

Az ultrahang, mint modern diagnosztikus eszköz

Ultrasound, as a modern diagnostic tool

Dr. Eke Csaba rezidens aneszteziológia és intenzív terápia rezidens
Semmelweis Egyetem Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika,
25csaba@csaba.hu

Initially submitted February 25, 2023; accepted for publication March 30, 2023

Absztrakt:

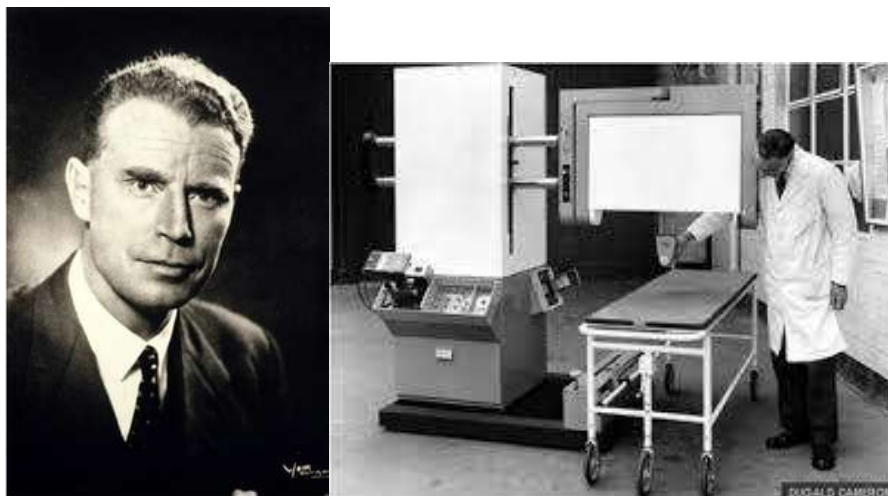
Ultrasound examination has experienced rapid development since the 1950s. From an early observation of the similarity between the fetus in the amniotic fluid and the submarines, we have now a device, which is absolutely necessary in emergency and intensive care units for rapid decision-making. In addition to modes B and M, the Doppler phenomenon-based Doppler ultrasound examination was also introduced, which provides important information while checking the heart in cardiology. The new idea of a Doppler-UH profiling on the hepatic vein with a specific device provides good results about the body fluid amount and the circulatory status. In conclusion, the spreading of ultrasound examinations is a forward-looking process that increases patient safety.

Kulcsszavak: Doppler, ultrahang, keringési elégtelenség, orvosi képzés

Keywords: Doppler, ultrasound, circulatory failure, medical imaging

Ultrahangnak a 20 kHz-nél nagyobb frekvenciájú hangot, azaz a nagyfrekvenciás hanghullámot nevezzük. Az UH vizsgálatnak a biofizikai alapja a következő: amikor az ultrahang egyik közegből a másikba lép, úgy viselkedik, mint a többi hullám, az elnyelődés miatt az energiája csökken, a terjedés iránya megváltozik, azaz megtörik, esetleg visszaverődik. Ennek segítségével tudjuk vizualizálni a mélyben lévő képleteket. (1)

Az ultrahang története a hadiiparra vezethető vissza. Könnyen felismerhető az előbb leírt fizikai jelenség, illetve a radar működése közötti hasonlóság. Egy skót tudós, Ian Donald (1910-1987) figyelt fel rá 1950-ben, hogy némi hasonlóságot mutat a magzatvízben úszkáló magzat és a mélyre merült tengeralattjáró. Donald és munkatársai felhasználták a francia, angol és amerikai kutatók által kidolgozott technikát, s a módszer alkalmasnak látszott a magzat méhen belüli vizsgálatára.



1. ábra Ian Donald és az első nőgyógyászati ultrahang készülékek egyike

Azóta leginkább továbbra is a nőgyógyászati ultrahang vizsgálatok, illetve a mellkasi ultrahang vizsgálat terjedt el.

A mellkasi UH vizsgálat irodalma 1990-től kezdve rohamos fejlődést mutatott szakirodalmi szinten, igen hamar nagy adatbázisok születtek, majd a 2010-es évektől kezdve protokolláris szinten is megjelent, különös tekintettel a sürgősségi, illetve az intenzív osztályokon. Hamar nyilvánvalóvá váltak, előnyei: gyorsan végrehajtható, kevés tanulóval elsajátítható, így gyors döntési helyzetekben ideális eszköz.

