

## 红外线在癌症治疗中的作用

Wentong Wu

RDFZ Xishan School, Beijing

**【摘要】** 稀土发光近年来受到广泛关注。利用低能量光产生高能光子的过程称为上转换发光。在 20 世纪 50 年代，关于上转换（UC）发光的报道开始慢慢出现。人们开始关注这个问题。上转换（UC）发光可以通过低功率和非相干激发源进行，例如连续波激光器，标准氙气或卤素灯，甚至聚焦的太阳光。在癌细胞的治疗中，光动力疗法无疑是一个研究热点。在本文中，我将介绍稀土上转换（UC）发光的历史和机制；这类材料利用光能有着广泛的应用。在本文中，我将分析如何将其应用于癌细胞的光动力治疗；还将详细介绍构建温度传感器并通过发光特性检测癌细胞及其周围环境的温度。

**【关键词】** 上转换；癌症治疗；红外光

**【收稿日期】** 2025 年 7 月 3 日

**【出刊日期】** 2025 年 8 月 5 日

**【DOI】** 10.12208/j.op.20250002

### The role of infrared light in cancer therapy

Wentong Wu

RDFZ Xishan School, Beijing

**【Abstract】** Rare earth luminescence has received widespread attention in recent years. The process of using low-energy light to generate high-energy photons is called up-conversion luminescence. In the 1950s, reports on upconversion (UC) luminescence began to slowly emerge. People are beginning to pay attention to this issue. Upconversion (UC) luminescence can be performed by low-power and incoherent excitation sources, such as continuous-wave lasers, standard xenon or halogen lamps, or even focused sunlight. In the treatment of cancer cells, photodynamic therapy is undoubtedly a research hotspot. In this paper, I will introduce the history and mechanism of rare-earth upconversion (UC) luminescence; these kinds of materials have a wide range of applications using light energy. In this paper, I will analyze how it can be applied to the Photodynamic therapy of cancer cells; building a temperature sensor and detecting the temperature of cancer cells and the surrounding environment through the light-emitting characteristics will also be introduced in detail.

**【Keywords】** Upconversion; Cancer therapy; Infrared light

#### 1 背景和背景

20 世纪 50 年代，关于上转换（UC）发光的报道开始出现，最初的发现是 ZnS 多晶样品在 960nm 激光激发下，检测到可见绿光辐射出波长更短的高能光子的现象称为上转换（UC）发光。其优点是材料吸收的光子能量低于辐射出的光子能量，可以提高光能的利用率。1966 年，奥泽尔（Auzel）发现在近红外光<sup>[1]</sup>激发下，Yb<sup>3+</sup>共掺杂可使 Er<sup>3+</sup>/Ho<sup>3+</sup>/Tm<sup>3+</sup>掺杂的镱钨酸钠玻璃的可见光发光强度提高

100 倍。根据这一现象，他正式提出了“上转换发光”的概念。稀土上转换纳米材料（UCNP）通过吸收两个或更长波长的低能光发射出更高能量的光。上转换发光材料因其优异的生物相容性、尺寸可调以及较低的背景荧光干扰，在生物领域受到了广泛的关注<sup>[2]</sup>。

#### 2 光动力疗法

上转换纳米颗粒（UCNP）可以将组织穿透深度更大的近红外光转换为可被传统光敏剂吸收的短波

注：本文于 2023 年发表在 Engineering Advances 期刊 3 卷 6 期，为其授权翻译版本。

光。光动力治疗的三个基本条件包括特定波长的光<sup>[3]</sup>、光敏剂以及细胞和组织中的氧气。稀土上转换纳米材料光动力治疗的主要方法和过程是：上转换纳米材料在近红外光<sup>[4]</sup>激发下，波长更短、能量更强的紫外线和可见光会被发射出来。当光敏剂暴露于紫外线或可见光时，它们可以将接收到的能量转移给周围的氧分子，并产生具有细胞毒性的活性氧。同时，基态分子几乎被激发为单线态氧或高反应性的活性氧<sup>[5]</sup>。高反应性的单线态氧活性氧可以杀死附

