DOI:10.16016/j.2097-0927.202312116

基于体表大数据构建中青年下肢冠状面力线不良预测模型

左席珍[1],刘力铭[1],雷 凯[1],杨鹏飞[2],傅德杰[2],郭 林[1] 400038 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院:运动医学中心[1],创伤关节外科[2]

[**摘要**] **目的** 基于体表大数据构建我国中青年下肢冠状面力线不良预测模型,为临床工作提供更加快速、准确的下肢冠状面力不良预测方法。**方法** 采用横断面研究设计方案,筛选陆军军医大学第一附属医院运动医学中心2022年5月至2023年12月收治的915例膝关节半月板撕裂患者的病历资料,测量其下肢冠状面力线(简称下肢力线)。按照下肢力线分级标准将915例患者分中立位下肢力线及下肢力线不良两组,按照7∶3随机分为训练集和验证集。分析训练集性别、年龄及体表大数据(包括BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度)的7项指标用于预测下肢力线不良的价值,建立Logistic回归模型并使用列线图对模型进行可视化,使用校准曲线、ROC曲线和DCA曲线评估模型对下肢力线不良的诊断效能。**结果** 训练集640例,其中男性299例,女性341例,中位年龄41.5岁;验证集275例,其中男性128例,女性147例,中位年龄41.0岁。训练集中中立位下肢力线和下肢力线不良两组间的性别、年龄、BMI等7项指标之间的差异均有统计学意义($P<0.01$)。多因素Logistic回归构建了含BMI[(24.31±3.58) kg/m^2;$OR=1.12$,95%CI:1.06~1.19,$P<0.001$]、下肢长[82.00(78.00~87.00)cm;$OR=0.95$,95%CI:0.92~0.98,$P=0.002$]、双膝距[30.00(16.00~45.25)mm;$OR=1.06$,95%CI:1.05~1.07,$P<0.001$]、双踝距[23.00(18.00~30.00)mm;$OR=0.98$,95%CI:0.96~1.00,$P=0.078$]、性别[男性299(46.72%);$OR=0.70$,95%CI:0.46~1.06,$P=0.089$]的预测模型,模型预测下肢力线不良的受试者操作曲线下面积(area under the subject curve,AUC)在训练集和验证集中分别为0.808、0.770。**结论** 基于体表大数据,初步构建我国中青年下肢力线不良预测模型,其对于下肢力线不良的诊断效能较高。

[**关键词**] 下肢冠状面力线不良;体表大数据;预测模型;Logistic回归
[**中图法分类号**] R195.4;R319;R658.3 [**文献标志码**] A

A prediction model for coronal malalignment of the lower extremity in middle-aged and young people based on body surface big data

ZUO Xizhen[1], LIU Liming[1], LEI Kai[1], YANG Pengfei[2], FU Dejie[2], GUO Lin[1] [1]Sports Medical Center, [2]Department of Joint Surgery, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400038, China

[**Abstract**] **Objective** To construct a prediction model for coronal malalignment of lower limb in middle-aged and young people in China based on body surface big data in order to provide a faster and more accurate tool for predicting the malalignment in clinical practice. **Methods** A cross-sectional trial was adopted on 915 patients with knee meniscus tears admitted to the Sports Medical Center of our hospital from May 2022 to December 2023. The coronal force line of lower limb was measured, and according to the lower limb force line grading standards, the patients were divided into neutral force line group and malalignment lower limb group, and assigned randomly into training set and validation set in a ratio of 7∶3. Seven indicators, such as gender, age, and body surface big data (including BMI, lower limb length, distance

[**基金项目**] 重庆市科卫联合医学科研项目(2022MSXM007)
[**通信作者**] 郭 林,E-mail:guolin6212@163.com

2097-0927/Copyright © 2024, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循CC BY许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

between both knee joints, distance between both ankle joints, and subcutaneous fat thickness) were used to analyze the training set to predict the value of malalignment force line. Logistic regression model and nomogram model were constructed to visualize our prediction model. Then calibration curves, receiver operating characteristic (ROC) curve, and decision curve analysis (DCA) were applied to evaluate the diagnostic efficacy of the constructed model. **Results** In the training set of 640 cases, there were 299 males and 341 females, with a median age of 41.5 years old, and for the validation set, there are 275 patients, including 128 males and 147 females, with a median age of 41.0 years old. Significant differences were observed in above mentioned 7 indicators between the 2 groups in the training set ($P<0.01$). Based on the results of multiple logistic regression analysis, a prediction model for malalignment of lower limb was constructed, including BMI (24.31±3.58 kg/m^2, $OR=1.12$, 95%CI: 1.06~1.19, $P<0.001$), lower limb length [82.00 (78.00~87.00) cm, $OR=0.95$, 95%CI: 0.92~0.98, $P=0.002$], distance between both knee joints [30.00 (16.00~45.25) cm, $OR=1.06$, 95%CI: 1.05~1.07, $P<0.001$], distance between both ankle joint [23.00 (8.00~30.00) mm, $OR=0.98$, 95%CI: 0.96~1.00, $P=0.078$] and gender [man 299 (46.72%), $OR=0.70$, 95%CI: 0.46~1.06, $P=0.089$]. The area under the subject curve (AUC) value of our constructed model for predicting malalignment of lower limb was 0.808 and 0.770, respectively, in the training and validation sets. **Conclusion** Based on body surface big data, we primarily construct a prediction model for malalignment of lower limb for middle-aged and young people in China, which shows a good diagnostic performance on malalignment of lower limb.

