

Doppler ultralydskanning

Torben Lorentzen

Ved at anvende Dopplereffekten inden for medicinsk ultralydskanning fås en stærk billediagnostisk modalitet som rummer både fysiologiske informationer i form af *flow*-bevægelser i skanneplanet samt informationer om vævets morfologi. De fleste nyere ultralydskannere kan udføre Dopplerundersøgelser, og *flow*-informationerne vises enten som spektralanalyse eller som farve-Doppler. Herved kan undersøgeren vurdere blodgennemstrømningen i arterier og vener og i organer. Doppler ultralydskanning er »grøn radiologi« idet der hverken anvendes ioniserende stråling eller kontraststoffer. Da metoden tillige er non-invasiv, har den naturligt erstattet flere invasive røntgenkontrastundersøgelser (arteriografier).

I det følgende gives en kort gennemgang af teknikken bag Doppler ultralydskanningen samt en oversigt over mulige anvendelsesmuligheder.

Ultralyden som anvendes i diagnostisk øjemed, er lydbølger i MHz-området. Princippet er som ved et ekkolod. Den almindelige form for ultralydskanning (*B-mode*) frembringer et snitbillede som i *real-time* viser det undersøgte vævs akustiske egenskaber. Stærke lydreflektorer i det undersøgte væv, fx en karvæg, giver lyse områder på ultralydskannerens monitor, hvorimod svage reflektorer, fx væske (blod), giver mørke områder. Dette gråtonebillede giver altså informationer om vævets makromorfologi og anvendes til en lang række undersøgelser inden for næsten alle medicinske specialer, fx undersøgelse af abdominale organer for tumores, væskeansamlinger eller sten (Fig. 1). Da ultralydbilledet er en gengivelse i *real-time*, er metoden velegnet til at visualisere nåle og katetre i skanneplanet og kan dermed guide ved forskellige interventionelle procedurer som kan

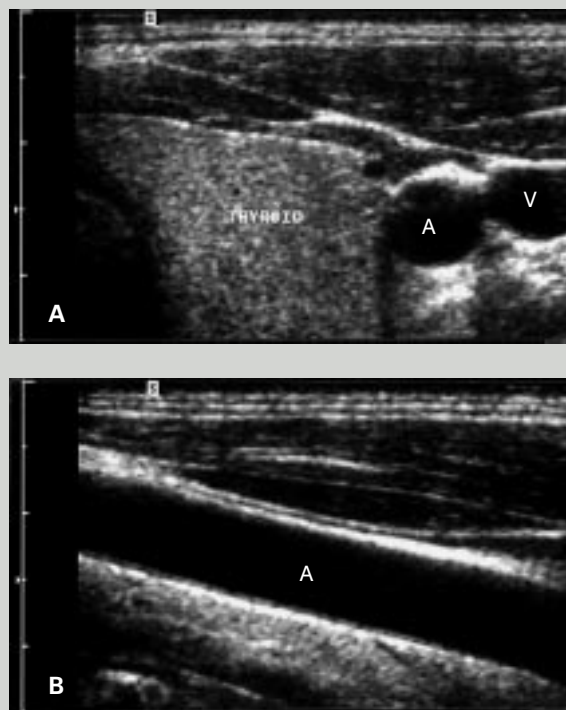


Fig. 1. Almindelig ultralydskanning af halsen. A: Transverselt snit. B: Longitudinelt snit. Under halsens muskulatur ses den homogene glandula thyroidea samt a. carotis interna (A) og v. jugularis interna (V).

Fig. 1. Conventional ultrasound scanning of the neck. A: Transverse section. B: Longitudinal section. The homogeneous thyroid gland, the internal carotid artery (A) and the internal jugular vein (V) are seen profound for the neck musculature.

være af både diagnostisk og af terapeutisk karakter, fx biopsi og væskedrænage (1).

