

Faris Mujezinović¹

Osnove tridimenzionalnega ultrazvoka v ginekologiji in porodništvu

Principles of Three-dimensional Ultrasound in Gynecology and Obstetrics

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: ultrasonografija – metode

V zadnjih desetih letih je razvoj ultrazvočne diagnostike hiter, posebej na področju tri- in štirikidimenzionalnega ultrazvoka. Namen članka je približati bralcu fizikalne osnove in možnosti uporabe teh tehnologij v ginekologiji in porodništvu. Opisani so načini prikaza informacij (prostornin), ki jih pridobimo s pomočjo tridimenzionalnega ultrazvočnega tipala. Predstavljeni so računalniški programi, ki se nahajajo v tridimenzionalnih ultrazvočnih aparatih in omogočajo merjenje in analizo prostornin. Podani so rezultati kliničnih študij, ki so analizirale različne možnosti uporabe in vrednosti tridimenzionalnega ultrazvoka pri reševanju problemov, s katerimi se srečujemo v ginekologiji in porodništvu.

ABSTRACT

KEY WORDS: ultrasonography – methods

In the past ten years, development of ultrasound diagnostic technology has been very fast, especially in the field of three- and four-dimensional ultrasound. The purpose of this article is to familiarise the reader with the physical background and possible applications of these technologies in gynecology and obstetrics. Different display modes of information (volumes) acquired using a three-dimensional ultrasound probe are described. Software integrated in three-dimensional ultrasound machines, which offer the possibility of measurement and analysis of acquired volumes are presented. The results of clinical studies which evaluated the usefulness of three-dimensional ultrasound at solving different problems in gynecology and obstetrics are also reported.

¹ Asist. mag. Faris Mujezinović, dr. med., Oddelek za ginekologijo in perinatologijo, Splošna bolnišnica Maribor, Ljubljanska 5, 2000 Maribor.

UVOD

Fizikalno delovanje dvodimenzionalnega (2D UZ) in tridimenzionalnega (3D UZ) ultrazvoka je enako. Razlikujeta pa se v nekaterih bistvenih točkah (1). 2D UZ prikaže samo eno raven v opazovanem prostoru. Kateri del strukture bo opažen, je odvisno od položaja tipala in opazovane strukture. Premikanje tipala povzroča spreminjanje ravnine – postopno dobivamo podatke o strukturi, o kateri si ustvarimo prostorski vtis.

3D-prikaz se osredotoča na prostornino v opazovani strukturi in ne na ravnino. Število informacij, pridobljeno na takšen način, je neprimerljivo večje. Informacije lahko računalniško obdelujemo in na številne načine prikazujemo.

Delo s 3D UZ lahko delimo v tri osnovne faze: prostorsko snemanje, večravninska prostorska analiza in tridimenzionalno prostorsko oblikovanje (2, 3).

PROSTORSKO SNEMANJE

Prostorski posnetek dobimo z uporabo računalniške košarice v obliki trapeza (VOL-BOX), ki se pojavi med dvodimenzionalnim ultrazvočnim pregledom. Velikost in mesto posnetka opredelimo s postavitvijo ter spreminjanjem lege in velikosti računalniške košarice. Določimo kot nihanja tipala. Kakovost posnetka je odvisna od hitrosti snemanja in izhodiščne dvodimenzionalne ultrazvočne slike. Snemanje traja 2–10 sekund in je odvisno od izbranih nastavitev in naših zahtev po ločljivosti posnetih presekov. Pri majhni hitrosti tipalo naredi večje število presekov in posname več informacij o opazovanem področju. Majhna hitrost se uporablja pri nepremičnih organih (maternica, jajčniki, mirujoči plod itd.). Večja hitrost snemanja je potrebna pri premikajočih se strukturah. Največje hitrosti pridobivanja podatkov so potrebne pri štirdimenzionalnem ultrazvoku (4D UZ) oz. pri snemanju prostornin v resničnem času (4). Snemanje podatkov omogoča tipalo, ki se s pomočjo motorja premika vzdolžno, nagibno ali rotacijsko (5).

Na razpolago bo kmalu dvodimenzionalno elektronsko (matrično) tipalo (angl. *2D electronic array scanning*). To na svoji površini vsebuje čez tisoč neodvisnih senzorjev in

v procesu pridobivanja podatkov v tridimenzionalnem področju tkiva elektronsko pošilja žarke v vseh smereh (6–8). Raziskovalci ocenjujejo, da bodo zaradi hitrega snemanja takšna tipala vgrajena v prihodnjih štirdimenzionalnih ultrazvočnih aparatih (9–13).

NAČINI PRIKAZOVANJA

Večravninski ali ortogonalni način prikaza podatkov

Pri večravninski prostorski analizi se na zaslonu pokažejo tri ortogonalne ravnine preiskovanega prostorninskega telesa, označene s črkami A, B in C (slika 1). V izhodiščnem položaju je presek A, ki predstavlja raven, vzdolžno s tipalom (dvodimenzionalni ultrazvočni presek), presek B predstavlja raven, pravokotno na daljšo os tipala, in presek C raven, vzporedno s tipalom.

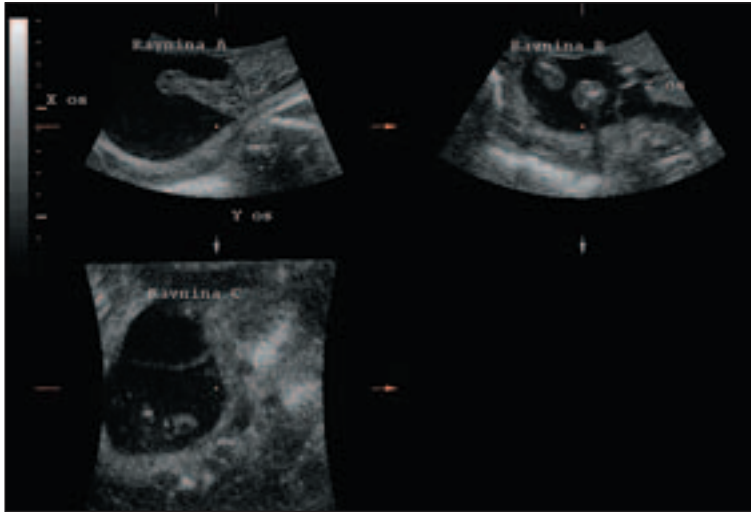
Prostorski posnetek leži v koordinatnem sistemu, ki je sestavljen iz osi x, y in z, ki stojijo pravokotno ena na drugo. Referenčna točka je sečišče teh osi – triosno središče vrtenja. Poljubne izreze iz prostorninskega telesa prikazemo s tremi rotacijami (po oseh x, y in z) in tremi translacijami (vzporednimi premiki po istih oseh) (11, 14, 15).

Prikaz površine (angl. surface rendering)

To je lastnost 3D UZ, ki je najbolj poznana laikom in tudi zdravnikom. Kako, na primer, nastane plastična slika obraza ploda, ki nam ustvaja občutek, kot da bi plod stal pred nami »v živo«?

Pridobimo prostorski posnetek, ki vsebuje del plodovega telesa, ki nas zanima (na primer: plodov obraz ali spolovilo ploda s plodovnico, ki ga obdaja). Zaženemo računalniški program, ki se kaže v obliki »navideznega« pravokotnika (ROI – region of interest) na večravninskem prikazu prostornine. Če, na primer, ta pravokotnik premaknemo tako, da z eno površino leži v področju plodovnice, lahko dobimo prikaz, ki vsebuje informacije pod to površino, npr. plodov obraz ali spolovilo ploda (16).

Pestra izbira nivojev filtriranja lahko izboljša kakovost slike in doživetje prostora (slika 2).



Slika 1. Primer večravninskega prikaza – prikaz nogice ploda v 26. tednu nosečnosti v treh ortogonalnih ravninah.

