

مطالعه اثرات بیومکانیکی و رادیوگرافی جریان‌های متفاوت الکتریسیته ثابت در ترمیم شکستگی استخوان زند زبرین در خرگوش

دکتر عبدالحمید میمندی پاریزی* دکتر غلامرضا زیدآبادی نژاد**

خلاصه :

۱۵ قطعه خرگوش نیوزیلندی سفید انتخاب و به سه گروه مساوی (گروه کنترل و دو گروه درمانی) تقسیم شدند. پس از آماده‌سازی جراحی و بیهوشی عمومی، در شرایط استریل، استخوان زند زبرین دست راست تمامی خرگوش‌ها به صورت عرضی از وسط بریده (شکسته) شد و هیچگونه تثبیت (داخلی یا خارجی) به کار برده نشد. استخوان شکسته شده گروه دوم با ۲۰ میکروآمپر و گروه سوم با ۴۰ میکروآمپر جریان مستقیم ثابت به مدت ۴۲ روز تحریک گردید و در گروه کنترل، تحریک الکتریکی صورت نگرفت. در روزهای صفر، ۲۱ و ۴۲ بعد از عمل از کلیه خرگوش‌ها رادیوگرافی به عمل آمد و بررسی‌های کلینیکی صورت گرفت. پس از ۴۲ روز خرگوش‌ها معدوم گردیده، استخوان شکسته شده و استخوان سالم اندام مقابل خارج گردیده و سپس تحت تست خمش قرار گرفتند.

لنگش جزئی در اندام عمل شده تا آخر دوره مشاهده گردید. از لحاظ رادیوگرافی در روز ۲۱ بعد از عمل در گروه‌های درمانی میزان تشکیل کالوس نسبت به گروه کنترل بیشتر بود. ثبات شکستگی در کلیه گروه‌ها در تمام طول دوره مطلوب و در هر سه گروه وضعیت مشابه بود. تخریب کامل کاتد و کاهش دانسیته استخوان در مواردی از گروه سوم در روز ۴۲ مشاهده گردید. از لحاظ بیومکانیکی هیچگونه اختلاف آماری معنی‌داری در فاکتورهای محاسبه شده بین گروه سوم با گروه کنترل و همینطور بین گروه دوم (به جز در فاکتور حداکثر استرس) با گروه کنترل وجود نداشت. در مقایسه دو گروه تحریک الکتریکی، افزایش معنی‌داری در حداکثر استرس و نیروی تسلیم ($p < 0.01$) در گروه دوم نسبت به گروه سوم مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی : تحریک الکتریکی، ترمیم شکستگی، استخوان زند زبرین، خرگوش

مقدمه :

بدن همواره نحوه التیام و عوامل مؤثر بر شکستگی و نیز راه‌های درمانی آن به عنوان یک مسئله مهم مدنظر بوده است. از مهمترین راه‌های درمانی و مؤثر بر التیام شکستگی، می‌توان استفاده از هورمون‌ها، داروها، ویتامین‌ها، پیوند استخوان، میدان مغناطیسی و تحریک الکتریکی را نام برد. تحریک الکتریکی به صورت

استخوان در مجموعه بدن انسان و حیوانات وظایف متعدد و مهمی را برعهده دارد که مهمترین آنها تشکیل اسکلت جهت حفظ قوام بدن و اعضای مهمی چون ریه، قلب، مغز و احشاء و همچنین انجام اعمال حرکتی می‌باشد. با توجه به نقش و اهمیت استخوان در

* - گروه آموزشی علوم درمانگاهی دانشکده دامپزشکی دانشگاه شیراز، شیراز - ایران.
** شبکه دامپزشکی استان کرمان، شهر بابک، ایران.

