·临床研究·

超声与X线在Ilizarov骨搬移术后监测中的对比研究

冯一帆 周 鑫 张 进 姚 婷 石 颖

摘 要 **目的** 比较超声与X线对Ilizarov骨搬移术后搬移区的监测价值。**方法** 选取在我院行Ilizarov骨搬移术的患者19例，分别于术后第1周、第3~4周、第6~8周、第14~16周及第24周行高频超声检查、X线检查和临床评估，观察新生骨痂在超声与X线的变化趋势，比较新生骨痂量的超声、X线半定量评分及所测搬移距离。**结果** 第1周至第6~8周，新生骨痂量的超声半定量评分均大于X线半定量评分，第24周超声半定量评分小于X线半定量评分，差异均有统计学意义（均$P<0.05$）。第14~16周，超声半定量评分与X线半定量评分相等。超声所测第24周搬移距离为（7.01±3.24）cm，与X线测值[（8.36±3.48）cm]比较差异有统计学意义（$P<0.05$）；其余时间两种技术所测搬移距离比较差异均无统计学意义。**结论** 与X线比较，高频超声可在搬移更早期观测到新生骨痂，但在搬移后期提示作用有限；超声可作为Ilizarov骨搬移术后长期的常规监测手段。

关键词 超声检查；X线；Ilizarov骨搬移术；新生骨痂

[中图法分类号]R445.1；R687.34 [文献标识码]A

Comparative study of ultrasound and X-ray monitoring after Ilizarov bone transfer

FENG Yifan, ZHOU Xin, ZHANG Jin, YAO Ting, SHI Ying

Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

ABSTRACT **Objective** To compare the monitoring value of ultrasound and X-ray after Ilizarov bone transfer. **Methods** Nineteen patients who received Ilizarov bone transfer in our hospital were selected. High-frequency ultrasound examination, X-ray examination and clinical evaluation were performed at the 1st week, 3rd to 4th week, 6th to 8th week, 14th to 16th week, and 24th week after surgery, respectively. The new callus changing trend of ultrasound and X-ray were observed. The new callus volume was evaluated by ultrasound and X-ray semi-quantitative score, and the migration distance was measured. **Results** From the 1st week to 6th to 8th week, the ultrasonic semi-quantitative score of new callus was higher than that of X-ray semi-quantitative score, and the ultrasonic semi-quantitative score was lower than that of the X-ray semi-quantitative score at 24th week, and the differences were statistically significant (all $P<0.05$). During the 14th to 16th week, the ultrasound semi-quantitative score was equal to the X-ray semi-quantitative score. The migration distance measured by ultrasound at the 24th week was (7.01±3.24) cm, which was significantly different from that measured by X-ray (8.36±3.48) cm ($P<0.05$). There were no significant difference of migration distance between the two techniques at other times. **Conclusion** Compared with X-ray, the new callus can be observed by high-frequency ultrasound in the early stage of migration, but the warning effect is limited in the late stage of migration. Ultrasound can be used as a long-term routine monitoring method after Ilizarov bone transfer.

KEY WORDS Ultrasonography; X-ray; Ilizarov bone; New callus

Ilizarov骨搬移术是目前临床治疗骨髓炎、感染性骨不连及外伤导致的骨缺损的一种行之有效的新技术，因骨搬移患者治疗周期长，治疗过程中易产生一系列并发症，如骨不愈合或延时愈合、搬移区软组织及神经血管牵拉伤、肢体力线问题、领近关节脱位等，一旦失败对生活影响巨大，因此早期对新生骨痂及并

基金项目：山西省卫生健康委科研课题（2018058）；山西省留学人员科技活动择优资助基金项目（20210028）

作者单位：030001 太原市，山西医科大学（冯一帆、周鑫、张进、姚婷）；山西医科大学第二医院超声科（石颖）

通讯作者：石颖，Email：shiying@sxmu.edu.cn

发症监测至关重要。研究[1]表明，X线可在骨搬移中后期有效显示骨痂，且是衡量肢体力线的金标准，可准确测量延长区长度；但是在早期无法显示骨痂。研究[2-3]表明，超声可较X线更早地显示新生骨痂，且还可观测骨搬移早期搬移区血流，但其在后期骨痂塑形时期应用价值有限。目前对骨折断端骨痂愈合的研究较多，对Ilizarov骨搬移术搬移端骨痂愈合的研究较少，所以亟需一种可对骨延长过程进行长期、动态的监测技术，以便随时调整临床措施，最终提高骨延长的成功率。而骨痂质量、搬移区骨痂长度是决定骨搬移术预后的主要因素。本研究通过比较Ilizarov骨搬移术后第1~24周搬移区新生骨痂超声、X线半定量评分及超声与X线所测搬移距离，探讨二者对其的监测价值。