Prosojni prikaz

S prosojnim prikazom boljše prikažemo nekatere podpovršinske strukture in mehka tkiva, obenem pa so odstranjene strukture trdih tkiv (17).

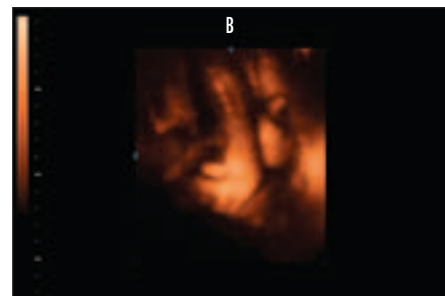
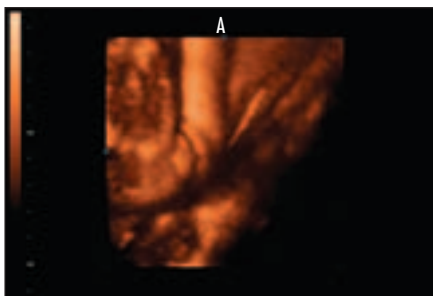
Prikaz trdih struktur

V tem načinu program odstranjuje odmeve mehkih struktur in poudarjeno prikaže močne odmeve. Tako se najboljše prikažejo kosti (15).

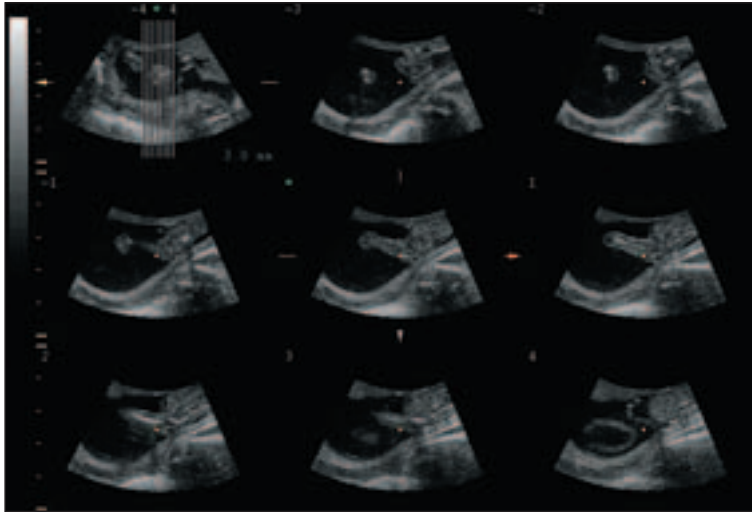
POSEBNE LASTNOSTI TRI- IN ŠTIRIDIMENZIONALNIH ULTRAZVOČNIH APARATOV

Uporaba »Cine-loop« funkcije je nekoliko drugačna pri 3D- kot pri 2D-prikazih. Pri 2D UZ-aparatih s pomočjo te funkcije prikažemo

posnetke nedavno shranjenih slik. Pri 3D-prikazih pa funkcija omogoča, da dejansko doživimo tridimenzionalni vtis opazovane strukture (obraz, nogica, rokica itn.), ki smo jo predstavili v površinskem prikazu. Po predhodnem določanju stopnje sukanja (bodisi po osi x ali y), računalnik prikaže predmet zanimanja (kot je na primer obraz) iz več smeri, enako kot da bi kipec vrteli okoli osi x ali y. Pri vrtenju lahko npr. opazujemo obraz ploda od spredaj, v profilu in od zadaj – kot da bi opazovali masko z notranje strani. Simulacijo lahko shranimo v različnih računalniških formatih, od katerih je najbolj znan AVI-format, ker si v tem formatu lahko simulacijo ogledamo kot kratek film na vsakem računalniku, ki ima nameščeno Windows okolje. V klinični praksi opažamo, da nosečnice želijo imeti takšne posnetke na USB-ključih, da si jih ogledujejo še doma, skupaj s svojci.



Slika 2. Primer površinskega prikaza: A – žensko spolovilo ploda v 30. tednu nosečnosti; B – moško spolovilo ploda v 32. tednu nosečnosti.



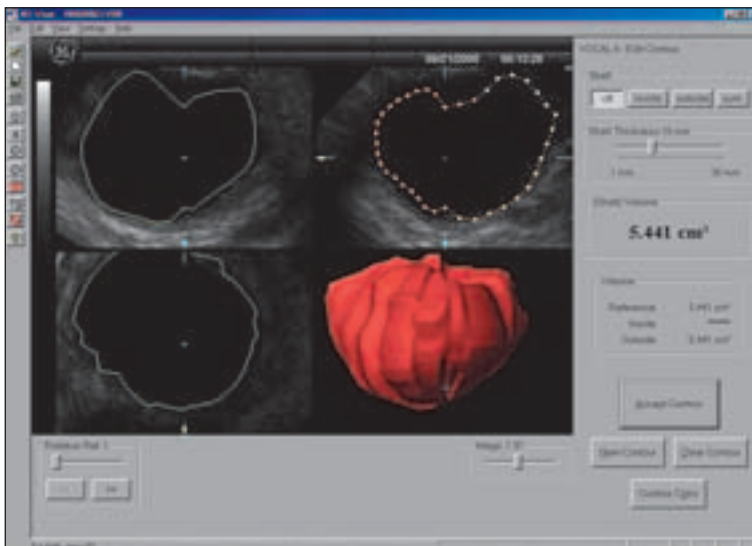
Slika 3. Istočasni prikaz več ravnin pri paralelnem pomiku po isti osi – razdalja med ravninami je 3 mm. Nogica ploda v 26. tednu nosečnosti.

Ko posnamemo prostorsko telo, se pogosto dogaja, da se v njem nahajajo tudi okolne strukture, skupaj s predmetom, ki nas zanima. Ko želimo, na primer, prikazati obraz ploda, je na sliki lahko prisoten še del placente ali popkovnice, ki se nahaja v bližini. To preprečuje neizkušeni osebi, kot je nosečnica, da razpozna strukturo na sliki. Rešitev nam omogočajo grafični urejevalni progra-

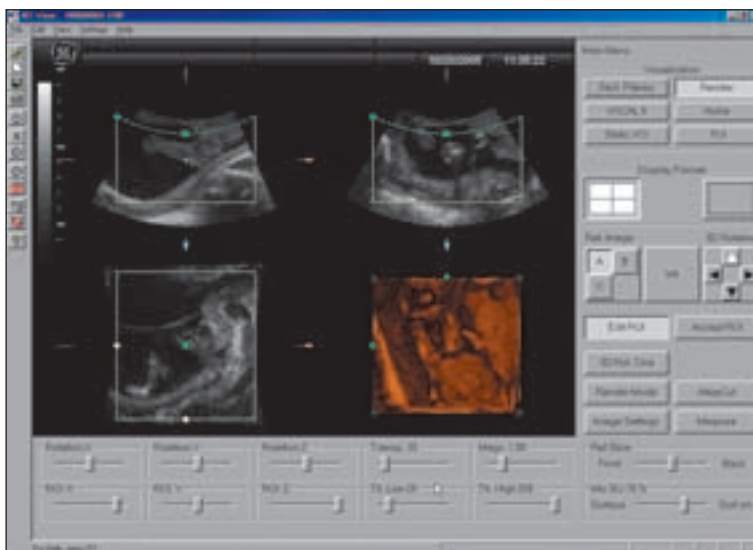
mi, kot so električni skalpel in brisalec na 3D UZ-aparatih, s katerimi lahko odstranimo moteče dele na sliki. Rezultat je boljša razpoznavnost objekta zanimanja.

