الجمهورية العربية السّوريّة
جامعة دمشق
كليّة الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الهندسة الطبيّة

تقييم عملية التئام كسور العظام باستخدام الأمواج فوق الصوتية

The Evaluation of Bone Fracture Healing Using Ultrasound Waves

((مشروع بحث لنيل درجة الماجستير في الهندسة الطبية))

إعداد
المهندسة راما محمد شاهين

إشراف
د. حنان محمود مخيبر

العام الدراسي
2024/2023

بسم الله الرحمن الرحيم

"بسم الله أبدأ بحثي الذي يدور حول (تقييم عملية التئام كسور العظام باستخدام الأمواج فوق الصوتية) بالصلاة والسلام على خير الخلق، فقد بذلت قصارى جهدي لكي أتوصل إلى نتائج هذا البحث وربما أخرت كتابة مقدمته لكي أصف لكم ما مررت به من عناء وكد، ورغم أن المشوار لم يكن يسير ولا سهل أبداً، إلا أنني حين توصلت للنتائج وبدأت الكتابة كنت كالذي وصل للسماء ومسك النجوم بين يديه، ولكي لا أطيل عليكم، فأنا أشجع كل طلاب البحث العلمي بالجد والمحاولة لكي تكتبوا تلك المقدمة التي قضيت ليلة كاملة أرتب حروفها بكل حب وتقدير، ولكي أتوصل إلى قرار إهداء هذا البحث لكل طالب علم، مشجعاً له، وربما تكون هذه الرسالة نبتة صغيرة، تخرج منها فروع وأشجار تظل المجتمع وتملأ العالم كله بالأمان والحب"

شكر وتقدير

الحمد الله رب العالمين، تبارك وتعالى له الكمال وحده.

والصلاة والسلام على سيدنا محمد نبيه ورسوله الآمين

وعلى سائر الأنبياء والمرسلين

أحمد الله تعالى الذي بارك لي في إتمام بحثي هذا

وأتقدم بجزيل الشكر وخالص الإمتنان

إلى كل أساتذتي الأفاضل، الذين كان لهم الفضل في سلوكي هذا الدرب جميع دكاترة وأساتذة الهندسة الطبية وأخص بالشكر إلى المشرفة على البحث الدكتورة **"حنان محمود مخيبر"** التي تعلمت منها الصمود، وحب الحياة، وتعلمت كيف أنطق الكلمات، وأصوغ العبارات، وكيف أختار القواعد في مجال البحث، لكي يكون طريق البحث يزهو بالمعارف والنتائج الحكيمة، التي كانت خير من قدم التوجيهات والإرشادات طوال فترة البحث، التي كانت مؤمنة بالوصول إلى إنجاز ذو قيمة علمية كبيرة يفيد فئة معينة من المجتمع، التي أعطت من وقتها ومعرفتها العلمية.

وأيضاً أوجه شكري وإمتناني إلى مشفى **"ابن النفيس"** بجميع الكادر الطبي في قسم الجراحة العظمية على تعاونهم ومساعدتهم للحصول إلى نتائج البحث وأخص بالشكر لرئيس قسم الجراحة العظمية الدكتور **"مازن عبد القادر نداف"** على متابعته لجميع المرضى المشاركين في البحث، حيث كان الشخص المعطاء بوقته وخبرته ومعرفته الطبية الواسعة.

وأهدي بحثي إلى من كانوا معي لحظة بلحظة **"عائلتي"** الذين كان لهم الفضل الأول في دعمهم لي، فلولاهم لما وجدت طريقي وهدفي، ومنهم تعلمت أن بالقوة والصبر نحصل على هدفنا، وأننا عندما نكون يد واحدة وقلب ينبض بروح المسؤولية تزهو الآمال وتتحقق الأهداف.

Abstract

A device has been designed to accelerate the healing/resolution of bone fractures using ultrasound waves, employing a comprehensive controller to adjust device parameters according to patient characteristics and fracture location within the patient safety scheme. Clinical and radiological tests were conducted to evaluate the effectiveness on bone fractures in ١٥ patients, and the results were evaluated by medical experts. The results concluded that the designed LIPUS device in the research is effective in accelerating/inducing bone fracture healing, with a rate of accelerating modern fractures by ٥٧٪ (LIPUS). The device's usage is effective and safe, highlighting the importance of this research in eliminating the consequences of prolonged fracture fixation, such as black bone atrophy and movement restriction. The device proved its effectiveness as an adjunct treatment alongside the traditional bone traction treatment, as well as an alternative solution to surgical intervention in some cases.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical & Electrical Engineering

Medical Engineering Department

The Evaluation of Bone Fracture Healing Using Ultrasound Waves

((Project For Obtaining a Master Degree In Biomedical Engineering))

Prepared by

Eng. Rama Mohammed Shaheen

Supervisor

Dr. Hanan Mahmoud Mukhaiber

Academic year

2024/2023

فهرس المحتويات

الفهرس	رقم الصفحة
فهرس المحتويات	I
فهرس الأشكال	III
فهرس الجداول	V
الاختصارات	VI
الملخص	VII
الفصل الأول: مقدمة عن البحث	1
1-1خلفية علمية	2
2-1 مشكلة البحث	4
3-1فرضيات البحث	4
4-1 الهدف من البحث	4
5-1أهمية البحث	4
6-1 مخطط البحث	5
7-1 فصول الرسالة	5
الفصل الثاني: الدراسات المرجعية	7
1-2 الدراسات التي تدعم استخدام الموجات فوق الصوتية في التئام كسور العظام	8
2-2 الدراسات التي لا تدعم استخدام الموجات فوق الصوتية في التئام كسور العظام	16
الفصل الثالث: الخلفية الطبية للبحث	21
1-3 أنواع العظام	22
2-3 مكونات العظام	23
3-3 كسور العظام	24
4-3 التئام الكسور	26
1-4-3 العوامل المؤثرة في التئام الكسور	27
2-4-3 تشخيص التئام	28
5-3 طرائق علاج كسور العظام	29
6-3 المضاعفات التالية لتثبيت واندمال/التئام الكسور	31
الفصل الرابع: الخلفية الهندسية للبحث	34
1-4 الموجة الصوتية	35
2-4 التطبيقات الطبية للموجات فوق الصوتية	37
3-4تأثيرات الموجات فوق الصوتية في الأنسجة الحية	40
4-4 آلية تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في عملية التئام الكسور	41
5-4 اختيار بارامترات موجات الـ US العلاجية	43
6-4أجهزة الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة LIPUS المتوفرة تجارياً لشفاء كسور العظام	45
1-6-4 جهازEXOGEN	45
2-6-4 جهازOsteotron	45
3-6-4 جهازAevo System	46
4-6-4 جهاز (USBone) Ultrasound in Bone healing	47

5-6-4 جهاز FAST	49
6-6-4 جهاز Melmak	49
الفصل الخامس: القسم العملي	51
1-5 مكونات الجهاز المصمم	52
1-1-5 وحدة التغذية	53
2-1-5 وحدة المعالجة	53
3-1-5 المجس (prob)	55
4-1-5 شاشات العرض الكريستالية	56
2-5 طريقة استخدام الجهاز	59
3-5 الاختبارات السريرية	60
1-3-5 عرض عينات المرضى	62
الفصل السادس: النتائج ومناقشتها	77
1-6 مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية والأجهزة المتوافرة تجارياً	78
2-6 الاستنتاجات	81
3-6 مناقشة النتائج	83
الفصل السابع: الخاتمة والاقتراحات المستقبلية	88
1-7 الخاتمة	89
2-7الاقتراحات المستقبلية	90
المراجع	92

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
الشكل (3-1)	أنواع كسور العظام حسب نوع التأثير	26
الشكل (3-2)	مراحل عملية شفاء كسور العظام	27
الشكل (4-1)	سرعة انتشار الصوت في الأنسجة الحية المختلفة	35
الشكل (4-2)	التمثيلات التخطيطية للموجة المستمرة والموجة النبضية	36
الشكل (4-3)	معامل النبض للموجات فوق الصوتية النبضية	37
الشكل (4-4)	امتصاص الطاقة الأسي في وسط ما	39
الشكل (4-5)	ارتباط امتصاص النسبي للأنسجة بمحتوى البروتين	39
الشكل (4-6)	تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة على كسر الظنبوب	41
الشكل (4-7)	اختيار بارمترات الموجات العلاجية بشكل عام	43
الشكل (4-8)	سلامة الموجات فوق الصوتية حسب الشدة والوقت	44
الشكل (4-9)	جهاز **EXOGEN** الكندي لمعالجة كسور العظام	45
الشكل (4-10)	جهاز **Osteotron** لمعالجة كسور العظام	46
الشكل (4-11)	جهاز لمعالجة وتسريع تقويم الأسنان	47
الشكل (4-12)	وضع محولات الموجات فوق الصوتية على موقع الكسر	48
الشكل (4-13)	جهاز **(US Bone)** القابل للارتداء	48
الشكل (4-14)	جهاز **FAST** لمعالجة كسور العظام	49
الشكل (4-15)	جهاز **Melmak** لمعالجة كسور العظام	50
الشكل (5-1)	المخطط الصندوقي للجهاز المصمم في البحث	53
الشكل (5-2)	متحكم **Atmega8**	53
الشكل (5-3)	توليد إشارة كهربائية **0.5MHz**	54
الشكل (5-4)	دارة العزل ونقل التردد العالي **TLP350**	54
الشكل (5-5)	دارة رفع الجهد **XL6009NE**	55
الشكل (5-6)	المجس الذي تم استخدامه في البحث	56
الشكل (5-7)	شاشة العرض الكريستالية	57
الشكل (5-8)	رسم تخطيط لدارة الجهاز المصمم	57
الشكل (5-9)	وصل الجهاز بالمريض وتثبيت المجس بإحكام على منطقة العلاج	59
الشكل (5-10)	التوزع العمري لمجموعة المرضى المشاركين في الدراسة	61
الشكل (5-11)	الصور الإشعاعية للمريضة الأولى، (أ) أول يوم الكسر قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و (ب) بعد **3** أسابيع من الكسر بعد تطبيق المعالجة بالجهاز	62
الشكل (5-12)	الصور الإشعاعية المريض الثاني، (أ) بعد الكسر ب **3**أيام قبل تطبيق العلاج بالجهاز بأسبوعين، (ب) إعادة المحور إلى وضعه الطبيعي وظهور علامات لتشكل الدشبذ سريرياً بعد تطبيق العلاج بالجهاز و (ت) تشكل الدشبذ العظمي بعد تطبيق العلاج بالجهاز	63
الشكل (5-13)	الصور الإشعاعية للمريضة الثالثة، (أ) عند فك الجبسين قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد **5** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز	64

الشكل (**5-14**)	الصور الإشعاعية للمريض الرابع، (أ) بعد **20** يوم من الكسر قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد **8** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد **10** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز	65
الشكل (**5-15**)	علاج ضمور سودك باستخدام الجهاز المصمم، (أ) قبل تطبيق العلاج و(ب) بعد تطبيق العلاج	65
الشكل (**5-16**)	الصور الإشعاعية للمريض السادس، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد تطبيق المعالجة بالجهاز	66
الشكل (**5-17**)	الصور الإشعاعية للمريضة السابعة قبل تطبيق المعالجة بالجهاز	67
الشكل (**5-18**)	الصور الإشعاعية للمريضة الثامنة، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد تطبيق المعالجة بالجهاز	68
الشكل (**5-19**)	الصور الإشعاعية للمريض التاسع، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 15 يوم من الكسر مع تطبيق الجهاز بالمعالجة و(ت) بعد 30 يوم من الكسر مع تطبيق الجهاز بالمعالجة	68
الشكل (**5-20**)	الصور الإشعاعية للمريضة العاشرة، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد **5**جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز	69
الشكل (**5-21**)	الصور الإشعاعية للمريضة الحادية عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد **10** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد **20** جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز	70
الشكل (**5-22**)	الصور الإشعاعية للمريض الثاني عشر، (أ) بعد فك الجبسين وقبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد **6** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز	71
الشكل (**5-23**)	الصور الإشعاعية للمريض الثالث عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد **10** جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد **20** جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز	72
الشكل (**5-24**)	الصور الإشعاعية للمريض الرابع عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد **30** جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز	73
الشكل (**5-25**)	الصور الإشعاعية للمريضة الخامسة عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد **20** جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز	74
الشكل (**6-1**)	مقارنة بين عدد الأسابيع الذي يحتاجها المريض لفك الجبسين بدون تطبيق المعالجة بالجهاز ومع تطبيق المعالجة بالجهاز (يدل الرمز **T1**على المريض الأول)	85
الشكل (**6-2**)	مقارنة النتائج لعينة الدراسة باختبارها سريرياً وإشعاعياً	86

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
الجدول (2-1)	نتائج الدراسة المرجعية الخامسة للمجموعات الثلاثة	11
الجدول (2-2)	تصنيفات عينة الدراسة المرجعية السادسة	12
الجدول (2-3)	نتائج الدراسة المرجعية السادسة	13
الجدول (2-4)	توزيع مواقع الكسر مع عدد المرضى نجاح/فشل علاجLIPUS	14
الجدول (2-5)	العوامل الرئيسية التي تم بحثها لارتباطها المحتمل بنجاح/فشل علاجLIPUS	14
الجدول (2-6)	عينة الدراسة المرجعية الثامنة	16
الجدول (2-7)	نتيجة الدراسة المرجعية الثانية غير الداعمة لاستخدام LIPUS	17
الجدول (2-8)	توزيع المرضى حسب موقع الكسر	18
الجدول (2-9)	نتائج الدراسة المرجعية الخامسة غير المؤيدة لاستخدام LIPUS	20
الجدول (3-1)	إيجابيات وسلبيات طرائق علاج كسور العظام	30
الجدول (4-1)	التطبيقات الطبية للموجات فوق الصوتية في التشخيص والمعالجة	38
الجدول (4-2)	النسبة المئوية لانخفاض طاقة الموجات فوق الصوتية	39
الجدول (4-3)	معلومات عن الموجات فوق الصوتية في مجال التطبيق الطبي	42
الجدول (5-1)	بارامترات الجهاز المصمم في هذا البحث	52
الجدول (5-2)	مواصفات المجس المستخدم في البحث	56
الجدول (6-1)	بروتوكول الجهاز LIPUS المصمم	59
الجدول (6-2)	توزيع المرضى حسب مجموعات الدراسة وخصائصهم	61
الجدول (5-5)	تلخيص لعينة الدراسة	74
الجدول (6-5)	البيانات الديموغرافية وحالة الكسر وعدد الجلسات العلاج لعينة الدراسة	75
الجدول (6-1)	مقارنة بين نتائج الدراسات المرجعية ونتائج البحث	78
الجدول (6-2)	مقارنة أجهزة LIPUS تسريع التئام الكسور والجهاز المصمم في البحث	80
الجدول (6-3)	النتائج السريرية والإشعاعية لعينة الدراسة	82
الجدول (6-4)	عوامل الخطر المرتبطة بالمريض	82
الجدول (6-5)	حساب نسبة تسريع التئام كسور العظام لمجموعة الكسور الحديثة	85
الجدول (6-6)	تحري الارتباط بين التدخين والحالة السريرية	86
الجدول (6-7)	تحري الارتباط بين BMI والحالة الإشعاعية	87
الجدول (6-8)	تحري الارتباط بين الفئة العمرية للمدخنين والحالة السريرية	87

الاختصارات

IOF	International Osteoporosis Foundation	مؤسسة الدولية لهشاشة العظام
AIUM	The American Institute of Ultrasound in Medicine.	المعهد الأمريكي للموجات فوق الصوتية
US	Ultrasound	الأمواج فوق الصوتية
LIPUS	Low Intensity Pulsed Ultrasound	الأمواج فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة
BNR	Beam Nonuniformity Ratio	عدم انتظام الشعاع
IP	International Protocol.	رمز الحماية الدولي
IP67	International Protocol 67	هي أحد تصنيفات الحماية ويمثل رقم (67) حماية من الدخول الغبار وإمكانية الغمر في الماء لفترة قصيرة
BMI	Body Mass Index	ارتفاع مؤشر كتلة الجسم
MDCT	Multidetector Computed Tomography	التصوير المقطعي المحوسب متعدد الكواشف
DEXA	Dual-Energy X-ray Absorptiometry	مقياس كثافة العظم
MRI	Magnetic Resonance Imaging	التصوير بالرنين المغناطيسي
CT scan	Computed Tomography scan	التصوير المقطعي المحوسب
BMD	Bone Mineral Density	مقياس الكثافة العظمية
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor	عوامل النمو
SM	Sensor Models	وحدة الاستشعار
CM	Control Models	وحدة التحكم
CPU	Central Processing Unit	وحدة التخزين المركزية

الملخص

تم تصميم جهاز لتسريع التئام كسور العظام بالموجات فوق الصوتية وتم استخدام متحكم شامل نستطيع من خلاله التحكم ببارامترات الجهاز حسب خصائص المريض وموقع الكسر ضمن مخطط السلامة للمريض. أجريت اختبارات سريرية وإشعاعية لتقييم فعالية على كسور العظام على 15 مريض، وتم تقييم نتائج هذه الاختبارات من قبل الخبراء الطبيين. خلصت النتائج إلى أن الجهازLIPUS المصمم في البحث له فعالية في تسريع /تحريض اندمال كسور العظام، حيث بلغ معدل تسريع اندمال الكسور الحديثة بال(LIPUS) **57%** ، إن استخدام الجهاز فعال وآمن كما تأتي أهمية هذا البحث في التخلص من عواقب التثبيت المديد للكسر مثل ضمور سودك وتحدد الحركة. اثبت الجهاز فعاليته كعلاج مساعد مع وسيلة العلاج التقليدية الجر العظمي، ومع وجود التثبيتات الداخلية والخارجية المعدنية وكحل بديلي عن التدخل الجراحي في أحد الحالات المعالجة.

الفصل الأول

مقدمة عن البحث

1-1خلفية علمية

تشكل عملية إعادة التأهيل بعد الكسور عبئاً سريرياً كبيراً للمريض في جميع أنحاء العالم، بسبب ما قد ينجم عنها من محدودية الحركة وضعف الوظيفة العضلية الهيكلية. لذلك فهي تعد تحدياً معقداً للعظام، حيث يمكن أن يتسبب العلاج غير الكافي والمتأخر في حدوث مضاعفات عديدة مثل ضعف العظام والشفاء غير الطبيعي وأحياناً فقدان الوظيفة السريرية [33].

تم في العام 2019 قياس معدل الإصابة بالكسور على المستوى العالمي والإقليمي والوطني من العام 1990 إلى العام 2019 في 21 منطقة من مناطق العبء العالمي للأمراض (the Global Burden of Diseases) التي تضم 204 دولة وإقليم في العالم. تبين على الصعيد العالمي، وجود178 مليون كسوراً جديدة في عام 2019 بزيادة قدرها 4033%عن عام 1990. كانت الكسور الأكثر شيوعاً في عام 2019 هي كسور الساق والكاحل ومعدلات الإصابة بالكسور الخاصة بالعمر هي الأعلى في الفئات العمرية الأكبر سناً، فعلى سبيل المثال 15381,5 حالة لكل 1000,000 من السكان الذين تبلغ أعمارهم 95 عاماً فما فوق[35] . عالمياً، تسبب هشاشة العظام أكثر من 8,9 مليون كسر سنوياً، مما يؤدي إلى حدوث كسر بسبب هشاشة العظام كل 3 ثوانٍ [36].

كشفت دراسة استقصائية أجرتها المؤسسة العالمية لهشاشة العظام (İOF[1]) والتي أجريت على أكثر من 7000 امرأة تبلغ أعمارهن 60 عاماً وأكثر من خمسة دول، أن كسور العظام تؤثر تقريباً في واحدة من كل امرأتين في العالم. من المفارقة أن صحة عظام هذه الفئة العمرية يتم إهمالها في أثناء الفحوصات الطبية [37].

يصاب رجل من كل خمسة رجال بعد سن الخمسين سنة بكسر ناتج عن هشاشة العظم وذلك على نطاق عالمي. علماً ان الرجال البالغ عمرهم خمسين سنة وما فوق معرضون للإصابة بكسر ناتج عن هشاشة العظم أكثر مما هم معرضون لخطر سرطان البروستات [38].

بالنسبة لأساليب المعالجة فيمكن تقسيمها إلى طرائق تقليدية وغير تقليدية. تعد عمليات التجبير والدعامات اللاصقة والشرائح المعدنية والمسامير والقضبان المعدنية الداخلية والمثبتات الخارجية من الوسائل التقليدية الشائعة لمعالجة كسور العظام حيث كانت الجبيرة عبارة عن قوالب مصنوعة من الألياف الزجاجية أو الجبس والتي تتم عن طريق إعادة تموضع طرفي العظم المكسور ومن ثم تثبيته باستخدام الجبيرة أو الألياف الزجاجية، وقد تتطلب بعض الحالات التدخل الجراحي للصفائح المعدنية والقضبان والمسامير لتثبيت العظام

[1] IOF: International Osteoporosis Foundation

والتئامها وفقاً لنوع الكسر وموقعه وشدته. ويترافق مع هذه الأساليب العلاجية استخدام مسكنات الآلام والأدوية المضادة للالتهابات بشكل شائع [39].

قد يستغرق الشفاء بهذه الطريقة التقليدية نحو 6- 8 أسابيع ولكن هذا يختلف بشكل كبير من عظم إلى آخر ومن شخص إلى آخر بناءً على العديد من العوامل (العمر، الجنس، نوع الكسر) فكانت غالباً ما يحتاج كسر عظم اليد والرسغ إلى حوالي 6-4 أسابيع بينما كسر عظم الساق إلى 20 أسبوعاً أو أكثر ويمكن تقليل هذه المدة باتباع إرشادات الطبيب والحفاظ على نظام غذائي متوازن، ولكن يمكن أن يحصل تأخر/ فشل في التئام الكسور في 10% من جميع حالات الكسور وذلك بسبب عوامل مختلفة مثل التفتت، والعدوى، والورم، وتعطل إمدادات الأوعية الدموية [40]. إذاً تعتمد عملية التئام الكسور بشكل كبير على العديد من العوامل، بما في ذلك طبيعة الكسر وموقع الكسر ونوع الكسر[1].

أدت التطورات الحديثة في تقنيات التحفيز على التئام كسور العظام إلى زيادة اهتمام الباحثين لإيجاد طرائق أكثر فعالية لتحسين وتسريع الشفاء. فظهرت في هذا السياق تقنية التحفيز الكهربائي والعلاج بالحقل المغناطيسي النبضي والتحفيز بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) التي سيتم التركيز عليها في هذا البحث[41].

تعمل الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) عن طريق إرسال موجات فوق الصوتية من خلال الجلد والأنسجة الرخوة المحيطة بالوصول إلى موقع الكسر العظمي فتزيد (LIPUS) من تدفق الدم بالقرب من المنطقة المصابة وتقلل من زمن الشفاء في حالات كسور مختلفة [1]. توجد نسبة من الكسور تتراوح بين 2% إلى 10% من جميع كسور العظام لا يتم شفاءها بنجاح [42،43] لذلك من المفيد البحث عن أساليب جديدة للمعالجة لتجاوز هذه النسبة.

يوجد تناقض في الدراسات المرجعية المتعلقة بفعالية التئام الكسور باستخدام الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة [13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]، لذلك تم اختيار هذا البحث للحصول على أدلة تدعم فعالية أو عدم فعالية هذه الطريقة.

تم في هذا البحث تصميم جهاز لتسريع التئام كسور العظام بالموجات فوق الصوتية منخفضة الشدة باستخدام متحكم شامل نستطيع من خلاله التحكم ببارامترات الجهاز حسب خصائص المريض وموقع الكسر ضمن مخطط السلامة للمريض، حيث يعمل الجهاز على تحريض وتسريع التئام كسور العظام الحديثة وكسور غير الملتئمة والكسور المتأخرة بالتئام عن طريق الموجات فوق الصوتية باستخدام متحكم شامل نستطيع من خلاله التحكم بالتردد ضمن هذه القيم (0.5MHZ و 0.75MHZ و 1MHZ و 1.25MHZ و

1.5MHZو1.75MHZ و2MHZ) والتحكم بعامل النبض (1:1 ، 1:2 ،1:3 ,1:4) والتحكم بالشدة من $20mW/cm^2$ إلى $60mW/cm^2$ فمن خلال الطيف الواسع من الترددات والشدة المطبقة يمكن استخدام الجهاز لمعالجة عدد كبير من أنواع العظام والتحكم بمدة الجلسة الذي يتعرض لها المريض من الموجات فوق الصوتية من 1 دقيقة إلى 30 دقيقة في اليوم الواحد حسب الحالة المرضية.

2-1 مشكلة البحث

١) يحدث فشل في التئام كسور العظام في 5% إلى 10% من جميع المرضى، لذلك لا بد من البحث عن أساليب جديدة للمعالجة لتجاوز هذه النسبة.

٢) وجود تناقض في الدراسات المرجعية المتعلقة بفعالية التئام الكسور باستخدام الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة، لذلك تم اختيار هذا الموضوع للحصول على أدلة تدعم فعالية أو عدم فعالية هذه الطريقة.

3-1 فرضيات البحث

١) تعد طريقة الـ LIPUS فعالة في التئام أنواع من الكسور وغير فعالة في التئام أنواع أخرى.

٢) تستخدم طريقة الـ LIPUS في معالجة الكسور الحديثة بالإضافة إلى الكسور المتأخرة بالتئام والكسور عديمة التئام.

٣) تساهم طريقة الـ LIPUS في تسريع عملية التئام الكسور وبالتالي تقليل تكلفة المعالجة.

4-1 الهدف من البحث

١) استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) في تقييم تسريع التئام الكسور المختلفة.

٢) تقييم فعالية طريقة الـ LIPUS حسب نوع الكسر وخصائص المرضى.

٣) تحديد أنواع الكسور القابلة للمعالجة باستخدام طريقة الـ LIPUS.

5-1 أهمية البحث

١) التحقق من تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) في تسريع التئام الكسور.

٢) المساهمة في دعم قرار الطبيب في استخدام جهاز التئام الكسور للمرضى.

٣) التحقق من مدى فعالية تصميم وتنفيذ أجهزة الـ LIPUS لمعالجة كسور العظام.

6-1 مخطط البحث

١- القيام بدراسة مرجعية دقيقة وموسعة لموضوع البحث.
٢- تنفيذ جهاز لالتئام الكسور باستخدام الموجات فوق الصوتية.
٣- تحديد عينة المرضى التي سيتم اختبار الجهاز عليها من أحد مستشفيات مدينة دمشق.
٤- تحديد برتوكول العلاج حسب نوع الكسور وخصائص المرضى بعد تحديد عينة الدراسة.
٥- اختبار فعالية استخدام الموجات فوق الصوتية في عملية التئام الكسور لعينة المرضى المختارة.
٦- تحليل النتائج.
٧- كتابة الأطروحة.

7-1 فصول الرسالة

تقسم الرسالة إلى سبعة فصول، حيث عرض **الفصل الأول** مقدمة عن البحث مع توضيح فرضيات البحث وأهدافه وأهميته ومخطط البحث المتبع للحصول على النتائج المرجوة من هذا البحث والفصول المؤلف منها البحث.

يبين الفصل الثاني الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث حيث وضحت تباين آراء الباحثين حول فعالية استخدام الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) للمساعدة في التئام كسور العظام.

كما وضح الفصل الثالث الخلفية الطبية للبحث الذي يحتوي معلومات عن البنية التشريحية للعظام وأنواع كسور العظام وأساليب علاجها، وموقعها وأساليب علاجها والمضاعفات الناتجة عنها، بالإضافة إلى العوامل المؤثرة في التئام/التئام الكسور.

يتناول الفصل الرابع الخلفية الهندسية للبحث المتعلقة بالموجات فوق الصوتية، حيث وضح المفاهيم الأساسية للموجات الصوتية وتطبيقاتها الطبية، وتأثيرها في عملية التئام الكسور وكيفية اختيار بارامتراتها ويُختتم هذا الفصل باستعراض عدد من أجهزة (LIPUS) المتوافرة في الأسواق لشفاء كسور العظام.

تم تخصص الفصل الخامس للقسم العملي الذي تضمن المخطط الصندوقي للجهاز المصمم في البحث، وشرح أجزاؤه والقطع الالكترونية المكونة له، بالإضافة إلى توضيح البرامج المستخدمة في تنفيذه. وحساب دقة الجهاز بشكلها العددي وتم وصف أمان وسلامة الجهاز المصمم، يختتم هذا الفصل بالاختبارات السريرية التي تم تنفيذها لإنجاز هذا البحث بهدف معرفة تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة المولدة من الجهاز المصمم على مرضى كسور عظام مصنفين ضمن ثلاث

مجموعات (كسور حديثة، كسور متأخرة بالتئام، كسور عديمة التئام)، علماً أنه تم تحديد بروتوكول علاج كل مجموعة بالاستناد لرأي الخبير الطبي.

أظهر الفصل السادس نتائج هذا البحث ومقارنتها مع الدراسات المرجعية ذات الصلة، وتم مقارنة الجهاز المصمم في البحث مع الأجهزة المتوفرة تجارياً ومناقشة نتائجه، ويختتم هذا الفصل بإجراء دراسة إحصائية لمجموعة المرضى المشاركين في البحث.

تم اختتام هذا البحث بالفصل السابع المعنون "الخاتمة والاقتراحات المستقبلية" والذي تضمن ما تم إجراءه في هذا البحث والاقتراحات المستقبلية الممكن تطبيقها من اجل تطوير فعالية الجهاز المصمم بشكل أوسع.

الفصل الثانـي

الدراسات المرجعيـة

عند تحليل الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث تبين أنها متباينة الآراء حول فعالية استخدام الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) للمساعدة في التئام كسور العظام. فجزء منها يدعم تطبيق هذه التقنية والجزء الآخر يرى أنه لا يوجد لها أي تأثير في تسريع أو تحريض التئام كسور العظام. لذلك يتم في هذا الفصل استعراض مجموعتي الدراسات آنفة الذكر وتوضيح تفاصيلهما.

1-2 الدراسات التي تدعم استخدام الموجات فوق الصوتية في التئام كسور العظام

الدراسة الأولى هي دراسة مرجعية منفذة في العام 2011 في جامعة كامبوس بيوميديكو **(Campus Bio Medico University)** في إيطاليا تحت عنوان "الدليل على شفاء الكسور بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في المختبر وعند الحيوان والإنسان". وكان هدف الدراسة هو التحقق من تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في معالجة الكسور وذلك عن طريق مراجعة 50 مقالة علمية لاستخدام الموجات فوق الصوتية العلاجية في المختبرات وعلى الحيوانات وعلى الإنسان حيث تراوحت الترددات المطبقة من 0.5MHZ إلى 1.5MHZ مع زمن تطبيق يبلغ 20min. قُسمت المقالات على النحو التالي:

- 15 دراسة في المختبر على خلايا بشرية (الخلايا العظمية، الخلايا الغضروفية المزروعة، عظمة الفك السفلي البشرية، الخلايا السمحاق البشرية) وخلايا حيوانية عن طريق تشريح فخذ الجرذان.
- 18 دراسة على كسور الساق والظنبوب والزند والفخذ لعدد من الحيوانات (الأرانب، والجرذان، والكلاب، والأحصنة، والأغنام).
- 17 دراسة على الإنسان على كسور الظنبوب، الشظية، نصف القطر البعيد (هو عظم الساعد الكبير الذي يربط الكوع بالرسغ) ، الترقوة، الفخذ، العضد، الزند.

