

· 基础研究 ·

智能化兔膝关节持续被动活动康复仪的研制及其在兔胫骨平台骨折术后康复中的应用

胡庆奎¹ 李佳¹ 蔡贤华² 丁然² 胡承红³ 鲁齐林⁴

¹湖北中医药大学针灸骨伤学院, 武汉 430061; ²中国人民解放军中部战区总医院骨科, 武汉 430070; ³武汉市康复按摩医院康复科 430000; ⁴湖北六七二中西医结合骨科医院骨科, 武汉 430079

通信作者: 蔡贤华, Email: Wgcaixh@163.com

【摘要】 目的 自行研制一套智能化兔膝关节持续被动活动(CPM)康复仪,并将其应用于兔胫骨平台骨折术后膝关节的早期康复中。**方法** 根据仿生学原理设计,自制智能化兔膝关节 CPM 康复仪器,主要由核心机械、电控、控制程序三部分组成。选取 6 月龄雄性新西兰大白兔 20 只,行胫骨平台骨折术后,按随机数字表法分为 CPM 组和自由活动组。CPM 组采用 CPM 康复仪器行早期关节活动康复,每日训练 1 次,每次 30 min,共 4 周。2 组大白兔均于造模前和造模成功后第 3、7、14、21、28 天进行体重监测以及术侧膝关节活动度和肿胀程度测量,并于造模成功 28 d 后于光镜下观察 2 组大白兔术侧关节软骨的病理结构。**结果** 自制智能化兔膝关节 CPM 康复仪器运行过程安全可靠,可带动 3 只兔子同步运动,并可准确、方便地调节膝屈曲角度、运动速度和运动时间,其智能化满足实验要求。造模后第 3 天,2 组大白兔的平均关节活动度与组内造模前比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);造模成功后第 28 天,CPM 组的平均肿胀程度和平均关节活动度分别为(135.05 ± 1.70)°和(0.175 ± 0.002)cm,与自由活动组同时时间点比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。造模成功 28 d 后,CPM 组的骨折处畸形程度以及骨折线处的光滑度均优于自由活动组。造模成功 28 d 后,CPM 组缺损区优势组织以透明软骨为主,自由活动组缺损区优势组织以纤维软骨修复为主,且 CPM 组缺损区域与邻近关节软骨结合情况、软骨细胞新生情况、软骨细胞排列、细胞层次以及软骨下潮线恢复情况等均优于自由活动组。**结论** 智能化兔膝关节 CPM 康复仪器是一种简便可靠、效果较好的胫骨平台骨折术后早期康复器械,其不仅可以促进兔子胫骨平台骨折处塑形和软骨的修复,还可改善膝关节活动度,消除肿胀。

【关键词】 持续被动活动; 早期康复; 胫骨平台骨折

基金项目: 中国科协青年人才托举工程第三届(2017QNRC001);国家自然科学基金青年科学基金项目(81804165);湖北中医药大学针灸治未病科研团队项目(2017ZXZ004)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.01.002

An instrument for inducing continuous passive motion after fracture of the tibial plateau in rabbits

Hu Qingkui¹, Li Jia¹, Cai Xianhua², Ding Ran², Hu Chenghong³, Lu Qilin⁴

¹Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430061, China; ²Department of Orthopaedics, The General Hospital of the Central Theater Command of the People's Liberation Army, Wuhan 430070, China; ³Department of Rehabilitation, Wuhan Rehabilitation and Massage Hospital, Wuhan 430000, China; ⁴Department of Orthopaedics, Hubei 672 Orthopaedics Hospital of Integrated Chinese & Western Medicine, Wuhan 430079, China

