

基于列线图模型的前列腺癌黄金基准标志物安全性的影响因素

徐飞, 田龙

中国医科大学附属盛京医院肿瘤科放射治疗室, 辽宁 沈阳 110022

【摘要】目的:基于列线图(Nomogram)模型分析前列腺癌(PCa)放疗中黄金基准标志物(GFM)置入后安全性的影响因素, 评价模型的临床应用价值。**方法:**选取600例接受了GFM置入术的PCa患者, 将其随机分为训练集和验证集。设置标志物间距阈值为1 mm, 将训练集患者再次分为GFM置入后安全组和风险组。采用多因素Logistic回归分析训练集患者GFM置入后安全性影响因素, 基于结果和R语言4.0“rms”软件包创建Nomogram预测模型。通过绘制校准曲线和临床决策曲线完成内部验证。通过绘制训练集和验证集ROC曲线以及计算AUC完成外部验证。**结果:**多因素Logistic回归分析结果显示, 前列腺体积<25 mL、GFM置入底部、置入4枚、轴皮比均值为1~2或2~3是影响GFM置入后安全性的独立风险因素($P<0.05$)。基于上述5个独立风险因素创建了Nomogram预测模型。内部验证结果显示:模型一致性良好且能够提供临床净收益。外部验证结果显示:模型预测训练集和验证集GFM置入后安全性的ROC曲线拟合较为理想($\chi^2=3.224$, $P=0.254$), AUC分别为0.876(95%CI: 0.724~0.903)和0.865(95%CI: 0.702~0.897), 差异无统计学意义($P=0.341$)。**结论:**GFM置入后安全性Nomogram模型预测效能可满足临床要求。作为一种新型评价工具, 该模型可进一步提高GFM的临床应用价值。

【关键词】前列腺癌; 列线图; 黄金基准标志物; 安全性; 影响因素

【中图分类号】R737.25; R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)02-0154-06

Nomogram model based analysis on factors affecting the safety of gold fiducial markers in prostate cancer

XU Fei, TIAN Long

Radiotherapy Room, Department of Oncology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110022, China

Abstract: Objective To analyze the factors affecting the safety after gold fiducial markers (GFM) insertion for prostate cancer radiotherapy based on the nomogram model, and to evaluate the clinical application potential of the proposed model. **Methods** A total of 600 prostate cancer patients who underwent GFM insertion were randomly assigned to training set and test set. The inter-marker distance was set at a queue value of 1 mm, and the patients in training set were further divided into safety and risk subgroups after GFM insertion. Multivariate Logistic regression was used to analyze the influence factors for the safety after GFM insertion in training set. A nomogram prediction model was constructed using the obtained results and R language 4.0 "rms" software package. Internal validation was completed with calibration curves and clinical decision curves, while external validation was completed by plotting receiver operating characteristic curves and calculating area under the curve (AUC) in training and test sets. **Results** Multivariate Logistic regression analysis identified prostate volume <25 mL, insertion at the bottom, insertion of 4 markers, and average axial-to-surface ratio of 1-2 or 2-3 as the independent risk factors for the safety after GFM insertion ($P<0.05$) to construct a nomogram prediction model. The internal validation results showed that the model had good consistency and could provide clinical net benefits. External validation results revealed that ROC curves for predicting the safety after GFM insertion in training set and test set were well fitted ($\chi^2=3.224$, $P=0.254$). The AUC were 0.876 (95%CI: 0.724-0.903) and 0.865 (95%CI: 0.702-0.897), respectively, without statistically significant differences ($P=0.341$). **Conclusion** The nomogram model for the safety after GFM insertion exhibits satisfactory prediction efficiency, and it serving as a new evaluation tool can further improve the clinical application value of GFM.

