

Vak denevérektől a kontrasztanyagok képalkotásig - avagy az ultrasonográfia rövid története

From blind bats to the radiographic contrast agents – or the short history of ultrasonography

dr. Gyulay Kata Klára, doktorandusz, radiológus rezidens

Semmelweis Egyetem, Orvosi Képképző Klinika

Semmelweis Egyetem, Intervenciós Radiológiai Tanszék

gyulay.kata@med.semmelweis-univ.hu

Initially submitted Febr., 2022; accepted for publication March 2, 2022

Abstract

The ancient history of ultrasound started in the 18th century, and after a slow start, it had a steep trajectory of rapid growth from the 1950s. It is still on that trajectory these days and there are multiple new developments presented each year. Besides the thousands of researchers working on the development of ultrasound devices, we have to thank an animal species, which uses ultrasound as navigation and was studied first at the end of the 18th century by the Italian biologist Lazzaro Spallanzani. The road to medical applications led from the first animal studies through military and industrial advancements. Despite the initial scepticism from their peers the developments of the researchers leading the technical advancements have stood the test of time and have contributed to the evolution of a basic method in modern medical imaging.

Kulcsszavak

ultrahang történet, ekholokáció, szonár, Doppler, B-mód

keywords

ultrasound history, echolocation, sonar, Doppler, B-mode

Bevezetés

Az ultrahangos képalkotás napjaink egyik meghatározó diagnosztikai módszere, melyet elérhetősége, relatív alacsony ára és biztonságossága miatt sok esetben a radiológia első bástyájának tarthatunk. Az ionizáló sugárzás mellőzése, a kisméretű, hordozható vizsgálóberendezés és így a helyszíni vizsgálatok kivitelezhetősége egyes betegcsoportok tekintetében kiemelt szerephez juttatják, ilyen például a pediátriai betegek, az intrauterin magzati vizsgálatok, vagy az intenzív osztályos kezelés alatt álló, lélegeztetett páciensek képalkotó diagnosztikája.

A korai, az anatómiai struktúrák felismerésére éppen alkalmas gépekhez képest a technikai fejlődés révén a mai modern ultrahang gépek akár szöveti szintű információkkal is szolgálnak. A térbeli és időbeli képfelbontás javítása, az áramlási adatok és a szöveti rugalmasság mérésére alkalmas szoftverek folyamatos fejlesztése jelenleg is évről-évre újabb lehetőségeket nyit a pontosabb, biztosabb diagnosztikában. Mindezt azonban a fejlesztésen dolgozó sokezer tudós mellett egy állatfajnak is köszönhetjük, amelyet Lazzaro

Spallanzani (1729-1799) olasz biológus kutató a 18. század végén tanulmányozott: a denevérnek (Eisenberg 1992).

Állatkísérletek szerepe az ultrahang felfedezésében

A 64 éves tudós 1793-ban végzett kutatásai során először egy baglyot tanulmányozott zárt térben, mely a helyiséget megvilágító gyertya eloltását követően a sötétben repülve nekiütközött a falnak és a szobában lévő tárgyakkal. Kíváncsiságában hasonló körülmények közé helyezett egy denevért is, mely azonban sötétben is teljesen zavartalanul röptelt tovább, játszi könnyedséggel kerülgetve az elhelyezett akadályokat (Kane - Grassi - Sturrock et al. 2004:931-933). Fény hiányában tájékozódásuk valószínűleg nem a látásra támaszkodott, így Spallanzani a faj további tanulmányozása során letakarta, vagy kivájta szemüket, hogy végleg kizárhassa a fénylátásra alapozott tájékozódást. További kísérletei során a vak állatok is kikerültek a légtérbe helyezett mesterséges akadályokat, így Spallanzani hosszas kísérleteket végzett a többi érzék: a hallás, tapintás, szaglás és ízlelés szerepének kizárása érdekében. A sorban elvett érzékeket követően a denevérek még mindig jól teljesítettek, és a kutató arra jutott, hogy tájékozódásuk háttérben egy “hatodik érzék” állhat. Jean Senebier (1742-1809) genfi természettudóson keresztül felkérte kutatótársukat (Sénébier 1807), Horace-Bénédict de Saussure-t (1740-1799), hogy ismétlje meg kísérleteit következtetéseinek igazolására, helyette azonban Louis Jurine (1751-1819), genovai sebész replikálta azokat (Gordon 2001:403-404). Ő arra jutott, hogy a denevérek fülük bedugaszolásakor elveszítik tájékozódási képességüket, így vélhetően az emberi fül számára nem hallható hang alapú tájékozódással rendelkeznek (Peschier 1798:136–140). Eredményeiről értesítette Spallanzanit, aki kezdetben szkeptikus volt, azonban később megismételte kísérletét az új módszerrel, és egyetértett Jurine-nal (Dijkgraaf 1960:9-20).



