



Inside this issue:

Message from President	1
2018 NACMPA Meeting	2
人工智能放疗中的应用	3
Physics 3.0	8
影像组学在放疗中的应用	10
Report on Fuzhou Meeting	12
中国医学物理大会	13
2018物理师中国巡讲	14
Book Review	17
医学物理词汇中英对照表(III)	19

Message from President

NACMPA Executive Committee had its last monthly conference call on December 6, 2018 for this year and concluded with another successful year for NACMPA. The collective effort of all members of ExCom is greatly appreciated.

Our annual meeting at AAPM conference in Nashville, TN, was a huge success, owing to the organization committee made up of ExCom and local NACMPA members and to the active participation of NACMPA members.

NACMPA sponsored and participated in the 2018 Chinese medical physics annual meeting organized by the Physics Group of Chinese Society of Radiation Oncology (CSTRO-PG), in Fuzhou, China. The NACMPA delegations, including both invited and proffered speakers, presented the latest developments in radiation oncology physics at the meeting. The sixteen presentations were well received and helped facilitate strong scientific exchanges and col-

laborations between members of CSTRO-PG and NACMPA.

As the out-going President, I thank you again for the opportunity to have been your President for the last two years. It has been a great pleasure for me to serve NACMPA. I look forward to continuing to participate in upcoming events and to having more free time to visit with you. I wish you and your loved ones happy holidays, a season full of joy and cheer.



X. Allen Li, Ph.D., FAAPM
NACMPA President



Seeking Contributors

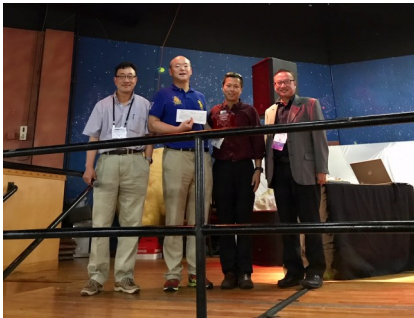
NACMPA NEWSLETTER is published by the North American Chinese Medical Physicists Association on a semiannually schedule. We welcome all readers to send us any suggestions or comments on any of the articles or new features to make this a more effective and engaging publication and to enhance the overall readership experience. Next issue: July 2019.

Contact us: nacmpa@yahoo.com 欢迎大家投稿,并希望大家关注北美华人物理师公众号.

Editors: Zhigang (Josh) Xu, Ph.D. , Brian Wang, Ph.D, Chao Guo, M.S., Xiaoyu Duan, M.S.

NACMPA 2018 Annual Meeting, Nashville, TN (August 1)

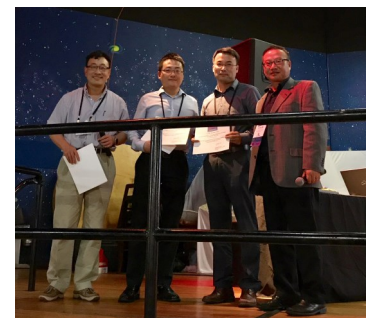
每年AAPM年会进行到周三，传统上都是北美华人物理师协会的晚餐和聚会时间。2018年当然也不例外，在纳什维尔城外的 New Century Buffet 召开了NACMPA的大会。与会有大约300人。这次会议首次才用了Eventbrite网上报名的办法，提高了效率。希望大家明年积极参与。会议介绍了NACMPA的领导人，感谢本地的组织者们，介绍与会来宾，感谢赞助商。Allen Li现任主席介绍了过去一年的成绩，曹明博士介绍了财务情况。同时有几个奖项颁发：陈昱纪念奖，IJMPCERO最佳文章奖，NACMPA最佳文章奖，NACMPA服务奖，2018 NACMPA 荣誉墙得主 John Wong。大会还进行了选举活动，选出了候任主席 Brian Wang和财务 Yin Zhang。会议在愉快的气氛中结束，大家都看到老朋友，并聊得很开心。最后，在离别不舍的气氛中离开。不要说再见，因为我们明年还会再见。



1st Yu Chen Excellent Community Service Award - Chengyu Shi



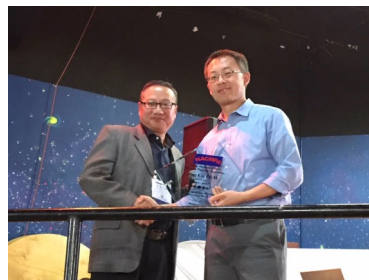
IJMPCERO Best Paper Award - Yingxia Liu, Z Saleh, M Chan, et al



NACMPA Best Paper Award - Junwei Shi, TS Udayakumar, Z Wang et al



NACMPA Service Award - Brian Wang



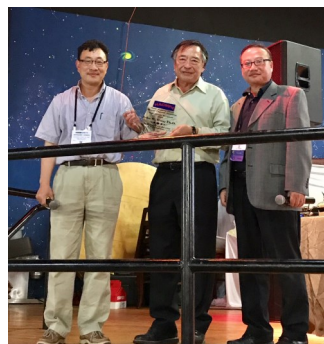
NACMPA Service Award - Cai Jing



NACMPA Service Award - Maria Chan



NACMPA Service Award - Xiaofeng Zhu



NACMPA Hall of Fame Award - John Wong



NACMPA Meeting 2018

关于人工智能在医疗特别是放疗中应用的一点初步思考



Steve Jiang, Ph.D.
NACMPA Member

这次人工智能（AI）的浪潮正在席卷世界，将极大的改变我们的世界，其中当然包括医疗行业。我们医学物理师身处的医学专业，主要是医学影像和放射治疗，正好首当其冲。尤其是放疗，在医疗里面是很特殊的专业，技术性非常强，并且在电子化、数据化方面走在其他专业的前面，很适合AI介入解决问题。在这里，我准备用一种比较随意的方式，来跟同行们分享一下我关于AI在医疗特别是放疗中的应用的一点初步思考。

先谈谈我对AI的定义的理解。网上书本中文章中对AI有多种不尽相同的定义。我认为AI的定义有三个要素：1. 基于人类专家过去的经验和数据学习人的智慧；2. 学习的结果是比人类专家更好更快更便宜地做人的工作；3. 在使用的过程中可以跟环境互动然后继续学习和不断地进化。我个人认为第三点特别重要，而现有的弱人工智能在这一点做的还很差。

AI在医疗领域中的应用，主要有三个角度。第一个是AI比医生做的更好，可以用来提高诊断的准确度和治疗的效果。这一点是可能的，因为人力有限，比方说有些信号在诊断图像和其他数据中隐藏得比较深，或者隐藏在高维空间中，医生的肉眼无法辨别，而AI可以精确找到。第二个是AI不比医生做得更好，但是比医生做得更快，可以用来提高效率。这方面有大量的例

子，比方说危及器官的勾画。第三个是AI不比资深医生做得更好，但可以通过学习资深医生、大医院的经验，来帮助年资低的医生和基层医疗机构的医生提出更准确的诊断和治疗方案。

