

Božo Trbojević

## **PREGLED DOGAĐAJA I NAJZNAČAJNIJIH UČESNIKA U RAZVOJU PRIMENE ULTRAZVUKA U MEDICINI**

*From bats and ships to babies and hips*

Sveštenik i istraživač Lazzaro Spallanzani (1729 – 1799) bio je fasciniran sposobnošću navigacije slepih miševa u potpunoj tami. Dokazao je da ove životinje mogu da lete kada im se potpuno isključi vid ali ne mogu ako im se isključi čulo sluha. Ovo zapažanje ostaje neprimećeno sve do 1938. kada dvojica harvardskih studenata, Donald Griffin i Robert Galambos, registruju usmeren ultrazvučni šum koji emituju slepi miševi dok lete. Tako je Spalancanijeva teorija eholokalizacije potvrđena.

Christian Doppler je bio matematičar i fizičar na bečkom univerzitetu kada je publikovao rad u The Royal Bohemian Society u Pragu 1841. godine, pod naslovom “On the coloured light of double stars and certain other stars of the heaven”. Astro-nomski principi u toj publikaciji su osnov za uspostavljanje nekih principa talasnog kretanja, među kojima je zapažanje da se frekvencija talasa menja kada se objekat koji se kreće približava ili udaljava od statičke tačke percepcije.

Fizičar Gabriel Lippmann 1881. godine matematičkom dedukcijom zaključuje da električno pražnjenje može da izazove mehanički stres. Pierre Curie i njegov brat Jacques počinju ispitivanja osobenosti različitih kristala i dokazuju da neki kristali (kvarc, turmalin, topaz, šećer od trske i Rochelle so) emituju električno pražnjenje kada se izlože mehaničkoj deformaciji.

Kada je potonuo Titanik, kanadski pronalazač Reginald A. Fessenden 1912. patentira prvi sonarni aparat (akronim SONAR od “SOund NAvigation and RAn-ging”), primenjen u praksi dve godine kasnije sa sposobnošću da otkrije ledeni breg na udaljenosti od 2 milje.

Paul Langevin i Constantin Chilowsky razvili su podvodni kvarc generator u sendviču između dve čelične ploče i tako napravili prototip modernog transdjusera.

Karl Dussik, neurolog na Univerzitetu u Beču, smatra se prvom osobom koja je upotrebila ultrazvuk u medicinske svrhe u pokušaju da transkranijalnim ultrazvučnim talasima locira i ispita tumore mozga i okolne moždane komore.

Tiroidni ultrazvuk dobija svoj podsticaj studijom iz 1967, kada je F. Fujimoto ispitivao 184 pacijenta. Za primenu B-moda ultrazvuka pacijent je morao da bude potopljen u vodu kako bi se ispitivala štitasta žlezda i okolni limfni nodusi. Iako je cilj

ovog rada bio da se dokaže sposobnost ultrazvuka da razlikuje benigne od malignih nodusa, ipak je 25–35% bilo pogrešno klasifikovano.

1971. rad Bluma opisuje mogućnosti A-moda da razlikuje cistične od solidnih tiroidnih čvorova, a 1974. rad Ernest Crockera opisuje nalaz „niskih amplituda, retkih i neurednih ehoa”, koji se viđaju u tiroidnom kanceru, što u današnjoj deskriptivnoj terminologiji mogu biti hipoehogeni i heteroehogeni nodusi. U toj seriji šest preoperativno dokazanih kancera anticipira potvrdu ultrazvučnog nalaza na operaciji.

1977. Paul Wallfish saopštava iskustva sa ultrazvukom vođenom aspiracijom štitaste žlezde. Iako citologija nije bila tako razvijena i primenjivana kao danas, taj koncept je postavio scenu za mnogo pouzdaniju i specifičniju metodu za ispitivanje promena u štitastoj žlezdi. Kao što je poznato, danas nema ultrazvučne osobenosti koja determiniše malignitet ali uvođenje ultrazvukom vođene citologije značajno poboljšava pouzdanost nalaza.