A mellkasi UH vizsgálattal könnyen azonosítható a pneumothorax (légmell), consolidatio, mellkasi folyadék, ill. egyes interstitialis-alveolaris folyamatok, ezáltal a sürgősségben releváns kórképek szinte hiány nélkül azonosíthatóak. Az UH segítségével a cardialis decompensatio, illetve a kardiogén pulmonalis oedema 94%-os szenzitivitással, ill. 92%-os specificitással megkülönböztethető a nem kardiális alapokon kialakuló dyspnoés kórképektől. Az UH vizsgálat 96%-os specificitású és 94%-os szenzitivitású a tüdőgyulladásra, és 91%-os szenzitivitású és 98%-os specificitású a pneumothoraxra. Fontos kiemelni még, hogy az UH szintén fontos döntési pont a folyadékföltöltés megítélésére, mely légzési elégtelen betegeknel nagy fontosságú lehet a pontos folyadékterápia meghatározására. (2)

A sürgősségi osztályokon a FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma), RUSH (Rapid Ultrasound for Shock and Hypotension) protokolloknak egyaránt részei a LUS (Lung Ultrasound examination), melynek fő tájékozódási pontjai a BLUE (Bedside Lung Ultrasound in Emergency) és PLAPS (Posterolateral Alveolar and Pulmonary Syndrome) pontok. (3) (4)

A mellkasi UH vizsgálatok során a B, illetve az M modalitások használhatóak. A B-mód Brightness-t rövidít, mely a nagyobb reflexióval bíró pontokat fényesebbként jeleníti meg. Az M a Motion rövidítése, mely egy nyaláb (tengely) alatti pontosorozatokat elmozdulását követi végig.

Az első leírása az M-módnak a svéd kardiológus Inge Edlerhez (1911-2001) köthető, ki 1953-ban kezdte használni fizikus barátja, Carl Hellmuth Hertz a Nobel díjas Hertz fia segítségével. Első vizsgálata egy beteg mitrális regurgitációjának pontos leírására terjedt ki. Edler munkahelyén, a svédországi Lund Egyetemen nagy mértékben terjesztette el az ultrahangvizsgálatot, sokan az „Ultrahang Atyjának” tekintik. (5)



2. ábra Elder és Hertz

Egy további fontos modalitás a Doppler UH vizsgálat. A Doppler-effektus vagy magyarul Doppler-jelenség a hullám frekvenciájában és ezzel együtt hullámhosszában megjelenő változás, mely amiatt alakul ki, hogy a hullámforrás és a megfigyelő egymáshoz képest mozog. Nevét felfedezőjéről, Christian Andreas Dopplerről (1803-1853) kapta. (6)



3. ábra Christian Doppler

Doppler 1803-ban született Salzburgban. A bécsi politechnikumban tanult, 26 évesen már matematikai tanszéki tanár volt. 38 éves korában geometriával is kezdett foglalkozni, 44 évesen bányatanácsossá nevezték ki, és 1847-től Magyar Királyi Bányászakadémián mennyiségtant, természettant és eróműtant oktatott. 1850-ben Bécsbe költözött, ahol a fizikai intézet igazgatója volt. Innentől kezdve elméleti fizikával és csillagászzal foglalkozott. Fő felfedezése a hanghullámok terjedését vizsgálva kimutatott effektus - amely szerint, ha a hullámok forrása hozzánk közeledik, a hullámok hosszát az álló hullámforrás által kibocsátottaknál rövidebbnek, a távolodó forrás hullámaiét pedig hosszabbnak és ennek megfelelően a hangot magasabbnak, illetve mélyebbnek érzékeljük.

Felismerte, hogy ez a szabályszerűség a fényre is érvényes:

„Ha egy fénylő tárgy... a fény sebességéhez képest számba jöhető sebességgel közvetlenül közeledik a megfigyelőhöz vagy távolodik tőle, akkor ennek a mozgásnak feltétlenül a fény... színének a megváltozása a következménye.” (7)

A Doppler-ultrahangos vizsgálat egy olyan képalkotó vizsgálati módszer, ami a Doppler-effektust felhasználva vizualizálja a szöveti mozgásokat és a folyadékok áramlását a szervezetben, és méri a relatív sebességüket és irányukat a vizsgálófejhez viszonyítva.