1. ábra Lazzaro Spallanzani (1729-1799) (Wikipedia 2022)

A sors fintora, hogy egyikőjüknek sem sikerült publikálnia munkáját teljes egészében, bár Anton Maria Vassalli (1761-1825) 1794-ben a Spallanzani kutatásaival kapcsolatos levelek egy részét kiadta, mely így az ekholokáció, avagy a bioszonár első tudományos irodalmi említésének számít (Spallanzani 1794:1-64). Jurine és Spallanzani szerepét az ultrahang felfedezésében főként a kortárs kutatók tudományos írásaiban elszórt említések, és a korabeli tudományos levelezések utalásai bizonyítják, melyek azonban nem minden esetben értettek egyet konklúziójukkal. Mintegy 150 évvel később, 1942-ben aztán újra a tudományos színtérré került a denevérek különleges hallása. Az ekkor végzett modernebb állatkísérletek igazolták Spallanzanit, akit a tudományos világ az ekholokáció felfedezőjének tart, míg Jurine munkájának jelentősége - feltehetően elérhető publikációnak hiányossága miatt - a mai napig igazságtalanul mellőzött (Gordon 2001:403-404).

Fizikai alapú találmányok

Az állatkísérletek szünetelése közben azonban nem állt meg a kutatás más tudományterületeken. Sir Francis Galton (1822-1911) 1893-ban feltalálta a Galton sípot, mely egy változtatható hangfrekvenciájú eszköz (Galton 1883:XII: 387). Alkalmas az emberi hallástartomány felső határának megállapítására (egészséges felnőtt esetében ez kb. 20 kHz) (Lipman - Grassi 1942:84-89), és az öregedéssel járó hallásvesztés, a presbycusis megállapítására is. A síp akár 40 kHz-es frekvenciájú hangot is képest kibocsátani, melyet bár az ember már nem, de egyes állatok hallanak (Romanes 1883:97-98). Az eszközt modernizálva napjainkban is használják kutyasípként, idomításra. Paul-Jacques és Pierre Curie (1855-1941 és 1859-1906) francia fizikus testvérek 1880-ban feltalálták a piezoelektromosságot: különböző anyagú kristályokat meghatározott frekvenciával és irányban összenyomva a kristályok felületén elektromos áram keletkezett (Mould 2007:74-82). Ezt a hatást napjainkban az ultrahang transzducerekben a visszaérkező ultrahang hullámok elektronikus jellé formálásban használják, valamint ugyanitt képezik a - szintén a Curie testvérek felfedezésének tartott - inverz piezoelektromos hatás segítségével (mely a kristályban az áram hatására létrejövő mechanikai rezgés létrejöttét jelenti) a kibocsátott ultrahangot.

Fejlődés a jéghegyek és háborúk árnyékában

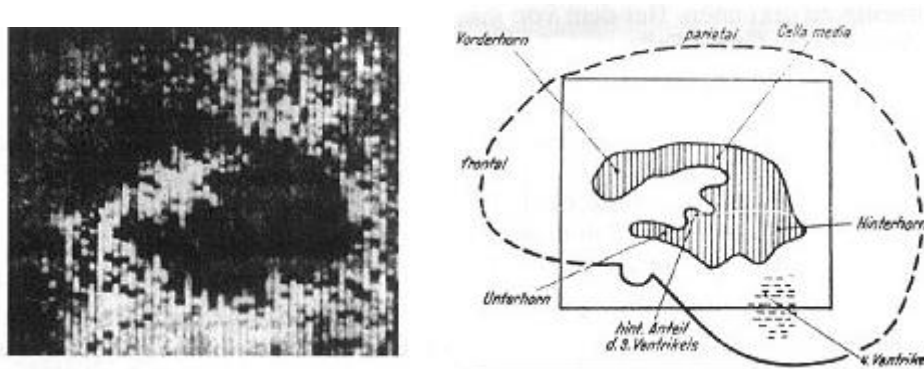
A Titanic elsüllyedése az 1910-es években számos tudományos felfedezést inspirált, ezek közül az ultrahangos képalkotás fejlődéséhez Reginald Aubrey Fessenden (1866-1932) 1912-es aktív ekholokáción alapuló találmánya járult hozzá, mely akár 2 mérföldről is észlelte a víz alatti jéghegyeket (Kane - Grassi - Sturrock et al. 2004:931-933). Később az első világháború alatt az antant-hatalmak a jéghegyek helyett a német tengeralattjárókat és a központi hatalmak flottáit tekintették nagyobb vízi veszélynek, ezért a francia kormány ezeknek a víz alatti detektálására alkalmas műszer kidolgozásával bízta meg Paul Langevin (1872-1946) fizikust. A Constantin Chilowsky-val (1880-1958) közösen kifejlesztett hydrophon nevű eszköz egy két fémlemez közé szerelt kvarckristályból állt, és sokan az első transzducernek tekintik, bár működése passzív volt, azaz csak a beérkező hanghullámokat figyelte, ultrahangot nem hozott létre és nem bocsátott ki (White 1988:541-561).

Fessenden és Langevin találmányai alapján az amerikai haditengerészetnél készült el az első “sonar”, azaz “*sound navigation and ranging*”, (magyarul: szonár, “hanggal való navigáció és felderítés”)(Newman - Rozycki 1998:179-195). 1918-tól az amerikai és brit haderők is építettek aktív szonárokat, azaz mind hangkibocsátásra, mind hangfogadásra alkalmas vízalatti felderítési műszereket. Nagyobb szerephez a második világháború során jutottak, amikor számos technikai fejlesztés és finomítás után a szövetségesek főképp az észak-atlanti flották védelmére használták a technikát.