Registrering af bevægelse

Dopplereffekten (efter den østrigske matematiker og fysiker *Christian Andreas Doppler*) kendes fra hverdagen, bl.a. ved passage af et udrykningskøretøj hvis sirene har en højere tone (frekvens) når køretøjet nærmer sig end når det fjerner sig. Dopplereffekten kan anvendes ved ultralydskanning af reflektorer i bevægelse, fx røde blodlegemer. Hvis ultralyd reflekteres af et blodkar med en *flow*-retning mod lyd hovedet (transduceren), vil den reflekterede ultralyd have en frekvens som er en anelse højere end den udsendte ultralyd. Denne frekvensforskel f_D (Dopplerfrekvensen) er givet af Dopplergligningen $f_D = 2v(\cos\alpha)f/c$, hvor v er den lineære hastighed af de røde blodlegemer, α er vinklen mellem ultralydens retning og blodstrømmens retning, f er transducerens frekvens, og c er ultralydens hastighed i væv (ca. 1500 m/s). Det er vigtigt her at bemærke at Dopplerfrekvensen f_D er ligefrem proportional med strømningshastigheden v og kun varierer med $\cos\alpha$, idet f og c er konstanter. Ultralydskanneren kan måle f_D og kan udregne v hvis man angiver α . Med andre ord er der tale om en non-invasiv teknik som vha. ultralydpulsbølger undersøger skanneplanet for bevægelse, fx blodkar eller et fosterhjerter. Resultatet af en Dopplerundersøgelse kan præsenteres på forskellige måder (2):

Akustisk signal

To højttalere på ultralydapparatet udsender Dopplerfrekvenserne som pga. et heldigt sammentræf under normalfysiologiske forhold ligger i området mellem 0 og 10 kHz, altså i det hørbare område. Retningen af *flow*'et i forhold til transduceren angives af de to højttalere. For den øvede undersøger indeholder det akustiske signal vigtige diagnostiske informationer, men er selvsagt uegnet til dokumentationsbrug.

Spektralanalyse

Herved forstås en *real-time* grafisk fremstilling af Dopplerfrekvenserne (strømningshastighederne) som funktion af tiden. Spektralanalysen indeholder kun *flow*-informationer fra et lille selektivt område i skanneplanet, den såkaldte Doppler-gate, som undersøgeren definerer og placerer vejledt af det almindelige ultralydbillede, som kan vises samtidig med spektralanalysen. Denne kombination kaldes undertiden for duplex skanning (Fig. 2). Spektralanalysen giver både kvalitative og kvantitative *flow*-informationer, men kun fra Doppler-gate-området.

Farve-Doppler

Der anvendes her en *multigate*-teknik hvorved der udføres

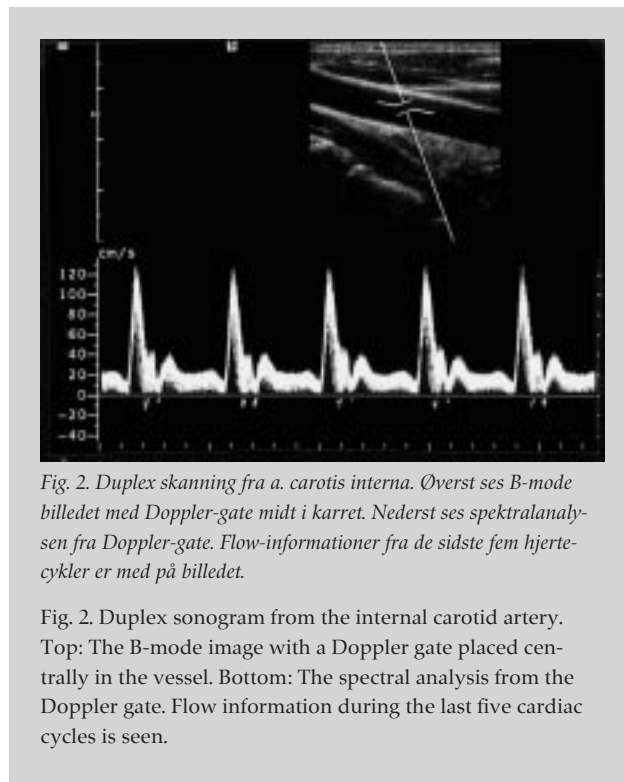


Fig. 2. Duplex skanning fra a. carotis interna. Øverst ses B-mode billedet med Doppler-gate midt i karret. Nederst ses spektralanalysen fra Doppler-gate. Flow-informationer fra de sidste fem hjertecykler er med på billedet.

Fig. 2. Duplex sonogram from the internal carotid artery. Top: The B-mode image with a Doppler gate placed centrally in the vessel. Bottom: The spectral analysis from the Doppler gate. Flow information during the last five cardiac cycles is seen.

multiple spektralanalyser i hele skanneplanet. B-billedet inddeles i tusindvis af små billedelementer, pixels, som hver er at betragte som en selvstændig Doppler-gate, hvorfra der udføres spektralanalyse. Systemet udregner en middel-Dopplerfrekvens for hver pixel. Denne værdi omsættes til en farve efter en farvekode. Sædvanligvis fremstilles *flow* med retning mod transduceren (positive Dopplerfrekvenser) i rødlige nuancer og *flow* med retningen væk fra transduceren (negative Dopplerfrekvenser) i blålige nuancer. Jo højere *flow*-hastighed desto lysere farvenuance. De steder i skanneplanet hvor der ikke registreres en *flow*-bevægelse appliceres *B-mode*-billedet (Fig. 3). Herved opnår man med farve-Doppler et *real-time* B-billede med kvalitative og semikvantitative farvekode-de *flow*-informationer lagt ovenpå (3).

