

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
ფიზიკის მიმართულება ბიოფიზიკის ქვემიმართულება

ეკატერინე ტურძელაძე

ულტრასონოგრაფიის მოქმედების პრინციპები და მისი
გამოყენება მედიცინაში

საბაკალავრო ნაშრომი შესრულებულია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო
მეცნიერებათა ფაკულტეტის ბაკალავრის აკადემიური
ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი: ეკა შეყილაძე

თბილისი 2024

ა ნ ო ტ ა ც ი ა

ულტრაბგერა და მისი გამოყენება მედიცინაში

ცოცხალი ორგანიზმების მოქმედებისა და ფუნქციონირების არეალი საკმაოდ ფართოა. მის შესწავლასა და სიღრმისეულ აღწერას არაერთი ფიზიკური მეთოდი ემსახურება. ვფიქრობ ერთ-ერთ აქტუალურ, წარმატებულ მეთოდს წარმოადგენს ულტრა ბგერა და მისი გამოყენება მედიცინაში, რომლის საშუალებითაც შინაგანი ორგანოების მოქმედებებზე სრულყოფილ ინფორმაციას ვიღებთ. ვფიქრობ, რომ ულტრა ბგერის აღმოჩენამ გაამარტივა ადამიანების ცხოვრება და დიდი კომფორტი შეუქმნა მედიცინის წარმომადგენლებს. ნაშრომში წარმოდგენილია ულტრაბგერის ირგვლივ არსებული მასალები და მოყვანილია სამედიცინო სფეროში, მისი გამოყენების მაგალითები და უპირატესობები.

A n o t a t i o n

Ultrasound and its application in medicine

Area of positioning and functioning of living organisms is so large. We need variety of physical methods to maintain deep description of them. I do believe that ultra-sound is one of the most actual and successful methods and use of ultra sound in medicine is also very effective. We can see full picture of functioning our organs via ultra sound. I think that discovery of ultra sound made all people's life simpler than it was before. And ultra sound also made work more comfortable for representatives of medicine. In this thesis there is materials around ultra sound, we also describe examples of using ultra sound in medicine.

სარჩევი

შესავალი.....	4
1. ულტრაბგერები - ზოგადი დახასიათება.....	6
2. ულტრაბგერის ფიზიკური მახასიათებლები.....	9
3. ულტრაბგერის გენერაცია.....	11
3.1 ელექტროსტრექციის მეთოდი.....	1
3.2 მაგნიტოსტრექციის მეთოდი.....	13
4. ულტრაბგერის ურთიერთქმედება ცოცხალ ქსოვილებთან	14
5. ულტრაბგერის ბიოლოგიური და სამკურნალო ზემოქმედების მექანიზმები.....	21
6. ულტრაბგერის გამოყენება მედიცინაში	26
6.1 სტომატოლოგიაში.....	29
6.2 ლითოტრისფსია -.....	29
დასკვნა.....	31
გამოყენებული ლიტერატურა.....	32

შესავალი

როგორ და რანაირად შემოიჭრა ულტრაბგერები ადამიანების ცხოვრებაში? XX საუკუნის დასასრულისთვის აკუსტიკის განვითარებასთან ერთად აღმოაჩინეს ულტრაბგერა. იმ დროისთვისვე დაიწყო მისი გამოკვლევები. მან განვითარების მრავალი ეტაპი განვლო:

1. მე-20 საუკუნის დასაწყისში 1880 წელს პიერ კიურიმ და მისმა ძმამ ჟაკმა საფუძველი ჩაუყარეს ულტრაბგერით ტექნოლოგიას.
2. 1920-იანი წელი: ფიზიკოსებმა შექმნეს პირველი ულტრაბგერითი გადამცემები პიეზოელექტრული კრისტალების გამოყენებით. ამ კრისტალებს შეუძლიათ ულტრაბგერითი ტალღების გამოსხივება და მიღება.
3. 1930-იანი წლები: ავსტრიელმა ნევროლოგმა კარლ დუსიკმა და გერმანელმა ნევროლოგმა ფრიდრიხ დესაურმა დამოუკიდებლად ჩაატარეს ექოსკოპია სამედიცინო გამოსახულების მიზნით, კონკრეტულად ტვინის კონტექსტში.
4. 1940-იანი წლების ბოლოს: ულტრაბგერის თანამედროვე ერა დაიწყო, როდესაც დოქტორ იან დონალდმა, შოტლანდიელმა მეანმა და ინჟინერმა ტომ ბრაუნმა ითანამშრომლეს სამედიცინო დიაგნოსტიკისთვის ულტრაბგერითი ტექნოლოგიის გამოსაყენებლად. მათ წარმატებით გამოიყენეს ულტრაბგერა ადამიანის ორგანიზმში სიმსივნეების გამოსავლენად.
5. 1950-იანი წლები: დუგლას ჰორიმ და ჯოზეფ ჰოლმსმა კიდევ უფრო განავითარეს ულტრაბგერითი ტექნოლოგია რბილი ქსოვილებისა და ორგანოების გამოსახულების მიღების მიზნით.
6. 1960-იანი წლები: გადამცემი ტექნოლოგიების, ვიზუალიზაციის ტექნიკისა და ულტრაბგერითი აპარატების უწყვეტმა წინსვლამ განაპირობა მისი ფართო გამოყენება სამედიცინო სპეციალობებში.

მას შემდეგ ულტრაბგერითი ტექნოლოგია განაგრძობდა განვითარებას გამოსახულების ხარისხის, გარჩევადობის გაუმჯობესებით და ახალი რეჟიმებისა და აპლიკაციების შემუშავებით, რაც გახდა შეუცვლელი ინსტრუმენტი თანამედროვე მედიცინაში.

ულტრაბგერას აქვს სპეციფიკური თვისებები, რომელნიც განსაზღვრავენ მის ფართო გამოყენებას მეცნიერებასა და ტექნიკაში.

ულტრაბგერით გამოწვეული ცვლილებების სიდიდე და ხასიათი ერთი მხრივ დამოკიდებულია ულტრაბგერის სიხშირეზე, მის ინტენსივობასა და ზემოქმედების დროზე, ხოლო მეორეს მხრივ თვით ობიექტის სტრუქტურულ თავისებურებებზე. მის ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებზე, ზოგადად თუ ვიტყვით, ულტრაბგერა შეიძლება იწვევდეს დამაზიანებელ, დამთრგუნველ და მასტიმულირებელ ზემოქმედებას. ულტრაბგერებს ზოგიერთი დაავადების მკურნალობისთვისაც იყენებენ. მაგალითად არის ისეთი შემთხვევები, როცა თირკმელში მყარი ნივთიერება გროვდება და კენჭებს წარმოქმნის. ულტრაბგერა ამ კენჭებს არხევს, სანამ ისინი არ დაიშლება და სხეულიდან უმტკივნეულოდ არ გამოვა.

დიაგნოსტიკური ულტრაბგერა: ფართოდ გამოიყენება შინაგანი ორგანოების ვიზუალიზაციისთვის, ორსულობის დროს ნაყოფის განვითარების მონიტორინგისთვის, ისეთი დარღვევების აღმოსაჩენად, როგორიცაა სიმსივნე ან ცისტები და სამედიცინო პროცედურების წარმართვა.

დოპლერის ულტრაბგერა: ზომავს სისხლის ნაკადის სიჩქარეს და მიმართულებას, სასარგებლოა გულ-სისხლძარღვთა მდგომარეობის შესაფასებლად, სისხლძარღვების შესაფასებლად და ნაყოფის მიმოქცევის მონიტორინგისთვის.

ულტრაბგერითი გამოიყენება მასალების დეფექტების ან ხარვეზების შესამოწმებლად მათი დაზიანების გარეშე, რაც გადამწყვეტია ისეთ ინდუსტრიებში, როგორიცაა აერონავტიკა, ავტომობილები და მშენებლობა.

გაზომვა და ანალიზი: ულტრაბგერას შეუძლია გაზომოს სისქე, დაახასიათოს მასალები და აღმოაჩინოს ხარვეზები წარმოების პროცესებში.

ულტრაბგერა გამოიყენება კვლევებში სითხის დინამიკის, კავიტაციის ფენომენების და მასალების აკუსტიკური თვისებების შესასწავლად.

იგი გამოიყენება გარემოს მონიტორინგში და წყალქვეშა კომუნიკაციაში, წყალში ეფექტურად გავრცელების უნარის გამო.

კერძოდ ჩვენ განვიხილავთ მის გამოყენებას მედიცინის სფეროში.

ულტრაბგერები - ზოგადი დახასიათება

ულტრაბგერა, რომელიც ასევე ცნობილია როგორც სონოგრამა, არის ერთგვარი სამედიცინო ტექნიკა, რომელიც იყენებს მაღალი სიხშირის ხმის ტალღებს სხეულის შიგნით სტრუქტურების გამოსახულების შესაქმნელად. მისი მუშაობა რამდენიმე ფუნდამენტურ ფაქტორს ეყრდნობა:

1. ხმოვანი აპარატები ასხივებენ ხმის ტალღებს უფრო მაღალი სიხშირით, ვიდრე ადამიანის ყურს შეუძლია აღმოაჩინოს (როგორც წესი, 2-დან 18 მეგაჰერცამდე). ადამიანის ყურს შეუძლია გაიგოს და აღიქვას სხეულის ისეთი რხევა, რომლის დროსაც წარმოქმნილი ტალღები ერთმანეთის მიყოლებით 1 წამში ასრულებს არაუმცირეს 16 და არაუმეტეს 20000 სრულ რხევას. ამიტომ, სიხშირეებს 16-20 ათასი ჰერცის დიაპაზონში ეძახიან ხმოვან ტალღებს.