بافت‌های نرم را کنار زده سپس استخوان زند زیرین دست راست در تمامی گروه‌ها با استفاده از اهر ارتوپدی ظریف به صورت عرضی از وسط به طور کامل بریده شد و هیچگونه تثبیت (داخلی یا خارجی) در مورد استخوان بریده شده (شکسته شده) صورت نگرفت. در تمامی خرگوش‌ها یک قطعه سیم از جنس استیل خالص (Stainless steel) در کانال محل شکستگی به عنوان الکتروُد منفی (کاتد) قرار داده شده، سیم مزبور با یک بخیه در جای خود بر روی استخوان محکم گردید. الکتروُد مثبت (آند) نیز در خصوص گروه‌های تحریک در بافت نرم ناحیه قرار داده شد. بلافاصله پس از عمل استخوان شکسته شده خرگوش‌های گروه دوم با شدت جریان ۲۰ میکروآمپر و گروه سوم با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر جریان مستقیم ثابت به صورت مداوم تحریک گردید. در گروه کنترل هیچگونه تحریک الکتریکی صورت نگرفت. چگونگی قرار دادن الکتروُد‌ها به اندام و اتصال آنها به دستگاه تحریک الکتریکی در تصویر ۱ نشان داده شده است.

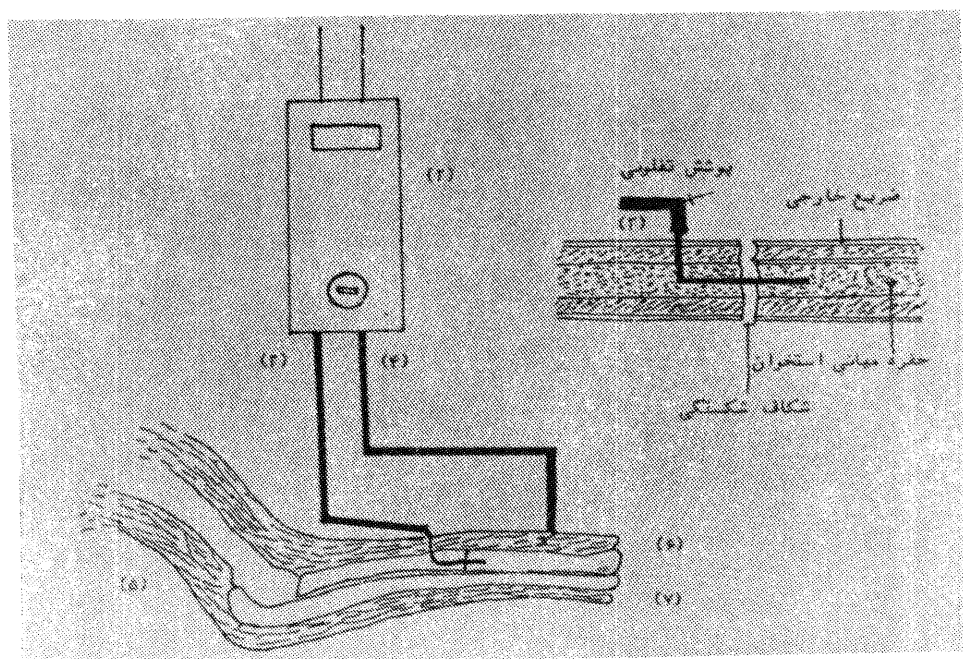
در کلیه خرگوش‌های سه گروه رادیوگراف‌های

مناسب در روزهای صفر، ۲۱ و ۴۲ بعد از عمل تهیه گردید و طول دوره مطالعه ۴۲ روز بود. بررسی کلینیکی نیز در کلیه خرگوش‌ها در طول دوره انجام گرفت. خرگوش‌ها ۴۲ روز بعد از عمل با استفاده از دوز بالای تیوپنتال سدیم معدوم گردیدند. پس از بازرسی دقیق موضع عمل، استخوان زند زیرین هر دو اندام (استخوان شکسته شده و استخوان سالم اندام مقابل) تمامی خرگوش‌ها برای انجام آزمایشات بیومکانیک از بدن آنها جدا گردید.