Corresponding author: Cai Xianhua, Email: Wgcaixh@163.com

【Abstract】 Objective To design and develop intelligent rehabilitation equipment for administering continuous passive motion (CPM) of a rabbit's knee joint after tibial plateau fracture. **Methods** The equipment constructed had three main parts: the core machinery, electronic control and a control program designed based on bionics principles. Twenty six-month-old New Zealand White male rabbits were randomly divided into sedentary (SED) and CPM groups after their knees had been fractured. The rabbits in the CPM group were given 30 min of early joint rehabilitation once a day for 4 weeks using the CPM equipment, while those in the SED group were kept in their cages and allowed free activity without any special exercise program. The body weight, range of motion and swelling of the affected knee joint were measured before the fracture and on the 3rd, 7th, 14th, 21st and 28th days after the fracture. On the 28th day after the fracture the pathological structure of the articular cartilage on the operative side was observed under a light microscope. **Results** The equipment ran safely and reliably, and drove the rabbits to move synchro-

nously. It could accurately and conveniently adjust the knee flexion angle, movement speed and movement time. The intelligence of the equipment met the experimental requirements. On the 3rd day after the operation the average range of motion in the joints of both groups had changed significantly compared to that before the fracture. On the 28th day after the fracture the average degree of swelling and range of motion in the CPM group were significantly different from those of the SED group. On the 28th day, deformity and the smoothness of the fracture line in the CPM group were superior to those in the SED group. Moreover, the dominant tissues in the defect area of the CPM group were mainly hyaline cartilage while those in the SED group were mainly repair fibrocartilage. The defect area and its adjacent articular cartilages, chondrocyte regeneration and arrangement, layers of cells and subchondral tidal line recovery of the CPM group were better than in the SED group on average. **Conclusion** The equipment for knee joint manipulation is convenient to use, reliable and effective for the early rehabilitation of tibial plateau fracture, at least in rabbits. It promotes remodeling of the fracture and cartilage repair after tibial plateau fracture, and also improves range of motion in the knee and reduces swelling.

【Key words】 Passive motion; Tibial plateau fracture; Rehabilitation equipment

Fund program: Third Session of the China Association of Science and Technology (grant 2017QNR001); the National Natural Science Foundation of China's Youth Science Foundation (grant 81804165); an Acupuncture and Moxibustion Preventive Research Team Project of Hubei University of Traditional Chinese Medicine (12017ZXZ004)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.01.002

膝关节作为机体最复杂的关节,容易发生损伤,胫骨平台骨折术后关节功能的康复有利于骨折的愈合以及减轻肌肉粘连^[1]。临床研究已经证实,胫骨平台骨折术后采用膝关节持续被动活动(continuous passive motion, CPM)可减轻胫骨平台骨折术后患者膝关节的肿胀和疼痛程度,促进其膝关节活动度的快速恢复^[2-3]。针对兔膝关节疾病的基础研究表明,CPM 治疗可显著改善兔膝关节软骨和韧带的运动生物学特性,其对膝关节软骨病变以及韧带的恢复均有积极作用,是一种较好的治疗手段^[4-5]。目前,鲜见针对兔膝关节骨折术后的 CPM 治疗及其关节康复器材的标准化研究。本研究根据 6 月龄成年雄性新西兰大白兔膝关节的生理特点,研制了符合兔膝关节的智能化 CPM 基础康复设备,并将该设备运用于兔胫骨平台骨折模型内固定术后的康复治疗,获得了良好的效果。

材料与方法

一、兔智能化 CPM 康复设备的制造

1. 设计技术指标: 根据仿生学原理设计一种机械装置,用于兔胫骨平台骨折术后的智能化 CPM 康复。技术指标: ①仪器使用带有 winCE 系统的 7 英寸触摸主屏幕,输入相应参数即可控制兔子膝关节运动角度、速度、频率以及运动时间;电控系统采用稳定便宜的可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)控制器,并安装定制程序,驱动电机;电机采用 86 步进电机力度达 12 N/m。②兔固定盒采用基于 CAD 软件设计下的不锈钢板激光切割、打孔、折弯、钣金,焊接,能根据兔子形体大小和形态进

行调节,动物感觉舒适安全并且不受伤害,兔膝关节在自然状态下进行较长时间持续被动活动。③支架采用工业铝型材通过螺钉组装。兔智能化 CPM 康复设备基本结构组成如图 1。