تبين من كل من الدراسات المختبرية والمنفذة على الحيوانات أن استخدام LIPUS يؤثر إيجابياً في الخلايا العظمية مما يساهم إلى تعزيز تمعدن العظام، وإنتاج الكولاجين وتنشيط الفوسفاتاز القلوي في العظام، وبالتالي يسرع عملية الشفاء ويُحسن قوة الانحناء العظمي.

أما بالنسبة لنتائج التجارب السريرية العشوائية التي تختبر آثار LIPUS على الإنسان، فقد خلصت هذه الدراسة إلى أن فعالية الموجات فوق الصوتية ضعيفة في الكسور الحديثة وكسور الإجهاد (هي كسور تنتج عن القوة المتكررة، غالبا عند الإفراط في الاستخدام)، على الرغم من أن LIPUS كانت فعالة في حالات الكسور متأخرة الالتئام لدى المدخنين ومرضى السكري. لذلك أوصت الدراسة إلى ضرورة إجراء المزيد من الأبحاث على مجموعة واسعة من الكسور للتحقق من فعاليتها سريرياً على الانسان.

في نهاية هذه الدراسة المرجعية تم توضيح الحاجة المستقبلية إلى تنفيذ تجارب مضبوطة ذات منهجية عالية لتأكيد النتائج المذكورة أعلاه نظراً لعدم التجانس الحاصل بين دراسات المختبر، والدراسات المطبقة على الحيوانات وعلى الإنسان [1].

يجب من الدراسة الحالية توضيح فعالية الترددات ذات الاختراق العميق في التئام الكسور وكيفية التغلب على الضياع في الطاقة عند اختراق الموجات فوق الصوتية الأنسجة العميقة.

نفذت **الدراسة الثانية المعنونة بـ** "ملاحظات نسيجية متعلقة باستخدام الليزر والموجات فوق الصوتية في التئام كسور العظام" في جامعة النهرين في العراق في العام2011. هدفت الدراسة إلى المقارنة بين تأثير كل من الليزر والموجات فوق الصوتية على تسريع التئام كسور الفخذ لدى الجرذان. تألفت عينة الدراسة من 15 ذكر من الجرذ الأبيض بعمر ٦ أشهر وتراوحت أوزانهم بين 250g و350g ويعانون في كسور في الفخذ. قسمت عينة الدراسة إلى ثلاث مجموعات وكل مجموعة مؤلفة من 5 جرذان:
تم تعريض عناصر المجموعة الأولى لكسر جزئي في عظم الفخذ وتركوا ليتم شفاؤهم دون إجراء أي تدخل علاجي. بينما عولج عناصر المجموعة الثانية بتطبيق ليرز Nd:YAG (بطول موجي 1064nm، وشدة 135mW) لمدة دقيقتين حيث تم إعطاء الجرعة الأولى مباشرةً بعد الكسر الجراحي وأعطت الجرعات التالية في اليوم الثاني والثالث والسادس ثم تم إعطاء جرعة واحدة أسبوعياً لمدة 3 أسابيع. أما عناصر المجموعة الثالثة فقد تمت معالجتها بتطبيق الموجات فوق الصوتية (تردد 1MHZ وشدة $50mW/cm^2$) بشكل متعامد مع العلاج الليزري المستخدم في المجموعة الثانية خلال مدة تطبيق الليزر.

أظهرت نتائج المجموعة الأولى عدم اكتمال شفاء العظام وعدم تطوير سمحاق بعد موقع الكسر. بينما تبين أن للعلاج بليزر Nd:YAG تأثير على تسريع عملية شفاء كسور العظام والتي تعززت باستخدام الموجات فوق الصوتية (المجموعة الثالثة)، إذ إن الجمع بين الليزر والموجات فوق الصوتية زاد عمق تغلغل الليزر في[2].

من هذه الدراسة يجب إجراء بحث شامل لتطبيق الموجات فوق الصوتية مع الليزر على الإنسان لأنواع مختلفة من كسور العظام للتأكد من فعالية الموجات فوق الصوتية في زيادة تغلغل الليزر داخل الأنسجة.
الدراسة الثالثة هي بحث منفذ في العام 2013 في مختبر الجراحة التجريبية التابع لجامعة أنطاليا بيلم **(ANTALYA BILIM)**، بنسلفانيا في البرازيل تحت عنوان " تأثير الموجات فوق الصوتية العلاجية منخفضة الشدة في الكسر المستحث في عظم الساق". هدفت الدراسة إلى تحليل التأثيرات المحتملة للموجات فوق الصوتية منخفضة الشدة على كسر عظم الساق المستحث في الجرذان بجرعة شائعة الاستخدام في

علاجات العلاج الطبيعي. تألفت عينة الدراسة من 20 ذكر من جرذان بين 300g إلى 500g بمتوسط عمر 150 يوماً.

قسمت عينة الدراسة إلى مجموعتين حيث ضمت مجموعة تطبيق الـ LIPUS 10 حيوانات والمجموعة الضابطة 8 حيوانات نتيجة الموت المفاجئ لحيوانين منها قبل بدء العلاج. في مجموعة الموجات فوق الصوتية تم إخضاع الحيوانات للبارامترات الثابتة التالية لـLIPUS :

- التردد 1MHz
- الشدة $0.2W/cm^2$
- عامل النبض عند 20%، مطبق في شكل ثابت خلال 10 دقائق على منطقة الكسر مرة واحدة في اليوم على مدار خمسة أيام متتالية ويومين متقاطعين.

تم تصوير مكان الكسر بشكل أسبوعي لمدة خمسة أسابيع بواسطة الأشعة السينية. وتبين من التصوير الاشعاعي أن تطبيق البارامترات السابقة سرّع من عملية التئام العظام [3].

هذه الدراسة أثبتت فعالية تغيير بارامترات الموجات فوق الصوتية على الجرذان الذي عمل على زيادة التروية الدموية في موقع الكسر، وهذا المنطلق يلفت أنظارنا إنه يجب تغيير بارامترات الموجات فوق الصوتية المعتادة على الإنسان لمعرفة فعاليتها ونسبة تسريع التئام كسور العظام.

تحمل **الدراسة الرابعة** العنوان "العلاج بالموجات فوق الصوتية لتسريع التئام الكسر الرسغي: دراسة مراقبة"، وهي منفذة في العام 2014 في جامعة شنغهاي **(Shanghai University)** في الصين. هدفت الدراسة إلى التحقق من فعالية الموجات فوق الصوتية في تسريع التئام الكسر الرسغي وتألفت عينة الدراسة من 81 مريض يعانون من كسر في الرسغ.

قسمت عينة الدراسة المرضى بشكل عشوائي إلى مجموعتين بحيث ضمت المجموعة الأولى 41 مريضاً تمت معالجتهم بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة مع ارتداء مشد على منطقة الكسر يمتد من الكوع وحتى الأصابع (below-elbow cast). طُبقت الموجات فوق الصوتية على منطقة الكسر مرة واحدة يومياً لمدة ١٥ دقيقة متواصلة بشدة قدرها $30mw/cm^2$ وتردد 1.5MHz وزمن نبضة $200\mu s$.

أما مجموعة المرضى الثانية (المجموعة الضابطة) فقد ضمت 40 مريضاً وتم فيها معالجة الكسور باستخدام دعامة من الجص بالإضافة إلى المشد (plaster support and cast) بدون تطبيق الموجات فوق الصوتية.

تم تصوير مكان الكسر بشكل أسبوعي منذ البداية وحتى الشفاء التام بواسطة الأشعة السينية، مع تحليل القيم الرمادية لموقع الكسر بواسطة برنامج الفوتوشوب. وتبين من نتيجة الدراسة أن زمن التئام الكسر السريري في مجموعة العلاج بالموجات فوق الصوتية أقصر بكثير منه في مجموعة الضابطة (بين 2 و32 يوم مقابل

5 و40 يوم). بالإضافة إلى ذلك كانت تغيرات القيمة الرمادية لمواقع الكسر لمجموعة الموجات فوق الصوتية أعلى بكثير من تلك الخاصة بالمجموعة الضابطة. وبالتالي فإن العلاج بالموجات فوق الصوتية مفيد لشفاء كسور عظم الرسغ وقد يوفر عودة مبكرة للنشاط والعمل للمرضى [4].

في هذه الدراسة لم يتم ذكر أعمار الفئة المستهدفة للعلاج وأيضاً لم يذكر العوامل المؤثرة في تأخر التئام كسور العظام لكلا المجوعتين وبما إن حجم العينة كبير كان يجب إجراء دراسة إحصائية.

تحمل **الدراسة الخامسة** العنوان "تحفيز الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة لشفاء كسور العظام"، وهي منفذة في العام 2022م في جامعة **(The Hong Kong Polytechnic University)** في الصين. هدفت الدراسة لمعرفة تأثير الموجات فوق الصوتية النبضة منخفضة الشدة على شفاء الكسور باستخدام جهاز[٣] Exogen 4000+، وتألفت عينة الدراسة من ثلاثة مجموعات بشرية:

١. تألفت عينة الدراسة في المجموعة الأولى من432 مريضاً والمجموعة الضابطة 435 مريضاً، تم فيها تطبيق LIPUS على كسور حديثة لعظام الظنبوب والمعصم والعظم الزورقي وقصبة الساق (عظم الظنبوب) والكعب الوحشي والترقوة.
٢. تألفت عينة الدراسة في المجموعة الثانية من867 مريضاً، تم فيها تطبيق LIPUS على كسور غير ملتئمة لعظام الفخذ والساق (عظم الظنبوب وعظم الشظية) والكعبرة والعظم الزورقي والمعصم وعظم العضد والزند وعظام أخرى متعددة.
٣. تألفت عينة الدراسة في المجموعة الثالثة من231 مريضاً، تم فيها تطبيق LIPUS على كسور متأخرة في الالتئام لعظام الظنبوب وعظم المشبك (Reticulated bone) والعظام الطويلة والعظم الزورقي وعظام المشط.

يلخص الجدول (2-1) التالي نتائج هذه الدراسة للمجموعات الثلاثة.

الجدول (2-1): نتائج الدراسة المرجعية الخامسة للمجموعات الثلاثة [5].

المجموعة الأولى	❖ يمكن لـ LIPUS أن تقلل بشكل فعال من زمن الشفاء في الكسور الجديدة. ❖ يعد التدخين من العوامل التي تؤثر في عملية الشفاء. ❖ أظهرت LIPUS نتائجها الإيجابية في تسريع تكوين العظام وتقليل زمن الشفاء حتى في الأشخاص المدخنين. ❖ ركزت الدراسات على الاستعادة الوظيفية للعظام باستخدام LIPUS ولم يتم التركيز على تقليل الألم والقدرة على تحمل الأوزان وزمن العودة إلى العمل.
	❖ إن علاج LIPUS يحقق التئام العظام على غرار الوسائل الجراحية دون التسبب في أي مضاعفات للمرضى وهذا أمر مهم للمسنين الذين يعانون من ضعف القدرة على الشفاء.

[٣] محددات الجهاز ثابتة وهي: تردد 1.5MHZ وقيمة شدة $30mw/cm^2$ وعامل النبض 20% وزمن الجلسة 20 min

المجموعة الثانية	❖ إن كفاءة التئام العظام مرتبط بشكل وثيق بسرعة تطبيق LIPUS بعد الجراحة أو بعد حدوث الكشر، والعلاج بالموجات فوق صوتية يجب أن لا يتأخر عن ثلاثة أشهر بعد الجراحة. ❖ يعد تطبيق LIPUS نهج فعال للكسور الحادة مثل كسور العظم الطويل خاصة غير الملتئمة. ❖ حدوث فشل في تعزيز شفاء الكسور غير الملتئمة عندما كان حجم فجوة الكسر أكبر من 1cm.
المجموعة الثالثة	❖ حسّن استخدام LIPUS كثافة المعادن في العظام وبالتالي يمكن أن يكون علاجاً مساعداً بعد التدخل الجراحي. ❖ يمكن أن تحقق 74.3% من التئام العظام دون أي إجراءات جراحية. ❖ يمكن تحقيق معدل شفاء أعلى إذا بدأ العلاج فوراً بعد الإصابة في الكسور المتأخرة الالتئام.

تبين من نتيجة الدراسة الخامسة أن (LIPUS) لها نتائج إيجابية في شفاء كسور العظام من خلال التغيرات الجزئية والبيولوجية والميكانيكية الحيوية حول موقع الكسر. ولقد ثبت أنها تسرع تكوين العظام في الكسور الحديثة، والكسور غير الملتئمة، والكسور المتأخرة بالالتئام. وقد تم توصية استخدامها كعلاج آمن بالمقارنة مع علاجات الكسور الموجودة (الجبس، الجراحة). ومع ذلك لم يتم دراسة العلاج بالموجات فوق الصوتية للكسور الموجودة في الأنسجة العميقة بسبب بعض العوامل بما في ذلك التوهين العالي لحزمة الموجات فوق الصوتية، وعدم كفاية شدة الموجات فوق الصوتية في موقع الكسر [5].

هذه الدراسة الحالية أظهرت فعالية جهاز Exogen 4000+ ولكن لم يتم إظهار البيانات الديمغرافية للمرضى من حيث أعمارهم والعوامل المؤثرة على فشل التئام كسور العظام.

الدراسة المرجعية السادسة هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2022 في مستشفيات ومراكز طبية في إيطاليا بعنوان "الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في علاج حالات عدم التئام الكسور والكسور الحديثة: سلسلة حالات". هدفت الدراسة إلى تقييم فعالية الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة كعلاج فعال وبديل للعمل الجراحي لمرضى الكسور عديمة التئام/التئام خلال فترة تسعة سنوات (2013-2021). تألفت عينة الدراسة من 65 مريضاً وكان متوسط العمر في مجموعة عدم التئام (44±18) عاماً ومتوسط الوقت بين حدوث الكسر وتطبيق الـLIPUS 14 شهراً، ومتوسط الوقت بين الجراحة الأخيرة والعلاج بـ LIPUS (165±83) يوماً. أما متوسط العمر لمجموعة الكسور الحديثة فكان (49±21) عاماً. يوضح الجدول (2-2) التالي تصنيفات عينة الدراسة.

الجدول (2-2): تصنيفات عينة الدراسة المرجعية السادسة [6].

46 كسراً عديم التئام (ذكور 35، إناث 11)		**19 كسراً حديثاً (ذكور 11، إناث 8)**	
عظم الفخذ	13	عظم الفخذ	6
عظم شظية الساق	12	عظم شظية الساق	3
عظم العضد	8	عظم العضد	2

عظم نصف القطر للزند	8	عظم نصف القطر للزند	5
عظم مشط القدم	1	عظم مشط القدم	1
عظم الكتائب	2	عظم الترقوة	2
الرضفة	1		
عظم القاربي في اليد	1		

تم تطبيق جهاز Exogen 4000+ خلال جلسات يومية مدتها 20 دقيقة لمدة ثلاثة أشهر على الأقل أو حتى شفاء الكسر، تم تقييم الكسر سواء من خلال الأشعة أو سريرياً. يبين الجدول (2-3) نتيجة هذه الدراسة.

الجدول (2-3): نتائج الدراسة المرجعية السادسة[6] .

	كسور عدم التئام	**كسور حديثة**
متوسط وقت العلاج	(72±100) يوماً	(45±90) يوماً
نسبة المرضى الملتزمين جيداً بالعلاج	60%	70%
متوسط وقت الشفاء باستخدام LIPUS	(53±89) يوماً	(28±46) يوماً
علاج LIPUS آمن بدون أي أحداث سلبية تتعلق باستخدام الجهاز حتى في وجود المثبتات الداخلية والالتهابات.		

وبالتالي يمكن اعتبار علاج LIPUS خياراً منخفض المخاطر كعامل مساعد للجراحة أو كعلاج مستقل في علاج الكسور عديم التئام/التئام والكسور الحديثة [6].

أظهرت هذه الدراسة فعالية Exogen 4000+ كعلاج مساعد للجراحة ولكن لم يتم ذكر ما هي المثبتات الداخلية المستخدمة مع علاج الموجات فوق الصوتية وهل يوجد آثار جانبية للمريض لاستخدام الموجات فوق الصوتية مع المثبتات من ألم وحرارة داخلية.

الدراسة المرجعية السابعة هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2022 في مستشفى جامعة غالواي (**The University of Galway**) في ايرلندا الشمالية بعنوان " العلاج بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة لدى المرضى الذين يعانون من تأخر بالتئام وعدم التئام بعد الصدمة". هدفت الدراسة إلى تقييم معدل نجاح علاج LIPUS في المرضى الذين تم علاجهم من الكسور المتأخرة/غير الملتئمة، مع التركيز بشكل واضح على تأثير الأمراض المصاحبة للمريض وخصائص الكسر. تم إجراء دراسة بأثر رجعي لجميع المرضى المتتاليين الذين تلقوا علاج LIPUS في مؤسسة واحدة ما بين فترة 2016 إلى 2022. من بين 127 مريضاً تم تحديدهم، استوفى 99 مريضاً فقط معايير الاشتمال الخاصة بهم بأنواع مختلفة من الكسور، موضح توزع مواقع الكسور في الجدول (2-4). حيث استلزم جمع البيانات مراجعة الملاحظات السريرية لتقييم جنس المرضى وعمرهم وأمراضهم وطريقة العلاج الأولية والوقت لبدء

LIPUS، وما إذا تم إجراء التصوير المقطعي لتشخيص عدم التئام، ووقت التئام وما إذا كانت هناك حاجة لعملية جراحية أولية وقت الكسر، وقياس الفجوة العظمية بين الأجزاء لجميع الكسور، وتقييم ما إذا التئام الاشعاعي قد تحقق.

كان متوسط عمر المرضى المشمولين في هذه الدراسة52.5 عاماً، تم علاج 65 مريضاً من أصل 99 جراحياً، والباقي تم علاجهم بشكل تقليدي. أصيب 80.8% من المرضى بالتئام الضموري. تم علاج 61.6% من المرضى بنجاح باستخدام LIPUS من خلال التئام سريري واشعاعي بمعدل 4.3 شهراً وكان متوسط الوقت المناسب لإخضاع المرضى لعلاج LIPUS لجميع المرضى المشمولين 5.1 شهراً.

الجدول (2-4): توزيع مواقع الكسر مع عدد المرضى نجاح/فشل علاجLIPUS [7].

مكان الكسر	العدد الإجمالي	مندمل	غير مندمل
الساق/الشظية	33	17	16
عظم العضد	24	18	6
القدم	15	11	4
عظم الفخذ	8	5	3
الترقوة	8	5	3
اليد	6	3	3
الساعد	5	2	3
مجموع الكسور	99	61	38

تبين من نتيجة الدراسة السابعة أن61 مريضاً قد اندمل الكسر بنسبة 61.6% للمرضى الذين عولجوا بعلاج LIPUS لتأخر التئام وعدم التئام و38 مريضاً لم يندمل كسرهم. وتم تحديد الفجوة العظمية بين الأجزاء باعتبارها العامل الوحيد المهم إحصائياً الذي يؤثر على نجاح علاج LIPUS. وفي خلال المناخ خلال 2022 الذي تفشى فيه فيروس كورونا الذي يؤثر سلباً على طرائق العلاج الجراحية فكان هناك حاجة للطلب إلى خيارات العلاج غير جراحية، يمثل علاج LIPUS مساراً تكميلياً مهماً للعلاج غير الجراحي ومنخفض المخاطر لتأخير /عدم التئام [7]. يلخص الجدول (2-5) العوامل الرئيسية التي تم بحثها في هذه الدراسة لارتباطها المحتمل بنجاح/فشل علاجLIPUS.

الجدول (2-5): العوامل الرئيسية التي تم بحثها لارتباطها المحتمل بنجاح/فشل علاجLIPUS [7].

الجنس	**الذكر**	**مستفاد منLIPUS** (27)	**غير المستفاد من LIPUS** (17)
	الإناث	**المستفاد من LIPUS** (34)	**غير المستفاد من LIPUS** (21)

		عدد المرضى
التدخين	مدخن	9
	غير مدخن	19
السكري	يوجد	34
	لا يوجد	8
غير مندمل	ضموري	47
	تضخمي	14
طرائق العلاج الأولية	جراحة المستفاد من علاج LIPUS	43
	جراحة غير المستفاد من علاج LIPUS	22
	تقليدي المستفاد من علاج LIPUS	18
	تقليدي غير المستفاد من علاج LIPUS	16
الفجوة بين الأجزاء		الطول(mm)
	مجموعة المستفاد من علاج LIPUS	3.2
	مجموعة غير المستفاد من علاج LIPUS	7.6

في هذه الدراسة كان لها أثر إيجابي في التركيز على البيانات الديمغرافية للفئة المستهدفة ومعرفة العوامل المؤثرة على فشل التئام كسور العظام ومدى تأثير جهاز+Exogen 4000 على هذه العوامل.

الدراسة المرجعية الثامنة هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2023 في مستشفى عام في استكلندا بعنوان "علاج الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة غير الملتئمة من كسور العظام الطويلة في مستشفى عام في مقاطعة اسكتلندية ". هدفت الدراسة إلى تقييم فعالية الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة كعلاج فعال وبديل للعمل الجراحي لمرضى الكسور عديمة التئام خلال فترة تسعة سنوات (2013-2021). تألفت عينة الدراسة من 18 مريضاً، ستة ذكور و 12 إناث بمتوسط عمر وقت الإصابة 46.6 (14-88) سنة ، يعانون من كسور عديمة التئام في أنواع كسور مختلفة . كان لدى المرضى ألم في موقع الكسر وعدم ظهور تشكل الدشبذ على الصور الاشعاعية خلال صورتين متتاليتين بفاصل زمني بينهما قدره ستة أشهر

في حالة كسر العظم الطويل و ثلاثة أشهر في حالة كسر العظم الصغير (انظر الجدول (2-6)). تم إخضاع المرضى إلى العلاج بـ LIPUS ومراقبتهم من قبل جراحي العظام وفي حال عدم تحقيق الشفاء الكافي بالعلاج بـ LIPUS سيتم إخضاع المرضى إلى التدخل الجراحي.

الجدول (2-6): عينة الدراسة المرجعية الثامنة [8].

مكان الكسر	عدد الحالات	تدخل جراحي		العوامل الموثقة لتأخر التئام
		نعم	لا	
الكعب الوحشي	٥	٥	١٣	• التدخين • السكري • إدمان الكحول • ارتفاع الـ BMI • الاضطراب الداخلي للعظام
القدم الخامس	٥			
عظم الترقوة	٢			
مشط القدم الرابع	١			
عظم الفخذ	١			
عنق الفخذ	١			
الزند المشترك	١			
المشط الثالث	١			
المشط الرابع	١			

تم تطبيق جهاز Exogen 4000+ خلال جلسات يومية مدتها 20min وتستمر لمدة لا تقل عن 60 جرعة، تم تقييم التقدم السريري والاشعاعي من قبل استشاري جراحة العظام على فترات منتظمة.

تبين من نتيجة الدراسة نجاح العلاج باستخدام جهاز Exogen شفي 17 حالة من أصل 18، حيث كان الفشل في حالة واحدة خضع لتبيت جراحي مع ترقيع في العظام بعد عامين من إصابة في كسر إجهاد مشط القدم الرابع. أبلغ ثلاثة مرضى عن زيادة أولية في الألم خلال الأسبوع الأول من علاج Exogen وسرعان ما استقر الألم، ولم يتم الإبلاغ عن أي مضاعفات أخرى وكان معدل الشفاء الإجمالي 94% وبالتالي توضح الدراسة أن (LIPUS) تقدم بديلاً للتطبيق للتثبيت الجراحي [8].

في هذه الدراسة لم تظهر نسبة شفاء لكل مريض باستخدام جهاز Exogen 4000+، وإنما أظهرت نسبة نجاح استخدام جهاز على العينة المرضى الكلية.

2-2 الدراسات التي لا تدعم استخدام الموجات فوق الصوتية في التئام كسور العظام

سيتم الآن توضيح عدد من الدراسات المرجعية التي أكدت أن استخدام الموجات فوق الصوتية ليس له أي تأثير في التئام الكسور. علماً انه جميع هذه الدراسات قامت بتطبيق LIPUS على أنواع مختلفة من الكسور باستخدام جهاز Exogen 4000+ ببارامترات ثابتة هي: تردد 1.5MHZ وشدة $30mw/cm^2$ وزمن جلسة قدره 20min يومياً.

الدراسة المرجعية الأولى هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2005 في جامعة هلسنكي **(University of Helsinki)** في فلندا بعنوان "لا توجد آثار طويلة الأجل للعلاج بالموجات فوق الصوتية على كسر الكعب

الوحشي القابل للامتصاص بيولوجياً والمثبت بالبرغي". هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الآثار الطويلة الأجل للعلاج بـ LIPUS باستخدام جهاز Exogen 4000+على كسور الكعب الوحشية القابلة للامتصاص بيولوجياً والمثبتة بالبراغي وتألفت عينة الدراسة من 16 مريضاً يعانون من كسراً في الكعب الوحشي، حيث تم استخدام برغي بولي لاكتيد واحد قابل للامتصاص بيولوجياً لجميع المرضى.

قسمت عينة الدراسة إلى مجموعتين بحيث ضمت كل من مجموعة المعالجة والمجموعة الضابطة 8 مرضى. تم تطبيق LIPUS على الجانب الوحشي من الكاحل مباشرة على خط الكسر لمدة ستة أسابيع. وتم تصوير مكان الكسر لجميع المرضى لمدة 18 شهراً بواسطة التصوير المقطعي المحوسب متعدد الكواشف (MDCT) ومقياس كثافة العظم(DEXA) بعد العملية الجراحية مع إجراء تقييم للصور الاشعاعية من بداية الأسبوعيين، وستة أسابيع، وتسعة، و12 أسبوعاً، وحتى18 شهراً.

تبين من نتيجة هذه الدراسة أنه لا يوجد أي اختلاف في الشكل الاشعاعي للعظم في موقع الكسر، وتميل كثافة المعادن العظمية للكعب الوحشي المكسور إلى زيادة بشكل طفيف خلال فترة المتابعة التي استمرت 18 شهراً، وكانت الزيادة الكثافة المعدنية متماثلة في كلا المجموعتين ولم يلاحظ أي اختلافات في النتائج السريرية [9].

هذه الدراسة الحالية أيضاً لم تظهر العوامل الديمغرافية التي أثرت على فشل التئام كسور العظام عند استخدام براغي بولي لاكتيد كعلاج أولي، وأيضاً لم يذكر هل كانت الكسور حديثة أو متأخرة بالتئام او عديم التئام ومتى تم تطبيق LIPUS بعد العمل الجراحي.

الدراسة المرجعية الثانية هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2013 في قسم الجراحة العظام في جامعة تيكيو **(Teikyo University)** في اليابان بعنوان "ثلاثة عوامل تؤثر في نتائج العلاج بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة للكسور متأخرة التئام وعديمة التئام: عدم الاستقرار، وحجم الفجوة، وعدم التئام الضموري". هدفت الدراسة إلى تحديد العوامل التي أثرت في فشل شفاء الكسر بعد تطبيق LIPUS بالنسبة لتأخر/عدم التئام. قام الباحثون بدراسة رصدية ذات أثر رجعي مدتها عام واحد بالاستناد إلى البيانات المجمعة خلال الفترة من 1998 حتى عام 2007. حيث تألفت عينة الدراسة من 101 مريضاً يعاني بتأخر بالتئام و50 مريضاً يعاني من عدم التئام، وكان قياس النتيجة هو التحديد الاشعاعي لالتئام العظام (راجع الجدول (2-7) الذي يوضح نتائج هذه الدراسة). تم استخدام التقييم الإحصائي للتعرف على العوامل التي يمكن التنبؤ بها والتي تؤثر في نتائج علاج LIPUS لتأخر/عدم التئام باستخدام استخدم جهاز Exogen +4000، تم تقييم نتائج اشعاعياً باستخدام تقنية الأشعة السينية.

الجدول (2-7): نتيجة الدراسة المرجعية الثانية غير الداعمة لاستخدام LIPUS [10].

	حالات التأخر بالتئام	**حالات عدم التئام**
عدد المرضى الكلي	101	50

عدد المرضى المستفيدين من LIPUS	75 دون تدخل جراحي	34 دون تدخل جراحي
عدد المرضى غير المستفيدين من LIPUS	26احتاجوا لاحقاً لتدخل جراحي	16 احتاجوا لاحقاً لتدخل جراحي
الحالات المصاحبة للفشل	• عدم التئام ضموري/ تضخم • عدم الاستقرار في موقع الكسر • حجم فجوة الكسر > 9mm	• طريقة التثبيت • عدم الاستقرار في موقع الكسر • حجم فجوة الكسر > 8mm

تبين هذه الدراسة أنه يجب تطبيق LIPUS كعلاج مساعد لحالات التأخر/عدم التئام دون تدخل جراحي ويجب تطورLIPUS لعلاج حالات (عدم التئام ضموري وعدم استقرار في موقع الكسر وحجم الفجوة الكسر الأكبر من 8mm)[10] .

في هذه الدراسة كان يجب ذكر هل المرضى الذين يعانون من عدم التئام ضموري كان لديهم التهاب انتاني هو الذي أثر على عدم فعاليةLIPUS في التئام الكسور.

الدراسة المرجعية الثالثة هي عبارة عن بحث منفذ في العام 2014 في أستراليا بعنوان "الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في إصابات إجهاد عظام الأطراف السفلية: تجربة عشوائية محكمة". هدفت الدراسة إلى تقييم فعالية الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة LIPUS لتحسين إصابات عظام إجهاد السفلى في السكان المدنيين، وتألفت عينة الدراسة من 23 مريضاً يعانون من كسوراً في الظنبوب والشظية ومشط القدم.

قسمت عينة الدراسة المرضى حسب موقع الكسر كما هو موضح في الجدول (2-8)، بمتوسط العمر 12.1 ±30.4 وأن 85% من الأشخاص كانوا من الإناث، تم تطبيق LIPUS لمدة 20min على موقع الإصابة وبترددات 1.5% ±5%MHz، ومتوسط الشدة المستخدمة $30mw/cm^2$. تم تصوير مكان الكسر لجميع المرضى لمدة 4 أسابيع بواسطة التصوير بالرنين المغناطيسي وحساب حجم وذمة نخاع العظم والتقييم سريرياً من حيث (الألم ليلي، والالم في أثناء الراحة، والألم في أثناء المشي، والألم في أثناء الجري، والألم عند اللمس، والألم في أثناء القفز على ساق واحدة).

الجدول (2-8): توزيع المرضى حسب موقع الكسر [11].

موقع الكسر	مجموعة علاج LIPUS	المجموعة الضابطة
الظنبوب	5	6
الشظية	2	3
مشط القدم (BSI)	3	4
المجموع	10	13

تبين من نتيجة الدراسة أنه لا يوجد فرق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين في التصوير بالرنين المغناطيسي والمعلومات السريرية، ووجدوا أن الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة ليست علاجاً فعالاً بشفاء إصابات الإجهاد العظمي في الأطراف السفلية بشكل عام للرياضيين والسكان المدنيين، وخاصة تلك التي تتكون من الإناث الأكبر سناً إلى حد كبير [11].