Keywords: prostate cancer; nomogram; gold fiducial marker; safety; influence factor

【收稿日期】2024-07-28

【基金项目】辽宁省医学科学研究项目(20240589)

【作者简介】徐飞, 技师, 研究方向: 前列腺肿瘤, E-mail: 1277473912@qq.com

前言

前列腺癌(Prostate Cancer, PCa)放疗中黄金基准标志物(Gold Fiducial Marker, GFM)具有重要的临床应用价值^[1-3]。在基于GFM的图像引导放疗(Image Guided Radiotherapy, IGRT)中,PCa靶区准确度和疗效得到了显著提升,危及器官毒性得到了良好的控制^[4-6]。GFM应用的首要条件是保证其安全性,即其置入后的位移处于可控的范围^[7-9]。GFM置入后位移较大时会引发包括严重出血、疼痛和感染在内的多种不良事件(Adverse Event, AE)^[10-12]。上述AE会降低GFM的应用价值并影响IGRT疗效。因此,基于PCa患者临床资料的GFM置入后安全性分析和预测具有重要的临床意义。通过分析和预测安全性,临床医师和物理师可参考影响因素选择合适的GFM置入参数,从而在最大程度上发挥GFM的作用。作为一种高效的预测工具,列线图(Nomogram)可将抽象的影响因素转化为直观的线条图形,为放疗医师和物理师提供了一种快速、可视的分析手段。列线图模型已在多种疾病的诊断和预测中展现出较为理想的效能^[13]。为了进一步提高GFM置入后的安全性和应用价值,本研究分析了安全性影响因素并创建了列线图预测模型。希望本研究能够为GFM更广泛和深入的应用提供一定的参考。

1 资料与方法

1.1 患者与分组

回顾性选取了2015年2月~2024年2月中国医科大学附属盛京医院GFM置入术后PCa患者资料。纳入标准:(1)年龄≥18岁;(2)患有局限期中、低危PCa;(3)肿瘤临床分期为T₁-T_{3a};(4)格里森评分(Gleeson Score, GS)<9分,前列腺特异性抗原(Prostate Specific Antigen, PSA)<20 ng/mL;(5)接受了IGRT。排除标准:(1)基线资料存在缺如;(2)存在前列腺放疗史;(3)存在严重前列腺良性疾病史;(4)存在严重影响患者治疗的GFM置入后AE。经筛选后获得符合标准者600例,年龄为(70.97±9.04)岁,GS为(7.28±0.33)分,PSA为(14.95±4.28) ng/mL。本研究通过中国医科大学附属盛京医院医学伦理委员会批准(编号:202402011)。

采用抽签法随机将患者分为训练集(*n*=360)和验证集(*n*=240),对患者行基于GFM和锥形束CT(CBCT)校准的IGRT并计算患者标志物间距(Inter-Marker Distance, IMD)^[14]。IMD定义为计划CT三维重建GFM相对CBCT三维重建GFM的位移。

IMD=

$$\sqrt{(X_{CT} - X_{CBCT})^2 + (Y_{CT} - Y_{CBCT})^2 + (Z_{CT} - Z_{CBCT})^2} \quad (1)$$

其中,*X*、*Y*、*Z*分别代表GFM在计划CT和CBCT影像上的三维空间坐标。本研究计算了患者历次IGRT中全部GFM的IMD均值并量化了其同GFM置入后AE的关系,发现其最佳截断值为1 mm。参考该结果,将训练集再次分为IMD均值小于最佳截断值的安全组(*n*=240)和大于最佳截断值的风险组(*n*=120)。

1.2 临床资料

患者临床资料包括以下几项。(1)一般资料:年龄、体质量指数(Body Mass Index, BMI)、卡氏评分(KPS)、GS、PSA;(2)前列腺及肿瘤特征:前列腺体积、肿瘤体积;(3)GFM置入参数:GFM置入部位(底部、中部、顶部);GFM置入数量(3或4枚),GFM中轴皮层距离比均值(轴皮比均值)。计算经直肠超声测量前列腺体积^[13]:

前列腺体积=0.52×上下方向最大径×左右方向最大径×

前后方向最大径

(2)

通过计划CT重建靶区三维结构测量肿瘤体积。GFM轴皮比定义为同一直线上,GFM(图1黑圆点)垂直于中轴距离(图1蓝线)与垂直于前列腺皮层距离(图1橙线)的比值。通过计划CT重建包含GFM的前列腺三维结构测量和计算两种距离比值,之后计算全部GFM轴皮比均值。图1中GFM轴皮比为1。