[**Key words**] malalignment of lower limb; body surface big data; prediction model; logistic regression

Supported by the Joint Medical Research Project of Chongqing Science and Technology Commission and Chongqing Health Commission (2022MSXM007).
Corresponding author: GUO Lin, E-mail: guolin6212@163.com

股骨的机械轴为股骨头中心到膝关节中心的连线,与股骨干解剖轴形成(6±1)°的夹角,称为股骨机械轴与解剖轴夹角(anatomical mechanicalfemoral angle,aMFA)。胫骨的机械轴和解剖轴走行几乎一致,两条轴线平行。下肢冠状面力线是指股骨头中心和踝关节中心的连线。相关文献表明下肢力线不良可以导致内外侧半月板损伤[1-2],股骨及胫骨骨软骨磨损[3-4],膝关节及踝关节周围韧带软组织损伤,下肢力线不良还与下肢训练伤的发生率密切相关。因此预测下肢力线不良对于防治膝关节及其周围组织损伤具有十分重要的意义,也对防治下肢训练伤具有一定的意义。常规测量下肢力线方法是在医院内利用专业的影像设备进行测量[5-6],此方法虽然测得的下肢力线结果较为精确,但是拍摄费用昂贵且耗时,对于临床工作中快速筛查出下肢力线不良患者没有实用价值。因此,构建一种可靠、无创、方便、低成本的下肢力线不良预测模型尤为重要。

体表标志是指人体的表面形态特征,如骨性标志、肌性标志、皮纹标志和一些标志线。体表大数据是指骨性标志之间的距离,如髂前上棘与内踝内缘中心之间的距离等,它是评估和判断下肢力线分级及分布的重要指标[7-8]。在临床工作中也发现体表大数据可能是下肢力线的重要影响因素。本研究拟基于体表大数据,采用 Logistic 回归建立下肢力线不良预测模型,旨在探讨体表大数据在下肢力线不良预测方面的应用价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究采用横断面研究设计方案。筛选陆军军医大学第一附属医院运动医学中心 2022 年 5 月至 2023 年 12 月收治的膝关节半月板撕裂患者的病历资料。纳入标准:①膝关节磁共振报告显示为半月板Ⅲ°撕裂;②已行负重前后位双下肢全长片检查。排除标准:①曾行髋、踝关节手术或患有髋、踝关节疾患;②曾进行脊柱、骨盆手术或患有脊柱、骨盆疾患;③拍摄负重前后位双下肢全长片时下肢未能完全伸直或存在旋转者。所有患者已拍摄膝关节 MRI 并报告显示半月板Ⅲ°撕裂,包括:内外侧半月板前角、体部、后角撕裂、盘状半月板撕裂等;形状:水平状、放射状、斜行、桶柄样撕裂等。符合上述检查阳性者即可诊断为膝关节半月板撕裂。本研究获得陆军军医大学第一附属医院伦理委员会批准[批件号:(A)KY202246]。

1.2 研究方法

1.2.1 收集信息 性别、年龄;体表大数据(BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度)及下肢力线;

按照下肢力线分级标准将患者分为中立位下肢力线及下肢力线不良两组。

1.2.2 基于体表大数据构建我国中青年下肢力线不良预测模型 按照7∶3比例将整组患者分为训练集和验证集,分析训练集性别、年龄、BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度共7项指标用于预测下肢力线的价值。

1.2.3 评估预测模型预测效能 综合以上指标,采用R语言R 4.2软件(https://www.medsta.cn/software),使用ROC曲线评估模型的预测效能,并在验证集中比较并验证模型对下肢力线的诊断价值。

1.3 样本量估算

样本量确定采用多元统计建模15EPV原则,即样本量按照进入最终模型自变量个数的15~20倍。即最小样本量140例。

1.4 相关指标测量方法

为保证测量数据真实可靠[9],下肢力线角度由3名运动医学中心医师分别盲测2次,同时为了保证测量者拥有足够的遗忘时间,要求测试者2次测量时间间隔>2周,测量后数据取平均值,如出现明显差异,则重复下述测量步骤。

1.4.1 双膝距测量方法 在自然站立状态下(抬头挺胸,目视前方,身体自然放松,双下肢肌肉放松站立),髌骨朝向正前方,双足尖朝向前外,向外分别分开30°(两足尖夹角60°),双踝足跟内侧缘紧挨但不用力。测量者使用游标卡尺测量两股骨内侧髁内缘中心之间的距离,数据精确到小数点后1位(mm),见图1A。

1.4.2 双踝距测量方法 在双膝距测量方法的站立姿势基础上,测量者用游标卡尺测量两胫骨内踝内缘中心之间的距离,数据精确到小数点后1位(mm),见图1B。

1.4.3 皮下脂肪厚度测量 皮下脂肪厚度测量位置为上臂部后侧肘关节(尺骨鹰嘴)与肩峰连线中点[10-13],即肱三头肌肌腹部位,数据精确到小数点后1位(mm)。测量者用左手拇指和食指(或其余四指)将测量部位的皮肤和皮下组织轻轻捏起呈皱折状,皮折与身体长轴平行,右手持游标卡尺或皮肤厚度测定仪测量皮折根部厚度,将捏起的皮折放松后再次捏起测量,连续测3次,取其平均值,见图1C。

1.4.4 下肢长度测量 在双膝距测量方法的站立姿势基础上,测量者用软尺测量同侧髂前上棘至胫骨内踝内缘中点之间的距离,数据精确到小数点后1位(cm),见图1D。

1.4.5 BMI测量 站立在标准测量仪上测量身高、体质量,计算BMI。

1.4.6 身高测量方法 所有患者使用同一身高体质量测量仪,在早晨、空腹、排空大小便的状态下进行测量。脱去鞋袜及帽子,穿贴身内衣裤,测量时足跟靠拢,双足尖朝向前外且向外分别分开30°(两足尖夹角60°),脚尖靠拢身高尺;双手自然垂放于身体两侧;身体腹侧靠拢身高尺并在立正站直,头、颈、脊柱及双下肢外侧缘成一条直线,并与地面水平线垂直。身高尺上端的横杆平放于头顶,紧挨头顶但不使患者感受到任何不适,测量时测量者需要双眼平视身高尺上的刻度,读取的数据即为身高,数据精确到小数点后1位(cm),见图1E。