هذه الدراسة الحالية لم تظهر البيانات الديمغرافية للفئة المستهدفة وأيضاً كان يجب عدم تطبيق LIPUS على المرضى الذين أعمارهم الأقل من 18 عاماً لعدم فعالية الموجات فوق الصوتية للفئة العمرية الصغيرة.

تحمل **الدراسة المرجعية الرابعة** العنوان: "إعادة تقييم الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في علاج كسور قصبة الساق: تجربة سريرية عشوائية" وهي منفذة في العام 2016 في 43 مركزاً أكاديمياً تابعاً لجامعة أمريكا الشمالية. هدفت الدراسة إلى تحديد ما إذا كانت LIPUS قادرة على تسريع الانتعاش الوظيفي والشفاء الاشعاعي في المرضى الذين يعانون من كسور قصبة ساق تم التحكم فيها جراحياً بالمقارنة مع العلاج التقليدي حيث خضع كامل مرضى الدراسة للتسمير داخل النخاع لكسر قصبة الساق (الظنبوب).

قُسمت عينة الدراسة بشكل عشوائي إلى مجموعتين بحيث ضمت مجموعة المعالجة بـLIPUS 250 مريضاً باستخدم جهاز +Exogen 4000 لمدة 20min يومياً. بينما ضمت المجموعة الضابطة 251 مريضاً. تم تصوير مكان الكسر لمدة عام كامل منذ بداية الأسبوع 6 و12 و18 و26 و38 و52 بعد الجراحة بواسطة الأشعة السينية.

تبين من نتيجة هذه الدراسة أن تطبيق LIPUS لم يؤدي إلى تحسين التعافي الوظيفي أو تسريع الشفاء الاشعاعي أو تقصير مدة الشفاء[12] .

في هذه الدراسة الحالية لم يتم ذكر متى بدأ العلاج باستخدام LIPUS وما هي العوامل التي أثرت على فشل تحريض التئام كسور العظام.

الدراسة المرجعية الخامسة عبارة عن بحث منفذ في العام 2021 في جامعة تيكيو **(Teikyo University)** في اليابان تحت عنوان " هل يمكن أن تسرع الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة من التئام العظام بعد التثبيت اللولبي داخل النخاع لكسور الإجهاد الخامس القريبة من مشط القدم؟ دراسة بأثر رجعي".

هدفت الدراسة إلى معرفة تأثير علاج LIPUS بعد التثبيت اللولبي داخل النخاع لكسور الإجهاد القريبة من مشط القدم الخامس وتألفت عينة الدراسة من 95 مريضاً.

قسمت عينة الدراسة بعد تثبيت اللولب داخل نخاع مشط القدم الخامس لجميع المرضى بشكل عشوائي إلى مجموعتين بحيث ضمت مجموعة المعالجة 53 مريضاً وهي مجموعة العلاج بـ LIPUS بينما ضمت المجموعة الضابطة 42 مريضاً، مع تصوير مكان الكسر بشكل أسبوعي لمدة 3 أسابيع بواسطة الأشعة

السينية. تم تطبيق LIPUS على أفراد مجموعة المعالجة باستخدام جهاز +Exogen 4000 لمدة 3 أسابيع بزمن جلسة قدره 20min يومياً. يبين الجدول (2-9) نتائج هذه الدراسة المرجعية.

الجدول (2-9): نتائج الدراسة المرجعية الخامسة غير المؤيدة لاستخدام LIPUS [13].

	مجموعة المعالجة	المجموعة الضابطة
عدد المرضى	53	42
متوسط الزمن لبدء الجري	6.8 اسبوع	6.2 أسبوع
متوسط زمن العودة للرياضة	13.7 أسبوع	13.2أسبوع
الزمن الاشعاعي لالتئام العظام	11.9± 3.3 اسبوع	12.0 ± 3.8 أسبوع
معدل عدم الالتئام بعد الجراحة	0%	4.5%

نلاحظ من الجدول (2-9) عدم وجود فروقات ذات دلالة إحصائية بين بارامترات مجموعة المعالجة والمجموعة الضابطة. لذلك خلصت هذه الدراسة إلى أن LIPUS لم يحسن كسور إجهاد المشط الخامس ولوحظت نتائج سريرية مماثلة مع أو بدون تطبيقه [13].

هذه الدراسة كان يجب عليها ذكر ما هي الدراسات الإحصائية التي قاموا بها لتقييم فعالية التئام كسور العظام باستخدام LIPUS ولم يتم ذكر نسبة شفاء كل كسر في كلا المجموعتين وأيضاً كان يجب ذكر البيانات الديمغرافية لفئة المرضى المستهدفة.

الفصل الثالث
الخلفية الطبية للبحث

يتناول هذا الفصل الخلفية الطبية للبحث بما في ذلك شرح البنية التشريحية للعظام عند الإنسان وأنواع كسور العظام وموقعها وأساليب علاجها والمضاعفات الناتجة عنها، بالإضافة إلى العوامل المؤثرة في التئام/التئام الكسور.

1-3 أنواع العظام

تقوم العظام بعدد مهم من الوظائف فإلى جانب توفير الشكل المناسب لجسم الإنسان، فهي تسمح للجسم بالحركة وحماية الأعضاء الحيوية وتسهيل التنفس ولعب دور في التوازن وحمل الوزن وإنتاج مجموعة متنوعة من الخلايا الحاسمة في النخاع للبقاء على قيد الحياة. تخضع العظام باستمرار لتغييرات هيكلية وبيولوجية، وتستمر إعادة تشكيل العظام طوال الحياة بناءً على المتطلبات المفروضة علي. تقسم العظام في جسم الإنسان إلى خمسة أنواع [14]:

١) **العظام المسطحة Flat Bones:** تتميز هذه العظام بكونها رقيقة ومنحنية إلى جانب أنها مسطحة، وبذلك فهي تعمل كالدروع وتوفر الحماية والترابط العضلي للعديد من أعضاء الجسم الداخلية مثل الدماغ والقلب والحوض.

٢) **العظام القصيرة Short Bones:** تتميز العظام القصيرة بأنها تمتلك جميعها نفس مقدار الطول والعرض تقريباً، وهي عبارة عن طبقة رقيقة من العظم المضغوط الصلب من الخارج والإسفنجي من الداخل، كما تحتوي على نخاع العظم، ومثال عليها: عظم رسغ القدم واليد، ومهمتها توفير الدعم والاستقرار للجسم مع بعض الحركة.

٣) **العظام الطويلة Long Bones:** تتألف العظام الطويلة من جذع وطرفين، لذلك فإن طولها أكبر من عرضها، وتكون موجودة في غالبية الأطراف مع القليل من النخاع، وتلعب دوراً في الحركة ودعم وزن الجسم.

٤) **العظام غير المنتظمة Irregular Bones:** تتميز العظام غير المنتظمة بكون خصائصها لا تتناسب مع أي من المجموعات الثلاث الأخرى المذكورة سابقاً، ويكون شكلها معقداً، وهي في الغالب عظم إسفنجي مغطى بطبقة رقيقة من العظم المضغوط، وبسبب شكلها غير المنتظم، فهي تقوم بحماية الأعضاء الداخلية، من الأمثلة عليها: عظام الجمجمة، عظام فقرات العمود الفقري التي تحمي النخاع الشوكي، وعظام الحوض التي تحمي الأعضاء الموجودة في التجويفة.

٥) **العظام السمسمية Seasmoid Bones:** تتواجد العظام السمسمية داخل الأوتار تحديداً في موضع تقاطع الأوتار الموجودة في نهاية العظام الطويلة الخاصة بالأطراف ومن الجدير بالذكر أن العظام السمسمية عادةً ما تكون عظام صغيرة مقارنة مع العظام الأخرى، وتتطور بمعدلات مختلفة حسب الأشخاص، ومن الأمثلة عليها: عظمة رأس الركبة الموجود أمام مفصل الركبة.

2-3 مكونات العظام

تتكون معظم العظام في جسم الإنسان من عدد من الطبقات، يمكن تلخيصها بالتالي [44]:

- **الطبقة الخارجية الصلبة المعروفة باسم السمحاق:** وهو غشاء رقيق يحتوي على الأعصاب والأوعية الدموية التي تغذي العظام.
- **العظم المضغوط:** وهو الجزء الصلب التالي للسمحاق ويمكن رؤيته بوضوح.
- **طبقات العظم الإسفنجي:** توجد داخل العظم المضغوط وصلابتها أقل من صلابة العظم المضغوط.
- **نخاع العظم:** وهو أعمق جزء في العظام وتحميه طبقات العظم الإسفنجي، ويكون شبيهاً بالهلام الكثيف وهو يعمل على تكوين خلايا الدم.

العظام ليست أنسجة ثابتة ولكنها تحتاج إلى إعادة تشكيل مستمر. توجد عدة أنواع من الخلايا الرئيسية المشاركة في هذه العملية[44,15] :

١. **خلايا بانية للعظم (Osteoblast):** هي المسؤولة عن توليد العظام وإصلاحها. فهي تنتج خليطاً من البروتين ويسميه الأطباء عظمياء (osteoid)، الذي يتمعدن لاحقاً ويصبح عظماً. تعمل هذه الخلايا على إفراز بعض المكونات مثل: الكولاجين، وبعض البروتينات السكرية.

٢. **الخلايا العظمية البالغة (Osteocyte):** هي خلايا غير نشطة يتم تمعدنها وتبقى داخل العظم الذي تم تكوينه. تتواصل هذه الخلايا مع الخلايا العظمية الأخرى وتساعد في دعم وظائف التمثيل الغذائي داخل العظم.

٣. **الخلايا المحطمة للعظم (Osteoclast):** هي خلايا كبيرة تحتوي على أكثر من نواة واحدة. تساعد الخلايا العظمية في إعادة تشكيل العظام المصابة وإنشاء مسارات للأعصاب والأوعية الدموية للمرور عبرها.

٤. **خلايا نخاع العظم (Bone marrow):** يُعد نخاع العظم مادة اسفنجية توجد في معظم أنواع العظام، ويكون مسؤول عن إنتاج خلايا الدم الحمراء إذ ينتج حوالي مليوني خلية دم حمراء كل ثانية واحدة. ويتم تصنيف نخاع العظم تبعاً للخلايا الجذعية التي يحتويها فيصنف إلى نخاع عظم أحمر (يحتوي على الخلايا الجذعية المنتجة لكريات الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية) ونخاع عظم أصفر (يحتوي على الخلايا الجذعية المنتجة للخلايا الدهنية والخلايا الغضروفية والخلايا العظمية).

٥. **نسيج بيني خارج الخلوي (Extracellular matrix):** يحتوي العظم على مجموعة من الخلايا المدمجة مع بعض المكونات الأساسية المسؤولة عن بناء العظام، مثل الكولاجين الذي يعمل على تزويد العظام بالمرونة والقوة الكافية التي تمنعها من التمزق.

٦. **خلايا بطانة العظام:** تعد هذه الخلايا أحد أنواع خلايا العظم المسطحة التي تغطي أسطح العظام، ويعد وجودها

تحتوي العظام على مجموعة من المواد، يمكن تقسيم وزنها اعتماداً على محتواها كما يلي [45]:

١. **مواد غير عضوية:** تمثل حوالي 55% من تركيب العظام وهي بالأساس (الكالسيوم هيدروكسي أباتيت) $Ca(PO4)(OH)_2$ وهو المصدر الرئيسي لقوة العظام، إضافة إلى أن الكالسيوم والفسفات الموجودين بالعظام اللذان يعدان من المصادر المهمة لإمداد الجسم باحتياجاته من تلك المعادن من خلال عملية الإحلال والتبديل الدورية للعظام.

٢. **مواد عضوية:** تمثل حوالي 34% من تركيب العظام وتشتمل على:

- ✓ الكولاجين الذي يمثل حوالي 90% من المكونات العضوية وهو المكون الأساسي للعظام، فهو يقاوم القوى الشدية التي تتعرض لها العظام.
- ✓ البروتيوجليكان وهو المكون الآخر الأساسي للعظام وهو يقاوم القوى الضغطية التي تتعرض لها العظام.
- ✓ مكونات أخرى تسهم في نمو وأيض العظام من مثل: البروتينات غير الكولاجينية، وعوامل نمو وإنزيمات مختلفة.

٣. **الماء:** يشكل الماء عادة نسبة تتراوح من 5%إلى 11% من وزن العظام.

3-3 كسور العظام

الكسر هو خرق في الاستمرارية الهيكلية لقشرة العظام، مع وجود درجة من الإصابة للأنسجة الرخوة المحيطة [16]. عادةً ما تنتج كسور العظام عن تأثير القوة العالية أو الإجهاد مما يؤدي إلى تجزؤ العظم إلى جزئين أو أكثر.

بالنسبة لأنواع كسور العظام، فيمكن تصنيفها سريرياً وحسب نوع التأثير. وفقاً للتصنيف السريري تقسم كسور العظام إلى نوعين مغلقة (بسيطة) ومفتوحة (مركبة). الكسر المغلق هو الكسر الذي لا يرافقه تلف في الأنسجة المحيطة أو تمزق في الجلد. يدمر الكسر المفتوح الأنسجة المحيطة ويخترق الجلد لذلك يعد هذا النوع من الكسور أكثر خطورة من سابقه بسبب احتمالية حصول الانتان. أما فئات كسور العظام حسب نوع التأثير، والتي يظهر الشكل (3-1) بعضاً منها، فهي [17]:

1- **الكسر القلعي Avulsion fracture**: تسحب العضلة أو رباط العظم مما يؤدي إلى كسرهم.

2- **الكسر المتفتت Comminuted fracture**: يؤدي التأثير إلى تحطيم العظم إلى أجزاء عديدة.

3- **الكسر الانضغاطي أو السحق Compression, or crush, fracture**: يحدث هذا بشكل عام في العظم الإسفنجي في العمود الفقري. على سبيل المثال قد ينهار الجزء الأمامي من فقرة في العمود الفقري بسبب هشاشة العظام.

4- **خلع الكسر Fracture dislocation**: يحدث هذا عندما يخلع المفصل، وتكسر إحدى عظام المفصل.

5- **كسر الغصن الصغير Greenstick fracture**: ينكسر العظم جزئياً على جانب واحد لكنه لا ينكسر تماماً، لأن بقية العظم يمكن أن ينحني.

6- **الكسر الشعري Hairline fracture**: هذا هو كسر جزئي رقيق للعظم.

7- **الكسر المتأثر Impacted fracture**: عندما ينكسر العظم، قد يصطدم قطعة من العظم بعظم آخر.

8- **الكسر داخل المفصل Intra-articular fracture**: يحدث هذا عندما يمتد الكسر إلى سطح المفصل.

9- **الكسر الطولي Longitudinal fracture**: يحدث عندما يمتد الكسر على طول العظم.

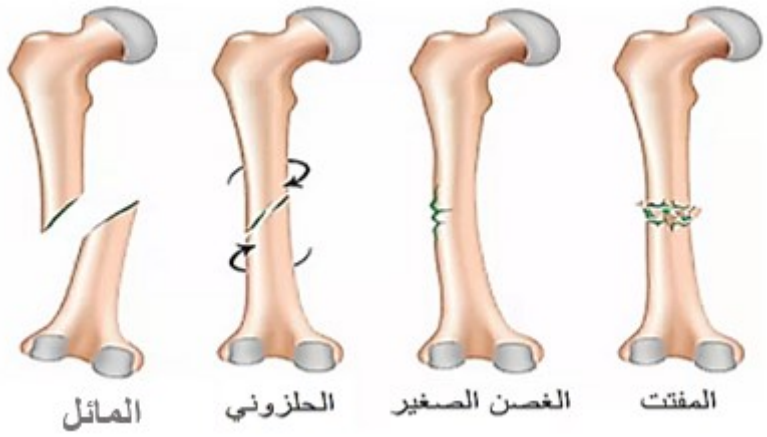
10- **الكسر المائل Oblique fracture**: هو الذي يحدث مقابل المحور الطويل للعظم.

11- **الكسر المرضي Pathological fracture**: يحدث هذا عندما تؤدي حالة مرضية كامنة إلى إضعاف العظام والتسبب بالكسر.

12- **الكسر الحلزوني Spiral fracture**: هنا يلتوي جزء واحد على الأقل من العظم في أثناء الكسر.

13- **كسر الإجهاد Stress fracture**: يمكن أن يؤدي الإجهاد المتكرر إلى كسر العظام وهو شائع الحدوث بين الرياضيين.

14- **الكسر المستعرض Transverse fracture**: هو الكسر المستقيم عبر العظم.



الشكل (3-1): أنواع كسور العظام حسب نوع التأثير[4].

3-4 التئام الكسور

هي عملية تجديد معقدة وسلسة تهدف إلى إعادة العظام التالفة إلى حالتها قبل الإصابة وتكوينها الخلوي. علماً أن النسيج العظمي هو النسيج الحي الوحيد الذي من الممكن أن يعود لطبيعته كنسيج عظمي سليم تماماً كما كان عليه قبل الإصابة وبفترة زمنية معينة وبدون تشكل نسيج ندبي[44] . فيما يتعلق بعملية الشفاء (التئام الكسور)، يتم تصنيف كسور العظام إلى نوعين [16]:

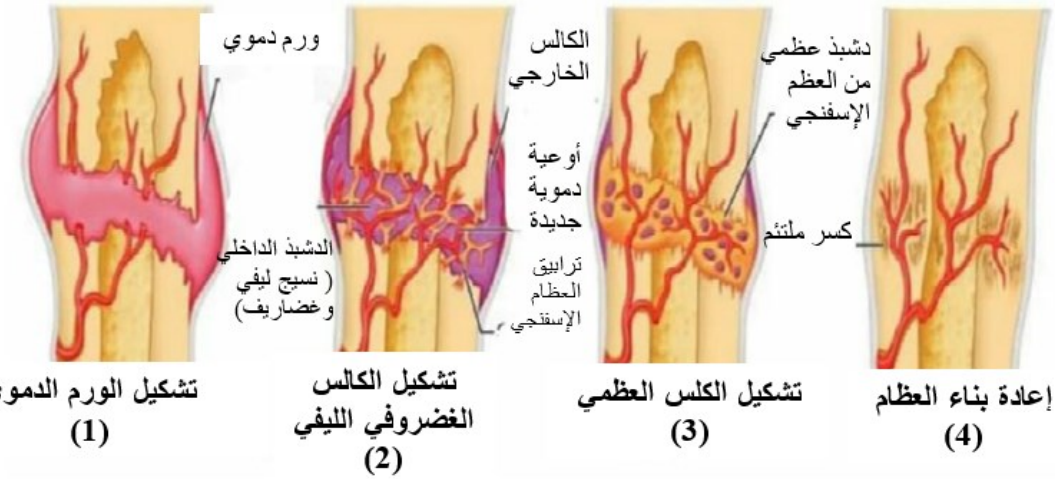
- كسر عظمي مع قطع كامل للعظم
- شق (تمزق عظمي) مع تدمير غير كامل لهيكل العظم.

نتيجة لذلك يتم التمييز بين التئام الكسر الأولي والثانوي. ففي أثناء الشفاء الأولي (المباشر) لكسر العظام لا يتم تصنيع عظم جديد (يُسمى الدشبذ callus) لالتئام الكسر وإنما يشفى العظم مباشرة. ومع ذلك، فإن الشرط المسبق لذلك هو أن تظل أطراف الكسر على اتصال مع بعضها البعض، على سبيل المثال من خلال السمحاق (السمحاق الخارجي)، الذي لا يتلف عندما ينكسر العظم. يحدث التئام الكسر الثانوي (غير المباشر) عند وجود فجوة بين طرفي العظم المكسور وبالتالي يجب أن يتم إغلاقها بعظم جديد حتى يشفى الكسر. في حين أن عملية التئام الكسور الأولية تكتمل عادة بعد ثلاثة أسابيع، يمكن أن يستغرق التئام الكسر الثانوي ما يصل إلى 24 شهراً. تتكون عملية الشفاء الثانوية من أربع مراحل كما هو موضح في الشكل (2-3) [16]:

- ✓ تشكيل ورم دموي والذي يستغرق من يوم إلى 5 أيام.
- ✓ تشكيل الكالس الغضروفي الليفي ويستغرق من **5** أيام إلى 11 يوم.

[4] https://bit.ly/3LctDJr (downloaded 17/4/ 2022).

- ✓ تشكيل الكالس العظمي ويستغرق من11 يوم إلى 28 يوم.
- ✓ إعادة تشكيل العظام والذي يبدأ من اليوم 18 فصاعداً.



الشكل (3-2): مراحل عملية شفاء كسور العظام [18].

3-4-1 العوامل المؤثرة في التئام الكسور

يمكن أن يحصل تأخر/ فشل في التئام الكسور في 10%من جميع حالات الكسور حيث تؤثر عوامل متعددة في عملية شفاء الكسور. يمكن تصنيف هذه العوامل إلى عوامل محلية وجهازية. نذكر من العوامل المحلية [44,16]:

١. **خصائص الكسر:** يمكن أن تؤدي الحركة المفرطة، وعدم المحاذاة، والأضرار الجسيمة، والأنسجة الرخوة المحصورة داخل نهايات الكسر إلى تأخير أو عدم الاتحاد.

٢. **العدوى:** يمكن أن تؤدي إلى ضعف الالتئام وتأخير أو عدم الاتحاد مثل التهاب نقي العظام.

٣. **التروية** الدموية**:** يمكن أن يؤدي انخفاض تدفق الدم إلى موقع الكسر إلى تأخير أو عدم الاتحاد.

٤. **كثافة العظام:** تقيس كثافة العظام كمية المعادن العظمية الموجودة في كل سنتيمتر مربع من نسيج العظم. يصل الجسم البشري إلى ذروة كثافة (صلابة) عظامه عند بلوغه 30 عاماً من عمره تقريباً. تميل بعد ذلك العظام تدريجياً لتصبح أقل كثافة (بداية هشاشة العظام) حيث يبدأ الجسم باستهلاك الكالسيوم المخزن فيها وتفقد العظام مع الزمن كثافتها وتصبح أرق وأضعف. يرتبط انخفاض كثافة المعادن بالعظام بزيادة خطر الإصابة بالكسور.

٥. **داء السكري:** في النوع الأول من داء السكري يقل إفراز هرمون الأنسولين بشكل مطلق، مما يؤثر في العظام ويسبب هشاشتها، ومن ثم زيادة قابلية العظام للكسر، وعند الأطفال يسبب

تأخر النمو العظمي، حيث إن ارتفاع سكر الدم يؤثر في هرمونات النمو، كما إن مشكلات تضيق الشرايين الدموية، ونقص الفيتامين D، واختلاف توازن الخلايا الالتهابية المناعية، ونقص تشكل الخلايا البانية للعظم عند مرضى داء السكري تؤثر في سير عملية الالتئام العظمي، فقد تؤخر أو تعوق حدوث الالتئام.

6. **التدخين:** يحتاج الالتئام العظمي إلى وفرة التروية الدموية بنهايات العظم المكسورة، وللتدخين تأثير سلبي في الشرايين ويؤدي إلى تصلبها، ومن ثم نقص التروية الدموية بالأطراف، وتتأثر نسبة الأكسجة للدم المحمول لهذه الأنسجة، والنتيجة هي تأخر بالالتئام (قد يصل إلى تسعة أشهر)، كما يؤثر النيكوتين في الالتئام العظمي، لإنه يضعف عمل الخلايا البانية للعظم، وكذلك ينقص من خاصية اندماج الطعوم العظمية وحتى بتمام الالتئام فإن العظم المتشكل بالنهاية يكون ضعيفاً وهشاً، كما يضعف التدخين مناعة الجسم، ومن ثم يؤخر شفاء الأنسجة المتضررة، وقد يزيد من فرص الالتهاب الجرثومي.

يمكن تلخيص العوامل الجهازية التي تؤثر في التئام الكسور بالتالي: التقدم في العمر، والبدانة، وسوء التغذية، والإصابة بفقر الدم، والإصابة بأمراض الغدد الصماء، الإصابة داء السكري وأمراض الغدة الجار درقية وانقطاع الطمث[16].

3-4-2 تشخيص التئام

تستغرق عملية التئام الكسور على الأقل 6 أسابيع للكسور الحادة والغير متبدلة، بينما تستغرق الكسور المتوسطة من4 إلى 8 أسابيع حتى يلتئم الكسر بينما تحتاج الكسور المعقدة من 12 إلى 18 شهراً ولكن يستغرق التئام كسر غصن النضير عند الأطفال شهراً واحداً حتى يلتئم، يُعد تشخيص التئام أمر صعب يعتمد على عدد من الحقائق[44]:

1 . **التئام على الصعيد المجهري:** الذي يتم بدراسة خلوية وتشريحية مرضية. تعد هذه الدراسة أمر صعب التطبيق لأنه يستلزم أخذ خزعة من المريض ودراستها مجهرياً على النسيج العظمي والنسيج المتشكل في بؤرة الكسر.

2. **التئام السريري:** يلاحظ الطبيب بالفحص السريري أن المريض ذهبت عنه علامات الكسر المؤكدة والتي تعطي شك بوجود الكسر.

3. **التئام الإشعاعي + السريري:** يتم أحياناً تقديم الفحص السريري على الفحص الإشعاعي وأحياناً العكس حسب حالة الكسر ونوع العظم ووضع المريض. والدليل القطعي على التئام الإشعاعي هو تشكل الدشبذ عظمي.

بعد التعرف على مكان الكسر والاستدلال عليه من خلال الفحص السريري، تصبح الوسائل الإشعاعية المساعدة ضرورية لتأكيد التشخيص ومن هذه الوسائل التصوير الإشعاعي البسيط (X-ray) الذي يعتبر الأكثر استخداماً في مجال تشخيص الكسور العظمية وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية يتم تسليطها على الجزء المصور من الجسم ويستقبلها فيلم حساس، حيث يمتص الجزء المعرض للتصوير جزءاً من هذه الأشعة(يختلف الامتصاص حسب كثافة الأنسجة) وبما أن العظام عبارة عن نسيج كثيف فلا يمتص الأشعة ومن ثم تسقط على الفيلم الحساس فيرسم لنا العظم والكسر، كما تجرى فحوص أخرى حسب الحاجة: مثل التصوير المقطعي المحوسب (CT scan)، والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، واستخدام مقياس الكثافة العظمية (BMD test)، ودراسة القدرة على تحمل الاوزان [44].

5-3 طرائق علاج كسور العظام

تاريخياً (في العام 1741)، تم تجريب العديد من الأساليب المساعدة على التئام من أجل تسريع التئام وتقليل فترة العلاج ومعاناة المربض. تم في البداية تجريب مواد كيميائية وأدوات مساعدة ولكن جميعها سببت كوارث ببؤرة الكسر فتم التوصل إلى الفكرة الشائعة حالياً للمعالجة وهي وضع الكسر بأحسن وضعية لتحقيق التئام مع الجبس متأملين أن يحدث التئام بأسرع وقت علماً أن عملية التئام تختلف من مريض لآخر حسب طبيعة عظمه وحسب نفسيته وحسب نسبة الأكسجين بالجو ووجود أمراض مصاحبة للكسر أم لا.

كان الناس قديماً يعتمدون على الطب الشعبي في معالجة الكسور فكان المجبر الشعبي لا يستخدم الجبس في تثبيت العضو المكسور كما يفعل الأطباء والمستشفيات، لكنه يستخدم الأدوية البسيطة وجريد النخيل في عملية التثبيت، فيظل العضو المصاب خفيفاً لا يسبب ضيقاً أو أذى للمريض، كما أن المجبر الشعبي يعتمد على خبرته الشخصية وتجاربه الخاصة في إعادة العظم المكسور إلى وضعه الطبيعي، قبل ربطه وتثبيته مما يساعد على سرعة جبره، وكانت المواد المستخدمة في صنع الجبيرة هي البيض والعنزروت. يعالج العلاج الشعبي الكسور بالأيام بما يتوافق مع عمر المصاب، فعندما يكون عمر الشخص **30**عاماً فيتم التعافي من الكسر في**30** يوماً ويستثنى مرضى السكري فيستغرق تعافيه**60** يوماً[46].

توجد حالياً وسائل عديدة لعلاج كسور العظام هي [44]:

- **استخدام الجبائر:** يهدف استخدام الجبائر إلى تثبيت العظام في الوضع الصحيح خلال مرحلة الالتئام، وقد تستخدم الدعامات أو الجبيرة في بعض الحالات الكسور لتقييد حركة المفاصل القريبة من مكان الإصابة.

- **الجر العظمي (skeletal traction):** يتم من خلال هذه العملية سحب العظم ووضع دبوس أو سلك أو مسمار في العظم المكسور، وبعد إدخال أحد هذه الأجهزة يتم ربط الأوزان لزيادة مرونة العضلات والأوتار المحيطة بالعظم المكسور بحيث يتم سحب العظم إلى الوضع الصحيح وتعزيز التئام العظام ويتم هذا الشيء تحت التخدير الكامل لمنع الشعور بالألم.
- **الجراحة:** تجرى الجراحة في بعض حالات كسور العظام بغرض تثبيت العظام المكسورة في وضعها الصحيح حتى تلتئم، وتنقسم الجراحة إلى نوعين:

1. **التثبيت الخارجي:** يثبت طبيب العظام دبابيس أو مسامير معدنية في العظام المكسورة، تتصل هذه الدبابيس من الخارج بقضيب معدني، فيتشكل بذلك إطاراً هيكلياً يحيط بالعظم المكسور من الخارج ويثبته ليلتئم العظم كما ينبغي له.
2. **التثبيت الداخلي:** يعيد طبيب العظام قطع العظام المكسورة إلى موضعها الصحيح، يثبت صفائح معدنية أو مسامير مخصصة لهذا الغرض على السطح الخارجي للعظم المكسور حتى يلتئم، أو يمكن إدخال قضبان معدنية داخل جزئي العظم المكسور ليتصل ببعضه ويترك لمساعدته في الالتئام.

يلخص الجدول (3-1) إيجابيات وسلبيات طرائق علاج كسور العظام سابقة الذكر.

الجدول (3-1): إيجابيات وسلبيات طرائق علاج كسور العظام [44].

طرائق العلاج	الإيجابيات	السلبيات
الجبائر الجبسية التقليدية	- توفر الدعم الجيد والحماية للإصابة. - يمكن استخدامها لمعظم أنواع الإصابات. - غير مكلفة - تحافظ على العمليات البيولوجية للالتئام	- ثقيلة وضخمة وتؤدي إلى تيبس المفاصل وصعوبة في عودة إلى الحركة. - ضمور مؤقت في العضلات. - يمكن أن يكون غير مريحة وتسبب الحكة. - تقرحات والتهابات يمكن أن تصل للعظم المكسور - لا يمكن إزالتها للإستحمام أو السباحة وتستغرق وقتاً طويلاً حتى يجف.