2. ამ ხმის ტალღების სხეულში გასაგზავნად გამოიყენება პატარა ხელის მოწყობილობა, რომელსაც ეწოდება გადამცემი. გადამცემი ასევე იღებს ხმის ტალღების გამოხმაურებას, როდესაც ისინი უკან ბრუნდებიან ქსოვილებიდან და ორგანოებიდან.

3. როდესაც ბგერითი ტალღები ხვდება საზღვრებს სხვადასხვა ქსოვილებს შორის (როგორიცაა სითხესა და რბილ ქსოვილს შორის, ან რბილ ქსოვილსა და ძვალს შორის), ზოგიერთი ტალღა ბრუნდება გადამცემში ექოს სახით. მანქანა ამუშავებს ამ ექოს მონიტორზე რეალურ დროში გამოსახულების შესაქმნელად.

4. გამოსახულების ინტერპრეტაცია: მიღებული ულტრაბგერითი გამოსახულებები ჯანდაცვის სპეციალისტებს საშუალებას აძლევს დაინახონ სხეულის შიდა სტრუქტურები. ეს ხელს უწყობს სხვადასხვა მდგომარეობის დიაგნოზს და მონიტორინგს, როგორიცაა ორსულობა, ორგანოთა ანომალიები, სიმსივნეები და სითხის დაგროვება.

ულტრაბგერითი გამოსახულება არის არაინვაზიური, უმტკივნეულო და არ იყენებს მაიონებელ გამოსხივებას (განსხვავებით რენტგენისა და CT სკანირებისგან), რაც მას უსაფრთხოს ხდის პაციენტებისთვის და ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სამედიცინო სპეციალობაში.

ე.ი ულტრაბგერა ეწოდება მაღალი სიხშირის დრეკად ხმოვან რხევებს. ნებისმიერი სხეული სწრაფი რხევისას დრეკად გარემოში, თავისი მოძრაობებით ხან კუმშავს და ხან განმუხტავს გარემოს. რხევადი სხეულიდან ცვალებადი წნევის ფენა ვრცელდება ყველა მიმართულებით და წარმოიქმნება ხმოვანი ტალღები.

16 კპც-დან დაწყებული სიხშირის დრეკად ტალღებს ეწოდება ულტრაბგერის საწყისი ზღვარი. ხოლო ულტრაბგერის ზედა ზღვარი - განისაზღვრება დრეკადი ტალღების ბუნებიდან გამომდინარე. დრეკადი ტალღების ბუნება გულისხმობს, რომ დრეკადი ტალღების განვრცობა შესაძლებელია მხოლოდ იმ პირობით, რომ ტალღის სიგრძე გაცილებით მეტია, ვიდრე მოლეკულების თავისუფალი განარბენის ტალღის სიგრძე ან ატომთა შორის მანძილი (სითხეებსა და აირებში).

ულტრაბგერები წარმოადგენს ბუნებაში არსებული ძალიან ბევრი ბუნებრივი ხმაურის შემადგენელ კომპონენტს: ქარის ხმაური, ჩანჩქერი, წვიმა, ზღვების (ოკეანეების) ტალღები, ჭექა-ქუხილის დროს ხმაური და ა.შ. ზოგიერთ მუშუმწოვარს, მაგალითად ძაღლს და კატას, შეუძლია აღიქვას 100კპც-მდე სიხშირის ულტრაბგერები.

ულტრაბგერითი ტალღები თავისი ბუნებით ძალიან ჰგავს ხმოვან ტალღებს და ემორჩილება იმავე ფიზიკურ კანონებს, მაგრამ ულტრაბგერას აქვს თავისი სპეციფიკური კანონები, რომლებიც განსაზღვრავენ მის გამოყენებას მეცნიერებასა და ტექნიკაში.

ულტრაბგერის ძირითადი თვისებებია:

- 1) ტალღის მცირე სიგრძე. ულტრაბგერის ტალღის სიგრძის ყველაზე დაბალი დიაპაზონი სხვადასხვა გარემოში არ აღემატება რამდენიმე სანტიმეტრს. ტალღის მცირე სიგრძე განაპირობებს ულტრაბგერითი ტალღის სხივურ მახასიათებლებს. გამომსხივებლის სიახლოვისას ულტრაბგერა განეწვრცობა სხივების კონის სახით, რომელიც თითქმის გამომსხივებლის ზომისაა. არაერთგვაროვან გარემოში მოხვედრისას, ულტრაბგერა სინათლის სხივის მსგავსად იქცევა: განიცდის არეკლვას, გარდატეხას, გაფანტვას, რომელიც საშუალებითაც შეიქმნება ხმოვანი გამოსახულება ოპტიკურად გაუმჭირვალე გარემოში და გამოიყენება სუფთა ოპტიკური ეფექტები (ფოკუსირება, ინფრაქცია და ა.შ.).
- 2) რხევის მცირე პერიოდი. რაც საშუალებას იძლევა ულტრაბგერა გამოსხივდეს იმპულსების სახით და ვაწარმოოთ გარემოში გავრცელებადი სიგნალების ზუსტი დროებითი სელექცია.
- 3) დაბალი ამპლიტუდისას შესაძლებელია მივიღოთ რხევითი ენერგიის მაღალი მაჩვენებელი. რხევის ენერგიის სიხშირის კვადრატთან პროპორციულობა საშუალებას იძლევა შეიქმნას ულტრაბგერის კონები და ველიენერგიის მაღალი დონით. ამ დროს, დიდი აპარატურები საჭირო არ არის.

მნიშვნელოვანი აკუსტიკური დინებები, რომლებიც წარმოიქმნება ულტრაბგერით ველში.

ულტრაბგერით სხვადასხვა გარემოზე ზემოქმედებისას წარმოიქმნება

სპეციფიკური ეფექტები: ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური, სამედიცინო. მაგალითად, ბგერითი ეფექტი, ემულგირება გაუხშობა, ლოკალური გაცხელება და მრავალი სხვა.

4)გავრცელების სიჩქარე: ულტრაბგერითი ტალღები ქსოვილებში მოძრაობს დამახასიათებელი სიჩქარით, რომელიც არის დაახლოებით 1540 მეტრი წამში (მ/წმ) რბილ ქსოვილებში სხეულის ტემპერატურაზე. სხვადასხვა ქსოვილებში ხმის სიჩქარე შეიძლება ოდნავ განსხვავდებოდეს მათი სიმკვრივისა და ელასტიურობის მიხედვით.

5)აბსორბცია და შესუსტება: ულტრაბგერითი ტალღები შეიწოვება და სუსტდება ქსოვილებში გადაადგილებისას. სხვადასხვა ქსოვილს აქვს განსხვავებული შთანთქმის კოეფიციენტები და შესუსტების სიჩქარე, რაც გავლენას ახდენს ულტრაბგერითი გამოსახულების შეღწევადობის სიღრმეზე და სიცხადეზე.

6)არეკვლა და რეფრაქცია : ულტრაბგერითი ტალღები განიცდიან არეკვლას, როდესაც ისინი ხვდებიან სხვადასხვა ქსოვილების საზღვრებს შორის. რეფრაქცია ხდება მაშინ, როდესაც ულტრაბგერითი ტალღები მიმართულებას იცვლის, როდესაც ისინი გადიან სხვადასხვა აკუსტიკური თვისებების ქსოვილებში.

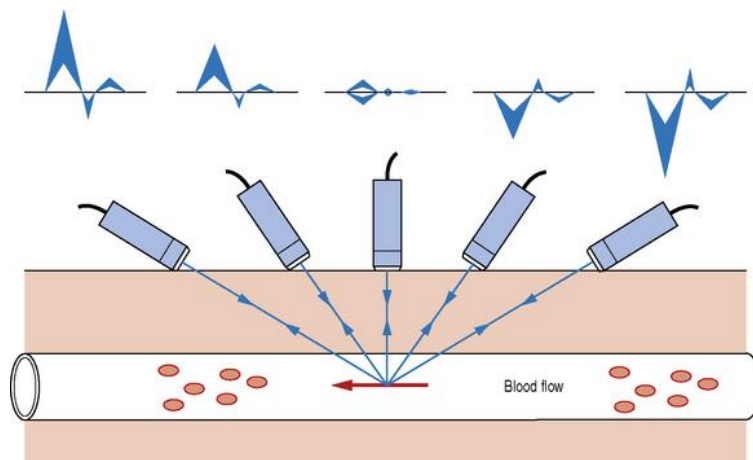
7)ინტერფერენცია: ულტრაბგერითი ტალღები შეიძლება ხელი შეუშალოს ერთმანეთს, რამაც გამოიწვიოს კონსტრუქციული ან დესტრუქციული ჩარევის ნიმუშები. ეს თვისება ზოგჯერ გამოიყენება ულტრაბგერითი გამოსახულების ტექნიკაში გამოსახულების ხარისხის გასაუმჯობესებლად ან დამატებითი ინფორმაციის შესაგროვებლად.

8)რენტგენისა და გამა სხივებისგან განსხვავებით, ულტრაბგერითი ტალღები არაიონიზირებულია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ისინი არ ატარებენ საკმარის ენერგიას ატომების ან მოლეკულების იონიზაციისთვის. ეს ხდის ულტრაბგერას უსაფრთხო გამოსახულების მოდალას რადიაციის ზემოქმედების თანმდევი რისკების გარეშე.

