

## 2021 北美放射学会年会:分子核医学

孙伟晟<sup>1</sup> 徐淑敏<sup>2</sup> 裴妮慧<sup>2</sup> 王培军<sup>3</sup> 曾洪武<sup>2</sup>

<sup>1</sup>汕头大学医学院,汕头 515041;<sup>2</sup>深圳市儿童医院放射科,深圳 518038;<sup>3</sup>同济大学附属同济医院放射科,上海 200065

通信作者:王培军, Email: tongjipjwang@vip.sina.com;曾洪武, Email: homerzeng@126.com

**【摘要】** 分子核医学是利用核医学技术研究生物体中分子水平的变化,从而了解其功能变化的新型学科。2021 北美放射学会年会有 40 余篇以分子核医学为主题的学术报告,主要内容有新型显像剂和新影像学显像方法在肿瘤(前列腺癌、乳腺癌、直肠癌等)以及其他疾病[新型冠状病毒肺炎(COVID-19)、阿尔茨海默病、帕金森病等]中的应用。该文将对相关研究进展进行综述。

**【关键词】** 核医学;分子显像;发展趋势

**基金项目:**国家自然科学基金(81771889);深圳市科技计划项目(201884480);深圳市医疗卫生三名工程项目(SZSM202011005)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20211222-00447

### 2021 Radiological Society of North America annual meeting: molecular nuclear medicine

Sun Weisheng<sup>1</sup>, Xu Shumin<sup>2</sup>, Pei Nihui<sup>2</sup>, Wang Peijun<sup>3</sup>, Zeng Hongwu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shantou University Medical College, Shantou 515041, China; <sup>2</sup>Department of Radiology, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518038, China; <sup>3</sup>Department of Radiology, Tongji Hospital of Tongji University, Shanghai 200065, China

Corresponding authors: Wang Peijun, Email: tongjipjwang@vip.sina.com; Zeng Hongwu, Email: homerzeng@126.com

**【Abstract】** Molecular nuclear medicine is a new subject that uses nuclear medicine technology to study the changes of molecular level in organisms in order to understand their functional changes. 2021 Radiological Society of North America annual meeting has more than 40 academic reports on molecular nuclear medicine. The main content includes new tracers and new imaging methods in tumors (prostate cancer, breast cancer, rectal cancer, etc.) and other diseases (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), Alzheimer's disease, Parkinson's disease, etc.). This article reviews the relevant research progress.

**【Key words】** Nuclear medicine; Molecular imaging; Trends

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (81771889), Shenzhen Science and Technology Plan Project (201884480), Sanming Project of Medicine in Shenzhen (SZSM202011005)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20211222-00447

第 107 届北美放射学会(Radiological Society of North America, RSNA)年会于 2021 年 11 月 28 日至 12 月 2 日在美国芝加哥举行。本次大会主题是重新定义放射学(Redefining Radiology),将重心由基于数量的实践(volume based practice)转向基于价值的实践(value based practice),更加突显出放射学在疾病诊治流程中的作用。分子核医学近年来呈跨越式发展,新型显像剂和显像技术与人工智能和影像组学深度融合。本文将对 2021 RSNA 年会分子核医学领域的研究热点进行综述。

#### 一、新型显像剂和显像技术

<sup>131</sup>I-6 $\beta$ -碘甲基-19-去甲基胆固醇(<sup>131</sup>I-6 $\beta$ -iodomethyl-19-norcholesterol, NP-59)可识别机体内异常胆固醇的利用。由于辐射剂量高, NP-59 的使用一直受限。Viglianti<sup>[1]</sup>在 NP-59 的基础上成功合成了<sup>131</sup>I-6 $\beta$ -氟甲基-19-去甲基胆固醇(<sup>131</sup>I-6 $\beta$ -fluoromethyl-19-norcholesterol, FNP-59)。FNP-59 在实验动物(兔、小鼠)及人体中具有对正常区域(肝、肾上腺)及病变