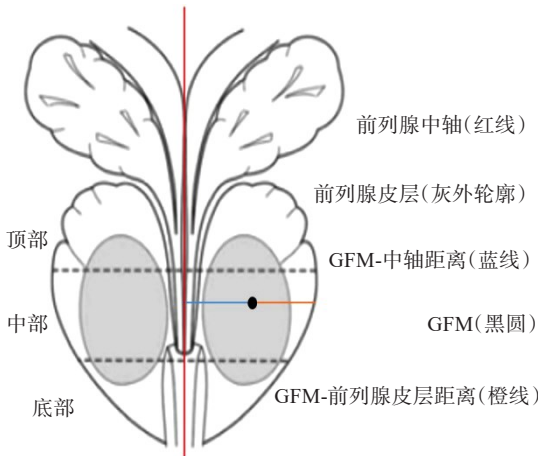


图1 前列腺结构和GFM轴皮比示例
Figure 1 Prostate structure and GFM axial-to-surface ratio

1.3 统计学方法

使用SPSS21.0软件,符合正态分布的计量资料采用均数±标准差描述,组间比较采用独立样本*t*检验;计数资料采用[例(%)]描述,组间比较采用χ²检验、校正χ²检验或Fisher精确概率法。对训练集患者行单因素差异性分析和多因素Logistic回归分析,确定影响GFM置入后安全性的独立风险因素。基于独立风险因素和R语言4.0“rms”软件包创建Nomogram

预测模型。基于训练集的模型内部验证:绘制校准曲线、临床决策曲线。基于训练集和验证集的模型外部验证:绘制模型预测两集合患者安全性的操作者工作特征(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线并计算曲线下面积(Area Under Curve, AUC),采用 Hosmer-Lemeshow 检验评价 ROC 曲线拟合情况,采用 Delong 检验评价 AUC 差异。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 训练集和验证集临床资料比较

表 1 结果显示,训练集和验证集患者各项临床资料差异均无统计学意义($P>0.05$),其差异不影响后续基于训练集和验证集的 Nomogram 预测模型外部验证结果。

表 1 训练集和验证集临床资料比较
Table 1 Clinical data comparison on training set and validation set

临床资料	训练集 (<i>n</i> =360)	验证集 (<i>n</i> =240)	χ^2/t 值	<i>P</i> 值
年龄/岁	70.51±6.33	71.08±7.81	0.778	0.648
BMI/kg·m ⁻²	30.35±5.42	31.13±6.32	1.231	0.379
KPS/分	69.81±5.22	70.19±5.93	1.325	0.279
GS/分	7.11±0.28	7.32±0.19	2.103	0.089
PSA/ng·mL ⁻¹	14.52±3.23	15.36±2.89	0.893	0.522
前列腺体积/mL			0.077	0.781
≥25	128(35.56)	88(36.67)		
<25	232(64.44)	152(63.33)		
肿瘤体积/mL			1.301	0.254
≥2	250(69.44)	177(73.75)		
<2	110(30.56)	63(26.25)		
GFM 置入部位			1.205	0.547
底部	95(26.39)	54(22.50)		
中部	140(38.89)	100(41.67)		
顶部	125(34.72)	86(35.83)		
GFM 置入数量/枚			0.164	0.686
3	284(78.89)	186(77.50)		
4	76(21.11)	54(22.50)		
GFM 轴皮比均值			0.699	0.705
0~1	117(32.50)	78(32.50)		
1~2	177(49.17)	124(51.67)		
2~3	66(18.33)	38(15.83)		

BMI: 体质量指数; KPS: 卡氏评分; GS: 格里森评分; PSA: 前列腺特异性抗原

2.2 安全组和风险组临床资料单因素差异性分析

表 2 安全组和风险组临床资料单因素差异性分析结果显示,两组年龄、BMI、KPS、PSA、GS、肿瘤体积等差异无统计学意义($P>0.05$),两组前列腺体积和 GFM 置入参数和 GFM 轴皮比均值差异有统计学意义($P<0.05$)。同安全组相比,风险组前列腺体积<25 mL、GFM 置入底部、置入数量为 4 枚、轴皮比均值为 1~2 和 2~3 的患者比例较高。

表 2 安全组和风险组临床资料单因素差异性分析
Table 2 Single factor differential analysis of clinical data in safety subgroup and risk subgroup

