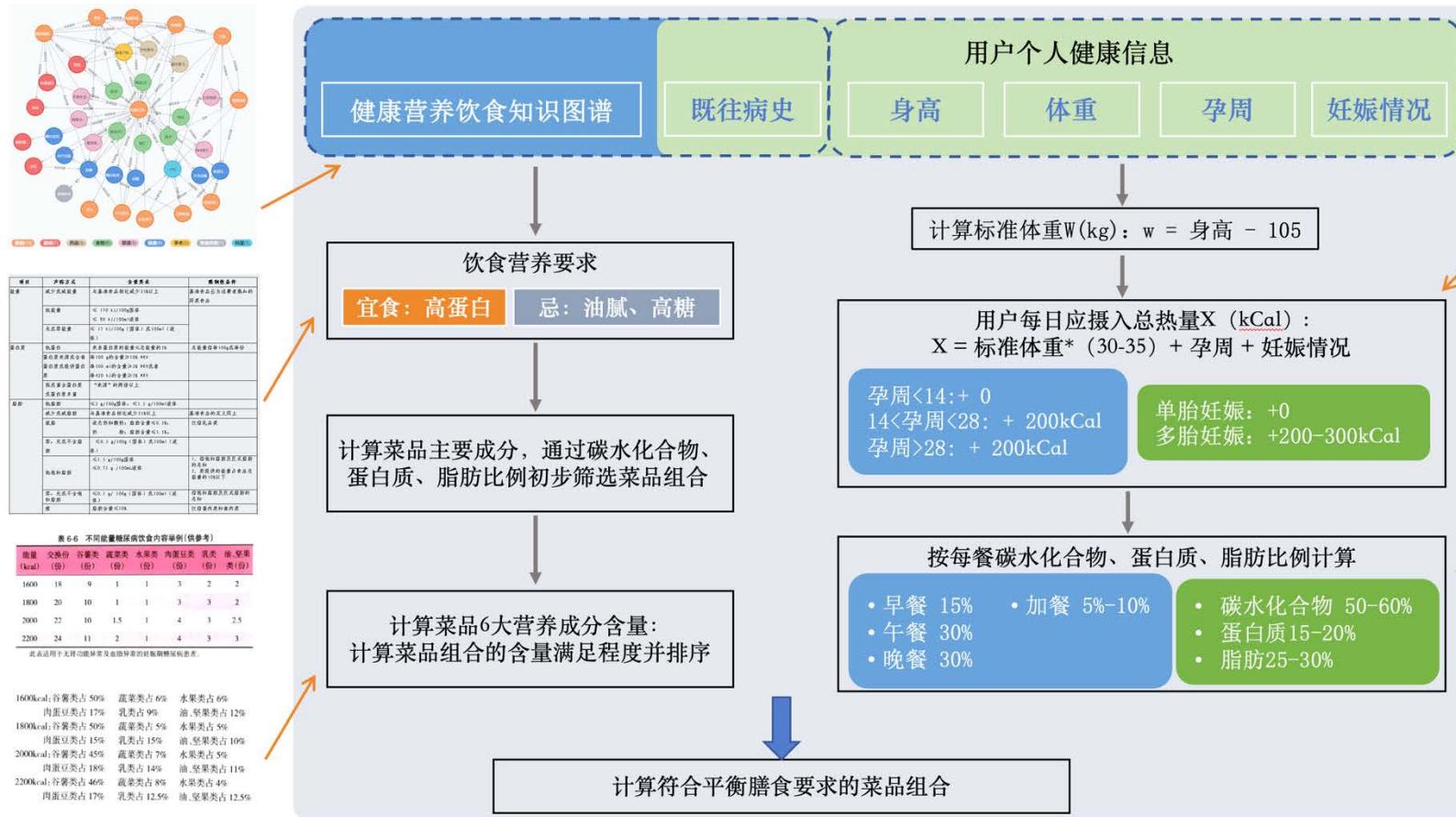
- IBM Watson: 基于患者的多组学信息，从医疗文献中挖掘可行的治疗方案

“沃森医生”的诊断过程



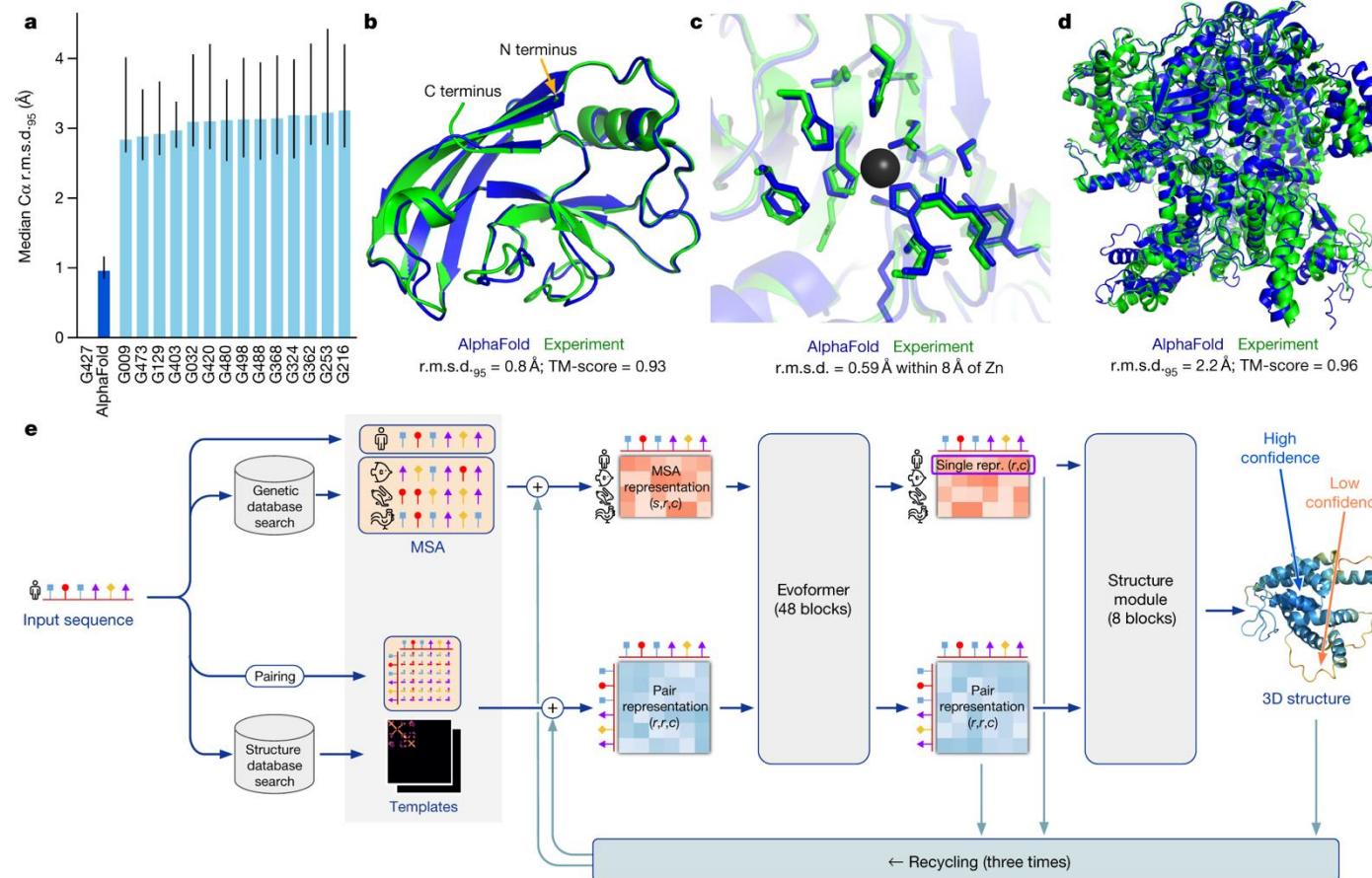
人工智能在医疗领域的典型应用

• 健康管理系统：



人工智能在医疗领域的典型应用

- 蛋白质结构预测：



人工智能在医疗领域的典型应用

• 其他场景：

- 智能可穿戴设备
- 患者风险评估
- 医疗机器人
- 多组学数据的疾病预测
- 医疗导诊
- 机器人辅助手术
- 人工智能辅助药物设计
-



人工智能在医疗领域的典型应用

- 场景多并不意味着实际应用如预期顺利
 - 以医疗影像理解为例，“人们现在应该开始停止培训放射科医生”
- 存在的独特挑战：
 - 医疗数据孤岛问题
 - 模型可解释性不足
 - “错误率场景”
 - 人类医生带来的情绪价值
 -
- 逐渐从“替代医生”到“辅助医生”的转变