En variant af farve-Doppler er den såkaldte *power*-Doppler eller *energy*-Doppler. Ved denne teknik farvekodes kun intensiteten af Dopplerfrekvenserne. Teknikken er specielt velegnet til at vise langsomt *flow* samt undersøgelser med dårlige forhold vedr. signal/støj, fx hos adipøse patienter (4).

Mange anvendelsesmuligheder

Den hyppigste anvendelse af Doppler ultralydskanning er

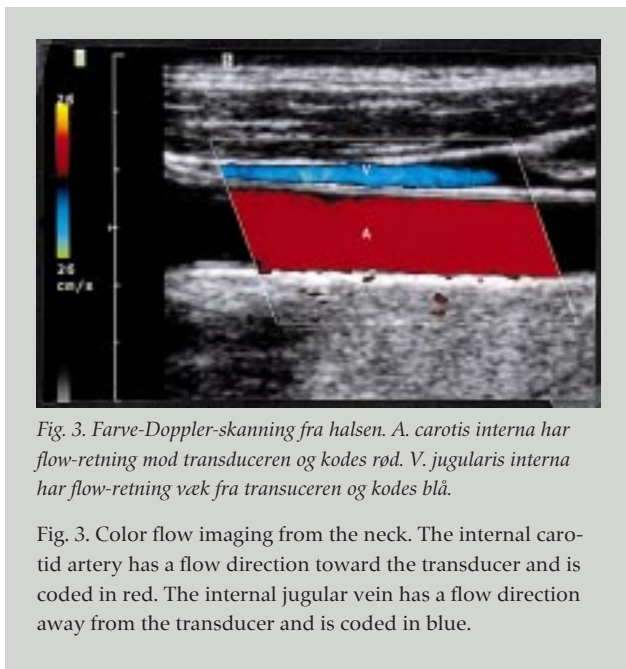


Fig. 3. Farve-Doppler-skanning fra halsen. A. carotis interna har flow-retning mod transducere og kodes rød. V. jugularis interna har flow-retning væk fra transducere og kodes blå.

Fig. 3. Color flow imaging from the neck. The internal carotid artery has a flow direction toward the transducer and is coded in red. The internal jugular vein has a flow direction away from the transducer and is coded in blue.

nok som et supplement til *B-mode*-skanningen. Man kan der- ved som undersøger sikre sig at en ekkosvæg struktur rent faktisk er et blodkar og ikke en patologisk struktur, fx en cyste eller en lymfeknude. Hermed bliver ultralyddiagnostikken både mere sikker og hurtigere at udføre. Man kan endvidere hurtigt og sikkert karakterisere *flow*'et i et blodkar som arterielt eller venøst samt angive *flow*-retningen. Påvisning af manglende *flow* i et blodkar eller i et organ kan ses ved trombose eller infarkt.

Ved undersøgelse for arterielle stenoser kan man ikke klare sig med *B-billedet* alene. En arteriel (og venøs) stenose resulterer i en øget *flow*-hastighed; fænomenet kendes fra en have-slange hvor spidsen komprimeres. Med farve-Doppler kan stedet med højhastigheds-*flow* lokaliseres, og med spektral-analyse kan hastigheden og dermed stenosegraden kvantiteres. Metoden anvendes foruden ved halsskanning, som omtales andetsteds i dette nummer, også til at finde nyrearteriestenoser hos patienter med hypertension. Det kan dog være vanskeligt at få et godt indblik til nyrearterierne på grund af fedme og meteorisme (hos patienten), og de fleste foretrækker stadig at anvende arteriografi hos disse patienter (5).

Undersøgelse for dyb venøs trombose (blodprop/venebe- tændelse) på underekstremiteten blev tidligere gjort med en røntgenkontrastundersøgelse, flebografi. Ultralydskanning

med farve-Doppler giver imidlertid en lige så sikker dia- gnostik både over og under knæniveau og kan tillige hyppigt afsløre årsagen til den venøse trombose, fx forstørrede lymfeknuder i bækkenet/lyskan eller en cyste i knæhasen (6,7).