A két világháború között, az orosz polgárháborút követő békeidőben a szovjet gazdaság és ipar fellendülése lehetőséget teremtett további modern fejlesztésekre. 1928-ban Sergei Y. Sokolov (1897-1971) szovjet fizikus javaslatára a nagy fém struktúrák és építmények mélyen lévő, kívülről nem látható hibáit keresték ultrahang segítségével (Sokolov 1935:142). Ekkor még a hangot kibocsátó és felfogó berendezés két külön részből állt, melyek között helyezkedett el a vizsgálandó anyag, tehát a hullámoknak ezen keresztülhaladva kellett az egyik transzducertől a másikig eljutniuk.

Az első egészségügyi alkalmazások

Az első egészségügyi diagnosztikára használt ultrahangos eszköz 1942-ben született meg, Karl Dussik (1908-1968), bécsi neurológus a koponyán keresztülbocsátott ultrahanggal próbálta az agytumороkat diagnosztizálni, valamint testvérével, Frederick-vel közösen létrehozta a hiperfonográfiát, mely módszer az agykamrákat hivatott vizsgálni, és egy úgynevezett ventriculogramot hozott létre (Dussik 1942:153-168, White 1988:541-561).



2. ábra Dussik szerint egy normális agyról készült hiperfonogram, melyet az erlangeni konferencián mutatott be (Dussik 1948)

Német kortársuk, Wolf-Dieter Keidel (1917-2011), későbbi élettanász professzor ugyanekkor a szívről képzett le a hullámok keresztülbocsátásával ultrahangos képeket, melyeket “akusztikus szívárnyéknak” nevezett (Nixdorff 2008:48-49). Hamarosan egyértelművé vált, hogy ez a noninvazív diagnosztikai módszer nagy potenciált hordoz magában, és 1948-ban meg is tartották az első kongresszust az ultrahang orvosi diagnosztikai felhasználásáról Németországban, Erlangenben (Dussik 1948). Ezen mind Dussik, mind

Keidel bemutatta kutatásait, melyekben mindketten a pulzushullám visszaverődés vizsgálata helyett az átbocsátást használták, és egyetértettek abban, hogy az így is zajos, és csak A-képeket eredményező módszerük a reflexióval még kiszámíthatatlanabb és zajosabb lenne. 1952-ben azonban, 4 évvel az eredeti kongresszus után W. Güttner, az erlangeni Siemens laboratóriumban megismételve Dussik és Keidel munkáját arra jutott, hogy az általuk bemutatott képek lényegében egésze műtermékből állt, Dussik esetében például a koponya felületes denzitásait jelezték a különböző létrehozott jelek (Guttner - Fielder - Patzold 1952:148-156, Eisenberg 1992). Mindezt az átbocsátott hullámok nagy szöveti elnyelődésének és a nagyfokú reflexiónak tulajdonította. Hasonlóan cáfolta a két tudós transzmissziós ultrahangos kísérleteit egy, az amerikai MIT-n (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA) dolgozó munkacsoport is (Ballantine - Hueter - Bolt 1954:581-582).

A reflexiós technika térnyerése

A harmicas évektől az ötvenes évekig az ultrasonográfiát kutatók nagyon megosztottak voltak a módszer továbbfejlesztési irányának kérdésében. A transzmissziós és reflexiós technikák előnyeiről és hátrányairól parázs tudományos vita folyt, de az 1952-1954 között végzett két kutatási eredmény hatására a kérdés rendeződni látszott. Az ötvenes évek közepétől a transzmissziós technika gyakorlatilag teljesen kikerült a kutatási látótérből, és a további kísérletek szinte kizárólag a hanghullámok visszaverődésével működő reflexiós módszert alkalmazták. Az Egyesült Államokban, Japánban és Európában szinte minden nagyobb központban indultak kutatások a pulzushullám- és a reflexiós képalkotás területén, a technikai fejlődés pedig évről-évre csak gyorsult, és a mai napig folytatódik ez a tendencia. A téma terjedelme miatt a továbbiakban csak azokat az állomásokat mutatom be, melyek saját meglátásom szerint a legnagyobb mértékben járultak hozzá a ma is használatos eszközök és technikák kifejlesztéséhez.

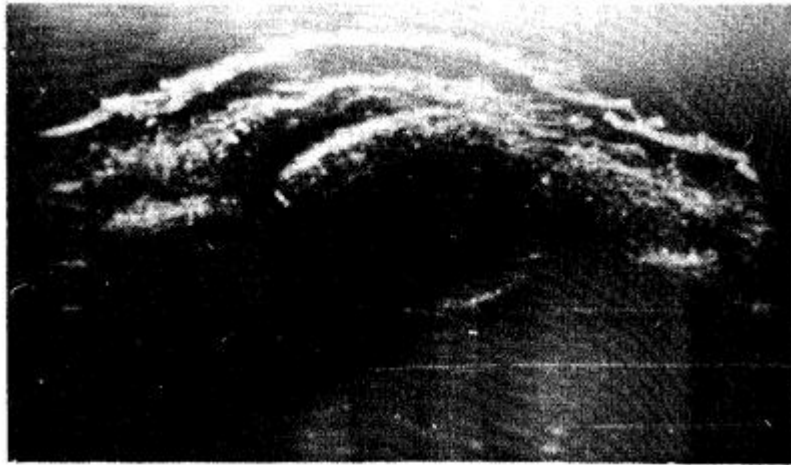
Még 1944-ben Floyd Firestone (1898-1986) amerikai kutató bejegyeztette a reflektoszkóp szabadalmát, mely az első olyan rendszer volt, ahol ugyanaz a transzducer a pulzushullámok leadása között a visszaverődött jeleket is detektálta. 1955-ben John Julian Wild (1914-2009) szintén reflexiós képalkotással az A-mód (amplitúdó mód) mellett a B-móddal (brightness mód) is foglalkozott kutatásaiban, és sikeresen létrehozta az első lineáris transzducert, melyben az egymás mellett sorban elhelyezkedő kristályok által felfogott jelek segítségével már 2 dimenziós képet hozott létre a vizsgált területről (Kane - Grassi - Sturrock et al. 2004:931-933). Elsősorban műtét utáni specimeneket vizsgált, valamint az A-móddal emlő- és bélrendszeri daganatok szöveti tulajdonságait és ultrahangos képeit vizsgálta. Tőle származik az endoszkópos ultrahang első leírása is, transzrektális és transzvaginális fejekkel dolgozott A-módban, szintén malignus folyamatokat kutatva.