1.4.7 体质量测量方法 测量姿势及测量条件同身高测量。测量前校准仪器,平静站立于体质量秤踏板中央,两腿均匀负重,脱帽、光脚、穿贴身内衣裤。读数与记录:准确记录体质量秤读数,精确到小数点后1位(kg)。

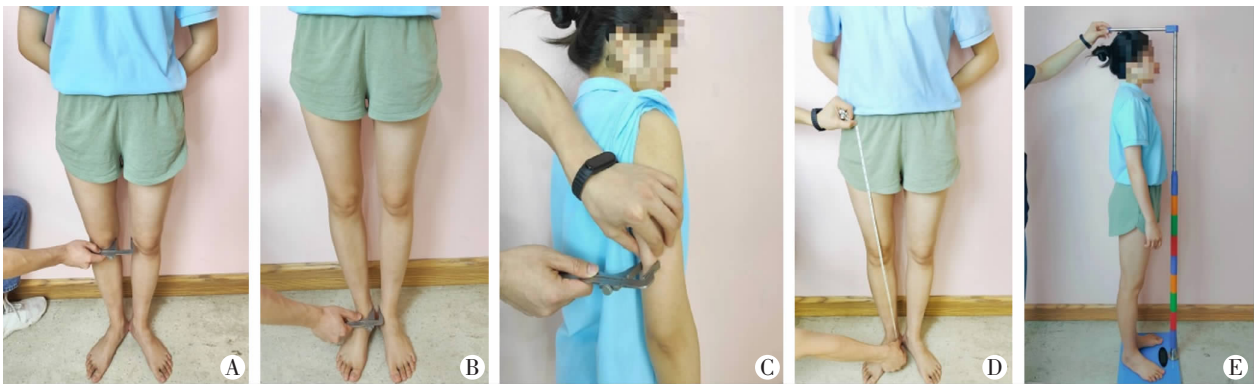
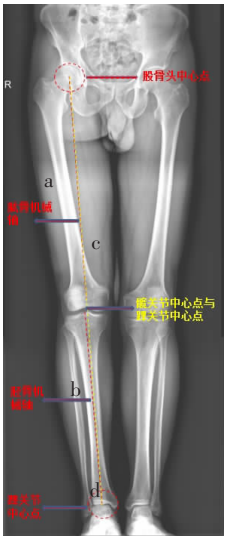


图1 中青年人群双膝距(A)、双踝距(B)、皮下脂肪厚度(C)、下肢长(D)及身高体质量(E)测量操作方法图示

1.4.8　下肢冠状面力线测量　　收集患者负重前后位双下肢全长片,并测量“髋-膝-踝角”。所有患者采用 SI EMENS DR Ysio Max(德国)仪器进行拍摄负重前后位双下肢全长片,通过医院医学影像信息采集系统(INFINITT PACS,韩国)进行下载双下肢全长片,下载后导入电脑使用 RadiAnt DICOM Viewer 4.2.1(64-bit)调整至下肢骨骼显影最清晰状态后,再次导入 CAD(P.46.0 AutoCAD 2019,美国)[9]进行测量。对股骨头进行圆拟合,所得中心点确定为髋关节中心点。髋关节中心点与股骨髁间窝顶点的连线为股骨机械轴[14-15](图 2),胫骨平台髁间棘中点与踝穴中点的连线为胫骨机械轴[16-17](图 2),在前后位 X 线平片上测量股骨机械轴与胫骨机械轴夹角记为“髋-膝-踝角”[18-19](图 2)也就是下肢力线角度。“髋-膝-踝角”顶点在髋关节中心点与踝穴中点的连线外侧为内翻,“髋-膝-踝角”顶点在髋关节中心点与踝穴中点的连线[20]内侧为外翻。定义“髋-膝-踝角”内外翻标准如下:下肢力线角度>180°为内翻,<180°为外翻。下肢力线分级标准[21-22]:中立位(177°~183°),轻度内翻(>183°~186°),重度内翻:(>186°);轻度外翻(174°~<177°),重度外翻(<174°)。下肢力线不良:轻/重度内外翻。

1.5　统计学处理

研究测量了年龄、BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度等 6 个计量指标及性别 1 个二分类指标。呈正态分布的数据用 $\bar{x}\pm s$ 表示,非正态分布的数据用 $M(P_{25},P_{75})$ 标示,采用 R 语言 R 4.2 软件(https://www.medsta.cn/software)对数据进行统计分析。对上述 7 个指标进行逐步二项多因素 Logistic 回归模型的构建,用验证集数据进行模型验证。并分别用受试者工作曲线(receiveroperating characteristic curve,ROC)评判模型诊断受试者操作曲线下面积(area under the subject curve,AUC)、特异度及灵敏度。P<0.05 则认为存在统计学差异。



a:髋关节中心点与股骨髁间窝顶点的连线为股骨机械轴;b:胫骨平台髁间脊中点与踝穴中点的连线为胫骨机械轴;c:髋关节中心点与踝穴中点的连线;d:“髋-膝-踝角”a 与 b 的夹角

图 2　影像信息采集系统测量膝关节半月板撕裂患者的下肢力线

2　结果

2.1　一般资料

研究纳入了 915 例膝关节半月板撕裂患者,按照下肢力线分级标准将 915 例患者分为中立位下肢力线(n=482)及下肢力线不良(n=433)2 组,2 组间年龄、BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度,性别均有统计学差异(P<0.05,表 1)。

随机抽取 70%病例(640 例)分入训练集,其中男性 299 例,女性 341 例,中位年龄 41.5 岁;中立位力线 332 人,下肢力线不良 308 人。中立位力线与下肢力线不良 2 组间年龄、BMI、下肢长、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度、性别均有统计学差异(P<0.05,表 2)。

表 1　915 例膝关节半月板撕裂患者资料分析[$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$,例(%)]