提纲

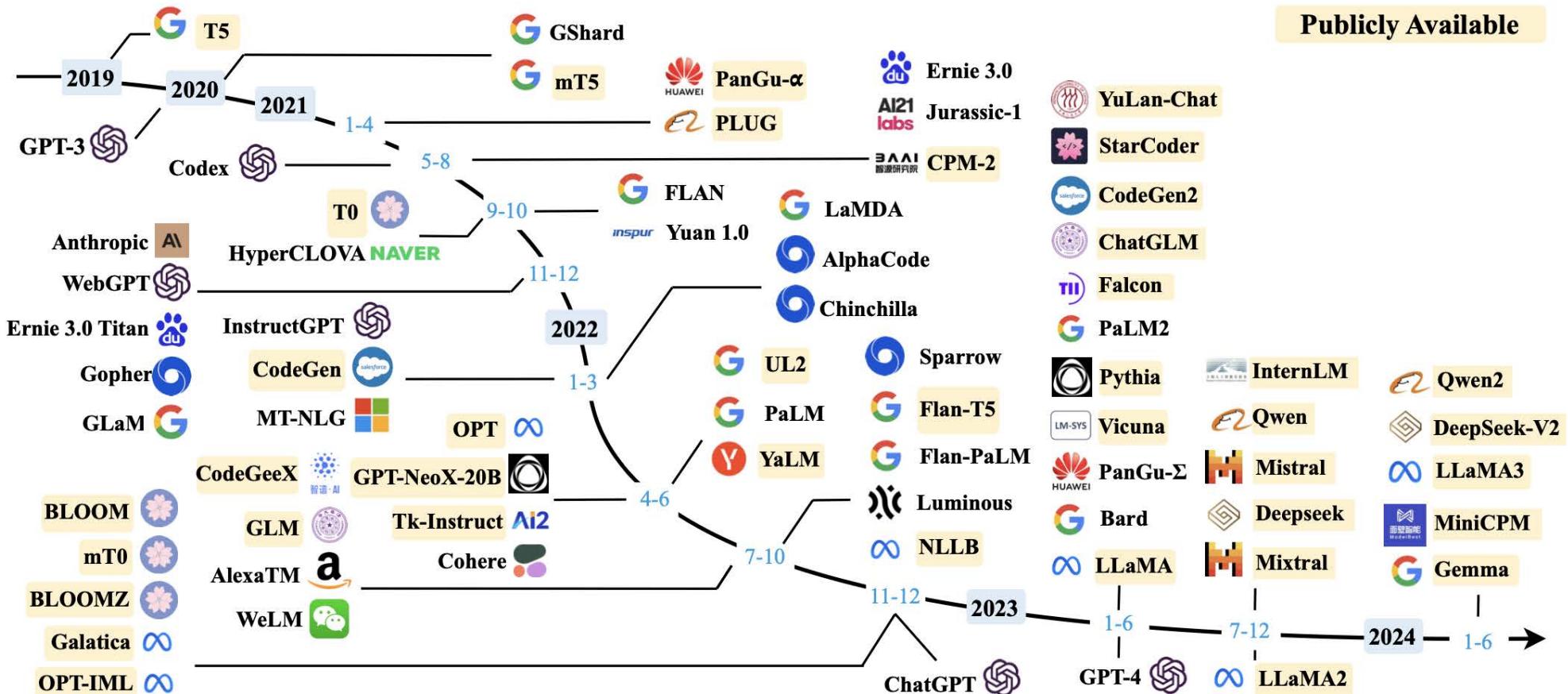
智慧医疗领域发展回顾

生成式人工智能+医疗前沿研究

我们的工作：Agent Hospital

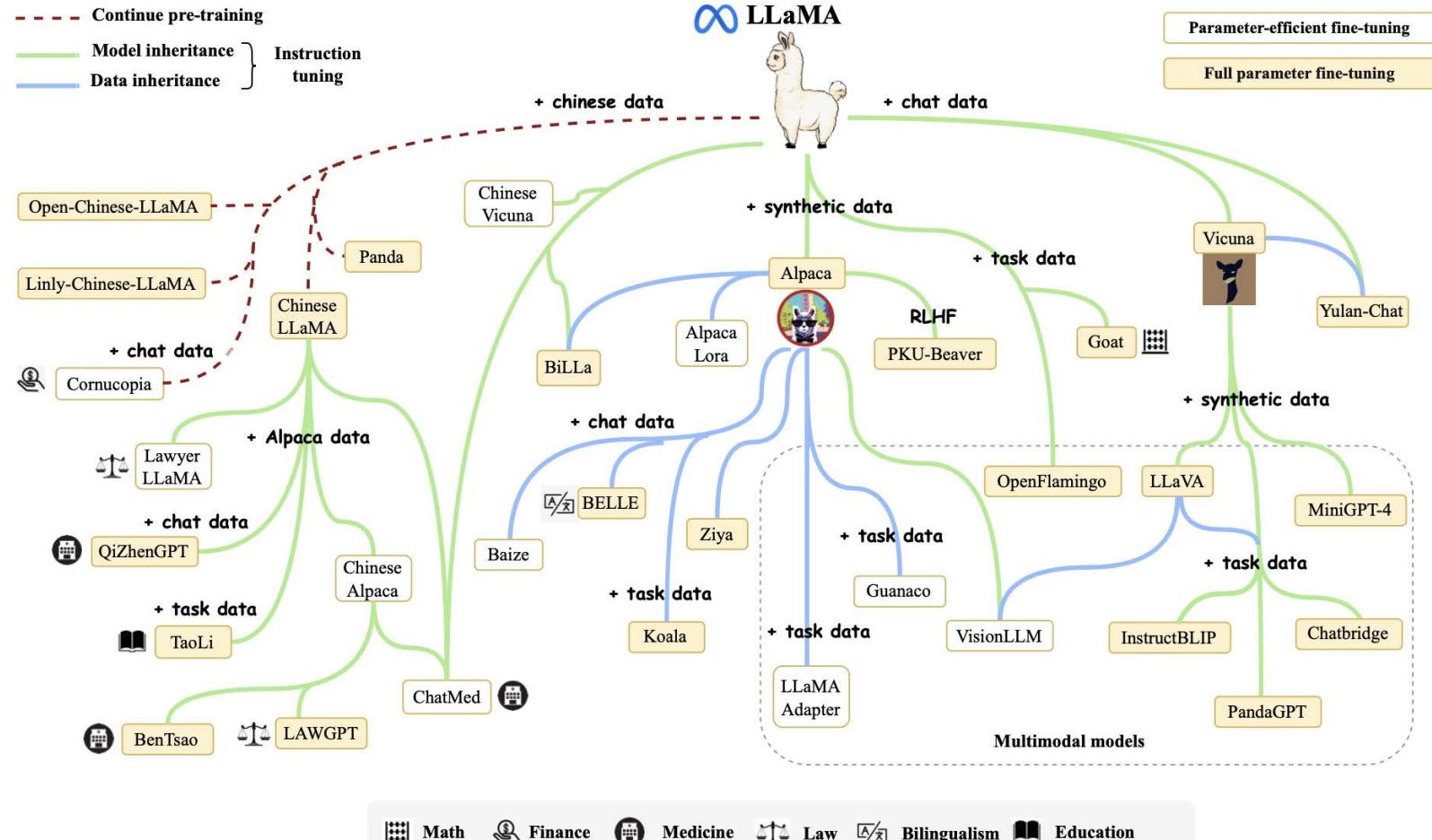
生成式人工智能技术快速发展

- 基座模型研发受到广泛关注



生成式人工智能技术快速发展

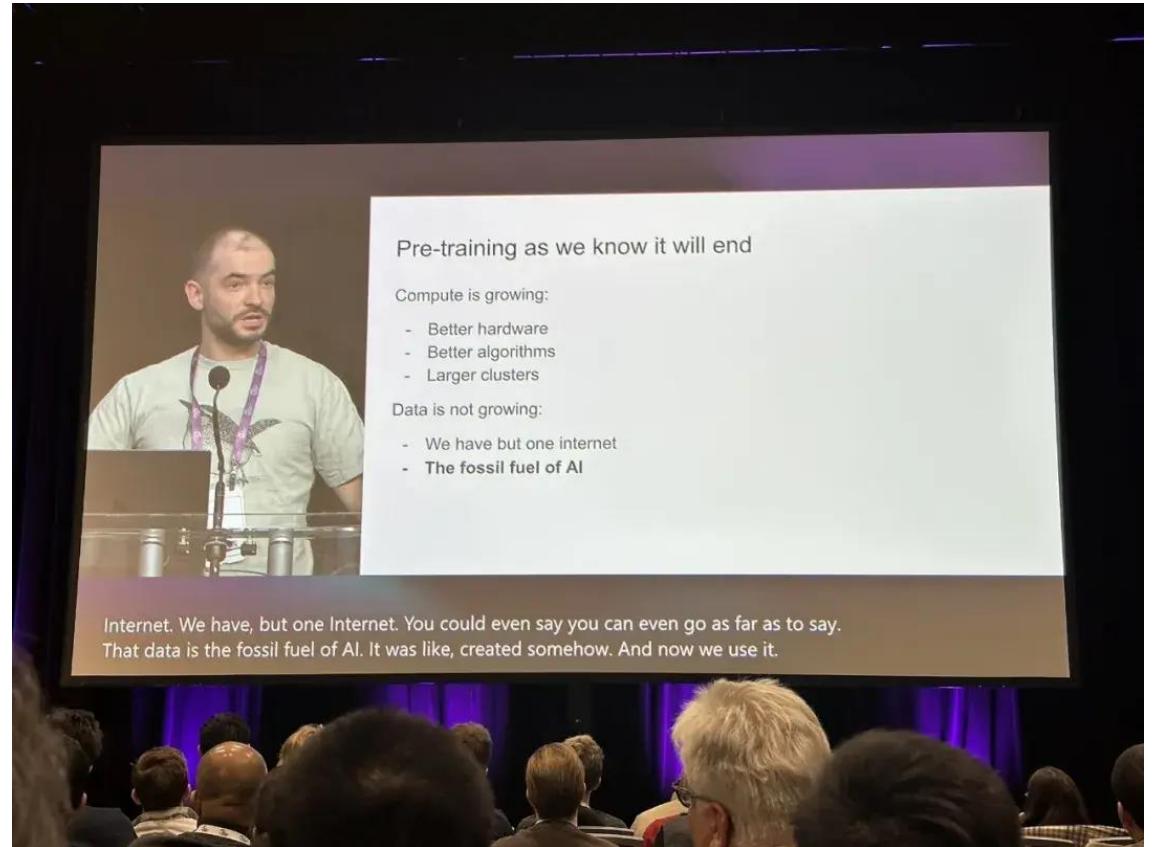
- 开源基座模型使得领域模型构建难度降低：LoRA等工具



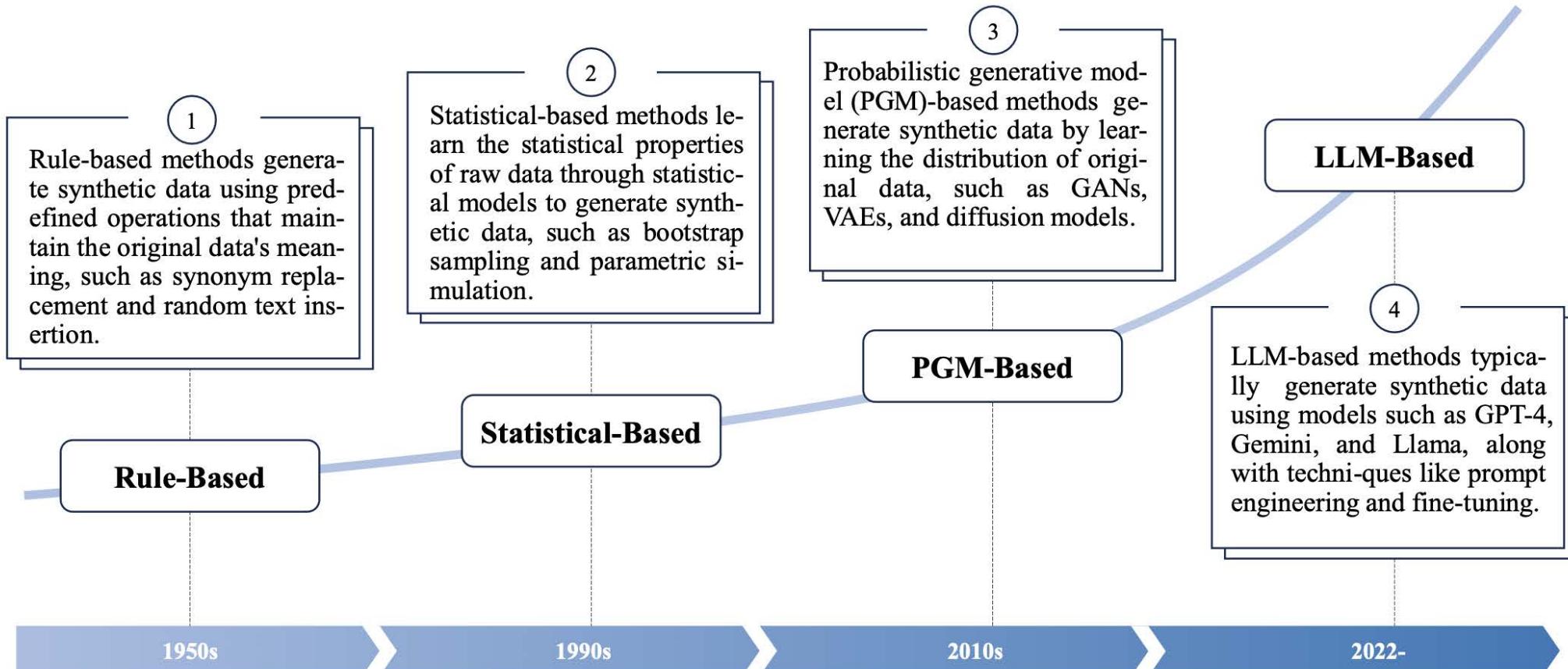
生成式人工智能前沿研究

- 几大受到关注的前沿研究方向：

- 智能体
- 合成数据
- 推理时计算
- 多模态模型
- 具身智能
-



合成数据研究



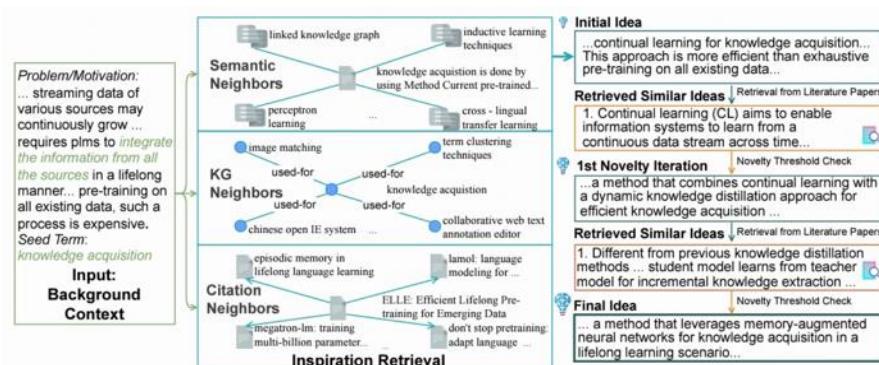
合成数据研究

● 合成数据已成为重要的数据来源

- 高质量数据的积累、发掘成本日益高昂
 - 大模型的合成数据在多个场景表现优异
 - 大模型甚至能够产生“新知识”
 - 无节制地使用会出现问题
- 如何进行数据合成：
 - 规则驱动：可枚举的任务场景；
 - 知识驱动：领域知识融合场景；
 - 数据驱动：可能是理想世界模型。
- 最终回到真实场景应用

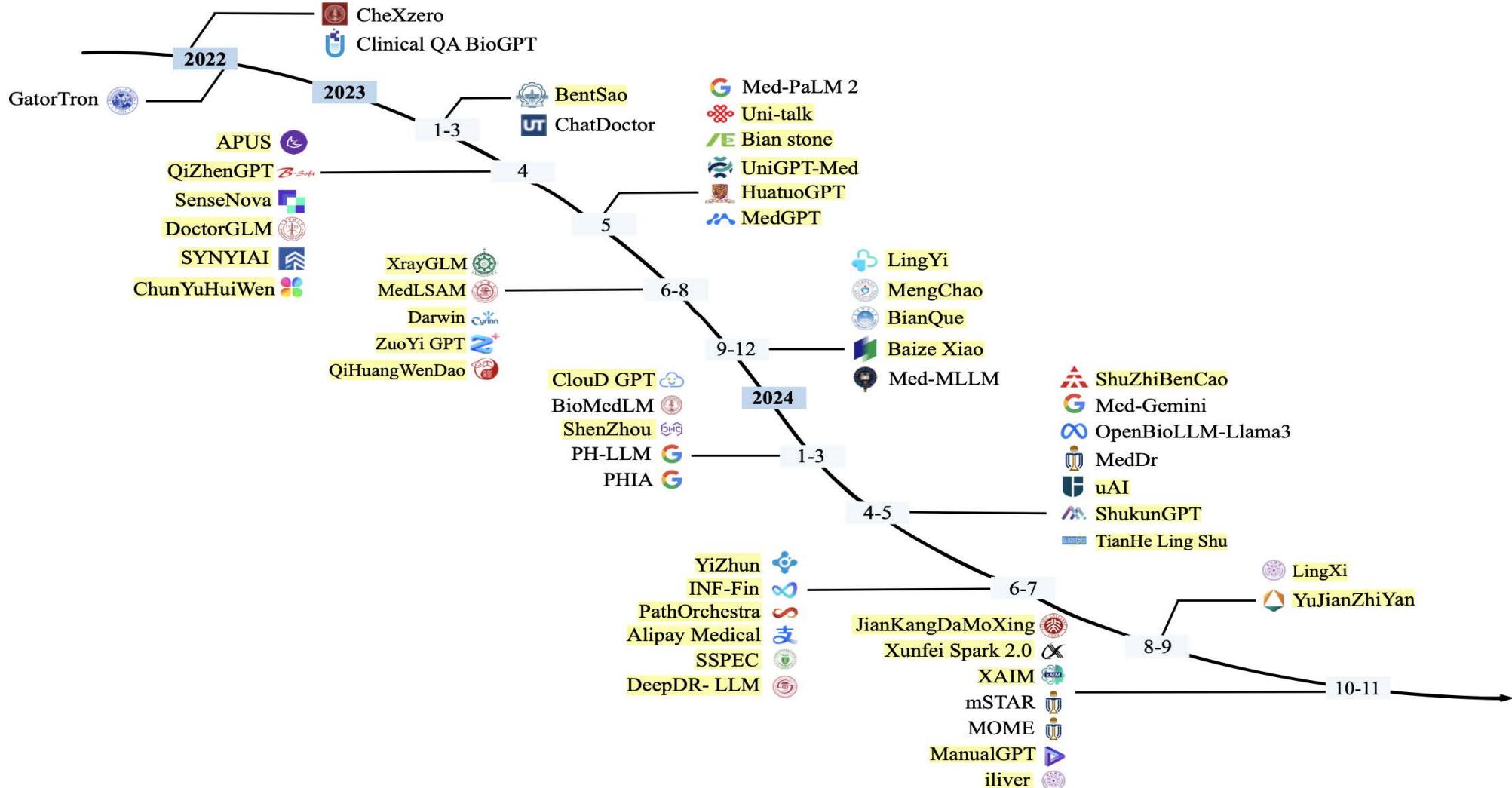
nemotron-4-340b	Nemtron-4-340B Instruct	Llama-3-70B Instruct	Mixtral-8x22B Instruct-v0.1	Qwen-2-7 Instruct
gemini-1.5-flash-api-0514	54.2	41.1	36.4	48.1
gemini-1.5-pro-api-0514	41.5	34.4	30.9	38.8
✓ nemotron-4-340b	8.22	8.16	7.63	8.26
claudie-3-haiku-20240307	0-shot	78.7	77.2	—
claudie-3-sonnet-20240229	0-shot	92.3	89.5	—
claudie-3-opus-20240229	0-shot	73.2	81.7 ^b	76.2 ^a 86.0
claudie-2.1	-Strict-Acc	79.9	77.8	61.7
	-Strict Acc	86.1	84.3	72.2
	stratctor F1	81.7	63.0	27.8
	in-topic F1	97.7	95.7	83.5
llama-3-70b-instruct				

If instruct models on automatic benchmarks. **Bold** indicates the top score among open-source models.