区域胆固醇积聚的显像能力,且对人体几乎无不良反应。FNP-59 优异的显像能力与可靠的安全性,使得无创的胆固醇代谢显像技术重见天日,为检测肾上腺皮质疾病,尤其是原发性醛固酮增多症提供了新手段。

Gertsenshteyn 等<sup>[2]</sup>选取了 16 只鳞状细胞癌模型小鼠进行研究,其<sup>18</sup>F-氟硝基咪唑(fluoromisonidazole, FMISO) PET 图像、动态增强 MRI 图像以及电子顺磁共振(electron paramagnetic resonance, EPR)图像联合勾画的肿瘤缺氧坏死区域,与 HE 染色及 CD31 染色切片中显示的坏死区域比较,两者存在对应关系。该结果验证了<sup>18</sup>F-FMISO PET、动态增强 MRI 与 EPR 对肿瘤缺氧微环境的显像能力,为进一步在临床试验中使用打下基础。

$\delta$ 样蛋白-3(delta-like ligand 3, DLL3)是一种神经内分泌肿瘤[如小细胞肺癌(small-cell lung cancer, SCLC)、大细胞神经内分泌肿瘤、胃肠道神经内分泌肿瘤等]特异性细胞表面蛋白,是一种重要的新治疗靶点。目前,缺乏无创的体

内 DLL3 靶点生物标志物检测手段。Agee 等<sup>[3]</sup>选取 DLL3 高表达的 SCLC 患者进行<sup>89</sup>Zr 标记人源化抗 DLL3 单克隆抗体 [<sup>89</sup>Zr-去铁胺 (desferrioxamine, DFO)-SC16.56] 进行人体内试验;向每例患者注射 74 MBq <sup>89</sup>Zr-DFO-SC16.56, 分别在注射后 1、3~5 和 7 d 进行<sup>89</sup>Zr-DFO-SC16.56 PET/CT 显像。结果发现,所有肿瘤病灶( $n=13$ )均呈阳性,注射后 3 d 可检测到亚厘米级转移灶,注射后 7 d 内肿瘤 SUV<sub>max</sub> 持续增加;显像剂在除肝脏以外的正常组织中摄取很少,为诊断提供了极好的肿瘤/肌肉摄取比值。该研究证实了人体内标记 DLL3 检测肿瘤的可行性,在神经内分泌肿瘤的检测方面具有广阔的临床应用前景。

目前,黏膜相关淋巴样组织 (mucosa-associated lymphoid tissue, MALT) 淋巴瘤的随访依赖于食管、胃及十二指肠镜的多点活组织检查 (简称活检)。研究已证实 MALT 淋巴瘤存在 C-X-C 型趋化因子受体 4 (C-X-C motif chemokine receptor 4, CXCR4) 高表达<sup>[4]</sup>。为寻找便捷且无创的活检替代方法, Mayerhoefer 等<sup>[5]</sup>评估了 <sup>68</sup>Ga-Pentixafor 标记 CXCR4 显像替代活检的可行性。结果表明,该方法具有高准确性 (95.5%)、灵敏度 (95.0%) 和特异性 (96.2%), 阳性预测值和阴性预测值分别为 97.4% 和 92.6%, 病灶与背景的对比值较高。因此,对 MALT 淋巴瘤治疗后随访患者, CXCR4 PET 显像能对常规肠镜活检提供补充。

## 二、神经系统

帕金森病 (Parkinson's disease, PD) 一直都是研究的热点,科学家一直努力探索 PD 早期诊断、监测疗效和评估预后的无创成像方法。Tanifum<sup>[6]</sup>对 T-1 relaxive macrocyclic Gd (III)  $\alpha$ -突触核蛋白 ( $\alpha$ -synuclein,  $\alpha$ -syn) 靶向脂质体显像进行研究。将  $\alpha$ -syn 转基因小鼠 ( $n=6$ ) 设为实验组,注射靶向药物,分别于实验前、注射后即刻、注射后 4 d 进行显像,显像完成后采集脑组织用于组织学分析,将年龄相匹配的注射靶向药物的野生型小鼠 ( $n=6$ ) 与注射非靶向药物的转基因小鼠 ( $n=6$ ) 作为对照组,对所有小鼠脑组织进行病理学评估。研究表明,注射靶向药物的转基因小鼠病变区域信号显著增强,且增强区域与小鼠病理评估区域分布一致。该技术有望为临床早期检测突触核蛋白病 (PD、路易体痴呆等) 提供新方法。