العمل الجراحي	- الحفاظ على الورم الدموي الأولي المتشكل عند الكسر بعدم تخريبها بالفتح الجراحي. فتقلل من الجروح - تفيد في إعادة الكسر إلى وضعه الصحيح. - تفيد في علاج الكسر المتضرر والمتفتت. - تقلل المدة الزمنية التي يمكن ان يحتاجها المريض مقارنة بالجبائر.	- تسبب ألم في مكان الكسر - احتمال الإصابة بالإنتان بعد الجراحة - الكلفة عالية - يحتاج المريض إلى تخدير
الجبر العظمي	- استقرار العظام المكسورة كما في حال كسر الذراع أو الساق. - تثبيت وإعادة تنظيم العظم المكسور أو الجزء المخلوع من الجسم (مثل الكتف). - تمديد الرقبة وإعادة تنظيم الفقرات لتقليل الضغط على العمود الفقري. - تخفيف الألم مؤقتاً قبل الجراحة.	- يحتاج المريض إلى تخدير - قد يحدث نزيف شديد في أثناء العملية أو بعدها فتطول فترة مراقبة المريض بعد عملية الجر في مشفى - قد تتضرر الأنسجة المحيطة بموقع العملية وإصابة العصب أو الأوعية الدموية وذلك بسبب الوزن والضغط الذي يؤثر على المنطقة. إن عدم القدرة على الحركة لفترة طويلة تؤدي إلى: - ألم السرير. - مشاكل في الجهاز التنفسي. - مشاكل في المسالك البولية. - مشاكل الدورة الدموية

توجد العديد من الطرائق التي يمكن لفريق عمل متعدد التخصصات استخدامها لتعزيز / تحفيز التئام الكسور، بما في ذلك**[16]:**`

- **المكملات الغذائية:** كالسيوم وبروتين وفيتامينات (ج / د).
- **محفزات العظام:** والتي يمكن أن تكون كهربائية وكهرومغناطيسية وفوق صوتية.
- **الترقيع العظمي:** يتضمن استخدام العظام للمساعدة في توفير سقالة للعظم الذي تم تشكيله حديثاً.

3-6 المضاعفات التالية لتثبيت والتئام الكسور

يمكن تلخيص المضاعفات التي تنتج من التثبيت الطويل في أثناء عملية التئام الكسور خلال فترة تثبيت الطرف بما يلي [44]:

أولاً: تناذر/ ضمور سودك

يُسمى أيضاً متلازمة الألم الناحي المعقد (Complex Regional Pain Syndrome) وهو مرض جهازي شائع جداً في الحالات التي يتم فيها وضع الجبس فترة طويلة مع عدم تحريك العضلات والمفاصل ويتسبب بالأم شديدة غالباً ما تبدأ في الذراعين والقدمين واليدين وفي كثير من الأحيان من الممكن أن تتفاقم الحالة مع مرور الوقت فينتشر الألم إلى باقي انحاء الجسم، يتميز بظهور تورمات، واحمرار، وتغيرات في الجلد.

بالنسبة لعلاج تناذر سودك، فقد يطول أحياناً وتنطوي المعالجة على المسكنات، والعلاج الفيزيائي، والعلاج النفسي.، من الناحية المثالية يمكن علاجها في غضون ثلاثة أشهر من ظهور الأعراض الأولى. ولكن إذا تأخر العلاج يمكن أن يحدث تغيرات في العظام، والأعصاب والعضلات سرعان ما ان ينتشر إلى الأطراف الأخرى. وعندما يتم فك الجبس في وقت مبكر عند التئام الكسر إشعاعياً قد لا يتعرض المريض إلى ضمور سودك.

ثانياً: هشاشة العظام

يرجع سببها إلى قلة الاستخدام، حيث ثبت أنه توجد علاقة بين صحة تكلس العظام وبين فعالية العضلات المحيطة لهذا العظم، وبذلك فنقص الحركة يضعف التكلس، وهذا ما نراه بالعظام المحيطة بالعظم المكسور، وخاصة عندما يكون التثبيت لفترة طويلة بالجبس، فإنه يجب معالجة العظام من خلال مكملات الكالسيوم وفيتامين **D**، وكذلك ضرورة الحركة للطرف المصاب تبعاً لتوصيات الطبيب المعالج.

ثالثاً: التكلسات العضلية الزائدة

تتشكل في بعض الحالات تكلسات ضمن العضلات المحيطة بالكسر وخاصة مع الحالات المعالجة بالفتح الجراحي، أو مع وجود رضح عصبي على الرأس. قد تكون هذه التكلسات محدودة، وقد تتطور إلى التصاقات، وتيبس حول المفصل، ويمكن الوقاية منها ببعض الأدوية لأن علاجها إذا ما ثبتت سيصبح صعباً.

رابعاً: التورم المزمن بالطرف

يستمر التورم بالطرف بعد التئام الكسر نتيجة لضعف أو بطء جريان الدورة الدموية الوريدي للطرف، ومن ثم الدوران اللمفي الذي قد يشابه التهاب الأوردة والخثرات بالطرف. ويعتمد العلاج على تحريك ورفع الطرف ووضع الأربطة الضاغطة، ويمكن الاستعانة ببعض الأدوية وأجهزة المضخات (Compression devices).

خامساً: ضمور عضلات الطرف

يحدث ضعف العضلات نتيجة التثبيت وعدم الحركة المطول وتباطؤ ردة فعلها الذي قد يتطور إلى ضمور وقصر بالأوتار، ومن ثم حدوث تشنج وانكماش بالمفاصل. يكون العلاج بالعودة السريعة للحركة، واتباع برنامج تنشيط العضلات المبكر الساكن، وذلك بشد العضلة من دون تحريكها تحت تدريب وإشراف من المعالج الطبيعي، وكمثال: يكفي أسبوعاً من تثبيت الركبة لضمور العضلة المربعة التي تحتاج لضعف الزمن لاستعادة قوتها.

سادساً: التبدلات الجلدية

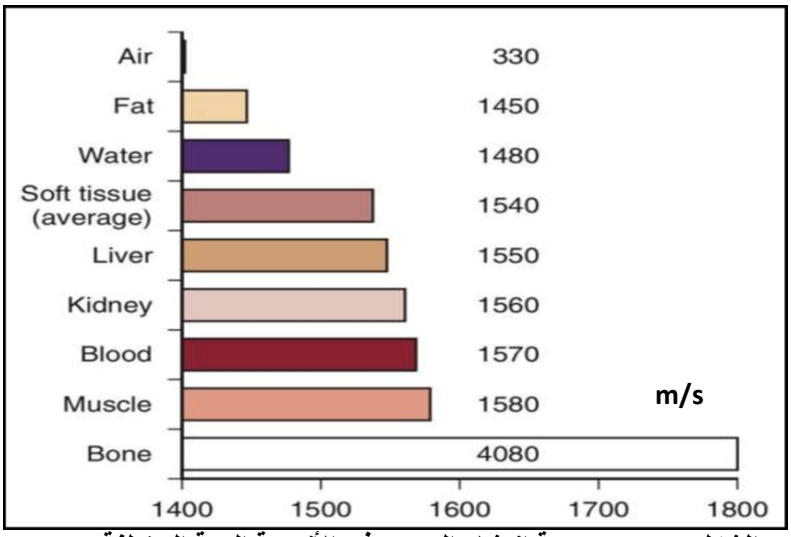
قد يزداد الشعر ويلمع الجلد، ويصبح لونه داكناً تحت الجبس، وذلك لنقص العناية به، ولنقص احتكاكه مع المحيط الخارجي، وهي تغيرات عابرة تزول بعد فترة بعودة العناية بالجلد.

الفصل الرابع
الخلفية الهندسية للبحث

يتناول هذا الفصل الخلفية الهندسية للبحث والتي تتضمن المفاهيم الأساسية للموجات الصوتية وتطبيقاتها الطبية، بالإضافة إلى تأثيرات الموجات فوق الصوتية في الأنسجة الحية وآلية تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في عملية التئام الكسور. ومن ثم ينتقل هذا الفصل إلى توضيح كيفية اختيار بارامترات موجات الـ **US** العلاجية. يُختتم الفصل باستعراض عدد من أجهزة الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة المتوافرة في الأسواق لشفاء كسور العظام.

1-4 الموجة الصوتية

الصوت هو موجة ميكانيكة قادرة على التحرك في وسط مادي ولا تنتشر في الفراغ. فهي ظاهرة طبيعية تظهر عن اهتزاز الأجسام، وهذه الأجسام المهتزة بدورها تولد موجات في الوسط مادي مما يعطي هذا الوسط طاقة معينة تسمى الطاقة الصوتية. تبلغ سرعة الموجات فوق الصوتية حوالي 330 m/s في الهواء [19]. يتم تحديد سرعة انتشار الصوت في الجسم من خلال الخصائص الفيزيائية للأنسجة الحية كما هو موضح في الشكل (4-1).



الشكل (4-1): سرعة انتشار الصوت في الأنسجة الحية المختلفة [20].

تُعطى سرعة انتشار الصوت $C\ (m/s)$ بالعلاقة التالية [21]:

$$C = \lambda F \qquad (1-4)$$

حيث λ هي طول الموجة (m) و F هو التردد (Hz). تفيد معرفة سرعة الصوت في حساب العمق الذي تجتازه الموجة الصوتية من المصدر عبر وسط ما من خلال المعادلة التالية [47]:

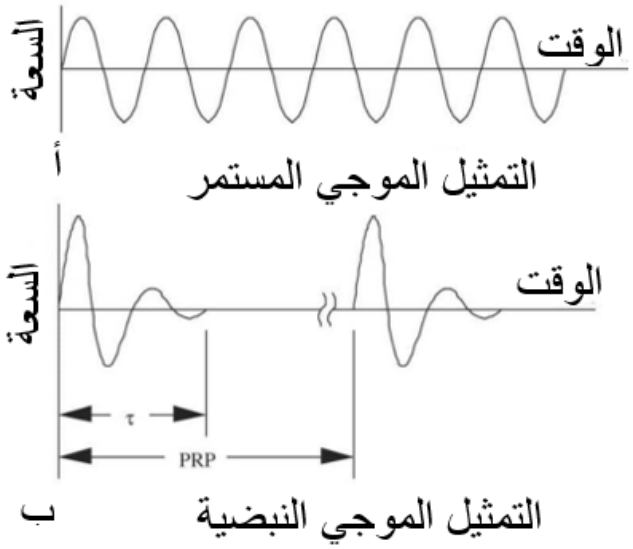
$$\text{عمق الاختراق} = (\text{سرعة الصوت في الوسط} \times \text{الزمن})/2 \qquad (2-4)$$

بالنسبة لتصنيف الموجات الصوتية، فيمكن تصنيفها حسب قدرة الأذن البشرية على الإحساس بها إلى [48]:

- **الموجات تحت الصوتية:** يقل ترددها عن 20Hz.
- **الموجات الصوتية:** يكون ترددها بين 20Hz و20KHz.
- **الموجات فوق الصوتية**: يزيد تردداتها على 20KHz .

أما أنواع الموجات فوق الصوتية، انظر الشكل (4-2)، فهي [22]:

- **الموجة المستمرة:** هو تشغيل الموجات فوق الصوتية بشكل مستمر.
- **الموجة النبضية:** هو تشغيل الموجات فوق الصوتية لفترة زمنية وإيقاف تشغيلها لفترة زمنية ثم تكرار هذه العملية.



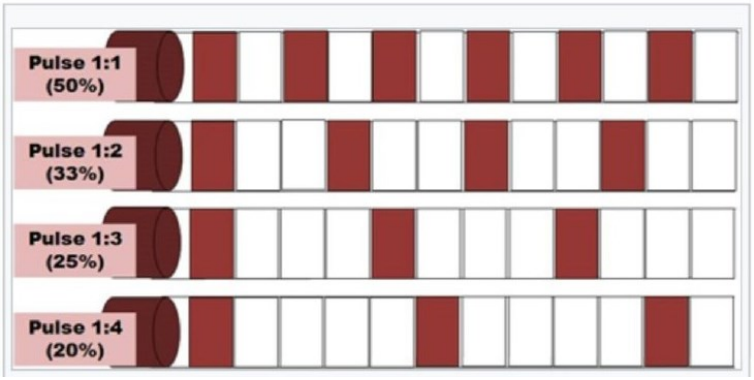
الشكل (4-2): التمثيلات التخطيطية للموجة المستمرة والموجة النبضية [22].

يتم حساب معامل النبض (Duty Cycle) للموجة النبضية من المعادلة التالية [22]:

$$\tau = NT = N/f \qquad (3-4)$$

حيث τ هي المدة الزمنية للنبضة، وN عدد الدورات لكل نبضة بينما f فهو التردد (Hz) وT الزمن الدوري (s).

معامل النبض النموذجي للأجهزة الطبية هو 1:4 ,1:1، في وضع 1:1 يوفر الجهاز مثلاً إخراج نبضة لمدة 2ms متبوعاً براحة 2ms. بينما في وضع 1:4 يكون الخرج على شكل نبضة مدتها 2ms متبوعة بفترة راحة مدتها 8ms على الرغم من وجود نسب أخرى متاحة (انظر الشكل (4-3)) [19].



الشكل (4-3): معامل النبض للموجات فوق الصوتية النبضية[19].

يتم حساب الطاقة النبضية (Energy Pulse) للموجة النبضية من المعادلة التالية [50]:

$$E = \mathrm{I} \times T \times \frac{1}{\mathrm{PF}} \qquad (4-4)$$

حيث E هي الطاقة النبضة ($mj.\,s/cm^2$) وI هي الشدة الموجة (mW/cm^2) و T زمن الجلسة للمريض (S) و PF (Pulse Frequency) تردد النبضة (Hz).

قدمت معظم الأجهزة وسيلة للإنتاج الأمواج فوق الصوتية النبضية، وبالنسبة للعديد من الخبراء الطبيين كان يعد هذا أسلوب العلاج المفضل لهم [19].

4-2 التطبيقات الطبية للموجات فوق الصوتية

تستخدم الموجات فوق الصوتية بنوعيها المستمر والنبضي في التطبيقات الطبية في مجالين هما التشخيص والمعالجة وذلك حسب الشدة والتردد [23] (انظر الجدول (4-1)). ويمكن تقسيم الموجات فوق الصوتية التشخيصية والعلاجية إلى مجموعتين، الأولى منخفضة الشدة وتكون شدتها أقل من أو تساوي $3w/cm^2$. بينما الثانية عالية الشدة وتكون شدتها أكبر من $3w/cm^2$ [19]، وتعمل أجهزة الموجات فوق الصوتية التشخيصية عند شدة الأقل من $100mW/cm^2$[24]. يمكن أيضاً تقسيم جرعة الموجات فوق الصوتية منخفضة الشدة أيضاً إلى ثلاثة مجموعات[23]:

- جرعة منخفضة ($<1\ w/cm^2$).

- جرعة متوسطة ($1\text{-}2\ w/cm^2$).
- جرعة عالية ($2\text{-}3\ w/cm^2$).

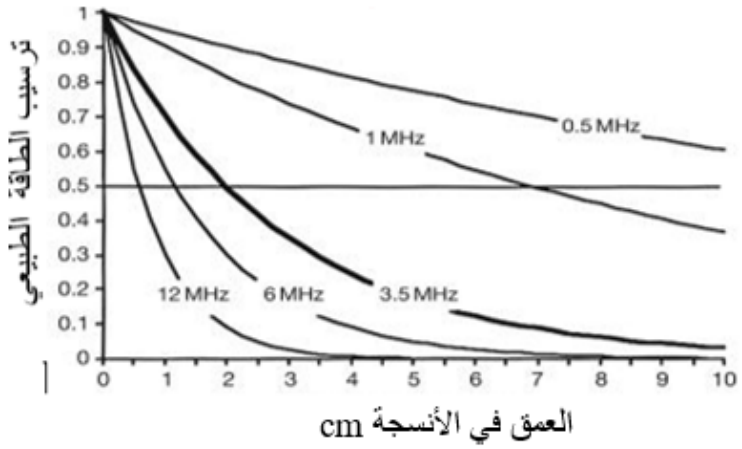
أما بالنسبة لتصنيف الموجات فوق الصوتية التشخيصية والعلاجية تبعاً للتردد فهي كالتالي[23]:

- الموجات فوق الصوتية منخفضة التردد **(20-200KHz)**
- الموجات فوق الصوتية ذات التردد المتوسط **(0.7-3MHz)**
- الموجات فوق الصوتية عالية التردد **(1-20MHz)**

الجدول (4-1): التطبيقات الطبية للموجات فوق الصوتية في التشخيص والمعالجة [23].

موجات الـ US		**التطبيق الطبي**	
		تشخيصي	**علاجي**
تصنيف موجات الـ US حسب التردد	منخفضة التردد	لا يوجد	توصيل الأدوية، الجراحة، استئصال السرطان
	متوسطة التردد	لا يوجد	التئام كسور العظام، علاج آفات الأنسجة الرخوة، تثبيط الاستجابات الالتهابية
	عالية التردد	أجهزة التصوير	لا يوجد
تصنيف موجات الـ US حسب الشدة	منخفضة الشدة	أجهزة التصوير	التئام كسور العظام، علاج آفات الأنسجة الرخوة، تثبيط الاستجابات الالتهابية
	عالية الشدة	لا يوجد	الجراحة، استئصال السرطان

عندما تخترق الموجات فوق الصوتية الأنسجة الحية، فإنها تفقد جزءً من طاقتها من خلال التسخين والانعكاس والتشتت وهذا ما يعرف بـ "الامتصاص والتوهين". يتبع امتصاص طاقة الموجات فوق الصوتية نمطاً أسياً حسب ترددات معينة كما هو موضح في الشكل (4-4)، أي يتم امتصاص المزيد من الطاقة في الأنسجة السطحية أكثر من الأنسجة العميقة. نظراً لأن الامتصاص (الاختراق) أسي، فلا توجد (نظرياً) نقطة يتم امتصاص كل الطاقة، ولكن هناك بالتأكيد نقطة لا تكون فيها مستويات الطاقة في الموجات فوق الصوتية كافية لإنتاج تأثير علاجي[19].



الشكل (4-4): امتصاص الطاقة الأسي في وسط ما [19].

يختلف مقدار تغلغل الموجات فوق الصوتية عبر النسيج الحيوي وفقاً لطبيعته. فالأنسجة ذات المحتوى العالي من البروتين تمتص الموجات فوق الصوتية إلى حد كبير، وبالتالي فإن الأنسجة ذات المحتوى المائي العالي والمحتوى المنخفض من البروتين تمتص القليل من طاقة الموجات فوق الصوتية (مثل الدم والدهون) بينما الأنسجة ذات المحتوى المائي المنخفض والبروتين العالي المحتوى سوف يمتص الموجات فوق الصوتية بشكل أكثر كفاء كما هو موضح في الشكل (4-5)[19].

عظم الغضروف الوتر الجلد العضلة العصب الدسم الدم

زيادة محتوى البروتين يعطي امتصاص متزايد

الشكل (4-5): ارتباط امتصاص الطاقة النسبي للأنسجة بمحتوى البروتين [19].

يبين الجدول (4-2) نسبة فقدان الطاقة للأنسجة النموذجية للترددين 1MHz و3MHz عند عمق اختراق محدد [19].

الجدول (4-2): النسبة المئوية لانخفاض طاقة الموجات فوق الصوتية [19].

العمقcm	1MHz	3MHz
2		50%
4	50%	25%
8	25%	

ولتحقيق شدة أمواج فوق صوتية معينة في العمق، فكان يجب مراعاة نسبة الطاقة التي تمتصها الأنسجة في الطبقات السطحية والعميقة.

3-4 تأثيرات الموجات فوق الصوتية في الأنسجة الحية

يختلف تأثير الموجات فوق الصوتية في الأنسجة الحية تبعاً لتردد الموجة وشدتها، وتشتمل على: التأثيرات الحرارية والتأثيرات الميكانيكية والتأثيرات الفيزيائية والكيميائية والتأثيرات غير الحرارية[25].

تتحول الطاقة فوق الصوتية بعد امتصاصها في الأنسجة العميقة إلى حرارة وذلك عند استعمال شدة كافية، ويعد هذا التأثير الحراري من أهم التأثيرات العلاجية للأمواج فوق الصوتية، وتكمن خصوصيته في تسخين المنطقة الموجودة بين الطبقات النسيجية، خاصةً بين العضلات والعظم، يستخدم هذا التسخين لأغراض علاجية في الأمراض الواقعة حول المفصل [25].

ركزت ابحاث على الفعالية الحرارية للموجات فوق الصوتية، وكيفية استخدامها بشكل فعال عند اختيار الجرعة المناسبة (النمط المستمر بشدة أعلى من$0.5w/cm^2$).على سبيل المثال، يقترح ليمان(Lehmann) أن التأثيرات المرغوبة للحرارة العلاجية يمكن أن تنتجها الموجات فوق الصوتية .يمكن استخدامها لرفع درجة حرارة أنسجة معينة بشكل انتقائي بسبب نمط عملها. من بين الأنسجة الأكثر فعالية في تسخينها السمحاق والأنسجة الكولاجينية (الأربطة والأوتار ورباط المفصل) والعضلات الليفية. إذا ارتفعت درجة حرارة الأنسجة التالفة إلى 40-45°C فسوف ينتج عن ذلك "فرط الدم hyperaemia"، ويكون تأثيرها علاجياً. بالإضافة إلى ذلك، يُعتقد أيضاً أن درجات الحرارة في هذا النطاق تساعد في بدء معالجة الحالات الالتهابية المزمنة [19].

إذن يعمل التأثر الحراري للموجات فوق الصوتية على زيادة مرونة ألياف الكولاجين الموجودة في النسيج الحيوي، وزيادة ضخ الدم، وتقليل الشد العضلي، والمساعدة في علاج تيبس المفاصل وتنشيط النسيج العصبي. أما من الأعراض الجانبية لاستعمال شدة عالية للموجات فوق الصوتية هو حدوث ألم داخلي [25].

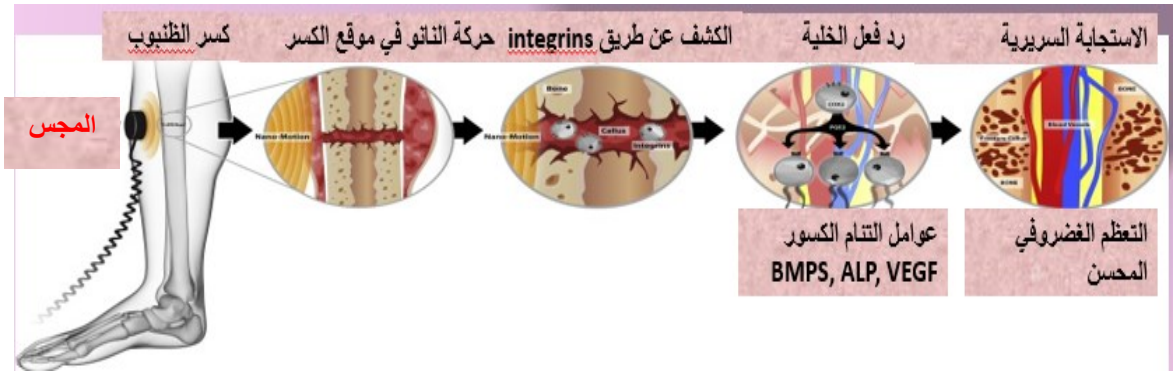
تؤدي التأثيرات الميكانيكية للموجات فوق الصوتية إلى حدوث مساج اهتزازي مجهري (تدليك ميكروي) مما يسبب إرخاء العضلات وغير ذلك، مما قد يعزز تبادل موائع الأنسجة والتأثير في حركتها. قد يؤدي استعمال شدة عالية للموجات فوق الصوتية إلى حدوث أذيات ميكانيكية في الأنسجة [19-25].

تؤدي التأثيرات الفيزيائية والكيميائية للموجات فوق الصوتية إلى تغير في عمل الإنزيمات (تفعيل أو تنشيط). بالإضافة إلى تغير في نفوذية الأغشية الخلوية وغيرها. بينما تؤدي التأثيرات غير الحرارية للموجات فوق الصوتية إلى تنشيط النسيج الخلوي وإعادة التئامه، والتخلص من الندبة الناتجة عن الإصابات الحربية أو الجروح المختلفة والعمليات الجراحية المتنوعة، ومعالجة التمزقات العضلية وإصابات العمود الفقري.

ختاماً، يمكن تلخيص التأثيرات العلاجية للأمواج فوق الصوتية في تسكين الألم، وإرخاء العضلات، وزيادة التروية العضلية، وإرخاء الأنسجة الضامة، وتقليل التورم المحلي والالتهاب المزمن، وتعزيز التئام الكسور العظمية وتنشيط الاستقلاب الخلوي وتشجيع الترميم [25].

4-4 آلية تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة في عملية التئام الكسور

تعمل الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) على التئام كسور العظام عن طريق تحويل الحركة الميكانيكية التي تحصل في مكان الكسر إلى مواد كيميائية تساعد على تسريع التئام العظام كما هو مبين في الشكل (4-6) الذي يلخص آلية تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة على كسر الظنبوب [26].



الشكل (4-6): تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة على كسر الظنبوب [26].

يوضح الشكل (4-6) أن عملية معالجة كسور العظام باستخدام LIPUS يتالف من عدة مراحل:

١) وضع المجس على الجلد فوق موقع الكسر.

٢) عندما تصل الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة إلى موقع الكسر تنتج حركة نانوية.

٣) يتم اكتشاف حركة النانو بواسطة (integrins) وهي مستقبلات ميكانيكية تتحسس للحركة الميكانيكية وتحولها إلى إشارة كيميائية.

٤) بعد تحسس لهذه الحركة النانوية تتجمع مع بعضها مشكلة هياكل خلوية تعمل على تنشيط عدة مسارات داخل الخلية ينتج عنها تمايز الخلايا الجذعية لتشكيل أوعية دموية وخلايا غضروفية بالإضافة لتشكيل بانيات العظام الضرورية في عملية التئام الكسور وكان أحد الإجراءات الرئيسية هو إنتاج COX- 2(cycle- oxygenase 2) الذي يتم إفرازه في المرحلة الالتهابية. إن العمل الأنزيمي ل COX - 2 هو إنتاج إنزيم PGE-2(Prostaglandin E Synthase) والذي يتم إطلاقه من الخلايا ويتفاعل مع المحيط الخلايا من خلال مستقبلات EP الخاصة بهم ويعمل على زيادة في إنتاج بانيات العظام عبر مسارات البروتين PKA (Protein Kinase A) بالإضافة إلى زيادة في

إنتاج عوامل النمو مثل VEGF(Vascular Endothelial Growth Factor) التي تؤدي إلى زيادة في تشكيل الأوعية الدموية بالإضافة إلى التئام الخلايا المتضررة وإنتاج الخلايا جديدة عن طريق زيادة إفراز بروتينات محددة تعمل على زيادة الدشبذ العظمي والتعظم الغضروفي. يعزز هذا الإجراء عملية التعظم الغضروفي وهو أمر أساسي للاستجابة السريرية. بينت الدراسات التي أجرت على الفئران وكان من بينها فئران مسنة أن هذه الفئران كانت استجابتها للعلاج بطيئة نتيجة انخفاض في مستويات انزيم COX – 2 وهذا يدل على أن هذا الإنزيم له دور كبير في عملية التئام الكسور العظمية كما تمت ملاحظة تنظيم إفراز إنزيم PGE-2 بعد تطبيق الأول للموجات فوق الصوتية لمدة 20 min بحوالي 24 ساعة.

إن الأثر السائد للأمواج فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة ليس أثر التسخين بل هو الأثر الميكانيكي المباشر (تدليل ميكروي) من خلال تحويل الإشارة ميكانيكية إلى إشارة كيميائية. فالحرارة الناتجة عنها < 1°C ولا تسبب أي تأثيرات حرارية ضارة [5]. يبين الجدول (4-3) معلومات خاصة بالموجات فوق الصوتية في التطبيق الطبي بما فيها مبدأ العمل.

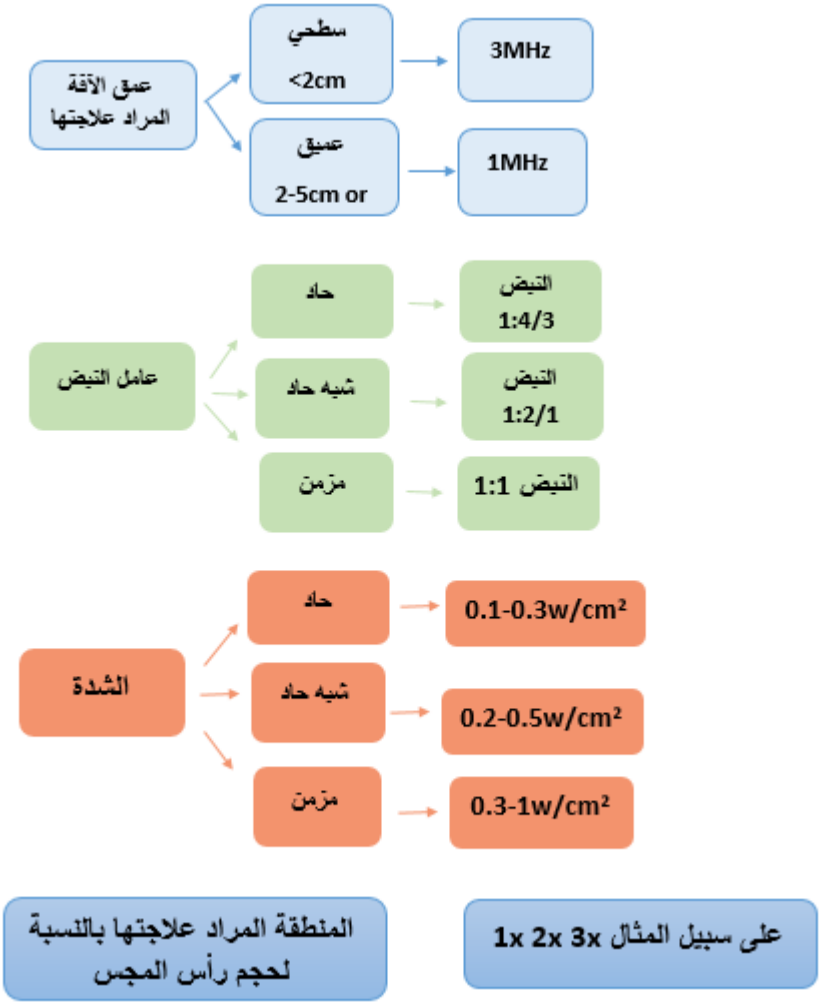
الجدول (4-3): معلومات عن الموجات فوق الصوتية في مجال التطبيق الطبي [25,24,19,12,5,4,2,1].

Ultrasound	التشخيص	المعالجة	LIPUS	LIPUS التئام الكسور
التردد	1-20MHz	0.7-3.3MHz	0.7-3MHz	0.5-1.5MHz
الشدة	< 100mw/cm^2	w/cm^2 عدة	< 3 w/cm^2	< 200mw/*c*m^2
مبدأ العمل	التأثير الميكانيكي (ارسال واستقبال)	التأثير الحراري التأثير الميكانيكي	التأثير الفيزيوكيميائي التدليك الميكروي	التأثير الفيزيوكيميائي التدليك الميكروي
آثار جانبية	تسخين داخلي بسيط	ألم داخلي حالات حروق نزيف داخلي	لا يوجد	لا يوجد
تطبيقات طبية	التصوير النسائي التصوير القلبي	العلاج الطبيعي تفتيت الحصى جراحة الاعصاب	تطبيقات عصبية تطبيقات قلبية	التئام كسر الرسغ التئام كسر القصبة التئام كسور مشط القدم

كما يوضح الجدول (4-3) أن الموجات فوق الصوتية قد دخلت في مجالات واسعة في التطبيقات الطبية مع الاختلاف بمبدأ عملها وكان لها دور إيجابي على الصعيد التشخيصي والعلاجي ويجب أخذ الحذر من آثارها الجانبية من قبل الخبير الطبي إن وجدت.