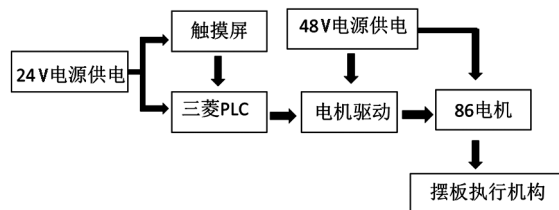


图 1 兔智能化 CPM 康复设备组成图

2. 基本构件: 装置研制包括机械部分、电器控制部分和软件部分。兔身固定盒有 5 cm 长度变动范围,可根据兔的大小进行调节,其内有大腿固定板,固定垂板用于固定兔的后大腿。小腿固定摆板是固定兔小腿的装置,又是带动兔膝关节进行 CPM 的主要部件,可在可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)智能软件的设置下,以 $40^{\circ} \rightarrow 110^{\circ} \rightarrow 40^{\circ}$ (角度可调) 范围内循环活动,每一周期运动时间、运动速度以及运动角度均可调,方向为以垂线向后 40° 到 110° 翻转。兔身固定盒表面使用柔软的人造革(polyurethane, PU)以增加舒适度,尼龙带用于固定兔身及大、小腿,保证松紧度适宜,并不对肌肉、关节等造成损伤。弹性联轴器用于在光轴摆动过程中减缓电机轴承对小腿固定摆板的冲击。主控机箱包括触摸屏、PLC、步进电机驱动器和电源。兔智能化 CPM 康复实体装置(HSAI-1 型,专利号: 201821220600.9)如图 2 所示。

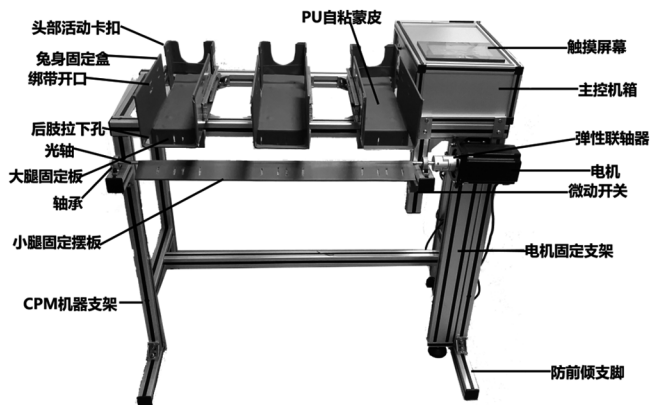


图2 兔智能化 CPM 康复设备实物图

二、实验动物与分组

选用纯种雄性新西兰大白兔 20 只,平均兔龄为 (6.1 ± 0.6) 个月,平均体重为 (2.10 ± 0.50) kg,分笼饲养。采用随机数字表法分为 CPM 组与自由活动组,每组 10 只(即 10 个膝关节),本研究经湖北中医药大学针灸伤学院伦理学会批准。

三、动物模型制备

1.麻醉剃毛:所有兔子均用右膝关节造模。实验兔子先用 3%戊巴比妥钠(30 mg/kg 体重)经兔耳缘静脉注射麻醉,先缓慢推入麻醉药 3 ml,边推入麻醉药边观察兔子的反应,以棉签刺激眼球,观察兔子的生命体征情况,如出现反应迟钝,则进入麻醉期。3 ml 注射完后,掐兔子尾巴,如兔子反应不明显,则为麻醉成功。然后采用专用长毛兔剃毛器剃除手术区域毛发,边剃毛发边用大功率吸尘器吸毛,以免造成兔毛污染手术区域。

2.造模方法:将兔内侧髌斜形劈裂模仿 Schatzker IV 型骨折^[6],手术范围常规消毒,无菌操作下依次切开兔的右侧膝关节皮肤、皮下组织及关节囊,暴露胫骨平台。①通道建立——采用笔式无线锂电电锯,锯片直径 1.5 cm,厚度 0.3 mm,转速 12 000 r/min,以髌韧带和内侧副韧带为起点斜行切割出截骨通道,通道深度可达 5 mm,注意不可切到髌韧带和内侧副韧带;②截骨——取 2 mm 宽的窄骨凿,轻柔间断的沿着截骨通道垂直截骨,约凿开 3~4 个截骨小洞,深度不超过 1 cm,再用 0.8 mm 的薄锯宽 7 mm 的带有刻度的骨刀截骨,造成兔内侧胫骨平台劈裂骨折;③固定和缝合——用直径 1 mm 的丝钻在截取骨块关节面下 2 mm 垂直骨折线钻出约 3 mm 的进钉通道,再用直径 1.5 mm,10 mm 长小动物专用加压螺钉固定胫骨平台,将胫骨骨折复位内固定后采用 5-0 线层缝合缝合切口;④包扎——用网状弹力绷带包扎伤口后再用常规弹力绷带再次包扎,包扎后 24 h 内观察兔子脚水肿情况,如出现水肿,则需要解开常规弹