指标	下肢力线分级		统计值	P
	中立位力线(n=482)	下肢力线不良(n=433)		
BMI/(kg/m^2)	23.75±3.76	24.85±3.33	t=-4.71	<0.001
年龄/岁	33.50(20.00,48.00)	46.00(35.00,51.00)	Z=-8.30	<0.001
皮下脂肪厚度/mm	23.00(18.00,28.00)	26.00(20.00,32.00)	Z=-4.28	<0.001
下肢长/cm	84.00(80.00,88.00)	80.00(77.00,84.00)	Z=-9.06	<0.001
双膝距/mm	21.00(14.00,32.00)	43.00(28.00,65.00)	Z=-13.90	<0.001
双踝距/mm	21.00(16.00,27.00)	25.00(20.00,30.00)	Z=-4.75	<0.001
性别			χ^2=9.37	0.002
男	248(51.45)	179(41.34)		
女	234(48.55)	254(58.66)		

表 2 训练集基线指标分布情况[$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$,例(%)]

指标	下肢力线分级		统计值	P
	中立位力线(n=332)	下肢力线不良(n=308)		
BMI/(kg/m^2)	23.78±3.75	24.89±3.29	t=−3.99	<0.001
年龄/岁	34.00(20.00, 48.00)	46.00(34.75, 51.00)	Z=−6.89	<0.001
皮下脂肪厚度/mm	23.00(18.75, 28.00)	26.00(20.00, 32.00)	Z=−3.85	<0.001
下肢长/cm	84.00(79.50, 88.00)	80.00(77.00, 84.00)	Z=−7.53	<0.001
双膝距/mm	20.00(14.00, 32.00)	43.00(28.00, 65.25)	Z=−11.88	<0.001
双踝距/mm	22.00(15.00, 28.00)	25.00(19.75, 30.00)	Z=−3.44	<0.001
性别			χ^2=8.98	0.003
男	174(52.41)	125(40.58)		
女	158(47.59)	183(59.42)		

表 3 训练集和验证集间一般特征比较[$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$,例(%)]

指标	训练集(n=640)	验证集(n=275)	统计值	P
年龄/岁	41.50(24.75,50.00)	41.00(25.00,50.00)	Z=0.413	0.680
BMI/(kg/m^2)	24.31±3.58	24.17±3.67	t=0.537	0.591
皮下脂肪厚度/(mm)	25.00(19.00,30.00)	24.00(18.50,31.00)	Z=0.415	0.678
下肢长/cm	82.00(78.00,87.00)	82.00(78.00,86.50)	Z=0.945	0.345
双膝距/mm	30.00(16.00,45.25)	30.00(16.50,50.00)	Z=0.122	0.903
双踝距/mm	23.00(18.00,30.00)	23.00(18.00,28.00)	Z=0.445	0.657
性别			χ^2=0.002	0.962
男	299(46.72)	128(46.55)		
女	341(53.28)	147(53.45)		

剩余 30%病例(275 例)作为验证集,其中男性 128 例,女性 147 例,中位年龄 41.0 岁。训练集和验证集间性别、年龄、BMI、皮下脂肪厚度、双膝距、双踝距、下肢长组间差异均无统计学意义(P>0.05,表 3)。

2.2 Logistic 回归模型建立

将训练集中的 7 项检测指标:年龄、性别、BMI、双膝距、双踝距、皮下脂肪厚度、下肢长进行逐步回归二项多因素 Logistic 回归模型的构建,结果显示:BMI、双膝距、下肢长结果因素差异有统计学意义(P<0.05,表 4)。对于实际临床工作中,双踝距及性别均是下肢力线的影响因素,因此将其纳入预测模型(图 3)。

表 4 中青年半月板撕裂患者体表大数据与下肢力线多因素 Logistic 回归分析

指标	β	SE	OR(95%CI)	P
BMI/(kg/m^2)	0.12	0.03	1.12(1.06~1.19)	<0.001
下肢长/cm	−0.05	0.02	0.95(0.92~0.98)	0.002
双膝距/mm	0.06	0.01	1.06(1.05~1.07)	<0.001
双踝距/mm	−0.02	0.01	0.98(0.96~1.00)	0.078
男性	−0.36	0.21	0.70(0.46~1.06)	0.089

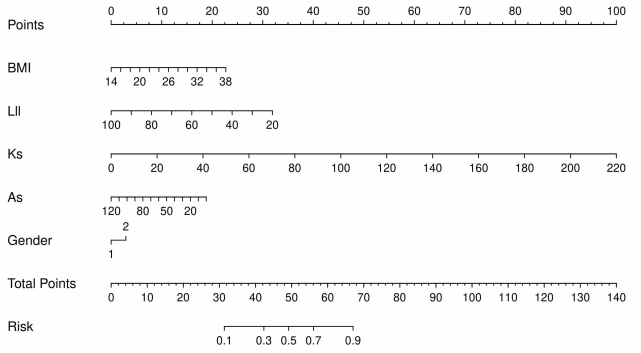


图 3 基于体表大数据构建我国中青年下肢冠状面力线不良预测模型的模型列线图

2.3 模型验证

通过验证集数据验证 Logistic 预测模型,ROC 分析显示在训练集中当临界值(cutoff)为 0.503 时,AUC、特异度、灵敏度分别为 0.808、0.708、0.795(图 4),在验证集中当临界值(cutoff)为 0.441 时,AUC、特异度、灵敏度分别为 0.770、0.713、0.728(图 4)。训练集及验证集的校准曲线及 DCA(决策曲线分析)分别见图 5、图 6。