资料与方法

一、研究对象

选取2017年12月至2020年4月在山西医科大学第二医院行Ilizarov搬移术的胫骨骨缺损患者19例，其中男18例，女1例，年龄26~62岁，平均(46.11±12.60)岁；病程1周~8年，中位数4年零7周。手术部位均为胫骨，其中胫骨上段14例，胫骨下段5例；位于左侧11例，右侧8例。手术原因：慢性骨髓炎7例，骨折术后骨髓炎4例，骨不愈合3例，外伤5例。所有患者术后每隔1~2周行高频超声检查。纳入标准：①同时行超声及X线检查的患者；②随访依从性好、资料完整者。排除标准：①骨搬移过程中感染复发者；②无完全民事行为能力者；③随访依从性差、资料不全者。本研究经医院医学伦理委员会批准，所有患者均签署知情同意书。

二、仪器与方法

1.超声检查：使用Logiq E 9彩色多普勒超声诊断仪，ML6-15Hz线阵探头，频率6~15 MHz；C1-6Hz凸阵探头，频率1~6 MHz。患者取半坐位，暴露截骨端，在截骨端皮肤表面涂抹耦合剂，分别在胫骨前侧12点和或内侧3点(当骨缺损长度较长或观测受环形外固定架限制时)对搬移区进行纵向及横向扫查，超声波束的方向垂直于骨表面，二维超声观察骨痂形态、骨痂生成量及周围软组织情况，并测量搬移距离。根据截骨区边缘骨皮质的清晰度、超声波的透射率及高回声骨痂的情况对新生骨痂量进行超声4分半定量评分[1,4]，具体：0分，超声波完全透过，间隙边缘清晰，无明显高回声；1分，超声波部分透过，间隙边缘可识别，高回声区<50%；2分，超声波部分透过，部分间隙边缘模糊，高回声区≥50%；3分，超声波完全不能透过，间隙边缘不可见，呈正常骨皮质线样强回声。均重复测量5次取平均值。所有操作均由同一具有10年以上工作经验的超声科医师完成。

2.X线检查：使用Philips Digital Diagnost DR 3.1 X线成像仪，获取骨痂形态及骨痂生成量，测量搬移距离，并在搬移后期评估患者的肢体力线。根据X线上骨填充量对新生骨痂量进行X线4分半定量评分[1,4]，具体：0分，搬移区完全无骨；1分：搬移区骨填充量<50%；2分，搬移区骨填充量≥50%；3分，搬移区完全骨填充。均重复测量5次取平均值。所有操作均由同一具有10年以上工作经验的放射科医师完成。

3.临床检查：通过双手触诊评估胫骨及周围软组织，以及邻近膝关节、踝关节的活动性，同时观察感染和伤口裂开的迹象。

4.观察指标：观察胫骨搬移术后第1周、第3~4周、第6~8周、第14~16周及第24周新生骨痂量的超声半定量评分及X线半定量评分的变化趋势，比较二者半定量评分及所测搬移距离。

三、统计学处理

应用SPSS 23.0统计软件，符合正态分布的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示，不同时间段超声与X线所测搬移区距离比较行配对样本t检验；不符合正态分布的计量资料以中位数表示，不同时间段新生骨痂量超声半定量评分与X线半定量评分比较行配对样本Wilcoxon符号秩和检验。延长过程中不同时间段新生骨痂量比较行Kruskal-Wallis检验。P<0.05为差异有统计学意义。

结　果

19例患者年龄、胫骨缺损长度及不同时间段新生骨痂超声和X线半定量评分见表1。

一、搬移区新生骨痂量超声半定量评分与X线半定量评分的变化趋势

1.定性观察：同一时间段两种检查方式的半定量评分不同，且随着周数增加，分别呈现不同趋势：①第1周，超声即可观察到呈高回声的新生骨痂，此时X线显示骨痂量半定量评分为0分；②第1周至第3~4周，超声显示新生骨痂呈上升趋势，此时X线显示骨痂量半定量评分依旧为0分；③第3~4周至第24周，超声显