临床资料	安全组 (<i>n</i> =240)	风险组 (<i>n</i> =120)	χ^2/t 值	<i>P</i> 值
年龄/岁	69.62±5.79	71.33±6.24	(0.827)	0.532
BMI	29.78±5.31	31.74±5.88	(0.482)	0.761
KPS/分	68.88±6.14	70.22±6.71	(0.659)	0.678
GS/分	7.24±0.31	7.03±0.22	(1.112)	0.115
PSA/ng·mL ⁻¹	15.28±3.02	14.01±2.66	(1.401)	0.091
前列腺体积/mL			5.846	0.016
≥25	95(39.58)	32(26.67)		
<25	145(60.42)	88(73.33)		
肿瘤体积/mL			0.164	0.686
≥2	165(68.75)	85(70.83)		
<2	75(31.25)	35(29.17)		
GFM 置入部位			8.297	0.016
底部	52(21.67)	43(35.83)		
中部	100(41.67)	40(33.33)		
顶部	88(36.66)	37(30.83)		
GFM 置入数量/枚			8.540	0.004
3	200(83.33)	84(70.00)		
4	40(16.67)	36(30.00)		
GFM 轴皮比均值			11.290	0.004
0~1	90(37.50)	27(22.50)		
1~2	115(47.92)	62(51.67)		
2~3	35(14.58)	31(25.83)		

2.3 GFM 置入后安全性影响因素分析

以患者是否归入风险组为因变量(风险组=1,安全组=0),以表 2 中差异显著的临床资料作为自变量[(前列腺体积<25 mL、GFM 置入部位为底部或中部、GFM 置入数量为 4 枚、GFM 轴皮比均值为 1~2 或 2~3)=1,(前列腺体积≥25 mL、GFM 置入部位为顶

部、GFM置入数量为3枚、GFM轴皮比均值为0~1)=0]行多因素Logistic逐步向前回归分析。表3结果显示,前列腺体积<25 mL、GFM置入底部、置入数量为

4枚、轴皮比均值为1~2或2~3是影响GFM置入后安全性的独立风险因素($P<0.05$)。

表3 GFM置入后安全性多因素Logistic回归分析
Table 3 Multivariate Logistic regression analysis of safety after GFM insertion

自变量	β	S.E	Wald	P值	OR(95%CI)
前列腺体积<25 mL	0.432	0.195	4.908	0.024	1.540(1.103~2.942)
GFM置入部位(底部)	0.543	0.292	3.458	0.013	1.721(1.237~3.004)
GFM置入部位(中部)	0.591	0.333	3.150	0.082	1.806(0.673~2.783)
GFM置入数量(4枚)	0.489	0.210	5.422	0.019	1.631(1.065~3.145)
GFM轴皮比均值(1~2)	0.681	0.417	2.667	0.011	1.976(1.206~3.547)
GFM轴皮比均值(2~3)	0.731	0.455	2.581	0.006	2.077(1.073~5.042)

β : 回归系数, S.E: 标准误, Wald: 瓦尔德卡方值, OR: 比值比

2.4 GFM置入安全性Nomogram预测模型创建

使用R语言4.0“rms”软件包编制算法程序,基于独立风险因素创建Nomogram预测模型。前列腺体积、GFM置入部位、置入数量和轴皮比均值等独立风险因素均为二分类变量,对其进行因子化后代入Nomogram预测模型创建程序。图2为创建的Nomogram预测模型,其预测范围为0.1~0.99。当患者前列腺体积<25 mL、GFM置入底部、置入数量为4枚、轴皮比均值为1~2时对应的累积分值为320分,对应的GFM安全性风险概率约为72%。

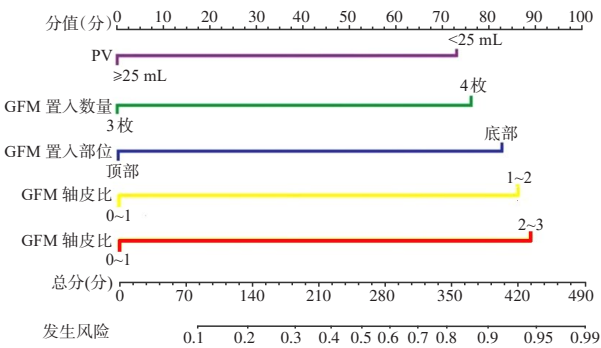


图2 GFM置入后安全性Nomogram预测模型

Figure 2 Nomogram prediction model for safety after GFM insertion

2.5 GFM置入后安全性Nomogram预测模型验证

2.5.1 基于训练集的Nomogram预测模型内部验证

模型的一致性指数为0.859(95%CI:0.701~0.897),图3a的校准曲线上GFM安全性预测值同实际值一致性良好,图3b的临床决策曲线上模型临床净收益显著,高于前列腺体积和GFM置入参数等5个预测因子。

