

Univerzita Karlova v Praze

Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

Studijní program: informační studia a knihovnictví

Studijní obor: informační studia a knihovnictví

Vojtěch Urban

Expertní systémy v medicíně a návrh prototypu diagnostické aplikace

Diplomová práce

Praha 2006

Vedoucí diplomové práce:

Doc. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Oponent diplomové práce:

doc. RNDr. Jsař Seměch Ph.D.

Datum obhajoby:

18. 9. 2006

Glochocent

ny(keni(1)

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Vojtěch Urban

obor Informační studia a knihovnictví

Název tématu: Expertní systémy v medicíně a návrh prototypu diagnostické aplikace

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je návrh prototypu expertního systému v medicínském vyšetřování. Diplomant se seznámí s vybranými aplikacemi expertních systémů v medicíně a posoudí možnost vytvoření expertního systému ve zvolené oblasti medicínského vyšetřování, kde má dostupného experta. Získanou bázi znalostí reprezentuje v rámci systému NEST a ověří funkčnost vzniklého prototypu expertního systému.

Předběžná osnova:

Základní charakteristiky expertních systémů

Reprezentace znalostí

Inferenční mechanismus

Vysvětlovací modul

Komunikační modul

Aplikační oblasti expertních systémů

Expertní systémy v medicíně

Úvod do problematiky analýzy patologických útvarů při ultrazvukovém vyšetřování vnitřních orgánů

Analýza specifických požadavků na systém

Selekcenástrojů pro potřeby projektu

Projekt expertního systému

Práce bude upravena podle platných směrnic a normativních dokumentů.

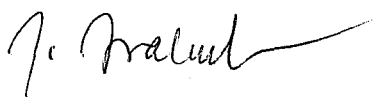
Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. BERKA, Petr. *Expertní systémy*. Praha : Vysoká škola ekonomická v Praze, 1998. 155 s. ISBN 80-7079-873-4
2. DROZDOVÁ, Věra; ZÁDA, Václav. *Umělá inteligence a expertní systémy*. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní, 1991. 212 s. ISBN 80-7083-075-1
3. GOSMAN, Svatoslav. *Umělá inteligence a expertní systémy*. Praha : Kancelářské stroje, 1990. 168 s. ISBN 80-7018-004-8
4. JACKSON, Peter. *Introduction to expert systems*. 2nd ed. Wokingham (Velká Británie) : Addison-Wesley, 1990. 515 s. ISBN 0-201-17578-9
5. PROVAZNÍK, Ivo; KOZUMPLÍK, Jiří. *Expertní systémy*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. 1999. 100 s. ISBN 80-214-1486-3

Vedoucí diplomové práce: Doc., RNDr. Jiří Ivánek, CSc.



Datum zadání diplomové práce: 17.3.2006

Termín odevzdání diplomové práce:

L.S.



PhDr. Richard Papík, Ph.D.

Vedoucí součásti-ředitel ÚISK FF UK

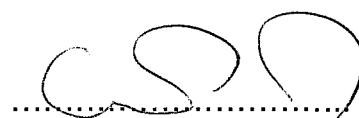
Děkan FF UK

V Praze dne 17.3.2006

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze, 22.6.2006

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops, positioned above a horizontal dotted line.

podpis diplomanta

Identifikační záznam

URBAN, Vojtěch. *Expertní systémy v medicíně a návrh prototypu diagnostické aplikace [Expert systems in medicine and a diagnostic application design prototype]*. Praha, 2006. XXX s., XX s. příl. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, Ústav informačních studií a knihovnictví, 2006. Vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Abstrakt

Tématem práce je charakteristika expertních systémů, možnosti jejich aplikace v medicíně a návrh prototypu expertního systému pro podporu rozhodování při určování maligního/benigního charakteru patologických ložisek při ultrazvukovém vyšetřování vnitřních orgánů. Práce obsahuje strukturovaný popis jednotlivých expertních systémů používaných v klinické praxi. V části věnované návrhu expertního systému je popsán postup lékaře při vyšetřování a popis jednotlivých faktorů, podle kterých usuzuje na charakter analyzovaného patologického ložiska; práce popisuje možné přístupy k tvorbě expertního systému a podrobněji se zabývá případovým usuzováním (case-based reasoning), které je vybráno jako nejvhodnější metoda pro projekt takového systému.

Klíčová slova

expertní systémy, znalostní systémy, případové usuzování, case-based reasoning, CBR, medicína, vnitřní orgány, patologické útvary, patologická ložiska, maligní charakter, benigní charakter

OBSAH

Předmluva	3
1. UMĚLÁ INTELIGENCE A EXPERTNÍ SYSTÉMY	4
1.1 Co je expertní systém	4
1.2 Umělá inteligence.....	4
1.3 Základní charakteristiky expertních systémů.....	7
1.4 Klasifikace expertních systémů	8
1.4.1 Klasifikace expertních systémů z hlediska reprezentace znalostí	8
1.4.2 Klasifikace expertních systémů z hlediska obecnosti a uzavřenosti	9
1.4.3 Klasifikace expertních systémů z hlediska typu řešených úloh.....	9
1.5 Vývojové příklady expertních systémů	11
1.5.1 DENDRAL	11
1.5.2 ELIZA	12
1.5.3 PROSPECTOR	13
1.5.4 R1/XCON	13
1.5.5 REACTOR.....	13
1.5.6 SACON	14
1.5.7 Expertní systém Canadian Pacific Railroad	15
1.5.8 FAST	15
1.6 Součásti expertního systému	15
1.7 Principy expertních systémů	16
1.8 Reprezentace znalostí	17
1.8.1 Pojem znalosti	17
1.8.2 Prostředky reprezentace znalostí	19
1.8.3 Pomocné logické prostředky reprezentace znalostí	23
1.9 Inferenční mechanismus	23
1.9.1 Zpětné řetězení	25
1.9.2 Přímé řetězení.....	26
1.10 Neurčitost v expertních systémech	26
1.11 Uživatelský interface	27
1.12 Vysvětlovací modul	28
2. EXPERTNÍ SYSTÉMY V MEDICÍNĚ	29
2.1 Historicky významné medicínské expertní systémy	29
2.2 Aplikace expertních systémů v medicíně	30
2.3 Systémy akutní péče	31
2.4 Laboratorní systémy.....	36

2.5	Vzdělávací systémy	43
2.6	Sledování kvality a správa.....	44
2.7	Interpretace zobrazovacích metod	48
2.8	Asistence a podpora rozhodování.....	50
3.	PROJEKT EXPERTNÍHO SYSTÉMU.....	62
3.1	Úvod do problematiky analýzy patologických útvarů při ultrazvukovém vyšetřování vnitřních orgánů	62
3.2	Stručná historie využití ultrazvuku v medicíně.....	62
3.3	Základní postupy sonografického vyšetření patologických útvarů	62
3.4	Základní úvahy o projektu expertního systému	84
3.5	Akvizice znalostí.....	84
3.6	Výběr nástrojů pro prototyp expertního systému.....	85
3.7	Tvorba prototypu expertního systému.....	86
3.8	Shoda a podobnost konzultovaného případu se záznamy v databázi.....	87
3.9	Verifikace systému	88
3.10	Zhodnocení systému.....	88
4.	ZÁVĚR.....	90
	Seznam použité literatury	91
	PŘÍLOHA 1 - CBR DATABÁZE	94
	PŘÍLOHA 2 - TESTOVACÍ SOUBOR 20 PŘÍPADŮ	106
	PŘÍLOHA 3 - CBR DATABÁZE PRO CROSS VALIDATION	109
	PŘÍLOHA 4 - VERIFIKAČNÍ SOUBOR 20 ZÁZNAMŮ	112

PŘEDMLUVA

Tato diplomová práce se zabývá specifickým oborem umělé inteligence, expertními systémy; pojednává o jejich principech, historii a využití v oblastech vědy, techniky, a především medicíny. Hlavní částí práce je projekt prototypu asistenčního expertního systému pro obor sonografie v medicíně.

Téma jsem si zvolil především vzhledem k spíše technickému zaměření své osoby a svých zájmů; obor sonografie jsem si vybral pro snadnou dostupnost experta z této oblasti - MUDr. Marie Šimové Urbanové, své matky.

Cílem práce je projekt expertního systému pro sonografii. Ten by měl asistovat lékařům při pochybnostech o benigním (nezhoubném) či maligním (zhoubným) charakteru objeveného patologického ložiska. Zásadní význam pro budoucí práci byla možnost poměrně přesné strukturace vyhodnocovaných faktorů, podle kterých se charakter ložiska určuje. Původní záměr byl prototyp systému, který by byl založen na rule-based přístupu a mohl by být vytvořen a ověřen v prázdném expertním systému NEST. S postupem času se však ukázalo, že tento přístup není pro projekt takového systému vhodný. Zvolil jsem proto přístup jiný, a to case-based reasoning. S pomocí MUDr. Marie Šimové Urbanové jsem k tomuto účelu sestavil strukturovanou databázi 100 případů, ověřil jsem její správnost, otestoval a celou práci v závěru zhodnotil jako úspěšnou. Systém se ukázal být v hodnocení maligního/benigního charakteru ložisek přesný.

V průběhu práce jsem využíval služeb příslušných odborných knihoven, a to především Státní technické knihovny, Národní lékařské knihovny a Krajské vědecké knihovny v Liberci. Mnoho kvalitních prací k tomuto tématu je dostupné na WWW, především práce Dr. Enrica Coiery, předního světového odborníka na využití principů umělé inteligence v medicíně.

Práce je rozdělena na tři části. První část je věnována obecným principům expertních systémů; část druhá obsahuje detailní popis expertních systémů, které se používají celosvětově v klinické praxi v různých oborech medicíny. Třetí částí je samotný projekt expertního systému pro sonografii, popis všech možných specifických charakteristik a popis samotné práce, včetně odhalených problémů a komplikací při jeho tvorbě. V závěru je systém zhodnocen jako příspěvek oboru umělé inteligence v medicíně.

Celkový rozsah práce je 112 stran, připojeny jsou celkem 4 přílohy, které dokumentují strukturu databáze. Použitá literatura je citována dle normy ISO 690 a ISO 690-2.

Poděkování patří vedoucímu práce doc. RNDr. Jiřímu Ivánkovi, který tuto práci velmi zodpovědně vedl a který svými vhodnými náměty a připomínkami umožnil vznik této práce. Zároveň chci poděkovat své matce, MUDr. Marii Šimové Urbanové za profesionální přístup a za čas, který napsání této práce věnovala.

1. UMĚLÁ INTELIGENCE A EXPERTNÍ SYSTÉMY

1.1 Co je expertní systém

Expertní systémy jsou počítačové programy, které využívají specializovaných znalostí k řešení problémů na úrovni lidského odborníka, experta. Expertní systém může zcela nahradit experta při tvorbě expertízy v jakékoli oblasti lidského poznání, pro kterou byl takový systém navržen, případně být pro odborníka pomůckou při rozhodování. Jiné možné definice jsou, že expertní systém je *inteligentní počítačový program, který užívá znalosti a inferenční procedury k řešení problémů, které jsou natolik obtížné, že pro své řešení vyžadují významně lidskou expertízu* [Feigenbaum, 79] nebo *expertní systém je počítačový program simulující rozhodovací činnost lidského experta při řešení složitých úloh a využívající vhodně zakódovaných speciálních znalostí převzatých od experta s cílem dosáhnout ve zvolené problémové oblasti kvality rozhodování na úrovni experta* [Gosman, 90]. Drozdová [Drozdová, 91] definuje expertní systémy jako *programy pro řešení takových úloh, které jsou všeobecně považovány za obtížné a jejichž uspokojivé řešení může provést pouze specialista v daném oboru - expert. Tyto programy jsou vybaveny znalostmi experta z dané oblasti a jsou schopné poskytnout velmi rychle kvalitní rozhodnutí*

Expert [Provazník, 99] je *člověk, který je specializován v určité oblasti lidského poznání a jeho znalosti či specializované schopnosti nejsou známé nebo dostupné ostatním lidem. Expert je schopen vyřešit problémy, které většina lidí není schopná řešit, nebo je umí řešit efektivněji.*

Expert [Drozdová, 91] se při řešení úloh opírá jednak o své teoretické znalosti získané studiem, jednak o znalosti získané z vlastní zkušenosti při řešení podobných úloh.

Technologie expertních systémů je specifickou oblastí umělé inteligence, interdisciplinární vědy, která zahrnuje poznatky z počítačové vědy, neurologie, filozofie, psychologie, robotiky, lingvistiky a dalších, zabývající se implementací programů, které jsou schopny emulovat lidské kognitivní schopnosti jako např. řešení problémů, vizuální percepce či chápání jazyka. Umělá inteligence byla úspěšně aplikována v různých oblastech lidské činnosti, např. v organické chemii, geologických průzkumech, medicíně apod.

1.2 Umělá inteligence

Co je možné považovat za umělou inteligenci (artificial intelligence, AI)? Podle Minského je umělá inteligence *věda, jejímž úkolem je naučit stroje, aby dělaly věci, které vyžadují inteligenci, jsou-li prováděny člověkem.* Feigenbaum definuje AI jako *součást počítačové vědy, zabývající se návrhem inteligentních počítačových systémů, což jsou systémy, které prokazují charakteristiky spojené s lidskou inteligencí - chápání jazyka, učení, uvažování, řešení problémů, apod.* [Feigenbaum, 82]. Jinými slovy - *umělá inteligence znamená tvorbu počítačových programů provádějících úkony, které jsou v současné době lépe řešeny člověkem, protože zahrnují složité mentální procesy jako např. učení, organizace paměti a rozumové uvažování* [Minsky, 68]. Z toho jasně vyplývá, že napsání počítačového

programu pro např. statistické výpočty není příkladem umělé inteligence; zatímco program správné volby experimentů pro ověřování hypotéz příkladem AI je. Lidé obecně nepříliš vynikají ve složitých výpočtech, na rozdíl od počítačů, které je rychlostí výpočtů daleko předčí. Na druhou stranu, sestavení výběru správných experimentů pro ověření hypotézy je schopnost, kterou vědec staví částečně na svých schopnostech a částečně na svých předchozích zkušenostech. Napsání takového počítačového programu je jistě věcí nesnadnou.

Oblastmi AI jsou například:

- expertní systémy
- neuronové sítě
- genetické algoritmy
- robotika
- počítačové vidění
- rozpoznávání hlasu
- hraní her
- strojové učení

a další.

Za počátek historie AI je považován rok 1950, kdy britský matematik Alan Turing ve svém článku *Computing Machinery and Intelligence* vydaném v časopise *Mind* položil otázku: „Mohou stroje myslet?“ K problematice přistoupil Turing čistě behavioristicky a inteligenci stroje posuzoval na základě jeho vnějšího chování v dialogu s člověkem. V navrženém testu (který později dostal jméno Turingův) komunikuje experimentátor dálnopisem současně se dvěma místnostmi - v jedné je stroj, ve druhé člověk. Úkolem experimentátora je pomocí otázek zjistit, zda komunikuje se strojem nebo s člověkem. Závažnou námitkou proti Turingovu testu je, že měří schopnost počítače přesvědčivě lhát, ale o jeho samotné inteligenci nevyovídá nic. Do současné doby byly uskutečněny pokusy o sestrojení systémů, které by úspěšně Turingovým testem prošly a některé byly i částečně úspěšné (tzn. přesvědčily část respondentů o tom, že jsou lidmi, výraznější úspěch však zatím nebyl zaznamenán)

V 50. a 60. letech se výzkum AI zaměřoval především na hledání univerzálního řešícího přístupu. Jako nástroj popisu světa byl používán *stavový prostor* (*state space*). Většina řešení úloh může být dekomponována na *počáteční stav* (výchozí stav figur na šachovnici), *koncový stav* (šach mat, remíza) a *soubor operací*, které vedou od *počátečního stavu* ke *stavu koncovému*. Celkový *stavový prostor* (všechny možné *stavy*, v nichž se úloha během řešení může nacházet) má jednoduchou grafickou reprezentaci (viz obr. 1). *Stavový prostor* lze prohledávat dvěma základními způsoby

- do šířky
- do hloubky

Při prohledávání *stavového prostoru* do šířky budeme postupně procházet všechny uzly téže hloubky, abychom se nakonec dostali ke všem možným *stavům*, tedy řešením (půjdeme např. stále zleva doprava). V tomto případě máme

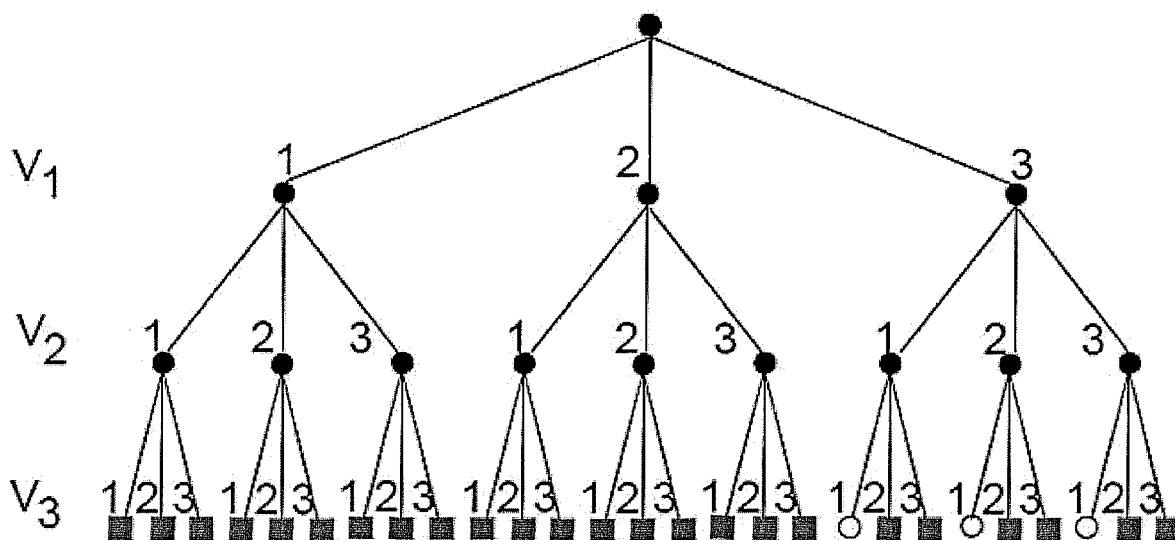
jistotu, že dosáhneme *koncového stavu*, ale musíme projít všechny uzly grafu, což je nepochybně časově náročné.

rok	událost
1943	model neuronu; McCulloch, Pitts
1950	Turingův test
1956	Darouthská konference; Minsky, McCarthy, Simon, Newell
1957	GPS; Newell, Simon, Shaw
1958	LISP; McCarthy
1965	DENDRAL; Feigenbaum, Buchanan
1966	fuzzy logika; Zadeh ELIZA; Weizenbaum
1968	sémantické sítě; Quillian
1970	PROLOG; Colmerauer, Roussel INTERNIST; Pople, Myers
1974	MYCIN; Shortliffe, Buchanan
1975	rámce; Minsky
1976	Dempster-Schaferova teorie PROSPECTOR; Duda, Hart
1978	R1/XCON; McDermott
1982	neuronová síť; Hopfield

(tab 1 – Mezníky v historii umělé inteligence s ohledem na ES)

Při prohledávání do hloubky si vybereme cestu, po které se vydáme (např. stále doleva). Pokud nedosáhneme *koncového stavu*, cestu opustíme a zvolíme alternativní cestu. K cíli, tedy ke *koncovému stavu*, se tak můžeme dostat rychleji než v případě prohledávání do šířky, ale nemáme jistotu (v případě nekonečné větve), že *koncového stavu* dosáhneme. Takové prohledávání je nazýváno „prohledávání naslepo“.

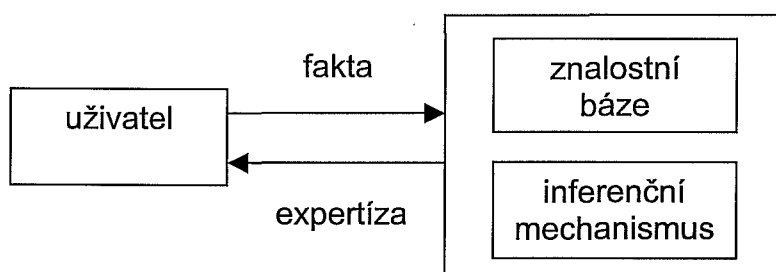
Příkladem obecného řešícího systému je systém GPS (General Problem Solver)



(obr. 1 - stavový prostor)

V polovině 70. let se v oblasti AI důraz přesunul od hledání univerzálního řešícího algoritmu k otázce *reprezentace a zpracování znalostí*. Impulsem ke změně byl historický příchod expertních systémů.

V devadesátých letech vývoj AI pokračuje; uživatelé mnohdy využívají AI aniž by o tom věděli; příkladem může být diagnostika poruch tiskárny ve Windows95 založená na bayesovských sítích. Objevují se i nové oblasti zájmu - hitem posledních několika let je získávání znalostí z dat (*knowledge discovery, data mining*). Důraz se posouvá od reprezentace „předpřipravených“ znalostí k jejich *automatizovanému získávání*, tedy ke *strojovému učení*.



(obr. 2 – základní koncept ES)

1.3 Základní charakteristiky expertních systémů

Základní koncept expertních systémů [Provazník, 99] vychází z představy, že uživatel poskytuje systému fakta a jako odezvu dostává expertní radu – expertízu. Expertní systém se pak skládá ze dvou hlavních částí: *báze obsahující znalosti*, které jsou zpracovávány *inferenčním mechanismem*. Proces generování expertízy se nazývá *inferencí*, která je analogií k výrazu *usuzování*, používanému ve spojení s expertíзой generovanou lidským expertem. *Inference* je tedy strojové usuzování. Uživatelem může být i expert, potom expertní systém slouží jako inteligentní asistent – poradce, který může přispět k větší efektivitě při řešení problému.

Expertní systémy mají několik významných předností v porovnání s lidským expertem. Jsou to [Provazník, 99]:

- **Dostupnost.** ES lze implementovat na jakýkoli počítačový hardware. V současnosti to znamená širokou dostupnost „počítačových expertů“
- **Cena.** Cena vztahovaná na uživatele je nízká
- **Časová dostupnost.** Expertízu lze získat v kterýkoliv časový okamžik
- **Vícenásobná expertíza.** Při řešení problému lze zároveň použít výstupy více ES zaměřených na odlišné problémové oblasti
- **Spolehlivost.** ES vytvořený více experty snadněji řeší konfliktní situace a dilemata
- **Vysvětlení.** ES je schopen exaktně a detailně vysvětlit postup, jakým došel k dané expertíze, a to i v případě použití nepřesné inference

- **Rychlost.** ES může rychleji (i v reálném čase) reagovat na vstupní požadavky, samozřejmě v závislosti na kvalitě použitého hardware a software
- **Stálost.** Časově invariantní, neemotivní a úplná expertíza jako odpověď na stejný problém

1.4 Klasifikace expertních systémů

1.4.1 Klasifikace expertních systémů z hlediska reprezentace znalostí

Expertní systémy lze rozdělovat podle více hledisek. Jedním přirozených dělením je způsob, jakým jsou znalosti reprezentovány v bázi znalostí ES [Gosman, 90; Mařík et al., 97].

- **EXPERTNÍ SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA PRAVIDLECH**

Nejrozšířenějším typem expertních systémů z hlediska reprezentace znalostí jsou ES založené na pravidlech. Báze znalostí je tvořena množinou produkčních pravidel typu

situace → akce

Takovéto pravidlo se interpretuje následujícím způsobem: nastala-li v bázi dat nebo v modelu řešeného případu jistá situace, proved' pravidlem předepsanou akci, kterou se pozměňuje model řešeného případu. Pro využívání pravidel pak existují dvě strategie: strategie přímého řetězení, kdy jsou pravidla užívána k odvozování ve směru od dat k cílům; a strategie zpětného řetězení, kdy jsou pravidla užívána v opačném směru, přičemž se postupuje od cílů, které mají být prokázány, směrem k datům. Řídící mechanismus rozhoduje o tom, které z aplikovatelných pravidel bude přednostně užito.

- **SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA LOGICKÉM PROGRAMOVÁNÍ**

Druhou skupinou expertních systémů z hlediska reprezentace tvoří systémy, založené na logickém programování, které se opírají o vyjádření znalostí ve formě logických formulí a o dokazování pravdivosti systému takových formulí. Takovéto systémy však nejsou k reprezentaci a k využívání neurčitých znalostí příliš vhodné.

- **SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA RÁMCÍCH**

Třetí skupinu pak tvoří systémy, založené na tzv. rámcích, tj. datových strukturách, sdružujících komplexní informaci o objektech, o třídách objektů, o stereotypních situacích apod.

- **CASE-BASED REASONING**

Případové usuzování (*case-based reasoning, CBR*) je založeno na představě, že se expert v neznámé situaci rozhoduje na základě podobnosti

s již dříve řešenými (a vyřešenými) případy a nikoliv na základě soustavy pravidel. Předpokládá se tedy, že co bylo učiněno v jedné situaci, je pravděpodobně vhodné i pro situaci podobnou. Znalosti jsou v systému uloženy v podobě již dříve vyřešených rozhodovacích situací. Jde tedy o databázi, kde každému záznamu odpovídá jeden případ a jednotlivé položky jsou charakteristiky případu, tedy dotazy, které systém klade během konzultace.

1.4.2 Klasifikace expertních systémů z hlediska obecnosti a uzavřenosti

V souvislosti s expertními systémy se obecně užívá členění na:

- **PROBLÉMOVĚ ORIENTOVANÉ SYSTÉMY** – určené použitou reprezentací znalostí a řídicím mechanismem k řešení úloh pouze v jisté problémové oblasti
- **PRÁZDNÉ SYSTÉMY** – problémově nezávislé ES bez báze znalostí
- **OBECNÉ NÁSTROJE** pro tvorbu (prázdných) ES

1.4.3 Klasifikace expertních systémů z hlediska typu řešených úloh

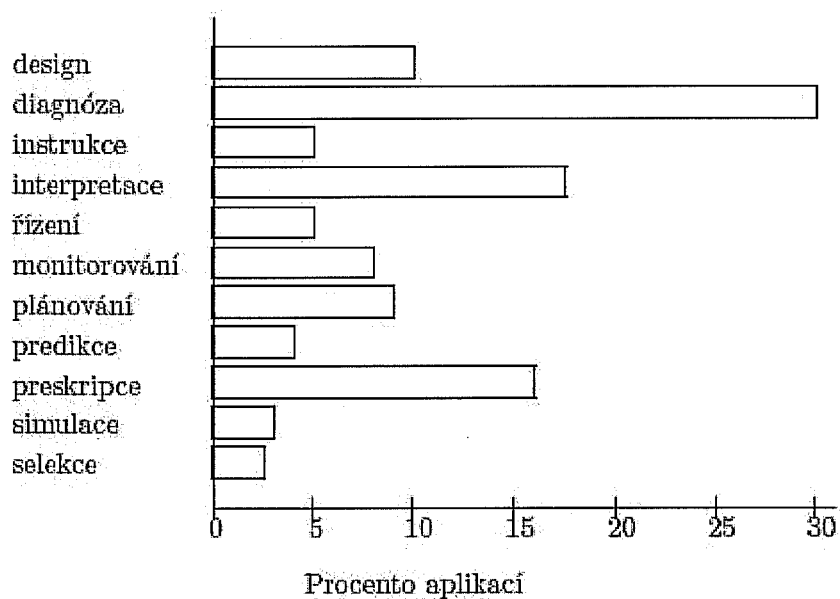
Expertní systémy jsou vhodné pro různé typy úloh. Dle relevantní literatury je lze rozdělit dle typu expertních úloh jako následující [Berka, 98; Provazník, 99, Gosman, 90]:

TYP ÚLOHY	STRUČNÝ POPIS	PŘÍKLAD APLIKACE
DESIGN	Výběr a sestavení komponentů správným způsobem	R1/XCON
DIAGNOSTIKA	Prosté učinění závěrů na základě předložených faktů. Proces nalezení chyb či chybných funkcí systému	MYCIN, INTERNIST
INSTRUKTÁŽ	Inteligentní výuka na základě uživatelských dotazů typu „proč?“, „jak?“, „co když?“	CANCER, ME?
INTERPRETACE	Vysvětlení povahy zjištěných dat	DENDRAL, PROSPECTOR
MONITOROVÁNÍ	Porovnání zjištěných dat s očekávanými. Průběžná interpretace signálů a dat a určení okamžiku, kdy je nutná intervence	VM - systém monitorující v reálném čase pacienta napařeného na „umělé plíce“

PLÁNOVÁNÍ	Navržení posloupnosti akcí k řešení daného problému, k dosažení cíle	MOLGEN - systém pro plánování experimentů v genetice
PROGNOSTIKA	Predikce výsledku dané akce na základě modelu minulosti a současnosti	GLAUCOMA - systém pro predikci vývoje šedého zákalu
ŘÍZENÍ	Řízení procesu	NÉOGANESH - řízení „umělých plic“

(tab. 2 - klasifikace ES dle typu expertních úloh)

Typy expertních úloh



(tab. 3 - poměrné zastoupení aplikací ES [Berka, 98])

Z hlediska oborového využití lze ES rozdělit na následující [Gosman, 90]:

Medicína	MYCIN, GLAUCOMA, PIP, VM, RHEUM, INTERNIST, ONCOCIN, IRIS, PUFF, HEADMED, MEDICO, NEUREX
Technická diagnostika	PDS, REACTOR, DELTA, NPPC
Chemie	DENDRAL, CRYSTALIS, SECS, SYNCHEM, CONGEN, C-13, GA1

Molekulární genetik	MOLGEN
Geologie	PROSPECTOR, LITHO, MUD, DIPMETER ADVISOR, DRILLING ADVISOR
Mechanika	SACON, MECO
Elektrotechnika	EL, ACE, TALIB, CMUDA, DAA, CRIB, DART
Programování a operační systémy	APE, PECOS, PSI, CHI, DEDALOS, NLPQ, LIBRA, PROUST, YES/MVS, TIMM/TUNER
Matematika	SAINT, MACSYMA, AM, ADVISOR
Analýza dat	ASA, RX, REX, CRDS, GQUANT, GSYNTR, CLUST
Lingvistika	LUNAR, MARGIE, SAM, PAM, LIFER, GUS
Analýza zvuk. signálů a řeči	HEARSAY II, SRI/SDC, HWIM, VMT, HARPY, SU/X, SIAP, HASP
CAD/CAM	R1/XCON, CADHELP, EURISCO, IMACS, ISIS
Vyučování	GUIDON, WHY, BLAH, SOPHIE, SCOLAR, WUMPUS, BUGGY, EXCHECK, WEST
Doprava (řízení)	ESTRAC-II
Vojenství	EXPRS, BATTLE, KNOBS, AIRID, DART
Problémově nezávislé ES	EMYCIN, AL/X, CENTAUR, EXPERT, ELITHO, M1 Meta-DENDRAL, OPS, SAGE, FEL-EXPERT, EQUANT
Tvorba bází znalostí	TEIRESIAS, ROGET, OPS5, YASP, ETS, KAS, AGE, SLR+, BC, APES

(tab. 4 - oborové využití ES)

1.5 Vývojové příklady expertních systémů

[Bennett, 78; Gosman, 90; Berka, 98; Provazník, 99; Huntington, 99; www.openclinical.org]

1.5.1 DENDRAL

Úkolem expertního systému DENDRAL (Feigenbaum, 1965) je nabídnout uživateli hypotézy o struktuře vazeb v organické molekule, jsou-li k dispozici údaje spektrogramu, infračerveného nebo ultrafialového spektra, magnetických ozvěn a dalších informací, které jsou chemikovi dostupné. Chemici obvykle separují zkoumané molekuly a ty pak analyzují pomocí hmotového spektrometru. Problémem takové analýzy je, že se nabízí obrovské množství možností, jak by

pro daný spektrogram mohla neznámá molekula vypadat. Nalezení celkové struktury tady znamená prohledávání stromu možností. Ve skutečnosti chemici postupují tak, že se pokoušejí odhadovat možné řešení a to pak konfrontují s daty. Řídí se přitom pravidly typu:

POKUD spektrum molekuly má dva vrcholy pro hmoty x_1 a x_2 takové, že platí

$x_1 + x_2 = \text{molekulová hmotnost} + 28$, A ZÁROVEŇ

$x_1 - 28$ je vysoký vrchol, A ZÁROVEŇ

$x_2 - 28$ je vysoký vrchol, A ZÁROVEŇ

alespoň pro jedno z x_1 a x_2 je vysoký vrchol,

PAK molekula obsahuje ketonovou skupinu

Při testování se vygenerovaný spektrogram porovnává se spektrogramem skutečným. Výše uvedená pravidla umožnila významně zredukovat prostor kombinací (struktur), které přicházejí do úvahy; např. pro Di-n-decyl $C_{20}H_{22}$ DENDRAL zredukoval 11 000 000 možností na 22 366 případů.

1.5.2 ELIZA

Psychoterapeutický systém ELIZA, který byl vytvořen J. Weizenbaumem v roce 1965 jako první vykazoval určité znaky inteligentního chování. Mnoho pacientů, kteří se systémem komunikovali přes terminál bylo přesvědčeno o tom, že hovoří se skutečným psychoterapeutem. Komunikace probíhala např. takto:

Person : Men are all alike.

ELIZA : In what way?

Person : They're always bugging us about something or other.

ELIZA : Can you think of a specific example?

Person : Well, my boyfriend made me come here.

ELIZA : Your boyfriend made you come here?

Person : He says I'm depressed much of the time.

ELIZA : I am sorry to hear that you are depressed.

Person : It's true. I am unhappy.

ELIZA : Do you think coming here will help you not to be unhappy?

Person : I need some help, that much seems certain.

ELIZA : What would it mean to you if you got some help?

Person : Perhaps I could learn to get along with my mother.

ELIZA : Tell me more about your family

Princip, jakým systém pracuje, pak vypadá následovně:

Person : Perhaps I could learn to get along with my mother.

ELIZA : Tell me more about your family

(X me Y)	→	(X you Y)
(I remember X)	→	(Why do you remember X just now?)
(My {family-member} is Y)	→	(Who else in your family is Y?)
(X {family-member} Y)	→	(Tell me more about your family)

ELIZA ovšem není klasický ES se znalostní bází, jeho „intelligence“ je založena pouze na hře se slovy, kdy používá výhradně pravidla pro udržování rozhovoru (jak naznačuje předchozí příklad), ale o tématu rozhovoru nemá žádné znalosti.

1.5.3 PROSPECTOR

Expertní systém PROSPECTOR (geologie) byl navržen v 80. letech pro identifikaci těžebních ložisek ze získaných dat ze vzorků zkušebních vrtů a z pozorování terénu. Samotná analýza vedla k výběru potenciálních těžebních lokalit molybdenu. Pro systém PROSPECTOR bylo provedeno srovnání jeho běhů s usuzováním geologa, který byl zdrojem expertních znalostí. Průměrný rozdíl mezi odhady pořízenými PROSPECTOREM a expertem by 10,3%. PROSPECTOR se proslavil zejména tím, že krátce po svém nasazení „objevil“ ložisko molybdenových rud v hodnotě 100 mil. USD.

Znalosti jsou v systému zakódovány v podobě pravidel; podle typu naleziště je zvolena příslušná báze. Jeho báze (o geologických charakteristikách měděných ložisek) je tvořena 105 pravidly.