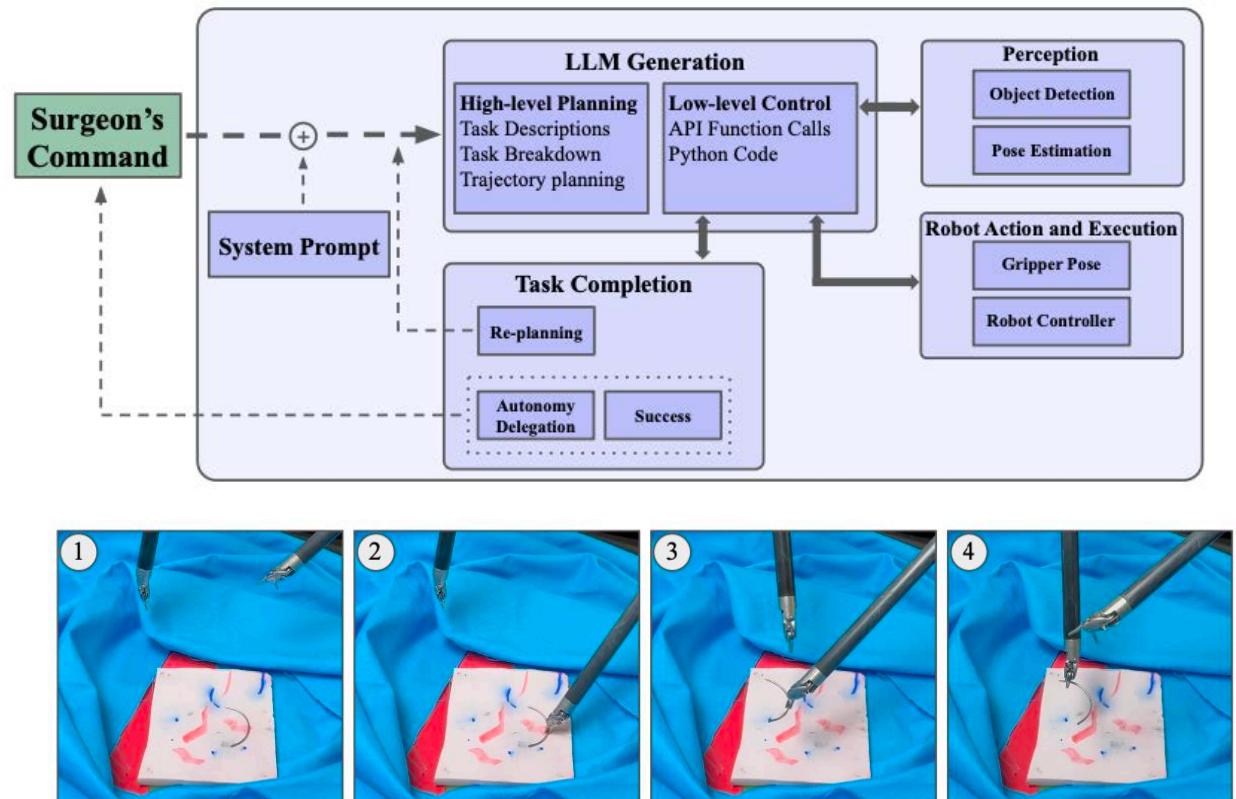
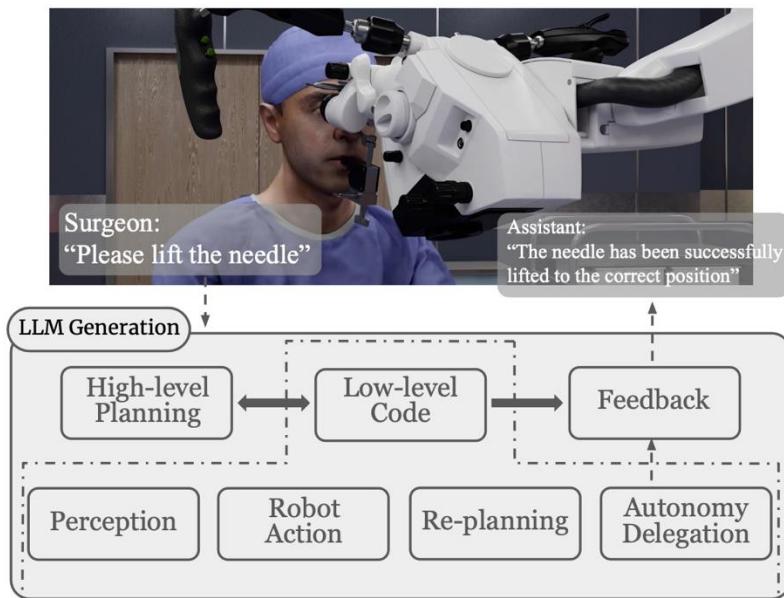
生成式人工智能与医学结合

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：



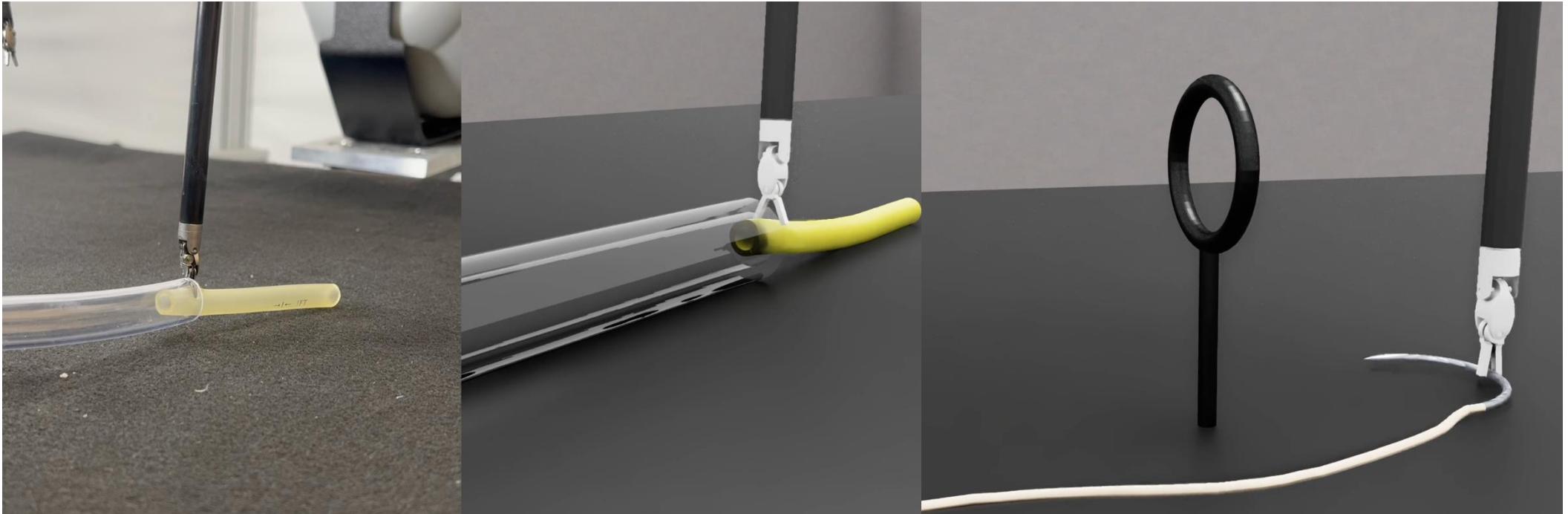
生成式人工智能与医学结合 (1)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大模型增强的手术规划



生成式人工智能与医学结合 (1)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大模型增强的手术规划，为此构建虚拟平台



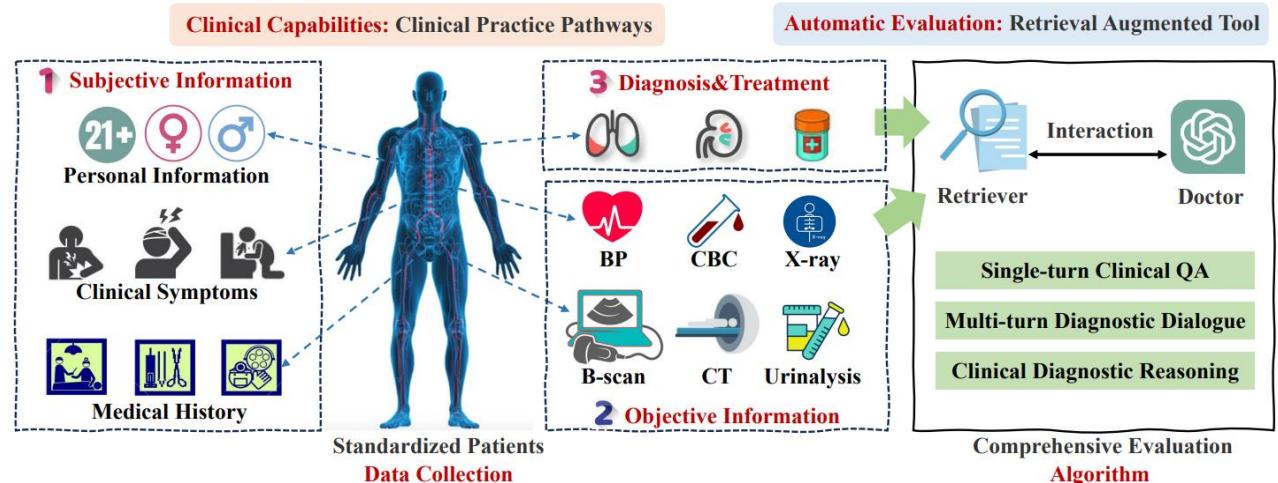
生成式人工智能与医学结合 (2)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：

- 大模型用于医学能力评价

- 提出了一个自动化的评估范式，用于评估LLMs在提供临床服务方面的能力，评估范式包含三个基本要素：Metric、Data、Algorithm，对应的方法分别为：LLM-specific Clinical Pathway、Standardized Patients、Retrieval-Augmented Evaluation

Single-turn Clinical QA		Multi-turn Diagnostic Dialogue		Clinical Diagnostic Reasoning
(Q, S, T, E) → (R)		(Q, S) → (Q, T) → (Q, E) → (R)		(Q) → (S) (T) (E)
Context (Q, S T, E)	Inquiry: I am experiencing frequent urination recently, what should I do?	Patient: I am experiencing frequent urination recently, what should I do? Doctor: Do you have some obvious symptoms? Patient: Retrieval Frequent urination, urinary urgency. Doctor: Have you taken a complete blood count (CBC)? Patient: Retrieval The CBC result is ... Doctor: ...	Patient: I am experiencing frequent urination recently, what should I do? Doctor: Do you have some obvious symptoms? Patient: Retrieval Frequent urination, urinary urgency. Doctor: Have you taken a complete blood count (CBC)? Patient: Retrieval The CBC result is ... Doctor: ...	Patient: I am experiencing frequent urination recently, what should I do? Doctor: Do you have following symptoms (frequent urination, urinary Urgency)? You should take following tests, urinalysis, complete Blood Count. You should take following examinations, including CT, MRI, ultrasound.
Answer	(R) Prostate cancer ↕ LLM's Diagnosis	Answer	(R) Prostate cancer ↕ LLM's Diagnosis	



生成式人工智能与医学结合 (2)

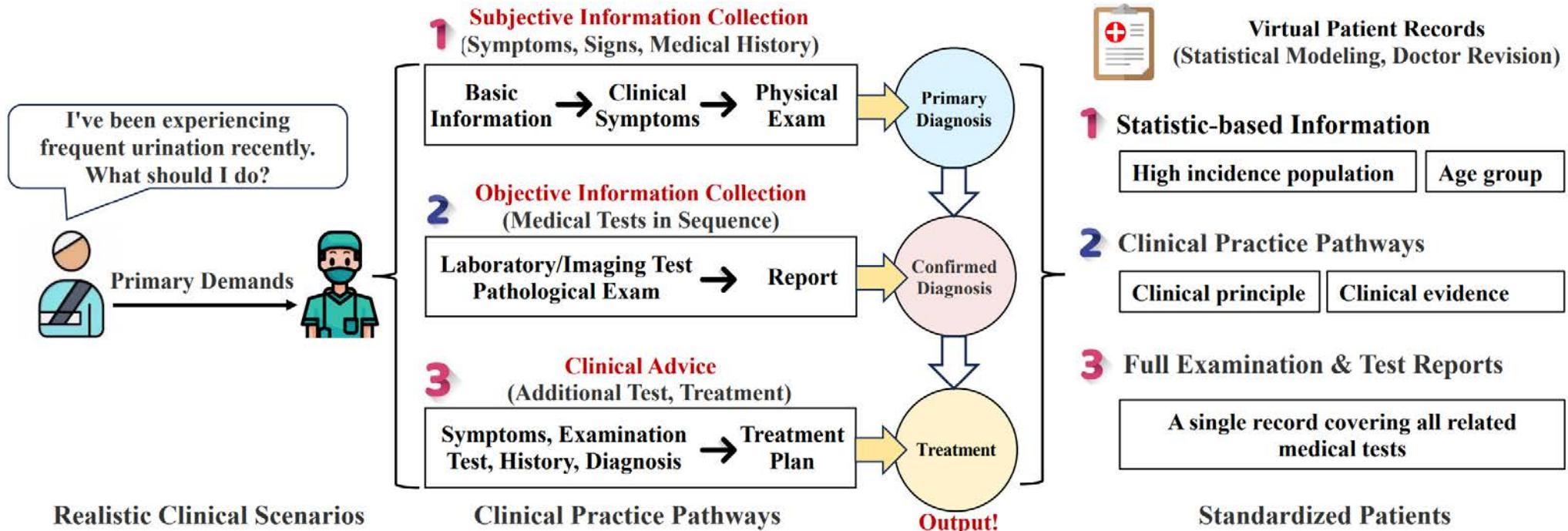
- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：

- 大模型用于医学能力评价

- Metric → LLM-specific Clinical Pathway (LCP)
根据医学教育中的临床实践路径定义Agent应具备的临床能力，为Doctor Agent在模拟真实医疗咨询时应遵循的步骤和能力提供了明确的指导。
 - Data → Standardized Patients (SPs)
经过特别训练的个体，能够以一种可重复的方式扮演虚拟患者，用于评估临床医生的技能。
 - Algorithm → Retrieval-Augmented Evaluation (RAE)
自动化模拟SPs与Doctor Agent之间的互动，评估Doctor Agent的行为是否符合LCP。

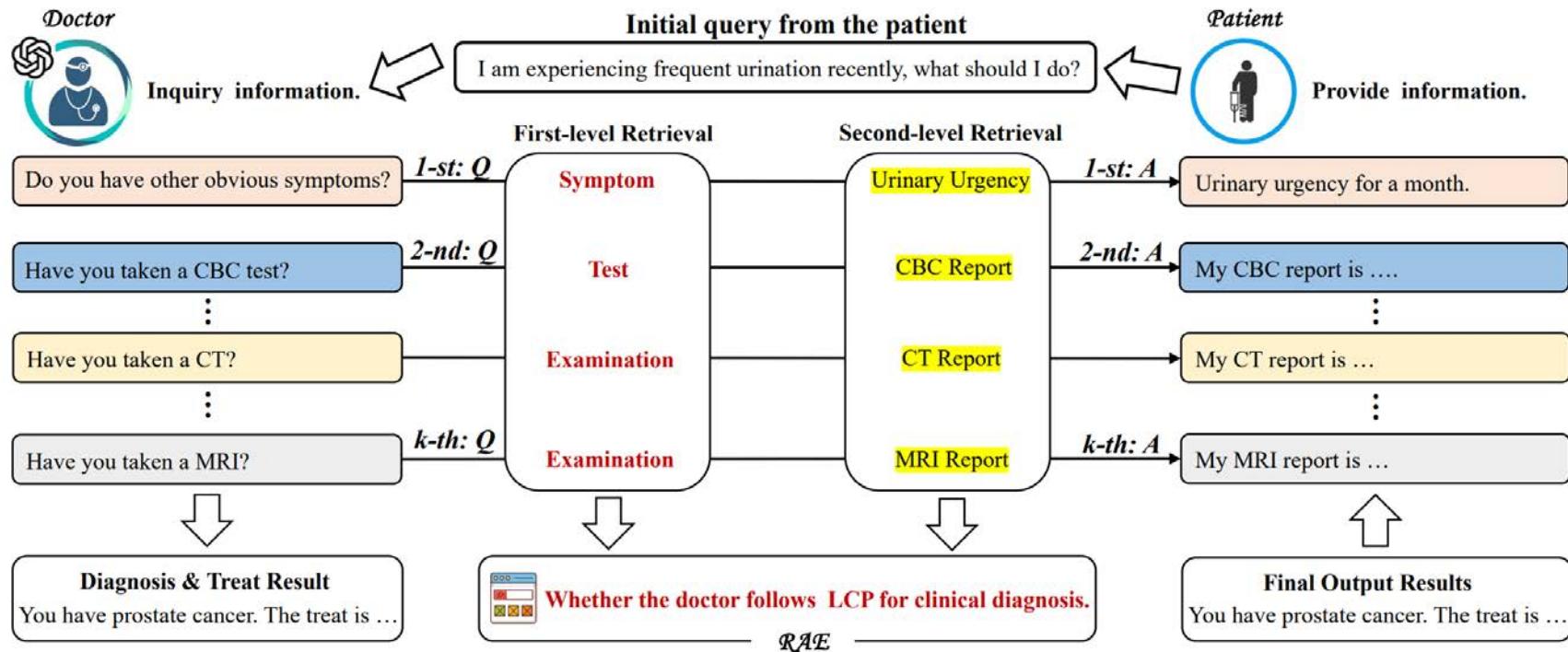
生成式人工智能与医学结合 (2)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大模型用于医学能力评价