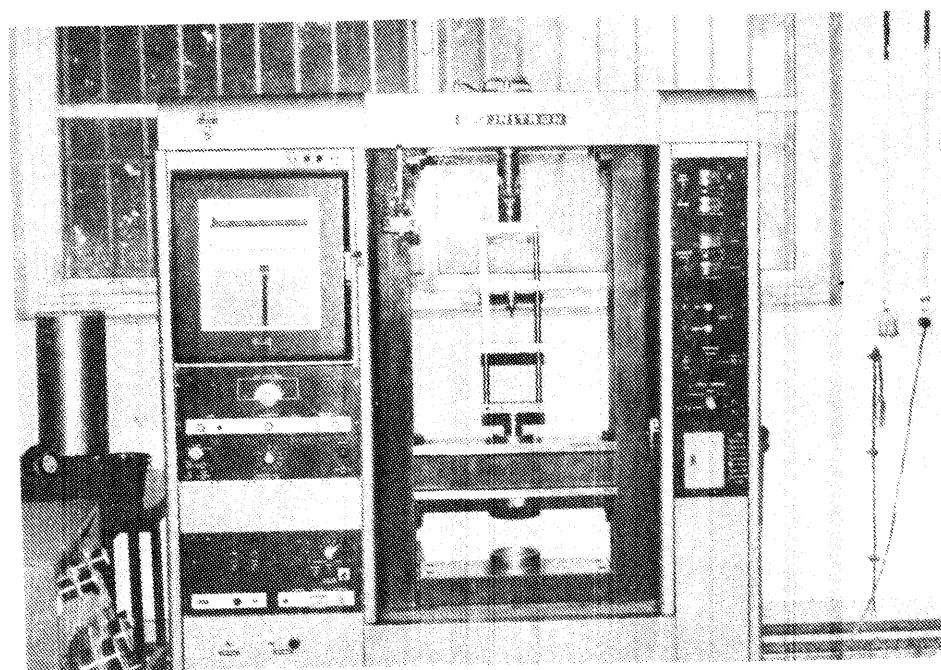
مختلف به اشکال تجربی و کلینیکی مورد آزمایش قرار گرفته است که براساس گزارش‌های مختلف کاربرد آن در ترمیم استخوان به خصوص موارد التیام ناپذیر (Non-union) مؤثر بوده است (۱، ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۸). با این حال هنوز ابهامات فراوانی در چگونگی کاربرد الکتریسیته، شدت جریان مناسب و نوع شدت جریان جهت التیام شکستگی، و اثرات آن بر خواص بیومکانیکی استخوان وجود دارد. به علاوه اینکه اکثر مطالعات تحریک الکتریکی بر روی استخوان درشت‌نی صورت گرفته در حالیکه استخوان‌های دیگر بدن از جمله زند زیرین (Radius) کلاً چهار التیام ناپذیری می‌شوند (۱۶) و مطالعه تحریک الکتریکی بر روی استخوان مزبور بسیار کم صورت پذیرفته است (۵). از اینرو در این مطالعه نحوه التیام استخوان مذکور از طریق تحریک الکتریسیته با جریان‌های مختلف مستقیم ثابت با روش‌های کلینیکی، رادیوگرافی و بیومکانیک مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش کار :

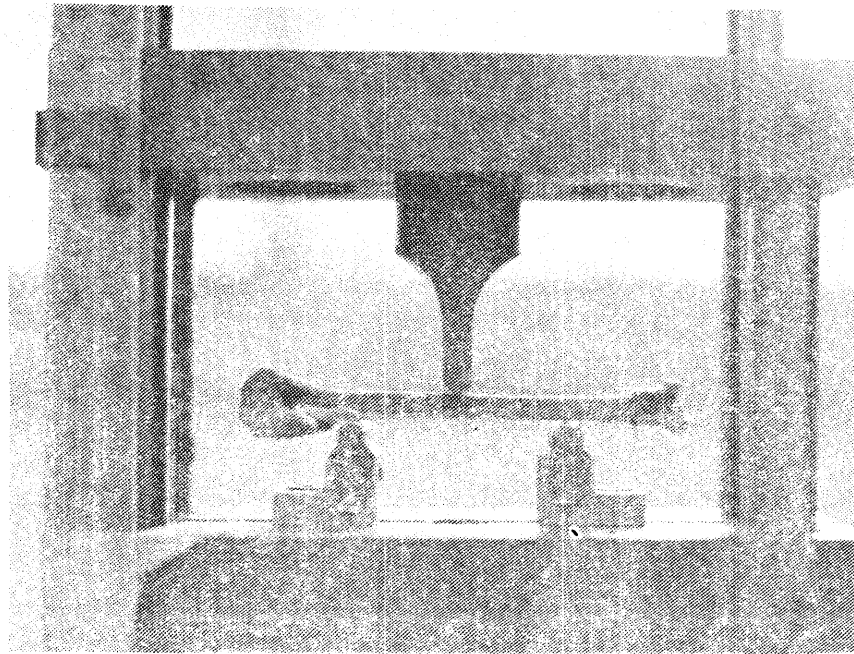
تعداد ۱۵ قطعه خرگوش ۱۲-۱۴ ماهه از نژاد نیوزیلندی سفید با متوسط وزنی ۱/۹۲ کیلوگرم انتخاب و به طور اتفاقی به سه گروه ۵ قطعه‌ای تقسیم شدند. گروه اول به عنوان کنترل، گروه‌های دوم و سوم به عنوان گروه‌های درمانی در نظر گرفته شدند. پس از آماده‌سازی جراحی و ایجاد بیهوشی عمومی با کتامین (۳۰-۴۰ mg/kg به طریقه عضلانی) هیدروکلراید (Ketamine hydrochloride (50 mg/ml)، در شرایط استریل جراحی، ابتدا پوست را شکاف داده، عضلات و