$\beta$ -淀粉样蛋白 ( $\beta$ -amyloid, A $\beta$ ) 和 tau 蛋白是阿尔茨海默病 (Alzheimer's disease, AD) 的标志性蛋白, A $\beta$  与 tau 蛋白具有毒性协同效应, tau 蛋白状态是诊断 AD 的核心。Charles 等<sup>[7]</sup>选择了 2 位有经验的放射科医师,按 3-(6-[<sup>18</sup>F] 氟吡啶基)-5-氢-吡啶并 [4, 3-b] 吡啶 {3-(6-[<sup>18</sup>F] fluorine pyridyl)-5H-pyridino-[4, 3-b] benzpyrrole, <sup>18</sup>F-flortaucipir} PET 图像视觉评估指南对 199 例患者进行诊断,分析视觉评估与 PET tau 定量和脑脊液磷酸化 tau 蛋白检测结果的一致性。研究结果表明,视觉评估结果与脑脊液磷酸化 tau 蛋白的检测结果有较高的一致性,而视觉评估结果与 PET tau 定量结果的一致性尚可。

进行性核上性麻痹 (progressive supranuclear palsy, PSP) 的各临床表型的鉴别诊断是临床难题。<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 特征性代谢减退模式可能与临床症状及分型有关。Mahajan 等<sup>[8]</sup>对 124 例临床疑似 PSP 受试者分别进行了<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-2 $\beta$ -[N, N'-

双(2-巯乙基)乙撑二氨基]甲基-3 $\beta$ -(4-氯苯基)托烷 [2 $\beta$ -(N, N'-bis (2-mercaptoethyl) ethylenediamine) methyl-3 $\beta$ -(4-chlorophenyl) tropane, TRODAT-1; 一种多巴胺转运蛋白显像剂] SPECT 和 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 显像,并使用 PSP 评定量表对所有受试者进行临床分析和评分。结果显示,所有受试者<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-TRODAT-1 显像均为异常;Richardson 型 PSP 受试者可观察到前扣带回、眶额叶皮质、基底神经节、丘脑、中脑和感觉运动皮质的弥漫性代谢减退;语言型 PSP 和伴额叶症状型 PSP 受试者可观察到前额叶、内侧额叶、岛叶和前额叶皮质的摄取减少,<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-TRODAT-1 SPECT 特异性代谢减低模式可帮助区分 PSP 的临床表型。

## 三、前列腺癌

特异性更强和更为灵敏的分子显像剂和显像方法被用于前列腺癌的诊治评估。近年来研究表明,前列腺特异膜抗原 (prostate specific membrane antigen, PSMA) 靶向 2-(3-(1-羧基-5-[(6-<sup>18</sup>F-氟-吡啶-3-羰基)-胺基]-戊基)-脲基) 戊二酸 {2-(3-(1-carboxy-5-[(6-<sup>18</sup>F-fluoro-pyridine-3-carbonyl)-amino]-pentyl)-ureido)-pentanedioic acid, <sup>18</sup>F-DCFPyL} PET/CT 对高危前列腺癌原发灶及转移灶诊断的准确性、灵敏度、特异性均明显高于常规检查 (增强 CT、骨扫描)<sup>[9]</sup>。Metser 等<sup>[10]</sup>对 1 289 例初步治疗后的前列腺癌患者进行 PSMA 靶向<sup>18</sup>F-DCFPyL PET/CT 显像和常规检查,约 65% 患者可在 PSMA PET 上检测出病灶,约 62% 患者常规检查无法检出的病灶在 PSMA PET 呈阳性。在临床决策中,约 58% 患者的治疗方案在 PSMA PET 显像后调整。相比常规检查, PSMA PET 有更高的病变检出率,将在临床上协助治疗后可能复发的前列腺癌患者获得更精确、更及时的治疗。

