

News & Highlights

新型扫描仪助力医学影像诊断能力提升

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

作为一名放射科医生，Philippe Douek在他30年的职业生涯中，研究过成千上万张电子计算机断层扫描仪（CT）生成的影像，以探查疾病或损伤迹象。但对于这位法国里昂第一大学的放射学教授来说，一种新型设备——光子计数探测器（PCD）CT——所体现的性能着实让他惊叹不已。Douek和他的同事一直在对PCD原型机进行测试，不仅对动物、假人进行扫描成像，甚至也扫描了Douek的肺部。他表示，用这种技术生成的图像“要详细得多”。

研究人员也已证实，该技术提供了更好的分辨率以回馈患者。比如Douek和他的同事在2021年的一项研究中发现，相较于传统的CT设备，PCD CT能更好地诊断冠状动脉疾病（即为心脏输送血液的动脉变得狭窄）[1]。对此，Douek也表示：“光子计数扫描仪能帮助你更自信地做出冠状动脉疾病的诊断。”

PCD CT技术日渐成熟，并逐步应用到医院和诊所当中。2021年秋，负责监管药物和医疗设备的美国政府机构——美国食品和药物管理局（FDA）——首次批准了德国西门子子公司的一款PCD CT设备（图1）[2]。欧洲和英国也批准将这一型号的扫描仪用于临床使用。其他知名医学影像公司，包括美国通用电气、荷兰飞利浦和日本佳能，也正在研发类似的扫描仪，产品或将很快进入市场。美国明尼苏达州罗切斯特市梅奥诊所（Mayo Clinic）的医学物理学教授Shuai Leng表示，“这是一场技术革命，而不仅仅是渐进式的改进。”



图1. 西门子的NAEOTOM Alpha是首台获监管机构批准的商业PCD CT扫描仪。该设备具有两个使用碲化镉晶体材料的探测器，空间分辨率可达到0.11 mm。该扫描仪的两个X射线管提供的时间分辨率可降低至66 ms，使其更容易为跳动的心脏成像。来源：Siemens（公共领域）。

医学扫描技术的另一个支柱——磁共振成像（MRI）——也可能即将发生巨大的机器演变，使该技术适用于更多的临床环境。2020年8月，FDA批准了一款便携式MRI扫描仪的商业销售，该扫描仪由美国Hyperfine公司制造，具有64 mT的磁铁（图2）[3]。相比之下，医院的MRI扫描仪可以采用强100倍以上的磁铁[4]。与传统的MRI扫描仪相比，像Hyperfine设备这样的超低场MRI扫描仪更小、更便宜，也更容易配置，可覆盖至发达国家的更多患者，并推广至目前无法负担这项技术的区域[5]。最值得注意的是，此类设备足够小，在临床环境中便于携带。

PCD CT与传统扫描仪有相似之处。这两种设备均通过发射X射线穿透患者身体，以实现该部分的图像重构[6]。不同组织的密度不同，会在不同程度上吸收或散射



图2. Hyperfine 公司的超低场 MRI 扫描仪用于大脑成像。患者头部从开口合适位置伸入，放置于透明的塑料支架（也称为头部线圈）中，以探测病人头部组织发出的射频能量。该扫描仪顶部的红色物体是高斯保护装置，用于标记磁场边界，边界以外区域不会吸引金属物体或干扰起搏器。来源：Hyperfine（公共领域）。

通过的 X 射线光子[7]。例如，骨骼密度远大于脂肪密度，对 X 射线的衰减程度也大得多[7]。当光子到达设备的检测器时，其强度下降的程度可体现所穿过的组织的密度，软件则根据这些数据构建 CT 影像[7]。

这两种 CT 扫描仪的主要差异在于探测器[8]。PCD 扫描仪采用的是由硅、碲化镉或碲化锌镉材料制成的半导体探测器，可记录探测到的每一个 X 射线光子[9]。相比之下，传统 CT 扫描仪采用的固体探测器，则是通过间接方式探测 X 射线的衰减。它包含一层钨酸镉或其他发光材料，受 X 射线激发后能够发光[9]。再通过光电二极管检测发光。与测量单个光子能量的 PCD CT 扫描仪不同，传统 CT 扫描仪记录的是一定时间内检测到的数千个光子的能量总和[8,10]。