Zvuk putuje u vidu povezanih talasa. Frekvenca je određena brojem ciklusa u jedinici vremena a jačina je određena amplitudom. Zvuk se prenosi različitom brzinom kroz sredinu zavisno od gustine medijuma i drugih osobina. Zvuk se prenosi kao sekvencijalni sinusni talas čija visina pokazuje amplitudu, odnosno jačinu. Ceo ciklus se meri od vrha do vrha amplitude i broj ciklusa u sekundi predstavlja frekvencu. Frekvenca (cps) se izražava u hercima (Hz) u čast nemačkog fizičara Heinrich-a Hertz-a za njegov rad na elektromagnetnoj transmisiji. Sin Hercovog nećaka, Carl Hellmuth Hertz, zaslužan je za primenu ultrazvuka u medicini.

Transdjuser se sastoji od piezoelektričnih kristala okruženih insulirajućim materijalom u slojevima koji omogućavaju idealnu transmisiju zvuka kroz kožu do tkiva. Piezoelektrični kristali se izdužuju ili skraćuju sa preuređenjem kristalnih dipolova u odgovoru na alternativni tok struje. Ultrazvučni talas se prenosi kroz humano tkivo od transdjusera fizičkom deformacijom tkivne površine. Kada emitovani zvuk uđe u tkivo, vraća se nazad prema transdjuseru opet kroz različite tkivne elemente. Svaki kristal se nalazi u svom prostoru uz ostale i šalje talase u tkivo. Kristali su raspoređeni u 128 paralelnih kanala koji emituju zvuk jednake frekvence u tkiva. Pored vibrirajućih kristala, transdjuser na međupovršini dodira sa kožom ima strukturu podesnih slojeva koji omogućavaju najbolji prenos energije. Piezoelektrični kristali koji se danas koriste su sintetski (PZT = olovo, cirkonat i titanat), za razliku od prirodnih kristala kao što je kvarc.

Većina talasa se vraća pod uglom ili prolazi skroz bez vraćanja neposredno u transdjuser. Samo oko 1% ulaznog zvuka se neposredno vraća i to su talasi od kojih se stvara ultrazvučna slika. Tkiva sadrže strukture različite gustine i susedni kontrastni elementi proizvode akustično neslaganje. Neslaganje ili interfejs deluju kao reflektor. Kada je tkivo ili tečnost kroz koju prolazi ultrazvuk ujednačene konzistencije i ako je reflektor široko ujednačen, kao što je zadnji zid ciste, stvara se svetao, hiperehogen signal duž celog zadnjeg zida. Ovaj artefakt je koristan u dijagnostici cističnih struktura.

Kada ultrazvuk uđe u tkiva on slabi dok putuje u dubinu, dalje od površine. Visokofrekventni zvuci slabe u većoj meri nego zvuk niže frekvence. Kompenzacija vremenskim dobijanjem omogućava izdvojeno pojačanje oslabljenih dubokih ili srednjih povratnih ehoa.

Zvučni talasi se emituju u udarima pulsnih ciklusa, čemu sleduje pauza u trajanju od jednog ciklusa da bi se omogućilo da isti transdjuser primi vraćene, reflektovane impulse i da ih konvertuje u električnu energiju. To se postiže istim emitujućim piezoelektričnim kristalima koji se stavljaju u vibrirajuće stanje mehaničkim povratkom. Akustični talasi progresivno gube amplitude kako prolaze kroz tkiva, fenomen poznat kao atenuacija. Step en slabljenja, atenuacije, zavisi od gustine tkiva i dubine koju zvuk prolazi da bi postigao željeni vizualni cilj. Drugi kritični uticaj na atenuaciju ima frekvenc a penetrirajućeg zvučnog talasa. Talasi niže frekvence ne slabe dok prolaze u dublje slojeve, kao što se to dešava sa talasima veće frekvence. Abdominalni ultrazvuk koristi frekvence od 3 do 5 MHz i postiže dobru penetraciju sa zadržavanjem adekvatne refleksije. Niža frekvenc a ima za cenu slabiju rezoluciju. Suprotno, ultrazvuk visoke frekvence daje bolju rezoluciju koja je uvek poželjna. Strukture na vratu i glavi su relativno površne i nisu potrebni duboko penetrirajući talasi niže frekvence. Transdjuseri 10–12-MHz uobičajeno prikazuju sve potrebne detalje anatomije tiroidne i paratiroidnih žlezda i okolnih limfnih nodusa.