第三个角度我觉得非常重要，因为发达地区和欠发达地区之间，甚至在美国国内的大城市和偏远地区之间，医疗水平相差还是非常大的。比方说，最近的一项研究表明，中美在癌症五年整体存活率上有着非常巨大的差距：30%对比66%。我觉得AI在这个方面的应用潜力巨大，意义非凡，对人类的贡献远超那些花费几十亿美元研究出来但效果只有几个百分点的提升的癌症药物。所以，这应该是医疗AI研究的一个重要方向。

目前AI在医疗上的应用，以那些发表在高分杂志上的工作为代表，主要有两个共同之处：基于深度神经网络的监督学习和大量的病人数据。其中比较有名的工作有斯坦福大学去年发表在Nature上的基于皮肤图片的皮肤癌诊断，Google Research前年发表在JAMA上的基于视网膜图像的糖尿病性视网膜病变的诊断，Google Research今年发表在Nature BME上的同样基于视网膜图像的心血管疾病风险因子的预测，以及UCSD和广州妇幼中心的张康团队今年初发表在Cell上的基于眼部OCT图像的糖尿病黄斑水肿的诊断。这些工作都使用了深度监督学习，以及十万张以上病人图片的大数据。

深度监督学习加大数据应该算是AI在医疗应用中的低垂的果实（low hanging fruits），从技术上来说没什么创新，所用算

法多是现成的(off the shelf), 难度主要在于数据的收集和清洗。从本质上来说, 这类工作跟线性回归没有什么不同。区别在于, 线性回归只有两个参数, 深度监督学习网络可以有上千万的参数, 用于十万以上的病人图片, 效果可以非常强大, 不光可以达到专科医生的诊断水平, 还可以找到人类医生无法发现的隐藏很深的信息和规律。

但是, 在医疗领域, 我们并没有太多的大数据, 这类低垂的果实已经被采摘得差不多了, 或者由于数据收集和清洗的困难变得不那么低垂了。在医疗领域更多的是小的病人数据集, 比方说一个放疗方面的临床试验有几百个病人就算多了, 或者我们有清洁的小数据集加上不清洁的大数据集, 比方说一个临床试验的数据加相应的日常治疗的登记数据。我个人认为, 怎么有效地安全地使用小数据集或者清洁小数据集加不清洁大数据集做出一些有用的结果, 这方面的研究将是AI用于医疗的一个重要方向。

一个方法就是在深度学习中使用先验知识。包括前面提到的那些工作, 目前很多AI在医疗中的应用工作都是直接把神经网络用于大数据上, 很多时候甚至是很危险的用以小数据集上, 这其实是一种简单粗暴的方法。更聪明的办法是使用先验知识, 如手工提取的特征, 以及已有的一阶解析近似模型, 来降低对神经网络的大小和数据集大小的要求。特别重要的是, 我们在建立模型和训练方法的时候, 应该学习医生在诊断和治疗决策时的思维方式, 这样, 我们的工作才会慢慢有一点点“智能”, 而不仅仅是基于深度网络和大数据的蛮力黑箱。在这方面, 我们这些长期在临床

一线工作的医学物理师们, 跟那些在计算机系或者大公司里的AI专家们相比, 有很深的领域知识。这是我们的一个不能轻易被替代的优势。

AI在放疗中的应用, 我觉得是全方位的, 是贯穿整个放疗流程的。下面我将结合我们MAIA Lab的工作, 针对放疗流程中的几个问题谈谈我的一些看法。

首先是图像的重建和处理。这方面已有大量的优秀的工作, 一个原因是很多计算机视觉方面的工作可以直接应用到医学图像中, 另一个原因是医学图像不存在缺乏大数据的问题。大多数算法把每个图像像素(补丁)当作一个独立样本, 考虑到一个三维医学图像有多少像素, 那么用于深度学习训练的数据量很容易得到满足。关于图像重建, 如CT和CBCT的重建, 这方面的很多工作是用深度神经网络代替传统去噪去伪影方法来提高重建图像的质量, 效果很不错。我们MAIA Lab的贾珣教授团队提出了一个关于CT重建很有意思的想法, 就是用深度强化学习来自动调参。这个工作发表在今年早些时候的IEEE TMI上。

在图像处理方面, 一个重要的工作是图像的超分辨。我们团队在这方面做了一些工作, 主要是用深度学习的方法来提高MRSI的分辨率, 取得了很好的结果。做医学图像的超分辨, 以及其他的一些图像处理问题, 都要特别小心, 因为这跟自然图像的超分辨不一样, 不能只看结果漂亮清晰就行, 更重要的是要真实, 不能无中生有地合成一个病灶, 也不能把原图已有的病灶给去掉。对放疗来说也不能让病人的解剖形状和几何发生变化。低分辨的图像变成高分辨的图像, 需要额外的信息, 这些

信息不能从其他病人图像里学得，必须想办法从同一个病人的其他图像里学。在我们的MRSI工作中，这些额外信息就是从T1 MRI里学到。

深度学习在医学图像处理中的另一个重要应用是图像合成。比方说从MRI图像合成CT图像，这对于目前越来越流行的仅基于MRI的放疗计划很重要。深度学习方法比其他常规方法更容易，效果也更好，应该很快有商业产品的出现。另外一个图像合成的例子是用深度学习从CBCT合成CT，合成的图像既有CT在HU空间的精度，亦有CBCT在解剖上的精度。从自适应放疗治疗计划的角度来说，这是一个提高剂量计算精度的很好的办法，比用变形配准后的CT要好，在解剖信息上跟精确。深度学习用于图像合成还有一个有趣的应用：MAIA Lab的王晶教授团队用深度神经网络从呼气和吸气的CT图像直接合成肺通气图像，绕过变形配准过程。

危及器官和靶区的勾画是AI在放疗里的一大主要应用。目前深度学习在器官勾画上的工作很多，门槛很低，效果很好。基本上，把现成算法拿来稍作改进，再加上一些标注好的数据，就可以得到很好的结果。例如，CT图像中的前列腺的自动勾画，我记得几年前还是一个很难的问题。我知道一些计算机背景做医学图像的教授，把这个问题做了几十年，不断改进各种形状模型，得到的Dice系数也就80%多一点。而去年我们实验室一个一年级的研究生，把U-Net改进改进，就可以得到90%左右的Dice系数。所以说，一些常见器官的勾画，在科研上可做的已经不多，剩下的主要是厂商的工作，从工程的角度作出实用可靠的产品。

但是我们不能说器官勾画的所有问题都已经完美解决。其实还是有一些科研工作可以做。

比方说有些特殊器官的勾画，用常规的深度学习方法会非常的困难。比方说乙状结肠的勾画，直接用现成的深度学习算法，结果惨不忍睹。MAAI Lab的贾珣教授团队，结合医生的勾画方法，提出一种新的训练方式，取得了很好的效果。还有就是自动勾画结果的误差问题。就跟做蒙卡计算一样，大家都知道，不带误差估计的蒙卡结果是没有意义的。自动勾画的结果，如果不带误差估计，临床医生可能还得一张张CT片一个个器官的检查，所花的时间和功夫会严重影响自动勾画在临床上的实现。如果勾画结果能够自带误差估计，那么医生就可以只针对不确定性大的地方做一些检查和校正，可以节省大量的时间。还有一个问题，就是自动勾画结果的衡量标准。显然，常见的Dice系数等没有直接的临床意义，研发更具临床意义的衡量标准也是一项很重要的工作。