ულტრაბგერის ეს ფიზიკური მახასიათებლები აუცილებელია იმის გასაგებად, თუ როგორ ურთიერთქმედებენ ულტრაბგერითი ტალღები ქსოვილებთან და როგორ გამოიყენება ისინი სხვადასხვა აპლიკაციებში, მათ შორის სამედიცინო დიაგნოსტიკაში, სამრეწველო ტესტირებასა და თერაპიულ პროცედურებში.

1. ულტრაბგერის ფიზიკური მახასიათებლები

ულტრაბგერითი ტალღა, როგორც ნებისმიერი სხვა ტალღა, სხვადასხვა დისკრეტულ გარემოში გავრცელებისას, ამ გარემოს მიერ არეკვლას, შთანთქმას, გაფანტვას, გარდატეხას და სიხშირის დოპლერისეულ წანაცვლებას განიცდის (იხ. სურათი 1).



სურ. 1

არეკვლა - ულტრაბგერითი ტალღა აირეკლება გამოსაკვლევი ობიექტის გარეთა და შიგა ზედაპირებიდან. არეკლილი ენერგიის გაზომვა და რეგისტრაცია ულტრაბგერითი დიაგნოსტიკის საფუძველს წარმოადგენს.

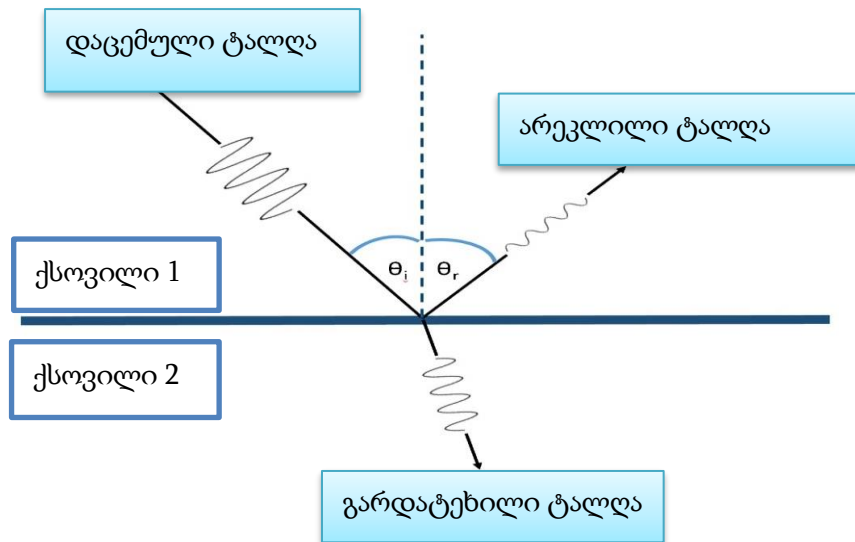
ტრანსმისია (გადაცემა) - ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის ნაწილი ვრცელდება გამოსაკვლევ ობიექტში მექანიკური (კომპრესიული) ტალღის სახით.

გაფანტვა - ტალღის ენერგიის ნაწილი იფანტება გარემოს ნაწილაკებთან ურთიერთქმედების შედეგად (გარემოს არაჰომოგენურობის გამო).

გარდატეხა - ულტრაბგერითი ტალღები ორი განსხვავებული არის საზღვარზე გავრცელების დროს იცვლის გავრცელების მიმართულებას.

სიხშირის დოპლერისეული წანაცვლება - ულტრაბგერითი ტალღების სიხშირე და ტალღის სიგრძე იცვლება მოძრავ ობიექტებთან ურთიერთქმედების დროს.

შთანთქმა, ტრანსმისია, გაფანტვა, გარდატეხა, ულტრაბგერითი ტალღა ენერგიის მატარებელია: როდესაც ტალღა ვრცელდება განსხვავებული აკუსტიკური



სურ. 2

წინააღმდეგობის მქონე გარემოში, მისი ენერგიის ნაწილი აირეკლება (ექოტალღა) (იხ. სურათი 2).

არეკლილი ტალღის უკან დაბრუნებისთვის, საჭირო დროის ინტერვალის მიხედვით, საზღვრავენ ექოტალღის ამრეკლი ზედაპირის მდებარეობას. არეკვლის კოეფიციენტი R გამოითვლება ფორმულით:

$$R = A_1/A_2 = (Z_1 - Z_2)/(Z_1 + Z_2)$$

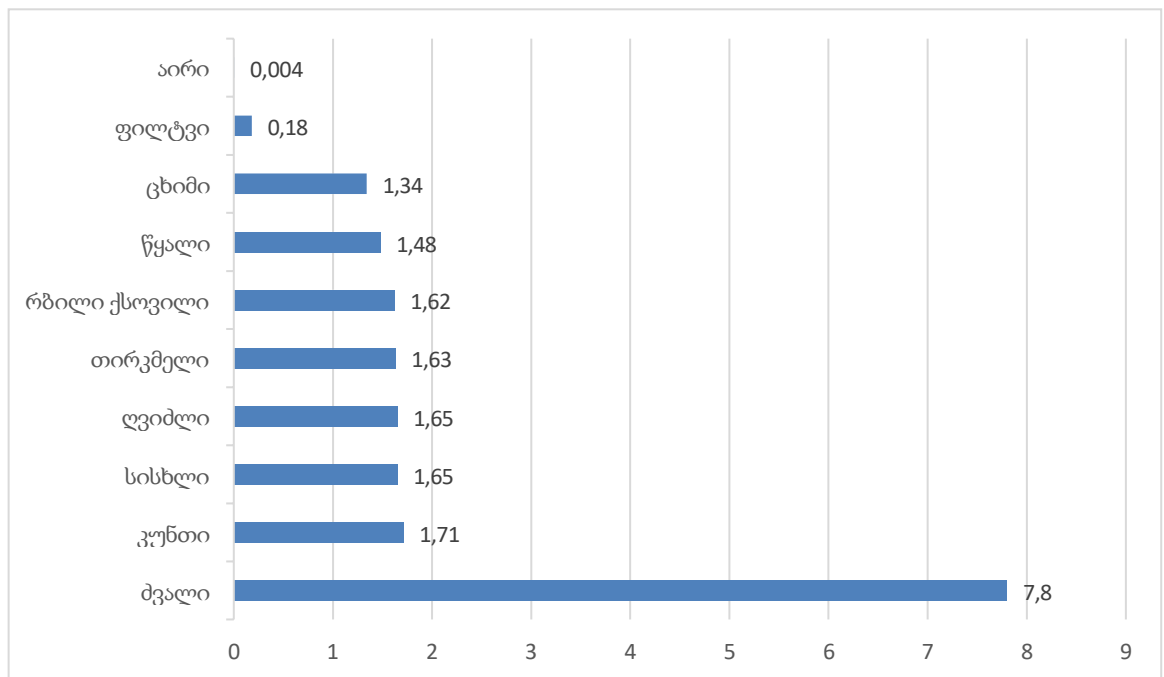
სადაც A_1 და A_2 - არეკლილი და გავრცელებული ტალღების ამპლიტუდებია, Z_1 და Z_2 - ტალღების აკუსტიკური წინააღმდეგობა პირველ და მეორე გარემოში, შესაბამისად, არეკლილი ტალღის ინტენსივობა მცირდება, სიხშირე კი უცვლელი რჩება.

ბგერითი ტალღის წნევა (ბრტყელი ტალღისთვის)

$$P = \rho a V_1$$

სადაც a - გარემოს ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარეა, ρ - გარემოს სიმკვრივე, V - ტალღის გავრცელების სიჩქარე ამ გარემოში.

მესამე სურათზე მოცემულ დიაგრამაზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ბიოლოგიური ქსოვილის აკუსტიკური წინააღმდეგობა. გასაგებია, რაც უფრო დიდია ტალღის გავრცელების ორი გარემოს აკუსტიკური იმპედანსების სხვაობა, მით უფრო დიდია არეკლილი ენერგიის ნაწილი.



სურ. 3 სხვადასხვა ბიოლოგიური ქსოვილის აკუსტიკური წინაღობა – $Z \times 10^6$

მ წმ

3.ულტრაბგერის გენერაცია

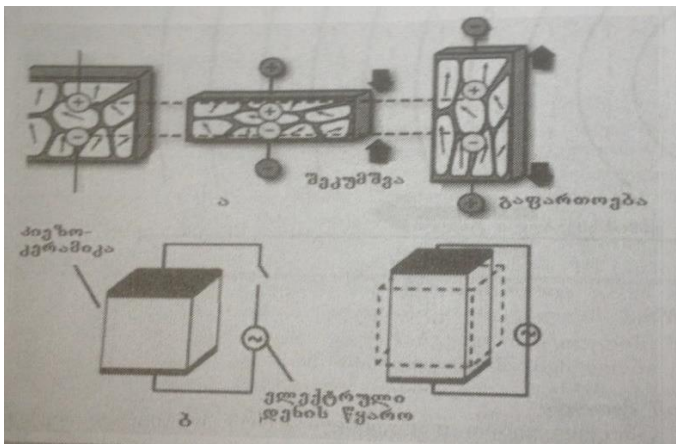
ულტრაბგერითი ტალღის მისაღებად, ჩვეულებრივ, გამოიყენება ელექტროსტრიქციის (შებრუნებული პიეზოელექტრული ეფექტი) და მაგნიტოსტრიქციის მეთოდი. განვიხილოთ ამ მეთოდების ფიზიკური არსი.

