

- lar gyrus in higher functions as revealed by transcranial magnetic stimulation: a systematic review[J]. Brain Struct Funct, 2022, 228(1): 169—196.
- [23] Lu L, Zhang Y, Tang X, et al. Evidence on acupuncture therapies is underused in clinical practice and health policy [J]. BMJ, 2022, 376: e67475.
- [24] Mylius V, Borckardt JJ, Lefaucheur JP. Noninvasive cortical modulation of experimental pain[J]. Pain, 2012, 153(7): 1350—1363.
- [25] Gong C Z, Liu W. Acupuncture and the opioid epidemic in America[J]. Chin J Integr Med, 2018, 24(5): 323—327.
- [26] Wang M, Zhang ZL, Wang X, et al. Clinical trials of acupuncture treatment of post-stroke shoulder pain[J]. Zhen Ci Yan Jiu, 2019, 44(8): 605—609.
- [27] 张丽华,王艳君. 头针与康复同步与非同步治疗对脑梗死急性期患者运动功能恢复效果的随机对照研究[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(12): 1114—1116.
- [28] 郑修元,陈汉波,吕晓,等. 经颅直流电刺激同步多通道功能性电刺激对脑卒中偏瘫患者平衡与行走功能影响的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(10): 1220—1226.
- [29] 陈汉波,郑修元,吕晓,等. 经颅直流电刺激同步多通道功能性电刺激对脑卒中偏瘫患者下肢运动功能影响的对照研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(10): 1227—1232.
- [30] 徐城,杨晓秋,刘丹彦. 常用的疼痛评估方法在临床疼痛评估中的作用[J]. 中国疼痛医学杂志, 2015, 21(3): 210—212.
- [31] 盛治进,刘九玉,常春,等. 神经肌肉电刺激和经皮神经电刺激对脑卒中患者偏瘫肩痛及上肢运动功能康复影响的对比研究[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(5): 604—607.
- [32] 林郁芬,李铮,施娟,等. 脑卒中患者偏瘫肩痛症状的质性研究[J]. 上海护理, 2019, 19(1): 14—18.

·短篇论著·

## 基于机器学习算法建立产后腹直肌分离疗效预测模型的研究

王一诺<sup>1</sup> 李 佳<sup>1</sup> 吕 晗<sup>1</sup> 张 勃<sup>1</sup> 王振常<sup>1</sup> 谢 瑛<sup>1,2</sup>

腹直肌分离(diastasis rectus abdominis, DRA)是产后最常见疾病之一,其发病率在产后6周可达60%<sup>[1]</sup>,二胎及以上产妇产后腹直肌分离的发病率较一胎更高<sup>[2]</sup>。腹直肌分离若不及时治疗,不仅可导致产后体态不良,亦可导致腰骶骨盆区长期慢性疼痛,甚至脐疝等更为严重后果<sup>[3-5]</sup>。随着国家政策的引导及妇女对产后生活质量的要求,产后腹直肌分离的有效治疗将成为产后康复的重要任务。

腹部运动训练(abdominal exercise, AE)是一项无创康复方法,1993年Thornton等<sup>[6]</sup>的研究证实了AE被用于DRA治疗的安全和有效性,由于腹部运动训练无创、经济、依从性好,目前已成为腹直肌分离最主要的非手术疗法之一。而腹部运动训练的治疗效果却受到孕龄、胎次、产后周数、产式、患者一般体质因素诸多因素的影响,造成部分患者训练后未能获益,甚至出现间距增大等后果<sup>[7-8]</sup>。因此,在治疗前预测患者康复疗效,将为患者最佳治疗方法的选择提供重要依据。

近年来,基于机器学习的疗效预测在医学领域展现着巨大潜力与价值<sup>[9]</sup>,影像学及肿瘤学领域最早应用多参数影像组学等机器学习方法对患者分子分型、治疗预后进行预测,相关研究报道了较好的预测效果<sup>[10-11]</sup>,然而由于机器学习模型计算过程复杂,虽然结果较好,而计算过程可解释性差,故其临床应用的可信性仍有待进一步研究<sup>[12]</sup>;基于多临床因素建模的机器学习逐渐受到关注,如何玉花等<sup>[13]</sup>通过孕妇年龄、身高、孕前体质量、孕期增重等多维度信息建立大于胎龄儿机器学习模型,孟凡皓等<sup>[14]</sup>建立了基于大规模临床数据的口腔疾病人工智能预防与诊断平台,吴静洁等<sup>[15]</sup>报道的机器学习高血压风险预测模型等,其共同特点在于纳入10—50个不等的临床影响因素,建立了诸如支持向量机、决策树、逻辑回归等传统预测模型,以及Xgboost, Adaboost等集成学习模型,不仅取得了较好的预测效果,亦在模型构建方面具有较好的可解释性,具有较高的临床实用价值。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.05.019

