



الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الهندسة الطبية

تأثير الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية في مرضى داء القلب الإقفاري

Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) in Ischemic Heart Disease (IHD) patients

((رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الطبية))

إعداد المهندسة
شذى الطريفي

المشرف المشارك
أ.د.علي خدام

المشرف
أ.د.م.محمد فراس الحناوي

العام الدراسي

2021-2022

الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم الهندسة الطبية

تأثير الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية في مرضى داء القلب الإقفاري

Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) in Ischemic Heart Disease (IHD) patients

((رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الطبية))

إعداد المهندسة
شذى الطريفي

لجنة الحكم:

د. فاتن عجيب

د. هاني عماشة

أ.د.م. محمد فراس الحناوي

الإهداء

لِقوتي وحافزي وسندي في غري وسلوكي في غري ملاذي وانتسابي الأبديين
والدتي ووالدي محبتي وطيرتي الدائمين لكما.

لشهداء هذا البلد الأحياء في ربوعه شهداء المبادئ الصامدين بقلوبهم بأمل إشراق
حق لا يُظْلَم أبداً بقوة ثابتة ودائمة.

شكر

لكل مبدع إنجاز ولكل مقام مقال، ولكل نجاح شكر وتقدير، إلى صاحب التميز والإبداع .. أذكرى التحيات وأجملها وأندأها .. أرسلها لك بكلّ ودّ وإخلاص .. كل التقدير والاحترام للأستاذ الدكتور المهندس:

محمد فراس الحناوي

إلى جميع أساتذة قسم الهندسة الطبية أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير.
كما أخص بالشكر والعرفان الأستاذ الدكتور رئيس قسم القلب بمشفى الأسد الجامعي:

علي خدام

لمشاركته في إنجاز هذا المشروع.

والدكتور في قسم جراحة القلب بمشفى الأسد الجامعي:

أحمد خضور

لتحمسه الفعال الذي كان بريق البدء.

الأستاذ الدكتور في قسم العلوم الأساسية:

حسام كمرجي

المدققة اللغوية لأطروحة الأستاذة الدكتورة في قسم اللغة العربية:

لميس داود

كل الشكر والمحبة لكل من أسهم وساعد في إنجاز هذا المشروع.

م. شذى الطريفي

الملخص:

استخدم جهاز sonopuls490 المصنع من شركة Enraf-Nonius بقسم المعالجة الفيزيائية بمشفى الأسد الجامعي بدمشق، طُبِّق العلاج على ثمانية مرضى، ولكن بسبب ظروف المرضى والخوف من الملل من العلاج لوقت طويل، أغلب الحالات عولجت بشكل مكثف مرتين لثلاث مرات يومياً بفترات متقطعة لانتقل عن الساعتين، واستمرت المعالجة بعدد متكرر من الجلسات لا يقل عن 12 جلسة، ويتوقع أن العلاج المكثف الأفضل للعلاج النموذجي على الأقل اثنتا عشرة ساعة بين الجلسات من الممكن أيضاً، شُخِّص المرضى بالإيكو قبل العلاج لاستخلاص بارامترات التشخيص،.. مباشرة بُدئ بتطبيق العلاج مع متابعة المريض أسبوعياً بإعادة التشخيص بالإيكو ويومياً لمعرفة كيفية تحسن المريض، ففي حال تحسن مشعر من مشعرات التقييم الثلاثة يُسْتَمَر بتطبيق العلاج لنهايته، ومن الممكن عدُّ نهاية العلاج هي انتهاء أي وجود للأعراض السريرية، وإعادة التشخيص بنهاية العلاج بالإيكو ضروري لاستخلاص النتائج، تفسيرها، ومقارنتها مع ما سبق من قيم المريض ومع القيم الطبيعية والدراسة المرجعية لنصل لتقييم كفاءة التقنية. أما في حال عدم تحسن المشعرات على الرغم من تغيير بارامترات الجهاز سواء الكثافة أو النبض.. ومن ثمَّ إثبات فشل التقنية. أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في حالات المرضى الذين خضعوا لهذه التقنية، مما يدل على عودة النشاط للأجزاء التي تنقصها التروية نتيجة للخلل الذي أصابها فتحسنت لديهم الأعراض السريرية مباشرة بعد بدء العلاج بعدة أيام (خناق الصدر - الزلة الجهدية)، واستمر التحسن بشكل ملحوظ لتكاد تكون هذه الأعراض معدومة بنهاية فترة العلاج، ولم يختف تحسن الأعراض لما بعد انتهاء العلاج بمتابعتها لفترة جيدة، الجزء المقذوف من البطين الأيسر (LVEF%) زاد عند معظم المرضى مع مريض واحد بتحسن طفيف جداً 1%، الجزء المؤي لثخانة الجدار (WTF%) تحسن كذلك عند معظم المرضى، كانت هذه النتيجة مشجعة للمثابرة وتطوير العلاج بهذا المجال، فتطبيق الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية طريقة آمنة فعالة غير جراحية، لكنها بطيئة.

كلمات مفتاحية

الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية، القلب الإقفاري، الجزء المقذوف من البطين الأيسر، الجزء المؤي لثخانة الجدار.

ABSTRACT

The used device was Sonopuls490 manufactured by Enraf-Nonius company in department of physiotherapy at Al-Assad university hospital in Damascus. The treatment was performed on 8 patients ; but due to circumstances of patients and fear of boredom of treatment for a long time; most cases were treated intensively 2-3 times daily intermittently with not less than 2 hours between sessions. The treatment was performed for 12 session at least. It is expected to have better outcome in the intensive protocol when leaving 12 hours between sessions. An echocardiogram was done before treatment to extract parameters of diagnosis, also risk factors were specified and expected number of possible sessions according to each case after starting the treatment, a weekly follow up was performed by echo and clinical evaluation to determine improvement of the patient; and in case of improvement in any of three evaluation indicators the treatment would be continued to the end or until clinical symptoms disappear; and final evaluation would be done by echo to diagnosis the final result with interpretation and comparison with previous values of the patient and normal values and with reference study in order to evaluate the technique. But in case of no improvement in spite of modifying parameters of the apparatus regarding intensity or pulse this will prove failure of the technique.

Our result showed significant improvement in patients were treated with this technique and this indicates return of activity to ischemic parts and consequently improvement in clinical symptoms after few days of treatment (angina, exertional dyspnea) and this improvement continued significantly till some symptoms nearly disappeared at the end of treatment and this improvement did not disappear after finishing the treatment. LVEF% was improved in most of the patients except in one patient where it was improved by only 1%. WTF% was also improved in most of the patients.

This result was encouraging to persevering and developing this treatment in this field, so applying (LIPUS) is safe non invasive and effective but slow technique.

Keywords

Ischemic Heart Disease (IHD), Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS), Left Ventricular Ejection Fraction (LVEF%), Wall Thickening Fraction (WTF%).

الفهارس والمصطلحات

Table Of Content

الصفحة	المحتويات
إطار البحث	
2	مقدمة
2	أهمية البحث
2	مشكلة البحث
2	الدراسات المرجعية
7	الهدف من البحث
7	منهجية البحث
8	فصول الأطروحة
9	الخاتمة
الفصل الأول: الدراسات المرجعية	
11	1-1 مقدمة
11	2-1 الدراسات المرجعية
11	1-2-1 Hanawa K.(2014) تحت الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تكوين الأوعية الدموية، وتقلل من اختلال عمل البطين الأيسر في نموذج خنزير يعاني من نقص التروية الدموية المزمنة
15	2-2-1 Bernal A.(2015) الدراسة الثانية تحسن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية الخصائص الوظيفية للأرومة الوعائية المتوسطة القلبية
18	3-2-1 Robert J.(2000) الدراسة الثالثة تزيد الأمواج فوق الصوتية منخفضة التردد غير الجراحية عبر الصدر انحلال الجلطات في نموذج كلب مصاب بالاحتشاء القلبي الحاد
20	4-2-1 Toyama Y.(2012) الدراسة الرابعة التحفيز بالأمواج فوق الصوتية يعيد قدرة الأوعية الدموية الضعيفة على التوسع بواسطة الخلايا المولدة للأوعية الجواله
25	5-2-1 Higashi Y.(2015) الدراسة الخامسة تأثير جهاز الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية في الأعراض السريرية لداء برغر لأطراف تعاني الاحتشاء (نقص التروية)
26	6-2-1 speed C. (2001) الدراسة السادسة الأمواج فوق الصوتية لعلاج آفات الأنسجة
28	3-1 الخاتمة
الفصل الثاني: فيزيولوجيا القلب، تشريحه، وأمراضه	
32	1-2 مقدمة
32	2-2 الأوعية الدموية
33	3-2 الجهاز اللمفي
34	4-2 القلب
36	1-4-2 توعية القلب
37	2-4-2 تعصيب القلب
37	3-4-2 النظم القلبي
37	5-2 العلاقات المتبادلة بين الضغط والجريان والمقاومة

Table Of Content

38	6-2 جريان الدم الصفائحي
38	7-2 جريان الدم المضطرب
39	8-2 مرض القلب الإقفاري
40	1-8-2 أنواع مرض القلب الإقفاري
41	2-8-2 أسباب المرض
41	3-8-2 أعراض وإشارات الإصابة بالمرض
42	4-8-2 دلائل التشخيص
42	5-8-2 العلاجات التقليدية
42	9-2 الخاتمة
الفصل الثالث: الأمواج فوق الصوتية، وتطبيقاتها العلاجية	
44	1-3 مقدمة
44	2-3 طبيعة الأمواج فوق الصوتية
46	1-2-3 طول الموجة، والتردد
46	2-2-3 سرعة الأمواج فوق الصوتية
47	3-3 توليد الأمواج فوق الصوتية
49	4-3 تفاعل الأمواج فوق الصوتية مع السطوح
51	1-4-3 خسارة طاقة الأمواج
53	5-3 الأمواج فوق الصوتية النبضية العلاجية
54	6-3 الزاوية الحرجة لتطبيق الأمواج فوق الصوتية العلاجية
54	7-3 أنواع الأمواج فوق الصوتية، وتطبيقاتها
55	1-7-3 التطبيقات العلاجية للأمواج فوق صوتية المعتمدة على الحرارة
55	1-1-7-3 العلاج الفيزيائي
56	2-1-7-3 ارتفاع درجة الحرارة
56	3-1-7-3 الأمواج فوق الصوتية المركزة عالية الكثافة
57	2-7-3 التطبيقات العلاجية للأمواج فوق صوتية غير المعتمدة على الحرارة
60	1-2-7-3 أمواج الصدم لتفتيت الحصى خارج الجسم
60	2-2-7-3 التفتيت داخل الجسم
61	3-2-7-3 الكيلوهرتز فوق الصوتية
61	3-7-3 التطبيقات العلاجية للأمواج فوق صوتية بآليات متعددة
61	1-3-7-3 القنطرة المعتمدة على الأمواج فوق الصوتية
61	2-3-7-3 السماحية الجلدية
62	3-3-7-3 الأمواج فوق صوتية منخفضة الكثافة النبضية
62	8-3 الخاتمة

Table Of Content

الفصل الرابع: الجزء العملي	
64	1-4 مقدمة
64	2-4 معايير اختيار الجهاز
64	3-4 شرح مبسط عن الجهاز المستخدم
64	1-3-4 إمكانات المعالجة والموانع النسبية المحددة
65	2-3-4 في أثناء وضع الجهاز بالعمل
65	4-4 معايير اشتغال المرضى
65	5-4 معايير استبعاد المرضى
66	6-4 بروتوكول العمل
67	7-4 آلية تطبيق العلاج على المرضى
67	8-4 القصة المرضية
69	9-4 معلومات عامة
69	1-9-4 موانع استخدام الأمواج العلاجية
70	2-9-4 تحذيرات
70	3-9-4 مخاطر
70	4-9-4 يجب أن يلاحظ المشغل
71	10-4 الدليل العام لأمان استخدام الأمواج فوق الصوتية العلاجية
73	11-4 صعوبات الدراسة
74	12-4 الخاتمة
الفصل الخامس: النتائج ومناقشتها	
76	1-5 مقدمة
76	2-5 اختبار العلاج والتقدير الكمي لأداء البطيّن الأيسر
76	3-5 بارامترات وعوامل التشخيص الطبيعية
77	4-5 بيانات المرضى
86	5-5 تقييم كفاءة التقنية، ومناقشة النتائج
94	6-5 الخاتمة
الفصل السادس: الخلاصة والمقترحات	
96	1-6 مقدمة
96	2-6 الآفاق والمقترحات المستقبلية
96	3-6 الخاتمة
المراجع	

List Of Figure

الصفحة	الشكل
12	الشكل (1-1) مستويات محاور القلب المعالجة
12	الشكل (2-1) يبين تحسن نسبة كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر قبل (pre-tx) وبعد (post-tx) المعالجة للمجموعة المعالجة بالأمواج (LIPUS) مقارنة بغير المعالجة بالأمواج (Control)
13	الشكل (3-1) يبين نسبة ثخانة جدار القلب قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) و غير المعالجة بالأمواج (Control) مع النسبة الأساسية لقلب طبيعي قبل تحريض الاحتشاء (Baseline)
14	الشكل (4-1) يبين كمية الدم المتدفقة قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) والمرجعية غير المعالجة بالأمواج (Control) بمنطقتين محتشية (Ischemic) وغير محتشية (Non-Ischemic)
14	الشكل (5-1) يبين حالة كثافة الأوعية قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) والمرجعية غير المعالجة بالأمواج (Control) لمنطقتين محتشية (Ischemic) وغير محتشية (Non-Ischemic)
16	الشكل (6-1) آلية تطبيق الأمواج لغرفة حضانة الخلايا بوسط مشابه تماماً للوسط الحي مع تحكم بدرجة حرارة ملائمة وتصريف لغاز ثاني أكسيد الكربون
17	الشكل (7-1) شكل الأرومة الوعائية المعالجة (Us-Treated) والطبيعية (Control) لنموذجي فأر وإنسان
18	الشكل (8-1) أثر الأمواج في الأرومة الوعائية القلبية الطبيعية (Control) والمعالجة (Us-Treated) لنموذجي فأر وإنسان، A: على تكاثر الخلايا، B: على موت الخلايا المبرمج
19	الشكل (9-1) A: صورة لقلب طبيعي مع مخطط ECG، B: صورة لقلب مصاب بالاحتشاء قبل العلاج مع مخطط ECG، C: صورة لقلب مصاب بالاحتشاء بعد المعالجة بالأمواج وأنسجة بلازمينوجين مع مخطط ECG
21	الشكل (10-1) بروتوكول تطبيق الأمواج مخبرياً: بتردد 1 ميغا هرتز وتردد تكرار 5 هرتز وبطاقات 30 و 100 و 300 ميلي واط/سم ² وأزمنة 15 و 60 و 240 ثانية مدة أربعة أيام بفترات 24 ساعة
22	الشكل (11-1) أثر الأمواج في عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة (+us) بثلاث طاقات وأزمنة مقارنة مع عدم تعرضها للأمواج (-us)
23	الشكل (12-1) أثر الأمواج في نمو الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة (+us) بطاقتين للزمن نفسه مقارنة مع عدم تعرضها للأمواج (-us)
24	الشكل (13-1) أثر الأمواج في عدد الخلايا المريضة (P-CACs) (+us) مقارنة مع عدم تعرض هذه الخلايا المريضة للأمواج (-us) ومع السليمة (H-CACs) غير المعرضة (-us)
24	الشكل (14-1) أثر الأمواج في هجرة الخلايا المريضة (P-CACs) (+us) مقارنة مع عدم تعرض هذه الخلايا المريضة للأمواج (-us) ومع السليمة (H-CACs) غير المعرضة (-us)
35	الشكل (1-2) تشريح القلب
36	الشكل (2-2) توعية القلب
45	الشكل (3-1) توليد الأمواج وانتشارها بنباض وسائل
45	الشكل (2-3) تأثير الأمواج في جزيئات الوسط A: يظهر وسط مع توزع الجزيئات خلاله، B: سيتغير وضع الجزيئات في الوسط في أثناء عبور الموجة الصوتية مسبباً انزياحاً دورياً لتلك الجزيئات، C: حجم أو مطال الانزياحات كذلك D: حركة الجزيئات في الوسط عند زيادة ونقصان الضغط المولد

List Of Figure

48	الشكل (3-3) إشارات مختلفة (المطال مع الزمن) A,C,E,G، والطيف الترددي المتعلق بها (الطاقة مع التردد) B,D,F,H
50	الشكل (4-3) A:انعكاس و B:انكسار الموجة، عند حدود أوساط مختلفة
50	الشكل (5-3) انحراف الموجة عند حدود أوساط مختلفة
54	الشكل (6-3) الزاوية المثالية 90° والمقبولة لتطبيق المبدل
58	الشكل (7-3) آلية تأثير الأمواج في الخلايا
66	الشكل (4-1) المخطط التدفقي لبروتوكول العلاج
67	الشكل (4-2) أماكن تطبيق الأمواج العلاجية
88	الشكل (5-1) نسبة تحسن كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر لكل مريض مع الزمن قبل العلاج وبعده
88	الشكل (5-2) نسبة تحسن الجزء المتوي لثخانة الجدار لكل مريض مع الزمن قبل العلاج وبعده
89	الشكل (5-3) مقارنة النتائج لدراستنا (الشكل الأيمن) مشعر كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر مع الدراسة المرجعية
89	الشكل (5-4) مقارنة النتائج لدراستنا (الشكل الأيمن) مشعر الجزء المتوي لثخانة الجدار مع الدراسة المرجعية

List Of Table

الصفحة	قائمة الجدول
29	الجدول (1-1) ملخص الدراسات المرجعية
47	الجدول (1-3) سرعة أمواج فوق الصوت ببعض الأوساط، كثافة الوسط والطول الموجي عند ترددين
49	الجدول (2-3) قيم الانعكاسات للأمواج عند الحدود لبعض الأوساط
52	الجدول (3-3) معامل الامتصاص لبعض الأوساط عند ترددين
53	الجدول (4-3) عمق اختراق الأمواج لبعض الأوساط عند ترددين
78	الجدول (1-5) بيانات المريض الأول
79	الجدول (2-5) بيانات المريض الثاني
80	الجدول (3-5) بيانات المريض الثالث
81	الجدول (4-5) بيانات المريض الرابع
82	الجدول (5-5) بيانات المريض الخامس
83	الجدول (6-5) بيانات المريض السادس
84	الجدول (7-5) بيانات المريض السابع
85	الجدول (8-5) بيانات المريض الثامن
87	الجدول (9-5) مقارنة بارامترات المرضى بعد المعالجة مع القيم الطبيعية
90	الجدول (10-5) الأعراض السريرية لمرضى القلب قبل العلاج وبعده
90	الجدول (11-5) فعالية تقنية الأمواج العلاجية لمرضى القلب
91	الجدول (12-5) فعالية تقنية الأمواج العلاجية لكل مريض
92	الجدول (13-5) مشعرا التقييم (LVEF,WTF) قبل العلاج وبعده للمرضى، المتوسط والانحراف لكل مشعر ومعامل الارتباط للمشعرين قبل العلاج وبعده

Glossary

الاختصار	المصطلح	
ABI	ANKLE BRACHIAL PRESSURE INDEX	مؤشر الضغط الكاحلي العضدي
AKT	PROTEIN KINASE B	بروتين كيناز B
BFGF	BASIC FIBROBLAST GROWTH FACTOR	عامل النمو للأرومات الليقية الأساسية
BM-MNCS	BONE MARROW-DERIVED MONONUCLEAR CELLS	خلايا أحادية النوى المشتقة من نخاع العظم
CACS	CIRCULATING ANGIOGENIC CELLS	الخلايا المولدة للأوعية الجوالية
CMAS	CARDIAC MESOANGIOBLASTS	الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية
CX	CIRCUMFLEX ARTERY	الشريان المنعكس
ENOS	ENDOTHELIAL NOS	أوكسيد النتريك الباطني
H-CACS	HEALTH CIRCULATING ANGIOGENIC CELLS	الخلايا المولدة للأوعية الجوالية السليمة
HMGB1	HIGH MOBILITY GROUP PROTEIN B1	بروتين B1 للمجموعة ذات الحركة العالية
IL-8	INTERLEUKIN 8	انترلوكين 8
IVSd	INTERVENTRICULAR SEPTUM THICKNESS AT END-DIASTOLE	قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض
IVSs	INTERVENTRICULAR SEPTUM THICKNESS AT END-SYSTOLE	قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض
LAD	LEFT ANTERIOR DESCENDING ARTERY	الشريان الإكليلي الأيسر الأمامي النازل
LVDd	LEFT VENTRICULAR DIMENSION DURING DIASTOLE	قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض
LVDs	LEFT VENTRICULAR DIMENSION DURING SYSTOLE	قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض
LVEF%	LEFT VENTRICULAR EJECTION FRACTION	الجزء المقذوف من البطين الأيسر
NO	NITRIC OXIDE	أوكسيد النتريك
PAD	PERIPHERAL ARTERIAL DISEASE	مرض الشرايين المحيطية
PB-MNCS	PERIPHERAL BLOOD-DERIVED MONONUCLEAR CELLS	خلايا أحادية النوى المشتقة من الدم المحيط
P-CACS	PATIENT CIRCULATING ANGIOGENIC CELLS	الخلايا المولدة للأوعية الجوالية المريضة
PCI	PERCUTANEOUS CORONARY INTERVENTION	التدخل الإكليلي عبر الجلد
PWd	POSTERIOR WALL DIASTOLIC	قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض
PWs	POSTERIOR WALL SYSTOLIC	قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض
RC	RIGHT CORONARY	الشريان الإكليلي الأيمن
SDF-1	STROMAL CELL DERIVED FACTOR-1	العامل الأول المشتق من الخلايا النسيجية
TBI	TOE BRACHIAL PRESSURE INDEX	مؤشر ضغط إصبع القدم العضدي
TNF-A	TUMOR NECROSIS FACTOR-A	عامل النخر الورمي A
T-PA	TISSUE PLASMINOGEN ACTIVATOR	مفعل بلازمينوجيني نسيجي
VEGF	VASCULAR ENDOTHELIAL GROWTH FACTOR	عامل النمو للبطانة الوعائية
WTF%	WALL THICKENING FRACTION	الجزء المتوفي لتخانة الجدار

إطار البحث

مقدمة:

يؤثر مرض القلب الإقفاري في إمدادات القلب بالدم، حيث تكون أوعية الدم متضيقة أو مسدودة نتيجة تراكم الكوليسترول على جدرانها، هذا ما يؤدي لتقليل الأوكسجين والمواد المغذية التي تصل عضلة القلب، والتي تعدّ أساساً لوظيفة القلب، حيث إنّ انقطاع هذه المواد بشكل فجائي يؤدي لتموت جزء من أنسجة القلب، ومن ثمّ احتشاء العضلة القلبية.

أهمية البحث:

على الرغم من التطور الملحوظ للدواء والتقنيات الأخرى للتحكم ومعالجة مرض القلب الإقفاري وما يترافق معه من مشاكل قلبية إلا أن أعداد المرضى مازال في تزايد، حيث يعد أحد أهم أسباب الوفاة في معظم الدول، كما أن الدواء له آثار جانبية دراسة عام 2014 Hanawa K. [1].

مشكلة البحث:

فبما أن العلاج التقليدي بالأدوية، وفي حال فشل علاج الأدوية يعتمد للتدخل الجراحي، فما الحل بالحالات التي استنفدت فرص التوسيع والقلب المفتوح والشبكات.. إلخ، كذلك الحالات التي ليس من الممكن التدخل الجراحي، والحالات غير القادرة مادياً لكل تلك التكاليف الجراحية، أي عدم وجود علاج فعال مريح حتى الآن بعيداً عن الدواء والجراحة.

الدراسات المرجعية:

بينت الدراسة عام 2014 Hanawa K. [1] أنه من الممكن استخدام ترددات أمواج مافوق الصوت منخفضة الكثافة ما بين 0.75-2 ميغا هرتز (0.75-2 M Hz) ذات تردد تكرار 7.10 كيلو هرتز (7.10 K Hz) بكثافة ما بين 150-200 ميلي واط/سم² (150-200 m W/cm²).

طبّق العلاج بالأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية على نموذج خنزير يعاني خلل بعمل البطين الأيسر من القلب، أي ضعف بكمية الدم الذي يضخه البطين الأيسر ببارمترات ذي تردد 1.8 ميغا هرتز

وتردد تكرار 7.10 كيلو هرتز ل 20 دقيقة بطاقة 193 ميلي واط /سم² وبثلاثة مستويات محاور قصيرة مختلفة. وكانت أهم النتائج لمجموعتين مريضة ومرجعية 9 نماذج لكل منهما:

بالنسبة لخلل عمل البطين الأيسر من القلب بعد ثمانية أسابيع من المعالجة، تحسن عمل العضلة القلبية اليسرى للحدود الطبيعية بالمجموعة المريضة بالموجات منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) مقارنة بالمجموعة المرجعية التي لم تؤثر المعالجة التقليدية فيها، من خلال مشعر كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر.

كما أنه للتأكد من تحسن عمل جدار المنطقة القلبية المتضررة حسب مشعر ثخانة جدار البطين، حيث إنه بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالموجات منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) كان هناك تحسن بالمجموعة المريضة مقارنة بالمرجعية غير المعالجة بالموجات.

كذلك بالنسبة لتدفق الدم بالمنطقة المحتشية المعالجة بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالموجات تحسن التدفق للمجموعة المريضة مقارنة بالمرجعية.

أما كثافة الأوعية الشعرية تطور أداؤها، وزادت كثافتها بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالموجات للمجموعة المريضة.

تعد أجهزة الأمواج فوق الصوتية ذات استخدام واسع، كأجهزة تشخيص منذ عقود، بالإضافة فهي تستخدم عيادياً لبعض التطبيقات العلاجية كإعادة إنتاج العظم، اجتثاث الورم، الجلطات..

يمتاز نظام العلاج المستخدم بالموجات فوق الصوتية منخفضة الكثافة باستخدام البروب نفسه بعد إجراء تعديلات على جهاز التشخيص بالموجات فوق الصوتية أو اقتناء جهاز مخصص لتوليد الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة.

ففي هذا البحث لأولية سلامة المريض، استخدم جهاز تشخيص بالموجات فوق الصوتية بعد تعديل البرنامج، ولم تُستخدم الأمواج عالية الكثافة، لأنها تسبب ارتفاعاً بدرجة الحرارة للمنطقة المعالجة، ومن ثم حروق، ومن خلال الدراسة مازال غير واضح أن المعالجة بالموجات فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ثلاث مرات بالأسبوع كافية ونموذجية للعلاج أم لا.

الدراسة الثانية عام 2015 Bernal A. [3]: أثبتت أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تحسن الخصائص الوظيفية للأرومة الوعائية المتوسطة القلبية مخبرياً: فهي تزيد تمايز خلايا الأنسجة والعظام، إعادة تنظيم هيكلها الخلوي، كذلك زيادة القدرة على علاج الخلايا الوعائية لإصلاح عمل القلب، وجد أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ذو تردد 1 ميغا هرتز بفترة نبض فعالة 2 ميلي ثانية وتردد تكرار 100 هرتز ل 20 دقيقة يومياً مدة 3 أيام بطاقة 83 ميلي واط/سم² تحفز خلايا الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية المعزولة من قلب (إنسان، فئران) بتعديلها خلوياً، زيادة حركتها وسهولة تشكيلها، كذلك زيادة عدد الخلايا ثنائية النوى، وتحريض التمايز القلبي من خلال تنشيط الإشارات الحيوية وزيادة السلاسل الخفيفة للميوزين (myosin light chain-2) مع تنظيم أعلى للأنتغرين بيتا 1 ($\beta 1$ integrin)، كل هذا يدل على أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية أداة فعالة ومفيدة في مجال علاج النسيج القلبي، فهي طريقة غير جراحية تنقل التحفيز الميكانيكي عبر الجلد للأنسجة البيولوجية بتردد عال، ومطال صغير، وأمواج نبضية.

كانت النتائج:

الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تعدل الخصائص البنيوية للأرومة الوعائية القلبية: عرضت الخلايا الوعائية القلبية التي اشتقت من الإنسان والفئران للأمواج ل 20 دقيقة يومياً، لثلاثة أيام، أظهر التحليل المجهرى للخلايا الجذعية المرجعية أنها طبيعية الشكل، وتنمو كطبقة وحيدة متجانسة، أما الخلايا المعالجة كانت مضلعة الشكل ونامية كتجمعات، كما فُحصَ تغير الخصائص لخلايا الأرومة الوعائية القلبية (CMA) المعالجة بالأمواج كانت أقل لزوجة من المرجعية، الأرومة الوعائية القلبية المعالجة بالأمواج أقل لزوجة من الخلايا المرجعية المكافئة تقريباً، وكما خُفِّضَ تأثير الأمواج فوق الصوتية المستخدمة ارتباط الخلايا المعالجة بالخلايا الأخرى.

كما وُجِدَ أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ليس لها أي تأثير في تكاثر الأرومة الوعائية القلبية، ولكن هناك انخفاض ملحوظ بموت الخلايا المبرمج، وزيادة نسبة الخلايا الحية ومن ثم انخفاض عدد الخلايا الميتة المبكر والمتأخر.

الدراسة الثالثة عام 2000 Robert J. [4]: أظهرت كيف أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة التردد غير الجراحية عبر الصدر تزيد انحلال الجلطات في نموذج كلب مصاب بالاحتشاء القلبي الحاد، إنه من المرغوب إذابة جلطات الشرايين الإكليلية دون نزيف، قيمت الدراسة زيادة حل الخثرات من خلال مفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) بشكل منفرد ومع تردد 27 كيلو هرتز من الأمواج فوق الصوتية.

قيس خرج طاقة الأمواج داخل الجسم الحي فوجد أن متوسط الكثافة 0.45 واط/سم² على السطح الأمامي للقلب، طُبِقَ على الجسم الحي على جدار الصدر الأمامي [4].

النتائج:

أظهرت نتائج التصوير أنه بعد 90 دقيقة من المعالجة بمفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) 3 حالات لديهم تدفق جيد و 9 حالات بقي الانسداد موجوداً، بينما حالات المعالجة بمفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) وجد لديهم إعادة النضح، حيث 9 حالات أصبح لديهم تدفق جيد، 2 من الحالات تدفق متوسط، وحالة بقي لديها الانسداد، الشكل يظهر نجاح المعالجة بمفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) لانحلال الخثرات، 2 من الحالات التي عولجت بمفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA)، فقط أعيد الانسداد بنسبة % 40، بينما لم يوجد أية حالة من الحالات التي عولجت بمفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) أعيد إليها الانسداد.