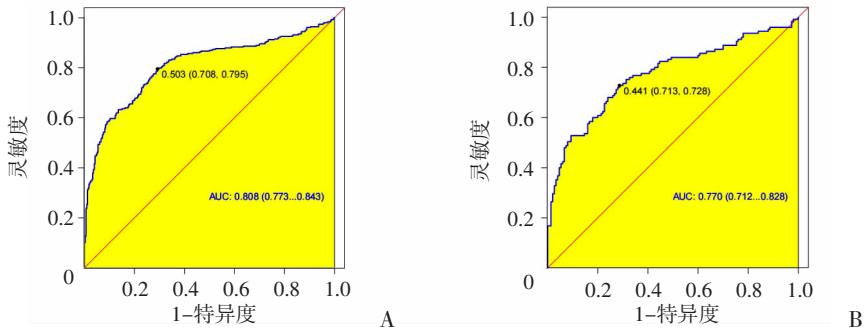


图 4　基于体表大数据构建中青年下肢冠状面力线不良预测模型训练集(A)及验证集(B)ROC 曲线

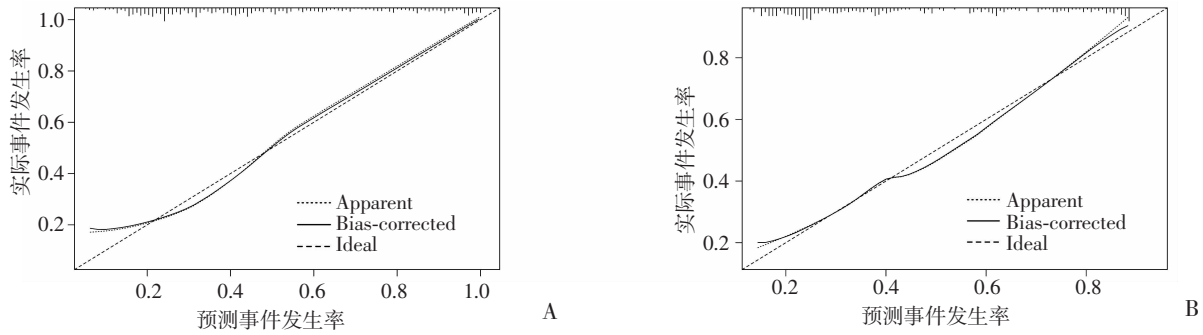


图 5　基于体表大数据构建中青年下肢冠状面力线不良预测模型训练集(A)及验证集(B)校准曲线

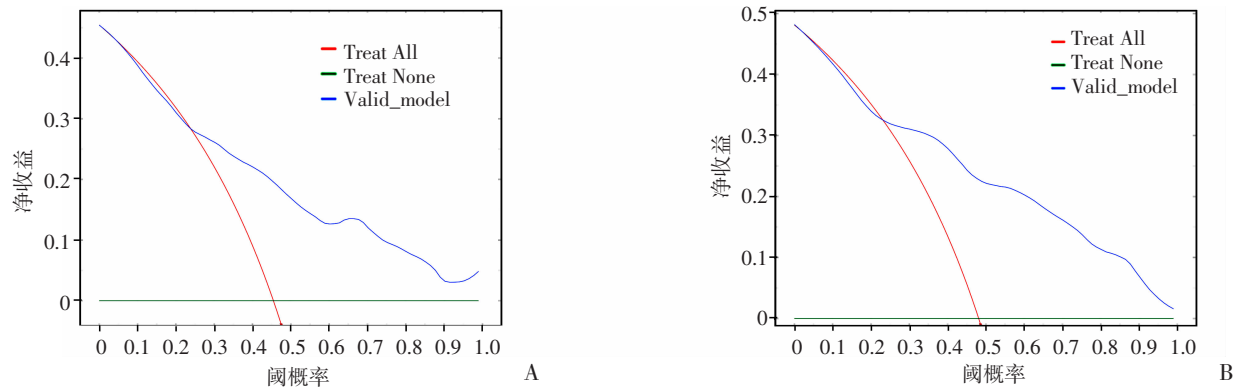


图 6　基于体表大数据构建中青年下肢冠状面力线不良预测模型训练集(A)及验证集(B)DCA

3　讨论

3.1　下肢力线测量所面临的困境

临床工作中发现许多膝关节疾病如半月板损伤,前后交叉韧带断裂,膝关节骨性关节炎[23]与下肢力线不良密切相关,军事训练中下肢训练伤,尤其是膝关节训练伤与下肢力线关系也较为密切。《应征公民体格检查标准》第一章外科第七条规定:两下肢不等长超过 2 cm,膝内翻双侧股骨内髁内缘中心间距离和膝外翻双侧胫骨踝内缘中心距离超过 7 cm(空降兵超过 4 cm),或者虽未超过前述规定但步态异常者。此标准的设定充分顾及到了征兵筛选过程中的标准性、便捷性和可执行性,但仍无法快速筛选出大批量应征人员中可能含有显著下肢力线不良人员。目前测量下肢力线仍然依靠专业的影像设备进行拍摄及测量,对于病人来说是费时费力且增加病人的经济负担,对于医生来说增加较大的工作量,尤其是对于需要从大批量人群筛选出显著下肢力线不良人员,此项工作可以说是极其的繁重且经济代价巨大。因此,急需构建一种快速、准确的下肢力线不良预测方法,为临床工作中快速筛选出下肢力线不良人员,也能有效的预防下肢及其周围组织损伤,同时也可能预防入伍后人员下肢训练伤的发生。通过基于体表大数据构建中青年下肢冠

状面力线不良预测模型是一种相对敏感、低成本且无创的下肢力线不良预测方法,因此本研究探究了一种使用体表大数据的下肢力线不良预测模型,结果显示其具有较好的诊断效用,存在临床应用价值。

3.2 纳入预测模型中各个指标所具备的诊断效能

3.2.1 BMI 文献表明 BMI 较大时会导致负重位时膝内外翻角度增大[10],提示 BMI 增大是导致下肢力线内外翻角度增大的一个重要因素。可能原因在于当 BMI 越大时,下肢承受的负荷越大,且负重膝关节内侧或者外侧韧带及相关肌群被拉长,同时持续的膝内翻或者外翻使膝关节内外侧或者内侧韧带及相关肌群挛缩,导致膝关节内外侧力量不平衡,导致原本处于内翻或者外翻的下肢力线会向内侧或者外侧偏移,因此下肢力线角度绝对值会变大即下肢力线不良分级越重。BMI 对下肢力线不良分级的正向作用,这与上述研究中 BMI 的系数(0.12)为正的结论一致。