1 首都医科大学附属北京友谊医院,北京市,100050; 2 通讯作者  
第一作者简介:王一诺,女,初级治疗师; 收稿日期:2022-01-10

基于上述,本研究拟通过收集597例腹直肌分离患者治疗前的孕龄、孕周、产式、运动习惯及初始腹直肌间距等临床因素进行建模,建立支持向量机(support vector machine, SVM)、随机森林(random forest, RF)、逻辑回归(logistic regression, LR)三种机器学习模型并比较其最终预测效果,旨在探索机器学习方法在产后康复精准评估中的价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象与纳入、排除标准

收集方法:回顾性收集具有完整治疗记录,符合入组标准的2020年3月—2021年9月于首都医科大学附属北京友谊医院康复治疗科就诊的产后腹直肌分离患者资料597例,根据既往文献报道,纳入9个初始研究因素:孕龄、孕周、孕前体重、产前体重、是否合并糖尿病、胎次、胎重、产后周数、来诊产后周数;同时获取超声下患者腹直肌间距及腹部肌肉厚度数据。

纳入标准:①产后6—12周;②符合个人意愿参与动作指导及研究过程;③可正确完成运动动作;④超声下初评腹直肌至少1个位点分离程度 $>2\text{cm}$ ,详细采集方法见后述。

排除标准:①腹疝;②腹部手术史;③此前6个月进行常规腹部训练;④未能完整配合完成治疗过程。

观察指标的获取:①超声图像收集通过GE高频超声扫描仪采集,设置扫描参数为:B-Mode,本项目采用的超声采集流程事先与3名具有3年以上超声采集经验的超声医师进行详细讨论;②测量腹直肌间距(inter-rectus distance, IRD)时受试者取仰卧位,膝盖弯曲 $90^\circ$ ,双足平置于治疗床面,双臂与身体平行。以脐作为参考点,标记脐下 $2\text{cm}$ 、脐中及脐上 $2\text{cm}$ 处。图像采集时,超声探头定位于标记点,逐渐向两侧缓缓移动,直至图像中可分辨出腹直肌内缘,必要时调整扫描角度以增加视野清晰度,记录两侧腹直肌内缘之间的距离。通过测量鞘或肌筋膜的前后层之间的长度,获得肌肉厚度数值。

获取超声观察指标内容:腹直肌间距(脐上 $2\text{cm}$ 、脐平面、脐下 $2\text{cm}$ ),双侧腹肌厚度(腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、腹直肌)。

本研究经首都医科大学附属北京友谊医院伦理委员会审查通过,伦理审批号:2021-P2-408-01。

### 1.2 治疗方法与预后效果判别标准

本研究参考腹直肌分离患者中腹部运动治疗的相关文献报道<sup>[16-17]</sup>,主要以腹横肌、腹内斜肌、腹外斜肌、盆底肌、多裂肌为目标肌群,制定统一治疗方案,以8周后腹直肌间距变化值作为疗效评估依据。治疗在2名资深康复治疗师行初始评估后进行,频次3/周,连续8周,治疗方案具体如下:

(1)呼吸训练:仰卧位,屈髋屈膝,吸气时腹部呈筒状充

盈,呼气时向肚脐方向收缩腹肌。10个/组,5组/次。

(2)改良式卷腹:仰卧位,屈髋屈膝。将一毛巾卷垫于腰下,双手交握两端,呼气时抬头至肩胛骨上角离开床面,双手向两侧拉紧毛巾卷使腹直肌靠近,吸气时下落。全程保持腰部及骨盆稳定贴于床面。10个/组,3组/次。