V novejšem času se pojavljajo vedno novi načini prikaza, kot je obrnjen prikaz (angl. *inversion mode*), ki prikaže votle dele kompleksnih struktur kot trdne, trdne pa kot votle. S tehnologijami in prikazi, kot so istočasni prikaz

274



Slika 4. Prikaz merjenja prostornine ciste na jajčniku.



Slika 5. Delovno okolje računalniškega programa 4D VIEW na osebnem računalniku.

vzporednih ravnin ali prikaz nepravilnih površin, poskušajo proizvajalci 3D UZ-aparatur povečati uporabnost 3D UZ (slika 3).

3D-aparati imajo računalniške programe, ki omogočajo merjenje prostornin. Prostornino, ki jo želimo izmeriti, občrtamo na več 2D-slikah, program pa izračuna prostornino in lahko naredi grafični prikaz prostornine občrtanega telesa (slika 4). Zaradi te možnosti se je razvil tudi pojem – volumetrija. Predstavlja korak naprej pri zanesljivem opisu prostorninskega telesa.

V kombinaciji z uporabo tridimenzionalnega power doplerja v primerih, ko gledamo žile, omogoča tudi izračun različnih prostorskih kazalcev (16, 18–31).

Ko je prostorski posnetek shranjen, ga lahko s pomočjo posebnih računalniških programov obdelujemo na glavni delovni plošči ultrazvočnih aparatov, kot tudi na osebem računalniku. Takšen program je 3D VIEW SONO in 4D VIEW (slika 5).

ŠTIRIDIMENZIONALNI ULTRAZVOK

Pri 3D UZ tipalo posname samo eno prostornino, ki se potem na različne načine prikaže in analizira. Pri 4D UZ se vedno znova snemajo prostornine, tako da lahko objekt preiskave opazujemo v resničnem času.

Pregled se začne s standardnim 2D UZ. Uporabnik postavi računalniško košarico preko strukture, ki bo posneta, in potem začne snemati (32). Preiskovalec mirno drži tipalo. Transabdominalni ali transvaginalni senzor avtomatično izvaja nepretrgano in ponavljajoče prostorsko snemanje s hitrim premikanjem ultrazvočnega senzorja v ohišju tipala. Sprva se na prikazovalniku prikaže dvodimenzionalna slika, zraven nje pa stalno obnavljana 3D-slika v skoraj resničnem času.

Nekateri tri- oz. štiridimenzionalni ultrazvočni stroji imajo hitrost snemanja 4 prostornine na sekundo. Pri tej hitrosti je gibanje slike nekoliko pretrgano. Drugi zajemajo hitrost 16 prostornin na sekundo, kar omogoča nekoliko bolj tekoče prehode med gibanjem slike. V najbolj sodobnih aparatih se hitrost zajemanja prostornin povzpne celo na 40 prostornin/s ali več.

UPORABA 3D UZ V GINEKOLOGIJI IN PORODNIŠTVU

Prirojene nepravilnosti maternice

Yaman in sodelavci so ocenjevali natančnost izračuna prostornine maternice s 3D transvaginalnim UZ v primerjavi z 2D UZ pri

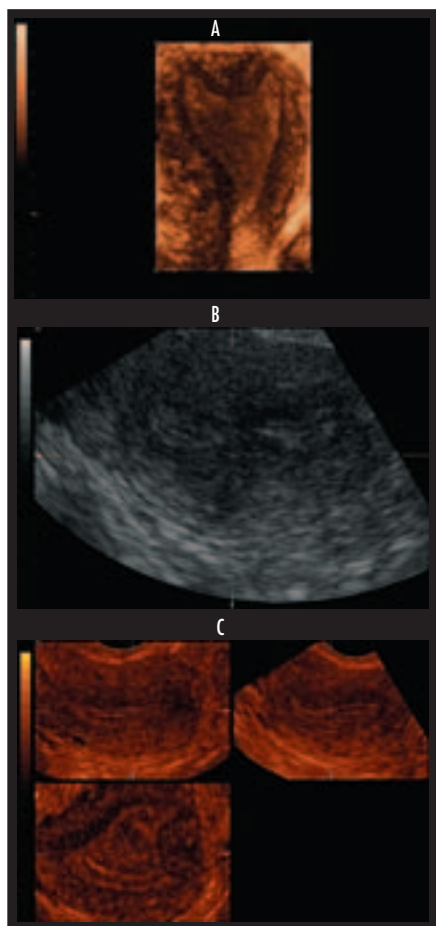
bolnicah, ki so se zaradi različnih bolezni pripravljale na odstranitev maternice. Pri 3D UZ je bil uporabljen program za merjenje prostornin. Prostornine maternice, ocenjene s 3D UZ-metodo, se niso značilno razlikovale ($p = 0,126$ – prva meritev, $p = 0,561$ – druga meritev), medtem ko so se prostornine, ocenjene z dvodimenzionalno ultrazvočno tehniko, statistično značilno razlikovale ($p = 0,005$ – prva meritev, $p = 0,012$ – druga meritev). Povprečna stopnja napake med dvema meritvama pri 3D UZ je pri enem ocenjevalcu znašala 7,4 % in 7,9 %, pri meritvah z 2D UZ pa 22,2 % in 21,0 %. Sklepali so, da je ocena prostornine maternice natančnejša pri 3D UZ kot pri 2D UZ (34). Če bo merjenje prostornine votline in sluznice maternice enako zanesljivo in ponovljivo, se poraja vprašanje, ali bo volumetrija teh delov maternice ponudila novi diagnostični postopek, ki bi bolj natančno napovedoval, katere ženske z manjšimi prirojenimi nepravilnosti maternice bi lahko imele težave v nosečnosti.

Raga F. in sodelavci so proučevali natančnost 3D UZ v diagnostiki prirojene nepravilnosti (35). Tridimenzionalne slike dobre kakovosti so pridobili pri 95 % preiskovank. Prisotnost prirojene nepravilnosti je bila pravilno diagnosticirana v vseh primerih. Z uporabo 3D UZ ni bilo lažno pozitivnih in lažno negativnih diagnoz (slika 6). S tem so pokazali, da ima 3D UZ prednosti v diagnostiki omenjenih nepravilnosti v primerjavi z 2D UZ, pri katerem je tudi mogoče ugotoviti vse prirojene nepravilnosti maternice, vendar je pri dvodimenzionalni tehniki prisoten visok odstotek lažno pozitivnih rezultatov (12–25 %).

Na 3D UZ prikazu maternice, kot je na sliki 6a, je mogoče v milimetrih opredeliti stopnjo ubočenja svoda maternice ali dolžino septuma, kar je do sedaj bilo otežkočeno s histerosaplingografijo ali endoskopskimi metodami.

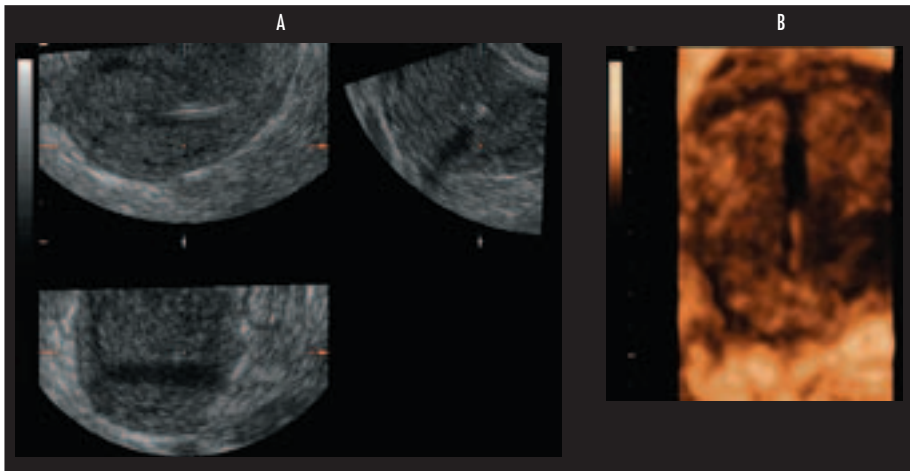
Določanje modela in kontrola položaja znotrajmaterničnega vložka (IUD)

