

3D ultrasonografické vyšetřování pohybového aparátu

3D Ultrasonography for Examination of the Musculoskeletal System

L. HRAZDIRA, J. SKOTÁKOVÁ

Ortopedická klinika FN U sv. Anny, Brno

SUMMARY

Three-dimensional (3D) sonography is the next logical step in diagnostic ultrasound examination. The true value of 3D ultrasonography, however, becomes evident only if 3D structures can be assessed without preconceptions ensuing from 2D interpretations. 3D ultrasonography can greatly improve our understanding of locomotor apparatus anatomy and pathology.

The authors used spatial analysis to evaluate the data obtained by examination of patients with orthopedic diagnoses. The Voluson 530 MT and SONOReal system were used for examination.

The Voluson permits a choice of either a 2D or a 3D imaging program for musculoskeletal system examination. The SONOReal, owing to a positional sensor of the probe, can be attached to any ultrasound transducer.

In the period from 1990 to 2004, a total of 19 000 patients were examined by ultrasonography and, in 6 500 of them, the diagnosis was verified by another method, which showed a 99 % reliability of ultrasound examination. In 350 patients 2D imaging was followed by 3D examination; in 53 of them, 3D coronal and multiplanar imaging made the diagnosis based on 2D imaging more accurate and, in 12 patients, it provided new information on the patient's diagnosis.

3D reconstructions were made in 101 patients, of these 40 had been examined by other imaging methods (magnetic resonance, computer-assisted tomography) or arthroscopy. The results of examination showed a 100% correlation.

Spatial reconstruction is based on the volume rendering method. This is an extension of the planar reconstruction method. Additional image processing techniques are used for a region of interest within a 3D volume data set.

3D ultrasound revealed a spatial relationship between lesions and their surfaces. The surface mode requires that the interface between tissues with different acoustic impedances should be a start line of 3D rendering. The acoustic threshold is a condition that restricts imaging circumstances in which surface rendering will be successful. Exploring 3D reconstructions with power Doppler scanning, which is more sensitive for tracking vessels, is a unique technique that can hardly be compared with any other imaging modality.

3D-volume imaging gives the examiner freedom to generate anatomical views from an infinite number of perspectives and allows us to explore anatomic relationships in the ways not available in any conventional 2D imaging. A spatial reconstruction presents a nearly perfect anatomical model.

The possibility of storing volume data is considered a further progressive trend. It greatly contributes to enhancement of the scope of follow-up examinations, permits comparisons of expert conclusions and can serve educational purposes. The digital technology offers various networking solutions and plays a role in the development of 3D telemedicine.

Although the diagnostic efficacy of 3D imaging is not greatly enhanced when compared with a 2D examination done by a well-trained specialist, the features of coronal sections and spatial reconstructions represent great progress of this imaging technology.

Key words: 3D ultrasound, locomotor apparatus, spatial reconstruction.

ÚVOD

Sonografická (USG) zobrazovací technika patří dnes mezi nejrozšířenější a nejsnáze dostupné moderní diagnostické zobrazovací metody. V současné době se téměř výhradně používá plošné zobrazení dynamického typu s rychlým snímáním a širokou škálou stupnice šedi (128–260 stupňů šedi), s vytvořením postupné série obrazů vyšetřované oblasti, umožňující její souvislé prohlédnutí včetně možnosti sledování pohybu. Nevýhodou je ztráta jednoho rozměru – redukce informace pocházející z objemové jednotky do plošného dvourozměrného obrazu. Vývoj trojdimenzionální (3D) ultrasonografické techniky je tudíž dalším logickým vývojovým stupněm (1, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 25).

V případě 3D vyšetření musí být impulzy uspořádány prostorově. Jednotlivé elementární body uspořádané v prostorové síti se nazývají voxely („volumen elements“) a tyto jsou v prostoru uspořádány zcela pravidelně a tvoří celkově prostorovou – objemovou informaci. Sonda se během snímání buď lineárně posunuje, naklání nebo rotuje. Údaje o odrazivosti v jednotlivých rovinách jsou zaváděny do paměti výkonného počítače, který provede matematickou prostorovou rekonstrukci zachycené krajiny. Technologie rekonstrukce je podobná jako u jiných moderních tomografických metod. Nevýhodou dosavadních systémů trojdimenzionálního zobrazení byl relativně dlouhý čas nutný k rekonstrukci zvoleného obrazu. V současné době jsou již vyvinuty systémy 3D zobrazení v reálném čase. Používá se pro ně označení 4D-zobrazení, přičemž čtvrtým rozměrem se rozumí velmi krátký časový úsek, potřebný k rekonstrukci obrazu.