Az ekhokardiográfia alapjai, az M-mód kifejlesztése

1953-ban, a svéd Lundi Egyetemen dolgozó Inge Edler (1911-2001) kardiológus és Carl Hellmuth Hertz (1920-1990) fizikus először írta le az általuk kifejlesztett új ultrahangos módot, az M-módot (motion mód) (Singh - Goyal 2007:431-438). Dobogó borjúszívek vizsgálata során bizonyították, hogy a vizsgálati szituációjukban kapott ekhók a mitrális billentyűről érkeznek, így lehetővé vált egy mozgó struktúra funkcionális vizsgálata, és az általuk használt szerkezet alkalmassá vált a mitrális stenosis és a mitrális regurgitáció diagnosztizálásra, ezzel előkészítve a további kardiológiai kutatásokat a szív- és a vitiumok in-vivo vizsgálatában. Kísérleteik megalapozták az új non-invazív diagnosztikus módszert, az ekhokardiográfiát, és mind a környezetükben, mind szerte a világban különböző orvosi szakterületek képviselőit inspirálták további kutatásra az ultrahanggal.

Gyors fejlődés a nőgyógyászati ultrahang területén

A modern orvosi ultrahang kutatási területének egyik talán legmeghatározóbb személyisége éppen utánuk, 1958-tól publikálta kiemelkedő eredményeit. A Skóciában dolgozó Ian Donald (1910-1987) nőgyógyász professzor a második világháborúban a Brit Királyi Légierőnél teljesített szolgálatot, ahol megismerkedett a szonár és a radar technikákkal, majd Londonban a Hammersmith Kórházban vállalt munkát, ahol együtt dolgozott a korábban említett John Wild-dal. Mikor ezt követően a király a Glasgowi Egyetem professzorának nevezte ki, kollégáival a szülészet-nőgyógyászat területén kezdte el használni az ultrahangot. Egyik páciensének férje a fémiparban dolgozott ultrahangos hibadetektáló műszerrel, és meghívta Donaldot a gyárba egy látogatásra 1955-ben. Az orvos több ciszta és tumor preparátummal érkezett, és meggyőzte a dolgozókat, hogy teszteljék az ultrahangos eszközt a mintáin. Legnagyobb meglepetésére a ciszták és tumorok teljesen eltérő ekhókat adtak vissza, így egyértelmű lett számára, hogy emberi szövetben is jól használható a technika a vizsgált képlet denzitásának meghatározására (Kane - Grassi - Sturrock et al. 2004:931-933). Kutatásait szkeptikusan bíráló kollégáit igen hamar látványos eredményekkel hallgattatta el, melyek között kiemelkedett a Lancetben 1958-ban publikált eredménye, melyet a mai napig az orvosi ultrahang egyik legmeghatározóbb cikkének tartanak (Donald - Macvicar - Brown 1958:1188-1195). Tanulmányában a hasi terimék differenciálására használt ultrahangos technikát mutat be, mellyel képest volt különbséget tenni a szolid és a cisztózus képletek között, és lényegében a kétdimenziós, B-módú képet mutatja be, melyet a Tom Brown kutatómérnökkel közösen fejlesztett gépen készítettek. Cikkében az első ultrahangos magzati képek is publikálásra kerültek.



3. ábra Donald egyik elsőként bemutatott ultrahangos képe: magzati koponya körvonala a 34. gesztációs hétben, suprapubicus scan (Donald - Macvicar - Brown 1958:1188-1195)