Znotrajmaternični vložek je mogoče prikazati z 2D in 3D UZ. Bonilla-Musoles in sodelavci so ocenjevali prednosti 3D UZ pri določanju modela znotrajmaterničnega vložka in njegovega položaja (36, 37). S 3D UZ je bilo



Slika 6. Primer *uterusa arcuatusa*. A – Tridimenzionalni ultrazvočni prikaz votline maternice – *uterus arcuatus* – površinski prikaz. B – Dvodimenzionalni ultrazvočni prikaz svoda maternice – prikaz kratke osi maternice. C – Večravninski prikaz maternice (raven C – levo spodaj) – ni mogoče dobiti z 2D UZ – predstavlja neposredni prikaz oblike votline maternice. Možna je meritev stopnje vbočenja svoda maternice. (Normalna votlina maternice je kapljčaste oblike.)

mogoče točno določiti model pri vseh preiskovankah, občutljivost je bila kar 100 %. Napaka v diagnostiki z 2D UZ je znašala 20,6 %. 3D UZ je imel 100 % specifičnost in 100 % občutljivost. Samo s 3D UZ je bilo mogoče diagnosticirati vraščen znotrajmaternični vložek. Specifičnost 2D transvaginalnega UZ je znašala 69,6 %. V prepoznavanju T-modela pa je bila občutljivost 38,9 % in specifičnost 52,8 %. V odkrivanju sprememb položaja je specifičnost znašala 89,5 %, občutljivost pa 100 %.



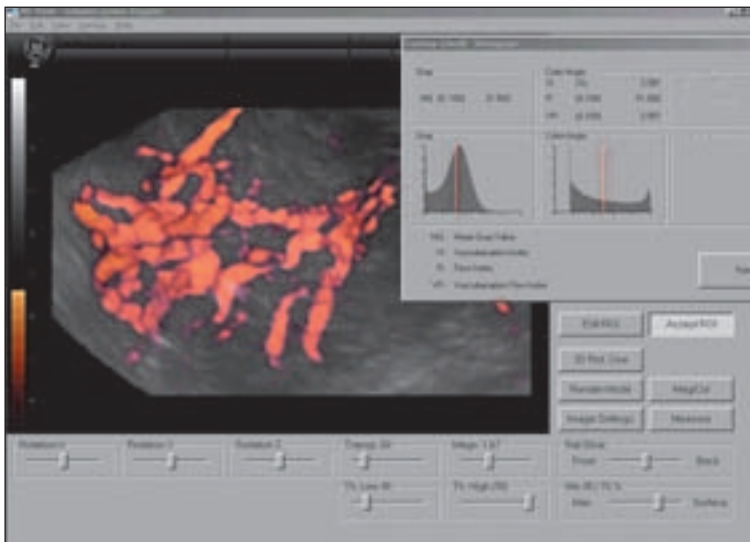
Slika 7. Prikaz znotrajmaterničnega vložka z levonorgestrelom. A – Večravninski prikaz znotrajmaterničnega vložka. B – Tridimenzionalni ultrazvočni prosjoni prikaz znotrajmaterničnega vložka.

Hosli in sodelavci so ugotovili, da je prikaz položaja znotrajmaterničnega vložka z levonorgestrelom bistveno boljši s 3D UZ (slika 7) (38).

Ginekološka onkologija

Gruboeck in sodelavci so ugotovili, da občutljivost izmerjene prostornine endometrija, večje od 13 ml, za rak maternične sluznice znaša 100 %, pozitivna napovedna vrednost pa

91,7%. Občutljivost meritve debeline maternične sluznice, ki meri več kot 15 mm, znaša 83 %, pozitivna napovedna vrednost pa 54,5 % (39). Yaman je pokazal, da so razlike med ocenjevalci v meritvah prostornine oz. debelosti endometrija s tridimenzionalno oz. dvodimenzionalno ultrazvočno preiskavo zadovoljive (povprečna stopnja ujemanja vrednosti pri ponovnih meritvah istega preiskovalca za tridimenzionalno je bila 0,98, za dvodimenzionalno



Slika 8. Primer izračuna kazalcev pretoka tridimenzionalnega power doplerja pri raku jajčnikov. VI – kazalec ožiljenosti, FI – kazalec pretoka, VFI – kazalec vaskularizacije in pretoka.

ultrazvočno preiskavo pa 0,79, povprečna stopnja ujemanja vrednosti meritev več preiskovalcev za tridimenzionalno je znašala 0,95, za dvodimenzionalno ultrazvočno preiskavo pa 0,76), vendar je tridimenzionalna ultrazvočna preiskava zanesljivejša (40).

Že v 70. letih prejšnjega stoletja je Judah Folkman postavil hipotezo, da je za rast tumorjev nujna tvorba novega žilja (41–43). Dosti raziskovalcev je bilo mnenja, da bi power Dopplerjeva metoda lahko bila tista, ki bi omogočila ultrazvočno razlikovanje benignih in malignih tumorjev materničnega vratu, telesa maternice in jajčnikov (slika 8).

S tridimenzionalnim energijskim (angl. power) doplerjem lahko opazujemo žile in pretoke v posneti prostornini. Na voljo so nam tudi kvantitativni kazalci, kot so:

- Kazalec ožiljenosti (VI) – razmerje med številom obarvanih prostorskih točk (vokselov) in celotnega števila prostorskih točk v telesu, ki se opazuje.
- Kazalec pretoka (FI) – razmerje vsote barvnih intenzitet točk in števila barvnih prostorskih točk znotraj telesa, ki se opazuje.
- Kazalec vaskularizacije in pretoka (VFI) – razmerje vsote barvne intenzitete in celotnega števila prostorskih točk v telesu, ki se opazuje.

Vlogo ocenjevanja prostornine in tridimenzionalnega energijskega doplerja pri spremljanju odgovora na zdravljenje pri ginekoloških organih je raziskoval Yaman s sodelavci (47). Pri enem primeru karcinoma materničnega vratu in enem primeru raka jajčnikov s primarno

radio- in/ali kemoterapijo so ugotovili, da je prišlo do zniževanja vrednosti VI, FI ter VFI v obeh primerih. Sklepali so, da bi 3D UZ lahko predstavljal novo metodo za oceno odgovora na zdravljenje pri ginekoloških malignomih.

Nekateri strokovnjaki se nagibajo k temu, da bi 3D UZ in tridimenzionalni energijski dopler uvedli kot del presejalnega testa za rak jajčnikov – občutljivost takšnega presejalnega testa bi znašala 100 %, specifičnost 99,4 %, pozitivna napovedna vrednost 20 % in negativna napovedna vrednost 100 % (26).

Porodništvo

3D UZ omogoča boljši anatomski prikaz celotnega zarodka in posameznih struktur že od petega tedna nosečnosti. S površinskim prikazom lahko prikažemo plod kot tridimenzionalno telo v navideznem prostoru (slika 9). Pregled posnete prostornine omogoča sistematično oceno anatomske strukture in zgodnje odkrivanje nepravilnosti ploda. Zaradi tega se v literaturi pojavlja nov pojem – tridimenzionalna sonoembriologija (16, 25).

S pomočjo tridimenzionalnega energijskega doplerja so Kurak in sodelavci ugotovili, da med eksponentnim porastom prostornine zarodkov ne prihaja do sprememb vrednosti VI in VFI. Glede na to, da omenjeni kazalci predstavljajo odnose med žilnimi strukturami oz. pretoki skozi njih in drugimi tkivi, bi ta ugotovitev lahko pomenila, da obseg rasti žil zarodka sorazmerno spremlja hitro rast ostalih tkiv zarodka oz. da obstaja homeostatično stanje med zahtevami tkiva in oskrbo s krvjo preko žilne mreže (28).