3.1.ელექტროსტრიქციის მეთოდი

მრავალრიცხოვანი გამოკვლევებით დადგენილი, რომ ზოგიერთი პიეზოელექტრული ტიპის კრისტალის (მაგ: კვარცის, ბარიუმის, ტიტანიტის და სხვა) მექანიკური შეკუმშვისას ხდება მუხტების განაწილება - როცა ერთი ზედაპირი იმუხტება დადებითად, მეორე აუცილებლად უარყოფითადაა დამუხტული და გაფართოებისას კი პირიქით (იხ. სურათი 8ა) ეს პირდაპირი პიეზოეფექტი.

პიეზოკრისტალი მუდმივ ელექტრულ ველში მოთავსებისას განიცდის მექანიკურ დეფორმაციას. ერთი მიმართულების ველში იგი იჭიმება, ხოლო საწინააღმდეგოდ

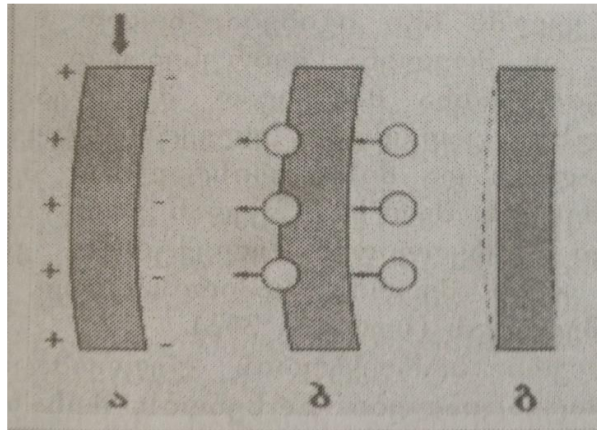
მიმართულ ველში - იკუმშება. ეს მეთოდი შებრუნებული პიეზოეფექტის სახელითაა ცნობილი. ამ ეფექტის ახსნა მარტივად შეიძლება, თუ გავითვალისწინებთ რომ ფირფიტა, რომელსაც ვათავსებთ ელექტრულ ველში, დიელექტრიკული ტიპის კრისტალს წარმოადგენს და მისი კრისტალური მესერი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ორი მესრის შერწყმა. აქედან ერთი შედგენილია დადებითი იონებისგან, მეორე კი უარყოფითი. ელექტრულ ველში მოთავსებისას ეს მესრები წაინაცვლება ერთი მესრის საპირისპიროდ, რაც, ცხადია გამოიწვევს კრისტალის ზომების შეცვლას (იხ. სურათი 8).



სურ. 8

საინტერესოა, რომ ძვლების კრისტალური სტრუქტურის დეფორმაციისას მათში აღმოცენდება პიეზოელექტრული პოტენციალები. არსებობს მოსაზრება, რომ ეს პოტენციალები მონაწილეობს ძვლებში ხანგრძლივი მექანიკური ზეწოლის საპასუხო ადაპტაციური რეაქციების განვითარებაში, ძვლოვანი ქსოვილების რემოდულაციასა და საკვები ნივთიერებების გავრცელებაში. მეტაბოლიტებით მდიდარი სითხის ნაკადი ვრცელდება ძვლოვან ქსოვილში

ვიწრო არხების საშუალებით. ბუნებრივია, მამოძრავებელი მექანიზმის გარეშე ამ ნაკადის სიჩქარე არ იქნებოდა საკმარისი ძვლებში საჭირო საკვები ნივთიერებების გავრცელებისთვის. ითვლება, რომ სწორედ პიეზოელექტრული პოტენციალები, რომლებიც აღმოცენდებიან ძვლოვანი ქსოვილის დეფორმაციის შედეგად სხეულის ნორმალური მოძრაობის დროს, ზემოქმედებას ახდენენ იონებისა და სხვა საკვები ნივთიერებების ნაკადებზე და უზრუნველყოფენ მათ გადაადგილებას ოსტეობლასტებში (იხ. სურათი 9).



სურ. 9

ცხადია ასეთი ფირფიტის ხაზოვანი მაჩვენებელი (მაგ. მისი სიგრძე) პერიოდულად ცვლად ელექტრულ ველში იქნება ასევე დროის პერიოდული ფუნქცია. მისი რხევის (შეკუმშვა-გაფართოების) სიხშირე ტოლი იქნება ელექტრული ველის რხევის სიხშირისა. თუ ფირფიტა ერთდროულად მოთავსებულია ცვლად ელექტრულ ველში და დრეკად გარემოში (აირში ან სითხეში), ცხადია, ამ გარემოში იგი აღძრავს მექანიკურ ტალღებს, ე.ი. გადაიქცევა მექანიკური ტალღების წყაროდ. როდესაც ელექტრული ველის სიხშირე აღემატება 20000ჰც-ს, გარემოში გავრცელდება ულტრაბგერითი ტალღები. აღძრული იძულებითი რხევების ამპლიტუდა დამოკიდებულია ელექტრული ველის სიხშირესა და ფირფიტის საკუთარი რხევის სიხშირეს შორის სხვაობაზე. რაც უფრო მცირეა ეს სხვაობა, მით უფრო დიდია რხევის ამპლიტუდა (რეზონანსის ამპლიტუდა).

3.2 მაგნიტოსტრიქციის მეთოდი

ეს მეთოდი თავისი არსით ანალოგიურია ულტრაბგერითი ტალღების მიღების ელექტროსტრიქციის მეთოდისა, ოღონდ ამ შემთხვევაში ცვლადი ელექტრული ველის ნაცვლად, გამოიყენება ცვლადი მაგნიტური ველი, ხოლო სხეულად, რომელიც ცვლადი მაგნიტური ველის ზემოქმედებით ნივთიერებაში აღძრავს მექანიკურ ტალღებს (კერძოდ, ულტრაბგერას) გამოიყენება პარამაგნიტური ნივთიერებანი (რკინა, ნიკელი, კონზალტი, ზოგიერთი მათი შენადნობი და სხვა). თუ ინდუქციურობის კოჭას ღრუში მოვათავსებთ რომელიმე მაგნიტური ნივთიერებისგან დამზადებულ ღეროს და კოჭას მივუერთებთ ცვლადი დენის წყაროს, აღიძვრება ცვლადი მაგნიტური ველი. ამ ველის ზემოქმედების

შედეგად მაგნიტური ღეროს ხაზოვანი ზომები დროის მიხედვით პერიოდულად იცვლება, რის გამოც იგი იქცევა რხევის წყაროდ. როდესაც ასეთი ზემოქმედების ქვეშ მყოფი ღერო მოთავსებული

იქნება დრეკად გარემოში (აირში ან სითხეში), მაშინ ამ გარემოში გავრცელდება მექანიკური ტალღა და იგი იქნება ულტრაბგერითი, თუ ინდუქციის კოჭაში გამავალი ცვლადი დენის სიხშირე 20000 ჰც-ზე მეტია. როდესაც ცვლადი დენის სიხშირე გაუტოლდება კოჭას გულარის საკუთარ სიხშირეს, აქაც ისევე როგორც ელექტროსტრექციის შემთხვევაში, ადგილი ექნება რეზონანსს. მექანიკურ ტალღაში რხევის ამპლიტუდა რეზონანსულად გაიზრდება და შესაბამისად, გაიზრდება ულტრაბგერითი ტალღის ინტენსივობაც.

4. ულტრაბგერეების ურთიერთქმედება ცოცხალ ქსოვილებთან

სისხლის რბილი ქსოვილის საზღვრის შემთხვევაში, არეკვლის კოეფიციენტი $R=0,034$. როდესაც იგივე ბგერა აირეკლება უკვე ძვლის ქსოვილის ზედაპირიდან R 20-ჯერ უფრო მაღალია.

ულტრაბგერითი გამოსახულებები მიიღება არეკლილი ტალღებით ქსოვილების აკუსტიკური წინააღობის განსხვავების ხარჯზე. აკუსტიკური ენერგიის ძლიერი არეკვლის პირობებში ქსოვილის ვიზუალიზაცია (მაგალითად ძვლის) შეუძლებელია. მე-4 სურათზე მოცემულია სხვადასხვა წყვილი ქსოვილის საზღვრის ზედაპირიდან არეკლილი ენერგიის ინტენსივობა.

ქსოვილის ზედაპირი	არეკვლისკოეფიციენტი
ღვიძლია-თირკმელი	0.0003
ღვიძლი-ცხიმი	0.00011
ცხიმი-კუნთი	0.015
კუნთი-ძვალი	0.41
კუნთი-ფილტვი	0.65
კუნთი-აირი	0.99
სისხლი-აირი	0.99

სურ. 4

კუნთი-ძვლის საზღვრის ზედაპირიდან აირეკლება ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის 41% (რის შედეგადაც მიიღება ნეკნებს შორის მოთავსებული გულის გამოსახულება); კუნთი-ფილტვების საზღვრის ზედაპირიდან აირეკლება აკუსტიკური ენერგიის 65% (რის გამოც ფილტვების ფონზე ძალიან ძნელია გულის ვიზუალიზაცია); კუნთი-აირის საზღვრის ზედაპირიდან აირეკლება აკუსტიკური ენერგიის 99% (ვიზუალიზაციისთვის აუცილებელია ბგერის გამოყენება, რომელიც შეამცირებს არეკლილი ტალღის ინტენსივობას);

ქსოვილებში გავრცელებისას ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის გაფანტვა გარემოს ნაწილაკებთან ურთიერთქმედების შედეგია, ენერგიის ნაწილი კი ამ ნაწილაკების სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება. სწორედ ამ მოვლენას სითბური მოქმედება ეწოდება.