Fokusirana penetracija ultrazvučnih talasa nema rektangularni izgled. Tipičan je izgled peščanog sata i najuži deo ove konfiguracije naziva se fokalna zona. Zvučni talas se emituje ali ne zadržava nepromenjen linearni izgled. Kada se ispituje reflektovana slika to je optimalna dubina na kojoj se postiže najoštija rezolucija. Strukture bliže ili dublje od ovog sužavanja prihvatljive su rezolucije ali ne idealne kao u tački fokusa. Ova tačka se može podesiti na konzoli da bi se dobila plića ili veća dubina.

## *Artefakti*

Artefakti su slike koje se pojavljuju na displeju i ne predstavljaju stvarnu fizičku strukturu. Prave tiroidne ili paratiroidne ciste imaju tanku kapsulu i ispunjene su tečnošću, bez primetnih solidnih sadržaja. Zvuk ulazi u cistu kao snažan signal probijajući prednju kapsulu. Pošto je unutrašnjost ciste tečnost koja lako prenosi zvučni talas bez prekida, paralelni zvučni talas tada pogađa zadnji zid koji sa postojećim akustičnim neslaganjem deluje kao reflektor. Veliki deo ovih talasa penetrira neposredno iza kapsule i koncentrišu se kao ujednačen zvučni talas. Na taj način nastaje relativno široko područje koje je hiperehogeno prema okolnom tkivu i samoj cisti. „Posteriorno pojačanje” je artefakt koji obavezno dijagnostikuje cistu.

Jedinstvena osobenost pleomorfnog adenoma je da stvara posteriorno pojačanje zbog ujednačenog tkivnog matriksa sa minimalnom atenuacijom.

U suprotnosti sa permisivnom transmisijom cista, grube kalcifikacije ili bliske nakupine mikrokalifikacija blokiraju transmisiju zvučnih talasa u dublje prostore

tkiva. Zbog toga nastaju tamna pravougaona područja duboko do gustih hiperehogenih struktura. Poznate kao posteriorne senke, artefakti ove slike predstavljaju konsolidaciju kalcijuma.

“Comet tail” artefakt su hiperehogene tačke sa postepenim smanjenjem hiperlucencije koje se protežu od i duboko do cirkularnih tačaka. Deo „repa” ovih hiperehogenih artefakata stvarno nastaje zbog reverberacija. Mala područja koloida unutar čvora kristalizuju i definitivno smanjuju transmisiju zvučnog talasa. Ove reverberacije i slika repa komete dokaz su benigne prirodne promene.

Reverberacije se mogu videti kod: (a) Anteriorni zid traheje. (b) Anteriorni zid karotidne arterije. (c) Biopsija tankom iglom u dužoj osovini. Reverberacije su više kuriozitet nego što definišu određenu anatomsku strukturu. One ukazuju da se zvuk odbio u dubljem tkivu nego što je stvarni cilj ali koje ima iste odlike ehogenosti.

Doppler-ovi talasi reflektuju različito kretanje eritrocita. Zavisno da li se ćelije kreću od ili prema transdjuseru, smer kretanja i brzina toka mogu se odrediti Doppler-ovim sistemom. Doppler je jedinstven i tehnički različit proces od sive skale ultrazvuka. Ova metoda može da oceni vaskularnost anatomske i patološke elemenata. Doppler-ovo skretanje zvučnih talasa se javlja kada se talasi usmeravaju pod uglom prema krvnom sudu i udaraju u krvne ćelije koje se kreću. Ovi talasi se tada odbijaju od pokretnih krvnih ćelija i odbijeni zvuk je oslabljen ili pojačan zavisno od smera i brzine kretanja. Brzina kretanja eritrocita može se izračunati a smer kretanja ima obojenu oznaku, tok prema transdjuseru je crven, sporiji, a od transdjusera, kada je frekvenca veća, obojen je plavo.

Kolor Doppler i interpolacija protoka ne samo da daju odgovarajuću sliku već mogu da kvantifikuju vaskularnu aktivnost. Power Doppler je osetljiviji na stanja sa slabijim protokom i daje oštru sliku čak i malih krvnih sudova. Zbog osetljivosti i dobre rezolucije dobar Power Doppler sistem može da otkrije diskretan krvni tok kroz hilus limfnog nodusa ili vaskularni izgled hiperplastičnih paratiroidnih adenoma. Power Doppler se često koristi kao diferencijalna alatka za limfne noduse i paratiroidne žlezde u nejasnim kliničkim okolnostima.