3D UZ omogoča zelo natančno in ponovljivo meritev prostornin, ki bi lahko predstavljala bolj celovito informacijo kot meritve v dvodimenzionalnih ravninah. Vrednost te lastnosti potrjuje tudi veliko število študij, ki so usmerjene na raziskovanje razmerij posameznih struktur organov in struktur normalnih plodov, in njihova uporaba pri bolezenskih stanjih (48–54). Falcon in sodelavci so ugotovili, da se prostornina glave in trupa ploda povečujeta linearno z nosečnostjo s 5,8 ml v 11. tednu na 33,3 ml v 13 + 6 tednov s SD od 4,4 ml. Prisotna je tudi linearna povezava med plodovo prostornino in dolžino teme-trtica (TT) od povprečja 5,1 ml pri TT 45 mm do 37,5 ml pri TT 84 mm pri SD od 2,7 ml.



Slika 9. Primer tridimenzionalno oblikovanega prikaza ploda v 12. tednu nosečnosti.



Slika 10. Prikaz tridimenzionalno oblikovanega obraza ploda v 32. tednu nosečnosti.

Podvajanje TT je povezano s 5–6-kratnim povečevanjem prostornine ploda. Povprečna razlika med meritvami enega preiskovalca je znašala 0,87 ml, povprečna razlika med meritvami prostornine med dvema preiskovalcema pa 1,09 ml (48).

Meritev prostornine nosečnostne vrečke se ni pokazala kot učinkovita metoda za ugotavljanje večjih kromosomskih nepravilnosti pri plodu (51).

Razdalja teme-trtica (TT) v skupini plodov s trisomijo 21 in Turnerjevimi sindromom ni statistično značilno odstopala od TT kromosomsko normalnih plodov ($p = 0,335$ in $p = 0,317$), prostornina plodovega trupa in prostornina glave sta bili za 10–15 % nižji ($p < 0,001$ in $p = 0,004$). Pri plodovih s trisomijo 18, trisomijo 13 in Turnerjevimi sindromom je primanjkljaj v prostornini znašal okoli 45 % ($p < 0,001$), medtem ko je bila razlika v TT manjša od 15 % ($p < 0,001$). Avtorji so sklepali, da bi bila za oceno stopnje zgodnje motene rasti pri kromosomsko okvarjenih plodovih mogoče boljše meritev prostornine plodovega trupa in glave kot pa meritev TT (49).

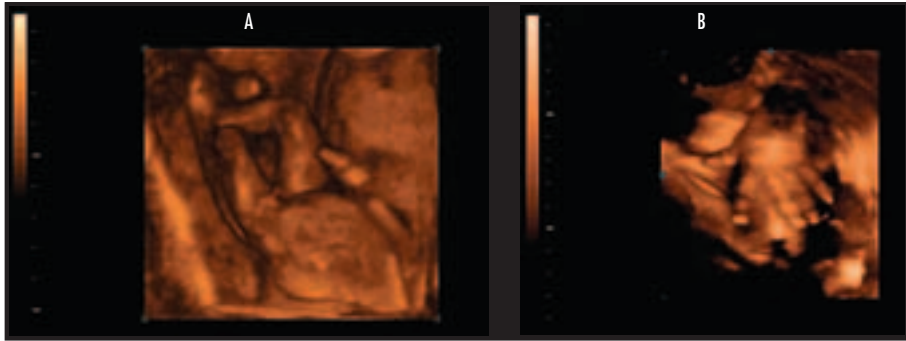
Tridimenzionalno ultrazvočno površinsko oblikovanje in fotografijam podobne podobe obraza predstavljajo področje 3D UZ, ki je najbolj odmevno v laični literaturi že od začetkov množičnejše uporabe te metode (slika 10).

Merz in sodelavci so poročali, da je pri ugotavljanju nepravilnosti obraza in ustnic tridimenzionalna metoda uspešnejša od 2D UZ (8). Campbell in sodelavci so poročali o svojih izkušnjah z novo tridimenzionalno ultrazvočno tehniko, imenovano obratni prikaz (angl. *reverse face view – 3D RF view*) (55). V 8 primerih suma za obrazni razcep so plo-

dove ustnice in alveolarni greben ocenjevali v frontalni ravni. Za oceno sekundarnega trdega neba obraz zavrtijo s 3D RF-prikazom za 180 stopinj okoli navpične osi (y-os). V vseh primerih so bili zmožni prikazati plodov obraz, ustnice in trdo nebo ter odpraviti dvom o nezrasklosti sekundarnega trdega neba. V enem primeru levostranskega razcepa ustnic, alveolarnega mostu in neprizadetega trdega neba je bila postavljena pravilna diagnoza, vendar je bil spregledan razcep mehkega neba. Avtorji so bili mnenja, da glede na dejstvo, da doseданje ultrazvočne ocene plodovega trdega neba niso bile dovolj zanesljive, 3D RF-metoda omogoča hitro oceno plodovega trdega neba z visoko mero natančnosti (55).

Merz in sodelavci so v treh letih in pol pregledali 3472 nosečnic in pri 906 ugotovili anatomske nepravilnosti ploda. V primerjavi z dvodimenzionalno tehniko se je tridimenzionalna UZ izkazal za uspešnejšo metodo pri 60,8 % nepravilnosti. Prednosti so se pokazale pri natančni tomografski oceni z uporabo večravninskega prikaza v 69,9 % primerov, bolj natančnem prikazu okvar v površinskem prikazu v 25,2 %, zaradi natančne opredelitve v prosojnem prikazu pa v 3,9 %. Iz natančnega prikaza v sestavljenem prosojnem in barvnem prikazu pa so se prednosti pokazale v 1,0 %. Samo na osnovi 3D UZ je bilo odkritih 4,2 % nepravilnosti ploda. Tridimenzionalna metoda ponuja tudi prepričljivejše dokaze o normalnosti ploda v primerih povečanega tveganja, da gre za okvaro na površini telesa, kot doseđanji dvodimenzionalni ehogrami (8).

Ruano in sodelavci so ocenjevali vlogo tridimenzionalnega energijskega doplerja za znotrajmaternično diagnostiko pljučne sekvestracije. To metodo so uporabljali za oceno nepravilne žilne oskrbe pri 8 plodovih s hiperhogenimi pljučnimi spremembami. Pri treh primerih pljučne sekvestracije so prepoznali patološko žilno rast, medtem ko le-ta ni bila prisotna pri dveh primerih mikrocistične adenomatoidne razvojne nepravilnosti in pri enem primeru mešane adenomatoidne prirojene razvojne nepravilnosti (56). Isti avtor je ocenjeval tudi vlogo 3D UZ pri diagnozi kostnih displazij. S tridimenzionalno metodo je ugotovil značilno več nepravilnosti kot z 2D UZ (3D UZ 77,1 %, 2D UZ pa 51,4 %, $p < 0,01$) (57). Številni drugi avtorji poročajo



Slika 11. A – Prikaz tridimenzionalnega oblikovanja spodnjih okončin ploda v 26. tednu nosečnosti. B – Prikaz rokice ploda v 26. tednu nosečnosti.

o prednosti tridimenzionalne pred dvodimenzionalno preiskavo za oceno nepravilnosti okončin, in to celo v zgodnjih obdobjih nosečnosti (slika 11) (58).