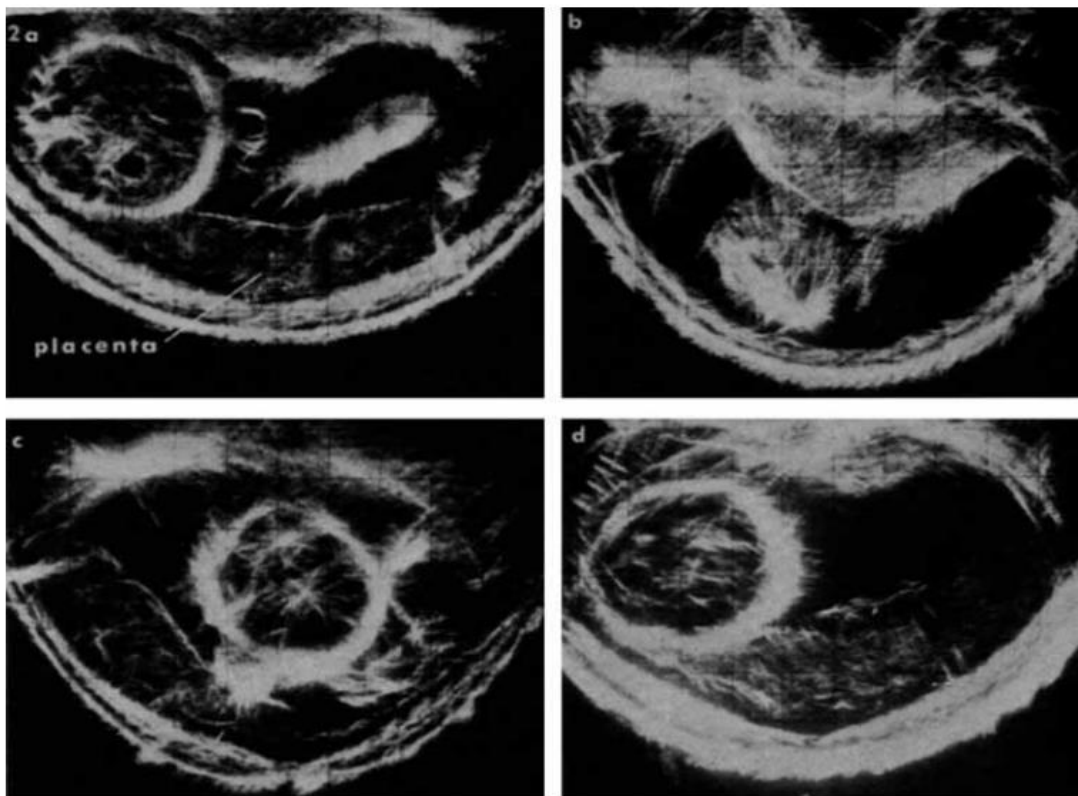
Donald a műszert a klinikumban is alkalmazta, egy betegénél képes volt például a fizikális vizsgálat alapján végstádiumú carcinomának hitt teriméről bizonyítani, hogy az csak egy folyadéktartalmú ovariális ciszta, mely diagnózis mind a betegség prognózisát, mind a kezelést nagyban megváltoztatta. Ezt követően Donald létrehozott egy kétdimenziós szkennert, majd egy automata gépet is, mely alkalmas volt a placenta previa (a méhszájat részben vagy egészben takaró méhlepény) szülés előtti megállapítására, így a szülés megindulása előtt császármetszést végezhettek, mely mind a magzat, mind az anya életét megmentette az ilyen esetekben sokszor előforduló magzati distressz és anyai nagy volumenű vérvesztés elkerülésével (Kane - Grassi - Sturrock et al. 2004:931-933). A szülészet területén az ultrahang további előrelépést jelentett még a magzati méretek pontosabb meghatározásában is. Donald 1962-ben használta először a magzati biparietális átmérő mérésére, majd 1963-ban a korai várandósság kimutatására, melynek során felhasználta a teli húgyhólyag által létrehozott akusztikus ablakot is, mely szintén vizsgálattechnikai újításnak számított (Donald 1974:132-140). A módszer lényege, hogy a húgyhólyagban lévő folyadékon minimális ekhók mellett átjutó hanghullámok mélyebb struktúrákat érnek el, mint a légyszövetben elnyelődő és visszaverődő hullámok, így az információt is mélyebbről tudják biztosítani a hólyag mögötti struktúrákról visszaverődő hullámokkal.

A B-mód fejlődése és szürkeskálás kép

Ahogy az az előbbi példákból egyértelmű, a B-mód fejlesztését több kutató is párhuzamosan végezte szerte a világban, egymástól függetlenül, és több esetben orvostechnikai cégek erőforrásait is felhasználva. A kereskedelmi forgalomban elérhető készülékek azonban csak 1963-tól jelentek meg a piacon, mely így a még szélesebb körű használattal elindította a technikai újítások lavináját. A B-módú képet a klinikusok is egyszerűbben értelmezték, hiszen az A-módú képpel ellentétben hasonlított a valódi anatómiai struktúrákra, így az ultrahang készülék népszerűsége jelentősen nőtt. Ettől fogva a fejlődés nagyon gyorsan, szinte

hónapról-hónapra hozott eredményeket, hiszen már pénzügyi és piaci érdekek is hajtották a tudományos és klinikai érdeklődés mellett.

A korai ultrahangos eszközök B-módban működtek, és kétdimenziós képet adtak vissza, azonban nem voltak képesek a visszaérkező hanghullám amplitúdóját mérni. Csak valamivel később, a hetvenes évek elején hozták létre az első olyan eszközöket, melyek az amplitúdót is mérték, és ezzel a kvalitatív mellett kvantitatív információt is képesek voltak szolgáltatni a vizsgált szövet tulajdonságairól. George Kossoff (1935-) és William John Garrett (1927-2015) ezt úgy mutatta be, mint a valódi szürkeskálás képet, melynek készítése során az oszcilloszkóppal felfogott amplitúdókat egy filmre írták ki (Kossoff 1972:221-227, Kossoff - Garrett 1972:117-121).



