

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2023.15.006
文章编号: 1005-8982 (2023) 15-0032-06

骨折专题·论著

电阻应变式传感器在下肢牵引手术中的应用*

夏睿, 徐玮, 刘雷, 田丰, 徐泽, 方诗元

[中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院) 创伤骨科, 安徽 合肥 230001]

摘要: **目的** 研究电阻应变式传感器(RSS)在不同下肢骨折类型手术中的应用。**方法** 选择2020年10月—2022年8月中国科学技术大学附属第一医院收治的外伤性下肢骨折患者99例,按照骨折类型分为股骨粗隆间骨折组79例、股骨干骨折组15例、股骨颈骨折组5例。患者均在牵引床上行闭合复位内固定术,使用RSS测量3组不同骨折类型手术中的初始牵引力、牵引时长、松解牵引力。记录手术时间、术中出血量,术后评分及3组不同骨折类型手术前后血色素变化及输血情况;比较使用不同内固定方式(长髓内钉、短髓内钉、空心钉)的术中牵引力和手术出血量、手术时间;比较长髓内钉固定患者和短髓内钉固定患者时下肢旋转角度。**结果** 3组不同骨折类型初始牵引力、牵引时长、松解牵引力、手术时长、术中出血量、术后评分比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。3组不同骨折类型术前、术后血红蛋白、红细胞压积比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。3组术中输血情况比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),术后输血情况比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。使用不同内固定方式的患者牵引总时长、年龄、术中出血量、手术时间比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);初始牵引力、松解牵引力比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。长髓内钉固定患者和短髓内钉固定患者下肢旋转角度比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 术中使用RSS可以获取下肢牵引力的详细数值,从而保障手术的安全,为智能化复位收集资料。

关键词: 电阻应变式传感器; 下肢牵引手术; 测量; 应用

中图分类号: R683.42

文献标识码: A

Application of resistive strain gauge sensor as a novel measurement tool in lower limb traction surgery*

Xia Rui, Xu Wei, Liu Lei, Tian Feng, Xu Ze, Fang Shi-yuan

[Department of Trauma Orthopaedics, The First Affiliated Hospital of USTC(Anhui Provincial Hospital), Hefei, Anhui 230001, China]

Abstract: Objective To measure and study the changes in intraoperative traction values of different types of lower limb fractures by using resistive strain gauge sensors (RSS), and to analyze relevant surgical data. **Methods** From October 2020 to August 2022, 99 patients with traumatic lower limb fractures were selected from The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, and there were three types of fractures: intertrochanteric fracture group ($n = 79$), femoral shaft neck fracture group ($n = 15$), and femoral neck shaft fracture group ($n = 5$). The patients underwent closed reduction and internal fixation surgery on the traction bed, and the initial traction force, traction duration, and traction force value at release in three different types of fracture surgeries were measured using RSS. The surgical time, intraoperative bleeding, postoperative score, and changes in hemoglobin and blood transfusion before and after surgery for the three different types of fractures were recorded; the intraoperative traction value, surgical bleeding volume, and surgical time of different internal fixation methods

收稿日期: 2023-05-06

*基金项目: 2022年安徽省重点研究与开发计划项目(No: 20220101020017); 2021年安徽省社会科学创新发展研究课题(No: 2021CX121)

(long intramedullary nails, short intramedullary nails, and multiple hollow nails) were compared; the difference in lower limb rotation angle was compared between patients with long intramedullary nails fixation and patients with short intramedullary nails fixation. **Results** There were differences in initial traction force, traction duration, traction force value at release, surgical duration, intraoperative bleeding, and postoperative score among the three groups of different fracture types ($P < 0.05$). There were differences in preoperative and postoperative hemoglobin and hematocrit among the three groups of different fracture types ($P < 0.05$). There was a difference in intraoperative blood transfusion among the three groups ($P < 0.05$), while there was no statistically significant difference in postoperative blood transfusion ($P > 0.05$). There were differences in total traction time, age, bleeding volume, and surgical time among patients using different internal fixation methods ($P > 0.05$); but there was no statistically significant difference in the initial traction force and the traction force value at release ($P > 0.05$). There was no statistically significant difference in lower limb rotation angle between patients with long intramedullary nails fixation and patients with short intramedullary nails fixation ($P > 0.05$). **Conclusion** The use of RSS during surgery can obtain detailed values of lower limb traction force, thereby ensuring the safety of surgery and collecting data for intelligent reduction.