PROSTORSKO ČASOVNA SOODVISNOST PRIKAZA (STIC – SPATIAL TEMPORAL IMAGE CORRELATION)

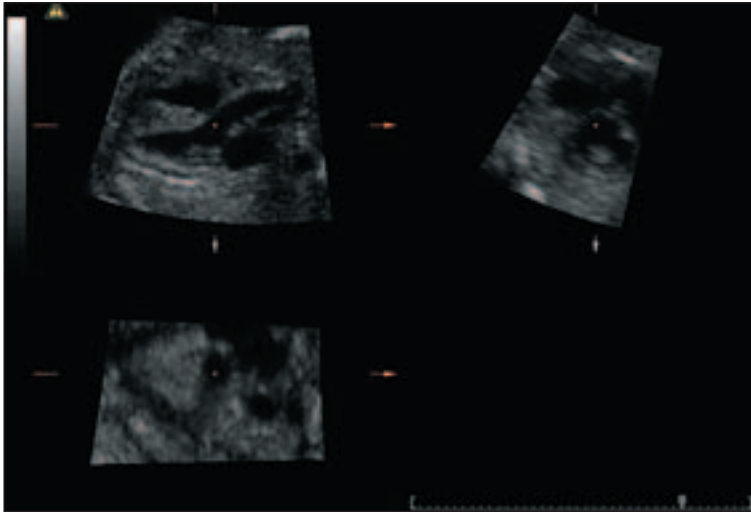
Eden od največjih neuspehov predrojstvenega presejanja za prirojene bolezni je odkrivanje prirojene bolezni srca. Študija RADIUS je ugotovila, da z ultrazvočno preiskavo v terciarnih centrih ugotovimo 22,7% okvar plodovega srca (59). Slabost štirivotlinskega prikaza je, da ni mogoče ocenjevati iztočnih traktov srca, s tem pa se povečuje možnost spregleda okvar, kot so: tetralogija Fallot, blaga ali srednja aortna ali pljučna zožitev in transpozicija velikih žil. V svoji raziskavi je Stoll ugotovil, da je odkritih samo 13,7% osamljenih srčnih okvar pri presejanju v drugem trimesečju pri več kot 92.000 nosečnicah (60). Do sedaj se 3D UZ ni pokazal kot najboljša možna metoda za oceno okvar srca zaradi slabe ločljivosti slike in razmeroma počasnega pridobivanja podatkov v primerjavi s hitrostjo utripanja srca. V zadnjem času se je v literaturi pojavilo dosti študij, ki obravnavajo vlogo novega računalniškega algoritma z okrajšavo, imenovanega STIC, ki bi lahko močno spremenil ugotavljanje srčnih napak. Predstavlja novo metodo za klinično oceno plodovega srca.

Prednost STIC-a je, da znižuje odvisnost uspešnosti preiskave srčno-žilne anatomije od izkušnje preiskovalca.

S STIC-metodo avtomatično pridobivamo podatke o opazovani strukturi, tako da se tipalo premika preko določenega področja samo enkrat zelo počasi. Pridobljena prostornina je sestavljena iz ogromnega števila dvodimenzionalnih slik, ki ležijo ena preko druge. Pri tem se posname 150 slik na sekundo – če gibanje ultrazvočnega tipala traja 10 sekund pod kotom 25 stopinj, to pomeni, da prostornino sestavlja okoli 1500 slik. V tem času srce utripne od 20- do 25-krat. STIC analizira ritmične gibe in izračuna frekvenco utripanja srca. STIC zaznava majhne spremembe v srčni frekvenci od utripanja do utripanja z variabilnostjo ± 10 utripov. Sledi preureditev shranjenih dvodimenzionalnih slik, tako da so samo slike iz istega trenutka v srčnem ciklu združene v eno prostornino. Če nastanejo bolj izrazite spremembe ritma utripanja, se lahko pojavijo artefakti zaradi napak v izračunu povprečne srčne frekvence (61, 62). V praksi je malo verjetno, da bodo takšne spremembe nastale v času premikanja UZ-tipala, ki traja 7,5–15 sekund. Če se to zgodi, se proces lahko ponovi.

Srčna prostornina je prikazana kot en srčni cikel v resničnem času. Film se lahko upočasni ali ustavi za analizo posameznih faz srčnega cikla. Glede na to, da gre pri STIC-u za prostorski posnetek, je možno spreminjati ravnine opazovanja. Prikažemo lahko štiri votline, dolge in kratke srčne osi v obliki mirujoče slike ali kot film skozi en srčni cikel v več ali enoravninskem prikazu.

Na kakovost slike vplivajo gibi ploda. V teh primerih je v večini primerov uporabna izvorna ravnina A, ravnini B in C večravninskega prikaza pa predstavljata računalniško izra-



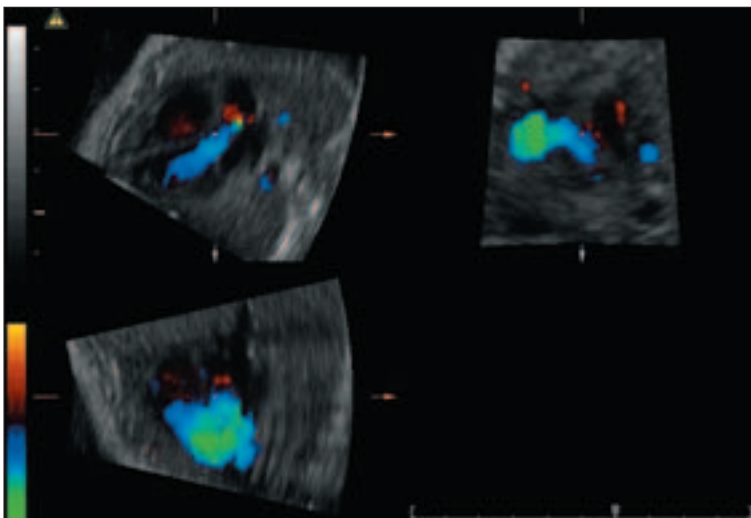
Slika 12. Prikaz levega iztočnega trakta srca z metodo STIC v 28. tednu nosečnosti.

čunano konstrukcijo. STIC-tehnologija se lahko uporablja za prikaz srca od 13. do 40. tedna nosečnosti (slika 12).

Prednosti STIC-a

- Izboljšana časovna ločljivost zaradi velikega števila shranjenih dvodimenzionalnih slik.
- Bolj sistematična ocena prikaza štirih votlin – lahko ocenjujemo od spodnjih do zgornjih delov štirivotlnskega prikaza –

verjetnost, da spregledamo okvare pregrad prekatov in preddvorov, ki so lahko na različnih višinah, je bistveno manjša, kot če bi opazovali samo en štirivotlnski prikaz. Srce lahko prikažemo v ravninah, ki so del standardnega neonatološkega ultrazvočnega pregleda srca, kar bi lahko imelo velike koristi za pediatrične kardiologe. Tridimenzionalno oblikovanje štirivotlnskega prikaza pa nam podaja še vtis globine in medsebojnih tridimenzionalnih odnosov opazovanih struktur.



Slika 13. Prikaz štirih votlin srca v 28. tednu nosečnosti – barvna STIC-metoda.

- Boljši prikaz iztočnih traktov, ki se včasih zelo težko prikažejo zaradi položaja ali gibanja ploda. STIC-tehnologija omogoča prikaz iztočnih traktov na zelo enostaven način.
- Hitrejša ocena kompleksnih srčnih okvar.
- Do sedaj smo pri posvetovanju s fetalnim kardiologom imeli na voljo samo slike in posnetke na videokasetah. STIC omogoča, da svetovalec učinkovito »pregleda« plodovo srce, ne da bi bil bolnik prisoten. Metoda odpira nove načine posvetovanja in izboljšanje klinične diagnoze.

S pojavom barvnega STIC-a (kombinacija STIC-a in doplerja) so se diagnostične zmožnosti še povečale (slika 13).

Pomanjkljivosti STIC-a

- STIC je dosegljiv samo na določenih modelih posameznih proizvajalcev 3D UZ-aparatur.
- Takšni UZ-aparati so zelo dragi.
- Plod mora v času snemanja mirovati.
- Kakovost STIC-prikaza je vedno odvisna od kakovosti začetnega 2D UZ-prikaza srca.