近的细胞。作为一种新兴的肿瘤治疗方法<sup>[6]</sup>，它可以选择性地杀死肿瘤细胞，并具有创伤小、毒性低、可重复治疗以及对周围健康组织无明显损伤的优点。光动力疗法（PDT）治疗的主要流程就是一个例子，它包括以下步骤<sup>[7]</sup>。首先，将含有光敏剂的药物注射到输送系统中。一旦输送系统扩散到患者全身，药物在肿瘤组织中的停留时间就会比健康组织更长<sup>[8]</sup>。当激光照射肿瘤区域时，光敏剂会释放有害化学物质杀死肿瘤细胞，如图 1 所示。

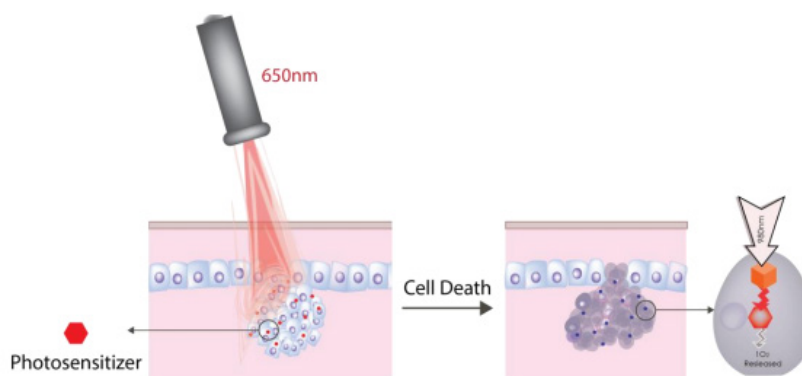


图 1 如上所述的 PDT 治疗说明（2016 年）

注：摘自 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4742858/>

### 3 光热疗法

光热疗法（PTT）是通过光吸收体吸收光能<sup>[9]</sup>，将光能转化为热能，利用热量杀死癌细胞，达到治疗目的<sup>[10]</sup>。其有效性主要取决于能否有效地将光转化为热——纳米粒子，例如金和银<sup>[11]</sup>。这些粒子通常用作 PTT 疗法中的光吸收体，而上转换纳米粒子则用于近红外（NIR）。对于 PTT 疗法而言，准确的深层组织温度测量对于避免对健康细胞造成附带损害至关重要<sup>[12]</sup>。因此，温度测量是上转换发光材料在癌症治疗中的另一种应用。与基于金属或液体膨胀的传统接触式热传感相比，基于荧光强度比技术的光学测温法具有较高的检测空间分辨率和精度，以及优异的灵敏度。荧光强度比（FIR）技术是通过在不同环境温度下两个热耦合能级的发光强度变化来实现的，几乎不受光谱损失和泵浦强度波动的影响。当环境温度变化时，上转换测温材料中热耦合能级 S2/S1 的两个发射峰的相对强度比 I2/I1 会规律性地增大，通过记录荧光强度比值可以实现温度的实时检测。同时，由具有合适热耦合能级的稀

土离子激发的上转换（UC）发光已被广泛应用于癌细胞治疗，是一种很有前景的候选药物。在光热治疗过程中，可以通过非接触式测温技术监测肿瘤内温度变化，避免加热效果不足或过度<sup>[13]</sup>。

Gregory 学者此前报道，光动力治疗（PDT）可能是治疗支气管内肺癌的有效方法。此外，目前其在食管、膀胱等腔内肿瘤的治疗中也取得了优异的疗效，并已获得欧美等国权威机构的批准，用于治疗肝脏、肺癌（周围型肺癌或转移性肿瘤）、脑和乳腺癌<sup>[14]</sup>。在其他实体肿瘤中，据报道组织间照射的方法也取得了优异的疗效。对于光动力治疗（PTT），实时温度监测对优化治疗方案起着至关重要的作用。目前，已有较为成熟的成像技术，例如磁共振成像、计算机断层扫描、光声成像和红外热成像。UCNP 未来的研究方向是设计多功能的 UCNP，构建实现疾病成像、诊断和治疗的一体化平台。目前研究的大多数 UCNP 的主要问题是发光效率低。目前大多数上转换发光材料的效率仍不足 1%，开发发光效率更高的上转换纳米颗粒（UCNP）将是一项紧迫的任