სუფთა წყალში გავრცელებისას ბგერითი ტალღის ენერგიის შთანთქმა შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი ფორმულით:

$$\alpha = 0.00049 \vartheta e^{\frac{-T}{27} + \frac{P}{170}}$$

სადაც V - ულტრაბგერითი ტალღის სიხშირეა (ჰც), T - ტემპერატურა (°C), p - ჰიდროსტატიკური წნევა. ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ტალღის სიხშირის ზრდასთან ერთად, იზრდება მისი ენერგიის შთანთქმა გარემოს მიერ. შესაბამისად, მისი შეღწევადობა ქვეითდება.

დადგენილია, რომ ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის შთანთქმა მკვეთრად იზრდება წყალში გახსნილი მარილის კონცენტრაციის ზრდის პროპორციულად (ზღვის წყალში, ქსოვილოვან სითხეში ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის შთანთქმა გაცილებით მაღალია, ვიდრე დისცილირებულ წყალში). შესაბამისად, ბიოლოგიური ქსოვილის მიერ ულტრაბგერითი ტალღის ენერგიის შთანთქმის ინტენსივობა დამოკიდებულია ამ ქსოვილში წყლისა და ცილის შეფარდებაზე - ბიოლოგიურ ქსოვილებში ცილის შემცველობის ზრდასთან ერთად იზრდება ენერგიის შთანთქმის ინტენსივობა.

ულტრაბგერითი ტალღის სხვადასხვა გარემოში (ქსოვილში) გავრცელების დროს, მისი ენერგიის ქსოვილის მიერ შთანთქმის პროცესს ტალღის შესუსტება ეწოდება. შესუსტება იზომება დბ/სმ ყოველი 1 000 000 ჰც-ზე.

ცხადია, რაც უფრო ძლიერია ტალღის შესუსტება, მით უფრო ნაკლები იქნება მისი შეღწევადობა. ულტრაბგერითი ტალღის შეღწევადობა სხვადასხვა ქსოვილში

ქსოვილი	შესუსტების კოეფიციენტი დბ/სმ	შეღწევადობის სიღრმე (ფარდობითი ერთეულები)
წყალი	0.0002	5000
სისხლი	0.18	5.56
რბილი ქსოვილი	0.3-0.8	1.25-3.33
თავის ტვინი	0.3-0.5	2.00-3.33
ღვიძლი	0.4-0.7	1.43-2/50
ცხიმი	0.5-1.8	0.56-2.00
გლუვი მუსკულატურა	0.2-0.6	1.67-5.00
რტილები	0.9-1.1	0.91-1.11
ძვალი	13-26	0.04-0.08
ფილტვი	40	0.025

სურ. 6

ტალღის სიხშირის ზრდასთან ერთად იზრდება მისი შესუსტება მოცემულ ქსოვილში. შესაბამისად ღრმად განლაგებული ქსოვილების ვიზუალიზაციისთვის იყენებენ უფრო დაბალი სიხშირის, ხოლო ზედაპირულად განლაგებული ქსოვილების ვიზუალიზაციისთვის - შედარებით მაღალი სიხშირის ულტრაბგერის ტალღებს .

ქსოვილში ენერგიის გავრცელება (ულტრაბგერითი ტალღის სახით) დაკავშირებულია ქსოვილის მიერ ენერგიის შთანთქმასთან, რაც პირდაპირი (თერმული ეფექტი) ან არაპირდაპირი გზით (კავიტაციის ეფექტი) ქსოვილში სხვადასხვა სახის დაზიანებას იწვევს. ულტრაბგერის მოქმედებით სითხეში მცირე ზომის აირით სავსე ბუშტების წარმოქმნის მოვლენას კავიტაცია ეწოდება. კავიტაცია ვითარდება ენერგიის (წნევის) ლოკალური განაწილების შედეგად . კავიტაციური ბუშტების წარმოქმნის ადგილას სითხის წნევა ვარდება, რაც აირის დაგროვებას და აირის ბუშტუკის წარმოქმნას განაპირობებს.

კავიტაციის ფიზიკური მექანიზმი დუდილის მსგავსია. ამ პროცესების ინიციაციისთვის აუცილებელია ენერგიის ლოკალური განაწილება. მთავარი განსხვავება დუდილსა და კავიტაციას შორის მდგომარეობს ორთქლის წარმოქმნის თერმოდინამიკურ მექანიზმში. დუდილი იწყება, როდესაც სითხეში გაცხელების დროს გამოყოფილი ჰაერი და წყლის ორთქლის ბუშტებში წნევა იზრდება გარემომცველი სითხის წნევასთან შედარებით და არსებობს საკმარისი ენერგია სითხის აირად მდგომარეობაში (ფაზაში) გადასვლისათვის. ულტრაბგერითი კავიტაციის დროს ბგერითი ტალღის გავრცელება სითხეში იწვევს სითხის მოლეკულების რხევას წონასწორობის მდგომარეობის გარშემო. შეკუმშვის დროს მანძილი მოლეკულებს შორის მცირდება, ხოლო გაფართოების პროცესში (უარყოფითი წნევა) - იზრდება. გაფართოების ადგილას წარმოიქმნება აირის მცირე ზომის ბუშტუკები. კავიტაციის დაწყებისთვის აუცილებელია ბუშტების ჩასახვის ზედაპირის არსებობა (და არა მთელ გარემოში ენერგიის ცვლილება); ეს ზედაპირი შეიძლება იყოს ჭურჭლის კედლები, სითხის მინარევები, ან გაუხსნელი აირის მიკრობუშტუკები, რომელთა ჰიდროფილური ზედაპირი უზრუნველყოფს მათ სტაბილიზაციას. ანუ, კავიტაციის დროს წამყვანი როლი ენიჭება ლოკალური წნევის ცვალებადობას.

ულტრაბგერითი ტალღის გავრცელების დროს წნევის მნიშვნელოვანი შემცირებისას (ბუშტუკებში ნაჯერი ორთქლის წნევასთან შედარებით), მცირე ბუშტუკები იწყებს შეუზღუდავ ზრდას, სანამ ბუშტშია წნევა არ მიაღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას. ამის შემდეგ ბუშტუკები სწრაფად სკდება ხმაურის წარმოქმნით.

კავიტაციური ბუშტუკები არსებობს მხოლოდ მილიწამების განმავლობაში. ბუშტუკების სწრაფი გასკდომის შედეგად ბუშტშია აირის ენერგია სწრაფად გადაეცემა გარემომცველ სითხეს, რაც იწვევს მთელი რიგი თერმული და ბიოქიმიური

პროცესების ინიციაციას (იხ.სურ). მამასადამე ულტრაბგერის
 ლოკალური თერმული ეფექტი ძირითადად დამოკიდებულია
 ულტრაბგერითი ტალღის ინტენსივობასა და გარემოს სიმკვრივეზე.
 სითხეში ბგერითი ტალღის გავრცელების დროს კავიტაციის რისკს ტალღის სიხშირე და
 მისი ინტენსივობა (წნევა) განსაზღვრავს:

$$MI = \frac{p}{\sqrt{\rho c}}$$

სადაც, p არი ბგერითი ტალღა, ρ – სიხშირე. ფორმულიდან ჩანს, რომ კავიტაციის
 რისკი MI იზრდება ულტრაბგერითი ტალღის სიხშირის შემცირებასთან და
 ინტენსივობის ზრდასთან ერთად. კავიტაციის რისკის უსაფრთხო მნიშვნელობა $MI < 1,9$.
 კავიტაციის პროცესში წარმოქმნილი ბუშტების მოძრაობის და აფეთქების შედეგად
 შესაძლებელია გარემოს დაზიანება (მიკროტრავმების განვითარება).

აირის მიკროსკოპული ბუშტუკები, რომლებიც ჩვეულებრივად არსებობს სითხეში,
 აკუსტიკური ტალღის ზემოქმედებით იწყებს რხევას. კავიტაციური ბუშტუკების რხევის
 დროს გარემოში ვრცელდება აკუსტიკური ენერგია. განასხვავებენ ორი ტიპის
 კავიტაციას: ინერციულ (არასტაბილურ) და სტაბილურ კავიტაციას.

თუ კავიტაციის გამომწვევი ულტრაბგერითი ტალღის ენერგია არ არის საკმარისი
 სითხეში ბუშტუკის სრული კოლაფსის ინდუცირებისთვის, ტალღის ზემოქმედებით
 სითხეში ბუშტუკების ზომა და ფორმა პერიოდულად იცვლება. ბუშტუკები პულსირებს
 წრფივად, წონასწორული მდებარეობის გარშემო და გამოასხივებს რეზონანსულ ენერგიას.
 ასეთ კავიტაციას სტაბილური კავიტაცია ეწოდება. სტაბილური კავიტაციის დროს
 ბგერითი ტალღის ინტენსივობა შედარებით დაბალია.