Keywords: resistive strain gauge sensor; lower limb traction surgery; measurement; application

股骨粗隆间骨折、股骨颈骨折和股骨干骨折是常见下肢骨折^[1]。临床多行手术固定骨折部位,促进愈合^[2]。术前牵引复位,满意后再进行内固定操作是手术治疗下肢骨折的重要环节^[3]。但因传统的牵引床没有记录牵引力、下肢旋转角度的装置,故牵引复位过程中常难以达到复位标准,影响内固定操作^[4]。本研究将电阻应变式传感器(resistive strain gauge sensors, RSS)安装在骨科下肢手术牵引床上,以获得术中下肢牵引的临床数据,从而监控手术的安全,为进一步设计智能化复位机器人提供支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2020 年 10 月—2022 年 8 月中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)收治的外伤性下肢骨折患者 99 例,按照骨折类型分为股骨粗隆间骨折组 79 例、股骨干骨折组 15 例、股骨颈骨折组 5 例。纳入标准:采用牵引床闭合复位髓内钉内固定术,必要时采用小切口辅助复位者。排除标

准:无法耐受手术;病理性骨折复合伤患者;合并多发骨折;严重肝、肾、心、肺功能障碍者。患者及其家属签订知情同意书,本研究经医院医学伦理委员会审核批准(伦理批准号:2022-RE-400)。

1.2 传感器选型和牵引床的改装

根据应用场景需要,选择量程 50 kg、精度 0.05% F.S 拉力传感器测量手术过程中的下肢牵引力。力值显示单元选择 ALZN-2F 型号仪表,该仪表不但能实时显示测量力值,还可以实时按键清零。选择水平角度测量复位时下肢旋转的角度。见图 1、2。

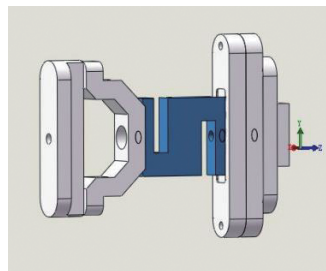


图 1 传感器的设计图纸



图 2 加装了 RSS 的牵引床和显示仪表

1.3 手术方法

所有患者行牵引床闭合复位髓内钉内固定术,必要时采用小切口辅助复位。安装有传感器骨科牵引床组件,麻醉满意后,牵引内收内旋髋关节复位。透视确认复位满意后,锁紧牵引床组件。股骨粗隆间骨折组在股骨大粗隆顶点近端约 5 cm 处切长约 4~6 cm 切口;切开深筋膜,钝性分离臀中肌,在股骨大粗隆顶点置入导针;透视确认进针点合适、导针位于股骨髓腔内后,依次扩髓,插入髓内钉主钉;安装近端锁定瞄准器,透视下调整进钉深度及前倾角,向股骨颈部置入头钉并锁紧,更换远端瞄准器拧入远端锁钉;锁入尾帽后缝合、包扎伤口。股骨干骨折组的手术步骤同上,复位困难的患者使用小切口辅助复位。股骨粗隆间骨折组和股骨干骨折组均使用捷迈 ZNN 股骨近端髓内钉固定。长髓内钉直径 10.0 mm/11.5 mm,长度为 340~400 mm;短髓内钉直径 9.3 mm/10.0 mm/11.5 mm,长度均为 180 mm。短髓内钉常规远端锁入锁钉 1 枚,长髓内钉锁入锁钉 2 枚。股骨颈骨折组在牵引床上闭合复位,使用威高空心钉固定。

1.4 观察指标

①3 组不同骨折类型手术的初始牵引力(牵引

断端复位满意可以植入内固定时的力值,即最大牵引力值)、牵引时间、松解牵引力(主钉植入完毕,松解牵引进行远端锁钉时的牵引力值,视为维持牵引的力值)、手术时间、术中出血量、术后患侧髋关节 Harris 功能评分^[5]。②3 组不同骨折类型手术前后的血红蛋白、红细胞压积,以及术中、术后的输血情况。③使用不同内固定方式(长髓内钉、短髓内钉、空心钉)的术中牵引力、术中出血量、手术时间。④长髓内钉固定和短髓内钉固定患者下肢旋转角度。