Dias 等<sup>[11]</sup>研究 108 例中高危的前列腺癌患者,比较分析 CT 及 PSMA 靶向<sup>18</sup>F-DCFPyL PET 检测结果,综合组织病理学检查、临床生化指标与随访结果,证实 PSMA PET 对盆腔淋巴结转移和远处转移更灵敏。

为寻求更为灵敏的显像剂以监测前列腺癌根治性手术或根治性放疗后的复发, Abiodun-Ojo 等<sup>[12]</sup>采用 2 种显像剂检查 68 例前列腺切除术后患者,其中 32 例接受反式-1-氨基-3-<sup>18</sup>F-氟环丁烷-1-甲酸 (anti-1-amino-3-<sup>18</sup>F-fluorocyclobutane-1-carboxylic acid, <sup>18</sup>F-fluciclovine) PET/CT 显像, 33 例接受<sup>68</sup>Ga-PSMA PET/CT 显像。结果发现,<sup>18</sup>F-fluciclovine PET/CT 总体阳性率高于<sup>68</sup>Ga-PSMA PET/CT (96.9% 与 60.6%;  $P < 0.01$ ), 推荐<sup>18</sup>F-fluciclovine PET/CT 为前列腺癌根治性手术或根治性放疗后第一选择。病理学 Gleason 评分和分级是前列腺癌分期和治疗计划的重要参数。Abiodun-Ojo 等<sup>[13]</sup>对 56 例确诊原发性前列腺癌患者进行术前<sup>18</sup>F-fluciclovine PET/CT 检查,对每个病灶进行标记并记录 SUV<sub>max</sub>; 术后根据 Gleason 分级对整个前列腺进行评分,结果显示 SUV<sub>max</sub> 与评分和分级升高相关 (采用 Gleason 评分和分级降低病例作参考组时,  $P = 0.02$ ), 证实<sup>18</sup>F-fluciclovine PET/CT 能提升前列腺癌治疗前分期的准确性。

## 四、乳腺癌

乳腺病灶早期良恶性的准确诊断决定其最佳治疗方案。准确的诊断能使患者获得更好的预后,减少不必要的过度经验性治疗。Clauser 等<sup>[14]</sup>使用<sup>18</sup>F-氟乙基胆碱 (fluoroethyl-

choline, FEC) PET/MR 研究 101 例乳腺占位。恶性病灶的  $SUV_{max}$  较良性病灶显著增高 ( $P < 0.001$ ),  $^{18}F$ -FEC PET/MR 在乳腺病灶早期良恶性鉴别诊断中有重要意义。此外, Clauser 等<sup>[15]</sup> 将  $^{18}F$ -FEC PET 与 MR 进行联合, 以提高乳腺癌患者淋巴结转移的检出率。74 例患者的 MR 和 PET 检查共提示有 80 个病灶, 2 名放射专家评估结果为: MR 评估灵敏度低 (46.4%、50.0%), 特异性高 (96.3%、96.3%); PET 评估灵敏度较高 (78.6%、67.9%), 而特异性较低 (81.5%、74.1%)。联合乳腺  $^{18}F$ -FEC PET 和 MR, 充分发挥 2 种检查方法的优势, 能更加精准地诊断乳腺癌患者淋巴结转移。

乳腺癌的病变范围、转移和临床分期是关注的重点。 $^{68}Ga$  标记成纤维细胞激活蛋白 (fibroblast activating protein, FAP) 抑制剂 (FAP inhibitor, FAPI) 作为分子探针, 通过靶向乳腺肿瘤微环境中丰富的 FAP 进行肿瘤显像。Burg 等<sup>[16]</sup> 对 19 例未治疗的女性乳腺癌患者进行  $^{68}Ga$ -FAPI PET/MR 和 PET/CT 显像, 在所有乳腺恶性肿瘤原发灶及术前证实的淋巴结转移中均见明显的显像剂浓聚, 并额外检出 7 例腋窝外侧淋巴结转移。 $^{68}Ga$ -FAPI PET/MR 对原发灶及转移灶判断与定位准确性高, 为肿瘤精准分期提供帮助, 为治疗方式的选择提供决策参考。

