

放射组学在乳腺癌早期预测和分型中的探索

叶华震

景宁畲族自治县人民医院（县域医共体） 浙江 丽水 323500

摘要：随着医学影像学和人工智能技术的快速发展，放射组学作为一门新兴学科，在乳腺癌的早期预测和分型中展现出巨大潜力。本文旨在综述放射组学在乳腺癌早期预测和分型中的应用现状、技术原理、面临的挑战及未来发展方向，为乳腺癌的精准诊疗提供参考。

关键词：放射组学；乳腺癌；早期预测；分型；精准诊疗

引言

乳腺癌是女性最常见的恶性肿瘤之一，其早期发现和准确分型对于提高治疗效果和患者生存率至关重要。传统诊断方法如乳腺X线摄影、超声检查和磁共振成像等，在乳腺癌的筛查和诊断中发挥了重要作用。然而，这些方法在乳腺癌的早期预测和分型方面仍存在局限性。放射组学作为一种从医学影像中提取高维定量特征的技术，为乳腺癌的早期预测和分型提供了新的思路和方法。

1 放射组学技术原理

放射组学，作为医学影像学与计算机科学交叉融合的新兴领域，正逐渐在乳腺癌等疾病的早期预测和分型中展现出巨大潜力。其技术原理涵盖影像数据获取与处理、特征提取、特征选择与降维以及模型构建与验证等多个关键环节。

1.1 影像数据获取与处理

放射组学的研究首先依赖于高质量的影像数据。在乳腺癌的放射组学研究中，常用的影像模态包括乳腺X线摄影、乳腺超声和乳腺磁共振成像（MRI）等。这些影像技术各自具有独特的优势，能够提供不同层面的乳腺组织信息。获取影像数据后，预处理步骤至关重要。由于原始影像数据可能受到噪声、运动伪影或设备差异等因素的影响，因此需要进行一系列处理以确保后续分析的准确性。图像去噪是预处理中的关键一步，通过滤除噪声，可以提高影像的清晰度和可信度。配准则是将不同时间或不同模态的影像数据进行对齐，以确保它们在空间上的一致性。分割则是将影像中的感兴趣区域（如肿瘤）与周围组织分离开来，为后续的特征提取提供准确的目标。

1.2 特征提取

特征提取是放射组学的核心步骤，它旨在从预处理后的影像数据中提取出能够反映肿瘤内部结构和异质性

的高维定量特征。这些特征通常包括灰度直方图特征、纹理特征和形状特征等。灰度直方图特征描述了影像中像素灰度的分布情况，如均值、方差、偏度和峰度等，这些统计量能够反映肿瘤的整体灰度特性^[1]。纹理特征则通过计算影像中像素之间的空间关系来捕捉肿瘤的纹理信息，如粗糙度、对比度、均匀性和相关性等。形状特征则描述了肿瘤的形状和大小，如周长、面积、圆形成度和凹凸度等，这些特征能够反映肿瘤的空间形态。通过提取这些高维定量特征，放射组学能够全面、客观地描述肿瘤的特性，为后续的预测和分型提供丰富的信息。

1.3 特征选择与降维

由于提取的特征数量庞大，且部分特征之间存在冗余或相关性，因此需要进行特征选择与降维。这一步骤的目的是筛选出对乳腺癌早期预测和分型最有价值的特征，同时降低模型的复杂度和计算成本。常用的特征选择方法包括主成分分析（PCA）、线性判别分析（LDA）和Lasso回归等。PCA是一种无监督的降维方法，它通过线性变换将原始高维数据投影到低维空间上，同时保留数据的主要变异信息。LDA则是一种有监督的降维方法，它考虑了类别信息，旨在找到能够最大化类间差异和最小化类内差异的投影方向。Lasso回归则是一种基于稀疏性约束的回归方法，它能够通过引入L1正则化项来筛选出具有重要预测价值的特征。通过这些方法，可以从原始的高维特征集中筛选出最具代表性的特征，为后续的模型构建提供简洁、有效的输入。

1.4 模型构建与验证

基于筛选出的特征，可以构建机器学习或深度学习模型进行乳腺癌的早期预测和分型。机器学习模型如支持向量机（SVM）、随机森林（RF）和梯度提升决策树（GBDT）等，它们通过训练数据学习特征与标签之间的映射关系，从而实现对新数据的预测和分类。深度学习模型如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）

等,它们通过多层非线性变换来捕捉数据的复杂模式,具有更强的表达能力和泛化能力。模型构建后,需要使用独立的数据集进行验证,以评估模型的泛化能力和准确性。常用的验证方法包括交叉验证、留出法验证和自助法验证等。通过这些验证方法,可以客观地评估模型的性能,为临床应用提供可靠的依据。