力绷带。术后给予青霉素抗感染 2 d 治疗。造模成功标准参照文献[7-8]。

四、干预方法

CPM 组于造模成功后第二天即采用自制兔智能化 CPM 康复仪进行治疗,通过触摸屏调整参数,调整频率为 66 Hz,调整脉冲数为 88,调整间隔时间为 2 s,CPM 机器摆板角度为 40° - 110° - 40° 和 40° - 110° - 40° ,带动兔子膝关节连续被动屈伸^[9],每日训练 1 次,每次训练 30 min,连续治疗 4 周[实验过程中,CPM 组大白兔训练 2 d 后,有 4 只兔子(4 个膝关节)出现关节血肿,立即调整其大、小腿固定带,血肿逐渐减轻,继续 CPM 训练],详见图 3。自由活动组仅笼内自由活动^[4],不做干预。

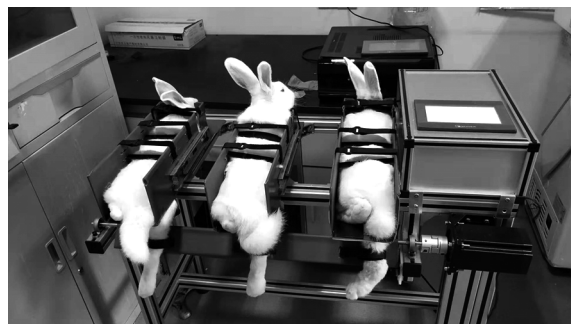


图3 CPM 组兔子行 CPM 治疗

四、观察指标和取材方法

先检测自制智能化兔膝关节 CPM 康复仪器的作用,然后对 2 组大白兔于造模前和造模成功后第 3、7、14、21、28 天进行体重监测、膝关节活动度(膝关节活动度使用量角器测量^[10],以免患侧膝关节屈伸最大角度为测定值,每个膝关节测量 3 次取其均值)和肿胀程度测量。

于造模成功 28 d 后处死 2 组大白兔,取出兔子胫骨标本,观察大体外观,切取骨折线附近的软骨及软骨下骨标本,将标本不连续切片,每个蜡块切取 6 张切片,然后进行苏木精-伊红(hematoxylin-eosin, HE)染色后,光镜下观察关节软骨的病理结构。

五、统计学分析

所有数据采用 SPSS 20.0 版统计软件包进行统计分析,均值采用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,采用 t 检验进行数据分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、自制智能化兔膝关节 CPM 康复仪器的作用

自制智能化兔膝关节 CPM 康复仪器运行过程安全可靠,可带动 3 只兔子同步进行 CPM 训练,并可准确、方便地调节膝屈曲角度、运动速度和运动时间,其智能化满足实验要求。

二、2 组大白兔不同时间点平均体重、平均关节活动度和平均肿胀程度比较

造模前,2 组大白兔的平均体重、平均关节活动度和平均肿胀程度组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。造模后第 3 天,2 组大白兔的平均关节活动度与组内造模前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$);造模成功后第 3、7、14、21 天,CPM 组的平均体重、平均肿胀程度和平均关节活动度与自由活动组同时时间点比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);造模成功后第 28 天,CPM 组的平均体重与自由活动组比较,差异仍无统计学意义($P>0.05$),但其平均肿胀程度低于自由活动组,平均关节活动度则要高于自由活动组,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 1。

表 1 2 组大白兔不同时间点平均体重、平均关节活动度和平均肿胀程度比较($\bar{x}\pm s$)