1.5.4 R1/XCON

Expertní systém R1/XCON (R1 eXpert CONfigurer) byl vyvinut v roce 1978 na Cagnergie Mellon University pod vedením Johna P. McDermotta pro konfigurování počítačů VAX firmy Digital Equipment Corporation. Východiskem při sestavování konfigurace jsou zákazníkem specifikované požadavky na způsob a oblast využití výpočetního systému. Výsledkem konzultace je nejen sestavení optimální konfigurace, ale i seznam potřebných komponent, návrh rozestavění jednotlivých prvků systému v místnosti a návrh kabeláže.

Systém se dodnes rutinně používá a společnost DEC odhaduje, že jeho provoz ušetří desítky milionů USD ročně.

1.5.5 REACTOR

REACTOR byl vyvinut na počátku 80. let společností EG&G Idaho pro analýzu chování jaderné elektrárny a vyhodnocování havarijních situací. Hlavním úkolem systému je sledovat zařízení elektrárny, zjistit odchylky od normálních provozních podmínek, určit závažnost situace a doporučit vhodné zásahy.

Báze znalostí obsahuje dva typy znalostí. Funkčně orientované znalosti se týkají konfigurace zařízení elektrárny a podílu jednotlivých částí na plnění zadaných funkcí. Případově orientované znalosti, popsané soustavou pravidel, popisují očekávané chování reaktoru v podmínkách poznaných nehod. Pravidla jsou získána analýzou zkušeností s nastalými havarijními stavy, experimentů při testování reaktoru a simulací nehod. Tyto znalosti jsou vhodné pro identifikaci nehody, která odpovídá vzoru některého dříve analyzovaného a ve znalostech popsaného případu. Nastane-li událost, která se neshoduje s žádným ze zachycených vzorů, jsou preferovány funkčně orientované znalosti.

1.5.6 SACON

Cílem konzultace poskytované expertním systémem SACON, vyvinutém v roce 1979 pro obor letecké mechaniky, je identifikace strategie strukturní analýzy vhodné pro konkrétní problém. Systém umožňuje používat složité metodické přístupy i technikovi, který není detailně seznámen se zákony letecké mechaniky.

Báze znalostí se skládá ze tří částí:

- matematické modely pro odhady otřesů a ohybů při daném zatížení
- metody pro stanovení chování podstruktur daného předmětu a další údaje o řešení problému
- pravidla pro odvození strategie analýzy

Znalostní báze obsahuje celkem 170 pravidel a 140 měnících se parametrů. Konzultace se systémem v dialogovém režimu může vypadat takto:

SACON: Jaký je název struktury?

uživatel: Křídlo Boeing 747

SACON: Jaká je přípustná chyba analýzy (v procentech)?

uživatel: 10

SACON: Jaká je konfigurace upevnění křídla?

uživatel: Jednostranná

SACON: Uveďte počet cyklů zatížení, který má být aplikován

uživatel: 20 000

SACON: Jsou podpůrné podmínky struktury nelineární?

uživatel: Ne

Strategie strukturní analýzy navržená na závěr konzultace systémem SACON:

1. modeluj nelineární relaci otřes-napětí materiálu
2. řešení je založeno na spojení Newtonovy a gradientní metody
3. je třeba propočítat nebezpečí kumulativního napětí

1.5.7 Expertní systém Canadian Pacific Railroad

Na počátku 90. let vyvinula společnost Canadian Pacific Railroad expertní systém pro předpovídání poruch komponentů dieselových motorů lokomotiv. Systém je založen na typu a koncentraci kovových nečistot v motorových olejích. Vzorek oleje je tradičně analyzován ve spektrometru a následně vizuálně vyhodnocen expertem. Tato expertní schopnost je natolik složitá a vyžaduje dlouholetou praxi, že ji ovládá jen několik málo specialistů. Expertní systém navržený pro Canadian Pacific Railroad analyzuje data ze spektrometru automaticky, systém jako výstup analýzy poskytuje report možných poškození a přesně zaznamenává, které komponenty motoru vyžadují servis či výměnu.

Systém je dodnes ve společnosti CPR úspěšně používán a dle odhadů ušetřil firmě přes 300,000,000 USD.

1.5.8 FAST

Expertní systém FAST společnosti Financial Proformas Inc., určený ke kreditní analýze potenciálního klienta při žádosti o úvěr je v současné době používán v celé jedné třetině první stovky nejvýznamnějších komerčních bank v USA. Tento systém poskytuje komplexní report o bonitě klienta na bázi historických a analytických nástrojů. Byl vyvinut na počátku 90. let.

Systém FAST poskytuje jako výstup analýzy nejen klasickou interpretaci finanční historie klienta, ale je současně napojen i na textový procesor dané banky a je schopen připravit analytickou zprávu o bonitě v přirozeném anglickém jazyce, což eliminuje zdlouhavou a nudnou práci zaměstnanců bank při přípravě takových reportů.

Znalostní báze FASTu může být přizpůsobena konkrétní kreditní politice banky, lokálním i celosvětovým ekonomickým předpovědím a předpovědím výše regulace kreditních úroků. Vysvětlovací modul (viz dále) velmi přesně interpretuje vztahy mezi jednotlivými analyzovanými faktory, proto je v bankách používán i jako tréninkový program pro méně zkušené úředníky.

1.6 Součásti expertního systému

Expertní systém se skládá z následujících součástí [Provazník, 99]:

UŽIVATELSKÝ INTERFACE - modul zajišťující komunikaci s uživatelem

VYSVĚTLOVACÍ MODUL - popisuje a vysvětluje postup usuzování uživateli

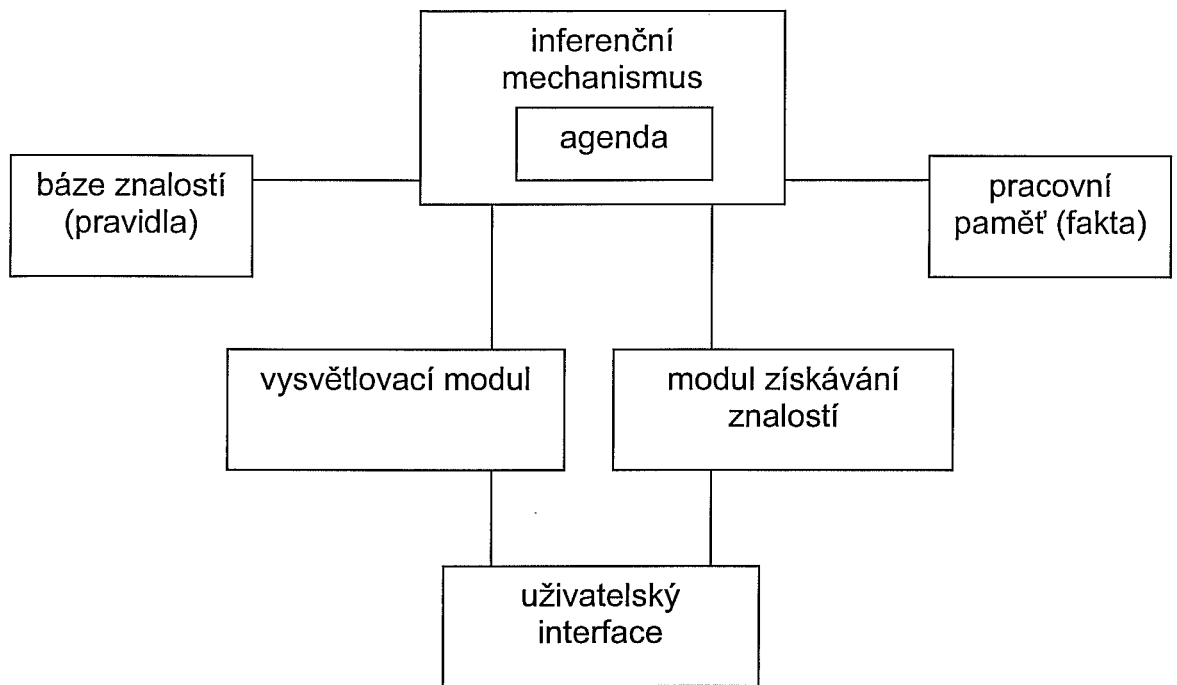
MODUL ZÍSKÁVÁNÍ ZNALOSTÍ - modul pro vkládání nových znalostí do ES

PRACOVNÍ PAMĚŤ - databáze faktů používaných pravidly

INFERENČNÍ MECHANISMUS - mechanismus provádějící inferenci (usuzování), vytváří prioritní seznam pravidel, aplikuje pravidla podle seznamu a rozhoduje, která pravidla jsou splněna předloženými fakta

AGENDA - seznam pravidel s přiřazenou prioritou vytvořený inferenčním mechanismem

BÁZE ZNALOSTÍ - databáze pravidel



(obr. 3 - organizace částí ES)

1.7 Principy expertních systémů

Za charakteristické rysy expertních systémů se považuje [Berka, 98]:

- oddělení znalostí a mechanismu pro jejich využívání

Znalosti experta jsou uloženy v bázi znalostí odděleně od inferenčního mechanismu. To umožňuje vytvářet problémově nezávislé (prázdné) expertní systém, kde jeden inferenční mechanismus může pracovat s různými bázemi znalostí.

- neurčitost v bázi znalostí

V bázi znalostí jsou uloženy nejen exaktně dokázané znalosti, ale i nejrůznější heuristiky, které se např. expertovi osvědčily při rozhodování za dlouhou dobu jeho praxe. Zde se objevují pojmy jako „často“, „většinou“, které je potřeba kvantifikovat (např. ve škále od „určitě ano“ přes „nevím“ až po „určitě ne“). Takovou znalostí s neurčitostí může například být „jestliže má pacient teplotu, obvykle je mu předepsán acylpyrin“; pacient totiž „často“ má teplotu v důsledku chřipky, ale „někdy“ může mít teplotu v důsledku póurazového šoku.

- neurčitost v datech

Konkrétní data o daném případě bývají zatížena neurčitostí způsobenou nepřesně určenými hodnotami nebo subjektivním pohledem uživatele

(odpovědi na jistotu míry v nějakém tvrzení). Může to být odpověď „snad ano“ na dotaz, zda má pacient teplotu.

- dialogový režim

Expertní systémy jsou nejčastěji konstruovány jako tzv. konzultační systémy. Uživatel komunikuje se systémem způsobem „dotaz systému - odpověď uživatele“ obdobně, jako s lidským expertem. Tento systém práce byl do značné míry usnadněn nástupem osobních počítačů a s tím souvisejícím přechodem od dávkového zpracování na sálech výpočetních středisek k interaktivnímu zpracování přímo na psacím stole uživatele.

- vysvětlovací činnost

Aby se zvýšila důvěra uživatele v závěry a doporučení expertního systému, měl by systém poskytovat vysvětlení svého uvažování. Obvykle systém vysvětluje právě položený dotaz, znalosti relevantní k nějakému tvrzení, právě zkoumanou cílovou hypotézu, právě probíhající odvozování.

- modularita a transparentnost báze znalostí

Pro účinnost expertního systému je rozhodující kvalita báze znalostí, Modularita umožňuje snadnou aktualizaci báze znalostí, transparentnost umožňuje její snadnou čitelnost a srozumitelnost a kontrolu. Samotné vytváření báze znalostí probíhá kontinuálně při opakovaných konzultacích experta z dané problémové oblasti s odborníkem na tvorbu bází, tzv. znalostním inženýrem, kdy je báze postupně „laděna“, až chování systému odpovídá představám experta.

Výše uvedené rysy odpovídají typickým expertním systémům. Některé systémy mohou pracovat v on-line režimu (bez dialogu s uživatelem), jiné nemusejí využívat neurčitost. Nejpodstatnější charakteristikou je tedy oddělení báze znalostí a inferenčního mechanismu.

1.8 Reprezentace znalostí

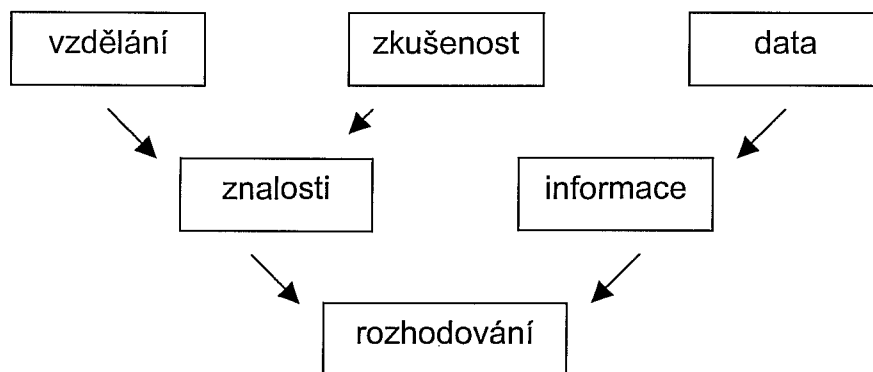
Pro reprezentaci znalostí je v umělé inteligenci používána řada technik – produkční pravidla, rámce, sémantické sítě a další. K jejich pochopení je však nutné co nejpřesněji definovat termín „znalost“.

1.8.1 Pojem znalosti

[dle Berka, 98; Provazník, 99]

Wiederhold [Wiederhold, 86] definuje znalosti a data z hlediska informačních systémů jako komplementární pojmy. Vychází z rozboru rozhodovacího procesu, v němž expert vybavený znalostmi zvažuje data relevantní pro daný problém a činí rozhodnutí. Znalosti získal expert vzděláním a zkušeností. Vybraná (tj. relevantní) data představují informace o konkrétní situaci či případu.

Funkci znalostí a dat v procesu rozhodování zobrazuje schéma [Berka, 98]:



(obr. 4 – data a znalosti)

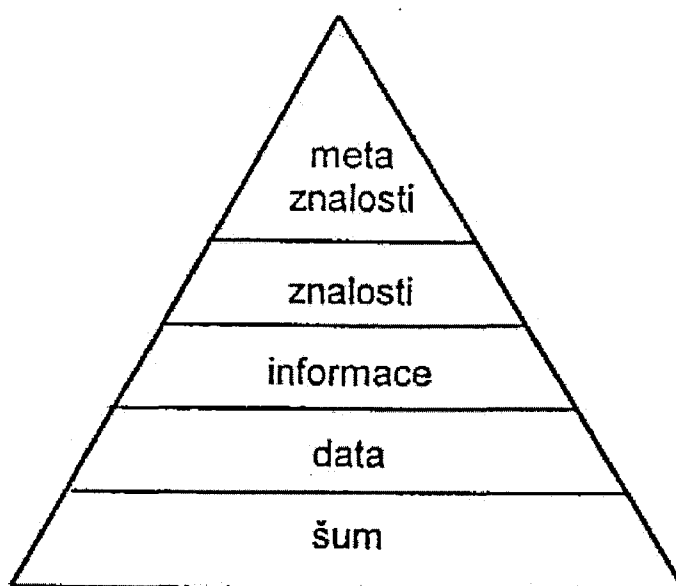
Rozlišení dat a znalostí je podle Wiederholda následující:

- jestliže se můžeme spolehnout při sběru materiálu na automatický proces nebo úředníka, hovoříme o *datech*. Správnost dat vzhledem k reálnému světu může být objektivně verifikována srovnáním s jeho opakovaným pozorováním. Případně, jestliže se stav světa změní, musíme se spolehnout na předchozí pozorování.
- jestliže hledáme experta, který by poskytl materiál, potom hovoříme o *znalostech*. Znalosti obsahují abstrakce a generalizace objemného materiálu. Obvykle jsou méně přesné a nemohou být objektivně verifikovány. Mnohé definice, nutné k organizaci systému, jsou také znalostmi; od expertů očekáváme definice, které jsou důležitými stavebními kameny pro další abstrakce, kategorizace a generalizace.

Data odrážejí současný stav světa na úrovni instancí, takže obsahují mnoho detailů, jsou objemná a často se rychle mění. Znalosti se tak často nemění. Pojednávají o generalizacích, o obecných zákonitostech. Rozdíl mezi daty a znalostmi se jeví podstatný v úvahách o aktualizaci, chybách v datech a nejistotě znalostí. Aplikace na podporu řízení a plánování budou záviset zejména na znalostech adekvátních pro rozhodovací postup a výjimky v datech budou spíše ignorovat.

Nově získaná data mohou být v rozporu s existujícími znalostmi. Ve velkých databázích se vždy vyskytují chybné údaje, data, která jsou v rozporu se znalostmi, nemusí ihned vést k revizi znalostí. Jsou-li znalosti vybaveny faktory nejistoty, je třeba spíše tyto faktory za pomoci automatické učící se procedury aktualizovat. Někdy konflikt mezi znalostmi a daty ukazuje na neúplnost báze znalostí a lze jej vyřešit doplněním dalších znalostí, které pokrývají nové případy.

V expertních systémech zaujímají znalosti jednu z nejvyšších hierarchických pozic (viz obr. 5).



(obr. 5 - znalostní hierarchie [Provazník, 99])

Ve znalostní hierarchii zaujímá nejnižší pozici *šum* obsahující znalostní položky bez významu pro uživatele (nebo systém). Na vyšší úrovni jsou *data*, položky potenciálního významu, avšak skrytá nebo i částečně znehodnocená nedůležitým šumem. Zpracovaná data se nazývají *informace*, které již obsahují oddělené významné položky. *Znalosti* jsou pak specializované informace, tzn. informace zaměřené na určitou oblast (souvisí s určením expertního systému). *Metaznalosti* jsou znalosti o znalostech a expertizách. V multiznalostním ES (ES určený pro více specializovaných oblastí) mohou být metaznalosti použity k rozlišení, které znalosti budou k řešení daného problému použity. Ve filozofickém smyslu je na vrcholu znalostní pyramidy *moudrost*. Moudrost je metaznalost určení optimálního cíle a optimální cesty pro život člověka.

Studiem znalostí se zabývá epistemologie. Znalosti mohou být podle epistemologie klasifikovány jako *procedurální*, *deklarativní* a *tacitní*. Procedurální znalosti obvykle popisují postup. Deklarativní znalosti popisují pravdivost nějakého faktu. To je spojeno s deklarativními výroky – deklaracemi. Tacitní znalosti jsou někdy nazývány *nevyslovenými znalostmi*, protože nemohou být popsány jazykem.

1.8.2 Prostředky reprezentace znalostí

[Berka, 98; Provazník, 99; Drozdová, 91]

(a) PRAVIDLA

Pravidla představují nejpoužívanější prostředek pro reprezentaci znalostí v ES. Pravidla struktury IF - THEN jsou dobře známa z programovacích jazyků, sémantika pravidel vychází z implikací ve výrokové logice. Pravidla mohou být chápána dvojím způsobem: *procedurálně* nebo *deklarativně*:

- (1) *jestliže situace pak akce*
- (2) *jestliže předpoklad pak závěr*

První (procedurální) interpretace je běžná v generativních ES; nastala-li příslušná situace, systém provede danou akci. Druhá interpretace (deklarativní) odpovídá diagnostickým ES; je-li splněn příslušný předpoklad, systém odvodí daný závěr. Deklarativní interpretace je vlastně speciálním případem interpretace první, provádí se jediná standardní akce - odvození závěru¹. Jako příklad využití pravidel je vhodné uvést příklad ze systému MYCIN:

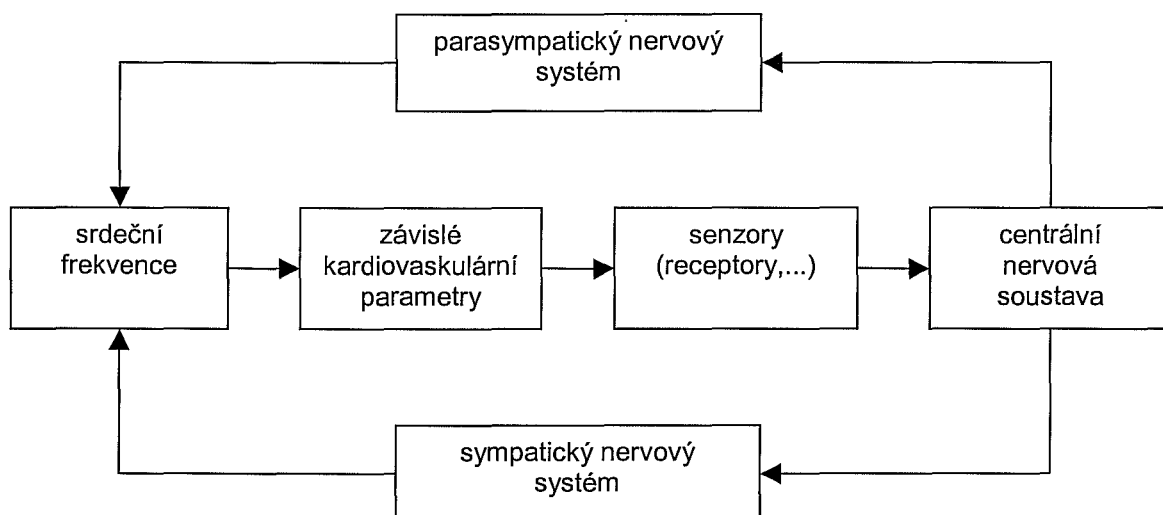
```
IF
    the site of the culture is blood; AND
    the identity of the organism is not known with
    certainty; AND
    the stain of the organism is gramneg; AND
    the morphology of the organism is rod; AND
    the patient has been seriously burned
THEN
    there is a weekly suggestive evidence (0.4) that
    the identity of the organism is pseudomonas
```

IF - THEN struktura může být rozšířena do podoby IF - THEN - ELSE. Toto rozšíření slouží především pro zvýšení pohodlí uživatele při tvorbě báze.

(b) SÉMANTICKÉ SÍŤE

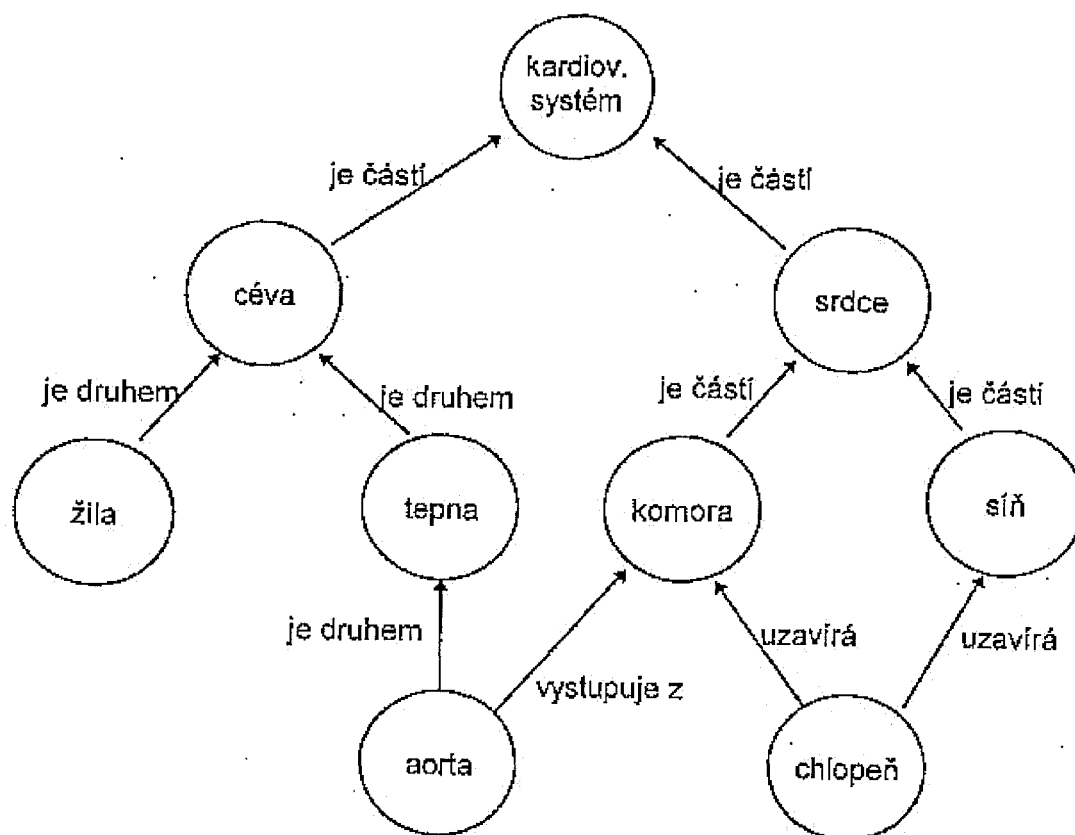
Sémantické sítě byly vyvinuty na počátku 60. let k reprezentaci anglických slov v systémech porozumění přirozeného jazyka. Sítě jsou tvořeny orientovanými grafy s uzly představujícími koncepty (objekty). Uzly mohou být propojené spojeními (hranami), představujícími relace (závislosti). Příkladem sémantické sítě je graf představující model kardiovaskulárního regulačního mechanismu člověka (viz obr. 6). Tato obecná síť obsahuje uzly představující jednotlivé části kardiovaskulárního systému i jeho parametry. Relace pak ukazují, jakým směrem dochází k ovlivňování ostatních částí daným uzlem. Konkrétně, centrální nervová soustava (CNS) ovlivňuje parasympatický i sympatický nervový systém, ty pak řídí srdeční frekvenci, ta nepřímo určuje závislé kardiovaskulární parametry, a ty, vnímány senzory, ovlivňují činnost CNS.

¹ V obou případech se někdy hovoří o *produkčních pravidlech* a tedy i o *produkčních systémech*



(obr. 6 - obecná síť)

Nejvýznamnějšími relacemi používanými pro vyjádření znalostí v ES jsou relace typu „is a“ („je“), „is a kind of“ („je druhem“) a „is a part of“ („je částí“), označované zkráceně ISA, AKO a ISPART. Jiné relace jsou samozřejmě povoleny, např. „má barvu“ atd. Příklad sémantické sítě používající relace „je druhem“, „je částí“, „vystupuje z“ a „uzavírá“ je na obr. 7.



(obr. 7 - sémantická síť [Provazník, 99])

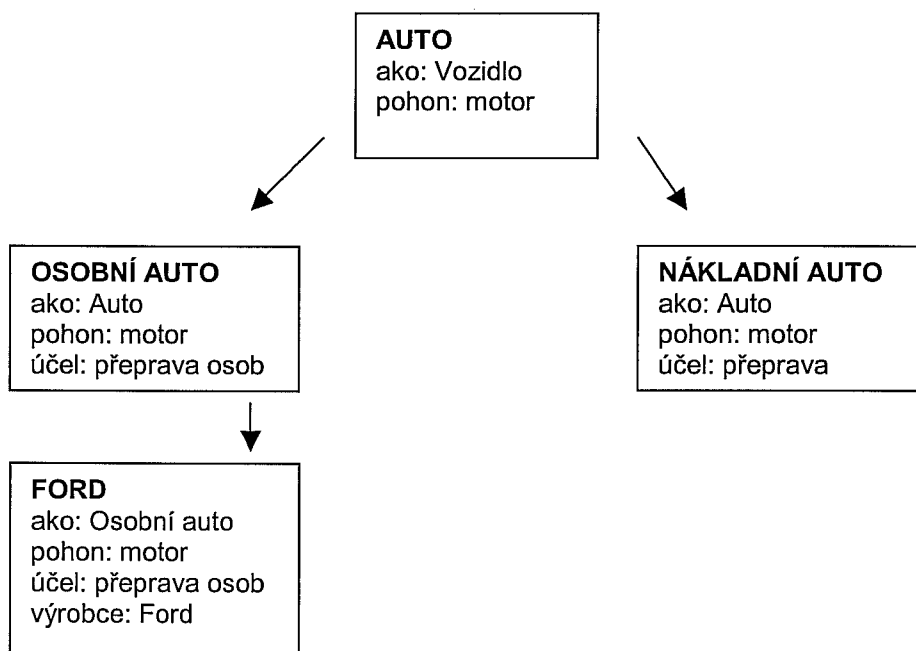
(c) PREDIKÁTOVÁ LOGIKA

Predikátová logika je jedním z nejlépe prozkoumaných systémů pro reprezentaci a zpracovávání znalostí. Ačkoli původně navržena pro studium relace logického důsledku, stala se predikátová logika prototypem schémat pro reprezentaci znalostí. Jde o velmi univerzální prostředek, umožňující analyzovat jazykové výrazy nezbytné právě pro reprezentaci znalostí v mnoha na první pohled odlišných tematických oblastech. Navíc se tento prostředek reprezentace ukázal jako výhodný pro studium odvoditelnosti (inference) mezi tvrzeními, což je patrně nejvýznamnějším příspěvkem predikátové logiky pro porozumění výpočtových problémů soudobé informatiky.

(d) RÁMCE

Rámce byly navrženy v polovině 70. let Marvinem Minským z MIT jako prostředek pro reprezentaci znalostí. Rámce v původní představě měly umožňovat reprezentaci stereotypních situací. Práce s rámci měla být založena na postupném vyplňování stránek, do kterých se zapisují hodnoty položek (vlastností). Přitom se hojně využívá předdefinovaných hodnot.

Rámce dobře umožňují vyjádřit statické znalosti, tedy nějakou hierarchii pojmů (za použití položek AKO) nebo dekompozici (za použití položek ISPART). Vazba mezi rámci se dá (podobně jako u sémantických sítí) znázornit grafem. Příklad hierarchie rámců je na obr. 8. Na rozdíl od sémantických sítí mají uzly v grafu rámce vnitřní strukturu.



(obr 8. - rámce [Berka, 98])

Rámce jsou již nějakou dobu užívány v programovacích jazycích. Zde se pro ně používá název *objekty*, příslušný styl programování pak *objektově orientované programování*.

1.8.3 Pomocné logické prostředky reprezentace znalostí

Kromě výše popsaných způsobů reprezentace znalostí se v mnoha systémech používají i další (pomocné) možnosti jak zachytit vazby mezi prvky báze znalostí. Jsou to:

- KONTEXTY
- IMPLIKACE
- INTEGRITNÍ OMEZENÍ

Kontexty (kontextové vazby) popisují situace, kdy to, zda se bude vyhodnocovat nějaké tvrzení závisí na tom, že jiné tvrzení již bylo vyhodnoceno. Příkladem kontextové vazby je, že u pacienta má smysl zjišťovat graviditu pouze v případě, že pacient je žena. Navenek se použití kontextů jeví jako „inteligentnější“ způsob kladení dotazů systémem v průběhu konzultace.

Implikace vyjadřují logické vazby mezi tvrzeními, které mají platit bez ohledu na konzultaci pro daný případ. Po skončení inference v síti pravidel jsou implikace použity ke korekci odvozených vah.

Integritní omezení podobně jako implikace vyjadřují vazby mezi tvrzeními; na rozdíl od implikací se nepodílí na odvozování, slouží jen jako jakási kontrola, že doporučený závěr vyhovuje dalším požadavkům.

1.9 Inferenční mechanismus

[Berka, 98; Provazník, 99; Jackson, 94]

Inferenční mechanismus je nástroj strojového usuzování - řešení problémů počítačem. Umožňuje nasazení i v případě, kdy není k dispozici odpovídající algoritmus nebo algoritmické řešení neexistuje. Jeho produktem jsou expertízy - nové znalosti. Inferenční mechanismus je vlastním výkonným nástrojem ES a jeho činnost spoluurčuje efektivnost a spolehlivost ES (ta je samozřejmě dána také kvalitou báze znalostí).

Berka [Berka, 98] uvádí následující typy inference:

- DEDUKCE. Logické usuzování při kterém musí závěr plynout z předpokladů (modus ponens, modus tollens)
- INDUKCE. Zobecnění speciálních případů
- ABDUKCE. Usuzování z pravdivého závěru na předpoklady, které mohly tento závěr způsobit
- HEURISTIKY. Pravidla „vycucaná z prstu“, založená na zkušenosti
- ANALOGIE. Odvození závěru na základě podobnosti s jinou situací
- DEFAULTY. Pokud nejsou k dispozici speciální znalosti, uvažuje se na základě obecných znalostí

- NEMONOTÓNŇÍ USUZOVÁNÍ. Předcházející znalosti se mohou revidovat na základě nových poznatků
- GENEROVÁNÍ A TESTOVÁNÍ. Metoda pokusů a omylů

Většina uvedených způsobů odvozování nachází své uplatnění v expertních systémech.

První tři typy (*dedukce, indukce, abdukce*) vycházejí z výrokové logiky z pojmu implikace.

Heuristiky je označení pro znalosti používané v expertních systémech. Jde o znalosti založené na zkušenostech experta, na zobecnění situací, ve kterých se expert rozhodoval.

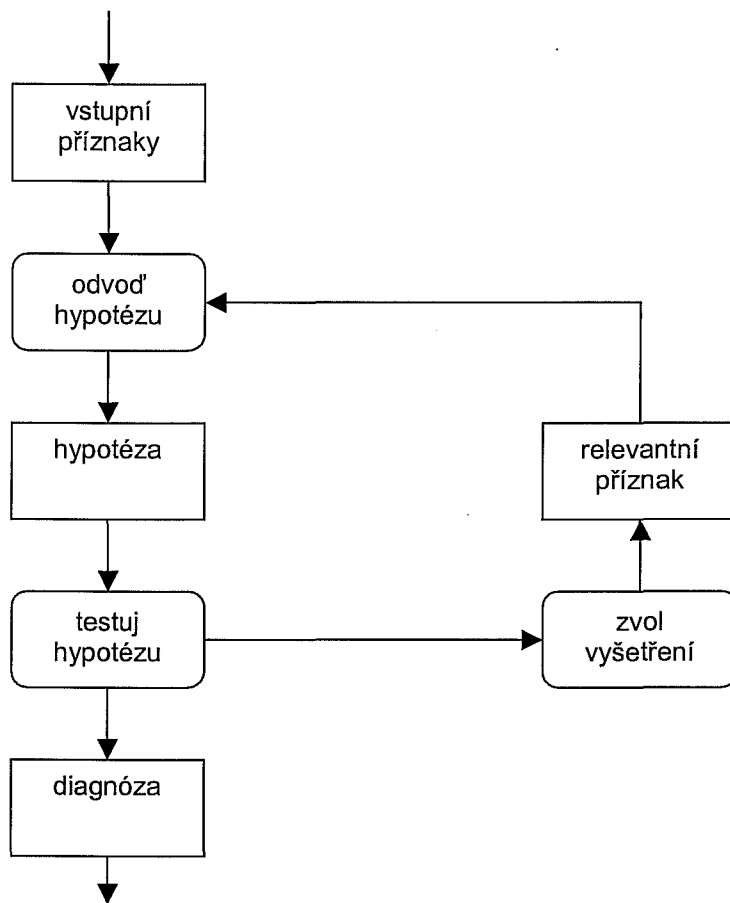
Analogie se používá např. při *případovém usuzování*. Místo aby znalosti měly podobu pravidel získaných od experta, jsou tvořeny souborem dříve vyřešených případů. Má-li systém poskytnout doporučení při nové konzultaci, hledá v databázi případů případ, který je nové situaci nejpodobnější. Doporučení, které v minulosti fungovalo, se pak aplikuje i pro nový případ.

Usuzování za použití *defaultů* bývá doplněním usuzování na základě pravidel. Není-li při dané konzultaci aplikovatelné žádné pravidlo, doporučení se odvodí z defaultů. Tak lze např. v naší zeměpisné šířce předpokládat, že chřipka je častější choroba než malárie.