(3)仰卧抬落腿:仰卧位,屈髋屈膝 $90^\circ$ 。呼气时收紧腹部同时抬起一侧腿部,吸气放松,呼气再次收紧腹部下落。双侧交替。10个/组,3组/次。

(4)四点跪位收腹练习:四点跪位中立位。吸气时腹部放松,呼气时收紧腹部并保持10s,自然呼吸,重复10次。

(5)骨盆感知训练:站立位,脊柱中立,保持腹部微收紧,进行骨盆前倾、后倾、左右上提、环转的活动。2—5min/次,重复3次。

治疗效果及分层标准:由于目前腹直肌分离治疗效果的评价依据尚不统一,本研究参考具有较大规模队列的相似性研究,参考韦瑞敏等<sup>[18]</sup>及Benjamin等<sup>[19]</sup>对腹直肌分离治疗效果评估标准,以治疗前后腹直肌间距最大层面变化值( $\Delta\text{IRD}=\text{IRD}_{\text{治疗前}}-\text{IRD}_{\text{治疗后}}$ )为基准,将腹直肌治疗效果分为Level-1:  $\Delta\text{IRD} < 1.0\text{cm}$ , Level-2:  $\Delta\text{IRD}: 1.0\text{cm}—2.0\text{cm}$ 及Level-3:  $\Delta\text{IRD} > 2.0\text{cm}$ 。

将患者各类基线资料作为特征属性,将治疗效果转为二进制数据作为预测目标,完成数据录入。见表1。

### 1.3 机器学习建模方法

1.3.1 临床基线资料统计:经数据清洗,对信息遗失及资料不全数据进行删失处理,研究共纳入有效病例数597例,基本信息统计数据见表1。

1.3.2 机器学习模型建立方法:通过Python搭建机器学习模型环境,应用sklearn集成库建立SVM,随机森林及逻辑回归模型。通过train\_test\_split函数将样本划分训练集和测试集,测试集占总计20%,训练集占总计80%。以病例中收集的8个连续型变量及5个类型变量为自变量,建立SVM、RF、LR3种机器学习算法,对数据进行建模及分析。

1.3.3 模型优化及评价方法:在每种算法模型构建过程中,使用Grid Search CV网格搜索方法优化超参数组合,收敛模型达到最佳预测精度。模型调优完成后,于测试集进行性能验证。

本研究采取:①受试者工作特征曲线(ROC)及曲线下面积(AUC)评价模型预测性能;②准确率(accuracy)评价模型精度;③F1值评价模型精确率与召回率。ROC曲线及AUC数值由模型生成,准确率、F1值的计算公式如下:

$$\text{准确率}=(\text{TP}+\text{TN})/(\text{TP}+\text{TN}+\text{FP}+\text{FN})$$

$$\text{精确率}=\text{TP}/(\text{TP}+\text{FP})$$

$$\text{召回率}=\text{TP}/(\text{TP}+\text{FN})$$

$$\text{F1}=(2\times\text{精确率}\times\text{召回率})/(\text{精确率}+\text{召回率})$$

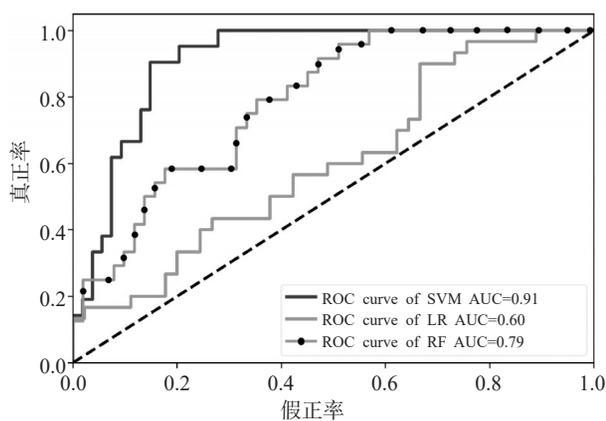
表1 患者基本信息 ( $\bar{x}\pm s$ )