تصویر ۱ - چگونگی اتصال دستگاه تحریک الکتریکی به استخوان زند زیرین، (۱) سیم‌های کنترل‌کننده، (۲) دستگاه تحریک الکتریکی، (۳) الکتروود منفی، (۴) الکتروود مثبت، (۵) پوست و عضلات، (۶) زند زیرین، (۷) زند زیرین



تصویر ۲ - دستگاه اینسترون و تعبیه فک‌های مخصوص خمش استخوان بر روی آن



تصویر ۳ - چگونگی قرار دادن و شکستن استخوان بر روی فک‌های دستگاه با استفاده از روش خمش

بود. در گروه کنترل و گروه درمان با شدت جریان ۲۰ میکروآمپر التیام زخم به‌طور کامل صورت گرفته بود و در گروه درمانی با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر در محل قرارگرفتن آند در بعضی موارد تخریب بافتی مشاهده گردید. میزان تشکیل کالوس (Callus formation) استخوانی در روز ۲۱ در گروه‌های درمانی نسبت به گروه کنترل بیشتر بود. کاهش دانسیته و تخریب استخوان در محل کاتد در مواردی از گروه درمانی با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر مشاهده گردید. یافته‌های رادیوگرافی کلیه گروه‌ها در خصوص فاکتورهای ثبات، شکستگی (Stability)، میزان کالوس، فاصله بین دو انتهای شکستگی (Gap)، واکنش ضریع خارجی

نمونه‌ها توسط دستگاه اینسترون (Instron مدل TT-CM-L ساخت کشور انگلستان) تحت تست خمش (Bending test) قرار گرفته (تصاویر شماره ۲ و ۳) و فاکتورهای حداکثر نیروی قابل تحمل (Maximum load)، حداکثر استرس (Maximum stress)، سفتی خمش (Bending stiffness)، نیروی تسلیم (Yield stress) و حداکثر جذب انرژی (Maximum absorbed energy) در استخوان شکسته شده و سالم محاسبه گردید.

نتایج :

لنگش جزئی در اندام عمل شده در تمامی گروه‌ها تا آخر دوره مشاهده گردید که این لنگش در گروه‌های درمانی به میزان جزئی بیشتر از گروه کنترل

جدول ۱ - نتایج ارزیابی رادیوگرافی ترمیم استخوان زند زبرین در خرگوش‌های گروه کنترل و تحریک با شدت جریان ۲۰ و ۴۰ میکروآمپر

شماره حیوان	فاکتور	ثبات شکستگی			میزان کالوس در محل شکستگی			فاصله بین دو انتهای شکستگی			وضعیت الکترومنفی			واکنش ضریع خارجی		
		۴۲	۲۱	۰	۴۲	۲۱	۰	۴۲	۲۱	۰	۴۲	۲۱	۰	۴۲	۲۱	۰
کنترل	۱۰۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
تحریک ۲۰ میکروآمپر	۱۱۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۱۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۱۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
تحریک ۴۰ میکروآمپر	۱۰۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۰۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۱۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