4. ábra Kossoff és Garrett által közölt példák placentról készült, filmre írt ultrahangos képekre (Kossoff - Garrett 1972:117-121)

Nem sokkal ezután jöttek létre a valós idejű vizsgálatra alkalmas, kézi transzducerrel rendelkező műszerek, valamint a képminőséget is javította az időközben feltalált fókuszálási lehetőség. A fókusz állításával egyes mélységben lévő struktúrák részletesebben vizsgálhatóak, így a diagnosztikus szenzitivitás és specificitás is jelentősen nőtt.

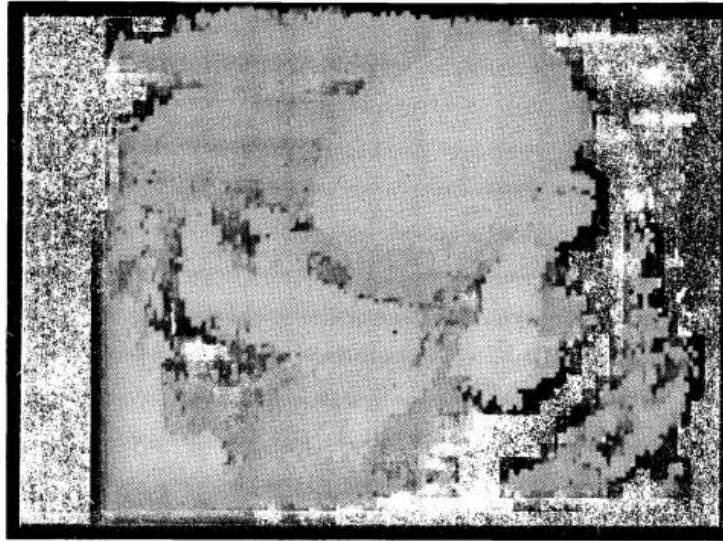
A Doppler-effektus felhasználása

Az 1950-es évektől Robert F. Rushmer (1914-2001) és Dean Franklin (1929-2007) vezetésével a Washingtoni Egyetemen folytattak állatkísérleteket, melyben a kardiovaszkuláris rendszert vizsgálták (Sarazan - Schweitz 2009:144-156). A csoporthoz csatlakozott Donald W. Baker (1932-) is, az általuk létrehozott folyamatos hullámú (continuous wave, CW) Doppler készüléket 1959-ben mutatták be, mely alapul szolgált az 1964-ben fejlesztett, hasonló felszereltségű kézi készülékükhöz is (Rushmer - Baker - Johnson et al. 1967:326-328). A kézi transzducerben két, egymástól független kristály működött, és míg az egyik folyamatosan egy ismert kimeneti frekvenciát sugárzott, a másik a mozgó struktúrákról (például a vér alakos elemeiről) visszaérkező visszahangot folyamatosan regisztrálta. A visszaérkezett hang a Doppler-effektus miatt a kimenetitől eltérő frekvenciájú lesz, így azzal összehasonlítva megadható a mozgó struktúra iránya. A tipikus vizsgálati frekvencián a szervezetben mérhető Doppler-eltolódás az emberi hallástartományba esik, így hangszórón kihangosítva a vizsgáló számára is hallható jel jön létre. Továbbá spektrális analízis is végezhető, a monitoron Fourier-transzformációval számolt spektrumok rajzolhatóak ki.

A folyamatos hullámú Doppler fejlesztésében már tapasztalatot szerzett Donald Baker, valamint kutatótársai, köztük John Reid (1926-), a Doppler-módszerhez kapcsolódó további eredményként mutatták be a pulzus Doppler technikát alkalmazó gépüket 1966-ban (Baker 1970:170-184). Ahogy azt a neve is sejteti, a piezoelektromos kristály pulzusszerűen adja le a hangokat, majd a visszaérkező jeleket az adásszünetben fogja, így lehetőség adódik rá, hogy - a CW Dopplerrel ellentétben, ahol minden, a vizsgálati síkba eső mozgó struktúra zajt képez - a visszaverődött hangokat csak egy szelektált mélységből, például egy bizonyos érből "hallgassuk", melyet a párhuzamosan megjelenített B-módú képen lehet kiválasztani. A hetvenes években aztán számos kutatás indult a Doppler-effektus további felhasználására, így született meg például a színes Doppler (color Doppler) is (Wells 1994:2113), amely a kétdimenziós B-képre vetíti rá színekkel jelölve a Doppler mérés eredményét. Közmegegyezés szerint a modern gépeken a transzducer felé irányuló áramlást piros, míg az attól elfelé történő mozgást kék színnel jelölik a képernyőn.

A háromdimenziós képalkotás kezdetei

Az első háromdimenziós képet Japánban, a Tokiói Egyetemen hozták létre egy magzatról 1986-ban (Baba - Satoh - Sakamoto et al. 1989:19-24). A Kazunori Baba (1952-) által fejlesztett eszköz egy miniszámítógép segítségével számolta ki a képet, azonban ekkor még nem valós időben mutatta a vizsgálati alanyt.