V období 1990–2004 bylo USG vyšetřeno 19 500 pacientů. Verifikace USG výsledků jinou metodou byla provedena u 6 500 nemocných). Spolehlivost USG vyšetření prokazovala 99% úspěšnost. Z 6 500 jedinců byl patologický USG nález u 1950. Do souboru 3D experimentu byli vybíráni pouze pacienti, u kterých byl prokázán abnormální 2D nebo 3D ultrasonografický nález (650 pacientů).

Z celkového počtu 650 (363 mužů, 287 žen) pacientů vyšetřených 3D byla ve 101 případech (58 mužů, 43 žen) (16 %) provedena prostorová rekonstrukce.

Z celkového počtu 650 pacientů přineslo 3D vyšetření novou diagnostickou informaci, která nebyla zachycena klasickým 2D USG vyšetřením ve 12 případech. Zpřesnění diagnózy v dalších 53 případech. U 40 pacientů byla ultrazvuková diagnóza verifikována jinými metodami (CT, MR nebo artroskopicky) a byla prokázána 100% korelace nálezů.

V práci jsou použity, hodnoceny a zpracovávány výsledky pouze vlastních sonografických vyšetření u pacientů vyšetřovaných v rámci ortopedické a tělovýchovně lékařské ambulance se zaměřením na USG vyšetřování pohybového aparátu.

Cílem práce bylo posouzení možností aplikace 3D USG při vyšetřování pohybového aparátu a aplikace postprocessingových metod při prostorové rekon-

strukcí jednotlivých struktur muskuloskeletálního systému ve vztahu k využitelnosti v klinické praxi.

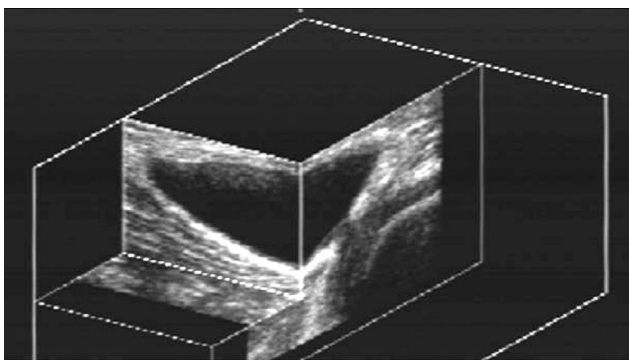
Práce byla realizovaná s přístroji Volusson 530 MT. Přístroj je vybaven sondami pro přímé načítání 3D informace. Je schopen práce jak v 2D, tak v 3D respektive 4D režimu.

V iniciální fázi se nabízí možnost orientačního klasického 2D vyšetření nebo přímo v 4D multiplanárním zobrazení. Poté se zvolí zájmová oblast, která se načte do paměti přístroje – někdy je označována jako VOI („volume of interest“). V práci bylo použito vysokofrekvenčních (resp. multifrekvenčních) sond – lineární do 12,5 MHz, šířky 4 cm a semikonvexní s malým aktivním vrcholem (transvaginní). Obě sondy byly vybaveny všemi možnostmi dopplerovských aplikací. Pro základní vyšetření byla používána lineární sonda, pouze ve specifických případech byla použita sonda transvaginní (pro malý aktivní vrchol na vyšetření menisků, kdy diskretním akustickým oknem vstupujeme do kloubní štěrbin a divergující směr jednotlivých akustických vln zobrazí lépe stěny kloubní dutiny a strukturu menisků). Dále bylo v práci použito přístroje SONO Real TM, který umožňuje pomocí přídavného gyroskopického pozičního snímače sondy připojení k libovolnému ultrazvukovému přístroji.

Multiplanární rekonstrukce (MPR) je nejjednodušší forma 3D zobrazení, je velmi přehledná a je vlastně přechodem od 2D k 3D ultrasonografické diagnostice. Pomocí MPR lze prohlížet obrazy ve všech rovinách rekonstruovaného 3D objemu.

Zpracování objemové informace je vysoce sofistikovaný postprocessingový proces.