务。此外，毒性是影响上转换纳米材料在临床应用的另一个重要因素，其是否能够应用还有待进一步研究<sup>[15]</sup>。

#### 4 结论

目前，癌症的治疗是一个亟待解决的问题。上转换材料独特的反斯托克斯特性以及近红外光在皮肤上的优异穿透性，在光动力和光热治疗癌症的方法中发挥着重要作用。这非常重要，因为它为医务人员提供了极大的便利；研究人员仍在通过深入的实验探索更多的可能性。

带注释的参考书目

QinF (2016)。作者提出了一种荧光强度比偏差技术，该技术可以为非接触式温度监测提供更佳结果。这可能会对光热治疗产生影响，因为精确的温度控制至关重要。作者提出了一种荧光强度比偏差技术，该技术可以为非接触式温度监测提供更佳结果。因此，本文认为该技术可以影响光热治疗，因为精确的温度控制至关重要。因此，本文具有结论性，因为它倾向于认为，在光热治疗中，精确的温度控制至关重要。因此，必须控制温度。本文的可信度与其作者相关，他们也是该领域的专家。本文的读者对象是希望使用荧光强度比偏差技术治疗患者的医疗保健从业者。本文也为进一步的研究提供了空间，作者邀请更多研究人员探讨荧光强度比偏差技术在控制温度以实现更高效率和有效治疗方面的有效性。

Tosi D. (2018) 本文展示了光动力肿瘤治疗中传感器的应用趋势，作者是一位电子学专家。电子学专家 Tosi Daniel 探讨了光动力肿瘤治疗中传感器的应用趋势。文章认为，光纤布拉格光栅在医疗保健领域已得到广泛应用，因为它们能够以高分辨率检测温度或应变的空间分辨变化，因此也很容易应用于光动力肿瘤治疗。因此，本文回顾了 CFBG 传感器的新兴趋势，重点关注该技术传感元件的各个方面，并概述了该技术在治疗中的应用，并列举了 CFBG 传感器在治疗中的应用案例。因此，本文面向希望评估该技术有效性的读者，包括医疗保健专业人员和致力于使用光动力技术治疗肿瘤（尤其是应用 FBG）的研究人员。

作者研究了一种通过实时监测微观温度来应用光热疗法且副作用较小的方法。本文旨在研究一种

通过实时监测微观温度来应用光热疗法且副作用较小的方法，就像秦等人 (2016) 的文章一样，本文试图找出在光热治疗过程中控制温度的重要性，以减少负面影响。然而，在秦等人 (2016) 的文章中，调查是结论性的，文章认为温度控制是强制性的，而本文并非如此。相反，本文是一项调查研究，通过监测实时微观温度来应用光热疗法的最佳方法，副作用较小。因此，本研究的目标读者是研究人员，他们可能希望将本文作为监测光热治疗中实时温度的基础知识。医疗专业人员也可以使用本文，从而可以在治疗期间控制患者的体温。

Yoon I.、Li J.、Shim Y. (2013) 本文由肿瘤学专家撰写，旨在通过实验证明光传输技术的进步提高了光动力疗法临床应用的效率。因此，本文通过对金纳米粒子进行实际实验，探讨光传输技术在临床疗效及其在光动力疗法中的应用效果。本文基于实时实验，因此具有可信度，并为希望研究该主题的研究人员提供有用的基础知识。由于本文为调查性文章，其读者对象包括研究人员，而非结论性结论，不足以肯定其在医疗机构中的应用。然而，由于本文的有效性显著，医学专家可以进一步利用本文中的知识，并在患者身上进行有针对性的使用。

作者是化学和生物医学研究人员，他们试图回顾不同因素对光动力疗法的影响，特别是药物输送系统对光敏剂的影响。这篇文章的作者是化学和生物医学研究人员，他们试图回顾不同因素对光动力疗法的影响，特别是药物输送系统对光敏剂的影响。这篇文章重点关注使用这种疗法的癌症肿瘤治疗。文章得出结论，该疗法的有效性基于两个重要因素，即光合作用剂的输送和靶向能力。因此，文章回顾了可用于提高治疗效果和效率的各种药物，并重点研究了光合作用剂。与其他文章相比，这篇文章的综述是独一无二的，因为它关注的是药物输送系统对光合作用剂的影响。这篇文章的读者可能包括研究人员，因为它是调查性的，它的可信度与作者是化学和生物化学专家有关。