说到自动勾画，就不得不提及训练数据的金标准中存在的误差。目前自动勾画的训练基准，一般都是临床医生的手动勾画，存在不同医生甚至同一个医生不同时期的不一致的问题。这个问题，不光存在于自动勾画，也是医疗中的一个很普遍的问题。究其深层的原因，还是因为医疗领域中很多问题没有真正的金标准，只得依靠每个医生的训练背景，经验，直觉等等艺术性而非科学性的东西来做判断。

对于自动勾画而言，缺乏金标准对临床靶区（CTV）的重要性远高于危及器官，因为CTV勾画的不确定性要大得多。医生勾画CTV要用到很多图像之外的信息，要依靠对图像的印象。在这个环节，医生和医生之间都很难有一个统一的标准。一个例子是我们实验室在做的手术前列腺放疗的CTV自动勾画。除了术后的CT

图像之外，还要用到手术报告，病理报告，术前MRI的信息等等。怎么处理医疗AI中很多场景没有金标准的问题，是一个很重要也很挑战的课题，也是一个很有趣的课题。在没有“金标准”的地方，人工智能其实有很多发挥空间。

AI在放疗中的另一大应用就是治疗结果的预测。这方面的工作很多，主要是基于放射组学。用深度学习的不多，一个原因大概是数据量很难达到要求。有些工作尝试把放射组学和深度学习相结合，取得了比单独使用放射组学更好的结果，但是对数据量的要求又远没有单独使用深度学习高。MAIA Lab的王晶教授团队把多目标优化的方法用于放射组学和深度学习，即在灵敏度和特异性的Pareto表面上选择一个最优的组合。这在临床上是一个很有用的方法，因为每个临床问题对灵敏度和特异性的要求都可以不一样。比方说有些问题灵敏度要求高一些，哪怕牺牲一些特异性，宁愿有一些假阳性也不愿有假阴性。用他们的方法，这些问题都可以有针对性的处理。

放疗计划的制作过程也可以得益于AI技术。我们团队2017年9月发布在arxiv.org上一个工作就是根据勾画的器官和靶区直接预测三维剂量分布。这项工作已经用于前列腺和头颈肿瘤，取得了很好的结果。相比于一些基于手工特征的方法，比方说瓦里安的RapidPlan，基于深度学习的方法更加精确和强大，可以直接精准的预测三维剂量分布，而不仅仅是DVH曲线。预测的三维剂量分布可以用来给医生和剂量师做参照，这样可以减少弯路和快速做出最优计划，也可以用于计划的自动生成。最近，我们团队把这个工作进一步推广，将医生不同

的治疗考量以及治疗计划的不同机器设置也加入到深度学习的模型中，以输出更加个性化的治疗方案。在剂量计算方面，计算的速度和精确度方面互相矛盾，但是应用深度学习的方法可以很好的解决这个问题。这方面我们也做了一些有趣的尝试。

深度强化学习也可以用于解决放疗计划的一些重要问题。我们实验室的贾珣教授团队用深度强化学习来自动调节各个器官在计划优化时的权重因子，以期达到最优的治疗方案。他们已把这个工作用于IMRT和HDR的计划优化，取得了很好的结果。另一项工作是我们团队试图用类似于AlphaGo的深度强化学习算法来优化治疗束的数目和方向，也取得了初步的好结果。这对于 4π 放疗或者CyberKnife的计划优化很有用。

AI在放疗上还有很多很多其他的应用，基本上放疗流程每一个环节都可以用AI来变得更准确，更有效，更安全。比方说放疗的QA，比方说自适应放疗，比方说放疗流程的优化，比方说病人的随访，等等等等。这里由于篇幅关系，就不再讨论。结束我的意识流唠叨之前，我想再分享几点想法。

第一是关于人和AI的相处。我不认为AI可以在短期内代替医生，物理师，剂量师等等，我也不认为我们的研究应该朝着那个方向努力。我认识正确的方向是人机一体。至少在我们这一代人，AI只能是医生物理师剂量师等的助手。有些事情AI可以做得很快或者很好，有些事人来做更合适。怎么让人和AI分工合作，互相帮助互相促进，成为有机的一体，这将是一个非常有意义的科研方向。越来越多的

AI研究者意识到这一点，开始朝着这个方向努力，比如说最近成立的斯坦福大学的 Human-Centered AI (HAI) Initiative。

第二点是关于AI的智慧问题。这表现在两个方面。其一，不仅要学习医生的过往诊疗数据，还要实现学习医生的思维和智慧，将医生的经验都囊括在算法里，达到计算机能够像人一样思考，而不是用简单粗暴的方法从大量原始数据中学习到规律。其二是继续学习，要根据使用反馈和新的病人数据继续学习不断自我进化。缺乏这两点的AI不能算是真正的AI，跟其他的数据模型没有实质性的区别。当然，有了这两点我们也不能说AI就有智慧了。目前的AI还是弱人工智能，离强人工智能，所谓AGI，还有很遥远的路要走。

第三点是arxiv.org在医疗AI科研中的重要性。arxiv.org上每天有几十上百篇的论文发布。基本上所有重要的AI研究成果，都首先发布，或者甚至只发布在那里。对AI感兴趣的物理师不能像以前做其他研究项目一样，只是盯着 Medical Physics, Physics in Medicine and Biology, 还有红皮绿皮等期刊，而应该密切关注和学习arxiv.org上发布的最新结果。另一方面，我们也应该学会尊重arxiv.org发布的工作，在我们的文章里引用相关的工作。既然要做AI方面的研究，那就应该遵循这个领域的游戏规则，改变一些传统的做法。

第四点是团队合作在在医疗AI科研中的重要性。研究AI在医疗特别是放疗中的应用，跟以前我们研究蒙卡模拟剂量计算计划优化等完全不一样。以前的那些课题，只有我们这个小领域的

几个人在做，大家可以关起门来慢慢玩。而AI在医疗甚至是放疗中的应用，有很多真正的AI专家都很感兴趣，都在做这方面的研究，比方说有名的DeepMind, Google Brain, 微软, 腾讯, 等等。这些团队人多钱多，AI的技术也更专业，唯一不如我们的是在临床放疗上的领域知识。所以我们不能闭门造车，继续搞传统的一个老师带两个学生的那种小打小闹。要合作，同一个单位的不同研究者之间要合作，不同单位之间要合作，还要跟领域外的AI专家们合作。只有这样，我们才有可能做出一些真正有价值的工作。