3.2.2 双膝距 随着双膝距增大下肢力线呈现内翻角度增大,反之呈现外翻角度增大。主要是当双膝距过大而双踝距相对正常时,下肢常呈内翻状态,此时膝关节内侧韧带及相关肌群被拉长,同时持续的膝内翻使膝关节外侧韧带及相关肌群挛缩,导致膝关节内外侧力量不平衡,导致原本处于内翻下肢力线会向内侧偏移;当双膝距过小而双踝距相对正常时,下肢常呈外翻状态,此时膝关节外侧韧带及相关肌群被拉长,同时持续的膝外翻使膝关节内侧韧带及相关肌群挛缩,导致膝关节内外侧力量不平衡,导致原本处于外翻下肢力线会向外侧偏移。双膝距对下肢力线不良分级的正向作用,这与上述研究中双膝距的系数(0.06)为正的结论一致。

3.2.3 双踝距 随着双踝距增大下肢力线呈现外翻角度增大,反之呈现内翻角度增大。主要是当双踝距过大而双膝距相对正常时,下肢常呈外翻状态,此时膝关节外侧韧带及相关肌群被拉长,同时持续的膝外翻使膝关节内侧韧带及相关肌群挛缩,导致膝关节内外侧力量不平衡,导致原本处于外翻下肢力线会向外侧偏移;当双踝距过小而双膝距相对正常时,下肢常呈内翻状态,此时膝关节内侧韧带及相关肌群被拉长,同时持续的膝内翻使膝关节外侧韧带及相关肌群挛缩,导致膝关节内外侧力量不平衡,导致原本处于内翻下肢力线会向内侧偏移;双踝距对下肢力线的负向作用,这与上述研究中双踝距的系数(-0.02)为负的结论一致。

3.2.4 下肢长 正常情况下,股骨与下肢长存在一定的比例关系,即股骨长度随着下肢长增加而相应增加,随着下肢长缩短而相应缩短。股骨在矢状面上存在前弓及前弓曲率半径,文献[24]表明股骨前弓曲率半径与股骨长度密切相关,股骨长度是股骨前弓曲率半径的重要独立预测因素[25-26],股骨长度每增加 1 mm,曲率半径将增加 3.4 mm[25]。因此股骨前弓曲率半径与身材高矮相关,身材矮小者前弓曲率半径相对较小,股骨前弓角较大,此时重力会被股骨矢状面弓形结构大幅度传导到膝关节及其周围软组织;其次身材矮小者股骨相对较短,因此股骨在膝关节矢状面上的力矩较短,膝关节及其周围软组织所受力较大,会使下肢力线不良状态加重。身材较高者前弓曲率半径相对较大,股骨前弓角较小,产生的效果与身材矮小者刚好相反。因此下肢长对下肢力线的作用是负相关,即下肢长越长,下肢力线不良分级越轻。下肢长对下肢力线不良分级的负向作用,这与上述研究中下肢长的系数(-0.05)为负的结论一致。

3.2.5 性别 男性患者由于肌肉力量较女性更加强大,尤其是下肢肌肉力量,强大的肌肉可以更好地保护下肢骨干及关节,使之稳定在固有位置不易偏离,因此男性对下肢力线不良分级具有负向作用,这与上述研究中下肢长的系数(-0.36)为负的结论一致。

3.3 未纳入预测模型的指标

3.3.1 皮下脂肪厚度 由于不同年龄段人群中脂肪占比不一[27],但是由于脂肪在人体分布是比较对称的,不会对左右两侧产生不同差别。其次临床工作中发现人体左右对称部位皮下脂肪厚度差别极其小甚至可以忽略,另外可能是由于在测量过程中由于测量误差导致两侧皮下脂肪厚度出现不等。其次皮下脂肪厚度与 BMI 之间存在着线性关系。因此皮下脂肪厚度对下肢力线不良分级没有影响,这与上述研究中没有将皮下脂肪厚度纳入预测模型结论一致。

3.3.2 年龄 本研究收集 18~55 岁患者,在该年龄段骨骼密度及肌肉力量强度在人生各阶段中处于鼎盛状态,且身体机能处于最稳定状态,故在不考虑其他因素影响下此年龄段可以使下肢力线处于较为稳定状态,这与上述研究中没有将年龄纳入预测模型结论一致。

体表大数据(BMI、双踝距、双膝距、下肢长)及性别对下肢力线不良预测模型的准确性还有待提高,可能由于纳入的自变量对下肢力线的影响度不够高;针对纳入的自变量对下肢力线影响度不够高,进一步研究拟考虑纳入双髋距,骨盆前倾、后倾,大转子间距,髂

前上棘间距等其他更多体表大数据相关指标。另外进行下肢力线拍摄时,患者拍摄姿势的细微变化会导致真实下肢力线角度与实际测量的下肢力线角度存在偏差[28];研究中尽量使患者在测量体表大数据时采用与全长片相同的姿势减少误差[29]。此外为了更加简化测量负担,未来我们仍需要改进以上测量体表大数据的方法,采用图像采集技术分析体表大数据得出相关数值,可以极大减轻工作量。还需要进一步大量扩大样本数来提高预测精准度。

参考文献:

[1] 许涛, 周游. 下肢力线与内侧半月板损伤修复新进展[J]. 中国骨伤, 2022, 35(6): 595-600. DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.06.018.
XU T, ZHOU Y. Recent research on relationship of lower limb alignment and repairment of medial meniscus injury[J]. China J Orthop Traumatol, 2022, 35(6): 595-600. DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.06.018.

[2] 傅德杰, 杨柳, 郭林. 半月板损伤与下肢力线[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(4): 330-333. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.04.10.
FU D J, YANG L, GUO L. Meniscus injury and alignment of the lower extremity[J]. Orthop J China, 2021, 29(4): 330-333. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.04.10.