۱ - ثبات شکستگی درجات داده شده : ۱ - خوب ۲ - ناقص	۲ - کالوس درجات داده شده : ۱ - وجود کالوس ۲ - وجود پل جزئی ۳ - وجود پل کامل	فاصله بین دو انتهای شکستگی ۱ - فاصله زیاد ۲ - فاصله متوسط ۳ - عدم وجود فاصله	وضعیت الکترومنفی ۱ - وضعیت اولیه ۲ - جابجایی به سمت کانال میانی استخوان ۳ - جابجایی به سمت خارج از کانال میانی	واکنش ضریع خارجی ۱ - واکنش زیاد ۲ - واکنش کم ۳ - عدم واکنش
---	--	---	---	---

سفتی خمش، حداکثر نیروی قابل تحمل، نیروی تسلیم، حداکثر استرس و حداکثر جذب انرژی در استخوان شکسته گروه درمانی با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر کمتر از گروه کنترل بود ولی از لحاظ آماری هیچگونه اختلاف معنی داری ملاحظه نگردید. در مقایسه دو گروه درمانی افزایش معنی داری در حداکثر استرس و نیروی تسلیم ($p < 0.01$) در گروه ۲۰ میکروآمپر نسبت به گروه ۴۰ میکروآمپر مشاهده گردید. نتایج بیومکانیکی سه گروه مورد مطالعه در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

(Periosteal reaction) در جدول شماره ۱ به طور کامل آورده شده است. از لحاظ بیومکانیک استخوان سالم سه گروه در هیچیک از فاکتورهای محاسبه شده اختلاف معنی داری نشان نداد. در میانگین ارقام نیروی تسلیم، سفتی خمش، حداکثر جذب انرژی و حداکثر استرس استخوان شکسته گروه درمانی با شدت جریان ۲۰ میکروآمپر نسبت به استخوان شکسته گروه کنترل افزایش داشت و به جز در فاکتور حداکثر استرس در سایر موارد در $p < 0.01$ اختلاف معنی دار نبود. گرچه میانگین ارقام

جدول ۲ - خواص بیومکانیکی خمش استخوان زند زبرین سالم و شکسته در گروه های تحریک الکتریسیته

با شدت جریان ۲۰ و ۴۰ میکروآمپر و مقایسه با گروه کنترل

گروه تحریک با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر		گروه تحریک با شدت جریان ۲۰ میکروآمپر		گروه کنترل		
استخوان شکسته	استخوان سالم	استخوان شکسته	استخوان سالم	استخوان شکسته	استخوان سالم	
۱/۰۸±۰/۵۰	۹/۴۴±۲/۱۴	۲/۳±۱/۰۵	۸/۸۰±۰/۶۵	۲/۴۰±۱/۴۷	۸/۸۹±۰/۴۵	حداکثر نیروی قابل تحمل (کیلوگرم)
۱/۰۹۳±۰/۴۷	۱۵/۹۳±۲/۱۶	۳/۴±۰/۷۵	۱۵/۷۵±۱/۲۱	۱/۸۴±۱/۴۰	۱۴/۶۱±۰/۷۰۵	حداکثر استرس (کیلوگرم بر میلی متر مربع)
۲/۱±۱/۰۷	۳۶/۷۲±۷/۶۷	۵/۱۵±۳/۶۴	۴۲/۸۷±۴/۲۴	۴/۰۲±۳/۴۳	۴۴/۴۸±۴/۵۲	سفتی خمش (کیلوگرم بر میلی متر مربع) ×۱۰
۰/۸۲±۰/۳۶	۱۵/۲۹±۲/۴۱	۲/۹۹۶±۰/۷۸	۱۵/۴۳±۱/۲۲	۱/۷۱±۱/۳۸	۱۳/۸۹±۰/۵۲	نیروی تسلیم (کیلوگرم بر میلی متر مربع)
۰/۷۱±۰/۴۳	۱۰۵/۹۶±۳۰/۰۴	۸/۴۶±۱۱/۵۲	۸۰/۰۸±۲۱/۳۰	۳/۱۸±۳/۲۰	۹۵/۳۸±۹/۹۰	حداکثر جذب انرژی (نیوتن میلی متر) ×۱۰ ^۲