表1　19例患者年龄、胫骨缺损长度及不同时间段新生骨痂量超声和X线半定量评分

病例	年龄（岁）	缺损长度（cm）	超声半定量评分（分）					X线半定量评分（分）				
			第1周	第3~4周	第6~8周	第14~16周	第24周	第1周	第3~4周	第6~8周	第14~16周	第24周
1	33	6.03	1	2	2	3	3	0	1	1	2	3
2	46	8.23	1	2	2	2	3	0	0	1	2	3
3	41	7.00	0	2	2	2	1	0	0	1	2	3
4	44	11.36	1	2	2	2	1	0	1	1	2	3
5	32	6.08	1	2	2	2	1	0	1	1	2	3
6	40	7.59	1	2	2	2	3	0	0	1	2	3
7	39	9.17	0	2	2	2	2	0	0	1	2	3
8	60	10.04	1	2	2	2	1	0	1	2	3	3
9	26	16.29	0	1	2	2	1	0	0	1	2	3
10	57	4.61	0	1	2	2	2	0	0	1	2	3
11	40	12.37	0	2	2	2	2	0	0	1	2	3
12	61	7.36	1	2	2	3	3	0	1	2	3	3
13	57	17.28	0	1	1	3	3	0	0	1	3	3
14	60	8.55	1	2	2	2	2	0	0	1	2	3
15	54	7.00	0	2	2	2	1	0	0	2	2	3
16	34	9.01	1	2	2	2	2	0	1	2	2	3
17	62	5.65	1	2	2	2	3	0	0	1	2	3
18	61	18.87	0	1	2	2	1	0	0	1	2	3
19	29	3.08	0	2	2	3	3	0	1	1	3	3

示新生骨痂量呈稳定不变趋势，X线显示骨痂量半定量评分呈稳定上升趋势；④第14~16周，两折线相交，超声与X线测得新生骨痂量持平，交点后X线半定量评分较超声半定量评分增高。见图1。

2.定量比较：第1周至第6~8周，新生骨痂量的超声半定量评分均大于X线半定量评分，第24周超声半定量评分小于X线半定量评分，差异均有统计学意义（均$P<0.05$）。第14~16周，超声半定量评分与X线半定量评分相等。见图2，3和表2。