[3] 韩学全, 严孟宁. 膝关节骨关节炎中下肢力线对软骨下小梁骨异常骨重建和软骨退变的影响[J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 32.
HAN X Q, YAN M N. Effect of lower limb force line on abnormal bone remodeling and cartilage degeneration of subchondral trabecular bone in knee osteoarthritis[J]. J Med Biomech, 2021, 36(S1): 32.

[4] 安丙辰, 戴尅戎. 影响膝骨关节炎发病及进展的生物力学因素[J]. 国际骨科学杂志, 2012, 33(3): 153-156. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2012.03.001.
AN B C, DAI K R. Biomechanical factors affecting the onset and progress of knee osteoarthritis[J]. Int J Orthop, 2012, 33(3): 153-156. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2012.03.001.

[5] 史秀明. 负重位下肢全长的摄影体会[J]. 临床军医杂志, 2013,41(1): 34. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3826.2013.01.017.
SHI X M. Photography experience of full length of lower limbs in weight-bearing position[J]. Clin J Med Off, 2013, 41(1): 34. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3826.2013.01.017.

[6] 田爱洁. 下肢全长负重位X线片的投照技术及临床意义[J]. 解放军预防医学杂志, 2016, 34(S2): 246. DOI: 10.13704/j.cnki.jyyx.2016.s2.224.
TIAN A J. Projection technique and clinical significance of full-length weight-bearing X-ray film of lower limbs[J]. J Prev Med Chin PLA, 2016, 34(S2): 246. DOI: 10.13704/j.cnki.jyyx.2016.s2.224.

[7] 李琦, 段王平, 曹晓明, 等. 膝骨关节炎患者体重指数与下肢力线关系的病例对照研究[J]. 中国骨伤, 2011, 24(11): 911-914. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2011.11.009.
LI Q, DUAN W P, CAO X M, *et al*. Case-control study on the relationship between body mass index and lower limb alignment of patients with knee osteoarthritis[J]. China J Orthop Traumatol, 2011, 24(11): 911-914. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2011.11.009.

[8] 张子健, 马剑雄, 柏豪豪, 等. 基于深度学习构建模型识别下肢全长正位X线片中的下肢力线关键点及自动测量关键角度[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(6): 901-906. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2022.06.025.
ZHANG Z J, MA J X, BAI H H, *et al*. Automatic measurement model for recognizing key points and automatic measurement of key angles of lower limb alignment on anteroposterior full-length lower limb radiograms based on deep learning[J]. Chin J Med Imag Technol, 2022, 38(6): 901-906. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2022.06.025.

[9] 刘力铭, 雷凯, 范华全, 等. 股骨颈干角在前后位X线平片与CT三维重建图像上的差异性研究[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(21): 2134-2140. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202006166.
LIU L M, LEI K, FAN H Q, *et al*. Differences in femoral neck shaft angles between anteroposterior X-ray and 3-dimensional CT reconstruction images: report of 265 cases[J]. J Third Mil Med Univ, 2020, 42(21): 2134-2140. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202006166.

[10] 雪合热提·伊纳也提, 刘漪, 甫拉提·吐尔逊. 乌鲁木齐市不同民族儿童皮下脂肪厚度调查[J]. 新疆医科大学学报, 2003, 26(3): 265-267. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5551.2003.03.025.
XUEHERETI, LIU Y, POLAT. An investigation of the subcutaneous fat thickness of Uygur, Kazak, Han and Hui children in Urumqi city[J]. J Xinjiang Med Univ, 2003, 26(3): 265-267. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5551.2003.03.025.

[11] 陈晨. 学生皮下脂肪率与体质健康的生物学研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2021, 37(6): 76-79. DOI: 10.13398/j.cnki.issn1673-260x.2021.06.016.
CHEN C. Biological study on subcutaneous fat rate and physical health of students[J]. J Chifeng Univ Nat Sci Ed,

2021, 37(6): 76-79. DOI: 10.13398/j.cnki.issn1673-260x.2021.06.016.

[12] 林惠英. 大学生皮脂厚度测量及其身体成分的分析[J]. 通化师范学院学报, 2004, 25(4): 73-76, 107. DOI: 10.3969/j.issn.1008-7974.2004.04.029.
LIN H Y. Measurement of sebum thickness and analysis of body composition of college students[J]. J Tonghua Norm Univ, 2004, 25(4): 73-76, 107. DOI: 10.3969/j.issn.1008-7974.2004.04.029.

[13] 梁永芳, 陈家珠, 闻心培, 等. 贵阳地区1070例健康成人肱三头肌皮脂厚度与臂肌围测定报告[J]. 贵阳医学院学报, 1988(3): 366-369. DOI: 10.19367/j.cnki.1000-2707.1988.03.013.
LIANG Y F, CHEN J Z, WEN X P, *et al*. Survey on triceps skinnfold thickness (tst) and midarm muscle circumference(mamc) of 1070 healthy adults in Guiyang Area[J]. J Guiyang Med Coll, 1988(3): 366-369. DOI: 10.19367/j.cnki.1000-2707.1988.03.013.

[14] 鲁洋, 郑占乐, 吕骥, 等. 膝内翻患者股骨形态的影像学测量及临床意义的初步研究[J]. 河北医科大学学报, 2018, 39(4): 466-468. DOI:10.3969/j.issn.1007-3205.2018.04.023.
LU Y, ZHENG Z L, LYU J, *et al*. Preliminary study on imaging measurement and clinical significance of femoral morphology in patients with knee inversion [J]. J Hebei Med Univ, 2018, 39(4): 466-468. DOI:10.3969/j.issn.1007-3205.2018.04.023.

[15] 米尔阿里木·木尔提扎, 艾尼瓦尔江·达毛拉, 蔺海山, 等. 全膝关节置换后冠状位股骨-胫骨机械轴偏移与早期关节功能恢复的关系[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(21): 3300-3304. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.3857.
MUERTIZHA M, DAMAOLA A, LIN H S, *et al*. Relationship between tibio-femoral mechanical axis deviation on coronal plane and early joint function recovery after total knee arthroplasty[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2021, 25(21): 3300-3304. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.3857.