5. ábra Komputer generálta háromdimenziós kép egy 19. hetes magzatról in utero (Baba - Satoh - Sakamoto et al. 1989:19-24)

Mintegy 10 évvel később a módszer egyszerűsítése, a számítások rövidülése és a szoftverek fejlődése lehetővé tette a valós idejű 3D-s vizsgálatokat is (Baba - Okai - Kozuma et al. 1997:571-574). Ezek a mai napig igen népszerűek a várandós kismamák körében, és diagnosztikus hasznukon túl a huszonegyedik századra egész iparág épült a szinte csak szórakoztatási céllal végzett „babamozira”.

Új alkalmazási területek a kilencvenes években

A kilencvenes években aztán új területeket hódított magának az ultrahang, ekkor kezdték alkalmazni a biopsziák során a tű útjának vizualizálására, célzásra, valamint endoszkóposan a bőrfelszínről nem elérhető laesiók megjelenítésére. Szintén ekkoriban (1990-ben) került először forgalomba olyan ultrahangos kontrasztanyag (Feinstein - Cheirif - Ten Cate et al. 1990:316-324), mely stabilnak és biztonságosnak bizonyult. Az albuminba csomagolt levegővel töltött mikrobuborékok segítségével egészen apró erek is láthatóak, valamint különböző struktúrák kontraszttelődési dinamikája vizsgálható, mely segítséget nyújt a malignus és benignus szövetek közötti non-invazív módszerű differenciálásban (Paefgen - Doleschel - Kiessling 2015:197-197). Ahogy napjainkban megszokhattuk, akár csak minden más elektronikus eszközt, az ultrahangokat is egyre kompaktabb kivitelű, nagyobb képfelbontású, kifinomultabb grafikájú társaik váltják évről évre. Most már léteznek akár laptop vagy telefon méretű, vezeték nélküli hordozható műszerek, sőt, kereskedelmi forgalomban is kapható, okostelefonra is csatlakoztatható transzducerek is. Ezen új módszerek és eszközök azonban kihívások elé állítják a szabályozó hatóságokat, és a minőségbiztosítás szempontjából is több kérdést vetnek fel (ESR 2019:89-89).

Összefoglalás

Láthatjuk, hogy a kortársaiktól érkező szkepticizmus ellenére az ultrahang fejlődésének állomásait fémjelző kutatók találmányai kiállták az idő próbáját, és hozzájárultak a modern képalkotó diagnosztika egyik alapvető módszerének evolúciójához. Örökségük és találmányaik a mai napig segítik a betegek gyógyulását.

Irodalom

1. BABA, K - OKAI, T - KOZUMA, S - TAKETANI, Y - MOCHIZUKI, T - AKAHANE, M (1997). *Real-time processable three-dimensional US in obstetrics*. Radiology 203(2): 571-574. <https://doi.org/10.1148/radiology.203.2.9114124>
2. BABA, KAZUNORI - SATOH, KAZUO - SAKAMOTO, SHOICHI - OKAI, TAKASHI - ISHII, SHIGEO (1989). *Development of an ultrasonic system for three-dimensional reconstruction of the fetus*. 17(1): 19-24. <https://doi.org/10.1515/jpme.1989.17.1.19>
3. BAKER, D. W. (1970). *Pulsed Ultrasonic Doppler Blood-Flow Sensing*. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics 17(3): 170-184. <https://doi.org/10.1109/T-SU.1970.29558>
4. BALLANTINE, H. T. - HUETER, T. F. - BOLT, R. H. (1954). *On the Detection of Brain Tumors by Ultrasonics*. J. Acoust. Soc. Am.(26): 581-582. <https://doi.org/10.1121/1.1907378>
5. DIJKGRAAF, SVEN (1960). *Spallanzani's Unpublished Experiments on the Sensory Basis of Object Perception in Bats*. Isis 51(1): 9-20. <https://doi.org/10.1086/348834>
6. DONALD, I. (1974). *Apologia: how and why medical sonar developed*. Annals of the Royal College of Surgeons of England 54(3): 132-140.
7. DONALD, IAN - MACVICAR, J. - BROWN, T. G. (1958). *INVESTIGATION OF ABDOMINAL MASSES BY PULSED ULTRASOUND*. The Lancet 271(7032): 1188-1195. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(58\)91905-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(58)91905-6)
8. DUSSIK, KT (1942). *On the possibility of using ultrasound waves as a diagnostic aid*. Neurol Psychiat 174: 153-168. <https://doi.org/10.1007/BF02877929>
9. DUSSIK, KT (1948). *Weitere Ergebnisse der Ultraschalluntersuchung bei Gehirnerkrankungen*. First Congress of Ultrasound in Medicine. Erlangen, Germany.
11. EISENBERG, R.L. (1992). *Radiology: An Illustrated History*, Mosby Year Book.
12. ESR (2019). *ESR statement on portable ultrasound devices*. Insights into imaging 10(1): 89-89. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0775-x>
13. FEINSTEIN, S. B. - CHEIRIF, J. - TEN CATE, F. J. - SILVERMAN, P. R. - HEIDENREICH, P. A. - DICK, C. - DESIR, R. M. - ARMSTRONG, W. F. - QUINONES, M. A. - SHAH, P. M. (1990). *Safety and efficacy of a new transpulmonary ultrasound contrast agent: initial multicenter clinical results*. J Am Coll Cardiol 16(2): 316-324. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90580-I](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90580-I)
14. GALTON, FRANCIS (1883). *Inquiries into human faculty and its development*. New York, Macmillan & Co. <https://doi.org/10.1037/14178-000>
15. GORDON, ROBERT B. (2001). Isis 92(2): 403-404. <https://doi.org/10.1086/385235>
16. GUTTNER, W. - FIELDER, G. - PATZOLD, J. (1952). *Über Ultraschallabbildungen Am Menschlichen Schadel*. Acustica 2: 148-156.
17. KANE, D. - GRASSI, W. - STURROCK, R. - BALINT, P. V. (2004). *A brief history of musculoskeletal ultrasound: 'From bats and ships to babies and hips'*. Rheumatology 43(7): 931-933. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keh004>