Nemonotónní usuzování je založeno na skutečnosti, že předcházející znalosti mohou přestat platit, dozvíme-li se další informace.

Při *generování a testování* se opakovaně generuje možné řešení a testuje se, zda vyhovuje všem požadavkům. V případě, že nalezneme vyhovující řešení, cyklus končí.

Při popisu práce inferenčního mechanismu můžeme vyjít z obecného schématu diagnostické úlohy, uvedeného na obr. 9 [Berka, 98]. Použité znalosti předpokládají, že každý příznak (nebo požadavek na charakteristiku konzultovaného případu) je svázán s nějakou diagnózou. Určení diagnózy začíná specifikováním hlavních obtíží. Tyto obtíže umožní formulovat počáteční hypotézu o možných diagnózách. Na základě příznaků relevantních k jednotlivým možným diagnózám se pak zjišťuje, které diagnózy přicházejí v úvahu pro řešený problém (postupně se zpřesňuje počáteční hodnota).



(obr. 9 - inference v diagnostickém systému)

Cílem konzultace v diagnostickém expertním systému je za základě příznaků odvodit, zda je splněna cílová hypotéza. Jsou dva základní způsoby, jak může ES postupovat při odvozování: **zpětné řetězení** a **přímé řetězení**.

1.9.1 Zpětné řetězení

Zpětné řetězení je typický způsob práce inferenčního mechanismu v diagnostických ES. Vychází z toho, že máme odvodit nějaký cíl (např. zda poskytnout úvěr). V bázi znalostí existují pravidla, která mají tento cíl ve svém závěru (IF rozumný záměr AND seriózní klient THEN půjčit). Tato pravidla se pokoušíme aplikovat za použití dedukce. Abychom zjistili, zda je pravidlo aplikovatelné, musíme vědět, zda platí jeho předpoklad. Pokud je v předpokladu dotaz (rozumný záměr?), lze se na jeho pravdivost zeptat uživatele. Pokud je v předpokladu mezilehlý výrok (seriózní klient?), musíme ho odvodit (podobně jako cíl) z pravidel, která k němu vedou (IF NOT podvodník AND záruka splacení THEN seriózní klient).

Procházíme tedy bází znalostí *zpětně* od cíle k dotazům (od závěrů pravidel k předpokladům). Pravidla se pak aplikují přímo; z platného pravidla a předpokladu se odvodí závěr. Zpětné řetězení je tak analogické s prohledáváním stavového prostoru do hloubky.

1.9.2 Přímé řetězení

Při přímém řetězení vycházíme z faktů, které jsou splněny a pokoušíme se nalézt aplikovatelná pravidla. Z aplikovatelných pravidel lze odvodit nějaký závěr, to umožní nalézt další aplikovatelná pravidla a v odvozování lze pokračovat. Podobně jako u zpětného řetězení, i zde lze využívat priority pravidel. Přímé řetězení v čisté podobě znamená, že systém se už uživatele na nic neptá; všechny odpovědi musí být zadány před začátkem konzultace. Je zde analogie s prohledáváním stavového prostoru do šířky.

Srovnání obou způsobů řetězení je naznačeno v následující tabulce [Provazník, 99]:

zpětné řetězení	přímé řetězení
diagnostika	plánování, monitorování, řízení
od budoucnosti k přítomnosti	od přítomnosti k budoucnosti
od následujícího k předcházejícímu	od předcházejícího k následujícímu
řízení cílem, usuzování shora dolů	řízení daty, usuzování zdola nahoru
postup zpět k nalezení faktů, které podporují hypotézu	postup dopředu k nalezení řešení plynoucího z faktů
užití hledání do hloubky	užití hledání do šířky

(tab. 5 - charakteristiky zpětného a přímého řetězení)

1.10 Neurčitost v expertních systémech

[Berka, 98; Provazník, 99; Drozdová, 91]

Většina našich znalostí o reálném světě je zatížena (ve větší či menší míře) neurčitostí. Na druhou stranu, schopnost rozhodovat se i v situacích, kdy nejsou všechny informace dostupné, je běžnou vlastností lidského rozumu. Vzhledem k těmto skutečnostem je zřejmé, že tuto schopnost bylo nutno přenést i do expertních systémů.

Neurčitost je v ES definována jako nedostatek příslušné informace nutné k jednoznačné a správné inferenci (a tím i k vytvoření správné expertízy). Pro práci s neurčitostí existuje řada teorií, jako jsou

- klasická pravděpodobnost
- bayesovská pravděpodobnost
- Dempster-Schaferova teorie
- fuzzy teorie
- míra důvěry

Dříve popsaná deduktivní metoda je nazývána *přesným usuzováním*, protože pracuje s přesně definovanými fakta a výroky. Výrok je jednoznačně dán premisami. V případě vložení nepřesných faktů však roste počet možných řešení a

výběr nejlepšího z nich se stává významnou otázkou. Řada aplikací ES může být řešena s pomocí přesného usuzování (inference), mnoho dalších však vyžaduje nepřesné usuzování na základě neurčitých faktů nebo pravidel.

Omezíme se na expertní systémy založené na pravidlech typu

IF předpoklad THEN závěr s váhou W

kde W je číselné ohodnocení určující subjektivní míru důvěry experta v dané pravidlo. Pravidlo chápeme způsobem „je-li splnění předpokladu naprosto jisté, akceptuj závěr s váhou W “.

Závěr jednoho pravidla může být předpokladem jiného pravidla. Pokud je vyhodnocení závěru zatíženo nejistotou, vnáší se tato nejistota i do dalšího pravidla, ve kterém tento závěr vystupuje v předpokladu. Dochází tedy k šíření nejistoty v inferenční síti.

V řídicím mechanismu musí být tudíž vyřešeny následující základní problémy:

- jak určit výslednou míru důvěry předpokladu, je-li tento předpoklad tvořen logickou funkcí (konjunkcí, disjunkcí, negací) podmínek
- jak určit míru důvěry závěru, známe-li míru důvěry předpokladu a míru důvěry pravidla
- jak určit míru důvěry závěru, který byl odvozen na základě předpokladů několika různých pravidel

Jinak řečeno, při každé aplikaci expertního systému je třeba odvodit „celkovou váhu“, neboli hodnotu vyjadřující platnost dosaženého výsledku. A právě na způsobu, jakým je odvozována celková váha, silně závisí funkce a spolehlivost systému. Obvykle je odvozování založeno na nějakém způsobu skládání vah, které byly přiřazeny pravidlům. Vychází se z teorie pravděpodobnosti nebo z teorie fuzzy množin.

Při skládání vah se převážně používají přístupy **extenzionální** (kdy váha závěru je určena vahami všech bezprostředních předpokladů), které jsou jednoduché a snadno implementovatelné.

Existují i přístupy **intenzionální** (pravděpodobnostní), které jsou teoreticky správné, ale výpočtově nesmírně složité. Nadějným východiskem se v současné době zdají být tzv. Bayesovské sítě.

1.11 Uživatelský interface

Uživatelský interface je někdy nazýván „komunikační modul“. Zajišťuje komunikaci uživatele se systémem v průběhu konzultace; volbu cílů, zadávání odpovědí, zobrazování výsledků, práci s vysvětlovacím modulem.

1.12 Vysvětlovací modul

Vysvětlovací modul zajišťuje uživateli systému možnost požádat o vysvětlení a zdůvodnění výsledků řešení. Jsou dva dobré důvody, proč vybavit ES vysvětlovací schopností, která by zprůhlednila činnost systému [Berka, 98]:

- uživatel získá jistotu, že způsob usuzování systému je v zásadě v pořádku a že nabízená řešení jsou akceptovatelná
- tvůrce aplikace se může přesvědčit, že implementované znalosti (a jejich využívání) odpovídá představám experta

Vysvětlování tedy nesouvisí bezprostředně s odvozováním závěrů nebo generováním řešení, nicméně je považováno za jeden z charakteristických rysů expertních systémů. U diagnostických ES typicky nacházíme vysvětlení:

- WHY – proč systém klade svůj dotaz
- HOW – jak systém dospěl ke svým závěrům
- WHAT IF – jak by systém reagoval na změnu některé odpovědi

Některé systémy bývají vybaveny možností trasování průběhu konzultace (zaznamenává se pořadí kladených dotazů a aktivovaných pravidel). Rozbor takové trasy lze pak rovněž použít pro pochopení práce systému. Trasování je užitečný pomocník především v průběhu ladění báze znalostí.

2. EXPERTNÍ SYSTÉMY V MEDICÍNĚ

[Coiera, 03; www.openclinical.org]

Od počátků vývoje počítačů snili vědci o vytvoření „elektronického mozku“. Z mnohých odvětví moderní vědy se právě snaha o stvoření umělé inteligence stala jednou z nejambicióznějších, ale také jednou z nejkontroverznějších.

Je možno říci, že lékaři spolu s vědci si jako jedni z prvních uvědomili, jaký potenciál by mohlo mít využití prostředků umělé inteligence v medicíně [viz. Ledley a Lusted, 59]. Do expertních systémů byla vkládána velká naděje, především do diagnostických aplikací. Od počátků vývoje umělé inteligence tedy hovoříme i o užším vědním oboru, a to o „umělé inteligenci v medicíně“ (Artificial Intelligence in Medicine, AIM). Počáteční vize byla taková, že AI přinese do medicíny „revoluci“ a posune hranice technologií.

Většina výzkumu AIM probíhala v USA na univerzitách (MIT, Stanford, Pittsburgh) a přilákala v té době množství špičkových odborníků v počítačové vědě. V roce 1984 přišli Clancey a Shortliffe s definicí AIM:

Umělá inteligence v medicíně se zabývá tvorbou AI programů, které slouží k diagnóze a doporučují postupy terapie. Na rozdíl od medicínských programů založených na čistě statistických nebo pravděpodobnostních programovacích metodách jsou systémy AIM založeny na symbolických modelech nemocí a vztahů k jejich klinickým projevům a k pacientovi.

2.1 Historicky významné medicínské expertní systémy

AAPHelp: de Dombal's system for acute abdominal pain (1972)

Jeden z prvních pokusů o aplikaci AI v medicíně a využití automatického usuzování společně s implementací neurčitosti. De Dombalův systém, vyvinutý na univerzitě v Leeds (Velká Británie), pracoval jako podpůrný nástroj při stanovení diagnózy akutní abdominální bolesti a v závislosti na výsledku vyšetření k doporučení vhodné chirurgické metody. Inference systému byla založena na bayesovských sítích. Podle provedené klinické studie byla úspěšnost systému při stanovení správné diagnózy 91,8%, na rozdíl od necelých 80% úspěšnosti ošetřujících lékařů [de Dombal, 72].

INTERNIST (1974)

Expertní systém INTERNIST byl vyvinut v roce 1974 na univerzitě v Pittsburghu (USA) pro komplexní diagnostiku v interní medicíně. Systém byl založen na klasických IF-THEN pravidlech. Při usuzování systém vyhodnocuje klinické příznaky pacienta a poskytuje seřazený seznam možných diagnóz. Znalostní báze systému INTERNIST byla považována za výjimečně kvalitní a stala se základem pro další expertní systémy (CADUCEUS, QMR)

MYCIN (1976)

Expertní systém MYCIN, jeden z historicky nejslavnějších ES vůbec, byl vyvíjen v polovině 70. let týmem Teda Shortliffa na Stanfordské univerzitě (USA). Byl určen pro diagnostiku a doporučení léčby pro krevní infekce, zpočátku pro bakteriemii a meningitidu, později byl jeho rozsah rozšířen na další infekční choroby. Technicky systém používal pravidla IF-THEN a zpětné řetězení. Historický význam MYCINU dokumentuje Mark Musen: „(MYCIN byl) první skutečná demonstrace síly IF-THEN technologie při vývoji komplexních diagnostických expertních systémů“ [Musen, 99]

Z technologie systému MYCIN byl v roce 1980 derivován prázdný expertní systém EMYCIN (Essential MYCIN), který byl použit jako nástroj při tvorbě dalších expertních systémů, jako např. PUFF (viz dále).

2.2 Aplikace expertních systémů v medicíně

Expertní systémy jsou nejběžnějším typem systémů AIM v rutinní klinické praxi. Obsahují bázi medicínských znalostí, obvykle velmi úzce specializovaných a jsou schopny usuzovat ze vstupních dat individuálních případů. Nejčastější technologií ES v medicínské oblasti jsou systémy založené na pravidlech.

Expertní systémy mohou být aplikovány v mnoha oblastech medicíny. Základní typy aplikací jsou:

- **MONITOROVÁNÍ PROCESŮ.** V případě monitorování procesů odehrávajících se v reálném čase ES napojený např. na monitorovací zařízení pacienta „sleduje“ změny, ty vyhodnocuje a v případě potřeby upozorňuje lékaře/obsahu o změnách a jejich možných příčinách
- **DIAGNÓZA.** Expertní systém slouží jako pomocník při diagnóze, kde může asistovat např. méně zkušenému lékaři nebo na základě vstupních dat upozorňuje na možný výskyt vzácné choroby apod.
- **NÁVRH TERAPIE.** Systém může vyhodnotit navrhovaný postup terapie, nabídnout jiná řešení, případně navrhnout komplexní plán terapie
- **INTERPRETACE DAT.** Výstupy z různých vyšetření (obrázky z rentgenu, CT, NMR, data z EKG, EEG apod.) mohou být expertním systémem automaticky vyhodnoceny. Zároveň se hojně používají pro interpretaci laboratorních dat

Následující přehled byl zpracován podle internetového serveru www.openclinical.org s využitím publikace [Coiera, 03].

2.3 Systémy akutní péče

ACORN (Admit to the Ccu OR Not)

STRUČNÝ POPIS	Hybridní systém založený na pravidlech pro příjem pacientů na koronární jednotce
MÍSTO	Accident and Emergency Department Westminster Hospital, London, Velká Británie
ROK SPUŠTĚNÍ	1987
SOUČASNÝ STAV	odstaven 1990
POPIS	Opakované kontroly na koronární jednotce odhalily, že celých 38% přijímaných pacientů s akutní ischemickou chorobou srdeční je odesláno omylem domů. Proto byl vyvinut tento expertní systém (založený na pravidlech, bayesovské pravděpodobnosti a zpětném řetězení), především pro asistenci vrchním sestřám při rozhodování o tom, zda pacienta přijmout či ne. Při zkušebním zavedení ACORNU klesnul počet špatně zhodnocených případů na 20%.
REFERENCE	Wyatt J. "The evaluation of clinical decision aids: a discussion of methodology used in the ACORN project", Lecture Notes in Medical Informatics 1987; 33: 15- 24.

Wyatt J (1989). Lessons learned from the field trial of ACORN, an expert system to advise on chest pain. In: Barber B, Cao D, Qin D, eds. Proc. Sixth World Conference on Medical Informatics, Singapore. Amsterdam: North Holland 1989: 111-115.

NéoGanesh

STRUČNÝ POPIS	Znalostní systém pro řízení umělé ventilace (umělých plic) na jednotkách intenzivní péče
MÍSTO	Hospital Henri Mondor, Créteil, Francie
ROK SPUŠTĚNÍ	1992
SOUČASNÝ STAV	používán (resp. jeho pokročilejší verze Automedon)
POPIS	Systém NéoGanesh je uzavřený expertní systém pro řízení systému umělé ventilace na jednotkách intenzivní péče. Systém je založen na reprezentaci lékařské expertízy. Interpretuje klinická data v reálném čase, monitoruje a řídí samotný mechanismus umělých plic u pacientů, kteří trpí plicní chorobou. NéoGanesh sám sestaví strategii terapie oslabených dýchacích svalů a sleduje a vyhodnocuje schopnost pacienta dýchat bez mechanické pomoci řízené ventilace. ES NéoGanesh běží na počítači, který je přímo napojen na řízenou ventilaci a nijak neinterferuje

s ostatními používanými terapeutickými metodami.

Reprezentace je rámcově orientovaná a založená na přímém řetězení. Podle klinické studie provedené v Hospital Henri Mondor systém významně přispívá k léčbě pacienta a snižuje riziko možných komplikací.

REFERENCE

Dojat M. and Pachet F., An extendable knowledge-based system for the control of mechanical ventilation, in Proc. 14th IEEE-EMBS, Paris, pp. 920-921, 1992.

Dojat M, Pachet F, Guessoum Z et al. NéoGanesh: a working system for the automated control of assisted ventilation in ICUs. *Artif Intell Med.* 1997 Oct;11(2):97-117.

Dojat M, Harf A, Touchard D, Laforest M, Lemaire F and Brochard L. Evaluation of a knowledge-based system providing ventilatory management and decision for extubation. In: J. H. Van Bommel and A. T. McCray, eds., *Yearbook of Medical Informatics 97.* Schattauer, 1997:589-596.

Dojat M and Brochard L. Knowledge-based systems for automatic ventilatory management. In: G. Iotti, eds., *Respiratory Care Clinics of North America. Closed-Loop Control Mechanical Ventilation.* W.B. Saunders Co., Philadelphia, 2001:379-396.

POEMS (PostOperative Expert Medical System)

STRUČNÝ POPIS
MÍSTO
ROK SPUŠTĚNÍ
SOUČASNÝ STAV
POPIS

Asistenční ES pro pooperační péči
St. James University Hospital, Leeds, Velká Británie
1992

odstaven

Pooperační péče o pacienta je složitý proces, který vyžaduje pozornost vysoce zkušených lékařů a představuje významný problém pro ošetřující personál, pokud je méně zkušený a k dispozici nejsou žádní představení lékaři. Rozhodnutí, kdy podniknout určité kroky, založené na monitorovaných hodnotách a dalších dostupných informacích nebo rozlišování mezi menšími či většími změnami sledovaných ukazatelů je velmi komplexní proces. Systém POEMS byl vytvořen jako asistent právě pro méně zkušený ošetřující personál.

POEMS interaktivně dostává data získaná od pacientů, která jsou založena na standardní vyšetřovací praxi – zdravotní minulost, minulost pacienta, prohlídka, vyšetření. Z těchto vstupních dat systém prezentuje seznam možných diagnóz (seřazený dle pravděpodobnosti), poskytuje

doporučení dalšího postupu, podá vysvětlení svých doporučení a navrhne další případná vyšetření.

System POEMS má navíc schopnost učení, kdy vyhodnocuje své závěry se skutečnými akcemi, které byly provedeny a upravuje své budoucí chování.

REFERENCE

M. J. Sawar, T. G. Brennan, A. J. Cole and J. Stewart "POEMS (PostOperative Expert Medical System)" in Proceedings of IJCAI91 one Day Workshop: "Representing Knowledge in Medical Decision Support Systems", Sydney, Australia, Aug. 1991.

M. J. Sawar, T. G. Brennan, A. J. Cole and J. Stewart "An Expert System for PostOperative Care (POEMS)", in Proceedings of MEDINFO-92, Geneva, Switzerland, Sept. 1992.

SETH

STRUČNÝ POPIS Expertní systém pro klinickou toxikologii

MÍSTO Poison Control Centre, Rouen University Hospital, Rouen, Francie

ROK SPUŠTĚNÍ 1992
SOUČASNÝ STAV používán
POPIS System SETH byl vytvořen jako inteligentní asistent pro monitorování a léčbu pacientů při abúzu narkotik či jedů. Znalostní báze obsahuje 1153 užívaných narkotik ve Francii, rozříděných do 78 toxikologických skupin. Expertní systém SETH simuluje expertní úsudek při předávkování narkotikem či jedem, kdy bere v potaz toxikologickou skupinu příslušné látky, čas prodlení od požití k hospitalizaci, klinické příznaky a přijatou dávku. Následně systém připraví doporučení pro způsob hospitalizace a následné léčby.

REFERENCE

Darmoni SJ, Massari P, Droy JM, Mahe N, Blanc T, Moiro E, Leroy J. SETH: an expert system for the management on acute drug poisoning in adults. *Comput Methods Programs Biomed.* 1994 Jun;43(3-4):171-6.

SJ. Darmoni, P. Massari, JM. Droy, E. Moiro, J. Leroy. Functional evaluation of SETH: an expert system in clinical toxicology Proceedings of the 5th Conference on Artificial Intelligence in Medicine Europe, P. Barahona, M. Stefanelli, J. Wyatt (Eds), pp 231-238 (Pavia, Italy, June 1995).

SJ. Darmoni, P. Massari, JM. Droy, T. Blanc, F. Moritz, N. Mahé, J. Leroy. From general reasoning in drug poisoning

to specific attitudes in human and in SETH. Computer as an aid in poison centres, Lille, Décembre 1995.

VentEx

- STRUČNÝ POPIS** Švédský VentEx je expertní systém pro monitorování a asistenci při respirační terapii. Technologicky systém využívá hybridní reprezentaci znalostí a speciální aktualizací modul podle průběžně zjišťovaných klinických dat.
- MÍSTO** Medical Intensive Care Unit, Sodersjukhuset, Švédsko
- ROK SPUŠTĚNÍ** systém je ve fázi testování
- SOUČASNÝ STAV** systém je ve fázi testování
- POPIS** VentEx se používá pro monitorování a asistenci při rozhodování u pacientů s různými druhy bezprostředních či akutních dýchacích nedostatečností. Asistence při rozhodování je založena na patofyziologickém stavu pacienta, dýchacích funkcích a klinických datech a pokrývá různé fáze respirační terapie, což jsou intubace (počáteční fáze), fáze léčby a extubace. Systém rozeznává 13 základních skupin diagnóz (ve smyslu respirační terapie). Hodnocení systému ukazuje na vysokou míru shody mezi závěry lékařů a VentExu.
- REFERENCE** Shahsavar N, Frostell C, Gill H, Ludwigs U, Matell G and Wigertz O. Knowledge Base Design for Decision Support in Respirator Therapy. International Journal of Clinical Monitoring and Computing, 1989, 6:223-231.
- Shahsavar N, Gill H, Ludwigs U, Carstensen A, Larsson H, Wigertz O and Matell G. VentEx: An On-Line Knowledge-Based System to Support Ventilator Management. Technology and Health Care, 1994, 1:233-243.
- Shahsavar N, Ludwigs U, Blomqvist H, Gill H, Wigertz O and Matell G. Evaluation of a Knowledge-Based Decision-Support System for Ventilator Therapy Management. Artificial Intelligence in medicine, 1995, 7:37-52.

VIE-PNN

- STRUČNÝ POPIS** Expertní systém pro návrh složení mimostřevně zavedené výživy novorozenců na jednotce intenzivní péče
- MÍSTO** Neonatal Intensive Care Unit, Department of Pediatrics of the University of Vienna; Neonatal Care Unit, University of Graz Medical School; Pediatric Clinic Glanzing, Wien, Rakousko
- ROK SPUŠTĚNÍ** 1993
- SOUČASNÝ STAV** používán

POPIS

Cílem projektu bylo vytvoření systému pro sestavení složení mimostřevně zavedené výživy pro novorozence ošetřované na jednotce intenzivní péče. Plánování vhodné výživy k uspokojení metabolických potřeb novorozenců je časově náročné, předpokládá expertní znalosti a bohužel, při nesprávném úsudku, zahrnuje i možné fatální následky. Expertní systém VIE-PNN proto úspěšně slouží jako asistent dietní sestry při rozhodování o složení výživy, významně šetří čas a snižuje možné riziko nesprávných rozhodnutí.

Znalostní báze systému se skládá z pravidel pro složení výživy založených na heuristikách používaných ve spolupracujících jednotkách intenzivní péče. Po aplikování těchto pravidel je na základě pacientovy hmotnosti, věku a individuálních potřeb vypočítán příslušný nutriční plán, včetně potřeby vitaminů, minerálů a tekutin. Doporučení jsou poté upravena podle denních měření množství elektrolytů, tri-glyceridů a proteinů. Přisun glukózy je přizpůsoben používanému typu zásobování (periferně nebo intravenózně) a toleranci glukózy na základě množství příjmu tekutin. Program pracuje interaktivně, ptá se na relevantní data, spočítá příslušné nutriční dávky a zobrazí výsledky. Lékař má po skončení konzultace možnost upravit výsledky zvláštním klinickým požadavkům pacienta. Finální produkt systému je strukturovaný výpis nutričního plánu.

Znalostní bázi je možno aktualizovat podle zkušeností ošetřujícího personálu nebo na základě nových nutričních metod.

REFERENCE

Horn W., Popow C., Miksch S., Seyfang A.: Benefits of a Knowledge-based System for Parenteral Nutrition Support: a Report after 5 Years of Routine Daily Use, in F.van Harmelen (ed.), ECAI 2002, Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence, IOS Press, Amsterdam, 2002

Horn, W.; Popow, C.; Miksch, S.; Kirchner, L.; Seyfang, A.: Development and Evaluation of VIE-PNN, a Knowledge-Based System for Calculating the Parenteral Nutrition of Newborn Infants, in Artificial Intelligence in Medicine, Special Issue: Knowledge-Based Systems in Routine Use: Lessons Learnt, pp. 207-218, 24(3), 2002.

2.4 Laboratorní systémy

Beckton Dickinson Expert Systems

STRUČNÝ POPIS 1. ES pro hematologickou analýzu. 2. ES pro určení minimální koncentrace účinných látek

MÍSTO n/a

ROK SPUŠTĚNÍ n/a

SOUČASNÝ STAV používán

POPIS Beckton Dickinson, mezinárodní společnost působící v oblasti zdravotní péče, vyvinula dva laboratorní expertní systémy, které jsou používány jejími zákazníky:

1. Referenční systém QBC.

Tento systém je integrován do analyzátoru krve a asistuje lékařům při interpretaci laboratorních hodnot z rozboru krve;

2. The Sceptor - systém pro určení minimální koncentrace účinných látek.

Tento ES je integrován do řídicího software laboratorního systému Sceptor, který se používá pro mikrobiologickou analýzu. Systém na základě mikrobiologických rozborů určuje doporučené minimální koncentrace účinných látek (např. antibiotik) pro zničení choroboplodných zárodků, resp. bakterií. Podle zjištěného typu bakterie systém navrhne druh a množství medikace. Systém Sceptor je v současnosti hojně používán v mnoha laboratořích po celém světě.

REFERENCE www.openclinical.org

Coulter FACULTY

STRUČNÝ POPIS Expertní systém FACULTY byl navržen jako asistenční program pro potřeby výuky v laboratořích hematologie

MÍSTO Systém byl implementován v těchto evropských nemocnicích: (1) St. Bartholomew's Hospital, London, UK; (2) Hospital Clinico, Valencia, Španělsko; (3) Hospital La Paz, Madrid, Španělsko; (4) St. Antonio's Hospital, Porto, Portugalsko; and (5) Cliniques Universitaires Mont-Godinne, Yvoir, Belgie

ROK SPUŠTĚNÍ 1996

SOUČASNÝ STAV používán

POPIS Systém FACULTY se skládá ze dvou samostatných součástí: (1) ES Professor Petruschka pro interpretaci dat získaných z hematologické analýzy; (2) ES Professor Fidelio pro cytometrickou imunofenotypovou a DNA

analýzu.
REFERENCE www.openclinical.org

DoseChecker

STRUČNÝ POPIS Asistenční expertní systém pro přesné určování dávky léků u pacientů s potenciálním renálním poškozením (poškozením ledvin)

MÍSTO Washington University Medical Center, Washington DC, USA; Barnes-Jewish Hospital, St. Louis, Missouri, USA; a další nemocnice

ROK SPUŠTĚNÍ 1994

SOUČASNÝ STAV používán

POPIS Určité typy léků vyžadují velmi přesné dávkování, obzvláště u pacientů s možným renálním poškozením; při již nepatrném překročení nezbytné dávky se u těchto pacientů mohou objevit nepříznivé toxické účinky aplikovaného léku. Systém DoseChecker byl proto vyvinut jako asistent při určování takové dávky léku, která by zajistila maximální terapeutický účinek při minimálním riziku nežádoucích vedlejších účinků. DoseChecker na základě sledovaných faktorů, jako jsou hmotnost pacienta, objem séra kreatininu apod., připraví soubor pokynů pro správné dávkování léků. Pokud systém narazí na nečekané okolnosti daného případu, zalarmuje lékárníka, který navrhané dávky medikamentů dále konzultuje s ošetřujícím lékařem.

DoseChecker používá relační databázi obsahující pacientova osobní a klinická data. Zaznamenané případy nevhodného dávkování léků jsou průběžně zaznamenávány a vyhodnocovány systémem pro následnou úpravu mechanismu inference.

REFERENCE McMullin ST, Reichley RM, Kahn MG, Dunagan WC, Bailey TC. Automated system for identifying potential dosage problems at a large university hospital. Am J Health Syst Pharm. 1997 Mar 1;54(5):545-9.

Miller JE, Reichley RM, McNamee LA, Steib SA, Bailey TC. Notification of real-time clinical alerts generated by pharmacy expert systems. Proc AMIA Symp. 1999;:325-9.

GermAlert

STRUČNÝ POPIS Znalostní systém pro asistenci na infekčním oddělení Barnes Hospital

MÍSTO Barnes Hospital, Jewish Hospital, St. Louis, Missouri, USA

ROK SPUŠTĚNÍ 1993

SOUČASNÝ STAV POPIS	n/a Většina nemocnic používá vlastní schémata postupu při hospitalizaci pacientů na infekčním oddělení, která jsou zaměřena na co nejčasnější detekci a léčbu infekčních chorob. Čím dříve je případná infekce odhalena a léčena, tím menší je riziko jejího přenosu na ostatní pacienty a ošetřující personál a zároveň se snižuje doba potřebná k hospitalizaci pacienta. GermAlert pracuje jako nástroj pro detekci akutních infekcí podle stanovených národních kritérií.
	Expertní systém GermAlert je přímo napojen na řídicí software laboratorního systému, kde analyzuje zjištěná mikrobiologická data a následně aplikuje standardní léčebné postupy. Data o léčbě pacientů pak automaticky odesílá příslušným úřadům (hygienické stanice).
REFERENCE	www.openclinical.org

GIDEON (Global Infectious Disease and Epidemiology Network)

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro interpretaci laboratorních dat, zaměřený na infekční choroby, tropické choroby, vakcinaci, epidemiologii a bioterorismus
MÍSTO	více než 1500 pracovišť po celém světě (laboratoře, nemocnice, polní nemocnice - vojenské i civilní)
ROK SPUŠTĚNÍ	1994
SOUČASNÝ STAV POPIS	používán, týdenní aktualizace Systém Gideon se skládá ze čtyř modulů: (1) Diagnostický modul, který analyzuje laboratorní data, zjišťuje možné diagnózy, navrhuje další testy či jiná vyšetření a doporučuje způsob léčby. (2) Epidemiologický modul, který obsahuje databázi infekčních a tropických chorob a jejich detailních charakteristik. (3) Terapeutický modul, který poskytuje detailní informace o možnostech medikace, včetně charakteristik jednotlivých aplikovatelných léčiv. (4) Mikrobiologický modul, který provádí identifikaci a charakteristiku jednotlivých mikrobiologických skupin, včetně možnosti jejich vzájemného porovnání.
REFERENCE	Berger SA, Blackman U. A Computer-Driven bayesian Matrix For The Diagnosis Of Infectious Diseases. Dostupné z http://www.gideononline.com/original.htm Berger S.A. GIDEON: A Computer Program for Diagnosis, Simulation, and Informatics in the Fields of Geographic Medicine and Emerging Diseases Panel Summary from the 2000 Emerging Infectious Diseases Conference in Atlanta, Georgia. Dostupné z http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol7no3_supp/berger.htm

HEPAXPERT I, II, III

- STRUČNÝ POPIS** Systém pro automatickou interpretaci laboratorních testů na hepatitidu typu A, B, C a D
- MÍSTO** Hepatitis Lab University of Vienna Medical School, Vienna, Rakousko
- ROK SPUŠTĚNÍ** 1989
- SOUČASNÝ STAV** používán
- POPIS** Systém automatické interpretace laboratorních testů na přítomnost hepatitidy typu A, B, C a D je rutinně používán v laboratořích fakulty medicíny vídeňské univerzity. Jeho znalostní báze obsahuje 16 pravidel pro serologickou analýzu na hepatitidu A a 130 pravidel pro analýzu na přítomnost hepatitidy typu B. Systém automaticky připraví report výsledků analýzy, zahrnující analýzu imunitního systému pacienta, pokročilost nemoci, prognózu, riziko šíření infekce a další.
- REFERENCE** Adlassnig KP, Horak W. Hepaxpert-1: Automatic interpretation of tests for hepatitis a and B. MD Comput 1991 Mar-Apr;8(2):118-9
- Adlassnig KP, Horak W. Development and retrospective evaluation of Hepaxpert-I: a routinely-used expert system for interpretive analysis of hepatitis A and B serologic findings. Artif Intell Med. 1995 Feb;7(1):1-24.
- Adlassnig KP, Chizzali-Bonfadin C, Kreihsl M, Schulz F, Horak W, Hofmann H. HEPAXPERT-III: knowledge-based interpretation of serologic tests for hepatitis A, B, C, and D Medinfo 1995;8 Pt 2:1683.
- Chizzali-Bonfadin C, Adlassnig KP, Kreihsl M, Hatvan A, Horak W. A WWW-accessible knowledge base for the interpretation of hepatitis serologic tests. Int J Med Inform. 1997 Nov;47(1-2):57-60.

LIPORAP

- STRUČNÝ POPIS** Interpretace krevních testů
- MÍSTO** University Hospital Gasthuisberg, Leuven, Belgie
- ROK SPUŠTĚNÍ** 1987
- SOUČASNÝ STAV** n/a
- POPIS** Expertní systém pro interpretaci laboratorních testů krevní plasmy, které zahrnují objem cholesterolu, hemoglobinu, fosfolipidů, lipoproteinů aj. se zaměřením na výskyt vzácných chorob.
- REFERENCE** www.openclinical.org

Microbiology/Pharmacy Expert System

STRUČNÝ POPIS	Asistenční systém pro úpravu způsobu léčby
MÍSTO	North Carolina Baptist Hospital, Winson-Salem, North Carolina, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1991
SOUČASNÝ STAV	n/a
POPIS	Účelem tohoto expertního systému je analýza způsobu léčby pacientů a příprava doporučení změny léčby. Používá se u pacientů, kteří byli diagnostikováni na určitou chorobu, ale doporučená antibiotika nezabírají. Systém vyhodnotí laboratorní výsledky dosavadní léčby a navrhne změnu, např. použití jiného druhu antibiotika.
REFERENCE	Morrell RM, Wasilaukas BL, Winslow RM. Personal computer-based expert system for quality assurance of antimicrobial therapy. <i>Am J Hosp Pharm.</i> 1993;50:2067-73. Morrell RM, Wasilaukas BL, Winslow RM. Expert Systems, A Primer. <i>Am J. Hosp Pharm.</i> 1994;51:2022-2030

PEIRS (Pathology Expert Interpretative Reporting System)

STRUČNÝ POPIS	Interpretace patologických a biochemických laboratorních testů s důrazem na obsah hormonů
MÍSTO	Department of Clinical Pathology, St. Vincent's Hospital, Sydney, Austrálie
ROK SPUŠTĚNÍ	1991
SOUČASNÝ STAV	odstaven 1994
POPIS	Systém PEIRS byl používán pro interpretaci patologických reportů, ke kterým přidává vlastní komentáře. Z hlediska znalostního inženýrství je nejzajímavějším faktorem způsob akvizice nových znalostí - systém je navržen jako otevřený, nevyžaduje přítomnost znalostního inženýra, protože sami lékaři mohou velmi snadno do znalostní báze přidávat nová pravidla. Takto bylo mezi lety 1991 a 1994 do znalostní báze přidáno přes 2300 nových pravidel.
REFERENCE	Compton P, Edwards G, Srinivasan A, Malor R, Preston P, Kang B, Lazarus, L. Ripple down rules: turning knowledge acquisition into knowledge maintenance. <i>Artificial Intelligence in Medicine</i> 1992;4(6):463-475 Edwards G, Compton P, Malor R, Srinivasan A, Lazarus L. PEIRS: a pathologist maintained expert system for the interpretation of chemical pathology reports. <i>Pathology</i> 1993;25:27-34

PharmADE (Pharmacy Adverse Drug Event)

- STRUČNÝ POPIS** Expertní systém pro stanovení kontraindikace léků
MÍSTO Barnes-Jewish and St. Louis Children's Hospitals, St. Louis, Missouri, USA; Washington University Medical Center, Washington DC, USA
- ROK SPUŠTĚNÍ** 1996
SOUČASNÝ STAV používán
POPIS PharmADE sleduje ručně vkládaná vstupní data o medikaci pacienta a vyhodnocuje případnou kontraindikaci předepsaného léku s již probíhající medikací. V současné době je v systému záznam o 120 lécích a jejich možných kontraindikacích; přidávání záznamů o nově objevených kontraindikacích je otázka několika minut. Systém ročně odhalí přibližně 100 potenciálně smrtelných kontraindikací.
- REFERENCE** McMullin ST, Reichley RM, Watson LA, Steib SA, Frisse ME, Bailey TC. Impact of a Web-based clinical information system on cisapride drug interactions and patient safety. Arch Intern Med. 1999 Sep 27;159(17):2077-82.
- Miller JE, Reichley RM, McNamee LA, Steib SA, Bailey TC. Notification of real-time clinical alerts generated by pharmacy expert systems. Proc AMIA Symp. 1999;:325-9.