组别	膝关节数 (只)	平均体重 (kg)	平均膝关节 活动度($^{\circ}$)	平均肿胀程度 (cm)
自由活动组				
造模前	10	2.10 $\pm$ 0.42	135.94 $\pm$ 1.55	—
造模后第 3 天	10	2.02 $\pm$ 0.51	132.56 $\pm$ 1.63 ^a	0.342 $\pm$ 0.001
造模后第 7 天	10	2.04 $\pm$ 0.45	133.75 $\pm$ 1.59	0.202 $\pm$ 0.002
造模后第 14 天	10	2.10 $\pm$ 0.53	134.28 $\pm$ 1.53	0.195 $\pm$ 0.002
造模后第 21 天	10	2.13 $\pm$ 0.52	134.64 $\pm$ 1.62	0.182 $\pm$ 0.001
造模后第 28 天	10	2.16 $\pm$ 0.45	135.05 $\pm$ 1.70 ^b	0.175 $\pm$ 0.002 ^b
CPM 组				
造模前	10	2.08 $\pm$ 0.52	135.94 $\pm$ 1.55	—
造模后第 3 天	10	2.04 $\pm$ 0.44	132.52 $\pm$ 1.54 ^a	0.345 $\pm$ 0.001
造模后第 7 天	10	2.05 $\pm$ 0.48	132.80 $\pm$ 1.35	0.209 $\pm$ 0.001
造模后第 14 天	10	2.09 $\pm$ 0.52	133.03 $\pm$ 1.78	0.199 $\pm$ 0.002
造模后第 21 天	10	2.12 $\pm$ 0.47	133.24 $\pm$ 1.53	0.187 $\pm$ 0.001
造模后第 28 天	10	2.15 $\pm$ 0.53	133.45 $\pm$ 1.62	0.184 $\pm$ 0.001

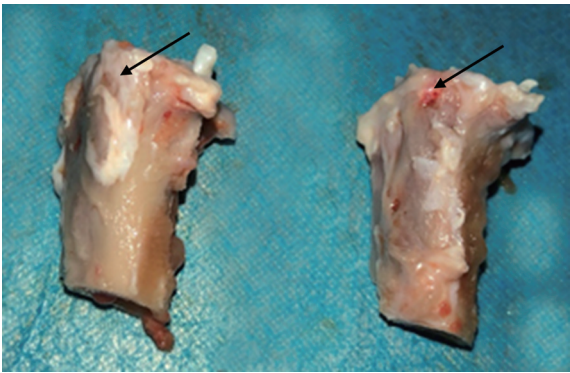
注:—为造模前无肿胀;与组内造模前比较,^a $P<0.05$;与自由活动组同时时间点比较,^b $P<0.05$

三、形态学观察

造模成功 28 d 后,CPM 组缺损区关节骨折区域表面轮廓恢复完全,骨折线处的表面较为平整、光滑,关节内无明显粘连和退变;自由活动组骨折区域表面轮廓恢复较完全,骨折线处表面欠光滑、平整,详见图 4。

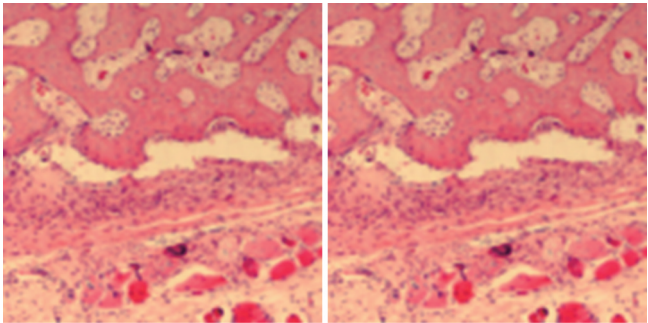
四、关节软骨组织学观察

造模成功 28 d 后,CPM 组缺损区以透明软骨为主,修复组织与邻近正常关节软骨结合较紧密,软骨细胞数量较多,表层细胞则相对较少,软骨细胞排列比较整齐,细胞层次明显;自由活动组缺损区优势组织以纤维软骨修复为主,修复组织与邻近正常关节软骨结合欠紧密,深层虽有少量软骨细胞生成,但数目相对较少,软骨细胞形态多数呈现不规则,且排列欠规律,细胞层次不明显,软骨下潮线消失,详见图 5。