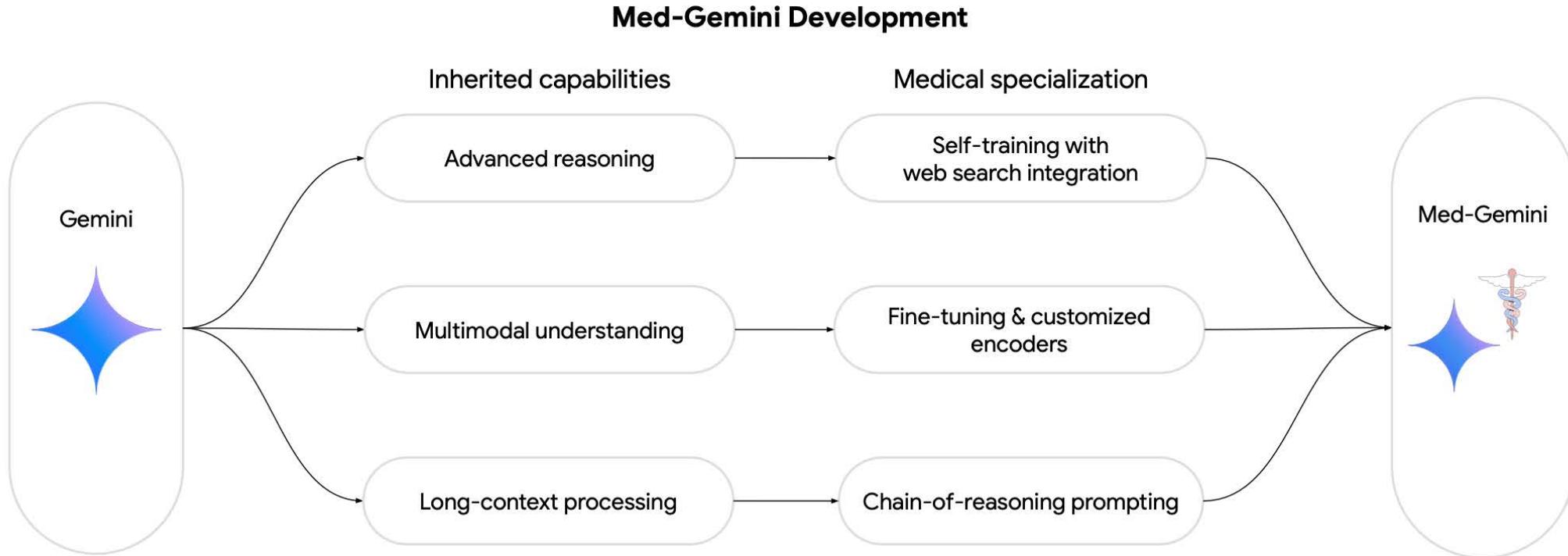
生成式人工智能与医学结合 (2)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大模型用于医学能力评价



生成式人工智能与医学结合 (3)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 医学多模态基础模型构建

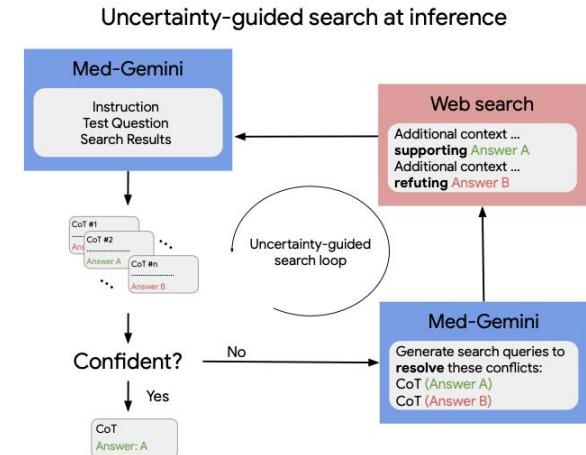


生成式人工智能与医学结合 (3)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：

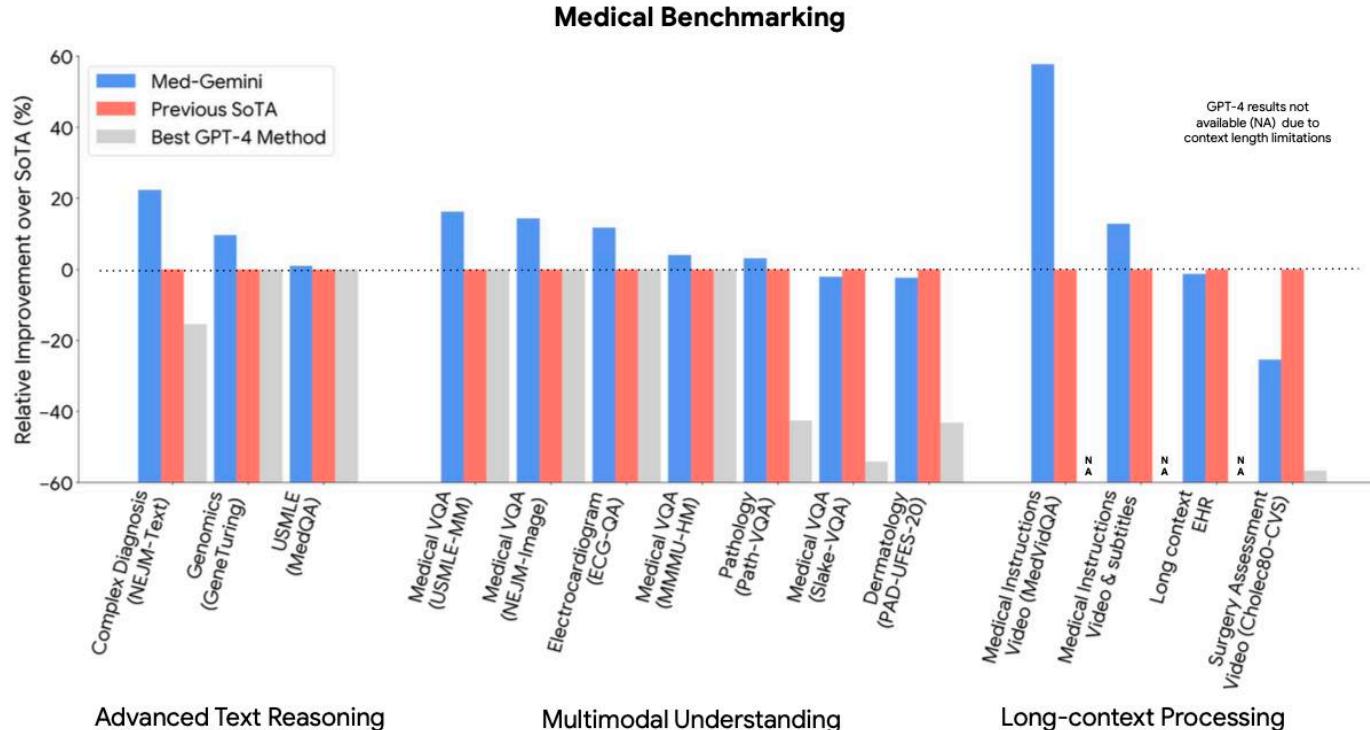
- 医学多模态基础模型构建

- Advanced reasoning via self-training and web search integration
- Multimodal understanding via fine-tuning and customized encoders
 - Image-to-text multimodal fine-tuning
 - Augmenting health signal modalities with new modality encoders
- Long-context processing via instruction prompting and chain-of-reasoning
 - Chain-of-reasoning for long EHR understanding
 - Instruction prompting for medical video understanding



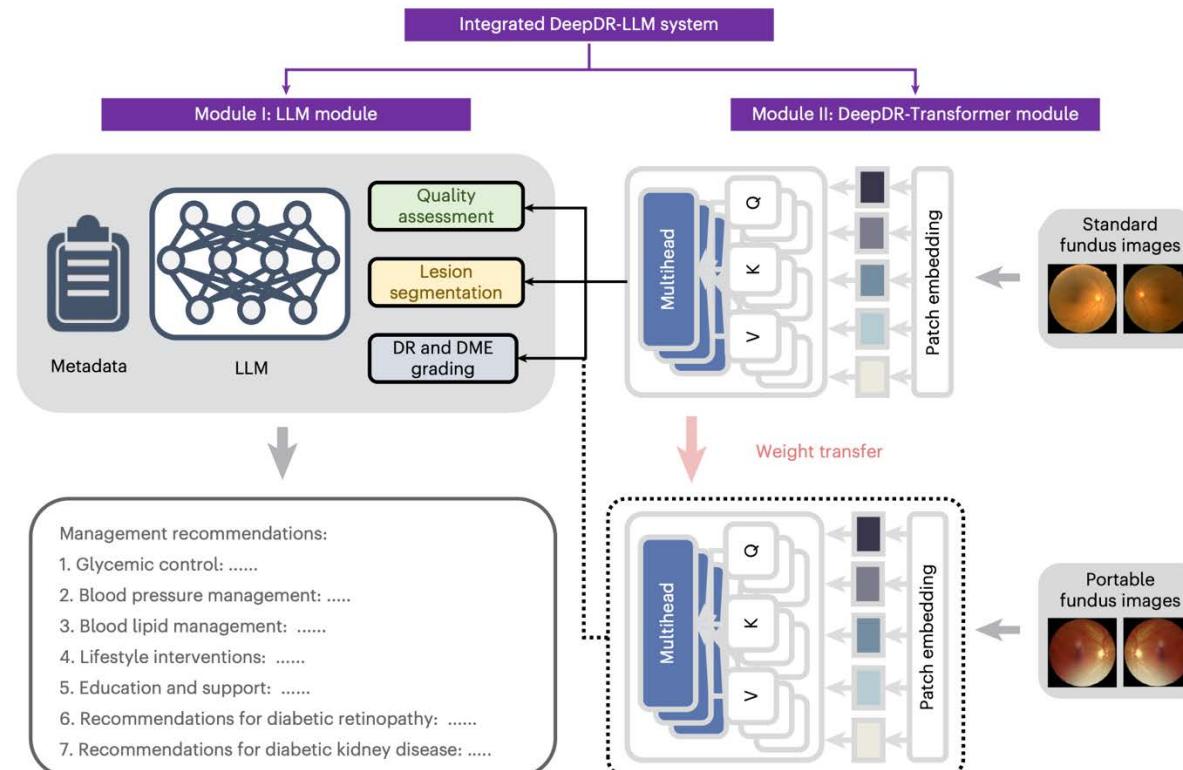
生成式人工智能与医学结合 (3)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 医学多模态基础模型构建



生成式人工智能与医学结合 (4)

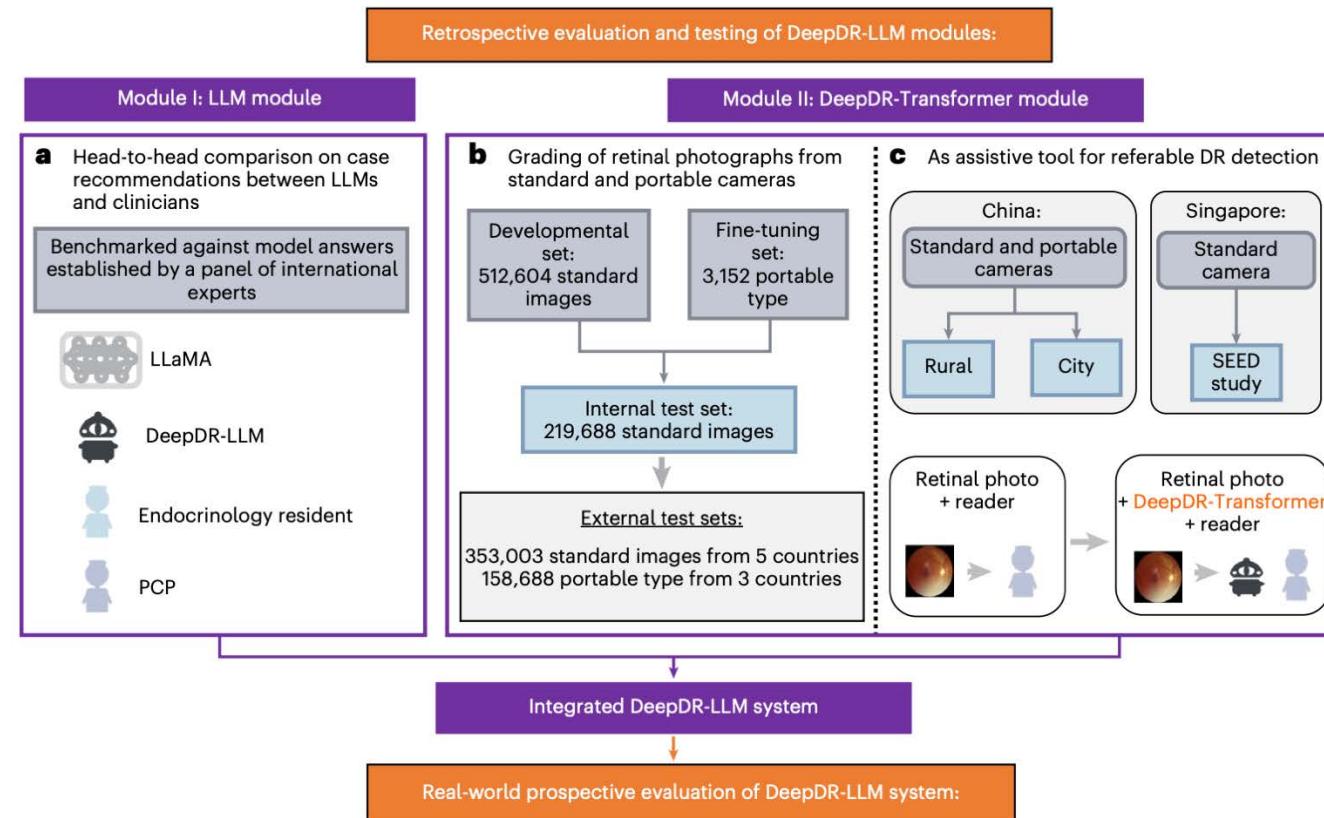
- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大小模型协同的健康管理



Li J, Guan Z, Wang J, et al. Integrated image-based deep learning and language models for primary diabetes care[J]. Nature medicine, 2024: 1-11.