الدراسة الرابعة عام 2012 Toyama Y. [5]: أضافت جديداً للأمواج فوق الصوتية تحفز الخلايا المولدة للأوعية الجواله مما يعيد قدرة الأوعية الدموية الضعيفة على التوسع، حيث إنّ توسيع الأوعية هو خيار علاجي لإنقاذ الأنسجة المحتشية، فالعلاج بالخلايا المولدة للأوعية الجواله (CACs) التي تعدّ موجودة بالخلايا أحادية النوى المشتقة من نخاع العظمي (BM-MNCs) أو الخلايا أحادية النوى المشتقة من الدم المحيط (PB-MNCs) يؤدي دوراً بتوسيع الأوعية، كان بروتوكول تطبيق الأمواج مخبرياً: بتردد 1 ميغا هرتز وتردد تكرار 5 هرتز وبطاقات 30 و 100 و 300 ميلي واط/سم² وأزمنة 15 و 60 و 240 ثانية مدة أربعة أيام بفترات 24 ساعة. والنتائج:

• عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية:

التعرض للأمواج ذات كثافة 30 ميلي واط/سم² ل 15، 60، 240 ثانية لم يغيّر عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله، لكن التعرض للأمواج ذات كثافة 100 ميلي واط/سم² ل 240، 60 ثانية زاد بشكل ملحوظ الخلايا

المولدة للأوعية الجواله السليمة، بالمقابل التعرض للأمواج ذات كثافة 300 ميلي واط/سم² ل 15،60،240 ثانية حطّم عدداً من الخلايا وأنقص الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة.

• هجرة الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: التعرض للأمواج ذات كثافة 100 ميلي واط/سم² ل 60،240 ثانية يزيد قدرة تولد الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة، وكذلك الهجرة ل 240 ثا من التعرض للأمواج.

الدراسة على خلايا مرضى التصلب مخبرياً:

• عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله المريضة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: بشكل طبيعي عدد الخلايا المريضة (P-CACs) أقل من الخلايا السليمة (H-CACs)، بالإضافة لضعف توليد الخلايا المريضة (P-CACs)، حيث التعرض للأمواج يعيد قدرة إعادة توليد الخلايا المريضة (P-CACs) بما يوازي الحالة الطبيعية.

• هجرة الخلايا المولدة للأوعية الجواله المريضة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: العدد أقل من الخلايا السليمة (H-CACs)، حيث التعرض للأمواج فوق الصوتية يعيد قدرة هجرة الخلايا المريضة (P-CACs)، ومن ثم الأمواج تعيد قدرة الأوعية الدموية الضعيفة على التوسع المتعلقة بالخلايا المولدة للأوعية الجواله.

داخل الجسم الحي قدرة توسع الأوعية المصابة بالتصلب والسليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: حقن الخلايا السليمة (H-CACs) داخل العضل لطرف فأر محتشٍ أدى لنضح الدم بشكل أكبر للطرف المعالج بعد 14 يوماً أكثر من حقن الدم المحيط (PBs) كذلك كثافة الشعيرات زادت، حقن الخلايا المريضة (P-CACs) لم يغير نضح الدم وكثافة الشعيرات بعد 14 يوماً للطرف المعالج، وكان أقل بالمقارنة مع الخلايا السليمة (H-CACs)، حيث إنّ قدرة الخلايا المريضة (P-CACs) ضعيفة لتوسيع الأوعية بالمقارنة مع السليمة (H-CACs)، لكن الحقن المعالج للخلايا المريضة (P-CACs) أدى لنضح وزيادة تدفق الدم وكثافة الأوعية [5].

الدراسة الخامسة عام 2015 Higashi Y. [6]: الهدف هو معرفة ما إذا كان هذا الجهاز SX-1001 يخفف الألم ويدعم تدفق الدم للأقدام المصابة بداء برغر والتي تعاني نقص التروية، إشعاع الأمواج فوق الصوتية سيطبق على الجلد لـ 44 مريض للمنطقة المحتشية لـ 20 دقيقة باليوم على مدى 24 أسبوعاً. البارامترات المطبقة 2 ميغا هرتز بفترة قدح 200 مايكرو ثانية وتردد تكرار 1 كيلو هرتز بكثافة 30 ميلي واط/سم² وموجة نبض بدورة عمل فعالة 20 %، وسيكون المبدل على اتصال مع الجلد فوق عضلة الساق للقدم المعالجة.

نقطة النهاية الأولية للتجربة هي كثافة الألم المتبقي من ما يسمى خط القاعدة لـ 24 أسبوعاً.

أثبتت نجاحاً بتأثير جهاز الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية في الأعراض السريرية، بخفض الألم لداء برغر لأطراف تعاني الاحتشاء (نقص التروية) وزيادة تدفق الدم.

هدف البحث:

هدف البحث لدراسة تقنية معالجة جديدة تستخدم الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة (غير الجراحية) كوسيلة آمنة لعلاج مرضى القلب الإقفاري من حيث تحسن الأعراض السريرية، تحسن عمل العضلة القلبية وزيادة ترويتها الدموية، اختُبرَ في هذا البحث مدى فعالية هذه التقنية المزعومة من خلال تطبيق المعالجة على عدد من المرضى، بالإضافة لعدد من مرضى الذبحة المععدة، ثم استخلاص النتائج (كفاءة التقنية – تشخيص حالة المرضى بعد المعالجة بالجهاز).

منهجية البحث:

اكتسب البحث أهميته من أن مرض القلب الإقفاري مازال في تزايد في معظم الدول، ولا يوجد علاج فعال غير جراحي حتى الآن في حال فشل العلاجات الدوائية والجراحية. وللحفاظ على حياة المرضى بجودة مقبولة وألم أقل تُوسّع بالدراسات المرجعية، والبحث عن جهاز معالجة مناسب، الدراسة الأم لبحتنا استخدمت جهاز الأمواج فوق الصوتية ببارامترات ذي تردد 1.8 ميغا هرتز وتردد تكرار 7.10 كيلو هرتز لـ 20 دقيقة بطاقة 193 ميلي واط /سم² لأربعة، وثمانية أسابيع وبثلاثة مستويات محاور قصيرة مختلفة قيمت العلاج

بالجزء المقذوف من البطين الأيسر (LVEF%)، والجزء المئوي لثخانة الجدار (WTF%) كمشعرين من المشعرات [1]، والدراسة التي أجريت على مرضى داء برغر قيمت الأعراض السريرية كمشعر لتأثير جهاز الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية لأطراف تعاني الاحتشاء ل 20 دقيقة باليوم على مدى 24 أسبوعاً [6]، فمن كلتا الدراستين شكلت فكرة عن فترة العلاج، مشعرات التقييم للعلاج، طرق التشخيص، معايير اشتغال المرضى، واعتمد بروتوكول علاجي للمرضى باستخدام جهاز مناسب مع بارامترات الدراسة المرجعية [1]، نموذجياً اعتمد العلاج مدة شهر، ويمكن تمديده لشهرين ثلاث مرات أسبوعياً بشكل متقطع ولمرة واحدة في اليوم.

استخلصت بارامترات العلاج للجهاز ودرست مناطق تطبيق العلاج على المرضى بمنطقتين مفضلتين بالتناوب على الصدر.

فصول الأطروحة:

الفصل الأول: الدراسات المرجعية لأهم الأبحاث المتعلقة ببحثنا، استعراض بارامترات استخدام الأمواج ونتائج هذه الدراسات.

الفصل الثاني: فيزيولوجيا وتشريح القلب والأوعية الدموية، علاقات الضغط والجريان والمقاومة وأنواع الجريانات، لمحة عن أمراض القلب والأوعية الدموية: شرح عن مرض القلب الإقفاري وأنواعه، أسباب المرض، أهم الأعراض الدالة عليه، دلائل تشخيصه، والعلاجات اللازمة.

الفصل الثالث: شرح عن الأسس النظرية للأمواج فوق صوتية، طبيعتها (طول الموجة والتردد)، سرعتها، كيفية توليدها، تفاعلها مع الأوساط، أنواع الأمواج وتطبيقاتها، ومن ثم تفسير نتائج تطبيق الأمواج التي من الممكن الحصول عليها.

الفصل الرابع: الجزء العملي يتضمن كيفية اختيار جهاز المعالجة، اشتغال المرضى، بروتوكول العلاج (إيجاد بارامترات العلاج، آلية تطبيق التقنية..) ومعلومات عامة عن كيفية استخدام الأمواج العلاجية.

الفصل الخامس: استخلاص النتائج، ومناقشتها.

الفصل السادس: الآفاق، والمقترحات المستقبلية.

الخاتمة:

طرح لمحة عن موضوع علاج مرض القلب الإقفاري، والدراسات المرجعية تؤكد فعالية العلاج لهدف البحث.

الفصل الأول

الدراسات المرجعية

1-1 مقدمة:

وجدنا أنه على الرغم من التطور الملحوظ للدواء والتقنيات الأخرى للتحكم ومعالجة مرض القلب الإقفاري وما يترافق معه من مشاكل قلبية، إلا أن أعداد المرضى مازال في تزايد، حيث يعد أحد أهم أسباب الوفاة في معظم الدول، كما أن الدواء له آثار جانبية.

وكما أن أهم الأسباب التي تؤدي لهذا المرض: التدخين، داء السكري، ارتفاع مستويات الكوليسترول فوق الحدود الطبيعية، ارتفاع ضغط الدم، الوراثة..

يكون العلاج التقليدي بالأدوية، وفي حال فشل علاج الأدوية يُعمدُ للتدخل الجراحي [8]، الكثير من الحالات استنفدت فرص التوسيع والقلب المفتوح والشبكات.. إلخ، كذلك الكثير من الحالات ليس من الممكن التدخل الجراحي، وبعضهم غير قادر مادياً لكل تلك التكاليف الجراحية.

هذا ما يؤكد ضرورة التحري من أجل البحث عن تقنية معالجة جديدة، فهل سنجد من خلال الأبحاث السابقة أن نتائج المعالجة بالأمواج فوق الصوتية ممكن أن تقيد في الوصول للهدف المرجو؟

2-1 الدراسات المرجعية:

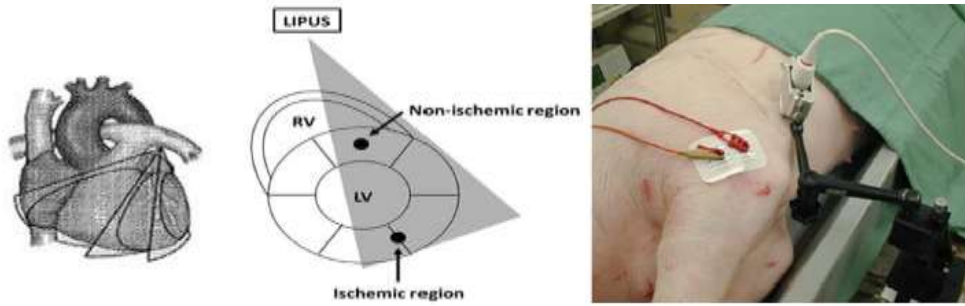
1-2-1 الدراسة الأولى K. Hanawa 2014 [1]: تحت الأمواج فوق الصوتية

منخفضة الكثافة النبضية تكوين الأوعية الدموية، وتقلل من اختلال عمل البطين

الأيسر في نموذج خنزير يعاني من نقص التروية الدموية المزمنة:

طُبِّقَ العلاج بالأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية على نموذج خنزير يعاني خلل بعمل البطين الأيسر من القلب، أي ضعف بكمية الدم الذي يضخه البطين الأيسر ببارمترات ذي تردد 1.8 ميغا هرتز وتردد تكرار 7.10 كيلو هرتز ل 20 دقيقة بطاقة 193 ميلي واط /سم² وبثلاثة مستويات محاور قصيرة مختلفة كما في الشكل (1-1). أدى ذلك لتحسن الحالة بعد 4 أسابيع من المعالجة، كذلك زادت كثافة الأوعية بمنطقة المعالجة، تحسن تدفق الدم، تحسن عامل النمو للبطانة الوعائية (VEGF)، وعامل نمو

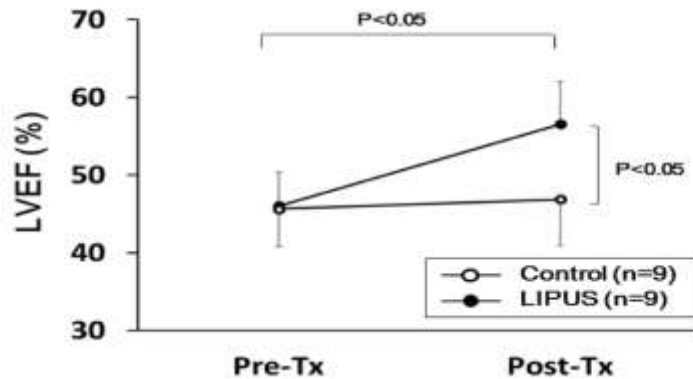
الأرومات الليفية الأساسية (bFGF) وزيادة البروتينات، حيث استخدمت أجسام مضادة خاصة للاستدلال على وجود وكمية البروتينات [1].



الشكل (1-1) مستويات محاور القلب المعالجة [1].

وكانت النتائج:

بالنسبة لخلل عمل البطين الأيسر من القلب بعد ثمانية أسابيع من المعالجة، تحسن عمل العضلة القلبية اليسرى للحدود الطبيعية بالمجموعة المريضة المعالجة بالأمواج منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) مقارنة بالمجموعة المرجعية التي لم تؤثر المعالجة التقليدية فيها، من خلال مشعر كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر كما في الشكل (2-1).



الشكل (2-1) يبين تحسن نسبة كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر قبل (pre-tx) وبعد (post-tx) المعالجة للمجموعة المعالجة بالأمواج (LIPUS) مقارنة بغير المعالجة بالأمواج (Control) [1].

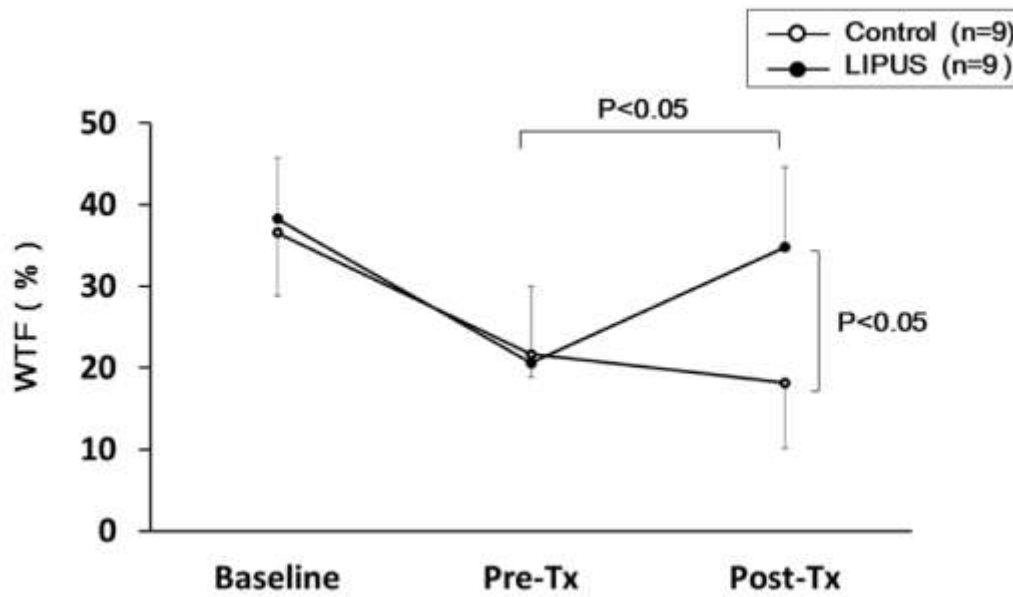
كما أنه للتأكد من تحسن عمل جدار المنطقة القلبية المتضررة حسب مشعر ثخانة جدار البطين من المعادلة (1-1):

$$(1-1) \text{ WTF} = 100 * (\text{end-systolic wall thickness} - \text{end-diastolic wall thickness}) / \text{end-diastolic wall thickness}$$

(1-1) الجزء المئوي لثخانة جدار البطين = $100 * (\text{ثخانة الجدار بنهاية الانقباض} - \text{ثخانة الجدار بنهاية الانبساط}) /$

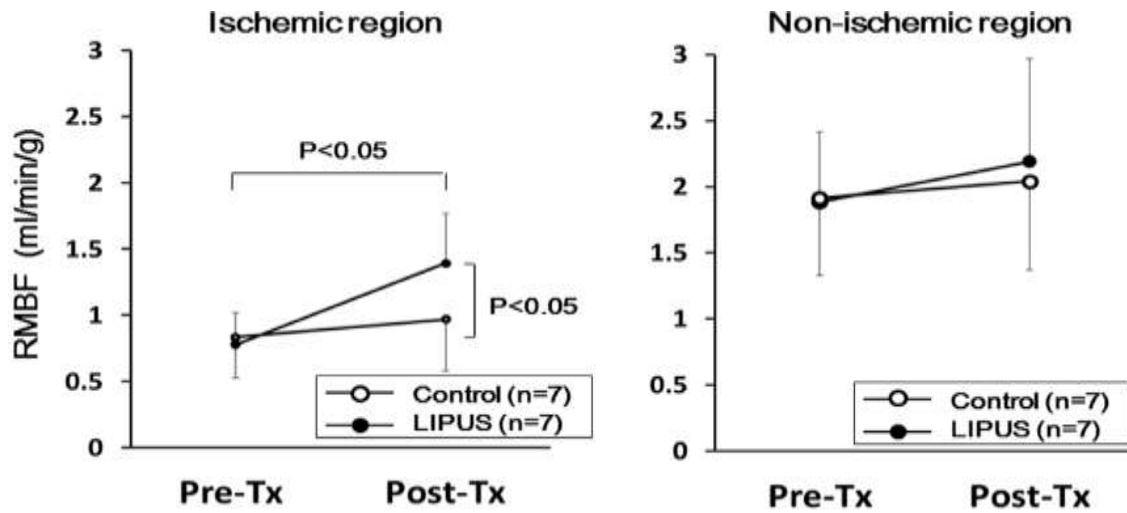
ثخانة الجدار بنهاية الانبساط

حيث إنه بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالأمواج منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) كان هناك تحسن بالمجموعة المريضة مقارنة بالمرجعية غير المعالجة بالأمواج كما في الشكل (3-1).



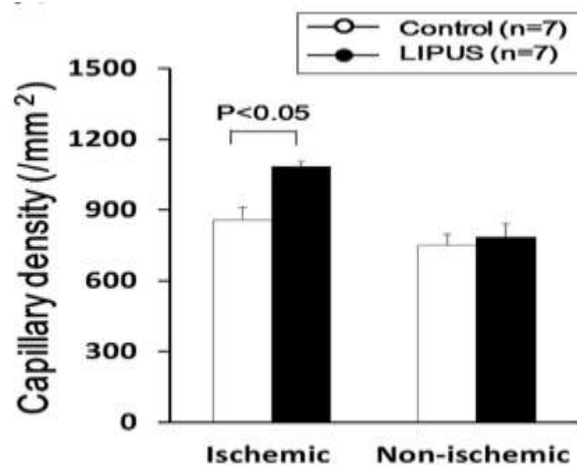
الشكل (3-1) يبين نسبة ثخانة جدار القلب قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) وغير المعالجة بالأمواج (Control) مع النسبة الأساسية لقلب طبيعي قبل تحريض الاحتشاء (Baseline) [1].

كذلك بالنسبة لتدفق الدم بالمنطقة المحتشية المعالجة بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالأمواج تحسن التدفق للمجموعة المريضة مقارنة بالمرجعية كما في الشكل (4-1).



الشكل (4-1) يبين كمية الدم المتدفقة قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) والمرجعية غير المعالجة بالأمواج (Control) بمنطقتين محتشية (Ischemic) وغير محتشية (Non-Ischemic) [1].

أما كثافة الأوعية الشعرية تطور أداؤها، وزادت كثافتها بعد ثمانية أسابيع من المعالجة بالأمواج للمجموعة المريضة كما في الشكل (5-1).



الشكل (5-1) يبين حالة كثافة الأوعية قبل وبعد المعالجة للمجموعتين المعالجة بالأمواج (LIPUS) والمرجعية غير المعالجة بالأمواج (Control) لمنطقتين محتشية (Ischemic) وغير محتشية (Non-Ischemic) [1].

1-2-2 الدراسة الثانية A. Bernal 2015 [3]: تحسن الأمواج فوق الصوتية

منخفضة الكثافة النبضية الخصائص الوظيفية للأرومة الوعائية المتوسطة القلبية:

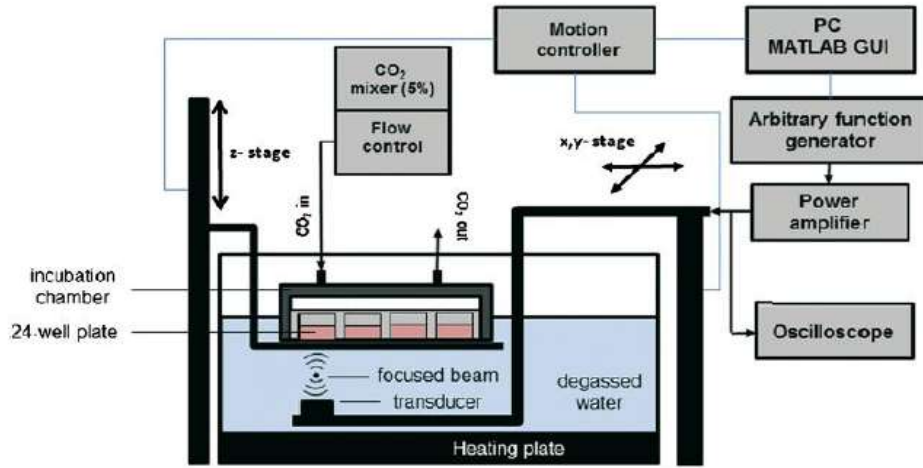
تزيد الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تمايز خلايا الأنسجة والعظام، إعادة تنظيم هيكلها الخلوي، كذلك زيادة القدرة على علاج الخلايا الوعائية لإصلاح عمل القلب، افترض أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ذو تردد 1 ميغا هرتز بفترة نبض فعالة 2 ميلي ثانية وتردد تكرار 100 هرتز ل 20 دقيقة يومياً مدة 3 أيام بطاقة 83 ميلي واط/سم² تحفز خلايا الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية المعزولة من قلب (إنسان، فئران) بتعديلها خلوياً، زيادة حركتها وسهولة تشكيلها، كذلك زيادة عدد الخلايا ثنائية النوى، وتحريض التمايز القلبي من خلال تنشيط الإشارات الحيوية وزيادة السلاسل الخفيفة للميوزين (myosin light chain-2) مع تنظيم أعلى للأنتغرين بيتا 1 (β1 integrin)، كل هذا يدل على أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية أداة فعالة ومفيدة في مجال علاج النسيج القلبي، فهي طريقة غير جراحية تنقل التحفيز الميكانيكي عبر الجلد للأنسجة البيولوجية بتردد عال، ومطال صغير، وأمواج نبضية.

يعد الاحتشاء القلبي الحاد سبباً للموت في معظم دول العالم، فهو نتيجة الموت المبرمج للخلايا القلبية الذي بدوره يؤدي لخسارتها نهائياً مع ترك ندوب مكانها، المرضى الذين يتعايشون مع هذه الحالة هم ممن يعانون انخفاضاً بعدد الخلايا العضلية القلبية، ومن ثم ضعف المضخة القلبية ككل.

الخلايا الوعائية القلبية أو ماتسمى بالأرومة (CMA) هي مجموع الخلايا الجذعية الوسيطة التي تشتق من القلب وتتميز بفعالية لعضلة قلبية ناضجة، أظهرت النتائج أن الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية تستعيد بشكل واضح جزئياً بنية ووظيفة القلب التي أخذت من رباط شريان تاجي لنموذج الفئران، واحد من الأسباب الأساسية لعدم اكتمال فعالية الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية هو عدم التوجيه الصحيح للخلايا إلى القلب (هجرتها للمكان الخاطئ من القلب)، حيث الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية تحتاج التعرف لخلايا انتقائية سلفية باطنية، العامل الأول المشتق من الخلايا النسيجية (SDF-1) تحتجز السلائف على بطانة الأوعية، الانترلوكين (IL-8) تدعم حركة الخلايا الجذعية من نخاع العظم، بروتين B1 للمجموعة عالية الحركة والعامل A لنخر الأورام (HMGB-1 و TNF-A) تعرض هجرة الخلايا، زيادة فعالية معالجة الأرومة الوعائية القلبية تعتمد على معالجة سابقة للاحتشاء القلبي، حيث إنّ تعرض الخلايا للعامل الأول المشتق

من الخلايا النسيجية (SDF-1) يعزز هجرة الأرومة الوعائية القلبية للجدار المحتشي من القلب، وتساعد بشفاء حركة جدار البطين الأيسر بعد الاحتشاء [3].

يبين الشكل (6-1) آلية التطبيق

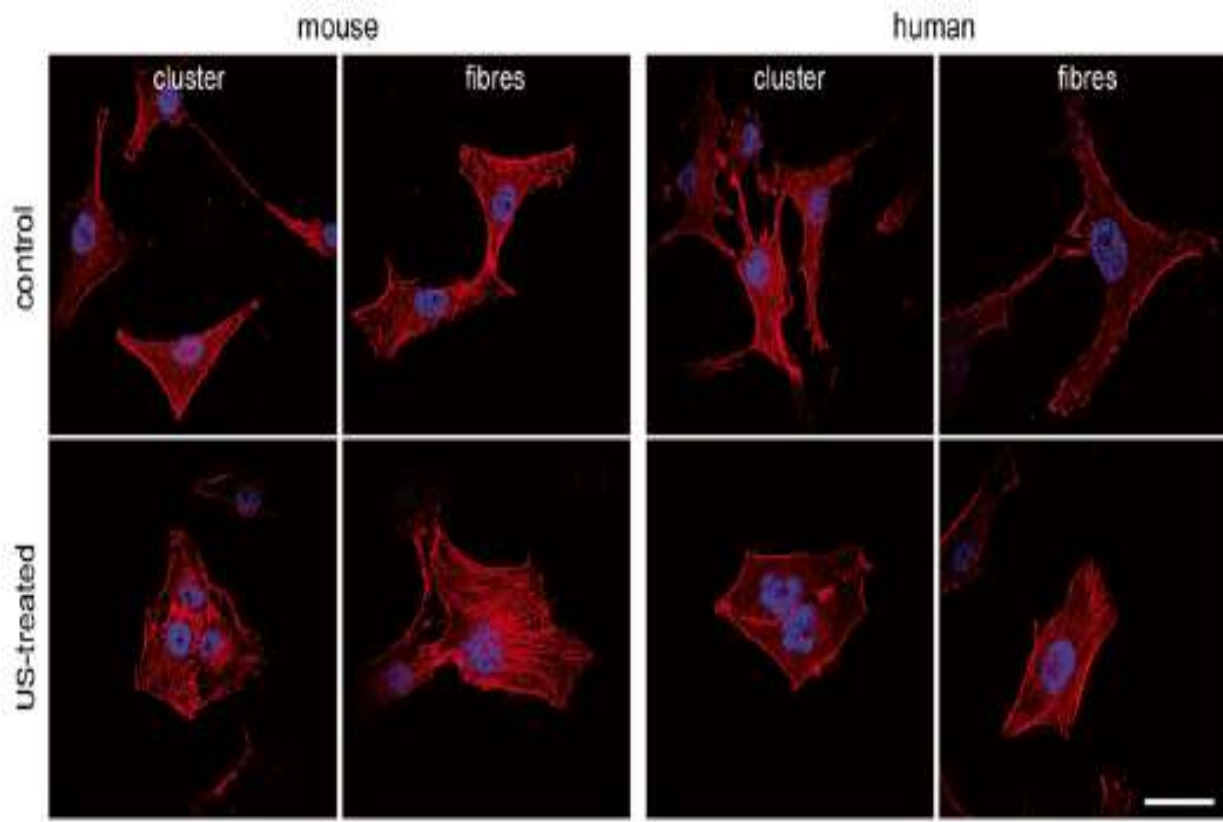


الشكل (6-1) آلية تطبيق الأمواج لغرفة حضانة الخلايا بوسط مشابه تماماً للوسط الحي مع تحكم بدرجة حرارة ملائمة وتصريف غاز ثاني أكسيد الكربون [3].

حيث كانت النتائج:

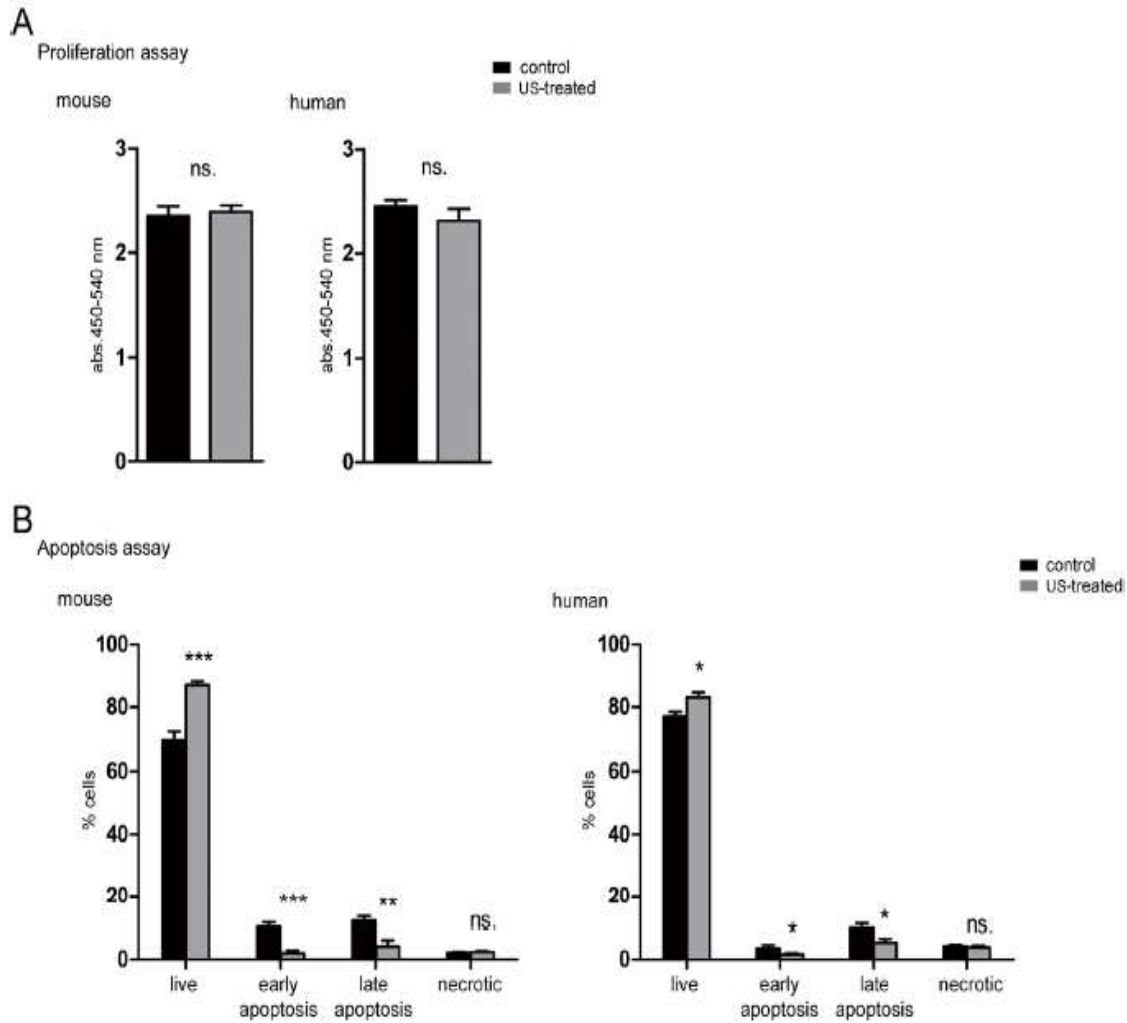
الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تعدل الخصائص البنيوية للأرومة الوعائية القلبية: عرضت الخلايا الوعائية القلبية التي اشتقت من الإنسان والفئران للأمواج ل 20 دقيقة يومياً، لثلاثة أيام، أظهر التحليل المجهرى للخلايا الجذعية المرجعية أنها طبيعية الشكل، وتنمو كطبقة وحيدة متجانسة، أما الخلايا المعالجة كانت مضلعة الشكل ونامية كتجمعات [3].