PUFF

- STRUČNÝ POPIS** Expertní systém pro interpretaci pulmonálních testů u pacientů s plicními chorobami
MÍSTO Pacific Presbyterian Medical Center, San Francisco, USA
ROK SPUŠTĚNÍ 1983
SOUČASNÝ STAV používán (resp. jeho následné verze)
POPIS Systém PUFF automaticky diagnostikuje plicní choroby na základě interpretace dat z plicního vyšetření bez nutné přítomnosti lékaře. PUFF byl první systém postavený na bázi prázdného expertního systému EMYCIN, používá systém zpětného řetězení a na 400 produkčních pravidel. Pro reprezentaci znalostí pracuje se 75 klinickými parametry, které reprezentují pulmonální funkce jako VKP, residuální objem apod.
- Expertní systém PUFF prošel řadou modifikací a dnes jsou jeho nejnovější verze používány ve stovkách medicínských zařízeních po celém světě.
- REFERENCE** Kunz, J.C., R.J. Fallat, D.H. McClung, et. al., "Automated interpretation of pulmonary function test results". Proceedings of Computers in Critical Care and Pulmonary Medicine, IEEE Press, 1979.

Aikins JS, Kunz JC, Shortliffe EH, Fallat RJ. PUFF: an

expert system for interpretation of pulmonary function data. Comput Biomed Res. 1983 Jun;16(3):199-208.

Snow, M.G., Fallat, R.J., Tyler, W.R., Hsu, S.P., "Pulmonary Consult: Concept to Application of an Expert System", Journal of Clinical Engineering 13:3, pp. 201-205, 1988.

SAHMALERT

STRUČNÝ POPIS	Asistenční laboratorní expertní systém pro identifikaci mikrobiologických organismů
MÍSTO	Barnes Hospital, St. Louis, Missouri, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1995
SOUČASNÝ STAV	n/a
POPIS	Systém SahmAlert je používán jako asistenční program při laboratorní identifikaci mikrobiologických organismů, které mají neobvyklou resistenci vůči antibiotikům. Pro testování efektivity antibiotik na specifické mikrobiologické kultury je běžně používána metoda kultivace, tzn. do bakteriální kultury jsou aplikovány dávky antibiotik a sleduje se jejich účinnost. Adaptace bakterií na různé typy antibiotik však mohou představovat problém při léčbě. Na základě znalostní báze vytvořené přímo experty Barnes Hospital systém SahmAlert takové problematické případy adaptace bakterií sleduje a vyhodnocuje, identifikuje typ bakterie a doporučuje použití vhodnějšího typu antibiotik.
REFERENCE	www.openclinical.org

2.5 Vzdělávací systémy

CANCER, ME??...

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro vyhodnocování rizika vzniku karcinomu
MÍSTO	Alberta Cancer Board, Division of Epidemiology, Prevention and Screening, Alberta, Kanada
ROK SPUŠTĚNÍ	1989
SOUČASNÝ STAV	n/a
POPIS	Vzdělávací expertní systém Cancer, Me??... je jednoduchý expertní systém určený pro širokou veřejnost, který na základě vyplněného dotazníku (pohlaví, demografické faktory, kuřák, častý pobyt na slunci, riziková skupina atd.) sestaví přibližný faktor rizika vzniku rakoviny a doporučí uživateli změnu stylu života tak, aby se tato rizika snížila.
REFERENCE	www.openclinical.org

TheraSim CS-HIV

STRUČNÝ POPIS	Výukový ES pro další vzdělávání lékařů
MÍSTO	celosvětově
ROK SPUŠTĚNÍ	2002
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	TheraSim CS je otevřený expertní systém využívaný pro vzdělávání zdravotnického personálu při diagnostice a léčbě chronických a infekčních chorob. První konkrétní aplikací tohoto systému je TheraSim CS-HIV, která je primárně zaměřená na vzdělávání lékařů, středního personálu, studentů medicíny a lékárníků při diagnostice a léčbě AIDS. Další aplikace TheraSim CS jsou ve vývoji, konkrétně se jedná o vzdělávání v oblasti diabetes mellitus, malárie, TBC, hepatitidy a kardiovaskulárních a neurotických poruch.
REFERENCE	http://www.therasim.com/cs_hiv.html

2.6 Sledování kvality a správa

ADE MONITOR

STRUČNÝ POPIS	Asistence lékárníkům při monitorování klinických dat pacientů při podezření na nežádoucí vedlejší účinky léků
MÍSTO	Barnes Hospital, St. Louis, Missouri, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1995
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Systém ADE (Adverse Drug Event) Monitor monitoruje klinická data pacientů (jako jsou demografické faktory, indikované léky, laboratorní testy a alergie na léky) a v případě, že objeví možné nežádoucí účinky indikované medikace, doporučí náhradní řešení léčby.
REFERENCE	www.openclinical.org

Apache III

STRUČNÝ POPIS	Stanovení prognózy pacientů na jednotkách intenzivní péče
MÍSTO	Catherine McAuley Health System, Ann Arbor, Michigan; Beaumont Hospital, Royal Oak, Michigan; Ford Hospital, Detroit, Michigan; vše USA; a další nemocnice po celém světě
ROK SPUŠTĚNÍ	1991
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Expertní systém Apache III je používán na jednotkách intenzivní péče ke stanovení prognózy pacienta a především k odhadu, zda dotyčný na JIP zemře. Prognózy systému jsou přesné z 95% (na základě 18.000 sledovaných případů). Usuzování systém provádí na základě 27 faktorů, které jsou zadány ručně lékařem (věk, diagnóza, laboratorní výsledky, atd.).
REFERENCE	Wong DT, Knaus WA. Predicting outcome in critical care: the current status of the APACHE prognostic scoring system. <i>Can J Anaesth.</i> 1991 Apr;38(3):374-83.

Zimmerman JE, Wagner DP, Draper EA et al. Evaluation of acute physiology and chronic health evaluation III predictions of hospital mortality in an independent database. *Crit Care Med.* 1998 Aug;26(8):1317-26.

W.A. Knaus. APACHE 1978–2001: The development of a quality assurance system based on prognosis: Milestones and personal reflections. *Arch Surg* 137 (2002), pp. 37–41.

Clinical Event Monitor

STRUČNÝ POPIS	Správa a sledování stavu pacientů v nemocnici
MÍSTO	Columbia-Presbyterian Medical Center, New York, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1992
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Clinical Event Monitor je komplexní administrační systém, který je implementován do řídicího centra nemocnice a funguje jako centrální řídicí systém. Jeho součástí je i expertní systém, který sleduje stav pacientů, průběh léčby, medikaci a jiné faktory a na základě sady pravidel upozorňuje na nevhodné způsoby léčby, možnou interakci s indikovanými léky apod.; zároveň sám řídí celou administrativu nemocnice (např. příjem pacientů, faktury).
REFERENCE	G Hripcsak, JJ. Cimino, SB. Johnson, PD. Clayton. The Columbia-Presbyterian Medical Center decision-support system as a model for implementing the Arden Syntax. In: Clayton PD, editor. Proceedings of the Fifteenth Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care; 1991 Nov 17-20; Washington, D.C. New York: McGraw-Hill, Inc., 1992; 248-52. G Hripcsak. Monitoring the Monitor: Automated Statistical Tracking of a Clinical Event Monitor. Computers and Biomedical Research 1993;26:449-66. G Hripcsak, PD. Clayton. User comments on a clinical event monitor. In: Ozbolt JG, editor. Proceedings of the Eighteenth Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care; 1994 Nov 5-9; Washington, D.C. Philadelphia: Hanley & Belfus, Inc., 1994; 636-40.

Colorado Medicaid Utilization Review System

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro kvalitativní sledování preskripce léků
MÍSTO	University of Colorado Health Sciences Center, Denver, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1990
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Expertní systém sleduje předepisování léků pacientům, kdy pracuje s retrospektivními faktory, jako jsou pacientova klinická minulost, předepisované léky, úspěšnost léčby, ty vyhodnocuje a doporučuje preskripci takových léků, které jsou pro pacienta vhodné, s ohledem na další faktory, jako je například cena jednotlivých léků (pro zamezení použití zbytečně nákladných léků).
REFERENCE	P.J. Byrns, D.C. Lezotte, and J. Bondy, "Influencing the cost- effectiveness of prescribing using claims-based information: a randomized trial", submitted to J. Am. Med.

Assoc.

T.D. Wade, P.J. Byrns, J.F. Steiner, and J. Bondy, "Finding temporal patterns -- a set-based approach", submitted to Artificial Intelligence in Medicine.

IPROB

STRUČNÝ POPIS	Řídící expertní systém pro porodnictví
MÍSTO	mnoho aplikací v porodních odděleních nemocnic v USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1995
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	IPROB byl navržen jako řídicí a asistenční expertní systém v porodnictví, kde sleduje možná rizika při porodu a přispívá ke zkvalitnění péče o pacientky. Kromě samotného expertního systému, který pracuje na základě více než 8.500 pravidel, systém řídí i celý běh oddělení, sleduje stav pacientek, provádí administrativu apod.
REFERENCE	www.openclinical.org

Managed Second Surgical Opinion System

STRUČNÝ POPIS	Asistenční expertní systém pro volbu operační metody
MÍSTO	několik chirurgických oddělení nemocnic v USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1989
SOUČASNÝ STAV	n/a
POPIS	Systém sleduje klinická data pacientů, u kterých je naplánovaná operace a doporučuje jiné vhodné chirurgické metody než ty, které byly naplánovány. Automaticky tak sestaví seznam vhodných metod léčby, které jsou konzultovány mezi lékaři a z nichž je vybrána ta nejvhodnější. Praktická zkušenost nemocnic s tímto systémem je velmi dobrá, protože často systém doporučí i jiné než operační metody a tím snižuje i počet nadbytečných chirurgických výkonů.
REFERENCE	www.openclinical.org

Reportable Disease Monitor

STRUČNÝ POPIS	Automatické monitorování a hlášení naléhavých infekčních nemocí
MÍSTO	Infection Control Departments of Barnes and Jewish Hospitals, St. Louis, Missouri, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1995
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Expertní systém používaný na Barnes Hospital sleduje pacienty s infekčními chorobami na infekčním oddělení.

Pracuje s klasickými vstupními daty (klinická data pacienta, laboratorní testy, mikrobiologické rozborů), ty vyhodnocuje, určuje druh infekční choroby a doporučuje další způsob léčby včetně dalších opatření (karanténa aj.). Zároveň je do systému implementován software, který všechna klinická data nakažených pacientů automaticky elektronicky odesílá na příslušné hygienické stanice.

REFERENCE

www.openclinical.org

2.7 Interpretace zobrazovacích metod

PERFEX

STRUČNÝ POPIS Interpretace 3D obrazů ze srdečních vyšetření
MÍSTO Emory University Hospital, Atlanta, USA
ROK SPUŠTĚNÍ 1991
SOUČASNÝ STAV používán
POPIS Expertní systém PERFEX je používán pro automatickou interpretaci trojrozměrných obrazových dat ze speciálního srdečního vyšetření SPECT. Systém na základě vstupních dat odvozuje rozsah a závažnost chorob koronárních artérií (coronary artery disease, CAD) a jako výstup poskytuje report shrnující klinický stav tří hlavních artérií a dalších relevantních faktorů.

Primární účel PERFEXU je asistence při diagnostice chorob koronárních artérií. Základní přístup je založen na mapování a interpretaci trojrozměrných obrazových výstupů z vyšetření a jejich konverze do symbolického vyjádření, z čehož následně systém odvozuje anatomické a fyziologické dysfunkce a doporučuje další postup léčby.

V současné době je systém připraven ke komerčnímu využití a je v konečné fázi schvalování Ministerstvem zdravotnictví USA.

REFERENCE

E. V. Garcia and M. D. Herbst and C. D. Cooke and N. F. Ezquerra and B. L. Evans and R. D. Folks and E. G. DePuey, Knowledge-based Visualization of myocardial perfusion tomographic images, vbc90, 157-61, 1990

R. Mullick and N. F. Ezquerra and E. V. Garcia and C. D. Cooke, A Knowledge- Based System to Assist in the Diagnosis of Coronary Artery Disease, Proceedings of the Tenth Southern Biomedical Engineering Conference, 107-9, 1991

N. F. Ezquerra and R. Mullick and E. V. Garcia and C. D. Cooke and E. Kachouska, PERFEX: An Expert System for Interpreting 3D Myocardial Perfusion", Expert Systems with Applications, Pergamon Press, (1992)

PHOENIX

STRUČNÝ POPIS Expertní systém pro asistenci při výběru vhodného radiologického vyšetření
MÍSTO University of Chicago, Medical College of Wisconsin, Milwaukee, USA

ROK SPUŠTĚNÍ	1991
SOUČASNÝ STAV	odstaven, dnes používána jeho aplikace ISIS
POPIS	Phoenix byl vyvinut jako asistenční expertní systém pro lékaře - radiology při selekci nejvhodnější vyšetřovací metody u daného pacienta. Smyslem asistence Phoenixu je odstranit z vyšetřovací procedury ta vyšetření, která nejsou pro stanovení diagnózy nezbytná. Dle klinické studie provedené na University of Chicago významně pomohl odstranit taková zbytečná vyšetření a zlepšit celkovou efektivitu oddělení.
REFERENCE	Kahn CE Jr. Validation, clinical trial and evaluation of a radiology expert system. <i>Methods of Information in Medicine</i> 1991; 30:268-274.

2.8 Asistence a podpora rozhodování

ATHENA

STRUČNÝ POPIS	Sledování pacientů s hypertenzí
MÍSTO	Několik nemocnic v severní Kalifornii
ROK SPUŠTĚNÍ	2002
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Systém ATHENA asistuje při diagnostice a léčbě hypertenze, kdy na základě sledovaných faktorů, jako jsou hodnoty krevního tlaku a další relevantní faktory doporučuje způsob léčby, vhodnou medikaci a její dávkování. Vzhledem k tomu, že v tomto oboru dochází k rychlému vývoji, umožňuje systém snadnou aktualizaci báze znalostí (revize, resp. přidávání pravidel) bez nutné účasti znalostního inženýra
REFERENCE	<p>A. Advani, S. Tu, M. O'Connor, R. Coleman, M. K. Goldstein, & M. Musen. Integrating a Modern Knowledge-Based System Architecture with a Legacy VA Database: The ATHENA and EON Projects at Stanford. AMIA '99, Washington, D.C., 653-657. 1999.</p> <p>Goldstein MK, Hoffman BB, Coleman RW et al. Implementing clinical practice guidelines while taking account of changing evidence: ATHENA DSS, an easily modifiable decision-support system for managing hypertension in primary care. Proc AMIA Symp. 2000;:300-4.</p> <p>R. D. Shankar, S. B. Martins, S. W. Tu, M. K. Goldstein, & M. A. Musen. Building an Explanation Function for a Hypertension Decision-Support System. MedInfo2001, London, UK, 538-542. 2001.</p> <p>Chan, A., S. Martins, et al. Post-fielding Surveillance of a Guideline-Based Decision Support System. K. Henriksen, J. B. Battles, E. S. Marks and D. I. Lewin (Eds). Advances in Patient Safety: From Research to Implementation. Vol. 1. Research Findings AHRQ Pub Numb 05-0021-1. Rockville, MD 20850, AHRQ. 1: 331-339. 2005.</p>

CEMS (Clinical Evaluation and Monitoring System)

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro sledování postupu léčby u pacientů na psychiatrii
MÍSTO	The Institute of Living (the Mental Health Network of Hartford Hospital), Hartford, Connecticut, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1993

SOUČASNÝ STAV používán
POPIS Systém CEMS sleduje a vyhodnocuje postup léčby pacientů hospitalizovaných na psychiatrickém oddělení, kdy porovnává zvolené léčebné procedury se standardními metodami léčby. Vyhodnocované faktory jsou diagnóza, léčba, prognóza a další faktory. Na základě těchto sledovaných faktorů pak systém upozorňuje lékaře na nestandardní postupy a na případné další neobvyklé faktory.

REFERENCE Expert Systems in Psychiatry: A Review. Morelli RA, Bronzino JD, Goethe JW. Journal of Medical Systems 11:157-168, 1987.

Design of an Expert System for Monitoring Drug Treatment in a Psychiatric Hospital. Bronzino JD, Morelli RA, Goethe JW. Proceedings of the Fourth Annual IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, IEEE Computer Society Press, pp. 219-225, 1991.

An Expert System for Monitoring Psychiatric Treatment. Bronzino JD, Morelli, RA, Goethe JW. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine (EMBS), 14(6):776-780, 1995.

DXplain

STRUČNÝ POPIS Asistenční expertní systém pro celou oblast medicíny
MÍSTO Massachusetts General Hospital, Massachusetts, USA; a další nemocnice

ROK SPUŠTĚNÍ 1987

SOUČASNÝ STAV používán
POPIS Expertní systém DXplain je typický asistenční expertní systém, který vyhodnocuje standardní klinické výstupy z vyšetření (osobní data pacienta, symptomy, laboratorní data, mikrobiologická data, atd.) a jako výstup poskytuje seřazený seznam potenciálních chorob, které odpovídají vstupním faktorům. Systém automaticky poukáže na specifické příznaky konkrétních chorob na seznamu a doporučí další dovyšetření; v případě jasné diagnózy pak doporučí konkrétní způsob léčby, vhodné léky a další postupy. Součástí DXplainu je i podrobný vysvětlovací modul, který přesně manifestuje, jak k výsledkům došel.

Znalostní báze systému DXplain obsahuje na 4.500 klinických symptomů a přes 2.500 možných diagnóz, včetně obrazové dokumentace a odkazů na relevantní literaturu; dokáže podat podrobné vysvětlení všech příznaků i všech diagnóz. V rámci práce s neurčitostí je používána specifická aplikace bayesovské logiky.

REFERENCE

Systém DXplain je používán v běžné klinické praxi v mnoha nemocnicích a zároveň slouží jako učební nástroj, používaný na fakultách medicíny po celém světě, které využívají webový přístup do aplikace.

Barnett GO, Cimino JJ, Hupp JA, Hoffer EP. DXplain. An evolving diagnostic decision-support system. JAMA. 1987 Jul 3;258(1):67-74.

Feldman MJ, Barnett GO. An approach to evaluating the accuracy of DXplain. Comput Methods Programs Biomed. 1991 Aug;35(4):261-6.

Elhanan G, Socratous SA, Cimino JJ. Integrating DXplain into a clinical information system using the World Wide Web. Proc AMIA Annu Fall Symp. 1996;:348-52.

Barnett GO, Famiglietti KT, Kim RJ, Hoffer EP, Feldman MJ. DXplain on the Internet, Proc AMIA Symp 1998;:607-11.

Epileptologists' Assistant

STRUČNÝ POPIS
MÍSTO
ROK SPUŠTĚNÍ
SOUČASNÝ STAV

Expertní systém pro předběžné výsledky léčby epilepsie
Dallas VA Medical Center, Dallas, Texas, USA

1989

odstaven 1995 (nebyl začleněn do informačního systému nemocnice)

POPIS

Epileptologists' Assistant je expertní systém určený pro lékaře a pro střední zdravotnický personál na klinice pro léčbu epilepsie nemocnice v Dallasu. Systém je navržen tak, aby usnadňoval a omezoval nezbytnou, nicméně časově náročnou práci lékařů a sester, kteří běžně ošetřují pacienty. Epileptologists' Assistant doporučuje vhodné postupy rutinní léčby, především vhodnou volbu otázek při pohovoru s pacientem. Zdravotníci tak mohou strávit více času s pacienty s nestandardním průběhem onemocnění.

Studie provedená na Dallas VA Medical Center prokázala, že s použitím konzultace s tímto expertním systémem se snížil čas potřebný pro rutinní vyšetření pacienta u sester o 25%, u lékařů pak až o 60%. Systém tak přispěl i ke snížení nákladů na personál, a to podle studie až o 40%.

REFERENCE

Hostetler, W.E. and Doller, H. J.: Epileptologists' Assistant: an Expert System for Epilepsy Clinic Improves Progress Note Quality While Decreasing Visit Cost, Epilepsia 35:(supp. 8) 45, 1994.

Hostetler, W., Doller, H. J., Krishnamurthy, K., and

Peterson, L.L.: Epileptologist's Assistant: A Cost Effective Expert System for Clinical Medicine. First World Conference on Computational Medicine, Public Health and Biotechnology, Austin, Texas., April 24-26, 1994.

Hostetler, W., Krishnamurthy, K., Peterson, L.L., and Doller, H. J., The Physician's Interface to Epileptologist's Assistant - A Cost Effective Expert System, SCAMC 17:944, 1994.

HELP (Health Evaluation through Logical Processing)

STRUČNÝ POPIS	Znalostní informační systém nemocnice
MÍSTO	Hospitals of Intermountain Health Care (IHC), Utah, USA
ROK SPUŠTĚNÍ	1967
SOUČASNÝ STAV	používán (v současnosti je vyvíjen pokročilejší HELP II)
POPIS	HELP je komplexní informační systém, vyvinutý pro síť nemocnic IHC (vlastněných společností 3M) v USA. Skládá se z mnoha modulů - administrativní, příjem pacientů, průběh hospitalizace a pod. Jeho hlavním přínosem pro nemocnici, vedle nepochybného administrativního zjednodušení, je možnost sledování léčby pacienta a využití asistenčního expertního systému, který integruje veškerá známá data o pacientovi, průběh léčby, laboratorní výsledky a pod. a doporučuje další vyšetření, medikaci, postupy atd. Veškerá tato data jsou lékařům dostupná online, tzn. lékař může snadno sledovat výsledky z jím doporučených vyšetření, z laboratoře a s asistencí expertního systému zvolit další metodické postupy.

Systém HELP je jedním z nejstarších a nejúspěšnějších expertních systémů používaných v klinické praxi. Již v jeho počátcích prokázaly studie, že (1) expertní systém může sloužit jako platný asistent v klinické praxi; (2) automatická podpora rozhodování je prakticky aplikovatelná; (3) využití expertního systému může zefektivnit chod nemocnice a zlepšit péči o pacienty; (4) vztah pacientů k této technologii je veskrze kladný.

V současné době je v síti nemocnic IHC používána již třetí verze tohoto informačního systému.

REFERENCE

Kuperman GJ, Gardner RM, Pryor TA, The HELP System, Springer-Verlag, New York, 1991.

Gardner RM, Pryor TA, Warner HR. The HELP hospital information system: update 1998. Int J Med Inf. 1999 Jun;54(3):169-82.

Haug PJ, Rocha BH, Evans RS. Decision support in

medicine: lessons from the HELP system. *Int J Med Inf.* 2003 Mar;69(2-3):273-84.

HepatoConsult

STRUČNÝ POPIS	Diagnostický expertní systém pro poruchy činnosti jater
MÍSTO	Berlin-Köpenick Hospital, Berlin, Německo
ROK SPUŠTĚNÍ	1998
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	HepatoConsult je klasický diagnostický expertní systém, určený pro podporu rozhodování při vyšetřování jater, který sestavuje seznam možných diagnóz na základě vstupních dat, což jsou typicky výsledky vyšetření, laboratorní analýza, krevní zaz atd.
REFERENCE	Buscher HP, Engler Ch, Fuhrer A, Kirschke S, Puppe F. HepatoConsult: a knowledge-based second opinion and documentation system. <i>Artif Intell Med.</i> 2002 Mar;24(3):205-16.

ILIAD

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro diagnostiku v interní medicíně
MÍSTO	celosvětově
ROK SPUŠTĚNÍ	n/a
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Další z řady diagnostických expertních systémů, v tomto případě pro potřeby interní medicíny, který pracuje standardní metodou vstupní příznaky/symptomy/laboratorní data - inference - seřazený seznam možných diagnóz včetně vysvětlení, proč systém takto rozhodoval. Inference probíhá za použití bayesovských sítí; znalostní báze systému obsahuje přes 1.500 možných diagnóz.
	V současné době je expertní systém Iliad používán jednak v klinické praxi, ale především jako učební nástroj pro studenty medicíny.
REFERENCE	Lincoln MJ, Turner CW, Haug PJ et al. Iliad training enhances medical students' diagnostic skills. <i>J Med Syst.</i> 1991 Feb;15(1):93-110.
	Bouhaddou O, Frucci L, Cofrin K, Larsen D, Warner H Jr, Huber P, Sorenson D, Turner C, Warner H. Implementation of practice guidelines in a clinical setting using a computerized knowledge base (Iliad). <i>Proc Annu Symp Comput Appl Med Care.</i> 1993;:258-62.
	Warner HR Jr, Bouhaddou O. Innovation review: Iliad--a medical diagnostic support program. <i>Top Health Inf</i>

Manage. 1994 May;14(4):51-8.

Anderson JD, Jay SJ, Weng HC, Anderson MM. Studying the effect of clinical uncertainty on physicians' decision-making using ILIAD. Medinfo. 1995;8 Pt 2:869-72.

ISABEL

STRUČNÝ POPIS
MÍSTO
ROK SPUŠTĚNÍ
SOUČASNÝ STAV
POPIS

Expertní systém pro podporu rozhodování v pediatrii přes 16.000 zdravotnických zařízení celosvětově 2002 (komerčně dostupný od 2004) používán

Expertní systém Isabel je velmi komplexním nástrojem používaným v pediatrii. Používá se pro podporu při diagnostice dětských chorob, obzvláště ve specializovaných oblastech pediatrie, jako jsou kardiovaskulární nemoci, endokrinologie, hematologie, infekční choroby, chirurgie, toxikologie, urologie a choroby novorozenců.

Vedle klasického modelu symptomu - inference - diagnóza je součástí systému i velmi podrobný vysvětlovací modul, jehož součástí jsou i obrazová data, plné texty relevantních odborných článků a další specializované literatury, heuristiky aj.

Znalostní báze systému Isabel obsahuje cca 6.500 diagnóz a heuristik a je průběžně doplňována o další znalosti.

Isabel je velmi komerčně úspěšný expertní systém, počet jeho uživatelů činí v současné době přes 16.000. Nová verze systému, která byla uvedena na trh v lednu 2005 již není zaměřena pouze na pediatrii, ale na celou oblast diagnostiky v medicíně.

REFERENCE

Ramnarayan P, Britto J. Paediatric clinical decision support systems. Arch Dis Child 2002 Nov;87(5):361-2.

Ramnarayan P, Tomlinson A, Rao A, Coren M, Winrow A, Britto J. ISABEL: a web-based differential diagnostic aid for paediatrics: results from an initial performance evaluation. Arch Dis Child. 2003 May;88(5):408-13.

Ramnarayan P, Tomlinson A, Kulkarni G, Rao A, Britto J. A Novel Diagnostic Aid (ISABEL): Development and Preliminary Evaluation of Clinical Performance. Medinfo. 2004;2004:1091-5.

Jeremiah

STRUČNÝ POPIS Expertní systém pro dentální medicínu se specializací na orthodoncii.

MÍSTO n/a

ROK SPUŠTĚNÍ 1992

SOUČASNÝ STAV n/a

POPIS Expertní systém Jeremiah byl vyvinut jako podpůrný nástroj rozhodování pro praktické zubní lékaře při korekci růstových vad chrupu. Orthodontie je oblastí dentální medicíny specializovanou na korekci růstových zubních vad, k čemuž ve většině případů používá dentální fixní aparát („rovnátka“). Výzkumy ve Velké Británii na počátku 90. let ukázaly, že cca 50% orthodontických případů je špatně diagnostikováno, a to především proto, že ošetřující zubní lékař nebývá v orthodoncii specialistou.

System Jeremiah v případě nutné korekce takové zubní vady doporučuje dentistovi vhodný postup diagnózy a následné léčby, jejíž úspěch závisí především na správném stanovení léčebného plánu.

REFERENCE

Sims-Williams JH, Brown ID, Matthewman A, Stephens CD, (1987) A computer controlled expert system for orthodontic advice. British Dental Journal, 163: 161-169.

Stephens CD Mackin N, Sims-Williams JH, (1996) The development and validation of an orthodontic expert system. British Journal of Orthodontics, 23: 1-9.

Mackin N, Stephens CD, (1997). Development and testing of a fuzzy expert system - an example in orthodontics in proceedings of fuzzy logic: applications and future directions, pp61-71. Unicom Seminars Ltd, Uxbridge, Middlesex.

LISA (Leukaemia Information System and Advice)

STRUČNÝ POPIS Podpůrný expertní systém pro oblast akutní lymfoblastické leukémie.

MÍSTO Royal London Hospital, Great Ormond Street Hospital, London; Addenbrookes Hospital, Cambridge; Royal Manchester Childrens' Hospital, Middlesex Hospital, Diana, Princess of Wales Children's Hospital, Birmingham; vše Velká Británie

ROK SPUŠTĚNÍ 2004

SOUČASNÝ STAV testován pro účely klinického použití

POPIS Akutní lymfoblastická leukémie (ALL) je nejčastější maligní onemocnění u dětských pacientů. Velká Británie registruje okolo 350 případů ročně. Léčba ALL se typicky skládá ze

tří částí - klinické zmírnění příznaků, stabilizace průběhu nemoci a udržovací terapie. Celý proces léčby trvá typicky 2-3 roky.

LISA je primárně určena pro podporu stanovení dávky cytostatik, která se provádí a mění s týdenní periodicitou. LISA průběžně monitoruje dávky podávaných léků a podle reakce organismu (dle výsledků z laboratorních testů a z klinického pozorování) dávky zvyšuje či snižuje a významně přispívá k eliminaci možných chyb v dávkování (v klinické praxi bohužel nevyhnutelné)

REFERENCE

Medical Research Council. UK Acute Lymphoblastic Leukaemia Trial ALL97 (version 1.1 revised November 1999) (2000).

J. P. Bury C. Hurt, C. Bateman et al. LISA: A Clinical Information and Decision Support System for Collaborative Care in Childhood Acute Lymphoblastic Leukaemia. Proceedings of the annual AMIA Annual Symposium, 2002.

Bury J, Hurt C, Roy A et al. A quantitative and qualitative evaluation of LISA, a decision support system for chemotherapy dosing in childhood Acute Lymphoblastic Leukaemia. Medinfo. 2004;2004:197-201.

OPPASS (Out Patient Pre-Assessment System)

STRUČNÝ POPIS	Expertní systém pro hodnocení stavu pacientů před operací
MÍSTO	Chelsea and Westminster Hospital, London; the Pre-assessment Unit of the Hillingdon Hospital, Uxbridge; obojí Velká Británie
ROK SPUŠTĚNÍ	1995
SOUČASNÝ STAV	používán
POPIS	Expertní systém OPPASS byl vyvinut jako podpůrný nástroj pro ošetřující sestry na předoperačním oddělení, kdy asistuje při hodnocení stavu pacienta, který má být operován v celkové anestézii. Systém má přispět k minimalizaci rizika komplikací při operaci.

Po zadání vstupních dat (výsledky klinických vyšetření, laboratorní výsledky z krve a moči) systém vyhodnotí stav pacienta s ohledem na druh plánované operace a připraví tištěný report, (určený pro anesteziologa), který sumarizuje pacientův stav a doporučuje další vyšetření, případně formu péče o pacienta tak, aby se případné komplikace při operaci snížily na minimum. Tím odpadá zdlouhavá práce sester při přípravě takových reportů a minimalizuje se riziko lidské chyby.

REFERENCE

Barnes PK, Emerson PA, Hajnal S, Radford WJ, Congleton J. Influence of an anaesthetist on nurse-led, computer-based, pre-operative assessment. *Anaesthesia*. 2000 Jun;55(6):576-80.

Preoperative tests, the use of routine preoperative tests for elective surgery: evidence, methods and guidance - Full guideline. Developed by the National Collaborating Centre for Acute Care. June 2003.

Orthoplanner

STRUČNÝ POPIS
MÍSTO
ROK SPUŠTĚNÍ
SOUČASNÝ STAV
POPIS

Expertní systém pro orthodoncii
některé zubní ordinace ve Velké Británii
1994

n/a

Systém Orthoplanner je v zásadě shodný s výše popsaným expertním systémem Jeremiah.

Technicky Orthoplanner využívá přímé i zpětné řetězení a fuzzy reprezentaci orthodontických znalostí.

REFERENCE

Mackin, N, (1992). The development of an expert system for planning orthodontic treatment. PhD Thesis, University of Bristol

PAIRS (Physician assistant Artificial Intelligence System)

STRUČNÝ POPIS
MÍSTO
ROK SPUŠTĚNÍ
SOUČASNÝ STAV
POPIS

Diagnostika v interní medicíně
Dr. AM Mohan Rao's clinic, Hyderabad, Indie
2004

používán

Velice komplexní diagnostický expertní systém pro interní medicínu je navržen jako podpůrný nástroj pro lékaře při identifikaci náročných klinických případů. Je založen na bayesovských sítích a na speciálním pravděpodobnostním modelu *Jaakkola Jordan*.

PAIRS pracuje s obrovskou databází, která byla budována přes 8 let, čítající okolo 7500 nemocí a přes 30.000 jejich charakteristik. Systém používá klasický model symptomy/charakteristiky - inference - seznam diagnóz.

REFERENCE

Jaakkola, T.S. and Jordan, M.I. (1999). Variational Probabilistic Inference and the QMR-DT Network. *J. Artificial Intelligence Research*, 10, 291-322.

QMR (Quick Medical Reference)

STRUČNÝ POPIS Diagnostický nástroj v interní medicíně
MÍSTO několik nemocničních zařízení celosvětově
ROK SPUŠTĚNÍ 1980
SOUČASNÝ STAV odstaven 2001
POPIS Klasický diagnostický systém používaný v interní medicíně. Báze znalostí obsahuje cca 750 nejčastějších nemocí, jejich podrobný popis a přes 5.000 možných klinických nálezů (historie, výstupy vyšetření, laboratorní data,...)

