**Radiografiapäivät 6.-7.5.2015, Tampere**

Luentolyhennelmä

Anne-Mari Vitikainen

Sairaalafyysikko, HUS-Kuvantaminen, Radiologia, HUS

Doppler-Uä:n ongelmia: oletuksista laadunvarmistukseen

Doppler signaali syntyy ultraääniaaltojen heijastuessa virtaavasta nesteestä ja lopputuloksena saatava spektri sekä siitä laskettavat suureet sisältävät monia olettamuksia ja yksinkertaistuksia. Seuraavassa käydään läpi tärkeimpiä oletuksia ja niiden vaikutuksia lopputulokseen. On huomattavaa, että usein muutokset spektrin muodossa ja määritetyssä nopeudessa ovat oleellisempia kuin absoluuttisen oikeasti ja tarkasti mitattu nopeus tietyllä ajanhetkellä.

Veren oletetaan olevan homogeenista, kokoonpuristumatonta kudosta, jonka akustinen impedanssi ja äänennopeus ovat tunnettuja vakioita. Lisäksi veren usein oletetaan virtaavan äärettömän pitkässä jäykässä putkessa tunnetussa paikallaan pysyvässä geometriassa, jossa virtauksen oletetaan olevan tasaista ja usein myös laminaarista. Todellisuudessa veren virtaus käyttäytyy huomattavasti monimutkaisemmin ja siten myös laitteen ilmoittamat virtaussuureet sisältävät tästä johtuvia virhelähteitä.

Ultraäänianturi muodostaa rajapinnan laitteen laskukaavojen ja tutkittavan kohteen välille. Doppler signaalin muodostamiseen käytetään vain osaa tyypillisesti useista sadoista anturin kide-elementeistä. Tyypillisesti käytössä lienee n. 20 elementtiä kerrallaan ja lukumäärä vaihtelee myös kohteen syvyyden mukaan. Käytettävien elementtien lukumäärään tai sijaintiin ei käyttäjä voi vaikuttaa, eikä siitä ole saatavissa tarkkaa tietoa valmistajilta. Kohteen ”määrittävä” näytetilavuus on todellisuudessa epämääräisen muotoinen kolmiulotteinen tilavuus, jonka syvyyssuuntaista suuruutta voidaan säätää mittausportin suuruutta muuttamalla. Näytetilavuuden muihin ulottuvuuksiin käyttäjällä on vain vähän vaikutusmahdollisuuksia, eikä tällaisia anturikohtaisia tietoja ole myöskään saatavilla valmistajilta. Käytännössä näytetilavuus kannattaa mahdollisuuksien mukaan asetella kuva-alan keskelle siten, että B-kuvassa kohteena oleva suoni näkyy mahdollisimman hyvin.

Havaitun Doppler-taajuussiirtymän suuruus on riippuvainen virtauksen suunnan ja mittaussuunnan välisestä kulmasta. Suurilla kulmilla mittauksen epätarkkuus kasvaa, koska mitattaessa pienempää taajuussiirtymää laitteiston sisäiset virheet ovat suhteessa suuremmat ja mittaus epäherkempi. Lisäksi pienetkin muutokset anturin asennossa vaikuttavat suurilla kulmilla suhteellisesti enemmän.

Äänennopeuden oletetaan olevan vakio 1540m/s. Mikäli äänennopeus väliaineessa poikkeaa paljon laitteen olettamuksesta, Doppler-mittaportin sijainti kuvautuu syvyyssuunnassa väärään paikkaan. Mikäli välissä on rajapintoja, voi sijainti muuttua myös sivusuunnassa. Virtausnopeusmäärityksessä äänennopeuden oletetaan olevan aina 1540m/s.

Doppler-taajuus on suoraan verrannollinen laitteen käyttämään perustaajuuteen ja sen oletetaan pysyvän vakiona laskettaessa mitattavan kohteen nopeutta. Mitattavat taajuudet ovat hyvin pieniä, vain noin 0,1%:n luokkaa lähetettävästä taajuudesta. Laitteen elektroniikasta tai muista syistä johtuen perustaajuus voi kuitenkin poiketa hieman oletetusta. Esimerkiksi rikkoutuneet kide-elementit ovat potentiaalinen virhelähde, sillä ne voivat vaikuttaa sekä lähetettävän ultraäänikeilan muotoon, että sen taajuuteen. Käyttäjä voi minimoida tällaista virhettä pitämällä anturin hyvässä kunnossa ja tunnistamalla virheen mahdollisuuden rikkoutuneita antureita käyttäessään.

Doppler-tekniikkaan kiinteästi liittyvä sisäinen spektrin leveneminen (ISB–ilmiö) johtuu signaalin muodostukseen käytettävien elementtien lukumäärästä ja sijainnista suhteessa näytetilavuuteen. Anturista lähtevä ultraäänikeila on käytännössä joitain senttejä leveä ja tästä leveydestä johtuen eri elementit näkevät kohteen eri kulmissa. Lopputuloksena saatava nopeusspektrissä on useita hieman toisistaan eroavia taajuuksia signaalin eri etenemissuunnista johtuen. Mitä enemmän elementtejä on käytössä ja mitä suurempi keilan kulma suhteessa kohteeseen on, sitä suurempi ISB on. Myös kohteen sijainti kuva-alalla (keskellä/reunalla) määrä käytettävien kiteiden lukumääärän ja täten vaikuttaa suoraan myös ISB:n. ISB:n takia määritetty virtausnopeus yliarvioituu. Käyttäjälle jää tehtäväksi käyttää mahdollisuuksien mukaan anturin keskeisiä kiteitä ja määrittää nopeudet sovituissa kohdin parametrit vakioiden tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

Veren signaali on intensiteetiltään noin 40dB:tä kudoksen signaalia vaimeampi (tehossa on 10 000 kertainen ero), mikä asettaa omat rajoitteensa käytettäville laskentakaavoille. Yleistä vahvistusta säätämällä voidaan tilannetta korjata jonkin verran, mutta vahvistuksen lisääminen lisää myös kohinaa. Mikäli haluttua lopputulosta ei saavuteta vahvistusta säätämällä, voi siirtyminen matalammalle Doppler-taajuudelle, anturin vaihtaminen, tai suurempi akustinen ulostuloteho tulla kyseeseen mieluusti tässä järjestyksessä. Kohinan liian suuri määrä vaikuttaa spektrin suttuisuuden lisäksi myös esim. maksiminopeuden määritykseen yliarvioiden tätä.

Ultraäänilaitteen Doppler-suureiden suora laadunvarmistus on hankalaa. Asianmukaiseen laadunvarmistukseen tarvittaisiin kudosvastine, jossa virtausnopeus ja –profiili tunnetaan tarkasti ja ideaalitilanteessa tätä voitaisiin myös muuttaa. Kudosvastineen tulisi myös vastata veren monipuolisia ominaisuuksia riittävällä tarkkuudella. Ainoastaan pientä osaa anturissa olevista kiteistä käytetään kerrallaan Doppler-keilan luomiseen, mutta kullakin hetkellä käytössä olevien kiteiden lukumäärä tai sijainti ei ole tiedossa. Mitattavaa on todella paljon, eikä tiedetä mitä mitataan. Laitteiden tekemät oletukset tai signaalin käsittelytavat puhumattakaan erikoisemmista ominaisuuksista eivät ole tunnettuja!