[16] KIKUCHI K, NAKANO N, ISHIDA K, *et al*. Influence of distal reference point of the tibial mechanical axis on the ankle and hindlimb alignment change after total knee arthroplasty[J]. J Knee Surg. 2023, 3. DOI:10.1055/s-0043-1774797.

[17] XIE K, HAN X, JIANG X, *et al*. The fibular shaft axis and medial cortex of the proximal fibula are reliable landmarks for the mechanical axis of the tibia in patients with knee osteoarthritis[J]. Knee, 2019, 26(6): 1386-1394. DOI: 10.1016/j.knee.2019.08.007.

[18] 唐金龙, 杨冠杰, 刘磊, 等. 全膝关节置换后双下肢长度及相关功能变化[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(15): 2310-2316. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2585.
TANG J L, YANG G J, LIU L, *et al*. Change of related functions and double lower limb length after total knee arthroplasty[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2020, 24(15): 2310-2316. DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2585.

[19] 唐承杰, 贾军锋, 张挥武. 基于CT数据的三维重建技术测量膝骨关节炎患者下肢力线及3D打印导板技术在膝关节置换中的应用研究[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(12): 932-938. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2022.12.07.
TANG C J, JIA J F, ZHANG H W. Three-dimensional reconstruction technology based on CT data to measure lower limb alignment in patients with knee osteoarthritis and the application of 3D printing guide plate technology in total knee arthroplasty[J]. Chin J Bone Jt Surg, 2022, 15(12): 932-938. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2022.12.07.

[20] ZHANG Y Z, LU S, ZHANG H Q, *et al*. Alignment of the lower extremity mechanical axis by computer-aided design and application in total knee arthroplasty[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2016, 11(10): 1881-1890. DOI:10.1007/s11548-016-1382-7.

[21] 李思宁, 王直兵, 程兴旺, 等. 残留轻度内翻不影响弓形股骨膝内翻膝关节置换的临床效果[J]. 第三军医大学学报, 2021, 43(22): 2462-2467. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202105076.
LI S N, WANG Z B, CHENG X W, *et al*. Slight varus malalignment has no influence on clinical function in patients with femoral lateral bowing after total knee replacement[J]. J Third Mil Med Univ, 2021, 43(22): 2462-2467. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202105076.

[22] 钟昌恒, 江宜松, 刘子林, 等. 膝内翻患者全膝关节置换术后保留轻度内翻对临床效果的影响[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2021, 18(5): 39-42+46. DOI:10.3969/j.issn.1672-5972.2021.05.009.
ZHONG C H, JIANG Y S, LIU Z L, *et al*. The effect of remaining mild varus after total knee arthroplasty in patients with varus knee [J]. Orthop Biomech Mater Clin Study, 2021, 18(5): 39-42+46. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5972.2021.05.009.

[23] 郭新全, 王亦进, 宋作才, 等. 原发膝关节骨关节炎病人全下肢立位力线测量研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2001, 12(2): 126-129. DOI:10.3969/j.issn.1008-1062.2001.02.018.

GUO X Q, WANG Y J, SONG Z C, *et al*. Research on the weight transmission line of whole lower extremities in primary osteoarthritis of the knee[J]. J China Clin Med Imaging, 2001, 12(2): 126-129. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1062.2001.02.018.

[24] 王飞, 尚剑. 股骨前弓与髓内钉匹配性的研究进展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(12): 1097-1100. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20210709-00331.
WANG F, SAHNG J. Research progress concerning match between femoral anterior arch and intramedullary nail[J]. Chin J Orthop Trauma, 2021, 23(12): 1097-1100. DOI: 10.3760/cma.j.cn115530-20210709-00331.

[25] THIESEN D M, PRANGE F, BERGER-GROCH J, *et al*. Femoral antecurvation—A 3D CT analysis of 1232 adult femurs[J]. PLoS One. 2018,9;13(10):e0204961. DOI: 10.1371/journal.pone.0204961.

[26] MARATT J, SCHILLING P L, HOLCOMBE S, *et al*. Variation in the femoral bow: a novel high-throughput analysis of 3922 femurs on cross-sectional imaging[J]. J Orthop Trauma, 2014: 28(1): 6-9. DOI: 10.1097/BOT.0b013e31829ff3c9.

[27] 乔永涛, 刘惠双, 刘杰. 不同年龄段、性别体检人群人体成分对比分析[J]. 河南医学研究, 2018, 27(23): 4254-4256. DOI:969/j.issn.1004-437X.2018.23.011.
QIAO Y T, LIU H S, LIU J. Comparative analysis of body composition of physical examination population of different ages and sexes[J]. Henan Med Res, 2018, 27(23): 4254-4256. DOI:969/j.issn.1004-437X.2018.23.011.

[28] 孙小舒, 杨滨, 姚杰, 等. X线片拍摄角度对膝骨关节炎患者下肢力线测量误差的影响[J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 33.
SUN X S, YANG B, YAO J, *et al*. Influence of shooting angle of X-ray film on measurement error of lower limb force line in patients with knee osteoarthritis[J]. J Med Biomech, 2021, 36(S1): 33.

[29] 廖煜胜, 彭伟清, 胡栢均. 全膝关节置换术前应用双下肢全长摄影对不同体位下肢负重轴线的影响[J]. 实用医院临床杂志, 2021, 18(1): 171-173. DOI:10.3969/j.issn.1672-6170.2021.01.048.
LIAO Y S, PENG W Q, HU B J. The effect of full-length photography of both lower extremities applied before total knee ar-throplasty on weight-bearing axial alignment of the lower extremities at different positions[J]. Pract J Clin Med, 2021, 18(1): 171-173. DOI:10.3969/j.issn.1672-6170.2021.01.048.

(**收稿**:2023-12-06;**修回**:2024-01-18)
(编辑 栗 嘉)