1.5 统计学方法

数据处理采用 SPSS 19.0 统计软件。计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较行 *t* 检验或方差分析;计数资料以构成比或率(%)表示,比较行 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 组不同骨折类型手术患者一般资料比较

3 组患者的性别构成、骨折部位、身高、体重、受伤至入院时间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。3 组患者的年龄比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);股骨粗隆间骨折组患者年龄大于股骨干骨折组和股骨颈骨折组。见表 1。

表 1 3 组不同骨折类型手术患者一般资料的比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	部位 例(%)		身高/(cm, $\bar{x} \pm s$)	体质量/(kg, $\bar{x} \pm s$)	受伤至入院时间/ (h, $\bar{x} \pm s$)
				左	右			
股骨粗隆间骨折组	79	25/54	77.10 ± 12.61	41(51.90)	38(48.10)	161.36 ± 8.88	57.93 ± 13.45	43.88 ± 70.45
股骨干骨折组	15	7/8	52.46 ± 18.45	9(60.00)	6(40.00)	164.20 ± 7.17	63.73 ± 11.25	54.53 ± 92.72
股骨颈骨折组	5	2/3	53.20 ± 3.70	1(20.00)	4(80.00)	163.00 ± 8.60	67.40 ± 9.52	40.80 ± 57.97
χ^2 / F 值		1.336	26.580	2.425		0.720	2.270	0.305
<i>P</i> 值		0.513	0.000	0.297		0.489	0.109	0.859

2.2 3 组不同骨折类型手术患者的治疗情况比较

3 组患者的松解牵引力比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。3 组患者的初始牵引力、牵引时间、手术时间、术中出血量、术后患侧髋关节 Harris 功能评分比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);股骨干骨折的组初始牵引力、牵引时间、手术时间、术中出血量、术后患侧髋关节 Harris 功能评分高于股骨粗隆间骨折组和股骨颈骨折组。见表 2。

2.3 3 组不同骨折类型手术患者手术前后的血红蛋白、红细胞压积比较

3 组患者术前血红蛋白比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);股骨粗隆间骨折组、股骨干骨折组血红蛋白低于股骨颈骨折组。3 组患者术后血红蛋白比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。3 组手术前后血红蛋白差值比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。3 组患者术前红细胞压积比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。3 组患者术后红细胞压积比较,

表 2 3组不同骨折类型手术患者治疗情况比较

组别	n	初始牵引力/(kg, $\bar{x} \pm s$)	牵引时间/(min, $\bar{x} \pm s$)	松解牵引力/(kg, $\bar{x} \pm s$)	手术时间/(min, $\bar{x} \pm s$)
股骨粗隆间骨折组	79	21.48 ± 8.24	71.77 ± 21.52	4.42 ± 7.54	110.58 ± 51.80
股骨干骨折组	15	25.82 ± 10.49	93.40 ± 32.38	4.01 ± 5.26	152.20 ± 79.76
股骨颈骨折组	5	13.85 ± 7.97	72.20 ± 20.36	-0.02 ± 5.44	94.60 ± 51.16
χ^2 / F 值		3.830	5.430	1.222	3.770
P值		0.025	0.006	0.543	0.027

组别	术中出血量/(mL, $\bar{x} \pm s$)	术后患侧髋关节 Harris 功能评分 ($\bar{x} \pm s$)	内固定方式 例(%)		
			髓内钉	长髓内钉	空心钉
股骨粗隆间骨折组	133.54 ± 150.58	71.04 ± 15.80	56(70.89)	23(29.11)	0(0.00)
股骨干骨折组	280.00 ± 241.86	85.80 ± 14.81	1(6.67)	14(93.33)	0(0.00)
股骨颈骨折组	36.66 ± 23.09	83.00 ± 9.00	0(0.00)	0(0.00)	5(100.00)
χ^2 / F 值	15.218	4.070		121.941	
P值	0.001	0.021		0.000	

差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。3组手术前后红细胞压积差值比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。同组内比较, 股骨粗隆间骨折组、股骨颈骨折组术前和术后血红蛋白比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 股骨干骨折组术后血红蛋白较术前降低