Három fő módszertana lehet a Doppler-ultrahangnak: 1.) A Color-Doppler technika a mérési eredményeket egy számítógép segítségével színskálává alakítja, aminek segítségével tudunk könnyen áramlási sebességet és irányt megjeleníteni. 2.) A Power-Doppler az előbbi Color technikánál szenzitívebb, és a kisebb áramlásokat is tud értelmezni, és nagyobb részletességgel teszi ezt. Azonban irányt ennek a segítségével nem láthatunk. 3.) A Spectral-Doppler akusztikus ingerré alakítja az áramlási mintázatokat, illetve az áramlásokat színek helyett egy egységnyi idő alatt megtett távolságként értelmezi és önti grafikus formába. (4) (8)

A Doppler-módszert a fent ismertetett echocardiographias vizsgálatok részeként is használjuk, illetve ez a noninvaszív, ionizáló sugárzástól mentes, könnyen hordozható technika egy igen gyors állapotfelmérést tud adni sokféle szerv, például a máj vaszkuláris állapotáról is. (9)

A Doppler-ultrahangos vizsgálatok egyik fő fogalma a Velocity-Time Integral, vagy Time-Velocity Integral egyes leírásokban. Ez egy olyan paraméter, melynek segítségével meg tudjuk határozni az áramlást egy biológiai rendszerben. Az áramlást a sebesség és a keresztmetszet szorzataként értelmezhetjük. Egy rigid, merev falú hidraulikus rendszerben a sebességet állandónak tekinthetjük, így azzal számolhatunk tovább. A biológiai rendszerekben ezzel ellentétben folyamatosan változik az áramlási sebesség. Eleinte gyorsul, majd elér egy maximális szintet, aztán lassul. Tehát nem számolhatunk egy állandó sebességgel, a pillanatnyi sebességekkel kell figyelembe vennünk az idő változásával. Ezt a Doppler-módszert használó ultrahang gépek képesek kiszámolni, görbe alatti területként, integrálással.

A Doppler-ultrahang vizsgálat a mindennapi klinikumban több helyen is elterjedt: szívultrahangvizsgálatnál kardiológusok körében, angiológusoknál-érsebészeknél érpályavizsgálatoknál, illetve az intenzív-oxyológiai betegvizsgálatnál is elengedhetetlen kellék, mely egyre inkább teret nyer. Mindemellet természetesen a radiológusoknál is alapvizsgálat (pl. mélyvénás thrombosis meghatározásánál).

A szívultrahang vizsgálat a szív szerkezeti felépítéséről, illetve a szívbillentyűk működéséről, méretéről, veleszületett vagy szerzett rendellenességéről, teljesítőképességéről tud információt szolgáltatni. Sugármentes, biztonságos és megbízható eljárás, bármikor megismételhető, és általa követni lehet az elváltozások alakulását, stagnálását vagy romlását anélkül, hogy a vizsgálat megterhelő lenne a beteg szervezetére.

A legfontosabb mérhető paraméterek az echocardiographia során a billentyűfunkciók és a szívüregék átmérője. A billentyűk közül vizsgáljuk a tricuspídalis, mitralis, és aortabillentyű esetleges elégtelenségét. Fontos meghatározni az ejekciós frakciót, amelyből a szívfunkcióra tudunk egyértelműen következtetni. Az ejekciós frakció (EF) az ürített és a végdiasztolés térfogat aránya (SV/EDV), a klinikai kardiológiában a szív teljesítőképességének indikátora. Diasztolé végén érdemes megmérni az átmérőjét a hátsó falnak (PWEDD), kamrai sövénynek (VSEDD), és a bal kamrának (LVEDD). Egy speciális paraméter a TAPSE, a Tricuspidal Anular Plane Systolic Excursion, ami a jobb kamra funkciójáról mutat egyértelmű képet. (10)

Szívultrahang-vizsgálattal szintén ábrázolható a szívbuokban felszaporodott folyadék, az infarktus utáni falmozgási zavarok, hegesedések. Színnel megjeleníthető a vér normális vagy kóros áramlása a szívüregék közt, az áramlás iránya és sebessége és az esetleges vérrög a szív valamelyik üregében. Láthatóak a hipertónia és a koszorúérbetegségek okozta elváltozások is. (11)

Az intenzív osztályokon és a sürgősségi ellátó egységekben az elmúlt 2-3 évben megjelent a májvéna Doppler-ultrahang monitorozása, mint vizsgálati módszer.