თუ ბგერითი ტალღის ენერგია მაღალია, ბუშტუკები სწრაფად იზრდება 1, 2 ან 3
 აკუსტიკური რხევის ციკლის განმავლობაში და გადაიქცევა დიდ ბუშტებად (ზომით
 დაახლოებით 100 μ m). ამ დროს ბუშტშია აირის წნევა რამდენიმე ათას ატმოსფეროს და
 ტემპერატურა რამდენიმე ათას გრადუსს აღწევს. შემდეგ ბუშტუკები სკდება და
 გამოასხივებს ენერგიას (შოკურ ტალღას) (იხ. სურათი 7). ამ პროცესს ეწოდება
 არასტაბილური კავიტაცია.

როდესაც კავიტაციური ბუშტუკები სკდება, მათი ენერგია თავისუფლდება

გარემომცველ სითხეში - სითხის ამ უბანში მკვეთრად იზრდება ტემპერატურა და ვრცელდება შოკური ტალღები, რომლებიც წარმოადგენს ხმაურის წყაროს.

შოკური ტალღები ახდენს დამაზიანებელ ზემოქმედებას ბიოლოგიურ ორგანიზმებზე და სხვა მასალებზე. მათი ტემპერატურა, მოლეკულების მაღალი სიჩქარე, მოლეკულების იონიზაცია და თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნა, ზეწოლის ძალები - ყველა ეს პროცესი ულტრაბერითი ტალღის ზემოქმედების ფიზიკური და ქიმიური (თავისუფალი რადიკალები ადვილად შედიან რეაქციაში სხვა ნაერთებთან და ბიოქიმიური პროცესების მიმართულებას ცვლიან) ეფექტების გამოვლინება. სტაბილური კავიტაცია იწვევს მნიშვნელოვნად ნაკლებ დაზიანებას, ვიდრე არასტაბილური კავიტაცია.

5. ულტრაბგერების ბიოლოგიური და სამკურნალო ზემოქმედების მექანიზმები

ბიოლოგიურ ობიექტებში ულტრაბგერით გამოწვეული ცვლილებების სიდიდე და ხასიათი, ერთი მხრივ დამოკიდებულია ულტრაბგერის სიხშირეზე, მის ინტენსივობასა და ზემოქმედების დროზე, მეორე მხრივ, თვით ობიექტის სტრუქტურულ თავისებურებებზე, მის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე.

მთლიანი ორგანიზმის რეაქცია ულტრაბგერის ზემოქმედება საკმაოდ მრავალფეროვანია.

ზოგადად თუ ვიტყვით, ულტრაბგერა შეიძლება იწვევდეს

დამაზიანებელ, დამორგუნველ და დამაზიანებელი ზემოქმედება ახასიათებს

მაღალი (1.5-3 ვტ/სმ²) და უფრო მეტი ინტენსივობის ულტრაბგერას. მაღალი ინტენსივობის ულტრაბგერას იყენებენ ქირურგიული იარაღების სტერილიზაციისათვის.

ულტრაბგერის ცოცხალ სისტემაზე მოქმედების ბევრი საკითხი საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი სტრუქტურული ორგანიზაციის თითქმის ყველა დონეზე (ბიომოლეკულების, უჯრედის, ქსოვილების, ორგანოების და მთლიანი ორგანიზმის დონეზე).

ულტრაბგერის ზემოქმედების შედეგად ორგანიზმში შეიძლება გამოვლინდეს ფიზიკურ-ქიმიური, ბიოქიმიური ან ფიზიოლოგიური ხასიათის ცვლილებები. მაგრამ ყველა შემთხვევაში ძირითადია უჯრედის რეაქცია ზემოქმედებისადმი - მისი მემბრანის განვლადობის ცვლილება.

ფიქრობენ რომ თერაპიული ინტენსივობის (0.4 ვტ/სმ²) ულტრაბგერის სამკულო

მოქმედებას ძირითადად უნდა განაპირობებდეს სითბური ენერგია, რომელიც გამოიყოფა სხვადასხვა აკუსტიკური თვისებების მქონე ფაზათა გამყოფ საზღვრებზე. მაღალი ინტენსივობის ულტრაბგერას ახასიათებს დამაზიანებელი მოქმედება.

ულტრაბგერის ბიოლოგიურ მოქმედებაში მნიშვნელოვან როლს უნდა ასრულებდეს უჯრედში და უჯრედშორის წარმოქმნილი მიკროდინება.

ულტრაბგერითი რხევა გავლენას ახდენს აგრეთვე მეტაბოლურ პროცესებზე და შესაბამისად იწვევს მათ გააქტიურებას ან დათრგუნვას. ასე მაგალითად, მათ შეუძლიათ მიტოქონდრიებს, ლიზოსომებისა და უჯრედის სხვა ორგანოიდების დაზიანება, რაც იწვევს

უჯრედშიგა სუნთქვისა და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევას. დადგენილია, რომ ულტრაბგერით ტალღებს შეუძლია მაღალმოლეკულური ნაერთების (მაგ. ციტოქრომა) სტრუქტურის შეცვლა, რაც თავის მხრივ, იწვევს მეტაბოლური პროცესების ინტენსივობის ცვლილებას.

დიდი ინტენსივობის ულტრაბგერა გავლენას ახდენს აგრეთვე უჯრედთა გაყოფის პროცესზე. ამ ფაქტის ახსნა შეიძლება ასეთი მსჯელობით: ულტრაბგერის მოქმედებისას წყლის არეში აზოტოვანი და აზოტმჟავა იონები წარმოიქმნება. NO_2 ძლიერი მუტაგენია. ცნობილია, რომ NO_2 და ციტოზინის რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება ურაცილი, რამაც შეიძლება გენეტიკური ინფორმაციის შეცვლა გამოიწვიოს.

მაშასადამე, ულტრაბგერის ბიოლოგიური მოქმედების მექანიზმში ძირითადია: 1) მოქმედების მექანიკური მხარე, 2) სითბური მხარე, 3) ფიზიკურ-ქიმიური მხარე.

მოქმედების მექანიკური მხარე გამოვლინდება მაკრომოლეკულებსა და უჯრედულ სტრუქტურებზე ცვლადი წნევის უშუალო ზემოქმედებით.

ულტრაბგერის მოქმედების მექანიზმში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია სითბურ მხარეს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფუნქციური თუ ფიზიკურ-ქიმიური ცვლილებები განპირობებული უნდა იყოს ბიოლოგიურ ობიექტში ტემპერატურის აწევით. მნიშვნელოვანია ასევე ფიზიკურ-ქიმიური ცვლილებები - მაკრომოლეკულებისა და უჯრედული სტრუქტურების კონფორმაციული ცვლილებები, წყლიან ფაზაში აქტიური იონებისა და რადიკალების წარმოქმნა და სხვა.

ცხადია, ულტრაბგერის სიხშირის, ინტენსივობის, ზემოქმედების დროისა და ობიექტის თვისებების შესაბამისად შეიძლება წამყვანი იყოს რომელიმე მათგანი, მაგრამ მოქმედების სხვა მხარეებიც გასათვალისწინებელია. სწორედ მათი რთული ურთიერთკავშირი უნდა განაპირობებდეს ულტრაბგერის მოქმედების ხასიათს.

ფიზიოთერაპიაში სამკურნალო მიზნით გამოყენებულია სხვადასხვა სიხშირის ულტრაბგერა. დადებითი ბიოლოგიური ეფექტი მიიღება დაბალი ინტენსივობის დროს ($I < 0.8$

). ასეთი ინტენსივობა იწვევს ქსოვილთა თავისებურ მიკრომასაჟს, რის შედეგადაც ნორმალური ფიზიოლოგიური პროცესები აქტიურდება.

მაღალი ინტენსივობის ულტრაბგერის დამანგრეველ მოქმედებას იყენებენ

უროლოგიაში თირკმლის ქვების დასაშლელად. ტრავმატოლოგიაში მოტეხილი ძვლის ნაწილების ერთმანეთთან შეერთების დასაჩქარებლად და ა.შ.

ულტრაბგერას წარმატებით იყენებენ სტომატოლოგიაში, კბილის ქვის მოსაცილებლად. ასევე, ფართოდ იყენებენ ფარმაცევტულ მრეწველობაში სხვადასხვა სამედიცინო პრეპერატების დამზადების დროს.

ბოლო პერიოდში მეცნიერებმა შექმნეს სმენისა და მხედველობის ულტრაბგერითი აპარატები. მაგ. უსინათლოს ამ აპარატის მეშვეობით რამდენიმე მეტრზე შეუძლია „დაინახოს“ მოძრავი და უძრავი საგანი, გაარჩიოს ხელი გაშლილი თითებით მუშტად შეკრულისგან და სხვა.

მოკლე რეზიუმე

ულტრაბგერა წარმოიქმნება ელექტრული სიგნალების გამოყენებით ულტრაბგერითი გადამცვანის პიეზოელექტრული კრისტალების მიმართ.

კრისტალები ელექტრო ენერგიას გარდაქმნის მექანიკურ ვიბრაციად, რაც თავის მხრივ წარმოქმნის ულტრაბგერით ტალღებს.

ეს ტალღები მოძრაობენ სხეულში, ურთიერთქმედებენ ქსოვილებთან და წარმოქმნიან ექოს, რომლებიც აღმოჩენილია და გარდაიქმნება ისევ ელექტრულ სიგნალებად იმავე გადამცვანის მიერ.