乳腺癌肿瘤异质性有助于预测患者腋窝淋巴结转移。Romeo 等<sup>[17]</sup> 对 74 例乳腺癌患者进行乳腺  $^{18}F$ -FDG PET/MR 检查, 从动态增强 (dynamic contrast enhanced, DCE)、扩散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 和 PET 图像中提取定量参数 [体积分布、血浆流量、表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、 $SUV_{max}$  等], 并在 DCE、 $T_2$  加权成像、DWI 和 PET 图像对病灶进行人工分割, 提取放射组学特征; 将定量参数与放射组学特征交由机器学习, 得出预测淋巴结转移准确性最高的组合。结果表明, 利用 DCE、ADC 和 PET 图像的放射组学特征提取的模型预测淋巴结状态的准确性最高, 灵敏度、特异性、阳性预测值、阴性预测值分别为 75.5%、66.8%、68.8%、73.9%。该模型可能对临床预测患者淋巴结转移提供帮助。

## 五、消化系统

多参数 PET/MR 有助于为直肠癌患者提供治疗前更准确的局部分期。Herold 等<sup>[18]</sup> 对 48 例原发性直肠癌患者进行术前多参数  $^{18}F$ -FDG PET/MR 显像, 并提取 DWI、灌注成像和 PET 信息, 采用 ROC 曲线分析、多因素回归分析等方法探究 PET/MR 各参数与临床组织学参数 ( $pT$ 、 $pN$  分期、淋巴结比率、淋巴浸润) 的相关性, 发现局部晚期肿瘤代谢体积 (metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量均显著增高, 速率常数与淋巴结比率增加 ( $AUC = 0.780$ ,  $P = 0.043$ ) 及淋巴浸润 ( $AUC = 0.765$ ,  $P = 0.01$ ) 显著相关。多因素回归分析显示, MTV 和速率常数联合预测局部晚期直肠癌的效果最好, 优于常规标准解剖评价。多参数 PET/MR 提供了直肠癌肿瘤生物学和肿瘤累及淋巴系统的更全面信息, 帮助临床医师更全面、更直观地评价肿瘤, 协助临床决策治疗方案, 让患者得到更及时、更优化的治疗。

PSMA 的表达程度可能与肝细胞肝癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 恶性程度相关, Thomason 等<sup>[19]</sup> 进行了针对性的两期研究。I 期, 对手术切除的 HCC ( $n = 148$ ) 组织进行

PSMA 免疫组织化学评分, 并分析免疫组织化学结果与组织病理学和临床变量的相关性; II 期, 对 20 例未经治疗的 HCC 患者 (23 个病灶) 行  $^{68}Ga$ -PSMA PET/CT ( $n = 15$ ) 或 PET/MR ( $n = 5$ )。根据病变对 PSMA 的摄取进行分级, 并对肿瘤与肝脏的背景比值进行分析, I 期研究表明 PSMA 在绝大多数 (91%) HCC 的新生血管中表达, 较高的 HCC 肿瘤分级与 PSMA 阳性表达程度呈正相关 ( $P = 0.012$ ), PSMA 阴性的 HCC 生存率明显高于 PSMA 阳性的 HCC (术后中位数生存时间: 4.2 与 1.9 年,  $P = 0.273$ ); II 期研究表明大部分 (61%) 患者的病灶 PSMA 摄取明显高于正常肝脏或脾脏。因此,  $^{68}Ga$ -PSMA PET/CT 检查能对临床医师识别 HCC 和判断恶性程度提供帮助。