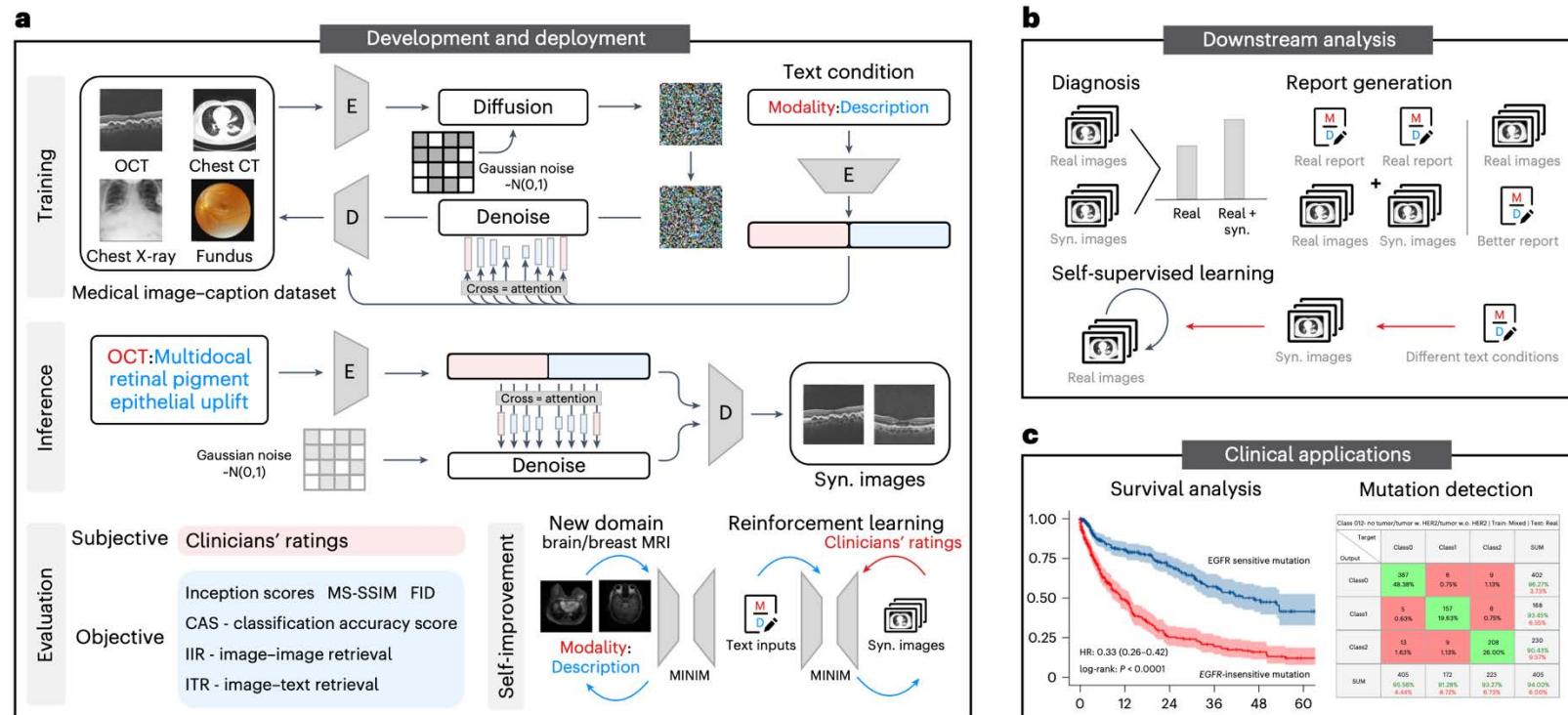
生成式人工智能与医学结合 (4)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 大小模型协同的健康管理



生成式人工智能与医学结合 (5)

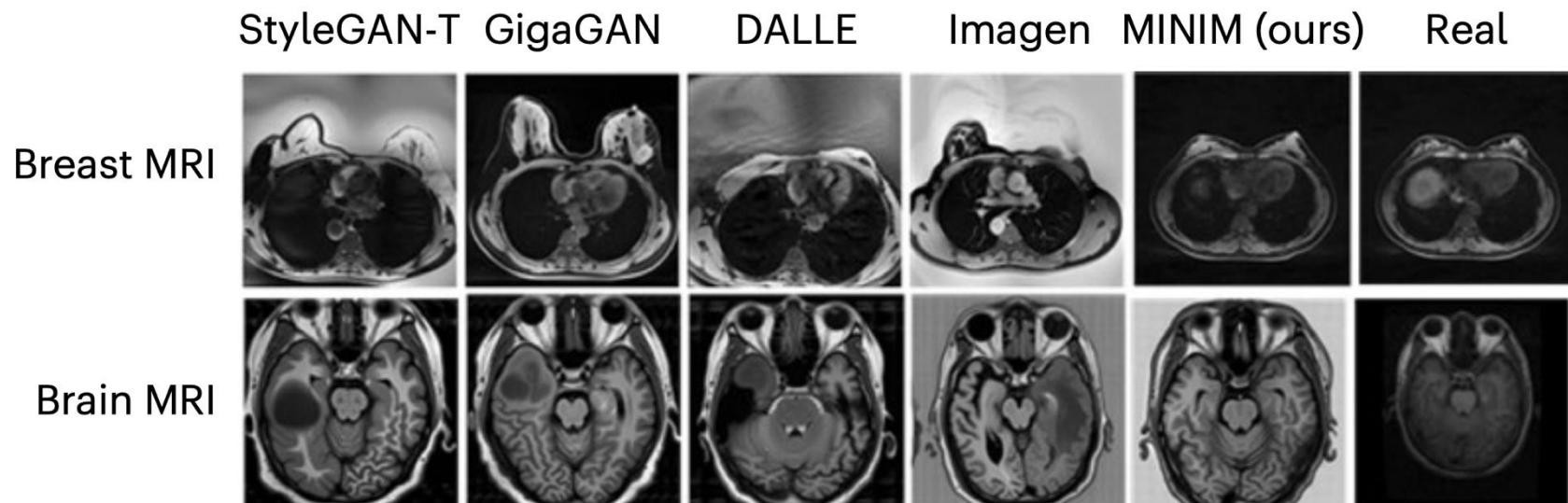
- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 医疗影像数据合成 (Diffusion model)



Wang J, Wang K, Yu Y, et al. Self-improving generative foundation model for synthetic medical image generation and clinical applications[J]. Nature Medicine, 2024: 1-9.

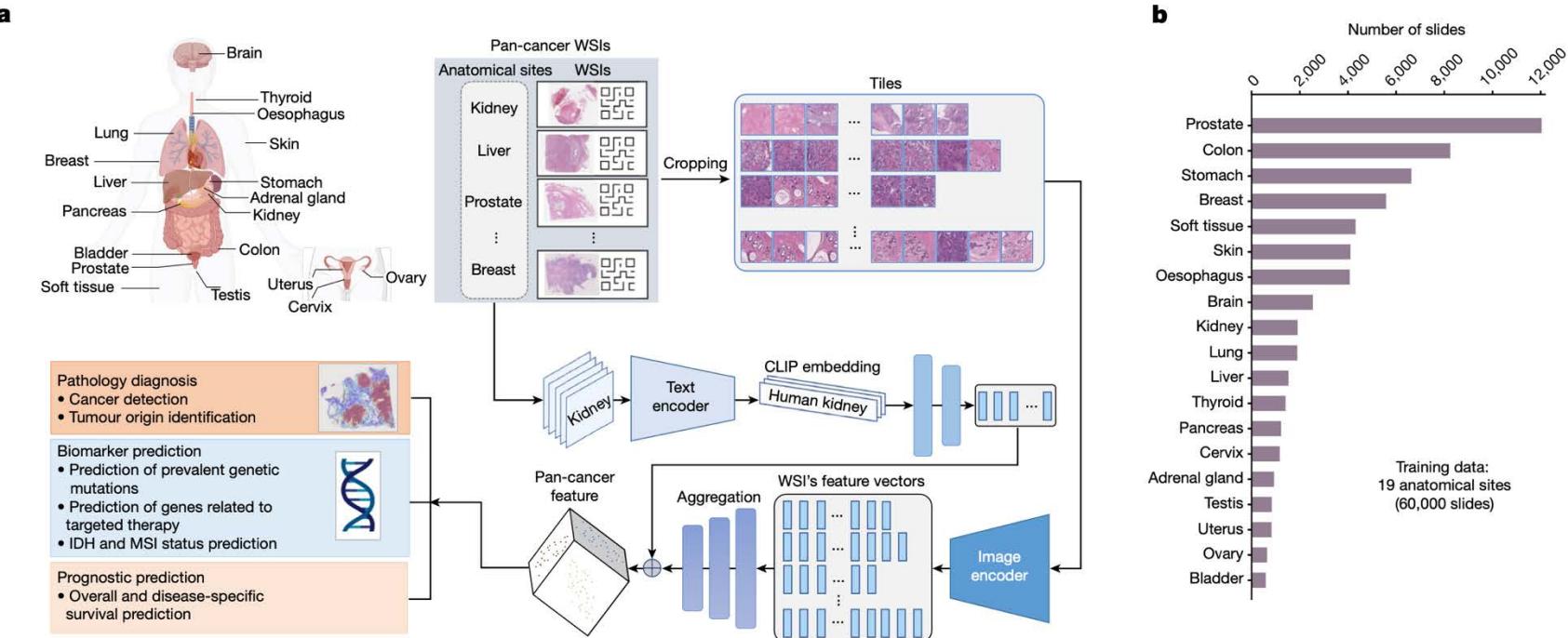
生成式人工智能与医学结合 (5)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 医疗影像数据合成 (Diffusion model)



生成式人工智能与医学结合 (6)

- 医疗领域的基础模型出现带来了更多可能：
 - 病理学影像基础模型



提纲

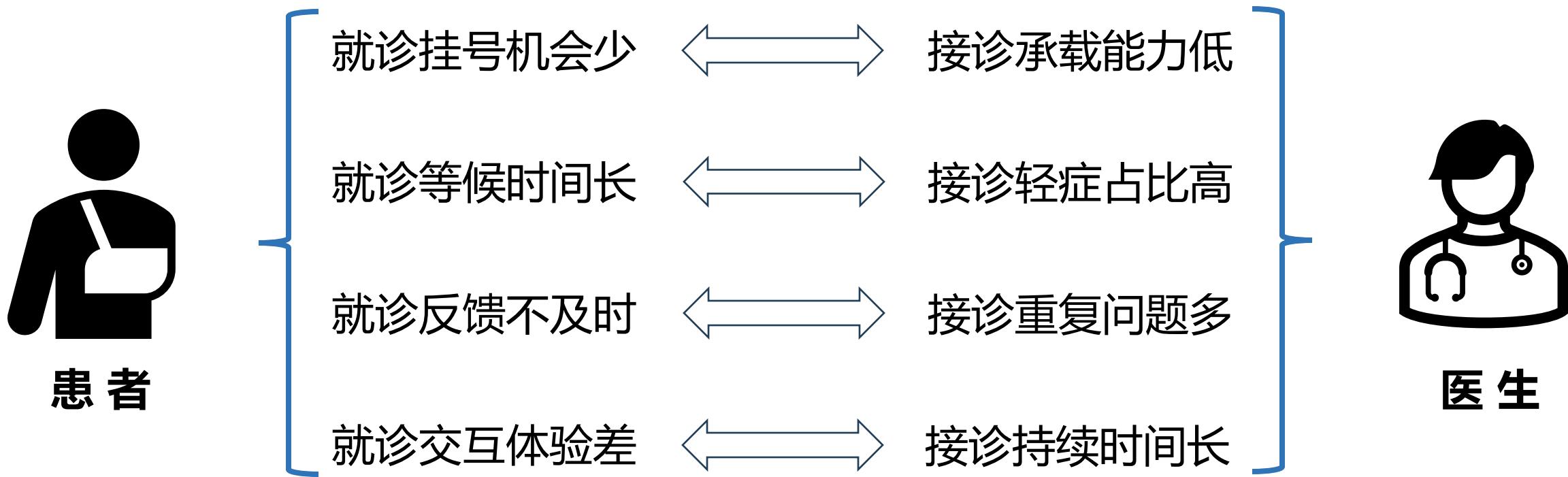
智慧医疗领域发展回顾

生成式人工智能+医疗前沿研究

我们的工作：Agent Hospital

Agent Hospital — 研究背景

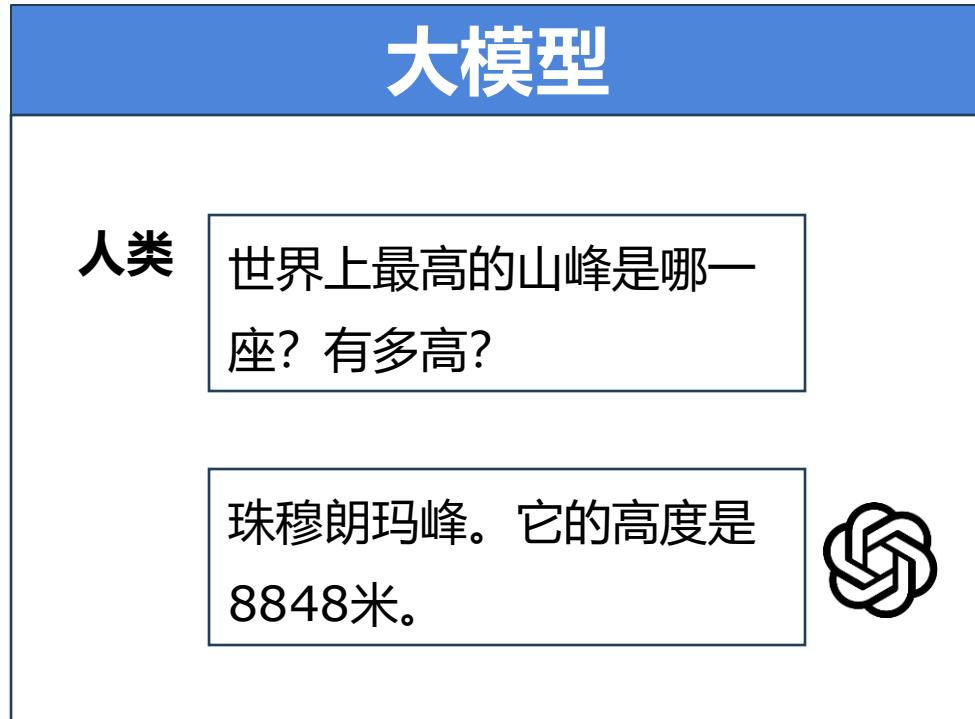
- 互联网医院并未从根本上解决高质量医疗资源稀缺的问题。



从互联网医院向人工智能医院发展是大势所趋

对人工智能发展态势感知

- “形神兼具”：以大模型为“灵魂”，以智能体为“肉体”。



能够理解和使用人类语言

能够与环境交互、使用工具和协同工作

智能体是待探索的有具体潜力的研究方向

- OpenAI高度关注智能体，GPTs是面向个人需求推出的智能体方案。



“但是当新的AI Agents论文出来的时候，我们都非常感兴趣，觉得它非常酷，因为我们的团队并没有花费五年时间在这上面，我们并不比你们更多掌握什么，我们正在与你们所有人一起竞争。”