Vývoj systému byl ukončen v roce 2001, nicméně dnes se uvažuje o jeho implementaci do hand-held počítačů.
REFERENCE Miller RA, Masarie FE Jr. Use of the Quick Medical Reference (QMR) program as a tool for medical education. *Methods Inf Med.* 1989;28:340-345.

Aliferis CF, Cooper GF, Miller RA, Buchanan BG, Bankowitz R, Giuse N. A temporal analysis of QMR. *J Am Med Inform Assoc.* 1996;3:79-91.

Arene I, Ahmed W, Fox M, Barr CE, Fisher K. Evaluation of quick medical reference (QMR) as a teaching tool. *MD Comput.* 1998;15:323-326

Lemaire JB, Schaefer JP, Martin LA, Faris P, Ainslie MD, Hull RD. Effectiveness of the Quick Medical Reference as a diagnostic tool. *CMAJ.* 1999 Sep 21;161(6):725-8.

RaPiD

STRUČNÝ POPIS Expertní systém pro návrh vyjímatelných umělých chrupů
MÍSTO School of Dentistry, The University of Birmingham, Birmingham, Velká Británie

ROK SPUŠTĚNÍ 1994
SOUČASNÝ STAV n/a
POPIS Expertní systém RaPiD je používán jako učební pomůcka pro studenty dentální medicíny na univerzitě v Birminghamu. K podpoře při návrhu umělého chrupu používá grafické rozhraní ve stylu CAD, které je propojeno se znalostní bází systému.

V současnosti se RaPiD používá pouze jako učební pomůcka, ale uvažuje se o jeho komečném využití.
REFERENCE Davenport JC, Hammond P & Fitzpatrick FJ. (1993) Computerised partial denture design - a knowledge-based system for the future, *Dental Update*, June, 221-226.

Hammond P, Davenport JC, Fitzpatrick FJ, Randell DA, de Mattos M. The RaPiD project: knowledge-based design of dental prostheses, *Expert Systems with Applications*, 9 (2) (1995).

Davenport JC, Hammond P, Hazlehurst P. Knowledge-based systems, removable partial denture design and the development of RaPiD. *Dent Update*. 1997 Jul-Aug;24(6):227-33.

RetroGram

STRUČNÝ POPIS Expertní systém pro stanovení medikace proti retroviru HIV
MÍSTO přes 250 specializovaných pracovišť celosvětově
ROK SPUŠTĚNÍ 1999
SOUČASNÝ STAV používán
POPIS Systém RetroGram porovnává vstupní data, což jsou v tomto případě klinická data pacienta a genotyp retroviru HIV, s charakteristikami dostupných anti-retrovirových léků a doporučuje nejvhodnější druh medikace. V závislosti na úspěšnosti léčby pak RetroGram může doporučit změnu postupu léčby či změnu medikace.

REFERENCE C Tural et al. Clinical utility of HIV-1 genotyping and expert advice: the Havana Trial. *AIDS*. 2002; 16:209-218.

De Luca A, Cingolani A, Di Giambenedetto S et al. Variable prediction of antiretroviral treatment outcome by different systems for interpreting genotypic human immunodeficiency virus type 1 drug resistance. *J Infect Dis*. 2003 Jun 15;187(12):1934-43.

Torti C, Quiros-Roldan E, Keulen W; GenPherex Study Group of the MaSTeR Cohort. Comparison between rules-based human immunodeficiency virus type 1 genotype interpretations and real or virtual phenotype: concordance analysis and correlation with clinical outcome in heavily treated patients. *J Infect Dis*. 2003 Jul 15;188(2):194-201.

TherapyEdge

STRUČNÝ POPIS Podpora při léčbě HIV
MÍSTO 42 zdravotnických zařízení (duben 2005) po celém světě, z toho 19 v Africe

ROK SPUŠTĚNÍ 2001
SOUČASNÝ STAV používán
POPIS Znalostní systém TherapyEdge sleduje a automaticky zpracovává pacientova klinická data (zdravotní stav, medikaci, genetické testy na resistenci vůči anti-

retrovirálním lékům, účinnost léků a toxikologická data) s využitím rozsáhlé báze farmakologických a klinických znalostí. Systém následně zhodnotí pacientův stav a doporučí specifický individuální druh léčby, včetně doporučení vhodné medikace. Systém automaticky upozorňuje lékaře na možné interakce s jinými léky, nežádoucí vedlejší účinky, náhlou změnu zdravotního stavu (na základě výsledků vyšetření / testů) apod.

TherapyEdge zároveň integruje pokročilý samoučící modul, který retrospektivně čerpá z klinické databáze a podle potřeby aktualizuje samotnou bázi znalostí.

REFERENCE

R. Boulme, D. Gonzalez and JC. Schmit. Storing genotypic resistance data and linking to other clinical information. XV International AIDS Conference, Bangkok, Thailand, July 11-16, 2004.

3. PROJEKT EXPERTNÍHO SYSTÉMU

3.1 Úvod do problematiky analýzy patologických útvarů při ultrazvukovém vyšetřování vnitřních orgánů

Ultrazvukové (sonografické) vyšetřování je jednou z diagnostických metod moderní medicíny. Princip je založen na rozdílném pohlcování ultrazvukového záření různými typy tkání, které se pak na monitoru příslušného přístroje zobrazují ve celé škále šedi. Tento princip je základním nástrojem lékaře, který provádí vyšetření.

K ultrazvukovému vyšetření je obvykle pacient doporučen svým obvodním lékařem, případně specialistou především z oborů interní medicíny a chirurgie, ale i dalších, a to na základě podezření na možný výskyt patologických jevů/útvárů. Lékař - specialista na ultrazvuk vizuálně vyhodnocuje stav tkání, zobrazený na monitoru a na základě mnoha faktorů, které budou dále představeny, usuzuje na výskyt patologických jevů/útvárů; zjednodušeně řečeno diagnostikuje příčiny pacientových obtíží.

Sonografie je pouze jednou z mnoha diagnostických metod, užívaných v medicíně, a její výsledky nejsou absolutní, tzn. v mnoha případech lékař pouze vyjádří podezření na výskyt patologie a doporučí další vhodné metody diagnózy (počítačová tomografie, CT; nukleární magnetická rezonance, NMR; apod.).

3.2 Stručná historie využití ultrazvuku v medicíně

Historicky jako první popsal možnost využití ultrazvukového záření již v roce 1942 Dr. Karl Theodore Dussik. Základní výzkum v oblasti medicínské sonografie se odehrával v 50. letech na univerzitě v Glasgow pod vedením profesora Iana Donalda. Od šedesátých let dochází k postupnému zavádění sonografie do klinické praxe.

Významný mezník ve využití ultrazvuku v medicíně představuje využití Dopplerova principu (od 70. let), který umožňuje v reálném čase sledovat prokrvení tkání a významně přispívá k přesnosti diagnózy maligních útvarů (bude pojednáno dále).

K rozvoji oboru sonografie dochází neustále, především se zdokonalováním technologií se zdokonalují i rozlišovací schopnosti přístrojů, které jsou určujícím prvkem kvality vyšetření.

3.3 Základní postupy sonografického vyšetření patologických útvarů

Jak již bylo zmíněno výše, princip vyšetření je založen na rozdílné propustnosti ultrazvukového záření různými typy tkání. Ultrazvukově je možno víceméně diagnostikovat celé tělo a sledovat veškeré patologické jevy či změny ať už v orgánech, cévách nebo třeba i v očích, tato práce se nicméně zabývá pouze patologickými útvary na vnitřních orgánech a proto bude omezena pouze na tyto.

Patologickými útvary rozumíme nežádoucí formace lokalizované na jednotlivých tělních orgánech či mimo ně. Tyto útvary do obvyklé struktury vnitřních orgánů nepatří a mohou být solitární či mnohočetné, eventuelně mohou vytvářet ložiska

další. V průběhu doby se mohou zvětšovat a strukturálně měnit. Orgán již svou přítomností poškozují a mohou mít negativní vliv na jeho funkci nebo dokonce na funkci celého organismu. Charakter takových útvarů (ložisek) se určuje podle následující řady faktorů:

- OSTROST KONTURACE
- STRUKTURA
- ECHOGENITA
- TVAR
- KALCIFIKACE
- STAV CÉV V OKOLÍ
- DISTAL ENHANCEMENT/SHADOW
- INFILTRACE DO OKOLÍ
- ELASTICITA
- MÍRA PROKRVENÍ

Na základě těchto faktorů je vyhodnocen charakter daného útvaru (cysta, hematom, tumor,... - viz příloha 1) a především je vyjádřeno podezření, zda se jedná o útvar **maligní** (zhoubný) nebo **benigní** (nezhoubný).

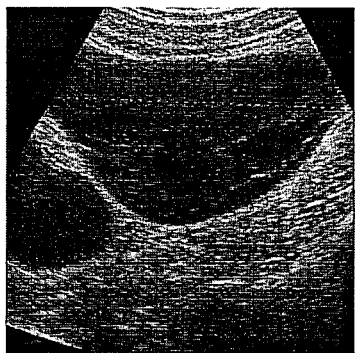
KONTURACE

První z řady vyhodnocovaných faktorů je ostrost konturace ložiska. Ta nabývá těchto možných hodnot:

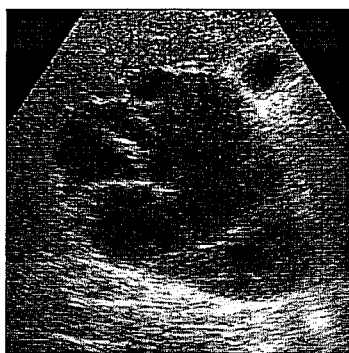
- ostrá
- částečně ostrá
- neostrá

OSTRÁ KONTURACE

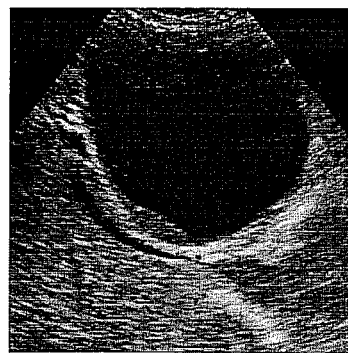
Ostře konturované útvary mají nejčastěji benigní charakter. Jak je patrné z následujících příkladů, jsou všechny útvary ostře konturované, tzn. lze jednoznačně rozhodnout odkud kam útvar dosahuje a jaká je jeho přesná velikost



Ostře konturovaný biliom



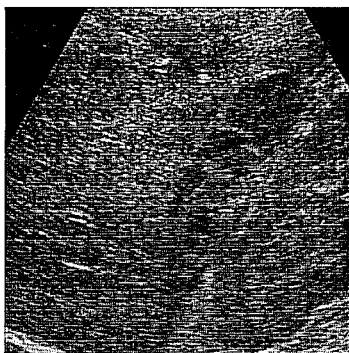
Biliární cystadenom



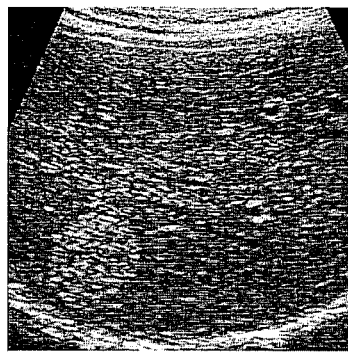
Cysta v játrech



Fokální nodulární hyperplazie



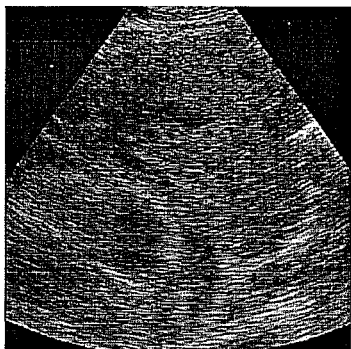
Hematom v játrech



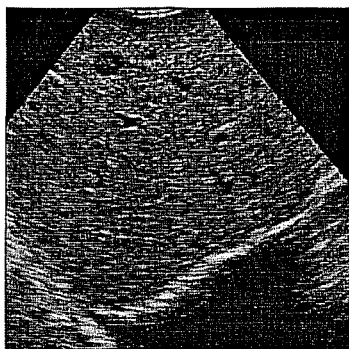
Kapilární hemangiom

ČÁSTEČNĚ OSTRÁ KONTURACE

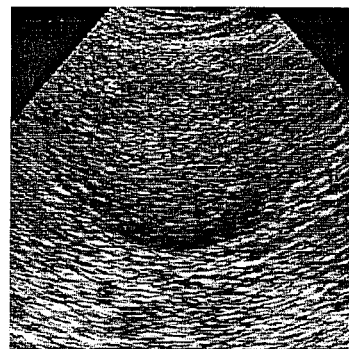
Částečně neostré útvary jsou nejčastěji ostře konturované pouze na části svého obvodu, jak demonstrují následující příklady. U takových útvarů již nelze zcela jistě určit jejich formu a jejich charakter je nejčastěji maligní. Neostrá kontura na části útvaru může značit i na infiltraci ložiska do okolních tkání, což 100% odpovídá malignímu charakteru.



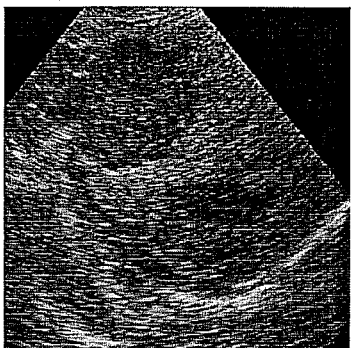
Maligní perikardiální tumor s více ložisky



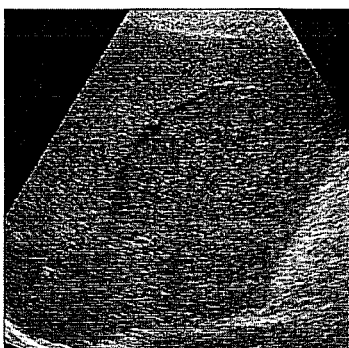
Maligní lymphom jater



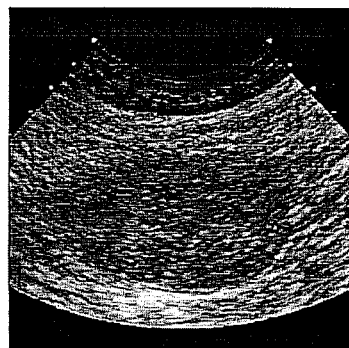
Metastáza v játrech s ostrou konturou pouze ve spodní části s patrnou infiltrací do okolí



Metastázy v játrech s infiltrací do okolních tkání



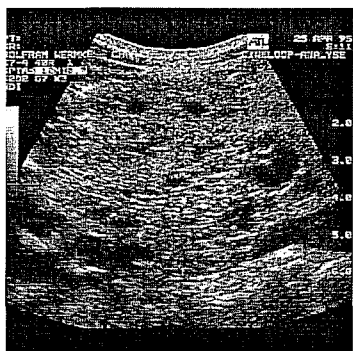
Primární maligní tumor jater s ostrou konturací pouze v levé části a s patrnou infiltrací



Metastáza v játrech, v levé horní části je kontura neostrá s infiltrací

NEJASNÁ KONTURACE

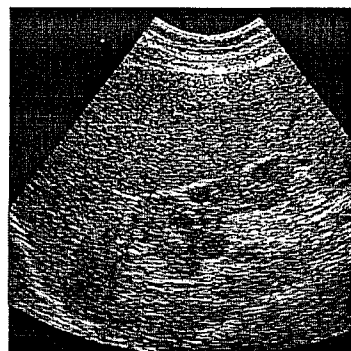
Neostře konturovaná ložiska mají téměř ve 100% maligní charakter. U takových útvarů je pak silně patrná infiltrace do okolních tkání, jako na těchto příkladech:



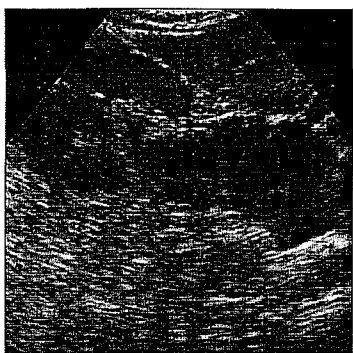
Infiltrativní karcinom
pankreatu



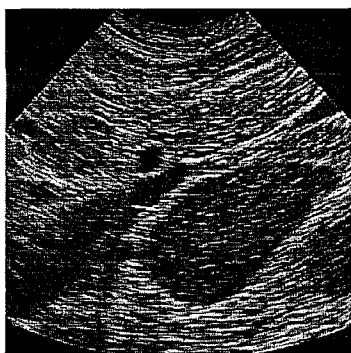
Infiltrativní karcinom
pankreatu



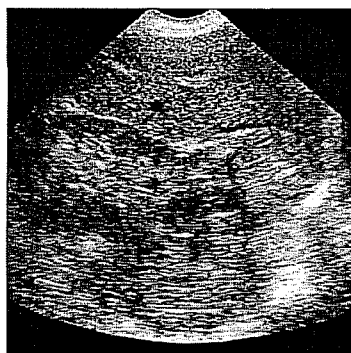
Maligní lymphom sleziny



Maligní lymphom ledviny



Maligní lymphom ledviny



Zákeřný maligní sarkom
v rozvinutém stádiu

STRUKTURA LOŽISKA

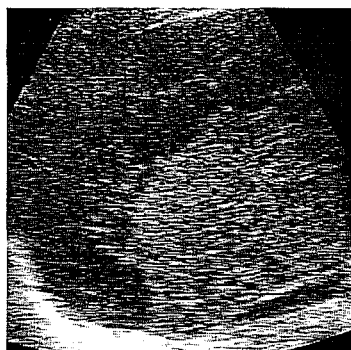
Struktura útvaru hraje významnou roli při určování typu a charakteru ložiska. Struktura může být:

- astrukturální
- jemná
- hrubá
- chaotická
- chaotická s rozpadem

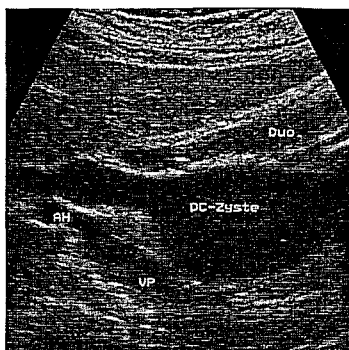
Astrukturální a jemná struktura značí spíše na benigní charakter útvaru; útvar s hrubou strukturou může být charakteru benigního i maligního; chaotická struktura či dokonce struktura s rozpadem poukazuje zcela jednoznačně na malignitu.

ASTRUKTURÁLNÍ CHARAKTER

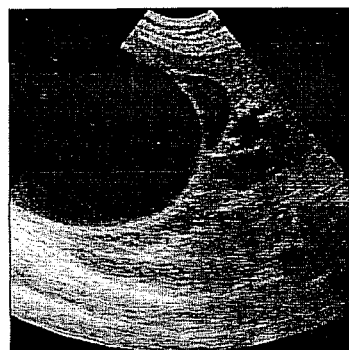
Astrukturální charakter mají taková ložiska, která nejsou tkáňového charakteru, tzn. jsou to různé cysty vyplněné tekutinou, plynem apod.



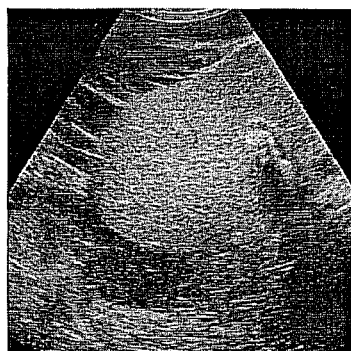
Subkapsulární hematom



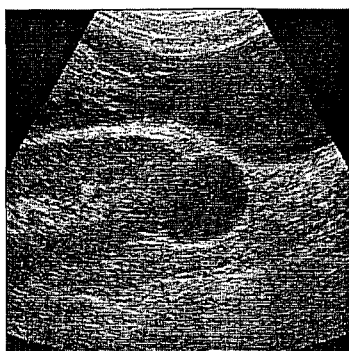
Choledochiální cysta
vyplněná tekutinou



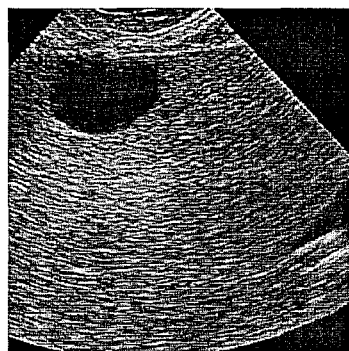
Typická cysta v játrech



Pseudomyxom s patrnou
septací



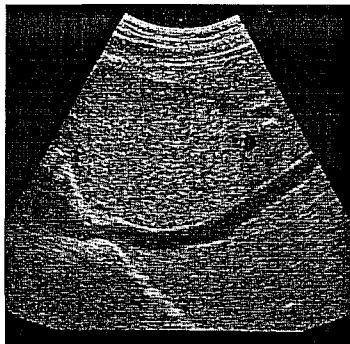
Benigní biliom v játrech



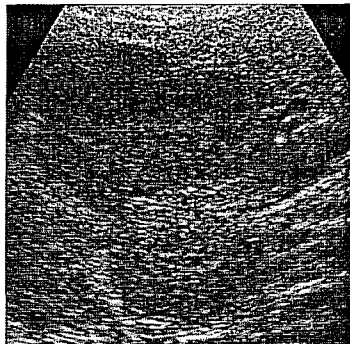
Typická dysontogenetická
cysta v játrech

JEMNÁ STRUKTURA

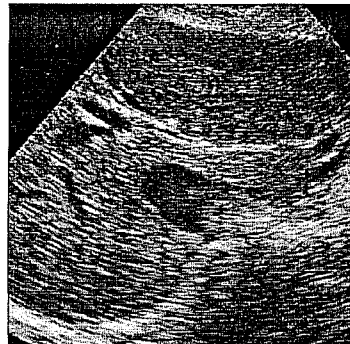
Jemná struktura je typická pro patologicky nezměněné tkáně (játra, pankreas, ledviny, ...); v případě patologických ložisek pak spíše odpovídá jejich benignímu charakteru. Lze ovšem popsat i maligní útvary s touto charakteristikou.



Fokální nodulární hyperplazie s typicky jemnou strukturou



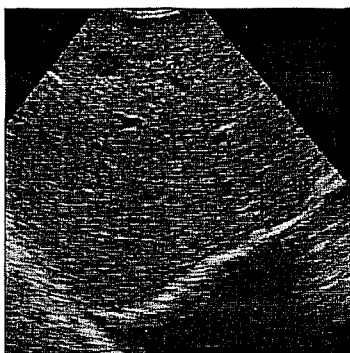
Kavernózní hemangiom



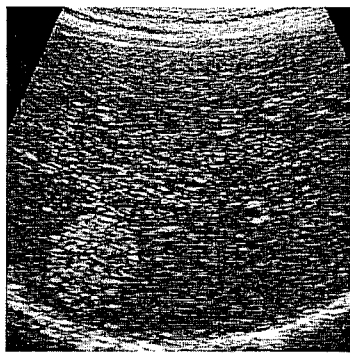
Fokální nodulární hyperplazie



Benigní adenom v játrech s patrnou drobnou kalcifikací přibližně uprostřed ložiska



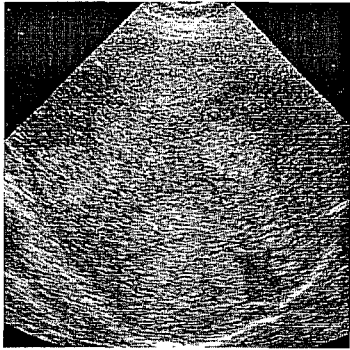
Jemně strukturovaný maligní lymphom



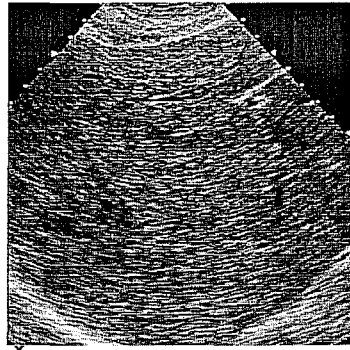
Výrazně hyperechogenní kapilární hemangiom s mírně zhrubělou, ale stále jemnou strukturou

HRUBÁ STRUKTURA

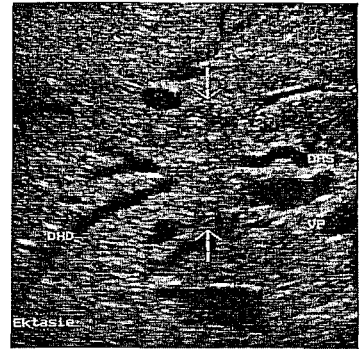
Hrubá struktura ložiska souvisí spíše s maligním charakterem ložiska, ale existuje i mnoho příkladů hrubě strukturovaných benigních útvarů.



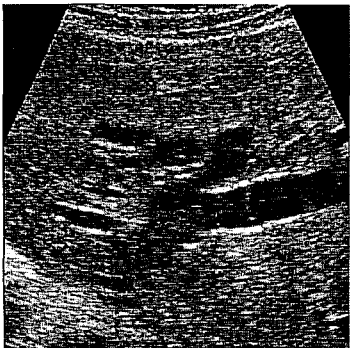
Hyperechogenní metastázy v játrech s typicky hrubou strukturou



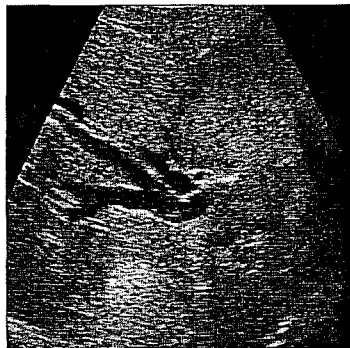
Částečně trombotizovaný hemangiom



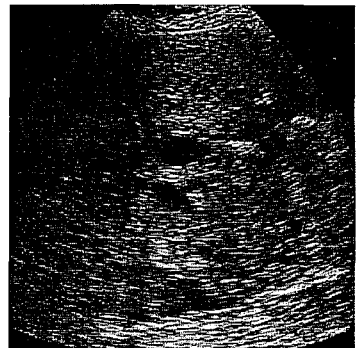
Klatskinův tumor (označený šipkami) s nejasnou konturací a hrubou strukturou



Typický maligní tumor jater



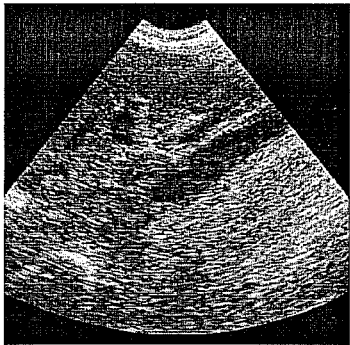
Výrazně hrubě strukturovaný adenokarcinom



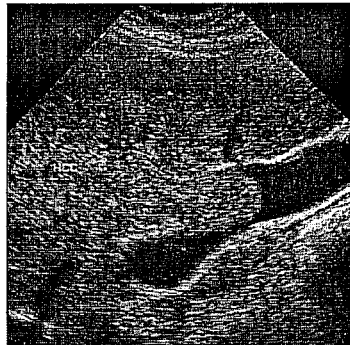
Maligní lymphom

CHAOTICKÁ STRUKTURA

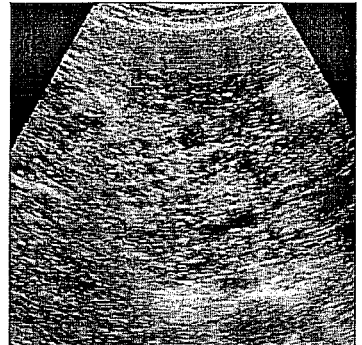
Ložiska s chaotickou strukturou jsou téměř ve 100% maligního charakteru. Takové útvary jsou často i nejasně konturované a infiltrují do okolních tkání.



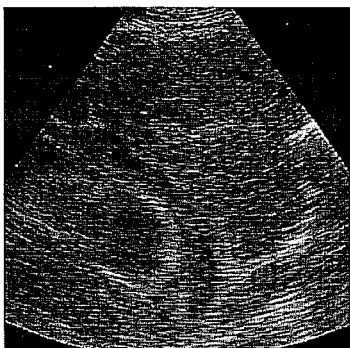
Chaoticky strukturované metastázy v játrech s nejasnou konturací



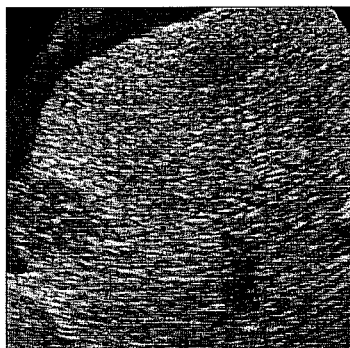
Trombotizovaný maligní tumor jater



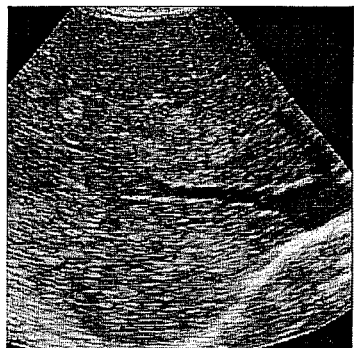
Chaotické metastázy v játrech



Několik ložisek maligního perikardiálního tumoru



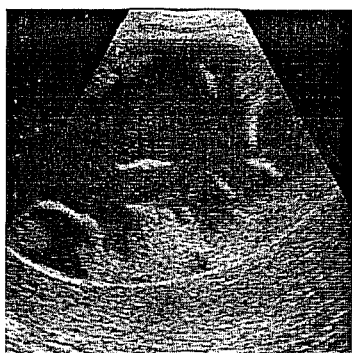
Multilokulární hepatocelulární karcinom - patrně několik chaotických ložisek s nejasnou konturací



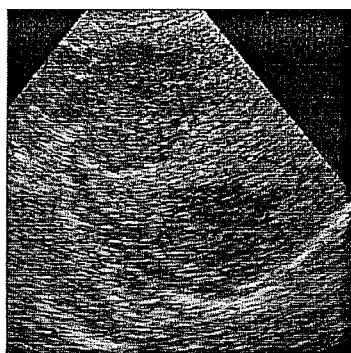
Výrazně hyperechogenní metastázy v játrech

CHAOTICKÁ STRUKTURA S ROZPADEM

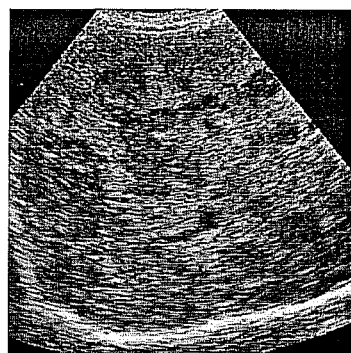
Patologická ložiska s patrným rozpadem lze charakterizovat jako 100% maligní. Rozpad tkáně značí pokročilé vývojové stádium útvaru a pacient je již velmi často neléčitelný.



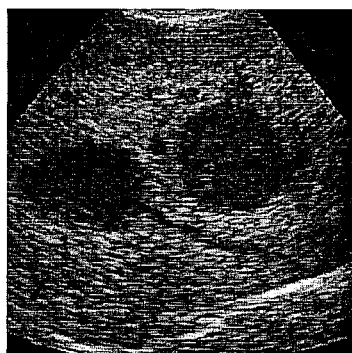
Rozpadající se maligní sarkom s patrnými sekundárními nádory



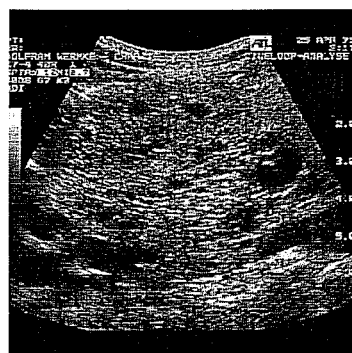
Metastázy v játrech v pokročilém stádiu rozpadu



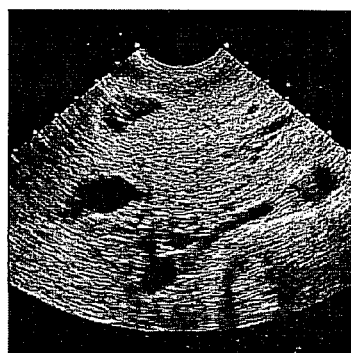
Chaoticky strukturované metastázy s rozpadem



Maligní rozpadající se lymphom



Mikrocystický adenom



Infiltrativní karcinom pankreatu

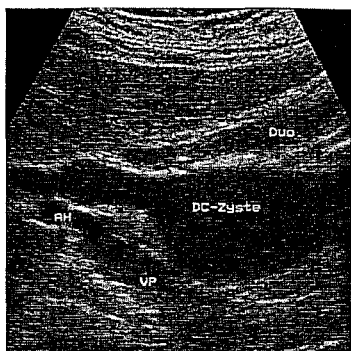
ECHOGENITA

Echogenita je faktorem, který přispívá ke zpřesnění diagnózy jednotlivých patologických útvarů. Některé útvary se na monitoru přístroje zobrazují jako světlejší než okolní tkán, některé jako tmavší, zcela černé nebo naopak stejně světlé/tmavé jako okolí. Ložisko z hlediska echogenity může být:

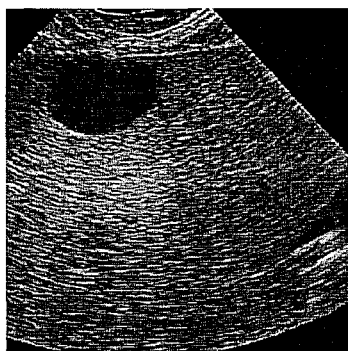
- anechogenní (černé)
- hypoechogenní (tmavší než okolí)
- isoechogenní (stejně světlé/tmavé jako okolí)
- hyperechogenní (světlejší než okolí)
- chaoticky echogenní (některé části ložiska světlejší, jiné tmavší)

ANECHOGENITA

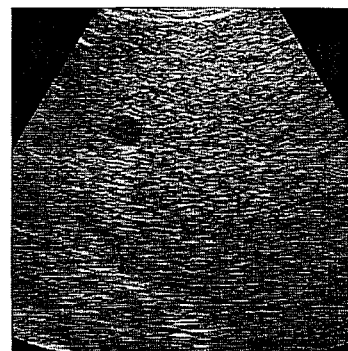
Anechogenita je typická (stejně jako astrukturální charakter) pro cystoidy a podobné benigní útvary. Lze jednoznačně prohlásit, že anechogenita odpovídá benignímu charakteru ložiska.