Při generování multiplanárního zobrazení se objevuje obraz tří základních rovin umístěných na obrazovce vedle sebe, které jsou však v krychli informací navzájem kolmé. K typickým 2D vyšetřovacím rovinám podélné (A) a příčné (B) přistupuje další rovina – rovnoběžná s povrchem těla, koronální („coronal C – plane“). Právě tato přináší zcela novou diagnostickou informaci. Je ortogonální k rovinám A i B. Pravoúhlý systém průniku rovin usnadňuje navigaci v jejich interaktivním vzájemném pohybu. Vyšetřujícím je zvolena libovolná (kterákoli – A x B x C) základní aktivní (vedoucí) rovina, kterou může volně pohybovat v jejích souběžných řezech. Současně zde aktivně ovládá bod vzájemného průniku všech tří rovin. K USG obrazu aktivní roviny je „on line“ dopočítáván obraz i v rovinách zbývajících (synchronně paralelní virtuální pohyb v korespondujících ortogonálních rovinách je on line rektangulárně reformátován). Jedná se o dynamickou analýzu načteného objemu. Dynamická analýza umožní rychlé pochopení situace i posouzení anatomického detailu. Kromě rovinného zobrazení („planar imaging“) můžeme pracovat ve zobrazení objemovém („volume rendering“). Prostorová analýza je rozšířením plošných metod. V multiplanárním obrazu označíme oblast zájmu ROI („region of interest“), která se na obrazovce zobrazí jako objemová jednotka „krychle informací“. Tuto prořezáváme základními rovinami, lze ji libovolně rotovat, či jinak dále postprocessingově zpracovávat. Kro-



Obr. 1. Synoviální pseudocysta: prořezáním krychle informací je možno exaktně zachytit oblast zájmu – zde místo komunikace mezi kloubem a dutinou pseudocysty

mě běžných postupů změny velikosti („zoom“), barvy podkladu, jas a kontrastu, volíme při jejím prohlížení mezi dvěma základními módy. Mód povrchový zvýrazňuje povrchové linie, resp. jsou zesílena povrchová akustická rozhraní struktur v ROI. Další možností je volba transparentního módu (někdy také nazýván X-ray mode), který zlepšuje průhled celou krychlí informací zachycenou v ROI. Tento mód je možno ještě rozdělit na „transparent minimum mode“ využitelný pro akustické přechody málo odrazivých struktur – přechody měkká tkáň-tekutina (cysty, píštěle, ganglia apod.), „transparent maximum mode“ pro přechody k vysoké echogenitě – např. interface měkká tkáň-kost.

Při vyšetření určíme strukturu zájmové oblasti, kterou obtáhneme (obrysujeme) elektronickým perem – tento krok nazýváme určení souboru dat. Software sono 3D vystřihne obrys aktuální anatomie celé označené oblasti ve všech rovinách. Původní obrys slouží jako vzor pro segmentaci v ostatních vrstvách, postup se automaticky opakuje ve všech vrstvách. Jakmile je segmentace dokončena, všechno vně obrysování zmizí z 3D snímku a získáváme čistý 3D obraz sledované oblasti. Tento můžeme libovolně natáčet a prohlížet ze všech stran. Obraz můžeme ještě dále zpracovávat použijeme-li dalších postprocessingových metod, například vyhladit („smoothing“), změnit jeho jas a kontrast.

Snímek („snapshot“) objekt zobrazíme na celou obrazovku, následně jej můžeme vytisknout. Data ukládáme jednak v paměti přístroje (na hard disk jednotky), jednak na elektromagnetická, resp. magnetooptická média (uložení dat na CD).

Zachycená data je možno přenášet pomocí systému dicom v rámci připojení k lokální síti, je možnost je i konvertovat do jiných módů.

Vyšetřování kolekce tekutiny

Cystické útvary a ganglia jsou velmi dobře sonograficky detekovatelnými strukturami a snaha o jejich zachyt a interpretaci stojí proto vždy na počátku testování nových ultrazvukových metod (10, 11, 14, 18, 23, 25). Nejedná se však pouze o cysty a ganglia. Kolekci

tekutiny zobrazíme v burzách, hematomech a opouzdřených hematomech, při zvýšené náplni kloubů u revmatoidních a poúrazových procesů. (Rovněž velké cévy s minimální echogenitou lumina výrazně kontrastují s okolními tkáněmi.)

Na tomto místě je nutno také zdůraznit, že minimální echogenitu mohou vykazovat i některé solidní struktury jako například hyalinní chrupavka a některá neoplasmata (např. desmoid, některé metastázy). Naopak akutní hematoma, který má charakter prokrvácení měkkých tkání, jejich echogenitu v iniciálních fázích výrazně zvyšuje.

Bakerova pseudocysta

Synoviální pseudocysta (Bakerova) (obr.1) v zákolech vzniká nejčastěji na podkladě spojení společné semimembranózo-gastrocnemické burzy nad mediálním kondylem femuru s dutinou kolenního kloubu. Může se rozšiřovat proximálním i distálním směrem nejčastěji podél hluboké fascie m.gastrocnemius. Ve výjimečných případech sklouzává až do distální třetiny lýtky. USG 3D vyšetřovací technika umožní nejen její jednoznačný průkaz, ale zmapuje i komunikaci do kloubu, vztah k okolním tkáním a exaktní tvar pseudocysty (obr. 4). V MPR zobrazení zkoumáme především vztah k okolním strukturám.