შედეგად მიღებული სიგნალები მუშავდება რეალურ დროში სურათების შესაქმნელად, რომლებიც უზრუნველყოფენ ღირებულ დიაგნოსტიკურ ინფორმაციას სამედიცინო გამოსახულებაში და ემსახურება სხვადასხვა მიზნებს მაგალითად როგორიცაა თერაპიული პროცედურები.

გავრცელება: ულტრაბგერითი ტალღები წარმოიქმნება ულტრაბგერითი გადამცემით და გადის სხეულის სხვადასხვა ქსოვილში.

შესუსტება: როდესაც ულტრაბგერითი ტალღები მოძრაობენ ქსოვილებში, ისინი განიცდიან შესუსტებას, რაც არის ტალღის თანდათანობით შესუსტება შთანთქმის, გაფანტვისა და არეკვლის გამო.

ანარეკლი: როდესაც ულტრაბგერითი ტალღები ხვდება საზღვრებს სხვადასხვა აკუსტიკური თვისებების მქონე ქსოვილებს შორის (როგორიცაა კუნთებსა და ძვლებს შორის), ტალღების ნაწილი აირეკლება უკან გადამცვანში.

რეფრაქცია: ულტრაბგერითმა ტალღებმა შეიძლება შეიცვალოს მიმართულება (რეფრაქცია) სხვადასხვა სიმკვრივისა და ელასტიურობის ქსოვილებში გავლისას.

შთანთქმის კოეფიციენტი: სხვადასხვა ქსოვილს აქვს განსხვავებული შთანთქმის კოეფიციენტი, რაც ნიშნავს, რომ ისინი შთანთქმევენ ულტრაბგერითი ტალღებს სხვადასხვა ზომით. მაგალითად, რბილი ქსოვილები, როგორიცაა კუნთი და ღვიძლი, ნაკლებად შთანთქმევენ ულტრაბგერას, ვიდრე ძვლები ან ჰაერით სავსე სტრუქტურები, როგორიცაა ფილტვები.

სითბოს გამომუშავება: ულტრაბგერითი ტალღების შთანთქმამ შეიძლება გამოიწვიოს ქსოვილების ლოკალიზებული გათბობა, თუმცა თანამედროვე ულტრაბგერითი აპარატურა შექმნილია ამ ეფექტის მინიმუმამდე შესამცირებლად.

თერმული ეფექტები: მაღალი ინტენსივობის ულტრაბგერით ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს თერმული ეფექტები, ქსოვილების გაცხელება. იგი გამოიყენება თერაპიულ ულტრაბგერაში ქსოვილების გასათბობად, შეხორცების ხელშესაწყობად ან აბლატიურ თერაპიაში.

მექანიკური ეფექტები: ულტრაბგერითმა ტალღებმა შეიძლება მოახდინოს მექანიკური ძალები ქსოვილებზე ტალღის გავრცელების დროს წნევის სწრაფი ცვლილების გამო. ეს ეფექტი გამოიყენება ტექნიკებში, როგორიცაა ფოკუსირებული ულტრაბგერითი თირკმელების ქვების დასაშლელად (ლითოტრიფსია) ან სონოპორაციაში წამლის მიწოდების გასაუმჯობესებლად.

გამოსახულების ფორმირება: სამედიცინო ულტრაბგერითი გამოსახულების დროს, ქსოვილებიდან ანარეკლებით წარმოქმნილი ექო აღმოჩენილია გადამყვანის მიერ და გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალებად. ეს სიგნალები მუშავდება რეალურ დროში გამოსახულების შესაქმნელად, რომლებიც ვიზუალებენ შიდა სტრუქტურებსა და ანომალიებს.

არაიონებელი გამოსხივება: ულტრაბგერითი ტალღები არაიონებელია, განსხვავებით რენტგენისა და კომპიუტერული ტომოგრაფიისგან, რაც ნიშნავს, რომ ისინი არ წარმოადგენენ მაიონებელი გამოსხივების დაზიანების რისკს.

ბიოეფექტები და უსაფრთხოების გაიდლაინები: ვრცელმა კვლევამ დაადგინა ულტრაბგერითი დიაგნოსტიკის უსაფრთხოების გაიდლაინები პაციენტებისთვის მინიმალური რისკის უზრუნველსაყოფად. თერაპიული ულტრაბგერითი აპლიკაციები საგულდაგულოდ კონტროლდება გვერდითი ეფექტების თავიდან ასაცილებლად.

დასკვნა: ულტრაბგერა ურთიერთქმედებს ცოცხალ ქსოვილებთან ისეთი მექანიზმებით, როგორიცაა ასახვა, შთანთქმა და რეფრაქცია. ეს ურთიერთქმედება აუცილებელია როგორც დიაგნოსტიკური გამოსახულების, ასევე თერაპიული გამოყენებისთვის მედიცინაში. ამ ურთიერთქმედების გაგება ხელს უწყობს ულტრაბგერითი ტექნიკის ოპტიმიზაციას უსაფრთხო და ეფექტური გამოყენებისთვის სხვადასხვა კლინიკურ და კვლევით გარემოში.

6. ულტრაბგერის გამოყენება მედიცინაში

ულტრაბგერის გამოყენება სამედიცინო თვალსაზრისით მრავალ სფეროს მოიცავს, მათ შორის არის სტომატოლოგია (კენჭოვანი მასის-ნალექის კბილის ფესვიდან მოცილება უმტკვნეულოდ) ძვლების შეხორცების სტიმულაცია რომელიც სამედიცინო აპარატურის საშუალებით ახორციელებან დიაგნოსტიკური კვლევების (ექოსკოპია, რომლითაც დარღვევების გამოვლინება, ვიზუალიზაცია იწარმოებს), ლითოტრიფსია, დოპლეროგრაფია.

ლითოტრიფსია

რა არის ლითოტრიფსია: მარტივად: უოპერაციოდ ქვების დაშლა. უფრო ზუსტად კი- სპეციალური ლითოტრიპტორი-აპარატის მეშვეობით, რომელიც გამოიმუშავებს ელექტრომაგნიტურ დარტყმით ტალღოვან იმპულსებს, რომელთა სიხშირის და სიმძლავრის რეგულირებით ხდება კენჭების ფრაგმენტაცია შარდის გამომყოფ სისტემაში.

დოპლეროგრაფია

დოპლეროგრაფია არის ერთერთი არაინვაზიური ულტრაბგერითი დიაგნოსტიკური საშუალება, რომელიც დამყარებულია იმ პრინციპზე, რომ ადამიანის ორგანიზმის მოძრავი სტრუქტურები აირეკლავენ ულტრაბგერებს განსხვავებული სიხშირით. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება მედიცინაში და გვაძლევს მაქსიმალურად ზუსტ სურათს სისხლძარღვების შესახებ. ადამიანისათვის სრულიად უვნებელია და ძალიან კომფორტულია.

დოპლეროგრაფიის მეშვეობით ვიგებთ სისხლის მოძრაობის სიჩქარეს სისხლძარღვებში, რითაც ვლინდება სადაა შევიწროვება (სტენოზი), როგორაა შეცვლილი ვენების ტონუსი. ეს მეთოდი უმნიშვნელოვანესია სისხლძარღვების ათეროსკლეროზის დიაგნოსტიკის დროს. ხშირად ამ მეთოდით ვლინდება თავის ტკივილის, თავბუუსხვევისა და გულის წასვლის მიზეზები. დოპლეროგრაფიას დამატებით უტარებენ პაციენტებს, რომლებსაც აწუხებთ უძილობა, მეხსიერების გაუარესება, შიდა ქალის წნევის ცვლილება. აგრეთვე იმათ, ვინც არის ინსულტის წინა და ინსულტის შემდგომ პერიოდში.

ეს ულტრაბგერითი გამოკვლევის მეთოდი ექიმს აძლევს საშუალებას გამოავლინოს ყველაზე დასუსტებული ზონა სისხლძარღვში, ზუსტად შეარჩიოს მკურნალობის

მეთოდი და პრეპარატები. დოპლეროგრაფია სასურველია მათთვის, ვისაც აღენიშნება: თავის ტკივილი, თავბრუსხვევა, განსაკუთრებით სხეულის სხვადასხვა მდებარეობის დროს, ხელების ან ფეხების გაციება, სიმძიმე ან შეშუპება ფეხებში, ვარიკოზი, ჰიპერტონია, ჭარბი წონა. დოპლეროგრაფიას არ აქვს ასაკობრივი შეზღუდვა. იგი არაინვაზიური და უმტკივნეულოა.

დოპლეროგრაფიაში იყენებენ 2 – 10 მეგაჰერცი სიხშირის ბგერით ტალღებს. შესაბამისად, იმისათვის რომ დავადგინოთ სისხლის მოძრაობის სიჩქარე სისხლძარღვში, სისხლის ფორმიან ელემენტებს დაასხივებენ ამ დიაპაზონის სიხშირის ულტრაბგერებით და ამ ფორმიანი ელემენტებიდან არეკვლილ განსხვავებული სიხშირის ტალღებს აფიქსირებენ. თუ დასხივებული ულტრაბგერის სიხშირეა v_1 ხოლო არეკვლილის v_2 მაშინ დოპლერის ფორმულის მიხედვით:

$$v_1 - v_2 = (2v_1 u \cos[\varphi]) / c$$

სადაც φ არის კუთხე ულტრაბგერის მიმართულებასა და მოძრავ სამიზნეს შორის. c არის ბგერის გავრცელების სიჩქარე სისხლში ≈ 1500 მ/წმ. 1.38 ფორმულიდან დავითვლით სისხლის მოძრაობის სიჩქარეს:

$$u = ((v_1 - v_2)c) / (2v_1 \cos[\varphi])$$

ულტრაბგერითი დოპლეროგრაფია

თავის ტკივილი, მხედველობისა და მეხსიერების დაქვეითება შესაძლოა სისხლძარღვოვანი პრობლემებით იყოს გამოწვეული. არსებობს მეთოდი, რომელსაც მათი გამოვლენა შეუძლია. ადამიანის თავის ტვინს სისხლით ოთხი არტერია ამარაგებს. ეს მსხვილი სისხლძარღვები ისე საიმედოდაა მიმაღული ქსოვილთა სიღრმეში, რომ არა მხოლოდ დანახვა, ხელით შეგრძნებაც კი შეუძლებელია, ხოლო იმის გაგება, კარგად ატარებენ თუ არა სისხლს, კიდევ უფრო ძნელია.