最后，我想提一下我们MAIA Lab。这个多PI实验室成立于2017年7月。以之作为平台，我们一直在探索一种全新的合作方式。我们实验室目前有12个faculty和30来个学生，我们有各种讲座，也有共享的计算和数据资源，更重要的是，我们密切合作，共同提高。比方说，每个工作日下午的五点到六点半，如果没有出差或者其他安排，我们12个faculty都会在一起开会，讨论最新的AI进展，以及合作的项目。我在这里谈到的很多想法，也有很多是大家一起讨论时产生，所以特此致谢。

上面分享的这些想法有些应该很初步，很肤浅，很片面。也许过段时间回头在看这篇闲谈，我自己都会觉得不好意思。但是我觉得，我们处在这个特殊的历史时期，面对前所未有的机遇和挑战，我应该勇敢地把这几块砖头抛出，引出很多的美玉，大家一起来讨论，切磋，合作，进步，一起来抓住这个历史机遇，为提升放疗的质量尽自己的绵薄之力。

Medical Physics 3.0 – Defining Medical Physics Roles in Modern Radiotherapy



Ping Xia, Ph.D.
NACMPA Member

What is medical physics 3.0 (MP3.0)? The purpose of MP3.0 is to redefine and reinvigorate the role of physicists in clinical medicine. AAPM has an Ad Hoc committee, chaired

by a Chief Physicist in diagnostic physics at Duke University, Dr. Ehsan Samei. Their report has been published in the Journal of Medical Physics[1]. Before we adapt to medical physics 3.0, one may ask: “what is medical physics 1.0 and 2.0”? The definition of medical physics 1.0 is the old concept of the role of medical physicists: Quality Assurance (QA). For therapy physicists, this QA includes machine QA and patient chart QA, while for diagnostic physicists, this QA is

mostly machine QA. To parallel with the American College of Radiology (ACR) guidelines 3.0, MP2.0 is skipped, directly advancing to MP3.0. Here is my personal understanding of MP3.0. First, let me tell a story. In 1995, I became the third medical physics resident in radiation therapy at University of California-San Francisco. After three months into my training, my Chief Physicist, Dr. Lynn Verhey, told me that due to the financial pressure from the department, I might be the last physics resident, since medical physics residents are funded by the department. He then further advised me to be present in the clinical practice daily, to learn treatment planning, and to solve clinical problems by conducting clinical research. He advised me to demonstrate the value of medical physics residents. Fortunately, the medical

varian



physics resident program survived and is still thriving today. Even today, most medical physics resident programs are funded by local institutions, not by government-funded agencies, which fund the medical residency programs in radiation oncology. Ultimately, MP3.0 is encouraging all medical physicists to be involved in clinical practice, not to be content with behind the scenes work, such as machine QA and patient chart QA. If we are content with MP1.0, our job could soon be easily replaced by Artificial Intelligence (AI). The strategic goals of MP3.0 are listed in Table 1 of the MP3.0 publication (1). The list is comprehensive, including aspects of clinical, scientific, educational, leadership expertise, sustainability and visibility. Not a single physicist can achieve these goals individually, but as a society, we can. As individual medical physicists, how can we work toward these goals? Here is my watered-down version of MP3.0, which is what Dr. Lynn Verhey advised. Be present in the clinical practice daily, learn treatment planning, and solve clinical problems by conducting clinical research. Following Dr. Verhey's advice, I participated in morning conferences every morning, listening to clinical discussions of new patients to be treated that day. I spent time in the dosimetry area to learn treatment planning. In 1997, 3D treatment planning technique was an advanced technology and IMRT was just under the horizon. Understanding the challenges in 3D plan-

ning has motivated me to devote my effort and time into IMRT planning and clinical implementation since 1997. Today, my effort in treatment planning is how to improve quality and efficiency of IMRT planning while reducing variations. As the Chief physicist in Radiation Oncology at Cleveland Clinic, I strongly encourage our physics residents and medical physicists to participate in chart rounds and morning conferences, in which I frequently present. Attending these clinical rounds significantly enhances our understanding of clinical challenges, providing us with the opportunity to help to solve the problems with our special skills. In summary, MP3.0 is a necessary and important direction for young medical physicists to follow. I am not sure whether our field will require medical physicists to have direct patient contact, as pioneered at the University of San Diego [2]. There are many ways to establish patient contact. Being directly involved in simulation, conducting treatment planning, and directly supervising SBRT treatments are a few examples of indirect patient contact. We can start from there.

References:

1. Samei, E., et al., *Redefining and reinvigorating the role of physics in clinical medicine: A Report from the AAPM Medical Physics 3.0 Ad Hoc Committee*. Med Phys, 2018.
2. Atwood, T.F., et al., *Establishing a New Clinical Role for Medical Physicists: A Prospective Phase II Trial*. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2018. **102** (3): p. 635-641.

影像组学在放疗中的应用及挑战



Yong Yin, Ph.D

山东省肿瘤医院

1. 影像组学在放疗中的应用进展

影像组学是什么？

2012年 Lambin P教授首次提出 Radiomics (中文译为影像组学)概念, 并将其定义为应用大量自动化特征提取算法将感兴趣区域影像数据转化为一阶或高阶特征数据, 通

过挖掘和分析数据深层次间关系, 进一步提高临床诊断精确性和预后/预测价值的技术总称。我们便会思考, 为什么是影像组学, 而不是其他的组学技术在现在如火如荼的推进着放射物理或者说推进着肿瘤治疗的发展, 有以下三个方面的原因: 影像有优势—海量数据、无创易得、时空信息丰富。临床有需求—临床缺少更有效手段描述肿瘤异质性。技术做保障—深度学习、机器学习、人工智能方兴未艾。众所周知, 肿瘤异质性和患者的个体化差异, 是肿瘤缺少有效治疗手段的关键。临床上, 医生迫切需要更有效的决策信息支持他们对治疗手段做出正确决断。肿瘤的异质性主要表现在形态, 基因表达, 代谢, 增殖, 转移和治疗反应上。这就是为什么同样的肿瘤, 同样的治疗方式, 有的人预后良好, 有的人却出现了复发和转移, 恰恰影像可以从时间维度和空间维度多角度观察肿瘤异质性。影像组学技术便是结合影像学的优势, 利用图像提取算将隐藏在背后的视觉感知的信息进行直观表达, 这便是影像组学技术的核心思想, 也给了观察肿瘤的另一双眼睛。放射治疗作为目前肿瘤治疗的三大主要手段之一, 对肿瘤治愈率有着很

高的贡献。无论从肿瘤的定位到肿瘤的治疗均需要高精度影像作为辅助。近年来伴随计算机、影像学技术的发展, 给放疗带来了无限的机遇, 也促进了影像组学在放疗中的应用。

影像组学应用于肺癌放疗

- 基于局部晚期肺腺癌的影像组学特征进行远处转移预测, 在临床上可以对放疗后远处转移的风险进行预测, 提高患者的生存期。
- 放疗损伤是放疗引起的并发症之一, 研究发现随着治疗剂量的提升, 特征参数差异变化也在增大, 可以预测放疗患者放射性肺炎发生。
- 肺癌SBRT后复发患者常伴有磨玻璃样阴影, 影像组学技术能够早于专业医师并检测SBRT后2-5个月后的局部复发情况。