2 放射组学在乳腺癌早期预测中的应用

2.1 早期乳腺癌的筛查与诊断

传统的乳腺癌筛查手段主要包括乳腺X线摄影(钼靶)、乳腺超声等。然而,这些手段在早期乳腺癌的检测中存在一定的局限性,如对于致密型乳腺的诊断准确率相对较低。放射组学技术的出现,为早期乳腺癌的筛查与诊断提供了新的思路和方法。放射组学技术通过从影像数据中提取反映肿瘤生物学特性的定量特征,为乳腺癌的早期预测提供了有力支持。以乳腺X线摄影图像为例,传统的诊断主要依赖于医生的主观判断,而放射组学则能够通过图像中的纹理、形状、灰度等特征进行客观、定量的分析,从而识别出潜在的恶性病变。具体来说,放射组学技术可以分析乳腺X线摄影图像中的纹理特征,如粗糙度、对比度、均匀性等,这些特征能够反映乳腺组织内部的微观结构变化。恶性病变往往伴随着乳腺组织结构的紊乱和纹理的改变,因此通过分析这些纹理特征,可以辅助医生识别出潜在的恶性病变。此外,放射组学还可以结合其他影像模态,如乳腺超声、乳腺磁共振成像等,进行多模态的分析和诊断,进一步提高早期乳腺癌的检测准确率。除了纹理特征外,放射组学还可以提取形状特征和灰度特征等。形状特征能够描述肿瘤的大小、形状和边缘等特性,而灰度特征则能够反映肿瘤内部的灰度分布情况。这些特征的综合分析,可以为医生提供更加全面、客观的肿瘤信息,有助于早期乳腺癌的准确诊断和分型。

2.2 腋窝淋巴结转移的预测

腋窝淋巴结转移是乳腺癌患者预后的重要因素之一。腋窝淋巴结的状态对于确定治疗方案和预测患者生存率具有重要意义。然而,传统的腋窝淋巴结评估主要依赖于手术病理检查,这不仅增加了患者的手术风险,而且可能导致部分患者的过度治疗或治疗不足。放射组学技术为腋窝淋巴结转移的预测提供了新的途径。通过分析乳腺磁共振成像(MRI)图像中的特征,放射组学可以预测腋窝淋巴结转移的风险。MRI作为一种无创的影像检查手段,能够提供高分辨率的乳腺组织图像,为放射组学分析提供了丰富的数据基础。具体来说,放射组学技术可以从MRI图像中提取反映淋巴结形态、结构和功能的定量特征^[2]。例

如,淋巴结的大小、形状、边缘光滑度以及内部的信号强度等特征,都可以作为预测腋窝淋巴结转移的依据。通过这些特征的综合分析,放射组学可以建立预测模型,对腋窝淋巴结转移的风险进行准确的评估。此外,放射组学还可以结合其他临床信息,如患者的年龄、肿瘤的大小和位置等,进行多因素的分析 and 预测。这种综合性的预测方法,不仅可以提高预测的准确性,还可以为临床决策提供更加全面、个性化的建议。

3 放射组学在乳腺癌分型中的应用

3.1 组织学分级预测

组织学分级是评估乳腺癌恶性程度和预后的重要指标之一。它通常基于肿瘤细胞的形态学特征,如细胞大小、形状、核分裂象等,将乳腺癌分为不同级别。然而,组织学分级依赖于病理医生的主观判断,存在一定的主观性和变异性。放射组学技术的出现,为组织学分级的客观、定量预测提供了可能。乳腺磁共振成像(MRI)作为一种无创的影像检查手段,能够提供高分辨率的乳腺组织图像,清晰地显示肿瘤的内部结构和特征。放射组学技术通过深入分析MRI图像中的纹理、形状、强度等特征,可以捕捉到肿瘤细胞在组织学层面上的细微变化。具体来说,放射组学技术可以提取MRI图像中的多种特征,如肿瘤的边缘光滑度、内部信号的均匀性、纹理的复杂性等。这些特征与肿瘤细胞的形态学特征密切相关,能够反映肿瘤的组织学分级。通过构建预测模型,放射组学可以基于这些特征对乳腺癌的组织学分级进行客观、定量的预测^[3]。这种预测方法不仅具有非侵入性,而且操作简便、快速,可以在患者接受影像检查的同时,为临床医生提供关于肿瘤恶性程度和预后的初步评估。这有助于临床医生更早地制定个性化的治疗方案,提高患者的治疗效果和生存率。