机遇：在智能体方向国内外基本处于同一起跑线

Agent Hospital — 研究背景

- AlphaGo Zero持续进化，无需人类标注数据，超越人类的围棋水平。

无需数据标注

理论上可以生成无限的训练数据，并且无需人类标注。

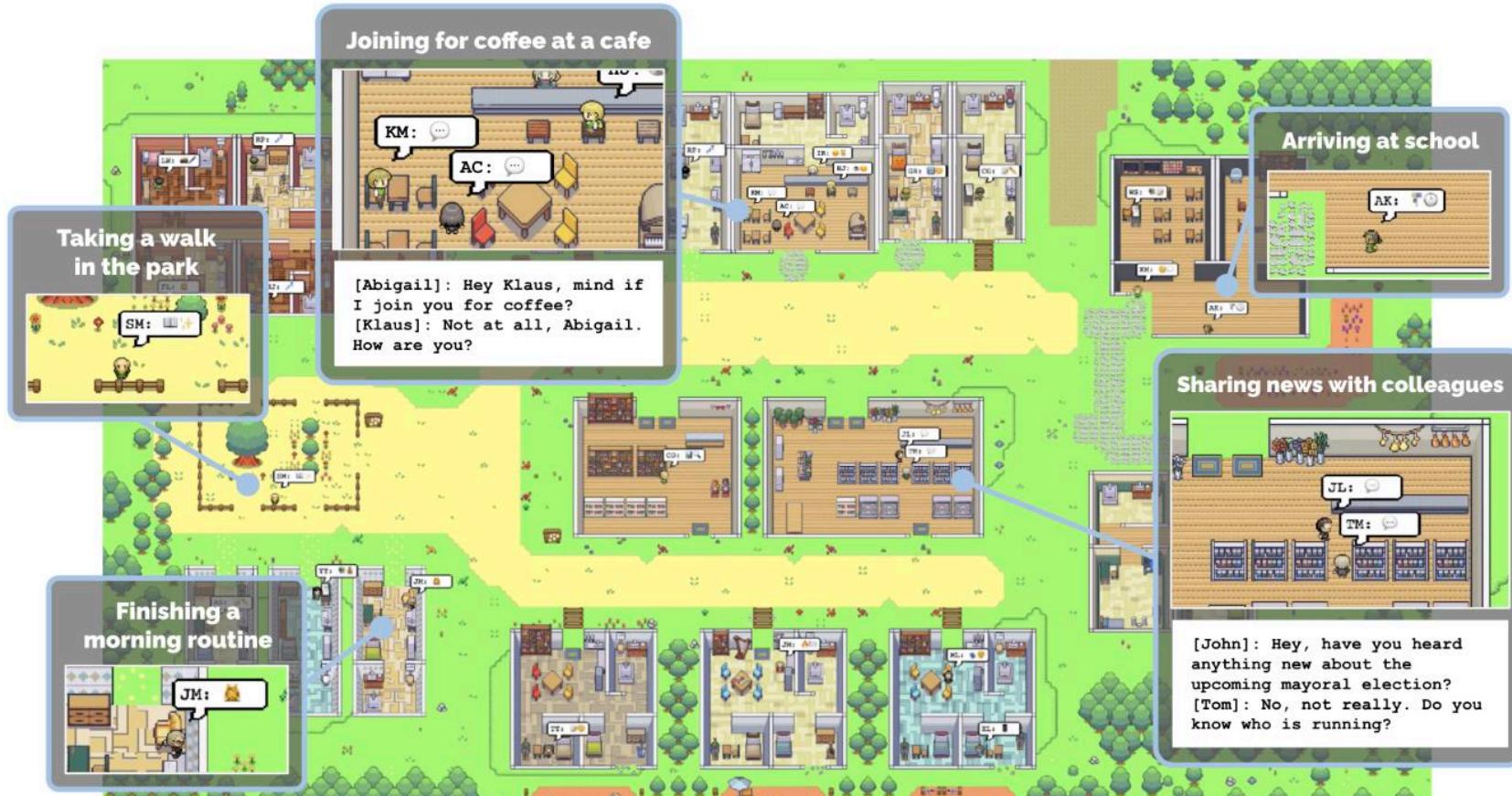
系统快速进化

人类花了上千年积累经验，而系统在70小时内便可超越人类。

现实问题更复杂!

Agent Hospital — 研究背景

- 利用基于大模型的自主智能体模拟现实世界，发现涌现性社会行为。



模拟现实社会

建立虚拟世界，让大模型智能体扮演各种角色，进行复杂交互。

智能体经验累积

固定大模型，通过经验库实现在虚拟世界中的持续学习。

但不解决实际问题

Agent Hospital

- 目标：建立虚拟医院，让智能体进化获得达到乃至超越人类的医疗能力。



模拟现实社会

建立虚拟医院，设立病人、护士和医生。

无需数据标注

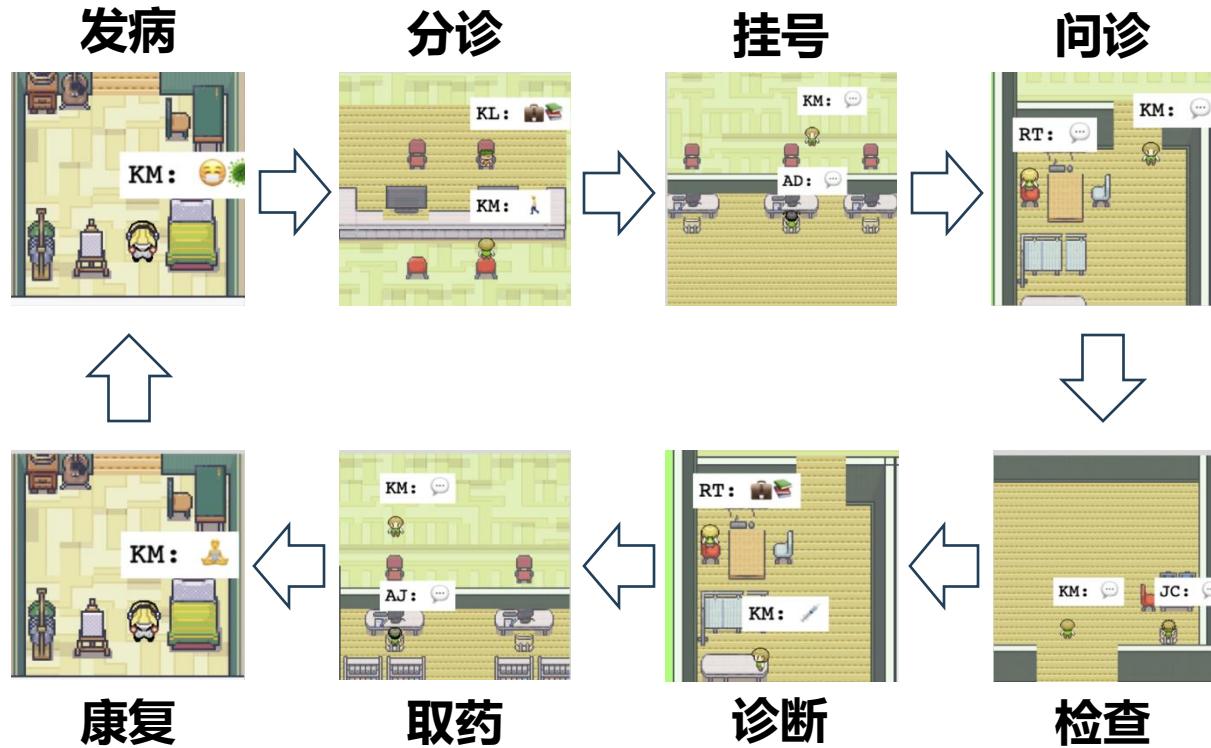
大模型结合医疗知识
合成无限训练数据。

智能体持续进化

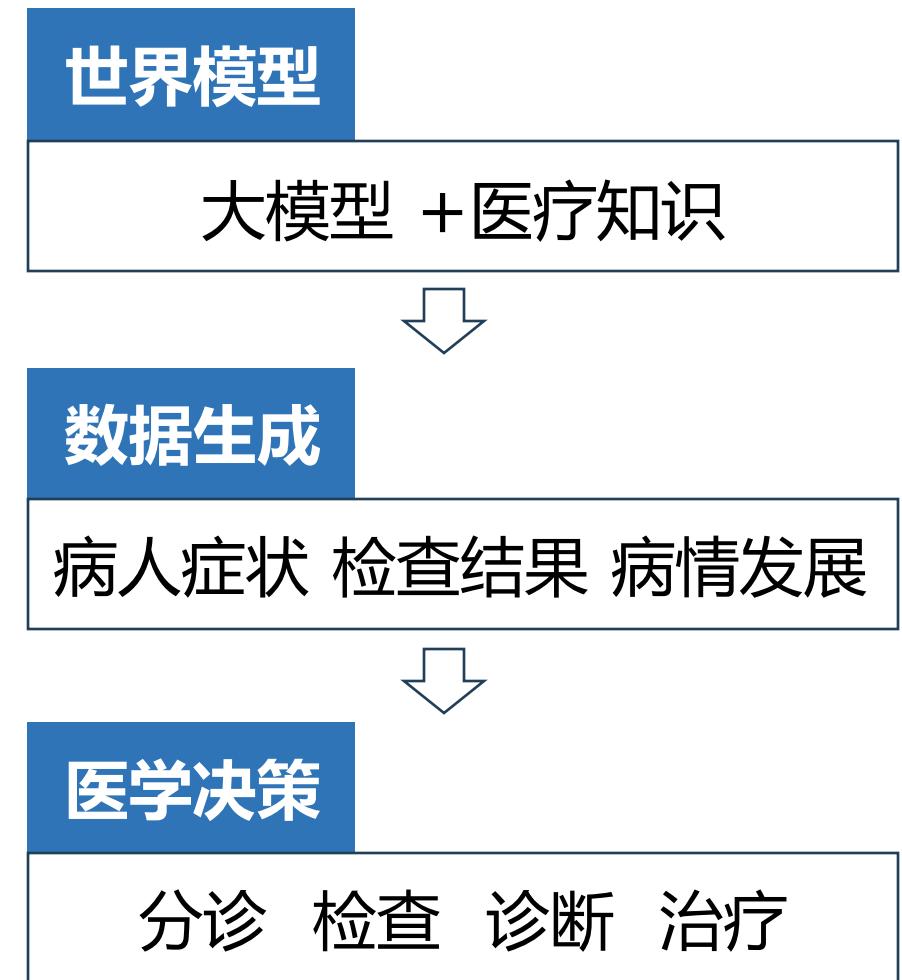
医生智能体处理远超
人类的超大规模病例₄₂

Agent Hospital

- 建立疾病产生和发展的世界模型，为医疗智能体进化提供数据“飞轮”。



让AI医生看100万个病例，会发生什么？



Agent Hospital

- 虚拟医院系统中的智能体分为三大类，分别专门建立“人设”。

姓名：林雪扬

性别：女

国籍：中国

年龄：30岁

职业：医生

部门：呼吸内科



林雪扬
医生智能体



秦若水
护士智能体



郭玉山
患者智能体

Agent Hospital

- 虚拟医院系统中目前共设置21科室，覆盖数百种疾病。

儿 科

耳鼻喉科

风湿免疫科

妇产科

感染科

骨 科

呼吸内科

急 诊 科

精 神 科

口 腔 科

泌尿外科

内 分 泌 科

皮 肤 科

普 通 外 科

神 经 科

肾 脏 内 科

胃 肠 科

心 血 管 内 科

血 液 科

眼 科

肿 瘤 科

Agent Hospital

- 共构建了约50万位AI患者，在疾病、年龄、性别等方面分布均衡。



AI患者生成



优点：

- 数量无限
- 分布可控
- 拟人交互
- 病情推演



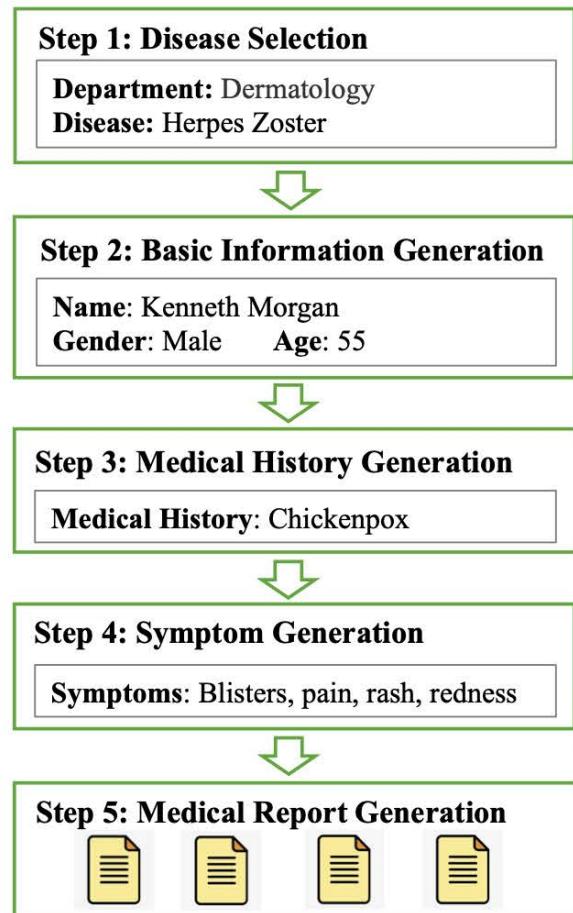
姓名：李小丽（化名）
性别：女
年龄：39
国籍：中国
病史：高血压4年，控制尚可。
主诉：反复晕厥，胸痛伴胸闷。
检查：体格检查、心电图、胸部X线
冠脉造影、超声心动图
诊断：肥厚性心肌病。
治疗：左室流出道疏通术。

Agent Hospital

- 多步式的AI患者产生过程。

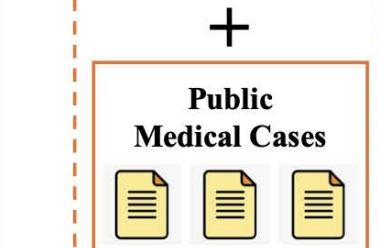
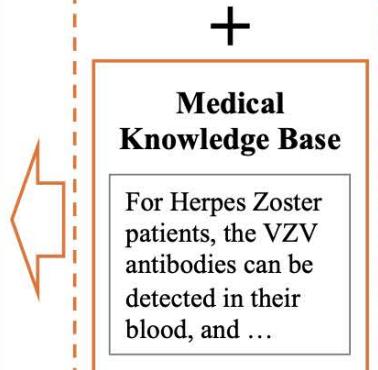


Kenneth Morgan



Prompt for Medical Report Generation

Instruction: You are a knowledgeable medical expert in the *Dermatology* department. Based on the patient information I provide, please generate realistic potential examination results. I will provide an input in JSON format containing six key-value pairs: patient's info, disease name, severity level, symptoms, examination list, and examination reference standard. The severity level will always be one of the following: mild, moderate, or severe. Based on the patient's age, gender, medical history, lifestyle factor, vaccination history, family history and reference standards, please generate a possible examination result. The generated result should be diverse, definite, and reflect scenarios that may be encountered in real patient cases, while do not directly mention the name of this disease. Please return the output in JSON format ...