Kromě základního ortográdního pohledu, lze využít i ortográdního prořezávání při pohledech v různých rotacích, které nám usnadní představu o uložení struktury ve sledovaném prostoru.

Je-li potřeba vytvořit si představu o tvaru útvaru, např. před plánovanou operační revizí, volíme USG 3D prostorovou rekonstrukci pseudocysty. Zde jsme však limitováni velikostí aktivního vrcholu sondy, resp. rozsahem sledované afekce.

Hematoma

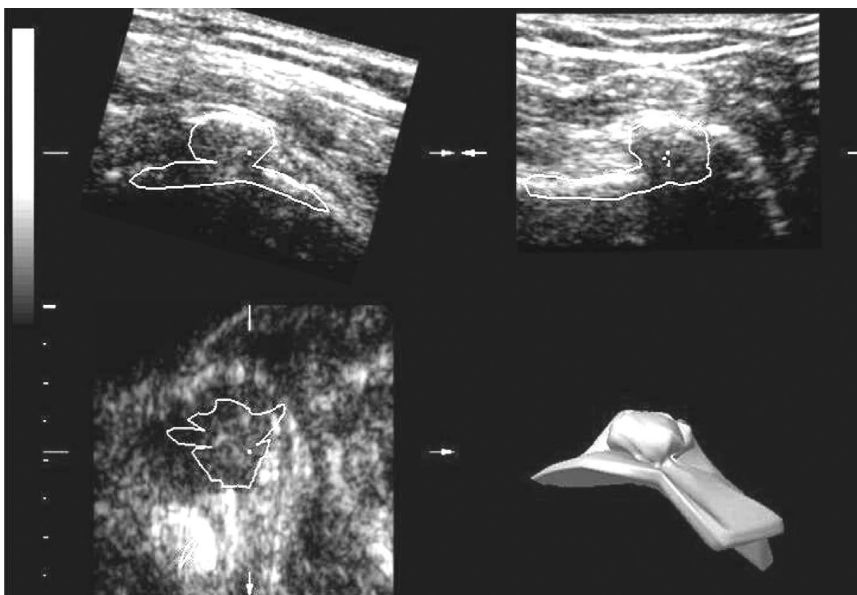
Dojde-li při zranění ke kolekci krve v poraněné tkáni, nenacházíme většinou ostré ohraničení oproti okolním tkáním, hematoma neostře prostupuje do zraněných struktur – nejčastěji svaloviny. I v těchto případech je výhodná prostorová rekonstrukce, pro určení závažnosti a rozsahu devastace zraněných struktur.

K obdobným výsledkům docházíme při vyšetřování pooperačních stavů, rozsahu hematoma či seromu v místě operační zóny, stejně tak při vizualizaci komplikací, jako např. infektu, kaveren s hnisem a mapování jejich píštělí. U purulentní tekutiny většinou stoupá její echogenita. Principy zobrazení zůstávají však identické.

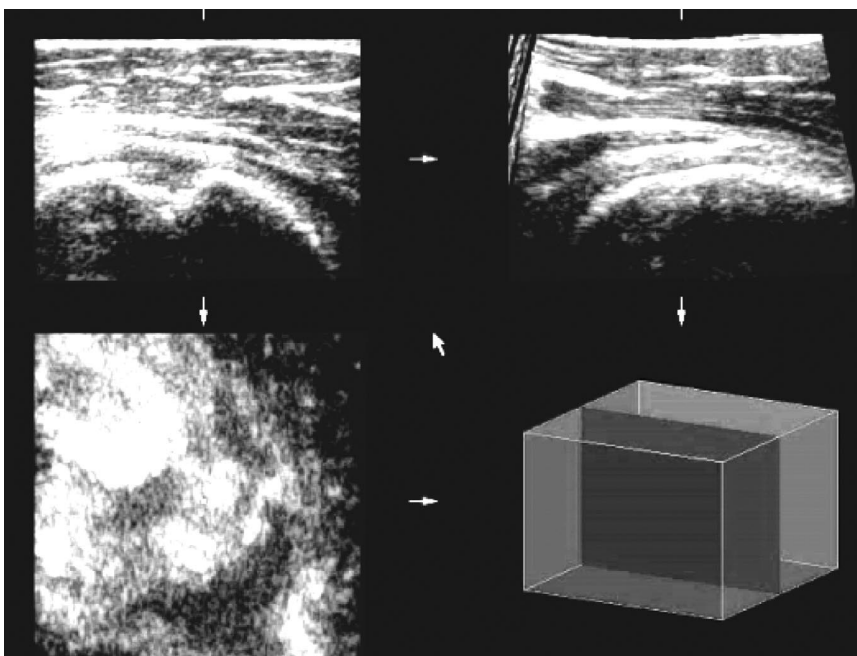
Vyšetřování povrchů kostí

Na sonogramech se kostěný povrch jeví jako jasná sytá linie, která přerušuje šíření ultrazvukového vlnění. Pod touto linií se nachází obraz ultrazvukového stínu. Periost za normálních okolností splývá s povrchem kostí, vizualizovat ho lze pouze při patologických stavech. Detailní a exaktní posouzení povrchu kostí je nutné