حيث إن فحص تنظيم هيكل الخلية أكد أن الخلايا المعالجة تنمو بتجمعات كما في الشكل (7-1).



الشكل (7-1) شكل الأرومة الوعائية المعالجة (Us-Treated) والطبيعية (Control) لنموذجي فأر وإنسان [3].

فُحصَ تغيير الخصائص لخلايا الأرومة الوعائية القلبية (CMA) المعالجة بالأمواج كانت أقل لزوجة من المرجعية، الأرومة الوعائية القلبية المعالجة بالأمواج أقل لزوجة من الخلايا المرجعية المكافئة تقريباً، وكما خفّض تأثير الأمواج فوق الصوتية المستخدمة ارتباط الخلايا المعالجة بالخلايا الأخرى. كما وُجِدَ أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ليس لها أي تأثير في تكاثر الأرومة الوعائية القلبية، ولكن هناك انخفاض ملحوظ بموت الخلايا المبرمج، وزيادة نسبة الخلايا الحية ومن ثم انخفاض عدد الخلايا الميتة المبكر والمتأخر كما في الشكل (8-1).



الشكل (8-1) أثر الأمواج في الأرومة الوعائية القلبية الطبيعية (Control) والمعالجة (Us-Treated) لنموذجي فأر وإنسان، A: على تكاثر الخلايا، B: على موت الخلايا المبرمج [3].

3-2-1 الدراسة الثالثة Robert J. 2000 [4]: تزيد الأمواج فوق الصوتية

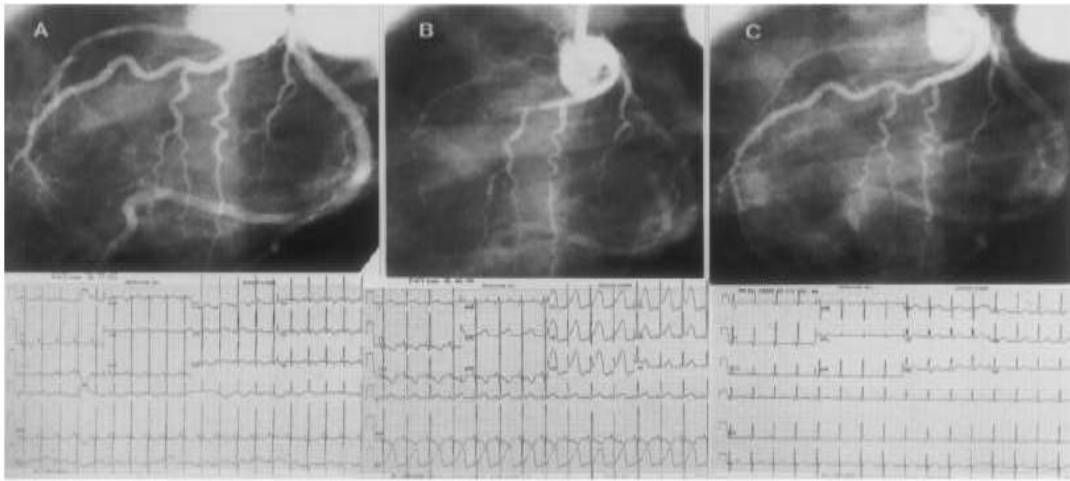
منخفضة التردد غير الجراحية عبر الصدر انحلال الجلطات في نموذج كلب

مصاب بالاحتشاء القلبي الحاد:

إن إذابة الجلطات بالشرابين الإكليلية يخفف من نسبة الوفيات ويحافظ على وظيفة البطين، إنه من المرغوب إذابة جلطات الشرايين الإكليلية دون نزيف، قيمت الدراسة زيادة حل الخثرات من خلال مفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA) بشكل منفرد ومع تردد 27 كيلو هرتز من الأمواج فوق الصوتية. قيس خرج طاقة الأمواج داخل الجسم الحي فوجد أن متوسط الكثافة 0.45 واط/سم² على السطح الأمامي للقلب، كثافة القمة الكبرى 0.58 واط/سم² على السطح الأمامي و 0.55 واط/سم² على الجانب الخلفي أسفل القلب، طُبِقَ على الجسم الحي على جدار الصدر الأمامي [4].

النتائج:

أظهرت نتائج التصوير أنه بعد 90 دقيقة من المعالجة بمفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA) 3 حالات لديهم تدفق جيد و 9 حالات بقي الانسداد موجوداً، بينما حالات المعالجة بمفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) وجد لديهم إعادة النضح، حيث 9 حالات أصبح لديهم تدفق جيد، 2 من الحالات تدفق متوسط، وحالة بقي لديها الانسداد، الشكل يظهر نجاح المعالجة بمفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) لانهلال الخثرات، 2 من الحالات التي عولجت بمفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA)، فقط أعيد الانسداد بنسبة 40 %، بينما لم يوجد أية حالة من الحالات التي عولجت بمفعّل بلازمينوجين نسيجي (t-PA) مع الأمواج فوق الصوتية (US) أعيد إليها الانسداد كما في الشكل (9-1).



الشكل (9-1) A: صورة لقلب طبيعي مع مخطط ECG ، B: صورة لقلب مصاب بالاحتشاء قبل العلاج مع مخطط ECG ، C: صورة لقلب مصاب بالاحتشاء بعد المعالجة بالأمواج وأنسجة بلازمينوجين مع مخطط ECG [4].

أشارت الدراسات أن هذه الطريقة ليس لها أي تأثيرات عكسية، والخطر غائب عندما تكون الكثافة أقل أو تساوي 0.6 واط/سم²، بينما يتواجد بين 1-2 واط/سم²، والخلاصة أظهرت أن الدراسة طريقة غير جراحية وغير دوائية لتسهيل حل الخثرات، حيث إنَّ التعرض للأمواج منخفضة الكثافة جليداً عبر الصدر بمفعل بلازمينوجيني نسيجي يزيد حل خثرات الشريان الإكليلي لنماذج الاحتشاء القلبي الحادّ [4]. كما أن محاسن هذه الطريقة:

- 1 -تحسن فعالية نسبة حل الخثرة.
- 2 -تأثير حل الخثرات يتحسن بموضع الأمواج المطبق.
- 3 -الجرعة الإضافية من الأمواج لا تزيد من خطر النزيف.
- 4 -لا يوجد تفاعلات عكسية تظهر [4].

1-2-4 الدراسة الرابعة Toyama Y. 2012 [5]: التحفيز بالأمواج فوق

الصوتية يعيد قدرة الأوعية الدموية الضعيفة على التوسع بواسطة الخلايا المولدة للأوعية الجواله:

إن توسيع الأوعية هو خيار علاجي لإنقاذ الأنسجة المحتشية، فالعلاج بالخلايا المولدة للأوعية الجواله (CACs) المأخوذة من الخلايا أحادية النوى المشتقة من نخاع العظمي (BM-MNCs) أو الخلايا أحادية النوى المشتقة من الدم المحيط (PB-MNCs) ممكن أن يؤدي دوراً بتوسيع الأوعية. الأمواج فوق الصوتية بترددات عالية أو منخفضة تستخدم لنقل الدواء أو الجينات للخلايا الهدف. لتحفيز إصلاح جروح الأوعية ولتسليم خلايا أحادية النوى المشتقة من نخاع العظمي (BM-MNCs) أو خلايا المولدة للأوعية الجواله (CACs) للأنسجة المحتشية لغرض توسيع الأوعية.

الأمواج فوق الصوتية تحسن علاج الخلايا الوعائية

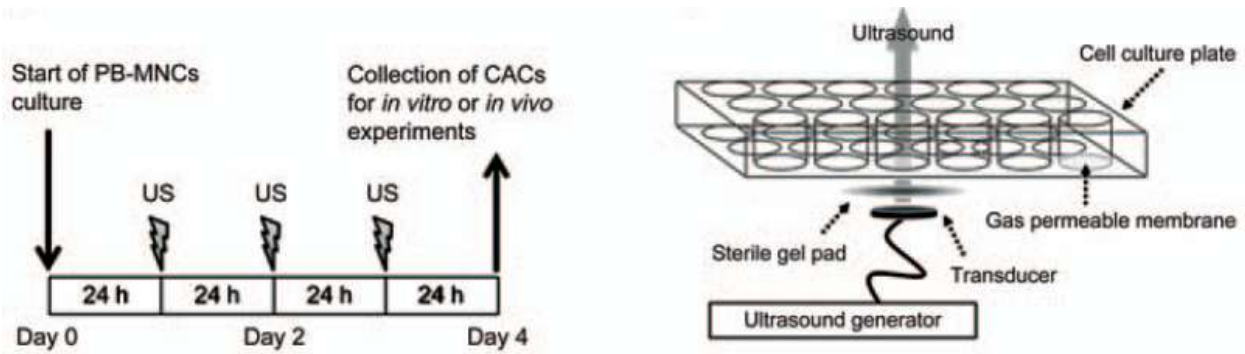
عولجت الخلايا المولدة للأوعية الجواله (الشريانية) المستزرعة بالأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) لزيادة نشاط الأوعية، فنتج أن هذه الأمواج تزيد عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله المأخوذة من مرضى التصلب الشرياني، وجعلها مشابهة لتلك المأخوذة من أشخاص طبيعيين غير مصابين بأمراض الأوعية، الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) تزيد القدرة الوعائية لكلا

الأشخاص الطبيعيين والمرضى المشتقة من الخلايا المولدة للأوعية الجواله من خلال زيادة أوكسيد النتريك للخلايا الباطنية (E-Nos) ، زيادة تراكيز أوكسيد النتريك (NO)، ومن ثم النجاح بزيادة تدفق الدم، كثافة الأوعية الشعرية وهذا ما يعد واعداً لاستعادة قدرة الأوعية الجواله على الاتساع للمنطقة المعالجة في الدراسات المستقبلية.

التأثيرات الحيوية للأمواج فوق صوتية منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) تحفز شفاء الأنسجة المختلفة، حيث تحفز المستقبلات الميكانيكية على سطح الخلية والإشارات الحيوية لتحريض التمايز.

تبين أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية (LIPUS) تشجع تكوين الخلايا المولدة للأوعية الجواله للأوعية الدموية كما تحفز العمليات الخلوية، وتستخدم لفتح قطع تدفق الدم (انسداد الأوعية).

كانت آلية التطبيق كما في الشكل (10-1).



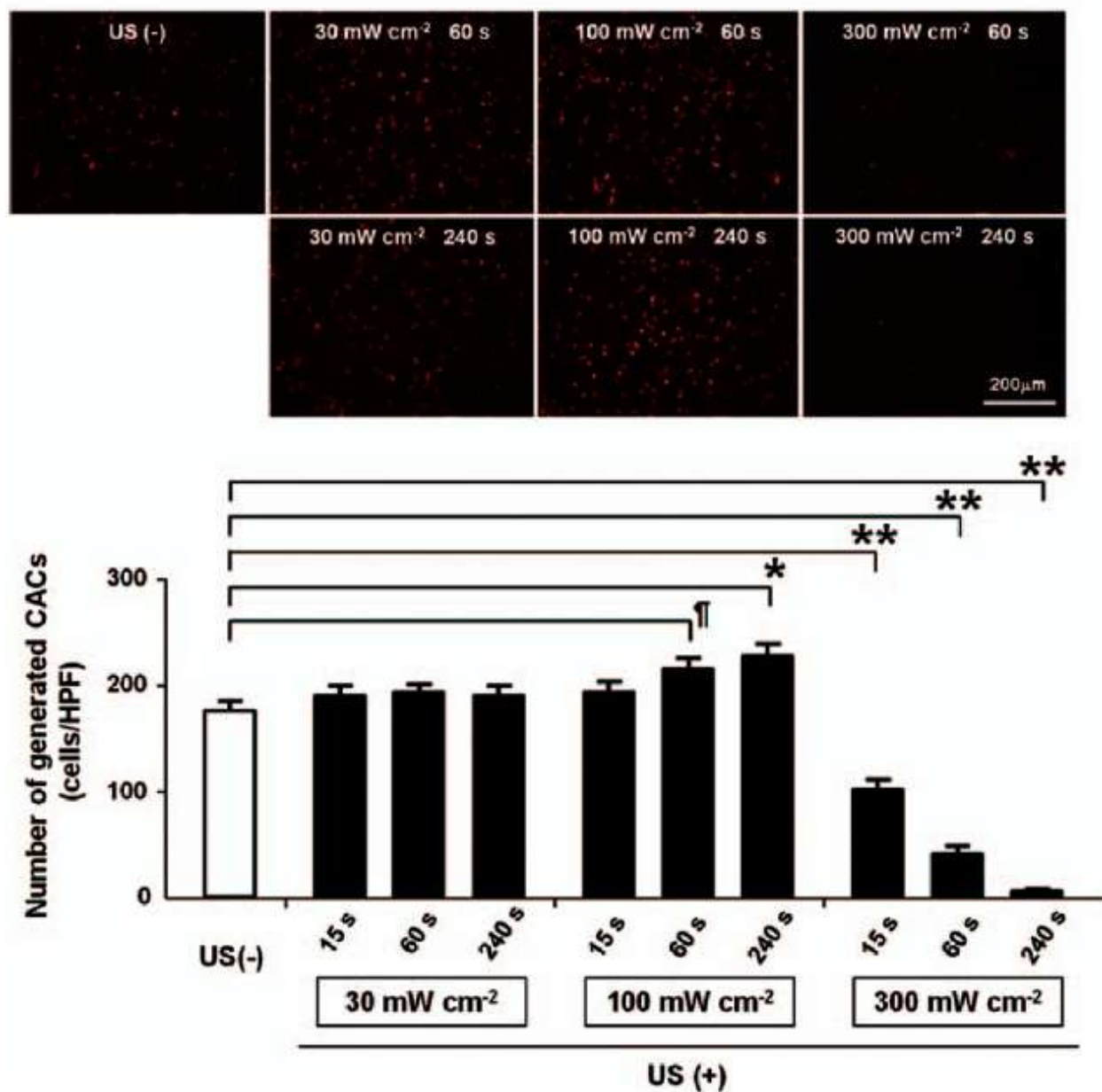
الشكل (10-1) بروتوكول تطبيق الأمواج مخبرياً: بتردد 1 ميغا هرتز وتردد تكرار 5 هرتز

وبطاقات 30 و100 و300 ميلي واط/سم² وأزمنة 15 و60 و240 ثانية مدة أربعة أيام بفترات 24 ساعة [5].

والنتائج:

1- عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية:

التعرض للأمواج ذات كثافة 30 ميلي واط/سم² ل 15، 60، 240 ثانية لم يغير عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله، لكن التعرض للأمواج ذات كثافة 100 ميلي واط/سم² ل 60، 240 ثانية زاد بشكل ملحوظ الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة، بالمقابل التعرض للأمواج ذات كثافة 300 ميلي واط/سم² ل 15، 60، 240 ثانية حطم عدداً من الخلايا وأنقص الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة كما في الشكل (11-1) [5].

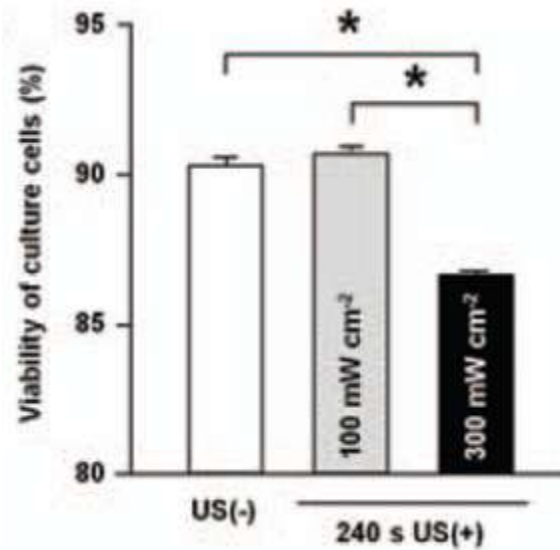


الشكل (11-1) أثر الأمواج في عدد الخلايا المولدة للأوعية الجوانية السليمة us(+) بثلاث طاقات وأزمنة مقارنة مع عدم تعرضها للأمواج us(-) [5].

2- نمو الخلايا بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية:

نسبة النمو أو البقاء للخلايا المستزرعة السليمة بعد التعرض للأمواج ذات كثافة 100 ميلي واط/سم² ل

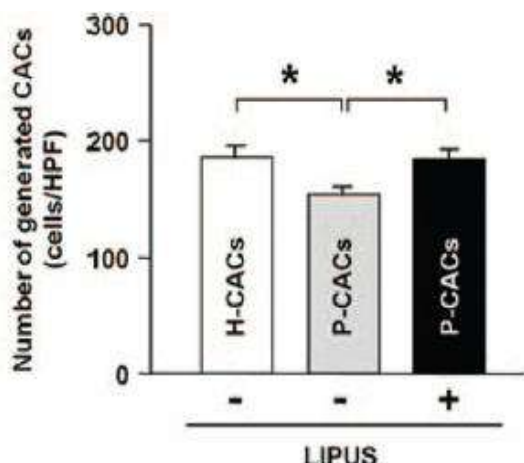
240 ثانية كان مشابهاً لذلك دون تعرض، لكن التعرض للأمواج ذات كثافة 300 ميلي واط/سم² ل 240 ثانية خفّض النسبة بشكل ملحوظ كما في الشكل (12-1).



الشكل (12-1) أثر الأمواج في نمو الخلايا المولدة للأوعية الجوفاء السليمة us(+) بطاقتين للزمن نفسه مقارنة مع عدم تعرضها للأمواج us(-) [5].

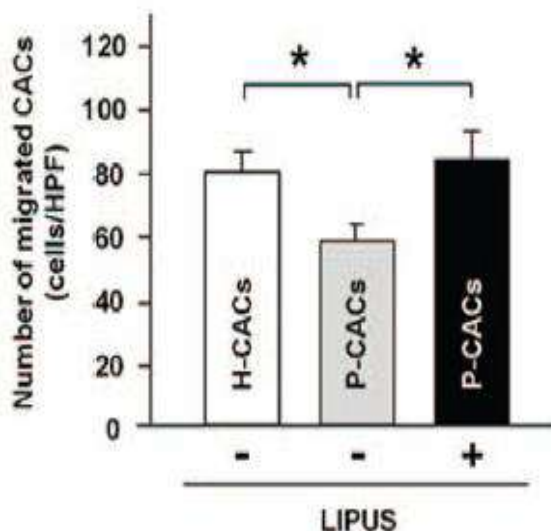
3- هجرة الخلايا المولدة للأوعية الجوفاء السليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: التعرض للأمواج ذات كثافة 100 ميلي واط/سم² ل 60،240 ثانية يزيد قدرة تولد الخلايا المولدة للأوعية الجوفاء السليمة، وكذلك الهجرة ل 240 ثا من التعرض للأمواج. الدراسة على خلايا مرضى التصلب مخبرياً:

1- عدد الخلايا المولدة للأوعية الجوفاء المريضة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: بشكل طبيعي عدد الخلايا المريضة (P-CACs) أقل من الخلايا السليمة (H-CACs)، بالإضافة لضعف توليد الخلايا المريضة (P-CACs)، حيث التعرض للأمواج يعيد قدرة إعادة توليد الخلايا المريضة (P-CACs) بما يوازي الحالة الطبيعية كما في الشكل (13-1).



الشكل (13-1) أثر الأمواج في عدد الخلايا المريضة (P-CACs) us(+) مقارنة مع عدم تعرض هذه الخلايا المريضة للأمواج us(-) ومع السليمة (H-CACs) غير المعرضة us(-) [5].

2- هجرة الخلايا المولدة للأوعية الجوانية المريضة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: العدد أقل من الخلايا السليمة (H-CACs)، حيث التعرض للأمواج فوق الصوتية يعيد قدرة هجرة الخلايا المريضة (P-CACs)، ومن ثم الأمواج تعيد قدرة الأوعية الدموية الضعيفة على التوسع المتعلقة بالخلايا المولدة للأوعية الجوانية كما في الشكل (14-1).



الشكل (14-1) أثر الأمواج في هجرة الخلايا المريضة (P-CACs) us(+) مقارنة مع عدم تعرض هذه الخلايا المريضة للأمواج us(-) ومع السليمة (H-CACs) غير المعرضة us(-) [5].

داخل الجسم الحي قدرة توسع الأوعية المصابة بالتصلب والسليمة بعد التعرض للأمواج فوق الصوتية: حقن الخلايا السليمة (H-CACs) داخل العضل لطرف فأر محتشٍ أدى لنضح الدم بشكل أكبر للطرف المعالج بعد 14 يوماً أكثر من حقن الدم المحيط (PBs) كذلك كثافة الشعيرات زادت، حقن الخلايا المريضة (P-CACs) لم يغير نضح الدم وكثافة الشعيرات بعد 14 يوماً للطرف المعالج، وكان أقل بالمقارنة مع الخلايا السليمة (H-CACs)، حيث إنّ قدرة الخلايا المريضة (P-CACs) ضعيفة لتوسيع الأوعية بالمقارنة مع السليمة (H-CACs)، لكن الحقن المعالج للخلايا المريضة (P-CACs) أدى لنضح وزيادة تدفق الدم وكثافة الأوعية [5].

فمن المعروف أن تدفق الدم للأنسجة المحتشية يزداد من خلال أكسيد النتريك لتوسيع الأوعية تبدأ الحلقة:

- 1 -أكسيد النتريك يحرض تكاثر الخلايا الباطنية واسترخاء الأوعية الذي يتبع بتوسع الشعيرات.
- 2 -التوسع يؤدي لزيادة تدفق الدم.

3 -ومن ثمّ يزيد تحفيز خلق الشرايين، إنبات الأوعية من الشعيرات وكذا نمو الوعاء.

4 -تحفيز الأوعية يخفف المقاومة المحيطية ويزيد تدفق الدم بالتالي زيادة التدفق بالشرايين الجانبية [5].

1-2-5 الدراسة الخامسة Higashi Y. 2015 [6]: تأثير جهاز الأمواج فوق

الصوتية منخفضة الكثافة النبضية في الأعراض السريرية لداء برغر لأطراف تعاني

الاحتشاء (نقص التروية):

داء برغر (التهاب الوعاء الخثاري الساد) مرض نادر يصيب الشرايين و الأوردة في الذراعين و الساقين، حيث تلتهب الأوعية الدموية في سياقه، وتتورم، وقد تُسدُّ بالجلطات الدموية، و يؤدي هذا إلى أذية الأنسجة الجلدية، وتدميرها، الهدف هو معرفة ما إذا كان هذا الجهاز SX-1001 يخفف الألم ويدعم تدفق الدم للأقدام المصابة بداء برغر والتي تعاني نقص التروية، إشعاع الأمواج فوق الصوتية سيطبق على الجلد للمنطقة المحتشية ل 20 دقيقة باليوم على مدى 24 أسبوعاً.

البارامترات المطبقة 2 ميغا هرتز بفترة قدح 200 مايكرو ثانية وتردد تكرار 1 كيلو هرتز بكثافة 30 ميلي واط/سم² وموجة نبض بدورة عمل فعالة % 20، وسيكون المبدل على اتصال مع الجلد فوق عضلة الساق للقدم المعالجة.

نقطة النهاية الأولية للتجربة هي كثافة الألم المتبقي من ما يسمى خط القاعدة ل 24 أسبوعاً.

نقطة النهاية الثانية للتجربة هي

- 1- كثافة الألم المتبقي من ما يسمى خط القاعدة ل 12 أسبوعاً.
- 2- التغيرات بضغط الأكسجة عبر الجلد.
- 3- مؤشر الضغط الكاحلي العضدي (ABI).
- 4- مؤشر الضغط إصبع القدم العضدي (TBI).
- 5- مسافة المشي من خط القاعدة ماقبل بداية المعالجة ل 12 و 24 أسبوعاً كلها قيست، بالإضافة لبارامترات أخرى كالتدخين- البول.... إلخ [6].

النتيجة: إن الأمواج تزيد من إجهاد القص على سطح الخلايا الباطنية، وتحرر أكسيد النتريك بالأوعية المعزولة، لذلك ظهر أن تأثيرها بتوسيع الأوعية ملغى من خلال منع سلوك أكسيد النتريك بالطرف المعالج، هذه التأثيرات المفيدة متوقعة لمرضى الشرايين المحيطية.

في الجسم الحي تحرض الأمواج الأوعية من خلال زيادة عامل النمو والسيتوكينين، معامل نمو الأرومات الليفية الأساسية، عامل نمو البطانة الوعائية، مجال المعالجة يحفز أكسيد النتريك وبروستاغلاندين E2 سينثاز.

تعريض الخلايا الباطنية للأمواج العلاجية يزيد نشاط أكسيد النتريك وإنتاجه الذي يعود لتحريض التوسع، إشعاع الأمواج 2-1.6 واط/سم² ل 6 أيام يحسن تحرير أكسيد النتريك والكالسيوم من الخلايا، لكن لا يدعم نموها.

إنه من المتوقع أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تتعدى لعلاج القلب - الكبد وستكون مفيدة لتحسين الأعراض السريرية لمرضى الشرايين التاجية [6].

1-2-6 الدراسة السادسة. C. speed 2001 [7]: الأمواج فوق الصوتية لعلاج

آفات الأنسجة:

خصائص الأمواج فوق الصوتية العلاجية:

تتألف الأمواج فوق الصوتية من اهتزازات ميكانيكية عالية التردد غير مسموعة تنشأ عندما المولد ينتج طاقة كهربائية لتتحول لطاقة صوتية من خلال الكريستالة البيزوالكترية المتوضعة داخل المبدل، الأمواج المنتجة تنتشر من خلال تصادم الجزيئات، و مع تقدمها تخسر كثافة طاقتها (تتخامد) خلال عبورها بالأنسجة نتيجة الامتصاص والتبعثر،...

كامل طاقة الأمواج تقدر بالواط، كمية الطاقة التي تصل لموقع محدد تعتمد على خصائص الأمواج فوق الصوتية (تردد-كثافة-مطال-حزمة مركزة).. والأنسجة العابرة بها أغلب الأجهزة تستخدم 1-3 ميغا هرتز و 0.1-3 واط/سم² مجالاً للأمواج فوق الصوتية العلاجية منخفضة الكثافة وأكبر من 5 واط/سم² لعالية الكثافة، الترددات المنخفضة للأمواج فوق الصوتية تمتلك قدرة اختراق أعمق لكن أقل توجيه، الأمواج بتردد 1 ميغا هرتز تمتص مبدئياً من قبل أنسجة على عمق 3-5 سم ولهذا يوصى بها للجروح العميقة والمرضى ذوي النسيج الشحمي تحت الجلد، أما ترددات ال 3 ميغا هرتز يوصى بها للمعالجة السطحية بعمق 1-2 سم، تصنف الأنسجة حسب ممانعتها الصوتية، كثافتها والسرعة التي سوف تسافر من خلالها الأمواج، حيث إن الامتصاص الأقل للأمواج فوق الصوتية، يظهر في الأنسجة ذات المحتوى المائي العالي (كالدهون)، بينما الامتصاص أكبر يكون في الأنسجة ذات المحتوى البروتيني (الهيكل العضلي).

الاختلاف الكبير بالممانعة الصوتية لنسيجين مختلفين يؤدي لنقل أقل من أحدهما للآخر، عندما تقابل الأمواج المنعكسة الأمواج المنقلة يتشكل مايسمى النقطة الحارة التي لها تأثيرات طاقية عكسية في الأنسجة، ممكن أن تخفف هذه الآثار عندما يعطي الجهاز أمواج متجانسة ونبضية، ومع حركة المبدل خلال المعالجة.

كلما كبر القطر لمساحة الإشعاع الفعال الذي يعطيه سطح المبدل أنتجت حزمة أكثر تركيزاً من الأمواج فوق الصوتية، المادة الوسيطة (الماء، الزيت، الجيل..) تمنع انعكاس الأمواج على السطح الفاصل بين النسيج والهواء من خلال حصر الهواء من وبين المبدل والمريض، تختلف الجرعة المعطاة من خلال تبديل مطال الموجة، الأمواج فوق الصوتية المستمرة لها تأثيرات حرارية، أما المنخفضة الكثافة ليس لها تأثيرات حرارية، والتأثيرات عديمة الحرارة ممكن أن تنتج حرارة [11].

التأثيرات الفيزيولوجية للأمواج فوق الصوتية:

التأثيرات الحرارية ترفع درجة حرارة النسيج ل 40-45 درجة على الأقل بخمس دقائق، وتعدُّ التأثيرات الحرارية المفرطة بكثافة أمواج فوق الصوتية عالية الخطر على الأنسجة، تعدُّ التجاويف مهمة في علاج الأنسجة أكثر من الآثار الحرارية للأمواج، تحدث التجاويف عندما يكون الوسط مليئاً بالفقاعات تتمدد وتتضغط بسبب الأمواج فوق الصوتية، حيث يحرض الضغط تغيرات سائل الأنسجة، ومن ثم يؤدي لزيادة تدفق بالسوائل المحيطة، التجاويف المنتظمة مفيدة للأنسجة بينما غير المستقرة تكون خطراً على الأنسجة، تكبت التجاويف غير مستقرة من خلال استخدام نبضات قصيرة جداً على الأقل 1 كيلو هرتز ل 1 ميغا هرتز تحتاج لتعطي تجاويف مستقرة.

التيارات الصوتية تغير صيغة غشاء الخلية، الوظيفة و السماحية مما يؤدي لإصلاح الأنسجة، الألياف، تركيب الكولاجين، إعادة إنتاج الأنسجة.. توصيات: الانتباه ل(معايرة الجهاز بشكل منتظم -المادة الوسيطة - مساحة سطح المبدل -مواصفات الخرج..)[7].

1-3 الخاتمة:

كما رأينا أكدت الدراسات والمراجع جميعها فعالية استخدام الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية للعلاج القلبي، سواء بتطبيقها على الجسم الحي أو بتطبيقها مخبرياً حيث اجتمعت بالمجمل على تحسين عمل العضلة، زيادة التدفق بالأوعية المغذية للبطين، زيادة كثافة الأوعية، وتخفيف الألم، كل هذا بسلسلة من التحفيزات الفيزيولوجية، وكبارامترات عملية سواء تشخيصية أو علاجية اعتمدت الدراستين [1,6] كونهما طبقتا على الجسم الحي، فهل فعلاً ستؤثر الأمواج في مرضى القلب الإقفاري؟

الجدول (1-1) ملخص الدراسات المرجعية.