2.5.2 基于训练集和验证集的Nomogram预测模型外部验证

图4a中模型预测训练集GFM置入后安全性的AUC为0.876(95%CI:0.724~0.903),高于前列腺体积预测模型的0.653(95%CI:0.575~0.734)、GFM置入部位预测模型的0.697(95%CI:0.602~0.795)、置入数量预测模型的0.673(95%CI:0.593~0.780)、轴皮比均值为1~2模型的0.712(95%CI:0.655~0.805)、轴皮比均值为2~3模型的0.730(95%CI:0.683~0.824)。模型预测验证集GFM置入后安全性的AUC为0.865(95%CI:0.702~0.897),高于前列腺体积预测模型的0.646(95%CI:0.523~0.711)、GFM置入部位预测模型的0.689(95%CI:0.581~0.774)、置入数量预测模型的0.665(95%CI:0.570~0.758)、轴皮比均值为1~2模型的0.694(95%CI:0.635~0.776)、轴皮比均值为2~3模型的0.710(95%CI:0.669~0.808)。图4b中Hosmer-Lemeshow检验结果显示,模型预测训练集和验证集GFM置入后安全性的ROC曲线拟合较为理想($\chi^2=3.224$, $P=0.254$),Delong检验结果显示两集合AUC差异无统计学意义($P=0.341$)。

3 讨论

国内外既往研究发现,GFM在保障PCa的IGRT精度方面发挥了重要作用^[15-16]。IGRT靶区位置校准中以基于GFM校准的精度最高,可显著提高放疗效果^[17-18]。然而,由于患者生理和实际操作条件限制,GFM置入存在潜在的安全风险。较大位移不仅对患者的治疗效果产生负面影响,还会引发多种AE发生^[19-20]。张旺等^[14]研究发现,患者IMD小于0.59 mm时AE发生率较低。本研究发现IMD同AE发生率呈高度正相关,且在最佳

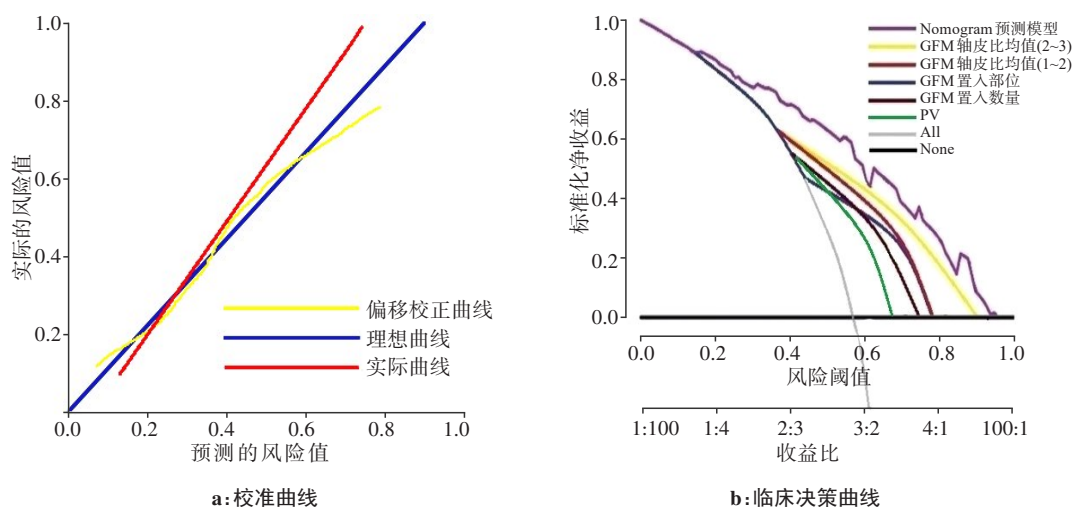


图3 GFM置入后安全性Nomogram预测模型内部验证
Figure 3 Internal validation of nomogram prediction model for safety after GFM insertion