肺癌影像组学研究主要集中在诊断、描述肿瘤生物学特性和预后三个方面, 不再逐一叙述。这些研究为肺癌精准治疗提供补充信息, 更充分地挖掘影像背后的价值。

影像组学应用于头颈癌放疗

- HPV阳性口咽鳞癌发病率及致死率都要高于阴性。研究表明CT影像组学特征能够区分HPV阳性和阴性患者, 选择合适治疗方案。
- 研究表明四个影像特征模型能够提供头颈部肿瘤内异质性的生存预后信息, 并能够用于生存预测, 病理分级, 基因表达分型等。
- 在头颈癌放疗过程中的不同时间点, CT影像特征参数值呈现下降趋势, 同时跟剂量参数有一定相关性, 可以用以监控治疗反应。

影像组学应用于其他部位肿瘤放疗

- 影像组学可预测胃食管结直肠癌新辅助放化疗效：CT影像组学特征可以进行患者分层以指导治疗，部分特征可以用于预测OS及PFS。
- 基于影像组学的前列腺放疗计划设计：①基于纹理特征的机器学习分类器在MRI上进行肿瘤边缘检测；②使用多模态形变配准方法将靶区和危及器官从MRI映射到CT③基于异质性的放疗治疗计划选择（包括近距离照射和外部照射）。
- 新辅助放化疗直肠癌患者：肿瘤亚区域提取的分形维数特征在预测病理反应方面准确度很高。
- 对于接受VMAT放疗的原发性肝癌患者，影像组学纹理特征构建的预测模型在预测局部控制和生存期方面具有可行性且精确度较高。

2. 影像组学研究存在的问题

自2012年提出Radiomics概念提出以来，研究热度逐年上升，在各个领域取得了不错的研究成果。然而，随着研究的深入，暴露的问题也越来越多，包括研究结果可重复性不好，图像获取流程不规范，最终导致研究的可重复性差、结果的可信程度低、推广转化的问题难。下面具体看看我们到底面对哪些详细的问题，从中来找寻出路。

图像获取与重建

不同医疗中心的扫描设备、扫描参数、重建方式等存在较大的差异，这些差异成为影响特征稳定性的因素。由于医学影像设备缺乏统一的图像获取和成像算法标准，同一病灶通过不同设备采集而获得的图像差别很大，给基于

灰度值的特征如直方图等一维特征带来影响。我们要严格控制图像的采集参数，如果不能严格控制采集参数一致性需对图像进行归一化处理。

图像分割

感兴趣区域分割是影像组学研究流程中的重要一步，为了获取重复性较好的影像特征，稳定且精确的肿瘤勾画是十分重要的。人工手动分割的方法常被用来作为‘金标准’，但人为差异、耗时耗力是主要问题。很多研究已经证实自动（或半自动）分割能够减少人为不确定性、提高效率，但是不同部位肿瘤勾画方式对特征稳定性影响不可忽略，应加以详细研究。

特征提取

首先我们面对的海量的特征，如何进行特征降维，提高特征重复性和可再现性都是需要我们探究的。这里我们有一个误区：误认为影像特征越多越好。那么我们选择了这么多的特征如何去处理？也就是我们需要解决的特征冗余的问题。目前，去冗余尚无统一参考标准，存在着可怕的“随意性”。不同类型提取方法之间，如何对数据进行标准化处理，也是一个问题。还有就是在特征提取方面我们缺乏一个有效的金标准，无论是传统肿瘤学组织学分型，还是精准医学要求的分子分型，以及基因组学研究都有严格的“金标准”或“参考标准”。但是，我们从图像特征中提取的有价值的标准是什么？这些有价值或有效的特征所代表的生物学意义是什么？目前来说，我们还没有答案。只有通过更为标准的特征参数提取流程才能更好的保证特征提取过程的重复性。

建模分析

准确可靠的机器学习、深度学习算法建立分类或预测模型有助于影像组学向临床应用的转

化。但是，有限样本下用大量特征进行分类和预测，不仅计算时间长，效果也未必最优。数量庞大的高通量影像学特征提取后，需采用特征选择方法获得最佳性能表现的特征集。现有的影像组学研究大多是单一机构的小样本探索，所得结论缺乏广泛验证。可预见，未来影像组学必须经过多中心、大样本、随机对照临床试验反复检验和提炼，才能准确、可靠、有效地指导临床治疗。

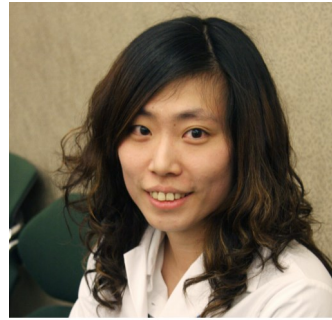
综上所述，要想解决影像组学研究中出现的问题，必须从以下几点入手：

- 建立规范化、标准化、严格影像组学质控体系
- 探究特征提取的“金标准”支撑
- 完善建立预测模型的理论和方法
- 制定行业专家的共识

影像组学给当今放疗带来了难得发展机遇，可以利用人工智能、大数据极大的促进个体化放疗的发展。放射组学每个流程都面临挑战步步惊险，但是挑战往往与机遇共存，只有更好的解决每个流程的挑战，才能更好的促进这个学科的发展。未来是大数据，人工智能加精准医学的时代，我们有太多的资源可以利用，如何真正实现肿瘤的个体化的精准治疗，任重而道远。

Xia's campaign on Medical Physics 3.0 was truly inspiring. Medical physicists are not simply programmers, but clinicians who make valuable decisions in collaboration with physicians. The SBRT talk by Dr. Zhang on the second day of the meeting was a notable highlight. Several interesting points in performing SBRT with different dose regimes were presented. The detailed and extensive discussion also showed the fast-growing medical physics profession in China. The trip was my first visit to Fuzhou, a beautiful city with remarkable character, and I am extremely grateful to NACMPA leadership for co-hosting and providing this venue for the meeting and for honoring physicists with travel awards which allowed me to contribute our Fox Chase Cancer Center experience with colleagues and friends in China. I am looking forward to many more opportunities for collaboration in the future.

Report on 2018 Fuzhou Meeting



Teh Lin, Ph.D.
NACMPA Member

I was honored to be selected for the travel award and to represent NACMPA by attending the 2018 Chinese Medical Physics Annual Meeting organized by the Physics Group of the Chinese Society of Radiation Oncology (CSTRO-PG) to present my research entitled,

“Assessment of limitations of surface-guided deep inspiration breath-hold (DIBH) radiation therapy for breast cancer,” in Fuzhou, China. The opportunity provided by NACMPA for physicists in the USA like me to get to know and discuss the most recent topics and latest research with colleagues in China is truly rewarding. During the 2-day meeting, not only invited talks provided a great variety of advanced research topics to the audience, but the proffered oral presentations from both China and the US also validated the most advanced research with state-of-the-art technology.