بحث :

عمل میزان وسیع تری استخوان جدید را با رادیوگرافی و بافت شناسی در گروه تحریک نسبت به کنترل مشاهده نمودند (۹). در این مطالعه در مواردی از گروه های درمانی در اطراف کاتد افزایش دانسیته وجود داشت که احتمالاً به علت متراکم شدن کاتیون ها به خصوص کلسیم می باشد (۱۲). برعکس در مواردی از گروه تحریک با جریان ۴۰ میکروآمپر در محل قرارگرفتن کاتد در روز ۴۲ کاهش دانسیته مشاهده گردید که احتمالاً به علت نکرور سلولی حاصل از شدت جریان بالای الکتریسیته می باشد. علت بروز این حالت بدین خاطر است که شدت جریان های بالاتر از ۲۰ میکروآمپر باعث اکسید شدن آند شده و عناصر فلزی آند به محل کاتد انتقال می یابند که باعث مسمومیت در ناحیه کاتد و در نهایت نکرور سلولی می شود (۱۷). این میانگین در اثر فاکتورهای بیومکانیکی گروه تحریک با شدت جریان ۲۰ میکروآمپر نسبت به گروه

در گروه تحریک الکتریکی با ۴۰ میکروآمپر در ناحیه اتصال آند در بعضی موارد، تخریب ظاهری بافت نرم ملاحظه گردید که بروز این حالت احتمالاً به دلیل بالابودن شدت جریان الکتریسیته بوده است. براساس بعضی گزارشات شدت جریان های بالاتر از ۲۰ میکروآمپر باعث نکرور سلولی در ناحیه آند و همینطور در ناحیه کاتد می گردند (۲، ۳، ۱۰، ۱۱ و ۲۰). افزایش میزان کالوس بیانگر افزایش سرعت استخوان سازی در دو گروه درمانی نسبت به گروه کنترل تا روز ۲۱ بعد از عمل می باشد. افزایش میزان کالوس در محل شکستگی به واسطه تحریک الکتریکی توسط محققین زیادی گزارش شده است (۲، ۳، ۸، ۹، ۱۴ و ۱۹). برای مثال گه (Go) و همکاران (۱۹۸۸) در شکستگی تجربی استخوان درشت نی خرگوش و استفاده از تحریک الکتریسیته جهت التیام، در روز ۲۱ بعد از

یکی از فاکتورهایی که التیام شکستگی را می‌تواند به شدت تحت تأثیر قرار دهد و گاهی منجر به عدم التیام می‌گردد، چگونگی ثبات شکستگی است. به‌طور معمول استخوان شکسته‌شده بایستی در مدت زمان لازم دارای ثبات و بدون حرکت باشد و برای این کار در بسیاری از استخوان‌های بدن تثبیت داخلی و یا خارجی به کار برده می‌شود. در مطالعات تجربی و کلینیکی چنانچه در استخوان شکسته‌شده (نظیر استخوان درشت‌نی) تثبیت داخلی و یا خارجی به کار برده شود بدون شک می‌تواند بر روی درمان انجام شده به‌عنوان مثال تحریک الکتریکی تأثیر گذاشته و قدری نتایج را دستخوش تغییر نماید.

در این مطالعه خوشبختانه در استخوان زند زبرین خرگوش چنین مسئله‌ای وجود نداشته است. استخوان مزبور بدون هیچگونه تثبیت داخلی و یا خارجی تحت تأثیر تحریک الکتریکی بوده است بنابراین ثبات استخوان بر تغییر نتایج بی‌تأثیر بوده و یا تأثیر بسیار ناچیزی داشته است زیرا از ابتدا تا انتهای دوره هیچگونه جابجایی و تغییری در محل شکستگی مشاهده نمی‌شود که حاکی از ثبات کامل شکستگی است (جدول شماره ۱).