Obr. 2. Hlavice humeru s ektopickou kalcifikací v manžetě rotátorů: po manuálním vyznačení elektronickým perem v multiplanárním zobrazení je automaticky vygenerován prostorový model



Obr. 3. Hill-Sachsův defekt hlavice humeru je v multiplanárním zobrazení viditelný jako ztráta sféricity v transverzálním a defekt ve frontálním (koronálním) řezu

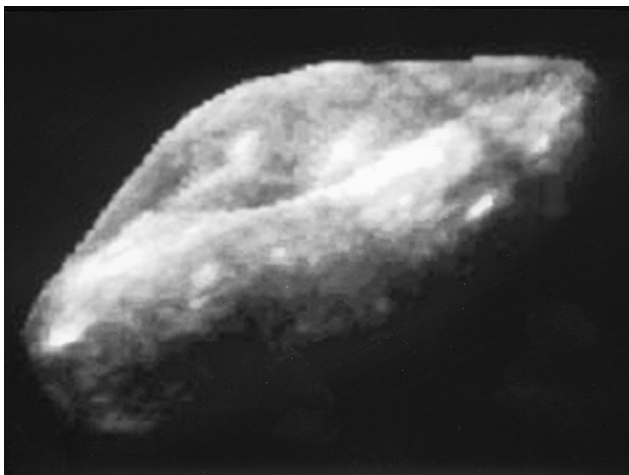


v ortopedii a traumatologii stejně jako v revmatologii při vyšetřování infekcí a neoplasmů alterujících kostěný povrch. Při vyšetřování povrchů kosti 2D technikami je nutné použít sondy s vysokou frekvencí (vysokou rozlišovací schopností) a kolmý dopad ultrazvukových vln na kostěný povrch. 2D techniky neumožní exaktní rekonstrukci kostěného povrchu, který musí vyšetřující pouze odhadnout na základě vlastní zkušenosti a představivosti. Tento handicap odstraňuje použití 3D USG techniky s postprocessingovou rekonstrukcí. Po načtení a určení zájmové oblasti (ROI) označíme kostěné povrchy a odřízneme nad nimi ležící měkké tkáně. Následně je dopočítán prostorový model, který můžeme libovolně otáčet prohlížet z různých stran. Získaný obraz je

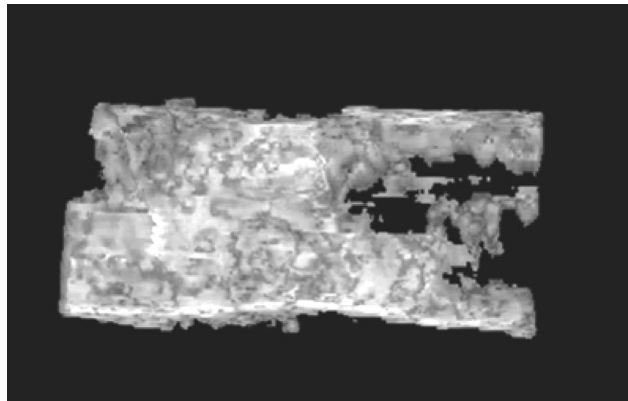
plně komparabilní s výsledky jiných náročných zobrazovacích technik jako CT a MR. Povrch kostí je podstatně přesněji touto metodou determinován nežli klasickými nativními skiagramy (2, 4, 8, 6, 12, 20, 21, 26).

USG 3D prostorové zobrazení je využitelné i pro rekonstrukci výrazných nerovností kostěného povrchu v případech, kde se dosud využívá klasické rtg-vyšetření. Rtg-vyšetření má podstatně nižší výtěžnost a má negativní vedlejší účinky (radiační zátěž).