5-4 اختيار بارامترات موجات الـ US العلاجية

يتم اختيار بروتوكول العلاج بالموجات فوق الصوتية بشكلها العام تبعاً لعمق الأفة المراد علاجها(سطحي/عميق) فيتم اختيار التردد المطلوب، وبعد معرفة عمق الآفة يجب تحديد حالة المنطقة المستهدفة (حادة /شبه حادة/ مزمنة) فيتم اختيارمعامل النبض والشدة التي يتوجب تطبيقها فوق الهدف المطلوب علاجه. يوضح الشكل (4-7) كيفية اختيار بارامترات الموجات فوق الصوتية العلاجية بشكلها العام للمريض [50].



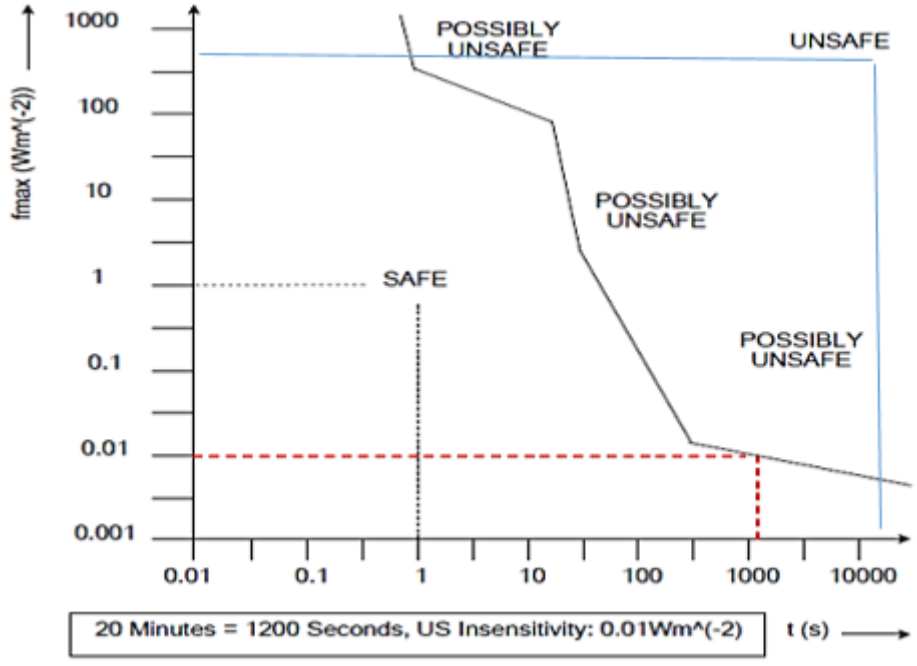
الشكل (4-7): اختيار بارمترات الموجات العلاجية بشكل عام [50].

نلاحظ من الشكل السابق أن كل حالة مرضية لديها تردد وعامل نبض وشدة خاصة به لحصول المريض على العلاج الفعال المناسب له. يمكن تلخيص بارامترات LIPUS الخاصة بالتئام لجميع أنواع كسور العظام كما يلي[32,19,5,4] :

- الشدة $30 - 600mw/cm^2$

- مجال التردد $0.5 - 2MHZ$ علماً أنه كلما زاد التردد المستخدم قل عمق الاختراق.
- عامل النبض 1:1، 1:2، 1:3، 1:4، 1:5
- زمن تطبيق النبضة $200\mu s$
- زمن جلسة العلاج الواحدة:10min-30min
- عدد جلسات العلاج: يتوقف حسب نوع المرض وحدته وعوامل أخرى مختلفة.

أما فيما يتعلق بسلامة الموجات فوق الصوتية، فقد قام المعهد الأمريكي في الطب (AIUM[5]) بعرض إرشادات لاستخدام الموجات فوق الصوتية فيما يتعلق بشدتها وزمن التعرض الآمن المسموح به كما هو مبين في الشكل (4-8) التالي [27].



الشكل (4-8): سلامة الموجات فوق الصوتية حسب الشدة والوقت [27].

حيث تم اختيار الزمن 20min والشدة كحد أقصى عند $0.01W/m^2$ للحصول على السلامة من التعرض للموجات فوق الصوتية وهذا تم إيضاحه من الخط الأحمر المتقطع في الشكل (4-8) السابق.

[5] AIUM: The *American* Institute of Ultrasound in Medicine.

6-4أجهزة الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة LIPUS المتوفرة تجارياً لشفاء كسور العظام

تستعرض هذه الفقرة الأجهزة المتوافرة في الأسواق لتسريع التئام كسور العظام بالموجات فوق الصوتية، ومعرفة البارامترات المستخدمة في هذه الأجهزة وأنواع الكسور التي تم علاجها بواسطتها.

1-6-4 جهاز EXOGEN

هو جهاز صغير الحجم لذا يستطيع المريض استخدامه في أي مكان. يُستخدم الجهاز يومياً لمدة 20 min ويعمل بتردد 1.5MHz وشدة $30mw/cm^2$ وزمن النبضة 20%(انظر الشكل (4-9)). وهو يقلل مدة الشفاء بنسبة 38% ويعالج الكسور غير الملتئمة ويسرع التئام الكسور الحديثة وتعتبر الكسور الطويلة (عظم العضد، عظم الزند، الرسغ، عظم الفخذ، قصبة الساق والشظية) مناسبة للعلاج بواسطته إذا كان الكسر مستقراً ومتماسكاً بشكل جيد. لا ينصح باستخدامه في كسور الجمجمة أو الفقرات، أو عند الأطفال أو المراهقين بسبب عدم نضج الهيكل العظمي لديهم. بالإضافة إلى عدم إمكانية اختراق المعادن لديه في حال وجود تثبيت داخلي أو خارجي لمعالجة الكسر [28].

الشكل (4-9): جهاز EXOGEN الكندي لمعالجة كسور العظام[6]

2-6-4جهاز Osteotron

هو مولد لموجات فوق صوتية منخفضة الشدة يسرع من تكوين العظام ويساعد المريض على التعافي بسرعة وبأقل قدر ممكن من التدخل الجراحي بفضل الموجات فوق الصوتية النبضية. يقلل مدة الشفاء بنسبة

[6] https://www.exogen.com/en/ (downloaded 17/4/2022).

تصل إلى 36%، وهو سهل الاستخدام ما عليه المريض إلا أن يضع المجس على فجوة الكسر باستخدام المحول الفعلي، ويتم توفير مادة هلامية محايدة مع الجهاز. يوضح الشكل (4-10) المظهر العام للجهاز.
هذا الجهاز قادر على توليد ترددين 1.5 MHz, 750KHz عن طريق تغير بروب الموجات فوق الصوتية ويعمل الجهاز على البطاريات والتيار الكهربائي ويستخدم شدة **(**30-60-45 mW/cm^2**)** ومدة العلاج (20-30min) وزمن النبضة 20%، حيث كانت معدلات الشفاء بالموجات فوق الصوتية غير منتظمة حسب موقع الكسر [51]:

- الترقوة المكسورة / عظم الترقوة **77.8%**.
- نصف القطر المكسور / الذراع السفلي **89.5%**.
- يد مكسورة / معصم **95.7%**.
- كسر عظم الفخذ / الفخذ **84.5%**.
- الساق المكسورة / الشظية السفلى **90.8%**.
- القدم المكسورة **86.7%**.
- مشط القدم المكسور / أصابع القدم **92%**.
- الكاحل المكسور **85.3%**.
- الزورق المكسور **93.2%**.
- الذراع العلوي المكسور **74.8%**.

الشكل (4-10): جهاز Osteotron لمعالجة كسور العظام [29].

هذا الجهاز فعالاً حتى مع وجود تثبيتات معدنية فيمنع الحاجة إلى مزيد من الجراحة وقد يكون بنفس فعالية الجراحة وبتكاليف أقل [51].

4-6-3 جهاز Aevo System

يستخدم هذا الجهاز نظام LIPUS لمعالجة اختلال الأسنان أو الفكين للمرضى الذين يستخدمون التقويم الطبي ويعانون من سوء إطباق الفكين، فكان الجهاز قادر على توليد تردد 1.5MHZ ومدة النبض 200µs ومعدل تكرار النبض 1KHz ومتوسط الشدة $30mW/cm^2$ **.** هو جهاز محمول غير جراحي

يعمل بالبطارية ويتم استخدامه لمدة min **20** في اليوم في منزل المريض ويتكون الجهاز من ثلاثة مكونات رئيسية كما هو موضح بالشكل (4-11) [30]:

- ✓ **الإلكترونيات المحمولة:** تتحكم في توصيل العلاج وتوفير معلومات بشأن إجراءات العلاج LIPUS ويعمل ببطارية قابلة لإعادة الشحن وتتضمن المعلومات المعروضة على الشاشة الحالة الحالية للجهاز ووقت المعالجة المتبقي ومستوى شحن البطارية والتاريخ والوقت الحالي كما أنها تحتفظ بسجل كامل لمعايير العلاج.
- ✓ **أبواق الفم:** يحتوي الجهاز على القطعتين، أحدهما لعلاج قوس الفك السفلي والآخر لعلاج قوس الفك العلوي. كل قطعة تشبه واقي الفم وتتكون من **10** بواعث بالموجات فوق الصوتية موضوعة داخل غلاف مرن متوافق حيوياً بحيث جميع المكونات الداخلية محكمة الاغلاق لمنع ملامسة اللعاب، يتم توصيل قطعة الفم بالإلكترونيات المحمولة بواسطة كابل.
- ✓ **هلام اقتران الموجات فوق الصوتية:** يتم تطبيق هلام لا طعم له يتم توفيره في أكياس تستخدم مرة واحدة على الجدران الداخلية للقطعة الفموية قبل بدء كل علاج .

الشكل (4-11): جهاز لمعالجة وتسريع تقويم الأسنان [30].

4-6-4 جهاز (USBone) Ultrasound in Bone healing

هو عبارة عن جهاز يمكن ارتداؤه لمراقبة المرضى عن بعد من خارج المشفى ولتسريع عملية الشفاء للمرضى الذين يعانون من كسور مفتوحة ويخضعون لأجهزة تثبيت خارجية في موقع الكسر وذلك باستخدام الموجات فوق الصوتية منخفضة الشدة بتردد من 1MHz إلى 1.5MHz ونطاق عرض

الموجه 70%حيث يتم تطبيقها على منطقة الكسر يومياً لفترة زمنية تتراوح بين 15min إلى 20min وذلك حسب إرشادات الطبيب. يتكون الجهاز من:

١) وحدة استشعار(SM).

٢) وحدة تحكم (CM).

٣) زوج من محولات الطاقة تتوضع فوق منطقة الكسر وتحتها كما موضح في الشكل (4-12).

الشكل (4-12): وضع محولات الموجات فوق الصوتية على موقع الكسر [31].

٤) جهاز قابل للارتداء يحوي CM و SM بالإضافة إلى وحدة مركزية يتم فيها تخزين البيانات المتعلقة بالمريض والبيانات المتعلقة بالنظام وإرسالها لاسلكياً إلى وحدة مركزية في المشفى، كما يتميز هذا النظام بأنه خفيف الوزن وسهل الاستخدام (انظر الشكل (4-13)) [31].

اتصال محولات
الموجات فوق الصوتية

الشكل (4-13): جهاز (US Bone) القابل للارتداء [31].

فكان الهدف من هذا النظام توفير وسيلة مستمرة وآلية للمراقبة حالة الشفاء عندما يكون المريض في المنزل، وفي حالات عدم الاتصال يخزن CPU القياسات للإرسال لاحقاً وأيضاً يمكن المريض التواصل مع المهنيين الصحيين من خلال رسائل خدمة الرسائل القصيرة (SMS) ويمكن أن تكون CMمرتبطة بنظام كمبيوتر [31].

5-6-4 جهازFAST

يعزز هذا النظام إصلاح العظام الداخلية عن طريق الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة. حيث يُستخدم يومياً لمدة 20 min ويعمل بتردد 1.5MHz وشدة $30mw/cm^2$ وزمن النبضة 20% (انظر الشكل (4-14)). بالنسبة للتطبيقات الحيوية فقد أثبت جهازFAST انخفاض وقت الشفاء إلى النصف في النماذج الحيوانية. أما بالنسبة للدراسات السريرية على الإنسان فقد قصر العلاج بالجهاز مدة العلاج 30% في الكسور الحديثة، وأظهرت الدراسات السريرية التي أجريت على المرضى الذين يعانون من التهاب المفاصل أن جهازFAST كانت معدل نجاحه 86% وتم استخدامه أيضاً للكسور غير الملتئمة[53].

الشكل (4-14): جهاز FAST لمعالجة كسور العظام [53].

6-6-4 جهاز Melmak

هو جهاز موجات فوق الصوتية نبضية منخفضة الشدة لدعم وتسريع عملية شفاء الكسور الحديثة وكسور عدم التئام ويتم استخدامه مع التثبيت الداخلي بوجود المسامير والصفائح المعدنية. يُستخدم الجهاز يومياً لمدة 20 minويعمل بتردد 1.5MHz وشدة $30mw/cm^2$ وزمن النبضة 20%(انظر الشكل (4-15)). لا يوجد لهذا الجهاز أي ردود سلبية معروفة أو مضاعفات طبية متعلقة باستخدامه، ولم يتم استخدامه

لكسور الفقرات والجمجمة وفي حال عدم النضج الهيكلي أو الحوامل والمرضعات ولم يتم استخدامه للكسور المعقدة التي تحتاج إلى التدخل الجراحي. أثبت هذا الجهاز قدرته على شفاء الكسور غير الملتئمة بنسبة 86%، مع تسريع شفاء الكسور الحديثة بنسبة 38% [52].

الشكل (4-15): جهاز Melmak لمعالجة كسور العظام [52].

الفصل الخامس

القسم العملي

يتضمن هذا الفصل المخطط الصندوقي للجهاز، وشرح أجزاؤه والقطع الالكترونية المكونة له، بالإضافة إلى توضيح البرامج المستخدمة في تنفيذه، وحساب دقة الجهاز بشكلها العددي وتم وصف أمان وسلامة الجهاز المصمم، يختتم هذا الفصل بالاختبارات السريرية التي تم تنفيذها لإنجاز هذا البحث بهدف معرفة تأثير الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة المولدة من الجهاز المصمم على مرضى كسور عظام مصنفين ضمن ثلاث مجموعات (كسور حديثة، كسور متأخرة بالتئام، كسور عديمة التئام)، علماً أنه تم تحديد بروتوكول علاج كل مجموعة بالاستناد لرأي الخبير الطبي.

1-5 مكونات الجهاز المصمم

يعمل الجهاز على توليد موجات فوق صوتية نبضية منخفضة الشدة ببارامترات قابلة للتغيير كما هو مبين في الجدول (5-1). تم اختيار هذه البارامترات بناء على عمق الكسر المراد معالجته (سطحي أم عميق) وعلى نوع الكسور (كسور حديثة، متأخرة بالتئام، عديمة التئام) وعلى حجم فجوة الكسر. حيث تم اختيار القفزات بين **الترددات** تبعاً لإحدى الدراسات المرجعية التي أثبتت فعالية الموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة عند التردد 0.5 MHz [1] وأيضاً لإحدى الأجهزة الطبية المتوفرة في السوق (جهاز Osteotron) الذي استخدم التردد 0.75 MHz وأعطى نتائج إيجابية عند هذا التردد [51] لذلك تم اختيار القفزة بين الترددات بمقدار 0.25 MHz وكذلك الأمر بالنسبة لباقي البارامترات تم اختيارهم تبعاً للدراسات المرجعية [3,2,1] والأجهزة الطبية التي أثبتت فعاليتها عند مجال القيم المستخدم.

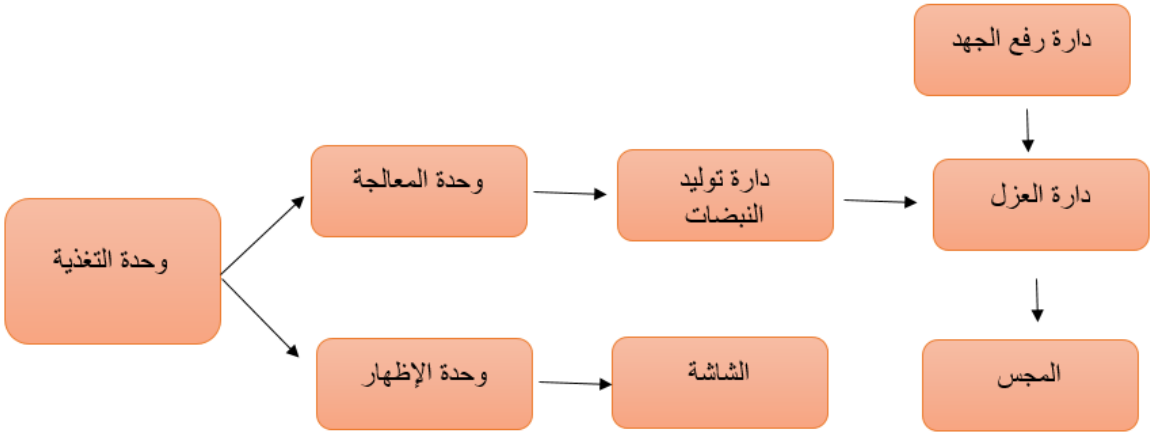
الجدول (5-1): بارامترات الجهاز المصمم في هذا البحث.

التردد (MHz)	الشدة (mW/cm^2)	عامل النبض	زمن جلسة العلاج (min)
0.5	**من** 20 **إلى** 60 بقفزة $1mW/cm^2$	1:1	**من** 1 إلى 30 بقفزة 1min
0.75		1:2	
1		1:3	
1.25		1:4	
1.5			
1.75			
2			

للوصول إلى بارامترات الجهاز سابقة الذكر، يتألف الجهاز من عدة دارات رئيسية هي وحدة التغذية ووحدتي المعالجة والإظهار كما هو مبين بالشكل (5-1).

1-1-5 وحدة التغذية

دارة التغذية عبارة عن محول خافض للجهد يتم منها تأمين التغذية الرئيسية للجهاز المصمم بحيث دخل المحول عبارة عن تيار المدينة المتناوب 220V والخرج هو جهد مستمر قيمته 5V وأقصى تيار 2A ويعمل الجهاز أيضاً باستخدام البطاريات.



الشكل (5-1): المخطط الصندوقي للجهاز المصمم في البحث.

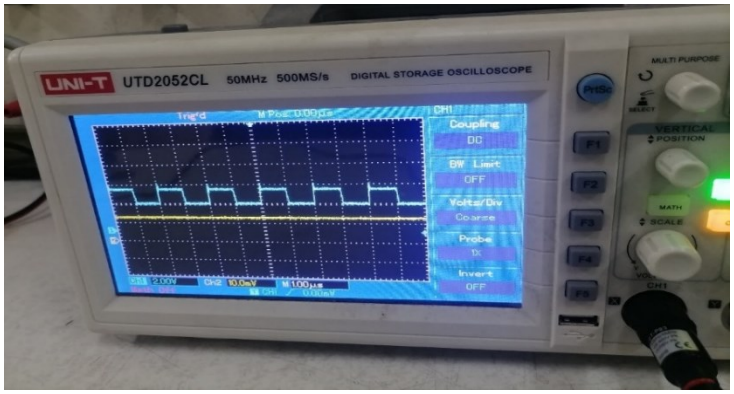
2-1-5 وحدة المعالجة

تتألف وحدة المعالجة من ثلاث دارات هي: دارة توليد النبضات ودارة العزل ودارة رفع الجهد ودارة توليد النبضات فتم استخدام دارة التحكم الدقيق Atmega8 مستخدم معه Timers مع كريستالة خارجية 20MHZ لتحقيق مجال التردد المطلوب (0.5-2MHz) مع استقرار عالي للمعالج الدقيق (انظر الشكل (2-5)).

الشكل (5-2): متحكم Atmega8.

تم اختيار هذا المتحكم بالتحديد لأنه يتمتع بالميزات التالية: الترددات التي يمكن أن يولدها مناسبة لتصميم الجهاز، وقدرتها للتعامل مع النبضات وإمكانية توصيلها مع شاشة الإظهار ومع مخرج المجس وسعرها

المناسب. يتم تغذية المتحكم بالجهد المستمر 5V وأعظم قيمة للتيار يمكن أن يعطيها هذا المتحكم هي 200mA. تم التأكد من الترددات المولدة من المتحكم باستخدام راسم الإشارة كما هو موضح بالشكل (3-5) التالي.

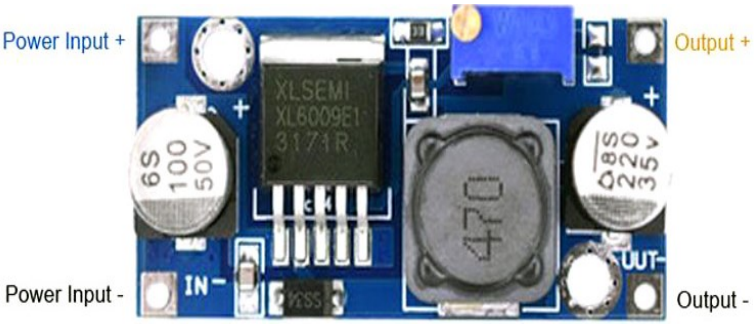


الشكل (5-3): توليد إشارة كهربائية 0.5MHz.

من أجل تشغيل المجس من خلال المتحكم كان لا بد من وجود دارة عزل، لذلك تم استخدام دارة العزل ونقل الترددات العالية (TLP350) الموضحة بالشكل (5-4). تتصف هذه الدارة بقدرتها على تحمل الترددات حتى 2MHz والجهد حتى 30V.

الشكل (5-4): دارة العزل ونقل التردد العالي TLP350.

تتعامل الدارة TLP350 مع الجهود من 10V إلى 30V وبما أن قيمة الجهد المنقول من المتحكم إلى دارة العزل هو 5V فلا بد من وجود دارة لرفع الجهد لذلك تم استخدام الدارة XL6009NE الموضحة بالشكل (5-5). حيث يتراوح جهد دخل الدارة XL6009NE بين 4V و16V ، بينما يتراوح خرجها بين 8V و 30V. إذن تعمل دارة العزل كوسيط بين دارة توليد النبضات ودارة رفع الجهد.



الشكل (5-5): دارة رفع الجهد XL6009NE.

بما أن قيمة الجهد المطلوب لتشغيل المجس تتراوح من 12V إلى 21V وقيمة التيار الموجود بدارة رفع الجهد هو 3A، وحسب مواصفات المجس الموجودة في الجدول (5-2) يتم توليد النبضات من خلاله عند الحد الأدنى من الشدة وهي $20mW/cm^2$ وهي تقابل الجهد 12V وعن طريق تطبيق المعادلة [٧](5-1)، نحصل على قيمة المقاومة الثابتة الموجودة داخل المجس، وبعد معرفة قيمة المقاومة يمكن حساب قيم الشدة الأعظمية التي نريد استخدامها فكانت قيمة الجهد 21V تقابل قيمة الشدة $60mW/cm^2$ حسب المعادلة:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{V^2}{R \times S} \qquad (1-5)$$

حيث

I: شدة الموجات فوق الصوتية (mW/cm^2)

V: مطال الموجة (Volt)

S: مساحة سطح المجس (cm^2)

يتم حساب قيمة المقاومة R حسب الجهود والشدة الموجودة في datasheet التابعة للمجس فأصبحت قيمة المقاومة:

$$20 = \frac{(12)^2}{R \times 3.88} \rightarrow R = 1.86\Omega$$

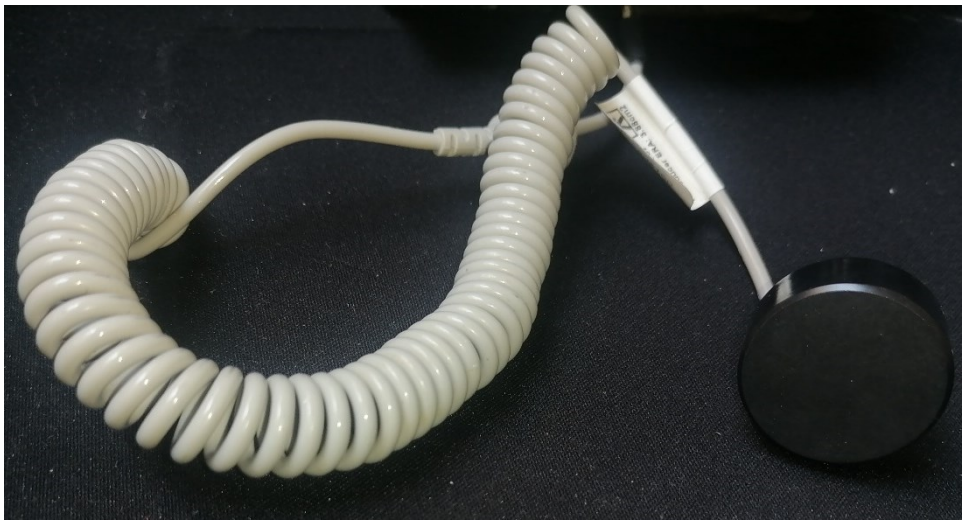
ومن خلال قيمة المقاومة التي حصلنا عليها نستطيع حساب قيمة الشدة العظمى المستخدمة في الجهاز المصمم.

5-1-3 المجس (prob)

هو عبارة عن بلورة كهرضغطية تعمل عند تطبيق إشارة كهربائية على توليد موجة فوق الصوتية بتردد معين (انظر الشكل (5-6)). عند توليد التردد المطلوب وتأمين الجهد اللازم للتشغيل يتم نقل الإشارة

[٧] https://goo.su/Z4v3 (downloaded 15/2/2023).

الكهربائية إلى المجس والذي يقوم بدوره بتحويل هذه الإشارة إلى موجة فوق صوتية. بما أن لكل مجس تردد عمل خاص به، يحتاج الجهاز المصمم إلى استخدام مجسات مختلفة بترددات معينة حسب الحالة المرضية. تم استخدام في هذا البحث مجس وحيد يناسب جميع حالات الكسور العظام وخفيف الوزن وسهل الاستخدام بتردد (1.5MHz) ومساحة سطح ($3.88cm^2$). يعرض الجدول (5-2) خصائص المجس المستخدم.



الشكل (5-6): المجس الذي تم استخدامه في البحث.

الجدول (5-2): مواصفات المجس المستخدم في البحث[8]

الشدة	عدم انتظام الشعاع	الشعاع	درجة الحماية ضد دخول المياه الضارة	مساحة السطح	طول الكبل
$20mW/cm^2$	BNR<4.0	موازي	IP67	$3.88cm^2$	0.5m

تم استخدام هذا المجس بالتحديد لسهولة استخدامه، ووزنه الخفيف ومواصفاته المناسبة التي تضمن حماية المريض.

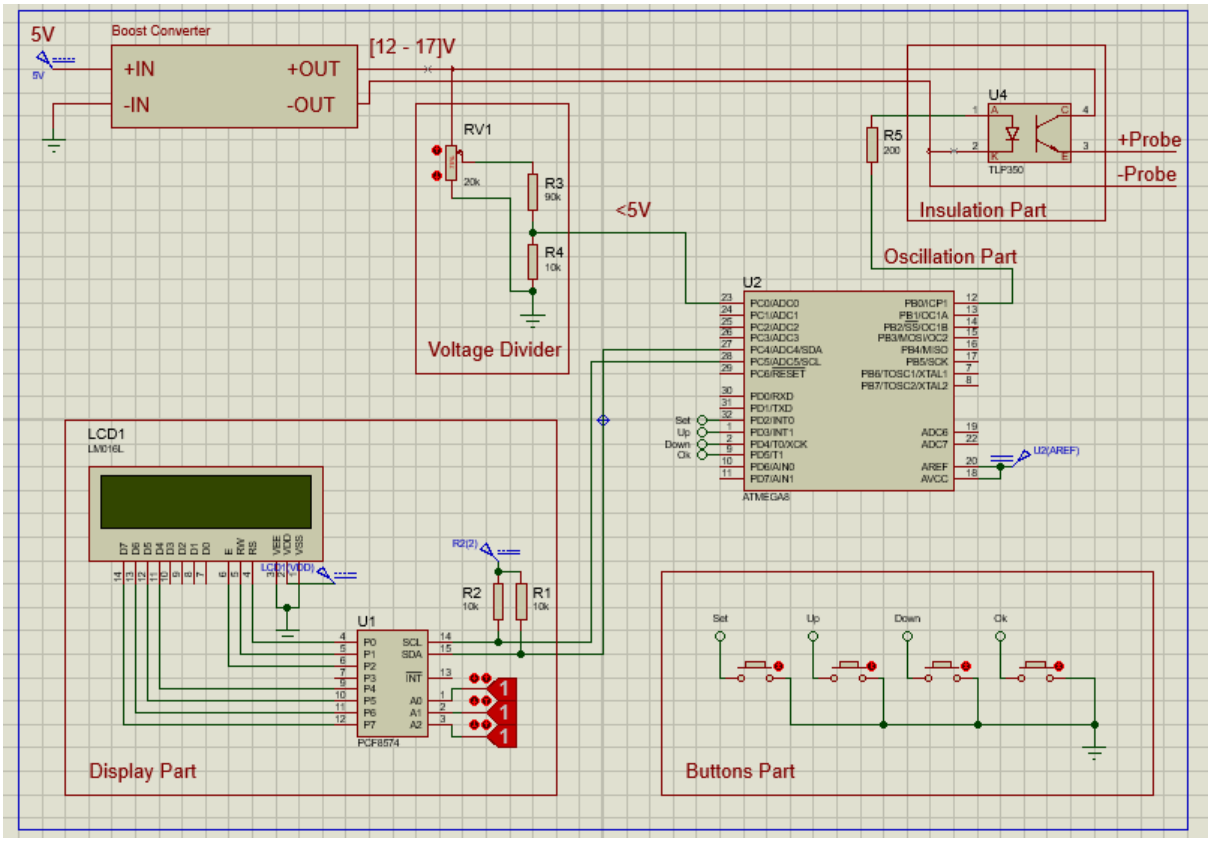
5-1-4 شاشات العرض الكريستالية

تستخدم الشاشة لعرض بارامترات المريض وهي تتكون من بلورات سائلة ويتم التحكم فيها من خلال التيار الكهربائي وهذا يعني أننا نتحكم في كل نقطة على الشاشة حيث جهد التغذية 5v والمقاس 2× 16عمود في صفين مرفقة مع لوحة i2C لسهولة التوصيل (انظر الشكل (5-7)).

[8] BNR: Beam Nonuniformity Ratio, IP: International Protocol.

الشكل (5-7): شاشة العرض الكريستالية.

بالنسبة للمقاومات الكهربائية المستخدمة في تصميم الجهاز، تم استخدام أربعة مقاومات ثابتة لتقليل من مرور التيار بالدارة الإلكترونية ثلاثة منها بقيمة 10kΩ وواحدة بقيمة 90kΩ، مع استخدام مقاومة واحدة متغيرة للتحكم بجهد الجهاز تتراوح قيمتها من0 إلى 10kΩأما البرامج المستخدمة في تصميم الجهاز فهي برنامج أردوينوIDE وبرنامج Proteus. يبين الشكل (5-8) رسم تخطيطي لدارة الجهاز المصمم.