PCD 技术最显著的优势在于提升了图像质量。光子计数装置的探测器像素较传统 CT 扫描仪探测器像素更小[9]。因此，一台 PCD CT 扫描仪“提供的空间分辨率可提升两到三倍，可以帮助我们看到更多的解剖和病理细节”，Leng 说。这项新技术还具有其他优势。PCD 设备减少了由密质骨或金属植入物（如支架和人工膝关节）产生的伪影[9,11]。传统的 CT 设备通常可以同时使用两种能量的光子扫描患者，帮助放射科医生确定患者体内不同物质的组成，如肾结石和引起痛风的尿酸结晶[9,12]。然而，PCD 扫描仪可以同时使用多种能量的 X 射线扫描患者，增强病理诊断。对患者来说，使用 PCD 扫描仪有一个很大的好处，在扫描过程中能够减少 45% 的所受辐射[8]。

若能克服一些其他技术挑战，PCD 成像技术还可进一步优化。首先是 PCD 和传统扫描仪都存在的一个问题：在一定的辐射剂量内，更高的空间分辨率成像会增加图像噪声，因为每个探测器捕获的光子数量有所减少。为了充

分利用 PCD CT 的超高分辨率，Leng 和其他研究人员正在研究是否可借助人工智能（AI）或其他方法减轻噪音。成本问题则是 PCD CT 机面临的另一项挑战，至少在初期，其成本可能高于传统的 CT 扫描仪，甚至可高达 300 万美元每台[13]。

尽管如此，Leng 预测，PCD 扫描仪终将取代传统的 CT 机。PCD 设备还有助于减少某些侵入性手术，Douek 说。例如，为了确定患者的冠状动脉是否受阻，心内科医生通常会进行冠状动脉造影，会在病人腹股沟或手臂上的动脉处插入导管，并引导其至心脏处[14]。再通过导管释放染料帮助心内科医生在 X 光片上分辨出狭窄的动脉。然而，PCD CT 能够以一种非侵入性的方式提供清晰的影像，揭示冠状动脉的状态，Douek 说，“该技术有可能取代冠状动脉造影。”

CT 设备通过探测特定组织的密度进行成像，而 MRI 则是通过不同结构的含水量进行区分。MRI 的磁体会使患者身体被扫描部分的氢原子核（如水分子中的氢原子核）与设备的磁场形成共振[15]。为了生成图像，MRI 扫描仪发出射频波，使氢原子核偏离轨道。然后，该设备关闭射频信号，让氢原子核回到原来的偏转方向。在这个过程中，不同组织中的氢原子核会以不同的速度释放能量，机器则对这些能量进行测量并重建解剖结构[16]。

有小部分型号的 MRI 扫描仪具有专门用途，如骨科使用的设备，其磁体小于 1 T，此外的大多数 MRI 扫描仪使用 1.5 T、3.0 T 或 7 T 的磁体。MRI 扫描仪在诊断许多疾病和损伤方面的价值是难以估量的，但同时也是耗费巨大的，需要专门的基础设施。其超导磁体重量可达 4500 kg[17]。如果磁体停止超导，冷却磁体的低温液态氢就会蒸发，所以设备必须配备一个通风系统用于排气[17]。另外，为防止干扰，设备需采取两种类型的屏蔽。由于 MRI 的磁体磁力非常强，可能会干扰附近的电子设备，所以通常将机器安装在由钢板制成的电磁屏蔽室内[18]。MRI 室的墙壁、天花板和地板通常也覆盖有铜或镀锌钢，以防止外部电磁信号干扰扫描仪的探测器[19]。MRI 设备的价格通常在 100 万美元·T⁻¹ 左右。随着医院越来越多地采用 7 T 的机器，其价格也在不断增长[20-21]。

传统 MRI 扫描仪的尺寸、成本和基础设施要求限制了其使用位置与方式。瑞士巴塞尔大学生物医学工程教授、Hyperfine 公司的联合创始人 Mathieu Sarraçanie 称，医院通常将他们能负担得起的一两台机器放在一个中心位置，这使得 MRI 扫描在医疗使用中十分受限。“MRI 就像一个电话亭——你需要排队等候使用。”此外，美国马里兰州巴尔的摩马里兰大学医学院放射诊断治疗和核医学教

授 Eliot Siegel 指出，有的患者病情太过严重而不能移动，也无法享受该技术服务。

对于欠发达国家地区的许多医院和诊所而言，MRI 扫描仪是遥不可及的。一项 2018 年发表的调查发现，整个西非只有 84 台 MRI 机器，相当于每百万人保有量为 0.2 台 [22]。而在日本——保有量比例世界最高的国家，每百万人 MRI 保有量为 55 台 [23]。

Sarracanie 表示，开发更简单、更便宜但更低灵活性的 MRI 设备这一想法并非刚刚出现，而是正在蓬勃发展。市场上已出现磁感应强度低于 1 T 的低场设备，克服了更强大的 MRI 机器的一些限制。2021 年，FDA 批准了西门子的 0.55 T 扫描仪。相较传统 MRI 设备而言，该设备对氦气冷却剂的需求量更少，不需要排气系统，可装入更小的空间 [24]。但其重量接近 3200 kg，不便于携带。