الأبحاث	بارامترات الأمواج فوق الصوتية				التأثير المشترك للأبحاث
	التردد	النبض	الكثافة	نوع الأمواج / المعالجة	
[1] Hanawa K, Ito K, Aizawa K, Shindo T, Nishimiya K, et al(2014)	1.8 MHZ	7 KHZ	193 mW/ cm ²	LIPUS 20min /8WEEK على الجسم الحي	تحسن عمل العضلة القلبية اليسرى المعالجة للحدود الطبيعية، تحسن تدفق الدم بالأوعية وكذلك زادت كثافة الأوعية مع تحسن حركية البطين.
[3] Bernal A, M Pérez L, De Lucas B,et al(2015)	5 MHZ	100 HZ	83 mW/ cm ²	LIPUS 20min /3days خارج الجسم الحي/مخبرياً	زيادة تمايز خلايا الأنسجة والعظام، القدرة على علاج الخلايا الوعائية لإصلاح عمل القلب.
[4] Robert J. Siegel, MD; Shaul Atar, MD; Michael C. Fishbein, MD;etal(2000)	27 KHZ	-	transducer provided 0.9 W/cm ²	LFUS/cw 30min على الجسم الحي	مفعّل بلازمينوجيني نسجي مع التعرض للأمواج منخفضة الكثافة جديداً عبر الصدر يزيد انحلال خثرات الشريان التاجي لنماذج الاحتشاء القلبي الحاد.
[5] Toyama Y, Sasaki KI, Tachibana K,et al(2012)	1 MHZ	5 HZ	30, 100,300 mW/cm ²	LIPUS 15, 60,240 s /4days خارج الجسم الحي/مخبرياً+على الجسم الحي	النتيجة الأهم: حقن خلايا الأوعية المحيطية السليمة داخل العضل لظرف فأر محتشٍ أدى لنضح الدم بشكل أكبر للظرف المعالج بعد 14 يوماً، حيث إنّ قدرة الخلايا المحيطية المريضة ضعيفة لتوسع الأوعية بالمقارنة مع الخلايا المحيطية السليمة، لكن الحقن المعالج للخلايا المحيطية المريضة أدى لنضح وزيادة تدفق الدم وكثافة الأوعية.
[6] Higashi Y, Azuma N, Takeishi Y,et al(2015)	2 MHZ	1 KHZ	30 mW/cm ²	LIPUS 20min daily/24week على الجسم الحي	فعالة للأعراض السريرية والنضح لمرضى داء برغر.
[7] speed C.A(2001)	1-3 MHZ	1 KHZ	-	-	الحرارة المفرطة خطر على الأنسجة.

الأبحاث	بروتوكول العلاج	مزايا الدراسة	سلبات الدراسة
[1] Hanawa K, Ito K, Aizawa K, Shindo T, Nishimiya K, et al(2014)	فصلت عينات التجربة على مجموعتين إحداهما عولجت عن طريق التقنية بثلاثة مستويات بشكل دوري بفواصل زمنية متساوية والثانية بالطريقة التقليدية مدة أقصاها ثمانية أسابيع، ومن ثم ملاحظة النتائج ومقارنتها وإحصاؤها قبل العلاج وبعده.	*تعدد مشعرات الدراسة. *طبقت على الجسم الحي، فهي طريقة آمنة، فعالة، غير جراحية. *تعدد طرق الحصول على المشعرات إما بوساطة جهاز قياس على الجسم الحي أو مخبرياً. *استخدام جهاز الأمواج فوق الصوتية للتشخيص والمعالجة بجهاز واحد مدمج. *لم تؤثر ولا حتى سلباً على المناطق السليمة. *متوقع أنها فعالة لمرضى الأوعية الطرفية.	*لم يفحص تأثير الكثافة العالية للأمواج خوفاً من تأثيرات الحروق المتوقعة. *غير واضح أن ثلاث جلسات أسبوعياً كافية ونموذجية. *تحريض الاحتشاء مخبرياً. * طول مدة الدراسة.
[3] Bernal A, M Pérez L, De Lucas B,et al(2015)	طبقت الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية ل 20 دقيقة يومياً مدة 3 أيام مخبرياً على خلايا الأرومة الوعائية المتوسطة القلبية المعزولة من قلب (إنسان، فئران) بوسط مشابه للوسط الحيوي بضبط درجة الحرارة ومبادلة لغاز ثاني أكسيد الكربون ومن ثم درست الخصائص الوظيفية للأرومة الوعائية المتوسطة القلبية.	*تحسين خصائص مميزة للخلايا بعد الضرر الحاصل لتحريض إصلاح أنسجة القلب.	*تغير خصائص الأرومة الوعائية ومعالجتها مخبرياً. *عدم معرفة أي تأثيرات جانبية سلبية أو تفاعلها عند العلاج في الجسم الحي. *معدات ومواد خاصة لعلاج الخلايا خارج الجسم وتكاليف إضافية.
[4] Robert J. Siegel, MD; Shaul Atar, MD; Michael C. Fishbein, MD;etal(2000)	قيمت الدراسة زيادة حل الخثرات على مجموعتين إحداهما عولجت من خلال مفعول بلازمينوجين نسيجي (t-PA) بشكل منفرد والأخرى مع تردد 27 كيلو هرتز من الأمواج فوق الصوتية ل 30 دقيقة	*طريقة غير دوائية غير جراحية. *طريقة لا تزيد من خطر النزيف. *لايوجد تأثيرات عكسية إضافية ممكن أن توجد. *كفاءة محسنة للانحلال، نتيجة تطبيق معالجة صوتية بالمنطقة المستهدفة، انخفاض أوبالأحرى شبه انعدام حالات عودة الانسداد(التجلط) بعد العلاج بالأمواج والمفعول النسيجي مقارنة بالمفعول النسيجي وحده.	*نماذج الاحتشاء القلبي الحاد، من غير السهل استخدام مفعول البلازمينوجين ووحدة تقييم الأمواج أظهرت عدم تسليم طاقة كافية، وجود محددات للتقنية، حالة غير مستفيدة بحل الخثرات بأنسجة البلازمينوجين مع الأمواج، نتيجة خطأ ميكانيكي. * لم تستخدم بالدراسة مساعدات دوائية كالإسبرين، لأن الحالات المزمنة تحتاج زمن تعرض أطول للأمواج، متابعة أثر العلاج لفترة قصيرة. *تحريض الاحتشاء مخبرياً.
[5] Toyama Y, Sasaki KI, Tachibana K,et al(2012)	طبقت الأمواج مخبرياً بطاقات مختلفة وأزمنة مختلفة مدة أربعة أيام بفترات 24 ساعة على الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة والمريضة، أحصى عدد الخلايا المولدة للأوعية الجواله السليمة المأخوذة من شخص سليم والمريضة المأخوذة من شخص مصاب بالتصلب، نموها، وهجرتها، ومن ثم درس تأثير هذه الخلايا بعد حقنها بطرف فأر محتش	*تطبيق مجال واسع من الطاقات والأزمنة على الخلايا. *توسيع الأوعية، زيادة نضج الدم وكثافة الأوعية. *تحسين التأثيرات العلاجية للأوعية لطرف محتش. *دراسة تأثير هذه الخلايا المعالجة وسواء السليمة أم المريضة ومقارنتها بغير المعالجة كذلك سليمة أم مريضة في الجسم الحي.	* الخلايا أخذت من الدم المحيط، ممكن أن تكون نتائج مختلفة من الخلايا المأخوذة من نخاع العظم. *الحاجة لدقة أكبر بتقنيات استحصال النتائج. *حقن هذه الخلايا بعد معالجتها مخبرياً بالطرف المصاب بالاحتشاء لفأر غير مصاب بالتصلب. *معدات ومواد خاصة لعلاج الخلايا خارج الجسم وتكاليف إضافية.
[6] Higashi Y, Azuma N, Takeishi Y,et al(2015)	طبقت الأمواج فوق الصوتية على الجلد للمنطقة المحتشية ل 20 دقيقة باليوم على مدى 24 أسبوعاً، ومن ثم درست الأعراض السريرية للمرض وعدة بارامترات أخرى ومقارنتها مع ما قبل العلاج	*خفض درجة الألم للمرضى المعالجين بالأمواج. *تحسين جبر الكسور. *طبقت على الجسم الحي. *تحسن بارامترات النضج.	*طول مدة العلاج. *خصص العلاج لتقييم الألم المزمّن. *لا يوجد عالمياً معايير تحدد الألم. *عدم تأكيد لفعالية التقنية لبعض المرضى. *معايير استبعاد واشتمال خاصة لمرضى الدراسة.
[7] speed C.A(2001)	دراسة تبين خصائص الأمواج العلاجية وتأثيراتها	*أفضلية استخدام الأمواج حسب بارامتراتها، تأثيرها.	*تأثيرات جانبية للأمواج بحالات معينة.

الفصل الثاني

فيزيولوجيا القلب، وتشريحه،

وأعراضه

2-1 مقدمة:

أن الجهاز القلبي الوعائي يتألف من القلب وجملة مغلقة من الأوعية الدموية التي تنقل الدم إلى الرئتين، فتحدث مبادلات غاز ثاني أكسيد الكربون والأكسجين، كما تحمل الأوعية الدموية الدم إلى المعى، حيث تُمتَصُّ المواد الغذائية السائلة وإلى الغدد غير المزودة بقنوات مفرغة التي تمر هرموناتها إلى الدم، ولأهمية التحري عن وضع القلب والحفاظ على هذا العضو النبيل وجد العديد من وسائل التشخيص لهذه الأمراض، كمخطط القلب الكهربائي (ECG) الذي من الممكن أن يكون طبيعياً عند مختلف المرضى في طور الراحة بين هجمات الذبحة الصدرية، أما مخطط الصدى القلبي (Echocardiogram) يبين الشذوذ الوظيفي لأجزاء القلب وفعالية ضخ القلب، في حين أن اختبار الجهد (TMT) يبين أعراض المرض عندما يكون مخطط القلب الكهربائي طبيعياً، وتستخدم أيضاً الغاما كاميرا من خلال حقن مادة مشعة ودراسة الحالة [8]، سنشرح في هذا الفصل تشريح القلب والأوعية الدموية بشكل مفصل، آلية عمل القلب والأوعية، العوامل المؤثرة في الأوعية وجريان الدم، المرض الأكثر شيوعاً، أنواعه، أعراضه، وعلاجه التقليدي.

2-2 الأوعية الدموية:

تصنف الأوعية الدموية تبعاً لبنيتها إلى:

الشرايين: التي تمتلك جداراً ثخيناً يتكون بشكل عام من غلالة داخلية مكونة من بشرة بطانية وغلالة وسطى الطبقة الأسمك، وتحوي نسيجاً عضلياً أملساً، ونسيجاً مرناً، وغلالة خارجية هي الأقوى، تحوي أليافاً غرائية، وأليافاً مرنة لتتقل الدم من القلب لأعضاء الجسم تحت ضغط عال.

لذلك فإن جدران الشرايين الكبيرة كالأبهر تحتوي أليافاً مرنة أكثر منها عضلية، حيث تتيح مرونة هذا الجدار توسعاً مهماً فيسلك الأبهر كخزان، ويحول الانسياب المتقطع للدم الوارد من القلب إلى انسياب مستمر، لكنه نابض.

بينما تمتلك الشرايين الأصغر (شرايين التوزيع) والتي هي فروع وامتدادات للشرايين المرنة أليافاً عضلية أكثر من المرنة.

الشريينات: وهي أصغر الشرايين الصغيرة، تملك جداراً عضلياً سميكاً يبلغ قطرها أقل من 100 ميكرومتر، حيث تستطيع التضيق والتوسع لتتحكم بكمية الدم التي تجري إلى الشعيرات، وذلك حسب حاجة وفعالية النسيج، من أجل ذلك تبدي مقاومة عالية الجريان للدم لينخفض الضغط بمقدار 50-60 مم زئبقي، وتسمى أوعية المقاومة لأنها المكان الرئيس للمقاومة المحيطة التي تبديها الأوعية الدموية لجريان الدم.

الشعيرات: الشبكة التفاضلية التي يصب فيها دم الشريينات، و يتألف جدارها من طبقة واحدة من الخلايا (أغشية نفوذة)، وظيفتها تبادل السوائل والغازات والغذيات بين الدم والأنسجة، لذلك تسمى أوعية التبادل.

الوريدات والأوردة: تملك جداراً رقيقة قابلة للتوسع بشكل كبير، حيث تنزح الوريدات الدم من الشبكة الشعرية، وتتحد فيما بينها لتشكل الأوردة، والتي هي أكثر عدداً من الشرايين الموافقة لها، كما أنها أكبر قطراً وذو غلالة وسطى أرق من الشرايين لتعود بالدم من الأنسجة للقلب [19].

2-3 الجهاز اللمفي:

كون بعض الجزيئات البروتينية الكبيرة لا تستطيع المرور من الأنسجة عبر جدر الأوعية الشعرية، لذلك يقوم جهاز أوعية شعرية آخر **الجهاز اللمفي** بهذه المهمة، يشمل الجهاز اللمفي أوعية لمفية ونسيجاً لمفياً، تمتص الأوعية اللمفية هذه الجزيئات وتعود بها للمجرى الدموي، كما تحمل خلايا لمفية من النسيج اللمفي إلى الدم، والسائل الذي تنقله هذه الأوعية هو اللمف.

ويتألف **الجهاز اللمفي** من **أوعية شعرية** هي أنابيب بسيطة مكونة من بشرة.

وأوعية جامعة مكونة من بشرة محاطة بنسيج ليفي وعضلي أملس.

وجذوع لمفية ذات جدر سمكة.

تنتشر الأوعية اللمفية في جميع أنحاء الجسم المختلفة ماعدا الجملة العصبية المركزية والعضلات الهيكلية ونقي العظام، بينما يوجد النسيج في بعض الأعضاء كالمعي والعقد اللمفية ونقي العظم والطحال والمخاطيات، ويتكون من خلايا لمفية موجودة في وسط من الخلايا والألياف الشبكية والغرائية المرنة، كما يقوم بدور مصفاة الجراثيم والفيروسات والخلايا السرطانية لحد معين، حيث يقوم بتوليد خلايا لمفية لها دور في التفاعلات المناعية وإنتاج الأجسام الضدية [19].

2-4 القلب:

يتوضع في الخط الناصف وهو أكثر امتداداً لليسار ليأخذ شكل مخروط مقلوب قاعدته في الأعلى والخلف وقمته في الأسفل إلى الأمام داخل الجوف الصدري خلف عظم القص، يزن حوالي 300 غ عند الشخص البالغ.

وينقسم نتيجة وجود حاجز طولاني لقسمين (مضختين) أيسر وأيمن، يتكون كل منهما من أذينة تتلقى الدم الوريدي، وجوف آخر هو البطين الذي يضخ الدم في الشرايين، حيث يعود الوريدان الأجوفان العلوي والسفلي بالدم الوريدي إلى الأذينة اليمنى، ثم يمر الدم إلى البطين الأيمن، حيث يُضخَّ الدم إلى الجذع الشرياني الرئوي الذي يتفرع إلى شرياني رئويين أيسر وأيمن ينقلان الدم إلى الرئتين.

أما الأوردة الرئوية، فهي تحمل الدم من الرئتين إلى الأذينة اليسرى، ويمر الدم بعد ذلك إلى البطين الأيسر الذي يضخه في الأبهر كي يتوزع على أنحاء الجسم.

بهذا يكون لدينا ثلاثة أنماط رئيسة من العضلات، وهي: العضلة الأذينية، والعضلة البطينية، وألياف عضلية متخصصة نقليّة واستثنائية، حيث إنّ كلاً من العضلة الأذينية والعضلة البطينية يتقلص بشكل مشابه تماماً للعضلات الهيكلية، غير أن فترة تقلصها أطول، أما الألياف المتخصصة النقليّة والاستثنائية فتتقلص بشكل ضعيف، وبدلاً من ذلك فإنها نظميات وسرعات مختلفة للتوصيل مشكلة بذلك جهازاً استثنائياً للقلب وجهاز نقل لتوصيل التنبهات الاستثنائية بشكل منظم عبر القلب.

توجد أربعة صمامات مهمة في القلب، هي: الصمام الأذيني البطيني الأيسر يسمى كذلك (الصمام التاجي)، الصمام الأذيني البطيني الأيمن يسمى أيضاً (الصمام مثلث الشرف)، والصمام الرئوي الذي يقع بين البطين الأيمن والجذع الرئوي، والصمام الأبهر الذي يقع بين البطين الأيسر والأبهر.

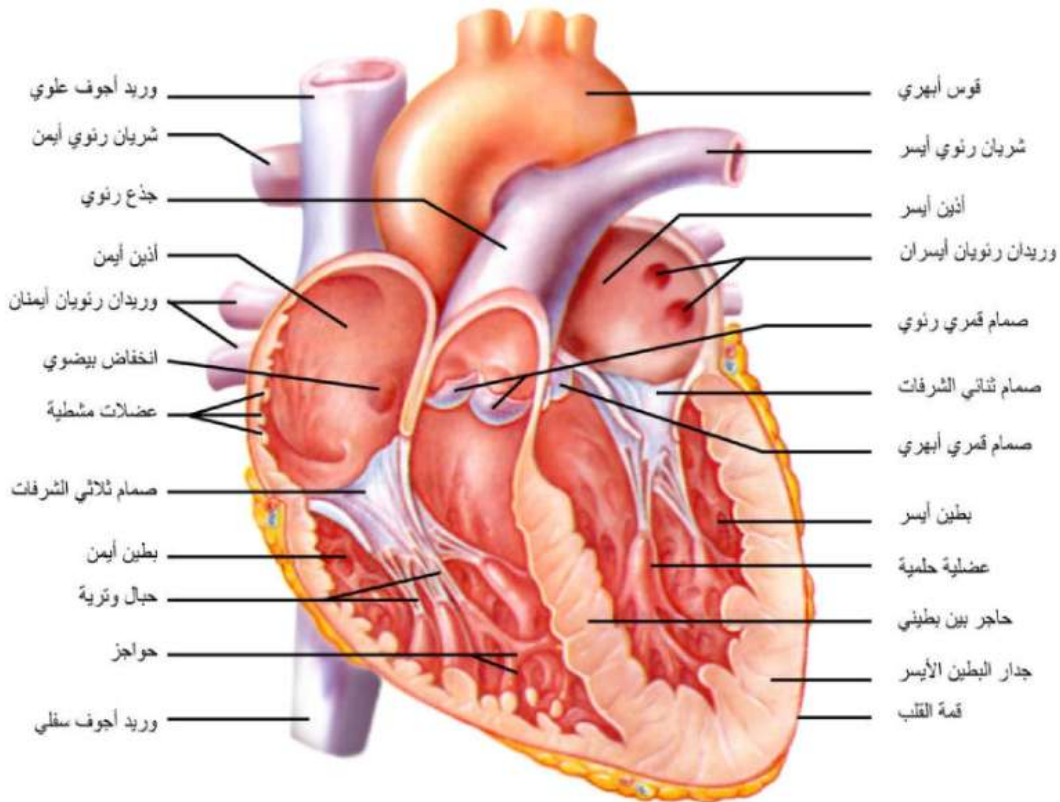
وثلاثة وجوه: وجه قصي ضلعي، ووجه حجابي يستقر على الحجاب، ووجه رئوي يجاور الوجه الأنسي للرئة اليسرى.

وكما ينفتح الوريدان الأجوفان العلوي والسفلي على الأذينة اليمنى ينفتح عليها الجيب الإكليلي، وهو جيب يعود بالدم الوريدي من نسيج القلب، يتوضع بين الأذنتين حاجزٌ يسمى الحاجز بين الأذنتين، كذلك حاجز سميك يفصل بين البطينين ويسمى الحاجز بين البطينين، تمتاز جدران البطينين بثخانة أكبر من الأذنتين،

كما تحوي الوجوه الداخلية لجدران البطينين بوارز تسمى العضلات الحليمية، تمتد منها إلى شرف الصمامين الأذنيين البطينيين حبال وترية تحول دون انقلاب هذه الشرف إلى جوف الأذينة المعنية.

ينفتح على الأذينة اليسرى الأوردة الرئوية، يوجد بين الأذينة اليمنى والبطين الأيمن الصمام الأذيني البطيني الأيمن، يوجد بين الأذينة اليسرى والبطين الأيسر الصمام الأذيني البطيني الأيسر، وللبطين الأيسر فتحتان هما: الصمام الأذيني البطيني الأيسر والصمام الأبهرى، وللبطين الأيمن فتحتان هما: الصمام الأذيني البطيني الأيمن والصمام الرئوي كما في الشكل (1-2).

يحيط بالقلب كيس ليفي يسمى التامور، يتكون من طبقة ليفية وطبقة مصلية، بحيث تبطن الطبقة المصلية الطبقة الليفية، ثم تتعطف على محيط القلب وتبطنه، وهذا ما يشكل جوفاً افتراضياً يحوي طبقة سائل رقيقة ترطب السطوح المتحركة للقلب، كما يضبط التامور القلب في مكانه ويمنع توسعه [19,18].



الشكل (1-2) تشريح القلب [19].

2-4-1 توعية القلب:

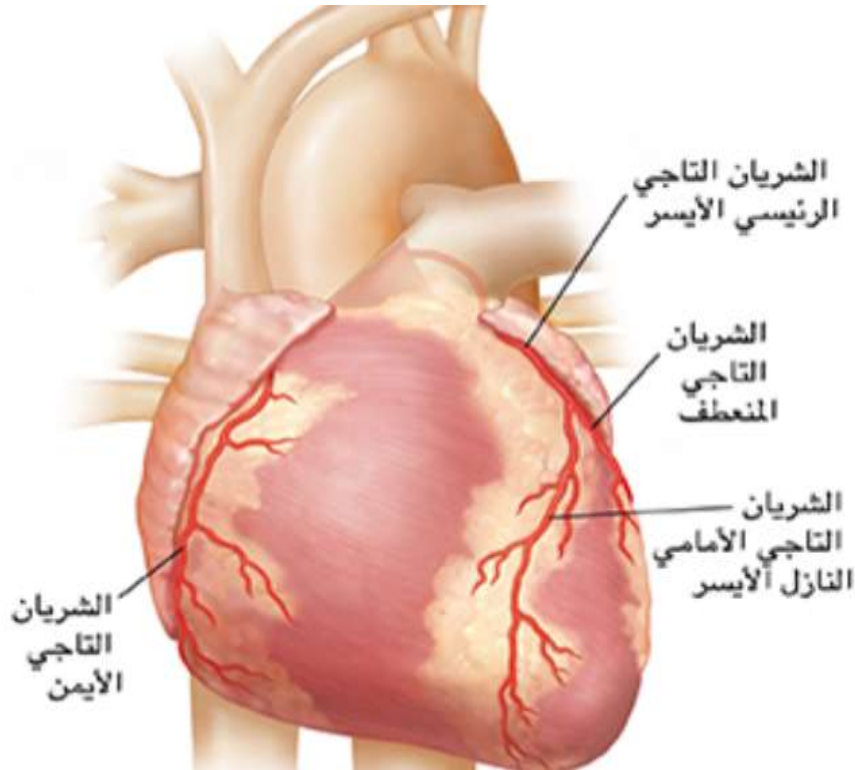
يغذي القلب شريانان إكليليان أيمن وأيسر، كما هو مبين بالشكل (2-2)، ينشأان من بداية الأبهر، أما الدم الوريدي الذي يعود من النسيج القلبي فيصب معظمه مباشرة على أوردة صغيرة كثيرة تتجمع لتشكل الجيب الإكليلي، ومنه للأذينة اليمنى، وينفرغ بقية الدم مباشرة إلى داخل أجواف القلب عبر قنات وريدية صغيرة.

الشريان الإكليلي الأيسر:

يعطي فرعاً يسير على السطح في التلم بين البطينين، كما يعطي فرعاً يلتف على الحافة اليسرى ويسير نحو الخلف، حيث يتفاغر مع فرع من الشريان الإكليلي الأيمن.

الشريان الإكليلي الأيمن:

ينشأ من بداية الأبهر، ويلتف حول الحافة اليمنى للقلب، ويتابع مساره على الوجه الحجابي للقلب، حيث يتفاغر في النهاية مع فرع من الشريان الإكليلي الأيسر [19].



الشكل (2-2) توعية القلب [19].

1-4-2 تعصيب القلب:

تعصب القلب ألياف عصبية ذاتية وحسية واردة من العصبين المبهمين ومن الجذع الودي [19].

2-4-3 النظم القلبي:

إن الألياف العضلية القلبية ألياف مخططة، ولكنها غير إرادية، حيث يتناوب النظم القلبي بين الانقباض والاسترخاء، حين يمتلئ البطينان يبدأان بالتقلص حيث يؤدي ارتفاع الضغط داخل البطينين إلى انغلاق الصمامين الأذنيين البطينيين فتتجم عن ذلك اهتزازات تشكل الصوت الأول من أصوات القلب. ينقذف الدم إلى الأبهر والشريان الرئوي حين يصبح الضغط في البطينين أعلى من الضغط في هذين الوعائين، ويسمى الضغط الأعظمي الذي يحدث الضغط الدموي الانقباضي. ينغلق الصمامان الأبهرى والرئوي بعد قذف الدم، وينجم عنهما صوت هو الصوت القلبي الثاني.

ينخفض ضغط البطينين بعد دفعهما الدم فينفتح الصمامان الأذنيان البطينيان، ويسيل الدم من الأذنين إلى البطينين، ويصل الضغط أدنى مستوى له، وهو الضغط الانقباضي [19].

2-5 العلاقات المتبادلة بين الضغط والجريان والمقاومة:

يتحدد الجريان عبر الوعاء الدموي كلياً بوساطة عاملين: فرق الضغط بين نهايتي الوعاء الذي يشكل القوة الدافعة للدم عبر الوعاء. إعاقه جريان الدم عبر الوعاء التي تدعى مقاومة الوعاء، حيث إن الجريان يحسب بتقسيم فرق الضغط على المقاومة.

ومن ثم فإن الجريان يتناسب طردياً مع فرق الضغط وعكساً مع المقاومة، ويلاحظ بشكل خاص أن فرق الضغط بين نهايتي الوعاء وليس الضغط المطلق هو الذي يحدد معدل الجريان الدموي عبر الوعاء. مثلاً: إذا كان الضغط عند كلا النهايتين مساوياً 100 مم زئبقي فلن يكون هناك جريان.

يعرف الجريان الدموي:

بأنه كمية الدم التي تجتاز نقطة معينة من الدوران خلال فترة معينة من الزمن، ويعبر عادة عنه بالميلي لتر أو لتر في الدقيقة أو ميلي لتر في الثانية.

يبلغ الجريان الدموي الكلي في دوران الشخص البالغ في حالة الراحة 5000 مل/د، وهو ما يدعى نتاج القلب، بتعبير آخر كمية الدم التي يضخها البطين في الدقيقة الواحدة [18].

2-6 الجريان الصفائحي للدم في الأوعية:

عندما يجري الدم بسرعة ثابتة عبر وعاء أملس طويل فإنه يجري في خطوط انسيابية بحيث تحافظ كل طبقة من الدم على المسافة بينها وبين جدار الوعاء، وأيضاً يبقى القسم المركزي من الدم في مركز الوعاء، أما الجريان المضطرب يكون فيه جريان الدم في جميع اتجاهات الوعاء.

2-7 جريان الدم المضطرب:

يصبح جريان الدم مضطرباً:

- عندما تصبح سرعة جريان الدم كبيرة جداً.
- عندما يجتاز الدم عائقاً داخل الوعاء.
- عندما يغير الدم مجرى اتجاهه بحدة وبشكل فجائي.
- عندما يمر الدم فوق سطح خشن.

عند ذلك يجري الدم بشكل عرضاني، إضافة لجريانه على طول الوعاء مشكلاً ما يسمى تيارات الدوام، وتزداد مقاومة جريان الدم وعند ذلك يتناسب الميل للجريان المضطرب طردياً مع سرعة جريان الدم وكذلك مع قطر الوعاء الدموي والكثافة، وعكساً مع اللزوجة وفقاً لمعادلة رينولدز.

عندما يرتفع رقم رينولدز ليصل ل 400 يحدث الجريان المضطرب في بعض فروع الأوعية الدموية، بخاصة غير الملساء منها، بينما يختفي في الأماكن الملساء، ومن ناحية أخرى يصبح الجريان مضطرباً عندما يصل رقم رينولدز ل 2000 حتى إذا كانت الأوعية مستقيمة وملتساء كما يحدث في الأبهر بالحالة الطبيعية [18].

2-8 مرض القلب الإقفاري:

يحدث المرض عندما لا يكون هناك تدفق دم كاف لجزء أو مساحة من العضلة نتيجة الترسبات المضيقية في أوعية الدم التي تغذي تلك المنطقة، والشرايين الإكليلية هي التي تزود الدم الغني بالأكسجين للعضلة القلبية، وهي الشرايين الوحيدة التي تؤدي هذه الوظيفة.

وينتج الاحتشاء ومرض القلب الإقفاري نتيجة لاضطرابات أجزاء من البطين عند تقلصه، بعد انخفاض حادّ بتدفق الدم بالشرايين الإكليلية ومن ثمّ خلل وظيفي بالانقباض والانبساط، حيث يتألف التقلص الانقباضي الطبيعي من تقبض البطين وحركة داخلية نحو الشغاف، يضعف انقباض العضلة مباشرة بعد بداية نقص التروية اعتماداً على حجم المنطقة وشدة نقص التروية، وإذا لم يتم استعادة تدفق الدم تتموت العضلة القلبية المرواة بالشريان المسدود، وبعد فترة حوالي ستة أسابيع تحدث خسارة الأنسجة كلياً فعلياً لتتشكل عوضاً عنها أنسجة ليفية وندبات.

وهكذا احتشاء العضلة القلبية يؤدي لتموت العضلة القلبية الذي ينتج عنه شذوذ دائم بحركة الجدار.

يعدّ مرض القلب الإقفاري النمط الأكثر شيوعاً بأمراض القلب، والذي يعرف أيضاً بالأسماء الآتية:

- Atherosclerosis
- CAD
- Coronary heart disease (CHD)
- Hardening of the arteries
- Heart disease
- Ischemic heart disease
- Narrowing of the arteries

وهي على التوالي:

- التصلب العصيدي.
- الداء الوعائي الإكليلي.
- الداء القلبي الإكليلي.
- قساوة الشرايين.
- مرض القلب.

- داء القلب الإقفاري.
- تضيق الشرايين.