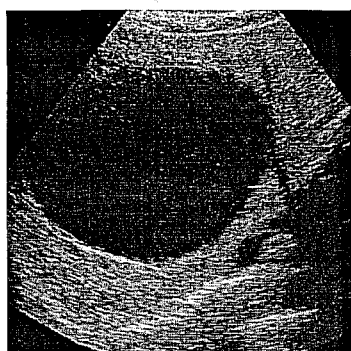
Choledochiální cysta v
játrech



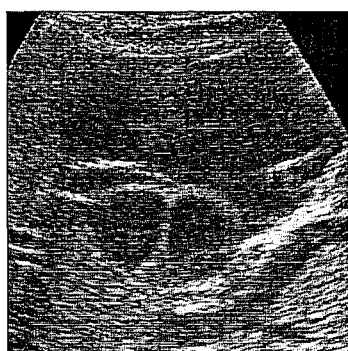
Typická cysta
s patrným distal
enhancement



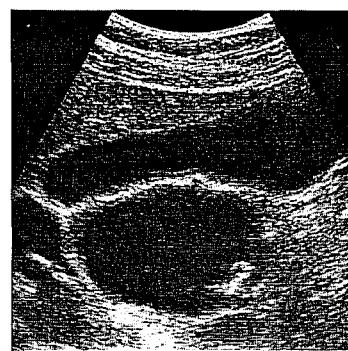
Drobná anechogenní
cysta



Cysta větších rozměrů



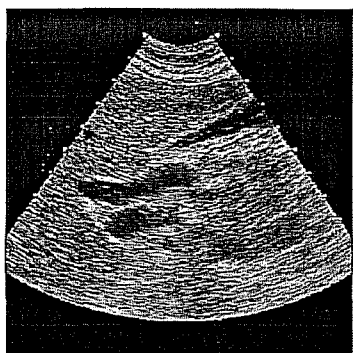
Echinokoková cysta



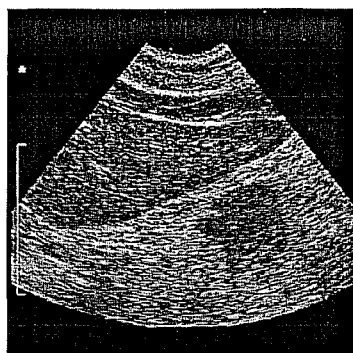
Choledochiální cysta
s patrnou kalcifikací ve
spodním ložisku

HYPOECHOGENITA

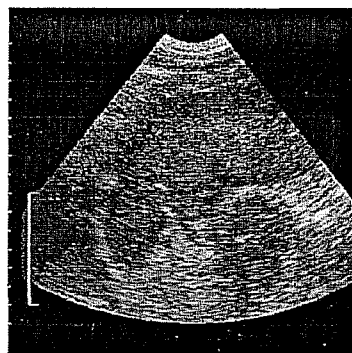
Hypoechogenní útvary (tmavší než okolní tkáň) jsou typické spíše pro maligní útvary, nelze ovšem jednoznačně rozhodnout, že hypoechogenní útvar nemůže být i benigního charakteru.



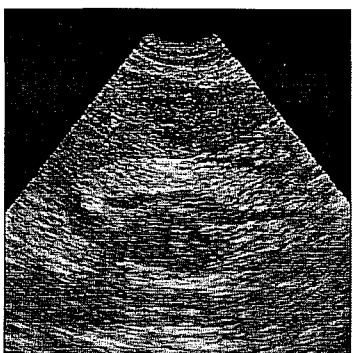
Hypoechogenní maligní karcinom hlavy pankreatu



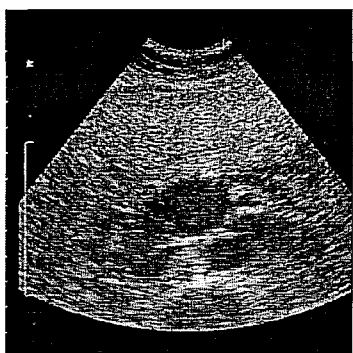
Maligní karcinom pankreatu



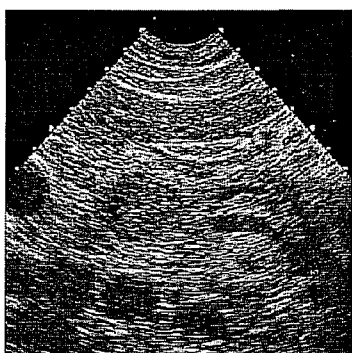
Maligní karcinom pankreatu



Maligní tumor uncinatu



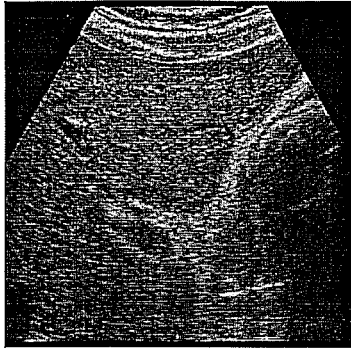
Neuroendokrinní maligní tumor pankreatu



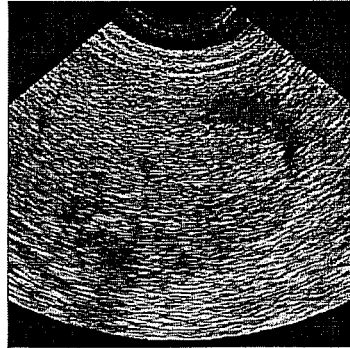
Hypoechogenní metastázy parenchymu pankreatu

ISOECHOGENITA

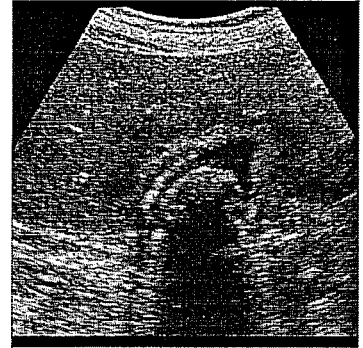
Útvary, které lze charakterizovat jako isoechogenní (stejně světlé/tmavé jako okolí), jsou často hůře čitelné na monitoru ultrazvuku, proto je i nesnadné změřit jejich přesnou velikost. Isoechogenní útvary jsou téměř ve všech případech maligní.



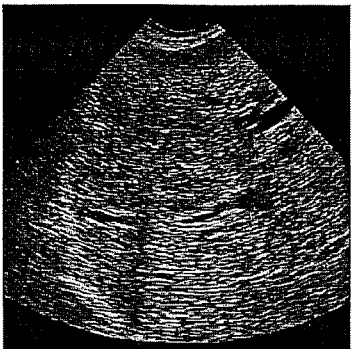
Isoechogenní maligní karcinom žlučníku



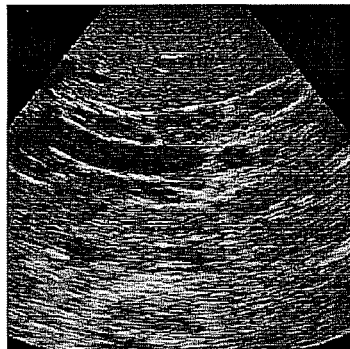
Polypoidní karcinom žlučníku s kalcifikací a s tím souvisejícím distal shadow



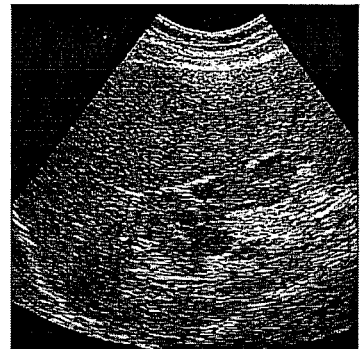
Invazivní karcinom žlučníku s patrnou kalcifikací a výrazným distal shadow



Maligní tumor žlučníku



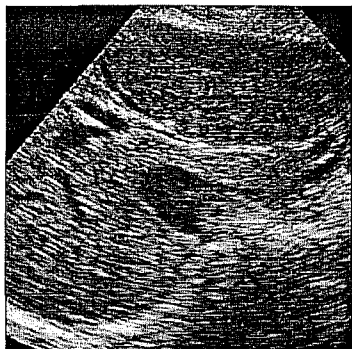
Několik isoechogenních ložisek maligního lymphomu pankreatu



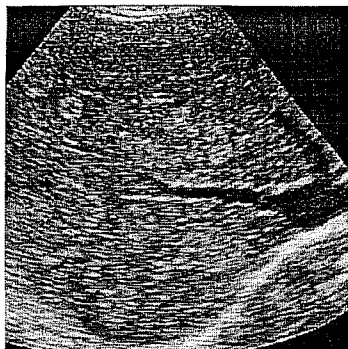
Isoechogenní lymphom sleziny

HYPERECHOGENITA

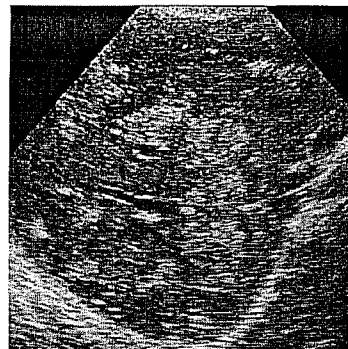
Hyperechogenní ložiska (světlejší než okolí) mohou být benigního i maligního charakteru, jak demonstrují uvedené příklady; pro maligní útvary je nicméně typická spíše hypoechogenita.



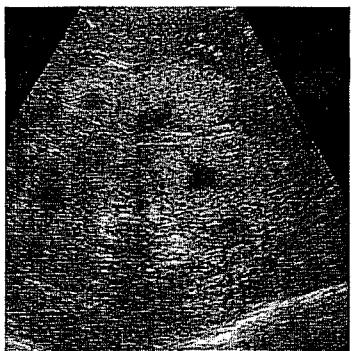
Hyperechogenní fokální nodulární hyperplazie



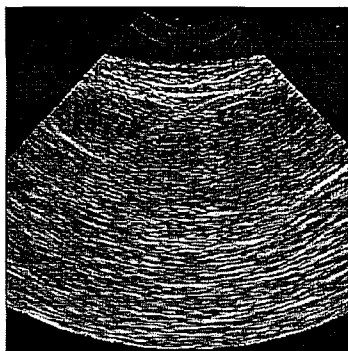
Hyperechogenní metastázy v játrech



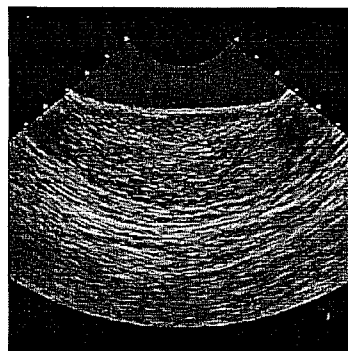
Výrazně hyperechogenní metastázy v parenchymu jater



Hyperechogenní metastázy v játrech



Hyperechogenní benigní lipom v dutině břišní



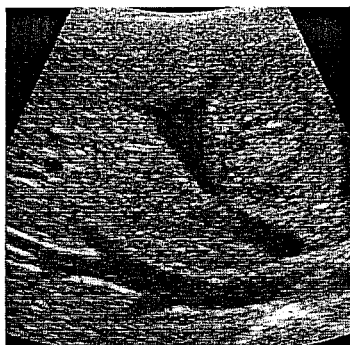
Výrazně hyperechogenní lipom

CHAOTICKÁ ECHOGENITA

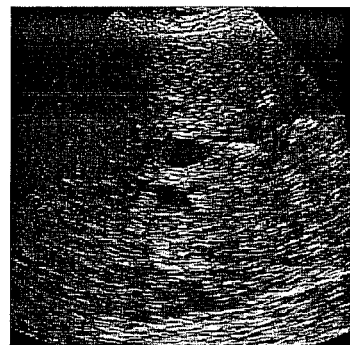
Jak je patrné z těchto příkladů, chaoticky echogenní útvary jsou téměř vždy maligního charakteru, většinou mají i chaotickou strukturu a infiltrují do okolních tkání.



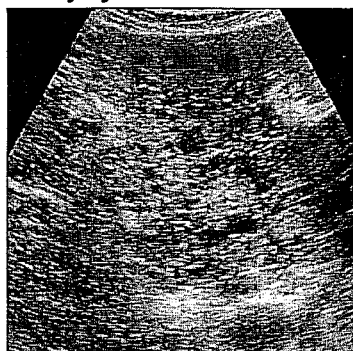
Chaoticky echogenní hepatocelulární karcinom s několika ložisky; prostřední části jsou světlé, zatímco okraje jsou tmavší



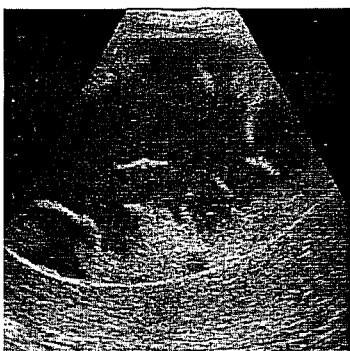
Chaoticky echogenní metastáza v játrech - střed je světlý, okraje tmavé



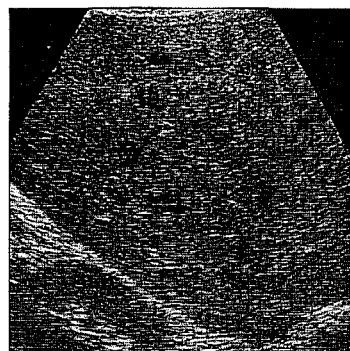
Chaotický maligní lymphom žlučovodu



Strukturou i echogenitou chaotické metastázy v játrech



Výrazně chaotický, neostře konturovaný malignom jater



Maligní cholangiocelulární karcinom jater

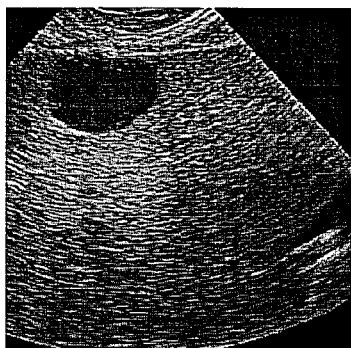
TVAR

Tvar patologického ložiska je dalším zpřesňujícím faktorem pro vyhodnocení jeho benigního nebo maligního charakteru. Tvar může být

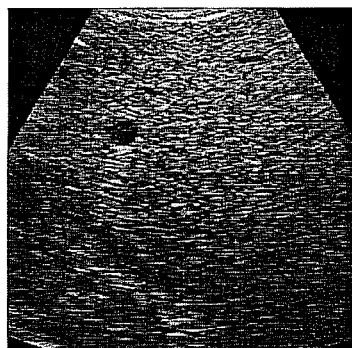
- pravidelný
- nepravidelný

PRAVIDELNÝ TVAR

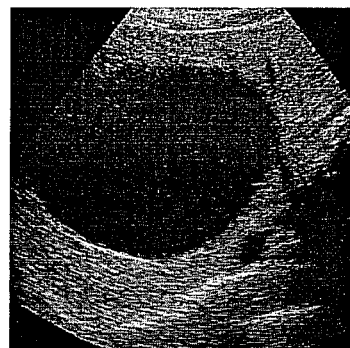
Pravidelný tvar mají nejčastěji ložiska benigního charakteru, nicméně jak dokladují příklady i maligní útvar může být pravidelného tvaru.



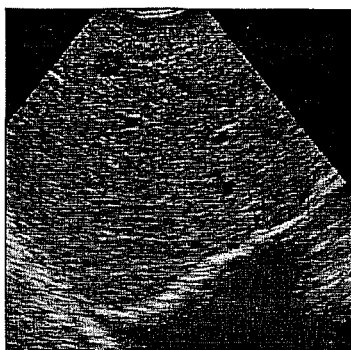
Typická jaterní cysta s patrným distal enhancement



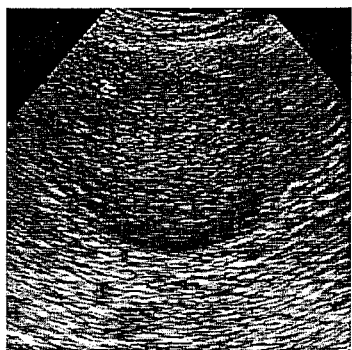
Pravidelně tvarovaná drobná cysta v játrech



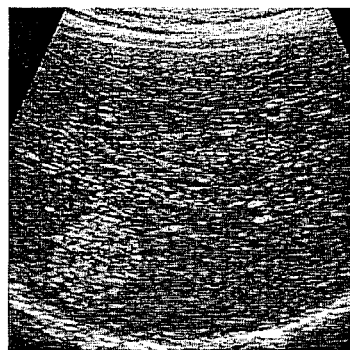
Nadměrně velká cysta v játrech



Drobný, pravidelně tvarovaný maligní primární lymphom



Metastáza v játrech pravidelného tvaru



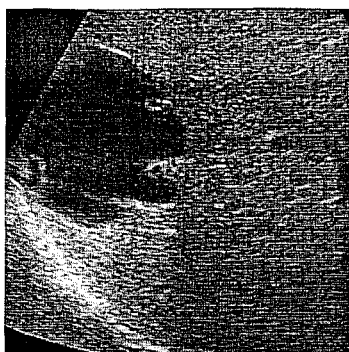
Pravidelně tvarovaný benigní kapilární hemangiom

NEPRAVIDELNÝ TVAR

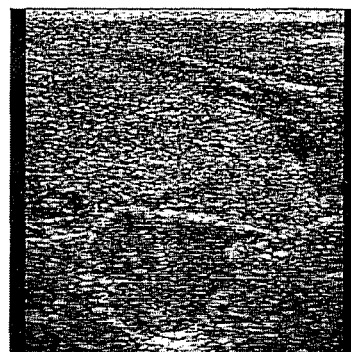
Nepravidelný tvar mívají především maligní ložiska; u takových ložisek je ovšem tvar často špatně definovatelný, protože mívají nejasnou konturaci.



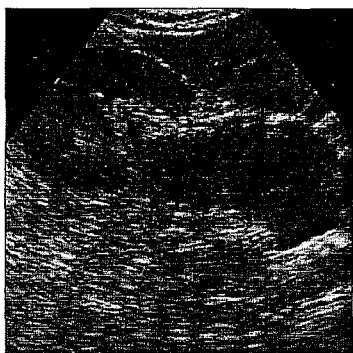
Hepatocelulární karcinom s několika nepravidelně tvarovanými ložisky



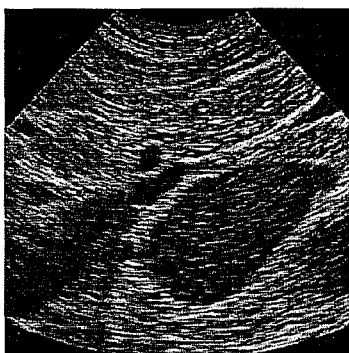
Cysta v játrech nepravidelného tvaru



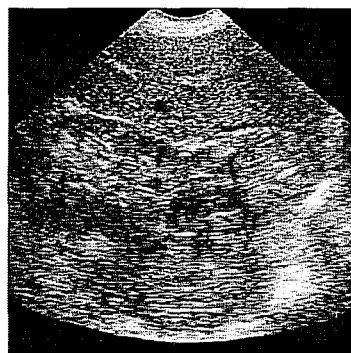
Nepravidelně tvarovaný benigní gastrinom



Maligní lymphom s několika nepravidelnými ložisky



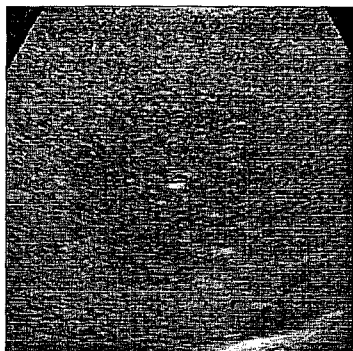
Maligní lymphom



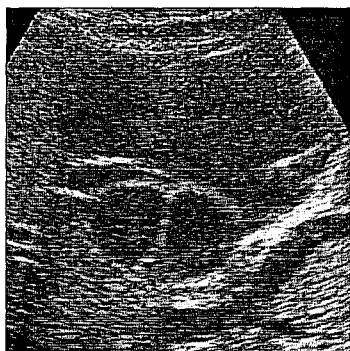
Infiltrativní sarkom s několika ložisky nepravidelného tvaru a s výrazně patrnou infiltrací

KALCIFIKACE

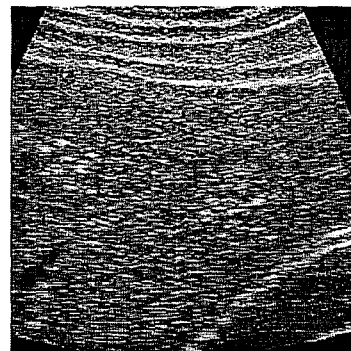
Kalcifikace jsou vápenné inkrustace v orgánech, které mají nejrůznější původ a na monitoru přístroje se zobrazují jako velmi světlé až bílé ostře konturované útvary, nejčastěji drobné velikosti. Klasickým příkladem kalcifikace jsou žlučnickové kameny. Kalcifikace je typická pro některé druhy útvarů, jako jsou například veškeré maligní karcinomy prsu nebo echinokokové cysty.



Adenom v játrech s drobnou, ale výrazně patrnou kalcifikací



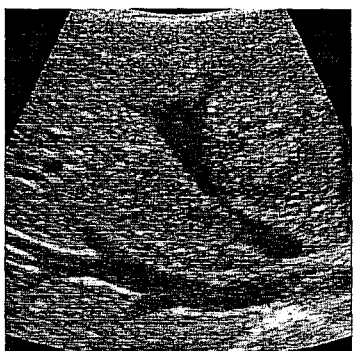
Echinokokové cysty, pro které jsou kalcifikace typické



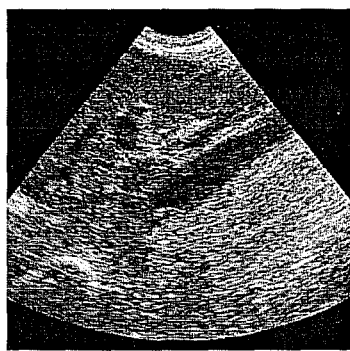
Metastázy v játrech s patrnými drobnými kalcifikacemi

TROMBOTIZOVANÉ CÉVY V OKOLÍ LOŽISKA

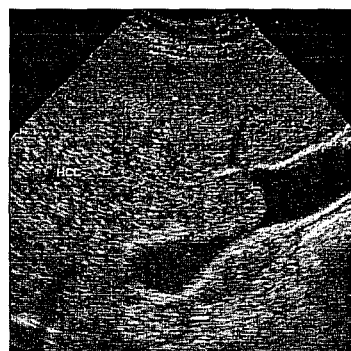
Trombóza okolních cév hraje významnou roli při diagnostice charakteru ložiska. Benigní útvary, nejčastěji solidního charakteru, „vytlačují“ okolní cévy, ovšem nemění jejich charakter a zachovávají jejich průchodnost. Opačný případ jsou maligní ložiska, která prorůstají (infiltrují) do okolí a postupem času ucpávají (trombotizují) okolní cévy. V takovém případě hovoříme o trombu cévy a celý proces postupného ucpávání nazýváme trombotizací.



Metastázy v játrech s trombotizací okolních cév



Primární jaterní tumor se sekundárními metastázami s patrnou trombotizací



Výrazně patrná cévní trombóza způsobená primárním karcinomem jater

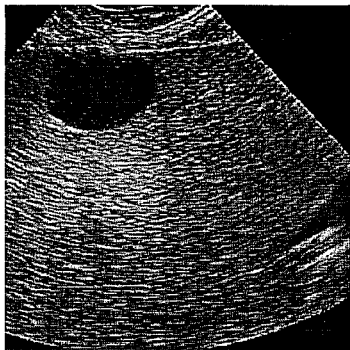
DISTAL ENHANCEMENT/SHADOW

Anglický termín *distal* nemá český ekvivalent a používá se v souvislosti s průchodností ultrazvukového signálu ložiskem. Ultrazvukový signál se při průchodu tkání postupně zeslabuje, proto je například u velmi obézních pacientů vyšetření nemožné, protože signál tukovou masou neprojde. Distal nepřímo přispívá k určení charakteru útvaru a může být dvojího typu:

- distal enhancement
- distal shadow

DISTAL ENHANCEMENT

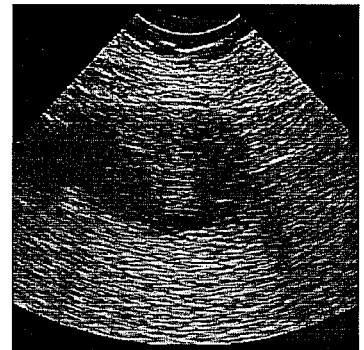
V některých případech může při vyšetření dojít k zesílení signálu, v takovém případě hovoříme o *distal enhancement*. Příčinou takového zesílení signálu je nejčastěji benigní útvar naplněný vodou nebo plynem - signál se průchodem vodou nebo plynem nezeslabí jako při průchodu tkání, ale naopak zesílí.



Typická dysontogenetická cysta s výrazným zesílením signálu



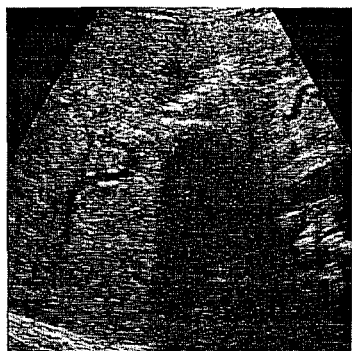
Nepravidelně tvarovaná cysta opět s výrazným distal enhancement



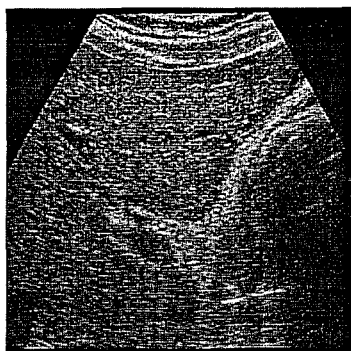
Jaterní hematom - stejně jako cysty i hematom obsahuje tekutinu (krev) - proto patrný distal enhancement

DISTAL SHADOW

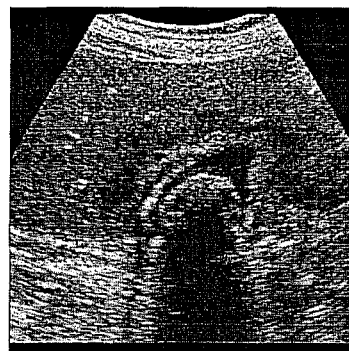
Opačný případ než *distal enhancement* je *distal shadow*, tedy zeslabení signálu, které se zobrazuje jako stín za ložiskem. Takový stín je způsoben vyšší hustotou tkáně, kterou signál prochází. Nejčastějším příkladem DS jsou kalcifikace - signál se výrazně ztrácí za vápenným ložiskem.



Výrazný distal shadow způsobený kalcifikací primárního maligního karcinomu jater



Infundibulární karcinom žlučníku opět s patrným distal shadow



Žlučnickové kameny, specifický příklad kalcifikace - v tomto případě nesouvisející s patrným invazivním karcinomem

INFILTRACE

Ložiska infiltrující (prorůstající) do okolních tkání jsou vždy maligního charakteru. Infiltrace úzce souvisí s ostroostí konturace ložiska - pokud má útvar ostrou konturu, tedy je možno přesně zjistit odkud kam zasahuje a jaká je jeho přesná velikost, nelze o infiltraci uvažovat. Již částečně neostrá konturace značí na možnou infiltraci do okolních tkání a tedy i na možnou malignitu ložiska; v případě zcela nejasné kontury je téměř vždy nález infiltrace pozitivní.

Příkladem benigních ložisek bez infiltrace jsou cysty - viz oddíl OSTRÁ KONTURACE.

Příkladem infiltrativních útvarů jsou veškeré maligní útvary popsané výše.

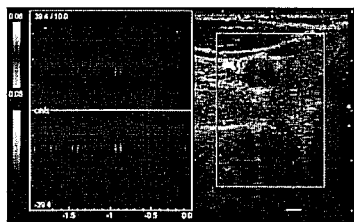
MÍRA PROKRVENÍ LOŽISKA

Ke stanovení míry prokrvení ložiska je nezbytné použití dopplerovské funkce ultrazukového přístroje, tzv. *powerdoppler*. V takovém případě je možno sledovat v reálném čase jednotlivé krevní pulsy v ložisku a tak jednoznačně rozhodnout o jeho prokrvení. Samotné prokrvení se na monitoru přístroje zobrazuje jako lineární křivka, z níž i laik snadno odečte srdeční pulsy. Z hlediska prokrvení mohou být ložiska:

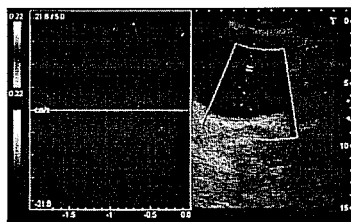
- bez prokrvení
- prokrvená

LOŽISKA BEZ PROKRVENÍ

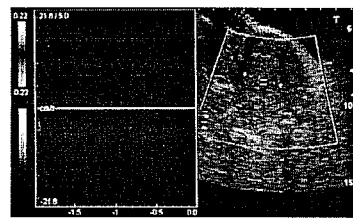
Obecně lze deklarovat, že benigní útvary jsou spíše bez prokrvení. Z následujících příkladů je patrné, že křivka v ose y nenabývá kladných ani záporných hodnot



Standardní neprokrvená tkáň - křivka vpravo je zcela bez výkvů



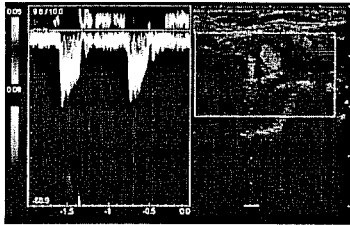
Močový měchýř - zcela bez prokrvení



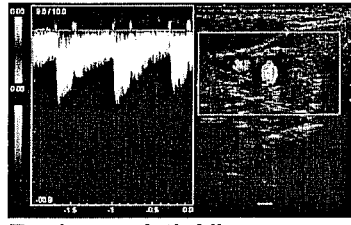
Tkáň bez prokrvení

PROKRVENÁ LOŽISKA

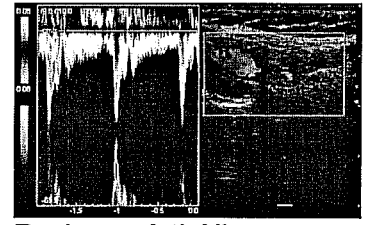
Prokrvená ložiska jsou ve většině případů maligního charakteru, což přímo souvisí s jejich zákeřným bujením - novotvorbou - maligní útvar si sám nutně potřebuje vytvořit vlastní cévní zásobení. Následující případy demonstrují prokrvení tkáně sledované v reálném čase



Prokrvená tkáň



Prokrvená tkáň



Prokrvená tkáň

3.4 Základní úvahy o projektu expertního systému

Projekt expertního systému, který je hlavním cílem této práce, by měl sloužit jako asistenční software pro lékaře při analýze patologických ložisek na vnitřních orgánech, objevených při ultrazvukovém vyšetření. Pro vývoj takového systému mají zásadní význam dobře strukturovatelná vstupní - analyzovaná - data (faktory, které byly představeny dříve - struktura, echogenita, tvar atd.). Výsledkem práce by měl být expertní systém, který bude po zadání vstupních strukturovaných parametrů asistovat při rozhodování, zda se jedná o útvar **benigního** nebo **maligního** charakteru, tedy zda je analyzovaný útvar pro pacienta relativně neškodný – benigní - či (v případě malignity) nebezpečný.

Projekt expertního systému trvá běžně řadu let a podílí se na něm ve většině případů několik odborníků [Mařík et al., 97]. Není v možnostech jednoho člověka vytvořit úplně komplexní systém. Tato diplomová práce je tedy omezena pouze na vytvoření prototypu systému pro již několikrát zmíněnou asistenci při usuzování na benigní či maligní charakter ložiska.

3.5 Akvizice znalostí

Expertní znalosti potřebné pro projekt expertního systému lze získat dvěma různými způsoby - ručně nebo automaticky [např. Berka, 98; Mařík, 97; Jackson, 94; a jiní].

Ručním získáváním znalostí jsou myšleny různé techniky opakovaného vedení interview mezi znalostním inženýrem a příslušným expertem na danou problematiku. Automatické získávání znalostí přímo souvisí s metodou *objevování znalostí v databázích* (knowledge discovery in databases) a s *dolováním z dat* (data-mining, information harvesting).

Pro budoucí návrh projektu jsem se pokusil použít obě zmíněné metody - několikrát jsem o problematice diskutoval se spolupracujícím expertem - MUDr. Marií Šimovou Urbanovou s cílem zjistit postup, jakým expert při ultrazvukovém vyšetření a následné analýze útvarů postupuje. Původně jsem chtěl získat tzv. *rozhodovací pravidla typu IF-THEN* (např. IF hrubá struktura AND nejasná konturace THEN malignita s váhou 0.8), narazil jsem ovšem na problém, který popisuje Mařík [Mařík et al., 97], a totiž *„...platí jakýsi paradox znalostního inženýrství - čím více se experti stávají kompetentními, tím méně jsou schopni popsat znalost, kterou používají k řešení problémů.“* Z těchto interview s Dr. Šimovou Urbanovou se bohužel podařilo získat jen náznak takových rozhodovacích pravidel.

Významným určujícím faktorem pro další práci bylo nicméně zjištění, že lékař při rozhodování často usuzuje podle podobnosti s již v minulosti řešenými případy. **Takový přístup lékaře odpovídá přístupu case-based reasoning (CBR) v expertních systémech.**

3.6 Výběr nástrojů pro prototyp expertního systému

Jak již bylo zmíněno dříve, rozhodovací pravidla se formou vedení interview s expertem nepodařilo získat. Pro budoucí projekt přicházely do úvahy v zásadě dva možné přístupy (viz kapitola 1.4.1):

- systém založený na case-based reasoning (CBR)
- rule-based systém založený na automaticky získaných pravidlech

Vzhledem k výše zmíněnému faktu, že lékař při analýze útvaru usuzuje mj. i podle podobnosti s již řešenými případy, jako nejvhodnější se jeví možnost projektu prototypu CBR expertního systému.

Model case-based reasoning není založen na soustavě pravidel IF-THEN, ale na využití databáze vyřešených případů z minulosti. Analyzovaný nový případ ložiska je porovnán se všemi případy ze zmíněné databáze; z té jsou vybrány shodné či nejpodobnější případy a ty jsou předloženy uživateli ke konzultaci s novým případem. V průběhu práce se systém může snadno „doučovat“, a to jednoduchým přidáním nově vyřešeného případu do databáze.

Využití case-based modelu v medicíně je vhodné z několika důvodů [Gierl et al., 98]:

- podobnost s klinickou praxí lékaře

Lékař v klinické praxi často usuzuje na základě podobnosti nového případu s vlastní zkušeností. CBR model je tak pro lékaře velmi přirozeným nástrojem pro praktické použití.

- flexibilita báze dat

CBR jsou na rozdíl od klasických rule-based systémů nepoměrně flexibilnější – prakticky kontinuálně se rozvíjejí postupným přidáváním nových záznamů do databáze – čímž se průběžně zvyšuje i jejich efektivita a přesnost.

- integrace objektivních a subjektivních znalostí

Objektivní medicínské znalosti, tak jak jsou uváděny v učebnicích, normách, směrnicích apod. často nejsou dostatečně určující pro mnohé typy případů, protože v medicíně je každý případ svým způsobem specifický. CBR báze tak obsahuje generalizované obecné znalosti z předchozích případů a zároveň i specifické znalosti ze speciálních případů, které průběžně integruje do databáze

- abstrakce znalostí

Databázi systému CBR je možné i účelné „vytěžit“ a získat tak např. obecná rozhodovací pravidla apod.

- snadná integrace do existujících medicínských informačních systémů

Systém CBR je de facto jedna standardní databáze a lze jej poměrně snadno integrovat do prakticky jakéhokoli informačního systému.

- rychlost vytvoření báze získaných znalostí

Zkušenost z oblasti využití CBR v expertních systémech ukazuje, že CBR systémy lze velmi rychle „postavit“. Goos a Schewe [Goos a Schewe, 93] po porovnání CBR a rule-based přístupu došli k závěru, že zatímco klasický rule-based systém byl vyvíjen 18 měsíců, stejně funkční CBR systém byl vytvořen za pouhé 2 měsíce.