注:左侧为 CPM 组,箭头所指骨折线处表面凸起较少,光滑;右侧为自由活动组,箭头所指骨折线处表面凸凹不平,欠光滑

图 4 2 组大白兔胫骨标本



CPM 治疗组

自由活动组

图 5 造模成功 28 d 后 2 组大白兔软骨组织观察(HE 染色, $\times 40$)

讨 论

本研究结果显示,CPM 训练不仅可以促进兔子胫骨平台骨折处的塑形和关节软骨的修复,还可改善膝关节活动度,消除肿胀,表明本课题组自制的智能化兔膝关节 CPM 康复仪器是一种简便可靠、效果较好的胫骨平台骨折术后早期康复器械。

胫骨平台骨折为临床常见的膝关节内骨折类型,其内固定手术的目的不仅是骨折的复位和恢复膝关节力线,更重要的是恢复膝关节功能^[11-14]。因此,如何在胫骨平台骨折固定后确保骨折愈合的同时,尽早恢复膝关节功能活动成为了手术后亟待解决的问题^[15-16]。Courtts 等^[17]将 CPM 装置成功地应用于人体上,获得了较好的疗效。有研究通过对模型兔子关节组织愈合和再生的各种生物学效应的研究发现,兔子对 CPM 耐受性良好、无痛,可刺激关节组织的愈合和再生,防止关节僵硬,并有利于切口正常愈合^[18]。陈威雄等^[19]和黄红拾等^[20]采用 CPM 训练对兔膝关节软骨疾病及韧带疾病进行干预,结果发现,CPM 可刺激双重分化能力的细胞向关节软骨转化,缓解滑膜关节损伤后的自身免疫性损害,改善关节软骨的营养和代谢,减少腱骨间过度活动,触发并加强腱骨界面间成

骨细胞活性,增强骨组织之间的整合,促进局部血液循环。本研究是以兔子胫骨平台骨折为模型的术后康复研究,兔子胫骨平台骨折术后 CPM 治疗促进骨折局部成骨细胞和破骨细胞共同调控,相互积极影响,促进骨折处的塑形,其关节软骨修复和膝关节活动度的改善与以往文献报道一致^[19-20]。

在整个实验过程中,本课题组自制的智能化兔膝关节 CPM 康复仪器运行良好,安全性高,噪音较低,震动较小,可驱动 3 只兔子同步进行膝关节 CPM 治疗;而操作人员也可以触屏操作,准确、方便地设置膝关节屈曲角度、运动速度和时间,满足实验要求。本课题组还发现,在整个实验过程中,CPM 组的大白兔可安静耐受 30 min 的 CPM 训练,且膝关节未出现坠积性水肿,皮肤无破损、压疮或骨折,伤口愈合良好。

本研究证实了自制的智能化兔膝关节 CPM 康复仪可较好地应用于兔膝关节相关疾病的治疗,但仍有一些不足之处,如兔子固定装置调节范围有限,仅适合常规大小(2~4 kg)的兔子,超出范围则难贴合兔固定装置;同时在 CPM 康复仪器运行过程中,需要操作人员密切观察兔子的行为活动,有部分兔子可能因尼龙固定带的捆绑而挣脱或者撕咬尼龙带,引起固定不稳定。本课题组将在后期的研究中进一步改进设备,以求更好地开展骨科康复以及运动医学科研实验。

参 考 文 献

- [1] Unno F, Lefavre KA, Osterhoff G, et al. Is early definitive fixation of bicondylar tibial plateau fractures safe? An observational cohort study [J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(3): 151-157. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000779.
- [2] 刘颖, 刘显东, 曹万军, 等. 持续被动运动对胫骨平台骨折术后膝关节功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(7). DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.07.012.
- [3] 陈荣, 孙志波, 孙晨, 等. 胫骨平台骨折术后早期持续被动运动对膝关节内炎症及功能的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2018, 33(4), 349-352. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2018.04.005.
- [4] Chang NJ, Lee KW, Chu CJ, et al. A preclinical assessment of early continuous passive motion and treadmill therapeutic exercises for generating chondroprotective effects after anterior cruciate ligament rupture[J]. Am J Sports Med, 2017, 45(10): 2284-2293. DOI: 10.1177/0363546517704847.
- [5] Chang NJ, Shie MY, Lee KW, et al. Can early rehabilitation prevent posttraumatic osteoarthritis in the patellofemoral joint after anterior cruciate ligament rupture? Understanding the pathological features[J]. Int J Mol Sci, 2017, 18(4): 829. DOI: 10.3390/ijms18040829.
- [6] 王维彬, 姜保国, 韩大成, 等. 兔胫骨平台骨折愈合中的骨密度变化[J]. 中国组织工程研究, 2011, 15(26): 4854-4856. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8225.2011.26.026.
- [7] Walton NP, Harish S, Roberts C, et al. AO or Schatzker? How reliable is classification of tibial plateau fractures? [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2003, 123(8): 396-398. DOI: 10.1007/s00402-003-