($P < 0.05$)。股骨粗隆间骨折组术后红细胞压积较术前增大 ($P < 0.05$), 股骨干骨折组、股骨颈骨折组术前和术后红细胞压积比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

表 3 3组不同骨折类型手术患者术前、术后血红蛋白、红细胞压积比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	血红蛋白(g/L)			红细胞压积(L/L)		
		术前	术后	差值	术前	术后	差值
股骨粗隆间骨折组	79	97.00 ± 18.38	101.75 ± 19.14	-4.75 ± 21.86	0.57 ± 2.44	2.62 ± 8.08	-2.05 ± 8.53
股骨干骨折组	15	103.21 ± 18.28	96.06 ± 22.29	9.64 ± 15.89	0.31 ± 0.05	0.30 ± 0.08	0.02 ± 0.06
股骨颈骨折组	5	120.60 ± 18.74	116.80 ± 15.08	3.80 ± 6.57	0.35 ± 0.05	0.34 ± 0.04	0.01 ± 0.02
F值		4.290	2.130	7.677	0.090	0.800	4.845
P值		0.017	0.125	0.021	0.911	0.451	0.089

2.4 3组术中、术后输血情况比较

3组患者术中输血和未输血占比比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 术后输血和未输血占比比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 4。

2.5 不同种类内固定方式患者的临床资料比较

不同种类内固定方式患者的牵引总时间、年龄、术中出血量、手术时间比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 初始牵引力、松解牵引力比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 5。

表 4 3组不同骨折类型手术患者术中、术后输血情况比较 例 (%)

组别	n	术中		术后	
		输血	未输血	输血	未输血
股骨粗隆间骨折组	79	55(69.62)	24(30.38)	24(30.38)	55(69.62)
股骨干骨折组	15	10(66.67)	5(33.33)	7(46.67)	8(53.33)
股骨颈骨折组	5	0(0.00)	5(100.00)	0(0.00)	5(100.00)
χ^2 值		10.116		3.955	
P值		0.006		0.138	

表 5 使用不同内固定方式患者的手术相关因素比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	牵引总时间/min	初始牵引力/kg	松解牵引力/kg	年龄/岁	术中出血量/mL	手术时间/min
长髓内钉	37	87.02 ± 26.78	22.46 ± 9.77	3.89 ± 7.11	63.40 ± 18.01	272.97 ± 231.11	140.24 ± 69.23
短髓内钉	57	67.56 ± 19.99	21.98 ± 8.05	4.66 ± 7.31	79.50 ± 11.44	81.57 ± 44.95	102.28 ± 45.38
空心钉	5	72.20 ± 20.36	13.85 ± 7.97	-0.02 ± 5.44	53.20 ± 3.70	36.66 ± 23.09	94.60 ± 51.16
F 值		8.220	2.190	1.113	19.410	39.800	5.590
P 值		0.001	0.118	0.573	0.000	0.000	0.005

2.6 使用长髓内钉和短髓内钉固定患者的下肢旋转角度比较

长髓内钉固定患者 8 例, 下肢旋转角度为 $(35.77 \pm 16.30)^\circ$; 短髓内钉固定患者 20 例, 下肢旋转角度为 $(39.56 \pm 11.27)^\circ$ 。长、短髓内钉固定患者下肢旋转角度比较, 差异无统计学意义 ($t = -0.710$, $P = 0.480$)。

3 讨论

3.1 传感器在骨科临床上的运用

传感器可以采集人体相关信息, 将其转换成医学电信号^[6]。以电阻应变计为转换元件的传感器称为 RSS, 可以测量力、压力、扭矩、位移、加速度和温度等多种物理量^[7]。声发射传感器可以监测股骨内部损伤和预防生物型股骨柄打击入股骨髓腔造成的医源性骨折的发生, 并且可以监视股骨柄假体的植入深度。目前, 声发射传感器在髋关节置换手术中预防股骨端骨折的应用越来越多^[8-9]。