3.7 Tvorba prototypu expertního systému

Pro možnost využití modelu CBR jsem sestavil strukturovanou databázi 100 příkladů typických patologických ložisek, které pocházejí částečně z dostupné literatury a částečně z archivu pracoviště spolupracujícího experta - Ultrazvukové ordinace doc. MUDr. Václava Šimonovského CSc. a MUDr. Marie Šimové Urbanové v Příbrami. **Tato databáze tvoří jádro prototypu CBR systému.** O detailní popis jednotlivých případů jsem požádal Dr. Šimovou Urbanovou. U všech uvedených příkladů je potvrzena jejich malignita/benignita; všechny záznamy jsou opatřeny doplňujícím obrázkem patologického nálezu.

Pro účely CBR systému jsou sledovány a vyhodnocovány tyto charakteristiky ložiska:

- OSTROST KONTURACE
- STRUKTURA
- ECHOGENITA
- TVAR
- KALCIFIKACE
- INFILTRACE DO OKOLÍ
- MÍRA PROKRVENÍ

Ostatní charakteristiky, které spoluurčují charakter ložiska (tj. elasticita, stav cév v okolí) nebyly do databáze zahrnuty, a to jednoduše proto, že jsou pozorovatelné pouze v průběhu vyšetření, ale na tištěném obrazovém výstupu z přístroje sledovatelné nejsou - např. elasticitu ložiska lékař zjišťuje tak, že mírně stlačuje místo nálezu ultrazvukovou sondou a jasně vidí, zda je útvar elastický či naopak pevný, solidní.

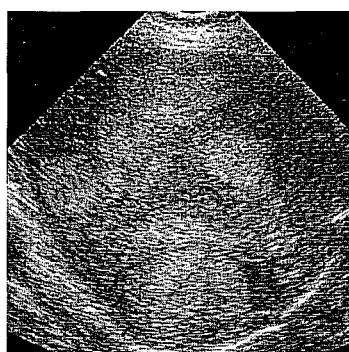
Strukturovanou databázi jsem sestavil v MS Excelu, který je pro tyto účely vhodným nástrojem (viz. příloha 1). Pokud by byl podobný systém aplikován v praxi, byl by jistě opatřen přehledným ovládacím a komunikačním modulem; pro účely této diplomové práce je nicméně samotné jádro systému - strukturovaná databáze v MS Excelu - plně dostačující.

Vývoj tohoto systému nemá za cíl být hotovou aplikací určenou pro denní použití v klinické praxi. Jak již bylo dříve zmíněno, jedná se pouze o prototyp jádra případného systému. V praxi by pak systém fungoval tímto způsobem:

1. lékař při vyšetření objeví podezřelé ložisko. Není si jistý správností provedené analýzy a spustí konzultaci s navrhovaným systémem
2. lékař zadá zjištěné charakteristiky ložiska (= strukturovaná vstupní data - tvar, echogenita, struktura atd.)
3. na základě zadaných charakteristik systém vyhledá shodné či podobné záznamy ložisek, jejich popis, obrázek/obrázky a výsledek, tedy zda jsou vyhledané případy maligního/benigního charakteru

Rozhodujícím faktorem kvality systému je doplnění jednotlivých záznamů příslušným obrázkem ložiska. Lékař tak může vizuálně porovnat ložisko, které objeví s obrazovou dokumentací podobných ložisek.

Vyhledané záznamy z databáze mohou být uživateli předloženy např. v této formě:



STRUKTURA	hrubá
KONTURACE	nejasná
ECHOGENITA	hyper
TVAR	nepravidelný
KALCIFIKACE	ne
INFILTRACE	ano
PROKRVENÍ	ano
VÝSLEDEK	maligní

METASTÁZY

(obr. 10 - možný výstup vyhledaného ložiska)

3.8 Shoda a podobnost konzultovaného případu se záznamy v databázi

V případě nalezení shodných záznamů s konzultovaným případem je odpovídající algoritmus velmi jednoduchý, a to:

```
SELECT záznamy WHERE všechny charakteristiky
konzultovaného EQUAL všechny charakteristiky
jednotlivých záznamů v databázi
```

V případě nalezení příbuzných záznamů pracujeme s tzv. Hammingovou vzdáleností². Takový algoritmus vypadá tak, že:

```
SELECT záznamy WHERE všechny až na jednu charakteristiku
(d=1) konzultovaného EQUAL všechny charakteristiky
jednotlivých záznamů v databázi
```

² Hammingova vzdálenost (d): R. Hamming, americký matematik (1915-1998). Používá se v oblasti kódování; označuje počet znaků, ve kterých se dvě kódová slova liší.

3.9 Verifikace systému

Pro verifikaci systému byly použity dvě metody:

1. cross validation

Princip této metody spočívá v tom, že jsou z databáze postupně vyňaty všechny záznamy a každý je aplikován jako nový případ na celou databázi. V tomto případě byl vždy postupně porovnán každý záznam proti zbylým 99 záznamům.

Bez použití Hammingovy vzdálenosti byly vyhledány shodné záznamy v 81% případů. Užití verifikační metody cross validation prokázalo, že CBR báze neobsahuje žádné tzv. "špatné dvojníky", tedy záznamy, které by měly shodné charakteristiky, ale jiný výsledek (ne maligní, ale benigní; a naopak). Z výsledku testování lze odvodit, že báze neobsahuje chyby.

Při použití Hammingovy vzdálenosti $d=1$ se počet záznamů, pro něž byly nalezeny mezi ostatními podobné, zvýšil na 95%. Zbylých 5% záznamů se liší od potenciálně nejbližších případů ve dvou charakteristikách (Hammingova vzdálenost $d=2$). Ve všech případech měly nalezené podobné záznamy stejný výsledek jako zkoumaný záznam.

2. testovací soubor 20 nových případů

Jako druhý způsob verifikace jsem aplikoval soubor 20 náhodně vybraných případů (viz. příloha 2). Bez použití Hammingovy vzdálenosti byly nalezeny shodné záznamy v 65% případů; při použití Hammingovy vzdálenosti $d=1$ se počet záznamů, pro něž byly nalezeny v databázi podobné, zvýšil na 85%. Ve všech případech měly nalezené podobné záznamy stejný výsledek jako zkoumaný záznam.

Dokumentace výsledků verifikace je uvedena v přílohách 3 a 4.

3.10 Zhodnocení systému

Celkově lze považovat cíl projektu za splněný. Původní myšlenka, tedy projekt založený na klasickém rule-based přístupu, musel být opuštěn; nicméně case-based systém se ukázal být velmi vhodným, úplným a přesným nástrojem pro využití v sonografii. Pokládám za velký úspěch, že sestavená CBR báze při testování prokázala svou kvalitu.

Lze se domnívat, že kvalitu vyhledávání v systému je možné zvýšit rozšířením CBR báze jednotlivých případů, což by v praxi nebyl problém - stačí nově vyřešený případ jednoduše přidat do databáze. Vzhledem k tomu, že sledovaných charakteristik ložisek je 7, které nabývají celkem 21 hodnot (teoreticky 1200 možných kombinací), nelze očekávat, že CBR báze 100 záznamů bude pokrývat všechny kombinace (samozřejmě vyjma těch, které jsou klinicky nemožné - např. anechogenita AND infiltrace). CBR báze nicméně představuje určitý model, jak by takový systém mohl fungovat v praxi.

Je ovšem potřeba zdůraznit, že CBR báze rozhodně není absolutním nástrojem k určování povahy jednotlivých ložisek. Existuje řada dalších klinických faktorů, které do systému nebyly zařazeny – jsou to faktory jako hmotnost pacienta, věk, bolesti, anamnéza a jiné. V případě, že by systém pracoval i s ostatními spouštějícími faktory, jistě by jeho kvalita byla vyšší. Dalším omezujícím faktorem je rozsah báze – jak již bylo zmíněno, databáze 100 záznamů sice prokázala kvalitu, ale její rozšíření by přineslo lepší výsledky.

4. ZÁVĚR

Expertní systémy, specifická oblast umělé inteligence, byly vyvíjeny od 60. let dvacátého století a hrají dnes významnou roli v mnoha aspektech lidského života. Jejich význam v oblasti vědy, techniky, medicíny, farmacie, businessu a dalších je nepopiratelný. Svým uživatelům pomáhají k lepším, kvalifikovanějším rozhodnutím, šetří čas a prostředky. Vždyť zavedení expertního systému u Canadian Pacific Railroad ušetřilo společnosti za 10 let 300,000,000 USD!

Již dnes se s expertními systémy setkáváme v každodenním životě, ať už si to uvědomujeme nebo ne, a není pochyb o tom, že se s nimi budeme setkávat stále častěji. Stačí jen požádat v USA o úvěr a žádost bude posouzena právě expertním systémem.

I v medicíně expertní systémy určitou měrou přispívají k vyšší kvalitě zdravotní péče; odborný personál se s jejich využitím nemusí zabývat rutinními úkony a rozhodnutími, ale soustředit svoji energii na klinicky opravdu významné faktory.

Tato diplomová práce je příspěvkem k velmi perspektivnímu oboru umělé inteligence. Nastínil jsem, jak by mohl v praxi fungovat expertní systém pro sonografii, specifický obor zobrazovacích metod. Neměl jsem za cíl vytvořit funkční komplexní systém, ale naznačit určitý model takového systému.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [Bennett, 90] BENNETT, James et al. *SACON: a knowledge-based consultant for structural analysis*. Stanford : Stanford University, 1978.
- [Berka, 98] BERKA, Petr. *Expertní systémy*. Praha : Vysoká škola ekonomická, 1998. 160 s. ISBN 80-7079-873-4
- [Coiera, 03] COIERA, Enrico. *Artificial intelligence in medicine* [online]. [cit. 2006-05-15]. Dostupný z World Wide Web: <http://www.coiera.com/papers/aim.pdf>
- [de Dombal, 72] de DOMBAL, F.T.; et al. Computer-aided diagnosis of acute abdominal pain. *British Medical Journal*. 1972, č. 1, s. 9-13.
- [Drozdová, 91] DROZDOVÁ, Věra; ZÁDA, Václav. *Umělá inteligence a expertní systémy*. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní, 1991. 212 s. ISBN 80-7083-075-1
- [Feigenbaum, 79] FEIGENBAUM, E.A. Themes and Case Studies of Knowledge Engineering. In: MICHIE, D (ed.): *Expert Systems in the Micro-Electronic Age*. Edinburgh University Press, 1979, s. 154-163.
- [Feigenbaum, 82] FEIGENBAUM, E.A. *Knowledge Engineering in the 1980s*. Stanford : Stanford University, 1982. 213 s.
- [Gierl, 98] GIERL, L.; LENZ, M. (eds.). *Proceedings of the 6th German Workshop on Case-Based Reasoning*. IMIB series vol. 7. Rostock : University of Rostock, 1998. 386 s. ISBN 3-13-128001-9
- [Goos a Schwewe, 93] GOOS, K.; SCHWEWE, S. Case-based reasoning in clinical evaluation. In ANDREASSEN, S.; ENGELBRECHT, R.; WYATT, J. (eds.) *Artificial Intelligence in Medicine*. München : IOS Press, 1993. s. 445-448. ISBN 3-89861-393-3
- [Gosman, 90] Gosman, Svatoslav. *Umělá inteligence a expertní systémy : Výběr informací z organizační a výpočetní techniky*. Praha : Kancelářské stroje, 1990. 168 s. ISBN 80-7018-004-8.
- [Huntington, 99] HUNTINGTON, D. Knowledge based systems : A look at Rule-Based Systems. In LIEBOWITZ, B. (ed). *Knowledge management handbook*. Boca Raton : CRC Press, 1999, s. 171-180. ISBN 0-8493-0238-2

- [Jackson, 94] JACKSON, Peter. *Introduction to Expert Systems*. Wokingham : Addison-Wesley Publishing Company, 1994. xvii, 526 s., ISBN 0-201-17578-9
- [Ledley a Lusted, 59] LEDLEY, R.S.; LUSTED, L.B. *The use of electronic computers to aid in medical diagnosis*, Proc. IRE 47(11):1970-1977, 1959.
- [Mařík et al., 97] MAŘÍK, Vladimír; ŠTĚPÁNKOVÁ, Olga a LAŽANSKÝ, Jiří. *Umělá inteligence*. 2. Praha : Academia, 1997. 373 s. ISBN 80-200-0504-8
- [Minsky, 68] MINSKY, M. *Semantic Information Processing*. Cambridge (MA, USA) : MIT Press, 1968. 432 s.
- [Musen, 99] MUSEN, M.A. Stanford Medical Informatics: uncommon research, common goals. *MD Computing*, 1999 Jan-Feb;16(1):47-8, 50.
- [Provazník, 99] PROVAZNÍK, Ivo; KOZUMPLÍK, Jiří. *Expertní systémy*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1999. 100 s. ISBN 80-214-1486-3
- [Wiederhold, 86] WIEDERHOLD, G. Knowledge versus data. In BRODIE a MYLOPOULOS (eds.). *On Knowledge Based Management Systems. Integrating Artificial Intelligence and Database Technologies*. Springer Verlag, 1986
- COIERA, E. Artificial Intelligence in Medicine: The Challenges Ahead. *Journal of the American Medical Informatics Society*. 1996, vol. 3, no. 6, s. 363-366. ISSN 1067-5027
- COIERA, E. Which clinical decisions benefit from automation? A task complexity approach. *International Journal of Medical Informatics*. 2003, no. 70, s. 309-316
- GIGER, M.E. Computer-Aided Diagnosis of Breast Lesions in Medical Images. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2002, vol. 28, no. 12, s. 982-989
- HUBERT, P. Designing an Expert System in a Medical Facility. *Industrial Engineering*. 1992, vol. 24, no. 3, s. 60-62
- LENZ, M.; et al. (eds.). *Case-Based Reasoning. From Foundations to Applications*. Berlin : Springer Verlag, 1998. ISBN 3-540-64572-1

MECKLER, U.; WERMKE, W. *Sonographische Differentialdiagnostik. Systematischer Atlas - Abdomen - Urogenitaltrakt - Schilddrüse*. Köln : Deutche Ärzte Verlag, 1997. ISBN 3-7691-0307-6

NGAH, U.K; PING, C.C.; AZIZ,S.A. Mammographic Image and Breast Ultrasound Based Expert System for Breast Diseases. In NEGOITA, M.G. (ed.). *KES 2004, LNAI 3214*. Berlin : Springer Verlag, 2004. s. 599-607. ISBN 3-540-23318-0

NGUYEN, A.N.D.; HARTWELL, E.A.; MILAM, J.D. A Rule-Based Expert System for Laboratory Diagnosis of Hemoglobin Disorders. *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*. 1996, vol. 120, no. 9, s. 817-827

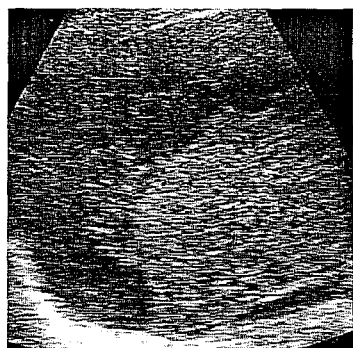
SANTOS, J.; VALE, Z.; RAMOS, C. On the Verification of an Expert System: Practical Issues. In HENDTLASS, T. a ALI, M. (eds.). *IEA/AIE 2002, LNAI 2358*. Berlin : Springer Verlag, 2002, s. 414-424. ISBN 3-540-43781-9

SHORTLIFFE, E.H. The adolescence of AI in medicine: Will the field come in age of the 90s? *Artificial Intelligence in Medicine*. 1993, vol. 28, no. 4, s. 60-78. ISSN 0933-3657

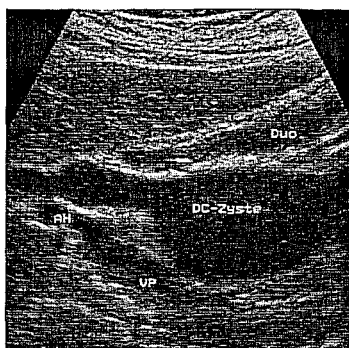
YAKHNO, T; et al. Kidney Allocation Expert System with Case-Based Reasoning. In YAKHNO, T. (ed.). *ADVIS 2004, LNCS 3261*. Berlin : Springer Verlag, 2004. s. 489-498. ISBN 3-540-23478-0

PŘÍLOHA 1 - CBR DATABÁZE

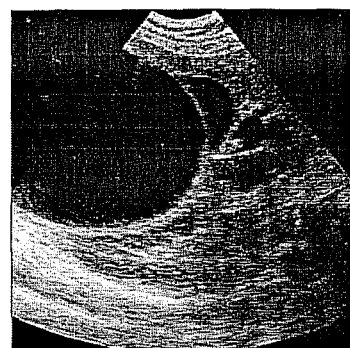
Uvedeno je všech 100 případů z vytvořené databáze s popisem a doplňujícím obrázkem.



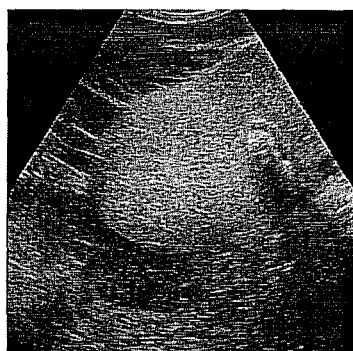
1



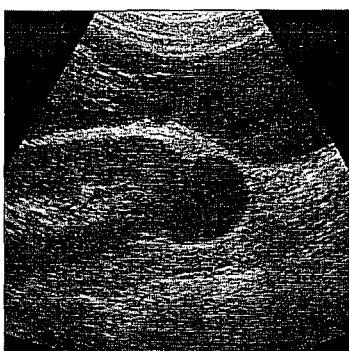
2



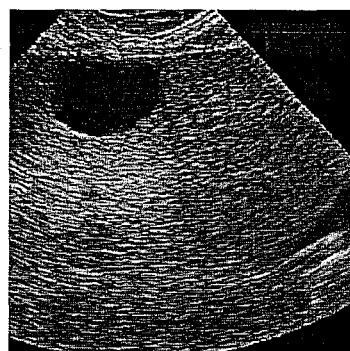
3



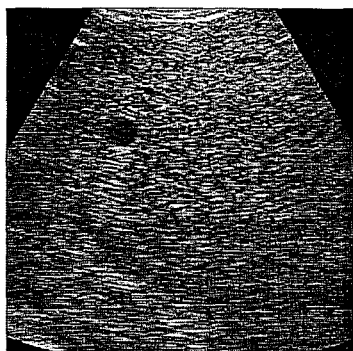
4



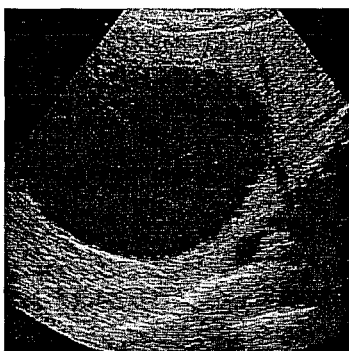
5



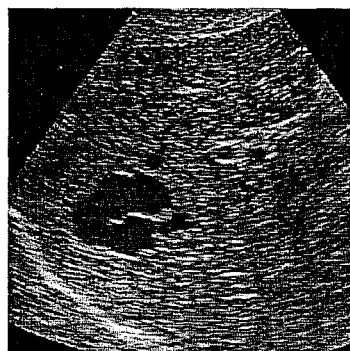
6



7

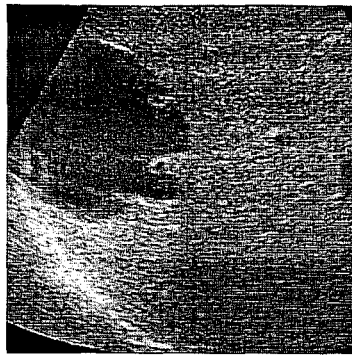


8

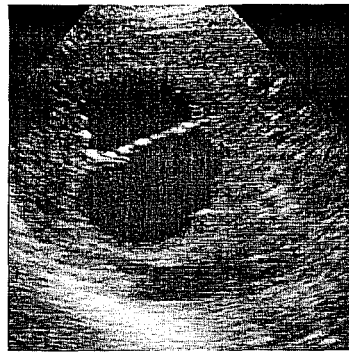


9

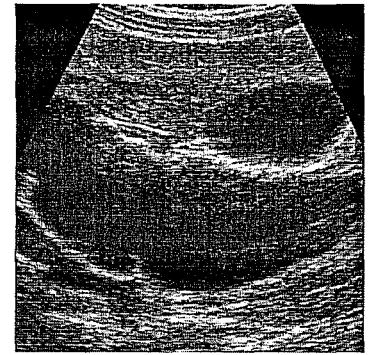
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
1	hematom	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B
2	choledoch, cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
3	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
4	pseudomyxom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
5	billom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
6	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
7	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
8	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
9	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B



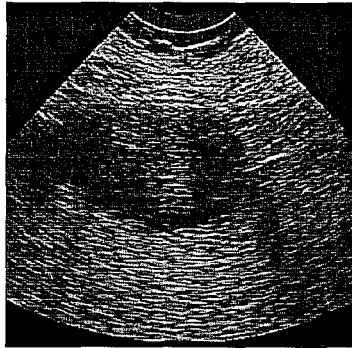
10



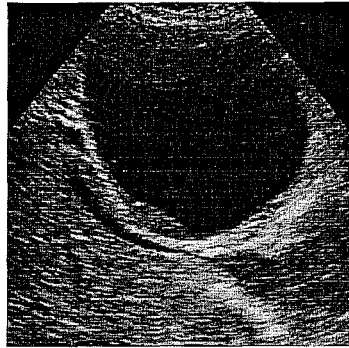
11



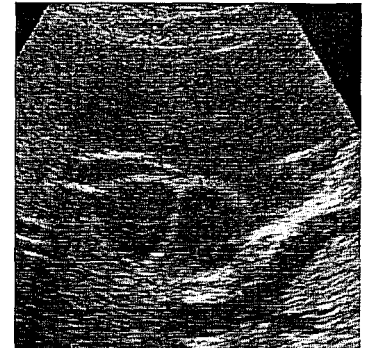
12



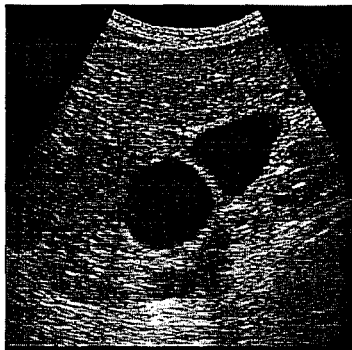
13



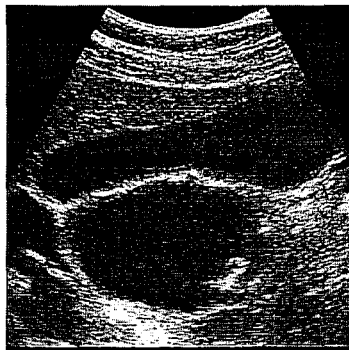
14



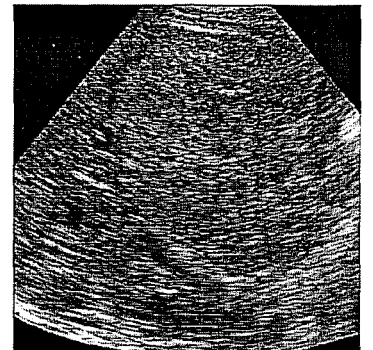
15



16

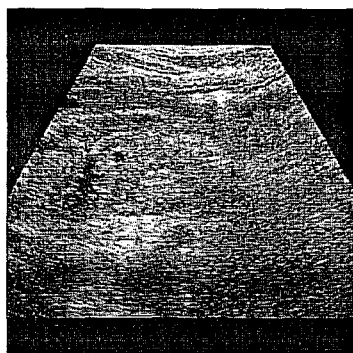


17

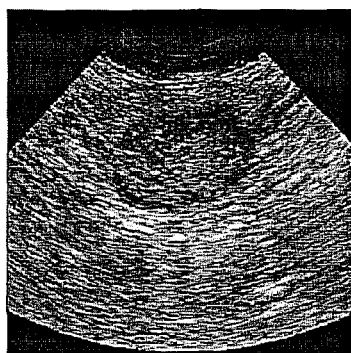


18

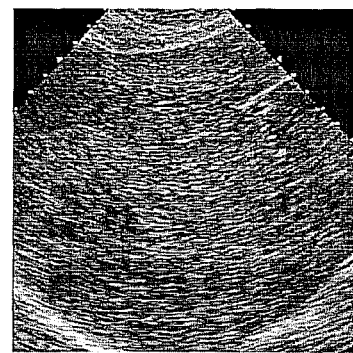
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
10	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B
11	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
12	choledoch. cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
13	hematom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
14	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
15	echinokok. cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	ANO	NE	NE	B
16	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
17	choledoch. cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	ANO	NE	NE	B
18	adenom	hrubá	část. neostrá	iso	P	NE	NE	NE	B



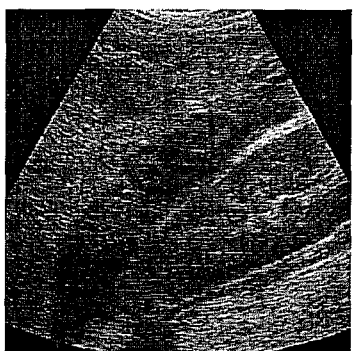
19



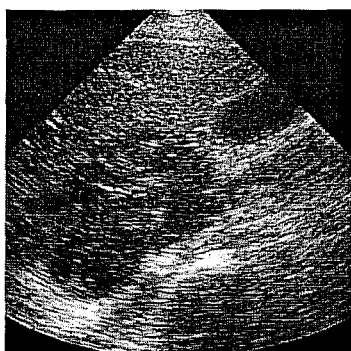
20



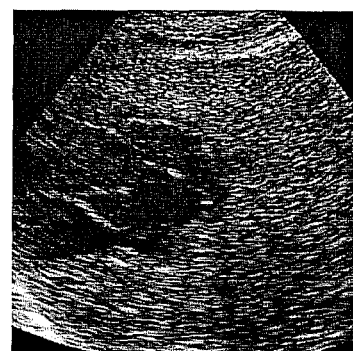
21



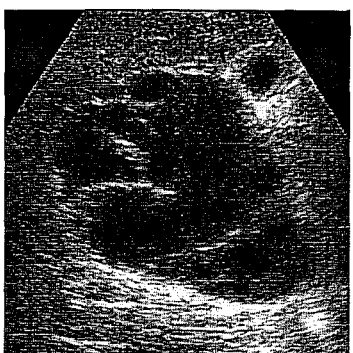
22



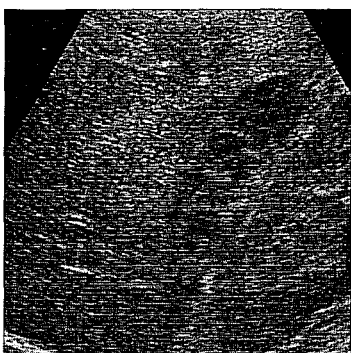
23



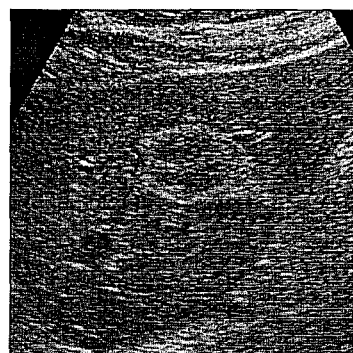
24



25

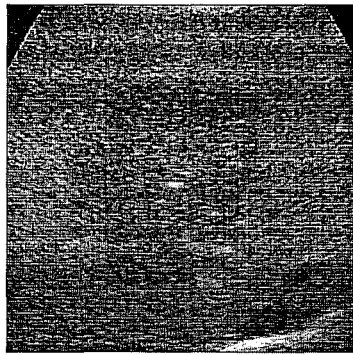


26

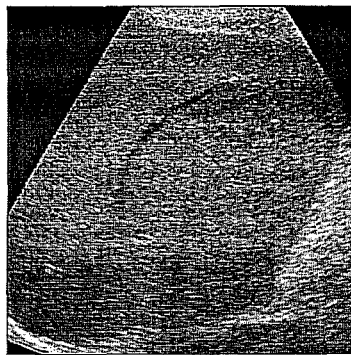


27

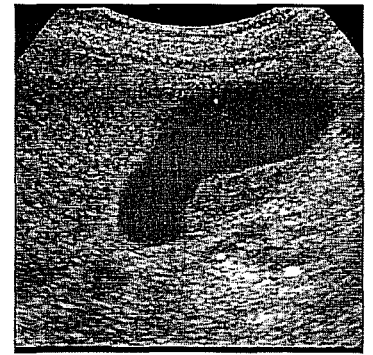
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
19	tumor	hrubá	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
20	neurinom	hrubá	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B
21	tromb. hemangiom	hrubá	ostrá	hyper	N	NE	NE	NE	B
22	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
23	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
24	echinokok. cysta	hrubá	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
25	echinokok. cysta	hrubá	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
26	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B
27	adenom	hrubá	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B



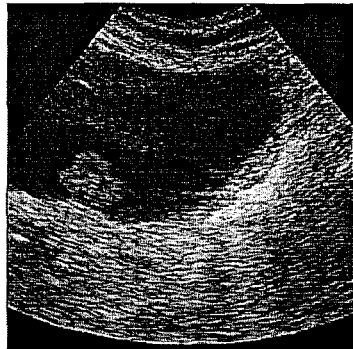
28



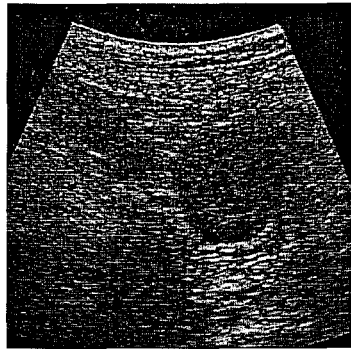
29



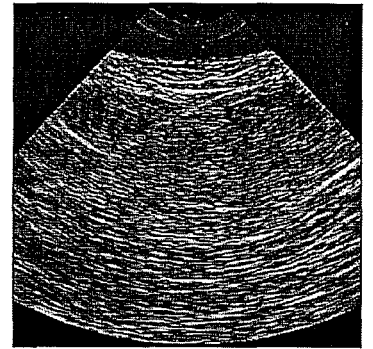
30



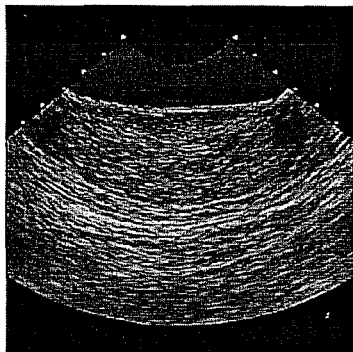
31



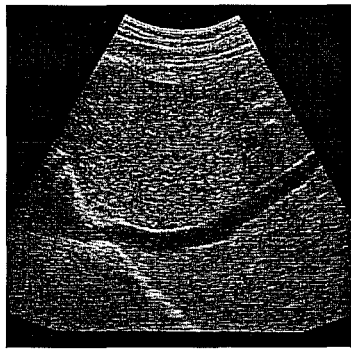
32



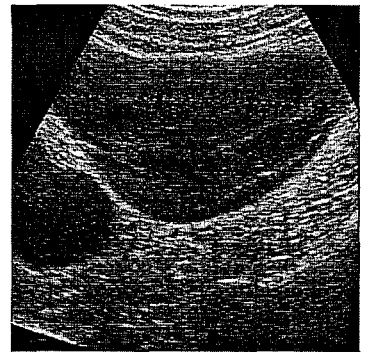
33



34

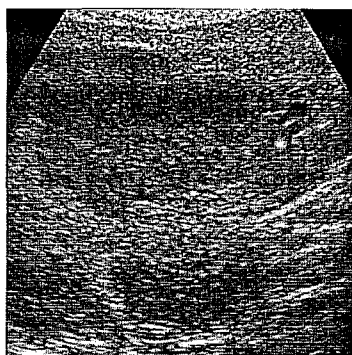


35

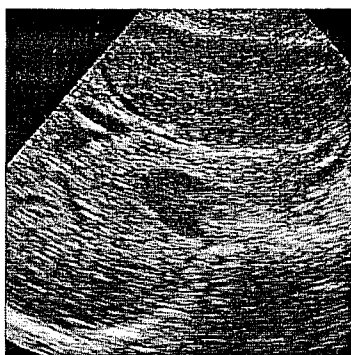


36

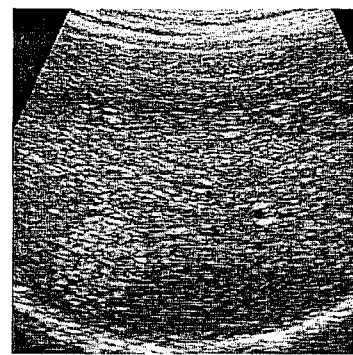
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
28	adenom	jemná	část. neostrá	hypo	P	ANO	NE	NE	B
29	FNH	jemná	část. neostrá	iso	P	NE	NE	NE	B
30	adenom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B
31	papilom	jemná	ostrá	hyper	N	NE	NE	NE	B
32	paragangliom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B
33	lipom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
34	lipom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
35	FNH	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
36	biliom	jemná	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B



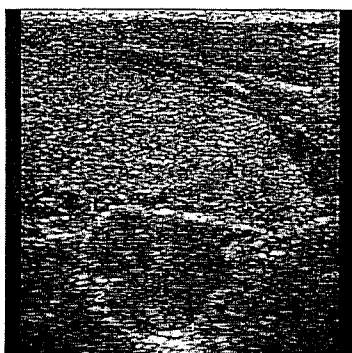
37



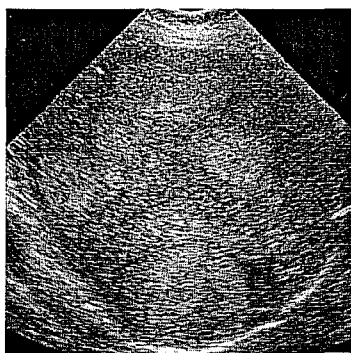
38



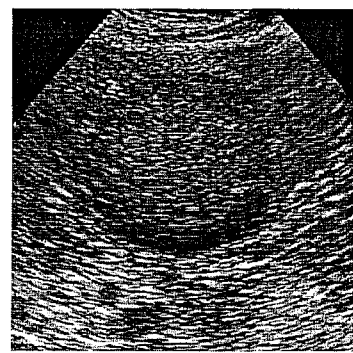
39



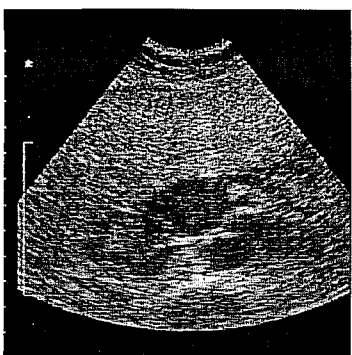
40



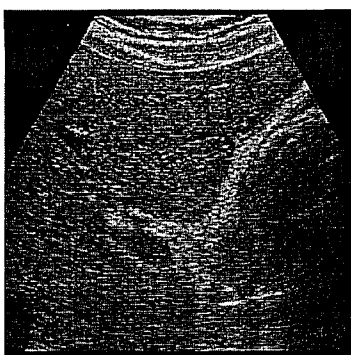
41



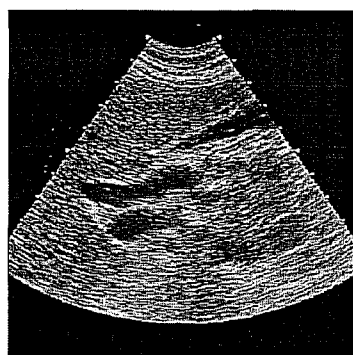
42



43

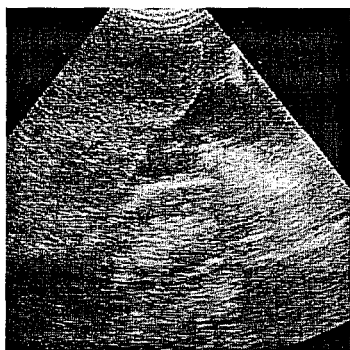


44

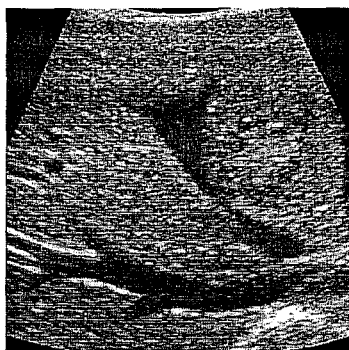


45

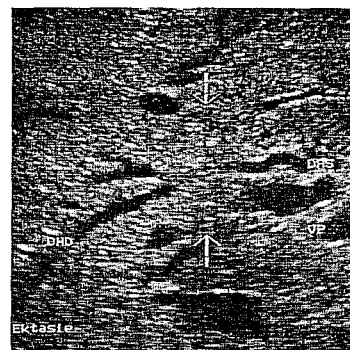
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
37	kav. hemangiom	jemná	ostrá	hypo	N	NE	NE	NE	B
38	FNH	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
39	kap. hemangiom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B
40	gastrinom	hrubá	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
41	metastázy	hrubá	částečně	hyper	N	NE	NE	ANO	M
42	metastáza	hrubá	částečně	iso	P	NE	ANO	ANO	M
43	tumor pankreatu	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
44	karcinom	hrubá	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
45	karcinom	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M