## 六、新型冠状病毒肺炎 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19)

COVID-19 疫苗接种可能导致同侧腋窝淋巴结  $^{18}F$ -FDG 的摄取增多, 这与原发肿瘤转移至腋窝淋巴结的表现难以区分。Skawran 等<sup>[20]</sup> 对 140 例使用美国辉瑞 (Pfizer) 公司或美国莫德纳 (Moderna) 公司的疫苗进行 1 或 2 次接种的患者进行  $^{18}F$ -FDG PET/CT 检查, 测量并比较接种同侧腋窝淋巴结对  $^{18}F$ -FDG 的摄取, 发现半数以上 (54%) 患者存在疫苗接种同侧淋巴结  $^{18}F$ -FDG 摄取增加。Skawran 等<sup>[20]</sup> 建议进行  $^{18}F$ -FDG PET/CT 显像前应仔细检查患者既往接种史, 肿瘤患者尽量于病变对侧接种。

Eifer 等<sup>[21]</sup> 也对 COVID-19 疫苗接种后腋窝淋巴结  $^{18}F$ -FDG 摄取增加进行了深入研究, 他们对 377 名近期接种疫苗受试者进行  $^{18}F$ -FDG PET/CT 检查, 发现 53% 免疫功能正常者和 33% 免疫功能低下者腋窝淋巴结  $^{18}F$ -FDG 摄取呈阳性, 接种后同侧淋巴结  $^{18}F$ -FDG 摄取增加率与患者接种剂量呈正相关; 与患者年龄、接种至 PET 检查间隔时间呈强负相关 [比值比 (odds ratio, OR) = 0.57, 95% CI: 0.45 ~ 0.72,  $P < 0.001$ ]。血液病及免疫抑制患者  $^{18}F$ -FDG 摄取呈阳性的概率较低 (OR = 0.37, 95% CI: 0.20 ~ 0.64,  $P = 0.003$ ; OR = 0.44, 95% CI: 0.24 ~ 0.80,  $P = 0.021$ )。该研究有助于识别 COVID-19 疫苗接种后腋窝淋巴结  $^{18}F$ -FDG 摄取增加, 以减少误判与不必要的检查。

Yeh 等<sup>[22]</sup> 为 31 例 COVID-19 患者进行了  $^{18}F$ -FDG PET/CT 检查, 其中 PET/CT 阳性 13 例 (41.9%), 阴性 18 例 (58.1%); PET/CT 阳性患者的有症状率 (77% 与 28%,  $P = 0.010$ ) 和住院率 (46% 与 0%,  $P = 0.002$ ) 均显著高于阴性患者, 且 PET 阳性与较高感染风险相关。该研究表明, PET/CT 显像可能有助于预测 COVID-19 患者的严重程度, 可使免疫功能低下的高危患者受益。

## 七、总结

2021 年机遇与挑战并存, 分子核医学与放射组学、病理学等深度融合, 借力人工智能和开发新算法, 在肿瘤领域将兴起变革。随着更多特异性显像剂的开发和应用, 在细胞和亚细胞水平, 甚至分子通道水平进行功能显像, 在精准医学时代起着关键作用, 最终将造福患者。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 孙伟晟、徐淑敏、裴妮慧: 论文撰写; 王培军、曾洪武: 论文指导、论文修改、经费支持