الشكل (5-8): رسم تخطيط لدارة الجهاز المصمم.

حيث تم الحصول على الشدة $20mW/cm^2$التي يهتز عندها المجس من خلال الجهد المطبق على الإشارة، فعند وصول المطال للجهد 12v هذا يقابل الشدة $20mW/cm^2$. تم اختبار دقة الجهاز المصمم من خلال استخدام راسم الإشارة والتأكد من قيمة الجهود التي يمكن رفعها من خلال دارة رفع الجهد، وتم اختبار خرج المجس من خلال وضع قطرات من الماء على سطح المجس وعند القيام بزيادة الشدة تزداد

معها اهتزاز قطرات الماء. وتم حساب دقة الجهاز بشكلها العددي من خلال معادلة الدقة النسبية (5-2)[٩] التالية:

$$A = \frac{|e - a|}{e} \times 100 = \qquad (2 - 5)$$

حيث

A:النسبة المئوية لخطأ القياس

e: القيمة الفعلية للتردد المستخرج من المجس

a: القيمة للتردد المستخرج من راسم الإشارة

$$A = \frac{|1.5 - 1.52|}{1.5} \times 100 = 1.33\%$$

ونستطيع أن نستنتج ان دقة الإشارة المستخرجة من الجهاز المصمم هي 98.66%.

يُختتم هذا الفصل بوصف أمان الجهاز المصمم وفقاً لمعيار IEC 60601-1 الذي يشمل ما يلي [54]:

١) السلامة الكهربائية والميكانيكية بالنسبة لجميع العناصر التي تم استخدامها من خلال اختيار عناصر المناسبة للمجس بحيث تم استخدام جهود وتيارات تناسب الدارات المستخدمة والمجس.

٢) حماية المجس من الضرر الذي يمكن أن يحصل عليه من خلال استخدام عناصر لا تتوافق مع أداءه من حيث الجهود المستخدمة في الدارات حيث تناسب جهود المجس.

٣) سلامة العناصر الإلكترونية من الضرر الذي يمكن ان تحصل عليها من خلال سوء استخدامها بالشكل الأمثل.

٤) تم وضع ضوابط ضيقة على التيارات والجهود المطبقة على العناصر الإلكترونية لضمان أدائها بالطريقة الصحيحة.

٥) يجب ثبات الجهاز عند استخدامه لضمان عدم سحب المجس بطريقة خاطئة تؤدي إلى ضرره او ضرر مكوناته.

٦) سلامة المريض من درجة الحرارة الصادرة من المجس، فكانت درجة الحرارة الصادرة من الجهاز المصمم آمنة للمريض.

حيث الجهاز المصمم لا يتضمن أي مخاطر قد تلحق الضرر بالمريض أو بإداء فعالية الجهاز.

[٩] تم الحصول على المعادلة (5 – 2) من المرجع [49]

2-5 طريقة استخدام الجهاز

يتألف استعمال الجهاز من مرحلتين، يتم في المرحلة الأولى تحديد بروتوكول العلاج وإدخال البارامترات على الجهاز وفي الثانية وصل الجهاز بالمريض وتطبيق العلاج. يتم اختيار بروتوكول العلاج بمشاركة الخبير الطبي حسب خصائص الكسر وموقعه مع مراعاة مخطط السلامة (4-8). يبين الجدول (5-3) كيفية تحديد بروتوكول العلاج لمرضى كسور العظام حسب المجموعات الثلاثة للكسور (حديثة، متأخرة بالتئام، عديم التئام) علماً أنه تم تطبيق العلاج باستخدام مجس واحد بتردد قدره 1.5MHz.

الجدول (5-3): بروتوكول الجهاز LIPUS المصمم.

	كسور حديثة	متأخرة بالتئام	عديم التئام
التردد (MHz)	1.5	1.5	1.5
الشدة (mW/cm^2)	40, 50	50	60
عامل النبض	1:3 / 1:2	1:2	1:1
الزمن (min)	30	30	30

تُدخل بارامترات العلاج لكل مريض على الجهاز وفقا الترتيب التالي:

١. اختيار التردد المناسب للعلاج حسب موقع الكسر وعمقه.
٢. تحديد عامل النبض ثم قيمة الشدة وكلاهما متعلق بنوع الكسر (حديث أو متأخر بالالتئام أو غير ملتئم.
٣. اختيار زمن الجلسة المتعلق بحجم فجوة الكسر.

تظهر هذه البارامترات على الشاشة ثم يتم وصل الجهاز بالمريض بعد وضع هلام اقتران للمساعدة في التوصيل الصوتي وحزام تثبيت كما هو موضح بالشكل (5-9) وتبدأ بعدها عملية المعالجة.

الشكل (5-9): وصل الجهاز بالمريض وتثبيت المجس بإحكام على منطقة العلاج.

في حال كان موقع الكسر مثبت بالجبس يتم فتح فجوة صغيرة فوق مكان الكسر لوضع المجس فيها بمساعدة الفريق الطبي.

3-5 الاختبارات السريرية

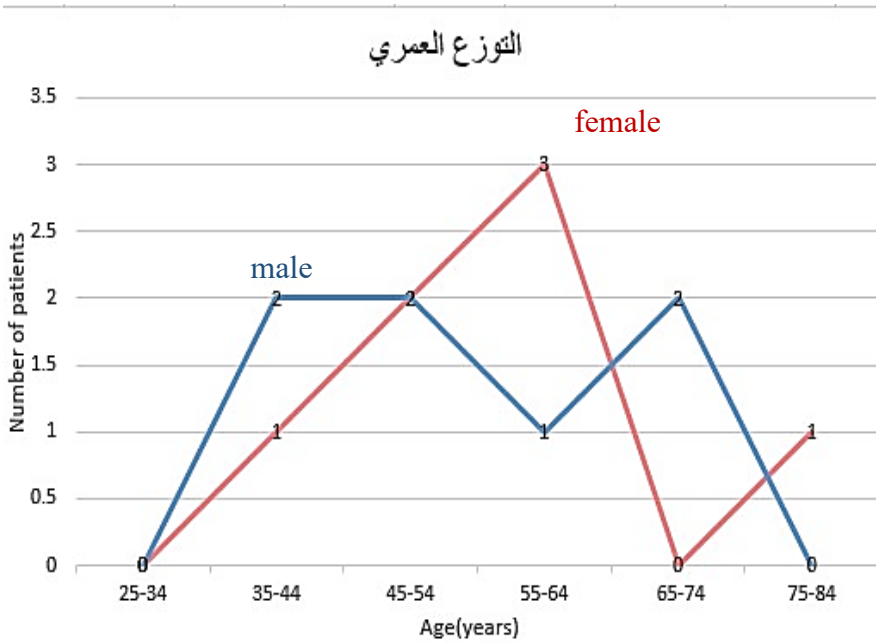
تم الحصول على الموافقة الأخلاقية لإجراء التجارب السريرية باستخدام الجهاز بقرار مجلس جامعة دمشق رقم (FMEE-281123-164) وتاريخ 2023/11/28.

نفذت الاختبارات السريرية في الفترة الممتدة من 2024/2/5 إلى 2024/6/1 في إحدى مشافي مدينة دمشق (مشفى ابن نفيس) بقسم العيادة العظمية وغرف الشعبة العظمية بإشراف رئيس شعبة الجراحة العظمية. صُنفت عينة المرضى إلى كسور حديثة (حادة) وكسور متأخرة بالتئام (شبه حادة) وكسور عديمة التئام (مزمنة) وتم تطبيق العلاج بجهاز LIPUS المصمم على شكل جلسات يومية مع تقييم التقدم السريري والإشعاعي لجميع الحالات من قبل الخبير الطبي على فترات منتظمة. استخدم التصوير الإشعاعي البسيط (X-ray) لإجراء تقييم التقدم الإشعاعي. تم تحديد عدد جلسات العلاج (اتخاذ القرار بمتابعة العلاج أو توقفه) من قبل الخبير الطبي بناء على نتيجة التقييمين السريري والإشعاعي. أما معايير الاشتمال لتطبيق المعالجة باستخدام الجهاز المصمم فهي:

١. وجود ألم مستمر في موقع الكسر
٢. عدم وجود التئام إشعاعي
٣. غياب تطور الدشبذ في صورتين شعاعيتين متتاليتين بعد ستة أشهر من تاريخ الإصابة أو التثبيت الأولي في حالة الإصابة بكسور العظام الطويلة، أو بعد انقضاء ثلاثة أشهر من تاريخ الإصابة أو التثبيت الأولي في حالة الإصابة بكسور العظام القصيرة.

تم الحصول على موافقة جميع المرضى على تطبيق المعالجة لهم باستخدام الجهاز المصمم بعد شرح مفصل لهم عن آلية عمل الجهاز وتوضيح أن الجهاز آمن للاستخدام وليس له آثار جانبية وأنه خطوة بديلة للتدخل الجراحي الذي يعد الخيار البديل الوحيد في حال فشل الجهاز في تحقيق الشفاء الكافي لعدد من المرضى المشمولين في عينة الدراسة.

تألفت عينة الدراسة من 15مريض (8 إناث و7 ذكور) بمتوسط عمر قدره 56سنة (المدى 38-77) سنة. لم يختلف متوسط العمر بشكل كبير بين الذكور والإناث حيث كان متوسط العمر للذكور (54.142) سنة، ومتوسط العمر للإناث (57.625) سنة، يظهر التوزع العمري في الشكل (3-10). ويبين الجدول (5-4) وصف لعينة الدراسة.



الشكل (5-10): التوزع العمري لمجموعة المرضى المشاركين في الدراسة.

الجدول (5-4): توزيع المرضى حسب مجموعات الدراسة وخصائصهم.

	عدد المرضى	خصائص تؤثر في عملية التئام الكسور
مجموعة الكسور الحديثة	10	- مدخنون (4) - يعانون من هشاشة عظام (4) - مصابون بداء السكري (2) - ارتفاع مؤشر كتلة الجسم BMI (6)
مجموعة التأخر بالتئام	2	- مدخنون (2) أحد المرضى بحاجة لعمل جراحي بتركيب صفيحة وتم تطبيق الجهاز له كحل بديل عن العمل الجراحي
مجموعة عدم التئام	3	- مدخنون (1) - يعانون من هشاشة عظام (1) - ارتفاع مؤشر كتلة الجسم BMI (3) المرضى خاضعون للتثبيت الجراحي ودام عدم التئام لعدة أعوام

تم اعتبار نتيجة المعالجة ناجحة أو غير ناجحة على أساس رأي الخبير الطبي بعد العلاج باستخدام الجهاز المصمم مع الحصول على ورقة رسمية من المشفى تبين نتيجة المعالجة بالجهاز لكل مريض. يُعد العلاج ناجحاً في حال الشفاء الكامل للأعراض السريرية بما في ذلك الألم، مصحوباً بالتئام إشعاعي مُرضٍ يؤدي إلى خروج المريض من المشفى دون الحاجة لمزيد من المتابعة. زُود المرضى الذين خرجوا من المشفى بتعليمات التوعية الذاتية وعُرض عليهم العودة على المشفى في حال الشعور لاحقاً بأي ألم.

يتألف الكادر الطبي المختص في شعبة الجراحة العظمية في مشفى ابن النفيس من طبيبين مختصين وإحدى عشر طبيباً مقيماً. فكان اختصاص إحدى الطبيبين استشاري جراحة عظمية بورد عربي، حاصل على الاختصاص منذ عام 1998ويعمل رئيس قسم الجراحة العظمية في مشفى ابن النفيس، والطبيب الآخر اخصائي بأمراض العظام والمفاصل وجراحتها، حاصل على الاختصاص منذ عام 1999 ويعمل كطبيب مختص في مشفى ابن النفيس، حيث قاموا الطبيبين بالاتفاق معاً لتقييم كامل المرضى في عينة البحث.

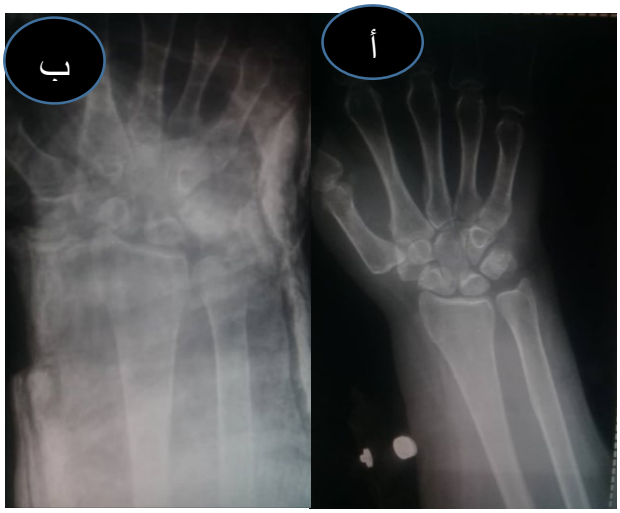
1-3-5 عرض عينات المرضى

لدى **المريضة الأولى** كسر في أسفل الكعبرة علماً انها مدخنة وتعاني من هشاشة بالعظام وكسل في الغدة الدرقية وتبلغ من العمر 66 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في 2024/2/12 وبدأ العلاج بالموجات فوق الصوتية في 2024/2/14 بشكل يومي ماعدا يومي الخميس والجمعة. تم إجراء صورة إشعاعية بعد تسع جلسات في 2024/2/26 ولوحظ تحسن بالصورة الإشعاعية وتم فك الجبس بعد ثلاثة أسابيع من حدوث الكسر في 2024/3/4 بحيث تلقت المريضة 14 جلسة بالمجمل.

تبين بالفحص السريري للمريضة تحسن في حركتها وثم تم متابعتها لمدة أسبوعين بجلستين في كل أسبوع من أجل معالجة تيبس المفصل نتيجة التثبيت بالجبس فأصبح عدد الجلسات 18جلسة. يبين الشكل (5-11) الصور الإشعاعية للمريضة الأولى.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$40، عامل النبض 3-1، زمن الجلسة min 30.



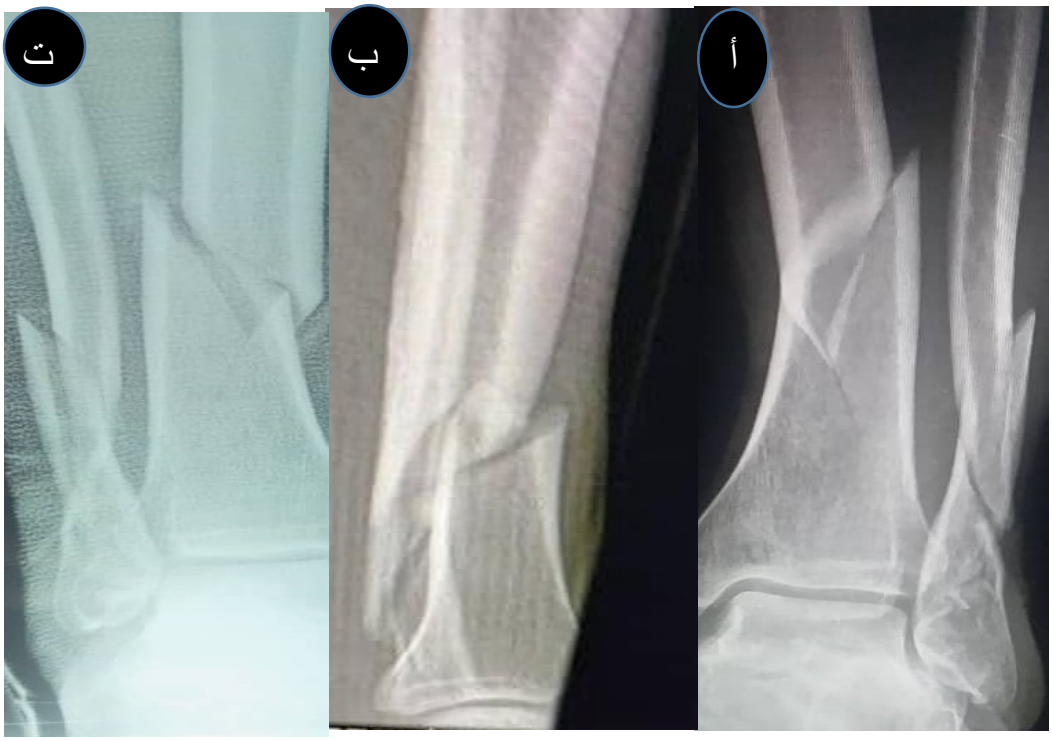
الشكل (5-11): الصور الإشعاعية للمريضة الأولى، (أ) أول يوم الكسر قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و (ب) بعد 3 أسابيع من الكسر بعد تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريض الثاني** كسر في قصبة الساق علماً انه مدخن ويبلغ من العمر 50 سنة. حصل الكسر لدى المريض بتاريخ 2024/3/10 وهو كسر في قصبة الساق وتم استخدام طريقة الجر العظمي من قبل الخبير الطبي في إعادة العظم إلى مكانه وتم إدخال الجهاز المصمم في خطة علاج المريض بعد أسبوع من حصول الكسر مع وسيلة الجر العظمي المستخدمة بتاريخ 2024/3/17.

تبين بتاريخ 2024/4/2 إعادة محور العظم إلى مكانه الطبيعي وتحسن المريض سريريا وظهور علامات لتشكل الدشبذ الطري سريرياً.

تبين من الصورة الإشعاعية بتاريخ 2024/4/20 تشكل الدشبذ العظمي حيث تم تعافي المريض بعد شهرين من حدوث الكسر بعدد جلسات قدره 20 جلسة. وفقاً لرأي الخبير الطبي، يستلزم عادة للوصول إلى حالة التعافي هذه ستة أشهر لمريض يستخدم الطريقة التقليدية في العلاج. وبالتالي سرّع الجهاز المصمم عملية التئام الكسر بمعدل 66.66%. يبين الشكل (5-12) الصور الإشعاعية للمريض الثاني.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$40، عامل النبض 3-1، زمن الجلسة min 30.



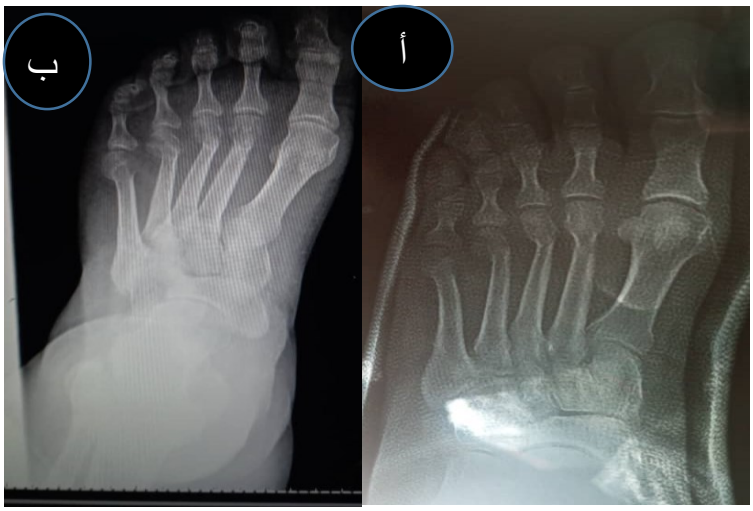
الشكل (5-12): الصور الإشعاعية المريض الثاني، (أ) بعد الكسر ب 3أيام قبل تطبيق العلاج بالجهاز، (ب) إعادة المحور إلى وضعه الطبيعي وظهور علامات لتشكل الدشبذ سريرياً بعد تطبيق العلاج بالجهاز بأسبوعين و (ت) تشكل الدشبذ العظمي بعد تطبيق العلاج بالجهاز.

لدى **المريضة الثالثة** كسر في المشط الثالث والرابع والخامس علماً أنها لا تعاني من أي حالة مرضية وتبلغ من العمر 56 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة بتاريخ 2024/1/3 وتم فك الجبس بعد شهر في 2024/2/3 ثم راجعت العيادة العظمية في المشفى في 2024/2/8 بسبب وجود ألم ووزمة كبيرين في قدمها. بعد فحص الصورة الإشعاعية تبين عدم التئام الكسر بشكل كامل لذلك بدأ العلاج باستخدام الجهاز المصمم في 8/2/2024 بشكل يومي ماعدا خميس وجمعة.

تم فحص المريضة سريرياً بعد ست جلسات في 2024/2/15 ولوحظ تحسن كبير في المشط الرابع والخامس مع وجود ألم خفيف في مشط الثالث لذلك تمت متابعة عملية العلاج لمدة جلستين إضافيتين واختفى بعدها الألم والوزمة بشكل كامل. تم عندها فحص المريضة سريرياً ولوحظ تحسن كبير في حركتها وعودتها الى الحالة السوية بشكل كامل. يبين الشكل (5-13) الصور الإشعاعية للمريضة الثالثة.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$40، عامل النبض 3-1، زمن الجلسة min 30.



الشكل (5-13): الصور الإشعاعية للمريضة الثالثة، (أ) عند فك الجبس قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد 5 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز.

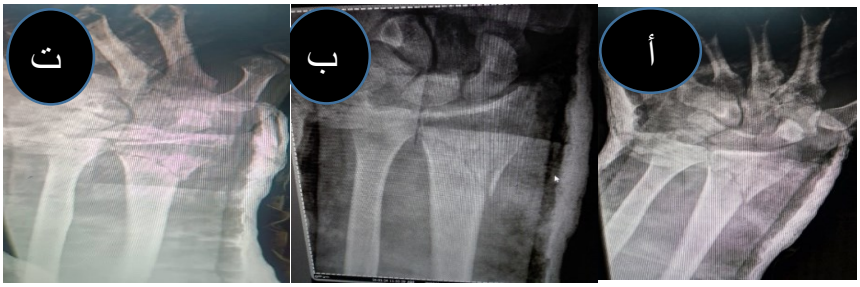
لدى **المريض الرابع** كسر في أسفل الكعبرة علماً انه مدخن ويشرب الكحول ويبلغ من العمر 42 سنة.

حصل الكسر لدى المريض في 2024/1/18، تبين من الصورة الإشعاعية في 2024/2/14 عدم وجود أي علامات التئام لذلك بدأ العلاج باستخدام الجهاز المصمم في 2024/2/14 بشكل يومي ماعدا خميس وجمعة.

بعد تلقي المريض لثماني جلسات علاجية، تم إجراء صورة له إشعاعية في 2024/2/26 وتبين وجود تحسن إشعاعي ثم تابعنا بالعلاج لجلستين فقط وأجرينا صورة إشعاعية في 2024/3/3 وتبين التئام الكسر بشكل كامل. نتيجة لذلك تم فك الجبس وفحص المريض سريرياً خوفاً من حدودية الحركة لان الكسر تماماً

على المفصل. لوحظ بالفحص السريري بعد الجلسات العشر تحسن كامل بالحركة وعودة العظم إلى الحالة السوية. يبين الشكل (5-14) الصور الإشعاعية للمريض الرابع.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة 30 min.



الشكل (5-14): الصور الإشعاعية للمريض الرابع، (أ) بعد 20 يوم من الكسر قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 8 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد 10 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريضة الخامسة** كسر غير متبدل في قاعدة المشط الثالث وضمور سودك علماً انها تعاني من هشاشة بالعظام ونقص في الفيتامين (د) وتبلغ من العمر 65 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في 2024/2/11 وتم فك الجبس بتاريخ 2024/3/11. تبين بالفحص السريري لها وجود ألم كبير وعدم قدرتها على إغلاق أصابعها بشكل كامل ومعاناتها من وزمة كبيرة ومن ضمور سودك نتيجة التثبيت بالجبس (انظر الشكل (5-15)).

بدأ علاج المريضة بالجهاز المصمم لمدة أربع جلسات وتم بعد ذلك فحصها سريرياً ولوحظ تحسن حركتها واختفاء الوزمة تماماً وعلاج ضمور سودك بشكل كامل. يبين الشكل (5-15) الصور الإشعاعية للمريضة الخامسة.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.

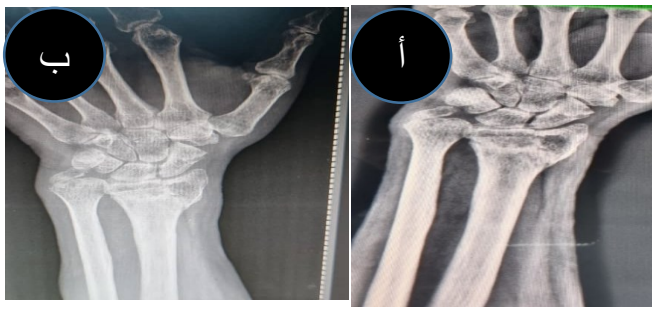
الشكل (5-15): علاج ضمور سودك باستخدام الجهاز المصمم، (أ) قبل تطبيق العلاج و(ب) بعد تطبيق العلاج.

لدى **المريض السادس** كسر في أسفل الكعبرة علماً انه يعاني من تضيق85% في إحدى شرايين القلب مع إجراء تداخل جراحي له وتركيب شبكة قلبية ويعاني أيضاً من الضغط والسكري ويبلغ من العمر 68 سنة.

حصل الكسر لدى المريض في 2024/1/1 وراجع العيادة العظمية في 2024/3/10. تبين من الصورة الإشعاعية التئام الكسر بنسبة 60% فقط وعند فحصه سريرياً لوحظ تورم وألم شديد في منطقة الكسر بالإضافة إلى محدودية في الحركة.

وفقاً للتقييم الطبي، يستلزم خضوع المريض لعمل جراحي لمعالجة الكسر ولكن بسبب حالته الصحية وتضيق الشريان لديه فهو غير مؤهل للعمل الجراحي. لذلك بدأت معالجته بالجهاز المصمم في 2024/3/10 ولمدة خمس جلسات متتاليات، ثم تم فحصه سريريا وتبين تراجع التورم والألم وتحسن الحركة بشكل ملحوظ بسبب تسريع التئام وزيادة التروية الدموية في بؤرة الكسر ولكن كان يوجد حدودية حركة فقط عند إرجاع اليد إلى الخلف فتابعنا بالعلاج لمدة خمس جلسات وتم فحصه سريرياً فتبين عودة الحركة لليد بشكها الكامل. وبذلك استلزم تطبيق 10 جلسات بالمجمل للوصول إلى الشفاء التام. يبين الشكل (5-16) الصور الإشعاعية للمريض السادس.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$50، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.



الشكل (5-16): الصور الإشعاعية للمريض السادس، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريضة السابعة** كسر في أسفل الكعبرة علماً انها قد أجرت عملية قلب مفتوح وتعاني أيضاً من الضغط والسكري وتبلغ من العمر 64 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في 2024/1/5 وتم فك الجبس بعد شهر ونص في 2024/2/20 وتمت مراجعة العيادة العظمية وتبين على الصورة الإشعاعية التئام الكسر فقط بنسبة 70%. عند فحص المريضة سريرياً كان تعاني من تحدد في الحركة وتورم وألم شديد وعدم القدرة على إغلاق أصابعها.

بدأت عملية المعالجة بالجهاز المصمم في2024/2/20 ولمدة عشر جلسات متتاليات خلال أسبوعين ما عدا خميس وجمعة. تم فحص المريضة سريرياً بعد ذلك ليتبين تراجع التورم والألم وتحسن الحركة بشكل ملحوظ بسبب تسريع التئام وزيادة التروية الدموية في بؤرة الكسر. يبين الشكل (5-17) الصور الإشعاعية للمريضة السابعة.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.

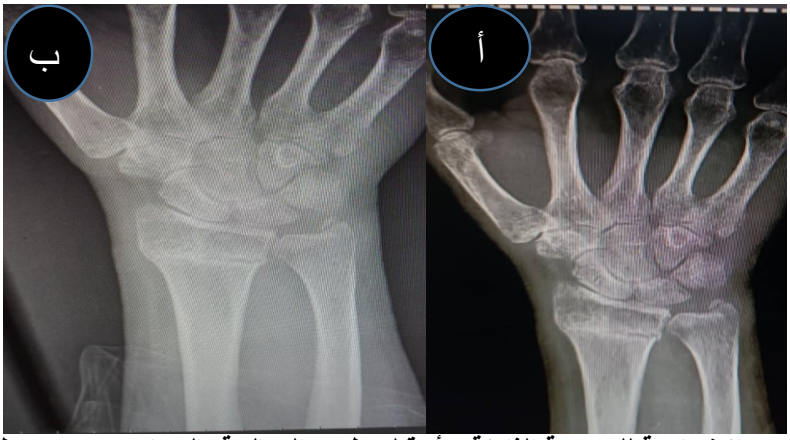
الشكل (5-17): الصور الإشعاعية للمريضة السابعة قبل تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريضة الثامنة** كسر في أسفل الكعبرة علماً انها قد أجرت عملية قلب مفتوح وتعاني أيضاً من هشاشة بالعظام ومن ارتفاع الضغط وتبلغ من العمر 53 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في2024/1/15 وتم فك الجبس في 2024/3/4 . راجعت المريضة العيادة العظمية في 2024/3/11 لوجود ألم كبير في مكان الكسر وحدودية في الحركة (ضمور سودك)، وتبين من الصورة الإشعاعية عدم وجود التئام للكسر.

بدأت المعالجة بالجهاز المصمم في2024/3/11 واستمرت لمدة خمس جلسات حتى تاريخ2024/3/17 ثم تم فحص المريضة سريرياً ليتبين تحسن في حركتها وتراجع الألم وشفاؤها من ضمور سودك. يبين الشكل (5-18) الصور الإشعاعية للمريضة الثامنة.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.



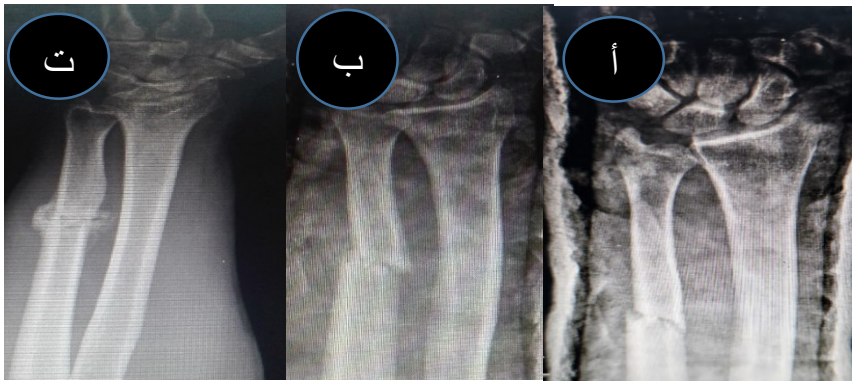
الشكل (5-18): الصور الإشعاعية للمريضة الثامنة، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد تطبيق المعالجة بالجهاز

لدى **المريض التاسع** كسر في عظم الزند علماً انه مدخن ويبلغ من العمر 42 سنة.

حصل الكسر في جسم العظم بشكل شديد في2024/3/5 ويحتاج إلى ثلاثة أشهر بالجبس. بدأت عملية المعالجة بالجهاز المصمم في 2024/3/12 واستمرت لمدة عشر جلسات حتى تاريخ 2024/4/1.