با توجه به بررسی‌های کلینیکی، رادیوگرافی و بیومکانیکی می‌توان اظهار نمود جریان الکتریسیته ۲۰ میکروآمپر باعث افزایش استخوانسازی در محل شکستگی و افزایش خواص بیومکانیکی استخوان زند زبرین خرگوش گردیده است ولی شدت جریان ۴۰ میکروآمپر هر چند در ابتدا باعث افزایش استخوانسازی گردیده ولی احتمالاً به‌علت تجمع مواد

کنترل و از طرفی عدم اختلاف آماری معنی‌دار، گویای این حقیقت است که گرچه شدت جریان ۲۰ میکروآمپر برای التیام شکستگی تأثیر مثبت داشته است ولی زیاد قابل توجه نبوده است. برخی از محققان بر این باورند که جریان الکتریسیته بیشتر در مراحل اولیه التیام تأثیرگذار می‌باشد که با افزایش زمان اختلافات از بین می‌رود (۳ و ۱۹). در همین ارتباط چاکالاکال (Chakkalakal) و همکاران (۱۹۹۰) نیز نشان دادند که تحریک الکتریکی در مراحل اولیه التیام شکستگی مؤثر می‌باشد (۵). کاهش میانگین فاکتورهای بیومکانیکی گروه تحریک با شدت جریان ۴۰ میکروآمپر نسبت به گروه کنترل احتمالاً به‌علت تخریب روی بافت استخوانی در محل قرارگرفتن کاتد می‌باشد که نتایج رادیوگرافی به‌دست آمده در روز ۴۲ نیز این موضوع را تأیید می‌کند. در مورد اثر جریان بالای تحریک الکتریکی روی خواص بیومکانیکی استخوان گزارش دقیقی وجود ندارد ولی گزارش‌هایی مبنی بر اینکه جریان‌های بالاتر از ۲۰ میکروآمپر باعث نکرور سلولی در ناحیه کاتد می‌گردند وجود دارد و بالطبع متعاقب نکرور سلولی کاهش خواص بیومکانیکی استخوان دور از انتظار نمی‌باشد.

مقایسه میانگین فاکتورهای مکانیکی بین دو گروه درمانی، نشان می‌دهد که میانگین تمامی فاکتورها در گروه ۲۰ میکروآمپر برتری دارد و این برتری در دو فاکتور حداکثر استرس و نیروی تسلیم از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری دارد که می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت جریان الکتریسیته ۲۰ میکروآمپر بر فعالیت استخوانسازی باشد.

شیمیایی حاصل از تخریب آند در محل کاتد باعث نکرóz سلولی استخوان در مراحل بعدی گردیده و در نهایت کاهش خواص بیومکانیکی را سبب شده است. به‌علاوه نتیجه دیگری که از این مطالعه می‌توان گرفت این است که استخوان زند زبرین خرگوش می‌تواند مدل^۲ تجربی مناسبی برای مطالعات شکستگی باشد.

تشکر و قدردانی :

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری‌های مدیریت محترم دانشکده دامپزشکی دانشگاه شیراز به سبب در اختیار قراردادن امکانات انجام تحقیق سپاسگزاری نمایند.

References :