Sarracanie 还表示，超低场设备的磁体的磁感应强度通常低于 0.1 T，更有利于增加接口、简化基础设施和降低成本。大多数超低场 MRI 设备，包括 Hyperfine 和香港大学研发的机器（见下文），都是设计用于大脑成像——MRI 最常见的功能之一——或对手部等肢体进行成像。Sarracanie 说，能够对全身成像的机器并不具吸引力，因为它们需要更大的磁铁，而这会导致其便携性很低。

Hyperfine 扫描仪是第一个获得政府许可的便携式 MRI 设备。该扫描仪高 150 cm，宽 84 cm，重 635 kg，外形类似于工业吸尘器 [25]。其永磁体磁力相对较弱，不是传统 MRI 扫描仪中的强大超导磁体，因此不需要昂贵的氦气冷却系统或专门的屏蔽室 [26]。此外，与传统的 MRI 机器不同，医生可直接将 Hyperfine 扫描仪推到患者床边，快速做出诊断（如中风等） [27]。

Hyperfine 公司顾问委员会成员 Siegel 表示，像 Hyperfine 生产的这种体积更小的移动式 MRI 扫描仪可能改变 MRI 在发达国家医疗领域所扮演的角色。他表示，这些设备可能会作为标准设备，应用于手术室、急诊室和其他目前尚不适用的地方——甚至包括救护车。医生使用该技术的方式也会改变，他补充道，他们可能会进行多次扫描以跟踪患者的病情变化，而这一点由于等待时间过长，目前还不可能实现。

这种扫描仪比传统的扫描仪便宜得多。Hyperfine 设备的生产成本约为 5 万美元 [4]，甚至还能实现更低的设计成本。比如，在 2021 年，香港大学的一个研究小组就展示了一款箱型的便携式扫描仪，其预估成本低于 2 万美元 [5,17]。Siegel 说，这种经济实惠的设备“可能会彻底改变世界上还无法使用 MRI 的地区的游戏规则”。Hyperfine 公司预计到 2022 年年底，超过 80 台 Hyperfine 便捷式扫描

仪将得以安装使用 [28]。

然而，超低场 MRI 设备在某些发达国家仍面临质疑，部分美国保险公司拒绝支付因使用磁感应强度小于 0.3 T 的扫描仪扫描而产生的费用，Siegel 说。有批评人士担心这种设备生成的图像分辨率较低，但这种担心是没有根据的，Sarracanie 表示，“更高的磁场强度并不能提高分辨率或优化图像，而是提高了单位时间内的信噪比”。研究人员正致力于研究相应的策略，以应对超低场图像的较高噪声，如 Hyperfine 扫描仪和香港大学原型机都采用了人工智能深度学习算法 [17,26]。但在图像质量方面，超低场设备可能无法与大型设备相比，Sarracanie 表示。“我们能否在相同时间内产生与高场扫描仪同样清晰的图像呢？答案是否定的。但我们正在加快改善图像质量，目前已经可以进行临床相关的成像了。”

References

- [1] Si-Mohamed SA, Boccacini S, Lacombe H, Diaw A, Varasteh M, Rodesch PA, et al. Coronary CT angiography with photon-counting CT: first-in-human results. *Radiology* 2022;303(2):303–13.
- [2] Hale C. Siemens nets groundbreaking FDA clearance for photon-counting CT scanner [Internet]. Washington, DC: Fierce Biotech; 2021 Oct 1 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/siemens-nets-ground-breaking-fda-clearance-for-photon-counting-ct-scanner>.
- [3] Barber C. An emerging tool for COVID times: the portable MRI [Internet]. New York City: Scientific American; 2020 Nov 12 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.scientificamerican.com/article/an-emerging-tool-for-covid-timesthe-portable-mri/>.
- [4] Makin S. A portable MRI makes imaging more democratic [Internet]. New York City: Scientific American; 2021 Dec 16 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.scientificamerican.com/article/a-portable-mri-makes-imaging-more-democratic/>.
- [5] Ultralow-field MRI scanner could improve global access to neuroimaging [Internet]. Bristol: Physics World; 2022 Jan 18 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://physicsworld.com/a/ultralow-field-mri-scanner-could-improve-global-access-to-neuroimaging/>.
- [6] Computed tomography (CT) [Internet]. Bethesda: National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering; [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computedtomography-ct>.
- [7] Foster T. Computed tomography [Internet]. Melbourne: Radiopaedia; 2022 Apr 5 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/computed-tomography>.
- [8] Freeman T. Photon-counting CT promises a new era of medical imaging [Internet]. Bristol: Physics World; 2021 Nov 20 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://physicsworld.com/a/photon-counting-ct-promises-a-new-era-of-medical-imaging/>.
- [9] Leng S, Bruesewitz M, Tao S, Rajendran K, Halaweish AF, Campeau NG, et al. Photon-counting detector CT: system design and clinical applications of an emerging technology. *Radiographics* 2019;39(3):729–43.
- [10] Understanding the technology behind photon-counting CT [Internet]. Erlangen: Siemens Healthineers; c2022 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/en-us/computed-tomography/technologies-and-innovations/photon-counting-ct>.
- [11] Lau LCM, Lee WYW, Butler APH, Chernoglazov AI, Chung KY, Ho KKW, et al. Multi-energy spectral photon-counting tomography (MARS) for detection of arthroplasty implant failure. *Sci Rep* 2021;11(1):1554.
- [12] Conover E. For 50 years, CT scans have saved lives, revealed beauty and more [Internet]. Washington, DC: Science News; 2021 Dec 10 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.sciencenews.org/article/ct-scan-50-yearsanniversary>.