Lever- og nyretransplantater kan vurderes med Doppler- ultralyd mhp. vævsperfusionen og eventuelle vaskulære komplikationer som arterielle stenoser og venøse tromber (8). Man kan endvidere ud fra spektralanalyse af en nyrearterie få et såkaldt modstandsindeks som knytter sig til den vaskulære modstand (impedansen) i nyren. Et højt mod- standsindeks ses ved organrejektion. Desværre er fundet uspecifikt, og den endelige diagnose bør stilles ved en biopsi fra nyren (9).

Dopplerundersøgelser viser strømningshastigheder (cm/s) og ikke den mere fysiologiske parameter volumen-*flow* (ml/s). Der finder imidlertid Dopplertechnikker hvor en gennemsnit- lig *flow*-hastighed (cm/s) multipliceres med blodkarrets tværsnitsareal (cm²). Dette giver en tilnærmet værdi for volu- men-*flow*. Metoden er behæftet med stor usikkerhed, men den kan dog med fordel anvendes i fysiologiske studier hvor *flow*-ændringer på samme blodkar undersøges (10).

I obstetrikken kan både farve-Doppler og spektralanalyse være til stor hjælp ved prænatal diagnostik af fx hjertemis- dannelser (11). Desuden ses stigende anvendelse af Doppler- undersøgelse af navlesnorsarterierne. Et forhøjet modstands- indeks i navlesnorsarterierne vil vise sig ved en forhøjet vaskulær modstand i placenta. Flere studier har associeret dette fund med hypoxi hos fostret. Hvis dette forekommer i sidste trimester, specielt hos væksthæmmede fostre, vil disse oftest være bedst tjent med at blive forløst med sectio (12).

English summary

Doppler sonography

The conventional *B-mode* ultrasound image shows mor- phologic information about the acoustical properties in the scanning plane, i.e. tumors, fluid collections and stones. Doppler sonography adds physiologic information to this image by demonstrating moving reflectors as red blood cells. Doppler information is presented in different ways: Acoustic signal, spectral analysis and colour flow imaging (including power Doppler). Doppler sonography is a non-invasive pro- cedure and has replaced many invasive x-ray procedures (arteriographies).

There are several indications to Doppler sonography: Pres- ence of flow, type of flow, direction of flow, arterial stenosis, venous thrombosis, complications in renal and liver trans- plants, volume flow determination in physiologic studies, and foetal monitoring.

Litteratur

1. Holm HH, Skjoldbye B. Interventional ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 1996; 22: 773-89.
2. Nolsøe C, Lorentzen T. Farve-Doppler-ultralyd. *Ugeskr Læger* 1991; 153: 3549-53.
3. Foley WD, Erikson SJ. Color Doppler flow imaging. *AJR* 1991; 156: 3-13.
4. Rubin JM, Bude RO, Carson PL, Bree RL, Adler RS. Power Doppler US *Radiology* 1994; 190: 853-6.
5. Desberg AL, Paushter DM, Lammer GK. Renal artery stenosis: evaluation with Doppler flow imaging. *Radiology* 1990; 177: 749-53.
6. Mattos MA, Londrey GL, Leutz DW. Color-flow duplex scanning for the surveillance and diagnosis of acute deep venous thrombosis. *J Vasc Surg* 1992; 15: 366-71.
7. Bradley MJ, Spencer PA, Alexander L. Colour flow mapping in the diagnosis of the calf vein thrombosis. *Clin Radiol* 1993; 47: 399-406.
8. Pozniak MA, Dodd GD, Kelcz F. Ultrasonographic evaluation of renal transplantation. *Radiol Clin North Am* 1992; 30: 449-58.
9. Genkins SM, Sanfilippo FP, Carroll BA. Duplex Doppler sonography of renal transplants: lack of sensitivity and specificity in establishing pathologic diagnosis. *AJR* 1989; 152: 535-42.
10. Olsen O, Lorentzen T, Berlac P. Secretin and portal blood flow. *Scan. J Gastroenterol* 1993; 28: 622-4.
11. Shenker L, Reed KL, Marx GR. Fetal cardiac Doppler flow studies in prenatal diagnosis of heart disease. *Am J Obstet* 1988; 158: 1267-75.
12. Marsal K. Rational use of Doppler ultrasound in perinatal medicine. *J Perinat Med* 1994; 22: 463-74.

Forfatter

Torben Lorentzen, afdelingslæge, ph.d.
Radiologisk afdeling X, Rigshospitalet