- 1 - Brighton, C.T. Current concepts review the treatment of non-union with electricity, *J. Bone Joint Surg.* 63-A: 841-851, (1981).
- 2 - Brighton, C.T. The semi-invasive method of treating non-union with direct current, *Orthop. Clin. North. Am.* 15: 33-45, (1984).
- 3 - Brighton, C.T., Friedenber, Z.B., Blacke, J., Esterhai, J.L., Mitchell, J.I. and Montique, F. Electrically induced osteogenesis: Relationship between charge, current density, and the amount of bone formed. *Clin. Orthop.* 161: 122-131, (1981).
- 4 - Brighton, C.T., Friedenber, Z.B., Mitchell, J.E.I. and Booth, R.E. Treatment of non-union with constant direct current. *Clin. Orthop.* 124: 106-123, (1977).
- 5 - Chakkalakal, D.A., Lippiello, L., Shindell, R.L. and Connolly, J.F. Electrophysiology of direct current stimulation of fracture healing in canine radius, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 37: 1048-1058, (1990).
- 6 - Connolly, J.F. Selection, evaluation and indication of electrical stimulation of un-united fracture, *Clin. Orthop.* 161: 39-53, (1981).
- 7 - Connolly, J.F. Electrical treatment of non-union its use and abuse in 100 consecutive fracture, *Orthop. Clin. North, Am.* 15: 84-105, (1984).
- 8 - Cundy, P.J. and Paterson, D.C. A ten year review of treatment of delayed union and non-union with an implanted bone growth stimulator. *Clin. Orthop.* 259: 216-222, (1990).
- 9 - Goh, J.C.H., Bose, K., Orth, M.C., Kang, Y.K. and Nugroho, B. Effects of electrical stimulation on the biomechanical properties of fracture healing in rabbits. *Clin. Orthop.* 233: 268-273, (1988).
- 10 - Heppenstall, R.B. Fracture treatment and healing, W.B. Saunders Co. Philadelphia pp: 35-96, 1980.
- 11 - Jorgensen, T.E. Electrical stimulation of human fracture healing by means of slow pulsating: A symmetrical direct current, *Clin. Orthop.* 124: 124-127, (1977).
- 12 - Klapper, L. and Stallard, R.E. Mechanism of electrical osteogenesis, *J. Bone. Joint. Surg.* 74-A: 920-929, (1992).
- 13 - Mcleod, K.J. and Rubin, C.T. Effect of low frequency electrical osteogenesis. *J. Bone. Joint. Surg.* 74-A: 920-929, (1992).
- 14 - Okada, Y. and Shiba, R. The relationship between electrical callus formation and the amount of electricity *Nippon. Seikeigeka Gakkai. Zasshi*, 58: 1013-1023, (1984).
- 15 - Osterman, A.L. and Bora, F.W. Electrical stimulation applied to bone and nerve injuries in the upper extremity. *Orthop. Clin. North. Am.* 17: 353-364, (1986).
- 16 - Rudd, R.G. and Whitehair, J.G. Fracture of the radius and ulna. *Vet. Clin. North. Am. Small animal practice*, 22: 135-148, (1992).
- 17 - Spadaro, J.A. Albanese, S.A. and Chase, S.E. Bone formation near direct current electrodes with and without motion. *J. Orthop. Res.* 10: 729-738, (1992).
- 18 - Taichiro, K. and Keisato, K. A study on the effect of electrical stimulation on living tissue, *Jap. J. Vet. Sci.* 52: 315-319, (1990).
- 19 - Weigert, M. and Werhahn, C. The influence of electrical potentials on plated bones, *Clin. Orthop.* 124: 20-30, (1977).
- 20 - Yasuda, I. The classic fundamental aspects of fracture healing, *Clin. Orthop.* 124: 53-56, (1977).

Biomechanical and radiographical evaluation of the effects of constant direct current on the fracture healing of the radius in the rabbits

Maimandi Parizi, A.H.* Zeidabadinejad, Gh.R.**

Summary :

Fifteen health white Newzealand rabbits were divided randomly into three equal groups: group 1 as control, groups 2 and 3 electrical stimulation of 20 and 40 microampers respectively. After surgical preparation, the radius of the right forelimb was transected using bone saw under general anesthesia. The fractured area in group 2 and 3 were stimulated by 20 and 40 μ amp constant direct current for 42 days while the animals of group 1 (control) did not receive any treatment. The radiographic study was done on days 0, 21 and 42 after operation. All the rabbits were sacrificed after 42 days, then radial bone of all three groups under treatment and their contralateral normal bone were collected for biomechanical examination.

All the animals showed mild lameness up to day 42. The stimulated animals, showed more rapid callus formation than the control group. The fractured bones of all the rabbits had good stability during the examination time. Biomechanical analysis showed no significant difference between the animals of group 3 and control. There was also no significant difference in other calculated parameters of all three groups with exception in yield stress ($p < 0.01$) in animals of group 2. The animals of group 2 revealed significant increase in maximum stress ($p < 0.01$) and yield stress ($p < 0.01$) in comparison to animals of group 3.

Key words :Electrical stimulation, Fracture healing, Radins, Rabbits

* - Department of Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Shiráz University, Shiraz - Iran.

** - Veterinary Organization Kerman, Babak City, Kerman - Iran.