ولأنه يتطور على مدى سنين عديدة فلن تعلم بوجوده حتى تبدأ أعراضه، وكما هو معروف أنه يحدث عند تضرر أو تمرض الشرايين الإكليلية التي تعدّ خطوط الوقود لتزويد القلب بالدم، وأغلب الأحيان يتطور من تراكم ترسبات الدهون، الكوليسترول، الكولاجين، الخلايا الالتهابية ومواد أخرى تتجمع في جُدر الشرايين الإكليلية، وهذا مايسمى بداية (تصلب الشرايين)، ومع الزمن الداء الوعائي الإكليلي (CAD) تتكلس هذه الترسبات وتتصلب لتصبح الشرايين متضيقاً أو مسدودة، ويتقيد بذلك وصول الأوكسجين والمغذيات للقلب، وكنتيجة لهذا يحدث الألم الصدري، الهجمات القلبية، فشل القلب، وبعض المشاكل بتواتر ضربات القلب. كذلك يجب التمييز بين فشل القلب وفشل الدورة الدموية، حيث يكون هناك خلل في بعض مكونات الدورة الدموية كالقلب، حجم الدم، تركيز الهيموغلوبين المؤكسج في الدم الشرياني - هو المسؤول عن عدم كفاية النتاج القلبي.

ومن ثم فإن المصطلحات الخاصة بفشل عضلة القلب وفشل القلب وفشل الدورة الدموية ليست مترادفة، ولكنها تشير إلى كيانات شاملة تدريجياً [9,8].

2-8-1 أنواع مرض القلب الإقفاري:

مرض القلب الإقفاري المتقدم: يكون المرضى بحالة قلبية متردية وبخطورة تصل لفشل القلب وبضربات قلب غير منتظمة، يُجرى تدخل جراحي كقثطرة مع زرع شبكات، وعلى الرغم من ذلك مع علاج مثالي يبقى المرضى يعانون من ألم صدري.

تضيق التفرعات وانسدادها: تنفرع الشرايين لأوعية والتفرع الأول بشكل Y، ومن المرجح حدوث تراكم دهني بهذا الموقع، والتضيق بهذا الموقع يدعى انسداد التفرع.

الاحتشاء القلبي (الهجمة القلبية): الاحتشاء يعني موت الأنسجة أو العضلة نتيجة قلة تزويد الدم، والهجمة تحدث لمنطقة بالعضلة القلبية مسببة موت هذه المنطقة ومن ثم خطر دائم لعضلة القلب ممكن أن تكون قاتلة.

الإقفار الصامت: النقص المؤقت عادة بتزويد الدم للقلب يسبب ألماً صدرياً، أما الحالات التي لا وجود للألم فتسمى الإقفار الصامت، والإقفار الصامت يزعزع إيقاع القلب كسرعة ضربات القلب التي تبدأ بعمق حجات القلب، الرجفان البطيني المهدد للحياة ومن ثمّ يمكن أن تؤثر في قدرة مضخات القلب والموت المفاجئ [9].

2-8-2 أسباب المرض:

من هم عرضة للخطر؟

- من يمتلك ضغط دم عال، كولسترول عال، سكري.
- المدخنون.
- ذوي السمنة الزائدة.
- من لا يمتلكون أسلوب حياة نشط جداً.
- يتبعون نظاماً غذائياً فقيراً وبدهون عالية.
- لديهم تاريخ عائلي لمرض قلب مبكر (بالنسبة للذكور قبل سن 55 ، والنساء قبل سن 65) [9,8].

2-8-3 ما الأعراض والإشارات؟

الإشارات الدالة على مرض القلب الإقفاري ممكن أن تختلف، فبعض الأشخاص ليس لديهم أعراض على الإطلاق وهو نموذجي إلى حد ما من المراحل الأولى للمرض، لآخرين ألم صدري، ضغط صدري أو حتى هجمة قلبية لتكون العلامة الأولى على انسداد في شرايين القلب، وبعد الألم الصدري أو عدم الشعور بالراحة من الأعراض الأكثر شيوعاً بسبب انخفاض تدفق الدم إلى القلب أي عدم الاكتفاء بالأوكسجين أو الدم الواصل (يعرف أيضاً *angina*) ويوصف بأنه ألم، ضغط، امتلاء في الصدر، نقص بالتنفس الذي بشكل عام يكون ضعيفاً أو غير اعتيادي، وهذا الألم يأتي من النشاط أو العاطفة الشديدة والذي عادة مايهدأ بالراحة، وأغلب النساء لاتمتلك ألماً صدرياً تحدد الأعراض بألم في الرقبة أو الظهر. إن التضيقات الشديدة أو الانسدادات تؤدي لهجمة قلبية تحدث عند انفجار الترسبات في الشريان وتشكل التجلطات لإشفاء الجروح [8].

2-8-4 دلائل التشخيص:

عندما يكون الانسداد بالشريان أقل من 70% هذا يعني أن الشريان الإكليلي غير مسدود وتدفق الدم للعضلة القلبية لا يقل في أثناء الراحة، في هذه الحالة يقلل الخطر بتغيير نمط الحياة والعلاج بالأدوية. لكن إذا كان الانسداد أكبر من 70% في شريان واحد، يعني أن الانسداد شديد، بهذه الحالة تتواجد الأعراض، ويتم العلاج المكثف بالأدوية أو حتى الجراحة [8].

2-8-5 العلاجات التقليدية:

تتضمن حسب الحالة (الأدوية لعلاج الضغط العالي، الكولسيترول المرتفع، والسكر العالي، بعض الأدوية للألم الصدري ترتبط مع النشاطات، الأسبرين كذلك ينصح به، أما الجراحة تتم عند وجود تضيقات شديدة لتخفيف خطر الإصابة بالهجمة القلبية، كالتدخل الجراحي باستخدام شبكة، أو التوسيع بالبالون لفتح الشريان، والقلب المفتوح لإدخال أجزاء من الشرايين أو الأوردة حول الانسداد لتجاوزه تعتمد الجراحة على نسبة التضيق ومكان التضيق بالشرايين أم الأفرع، كمية الشرايين المتأثرة، شدة الأعراض، السن والصحة العامة عوامل الخطر وماذا يفضل المريض) بالإضافة:

- اعتماد نظام غذائي صحي للقلب.
- ممارسة التمارين بانتظام.
- الوصول لوزن صحي للجسم.
- الإقلاع عن التدخين.
- الابتعاد عن الضغط والتوتر.

2-9 الخاتمة:

وبهذا وجدنا التشريح الفيزيولوجي للقلب والأوعية الإكليلية، أماكن توضعها، والعوامل المؤثرة فيها، لكن في حال فشل الأدوية والجراحة بالإضافة للاعتبارات الأخرى سواء بتخفيف الألم أو إعادة القلب للعمل الطبيعي، ما الحل؟ هل هذه جميع العلاجات الممكنة لهذا المرض؟، لتتعرف الأمواج فوق الصوتية، ولنرى إن كان بالإمكان معالجة هذا المرض بهذه التقنية.

الفصل الثالث

الأمواج فوق الصوتية، وتطبيقاتها العلاجية

3-1 مقدمة:

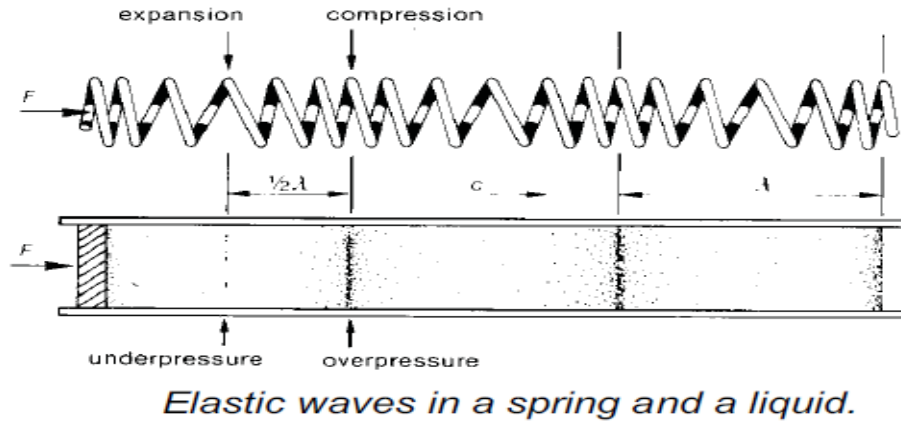
تطبيقات الأمواج فوق الصوتية في الطب لأغراض علاجية لها استخدامات مفيدة كثيرة لتأثيراتها البيولوجية، فالطاقة المنخفضة للأمواج فوق الصوتية ذات تردد 1 ميغا هرتز استخدمت بشكل واسع منذ عام 1950 للعلاج الفيزيائي وبخاصة لحالات التهابات، في عام 1980 أمواج الصدم عالية الضغط والمطال استخدمت ميكانيكياً لعلاج الحصى الكلوي، وتفتيت الحصيات استبدل العمليات الجراحية مباشرة كخيار علاجي، ومازال استخدام الطاقة الصوتية للعلاج مستمر بالتوسع لتشمل علاج الورم الليفي الرحمي، إزالة الساد، قطع الأنسجة الجراحي، التخثرات، التوصيل الدوائي عبر الجلد، شفاء الكسور العظمية..إلخ. ولكن ممكن للتأثيرات الحيوية غير المرغوبة أن تحدث مسببة حروقاً بالعلاجات الحرارية ونزفاً بالعلاجات الميكانيكية كحصى الكلى، وفي جميع هذه التطبيقات العلاجية بتأثيراتها الحيوية فوائد أكيدة، ولكن مجال التأثيرات الخطرة القليل يجب أن يؤخذ بحذر بالحسبان للتأكد من نسبة الفائدة للخطر بأن تكون مثالية للمريض.

فتطور الأمواج فوق الصوتية لم يقتصر على التصوير التشخيصي، إنما على المجال العلاجي للأمواج حيث إنَّ الطاقة المعطاة للنسيج تحرض تأثيرات بيولوجية مختلفة، ويعود تاريخ الاستخدامات الطبية للأمواج في العلاج منذ عام 1930 [10].

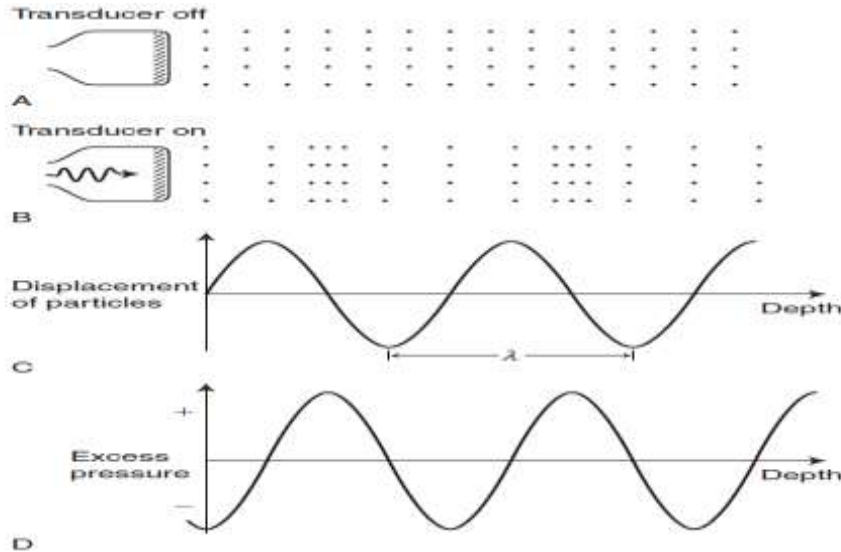
3-2 طبيعة الأمواج فوق الصوتية:

تعني الأمواج فوق الصوتية الترددات العالية للصوت، تسافر موجات الصوت عبر الوسط (المرن) لتسبب الانزياح الموضعي للجزيئات، ولكن ليس هناك تحرك بصورة شاملة للوسط، بعكس الضوء لا يستطيع الصوت الانتشار في الخلاء فالموجات الصوتية تحتاج لوسط داعم كما في الشكل (3-1).
فمثلاً هَبْ أن قطعة من سلسلة أُحْكِمْتُ من نهايتها، باهتزاز بسيط لإحدى النهايات سيسافر الاهتزاز عبر كامل السلسلة ومن ثم نقل للطاقة من نهاية السلسلة للنهية الأخرى.

الأمواج فوق الصوتية هي موجات طولية، حيث إنّ انزياح الجزيئات في الوسط يكون باتجاه انتشار الموجة نفسه، الشكل (2-3) A: يظهر وسط مع توزع الجزيئات خلاله، B: سيتغير وضع الجزيئات في الوسط في أثناء عبور الموجة الصوتية مسبباً انزياحاً دورياً لتلك الجزيئات، C: حجم أو مطال الانزياحات كذلك D: حركة الجزيئات في الوسط عند زيادة ونقصان الضغط المولد [12,11].



الشكل (2-3) توليد الأمواج وانتشارها بنباض وسائل [11].



الشكل (2-3) تأثير الأمواج في جزيئات الوسط A: يظهر وسط مع توزع الجزيئات خلاله، B: سيتغير وضع الجزيئات في الوسط في أثناء عبور الموجة الصوتية مسبباً انزياحاً دورياً لتلك الجزيئات، C: حجم أو مطال الانزياحات كذلك D: حركة الجزيئات في الوسط عند زيادة ونقصان الضغط المولد [12].

3-2-1 طول الموجة، والتردد:

توصف الأمواج فوق الصوتية عادة بترددتها الذي يتعلق بطول الموجة المنتجة. طول موجة الموجة الصوتية هي المسافة بين النقط المتتالية، حيث حجم الانزياح واتجاهه متطابق مع اتجاه اهتزاز الجزيئات، يرمز لطول الموجة ب λ كما في الشكل (3-2)، والزمن المطلوب لتحرك موجة خلال الوسط بطول موجة واحدة يرمز له ب τ ، والتردد f هو عدد دورات الانزياحات العابرة لنقطة في الوسط خلال ثانية، ويعطى بالمعادلة (3-1) الآتية:

$$f = \frac{1}{\tau} \quad (3-1)$$

واحدة التردد الهرتز (Hz) ومع هرتز واحد يجري اكتمال دورة واحدة بالثانية. مجال الصوت المسموع من 20 هرتز إلى 20 كيلو هرتز (صوتية) وما فوق 20 كيلو هرتز (فوق صوتية)، حيث أجهزة التصوير بالأمواج فوق الصوتية النموذجية بين 2 ميغا هرتز إلى 15 ميغا هرتز، أجهزة العلاج الفوق صوتية عادة بين 0.7-3 ميغا هرتز، والأجهزة المصنعة للتشخيص والمعالجة تشمل ترددات 5 كيلو هرتز-10 ميغا هرتز.

كما يمكن جمع العلاج مع التيارات الكهربائية، حيث يمكن العثور بسهولة على المناطق الحساسة بالأنسجة بهذه الطريقة.

المعالجة بالأمواج فوق الصوتية هي علاج طبي من خلال الاهتزازات الميكانيكية بتردد مافوق 20 كيلو هرتز [12,11].

3-2-2 سرعة الأمواج فوق الصوتية:

ينتشر الصوت في الأوساط المختلفة بسرعات مختلفة مثلاً فالصوت ينتشر في الهواء أسرع في الماء منه يرمز لسرعة الموجة الصوتية ب c وهي اضطراب المسافة المنتشرة خلال زمن معين، حيث إنها ثابتة في أوساط معينة، يمكن إيجاد السرعة بترددات مختلفة وطول موجة من المعادلة (3-2)، والممانعة من كثافة المادة وسرعة الانتشار.

$$c = f \cdot \lambda \quad (3-2)$$

حيث إنّ سرعة الصوت تعتمد على كثافة وانضغاطية المادة، فكلما كانت المادة أكثر كثافة وانضغاطية كانت أقل ناقلية لنشر الصوت أي تبطئ الموجة المسافرة خلالها، وسرعة الصوت مختلفة للأنسجة المختلفة في الجسم، فسرعة الموجة ضرورية لتحديد عمق انتشار موجة الصوت، يبين الجدول (3-1) سرعة الصوت لبعض الأوساط.

الجدول (3-1) سرعة أمواج فوق الصوت ببعض الأوساط، كثافة الوسط والطول الموجي عند ترددين [11].

الوسط/Medium	C(m/s) سر(م/ثا)	الكثافة (كغ/م ³)	1 M Hz طول الموجة (مم) عند 1 ميغا هرتز	3 M Hz طول الموجة (مم) عند 3 ميغا هرتز
ألومنيوم/Aluminium	5100	2700	5.10	1.7
دم/Blood	1566	1000	1.57	0.52
أوعية/Blood vessel شعرية	1530	1100	1.53	0.51
نسيج/Bony tissue عظمي	3445	1800	3.44	1.14
جلد/Skin	1519	-	1.51	0.50
غضروف/Cartilage	1665	-	1.75	0.58
هواء/Air at 20°C بدرجة 20	343	1.2	0.34	0.11
Tendon أربطة/tissue	1750	-	1.75	0.58
أنسجة/Muscle tissue عضلية	1552	1000	1.55	0.52
دهون/Fatty tissue	1478	900	1.48	0.49
ماء/Water at 20°C بدرجة 20	1492	1000	1.49	0.50

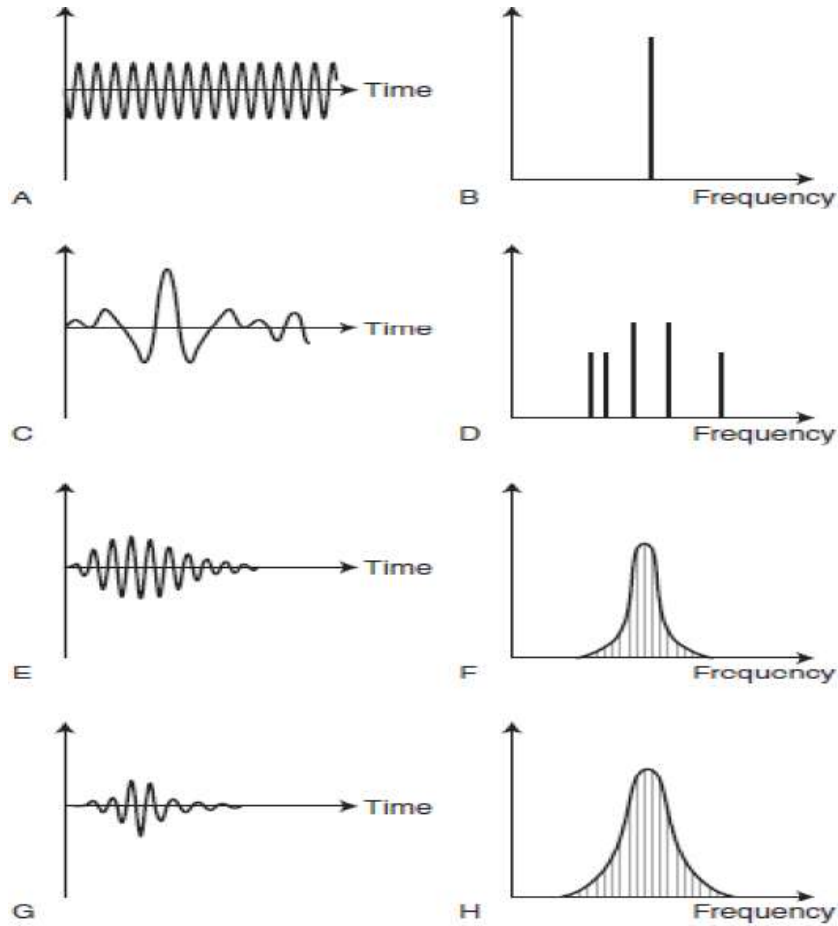
لكن أنظمة الأمواج فوق الصوتية عادة تقترض تقديرياً أن سرعة الصوت واحدة لجميع الأنسجة 1540 م/ثا، وهذا ممكن أن يفقد لأخطاء صغيرة في المسافة المنتشرة المقدرة بسبب تغيرات سرعة الصوت في الأنسجة المختلفة.

3-3 توليد الأمواج فوق الصوتية:

إن المبدل ببساطة هو ذلك الجهاز الذي يبذل الطاقة من شكل لآخر، في حالة مبدل الأمواج فوق الصوتية فهذا التحويل يكون من الطاقة الكهربائية للاهتزازات الميكانيكية، التأثير البيزوالكترية هو الطريقة التي تولدها أغلب الأمواج فوق الصوتية الطبية، حيث إنّ مواد البيزوالكترية ستهتز بشكل ميكانيكي عندما يتغير الجهد المطبق عليها، فتطبيق جهد على الكريستالة (كوارتز-تيتانات زوركونيوم ورسا-تيتانات باريوم) يسبب

إعادة تشكيل للكريستالة سواء بالانضغاط أو الامتداد اعتماداً على قطبية الجهد، حيث إنّ هذا التأثير موجود بجسم الإنسان (الكولاجين-الأنسجة العظمية-البروتينات) [12,11].

لنرى بشكل مختصر هذه الأمواج في التصوير لنفهم الإشارة بشكل أوضح، فأنظمة دوبلر البسيطة تعمل بجهد إثارة ذي تردد أحادي مستمر، ولكن جميع أنظمة التصوير وأنظمة دوبلر النبضية تستخدم إشارات إثارة نبضية، فإذا كانت الأمواج فوق الصوتية تنقل بشكل مستمر عبر طريق جزئي فالطاقة ستنعكس عائدة بشكل مستمر من أية حدود وجدت في طريق الحزمة، وسوف لن يكون بالإمكان توقع من أين جاءت هذه الأمواج، لكن عندما تكون الأمواج فوق الصوتية المنقولة نبضية من الممكن توقع المسافة للسطح العاكس من المبدل إذا كان الزمن بين الإرسال والاستقبال للنبضة مقاساً τ والسرعة للأمواج معروفة.



الشكل (3-3) أربع إشارات مختلفة (المطال مع الزمن) A,C,E,G، والطيف الترددي المتعلق بها (الطاقة مع التردد) B,D,F,H [12].

الشكل (3-3) يظهر أربع إشارات مختلفة (المطال مع الزمن)، والطيف الترددي المتعلق بها (الطاقة مع التردد)، A,B إشارة ترددية مستمرة، C,D الإشارة في الشكل السابق تحوي على مجال أوسع من الترددات داخل النبضة، E,F نبضية طويلة، G,H نبضية قصيرة [12].

4-3 تفاعل الأمواج فوق الصوتية مع السطوح:

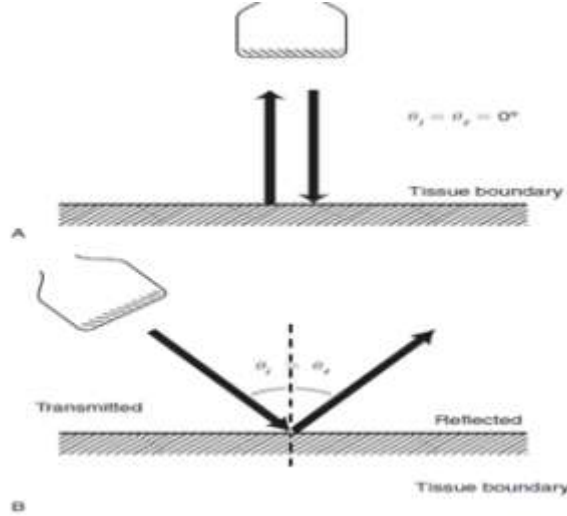
كيف تتفاعل طاقة الأمواج مع الأنسجة المارة عبرها؟ وكيف تنتقل عبر الأنسجة؟

عندما تقابل الأمواج فوق الصوتية كمية كبيرة من وسيط ناعم بين وسطين مختلفين بعض من الطاقة سينعكس عائداً وهو ما يعرف بانعكاس بريقي، النسب المتعلقة بالطاقة المنعكسة والإرسال تعتمد على تغير الممانعة الصوتية بين مادتين، الممانعة الصوتية لوسط: هي الممانعة التي تقدمها المادة ضد موجة الصوت المسافرة خلالها، وتعتمد على الكثافة وقابلية الانضغاط للوسط، فالتغير الأعظم للممانعة الصوتية تدل على انعكاس نسبة أعظم من الأمواج ومن ثمّ طاقة منقولة أقل، لذلك يتم أيضاً استخدام الجيل لتعبئة الفراغات الصغيرة الهوائية بين المبدل والجلد حيث يدخل بتركيب الجيل الماء، زيوت متعددة، كريومات، وجيل وبشكل نموذجي يجب أن يكون الجيل سائلاً لتعبئة جميع الفراغات، ويجب أن يسمح لانتقال الأمواج بامتصاص وتخادم واضطراب أقل قبل وصولها لمنطقة المعالجة، فمثلاً الاختلاف كبير في الممانعة الصوتية للأنسجة الطرية والعظام أو الأنسجة الطرية والهواء وكل من الوسيطين سينتج انعكاسات كبيرة يوضح الجدول (3-2) قيم الانعكاسات.

الجدول (3-2) قيم الانعكاسات للأمواج عند الحدود لبعض الأوساط [11].

Aluminium-Air/المنيوم-هواء	100%
Aluminium-Contact Medium/المنيوم-جيل	60%
Treatment Head-Contact Medium/رأس المعالجة-جيل	-
Contact Medium-Skin/جيل-جلد	0.1%
Skin-Fatty Tissue/جلد-دهون	0.9%
Water-Fatty Tissue/ماء-دهون	0.2%
Fatty Tissue-Muscle Tissue/دهون-عضلات	0.8%
Muscle Tissue-Bone/عضلات-عظام	34.5%
Skin-Air/جلد-هواء	100%

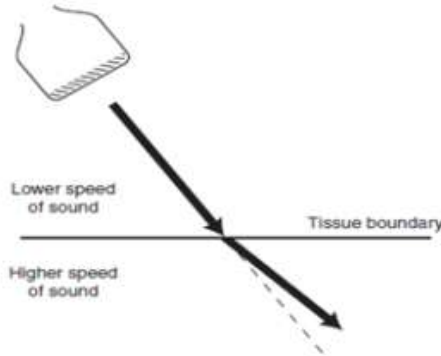
يظهر الشكل (3-4) A انعكاس الأمواج، فإذا كان وضع المبدل عمودياً ستتبعكس الأمواج بطريق الإرسال نفسه للمبدل، لكن إذا اعترضت الحزمة الوسط بزاوية أقل من 90° الحزمة ستتبعكس بطريق مختلف، حيث زاوية اصطدام الحزمة مساوية لزاوية الانعكاس.



الشكل (3-4) A:انعكاس وB:انكسار الموجة، عند حدود أوساط مختلفة [12].

والشكل (3-4) B يظهر انكسار الموجة.

والشكل (3-5) يظهر انحراف الأمواج، وعندما تكون الحزمة المرسله للوسيط بين وسطين ينقلان الصوت بسرعات مختلفة والحزمة ليست عمودية على الوسيط فسينحرف مسار الحزمة.



الشكل (3-5) انحراف الموجة عند حدود أوساط مختلفة [12].

يحدث الانعكاس البريقي المهم بالتطبيق التشخيصي بكثرة عند الحدود الناعمة، الإشارات الرئيسة تعود من النسيج المطبق عليه الأمواج، وتكون مبعثرة من الأسطح الخشنة والمواد الصغيرة في النسيج، فعندما تتفاعل

الموجات مع الأسطح الخشنة تتبعثر في كافة الاتجاهات أكثر من المنعكسة العائدة باتجاه واحد، يحدث التبعثر عندما تكون المواد الصغيرة مشابهة بالحجم أو أصغر من طول الموجة وهي تقلل من الموجة العائدة في طريق الحزمة الأصلية، كمية الطاقة الضائعة من الحزمة المبعثرة تعتمد بشكل كبير على التردد (تناسب مع القوة الرابعة لطاقة التردد) للمواد الأصغر من طول الموجة، كذلك يحدث التبعثر نتيجة الانعكاس والتباعد بالحقل البعيد [12].

بينما لوصول جزء من كثافة الأمواج العلاجية عند عمق معين يجب أن تحسب نسبة الطاقة الممتصة بالأنسجة عند الطبقات السطحية، فانخفاض مستويات الطاقة بالأنسجة النموذجية يكون كالاتي 50% من الطاقة تصل ل 2 سم عند تردد 3 ميغا هرتز و 25% ل 4 سم أما عند تردد 1 ميغا هرتز فتصل 50% من الطاقة ل 4 سم و 25% ل 8 سم .

بما أن اختراق الأمواج ليس نفسه لكل نوع من الأنسجة فبعض الأنسجة تكون قادرة على امتصاص الأمواج أكثر من غيرها، فالأنسجة ذات محتوى البروتين العالي والماء القليل تمتص الطاقة بشكل أكبر من الأنسجة ذات محتوى ماء كثير وبروتين أقل [13].

3-4-1 خسارة طاقة الأمواج في الأنسجة:

التخامد هو خسارة الطاقة من حزمة الأمواج فوق الصوتية بعبورها النسيج، أكثر طاقة الأمواج تتخامد من قبل الأنسجة ومن ثمّ طاقة قليلة سيسمح لها بالعودة للمبدل أو الاختراق أعمق، يحدث التخامد بعمليات متعددة مختلفة، يتضمن الامتصاص، الانعكاس، التبعثر وانحراف الحزمة، الامتصاص يسبب تحول الطاقة الصوتية لحرارة ضمن النسيج العابر لها، معدل الامتصاص يختلف باختلاف أنواع الأنسجة يظهر الجدول (3-3) معامل الامتصاص لبعض الأنسجة المختلفة، كما أن طاقة الأمواج ممكن أن تذهب بالتبعثر أو الانعكاس من الحدود الكبيرة غير العمودية للحزمة [12].

إن تطبيق العلاج بالأمواج للأنسجة بسعة امتصاص منخفضة للطاقة غير محبب ليكون فعالاً من تطبيق الطاقة لمواد أكثر امتصاصية، التأثيرات الفيزيولوجية للأمواج مثالية للموجات القصيرة النبضية [11]. يعطى معامل الامتصاص بالمعادلة (3-3):

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-ax} \quad (3-3)$$

$I(x)$ = the intensity in W/cm^2 at a depth x in cm

كثافة الأمواج معطاة (واط/سم²) عند العمق x (سم).

I_0 = the intensity in W/cm^2 at the surface of the body, but **IN** the body tissue

الكثافة البدائية (واط/سم²) عند سطح الجسم ولكن في نسيج الجسم.

a = absorption coefficient (cm^{-1}) [9].

معامل الامتصاص (1/سم).

الجدول (3-3) معامل الامتصاص لبعض الأوساط عند ترددين [11].

الوسط/Medium	a 1 ميغا هرتز	a 3 ميغا هرتز
الدم/Blood	0.028	0.084
أوعية الدم الشعرية/Blood vessel	0.4	1.2
نسيج عظمي/Bony tissue	3.22	-
جلد/Skin	0.62	1.86
غضروف/Cartilage	1.16	3.48
هواء بدرجة حرارة 20°C/Air at 20°C	2.76	8.28
أربطة/Tendon tissue	1.12	3.36
الأمواج عمودية على النسيج/Muscle tissue	0.76	2.28
دهون/Fatty tissue	0.14	0.42
ماء بدرجة حرارة 20°C/Water at 20°C	0.0006	0.0018
نسيج عصبي/Nerve Tissue	0.2	0.6

وهناك ما يسمى عمق نصف القيمة أي المسافة باتجاه الحزمة الصوتية، حيث في وسط محدد تنقص الكثافة للنصف.

يعطى بالعلاقة التقريبية: $0.69/a$ [11].