OMEJITVE 3D UZ

Kljub navedenim prednostim ima tridimenzionalna ultrazvočna preiskava tudi določene omejitve. Tridimenzionalna preiskava samo dopolnjuje klasično dvodimenzionalno. O tem so poročali tudi slovenski avtorji v prejšnjih letih (63, 64). Kakovost slike ni enaka kot pri dvodimenzionalnih ultrazvočnih slikah in je neposredno odvisna od 2D UZ-slike. Pri večravninskih prikazih so slike različne kakovosti – najboljša v ravnini zajemanja, srednja v ravnini B in najslabša v ravnini, ki je vzporedna s površino tipala. Zelo pomembno je, da posnamemo prostorninsko telo v ustrezni ravnini, kjer potrebujemo najboljšo ločljivost slike.

Čudovite tridimenzionalno oblikovane slike obraza ploda ne moremo pridobiti pri vseh nosečnicah. Uspeh je odvisen od nosečnosti, starosti in količine plodovnice v okolici, ki nas zanima. Najboljše tridimenzionalne slike dobimo od 10. do 12. tedna s pristopom skozi

nožnico, med 24. do 30. tednom pa s tipalom preko trebuha. Če je glavica globoko v medenici ali če je čisto ob steni maternice ali posteljice, potem ustrezne tridimenzionalno oblikovane slike obraza ne moremo prikazati. Težave se pokažejo tudi pri pomanjkanju plodovnice – oligohidramniju. Posebna ovira je še vedno cena tridimenzionalnih ultrazvočnih aparatov. Učenje 3D UZ zahteva od preiskovalca tudi dodaten čas in drugačen način razmišljanja.

STANJE V SLOVENIJI NA PODROČJU 3D UZ

Kljub visoki ceni tridimenzionalnih ultrazvočnih aparatov se vse več centrov začenja ukvarjati s to obliko diagnostike. Eden od prvih 3D-ultrazvočnih aparatov se je pojavil v Mariboru. Prve korake na področju tridimenzionalne ultrazvočne diagnostike v ginekologiji in porodništvu je naredil primarij Japelj, ki je skupaj z drugimi preiskovalci objavil tudi več prispevkov na to temo (63, 64). Simpozij o tridimenzionalni ultrazvočni preiskavi je bil v Mariboru 3. oktobra 2003 ob življenjskem jubileju prim. Igorja Japlja, dr. med.

ZAKLJUČEK

Čas 3D UZ šele prihaja. Pogostejša in bolj razširjena uporaba tridimenzionalne preiskave bo nastopila, ko se bo cena tridimenzionalnih ultrazvočnih aparatov primerno znižala, ko se bodo postavili standardi za njeno uporabo v redni klinični praksi in ko bo s 3D UZ več izkušenj.

3D UZ je kombinacija ultrazvočne in računalniške tehnologije. Skoraj vsak mesec prihajajo nove oblike prikazov ali novi načini analiz pridobljenih podatkov z ultrazvočnim tipalom. To seveda ne pomeni, da je vsak od teh pristopov boljši od dosedanjih. Pomeni pa, da se bo po določenem času in številu odkritih metod pojavila tista, ki bo res predstavljala občuten pomik naprej v ultrazvočni diagnostiki.

Avtor izjavlja, da so vse slike, objavljene v članku, originalne in rezultat njegovega dela.

LITERATURA

1. Nelson TR, Pretorius DH. Three-dimensional ultrasound imaging. *Ultrasound Med Biol* 1998; 24: 1243–70.
2. Merz E, Bahlmann F, Weber G, Macchiella D. Three-dimensional ultrasonography in prenatal diagnosis. *J Perinat Med* 1995; 23: 213–22.
3. Merz E, Bahlmann F, Weber G. Volume scanning in the evaluation of fetal malformations: a new dimension in prenatal diagnosis. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995; 5: 222–7.

4. Tetičkovič E. Tridimenzionalna ultrasonografija v klinični nevrologiji. *Zdrav vestn* 2003; 72: 5-7.
5. Timor-Tritsch IE, Monteagudo A, Mayberry P. Three-dimensional ultrasound evaluation of the fetal brain: the three horn view. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 302-6.
6. Jurkovic D, Geipel A, Gruboeck K, Jauniaux E, Natucci M, Campbell S. Three-dimensional ultrasound for the assessment of uterine anatomy and detection of congenital anomalies: a comparison with hysterosalpingography and two-dimensional sonography. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1995; 5: 233-7.
7. Jurkovic D. Three-dimensional ultrasound in gynecology: a critical evaluation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 19: 109-17.
8. Merz E, Welter C. 2D and 3D Ultrasound in the evaluation of normal and abnormal fetal anatomy in the second and third trimesters in a level III center. *Ultraschall Med* 2005; 26: 9-16.
9. Deng J, Yates R, Sullivan ID, et al. Dynamic three-dimensional color Doppler ultrasound of human fetal intracardiac flow. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 20: 131-6.
10. Kelly IM, Gardener JE, Brett AD, et al. Three-dimensional US of the fetus. *Work in progress. Radiology* 1994; 192: 253-9.
11. Kelly IM, Gardener JE, Lees WR. Three-dimensional fetal ultrasound. *Lancet* 1992; 339: 1062-4.
12. Lees W. Ultrasound imaging in three and four dimensions. *Semin Ultrasound CT MR* 2001; 22: 85-105.
13. Lees WA. 3-D ultrasound images optimize fetal review. *Diagn Imaging (San Franc)* 1992; 14: 69-73, 128.
14. Baba K, Satoh K, Sakamoto S, et al. Development of an ultrasonic system for three-dimensional reconstruction of the fetus. *J Perinat Med* 1989; 17: 19-24.
15. Timor-Tritsch IE, Platt LD. Three-dimensional ultrasound experience in obstetrics. *Curr Opin Obstet Gynecol* 2002; 14: 569-75.
16. Benoit B, Hafner T, Kurjak A, et al. Three-dimensional sonoembryology. *J Perinat Med* 2002; 30: 63-73.
17. Campbell S. The potential diagnostic capabilities of three-dimensional surface rendering. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1999; 14: 148.
18. Hafner T, Kurjak A, Funduk-Kurjak B, Bekavac I. Assessment of early chorionic circulation by three-dimensional power Doppler. *J Perinat Med* 2002; 30: 33-9.
19. Kupesic S, Kurjak A, Bjelos D, et al. Three-dimensional ultrasonographic ovarian measurements and in vitro fertilization outcome are related to age. *Fertil Steril* 2003; 79: 190-7.
20. Kupesic S, Kurjak A. Predictors of IVF outcome by three-dimensional ultrasound. *Hum Reprod* 2002; 17: 950-5.
21. Kupesic S, Kurjak A. Volume and vascularity of the yolk sac assessed by three-dimensional and power doppler ultrasound. *Early Pregnancy* 2001; 5: 40-1.
22. Kupesic S, Bekavac I, Bjelos D, et al. Assessment of endometrial receptivity by transvaginal color Doppler and three-dimensional power Doppler ultrasonography in patients undergoing in vitro fertilization procedures. *J Ultrasound Med* 2001; 20: 125-34.
23. Kupesic S, Kurjak A. Contrast-enhanced, three-dimensional power Doppler sonography for differentiation of adnexal masses. *Obstet Gynecol* 2000; 96: 452-8.
24. Kupesic S, Kurjak A, Ivancic-Kosuta M. Volume and vascularity of the yolk sac studied by three-dimensional ultrasound and color Doppler. *J Perinat Med* 1999; 27: 91-6.
25. Kurjak A, Pooh RK, Merce LT, et al. Structural and functional early human development assessed by three-dimensional and four-dimensional sonography. *Fertil Steril* 2005; 84: 1285-99.
26. Kurjak A, Prka M, Arenas JM, et al. Three-dimensional ultrasonography and power Doppler in ovarian cancer screening of asymptomatic peri- and postmenopausal women. *Croat Med J* 2005; 46: 757-64.
27. Kurjak A, Kupesic S, Kos M. Three-dimensional sonography for assessment of morphology and vascularization of the fetus and placenta. *J Soc Gynecol Investig* 2002; 9: 186-202.
28. Kurjak A, Hafner T, Kupesic S, et al. Three-dimensional power Doppler in study of embryonic vasculogenesis. *J Perinat Med* 2002; 30: 18-25.
29. Kurjak A, Kupesic S, Sparac V, et al. Three-dimensional ultrasonographic and power Doppler characterization of ovarian lesions. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2000; 16: 365-71.
30. Kurjak A, Hafner T, Kos M, et al. Three-dimensional sonography in prenatal diagnosis: a luxury or a necessity? *J Perinat Med* 2000; 28: 194-209.
31. Kurjak A, Kupesic S. Three dimensional ultrasound and power doppler in assessment of uterine and ovarian angiogenesis: a prospective study. *Croat Med J* 1999; 40: 413-20.
32. Claudon M, Tranquart F, Evans DH, et al. Advances in ultrasound. *Eur Radiol* 2002; 12: 7-18.
33. Kurjak A, Azumendi G, Vecek N, et al. Fetal hand movements and facial expression in normal pregnancy studied by four-dimensional sonography. *J Perinat Med* 2003; 31: 496-508.
34. Yaman C, Jesacher K, Polz W. Accuracy of three-dimensional transvaginal ultrasound in uterus volume measurements; comparison with two-dimensional ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 2003; 29: 1681-4.
35. Raga F, Bonilla-Musoles F, Blanes J, et al. Congenital Mullerian anomalies: diagnostic accuracy of three-dimensional ultrasound. *Fertil Steril* 1996; 65: 523-8.
36. Bonilla-Musoles F, Pardo G, Simon C. How accurate is ultrasonography in monitoring IUD placement? *J Clin Ultrasound* 1990; 18: 395-9.