A máj Doppler ultrahangos vizsgálata a szerv állapotának felmérésében nélkülözhetetlen diagnosztikai eszköz. A májvéna áramlásprofil helyes értelmezésével, különös tekintettel az áramlás irányára, sebességére, mintázatára, a szív állapotára is tudunk következtetni. A kisebb

vénákat nem vizsgáljuk rutinszerűen, a cél a három nagyobb májvéna helyzetének megítélése és mérése. (7, 12)

A nemzetközi irodalomban a májvéna Doppler-ultrahangos vizsgálatáról helyenként kisebb részletekben eltérő, de összességében konzekvens vezérfonalat és útmutatást találunk. Normál esetben a májvéna Doppler UH módszerrel való vizsgálatkor 3, vagy 4 egymástól jól megkülönböztethető elemből álló hullámformát mutatnak. Szisztolékor egy anterográd (negatív sebességű) nagy S hullámot, késő szisztolékor ezt követi egy kisebb V hullám, mely lehet anterográd és retrográd is, illetve alkalmanként nem látszódik, rásimul a zéró vonalra, egy anterográd D hullám korai diasztolében, és egy retrográd A hullám kései diasztolékor a pitvari összehúzódásokat követően. (13)

Az A hullám a pitvari összehúzódásokra reagál. Amikor a tricuspídális billentyű nyitva van, a vér 2 irányba áramlik: anterográd módon a jobb kamra felé, illetve retrográd irányba az IVC és a májvéna felé. A pitvari szisztolé végén a retrográd sebesség eléri maximumát. Ahogy a kamrai szisztolé bekövetkezik, a tricuspídális billentyű bezárul, és a retrográd sebesség a májvéna felé elkezdi csökkenni és megközelíti a nulla pontot. A szakirodalom megosztott abban a tekintetben, hogy a nem retrográd A hullám kórosnak tekintendő-e. Léteznek források, melyek egyértelműen leírják, hogy csak a retrográd A hullám lehet egészséges, más források ebben a tekintetben megengedőbbek. Kamrai szisztolé alatt nem csak a kamrafalak húzódnak össze, hogy a vért a szervezet felé továbbítsa, hanem a tricuspídális billentyű anulusa is elmozdul a szívcsúcs felé. Ezek a hatások negatív nyomásértékeket okoznak a pitvarokban, ennek hatására a vér beáramlik a jobb pitvarba a máj felől. Ezt láthatjuk S hullám formájában. Normál szív működés esetén itt láthatjuk a legnagyobb anterográd áramlást.

A V hullám a pitvari telődéssel párhuzamos. Ahogy a kamrai kontrakció intenzitása csökken, a tricuspídális billentyű kezd visszatérni alaphelyzetébe, a pitvar megtelik vérrel, a szív felé tartó áramlás csökken. A V hullám csúcsa lehet az alapvonal felett, alatt és rajta is.

A D hullám akkor kezdődik, mikor a tricuspídális billentyű kinyílik. Diasztolé alatt a jobb pitvar passzívan telődik, anterográd áramlással a máj felől a szív felé. Egészséges páciens esetén ezen hullámnak sebességének maximuma alacsonyabb, mint az S hullámé.