● AI患者样例展示

曰 {

"姓名": "郭然祥",

"年龄": "73",

"性别": "男性",

"疾病名称": "脂肪肝",

"严重程度": "重度",

"基本信息": 曰 {

"患者病史": "高血压史已超过20年，曾患有糖尿病数年，正在进行药物控制。半年前诊断出轻度脂肪肝，近期明显加重。",

"生活方式因素": "饮食偏好高脂高糖，嗜好肉食，缺乏运动，每周饮酒3至4次。作息时间规律性较差，压力大时有暴食习惯。",

"家族病史": "父亲患有肝硬化，母亲有高血压和糖尿病史。"

},

"症状": 曰 {

"症状描述": 曰 [

"严重的疲乏和无力，尤其在午后",

"持续的右上腹隐痛",

"偶尔出现食欲不振",

"轻度黄疸",

"肝脏明显肿大"

],

"持续时间": "症状主要在过去的3至4个月逐渐出现和加重。"

},

"检查结果": 曰 {

"体格检查": "体重指数为 31.5 kg/m^2 ，提示肥胖，腰围/臀围比值为0.95。",

"生活方式评估": "饮食评分较差，每日摄入脂肪和糖分均超过推荐标准约50%。",

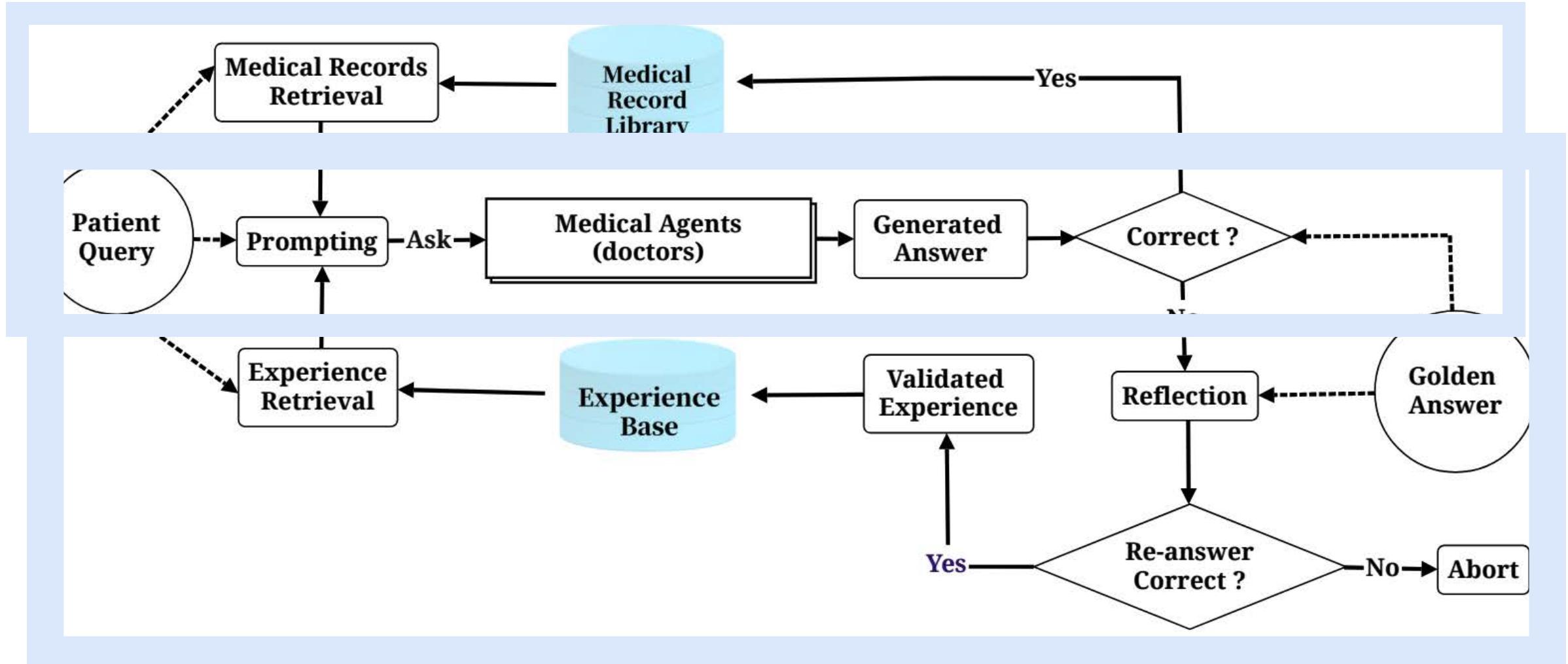
"实验室检查": "丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 增至 85 U/L ，天门冬氨酸氨基转移酶 (AST) 为 70 U/L ， γ -谷氨酰转肽酶 (GGT) 为 95 U/L ，提示肝功能受损。总胆固醇水平为 6.3 mmol/L ，甘油三酯为 2.8 mmol/L ，低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 为 3.8 mmol/L ，高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 仅 0.9 mmol/L 。糖化血红蛋白 (Hb-A1c) 为 8.2% ，空腹血糖为 9.3 mmol/L 。胰岛素抵抗指标 (HOMA-IR) 为 4.5 ，显著升高。",

"影像学检查": "肝脏超声显示肝脏回声增强，回声强度超过肾脏，与脂肪浸润相符。瞬时弹性成像结果为 14 KPa ，脂肪衰减值为 285 db/m ，提示重度肝纤维化。CT显示肝脏区域的CT值显著降低至 40 HU 。"

}

Agent Hospital

- 提出医生智能体自我进化算法：MedAgent-Zero



Agent Hospital

● AI患者诊断样例

Diagnosis Report

General Information:

Name: Kenneth Morgan **Gender:** Male **Age:** 55

Medical History: Chickenpox

Disease: Herpes Zoster (invisible to patient and doctor agents)

Symptoms: blisters, pain, vesicular rash, redness on skin.

Medical Examination Reports:

Blood test: Presence of Varicella-Zoster Virus (VZV) antibodies.

Staining of cells from rash base: Presence of viral glycoprotein.

Tissue scraping: multinucleate giant cells and intranuclear inclusions.

PCR test for VZV: Positive in blister fluid.

Agent Hospital

● AI患者诊断样例

Information Retrieved from Medical Case Base:

Case #05872

Name: Jason Huddleston

Gender: Male

Age: 52

Medical History: Chickenpox

Symptoms: blisters, pain, rash

Medical Examination Reports:



Diagnosis: Herpes Zoster

Case #02901

Name: Xin Guo

Gender: Male

Age: 51

Medical History: Depression

Symptoms: pain, vesicular rash

Medical Examination Reports:



Diagnosis: Herpes Zoster

Case #08358

Name: Alice Garcia

Gender: Female

Age: 37

Medical History: Herpes Zoster

Symptoms: blisters, pain

Medical Examination Reports:



Diagnosis: Chickenpox

● AI患者诊断样例

Information Retrieved from Experience Base:

Exp. #00764: The risk of Herpes Zoster increases as you get older, with about half the cases occurring in people over the age of 50.

Exp. #09581: People who have had chickenpox are more likely to develop Herpes Zoster with a weakened immune system.

Exp. #08723: The incorrect identification of “Chickenpox” instead of “Herpes Zoster” suggests a misunderstanding of the differences between these two diseases. Pay attention to distinguishing features such as viral infections like VZV.

● AI患者诊断样例

Diagnosis:

Thought: (1) The patient presents with symptoms such as blisters, pain, and vesicular rash. (2) Laboratory findings confirm the presence of VZV antibodies and the presence of VZV DNA in blister fluid, indicating Herpes Zoster. (3) Retrieved similar cases were diagnosed as Herpes Zoster. (4) Retrieved experience suggests it is likely to be Herpes Zoster considering the patient's age and medical history, and laboratory findings.

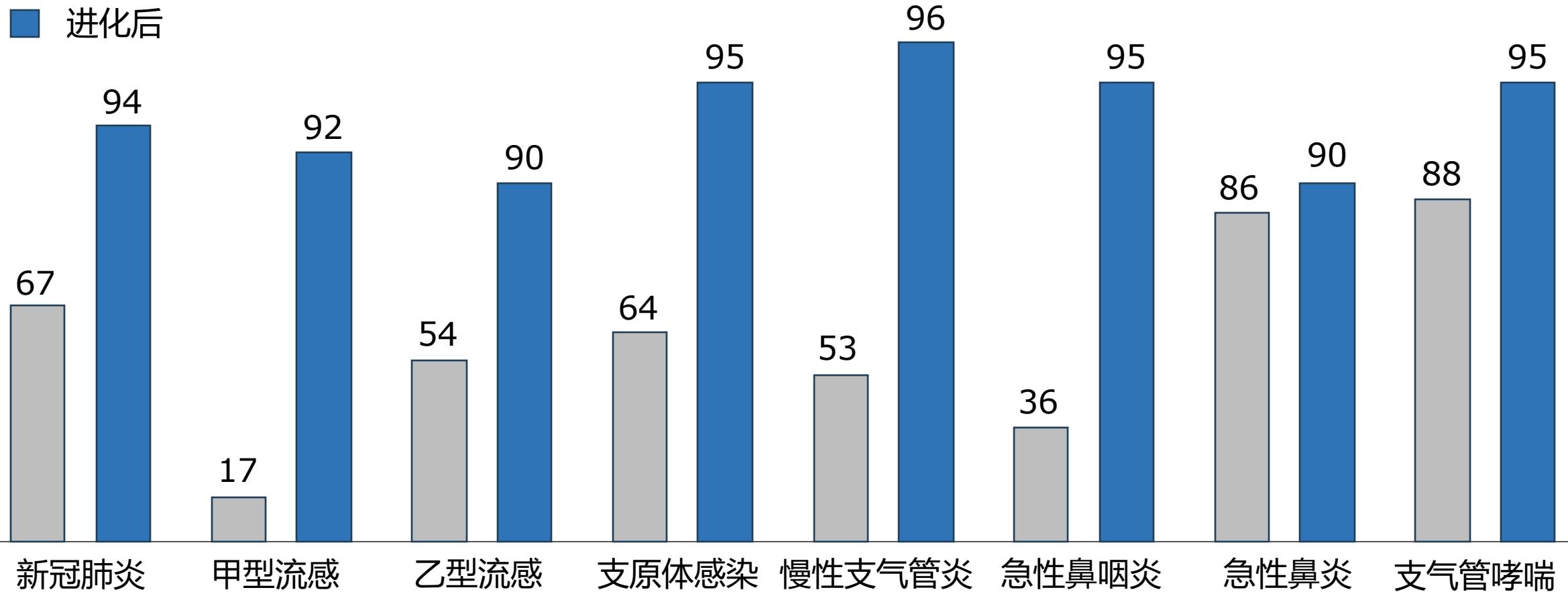
Disease: Herpes Zoster.

Signature: 

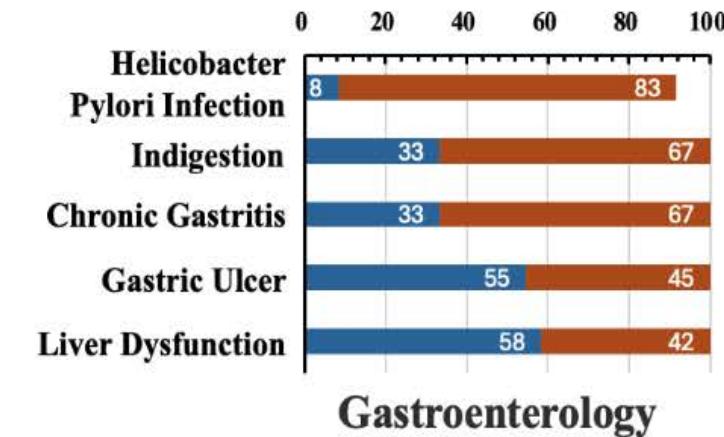
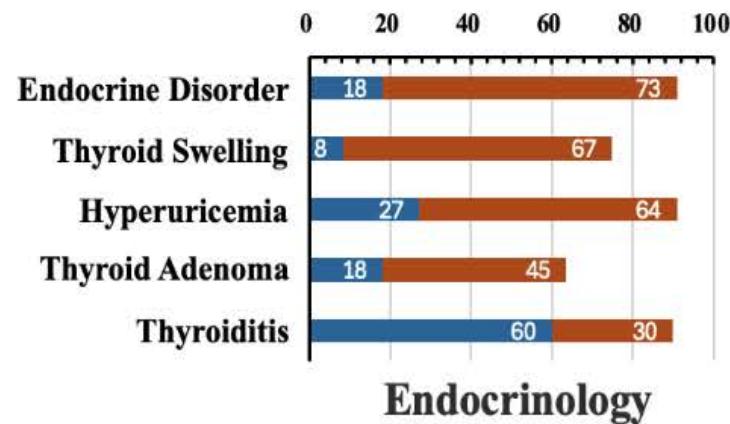
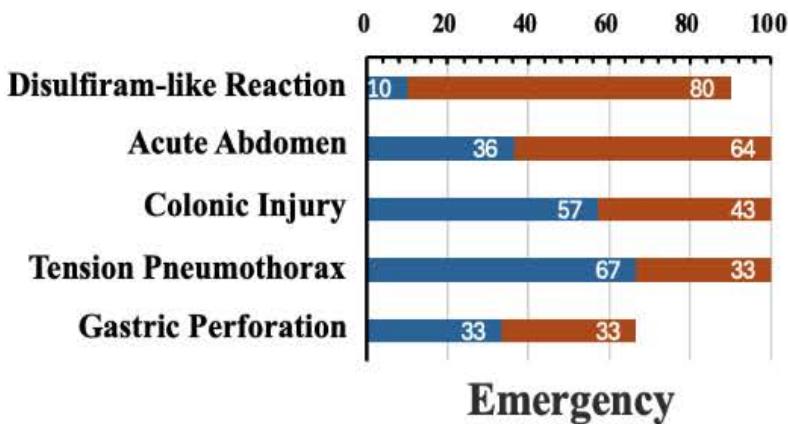
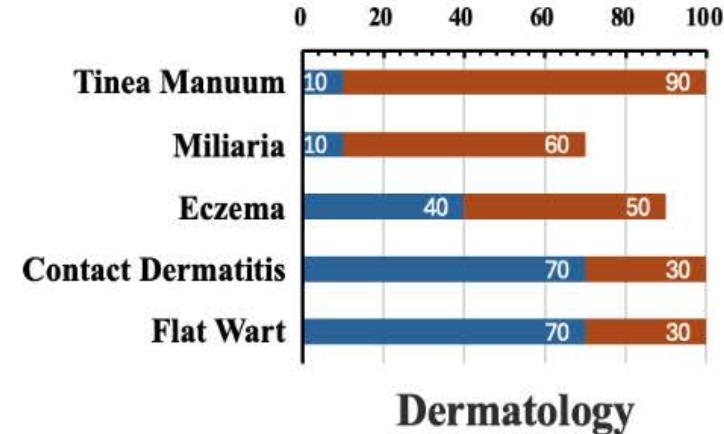
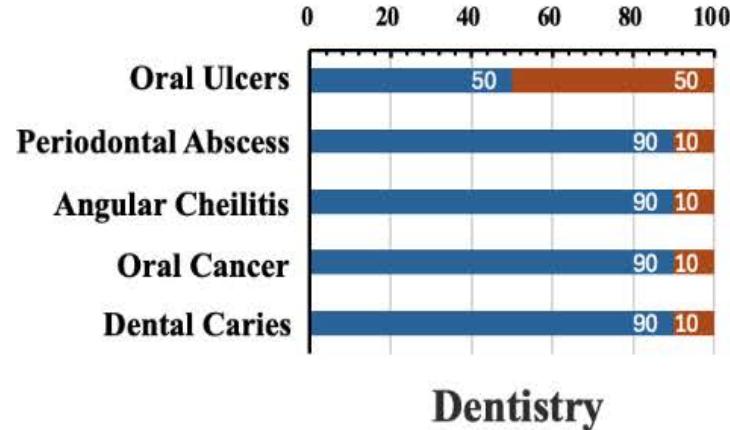
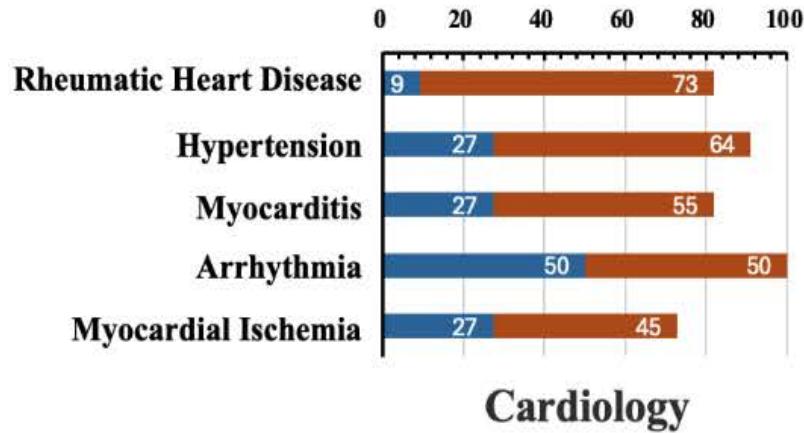
Agent Hospital