作者在一项临床研究中证实，光动力治疗并无副作用，且在治愈和姑息治疗中具有潜在作用。该结论需要在更大规模的研究中得到证实（本研究仅纳入了 10 名患者）。本文旨在评估光动力疗法在原发性气管癌中的作用。作者利用从接受光动力治疗

的患者中获得的数据，在一项临床研究中证实，光动力治疗并无副作用，且在治愈和姑息治疗中具有潜在作用。本文采用实验方法进行研究，共纳入了 10 名患者。由于这 10 名患者均对光动力治疗表现出积极的反应，因此得出结论：光动力治疗没有副作用。然而，值得注意的是，本研究仅纳入了 10 名患者，这使得本研究有待进一步研究以证实其假设。因此，本研究的受众包括医疗保健专业人员和研究人员，他们可能需要针对本文开展进一步的调查研究。

### 参考文献

- [1] Attia A., Balasundaram G., Moothanchery M., Dinish U.S., Bi R., Ntziachristos V., & Olivo M. (2019). A review of clinical photoacoustic imaging: Current and future trends. *Photoacoustics* vol. 16, DOI:10.1016/j.pacs.2019.100144.
- [2] Bagheri A., Arandiyani H., Boyer C., & Lim M. (2016). Lanthanide-doped upconversion nanoparticles: emerging intelligent light-activated drug delivery systems. *Advanced Science*, DOI:10.1002/advs.201500437.
- [3] Bi C., Chen J., Chen Y., Song Y., Li A., Li S., Mao Z., Gao C., Wang D., Möhwald H., & Xia H. (2018). Realizing a record photothermal conversion efficiency of spiky gold nanoparticles in the second near-infrared window by structure-based rational design. *American Chemical Society*, DOI:10.1021/acs.chemmater.8b00312.
- [4] Horikoshi M., Inokuma S., Kijima Y., Kobuna M., Miura Y., Okada R., & Kobayashi S. (2016). The thermal disparity between fingers after cold-water immersion of hands: a useful indicator of disturbed peripheral circulation in Raynaud phenomenon patients. *Internal Medicine*, DOI: 10.2169/internalmedicine.55.5218.
- [5] Jha S., Sharma P., & Malviya R. (2016). Hyperthermia: Role and risk factor for cancer treatment. *Achievements in the Life Sciences*, DOI:10.1016/j.als.2016.11.004.
- [6] Jian X., Wang N., Yang C., Han Z., Xu J., Li Z., Cui Y., & Dong F. (2020). Multiwavelength photoacoustic temperature measurement with phantom and ex-vivo tissue. *Optics Communications* 457, DOI: 10.1016/j.optcom.2019.124724.
- [7] Li Y., Li X., Zhou F., Doughty A., Hoover A., Nordquist R., & Chen W. (2019). Nanotechnology-based photoimmunological therapies for cancer. *Cancer Lett* DOI: 10.1016/j.canlet.2018.10.044, p.442: 429-438.
- [8] Martin L., Otterson G., & Bekai-Saab T. (2012). Photodynamic therapy (pdt) may provide effective palliation in the treatment of primary tracheal carcinoma: A small case series. *Photomedicine and Laser Surgery*, Volume 30, DOI:10.1089/pho.2012.3293.
- [9] Mesquita M., Dias C., Gamelas S., Fardilha M., Neves M., & Faustino M. (2018). An insight on the role of photosensitizer nanocarriers for photodynamic therapy. DOI: 10.1590/0001-3765201720170800
- [10] Qin F., Zhao H., Cai W., Zhang Z., & Cao W. (2016). A precise Boltzmann distribution law for the fluorescence intensity ration of two thermally coupled levels. *Applied Physics Letters* 108, DOI:10.1063/1.4953869.
- [11] Tosi D. (2018). Review of chirped fiber Bragg grating (CFBG) fiber-optic sensors and their applications. *Sensors*, DOI:10.3390/s18072147.
- [12] Yoon I., Li J., & Shim Y. (2013). Advance in photosensitizers and light delivery for photodynamic therapy. *Clin Endosc.*, DOI: 10.5946/ce.2013.46.1.7.
- [13] .Zhu X., Feng W., Chang J., Tan Y., Li. J., Chen M., Sun Y., & Li F. (2016). Temperature-feedback upconversion nanocomposite for accurate photothermal therapy at facile temperature. *Nature Communications*, Article 10437.

**版权声明：**©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**