0573-1.

- [8] Markhardt BK, Gross JM, Monu JU. Schatzker classification of tibial plateau fractures: use of CT and MR imaging improves assessment [J]. Radiographics, 2009, 29(2): 585-597. DOI: 10.1148/rg.292085078.
- [9] Salter RB, Simmonds DF, Malcolm BW, et al. The biological effect of continuous passive motion on the healing of full-thickness defects in articular cartilage. An experimental investigation in the rabbit [J]. J Bone Joint Surg Am 1980, 62(8): 1232-1251. DOI: 10.1007/978-1-4471-5451-8_111.
- [10] 吕倩怡. 不同浓度臭氧对兔膝关节活动度及关节液中 MMP-13 含量的影响[J]. 国际医药卫生导报, 2017, 23(1): 16-17. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1007-1245.2017.01.004.
- [11] Qatu AM, Haglin JM, Konda SR, et al. Participation in recreational athletics after Operative fixation of tibial plateau fractures: predictors and functional outcomes of those getting back in the game [J]. Orthop J Sports Med, 2017, 5(12): 2325967117743916. DOI: 10.1177/2325967117743916.
- [12] Wu J, Wang Y, Zhou F, et al. Trans-articular Kirschner wire fixation in treating complex tibial plateau fractures complicated by multiple ligaments injuries: a case report and literature review [J]. Injury, 2018, 49(2): 382-385. DOI: 10.1016/j.injury.2017.11.015.
- [13] Konda SR, Driesman A, Davidovitch RI, et al. Tibial eminence involvement with tibial plateau fracture predicts slower recovery and worse postoperative range of knee motion [J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(7): 387-392. DOI: 10.1097/BOT.0000000000000833.
- [14] Tang HC, Chen IJ, Yeh YC, et al. Correlation of parameters on preoperative CT images with intra-articular soft-tissue injuries in acute tibial plateau fractures: a review of 132 patients receiving ARIF [J]. Injury, 2017, 48(3): 745-750. DOI: 10.1016/j.injury.2017.01.043.
- [15] Gittings D, Hesketh P, Dattilo J, et al. Arthroscopic lysis of adhesions improves knee range of motion after fixation of intra-articular fractures about the knee [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(12): 1631-1635. DOI: 10.1007/s00402-016-2561-2.
- [16] Erdil M, Yildiz F, Kuyucu E, et al. The effect of sagittal plane deformities after tibial plateau fractures to functions and instability of knee joint [J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2016, 83(1): 43-46.
- [17] Von Schroeder HP, Coutts RD, Jr BE, et al. The changes in intramuscular pressure and femoral vein flow with continuous passive motion, pneumatic compressive stockings, and leg manipulations [J]. Clin Orthop Relat Res, 1991, 266: 218. DOI: 10.1097/00003086-199105000-00034.
- [18] Salter RB, Hamilton HW, Wedge JH, et al. Clinical application of basic research on continuous passive motion for disorders and injuries of synovial joints: a preliminary report of a feasibility study [J]. J Orthop Res, 1984, 1(3): 325-342.
- [19] 陈威雄, 张长杰. 持续被动运动对兔膝全层关节软骨缺损修复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(11): 644-647.
- [20] 黄红拾, 敖英芳, 于运花, 等. 持续被动活动对兔重建前交叉韧带生物力学特性的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2008, 27(3): 283-285. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2008.03.004.

(修回日期: 2018-10-12)

(本文编辑: 阮仕衡)