● 虚拟世界测试：进化后的医生智能体取得显著提升

■ 进化前
■ 进化后



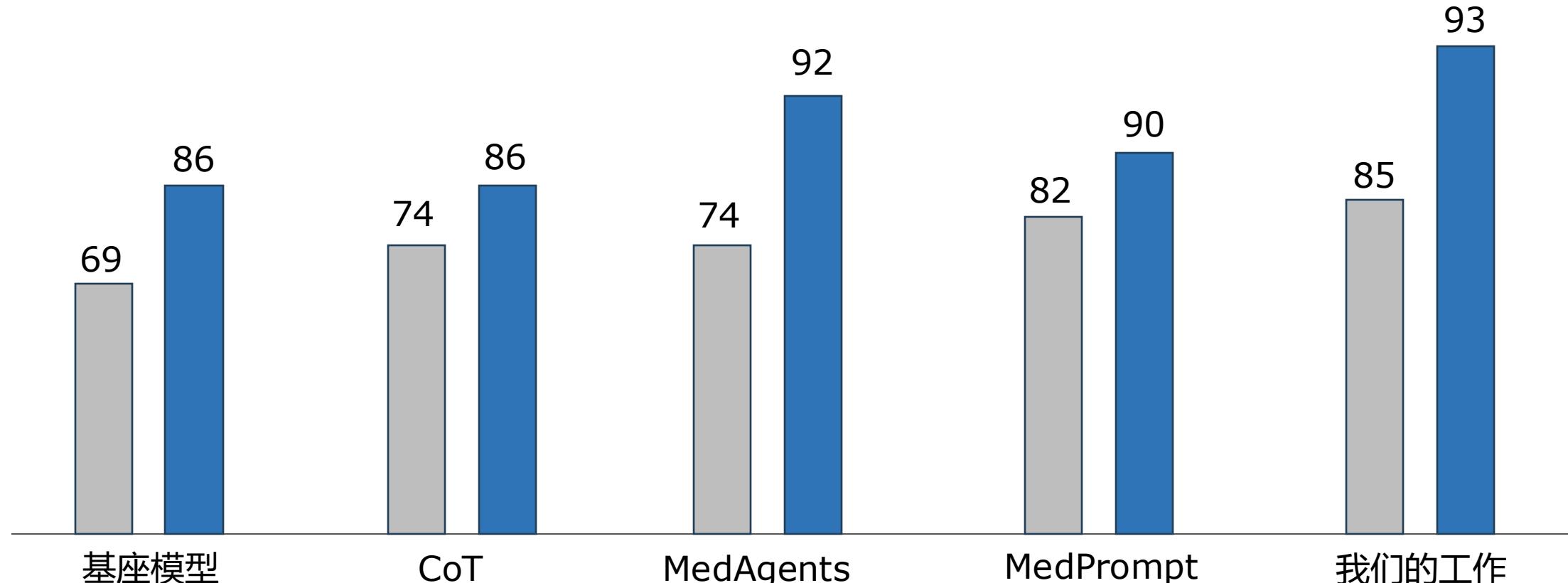
- 在21个科室的300多种疾病上均获得提升，表明方法具有普适性。



Agent Hospital

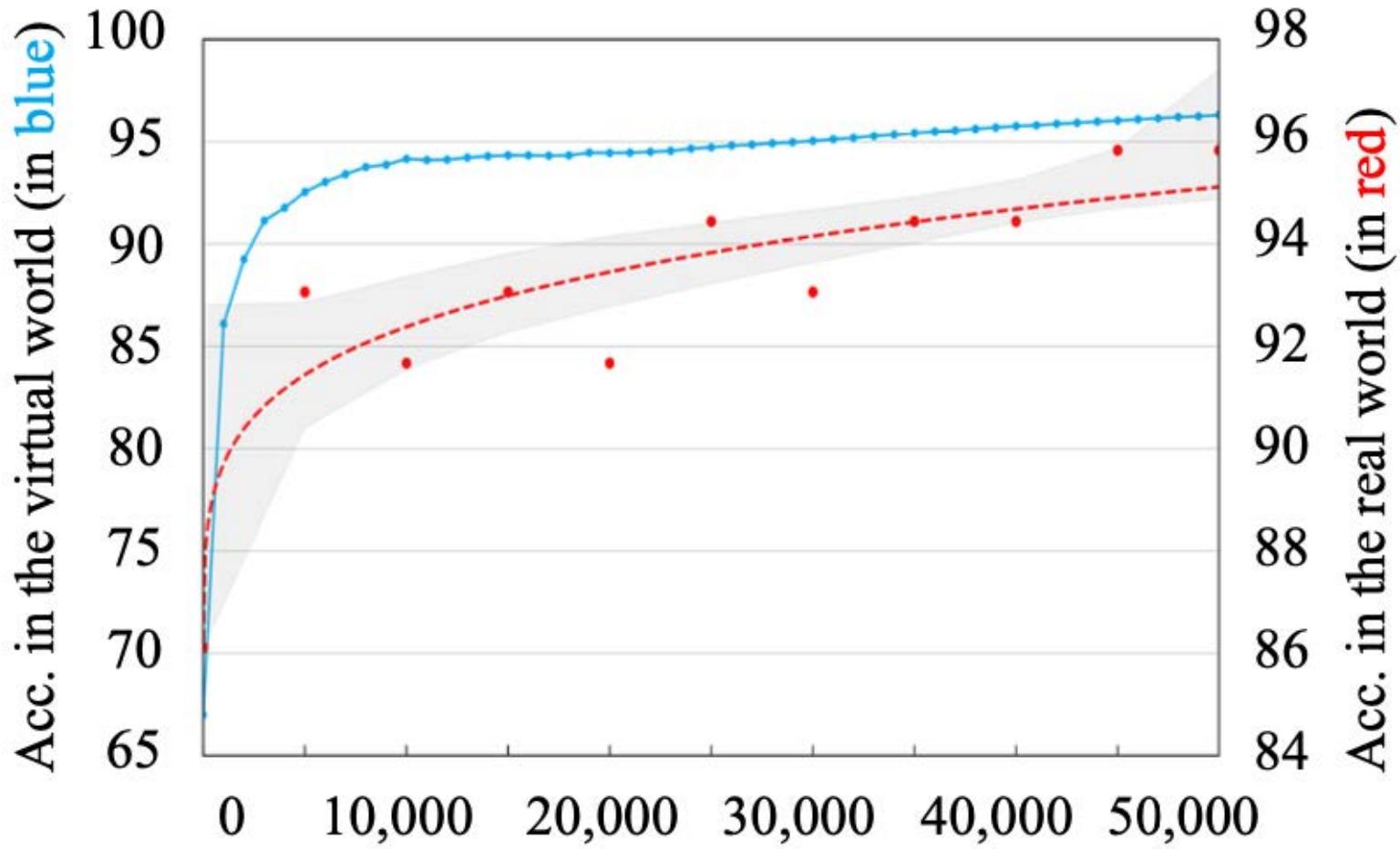
- 真实世界测试：未使用标注数据情况下取得相应科室的更优效果

GPT-3.5
GPT-4



Agent Hospital

- 初步结果表明，AI医生在虚拟世界获得的能力也适用于真实世界。



Agent Hospital

● Agent Hospital引起媒体关注，智能体在垂域落地应用是大势所趋。



The news article is from The Sun, dated 29 May 2024. The headline is "ROBO-DOC World's first AI hospital unveiled in China with robot doctors who 'can treat 3,000 patients A DAY & will save millions'". The article is by Tom Malley, a Foreign News Reporter. It describes the "Agent Hospital" as a futuristic medical care system that can lead to the cultivation of highly-skilled doctors. The article includes a photo of a robotic doctor and a quote from Liu Yang. The word "INSID" is visible at the bottom left of the image.

Reading Time: 3 minutes



Why you can trust SCMP



Agent Hospital

● Agent Hospital未来应用前景广泛，也可以扩展到其他领域。

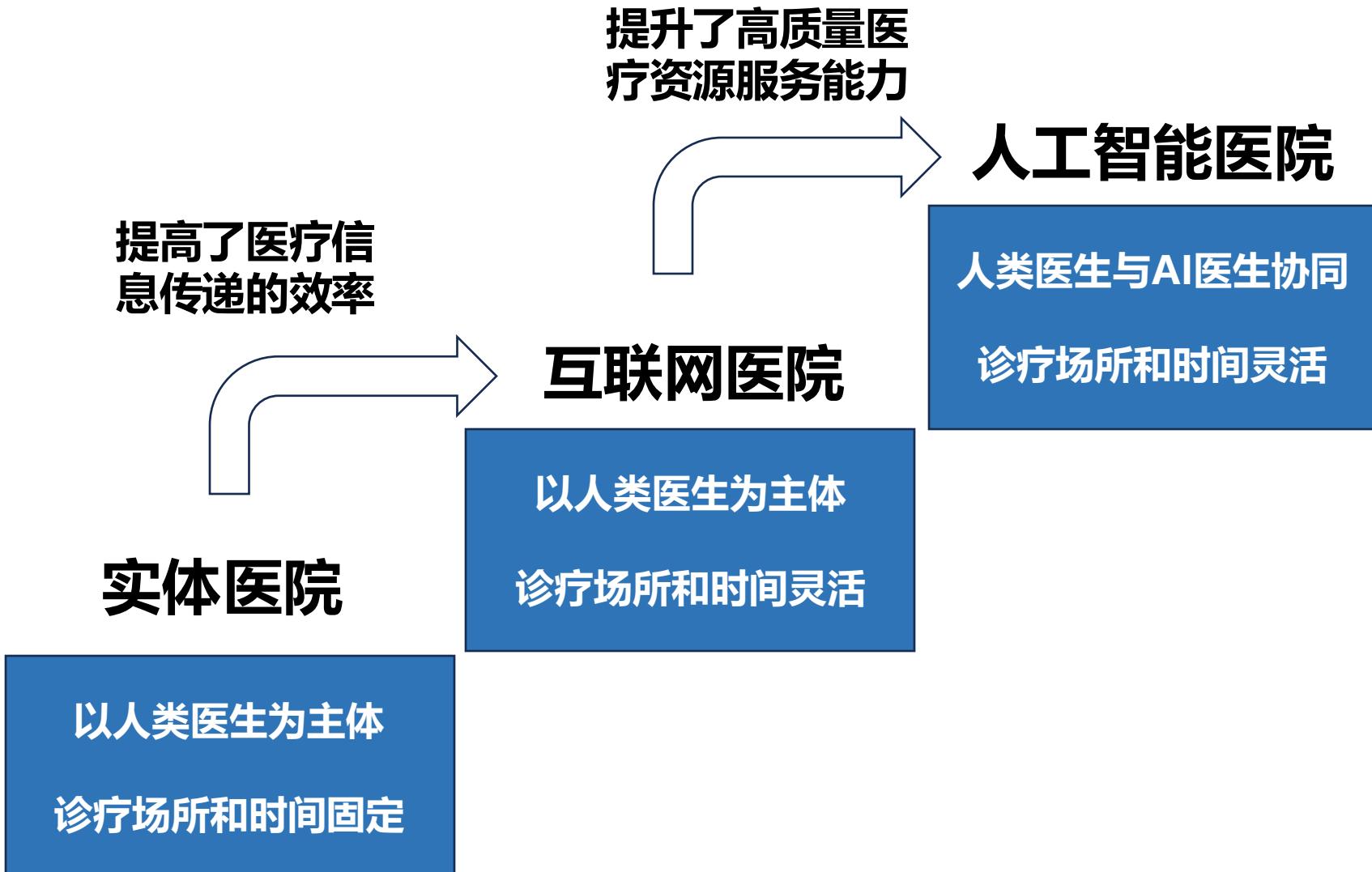
- **贴合需求：**直接建立贴合真实需求的拟像，更容易落地应用。
- **生产数据：**基于大模型与领域知识自动生产数据，成本低廉。
- **加速时间：**拟像是时间加速器，智能体在短时间内快速进化。
- **降低开销：**无需训练垂域大模型，降低算力开销，灵活适配。

Agent Hospital

- Agent Hospital未来应用前景广泛，也可以扩展到其他领域。

患者	医生	应用
虚拟	真实	护士培训、医生培训
真实	虚拟	健康咨询、私人医院
虚拟	虚拟	公共卫生事件沙盘推演
真实	真实	医疗助手、医生分身

未来展望





AIR

清华大学智能产业研究院

Institute for AI Industry Research, Tsinghua University

When we dare to dream,
we achieve greatness.



扫一扫，关注我们