37. Bonilla-Musoles F, Raga F, Osborne NG, et al. Control of intrauterine device insertion with three-dimensional ultrasound: is it the future? *J Clin Ultrasound* 1996; 24: 263-7.
38. Hosli I, Holzgreve W, Tercanli S. Use of 3-dimensional ultrasound for assessment of intrauterine device position. *Ultraschall Med* 2001; 22: 75-80.
39. Gruboeck K, Jurkovic D, Lawton F, et al. The diagnostic value of endometrial thickness and volume measurements by three-dimensional ultrasound in patients with postmenopausal bleeding. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996; 8: 272-6.
40. Yaman C, Ebner T, Jesacher K, et al. Reproducibility of three-dimensional ultrasound endometrial volume measurements in patients with postmenopausal bleeding. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 19: 282-6.
41. Folkman J, Merler E, Abernathy C, et al. Isolation of a tumor factor responsible for angiogenesis. *J Exp Med* 1971; 133: 275-88.
42. Shing Y, Folkman J, Haudenschild C, et al. Angiogenesis is stimulated by a tumor-derived endothelial cell growth factor. *J Cell Biochem* 1985; 29: 275-87.
43. Tapper D, Langer RS Jr, Conn H, et al. Oxygen content determined by acrylamide polymerization: screening of anticancer agents, generation of oxyhemoglobin dissociation curves, and potential applications. *Ann Surg* 1979; 189: 275-82.
44. Kurjak A, Jurkovic D, Alfirevic Z, et al. Transvaginal color Doppler imaging. *J Clin Ultrasound* 1990; 18: 227-34.
45. Kurjak A, Zalud I. The characterization of uterine tumors by transvaginal color Doppler. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1991; 1: 50-2.
46. Kurjak A, Kupesic S, Shalan H, et al. Uterine sarcoma: a report of 10 cases studied by transvaginal color and pulsed Doppler sonography. *Gynecol Oncol* 1995; 59: 342-6.
47. Yaman C, Fridrik M. Three-dimensional ultrasound to assess the response to treatment in gynecological malignancies. *Gynecol Oncol* 2005; 97: 665-8.
48. Falcon O, Cavoretto P, Peralta CF, et al. Fetal head-to-trunk volume ratio in chromosomally abnormal fetuses at 11 + 0 to 13 + 6 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26: 755-60.
49. Falcon O, Peralta CF, Cavoretto P, et al. Fetal trunk and head volume in chromosomally abnormal fetuses at 11 + 0 to 13 + 6 weeks of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26: 517-20.
50. Falcon O, Peralta CF, Cavoretto P, Faiola S, Nicolaidis KH. Fetal trunk and head volume measured by three-dimensional ultrasound at 11 + 0 to 13 + 6 weeks of gestation in chromosomally normal pregnancies. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26: 263-6.
51. Falcon O, Wegrzyn P, Faro C, et al. Gestational sac volume measured by three-dimensional ultrasound at 11 to 13 + 6 weeks of gestation: relation to chromosomal defects. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 546-50.
52. Nicolaidis KH, Spencer K, Avgidou K, et al. Multicenter study of first-trimester screening for trisomy 21 in 75.821 pregnancies: results and estimation of the potential impact of individual risk-orientated two-stage first-trimester screening. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 221-6.
53. Peralta CF, Falcon O, Wegrzyn P, et al. Assessment of the gap between the fetal nasal bones at 11 to 13 + 6 weeks of gestation by three-dimensional ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 464-7.
54. Wegrzyn P, Faro C, Falcon O, et al. Placental volume measured by three-dimensional ultrasound at 11 to 13 + 6 weeks of gestation: relation to chromosomal defects. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 26: 28-32.
55. Campbell S, Lees C, Moscoso G, et al. Ultrasound antenatal diagnosis of cleft palate by a new technique: the 3D »reverse face« view. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 12-8.
56. Ruano R, Benachi A, Aubry MC, et al. Prenatal diagnosis of pulmonary sequestration using three-dimensional power Doppler ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25: 128-33.
57. Ruano R, Molho M, Roume J, et al. Prenatal diagnosis of fetal skeletal dysplasias by combining two-dimensional and three-dimensional ultrasound and intrauterine three-dimensional helical computer tomography. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 24: 134-40.
58. Megier P, Esperandieu O, Martin JG, et al. Three-dimensional ultrasound in the diagnosis of left upper limb amelia and right upper limb deficiency at 10 weeks' gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2002; 20: 303-4.
59. Crane JP, LeFevre ML, Winborn RC, et al. A randomized trial of prenatal ultrasonographic screening: impact on the detection, management, and outcome of anomalous fetuses. The RADIUS Study Group. *Am J Obstet Gynecol* 1994; 171: 392-9.
60. Stoll C, Alembik Y, Dott B, et al. Evaluation of prenatal diagnosis of congenital heart disease. *Prenat Diagn* 1998; 18: 801-7.
61. Devore GR, Falkensammer P, Sklansky MS, et al. Spatio-temporal image correlation (STIC): new technology for evaluation of the fetal heart. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003; 22: 380-7.
62. Vinals F, Poblete P, Giuliano A. Spatio-temporal image correlation (STIC): a new tool for the prenatal screening of congenital heart defects. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003; 22: 388-94.
63. Japelj I, Ogrizek - Pelkič K, Pšeničnik S. Uporabnost tridimenzionalne v primerjavi z dvodimenzionalno ultrazvočno preiskavo v porodništvu. *Zdrav vestn* 2003; 72: 15-22.
64. Takač I. Tridimenzionalni ultrazvok v ginekološki onkologiji. *Zdrav vestn* 2003; 72: 23-26.