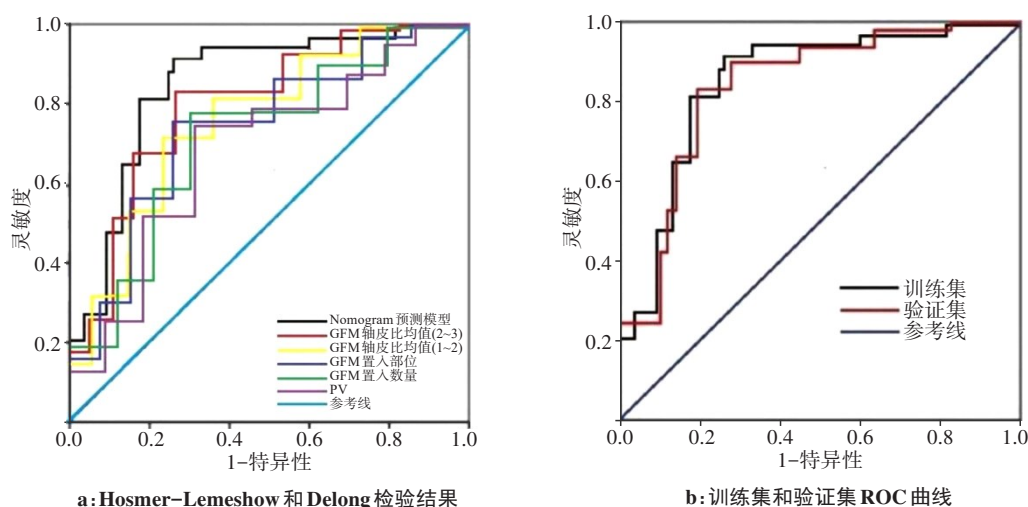


图4 GFM置入后安全性Nomogram预测模型外部验证
Figure 4 External validation of nomogram prediction model for safety after GFM insertion

截断值1 mm处进行分段。IMD大于最佳截断值时AE的发生率会显著升高,同时GFM靶区位置校准精度会随着IMD的升高而降低。IMD小于最佳截断值时GFM的安全性能满足临床要求。因此,基于IMD指标进行分组比较研究并预测GFM置入后安全性具有重要的临床意义。目前,关于PCa患者IGRT GFM置入后安全性影响因素的研究极少。Nomogram模型常用于肿瘤患者生存率及影响因素预测,展现出了较好的预测效能。本研究分析了GFM置入后安全性的影响因素并创建了Nomogram预测模型,为GFM临床应用提供了新的量化指标和思路。

本研究创建的Nomogram预测模型涵盖了GFM置入参数等多种数据,确定了5个影响GFM置入后安全性的独立风险因素。本研究结果发现,训练集轴皮比均值为2~3或1~2、GFM置入部位、置入数量、

前列腺体积的预测模型AUC分别为0.730、0.712、0.697、0.673、0.653。本研究按照AUC由高至低的顺序依次对各影响因素进行了分析。

首先,本研究对影响GFM置入后安全性最重要的影响因素,即轴皮比均值进行了分析。多因素Logistic回归分析显示,随着轴皮比均值从1~2提高至2~3,其对GFM置入后安全性的影响逐渐增加(OR由1.976提高至2.077),GFM置入后安全性逐渐降低。本研究发现,轴皮比均值同GFM置入后安全性呈高度负相关,该值越高,GFM发生较大位移的概率越高。在治疗过程中,PCa患者前列腺体积会逐渐缩小。相对中央带部分,前列腺外周和移行带体积变化较大。当GFM置入部位过于靠近边缘时,较大的体积变化会造成其显著的位移。另外,高轴皮比均值意味着GFM更有可能置入相对不稳定的前列腺包膜中。受周围器官和组织影响,处于

这种情况下的GFM极大可能发生较大位移。因此,轴皮比均值越高,GFM置入后安全性越低。

其次,关于GFM置入部位的研究显示,前列腺肿瘤靶区与GFM置入部位间不具有相关性^[21-22]。临床实践中,患者生理条件和手术实际操作情况对GFM置入部位有影响。一般来说,在保证置入间距超过15 mm后,GFM置入前列腺不同层面即可^[23-25]。然而,相对腺体组织更丰富的前列腺中部和顶部,底部主要由肌肉组成^[26]。如果将GFM置入底部,尿道括约肌的收缩不仅会增加患者置入后疼痛等AE,同时还会造成GFM的较大位移。