3.2 分子分型预测

乳腺癌的分子分型对于指导靶向治疗具有重要意义。不同的分子分型对治疗的反应和预后存在显著差异。传统的分子分型方法主要依赖于组织活检和基因测序等技术,但这些方法需要获取组织样本,且操作复杂、耗时长。放射组学技术通过分析影像特征,为乳腺癌的分子分型预测提供了新的途径。研究表明,乳腺癌的影像特征与分子分型之间存在一定的关联性。放射组学技术可以从MRI、乳腺X线摄影等影像中提取反映肿瘤生物学行为的特征,如肿瘤的大小、形状、边缘特征、内部信号的分布等。这些特征与肿瘤的基因表达、蛋白质水平等分子特征密切相关,能够间接反映肿瘤的分子分型。通过构建基于影像特征的预测模型,放射组学可

以对乳腺癌的分子分型进行准确的预测。例如,可以预测肿瘤是否为Luminal A型、Luminal B型、HER2过表达型或三阴性乳腺癌等。这种预测方法不仅具有非侵入性,而且可以在患者接受影像检查的同时进行,为临床医生提供关于肿瘤分子分型的初步信息。这对于指导靶向治疗具有重要意义。不同的分子分型对特定的治疗药物有不同的反应。通过准确预测肿瘤的分子分型,临床医生可以选择针对该分型最有效的治疗药物,提高治疗的针对性和效果。

4 面临的挑战与未来发展方向

4.1 数据标准化与质量控制

目前,放射组学研究中的一个显著挑战是数据标准化与质量控制。由于影像数据的采集设备、参数设置、后处理方法等存在差异,导致不同研究之间的数据难以直接比较和整合。这种数据的不一致性严重影响了研究结果的可靠性和可重复性。为了克服这一挑战,未来需要加强影像数据的标准化采集与处理。首先,应制定统一的影像采集规范,确保不同设备和参数设置下采集到的数据具有一致性。其次,应建立严格的数据质量控制流程,对采集到的数据进行预处理和质量控制,以消除噪声和伪影,提高数据的质量。通过这些措施,可以确保放射组学研究的数据具有可靠性和可重复性,为临床决策提供准确的依据。

4.2 多模态影像融合

不同影像模态在反映肿瘤生物学特性方面各有优势。例如,乳腺X线摄影对钙化灶的显示较为敏感,而磁共振成像则能提供更丰富的软组织信息。为了更全面地提取肿瘤特征,提高乳腺癌早期预测和分型的准确性,未来可以探索多模态影像融合技术。多模态影像融合技术可以将不同影像模态的信息进行有机整合,形成更为全面、准确的肿瘤特征描述^[4]。这不仅可以提高肿瘤的检测和诊断准确率,还可以为肿瘤的分型和预后评估提供更多有价值的信息。因此,多模态影像融合技术是放射

组学未来发展的重要方向之一。

4.3 人工智能与深度学习技术的应用

随着人工智能和深度学习技术的不断发展,其在放射组学中的应用前景广阔。未来可以进一步探索这些技术在乳腺癌早期预测和分型中的应用,以提高模型的性能和泛化能力。深度学习技术具有强大的特征提取和模式识别能力,可以从大量的影像数据中自动学习到有用的特征,并构建出高性能的预测和分类模型。通过引入人工智能和深度学习技术,可以进一步提高放射组学在乳腺癌早期预测和分型中的准确性和效率,为临床决策提供更为精准的支持。

结语

放射组学作为一种新兴技术,在乳腺癌的早期预测和分型中展现出巨大潜力。通过提取和分析影像特征,可以为乳腺癌的精准诊疗提供有力支持。未来,随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,放射组学将在乳腺癌的诊疗中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]王雪岩,贺延莉,李晓琴,等.多参数MRI放射组学鉴别诊断乳腺癌分子亚型的研究[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(11):82-84.
- [2]文洁,王猛,刘周,等.基于MRI放射组学模型预测乳腺癌腋窝淋巴结转移状态的初步研究[J].现代肿瘤医学,2023,31(03):506-512.
- [3]吴海啸,马文娟,李之珺,等.基于放射组学评估胸肌指数与乳腺癌骨转移患者预后关系的研究[J].天津医药,2023,51(09):1007-1010.
- [4]李夏东.使用数据封装筛选和基于剂量梯度的多区域放射影像组学技术预测乳腺癌患者辐射诱导的急性皮肤毒性:一项多中心研究[C]//中国毒理学会.中国毒理学会第十次全国毒理学大会论文集.浙江大学医学院附属杭州市肿瘤医院,放射治疗科,2023:1.