ثم تم إجراء صورة شعاعية للمريض وتبين وجود علامات التئام على بؤرة الكسر ثم تم فحصه سريرياً فتبين اختفاء الألم في بؤرة الكسر. تم فحص المريض بعد شهر من حصول الكسر وتبين عدم وجود وذمة أو ألم في مكان الكسر وشفاؤه بشكل كامل سريرياً وإشعاعياً، لذلك تم فك الجبس عنه وبذلك يكون المريض وقد تلقى المريض 20جلسة بالمجمل. يبين الشكل (5-19) الصور الإشعاعية للمريض التاسع.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة 30 min.



الشكل (5-19): الصور الإشعاعية للمريض التاسع، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد ١٥ يوم من الكسر مع تطبيق الجهاز بالمعالجة و(ت) بعد ٣٠ يوم من الكسر مع تطبيق الجهاز بالمعالجة.

لدى **المريضة العاشرة** كسر في قاعدة المشط الخامس للقدم علماً انها تعاني من هشاشة بالعظام والضغط والسكري وتبلغ من العمر 77 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في2024/1/18 وتم وضع الجبس لمدة شهر ونصف. تبين بعد فك جبسين عدم التئام الكسر بالكامل مع وجود ألم في مكان الكسر. وفقاً للرأي الطبي، كان هناك تخوف من تشكل تصلب على حواف الكسر.

بدأت عملية المعالجة بالجهاز المصمم بعد فك الجبس مباشرة في2024/3/25 حتى تاريخ 2024/4/3 وكانت قد تلقت المريضة خمس جلسات خلال هذه المدة وتبين عند فحص المريضة سريريا غياب الألم. يبين الشكل (5-20) الصور الإشعاعية للمريضة العاشرة.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$50، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.

الشكل (5-20): الصور الإشعاعية للمريضة العاشرة، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد 5جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز.

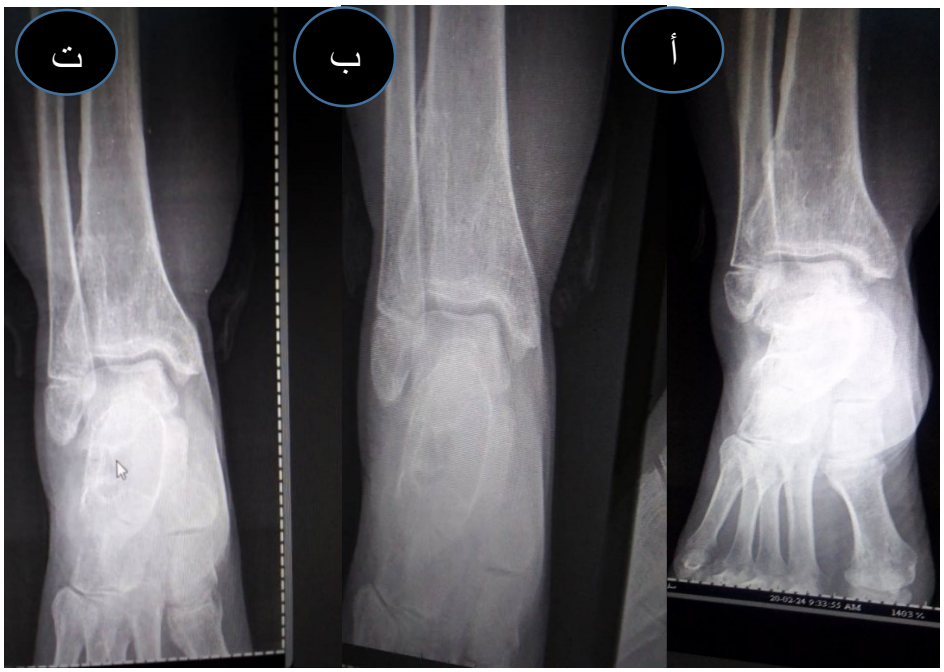
لدى **المريضة الحادية عشر** كسر في الكعب الوحشي علماً انها مدخنة وتبلغ من العمر 48 سنة.

حصل الكسر للمريضة 2023/11/21 فوضعت الجبس لمدة شهرين ولكن لم يندمل الكسر. تم في 2024/1/21 وضع جبيرة للمريضة لمدة أربع أسابيع. راجعت المريضة العيادة العظمية في 2024/2/21 بسبب وجود ألم شديد في مكان الكسر وعدم القدرة على الحركة إلا باستخدام العكازات.

تبين من الصورة الإشعاعية إن وضع الكسر سيء جداً ومتأخر بالالتئام وأنها بحاجة إلى عمل جراحي ولكن تم تطبيق المعالجة بالجهاز المصمم لإعطاء المريضة فرصة بديلة عن العمل الجراحي.

بدأت المعالجة بالجهاز المصمم في20241/2/21 وبعد عشر جلسات من العلاج لمدة أسبوعين بدأت علامات التئام بالظهور في الصور الإشعاعية مع تحسن سريري ملحوظ وأصبحت المريضة قادرة على تحريك قدمها والاستناد عليها. استمرت عملية المعالجة بالجهاز المصمم لمدة أسبوعين إضافيين مع ملاحظة تحسن سريري بمعدل 70% وتحسن بتحريض التئام على الصورة الإشعاعية. تمت متابعة العلاج لمدة شهر بعدد جلسات قدره 20 جلسة ولوحظ تحسن إشعاعي وسريري لدى المريضة وقدرتها للعودة إلى الحركة الطبيعية وشفاء الكسر دون الحاجة إلى تدخل الجراحي. يبين الشكل (5-21) الصور الإشعاعية للمريضة الحادية عشر.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة 30 min.



الشكل (5-21): الصور الإشعاعية للمريضة الحادية عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 10 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد 20 جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريض الثاني عشر** كسر في قاعدة المشط الثاني الرابع علماً انه مدخن ويبلغ من العمر 70 سنة.

حصل الكسر لدى المريض في2023/12/7 ووضع الجبس له لمدة 11أسبوع وتمت إزالته في 2024/3/24. تبين من الصورة الإشعاعية عدم التئام كلي للكسر. ولوحظ من الفحص السريري أن المريض

يعاني من ضمور سودك مع وجود وزمة وعدم قدرة على المشي بالشكل الصحيح ووجود ألم شديد عند صعود الدرج.

بدأت عملية المعالجة بالجهاز المصمم في2024/4/15 وبعد 6 جلسات تبين على الصورة الإشعاعية التئام الكسر بشكل كامل. ولوحظ من الفحص السريري علاج ضمور سودك وتحسن مشية المريض واختفاء الألم في أثناء صعود الدرج. يبين الشكل (5-22) الصور الإشعاعية للمريض الثاني عشر.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $50mw/cm^2$، عامل النبض 2-1، زمن الجلسة min 30.

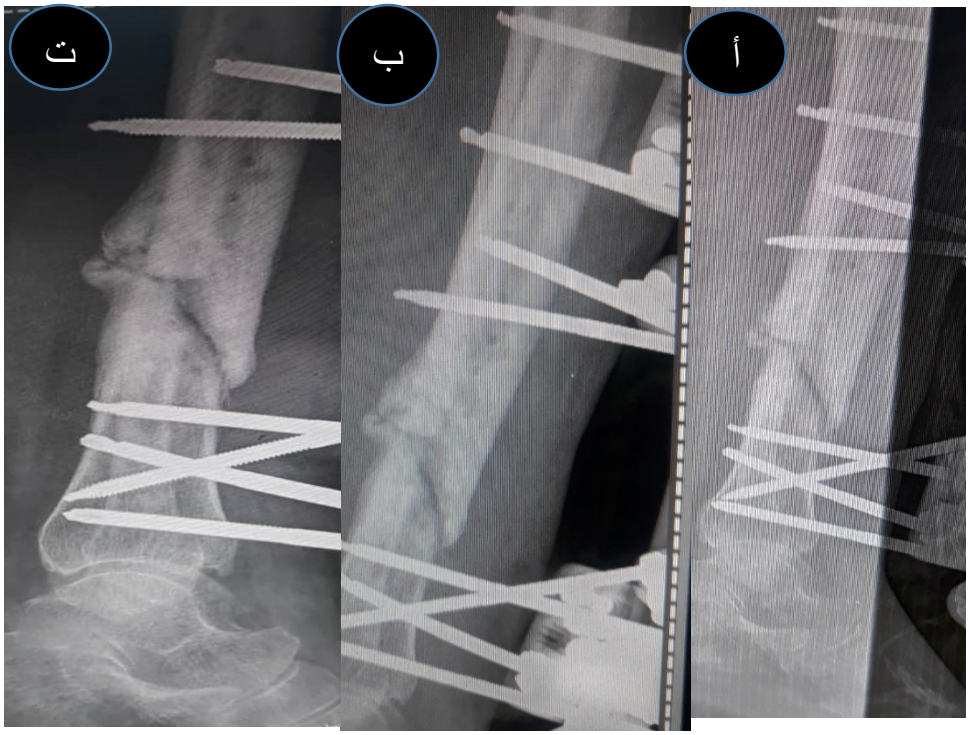
الشكل (5-22): الصور الإشعاعية للمريض الثاني عشر، (أ) بعد فك الجبس وقبل تطبيق المعالجة بالجهاز و(ب) بعد 6 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريض الثالث عشر** كسر في أسفل الظنبوب علماً انه مدخن ويعاني من هشاشة بالعظام ويبلغ من العمر 48 سنة.

حصل الكسر لدى المريض في الشهر السادس من العام 2023 وكانت المسافة من الجلد لأخر الكسر تقريباً 6cm . عولج المريض جراحياً من خلال تركيب صفائح ولكنه أصيب لاحقاً بإنتان. تمت معالجة الإنتان من خلال تناول أدوية الالتهاب ثم أزيلت الصفائح ووضع مثبت خارجي من11/ 2023 وكان رأي الأطباء ان كسر المريض هو عديم التئامي ضموري انتاني. فقرر الأطباء تطبيق الموجات للمريض كخطوة مساندة لخطة علاجه.

بدأت المعالجة بالجهاز المصمم في2024/2/11 وبعد متابعة العلاج لمدة أسبوعين بجلسات متتالية ما عدا الخميس والجمعة، تبين من الصورة الإشعاعية تضخم في الدشبذ على الناحية الخلفية لمكان الكسر فتابعنا بالعلاج لمدة شهر واستمر تضخم الدشبذ بشكل كبير، وقد تلقى المريض بالمجمل 20 جلسة. يبين الشكل (5-23) الصور الإشعاعية للمريض الثالث عشر.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $mw/cm^2$60، عامل النبض 1-1، زمن الجلسة min 30.



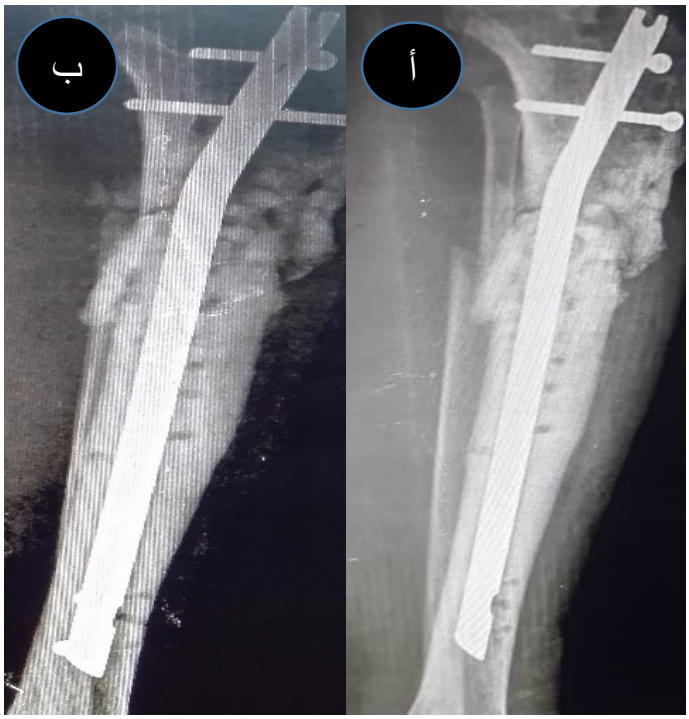
الشكل (5-23): الصور الإشعاعية للمريض الثالث عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 10 جلسات من تطبيق المعالجة بالجهاز و(ت) بعد 20 جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز.

لدى **المريض الرابع عشر** كسر في أعلى الساق علماً انه لا يعاني من أي حالة مرضية ويبلغ من العمر 58 سنة.

حصل الكسر لدى المريض 2022/5/25 وتم إجراء عملية جراحية بتركيب سفول وتطعيم العظم ولم يندمل الكسر فبدأت معالجته بالجهاز المصمم في 20242/2/22 وتم متابعة العلاج لمدة شهر بجلسات متتالية ما عدا الخميس والجمعة وتبين من الصورة الإشعاعية تشكل الدشبذ على بؤرة الكسر. وكان قد تلقى المريض اثنتا وعشرون جلسة ثم قرر الخبير الطبي متابعة العلاج بالجهاز لمدة عشرة أيام

إضافية. تبين بعد ذلك من خلال الفحص السريري تحسن حالة المريض إذ أصبح قادراً على السير بدون استعمال العكازات. ثم طلب الخبير الطبي من المريض السير واضحاً كامل وزنه على قدمه مع متابعة العلاج بالجهاز. انتهى العلاج بالجهاز بعد تطبيق ثلاثون جلسة بالمجمل مع تحسن كبير في حالة المريض. يبين الشكل (5-24) الصور الإشعاعية للمريض الرابع عشر.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $60mw/cm^2$، عامل النبض 1-1، زمن الجلسة min 30.



الشكل (5-24): الصور الإشعاعية للمريض الرابع عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 30 جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز.

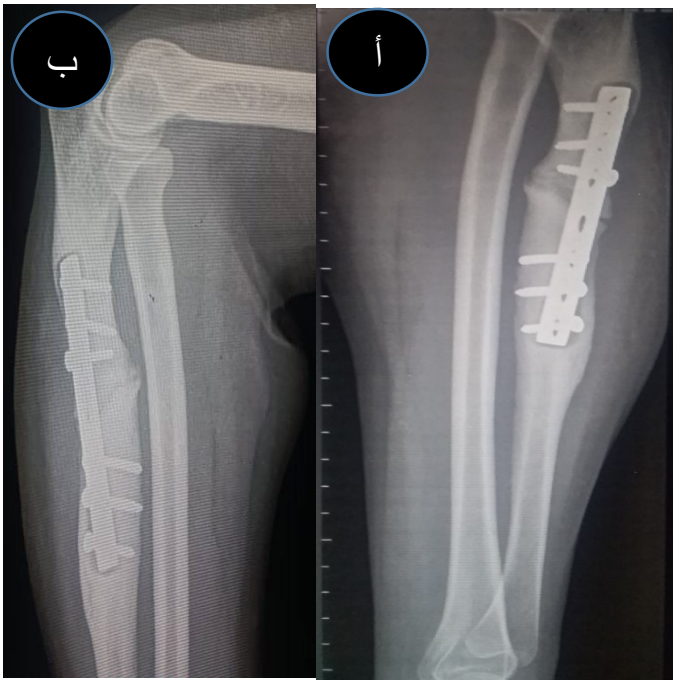
لدى **المريضة الخامسة عشر** كسر في الثلث العلوي للزند علماً أنها لا تعاني من أي حالة مرضية وتبلغ من العمر 38 سنة.

حصل الكسر لدى المريضة في 2021/3/3 مع وجود تشوه في محور الساعد واحتاجت لعمل جراحي لتركيب صفيحة. راجعت المريضة العيادة العظمية لوجود ألم في ساعدها ولم تستطيع رفع يدها. تبين من الصورة الإشعاعية للمريضة عدم التئام للكسر.

بدأت المعالجة بالجهاز المصمم في 2024/3/4 والتي استمرت مبدئياً لمدة أسبوع بجلسات متتالية ما عدا الخميس والجمعة . تبين بعدها من الفحص السريري وجود تحسن بشكل كامل في حركة اليد. تم الاستمرار

في المعالجة لمدة شهر ثم تبين من الصورة الإشعاعية أن وضع التئام جيد وبالإمكان إجراء عمل جراحي لها لإزالة الصفيحة وذلك تكون المريضة قد تلقت بالمجمل عشرون جلسة. يبين الشكل (5-25) الصور الإشعاعية للمريضة الخامسة عشر.

البارامترات المستخدمة: ترددMHz1.5، وشدة $60mw/cm^2$، عامل النبض 1-1، زمن الجلسة min 30.



الشكل (5-25): الصور الإشعاعية للمريضة الخامسة عشر، (أ) قبل تطبيق المعالجة بالجهاز، (ب) بعد 20 جلسة من تطبيق المعالجة بالجهاز.

يلخص الجدول (5-5) نوع العلاج المطبق على المرضى قبل المعالجة بالجهاز المصمم ومكان الإصابة بالكسر.

الجدول (5-5): تلخيص لعينة الدراسة.

العلاج الأولي	عدد المرضى	موقع الكسر	حالة الكسر
الجبس	11	أسفل الكعبرة (5)	حديث (5)
		مشط القدم (4)	حديث (3) تأخر بالتئام (1)
		عظم الزند (1)	حديث (1)
		الكعب الوحشي (1)	تأخر بالتئام (1)
الجر العظمي	1	قصبة الساق (1)	حديث (1)
التثبيت الداخلي والخارجي (الجراحة)	3	أسفل الطنبوب (1)	عدم التئام (3) خلال فترة تتراوح من 8 إلى 36 شهر
		أعلى الساق (1)	
		أعلى الزند (1)	

يبين الجدول (5-6) المعلومات التفصيلية للمرضى والذي يتضمن البيانات الديموغرافية وحالة الكسر بالإضافة إلى عدد جلسات العلاج.

الجدول (5-6): البيانات الديموغرافية وحالة الكسر وعدد الجلسات العلاج لعينة الدراسة.

المريض	العمر (سنة)	الجنس	موقع الكسر	العلاج الأولي	حالة الكسر	المدة الزمنية للعلاج الأولي قبل تطبيق LIPUS	عدد الجلسات
1	66	F	أسفل الكعبرة	الجبس	حديث	يومين	14
2	50	M	قصبة الساق	الجر العظمي	حديث	أسبوع	30
3	56	F	مشط القدم الثالث والرابع والخامس	الجبس	حديث	شهر	8
4	42	M	أسفل الكعبرة	الجبس	حديث	شهر	10
5	65	F	قاعدة مشط اليد الثالث	الجبس	حديث	شهر	4
6	68	M	أسفل الكعبرة	الجبس	حديث	شهرين واسبوع	10
7	64	F	أسفل الكعبرة	الجبس	حديث	شهر ونصف	10
8	53	F	أسفل الكعبرة	الجبس	حديث	شهر ونصف	5
9	43	M	عظم الزند	الجبس	حديث	أسبوع	20
10	77	F	قاعدة مشط الخامس للقدم	الجبس	حديث	شهر ونصف	5
11	48	F	الكعب الوحشي	الجبس	تأخر التئام	ثلاثة أشهر	20
12	70	M	قاعدة مشط القدم الثاني والرابع	الجبس	تأخر التئام	ثلاثة أشهر	6
13	48	M	أسفل الظنبوب	جراحة	عدم التئام	8 أشهر	20
14	58	M	أعلى الساق	جراحة	عدم التئام	سنة وتسعة أشهر	30
15	38	F	أعلى الزند	جراحة	عدم التئام	ثلاثة سنوات	20

يبين من الجدول (5-6) السابق اشتمال عينة الدراسة مواقع كسور مختلفة وجميع طرائق العلاج الأولية التي يتم استخدامها من قبل الخبراء الطبيين للكسور (الحديثة-تأخر التئام-عدم التئام) وعدد الجلسات التي

احتاجها المريض باستخدام الجهاز المصمم في البحث لإكمال العلاج، حيث شملت عينة الكسور (أسفل الكعبرة 33.33%، كسور مشط القدم 26.66%، كسور عظم الزند 13.33%، كسور الكعب الوحشي 6.66%، كسور أسفل الظنبوب 6.66%، كسور عظم الساق 13.33%) من عينة المرضى الإجمالية.

الفصل السادس

النتائج ومناقشتها

يناقش هذا الفصل مقارنة نتائج الجهاز مع الدراسات المرجعية ذات الصلة، وتم مقارنة الجهاز المصمم في البحث مع الأجهزة المتوفرة تجارياً ومناقشة نتائجه، يختتم هذا الفصل بإجراء دراسة إحصائية لمجموعة المرضى المشاركين في البحث.

1-6 مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية والأجهزة المتوافرة تجارياً

تقدم هذه الفقرة مقارنة بين نتائج البحث من جهة والدراسات المرجعية والأجهزة الطبية المستخدمة لالتئام كسور العظام من جهة أخرى. يلخص الجدول (6-1) مقارنة بين نتائج الدراسات المرجعية والنتائج التي حصلنا عليها في هذه الدراسة، علماً ان ترتيب الدراسات في هذا الجدول متطابق مع ترتيبها الوارد في الفصل الثاني من هذه الرسالة.

الجدول (6-1): مقارنة بين نتائج الدراسات المرجعية ونتائج البحث.

	موقع الكسر	البارامترات	النتائج
الدراسات التي تدعم استخدام LIPUS في التئام كسور العظام			
الدراسة الأولى	الظنبوب الشظية نصف القطر البعيد الترقوة الفخذ العضد الزند	0.5-1.5 MHz التردد زمن التطبيق 20min	جودة LIPUS ضعيفة في الكسور الحديثة وكسور الإجهاد. LIPUS فعالة في حالات الكسور متأخرة الالتئام لدى المدخنين ومرضى السكري
الدراسة الثانية	كسور الفخذ عند الجرذان	ليزر Nd:YAG (بطول موجي 1064nm، وشدة 135mW لمدة دقيقتين) **التردد** 1MHz **الشدة** $50mW/cm^2$	تبين أن للعلاج بليزر Nd:YAG تأثير في تسريع شفاء كسور العظام والتي تعززت باستخدام LIPUS
الدراسة الثالثة	عظم الساق عند الجرذان	التردد 1MHz الشدة $0.2W/cm^2$ عامل النبض عند 20% زمن التطبيق 10 min	تبين من التصوير الاشعاعي تسرّع عملية التئام العظام باستخدام LIPUS
الدراسة الرابعة	عظم الرسغ	التردد 1.5MHz الشدة $30mw/cm^2$ زمن النبضة $200\mu s$ زمن التطبيق 15 min	إن العلاج بـ LIPUS مفيد لشفاء كسور عظم الرسغ وقد يوفر عودة مبكرة للنشاط والعمل للمرضى
	الظنبوب المعصم العظم الزورقي قصبة الساق		ثبت أنها تسرع تكوين العظام ويقلل مدة الشفاء بنسبة 38% في الكسور الحديثة، والكسور غير الملتئمة، والكسور المتأخرة بالالتئام. وقد تم

الدراسة الخامسة	الكعب الوحشي الترقوة العضد الزند عظم المشبك المشط العظام الطويلة	Exogen 4000+	توصية استخدامها كعلاج آمن بالمقارنة مع علاجات الكسور الموجودة (الجبس، الجراحة).
الدراسة السادسة	الفخذ شظية الساق العضد الزند مشط القدم الكتائب الرضفة القاربي باليد الترقوة	Exogen 4000	يمكن اعتبار علاج LIPUS خياراً منخفض المخاطر كعامل مساعد للجراحة أو كعلاج مستقل في علاج الكسور عديم التئام/التئام والكسور الحديثة
الدراسة السابعة	الشظية العضد القدم الفخذ الترقوة اليد الساعد	Exogen 4000	يمثل علاج LIPUS مساراً تكميلياً مهماً للعلاج غير الجراحي ومنخفض المخاطر لتأخير /عدم التئام
الدراسة الثامنة	الكعب الوحشي القدم الخامس الترقوة مشط القدم الفخذ الزند	Exogen 4000	توضح الدراسة أن LIPUS تقدم علاجاً بديلاً للتثبيت الجراحي
الدراسات التي لا تدعم استخدام LIPUS في التئام كسور العظام			
الدراسة الأولى	كسر الكعب الوحشي المثبت بالبرغي	Exogen 4000+	لا يوجد أي اختلاف في الشكل الاشعاعي للعظم في موقع الكسر
الدراسة الثانية	-	Exogen 4000+	تبين هذه الدراسة أن تطبيق LIPUS غير فعال لحالات عدم التئام الضموري وعدم استقرار فجوة الكسر وعندما تكون حجم فجوة الكسر أكبر من 8mm
الدراسة الثالثة	الظنبوب الشظية مشط القدم	التردد 1.5MHz ±5% الشدة $30mw/cm^2$ 1.5% زمن التطبيق 20 min	لا يوجد فرق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين في التصوير بالرنين المغناطيسي والمعلومات السريرية

١٠ محددات الجهاز ثابتة وهي: تردد 1.5MHZ وقيمة شدة $30mw/cm^2$ وعامل النبض 20% وزمن الجلسة 20 min

			LIPUS ليست علاجاً فعالاً بشفاء إصابات الإجهاد العظمي في الأطراف السفلية
الدراسة الرابعة	التسمير داخل النخاع لكسر (الظنبوب)	Exogen 4000+	تطبيق LIPUS لم يؤدي إلى تحسين التعافي الوظيفي أو تسريع الشفاء الاشعاعي أو تقصير مدة الشفاء
الدراسة الخامسة	التثبيت اللولبي داخل النخاع لكسور الإجهاد الخامس القريبة من مشط القدم	Exogen 4000+	LIPUS لم يحسن كسور إجهاد المشط الخامس ولوحظت نتائج سريرية مماثلة مع أو بدون تطبيقه
فعالية جهاز (LIPUS) المصمم في هذا البحث			
الجهاز المصمم في البحث	أسفل الكعبرة قصبة الساق مشط القدم قاعدة مشط اليد الزند الكعب الوحشي أسفل الظنبوب أعلى الساق أعلى الزند	التردد 1.5MHz الشدة mW/cm^2 20- 60 عامل النبض 1:1/1:2/1:3/1:4 زمن التطبيق 1- 30min	LIPUS فعال في تسريع /تحريض التئام كسور العظام، حيث بلغ معدل تسريع التئام الكسور الحديثة بالـ (LIPUS) **57%** مقارنة بأشخاص لا يستخدمون الـLIPUS) التخلص من عواقب التثبيت المديد للكسر مثل ضمور سودك وتحدد الحركة. LIPUS فعال كعلاج مساعد مع وسيلة العلاج التقليدية الجر العظمي. علاج الوزمة والالتصاقات التالية للكسر والحالة الالتهابية للكسر والندبات. فعالية الجهاز مع وجود التثبيتات الداخلية والخارجية المعدنية. فعالية الجهاز كحل بديلي عن التدخل الجراحي في أحد الحالات. لا توجد أي حالة معالجة لم يكن فيها الجهاز فعال في المعالجة أو أعطى نتائج سلبية

يبين الجدول (6-2) مقارنة بين أجهزة تسريع التئام الكسور الموجودة في الأسواق والجهاز المصمم في البحث.

الجدول (6-2): مقارنة أجهزة LIPUS تسريع التئام الكسور والجهاز المصمم في البحث.

البارامترات	EXOGEN	Osteotron	FAST	Melmak	الجهاز المصمم في البحث
نوع العلاج	تسريع التئام الكسور بالـLIPUS	تسريع التئام الكسور بالـ LIPUS	تسريع التئام الكسور بالـ LIPUS	تسريع التئام الكسور بالـLIPUS	تسريع وتحرض التئام الكسور وعلاج ضمور سودك، علاج الوزمة والالتصاقات التالية للكسر والحالة الالتهابية للكسر والندبات. بديل عن العمل الجراحي لأحد الحالات. مساعد مع حالات الجر العظمي والعمل الجراحي.
نسبة تسريع الالتئام	38%	-	30%	38%	57%
فعالية LIPUS مع وجود التثبيتات المعدنية	فعال مع وجود تثبيتات معدنية الداخلية	فعال حتى مع وجود تثبيتات معدنية	-	فعال حتى مع وجود تثبيتات معدنية داخلية	فعال حتى مع وجود تثبيتات معدنية الداخلية والخارجية
التردد	1.5MHZ	1.5 MHZ, 750KHZ	1.5MHZ	1.5MHZ	1.5 MHZ
الشدة	$30mW/cm^2$	30-60-45) $(mW/cm^2$	$30mW/cm^2$	$30mW/cm^2$	من $20mW/cm^2$ الى $60mW/cm^2$
زمن التشغيل	20%	20%	20%	20%	(20%،25%،33%،50%)
زمن الجلسة اليومي	20min	20-30 min	20min	20min	1-30 min

يتبين من الجدول (6-2) اتساع مجال البارامترات التي تم استخدامها بالجهازLIPUS المصمم في البحث مقارنةً بالأجهزة LIPUS التجارية المتوفرة بالأسواق وزيادة نسبة تسريع الالتئام في الجهاز المصمم في البحث.

6-2 استنتاجات

نفذت الاختبارات السريرية على 15 مريض في الفترة الممتدة من 2024/2/5 إلى 2024/6/1 في إحدى مشافي مدينة دمشق (مشفى ابن نفيس). فيوضح الجدول (6-3) النتائج السريرية والإشعاعية للمرضى المشاركين في البحث.

الجدول (6-3): النتائج السريرية والإشعاعية لعينة الدراسة.

المريض	عدم التئام سريري (ألم) قبل المعالجة	عدم التئام إشعاعي قبل المعالجة	ضمور سودك	التئام سريري وعلاج الوزمة بعد تطبيق LIPUS	التئام إشعاعي بعد تطبيق LIPUS
1	✓	✓	☒	✓	✓
2	✓	✓	☒	✓	✓
3	✓	✓	☒	✓	✓
4	✓	✓	☒	✓	✓
5	☒	☒	✓	✓	☒
6	✓	✓	☒	✓	✓
7	✓	✓	☒	✓	☒
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	☒	✓	✓
10	✓	✓	☒	✓	✓
11	✓	✓	☒	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	☒	☒	✓
14	✓	✓	☒	✓	✓
15	✓	✓	☒	✓	✓

تبين من الجدول (6-2) الحصول على نتائج إيجابية لجميع عينة البحث خلال الاختبارات السريرية والشعاعية وفعالية الجهاز المصمم في علاج ضمور سودك لأربعة مرضى. تم تسجيل عوامل الخطر المرتبطة بالمريض، وأكثرها شيوعاً التدخين وتناول الكحول والإصابة بداء السكري وهشاشة العظام ومؤشر كتلة الجسم العالي (BMI)، تم تلخيص هذه البيانات في الجدول (6-4).

الجدول (6-4): عوامل الخطر المرتبطة بالمريض.

المريض	الجنس	التدخين	الكحول	داء السكري	هشاشة العظام	BMI
1	F	✓	☒	☒	✓	37.1
2	M	✓	☒	☒	☒	22.5
3	F	☒	☒	☒	☒	38.2
4	M	✓	✓	☒	☒	29.4
5	F	☒	☒	☒	✓	26.1
6	M	☒	☒	✓	☒	30.4
7	F	☒	☒	✓	☒	23.8

8	F	☒	☒	☒	✓	24.3
9	M	✓	☒	☒	☒	27.7
10	F	☒	☒	✓	✓	22.2
11	F	✓	☒	☒	☒	23.1
12	M	✓	☒	☒	☒	23.05
13	M	✓	☒	☒	✓	36.3
14	M	☒	☒	☒	☒	29.3
15	F	☒	☒	☒	☒	31.1

تم توثيق التدخين في (64.4%) من المرضى، وتم التعرف على مريض واحد فقط يتناول الكحول (6.6%). بلغت نسبة الإصابة بداء السكري وهشاشة العظام في عينة الدراسة 20% و33.33%على التوالي. أما نسب مؤشر كتلة الجسم BMI في عينة الدراسة فهي كالتالي: 36% وزن الطبيعي و36% سمنة و28% زيادة في الوزن.