再次,张旺等^[14]研究认为,在理想模型下增加置入GFM的数量可提高其可视性,从而进一步提高PCa患者IGRT校准质量和疗效。然而,临床实践中GFM置入手术有严格操作规范,即GFM间距需超过15 mm且分布在不同层面。否则,GFM会因重叠而影响靶区位置的校准。当置入的GFM数量过多时,为了满足上述条件极有可能将其置入前列腺外周带或移行带,甚至底部。根据前述分析可知,过多的GFM置入数量有可能造成其较大的位移并降低其应用的安全性。

最后,大量临床研究对PCa患者和健康人群的前列腺体积进行了测量和比较,发现受治疗的影响,PCa患者的前列腺体积普遍小于正常人群^[23-26]。当前列腺体积小于25 mL时,GFM置入手术的操作难度较高,GFM置入前列腺外周带或移行带,甚至底部的概率大大增加。同时根据前述分析可知,此时GFM置入后的安全性将受到较大的影响。

综上所述,本研究通过多因素Logistic回归分析确定了GFM置入后安全性影响因素并创建了Nomogram预测模型,方法较为新颖且结果较为丰富。本研究发现,GFM置入后安全性影响因素预测效能可满足临床要求,临床医师和物理师可通过该模型于患者GFM置入术前评估其安全性风险,从而及时调整和优化GFM置入参数和手术方案。本研究方法和结果为进一步提高GFM的临床应用价值提供了一定的参考。