I was particularly intrigued by the discussion of the use of Radiomics in radiation therapy by Dr. Li. Radiomics was included in many sessions in different forms by both USA and Chinese physicists and was demonstrated to be widely used and crucial in the modern medical physics field. Dr.

2018全国医学物理大会有感

2018年全国医学物理大会（CMSP2018）于8月23-26日在北京召开。本次大会由中国生物医学工程



Jing Cai, Ph.D.,

Past- NACMPA Secretary

学会医学物理分会主办，由国家癌症中心/中国医学科学院肿瘤医院承办。本次大会旨在通过学术交流，推进医学物理研究广博深化，提升医学物理临床技术水平和促进医学物理专业教育发展，为广大医学物理学工作者和相关技术领域的专业人员提供展示成果，促进合作，增进友谊的平台。大会与会人数大约500人，包括临床医学物理师，肿瘤医生，大专院校科研人员，医疗出版界和工业界人士等，其中国内外技术专家数百位。参会单位大约200余个，包括北大医院、协和医院、中国医学科学院肿瘤医院、复旦大学肿瘤医院、四川大学华西医院、中山大学肿瘤防治中心、陕西省肿瘤医院、天津医科大学肿瘤医院、南方医科大学、解放军总医院、北京肿瘤医院等。本次大会主要内容包括放射肿瘤物理，医学影像物理，医学生物物理，医学物理教育，核医学物理和辐射防护等。为期三天的大会中，与会专家和人员对医学物理领域最新的科研和临床进展开展了精彩的报告和深入的讨论，其中热点话题包括人工智能，医疗大数据，质子重离子治疗，图像引导放疗，医学物理教育与培训等。

在人工智能/大数据方面，报告的研究课题涉及机器学习/深度学习在医学物理领域广泛的和创新的临床应用，内容既包括新算法的常规应用（自动分割/靶区勾画，疗效预测等），也有新技术和新临床应用的结合。在医学影像和图像引导放疗方面，仍有一部分研究集中在比较传统的课题，例

如CBCT和4DCT，但是研发使用了新的算法或应用，同时也可以看到对MRI和MR引导放疗关注度以及科研投入的明显提升。在质子重离子治疗方面，中国科学院近代物理研究所的肖国青所长对国产重离子治疗技术进展进行了全面细致的介绍，内容十分精彩，是本届大会的一个亮点。本届大会的另外一个亮点是医学物理教育与培训。与会专家充分认识当前中国在医学物理教育和培训的困境，并积极呼吁和组织开展相关活动，促进各层次（本科，研究生，在职人员，等）医学物理教育和培训，特别关注青年医学物理师的成长。大会为此特别邀请国内外专家做了相关报告和讨论。中国医学科学院肿瘤医院首席放射物理专家、中国医学物理分会前任主任委员、本次大会主席胡逸民做了题为“对中国医学物理师培训的建议”的报告。医学科学院肿瘤医院院长助理、中国医学物理分会候任主任委员、大会执行副主席戴建荣做了题为“建设中国的放射医学质控体系”的报告。Jeffrey Williamson, 华盛顿大学教授，Medical Physics杂志主编，做了题为“*How to write competitive papers for Medical Physics*”的报告。会议期间，Jeffrey Williamson, 戴建荣，以及十多位青年医学物理师代表，对医学物理在中国的教育和研究进行了更加深入的探讨，并提出多项具体的可操作的促进方案。

本次大会也得到了业界的大力支持，更为欣喜的是看到多家创新企业的积极参与和支持。感觉中国医学物理当前的发展同这些创新企业有很多相近之处，有朝气，有机会，要成长，要突破。

本次大会也得到了业界的大力支持，更为欣喜的是看到多家创新企业的积极参与和支持。感觉中国医学物理当前的发展同这些创新企业有很多相近之处，有朝气，有机会，要成长，要突破。



2018年华人医学物理师中国巡讲总结



Chengyu Shi, Ph.D.
NACMPA Board member-at-large

玄奘西行为真经，
鉴真东渡莫为名，
文化远播需使者，
巡讲还需身力行。

2018年9/12-9/22，是在中国医学物理历史上值得纪念的日子。这段时间，来自美国的9名志愿者，不远万里，前往中国不同医院进行文化交流，学术讲座，医学物理

经验讨论，并同中国同行们热烈地融为一体，为中国放疗医学物理师的培养和建设注入一股清流。

此次巡讲活动是在前期大量微信群交流的基础上自发的，并由美国华人物理师协会(NACMPA)，美国医学物理师协会(AAPM)下属交换学者项目

(ESPS)，和国际医学物理协会(IOMP)认可的活动。该活动由北京墨林文化传媒有限公司发起，策划和组织，并由泰禾医疗赞助。参加的医院有：中山大学附属第五医院，厦门大学附属第一医院，常

德市第一人民医院，湘雅常德医院，中南大学湘雅医院，福建医科大学附属漳州市医院，武汉大学恩施临床医院，南京医科大学附属常州第二人民医院，上海市第十人民医院，沁阳市人民医院，上海美中嘉和，复旦大学，淄博市中心医院，首都医科大学附属北京潞河医院，中国科学院合肥肿瘤医院。每个巡讲老师都辗转几个医院，同当地同行们进行了学术交流。每

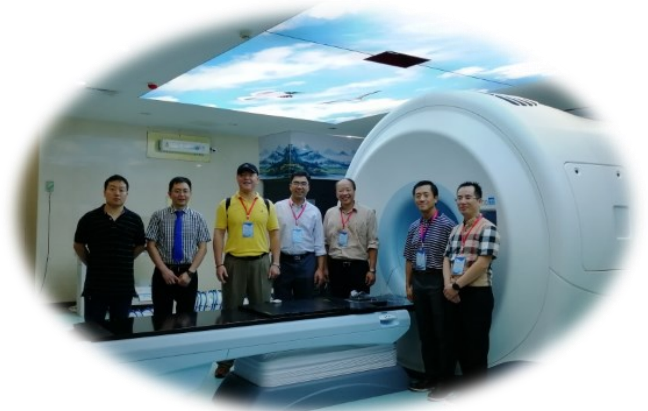


图2 中南大学湘雅医院TomoTherapy治疗室。左起：张子健，杨振，石成玉，杨金钟，罗海，母光伟，雷明军。

个医院也非常重视，医院领导，科室主任等都亲自抽出宝贵时间来参与交流活动，使得此次巡讲得以圆满成功。

巡讲一般由科室参观，学术报告，讨论环节组成。有些单位还将此次巡讲同当地肿瘤协会的活动融为一体，举办了一次高水平的学术活动，获得当地肿瘤科相关人员的积极参与，并取得很好的巡讲效果。回顾本次巡讲，激动心情还难以平静，主要有以下几点体会。

1. 中国医学物理迫切需要同国际交流并轨。

此次巡讲最感动的是当地同行的热情。讲师所到之处，受到了当地同行的热烈欢迎。医院方面一般是副院长和肿瘤科主任接待讲师们，并安排和很好的住宿和饮食环境，有些同行在空余时间还组织参观了当地的名胜。科室专门安排了半天或者一天的学术活动，