3-6 مناقشة النتائج

أظهرت نتائج الدراسات المرجعية أنه يجب تطبيق LIPUS كعلاج مساعد لحالات التأخر/عدم الاندمال دون تدخل جراحي ويجب تطورLIPUS لعلاج حالات (عدم الاندمال ضموري وعدم استقرار في موقع الكسر وحجم الفجوة الكسر الأكبر من 8mm). وأيضاً تبين من أحد الدراسات أن تطبيق LIPUS لم يؤدي إلى تحسين التعافي الوظيفي أو تسريع الشفاء الاشعاعي أو تقصير مدة الشفاء لكسر قصبة الساق المعالجة جراحياً قبل تطبيق LIPUS، وتبين من خلال استخدام جهاز+Exogen 4000 أن (LIPUS) لها نتائج إيجابية في شفاء كسور العظام من خلال التغيرات الجزئية والبيولوجية والميكانيكية الحيوية حول موقع الكسر، ولقد ثبت أنها تسرع تكوين العظام ويقلل مدة الشفاء بنسبة 38% في الكسور الحديثة، والكسور غير الملتئمة، والكسور المتأخرة بالالتئام.

وتبين من تطبيق المعالجة بالجهاز المصمم على عينة الدراسة في هذا البحث ما يلي:

1.الجهاز آمن لا يوجد له أي آثار جانبية أو اختلاطات على المرضى لا موضعياً ولا جهازياً.

2. ساعد الجهاز على:

- ✓ فك الجبس بشكل مبكر لثلاثة مرضى كسور حديثة كما يلي:

❖ تم فك الجبس لمريضة كسر أسفل الكعبرة بعد ثلاثة أسابيع من حدوث الكسر، حيث كانت تعاني من هشاشة بالعظام وارتفاع بمؤشر كتلة الجسم وأيضاً مدخنة وعمرها يتجاوز 60

عاماً وهذه عوامل تؤثر في تأخر التئام كسور العظام بينما مقارنة بشخص لا يستخدم LIPUS فيجب فك الجبس بعد ستة أسابيع من حدوث الكسر حسب رأي الخبير الطبي.

- ❖ تم فك الجبس لمريض كسر عظم الزند بعد شهر من حدوث الكسر، حيث كان المريض مدخن وعمره يتجاوز 40 عاماً وهذه عوامل تؤثر في تأخر التئام كسور العظام بينما مقارنة بشخص لا يستخدم LIPUS فيجب فك الجبس بعد ثلاثة أشهر من حدوث الكسر حسب رأي الخبير الطبي.
- ❖ تم التئام كسر قصبة الساق باستخدام الجهاز المصمم في البحث مع تطبيق طريقة الجر العظمي خلال شهرين من حدوث الكسر حيث كان المريض مدخن وعمره 50عاماً وهذه عوامل تؤثر في تأخر التئام كسور العظام بينما مقارنة بشخص لا يستخدم LIPUS فيتم التئام كسر خلال ستة أشهر من حدوث الكسر حسب رأي الخبير الطبي.

والبدء بالحركة المبكرة لجميع مرضى الكسور الحديثة نتيجة الاقتناع بحالة المريض الجيدة سريرياً وشعاعياً مقبولة من قبل الخبراء الطبيين بعد فك الجبس مباشرةً.

- ✓ LIPUSفعال كعلاج مساعد مع وسيلة العلاج التقليدية الجر العظمي التي لم يتم ذكر استخدامها في الدراسات المرجعية.
- ✓ عملت LIPUS على تحريض تدفق الدم في مكان الكسر وهذا أثر بشكل إيجابي في علاج الوزمة والالتصاقات التالية للكسر والحالة الالتهابية للكسر والندبات لجميع مرضى الكسور الحديثة (كسر أسفل الكعبرة- كسر عظم الزند- كسر قصبة الساق) والمتأخرة بالتئام (كسر كعب الوحشي- كسر قاعدة مشط القدم الثاني والرابع).
- ✓ حدوث نتائج إيجابية في تعزيز التئام الكسور في حالة حجم فجوة الكسر بشكل عرضي أكبر من 1cm نتيجة استخدام متحكم شامل حيث أثرت الشدة وعامل النبض في زيادة التروية الدموية في كامل فجوة الكسر.
- ✓ التخلص من عواقب التثبيت المديد للكسر مثل ضمور سودك لثلاثة مرضى كسور حديثة ومتأخرة بالتئام (كسر قاعدة المشط الثالث لليد، كسر أسفل الكعبرة، كسر قاعدة مشط القدم الثاني والرابع) وتحدد الحركة لجميع مرضى كسور أسفل الكعبرة.
- ✓ تنشيط التئام والمقصود به تسريع عملية التئام بعد تشكل الدشبذ بزمن سابق للمعالجة بالجهاز حسب مقارنة بين أشخاص تم استخدام الجهاز المصمم في البحث وأشخاص اعتمدوا على الطرق التقليدية في العلاج للكسور الحديثة، حيث تم حساب نسبة تسريع التئام كسور العظام باستخدام الجهاز المصمم في البحث من حيث ثلاثة المرضى الكسور الحديثة (كسر أسفل الكعبرة- كسر عظم الزند- كسر قصبة الساق) كما موضح في الجدول (6-5) يلي:

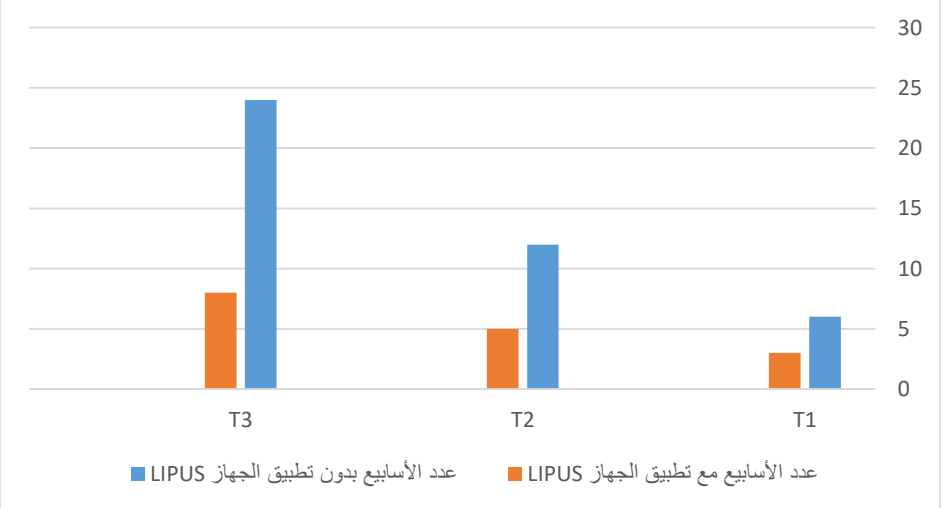
الجدول (6-5): حساب نسبة تسريع التئام كسور العظام لمجموعة الكسور الحديثة.

نوع الكسر	عدد الأسابيع للعلاج بدون تطبيق LIPUS	عدد الأسابيع للعلاج مع تطبيق LIPUS للجهاز المصمم في البحث
أسفل الكعبرة	6	3
جسم عظم الزند	12	5
قصبة الساق	24	8
نسبة التسريع التئام باستخدام الجهاز المصمم 57%		

- ✓ تحريض التئام حيث ساعد الجهاز على تشكل الدشبذ العظمي في الحالات التي لم يتشكل فيها الدشبذ بزمن سابق للمعالجة بالجهاز لمرضى الكسور المتأخرة بالتئام (كسر الكعب الوحشي، كسر قاعدة مشط القدم الثاني والرابع) وكسور عديمة التئام (كسر أسفل الظنبوب، كسر أعلى الساق، كسر أعلى الزند).

3. لا توجد أي حالة معالجة لم يكن فيها الجهاز فعال في المعالجة أو أعطى نتائج سلبية.

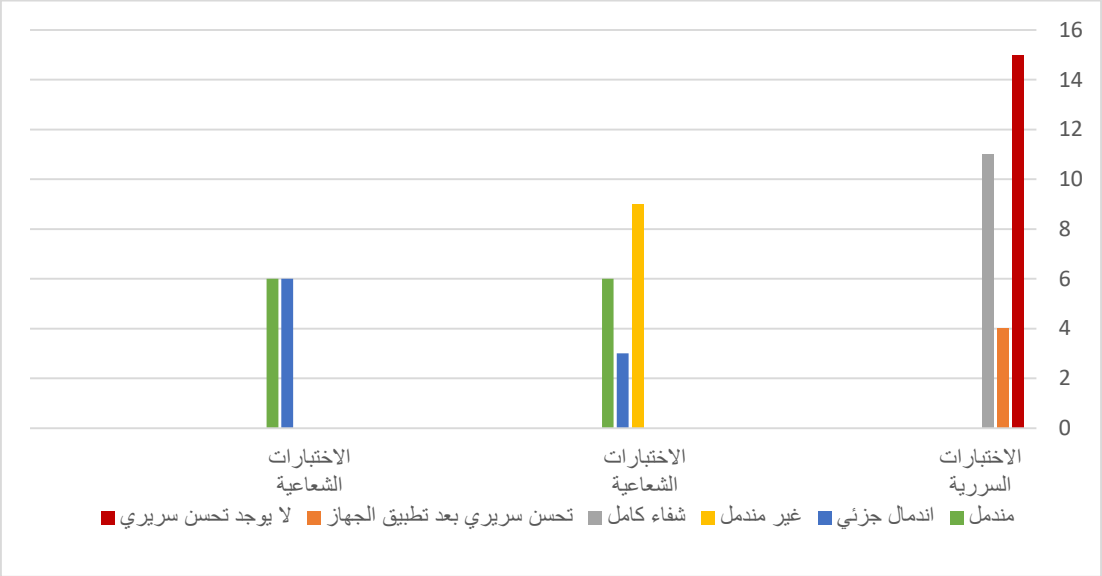
ثم تم إجراء الدراسة الإحصائية الوصفية لمجموعة المرضى المشاركين في البحث باستخدام برنامج الإكسل. يوضح الشكل (6-1) مقارنة عدد الأسابيع التي يحتاجها المريض حسب نوع كسره بدون تطبيق المعالجة بالجهاز المصمم حسب رأي الخبير الطبي مع المرضى الذي تمت معالجتهم باستخدام الجهاز.



الشكل (6-1): مقارنة بين عدد الأسابيع الذي يحتاجها المريض لفك الجبس بدون تطبيق المعالجة بالجهاز ومع تطبيق المعالجة بالجهاز (يدل الرمز T1على المريض الأول).

تبين من الشكل (6-1) انخفاض فترة التئام الكسور الحديثة التي تقل عن أسبوع بمعدل 57% باستخدام الجهاز المصمم. تمت أيضاً مقارنة النتائج لعينة الدراسة باختبارها سريرياً وإشعاعياً كما هو موضح في

الشكل (6-2). تبين من الشكل (6-2) الشفاء السريري لـ 11مريض والتحسن السريري لـ 4 مرضى بعد تطبيق الجهاز المصمم، أما شعاعياً فتبين التئام الكسر بشكل كامل لـ 12 مريض وأصبح لدى بقية المرضى (3) التئام جزئي بعد تطبيق الجهاز المصمم لمجموعتين من المرضى (غير مندمل، التئام جزئي).



الشكل (6-2): مقارنة النتائج لعينة الدراسة باختبارها سريرياً وإشعاعياً.

شمل هذا البحث علاج أنواع مختلفة من كسور العظام بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS)، وتشير نتائجها إلى فعالية الجهاز المصمم في البحث في تسريع /تحريض التئام كسور العظام، حيث بلغ معدل تسريع التئام الكسور الحديثة بالـ(LIPUS) 57% مقارنة بأشخاص لا يستخدمون الـ (LIPUS)، وبالتالي فإن استخدام الجهاز المصمم فعال وآمن ويمكن استخدامه بسهولة لحالات الكسور (الحديثة، متأخرة التئام، عدم التئام).

ثم تم استخدام اختبار مربع كاي من اجل التحري عن وجود علاقة بين المدخنين وغير المدخنين والحالة السريرية، وبين BMI والحالة الإشعاعية وبين الفئة العمرية للمدخنين والحالة السريرية. علماً أن أعمار فئة الشباب تتراوح بين 26 سنة و65 سنة وفقاً لمنظمة الصحة العالمية. تبين الجداول (6-6) و (6-7) و (6-8) نتائج هذا الاختبار.

الجدول (6-6): تحري الارتباط بين التدخين والحالة السريرية.

	شفاء سريري	تحسن سريري	المجموع
مدخن	3	4	7
غير مدخن	8	0	8
المجموع	11	4	15

x^2	6.954545
Df	1
P	0.008361

بما أن قيمة P<0.05، إذن توجد علاقة بين التدخين والحالة السريرية. أي ان الجهاز المصمم ساعد المرضى المدخنين على الشفاء السريري.

الجدول (6-7): تحري الارتباط بين BMI والحالة الإشعاعية.

	مندمل الكسر	تحسن بالتئام	المجموع
وزن طبيعي	0	4	4
سمنة	4	0	4
زيادة وزن	2	3	5
المجموع	6	7	13

x^2	6
df	2
p	0.049787

بما أن قيمة P<0.05، إذن توجد علاقة بينBMI والحالة الإشعاعية. أي ان الجهاز المصمم ساعد على الشفاء الإشعاعي للمرضى الذين لديهم ارتفاع مؤشر كتلة الجسم BMI.

الجدول (6-8): تحري الارتباط بين الفئة العمرية للمدخنين والحالة السريرية.

	شفاء سريري	تحسن سريري	المجموع
مدخن شاب	2	3	5
مدخن معمر	2	0	2
غير مدخن	8	0	8
المجموع	12	3	15

x^2	7.5
Df	2
P	0.023518

بما أن قيمة P<0.05، إذن توجد علاقة بين الفئة العمرية للمدخنين والحالة السريرية أي ان الجهاز المصمم ساعد على الشفاء السريري للمرضى المدخنين المعمرين.

الفصل السابع
الخاتمة
والاقتراحات المستقبلية

يتناول هذا الفصل الخاتمة وتتضمن ما تم إجراءه في هذا البحث والتوصيات المستقبلية من اجل تطوير فعالية الجهاز المصمم بشكل أوسع.

1-7 الخاتمة

صمم في هذا البحث جهاز للمعالجة بالموجات فوق الصوتية النبضية منخفضة الشدة (LIPUS) لتقييم تسريع التئام الكسور العظام المختلفة (الكسور الحديثة والكسور غير الملتئمة والكسور المتأخرة بالتئام). يتميز هذا الجهاز المصمم عن الأجهزة المتوافرة تجارياً ببارامترات قابلة للتغيير (التردد(0.5-2MHz) بفرق قفزات بينهما 0.25، عامل النبض (1:4-1:3-1:2-1:1)، الشدة ($20-6-mW/cm^2$)، مدة الجلسة(1-30min))، علماً أنه اختيار قيم هذه البارامترات تبعاً للدراسات المرجعية والأجهزة الطبية المتوافرة في السوق.

أجريت في المرحلة التالية الاختبارات السريرية حيث شملت مجموعة على 15مريض يعانون من كسور في أسفل الكعبرة، قصبة الساق، مشط القدم، قاعدة مشط اليد، الزند، الكعب الوحشي، أسفل الظنبوب، أعلى الساق(أعلى الظنبوب) وأعلى الزند.

تم اختيار برتوكول العلاج لكل حالة مرضية من عينة البحث وتشخيص الحالة من قبل الخبير الطبي حيث تألفت مجموعة القرار السريري من طبيبين مختصين وإحدى عشر طبيباً مقيماً. وكان اختصاص إحدى الطبيبين استشاري جراحة عظمية بورد عربي، حاصل على الاختصاص منذ عام 1998ويعمل رئيس قسم الجراحة العظمية في المشفى قيد الدراسة، والطبيب الآخر اخصائي بأمراض العظام والمفاصل وجراحتها، حاصل على الاختصاص منذ عام 1999 ويعمل كطبيب مختص في نفس المشفى.

تبين من نتائج البحث أن بالإمكان استخدام LIPUS كوسيلة مساعدة مع تطبيق العلاج التقليدي لتسريع التئام الكسور وكذلك لتحريض عملية التئام. كما أظهرت النتائج فعالية استخدام LIPUS كحل بديلي للعمل الجراحي لبعض حالات كسور العظام مثل الكعب الوحشي.

أما معدل تسريع التئام كسور العظام الحديثة في هذا البحث فكان 57%، مع إعطاء نتائج سريعة جداً لحالات التأخر بالتئام وعدم التئام، والعودة إلى الحركة الطبيعية والعمل.

حيث أظهرت إحدى الدراسات المرجعية عدم فعالية LIPUS في التئام كسر الكعب الوحشي [9] ولكن جهازنا المصمم أعطى فعالية إيجابية بقدرته باستبدال العمل الجراحي للمريض باستخدام الجهاز المصمم وعودته إلى الحركة الطبيعية في حالة كسر الكعب الوحشي.

بينت دراسة أخرى عدم فعاليةLIPUS في شفاء حالات عدم التئام الضموري [10] ، بينما أثبت الجهاز المصمم في البحث فعاليته في تضخم الدشبذ حول مكان الكسر لحالة عدم التئام الضموري.

أظهرت أيضاً دراسة مرجعية عدم فعاليةLIPUS في شفاء إصابات الإجهاد العظمي في الأطراف السفلية لكسور (الظنبوب، الشظية، مشط القدم)[11] ولكن جهازنا المصمم أثبت فعاليته في معالجة كسور الأطراف السفلية وأعطى نتائج إيجابية كبيرة في تسريع وتحريض التئام، وكذلك الأمر بالنسبة لإحدى الدراسات التي وضحت أن LIPUS لا تؤدي إلى تحسين التعافي الوظيفي أو تسريع الشفاء الاشعاعي أو تقصير مدة الشفاء على التسمير داخل النخاع لكسر (الظنبوب)[12] ولكن الجهاز المصمم في البحث أثبت قدرته على شفاء التسمير داخل النخاع لكسر (أعلى الظنبوب) المتأخر بالتئام وعودة المريض إلى الحركة الطبيعية بعد أن دام عدم التئام الكسر لعدة أعوام.

كما أثبت البحث فعالية LIPUS في علاج الالتصاقات التالية للكسر والحالات الالتهابية والتندبات وساعد بشكل كبير في علاج ضمور سودك، حيث كان الجهاز آمن ولا يوجد له أي آثار جانبية أو اختلاطات على المرضى لا موضعياً ولا جهازياً.

2-7 الاقتراحات المستقبلية

١) إمكانية زيادة عدد الأشخاص الذين يعانون من عدم التئام ضموري للتأكد من فعالية الجهاز المصمم في علاج هذه الحالات.

٢) إمكانية تجريب فعالية الترددات الأخرى المستخدمة في الجهاز المصمم التي لم يتم تجريبها في هذا البحث لأسباب اقتصادية حيث تم تطبيق فقط التردد 1.5MHz.

٣) إمكانية الحصول على المجس له مساحة سطح كبير تستطع أن تغطي كامل مساحة الكسر لتسريع التئام بشكل سريع على كافة منطقة الهدف.

٤) إمكانية تصنيع مجس قابل للبرمجة لإعطاء ترددات مختلفة، بدلاً من استخدام أكثر من مجس.

٥) إمكانية استخدام الجبائر 3D مع جهاز LIPUS المصمم في البحث من اجل سهولة الحركة وخفة الوزن لحماية المريض من تعرضه للالتصاقات التالية للكسر والحالات الالتهابية والتندبات وهذا يحميه من تعرضه لضمور سودك.

٦) إمكانية إدخال تقويم على الجهازLIPUS المصمم يسجل فيه التواريخ وعدد الجلسات التي تلقاها كل مريض.

المراجع

المراجع الأجنبية:

[1] Pilar, M. (2011). “The Evidence of Low-Intensity Pulsed Ultrasound for In Vitro, Animal and Human Fracture Healing", British Medical Journal, PMID: 21429948.Vol 100, pp. 39-57.

[2] Mad, AL – Ani. and Mohammad, O. S. (2011). “Histological Observation Related to the Use of Laser and Ultrasound on Bone Fracture Healing”, International Medical Journal Malaysia, Vol 10, No 2, pp. 1-9.

[3] Aldo Jose Fontes, P. (2013). “The Effect of Low-Intensity Therapeutic Ultrasound in Induced Fracture of Rat Tibiae”, Journal Act Ortopedica Brasileira, PMID: 24453637. Vol 21, No 1. pp. 22-18.

[4] Yong, K. and Yuxin Z. (2014). “Ultrasound Treatment for Accelerating Fracture Healing of the Distal Radius”. A Control Study, Acta Cirurgica Brasileira, Vol 29, No 11, pp. 1-7.

[5] Poornima, P. (2022). “Low-Intensity Pulsed Ultrasound Stimulation for Bone Fracture Healing”, Journal Ultrasound Med, PMID: 33949710. Vol 41, No 3, PP. 547-563.

[6] Carlo. L. (2022). “Low-Intensity Pulsed Ultrasound in the Treatment of Nonunions and Fresh Fractures: A Case Series”, Journal Trauma Care, Vol 2, No 2, pp.174-184.

[7] Jacques. P.(2022). “Low-Intensity Ultrasound Therapy in patients with Post-Traumatic Delayed Union and Non-union”, Journal Cureus, PMID: 36620791. Vol 14, No 12, pp. e32267.

[8] Petra.H.(2023). “Low-Intensity Pulsed Ultrasound Treatment for Non-unions of Long Bone Fractures in a Scottish District General Hospital”, Journal Cureus, PMID: 36843729. Vol 15, No 1, pp. e34159.

[9] Handolin, L. and Killjunen, V. (2005). “No Long-Term Effects of Ultrasound Therapy on Bioabsorbable Screw-Fixed Lateral Malleolar Fracture”, Scandinavian Journal of Surgery, Vol. 94, pp. 239-242.

[10] Yoshinobu. W.(2013). “Three Key Factors Affecting Treatment Results of Low-Intensity Pulsed Ultrasound for Delayed Unions and Nonunions: Instability, Gap Size, and Atrophic Nonunion”, Journal Orthopaedic Science, PMID: 23775464, Vol 18, No 5, pp.803-810.

[11] Thomas. Y. (2014). “Low-Intensity Pulsed Ultrasound in Lower Limb Bone Stress Injuries: A Randomized Controlled Trial”, Clinical Journal of Sport Medicine, Vol 24, No 6, pp.457-460.

[12] Jason, W.B. and Mohit, B. (2016). “Re-evaluation of Low Intensity Pulsed Ultrasound in Treatment of Tibial Fractures (TRUST) Randomized Clinical Trial”, British Medical Journal, Vol. 355, i5351.

[13] Ryo, M. and Takaki, S. (2021). “Can Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) Accelerate Bone Healing After Intramedullary Screw Fixation for Proximal Fifth Metatarsal Stress Fractures: A Retrospective Study”, BMC Musculoskeletal Disorders, Vol. 22, No.1, 725.

[14] Clin. J.(2008). “Normal Bone Anatomy and Physiology”, Journal CJASN, PMID: 18988698. Vol 3, No 3, pp. S131-S139.

[15] William. C.(2024). “Bones: All you need to know”, Medical News Today, Health Information Site, USA. Downloaded (24/6/2024) (https://www.medicalnewstoday.com/articles/320444#Bone-cells).

[16] Jonathon R. sheen, and Garla, V. V. (2023). “Fracture Healing Overview”, StatPearls Publishing, PMID: **31869142,** Bookshelf ID: NBK551678.

[17] Lauren. C.(2023). “What Is A Fracture?”, Medical News Today, Health Information Site, USA. Downloaded (24/6/2024) (https://www.medicalnewstoday.com/articles/173312).

[18] Konstantinos, N. G. (2016). “Numerical Modeling of the Ultrasound Effect on Bone Fracture Healing”, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, School of Engineering, University of Patras, Greece.

[19] Tim. W. (2008). “Ultrasound in Contemporary Physiotherapy Practice”, Journal Ultrasonics, PMID:18466945, Vol 48, No 4, pp.321-329.

[20] Chivers, R. C. (1978). “Ultrasound Velocity and Attenuation in Mammalian Tissues”, Journal Acoustical Society America, PMID:670559, Vol 63, No 3, pp. 940-953.

[21] David Baeza. M.(2022). “Possible Effect on Health of Ultrasound Exposure, Risk Factors in the Work Environment and Occupational Safety”, Healthcare Journal, PMID: 35326901, Vol. 10, No. 3, 423.

[22] William, D. (2007). “Ultrasound- biophysics mechanisms”, Progress in Biophysics $ Molecular Biology Journal, PMID: 16934858. Vol 93, No 1-3, pp. 212-255.

[23] Zhongcheng, Xin. and Guiting, L.(2016). “Clinical Application of Low-Intensity Pulsed Ultrasound and Its Potential Role in Urology”, Journal Translational Andrology and Urology, PMID:27141455, Vol 5, No 2, pp. 255-266.

[24] Aladin, C. and Fahrudin, S. (2011). “Application of Ultrasound in Medicine”, Acta Informatica Medica, PMID: 23408755, Vol 19, No 3, pp. 168-171.

[25] Douglas, L. M. (2012). “Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety”, Journal of Ultrasound in Medicine, PMID: 22441920, Vol 31, No 4, pp. 623-634.

[26] Andrew. H.(2016). “Mode & Mechanism of Low Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) in Fracture Repair”, journal Ultrasonics, PMID: 27130989, Vol 70, pp.45-52.

[27] Christina, P. (2015). “Linear Robot as The Approach towards Individual Abdominal Ultrasound Scanning in Developing Countries?”, International Journal of Advances in Telecommunications Electrotechnics Signals and Systems, Vol 4, No 3. pp. 1-10.

[28] Susan, B. and Joanne, L. (2014). “EXOGEN Ultrasound Bone Healing System for Long Bone Fractures with Non-Union or Delayed Healing: A NICE Medical Technology Guidance”, Applied Health Economics and Health Policy, PMID: 25060830, Vol 12, No5, pp. 477-484.

[29] Chao Liang. L. (2019). “Therapeutic Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Trmporomandibular Joint Injury Induced by Chronic Sleep Ddeprivation in Rats”, American Journal of Translational Research, PMID: 31312347, Vol 11, No 6, pp. 3328-3340.

[30] Harmanpreet. K. (2020). “Shortening of Overall Orthodontic Treatment Duration with Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS)”, Journal of Clinical Medicine, PMID: 32370099, 9(5):1303.

[31] Vasilios. C.(2005). “An Ultrasound Wearable System for the Monitoring and Acceleration of Fracture Healing in Long Bones”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering Journal, PMID: 16189973, Vol 52, No 9. pp.1597-1608.

[32] Qian, A. and Hu, L. (editors) (2024). “Bone Cell Biomechanics, Mechanobiology and Bone Diseases”, Elsevier Inc., Netherlands.

[33] Adam, Tibor Schlegl. (2022). “Evaluation and Comparison of T Raditional Plaster and Fiberglass Casts with 3D-Printed PLA and PLA-CaCO3 Composite Splints for Bone –Fracture Management”, Polymers (Basel) Journal, PMID: 36080645, 14(17):3571.

[34] Peggy M, C. (2011). “Gender Differences in Osteoporosis and Fractures”, Clinical Orthopaedics and Related Research Journal, PMID: 21264553, Vol 469, No 7, pp.1900-1905.

[35] GBD 2019 Fracture Collaborators (2021). “Global, Regional, and National Burden of Bone Fractures in 204 Countries and Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis from the Global Burden of Disease Study 2019”, Lancet Healthy Longevity, Vol. 2, pp. 580-592.

[36] T. J. de Villiers, and S. R. Goldstein (2022). “Bone Health 2022: An Update”, Climacteric, 25:1, 1-3, DOI: 10.1080/13697137.2021.1965408.

[37] World Osteoporosis Day (2023). “World Osteoporosis Day survey reveals poor post-fracture care, neglect of bone health”, International Osteoporosis Foundation, Switzerland.

[38] World Osteoporosis Day (2014). “Real Men Build Their Strength from within: Facts and Statistics”, International Osteoporosis Foundation, Switzerland.

[39] Aiyssa D, Althoff. (2023). “Splinting”, StatPearls publishing, PMID: 32491605, Bookshelf ID: NBK557673.

[40] Jonathon R. sheen, and Garla, V. V. (2023). “Fracture Healing Overview”, StatPearls Publishing, PMID: **31869142,** Bookshelf ID: NBK551678.

[41] Iraklis, K. and Konstantinos, M. (2007). “Three-Dimensional Finite Element Modeling of Guided Ultrasound Wave Propagation in Intact and Healing Long Bones”, The journal of the Acoustical Society of America, Vol 121, No 6, pp. 1-16.

[42] Steppe, L; Megafu, M; Tschaffon-Müller, M.E.A.; Ignatius, A. and Haffner-Luntzer, M. (2023). “Fracture healing research: Recent insights”, Journal of Bone Reports, Vol. 19.

[43] Saul, D.; Menger, M. M.; Ehnert, S.; Nüssler, A. K.; Histing, T. and Laschke, M. W. (2023). ‘’Bone Healing Gone Wrong: Pathological Fracture Healing and Non-Unions—Overview of Basic and Clinical Aspects and Systematic Review of Risk Factors”, Journal of Bioengineering, Vol. 10. No. 53.

[44] Natl, J. (2017). “Medicinal Plant and Bone Healing”, National Journal of Maxillofacial Surgery, PMID: 28761270, Vol 8, No 1, pp.4-11.

المراجع العربية:

[45] محمد الحلبي، طالب (٢٠٢٤)،" التئام الكسور العظمية لدى الإنسان "، المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية – دولة الكويت.

46] البدوي، تامر رمضان (٢٠٢٣)،"مشكلات العظام والمفاصل لدى مرضى داء السكري "، المركز العربي لتأليف وترجمة العلوم الصحية – دولة الكويت.

[47] ابراهيم، عمر حسين (٢٠٢١)،"الموجات فوق الصوتية والصوت في الطب والعلوم الحديثة"، منشورات جامعة الموصل كلية العلوم.

[48] عبيد، هاجر علي كتاب (٢٠٢٣)،"الموجات فوق الصوتية "، منشورات جامعة العراق كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة بابل في قسم الفيزياء.

[49] مخيبر، حنان محمود (٢٠١٨)،"القياسات وأجهزة القياس"، منشورات جامعة دمشق/ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية/ قسم الهندسة الطبية.

المراجع الإلكترونية:

[50] http://www.electrotherapy.org/modality/ultrasound-dose-calculation(downloaded 9/5/2022).

[51] https://physiotherapy2fit.com(downloaded 25/6/2023).

[52] https://goo.su/9R0wM (downloaded 15/9/2024).

[53] https://goo.su/x9wlV (downloaded 15/9/2024).

[54] https://goo.su/abJHIeA (downloaded 20/9/2024).