ულტრაბგერითი დოპლეროგრაფიის გამოგონებამ არტერიების გამტარობის შეფასება გააადვილა. მედიცინისთვის ეს დიდი წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო, რადგან არტერიათა გამტარობის დარღვევა იწვევს თავის ტკივილებს, თავბრუსხვევას, ყურადღების, მეხსიერების, მხედველობის დაქვეითებას, ხელების დაბუჟებას და სხვა

სისხლძარღვოვან პრობლემებს. ულტრაბგერითი დოპლეროგრაფია საშუალებას იძლევა, გამოწვლილვით შეფასდეს კისრის სისხლძარღვების მდგომარეობა. ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს ექოლოკაციის პრინციპი, რომლითაც სარგებლობს ღამურა: ის სრულ სიბნელეში ისე დაფრინავს, რომ არაფერს ეჯახება, რადგან წინ გზავნის ულტრაბგერით იმპულსს და არეკლილი ბგერების მეშვეობით უფრო ადრე იღებს დაბრკოლების სამგანზომილებიან გამოსახულებას, ვიდრე მასთან მიფრინდება.

ლურჯ-წითელი ნაკადი

თავდაპირველად სამედიცინო ულტრაბგერითი ხელსაწყოების მეშვეობით შესაძლებელი იყო მხოლოდ შინაგანი ორგანოების გამოკვლევა. შემდეგ მეცნიერებმა გამოიგონეს ხელსაწყო, რომელიც სისხლძარღვში სისხლის მოძრაობასაც ხედავდა. თანამედროვე ულტრაბგერითი დოპლერი არა მხოლოდ ხედავს, არამედ “ესმის” კიდეც, როგორ მიედინება სისხლი. იკვლევენ მწოლიარე პაციენტს. კისრის ქვეშ მას უდებენ მცირე ზომის მრგვალ ბალიშს, რათა თავი ოდნავ გვერდით ჰქონდეს მიბრუნებული. გამოკვლევის დროს ექიმს ესმის სისხლძარღვების პულსაცია, ხოლო ხელსაწყო ზომავს სისხლის მიმოქცევის სისწრაფეს. მონიტორზე ჩანს სისხლის მოძრაობა არტერიებსა და ვენებში, ამასთან, არტერიული სისხლი წითლადაა შეფერილი, ხოლო ვენური - ლურჯად. კონტაქტის გასაადვილებლად ექიმი პაციენტს კისერზე უსვამს სპეციალურ გელს და სპეციალური მაჩვენებლით ეხება საკვლევი სისხლძარღვის პროექციის ადგილს. ულტრაბგერითი მაჩვენებელი ერთსა და იმავე დროს ულტრაბგერითი სიგნალის გამომსახივებელიც არის და მიმღებიც. ექიმი სისხლძარღვის მთელ სიგრძეზე აფასებს სისხლის ნაკადს და მიღებულ მაჩვენებლებს სტანდარტს ადარებს. პროცედურა სრულიად უმტკივნეულოა, მაგრამ საკმაოდ ხანგრძლივი - საშუალოდ ერთ საათს გრძელდება. ულტრაბგერითი დოპლეროგრაფია ავლენს სისხლძარღვების თანდაყოლილ ანომალიებს, დეფორმაციებს, ათეროსკლეროზს. ამ მეთოდის წყალობით დიაგნოსტიკის შესაძლებლობები არსებითად გაფართოვდა.

6.1 სტომატოლოგია

ულტრაბგერითი გამოკვლევა ეს არის დამხმარე საშუალება პირის ღრუში პათოლოგიების დიაგნოსტიკისთვის, რათა აღმოაჩინოს კარიესები, დაშლა, მოტეხილობები და აბსცესის ადრეული ჩვენებებიც კი. ქვები, რომლებიც წარმოიქმნება ფესვის და ღრძილის ზედაპირზე შესაძლებელია დაიშალოს. აღარ იქნას გამოყენებული მექანიკური, მტკივნეული, სისხმლდენი პროცედურები.



6.3 ლითოტრიფსია - კენჭების დაშლა უოპერაციოდ

რაში მდგომარეობს დისტანციური ლითოტრიფსიის მეთოდის არსი? ლითოტრიპტორი აპარატია, რომელიც გამოიმუშავებს ელექტრომაგნიტურ დარტყმით ტალღოვან იმპულსებს, რომელთა სიხშირის და სიმძლავრის რეგულირებით ხდება კენჭების ფრაგმენტაცია. აპარატი აღჭურვილია ექოსკოპიური და რენტგენოლოგიური მოწყობილობით, რომელთა საშუალებით ხდება კენჭის იდენტიფიკაცია და დამიზნება. პაციენტი წვება ზურგზე. ხდება დამიზნება დაიწყება კენჭზე ზემოქმედება დარტყმითი ტალღოვანი იმპულსებით. ლითოტრიფსიის შემსრულებელი ექიმი-ოპერატორის მიერ გამოიყენება იმპულსების ის პარამეტრები, რომლებიც ოპტიმალურია საშარდე გზების მოცემულ მონაკვეთში არსებული კენჭის დასაშლელად. დარტყმითი ტალღა, გაივლის რა ორგანიზმს, არ იწვევს მათში ტრავმულ დარღვევებს იმიტომ, რომ რბილ ქსოვილებს უფრო მაღალი ელასტიურობა აქვთ, ვიდრე კენჭს. კენჭის დასაშლელად აუცილებელი სეანსების რაოდენობა დამოკიდებულია კენჭის (კენჭების) ზომაზე და მის ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებზე. კენჭის ქიმიური შემადგენლობა შეიძლება იყოს შერეული ან მონოსტრუქტურული. შედარებით ადვილად იშლება შერეული შემადგენლობის კენჭები. სეანსებს შორის პერიოდი შეადგენს 7-10 დღეს.

რა უპირატესობა აქვს დისტანციურ ლითოტრიფსიას ქირურგიულ ჩარევასთან შედარებით?!

- მკურნალობის ფასი გაცილებით დაბალია;
- ღია ოპერაციასთან შედარებით ლითოტრიფსიის შედეგად ორგანიზმისთვის მიყენებული ტრავმა მინიმალურია;
- მკურნალობის პერიოდში პაციენტი ინარჩუნებს შრომისუნარიანობას და ვინაიდან მკურნალობა ამბულატორულად ხდება, პაციენტი ინარჩუნებს სოციალურ აქტივობას;
- პაციენტი გათავისუფლებულია ქირურგიული ჩარევით მიყენებული ტკივილების განაცდისაგან;
- შესაძლებელია ხანდაზმული პაციენტების მკურნალობა, მაშინ როცა მათთვის ქირურგიული ჩარევა დიდ რისკს წარმოადგენს;

დასკვნა

ფოკუსირებული ულტრაბგერითი ტექნოლოგიები განაგრძობს განვითარებას მიზნობრივი თერაპიისთვის ონკოლოგიაში, ნევროლოგიაში და სხვა სამედიცინო სფეროებში, რომლებიც გვთავაზობენ მკურნალობის არაინვაზიურ ვარიანტებს.

ულტრაბგერა რჩება მრავალმხრივ და შეუცვლელ ინსტრუმენტად მედიცინასა და სხვადასხვა ინდუსტრიაში, რომელიც მუდმივად სარგებლობს ტექნოლოგიური მიღწევებით, რაც აძლიერებს მის დიაგნოსტიკურ და თერაპიულ შესაძლებლობებს და აგვარებს მის თანდაყოლილ შეზღუდვებს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. თ. სანიკიძე. სამედიცინო ფიზიკა და ბიოფიზიკა. II ტომი, 2016 წ. გვ.
2. ა. ციხაძე. სამედიცინო ფიზიკა. 2009 წ. გვ. 30-31.
3. ა. ციხაძე, ი. კვაჭაძე. სამედიცინო ფიზიკა და ბიოფიზიკა. 2007 წ. გვ. 29-34.
4. А.Н.Ремизов, А.Г.Максина и др. Медицинская и биологическая физика. 2003, ст.108-113.
5. Э. Миллер. К.Хилл и др. Применение ультразвука в медицине. Физические аспекты. гл. 36 12-
14. М. 1989.
6. Duck, Francis A. Ultrasound in medicine. 1998
7. V. Gibbs, D.Cole, A. Sassano. Ultrasound physics and technology. 2009
8. Zbigniew J. Dolatowski, Joanna Stadnik, Dariusz Stasiak. Application of ultrasound in food technology. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 6(3) 2007, 89-99
9. www.ultrasound.com in medicine.