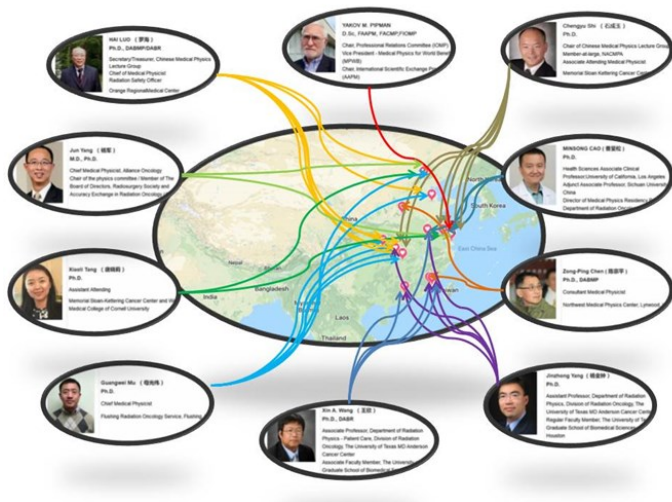


图1 巡讲人员及路线

很多肿瘤科医生，物理师，技师等都积极参与，并加入讨论的行列。有时候讨论由于时间关系不得不结束。这种热情反应了中国物理迫切需要同国际同行进行交流的愿望，并努力提高当地的放疗水平。感受湖南常德同行的热情，作小诗两首如下：

致常德第一人民医院

百年老店有传承
待客真心又热情
任欢细语迎天下
田伟一路皆笑声
更有泽民肖主任
把舵物理为前行
桃花源水皆是梦
不及常德待我情

致湘雅常德

出身名门即不同
犹如凤凰涅槃生
物理历史虽然短
主任返聘帮传行
初啼几声惊天下
一切皆在掌握中
必是病人有福祉
方得湘雅常德行



图4 湘雅常德医院合影

2. 中国医学物理具备必要的硬件条件，但是软件需要极大提高。很多单位所拥有的放疗硬件条件是有好的，例如加速器是比较新的，例如治疗室是很大的，并非常干净，其硬件水平甚至超过美国大中心的标准。但是如何发挥硬件应有的优势是一个问题。伴随硬件的软件，包括软体，人员水平和素质，所实施项目的质量保证，整体队伍的协调和管理等，这些方面往往是决定整体水平的关键。
3. 区域不平衡发展需要解决。本次活动涵盖了中国东西南北的医院，感觉还是经济发达地区的发展和理念更接近美国的标准。区域不平衡是存在的。放疗是反映经济发展的一个标尺，其软硬件都需要一定的财力支持，中国自身经济发展的不平衡也导致了放疗水平的不平衡。
4. 医学物理地位需要获得重视和承认。国内医学物理的地位一直是一个问题。主要是从业人员人数少，但是所从事的行业又是非常重要的。从国家角度来说，医学物理是一个小行业，甚至不算是一个行业。但是从整体国家健康医疗的角度来说，医学物理是一个不容忽视的“大”行业。需要多次呼吁国家制定相应的法律法规来给医学物理行业相应的待遇。
5. 医学物理师队伍需要细化，要重视短板效应。放疗的硬件水平不错，放疗的医生处方等也是公开的，为什么中国癌症的五年存活率不如发达国家？



图3 常德第一一医院合影

其最主要的原因是放疗是短板效应的典型例子。是团队的最短板决定了放疗的水平。再好的医生没有团队的支持也是不能取得相应的治疗效果的。重视整体团队建设和理念的更新，是应当注意的问题。

6. 病人医院保险资源需要再合理分配。中国放疗病人有一个特色，都是住院的病人，主要是保险要求的。医院也为了放疗病人的床位问题头痛。而放疗病人并不是都需要住院的，其中大部分都不需要。这无形中浪费了好多医院的资源，这个问题需要资源的合理分配，从保险政策着手来解决，是能够节省很多资金的大问题。

7. 交流需要持续，长期，深入。此次巡讲活动大约持续了两周，说长不长，说短也不短。每个医院停留的时间是半天或者一天，非常短暂。很多实际的问题没有涉及，而且也不是很深入。医院所迫切需要的解决方案不是一次巡讲就能够解决了的。这种交流活动需要持续，长期，深入的。例如，是否可以结合需要的项目进行？从项目的建立，验证和实施整个过程都有交流？交流的形式和内容是否需要进一步优化？这些都是我们需要考虑的问题。

巡讲活动是结束了，但是留给我们的问题更多了，在深入思考的前提下，提出更高效，实用，长期的解决方案是所有中国医学物理同行和有意愿帮助中国医学物理行业发展的美国华人医学物理师共同面对的问题。巡讲是结束了，但是我们的友谊却没有结束。回顾我个人的路线，作小词一首：

无题

才饮桃花源头水，
又食常州三白鱼。
万里长空横渡，
极尽巡讲途。
主家热情如火，
讲者尽力倾囊，
双向交流创历史，
汗青奋笔书。



图5 湘雅常德医院宽敞的治疗室和人性化的病人

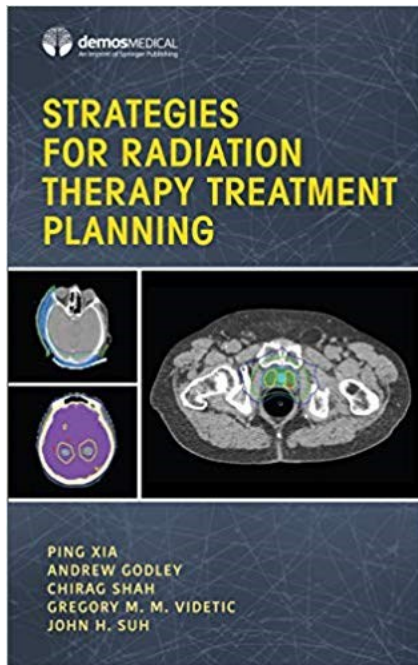


图6 上海美中嘉和医院在设置和理念上接近美国医院标准



图7 湖南常德桃花源古镇

Book Review



我个人很荣幸地接受夏萍老师的邀请，给她的新书，

《Strategies for radiation therapy treatment planning》，

翻译成中文就是“放射治疗计划的策略”，

写短评。夏老师在该书前言中说，书的形成是受其系里资深医生，Gregory Videtic，先生的鼓励。Gregory Videtic先生有一本于2010年出版的书，《Handbook of Treatment Planning in Radiation Oncology》，翻译成中文即“肿瘤科治疗计划手册”。而夏老师的新书则可以成为该书的姊妹篇。无独有偶，我突然记起2012年我在医学物理(Medical Physics)杂志上发表了一篇新书审评的文章，正是评的Gregory Videtic先生的书。记得当时非常欣赏该书，并把它作为礼物送给我们即将上剂量师学校的一个技师朋友，这个朋友一直把书带着身边，从剂量师学习毕业后，目前在美国波士顿麻省总医院