18. KOSSOFF, G. (1972). *Improved techniques in ultrasonic cross sectional echography*. Ultrasonics 10(5): 221-227. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(72\)90296-X](https://doi.org/10.1016/0041-624X(72)90296-X)
19. KOSSOFF, GEORGE - GARRETT, WILLIAM J. (1972). *Ultrasonic Film Echoscapy for Placental Localization*. Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology 12(2): 117-121. <https://doi.org/10.1111/j.1479-828X.1972.tb00807.x>
20. LIPMAN, E. A. - GRASSI, J. R. (1942). *Comparative Auditory Sensitivity of Man and Dog*. The American Journal of Psychology 55(1): 84-89. <https://doi.org/10.2307/1417027>
21. MOULD, R.F. (2007). *Pierre Curie, 1859–1906*. Current Oncology 14(2): 74-82. <https://doi.org/10.3747/co.2007.110>
22. NEWMAN, PAUL G. - ROZYCKI, GRACE S. (1998). *THE HISTORY OF ULTRASOUND*. Surgical Clinics of North America 78(2): 179-195. [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(05\)70308-X](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(05)70308-X)
23. NIXDORFF, UWE (2008). *The inaugurator of transmitted echocardiography: Prof. Dr Wolf-Dieter Keidel*. European Journal of Echocardiography 10(1): 48-49. <https://doi.org/10.1093/ejechocard/jen233>
24. PAEFGEN, VERA - DOLESCHER, DENNIS - KIESSLING, FABIAN (2015). *Evolution of contrast agents for ultrasound imaging and ultrasound-mediated drug delivery*. Frontiers in pharmacology 6: 197-197. <https://doi.org/10.3389/fphar.2015.00197>
25. PESCHIER (1798). *Experiments on bats deprived of sight*. The philosophical magazine(1): 136–140. <https://doi.org/10.1080/14786447808676811>
26. ROMANES, GEORGE J. (1883). *Inquiries into Human Faculty and its Development*. Nature 28(709): 97-98. <https://doi.org/10.1038/028097a0>
27. RUSHMER, ROBERT F. - BAKER, DONALD W. - JOHNSON, WAYNE L. - STRANDNESS, DONALD E. (1967). *Clinical Applications of A Transcutaneous Ultrasonic Flow Detector*. JAMA 199(5): 326-328. <https://doi.org/10.1001/jama.199.5.326>
28. SARAZAN, R. DUSTAN - SCHWEITZ, KARL T. R. (2009). *Standing on the shoulders of giants: Dean Franklin and his remarkable contributions to physiological measurements in animals*. Advances in Physiology Education 33(3): 144-156. <https://doi.org/10.1152/advan.90208.2008>
29. SÉNÉBIER, J. (1807). *Rapports de l'air avec les êtres organisés*. 3.
30. SINGH, SIDDHARTH - GOYAL, ABHA (2007). *The origin of echocardiography: a tribute to Inge Edler*. Texas Heart Institute journal 34(4): 431-438.
31. SOKOLOV, S. (1935). *Phy. Z.* 36: 142.
32. SPALLANZANI, LAZARO (1794). *Lettere sopra il Sospetto di un Nuovo Senso nei Pipistrelli ... Con le Risposte dell'Abate Antonmaria Vassalli*. Stamperia Reale: 1-64.
33. WELLS, PNT (1994). *Ultrasonic colour flow imaging*. Physics in Medicine & Biology 39(12): 2113. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/39/12/001>
34. WHITE, DN (1988). *Neurosonology pioneers*. Ultrasound in medicine & biology 14(7): 541-561. [https://doi.org/10.1016/0301-5629\(88\)90121-4](https://doi.org/10.1016/0301-5629(88)90121-4)
35. WIKIPEDIA. (2022). from https://en.wikipedia.org/wiki/Lazzaro_Spallanzani#/media/File:Spallanzani.jpg.

Ábrajegyzék

1. ábra: Lazaro Spallanzani (Wikipedia 2022)
2. ábra: Karl Dussik szerint egy normális agyról készült hiperfonogram, melyet az erlangeni konferencián mutatott be (Dussik 1948)

3. ábra: Ian Donald egyik elsőként bemutatott ultrahangos képe: magzati koponya körvonala a 34. gesztációs hétben, suprapubicus scan (Donald - Macvicar - Brown 1958:1188-1195)
4. ábra: Kossoff és Garrett által közölt példák placentákról készült, filmre írt ultrahangos képekre (Kossoff - Garrett 1972:117-121)
5. ábra: Komputer generálta háromdimenziós kép egy 19 hetes magzatról in utero (Baba - Satoh - Sakamoto et al. 1989:19-24)