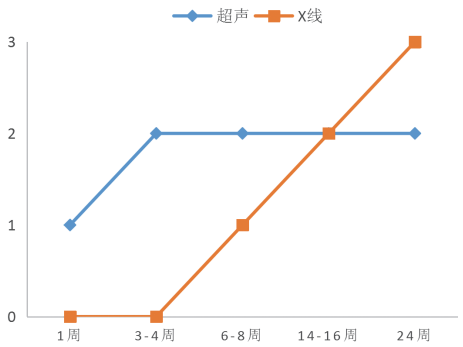
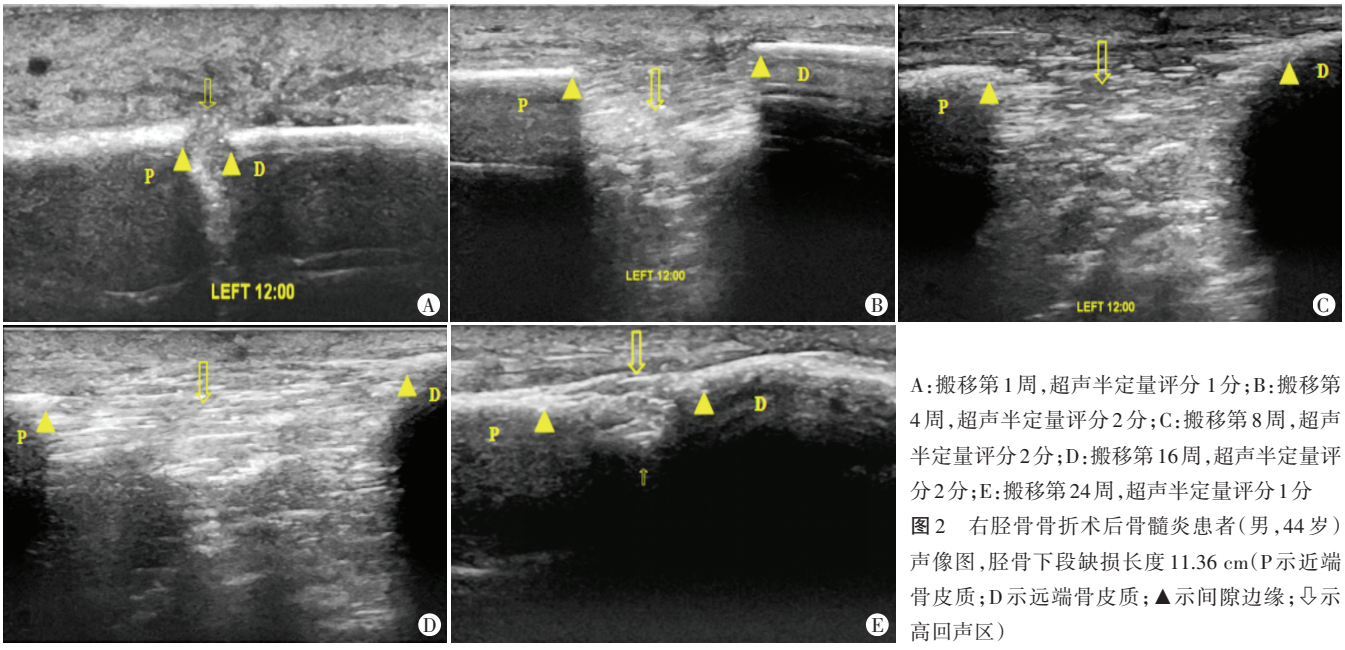
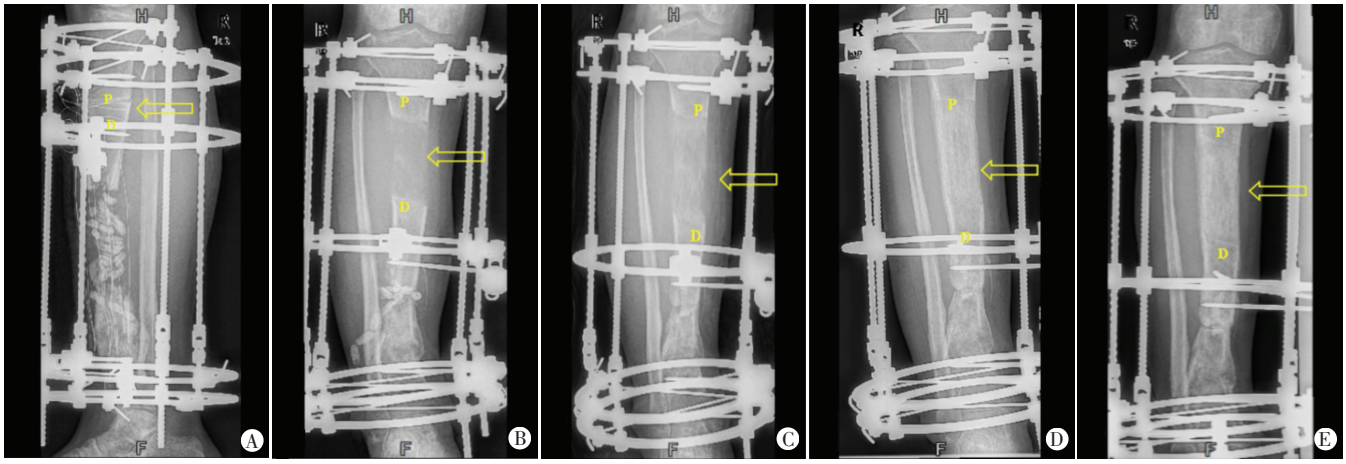


图1　超声与X线对新生骨痂量的半定量评分随时间变化趋势



A：搬移第1周，超声半定量评分1分；B：搬移第4周，超声半定量评分2分；C：搬移第8周，超声半定量评分2分；D：搬移第16周，超声半定量评分2分；E：搬移第24周，超声半定量评分1分

图2　右胫骨骨折术后骨髓炎患者（男，44岁）声像图，胫骨下段缺损长度11.36 cm（P示近端骨皮质；D示远端骨皮质；▲示间隙边缘；⇩示高回声区）



A：搬移第1周，X线半定量评分0分；B：搬移第4周，X线半定量评分1分；C：搬移第8周，X线半定量评分1分；D：搬移第16周，X线半定量评分2分；E：搬移第24周，X线半定量评分3分