3.2 计算机辅助技术可在骨折闭合复位前进行轨迹规划

使用计算机辅助技术在骨折闭合复位前对轨迹进行规划, 可有效避免位移和角度的偏差。目前在尸体标本上进行机器人辅助下的复位研究, 显示出了较高的精准度^[10]。高精度骨折复位系统利用连接在骨折段的销钉和一个定制夹具, 可以实现在 6 个自由度上高精度的骨折复位, 并且使医务人员可以在远离辐射源的地方工作^[11]。牵引是骨折复位最重要的环节^[12]。牵引床上进行复位就是采用夹具固定足部进行间接复位的原理, 利用强大的牵引力来分配骨应力, 然而牵引的过程并不能准确地控制骨折碎片的位置^[13]。膝盖和踝关节阻碍了牵引的应力准确地直接地作用到股骨碎片上, 这使得骨位置的控制变得非常困难。控制骨折复

位机器人可利用腿部的外力/扭矩测量来实现精确的骨折复位, 将定位误差从 6.8 mm 和 15.9° 分别降低到 0.7 mm 和 5.3° ^[14]。利用牵引台上的并联机器人进行股骨干骨折复位, 可以更好地恢复骨折前肢体长度和机械轴, 实现骨折复位和对齐的定量控制^[15]。并联机器人采用粗调和精调模式时, 可以有效地减少轴向偏差、横向平移和角度的平均误差, 使股骨骨折更好地复位, 减少患者和医生的辐射暴露^[16]。机器人辅助骨折复位系统中可对外科医生、定位机器人和牵引装置进行人机协同控制, 通过强大的肌肉收缩力来减少定位机器人的负荷, 更安全地进行骨折复位手术^[17]。国内有研究制备模块化牵引型夹板, 利用激光位移传感器及拉力传感器测试了夹板的牵引效果及随时间变化的情况^[18]。

3.3 骨科牵引床附加传感器的方法意义

下肢复位的前提是充分牵引, 利用下肢的牵引及旋转达到下肢骨折的复位, 骨科牵引手术床主要用于对通过将脚固定在足套里进行下肢的牵引, 同时也可以配合使用胫骨结节或股骨髁上等骨牵引增加牵引的强度^[19]。现有的骨科手术牵引床的牵引动作主要依靠人力的拉伸, 耗费体力的同时会出现施力不稳定、不精确的情况^[20]。本研究使用传感器精细分析下肢的牵引力, 其中传感器的安装是关键, 涉及到采集数据的可用性、准确性, 通过测绘牵引床末端机械接口, 实现在不破坏原有结构、不改变牵引方式的基础上加装了拉力传感器以实现数据的采集。本研究结果表明: 股骨干骨折所需要的牵引力最大、牵引时间最长, 因为股骨干复位时需要克服的肌群拮抗力值大。而老年的股骨粗隆间骨折断端肌群牵拉力小。股骨颈骨折属于关节囊内骨折, 复位时所需要的牵引力最低^[21]。使用长髓内钉固定的骨折多属于不稳定

性骨折, 需要多次复位调整及小切口辅助复位, 所以术中牵引力、术中出血量均大于短髓内钉固定患者, 牵引时间、手术时间均长于短髓内钉固定患者。长髓内钉和短髓内钉患者复位时下肢旋转角度比较, 差异无统计意义, 还需要后期更多的病例测试证实。股骨干骨折组术前、术后血红蛋白丢失最明显, 因为股骨干髓内钉经过数次的扩髓, 以及小切口辅助复位的血液丢失。股骨颈多钉治疗是经皮空心钉固定, 没有切开显露, 出血少, 几乎不需要输血治疗。下肢手术尤其是老年髋部的骨折容易发生隐性失血, 严重威胁患者的生命健康。本研究加强了股骨粗隆间骨折的围手术期管理, 重视其可能发生的隐性失血, 术前、术后及时输血, 使股骨粗隆间患者手术前后的失血情况得到了控制, 具体反映在血红蛋白以及红细胞压积没有显著降低。

综上所述, RSS 安装在牵引床上可以获取下肢手术中的牵引力和旋转角度, 从而保障手术的安全, 为智能化复位收集资料。

参 考 文 献 :