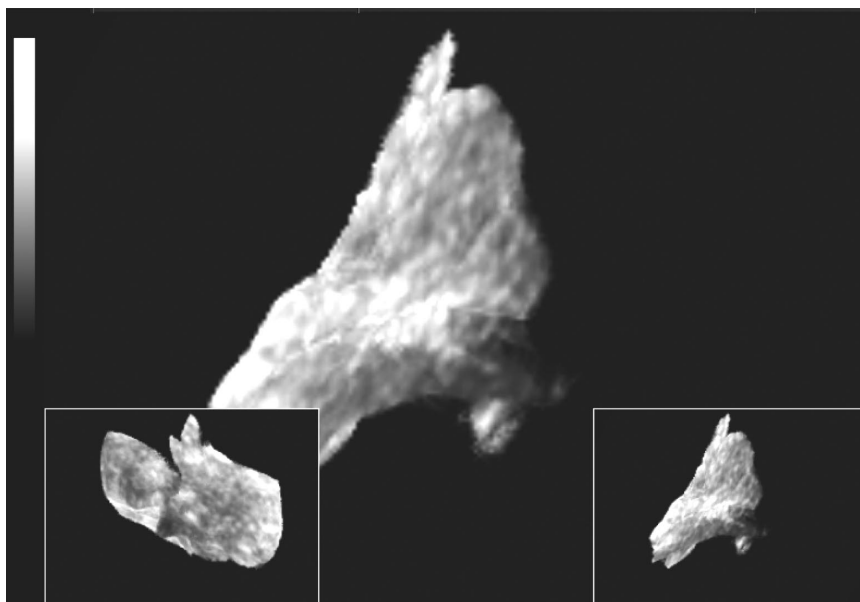
Dalším stavem, který lze USG vyšetřit, je aseptická nekróza drsnatiny tibie – M.Osgood-Schlatter. Postižení je zobrazitelné i 2D vyšetřením. 3D rekonstrukce zobrazí prostorový detail fragmentace drsnatiny. Je možná rekonstrukce morfologických změn ostruhy patní



Obr. 4. Prostorová rekonstrukce kostěného povrchu – Hill-Sachsova imprese po odstranění měkkých tkání z krychle informací



Obr. 5. Prostorová rekonstrukce kostěného povrchu tříštivé zlomeniny



Obr. 6. Léze menisku – prostorová rekonstrukce trhliny

kosti, artrotických změn kloubů apod. USG vyšetřování ramenního kloubu je v současné době rutinní. 3D USG lze rekonstruovat kalcifikát v manžetě rotátoru (obr. 2), prokázat impresní frakturu hlavičky humeru po glenohumerální luxaci (Hill-Sachsův defekt) (obr. 3, 4), při negativním skiagrafickém nález, vyšetření MR nález USG potvrdilo.

Zlomeniny

Ultrazvukové vyšetřování akutních zlomenin nemůže nahradit základní rtg-vyšetření. Umožní však posoudit vztah k okolním měkkým tkáním, rekonstruovat povrch poškozené kosti. Hlavní význam má pro sledování procesu hojení – tvorby svalku, respektive přemostění kostního defektu (obr. 5). USG vyšetření kostěných povrchů výrazně rozšiřuje stávající možnosti zobrazovacích technik. Exaktností zobrazení kostěných povrchů doplňuje a zpřesňuje diagnostiku patologických stavů skeletu.

Vyšetřování měkkých tkání

Vyšetřování měkkých tkání je základem pro každé vyšetření pohybového aparátu. Posuzují se změny povrchových kontur, vnitřní echostruktury a její změny. Zvýšením echogenity jsou charakterizovány fibrózní změny, degenerace a atrofie tkání, naopak její pokles vidíme při zánětlivém prosáknutí, či vyplnění defektu tekutinou. Největší diagnostickou cenu má stranové srovnání postižené a nepostižené stejné struktury u téhož pacienta. 3D USG vyšetření má přínos zejména v posouzení vzájemného vztahu jednotlivých tkání. Je nutno podtrhnout význam koronálních řezů a prostorových rekonstrukcí, které mnohdy umožní vizualizovat patologické změny nezachytitelné v klasických rovinách, např. 3D rekonstrukce poranění menisků (obr. 6) (19).

Artrosonografie – využívá kombinace echografického posuzování jednotlivých tkání v komplexním pohledu

k vytvoření co nejpřesnější představy o vyšetřované oblasti (3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 24).

Intervenční 3D USG

3D USG lze s výhodou použít pro intervence. Při USG vedených punkcích 3D, resp. 4D, zobrazení umožní exaktní lokalizaci jehly v oblasti ložiska ve všech rovinách současně. Tím výrazně zvyšuje přesnost bioptických metod. Na rozdíl od 2D kontroly snižujeme riziko minutí zájmové oblasti kontrolou v koronální rovině. Základem pro USG vedenou punkci léze je její sonografická „viditelnost“. Proto tuto techniku využíváme především k evakuačním punkcím drobných anechogenních ložisek obsahujících tekutinu (cysty, ganglia a hematomy). Pod kontrolou USG je vhodná také punkce některých kloubů (drobné klouby: radiokarpální, nebo hůře přístupné velké klouby – kyčelní), event. s následnou kontrolovanou aplikací steroidu. Zde je výhodou i „echo-kontrast“ steroidu, takže vizuálně kontrolujeme místo aplikace léčiva.