Egy normál variáció, a C hullám, egy kicsi retrográd tüskét tud okozni az A hullámot követően. Ahogy a pitvari szisztolé véget ér, és a kamrai szisztolé elkezdi, a tricuspídális billentyű kinyílik. A már fent említett módon a tricuspídális billentyű anulusa a szívcsúcs felé kezd elmozdulni, és a retrográd áramlási sebesség a szívtől a máj felé elkezdi csökkenni. Mindezzel együtt, mielőtt a pulmonális billentyű kinyílik, a kamrai nyomás emelkedik a kontrakcióval együtt, és ez egy átmeneti mozgást okoz a tricuspídális billentyűnél a pitvar belseje felé. Ez egy pillanatnyi retrográd áramlást idéz elő a máj felé a szív felől, és ez okozza a C hullámot. Amikor a pulmonális billentyű kinyílik, ez megszűnik, és az S hullámmal folytatódik az áramlásprofil. (14)



4. ábra szív- és máj ultrahang képe

Egy májvéna hullámprofil vizsgálva három fő támpontunk van a helyes értelmezéshez. Egészséges páciens esetén a D hullám mindig anterográd. Továbbá az A hullám csúcsa magasabban helyezkedik el, mint a V hullámé. A harmadik, legmegbízhatóbb mód az áramlásprofil EKG hullámmal együttes, párhuzamos értelmezése. A pitvari depolarizációval (EKG P hulláma) párhuzamosan kezdődik a májvéna A hulláma. Az A hullám csúcsa 150 ms-on belül követi a QRS komplexumot. A V és D hullámok az EKG T hullámját követően láthatóak diasztolében. (15)

A hullámformát nagyban befolyásolják egyéb tényezők, legnagyobb hatása a légzési ciklus különböző fázisainak van. Belégzés végén és légzési csend esetén normális a véráramlás a szív és a máj között, ezért ebben az esetben normál hullámformát láthatunk.

Belégzéskor csökken a mellkasban uralkodó nyomás, és ez fiziológiás növekedést okoz az anterográd hullámokban (S és D). Kilégzéskor ezen hullámok sebessége csökken, még a retrográdoké nő (A és V). Több, a jobb szívfelet érintő betegség a májvéna áramlásprofil a légzési cikluson belül eltérő módokon tudja befolyásolni. Így, ha ez felmerül a kórelőzmény alapján, szükséges az áramlás vizsgálata egy teljes légzési cikluson keresztül. A légzés befolyásoló hatása a májvéna áramlásra attól függ, hogy mekkora nyomáskülönbség alakul ki a mellkasban, ezt pedig a légzés mélysége és a légzési munka határozza meg. Azok az egyéneknél, kiknek nagyobb a légzési munkájuk, vagy légúti obstrukció van jelen, sokkal nagyobb a fluktuáció a mellkasi nyomásértékekben, és nagyobb negatív nyomás jelentkezik belégzéskor, és kevésbé negatív, sőt pozitív nyomásérték kilégzéskor. Ilyen patofiziológiára példa a COPD, posztoperatív légzési elégtelenség és az ARDS. A májvéna Doppler-UH kép abnormálisan magas S és D hullámokat mutat nagyon alacsony mellkasi nyomásértékeknél. (16) Valsalva-manőver esetén szinte monofázisos képet láthatunk. Klinikailag a peritonitis és a nagy mennyiségű ascites egy pseudo-Valsalva manőverként funkcionál, és ebből következően egy monofázisos áramlásprofil-képet ad. Mindezek mellett megemlítendő, hogy ha azt kérjük a páciensről, hogy tartsa vissza a lélegzetét, véletlenül is végrehajthat egy Valsalva-manővert, mely befolyásolja a képet. Emiatt fontos, hogy a vizsgálatokat nyugodt belégzés végén végezzük. Fizikai munka, aktivitás után megemelkedik a sebesség a májvénaiban, de a morfológia változatlan marad. Az emésztési folyamatoknak nincsen kimutatott hatása sem a morfológiára, sem a sebességre. Terhességben a hullámok tompultan jelennek meg, de ez a profil általában 8 héttel a szülés után normalizálódik. (17)

Mint láthatjuk, a normálistól eltérő áramlásprofil sok, egymástól sokban különböző patofiziológiai kép okozhat. A helyes értelmezések útján elindulva egy differenciáldiagnosztikai sorhoz juthatunk el, mely jó adatokat szolgál a máj szerkezeti állapotáról, a pangásról, következtethetünk folyadék túltöltöttségre, keringési elégtelenségre, így hamar beavatkozhatunk gyógyszeresen, így használata megfontolandó.