كذلك يعطى عمق الاختراق (أعظم عمق للتأثير العلاجي ممكن أن يتوقع حيث 10% من كثافة الأمواج تبقى) بالعلاقة التقريبية: $2.3/a$ [11].

الجدول (3-4) عمق اختراق الأمواج لبعض الأوساط عند ترددين [11].

الوسط/Medium	1 ميغا هرتز	3 ميغا هرتز
نسيج عظمي/Bone tissue	7 mm	-
جلد/Skin	37 mm	12 mm
غضروف/Cartilage	20 mm	7 mm
هواء/Air	8 mm	3 mm
أربطة/Tendon tissue	21 mm	7 mm
عضلات/Muscle tissue	30 mm الأمواج عمودية على النسيج	10 mm الأمواج عمودية على النسيج
دهون/Fatty tissue	165 mm	55 mm
ماء بدرجة 20°C/Water at 20°C	38330 mm	12770 mm

3-5 الأمواج فوق الصوتية النبضية العلاجية:

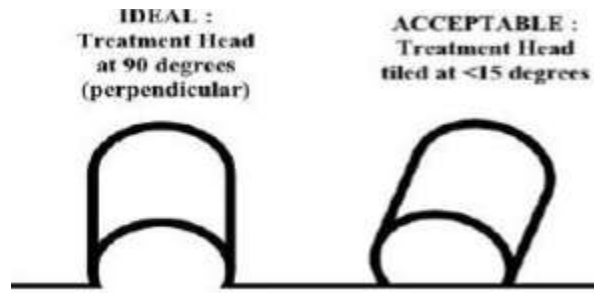
أغلب الأجهزة توفر سهولة الخرج النبضي لجميع الاستطابات العيادية، وهو نمط مفضل للعلاج فتعرف فترة النبض بالزمن الذي يكون فيه الجهاز فعالاً وهي غالباً 2 ميلي ثا مع فترات غير فعالة مختلفة النسب النبضية النموذجية.

التردد النبضي (تردد التكرار):

نقطة التشويش بين المعالجين هو التردد الذي بسهولة يوفر ببعض الأجهزة فنسبة النبض (الفترة الفعالة) مثلاً عند (20%) 1:4 لكن هناك خيار لتغيير التردد النبضي، ويمكن الحصول عليه من خلال تغيير فترة النبضات، نموذجياً هي 2 ميلي ثا أي أن الجهاز فعال بهذه الفترة ومتوقف ل 8 ميلي ثا ومن ثم لإكمال دورة الزمن الكلي 10 ميلي ثا (تشغيل:إيقاف) وبذلك تتم 100 دورة بالثانية، أي أن الجهاز يعطي الأمواج عند 100 هرتز. الآن لنفترض أن زمن النبضة زاد ل 4 ميلي ثا لنسبة 1:4 فيكون الجهاز فعالاً ل 4 ميلي ثا ومتوقف ل 16 ميلي ثا والزمن الكلي 20 ميلي ثا لإكمال دورة ومن ثم تتم 50 دورة بالثانية، أي أن الجهاز يعطي الأمواج عند 50 هرتز وليس هناك أدلة بأفضلية زمن نبض على آخر ولكن 2 ميلي ثا يعد طبيعياً [13].

3-6 الزاوية الحرجة لتطبيق الأمواج فوق الصوتية:

بالإضافة للانعكاس الذي يحدث على الحدود نتيجة اختلاف الممانعة سيكون هناك بعض الانكسارات إذا لم تضرب الموجة سطح الحدود بـ 90° ، بشكل أساسي اتجاه الحزمة في الوسط الثاني لن يكون بنفس الطريق في الوسط الأصلي سيكون بزاوية، فالزاوية الحرجة للأمواج عند سطح الجلد 15° ، فإذا كان رأس المعالجة بزاوية 15° أو أكثر بتوضعه على سطح الجلد فأغلبية الحزمة ستسافر عبر الأنسجة الجلدية (موازية لسطح الجلد) أكثر من اختراقها للأنسجة المتوقعة كما هو موضح بالشكل (3-6) [13].



الشكل (3-6) الزاوية المثالية 90° والمقبولة لتطبيق المبدل [13].

3-7 أنواع الأمواج فوق الصوتية، وتطبيقاتها:

الأسس الفيزيائية الحيوية لتطبيقات العلاج بالأمواج فوق الصوتية:

طاقة الأمواج فوق الصوتية ممكن أن تكون طريقة فعالة لتوليد التأثيرات البيولوجية، فالتأثيرات الحيوية تحفز لأغراض علاجية وتمنع في التطبيقات التشخيصية، للعلاج: الأمواج تحرض تأثيرات ليس فقط من خلال التسخين، أيضاً من خلال الآليات غير الحرارية متضمنة التحفيز ونشاط الجسد الغازي والضغط الميكانيكي..إلخ.

فيزيادة مطال الضغط، التردد، وطول الانتشار، الأمواج ممكن أن تنتشوه مسببة تقطعاً أو اهتزازاً لشكل الموجة، وفيما يتعلق بالتأثيرات الحيوية زيادة التردد، التشوه الصوتي غير الخطي، أو طول النبضة ممكن أن يزيد التسخين ويحسن بعض الآليات غير الحرارية، الأجهزة العلاجية الصوتية ممكن أن تستخدم نبضات

قصيرة أو مستمرة لإيصال طاقة صوتية فعالة للأنسجة، بعض الأجهزة تعمل بمطال عال، ولذلك تميل لإنتاج موجات صادمة أو مشوهة.

تحريض الأمواج للحرارة يكون نتيجة لامتناس الطاقة الصوتية في الأنسجة البيولوجية، التطبيقات العلاجية للأمواج في التسخين إما تستخدم فترات طويلة مع حزمة غير مركزة أو تستخدم كثافة كبيرة مركزة، استخدامات التسخين غير المركز لعلاج الأنسجة ذات الامتناسية العالية كالعظام والأربطة ممكن أن تنتج شفاء محسناً دون جراحة، كذلك يمكن استخدام التسخين بحزمة مركزة لتخثير النسيج لغرض الاستئصال، فالتسخين بالأمواج ممكن أن يقود لتغيرات نسيجية لا رجعة فيها تتبع بعلاقة عكسية لدرجة الحرارة والزمن، بالاعتماد على التدرجات الحرارية تأثيرات التعرض للأمواج ممكن أن تتضمن تسخيناً متوسطاً، نخر التجلط، تبخير الأنسجة أو جميع ماسبق.

التجويف الصوتي ونشاط الجسد الغازي مترابطان بآليات تعتمد مطال ضغط نادر للموجة الصوتية، فالموجة المرسله للنسيج ممكن أن تمتلك مطالات ضغطية نادرة تصل لعدة ميغاباسكسل [10].

3-7-1 التطبيقات العلاجية للأمواج فوق صوتية المعتمدة على الحرارة:

يستخدم النمط الحراري في التسخين، حيث تكون الأمواج أكثر فاعلية للأنسجة الكولاجينية الكثيفة، وللحصول على هذا التأثير تستخدم كثافة عالية بطاقة أكبر من 0.5 واط/سم² و بنمط مستمر.

3-7-1-1 العلاج الفيزيائي:

الحزم غير المركزة للأمواج فوق الصوتية في العلاج الفيزيائي كانت التطبيق الأول العيادي في عام 1950 التي أشير إليها ببساطة بالعلاج فوق صوتي، هذه الطريقة الآن نموذجياً تعتمد على توليد إشارة كهربائية ومبدل محمول، فالمبدل يطبق مع الجيل ويحرك بحركة دائرية على منطقة الإصابة أو الألم لعلاج حالات التهابات الكتف أو الأوتار بهدف تدفئة الوتر، العضلة وأنسجة أخرى لتحسين تدفق الدم وتسريع الشفاء الجيل المستخدم ممكن أن يحتوي عدة مركبات مختلفة لتحسين العلاج، وهو يعزز نقل الأمواج عبر الجلد، ولكن مستوى الفائدة للمريض من العلاج الفيزيائي بالأمواج فوق الصوتية يبقى غير مؤكد والخطورة من الأذية كالحروق تظهر بشكل بسيط، عند التطبيق الصحيح وبشكل عام أظهرت الأمواج فوق الصوتية أحدث مستوى فعالية و فائدة للمريض بأقل ضرر [10].

2-1-7-3 ارتفاع درجة الحرارة:

الجهد الأساسي بين عامي 1990-1980 سعى لتطوير وسائل للتسخين فوق صوتي المتعلق بكمية كبيرة من الأنسجة لغرض العلاج السرطاني، هذه الطريقة تتضمن تسخيناً بشكل متجانس للورم لدرجة حرارة 42° درجة سيلسيوس مدة ساعة، والتي أظهرت فعالية بإنقاص نمو الورم باستخدام عدة عناصر للتطبيق عند تردد 1-3.4 ميغا هرتز. الأبحاث تقترح أن ارتفاع درجة الحرارة ممكن أن يكون له فوائد لعلاج التوصيل الدوائي باستخدام الجزيئات النانوية، ولكن طريقة ارتفاع درجة الحرارة بشكل متوسط لم تقدم لاستخدام عيادي واسع، والجهود في العلاج السرطاني بالحرارة العالية انتقل للأمواج فوق الصوتية المركزة عالية الكثافة [10].

3-1-7-3 الأمواج فوق الصوتية المركزة عالية الكثافة:

درست الأمواج فوق الصوتية المركزة عالية الكثافة في بداية الأمر عيادياً لاستئصال أنسجة الدماغ التالفة حرارياً لداء باركنسون، بهذا النظام للأمواج فوق الصوتية عالية الكثافة مولد الإشارة مرتبط بمبدل مركز ينتج كثافات عالية تصل لأكثر من 1 كيلو واط/سم² بتردد 0.5-7 ميغا هرتز عند نقطة محرقية (البؤرة)، الآفة المنتجة في النسيج عادة تكون بضعة ميليمترات بالطول والقطر، لذلك موقع البؤرة يجب أن يحدد بحذر وينتقل لإذابة كمية كبير من النسيج، هذه الطريقة أثبتت لعلاج الأورام الليفية الرحمية والاجتثاث القلبي والزرع العيني..إلخ.

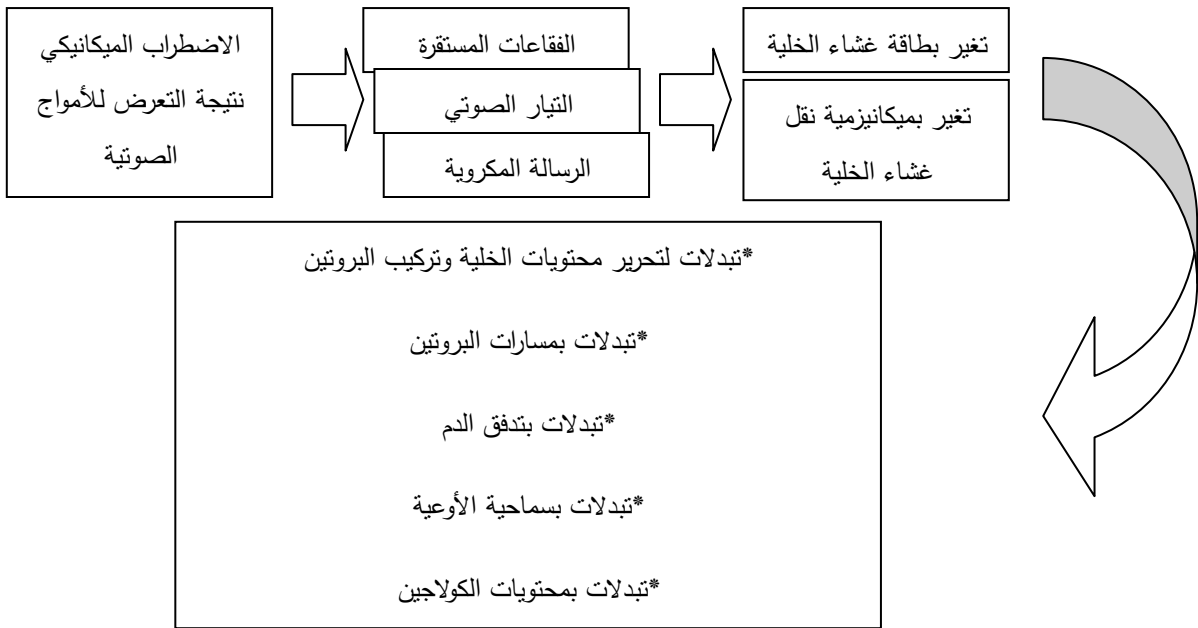
مفتاح عنصر التطبيق العلاجي بطاقة الأمواج فوق الصوتية قدرتها بتركيز الطاقة لعدة ميليمترات لسنتيمترات بعيداً عن المبدل، لذلك من المهم جداً التحديد بدقة مكان العلاج بنظام الأمواج فوق الصوتية، وأكثر من ذلك فالأنسجة تتغير في منطقة العلاج يجب مراقبتها بشكل ملائم للتأكد من أن العلاج الملائم قد أنجز المهمة، الطرق المستخدمة لمراقبة العلاج الرنين المغناطيسي والتصوير بالأمواج فوق الصوتية، فالرنين يقيس تغيرات الحرارة خلال العلاج مع المنطقة المعالجة بالأمواج فوق الصوتية العلاجية، وهناك أنظمة عيادية متخصصة تمتلك مجموعة أنظمة متكاملة كالعلاج بالأمواج فوق الصوتية المتكامل مع جهاز الرنين والذي يستخدم بعلاج الأورام الليفية الرحمية وسرطان البروستات، كذلك أجهزة الأمواج فوق الصوتية تؤمن أنظمة مدمجة كالتصوير والعلاج بنظام واحد مضغوط، حيث إن صورة الأمواج تعطي تغيرات النسيج المعالج من خلال سرعة الأمواج، تخامدها، صلابتها، تغيرات محتوى البخار و اكتشاف الغليان في المنطقة الهدف.

دائماً يجب الأخذ بالحسبان أن تطبيقات الأمواج فوق الصوتية المركزة عالية الكثافة تعطي الطاقة الأساسية لمنطقة محددة والضرر النسيجي غير المرغوب كالحروق والألم، كما يمكن أن تسبب تشنجات وعائياً ونزيفاً تحت ظروف توليد التجويف بالنسيج [10].

3-7-2 التطبيقات العلاجية للأمواج فوق صوتية غير المعتمدة على الآليات

الحرارية:

توصف بشكل بدائي على أنها تشكيلة من التجاويف والتيارات الصوتية، فالتجاويف ببساطة تتعلق بتشكيل الفراغات المليئة بالغاز داخل الأنسجة وسوائل الجسم، وهناك نوعان من التجاويف مستقرة وغير مستقرة والتي تمتلك تأثيرات مختلفة، فالتجاويف المستقرة تظهر لتعطي جرعات علاجية من الأمواج، وهذا التشكيل والنمو بفقايعات الغاز يتكون من تراكم الغاز المنحل بالوسط، حيث تحتاج ألف دورة للوصول لحجمها الأعظمي، فالتجويف يحسن ظاهرة التيار الصوتي لإعطاء حالات مفيدة، أما التجاويف غير المستقرة هي تشكيل فقاعات عند ضغط منخفض لدورة الأمواج فوق الصوتية، وهذه التجاويف تنهار بسرعة محررة كمية كبيرة من الطاقة والتي تضر بحياة النسيج، ومن الممكن تلافيتها بفيزيائي ماهر، وهناك بعض التطبيقات توظف هذا التأثير بتعمد كالأمواج فوق الصوتية عالية الكثافة المركزة، التيار الصوتي يوصف بأنه مقياس صغير لمدى دوران السوائل القريبة من الاهتزاز كأغشية الخلايا وسطوح تجاويف فقاعات الغازات المستقرة (أو بتعبير آخر التدفق المستمر في مائع مساق لامتصاص ذبذبات صوتية عالية السعة، كذلك القوى الفيزيائية للموجات الصوتية التي توفر قوة دافعة قادرة على تشريد الأيونات والجزيئات الصغيرة) هذه الظاهرة تعرف بمعدل الانتشار و سماحية الأغشية، فسماحية أيونات الصوديوم تتبدل بنتيجة التغيرات بجهد الغشاء ونقل أيونات الكالسيوم تقود لتغيير بآليات التحكم الأنزيمي كما هو موضح بالشكل (3-7) [13].



الشكل (3-7) آلية تأثير الأمواج في الخلايا [13].

هنالك مايسمى الرسالة المكروية، وهي تأثير ميكانيكي يظهر ليوصف بشكل أقل أهمية في هذه السنوات الحديثة، الجوهر أن موجة الصوت المسافرة عبر الوسط يتوجب عليها أن تسبب اهتزازاً للجزيئات، وأن تحسن تبادل سوائل النسيج وتؤثر بحركة النسيج [13].

علاقة تطبيق الأمواج فوق الصوتية بإصلاح الأنسجة:

إن عملية إصلاح النسيج هو سلسلة معقدة متتالية، الكيمياء تتوسط الأحداث التي تقود لإنتاج أنسجة نديبة تشكل مادة فعالة لاستعادة استمرارية الأنسجة التالفة، فللأمواج خلال طور الالتهاب أثر تحفيزي على الخلايا الطولانية، الصفائح والخلايا البيضاء مع دور بلعمة وبلعميات، فمثلاً تطبيق الأمواج فوق الصوتية يحفز زوال حبيبات الخلايا الطولانية مسببة تحرير الأراكيدونيك أسيد والذي هو مؤشر لمسارات البروستاغلاندين والتي تعمل كموسطات التهابية، فالاستجابة الالتهابية أساسية لإصلاح الأنسجة بفعالية، والأكثر فعالية إمكانية إتمام العملية للطور التالي وهو التكاثف، فالدراسات التي حاولت توضيح التأثير المضاد للالتهاب للأمواج فوق صوتية فشلت، ومن ثم فالأمواج غير فعالة ضد الالتهاب، ولكنها فعالة بدعم طبيعة الأحداث

الالتهابية (موالية للالتهاب) ولها قيمة فعالة بدعم أحداث الإصلاح بشكل عام، والإفادة الأخرى أن أحداث الالتهابات الكيميائية المتوسطة مرتبطة بطور التكاثر ومن ثمّ دعم طور الالتهاب يؤدي لدعم طور التكاثر. ويؤدي توظيف جرعة ملائمة للعلاج مع بارامترات علاجية مثالية (الكثافة - النبض والزمن) بالحصول على فعالية بطور الإصلاح المبكر ومن ثمّ تأثيرات داعمة لمتتالية الشفاء، وللأنسجة التي توجد بتفاعل التهابي وليس هناك إصلاح ممكن الحصول عليه فتكون فائدة الأمواج دعم الحل الطبيعي لأحداث الالتهاب ومن ثمّ حل المشكلة، وهذا سيكون حتماً أكثر فعالية ممكن أن تحصل عليها الأنسجة الممتصة للأمواج بشكل تقضيلى.

التكاثر: خلال هذا الطور (إنتاج الندب) الأمواج لها تأثيرات محفزة أيضاً (التنظيم الخلوي) ومن ثمّ الأهداف النشطة الأساسية هي الألياف، الخلايا الباطنية والأرومة الليفية العضلية هذه هي جميع الخلايا النشطة طبيعياً عند إنتاج الندوب والأمواج بذلك موالية للتكاثر بالطريقة نفسها الموالية للالتهاب كما وجدنا سابقاً فهي لا تغير بطور التكاثر الطبيعي، لكن تكثر فعالية إنتاج الأنسجة الندية لحدودها الأعظمية بشكل مثالي، والدراسات أوضحت أن الجرعات المنخفضة النبضية تزيد تركيب البروتين والكولاجين والألياف، والأبحاث الحديثة عرفت عوامل نمو هائلة تتعلق بإصلاح الأنسجة بالأمواج فوق الصوتية وأيضاً بالصدمة الحرارية للبروتين.

إعادة التصميم: خلال إعادة التصميم للإصلاح، القليل من الندبات التي أنتجت بالمراحل البدائية اشتقت لتقوم بخصائص وظيفية للأنسجة التي في طور الإصلاح، فمثلاً الندبة بالرباط لن تصبح رباطاً ولكن ستسلك سلوكاً مشابهاً للأنسجة الأربطة، وهذا يحصل بعدد من العمليات المتعلقة بشكل رئيس لأصل الألياف الكولاجينية في تطوير الندبة وأيضاً للتغير في نوع الكولاجين الذي هو غالباً يتغير من النوع الثالث للنوع الأكثر هيمنة الأول، ومن ثمّ زيادة قوة التوتر وتحسين حركة الندوب فالأمواج المطبقة على الأنسجة تحسن السعة الوظيفية للأنسجة الندية وطور إعادة التصميم ليس بفترة قصيرة وإنما ممكن أن تمتد لسنة أو أكثر، وحتى الآن هو عامل جوهري لجودة الإصلاح.

عدت الدراسات أن تطبيق الأمواج خلال الأطوار السابقة ليس بقيم لأنه يغير من تتالي الأحداث الطبيعية، ولكن يملك القدرة على تحفيز وتحسين هذه الأطوار ويزيد من فعاليتها بأطوار الإصلاح.

تطبيق الأمواج يظهر سرعة بالعمليات الحيوية ومن ثم قدرة الأنسجة على الوصول لنقطة النهاية بشكل أسرع، وللحصول على هذه الأهداف بفعالية يتبع للجرعة المعطاة [13].

3-7-2-1 أمواج الصدم لتفتيت الحصى خارج الجسم:

موجة الصدم لتفتيت الحصى تستخدم بشكل واسع الأمواج فوق الصوتية العلاجية التي تعتمد على الآليات غير الحرارية لفعاليتها، فقد قابلت قبولاً سريعاً عندما بدأت عام 1980 ، أجهزة الصدمة الموجية المشابهة للتفتيت أيضاً قبلت وسوقت للمؤشرات العظمية كالتهاب اللقافة الأخرسية والتهاب اللقيمة، كذلك استخدمت لعلاج حصى المرارة ولكن لم ينتشر استخدامها كثيراً.

للعلاج بالموجات الصادمة المنبع يربط مع المريض بوسادة مائية وجيل ناقل والمفتتات المتبقية الأصلية ضمن حمام مائي، الربط مع المريض عامل مهم لفعالية العلاج بالموجات الصادمة، حيث إن نقطة تتأثر بالعلاج فوق صوتي وحوالي 3000 موجة تقدر بمعدل تكرار 2 هرتز لسحق الحصى ومن ثم القطع الأقل من 2 مم تعبر البول بشكل طبيعي.

لتفتيت الحصى عدة تأثيرات مهمة بيولوجية، فهي تسبب ضرراً افتراضياً لجميع المرضى، كسر بجدران الأوعية الدموية، نزف بالأنسجة الخلالية المتصلة، والتي ممكن أن تسبب كدمات لحمية أو تشكل تجمعات دموية كبيرة، التهابات ممكن أن تؤدي لتشكلات ندية وخسارة دائمة بوظيفة الكلى، تسريع ارتفاع ضغط الدم النظامي، زيادة معدل تكرار الحصى مع مقاومة مرض الحصى.

وجدت حلول أدت لنجاح بسيط بتخفيف هذه المخاطر، كاستخدام تردد تكرار 1 هرتز بدلاً من 2 هرتز.. إلخ. بما أن التفتيت وجد كطريقة علاجية مع فعالية عالية المستوى إلا أن بعض المخاطر المهمة تحتاج لإعادة المعالجة [10].

3-7-2-2 التفتيت داخل الجسم:

أيضاً التفتيت الذي جمع مع بروبوات صغيرة جراحية وهو علاج مفضل لأغلب المرضى للحصيات كبيرة الحجم، حيث تصور الحصيات للاستدلال عليها بالأمواج فوق الصوتية الخارجية أو المنظار، البروبات المتينة تستخدم عبر الجلد أما المرنة عن طريق الحالب، البروبات القاسية تستخدم الفعل الهوائي لبضعة هرتزات لتصل 1000 هرتز والفعل فوق صوتي حوالي 25 كيلو هرتز، والبروبات الكهروهيدروليكية تولد

تجاويف ضبابية بالقمة كذلك مخاطر هذه التقنية نزيـف، ثقب بالحالب، صدمة بالجهاز البولي وعدوى نتيجة طبيعة الإجراء الجراحي.

3-2-7-3 أجهزة الكيلوهرتز فوق صوتية:

هذه الأنظمة تعمل بمجال 20-90 كيلو هرتز مشابه للمفاعل الصوتي المستخدم بالأبحاث البيولوجية لفصل خلايا الدم والأنسجة، فهي تستخدم بشكل روتيني بإجراء جراحات عامة ومتقدمة لقطع الأنسجة والتخثرات، كذلك إزالة الأنسجة، هذه الأجهزة تستخدم لإزالة العدسات العينية خلال الجراحة بعمليات الساد، فالبروب يظهر ليقطع ميكانيكياً العدسات، ومن المحتمل مساعدة التجاويف المثارة فوق صوتياً وعندما تتحطم العدسة تشفط بالماص برأس البروب، هذا الإجراء أسس لطب العيون لتخفيف التأثير في العدسة.

التجهيزات فوق صوتية الجراحية التي تعرف بالمشروط الهارموني تمتلك قضيب تيتانيوم مهتز 40-80 كيلو هرتز مع ملقط ثابت بين الأنسجة (الأوعية الدموية) التي تتخثر بسرعة نتيجة الحرارة الاحتكاكية الموضعية كما تستخدم هذه الأجهزة أيضاً بشفط الدهون (العمليات الجراحية لغرض إزالة النسيج الدهني الفائض)، هذه العمليات كذلك ممكن أن تؤدي للنزيف والعدوى [10].

3-7-3 تطبيقات الأمواج فوق الصوتية العلاجية بآليات متعددة:

3-7-3-1 القثطرة المعتمدة على الأمواج فوق الصوتية:

قثاطر الأوعية الدموية تطورت مع مبدلات الأمواج فوق الصوتية ذات مجال بالميجا هرتز المتوسطة بالقمة لتحسين حل الخثرات، القثطار يتوضع بعمق الوريد المتخثر و يوجه إشعاعه للخثرة، بالإضافة فهي تقدم الضخ لأدوية التخثر، فالأمواج فوق الصوتية تسرع نشاط هذه الأدوية ومن ثمّ ضخ جرعات هذه الأدوية، وعدد مرات العلاج ينخفض بشكل ملاحظ.

3-7-3-2 السماحية الجلدية:

لتوصيل الدواء عبر الجلد، طبقة القرنية 10-30 ميكرومتر تشكل حاجزاً لنشر الدواء غير الفعال للجزيئات كبيرة الوزن واحد من تأثير الأمواج فوق الصوتية منخفضة التوتر أقل من 100 كيلو هرتز هي قدرتها على زيادة نفاذية طبقة القرنية التي تعدّ حاجزاً مبدئياً لنشر البروتين، المعالجة تراقب بقياس التوصيل الكهربائي

للجلد، عندما يجتاز الدواء طبقة القرنية تكون الطبقة التالية سهلة العبور، ومن ثمّ يستطيع الدواء الوصول للأوعية الشعرية ليمتص، هذه الطريقة جيدة لتجنب استخدام الإبر، فمثلاً لتوصيل الهيبارين والأنسولين عبر الجلد [10].

3-3-7-3 الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية:

فالأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية تطبيق علاجي لشفاء الكسور العظمية متضمنة حالات عدم الالتحام استخدمت التقنية بتردد 1.5 ميغا هرتز وبطاقة مكانية مؤقتة ذات متوسط كثافة 30 ميلي واط/سم²، وهي في مجال الأمواج التشخيصية والآليات الحيوية الفيزيائية للنشاط العلاجي غير محددة لهذا التطبيق، يتضمن العلاج عدة جلسات ل 20 دقيقة يومياً باستخدام مبدل كبير مسطح لموقع الضرر ومتابعة العلاج لأشهر على الرغم من أن هذه التقنية آمنة، وفعالة، إلا أنها بطيئة، واستخدامها محدود في الغالب لإدارة الكسور غير الملتحمة.

3-8 الخاتمة:

بعد أن تعرفنا على أنواع الأمواج، آلية تحفيزها للأنسجة وجدنا أنها من الممكن أن تكون واعدة لعلاج مرض القلب الإقفاري، وسبباً لتفسير النتائج لاحقاً.

الفصل الرابع

الجزء العملي

4-1 مقدمة:

كما وجدنا بالأبحاث السابقة أثر المعالجة بالأمواج فوق الصوتية في الخلايا سواء داخل أم خارج الجسم، كل ذلك عدّ واعدّاً لازدهار الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية بمجال معالجة مرضى القلب الإقفاري، بذلك وُضِعَتْ معايير لاشتغال واستبعاد المرضى، بروتوكول علاج للمرضى باستخدام الأجهزة المناسبة مع الدراسة المرجعية.

4-2 معايير اختيار الجهاز:

بالنسبة للدراسة المرجعية [1] كانت الطاقة النبضية خلال فترة المعالجة (4-1):

$$(4-1) \quad 0.193 \left[\frac{w}{cm^2} \right] \times 1200[s] \times 1/7000 [s] = 33 \frac{mJs}{cm^2}$$

وبارامترات جهاز sonopuls490 تؤمن بأقل قيمة بارامترات للطاقة النبضية المرجعية نفسها (4-2)

$$(4-2) \quad 0.05 \left[\frac{w}{cm^2} \right] \times S[s] \times 1/100 [s] = 33 \frac{mJs}{cm^2}$$

فيكون الزمن اللازم للمعالجة دقيقة واحدة تقريباً

4-3 شرح مبسط عن الجهاز المستخدم:

Sonopuls490

4-3-1 إمكانات المعالجة والموانع النسبية المحددة: باستخدام النمط المستمر أو

المتناوب عند ترددات 1-3 ميغا هرتز من الممكن حالات التأثير في العظام والمفاصل (التهاب مفاصل روماتيزمي ليس حاد) والوصول لإرخاء عضلي، التأثير في الأعصاب الطرفية (تخفيف الألم)، التأثير في الدوران الدموي (نضح الدم)، التأثير في الأعضاء الداخلية، القرحة والجروح المفتوحة والقدرة على استعادة الأنسجة. أما الموانع النسبية المحددة: حالة مابعد الصفيحة الفقرية، فقدان الإحساس، الأورام، أطراف صناعية داخلية، عواقب مابعد الصدمة، التهاب وريد خثاري، دوالي، التهاب إنتاني، سكري.

يمكن للذاكرة باحتواء عشرة برامج وتفعيل الأكثر استخداماً عند تشغيل الجهاز [14].

4-3-2 في أثناء وضع الجهاز بالعمل:

- لا يوضع بالقرب من مصدر حراري.
 - عدم تعريضه لأشعة الشمس، المطر، صدمات واهتزازات ميكانيكية.
 - لا تستخدم الهواتف اللاسلكية بالقرب من الجهاز.
 - لا يوضع الجهاز بغرفة رطبة.
 - مسافة الأمان متران عن أجهزة الأمواج القصيرة أو المكروية.
 - تردد النبض /الدورة الفعالة:
- تردد النبض مضبط على 100 هرتز، الدورة الفعالة هي متوسط الطاقة الفعالة [14].
- إن الأجهزة الأحدث من الجهاز المستخدم بالعلاج للشركة نفسها وفرت آلية تثبيت البروب اعتماداً على مبدأ الشفط لتوليد ضغط سالب بين البروب وجسم المريض ولشراء هذه الخاصية المصنعة مع المبدل بتكلفة لا تقل عن 1400 دولار، لذلك صُمِّمَتْ وحدة تثبيت لبروب المعالجة بالأوتوكاد ثم صناعتها محلياً.