图3　同图1患者X线平片（P示近端骨皮质；D示远端骨皮质；⇦示骨填充区）

表2　超声与X线对不同时间段新生骨痂量半定量评分比较　分

检查方法	第1周	第3~4周	第6~8周	第14~16周	第24周
超声	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
X线	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00
*Z*值	−3.162	−3.946	−3.742	0.000	−3.153
*P*值	0.002	0.000	0.000	1.000	0.002

二、超声与X线对第14~16周搬移区新生骨痂量半定量评分的一致性检验

超声与X线对第14~16周新生骨痂量的半定量评分具有较强的一致性（*Kappa*=0.683，*P*=0.000）。见表3。

表3　超声与X线对第14~16周新生骨痂量半定量评分的一致性检验　例

超声半定量评分	X线半定量评分		总计
	2分	3分	
2分	14	1	15
3分	1	3	4
总计	15	4	19

三、超声与X线所测不同时间段搬移距离比较

超声所测第24周搬移距离与X线比较差异有统计学意义（*P*<0.05）；其余时间比较差异均无统计学意义。见表4。

表4　超声与X线所测不同时间段搬移距离比较（$\bar{x}\pm s$）　cm

检测方法	第1周	第3~4周	第6~8周	第14~16周	第24周
超声	0.45±0.11	1.71±0.45	3.06±0.80	5.48±1.16	7.01±3.24
X线	0.46±0.11	1.72±0.45	3.07±0.80	5.49±1.16	8.36±3.48
*t*值	−1.788	−1.489	−2.036	−1.574	−6.780
*P*值	0.091	0.154	0.057	0.133	0.000

讨　论

近年来，Ilizarov骨搬移技术已成为一种公认的治疗骨髓炎、感染性骨不连、死骨形成等致使骨缺损的方法[5-7]，但其易产生各种术后并发症如骨不愈合、延时愈合等。以往术后依靠X线复查，仅在搬移4周、骨密度达到40%时才能在X线上显示新生骨痂[8]，无法早期、精准、动态监测患者骨搬移术后骨质及周围软组织的情况。而评估搬移区新生骨痂的数量和质量是判断Ilizarov骨搬移术预后的一个重要指标。临床上常用的评估方法包括临床检查、X线、超声检查及能谱CT。本课题组前期研究[4]及白宇等[9]均证实彩色多普勒超声可实时监测骨折端骨痂愈合过程及其血运变化，早期预测骨折愈合的趋势和预后，可提高骨延长成功率。因此推断除X线外，超声也可以作为Ilizarov骨搬移术后常规监测手段。本研究对19例行胫骨搬移术患者的截骨端进行24周定期监测，比较超声与X线对Ilizarov骨搬移术后搬移区的监测价值，旨在为其寻找一种有效、可持续的术后影像学监测手段。

本研究19例患者搬移进程均较顺利，均观察到良好的骨痂形成和骨痂重建塑形，在后期随访中均达到行走自如。当搬移区新生骨痂处于不同的临床愈合期时，在超声上表现为不同回声，如当新生骨痂处于血肿机化期时，因其未矿化，超声仅表现为低回声骨痂，当进入原始骨痂期时，纤维骨痂通过矿化进一步骨化，超声此时可以观测到多发高回声的新生骨痂。本研究结果显示，超声与X线对新生骨痂量的测定随时间变化趋势不同，超声在第1周即可观察到呈高回

声的新生骨痂，X线在第3~4周才开始观察到新生骨痂，与白宇等[9]对一般骨折术后骨痂愈合过程的影像学研究相符；且超声显示第1周新生骨痂量最少，从第3周开始新生骨痂量呈稳定不变趋势，这并非说明在这一阶段骨痂量确实无变化，而是由于第24周已到了搬移后期，对合端在24周前相接触，而搬移区骨痂处于后期矿化阶段，部分骨痂已完全矿化，超声所能观察到的现存骨痂量较最高峰（第24周X线上骨痂量达最高峰）稍有减少；而从第3周开始，X线才第一次显示骨痂，且呈稳定上升趋势；并在第14~16周时超声与X线测得新生骨痂量持平，之后X线半定量评分逐渐超越超声半定量评分。说明进入搬移中后期，随着矿化逐渐达到一定程度[8]，原先仅在超声显示的新生骨痂也可以在X线显示，更说明与X线比较，超声对初期未矿化的新生骨痂具有早期观测的优势。X线可在术后确定环形外固定架的位置及观测骨段是否对齐，但其具有一定局限性，如无法显示血肿机化期，无法早期评价搬移区的新生骨痂，仅当骨密度达到一定量时即矿化到一定程度后才能在X线显现，且患者反复暴露于电离辐射中，安全性欠佳[8-9]。