Összefoglalásképp, az UH vizsgálat térnyerése egy előremutató folyamat, mely növeli a betegbiztonságot. Gyorsan, kevés tanulás után végrehajtható, betegmozgatás nem szükséges hozzá, és azonnali eredményeket ad. Szintén fontos szempont, hogy nem káros az egészségre, akárhányszor megismételhető. Ideális eszköz a klinikusok számára.

1. <https://www.vital.hu/themes/sick/ultrahang2.htm>. Available from: <https://www.vital.hu/themes/sick/ultrahang2.htm>.
2. LICHTENSTEIN DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659-70. <https://doi.org/10.1378/chest.14-1313> PubMed PMID: 26033127.
3. LICHTER Y, et al. Lung ultrasound predicts clinical course and outcomes in COVID-19 patients. *Intensive care medicine*. 2020;46(10):1873-83. Epub 20200828. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06212-1> PubMed PMID: 32860069; PubMed Central PMCID: PMC7454549.
4. FADEL BM, Pibarot P, Kazzi BE, Al-Admawi M, Galzerano D, Alhumaid M, et al. Spectral Doppler Interrogation of the Pulmonary Veins for the Diagnosis of Cardiac Disorders: A Comprehensive Review. *J Am Soc Echocardiogr*. 2021;34(3):223-36. Epub 20201022. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.09.012> PubMed PMID: 33678222.
5. SINGH. The Origin of Echocardiography. *Tex Heart Inst J* 2007.
6. ZABIELSKA J, [The usefulness of Duplex-Doppler sonography in estimation of hepatic veins and inferior vena cava in the group of patients treated for congestive heart disease]. *Pol Merkurius Lekarski*. 2007;23(137):328-34. Epub 2008/03/26. PubMed PMID: 18361313.
7. <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-9-efolyam/a-hang-interferenciaja-elhajlasi-a-doppler-effektus/a-doppler-effektus>. Available from: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-9-efolyam/a-hang-interferenciaja-elhajlasi-a-doppler-effektus/a-doppler-effektus>.
8. FADEL BM, Almulla K, Husain A, Dahdouh Z, Di Salvo G, Mohty D. Spectral Doppler of the hepatic veins in tricuspid valve disease. *Echocardiography*. 2015;32(5):856-9. <https://doi.org/10.1111/echo.12773> PubMed PMID: 25250676.
9. PETTEY et al. Ultrasound Hepatic Vein Ratios Are Associated With the Development of Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2021. Epub 2021/08/23. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.07.039> PubMed PMID: 34419361.
10. SCHMID E, et al. Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) predicts poor outcome in patients undergoing acute pulmonary embolectomy. *Heart, lung and vessels*. 2015;7(2):151-8. PubMed PMID: 26157741; PubMed Central PMCID: PMC4476769.
11. ZWIEBEL WJ. Sonographic diagnosis of hepatic vascular disorders. *Semin Ultrasound CT MR*. 1995;16(1):34-48. [https://doi.org/10.1016/0887-2171\(95\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0887-2171(95)90013-6) PubMed PMID: 7718281.

12. SCHEINFELD MH, Bilali A, Koenigsberg M. Understanding the spectral Doppler waveform of the hepatic veins in health and disease. *Radiographics*. 2009;29(7):2081-98. <https://doi.org/10.1148/rg.297095715> PubMed PMID: 19926763.
13. PISCAGLIA F et al. Systemic and splanchnic hemodynamic changes after liver transplantation for cirrhosis: a long-term prospective study. *Hepatology*. 1999;30(1):58-64. Epub 1999/07/01. <https://doi.org/10.1002/hep.510300112> PubMed PMID: 10385639.
14. ABU-YOUSEF MM. Duplex Doppler sonography of the hepatic vein in tricuspid regurgitation. *AJR American journal of roentgenology*. 1991;156(1):79-83. <https://doi.org/10.2214/ajr.156.1.1898574> PubMed PMID: 1898574.
15. YAMADA T, Hepatic circulation during nonpulsatile cardiopulmonary bypass. *Asaio j*. 1995;41(3):M294-7. Epub 1995/07/01. <https://doi.org/10.1097/00002480-199507000-00016> PubMed PMID: 8573810.
16. PINTO FJ Hepatic venous flow assessed by transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 1991;17(7):1493-8. Epub 1991/06/01. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90637-O](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90637-O) PubMed PMID: 2033181.