4-4 معايير اشتغال المرضى:

- العمر < 20.
- موافقة المريض.
- تدخل علاجي مسبق (جراحة أو شبكات أو أدوية).
- وجود أعراض سريرية.
- لا يوجد تحسن للأعراض على الدواء.
- يفضل مرضى التدخل الجراحي دون وجود شبكة.

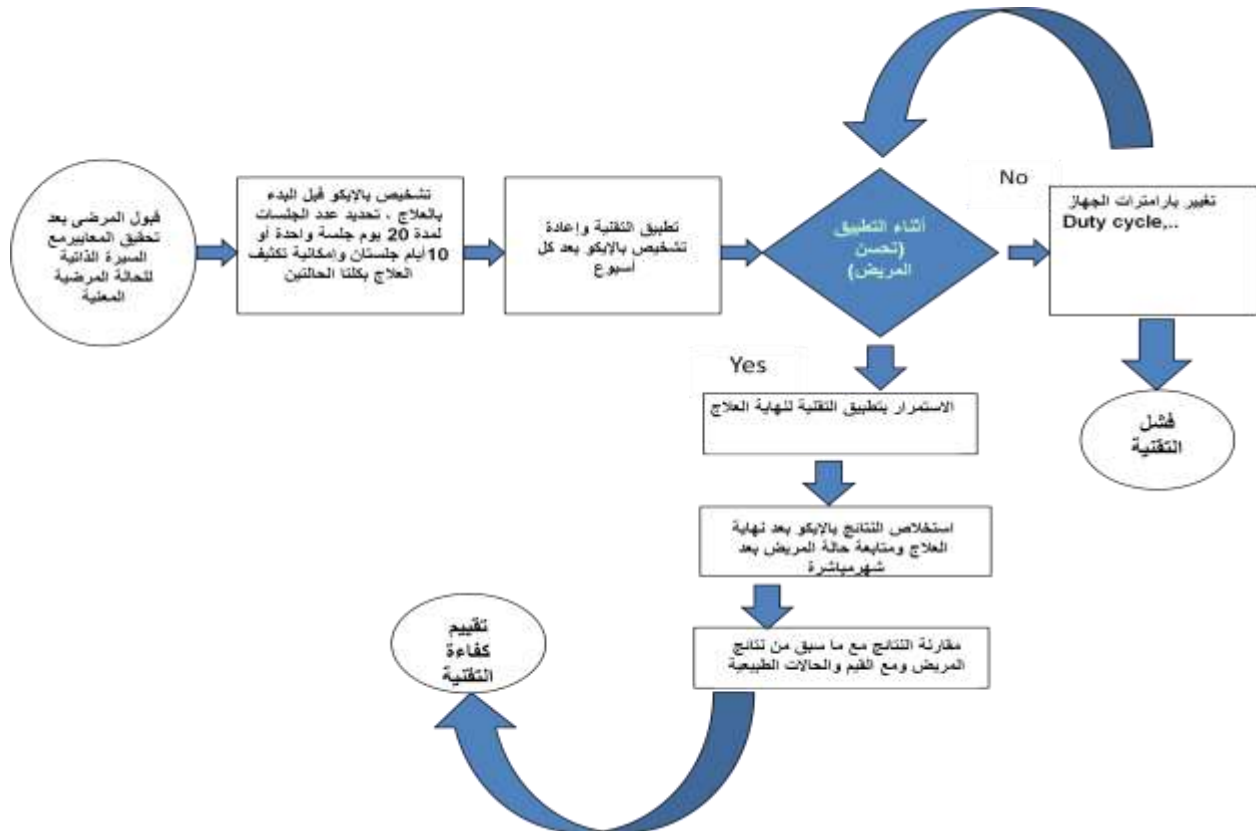
4-5 معايير استبعاد المرضى:

- تدخل جراحي مزيل رجفان - ناظم الخطى أو أي معدن مزروع.
- مرض عضال.
- إمكانية توسيع إكليلي.

- تدخل جراحي حديث.
- أمراض القلب الحادة الإسعافية كالاختشاءات الفجائية.

4-6 بروتوكول العمل:

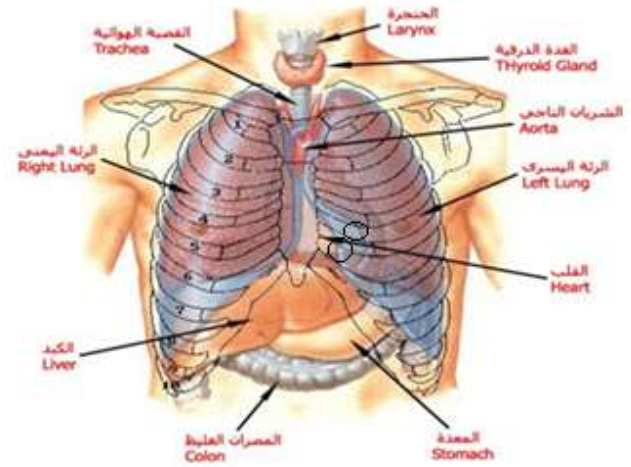
يبين الشكل (4-1) بروتوكول العمل، فبعد تحقيق معايير الاشتمال والاستبعاد وتدوين السيرة المرضية لكل مريض، وبعد التشخيص الأولي بالإيكو لاستخلاص بارامترات التشخيص وتقدير عدد الجلسات الممكنة حسب الحالة، بُدئ بتطبيق العلاج مع متابعة المريض أسبوعياً بإعادة التشخيص بالإيكو ويومياً لمعرفة كيفية تحسن المريض، ففي حال تحسن مشعر من المشعرات الثلاثة الاستمرار بتطبيق التقنية لنهاية العلاج لاستخلاص النتائج، تفسيرها ومقارنتها مع ما سبق من قيم المريض ومع القيم الطبيعية لنصل لتقييم كفاءة التقنية، أما في حال عدم تحسن المشعرات على الرغم من تغيير بارامترات الجهاز سواء الكثافة أو النبض.. ومن ثم إثبات فشل التقنية.



الشكل (4-1) المخطط التدفقي لبروتوكول العلاج.

4-7 آلية تطبيق العلاج على المرضى:

طُبِّقَ بمنطقتين مفضلتين كما هو موضح بالشكل (5-2) بدوائر سوداء بين الضلعين (الخامس والسادس، الرابع والخامس) بالتناوب خلال الجلسة الواحدة، فبعض الحالات عولجت بشكل مكثف مرتين لثلاث مرات يومياً بفترات متقطعة.



الشكل (4-2) أماكن تطبيق الأمواج العلاجية.

4-8 قصة المريضة:

حددت خطورة تصلب العصيدي ونقص التروية بعوامل الخطر وبارامترات التشخيص من قبل الطبيب، وعرضت الفكرة على المرضى (بعض المرضى رفضوا الفكرة أساساً خوفاً، وبعضهم لم يبد تحمساً كونها طريقة جديدة، والنتيجة غير مضمونة، فهي إضاعة للوقت والجهد بالتجربة)، طبقت التقنية على حوالي 17 مريضاً، بينهم من انسحب عند الشعور بالتحسن، أو بسبب التكلفة المادية للإقامة بالمشفى، أو حالة صحية منهورة للغاية، أو عناء التشخيص بوسائل أخرى كالغاما بسبب عدم جهازية الجهاز وتوفر المادة، وكذلك تكاليف إضافية للتصوير الشعاعي والتنقل بين المشافي وانتظار الدور (أسبوع أو أكثر..). حيث أغلب المرضى الذين تجاوبوا للفكرة والتزموا بالعلاج كانوا من المحافظات. أكمل العلاج منهم 8 مرضى وكانت البارامترات كالاتي:

التدخين (حيث يفضل بل يجب على المريض الإقلاع عن التدخين في أثناء العلاج وحتى ما قبل العلاج للحصول على نتائج) ارتفاع توتر شرياني -سكري -اضطراب شحوم -بدانة -سوابق شبكات أو توسيع (PCI) -سوابق مجازات -قصة عائلية (وراثية)، وكذلك المؤشرات القلبية مع الزمن قبل العلاج مباشرة وفي أثناء العلاج:

درجة خناق الصدر -درجة الزلة الجهدية - (LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانبساط - (LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض - (LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر - (IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانبساط - (IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض - (PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانبساط - (PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض - (WTF%) الجزء المؤي لثخانة الجدار -الشرايين المصابة بالقتطرة -الجدار ناقص أو معدوم الحركة.

درجة خناق الصدر:

هو أحد أشكال الانزعاج الصدري الناتج عن نقص التروية الدموية لعضلة القلب، و هي إحدى أعراض أمراض الشرايين الإكليلية، عندما لا تتلقى العضلة القلبية كفايتها من الدم الغني بالأوكسجين. درجات المرض حسب الشدة:

الصنف I:

النشاط البدني الاعتيادي لا يسبب خناقاً كالمشي أو صعود الدرج، الخناق يحدث مع الجهد الشديد أو السريع أو المطول في العمل أو النشاطات الترفيهية.

الصنف II:

تحدد ضئيل للنشاط الاعتيادي. يحدث الخناق عند المشي أو صعود الدرج بسرعة، المشي صعوداً، المشي أو صعود الدرج بعد الوجبات أو في البرد أو الريح أو تحت توتر عاطفي، أو فقط خلال بضعة ساعات بعد الاستيقاظ. يحدث الخناق عند المشي لأكثر من تجمعين سكنيين على سطح مستوي أو الصعود لأكثر من طابق واحد من الدرجات الاعتيادية بسرعة طبيعية وفي ظروف طبيعية.

الصنف III:

تحدد ملحوظ للنشاط البدني الاعتيادي. يحدث الخناق لدى المشي لتجمع سكاني واحد أو اثنين على سطح مستوي، والصعود لطابق واحد من الدرجات في ظروف طبيعية وبسرعة طبيعية.

الصنف: IV

عدم القدرة على مزاوله أي نشاط بدني دون انزعاج، الأعراض الخناقية يمكن أن تكون موجودة على الراحة.

درجة الزلة الجهدية:

الزلة التنفسية قلبية المنشأ هي عَرَضٌ شائع لقصور القلب، تبدأ خفيفة عادة، وتتطور، وتزداد شدة مع ازدياد حدّة المرض، وهي ضيق النفس المصاحب للجهد الفيزيائي الطبيعي.

تصنف بحسب التصنيف الوظيفي لجمعية القلب بنيويورك (NYHA) إلى أربع درجات:

الدرجة الأولى: تحدث الزلة على الجهود الشديدة نسبة لعمر المريض ووضعه، مثلاً: الجري - صعود طابقين أو أكثر.

الدرجة الثانية: تحدث الزلة على الجهود المتوسطة والعادية (السير لمسافة بسيطة - صعود طابق واحد).

الدرجة الثالثة: تحدث الزلة على الجهود الخفيفة والبسيطة (النهوض إلى الحمام - السير في المنزل).

الدرجة الرابعة: تحدث الزلة في أثناء الراحة والمريض مستلقٍ في الفراش.

9-4 معلومات عامة:

9-4-1 موانع استخدام الأمواج العلاجية:

- عدم تعريض الجنين لمستويات علاجية بالأمواج من خلال المعالجة فوق الرحم في أثناء الحمل.
- عدم تعريض الأنسجة الخبيثة للأمواج بعلاج المناطق التي تعدّ خبيثة.
- الأنسجة التي تحدث نزفاً أو ممكن توقع نزفها (عادة خلال 4-6 ساعات من الضرر أو أكثر لبعض الحالات ولبعض المرضى).
- التشوهات الوعائية الملاحظة تتضمن تخثرات وريدية عميقة، الانصمامات وتصلب الشرايين (إذا طلب زيادة بالتدفق الدموي المحلي لا يمكن علاجها).
- مرضى الدم المائع.

• التطبيق على:

1. العين.
2. العقد النجمية.
3. المساحة القلبية بأمراض قلبية متقدمة وإذا وجد ناظم الخطى.
4. الغدد التناسلية.
5. المشاشات الفعالة في الأطفال [13].

4-9-2 تحذيرات:

- استخدم الكثافة الأخفض التي تنتج تأثيرات علاجية دائماً.
- تأكد من أن المبدل يتحرك في أثناء العلاج.
- ليس مهماً مع تطبيقات الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية أو الادعاء الجيد "حالة" التطبيق (أي ليس هنالك موانع أو تحذيرات للاستخدام).
- تأكد من أن المريض مدرك لطبيعة العلاج والنتائج المتوقعة.
- إذا قصدت الجرعة التسخينية تأكد من موانع اعتبارات التطبيق. تحذيرات الاستخدام للمناطق المجاورة الناظم الخطى أو أي جهاز إلكتروني مزروع.
- الأمواج المستمرة تعد اختياراً غير حكيم للتطبيق على المعادن المزروعة [13].

4-9-3 المخاطر:

حالة تفريغ خلايا الدم ممكن أن تحدث بأوعية الدم الصغيرة، إذا موجة قائمة أنتجت عند العلاج على سطح عاكس كالأنسجة الطرية والهواء، عظام وأنسجة طرية، أنسجة طرية ومعدن عند استخدام مبدل ثابت، وبعد العلاج برأس معالجة ثابت ممارسة سيئة في بيئة معالجة طبيعية باستثناء (LIPUS) [13].

4-9-4 يجب أن يلاحظ المشغل:**1- ضبط الجهاز:**

التردد-الكثافة-الزمن-بارمترات النبض، فاختيار نسبة النبض الملائمة يعتمد بشكل أساسي على حالة النسيج، ففي حالات النسيج الأكثر حدة تكون أكثر حساسية للطاقة، وتظهر استجابة مرغوبة للطاقة بنسبة

نبض كبيرة (دورة فعالة قصيرة)، أما الأنسجة ذات الحالات ك(الآفات مزمنة) تظهر استجابة مميزة للطاقة أكثر تركيزاً ومن ثم نسبة نبض مخفضة (دورة فعالة طويلة)، حيث إنّ زمن العلاج يقيم حسب مساحة رأس المعالجة، أي أن رأساً أكبر واستخداماً نبضياً يحتاج لوقت أكثر.

2- كذلك يجب الأخذ بالحسبان ضياعات الطاقة، فالأنسجة الطبيعية تكون بين الجلد والنسيج الهدف، مثلاً للحصول على كثافة 0.5 واط/سم² بعمق 1 سم نختار 3 ميغا هرتز، ويضبط الجهاز على 0.7 واط/سم²، فمعدل الأمواج التي تمتص بالنسيج تقدر تقريباً بنصف قيمة العمق، وبهذا يكون عمق النسيج حيث 50% من الأمواج امتصت بالسطح.

وبشكل مشابه لاختيار نسبة النبض تكون الكثافة المطلوبة لنسيج معين تختلف حسب حالة النسيج، فالآفات الأكثر حدة تحتاج طاقة أقل لتصل لإثارة النسيج، وحالات الأنسجة المزمنة تكون أقل حساسية تحتاج طاقة أكبر للوصول للاستجابة الفيزيولوجية.

3- حجم الآفة: الحجم الأكبر من الآفة يعني فترة أطول مطلوبة للحصول على التأثير الجزئي، وهذا العامل يجب أن يؤخذ بالحسبان تقدير عدد مرات الاستخدام بمكان توضع على النسيج الهدف.

5- حجم مساحة المعالجة سيؤثر في زمن العلاج، كذلك نسبة النبض المستخدمة.

6- الطاقة الأكثر نبضية تحتاج زمن أطول لتسليم دقيقة فعالة.

7- مساحة العلاج (الحجم والموقع).

8- أي تأثيرات آنية وغير مضبوطة.

9- مواصفات الجيل: معقم، ليس سائلاً كثيراً، لا يمتصه الجلد بسرعة، لا يلطخ أو يؤثر في الجلد، حامل كيميائياً، يتمتع بخصائص انتشار جيدة، خال من فقاعات الغاز أو الكائنات الدقيقة أو الفطريات، شفاف [13].

4-10 الدليل العام لأمان استخدام الأمواج فوق الصوتية العلاجية:

الأمواج فوق الصوتية بجرعاتها التراكمية لا تمتلك إشعاعاً أيونياً، أو خطر الإصابة بالسرطان، التعرضات منخفضة الطاقة تحت عتبة التأثيرات الحيوية لا تنتج أي أثر تراكمي حتى لو تكررت عدة مرات، الأمواج فوق

الصوتية تنتشر وتنتقل بشكل ضعيف بالهواء، لا قفزات خاصة للاستخدام، لا ساحات مفرغة للجهاز، لا معدات واقية من الاستخدام لهذه الأمواج سواء التشخيصية أم العلاجية، لكن هذه التقنية القوية تحتاج الانتباه لعدة عوامل أمان للحصول على نسبة الفائدة للخطر مثالية [10].

أمان المشغل:

مشغل الجهاز يمتلك خطر أذية قليل من الأجهزة العلاجية المختلفة يستطيع البقاء بغرفة العلاج ويطبق التقنية بأمان بيده لبعض التطبيقات، لكن التنبيهات البسيطة يجب أن تتبع لإكمال التشغيل الآمن: لا تترك جهاز المعالجة يعمل بنفسه أو يشغله الآخرون [10].

أمان المريض:

أجهزة العلاج بالأمواج فوق الصوتية حتماً قادرة على أن تسبب تأثيرات حيوية أساسية، فالانتباه المتعمد يجب أن يمارس لخفض الضرر لكل مريض، المرضى يجب أن يعلموا بشكل كامل بالأخطار الممكنة كذلك الفوائد المتوقعة [10].

التلوث البكتيري لرؤوس المعالجة الفوق صوتية ومصادر الجيل:

مسألة مهمة، رؤوس المعالجة بالأمواج يجب أن تنظف بالكحول، وليس فقط بقطعة قماش مبللة بين جلسات المعالجة لخفض الانتقالات المحتملة للعوامل المكروبية بين المرضى، حيث درست عينات من رأس المعالجة وعبوات الجيل، فوجد أن أكثر من 50% من العبوات ملوثة، وبعضها إيجابي لمرض العنقودية المذهبة المقاومة للمثيسيلين (MRSA methicillin-resistant Staphylococcus aureus) و 35% من رؤوس المعالجة ملوثة، ولكن دون حملها لمرض العنقودية المذهبة المقاومة للمثيسيلين ومن ثم فإن تقنيات التعقيم الملائمة فعالة لخفض هذه المستويات [13].

ضمان الجودة:

أجهزة العلاج بالأمواج فوق الصوتية معقدة، ويمكن أن تتدهور، أو تفشل، لذلك كل جهاز يجب أن يراقب ويفحص بأسس ناظمة للتشغيل الآمن والتحقق من حقل الأمواج الملائم للعلاج الفعال الأكيد [10].

تراكم التأثيرات البيولوجية:

على الرغم من أنه ليس هناك أي جرعات تراكمية معرفة لأي جهاز معالجة فوق صوتي، ولكن التأثيرات الحيوية كالخوف من الحروق والضرر الوعائي التي تحدث خلال العلاج ممكن أن تتراكم مع الجلسات العلاجية المتكررة، وهذا يجب توقعه، فالدراسات على الحيوان أظهرت فشلاً دائماً هائلاً بالكلية عند تقنيات الحصى، لذلك العلاج المتكرر يضيف خطراً لخطر الكلى المسبق [10].

نسب الفائدة للخطر:

الفوائد والمخاطر المحتملة مرتبطة بطرق العلاج الفوق صوتي الواسعة، وهي تقدر من قبل المشغل، فمثلاً العلاج الفيزيائي يظهر خطراً أقل بيد معالج فيزيائي ماهر لكن توقعات الإفادة منخفضة، تقنيات الحصى بالمقابل يملك فائدة هائلة لعلاج مرض جدي غير جراحي و لكن أيضاً هنالك نزيفاً ملاحظاً وفشلاً كلياً طویل الأمد [10].

11-4 صعوبات الدراسة:

- عدد المرضى القليل (انسحاب المرضى عند الشعور بالتحسن).
- منطقة معينة مفضلة للتطبيق بسبب عوائق الفيزيولوجيا التشريحية لجسم الإنسان.
- لم تُجرّب التقنية على الأعمار الصغيرة الشابة، والتي من الممكن أن تعطي نتائج جيدة خصوصاً العلاج في بدايات المرض.
- لا بد من وجود خطأ بمستويات التشخيص بالإيكو.
- لم يُستخدم التشخيص دوبلر (TISSUE DOPPLER).
- وجود عوامل (الضغط - السكري - الكوليسترول).
- لم نتمكن من معايرة شدة خرج المبدل.

- لم يقلع المرضى عن التدخين في أثناء فترة العلاج.
- لم يُعتمد برنامج تأهيل قلبي في أثناء العلاج كوضع خطة غذائية، تمارين منتظمة تحت الإشراف..إلخ.

12-4 الخاتمة:

هذه هي جميع الاعتبارات التي طُبقت من اختيار المرضى لتطبيق العلاج والقيود التي حدثت من فعالية العلاج لِنرى مدى الاستفادة من هذه التقنية بعلاج القلب الإقفاري.

الفصل الخامس

النتائج ومناقشتها

5-1 مقدمة:

تم في الفصل السابق تحديد المرضى وبارامترات العلاج والتشخيص المناسبة، وسنرى في هذا الفصل نتائج العلاج، تفسير هذه النتائج، القيم الطبيعية لبارامترات التشخيص ومقارنتها مع النتائج، ومن ثم إثبات نجاح أو فشل هذه التقنية بالعلاج القلبي.

5-2 اختبار العلاج والتقدير الكمي لأداء البطين الأيسر:

يوفر تخطيط الصدى القلبي طريقة ممتازة لتقدير وظيفة البطين، القياسات الخطية كثخانة الجدار، أبعاد الحجرات الداخلية، البارامترات المشتقة كتقصير الضخ، الوظيفة العامة للبطين والنتاج القلبي ومن ثم حساب الجزء المقذوف ($EF = \text{ejection fraction} \%$) الذي يمثل جانباً صغيراً من التقدير الكمي لأداء البطين، كذلك تحديد حجم البطين الأيسر يحتاج تعقّباً لحدود الشغاف الانقباضية والانبساطية للبطين.

تتكون حركة الجدار الطبيعية من سماكة عضلة القلب التزامنية والحركة الداخلية للشغاف باتجاه مركز الحجرة، ويكون سبب شذوذ حركة الجدار الأكثر شيوعاً نقص تروية عضلة القلب أو الاحتشاء، كذلك الحاجز بين البطينين ممكن أن يتأثر بعمل البطين ومن ثم الاحتشاء أو نقص التروية القلبية يسبب غياب خصائص تضيق الحاجز الانقباضي ونقص حركية الحاجز، كما توجد عوامل أخرى لشذوذ عمل الحاجز، كاضطرابات التوصيل (داء باركنسون)، التهاب التامور، التحميل الزائد للبطين [16,15].

5-3 بارامترات وعوامل التشخيص الطبيعية:

بما أن البطين الأيسر من القلب يتفاعل مع الرئة، الشرايين، الحجرات القلبية الأخرى ليعطي الخرج القلبي ومن ثم تقييم وظيفة القلب يتم بتكامل وظيفة عضلة القلب، كفاءة البطين الأيسر كمضخة، الخرج القلبي. لذلك قياسات الخرج القلبي وحده توفر تقييماً غير دقيق ومحدود لوظيفة البطين أو انقباض العضلة، بالمثل تقييم وظيفة البطين الأيسر كمضخة وحدها لا يقيم الخرج القلبي أو كفاءة انقباض العضلة. يُحدّد تقصير العضلة القلبية بأربعة عوامل: ماقبل التحميل: وهي امتداد العضلة قبل التحفيز، فالامتداد الأعظمي يعني انقباضاً أقوى.

بعد التحميل: الحمل الذي يجب أن تتحمله العضلة للانقباض، فكلما زاد الحمل زاد الضغط المتولد، ومن ثم كمية تقصير أقل.

انقباض العضلة يعكس نشاط، تشكيل وعبور الجسور بين الأكتين والميوزين.

معدل القلب والتناغم بزيادة المعدل يتحسن الانقباض تحت شروط طبيعية.

الأداء الانقباضي للبطين الأيسر مدى قدرته على إفراغ نفسه ومن ثم انقباض العضلة محدّد مهم لأداء الانقباض الأيسر، يعبر عن هذا الأداء بالجزء المقذوف الفعال، والذي هو حجم الضربة الأمامية مقسوماً على الحجم نهاية الانبساط، وعند وجود خلل بالانقباض يكون الجزء المقذوف الفعال أقل من 50%، وهو المؤشر الأقوى للموت القلبي المفاجئ لمرضى القلب الإقفاري المزمن، فيكون الخطر متزايداً بالاعتماد على عوامل خطر أخرى عندما يكون الجزء المقذوف أكبر من 40% والمعدل الأعظم للخطر بين 30-40%، وإذا كان أقل أو يساوي 30% هو المؤشر الوحيد للتنبؤ بالموت القلبي المفاجئ، كما أن سماكة جدار البطين الأيسر تعبر عن أداء البطين بالانقباض والانبساط [16,15].

4-5 بيانات المرضى:

المريض الأول: 75 سنة

الجدول (1-5) بيانات المريض الأول.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	-	-	-	-	-	-	-

قصة عائلية: لا يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/20 جلسة	25/20 يوماً/50 جلسة	المتوسط ± الانحراف المعياري (SD) لما بعد العلاج
درجة خناق الصدر	I	I-0	-	
درجة الزلة الجهدية	I	I-0	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانبساط	6	5.53	5.61	5.57±0.06
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	4	3.59	3.69	3.64±0.07
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	55%	62%	64.3%	(63.15±1.63)%
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانبساط	1	0.79	0.71	0.75±0.06
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	1.3	1.27	1.23	1.25±0.03
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانبساط	0.9	0.83	0.77	0.8±0.04
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	1.3	1.46	1.45	1.45±0
(WTF%) الجزء المنوي لخانة الجدار	30%	59.8%	72.5%	(66±9)%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة				
الشرايين المصابة بالقثطرة	انسداد الشريان الأمامي النازل (LAD) بعد الشريان القطري، (CX) الشريان المنعكس انسداد بالقسم القريب، (RC) الشريان الإكليلي الأيمن انسداد بالوسط			

المريض الثاني: 62 سنة يعاني من الضغط يعني تسمك بالجدر البطينية.

الجدول (2-5) بيانات المريض الثاني.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	+	+	+	+	+	+

قصة عائلية: لا يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/20 جلسة	25/20 يوماً/40 جلسة	المتوسط ± الانحراف المعياري (SD) لما بعد العلاج
درجة خناق الصدر	II-III	I	I	
درجة الزلة الجهدية	II-III	I	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	5.51	5.37	5.37	5.37±0
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	4.1	3.45	3.45	3.45±0
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	49.5%	64%	64.9%	(64.45±0.63)%
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.96	1.16	1.19	1.17±0.02
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	1.54	1.75	1.75	1.75±0
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.61	0.76	0.79	0.77±0.02
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.81	0.93	0.79	0.86±0.1
(WTF%) الجزء المنوي لثخانة الجدار	60.4%	50.9%	47.1%	(49±3)%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	نقص حركية نسبي معمم			
الشرايين المصابة بالفتقرة	انسداد (LAD) أمامي نازل مجازاته سالكة لكن الشريان عصيدي بعدها، تضيق المجازة القطرية بشدة والشريان رفيع، (RC) الشريان الإكليلي الأيمن انسداد بالوسط			

المريض الثالث: 55 سنة

الجدول (3-5) بيانات المريض الثالث.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	-	+ حديث	-	-	+	+

قصة عائلية: لا يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/15 جلسة	25/20 يوماً/40 جلسة	المتوسط ± الانحراف المعياري (SD) لما بعد العلاج
درجة خناق الصدر	I- II	I	I-0	
درجة الزلة الجهدية	II	I- II	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	5.6	6.28	5.84	6.06±0.31
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	4.92	4.9	4.45	4.67±0.31
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	38%	43.4%	46.9%	(45.15±2.47)%
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.85	0.63	0.68	0.66±0.03
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	1.24	0.99	1.15	1.07±0.1
(PWD) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.62	0.51	0.47	0.49±0.02
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.73	0.89	0.75	0.82±0.1
(WTF%) الجزء المنوي لتخانة الجدار	47%	57.2%	69.6%	(63.4±9)%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	خلفي سفلي			
الشرايين المصابة بالفتحة	(RC) الشريان الإكليلي الأيمن			

المريض الرابع: 67 سنة

الجدول (4-5) بيانات المريض الرابع.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	-	+	-	+	+	+	+

قصة عائلية: يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/15 جلسة	25/20 يوماً/40 جلسة	المتوسط ± الانحراف المعياري (SD) لما بعد العلاج
درجة خناق الصدر	II	I	I	
درجة الزلة الجهدية	II	II	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	6.01	6.68	6.58	6.63±0.07
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	5.01	5.41	5	5.20±0.29
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	31.7%	38.3%	46.3%	(42.3±5.66) %
(IVSd) قطر الحاجب بين البطينين بالانقباض	0.85	0.95	0.74	0.85±0.15
(IVSs) قطر الحاجب بين البطينين بالانقباض	0.99	1.15	1.21	1.18±0.04
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.56	0.60	0.44	0.52±0.11
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.63	0.98	0.93	0.96±0.04
(WTF%) الجزء المنوي لتخانة الجدار	16.5%	21.1%	62.9%	(42±29)%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	سفلي خلفي، أمامي حاجزي			
الشرابين المصابة بالفتقرة				

المریضة الخامسة: 48 سنة

الجدول (5-5) بيانات المريض الخامس.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	+	-	+	+	-	+

قصة عائلية: يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/13 جلسة	25/20 يوماً
درجة خناق الصدر	I I	I	
درجة الزلة الجهدية	I I	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	6.13	4.86	
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	4.61	4.86	
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	49.5%	64.9%	
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.58	0.81	
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.9	1.17	
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.65	0.77	
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	1.17	1.21	
(WTF%) الجزء المنوي لشخانة الجدار	53.9%	45%	
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	الحجاب والجدار الأمامي		
الشرايين المصابة بالقثطرة	انسداد الشريان القطني ومجازاته انسداد (RC) الشريان الإكليلي الأيمن ومجازاته		

المريض السادس: 62 سنة

الجدول (5-6) بيانات المريض السادس.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	+	-	-	+	-	-

قصة عائلية: لا يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام	25/20 يوماً/25 جلسة
درجة خناق الصدر	I- II		I
درجة الزلة الجهدية	III		II
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	7.83		6.36
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	6.53		6.54
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	33%		34%
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.96		0.70
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.82		0.85
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.51		0.51
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.84		1.11
(WTF%) الجزء المنوي لشخانة الجدار	14.6%		20.3%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	قمية		
الشرايين المصابة بالفتقرة	الشريان الأمامي النازل (LAD)		

المريض السابع: 75 سنة

الجدول (5-7) بيانات المريض السابع.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	-	-	+	+	-	-

قصة عائلية: يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام/12 جلسة	25/20 يوماً
درجة خناق الصدر	II	I	
درجة الزلة الجهدية	II-III	II	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	5.58	6.24	
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	4.1	3.96	
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	51.5%	65%	
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	1.2	0.94	
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	1.34	1.61	
(PWd) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.56	0.74	
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	1.13	1.14	
(WTF%) الجزء المنوي لشخانة الجدار	11.7%	71.4%	
الجدار ناقص أو معدوم الحركة			
الشرايين المصابة بالقتطرة	معظمها		

المريض الثامن: 54 سنة

الجدول (5-8) بيانات المريض الثامن.