研究[1]表明，超声可以确定外固定架移除的时间，但在本研究中，超声无法明确提示外固定架移除的时间，需临床评估、超声评估及放射学联合评估确定。随着外固定架对搬移区的牵拉，超声及X线均可观测到近远端骨皮质间距离随时间不断被拉长。本研究结果显示，超声对第1~16周搬移距离的测量值与X线比较差异均无统计学意义，但测量数值均小于X线，分析原因为：随搬移进展，超声上截骨端两端骨皮质逐渐模糊，使得测量不再准确，X线上截骨端两端骨皮质界限分明，测量相对准确。超声所测第24周搬移距离与X线比较差异有统计学意义（$P<0.05$）；这是由于到了后期，骨搬移进入后期矿化阶段，X线表现为完全骨填充，但截骨端骨皮质依然界限分明，测量范围涵盖原搬移距离全长，在超声下反而表现为骨痂量减少，分析其原因为随着进一步矿化，截骨端骨皮质进一步模糊，部分骨皮质已形成致密的骨皮质线，超声波已完全无法透过，故超声仅能测定剩余的骨痂区长度。可见，超声可以提示早期骨痂形成和骨痂区情况，但在搬移后期尤其到24周后，对搬移区的定量测量已不准确。

本研究结果显示，超声不仅可准确评估Ilizarov骨搬移术后搬移区新生骨痂的质量和数量，准确测量搬移早中期距离，还可以直观观察搬移区周围软组织的情况。在搬移过程中本研究发现所有患者均存在搬移区周围软组织层水肿、增厚，推测可能与牵引过程中的炎症刺激有关，有利于促进骨痂的生长及愈合[4]。本研究结果显示，超声与X线对第14~16周新生骨痂量的半定量评分具有较强的一致性（$Kappa=0.683$，$P=0.000$）。表明高频超声同X线一样均可监测Ilizarov骨搬移术后14~16周搬移区预后。

综上所述，与X线比较，高频超声可在搬移更早期观测到新生骨痂，但在搬移后期提示作用有限；超声可作为Ilizarov骨搬移术后长期的常规监测手段。

参考文献

[1] Issar Y, Sahoo NK, Sinha R, et al. Comparative evaluation of the mandibular distraction zone using ultrasonography and conventional radiography[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2014, 43(5): 587-594.

[2] 姚志兰，贲丽媛，姚志娟，等. 骨延长术后骨痂愈合过程的多普勒超声监测[J]. 中国超声医学杂志，1997，13(1)：45-46.

[3] Caruso G, Lagalla R, Derchi L, et al. Monitoring of fracture calluses with color Doppler sonography[J]. J Clin Ultrasound, 2000, 28(1): 20-27.

[4] 周鑫，冯一帆，贺国宇，等. 高频超声监测骨搬移截骨端骨痂形成[J]. 临床超声医学杂志，2020，22(6)：478-480.

[5] 秦泗河，葛建忠，郭保逢. “牵拉成骨”与“牵拉组织再生”技术的来源与汉语表述[J]. 中华外科杂志，2012，50(5)：461.

[6] 李刚，秦泗河. 牵拉成骨技术的基础研究进展与带给骨科的启示[J]. 中华外科杂志，2005，43(8)：540-543.

[7] 秦泗河. Ilizarov技术概述[J]. 中华骨科杂志，2006，26(9)：642-645.

[8] Luk HK, Lai YM, Qin L, et al. Computed radiographic and ultrasonic evaluation of bone regeneration during tibial distraction osteogenesis in rabbits[J]. Ultrasound Med Biol, 2012, 38(10): 1744-1758.

[9] 白宇，庄小强，农德毅，等. 彩色多普勒超声与X线在监测骨折术后骨痂愈合过程中的价值[J]. 广西医科大学学报，2005，22(3)：386-387.

（收稿日期：2021-03-07）