Zvláštní kapitolou jsou USG vedené bioptické punkce. Používá se buď běžných jehel k odběru na cytologické vyšetření, nebo speciálních bioptických jehel k odběru materiálu k histologickému vyšetření. Puncce k bioptickým odběrům se provádí v lokální infiltrační anestezii.

Při 4D vyšetření se průběžně kontroluje pozice jehly a při současném ukládání informací se může zpětně vyhodnotit místo pozice hrotu punkční jehly v odběru tkáně či aplikace léčiva.

Punkční výkony pod USG kontrolou jsou šetrné zákroky, které lze provést ambulantně (např. nahradí probatorní excize za hospitalizace). Pro vysoký přínos 4D USG řízených punkčních technik je předpoklad brzké integrace tohoto vyšetření do každodenní lékařské praxe.

ZÁVĚR

V současné době není diagnostická výtečnost 2D vyšetření signifikantně nižší než 3D.

Časová náročnost získání dat 3D je srovnatelná s 2D vyšetřením. Postprocessingové zpracování 3D obrazu je však již metodou časově náročnější. Čas vyšetření prodlužují výrazně též 3D dopplerovská vyšetření a zejména rekonstrukce povrchů jednotlivých struktur. Využití 3D prostorové rekonstrukce se silovým Dopplerem („power Doppler“) je jednou z nejcitlivějších zobrazovacích metod a je unikátním zobrazením měkkých struktur se současným mapováním cévního řečiště těžko srovnatelným s možnostmi jiných zobrazovacích metod. 3D power Doppler zobrazením cévního zásobení umožní detekci patologických změn ve sledované oblasti.

Závěry 2D vyšetření jsou diagnózou stanovenou na základě okamžitého zhodnocení vyšetřujícím lékařem. To, co právě nevidí, nezachytí, a je ztraceno. Ztrácí se tak více než 90 % informace z vyšetřované oblasti jak pro archivaci, tak pro další zpracování a přenos dat. 3D je

proto důležitým doplňkem 2D USG zejména pro schopnost archivace dat v plném rozsahu a možnost jejich opakovaného zhodnocení. Archivace celé krychle informací umožní komparaci nálezu, edukaci, stejně jako kontrolu diagnostických závěrů (3, 5, 7, 10, 14, 15, 18, 20, 25).

Do každodenní praxe 3D vyšetření přináší celou řadu dalších výhod. Umožní exaktní a opakované měření v různých rovinách. 3D USG vyšetření má velký přínos ve spojení s klinickým vyšetřením, které může ihned doplňovat. Klinik získává okamžitý přehled o měkkých tkáních vyšetřované oblasti. Tento přínos perspektivně ocení všechny obory, zejména onkologie.

V rutinní klinické praxi si 3D USG muskuloskeletálního systému nachází vlastní specifické aplikace.

I když CT a MR zůstávají základními vyšetřovacími metodami, 3D USG vyšetření prokazuje mnohdy srovnatelné výsledky. CT a MR snímají vyšetřovanou oblast automaticky s mechanickým nebo elektronickým řízením. USG vyšetření je prováděno rukou vyšetřujícího napříč anatomickými krajinami podle potíží nemocného a potřeb vyšetřujícího. Skenování z volné ruky a tlak sondy na vyšetřovanou krajinu – „sonopalpace“ zachytí v reálném čase klinickou i obrazovou informaci, je možná okamžitá komparace s kontralaterální stranou či s okolními krajinami.

Problém se může objevit při potřebě opakovaného vyšetření a srovnání. Tzv. identický pohled může být zkreslen změněným náklonem, rotací či posunem sondy. Další nevýhodou 3D USG je limitace velikosti zobrazované krajiny velikostí sondy. Větší útvary lze USG zachytit a rekonstruovat z částečných výsečí. Celková představa velkého útvaru je potom problematická a mnohdy subjektivně zkreslená.

Literatura

1. BLECK, J. S.: Neue Technologien in der Sonographie. Orthopäde, 31: 197–201, 2002.
2. BRENDEN, B., WINTER, S., RICK, A., STOCKHEIM, M., ERMERT, H.: Registration of 3D CT and ultrasound datasets of the spine using bone structures. Comput Aided Surg., 7: 146–155, 2002.
3. FREIHERR, G.: Challenges to obtaining 3-D information abound. Diagn. Imaging (Suppl.), 16–19, 2000.
4. GERSCOVICH, E. O., GREENSPAN, A., CRONAN, M. S., KAROL, L. A., MCGAHAN, J. P.: Three-dimensional sonographic evaluation of developmental dysplasia of the hip: preliminary findings. Radiology, 190: 407–410, 1994.
5. GOLDBERG, B. G.: Third dimension reveals world of new information. Diagn. Imaging (Suppl.), 20, 2000.
6. GRAF, R.: Hüftsonographie Ein Update. Orthopäde, 31: 181–189, 2002.
7. HRAZDIRA, I.: Stručné repetitorium ultrasonografie. 1. vyd. Praha, Audioscan 2003, 112 s.