first-image-medicine-physics.

- [13] Orenstein BW. Time for a change? Evaluating CT scanner buying and maintenance decisions [Internet]. Spring City: Radiology Today; 2018 Aug [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.radiologytoday.net/archive/rt0818p16.shtml>.
- [14] Coronary angiogram [Internet]. Rochester: Mayo Clinic; c1998–2022 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.mayoclinic.org/testsprocedures/coronary-angiogram/about/pac-20384904>.
- [15] Magnetic resonance imaging (MRI) [Internet]. Bethesda: National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering; [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/magneticresonance-imaging-mri>.
- [16] Murphy A. Relaxation [Internet]. Melbourne: Radiopaedia; [updated 2020 Apr 2; cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/relaxation>.
- [17] Liu Y, Leong ATL, Zhao Y, Xiao L, Mak HKF, Tsang ACO, et al. A low-cost and shielding-free ultra-low-field brain MRI scanner. *Nat Commun* 2021;12(1):7238.
- [18] Vajuhdeen Z. Magnetic shielding [Internet]. Melbourne: Radiopaedia; [updated 2020 Jul 14; cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/magnetic-shielding>.
- [19] Vajuhdeen Z. Radiofrequency shielding [Internet]. Melbourne: Radiopaedia; [updated 2022 Mar 1; cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://radiopaedia.org/articles/radiofrequency-shielding>.
- [20] Sarracanie M, Salameh N. Low-field MRI: how low can we go? A fresh view on an old debate. *Front Phys* 2020;8:172.
- [21] Nowogrodzki A. The world's strongest MRI machines are pushing human imaging to new limits [Internet]. London: Nature; 2018 Oct 31 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07182-7>.
- [22] Ogbole GI, Adeyomoye AO, Badu-Peprah A, Mensah Y, Nzeh DA. Survey of magnetic resonance imaging availability in West Africa. *Pan Afr Med J* 2018; 30:240.
- [23] Magnetic resonance imaging (MRI) units [Internet]. Paris: Organization for Economic Co-Operation and Development; [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://data.oecd.org/healthqt/magnetic-resonance-imaging-mri-units.htm>.
- [24] Palmer WJ. FDA approves Siemens Healthineers 0.55T MRI scanner [Internet]. Cranbury: Diagnostic Imaging; 2021 Jul 7 [cited 2022 Jun 27]. Available from: <https://www.diagnosticimaging.com/view/fda-approves-siemens-healthineers-0-55t-mri-scanner>.
- [25] Meet Swoop_Portable MR Imaging SystemTM. Report. Guilford: Hyperfine.
- [26] Hale C. Hyperfine secures \$90 million to help roll out its portable MRI scanner [Internet]. Washington, DC: Fierce Biotech; 2021 Feb 11 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/hyperfine-secures-90m-to-help-roll-out-its-portable-mri-scanner>.
- [27] Portable MRI diagnoses stroke at patient bedside [Internet]. Bristol: Physics World; 2022 May 25 [cited 2022 Jun 1]. Available from: <https://physicsworld.com/a/portable-mri-diagnoses-stroke-at-the-patient-bedside/>.
- [28] Park A. Hyperfine CEO steps down after one year [Internet]. Washington, DC: Fierce Biotech; 2022 Jun 30 [cited 2022 Jun 30]. Available from: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/hyperfine-ceo-scott-steps-down-after-oneyear-citing-personal-reasons>.