## 参 考 文 献

- [1] Viglianti BL. First in human imaging of fluorinated NP-59 (FNP-59): a new technique to image cholesterol metabolism noninvasively [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-02]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [2] Gertsenshteyn I, Ahluwalia AS, Epel B, et al. Validation of multimodal hypoxia imaging using EPR PO2, FMISO PET, and DCE MRI with H&E, CD31 and HIF-1 $\alpha$  IHC staining of SCC7 squamous cell carcinomas [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-02]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [3] Agee M, Lai V, Li B, et al. First in-human trial of delta like ligand 3 (DLL3)-targeted PET imaging of neuroendocrine tumors with Zr-89 SC16.56 [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-02]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [4] Zhao H, Guo L, Zhao H, et al. CXCR4 over-expression and survival in cancer: a system review and meta-analysis [J]. *Oncotarget*, 2015, 6(7): 5022-5040. DOI:10.18632/oncotarget.3217.
- [5] Mayerhoefer ME, Raderer M, Haug A, et al. CXCR4 PET imaging for post-treatment evaluation of gastric mucosa-associated lymphoid tissue (MALT) lymphoma: a biopsy-controlled prospective study [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-02]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [6] Tanifum E. Contrast-enhanced *in vivo* MRI molecular imaging of  $\alpha$ -synuclein in a mouse model of Parkinson's disease [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [7] Charles D, Chen, Jordan A, et al. Concordance of PET Tau visual reads with PET Tau quantification and CSF pTau [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [8] Mahajan H, Verma R, Ranjan R, et al. Comprehensive functional evaluation of the spectrum of progressive nuclear palsy with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -TRODAT-1 SPECT [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [9] Hofman MS, Lawrentschuk N, Francis RJ, et al. Prostate-specific membrane antigen PET-CT in patients with high-risk prostate cancer before curative-intent surgery or radiotherapy (proPSMA): a prospective, randomised, multicentre study [J]. *Lancet*, 2020, 395(10231): 1208-1216. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30314-7.
- [10] Metser Ur, Zukotynski K, Langer D, et al. The impact of  $^{18}\text{F}$ -DCFPyL PET/CT on the management of patients with recurrent prostate cancer: results of a prospective, multicenter trial [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-30]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [11] Dias AB, Kulanthavelu R, Chan R, et al. The impact of  $^{18}\text{F}$ -DCFPyL (PSMA) PET on the primary staging and management of men with unfavorable intermediate or high-risk prostate cancer [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-01]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [12] Abiodun-Ojo OA, Jani AB, Adediran O, et al.  $^{18}\text{F}$ -fluciclovine PET/CT and  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET/CT guidance of salvage radiotherapy in patients with biochemical recurrence postprostatectomy: interim analysis of a secondary endpoint from a randomized trial [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-01]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [13] Abiodun-Ojo OA, Akintayo AA, Alemozaffar M, et al. Whole prostate SUV<sub>max</sub> on  $^{18}\text{F}$ -fluciclovine PET correlates with Gleason grade (grade group) change after radical prostatectomy in high risk patients with primary prostate cancer [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-12-01]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [14] Clauser P, Rasul S, Kapetas P, et al. Simultaneous PET-MRI using  $^{18}\text{F}$ -fluoroethylcholine can provide accurate diagnosis and characterization of breast cancer [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-30]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [15] Clauser P, Rasul S, Grana-Lopez L, et al. Value of  $^{18}\text{F}$ -fluoroethylcholine PET-MRI for axillary lymph node staging in breast cancer patients [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-30]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [16] Burg MC, Backhaus P, Roll W, et al. A new horizon for breast cancer imaging: first results of simultaneous FAPi-PET/MRI targeting the fibroblast activation protein [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-30]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [17] Romeo V, Kapetas P, Clauser P, et al. Simultaneous  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MRI radiomics and machine learning analysis for the prediction of axillary lymph node status in breast cancer [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-30]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [18] Herold A, Wassipaul C, Lindenlaub F, et al. Added value of multiparametric PET/MRI in staging of rectal cancer [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-28]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [19] Thomason SM, Susan G, Torbenson S, et al. PSMA expression in hepatocellular carcinoma (HCC): immunohistochemistry and imaging with  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET using cyclotron-produced  $^{68}\text{Ga}$  [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-28]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [20] Skawran S, Gennari AG, Dittli M, et al.  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake after COVID-19 vaccination in oncological PET/CT: frequency, intensity and potential clinical impact [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [21] Eifer M, Tau N, Alhoubani Y, et al. Axillary lymph node FDG PET/CT uptake post COVID-19 mRNA vaccination and its association with age and immune status [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.
- [22] Yeh R, Elaskka A, Wray R, et al. FDG PET/CT imaging features and clinical utility in COVID-19 [C/OL]//RSNA 2021 Scientific Assembly & Annual Meeting: Redefining Radiology, Chicago, 2021 [2021-11-29]. <https://rsna2021.rsna.org>.