8. HRAZDIRA, L.: Vyšetření ramene ultrazvukem. In : TRNAVSKÝ, K., SEDLÁČKOVÁ, M. (Eds): Syndrom bolestivého ramene. Praha, Galén 2002, 47–63.
9. HRAZDIRA, L., MIKULEC, J.: Spatial Reconstruction in 3D Echographic Examination of the Locomotive Apparatus. *Sportsmen Vlaams tijdschrift voor sportgeneeskunde en sportwetenschappen*, 95: 56, 2003.
10. HRAZDIRA, L.: Možnosti ultrazvukového vyšetřování a prostrových rekonstrukcí pohybového aparátu. Brno, Paido 2004, 87 s.
11. HRAZDIRA, L., MIKULEC, J.: 3D Echographic examination of the locomotive apparatus (CD ROM). Brno, Paido 2004, 15 s.
12. HÜNERBEIN, M., RASCHKE, M., HAAS, N. P., SCHLAG, P. M.: Three dimensional ultrasonography: new prospects for ultrasound imaging of bone. *Lancet*, 355: 116–117, 2000.
13. KELLNER, H., LIESS, H., ZOLLER, W. G.: 3D sonography of soft tissues and joints. *Bildgebung*, 61: 130–134, 1994.
14. LAZOVIC, D.: Dreidimensionale Ultraschalltechniken. *Orthopäde*, 31: 190–196, 2002.
15. LIN, E. C., MIDDLETON, W. D., TEEFEY, S. A.: Extended field of view sonography in musculoskeletal imaging. *J., Ultrasound Med.*, 18: 147–152, 1999.
16. LEFEBRE, F., GRAILLAT, N., CHERUB, E., BERGER, G., ZAJED, A.: Automatic three-dimensional reconstruction and characterization of articular cartilage from high-resolution ultrasound acquisitions. *Ultrasound Med. Biol.*, 24: 1369–1381, 1998.
17. MARCELIS, S., DAENEN, B., FERRARA, M. A.: *Peripheral Musculoskeletal Ultrasound Atlas*. (Eds.: R. F. DONGELINGER.), Stuttgart, New York, Georg Thieme Verl. 1996, 203 s.
18. PERSUTTE, W. H.: Three Dimensional Ultrasound – Is It better Than Two-Dimensional? *Clinical aspects. J., Ultrasound Med. (Suppl.)*, 18: 214–216, 1999.
19. RIEDL, S., TAUSCHER, A., KUHNEN, C., GOHRING, U., MEEDER, P. J.: 3-dimensional sonography in the diagnosis of meniscal lesions. An experimental and clinical study. *Chirurg*, 68: 1150–1155, 1998.
20. SANDRICK, K.: 3-D Ultrasound: more than a pretty picture. *Diagn. Imaging (Suppl.)*, 2–7, 2000.
21. SKOTÁKOVÁ, J., BARTL, V., BRYŠOVÁ, V.: Kongenitální subluxace loketního a kolenního kloubu u novorozence – role ultrazvukového vyšetření. *Čes. Radiol.* 55: 25–27, 2001.
22. SONORealTM. User guide sono 3D TM Software Version 1.3. 1st ed., Jerusalem, Biomedicom Creative Biomedical Computing LTD. 2002, 98.
23. THIEME, G., MANCO-JOHNSON, M. L., CIOFFI-RAGAN, D. In: obstetrics, 3-D imaging solves clinical problems. *Diagn. Imaging (Suppl.)*, 8–11, 2000.
24. WALLNY, T. A., THEUERKAUF, I., SCHILD, R. L., PERLICK, L., BERTELSBECK, D. S.: Three dimensional evaluation of the rotator cuff – an experimental study. *Europ. J. Ultrasound*, 11: 135–141, 2000.
25. WEISMANN, CH. F.: 3-D expanse horizon in daily clinical practice. *Diagn. Imaging (Suppl.)*, 12–15, 2000.
26. WINTER, S., BRENDDEL, B., RICK, A., STOCKHEIM, M., SCHMIEDER, K., ERMERT, H.: Registration of bone surfaces, extracted from CT – datasets, with 3D ultraschall. *Biomed. Techn. (Berlin)*, 47: 57–60, 2002.

Doc. MUDr. Luboš Hrazdira, CSc.,
Velkopavlovická 9,
628 00 Brno-Vinohrady

Práce byla přijata 18. 7. 2006.