عوامل خطر	تدخين	ارتفاع توتر شرياني	سكري	اضطراب شحوم	بدانة	سوابق شبكات أوتوسيع (PCI)	سوابق مجازات
-	+	-	-	-	-	+	+

قصة عائلية: لا يوجد.

التشخيص القلبي/الزمن	الزيارة الأولى	10 أيام / 10 جلسة	25/20 يوماً / 25 جلسة	المتوسط ± الانحراف المعياري (SD) لما بعد العلاج
درجة خناق الصدر	II	II	I	
درجة الزلة الجهدية	III	II	I	
(LVDd) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	6.61	7	7.24	7.12±0.17
(LVDs) قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	5.9	5.48	5.88	5.68±0.28
(LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر	22.3%	35%	36%	(35.5±0.71) %
(IVSd) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.83	1.1	0.76	0.93±0.24
(IVSs) قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	0.85	1.6	0.81	1.207±0.55
(PWD) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	0.85	0.7	0.75	0.73±0.04
(PWs) قطر الجدار الخلفي للبطين الأيسر بالانقباض	1.1	1.3	1.3	1.3±0
(WTF%) الجزء المتوي لشخانة الجدار	2%	45.5%	10%	(27.75±25)%
الجدار ناقص أو معدوم الحركة	نقص حركة شديد قطاع الشريان الأمامي النازل (LAD)			
الشرايين المصابة بالفتقرة	الشريان الأمامي النازل (LAD) - الشريان الإكليلي الأيمن			

تم القياس تحت مستوى الدسام التاجي ومستوى البطين كذلك على المقطع العرضاني جانب القص، وأُخذَ المعدل الوسطي للجزء المقذوف، كما أُخِذَتْ معدلات الانقباض والانقباض السفلي لحساب (WTF%) الجزء المنوي لثخانة الجدار وتمت مراقبة المرضى.

5-5 تقييم كفاءة التقنية، ومناقشة النتائج:

قُيِّمَت كفاءة التقنية من ثلاثة مشعرات:

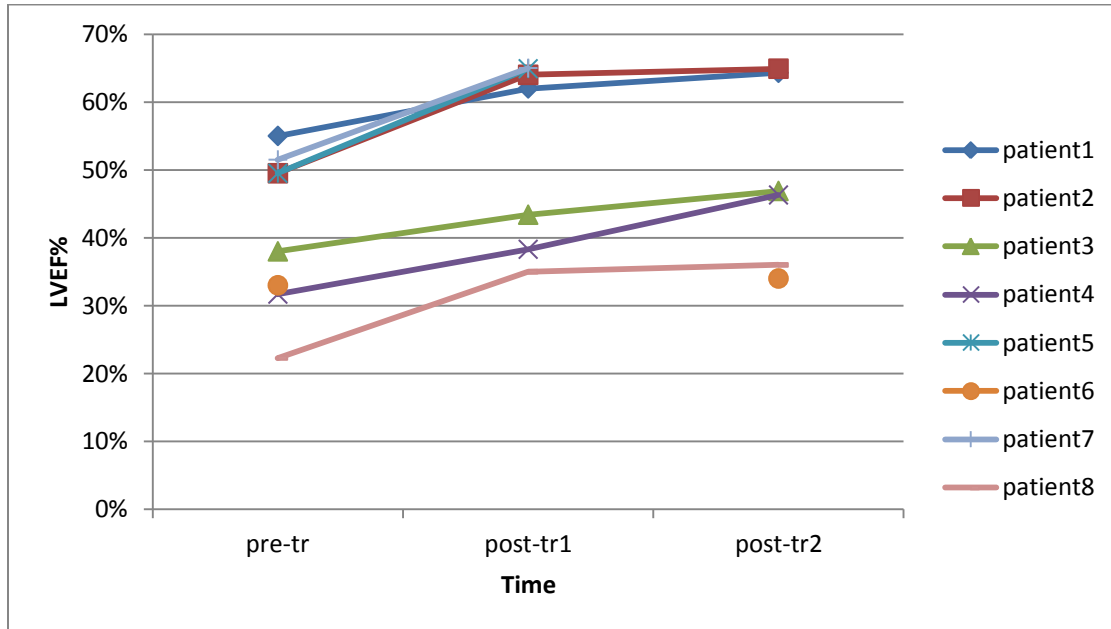
- الأعراض السريرية.
- (LVEF%) الجزء المقذوف من البطين الأيسر.
- (WTF%) الجزء المنوي لثخانة الجدار.

نجد أن جميع المرضى بلا استثناء تحسنت لديهم الأعراض السريرية مباشرة بعد بدء العلاج بعدة أيام (خناق الصدر - زلة جهدية)، واستمر التحسن بشكل ملحوظ لتكاد تكون هذه الأعراض معدومة بنهاية فترة العلاج، ولم يختلف تحسن الأعراض لما بعد انتهاء العلاج بمتابعتها لفترة جيدة، الجزء المقذوف من البطين الأيسر (LVEF%) زاد عند معظم المرضى مع مريض واحد بتحسن طفيف جداً 1%، الجزء المنوي لثخانة الجدار (WTF%) تحسن كذلك عند معظم المرضى، ومع الأخذ بالحسبان أن انحراف بعض القيم بعد العلاج عن الطبيعي بأجزاء من العشرة لايؤثر كون جميع قيم المشعرات ناتجة عن متوسط لهذه المشعرات، كذلك لا بد من وجود اختلافات بمحاور التصوير التشخيصي ينتج عنه خلل (خطأ) بالقياس.

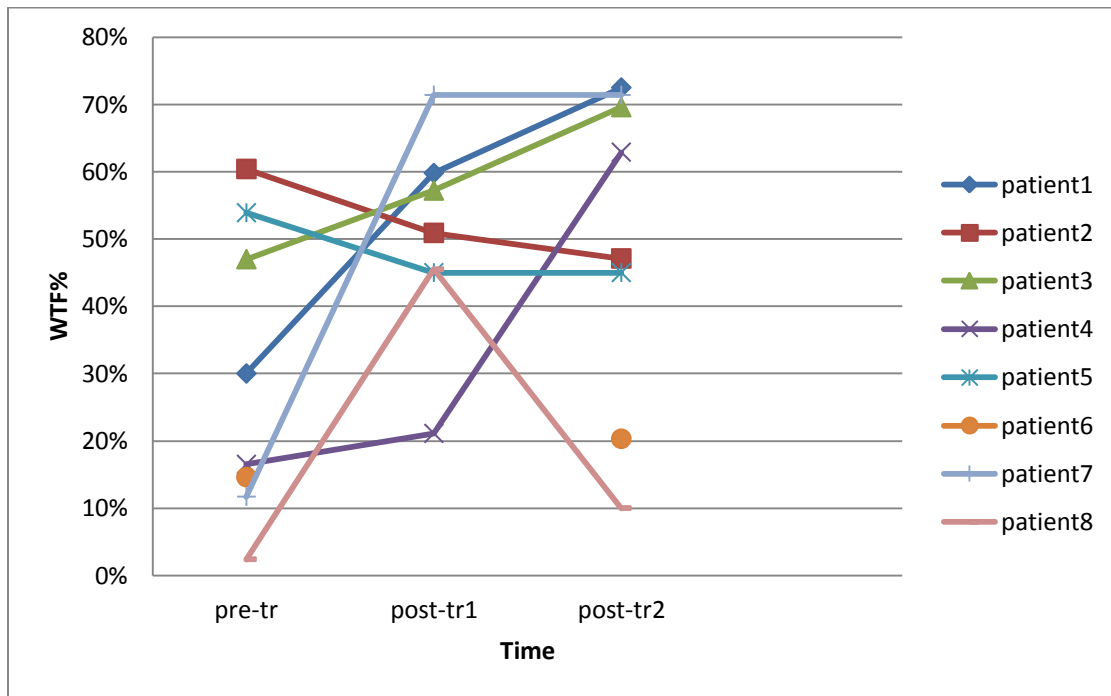
مقارنة القيم الطبيعية لبارامترات التشخيص حسب المرجع [17] مع بارامترات ما بعد العلاج المستخلصة من المرضى بدراستنا، و بتفصيل لقيم بارامترات كل مريض، موضحة في الجدول الآتي (5-9):

الجدول (5-9) مقارنة بارامترات المرضى بعد المعالجة مع القيم الطبيعية.

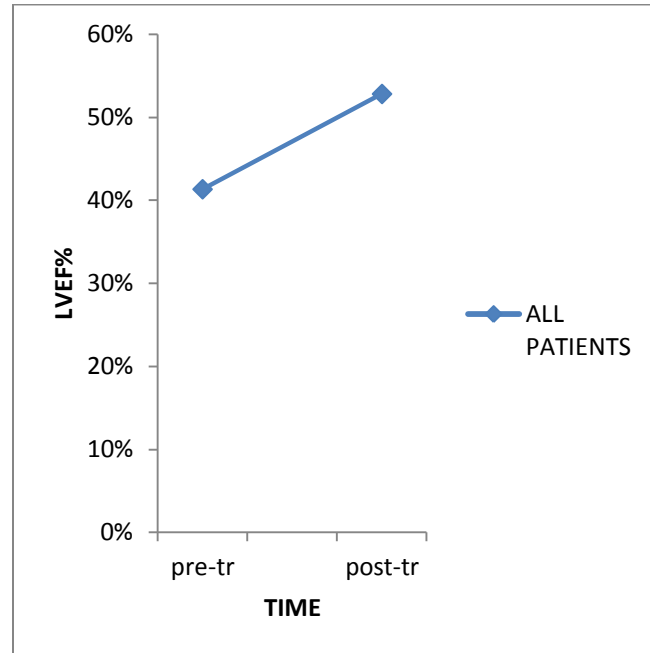
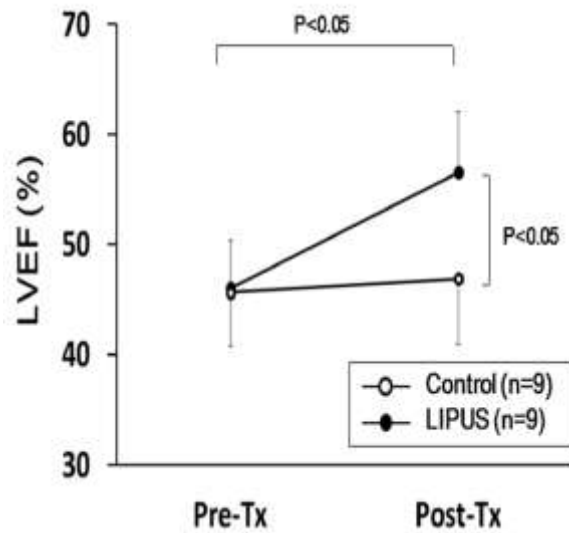
البارامترات رقم المرضى	LVDd قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	Normal LVDd الحدود الطبيعية لقطر البطين بالانقباض	LVDs قطر البطين الأيسر في نهاية الانقباض	Normal LVDs الحدود الطبيعية لقطر البطين بالانقباض	LVEF% الجزء المقذوف من البطين الأيسر	Range LVEF% تصنيفات نسب الجزء المقذوف	IVSd قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	IVSs قطر الحجاب بين البطينين بالانقباض	Normal IVSd/ IVSs الحدود الطبيعية لقطر الحجاب	PWd قطر الجدار الخلفي للبروتين الأيسر بالانقباض	PWs قطر الجدار الخلفي للبروتين الأيسر بالانقباض	Normal PWd/PWs الحدود الطبيعية للجدار الخلفي للبروتين
1	5.61	3.5-5.6 CM سم 5.6-3.5	3.69	2-4 CM سم 4-2	64.3	*LESS THAN50% NORMAL أقل من 50% طبيعي *40- 50%SLIGHTLY BELOW NORMAL بين 40-50% أقل بقليل من الطبيعي *30-40% MODERATE بين 30-40% حاد لأبأس *BELOW 30% SEVERLY أقل من 30% حاد جداً	0.71	1.23	0.6-1.1 CM سم 1.1-0.6	0.77	1.45	0.6-1.1 CM سم 1.1-0.6
2	5.37		3.45		64.9		1.19	1.75		0.79	0.79	
3	5.84		4.45		46.9		0.68	1.15		0.47	0.75	
4	6.58		5		46.3		0.74	1.21		0.44	0.93	
5	4.86		3.05		64.9		0.80	1.1		0.79	0.99	
6	6.36	3.5-5.6 CM سم 5.6-3.5	6.585	2-4 CM سم 4-2	34	*40- 50%SLIGHTLY BELOW NORMAL بين 40-50% أقل بقليل من الطبيعي *30-40% MODERATE بين 30-40% حاد لأبأس *BELOW 30% SEVERLY أقل من 30% حاد جداً	0.70	0.84	0.6-1.1 CM سم 1.1-0.6	0.51	1.11	0.6-1.1 CM سم 1.1-0.6
7	6.24		3.96		65		0.94	1.61		0.74	1.14	
8	7.24		5.88		36		0.76	0.81		0.755	1.3	



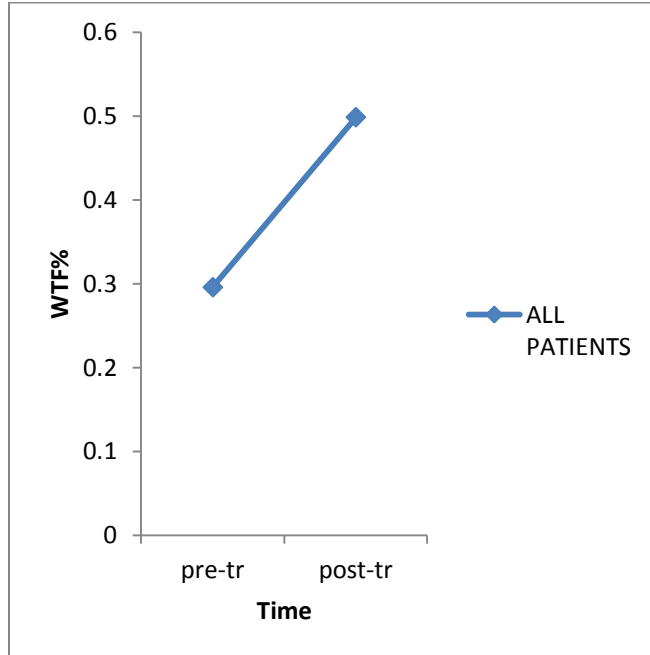
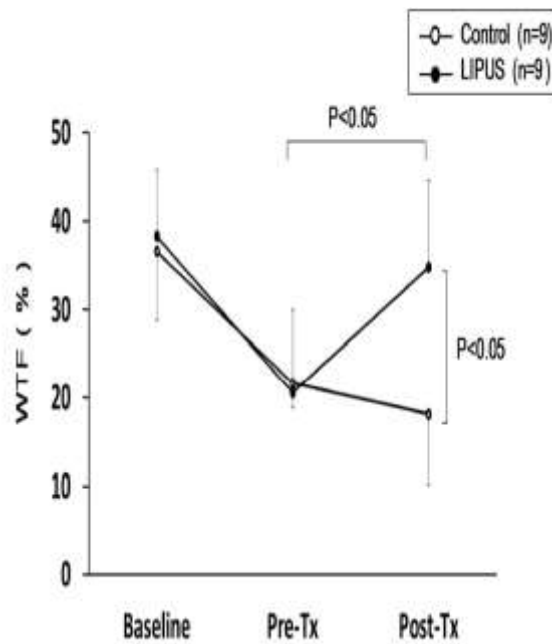
الشكل (1-5) نسبة تحسن كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر لكل مريض مع الزمن قبل العلاج وبعده.



الشكل (2-5) نسبة تحسن الجزء المنوي لشخانة الجدار لكل مريض مع الزمن قبل العلاج وبعده.



الشكل (3-5) مقارنة النتائج لدراستنا (الشكل الأيمن) مشعر كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر مع الدراسة المرجعية.



الشكل (4-5) مقارنة النتائج لدراستنا (الشكل الأيمن) مشعر الجزء المئوي لثخانة الجدار مع الدراسة المرجعية.

الجدول (5-10) الأعراض السريرية لمرضى القلب قبل العلاج وبعده.

الأعراض السريرية		خناق الصدر		الزلة الجهدية
المرضى	قبل العلاج	بعد العلاج	قبل العلاج	بعد العلاج
1	I	-	I	I
2	II-III	I	II-III	I
3	I-II	I-0	II	I
4	II	I	II	I
5	II	I	II	I
6	I-II	I	III	II
7	II	I	II-III	II
8	II	I	III	I

الجدول (5-11) فعالية تقنية الأمواج العلاجية لمرضى القلب.

بعد العلاج لمرضى الحالات المقبولة	قبل العلاج لمرضى الحالات الخطيرة	بعد العلاج لمرضى ذوي بارمترات مقبولة وطبيعية	قبل العلاج لمرضى ذوي بارمترات مقبولة (قريبة من الطبيعي) وأقل من المقبولة	قبل العلاج وبعده / بارامترات تقييم فعالية التقنية
10.35-0.63]	[0.2-0.35]	[0.4-0.7]	10.37-0.55]	LVEF% كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر
0.39±0.06	0.29±0.06	0.61±0.08	0.49±0.06	المتوسط±الانحراف المعياري (SD)
[0.1-0.8]	[0.01-0.3]	[0.4-0.8]	[0.3-0.7]	WTF% الجزء المنوي لتخانة الجدار
0.41±0.30	0.11±0.06	0.58±0.14	0.48±0.13	المتوسط±الانحراف المعياري (SD)

الجدول (5-12) فعالية تقنية الأمواج العلاجية لكل مريض.

قبل العلاج وبعده / بارامترات تقييم فعالية التقنية	قبل العلاج LVEF% كمية الدم المقذوف من البطين الأيسر	بعد العلاج المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري (SD)	قبل العلاج WTF% الجزء المنوي لثخانة الجدار	بعد العلاج المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري (SD)
المريض الأول	0.55	(63.15 $\pm$ 1.63)%	0.3	0.662 $\pm$ 0.09
المريض الثاني	0.49	(64.45 $\pm$ 0.64)%	0.604	0.49 $\pm$ 0.03
المريض الثالث	0.38	(45.15 $\pm$ 2.47)%	0.47	0.63 $\pm$ 0.09
المريض الرابع	0.31	(42.3 $\pm$ 5.65) %	0.16	0.42 $\pm$ 0.29
المريض الخامس/ بتحسن	0.49	–	0.53	–
المريض السادس/ بتحسن	0.33	–	0.14	–
المريض السابع/ بتحسن	0.515	–	0.11	–
المريض الثامن	0.223	(35.5 $\pm$ 0.7) %	0.02	0.27 $\pm$ 0.25

الجدول (5-13) مشعرا التقييم (LVEF,WTF) قبل العلاج وبعده للمرضى، المتوسط والانحراف لكل مشعر ومعامل الارتباط للمشعرين قبل العلاج وبعده.

PRE TREATMENT		POST TREATMENT	
LVEF	WTF	LVEF	WTF
0.55	0.3	0.64	0.72
0.49	0.60	0.64	0.47
0.38	0.47	0.46	0.69
0.31	0.16	0.46	0.62
0.49	0.53	0.64	0.45
0.33	0.14	0.34	0.20
0.51	0.11	0.65	0.71
0.22	0.02	0.36	0.1
AV±SD=0.41±0.12	AV±SD=0.29±0.22	AV±SD=0.53±0.13	AV±SD=0.49±0.24
CORR=0.55		CORR=0.639	

مناقشة النتائج:

أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في حالات المرضى الذين خضعوا لهذه التقنية، مما يدل على عودة النشاط للأجزاء التي تنقصها التروية نتيجة للخلل الذي أصابها فتحسنت لديهم الأعراض السريرية مباشرة بعد بدء العلاج بعدة أيام (خناق الصدر - زلة جهدية)، واستمر التحسن بشكل ملحوظ لتكاد تكون هذه الأعراض معدومة بنهاية فترة العلاج، ولم يختلف تحسن الأعراض لما بعد انتهاء العلاج بمتابعتها لفترة جيدة، الجزء المقذوف من البطين الأيسر (LVEF%) زاد عند معظم المرضى مع مريض واحد بتحسن طفيف جداً 1%، الجزء المنوي لشخانة الجدار (WTF%) تحسن كذلك عند معظم المرضى، وكما وجدنا بملخص إحصاءات مشعرات التقييم أن الانحراف عن النتيجة النهائية لا يؤثر في فعالية العلاج (يعد الانحراف مهمل فتحسن القيم موجود وملاحظ حيث يعد الأطباء أن تحسن 1% من أي مشعر كاف وكفيل بإثبات نجاح التقنية)، الدراسات أكدت واجتمعت جميعها على نتيجة واحدة وهي فعالية الأمواج بإصلاح عمل القلب بفضل سلسلة من التحفيزات الفيزيولوجية والذي كان جلياً بدراستنا بالجزء المقذوف من البطين الأيسر (LVEF%)، والجزء المنوي لشخانة الجدار (WTF%)، ومن ثم زيادة تدفق الدم وكثافة الأوعية، تخفيف الألم، وهذا ما دل تطبيقاً على ترابط تحسن المشعرات سويماً بشكل حتمي كما بدى ذلك جلياً إحصائياً أيضاً بمعامل الارتباط قبل

العلاج وبعده، وكبارامترات عملية سواء تشخيصية أو علاجية اعتمدت الدراستين [1,6] كونهما طبقتا على الجسم الحي، بهذا كانت هذه النتيجة مشجعة للمثابرة وتطوير العلاج بهذا المجال، فتطبيق الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية طريقة آمنة، فعالة، غير جراحية، لكنها بطيئة.

وتعدُّ طاقة 0.05 واط/سم² ببارامترات الجهاز طاقة علاج خفيفة لاتعتمد التأثيرات الحرارية، لا تؤدي الأمواج لنخر التجلط [10]، ولا يوجد امتصاص للطاقة مفضل بالدم وإنما بالأوعية كونها أليافاً عضلية [11]، لا يوجد أي تأثيرات جانبية أو سلبية كون الطاقة النهائية المطبقة هي الطاقة المطبقة نفسها بالدراسة المرجعية ومن ثمَّ نتيجة التحسن التي توصلنا لها طبيعية منطقية [1] باعتباريات بارامترات الأمواج العلاجية التي ليس لها أي تحذيرات أو مخاطر فهي تزيد على تركيب البروتين والألياف [13] وتسرع من نشاط الأدوية [12]، فالأمواج نقلت تحفيزاً ميكانيكياً للقلب بشكل لطيف فزاد تركيب البروتين والألياف (الألياف العضلية)، ومن ثمَّ زادت نسبة ثخانة جدار القلب، وكذلك تفرعات الشريينات كونها أليافاً عضلية أي قوة انقباض جدر القلب زادت مما ينتج زيادة بدفق الدم من البطين، أي زيادة بنسبة الجزء المقذوف من البطين الأيسر وهذا ما يؤكد الجدول (5-13) فقد زاد ارتباط مشعري التقييم بعد العلاج ومن ثمَّ تحسن التروية لأوعية الشرايين الإكليلية القلبية، توسعها وخفض الألم بالنتيجة انخفاض الأعراض السريرية وهذا ما يبين نظرياً ترابط مشعرات التقييم أي أن تحسن مشعر من المشعرات يدل على تحسن باقي المشعرات حتماً لأنها كانت ناتجة عن نقص الدم المؤكسج، بعبارة أخرى أعيدت الحياة للمنطقة المحتشية ورُمِّمت بفضل سلسلة من التحفيزات الفيزيولوجية.

ويمكن احتساب الشدة (طاقة الأمواج) عند كل جزء فيزيولوجي اعتماداً على المعادلة:

$$I(X) = I_0 e^{-\alpha X}$$

فمثلاً تصل الشدة على سطح البطين الأيسر من القلب بطاقة:

$$I(2 \text{ cm}) = 0.05 e^{-0.76 \times 2} = 0.01 \text{ w/cm}^2$$

جرعة المعالجة التي سلِّمت بجلسة 10 ميلي واط/سم² مدة دقيقة.

بعدّ عدم وجود إثباتات بأفضلية زمن نبض على آخر وأن الآفات المزمنة تستجيب بامتياز للطاقة الأكثر تركيزاً (نسبة نبض منخفضة) [13] فلم يكن هناك مشكلة بتغيير تردد التكرار ونسبة النبض، وبهذا أكّدت كفاءة التقنية بالعلاج، وأمانها.

5-6 الخاتمة:

تم الالتزام ببعض بارامترات بروتوكول العلاج وهي مجمل الطاقة النبضية المستفاد منها بالجلسة، والاختلاف كان بدمج الجلسات الممتدة على ثمانية أسابيع واختصارها بأسبوعين، وأماكن تطبيق التقنية على إنسان مختلف عن الخنزير ومشعر التشخيص الأعراض السريرية الغير الموجود بالحيوان.. والنتيجة كانت مشابهة لنتيجة الدراسة الأم، لم نتجراً على التغيير ببارامترات العلاج لعدة أسباب: عدد مرضى مقبل على علاج جديد محدود، نطبق على الجسم الحي لإنسان ومن ثمّ لانعلم بتأثيرات فيزيولوجية أخرى وتأثيراتها على المريض خاصة أننا نتعامل مع مرضى قلب أي حالات تعتبر حساسة.

الفصل السادس

الخلاصة والمقترحات

6-1 مقدمة:

نجد أن الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية أثبتت أنها تقنية فعالة للعلاج القلبي.

6-2 الآفاق والمقترحات المستقبلية:

- إمكانية تطبيق الأمواج فوق الصوتية لعلاج مرضى القلب الإقفاري أو أي مرض ينتج عنه خسارة بالأنسجة بأي جهاز معالجة بالأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة متوفر بعد قياس خرج الجهاز.
- إمكانية تغيير أدوات التشخيص كاستخدام الغاما كاميرا و بارامترات التشخيص، تغيير بارامترات العلاج كنسب الموجة.
- إمكانية تطبيق التقنية على المرضى الإسعافيين بعد تدخل دوائي أو حقن نوعي نسيجي خاص حسب الحالة دون الحاجة للتدخل الجراحي.
- دراسة مدى الاستفادة من العلاج على المدى الطويل بعد العلاج.

6-3 الخاتمة:

بهذا نجد أن تطبيق الأمواج فوق الصوتية منخفضة الكثافة النبضية طريقة آمنة، فعالة، غير جراحية، لكنها بطيئة، والأهم فعالية تأثيرها لما بعد انتهاء العلاج ويجب معرفة فترة فعالية تأثيرها بشكل أدق لما بعد العلاج.

المراجع

REFERENCES:

- [1].Hanawa K, Ito K, Aizawa K, Shindo T, Nishimiya K, et al. (2014). Low-Intensity Pulsed Ultrasound Induces Angiogenesis and Ameliorates Left Ventricular Dysfunction in a Porcine Model of Chronic Myocardial Ischemia in Cardiac Angiogenic Therapy with Ultrasound 9(8) . PLoS ONE.
- [2].Hata J, Kiyohara Y. (2013) Epidemiology of stroke and coronary artery disease in Asia. Circ J 77: 1923–1932.
- [3].Bernal A, M Pérez L, De Lucas B,et al. (2015). Low-Intensity Pulsed Ultrasound Improves the Functional Properties of Cardiac Mesoangioblasts. Stem Cell Rev Rep.11(6):852-65.
- [4].Robert J. Siegel, MD; Shaul Atar, MD; Michael C. Fishbein, MD;etal.(2000). Noninvasive, Transthoracic, Low-Frequency Ultrasound Augments Thrombolysis in a Canine Model of Acute Myocardial Infarction. *Circulation*101:2026-2028.
- [5].Toyama Y, Sasaki KI, Tachibana K,et al.(2012). Ultrasound stimulation restores impaired neovascularization-related capacities of human circulating angiogenic cells. Cardiovascular Research.(4):448-59.
- [6].Higashi Y, Azuma N, Takeishi Y,et al.(2015). Effect of a Low-Intensity Pulsed Ultrasound Device, SX-1001, on Clinical Symptoms in Buerger Disease With Limb Ischemia A Multicenter, Double-Blind, Parallel Randomized Clinical Trial. International Heart56.
- [7].Speed C.A.(2001).Review therapeutic ultrasound in soft tissue lesion.rheumatology 40:1331-1336.
- [8].Coronary Artery Disease. (27/8/2018):<https://www.cardiosmart.org/>.
- [9].Smit R. (2016). Ischaemic Heart Disease.(issue 4). Council for Medical Schemes.
- [10].Douglas L.Miller PhD,Nadine B.Smith PhD,et al. (2012,1,4).Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety Considerations.Journal Of Ultrasound In Medicine. Vol:31.623:634.Bioeffects Committe Of American Institute Of Ultrasound In Medicine.
- [11].Hoogland R.(2005,December). Ultrasound Therapy. The Netherlands:Implox Healthcare.
- [12].Thrush A., Hartshorne T. (2005). peripheral vascular ultrasound how, why and when (2nd ed). China: Elsevier.
- [13].Electrophysical Agent.(15/8/2018):<http://www.electrotherapy.org/>.
- [14].Enraf-Nonius B.V.(2013). Sonopuls 490 User Manual. The Netherland:22. (29/7/2018):[https://www.udh.med.sa/advices/Sonopuls_490-491_User_Manual_\(partnr_1497.750-44\).pdf](https://www.udh.med.sa/advices/Sonopuls_490-491_User_Manual_(partnr_1497.750-44).pdf).
- [15].Braunwald E.(2001). Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine(6th ed). United States of America:W.B. Saunders Company.
- [16].Nason E. (2008). An overview of cardiovascular disease and research.Santa Monica,CA:Rand Corporation.
- [17].Echo Parameters Ventricular Dimensions.(30/8/2018):<http://freelandsystems.com/echo-parameters-ventricular-dimensions/>.

المراجع العربية :

- [18]. شهلا، عبد الوهاب.(2009). التشريح والفيزيولوجيا، كلية الطب البشري، جامعة دمشق .
- [19]. مخلوف، يوسف.(2009). التشريح والفيزيولوجيا، كلية الطب البشري، جامعة دمشق .

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical & Electrical Engineering

Medical Engineering Department



Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) in Ischemic Heart Disease (IHD) patients

Thesis Submitted For The Degree Of Master Of Science Msc.

In The Medical Engineering Department

By Engineer

Shaza Alturifi

Supervised by

Prof. Mhd Firas Alhinnawi

Prof. Ali Khaddam

Academic Year

2021-2022