工作，该书也贡献了一些力量。这次很欣喜发现有夏萍老师的书面世，再为放疗领域添砖加瓦，也为读者奉献精神食量。

放疗计划一直是放疗领域的重头戏。当一个肿瘤病人确定了肿瘤种类和分期，医生给出了处方，放疗计划就是实现理想和现实的桥梁。好的放疗计划就是庖丁手中的刀，游刃有余地剔除肿瘤，却不伤健康筋骨。该书作为姊妹篇，也采用了“手册”的形式，简明扼要地把放疗计划的要点列出来，但不是简单的罗列，而是如同路标，在关键的路口给人指示方向。全书共14章，除了前3章综述放疗计划的原理，逆向优化的工具和病人定位验证的概况外，其余11章按肿瘤发生部位而分别成章。具体到每个章节，又从最基本的模拟定位，不同计划策略，不同治疗方案，不同治疗设备特征给出了扼要但翔实的要点。即不是过于臃肿的菜单(cooking menu)，也不是过于简单的概况，正是“增一分则太多，减一分则太少”，恰恰好。

全书275页，凝结了Cleveland Clinic的精华，是集体力量的结晶。其中作者有医生，有物理师，有剂量师，有放疗技师。我们知道，Cleveland Clinic在癌症治疗方面被美国新闻评为前5名的医院，其治疗水准是不容置疑的，尤其是在肺癌和肠癌治疗方面有独到的

地方。放疗科是个体现综合水平的科室，不能有短板，有了短板就会使得其他人的努力前功尽弃。本书在集体力量的基础上，将放疗计划的水平也整体提升到了一个新的高度，适合阅读的人群包括医生，物理师，剂量师，技师，更包括目前正在学习与放疗计划相关课程的实习生。有一本手册在手，就如良师陪伴随时可问，遇到困难

随时随地地参考，结合理论和实践，相信对深入了解放射治疗方案制定有很大裨益，也会使得患者从而获得世界级高水平的放疗计划的治疗。

石成玉 博士

2018年10月27日于家中



Executive Officers (2019)

President:
Zhigang (Josh) Xu, Ph.D.
President-Elect:
Brian Wang, Ph.D.
Secretary:
Dengsong Zhu, M.S.
Treasurer:
Yin Zhang, Ph.D.

Board of Directors (2019)

Chairman:
X. Allen Li, Ph.D.

Jackie Wu, Ph.D.
Zhigang (Josh) Xu, Ph.D.
Brian Wang, Ph.D.

Member-at-large:
Chengyu Shi, Ph.D.

Nomination/Election Committee (2019)

Chairman
X. Allen Li, Ph.D- Most recent Past President

Jackie Wu, Ph.D-Past President

Member-at-large: Chengyu Shi, PhD

Award Committee (2019)

Jackie Wu, PhD
X. Allen Li , PhD
Zhigang (Josh) Xu, PhD
Brian Wang, Ph.D.
Dengsong Zhu , MS
Yin Zhang, Ph.D.
Chengyu Shi, PhD
NACMPA general members (5)

医学物理词汇中英对照表(第三部分) 段晓雨 郭超 王文弢 徐志岗 编辑

A	E	I
Active shimming	Emission computed tomography	Iterative reconstruction
主动匀场	发射型计算机断层成像	迭代重建
Anti-aliasing filter	Equivalent dose	Isotopic equilibrium
抗混叠滤波	等效剂量	同位素平衡
Atrioventricular node		
房室节	F	L
Automatic exposure control (AEC)	Ferromagnetism	Linear energy transfer
自动曝光控制	铁磁性	线性能量传输
	Fluorodeoxyglucose (FDG)	Longitudinal relaxation time
B	氟脱氧葡萄糖	纵向弛豫时间
Beam hardening artifact	Filtered backprojection	Linear attenuation coefficient
射束硬化伪影	滤波反投影	线衰减系数
	Frequency domain	Line pair resolution
C	频域	线对分辨率
Carrier-free specific activity (CFSA)	fast spin echo	
无载体比活度	快速自旋回波	M
Contrast agent	Full width at half maximum	Mean free path
造影剂	半峰全宽	平均自由程
Coronary angiography	Fluoroscopy	Mass attenuation coefficient
冠状动脉血管造影术	透视	质量衰减系数
Cell survival curve		Mirror image artifact
细胞存活曲线	G	镜像伪影
Collimator	Gyromagnetic ratio	Multipath reflection artifact
准直器	旋磁比	多次反射伪影
Computed axial tomography (CAT)	Geiger-Mueller radiation counter	Modulation Transfer Function (MTF)
计算机轴向断层成像扫描	盖革-米勒计辐射计数器	调制传递函数
Continuous wave (CW) Doppler	Gradient echo	Mammography
连续多普勒	梯度回波	乳房摄影术
D	H	N
Dermal necrosis	Heel effect	Nuclear fission
皮肤坏死	足跟效应	核裂变
	Hounsfield unit	Nuclear medicine
	亨氏单位	核医学

Nuclear stability	Pulsed wave (PW) doppler	Radiation dermatitis
核稳定性	脉冲多普勒	辐射性皮炎
Neutron capture	Photodisintegration	Radiation dosage
中子俘获	光致蜕变	辐射剂量
O	Photoelectric effect	
Optic chiasm	光电效应	S
视交叉	Partial volume effect	Specificity
Occupational radiation exposure	部分容积效应	特异度
职业性照射	Pair production	Signal to noise ratio (SNR)
	成对产生	信噪比
	Photoacoustic effect	Single photon emission computed tomography (SPECT)
P	光声效应	单光子发射计算机断层成像术
Papillary muscle	Photon annihilation	Side lobe artifact
乳头肌	光子湮没	旁瓣效应伪影
Probability density function	Paramagnetic resonance	Scintillation Scanner
概率密度函数	顺磁共振	闪烁扫描仪
Phase encode gradient (PEG)		Spatial resolution
相位编码梯度	Q	空间分辨率
Point spread function	Quality assurance	Spin echo
点扩散函数	质量保证	自旋回波
Photomultiplier tube		
光电倍增管	R	T
Pinhole camera	Rayleigh scattering	Tissue hypertrophy
针孔型相机	瑞利散射	组织肥大
Parallel-hole collimator	Relative biologic effectiveness (RBE)	Tomosynthesis
平行孔准直器	相对生物效能	断层摄影
Pulse sequence	Receiver operating characteristic (ROC) curve	Time gain compensation (TGC)
脉冲序列	接受者操作特征曲线	时间增益补偿

Reference:

The Gale Encyclopedia of Medicine, 2nd Edition, Vol. 1 A-B. p. 4

Bushberg, J. T., & Boone, J. M. (2011). The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams & Wilkins.

Prince, J. L., & Links, J. M. (2006). Medical imaging signals and systems. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.

Coulam, C. M. (1981). The Physical basis of medical imaging, Appleton-Century-Crofts.