- [1] OZMEN E, BALCI H İ, SALDUZ A, et al. Limb salvage results of Gustilo IIIC fractures of the lower extremity[J]. *Acta Orthop Belg*, 2022, 88(3): 569-573.
- [2] SCALA A, BORRELLI A, IMPROTA G. Predictive analysis of lower limb fractures in the orthopedic complex operative unit using artificial intelligence: the case study of AOU Ruggi[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 22153.
- [3] CHANG S M, HOU Z Y, HU S J, et al. Intertrochanteric femur fracture treatment in Asia: what we know and what the world can learn[J]. *Orthop Clin North Am*, 2020, 51(2): 189-205.
- [4] 林成寿, 林旺, 王盈盈, 等. 下肢骨折牵引复位装置在胫骨骨折微创手术中的应用[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2022, 37(4): 378-382.
- [5] HARRIS W H. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1969, 51(4): 737-755.
- [6] MARMOR M T, GRIMM B, HANFLIK A M, et al. Use of wearable technology to measure activity in orthopaedic trauma patients: a systematic review[J]. *Indian J Orthop*, 2022, 56(7): 1112-1122.
- [7] MOHAMMED A F Y, SULTAN S M, LEE J, et al. Deep-reinforcement-learning-based IoT sensor data cleaning framework for enhanced data analytics[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(4): 1791.
- [8] 梁颖. 用于结构健康监测的声发射传感器研究[D]. 太原: 中北大学, 2022.
- [9] WEI J C J, CREZEE W H A, JONGENEEL H, et al. Using acoustic vibrations as a method for implant insertion assessment in total hip arthroplasty[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(4): 1609.
- [10] 黄晨, 郑伟, 任亚明, 等. 计算机虚拟技术联合骨盆复位架治疗骨盆C型骨折的疗效[J]. *中国骨伤*, 2022, 35(4): 323-328.
- [11] 张浩然, 刘建宇, 马志强, 等. 外固定在下肢骨折中的应用进展[J]. *医学综述*, 2021, 27(1): 121-125.
- [12] KIM W Y, JOUNG S, PARK H, et al. Human-robot-robot cooperative control using positioning robot and 1-DOF traction device for robot-assisted fracture reduction system[J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2022, 236(5): 697-710.
- [13] INGOLE P D, RAJGURU J G, BUDHRAJA N J, et al. ATOM technique: anatomic reduction using screw-wire traction for open reduction and internal fixation of mandibular fractures[J]. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 2022, 48(2): 122-124.
- [14] ZHAO J X, LI C S, REN H L, et al. Evolution and current applications of robot-assisted fracture reduction: a comprehensive review[J]. *Ann Biomed Eng*, 2020, 48(1): 203-224.
- [15] ZHAO K, ZHANG J Z, WANG Z Z, et al. Multiplanar fracture reducer versus manual traction in the treatment of tibial shaft fractures with intramedullary nails[J]. *Int Orthop*, 2022, 46(4): 911-917.
- [16] CUI R, LI J, JIANG Y K, et al. Trajectory optimisation with musculoskeletal integration features for fracture reduction orthopaedic robot[J]. *Int J Med Robot*, 2022, 18(2): e2372.
- [17] XU H F, LEI J T, HU L, et al. Constraint of musculoskeletal tissue and path planning of robot-assisted fracture reduction with collision avoidance[J]. *Int J Med Robot*, 2022, 18(2): e2361.
- [18] 孔博, 何云涛, 颜威, 等. 模块化牵引型夹板生物力学性能测试与评价[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2018, 26(3): 5-9.
- [19] 朱任艳, 戚彩亚. 不同手术体位下行 PFNA-II 内固定治疗老年股骨转子间骨折的临床疗效[J]. *临床与病理杂志*, 2022, 42(10): 2503-2509.
- [20] 王磊, 杜宇, 白雪松, 等. 下肢骨牵引的临床应用与进展[J]. *内蒙古医科大学学报*, 2022, 44(3): 325-329.
- [21] 杨宝珍, 周斌, 秦春花, 等. PFNA 内固定术中使用骨科手术牵引床体位安置的临床研究进展[J]. *微创医学*, 2022, 17(6): 776-779.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 夏睿, 徐玮, 刘雷, 等. 电阻应变式传感器在下肢牵引手术中的应用[J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33(15): 32-37.

Cite this article as: XIA R, XU W, LIU L, et al. Application of resistive strain gauge sensor as a novel measurement tool in lower limb traction surgery[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2023, 33(15): 32-37.