项目	Level-1 (n=73)	Level-2 (n=264)	Level-3 (n=260)
年龄(岁)	33.23±0.78	29.95±0.92	31.92±0.49
孕前体重(kg)	58.18±0.93	54.28±1.10	57.29±0.31
产前体重(kg)	67.02±0.41	69.62±1.01	66.71±0.42
BMI	22.42±0.27	22.82±0.57	22.73±0.30
胎重(kg)	3.42±0.51	3.65±0.22	3.33±0.13
治疗前脐上2cm IRD	2.31±0.52	2.02±0.23	2.12±0.82
治疗前脐水平IRD	3.10±0.21	3.31±0.40	3.17±0.81
治疗前脐下2cm IRD	2.1±0.05	2.0±0.62	2.0±0.28
腹肌厚度(双侧均值,cm)			
腹直肌	0.89±0.77	0.99±0.82	1.27±0.41
腹外斜肌	0.55±0.08	0.73±0.19	0.62±0.09
腹内斜肌	0.46±0.07	0.37±0.10	0.42±0.12
腹横肌	0.26±0.04	0.20±0.05	0.22±0.01
分离模式 <sup>[20]</sup>			
模式1(仅有脐上分离)	6	16	23
模式2(仅有脐下分离)	2	31	30
模式3(仅有脐平面分离)	11	52	42
模式4(完全分离,超过脐平面)	42	132	92
模式5(完全分离,未超过脐平面)	12	33	73
合并妊娠期糖尿病史			
是	27	82	87
否	46	182	173
产前运动习惯			
无	32	29	103
每周1—3次	23	149	127
每周3次以上	18	86	30
产式			
顺产	57	182	223
剖宫产	16	82	37
胎次			
1胎	57	169	177
2胎	16	95	83
孕周(周)			
注: IRD: 腹直肌间距			
早产儿	1	10	3
足月儿	65	243	245
过期产	7	11	12

表2 模型预测准确效能参数比较

机器学习模型	准确率	精准度	召回率	F1值	AUC
支持向量机(SVM)	89.6%	0.84	0.97	0.89	0.91
随机森林(RF)	80.3%	0.86	0.90	0.85	0.79
逻辑回归(LR)	80.8%	0.75	0.81	0.72	0.60

图1 支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、逻辑回归(LR)三种机器学习模型的ROC曲线及AUC值



在腹直肌分离的治疗策略当中,应当充分重视解剖学及生物力学因素对治疗效果的影响,如不同患者腹直肌分离位点的特征性、不同年龄、BMI、不同产式患者腹直肌厚度的差异性。近年来,我国康复领域发展较快,大量国内临床研究为康复策略的制定提供了较为充分的循证医学证据支持;而另一方面,如何有效利用循证证据及医学大数据,针对临床需求点建立分析和预测的数学模型,进而推动康复治疗个体化和精准化,仍然是需要深入研究的问题。

本研究应用三种不同机器学习算法并比较其在预测患者治疗预后方面的表现。从总体研究结果来看三种模型均达到了较好的预测效能,预测准确率均超过了80%。SVM模型的ROC曲线表现显著优于另外两种模型,AUC达0.91,显著高于RF模型的0.79和Logistic回归模型的0.60。然而从预测准确率的结果来看,SVM模型较RF和Logistic回归模型的差距较小(89.6%,80.3%,及80.8%),RF的各项预测效能均达到优异水平且相差不大,在实际临床应用中可能具有较为稳定的预测效果<sup>[24]</sup>。

综上所述,本研究基于机器学习算法构建了的产后腹直肌分离患者的腹部运动疗效预测模型,有望为产后精准康复及我国康复大数据研究提供新的思路。

#### 4 结论

SVM, RF 及 LR 三种模型的 ROC 曲线下面积分别为 0.91、0.79 及 0.60,模型的预测准确率分别为 89.6%、80.3% 及

#### 2 模型预测结果

各模型 ROC 曲线及 AUC 数值结果及各模型在测试集的预测准确效能比较见图 1 和表 2。

#### 3 讨论

为了有效地提高康复治疗的效果,使得治疗方案的制定更加行之有效,治疗前对患者进行精准评估一直是康复领域的重要目标。在产后腹直肌分离中,有大量研究证实产妇产龄、产式、体重等因素与腹直肌分离发病密切相关<sup>[21]</sup>,亦有研究指出:腹部训练的时机,时长以及治疗频次等因素对腹直肌分离干预的最终效果具有不同程度的影响<sup>[22-23]</sup>;特别地,

80.8%, F1 值分别为 0.89, 0.85 及 0.72。研究结果提示, 三种模型均有良好的预测效能, SVM 模型在本数据集中较其他两种模型具有最大的 AUC 值, 而 RF 模型在各评分上的结果较为稳定。