【参考文献】

- [1] Khanmohammadi S, Golzarian J, Akhlaghpour S. CT-guided transgluteal prostate fiducial marker insertion for localized radiation therapy[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2023, 46(10): 1409-1413.
- [2] 赵鑫, 范学武, 田龙, 等. 水凝胶在前列腺癌图像引导放疗中的应用价值[J]. 解放军医学杂志, 2024, 49(1): 37-42.
Zhao X, Fan XW, Tian L, et al. Application value of hydrogel in image guided radiotherapy for prostate cancer[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2024, 49(1): 37-42.
- [3] Knybel L, Cvek J, Blazek T, et al. Prostate deformation during hypofractionated radiotherapy: an analysis of implanted fiducial marker displacement[J]. Radiat Oncol, 2021, 16(1): 235.
- [4] Ohta K, Ogino H, Iwata H, et al. Feasibility of transrectal and transperineal fiducial marker placement for prostate cancer before proton therapy[J]. Jpn J Clin Oncol, 2021, 51(2): 258-263.
- [5] 张静, 范学武, 田龙, 等. 基准标志物在前列腺癌图像引导放疗中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2023, 40(4): 397-402.
Zhang J, Fan XW, Tian L, et al. Application of fiducial marker in image-guided radiotherapy of prostate cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2023, 40(4): 397-402.
- [6] Gupta PK, Rastogi N, Maria Das KJ, et al. A dose escalated fiducial marker-based image guided radical radiotherapy in locally advanced prostate cancers: a single institute experience from India[J]. J Cancer Res Ther, 2023, 19(2): 382-388.
- [7] Chau M, Saluja M, Anderson J. Computed tomography-guided prostate sampling and fiducial marker insertion in patients with absent rectums[J]. J Comput Assist Tomogr, 2024, 48(1): 72-76.
- [8] 田龙, 范学武, 许蕊, 等. 对比T₂WI与T₂*WI用于前列腺癌放疗计划的效果[J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19(4): 239-244.
Tian L, Fan XW, Xu R, et al. Comparison on T₂WI and T₂*WI for radiotherapy planning of prostate cancer[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2022, 19(4): 239-244.
- [9] 牛向欣, 赵明娟, 田龙, 等. C臂X线辅助前列腺癌内置金标志物辨识的可行性研究[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(6): 85-88.
Niu XX, Zhao MJ, Tian L, et al. Feasibility study of C-arm X-ray-assisted identification of implanted gold fiducial marker in prostate cancer[J]. China Medical Devices, 2022, 37(6): 85-88.
- [10] Motley R, Ramachandran P, Fielding A. A feasibility study on the development and use of a deep learning model to automate real-time monitoring of tumor position and assessment of interfraction fiducial marker migration in prostate radiotherapy patients[J]. Biomed Phys Eng Express, 2022, 8(3): 035009.
- [11] 许蕊, 范学武, 田龙, 等. 直肠超声引导下经会阴和经直肠途径穿刺置入标志物的比较和风险分析[J]. 国际泌尿系统杂志, 2024, 44(2): 247-251.
Xu R, Fan XW, Tian L, et al. Comparison of marker implantation through trans-perineal or trans-rectal puncture guided by trans-rectal ultrasound and analysis of risks[J]. International Journal of Urology and Nephrology, 2024, 44(2): 247-251.
- [12] 王素丽, 田龙, 胡逸民. 前列腺癌患者中两种基准标志物置入方法比较和风险分析[J]. 联勤军事医学, 2023, 37(5): 405-408.
Wang SL, Tian L, Hu YM. Comparison and risk factor analysis of two fiducial marker implantation methods for patients with prostate cancer[J]. Military Medicine of Joint Logistics, 2023, 37(5): 405-408.
- [13] 张若弟, 周云舒, 刘世莉, 等. 基于Bp-MRI的PI-RADS v2.1评分构建列线图预测PSA(4-20 ng/mL)前列腺癌的诊断价值[J]. 磁共振成像, 2023, 14(10): 84-89.
Zhang RD, Zhou YS, Liu SL, et al. The diagnostic value of constructing a nomogram mode based on the PI-RADS v2.1 score of Bp-MRI for predicting PSA (4-20 ng/mL) in prostate cancer[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2023, 14(10): 84-89.
- [14] 张旺, 刘肖, 杨海芳, 等. 基于MRI的前列腺癌放疗中标志物手动辨识与定位评价[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(12): 724-729.
Zhang W, Liu X, Yang HF, et al. Manual identification and localization evaluation of marker in prostate cancer radiotherapy based on magnetic resonance imaging[J]. International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2022, 46(12): 724-729.
- [15] Sakata Y, Umene K, Asaka S, et al. Real-time nonstandard-shaped gold fiducial marker tracking on X-ray fluoroscopic images for prostate radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2024, 69(2): 025007.
- [16] Nosrati R, Lam WW, Paudel M, et al. Feasibility of using a single MRI acquisition for fiducial marker localization and synthetic CT generation towards MRI-only prostate radiation therapy treatment planning[J]. Biomed Phys Eng Express, 2021, 7(4): 045016.
- [17] Persson E, Emin S, Scherman J, et al. Investigation of the clinical inter-observer bias in prostate fiducial marker image registration between CT and MR images[J]. Radiat Oncol, 2021, 16(1): 150.
- [18] Moll M, Weiß M, Stanisav V, et al. Effects of gold fiducial marker implantation on tumor control and toxicity in external beam radiotherapy of prostate cancer[J]. Radiol Oncol, 2023, 57(1): 95-102.
- [19] Reynaud T, Ben Aicha I, Carignan D, et al. Infection after prostatic transrectal fiducial marker implantation for image guided radiation therapy[J]. Cancer Radiother, 2023, 27(3): 214-218.
- [20] Mahdavi A, Mofid B, Taghizadeh-Hesary F. Intra-prostatic gold fiducial marker insertion for image-guided radiotherapy (IGRT): five-year experience on 795 patients[J]. BMC Med Imaging, 2023, 23(1): 79.
- [21] Tanaka O, Maejima R, Yama E, et al. Radiotherapy for prostate cancer: effect of gold fiducial markers on diffusion-weighted magnetic resonance imaging[J]. Asia Pac J Clin Oncol, 2021, 17(1): 79-83.
- [22] Okihara K, Ueda T, Fujihara A, et al. Novel image-guided marker aimed at organ-preserving therapies for prostate cancer[J]. Int J Urol, 2024, 31(5): 500-506.
- [23] Amarsee K, Ramachandran P, Fielding A, et al. Automatic detection and tracking of marker seeds implanted in prostate cancer patients using a deep learning algorithm[J]. J Med Phys, 2021, 46(2): 80-87.
- [24] Alexidis P, Tzitzikas I, Hatzimouratidis K, et al. Calculating interfractional prostate motion during radiation therapy course using fiducial markers[J]. J BUON, 2021, 26(1): 243-249.
- [25] Crotteau K, Lu W, Berry S, et al. Retrospective analysis of MV-kV imaging-based fiducial tracking in prostate SBRT treatment[J]. J Appl Clin Med Phys, 2022, 23(6): e13593.
- [26] Tsubouchi T, Hamatani N, Takashina M, et al. Carbon ion radiotherapy using fiducial markers for prostate cancer in Osaka HIMAK: treatment planning[J]. J Appl Clin Med Phys, 2021, 22(9): 242-251.

(编辑: 薛泽玲)