### 参考文献

- [1] Fernandes DMP, Pascoal AG, Carita AI, et al. Prevalence and risk factors of diastasis recti abdominis from late pregnancy to 6 months postpartum, and relationship with lumbopelvic pain[J]. *Man Ther*, 2015, 20(1):200—205.
- [2] 顾叶春, 许虹波, 吴莉娜, 等. 二胎产妇产后腹直肌分离症发生情况的临床分析[J]. *中华全科医师杂志*, 2020, 19(12):1157—1163.
- [3] 郭孟欣. 高频超声对产后腹直肌、耻骨联合分离程度的动态观察研究[D]. 华北理工大学, 2020.
- [4] Theodorsen NM, Strand LI, Bo K. Effect of pelvic floor and transversus abdominis muscle contraction on inter-rectus distance in postpartum women: a cross-sectional experimental study[J]. *Physiotherapy*, 2019, 105(3):315—320.
- [5] 王青, 于晓杰, 杨欣, 等. 产后腹直肌分离发生的影响因素研究[J]. *现代妇产科进展*, 2019, 28(12):913—916.
- [6] Thornton SL, Thornton SJ. Management of gross divarication of the recti abdominis in pregnancy and labour[J]. *Physiotherapy*, 1993, 79(7):457—458.
- [7] Carrera PC, Da CCI, Gonzalez GY. What is the best exercise for rehabilitation of abdominal diastasis rehabilitation? [J]. *Rehabilitacion (Madr)*, 2019, 53(3):198—210.
- [8] van de Water AT, Benjamin DR. Measurement methods to assess diastasis of the rectus abdominis muscle (DRAM): A systematic review of their measurement properties and meta-analytic reliability generalisation[J]. *Man Ther*, 2016, 21:41—53.
- [9] 刘蓬然, 霍彤彤, 陆林, 等. 人工智能在医学中的应用现状与展望[J]. *中华医学杂志*, 2021, 101(44):3677—3683.
- [10] 周嘉音, 尤超, 顾雅佳. 影像组学在乳腺癌的应用研究进展[J]. *国际医学放射学杂志*, 2022, 45(2):174—179.
- [11] Pesapane F, Rotili A, Botta F, et al. Radiomics of MRI for the prediction of the pathological response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients: a single referral centre analysis[J]. *Cancers*, 2021 Aug 25, 13(17):4271.
- [12] 石镇维, 刘再毅. 影像组学研究的困境和出路[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(1):9—11.
- [13] 何玉花, 周梦林, 徐建云, 等. 应用机器学习方法建立大于胎龄儿预测模型[J]. *现代妇产科进展*, 2019, 28(1):48—50.
- [14] 孟凡皓, 田瑜, 乔波, 等. 基于大规模临床数据深度学习的口腔疾病人工智能预防与诊断平台的构建[J]. *精准医学杂志*, 2020, 35(6):497—500.
- [15] 吴静洁, 杨丽黎. 机器学习在构建高血压风险模型中的研究进展[J]. *护理与康复*, 2021, 20(2):33—36.
- [16] 李江英, 陈亚, 黄月甜, 等. 早期自主训练治疗产后腹直肌分离的效果观察[J]. *医学理论与实践*, 2019, 32(10):1610—1611.
- [17] Gluppe SL, Hilde G, Tennfjord MK, et al. Effect of a postpartum training program on the prevalence of diastasis recti abdominis in postpartum primiparous women: a randomized controlled trial[J]. *Phys Ther*, 2018, 98(4):260—268.
- [18] 韦瑞敏, 肖霞, 吕丽清, 等. 盆底神经肌肉电刺激配合康复按摩促进产后腹直肌分离疗效的研究[J]. *中国妇幼保健*, 2016, 31(21):4361—4364.
- [19] Benjamin DR, van de Water AT, Peiris CL. Effects of exercise on diastasis of the rectus abdominis muscle in the antenatal and postnatal periods: a systematic review[J]. *Physiotherapy*, 2014, 100(1):1—8.
- [20] He K, Zhou X, Zhu Y, et al. Muscle elasticity is different in individuals with diastasis recti abdominis than healthy volunteers.[J]. *Insights into Imaging*, 2021, 12(1):87.
- [21] 焦子珊, 邱金花, 王娜娜, 等. 489 例产后腹直肌分离产妇产患病现状及影响因素分析[J]. *护理学报*, 2021, 28(20):7—10.
- [22] Laframboise FC, Schlaff RA, Baruth M. Postpartum exercise intervention targeting diastasis recti abdominis[J]. *Int J Exerc Sci*, 2021, 14(3):400—409.
- [23] Michalska A, Rokita W, Wolder D, et al. Diastasis recti abdominis: A review of treatment methods[J]. *Ginekol Pol*, 2018, 89(2):97—101.
- [24] 崔恒基. 基于度量学习的小样本人类大脑分割算法研究[D]. 电子科技大学, 2021.