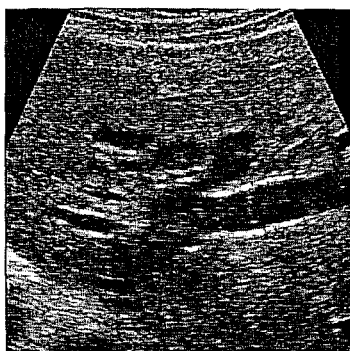
46



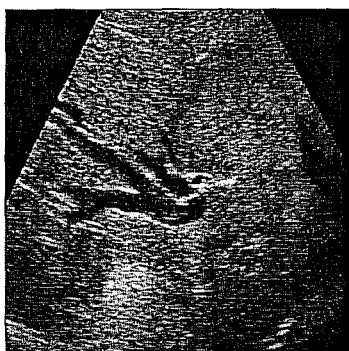
47



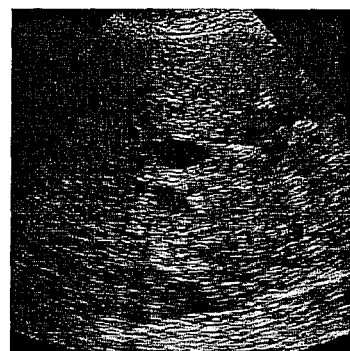
48



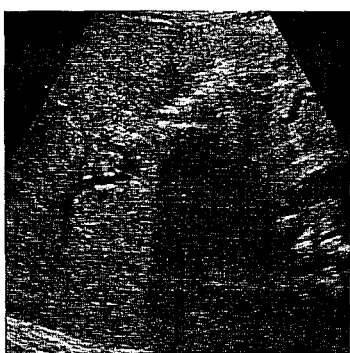
49



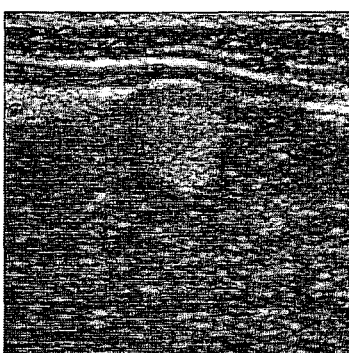
50



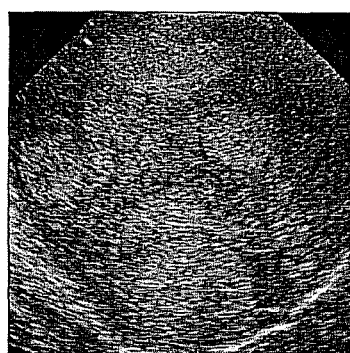
51



52

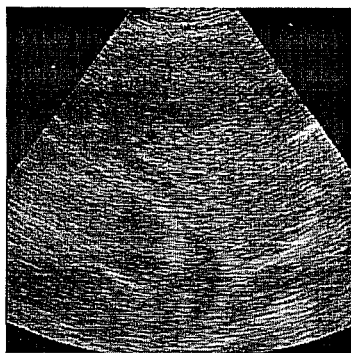


53

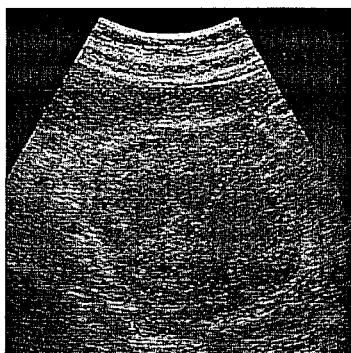


54

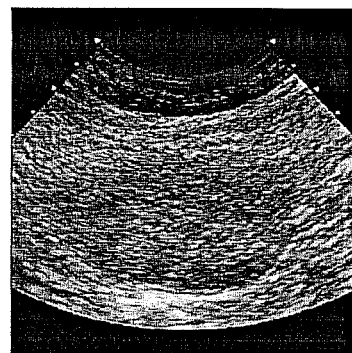
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
46	lymphom	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
47	metastázy	hrubá	nejasná	chaos	P	NE	ANO	ANO	M
48	klatskin tumor	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
49	tumor	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
50	adenokarcinom	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
51	maligní lymphom	hrubá	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M
52	tumor	hrubá	nejasná	hypo	N	ANO	ANO	ANO	M
53	hepatcel. karcinom	hrubá	nejasná	hyper	P	NE	ANO	ANO	M
54	primární karcinom	hrubá	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M



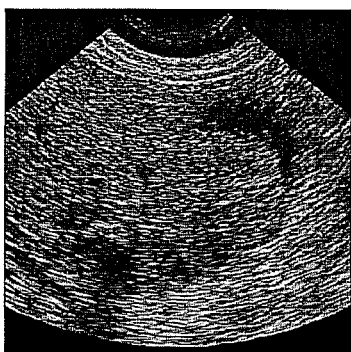
55



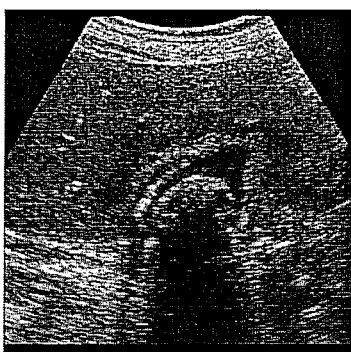
56



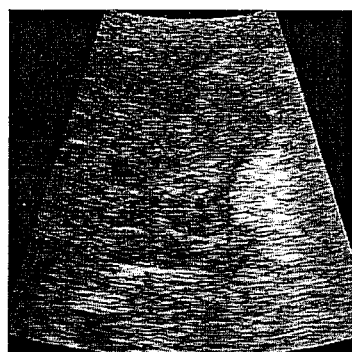
57



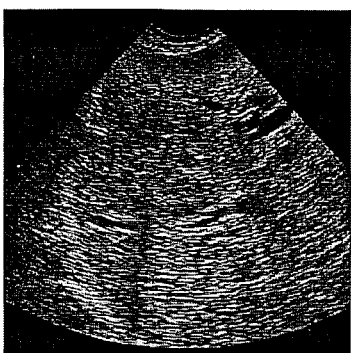
58



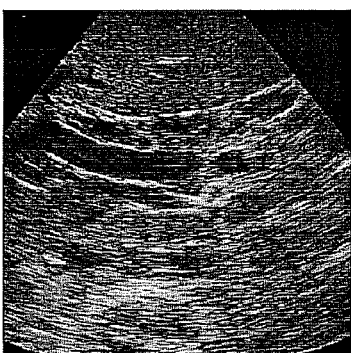
59



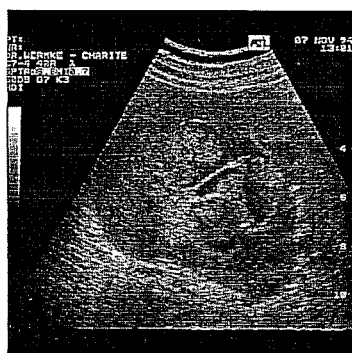
60



61

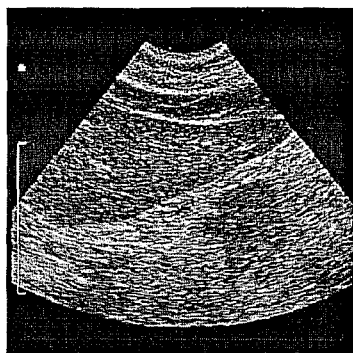


62

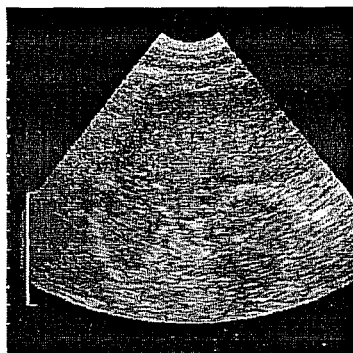


63

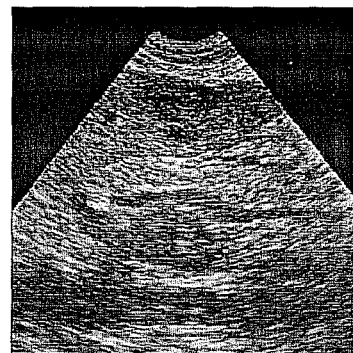
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
55	perikard. tumor	chaotická	částečně	hypo	N	NE	NE	ANO	M
56	bronch. karcinom	chaotická	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
57	metastázy	chaotická	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
58	polypoid. karcinom	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
59	invazivní karcinom	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
60	invazivní karcinom	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
61	karcinom	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
62	lymphomy	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
63	cystad- karcinom	chaotická	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M



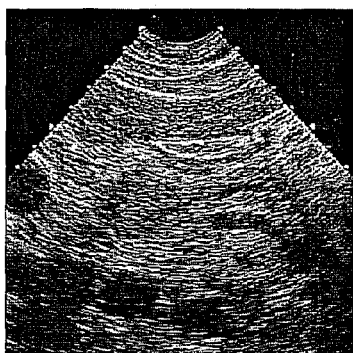
64



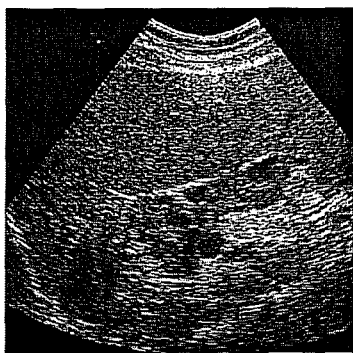
65



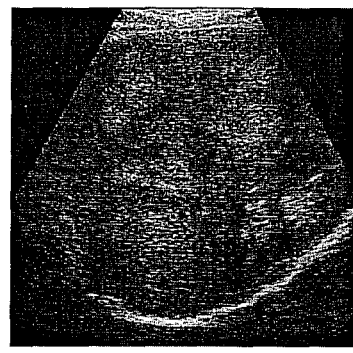
66



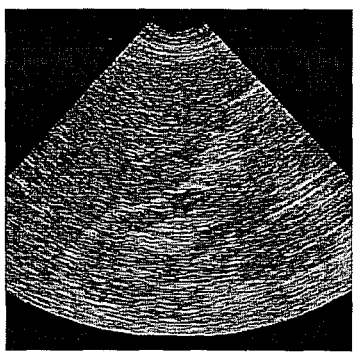
67



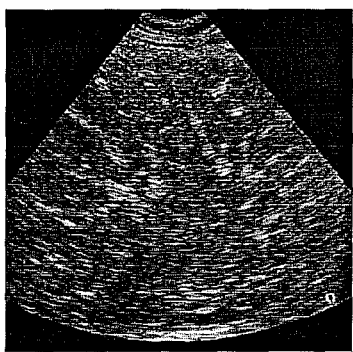
68



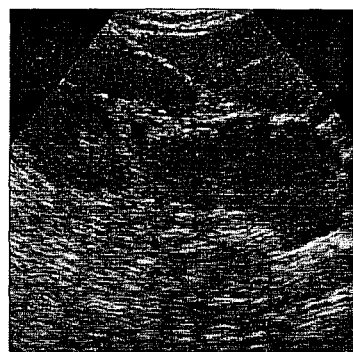
69



70

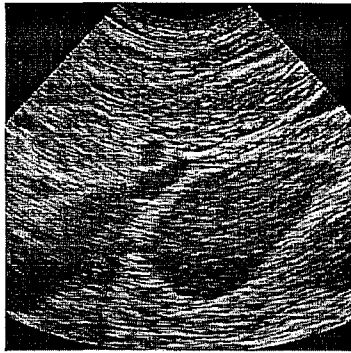


71

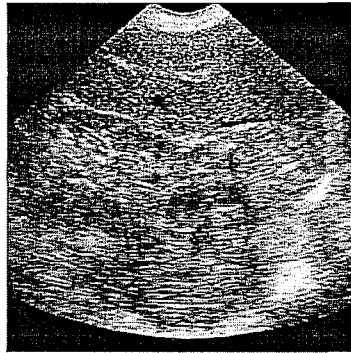


72

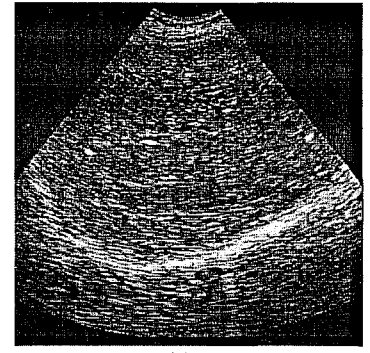
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
64	karcinom	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
65	karcinom	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
66	tumor uncinatu	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
67	metastázy	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
68	lymphom	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
69	hepatcel. karcinom	chaotická	nejasná	chaotická	N	ANO	ANO	ANO	M
70	metastázy	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
71	metastázy	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
72	lymphom	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M



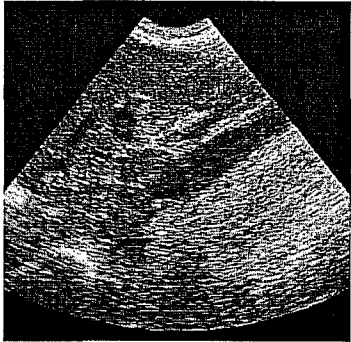
73



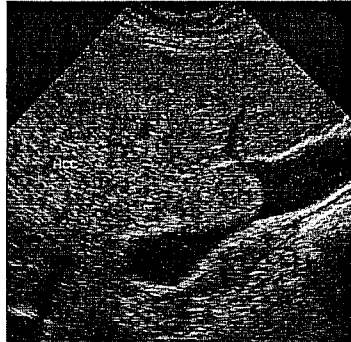
74



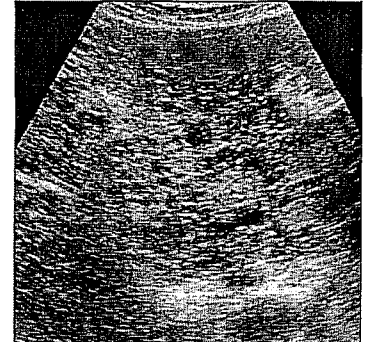
75



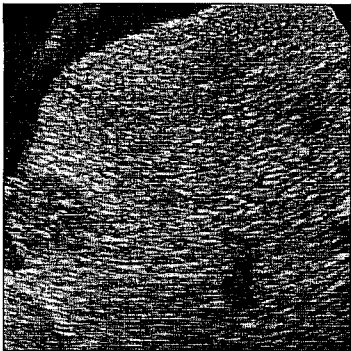
76



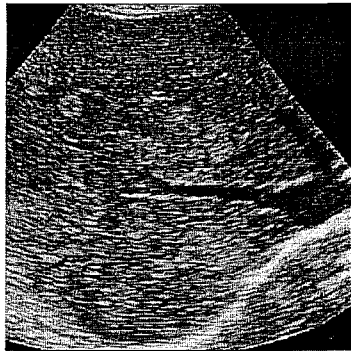
77



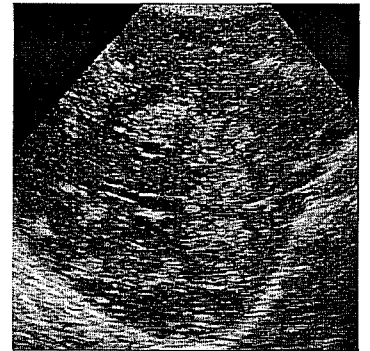
78



79

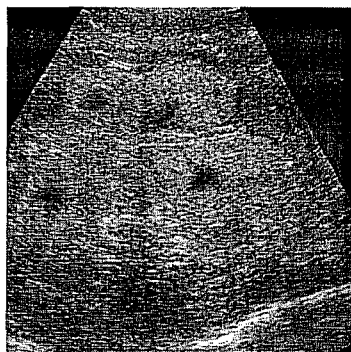


80

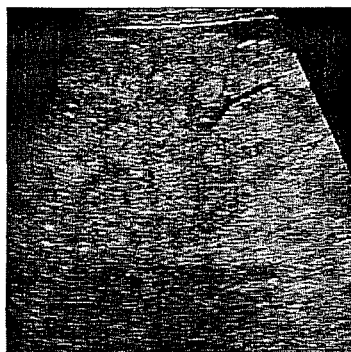


81

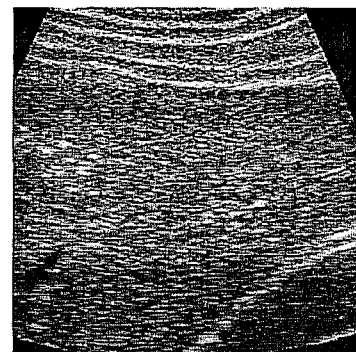
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
73	lymhom	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
74	sarkom	chaotická	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M
75	metastázy	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
76	tumor + metastázy	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
77	tromb. tumor	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
78	metastázy	chaotická	nejasná	chaotická	N	ANO	ANO	ANO	M
79	hepatcel. karcinom	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
80	metastázy	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
81	metastázy	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M



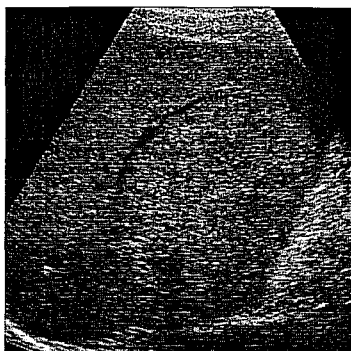
82



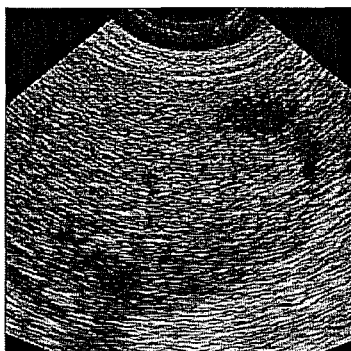
83



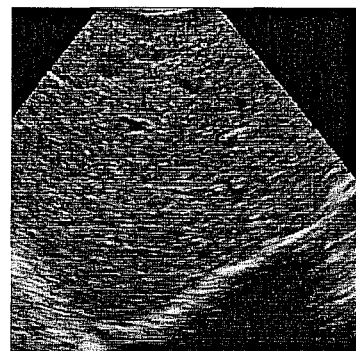
84



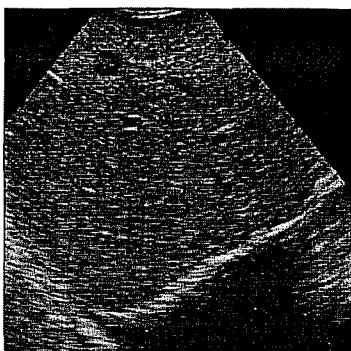
85



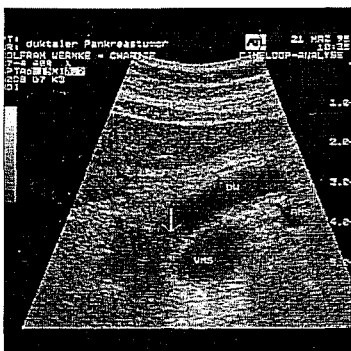
86



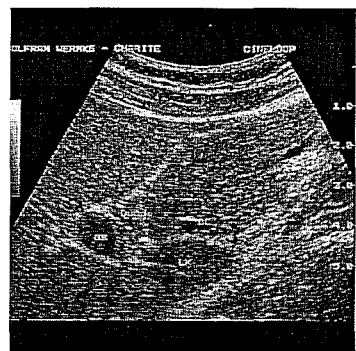
87



88

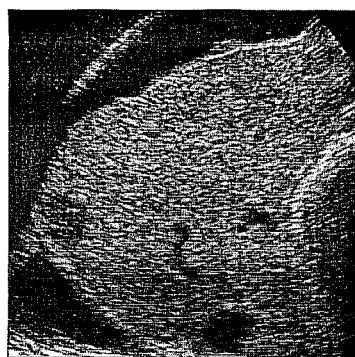


89

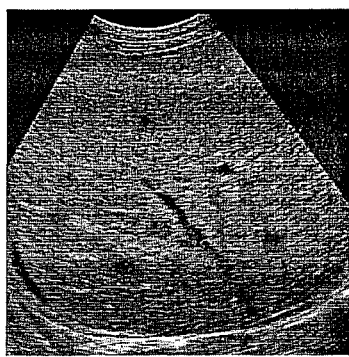


90

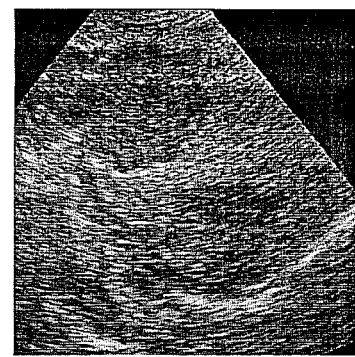
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VYSL EDEK
82	metastázy	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
83	kaposi sarkom	chaotická	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
84	metastázy	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
85	karcinom	chaotická	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M
86	karcinom	chaotická	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
87	lymphom	jemná	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M
88	lymphom	jemná	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M
89	karcinom	jemná	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
90	lymphom	jemná	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M



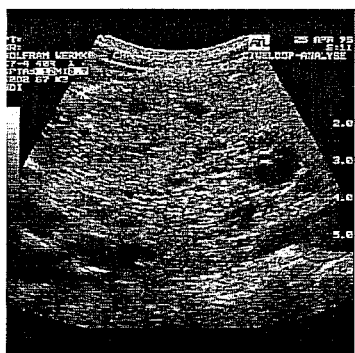
91



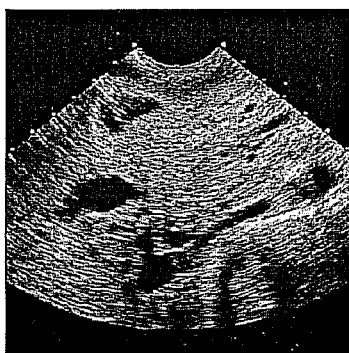
92



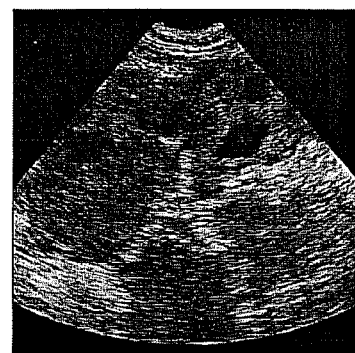
93



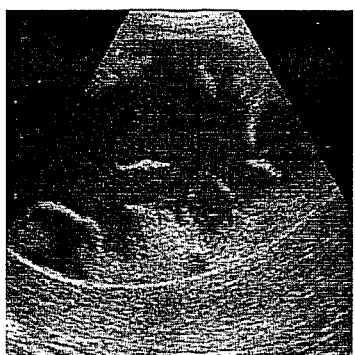
94



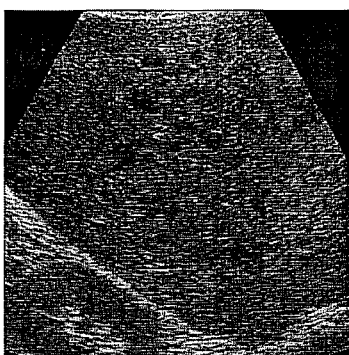
95



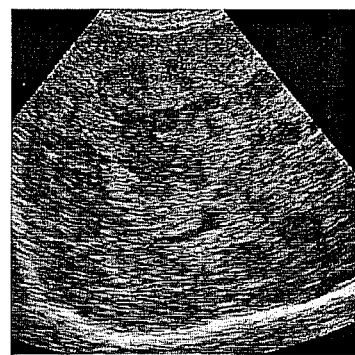
96



97

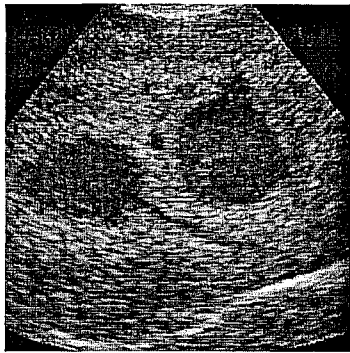


98



99

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
91	metastázy	jemná	nejasná	hypo	P	NE	ANO	ANO	M
92	lymphom	jemná	nejasná	hypo	P	NE	ANO	ANO	M
93	metastázy	rozpad	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
94	karcinom	rozpad	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
95	karcinom	rozpad	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M
96	mezenter. tumor	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
97	malignom	rozpad	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M
98	cholangiocel. karc.	rozpad	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M
99	metastázy	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M

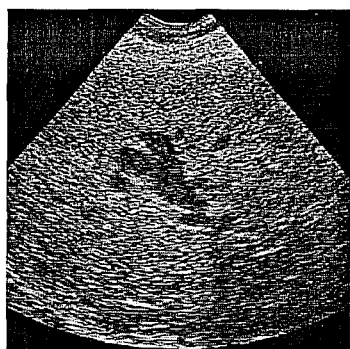


100

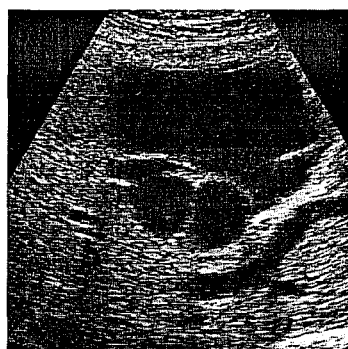
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL. EDEK
100	lymphom	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M

PŘÍLOHA 2 - TESTOVACÍ SOUBOR 20 PŘÍPADŮ

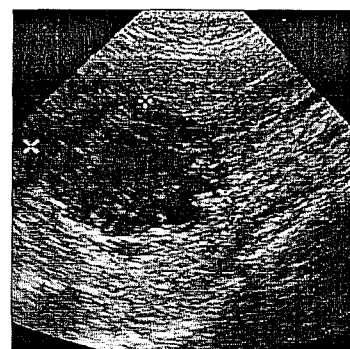
Uvedeno je všech 20 případů z testovací databáze s popisem a doplňujícím obrázkem.



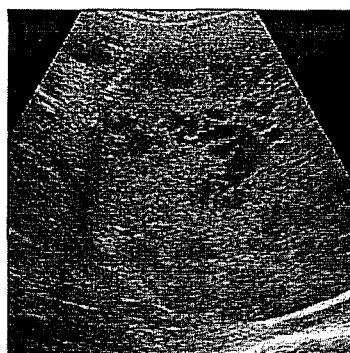
1



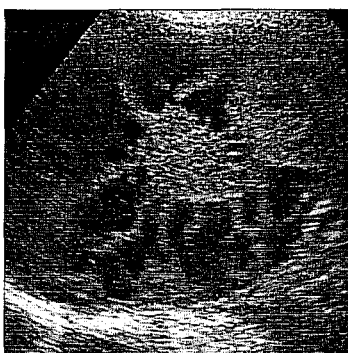
2



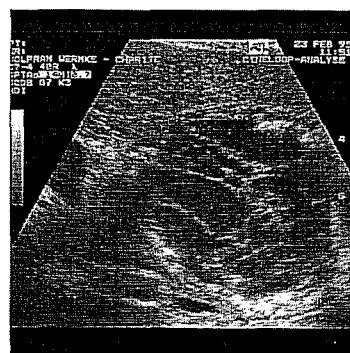
3



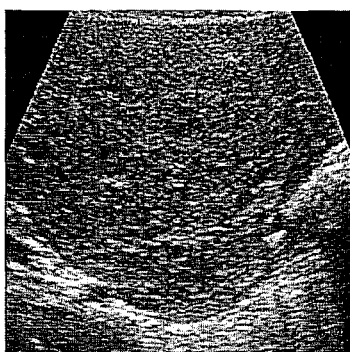
4



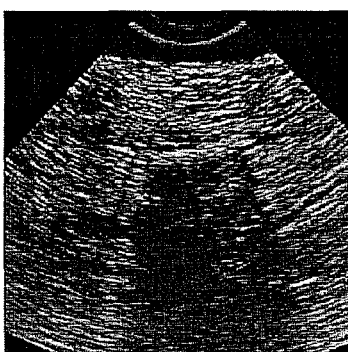
5



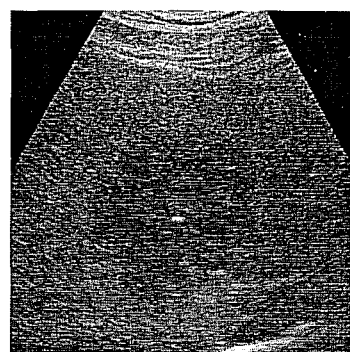
6



7

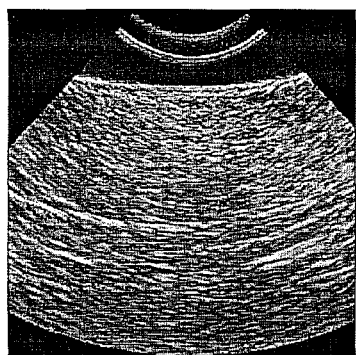


8

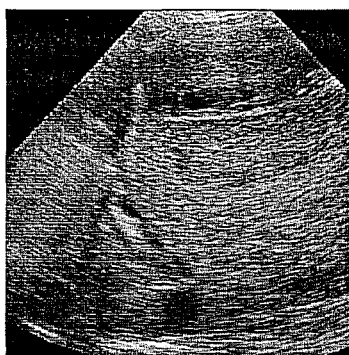


9

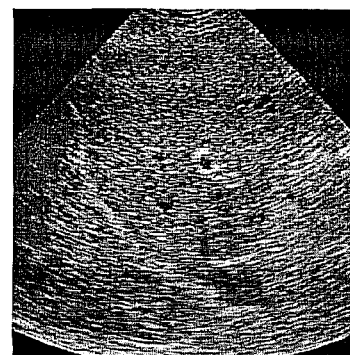
	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
1	caroli syndrom	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
2	echinokok. cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
3	biliár. cystadenom	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B
4	cysty	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B
5	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B
6	pseudocysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B
7	kav. hemangiom	hrubá	částečně	iso	P	NE	NE	NE	B
8	hematom	hrubá	nejasná	hyper	N	ANO	NE	NE	B
9	adenom	hrubá	ostrá	hypo	N	ANO	NE	NE	B



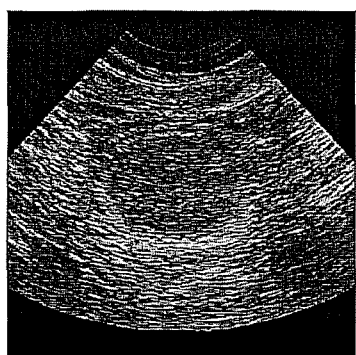
10



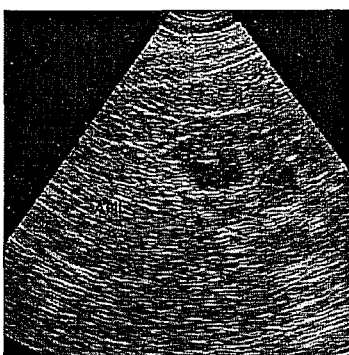
11



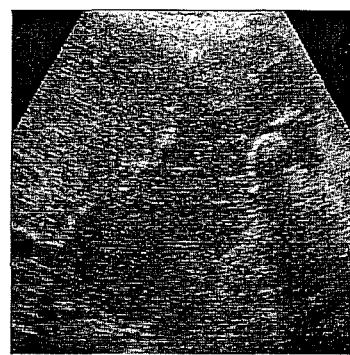
12



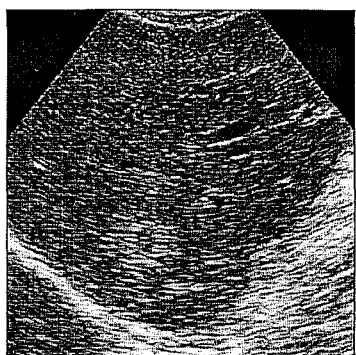
13



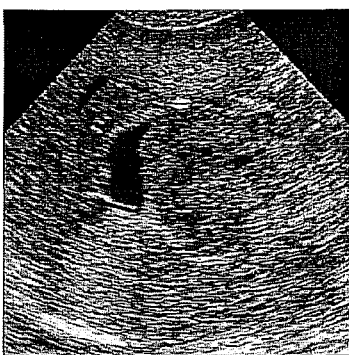
14



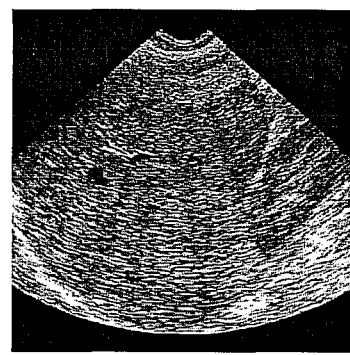
15



16

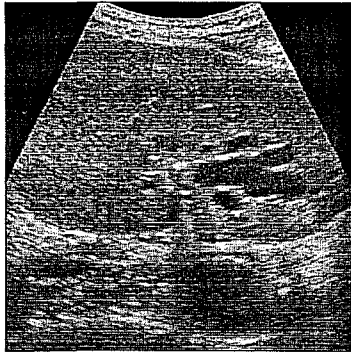


17



18

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VYSL EDEK
10	hematom	jemná	nejasná	hyper	N	NE	NE	NE	B
11	adenom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B
12	pleurakarcinom	hrubá	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
13	intramur. tumor	hrubá	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M
14	tumor	hrubá	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M
15	karcinom	hrubá	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M
16	metastáza	chaotická	nejasná	hyper	P	NE	ANO	ANO	M
17	metastázy	chaotická	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M
18	metastázy	chaotická	nejasná	chaotická	N	NE	ANO	ANO	M



19



20

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALCIFIKACE	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSL EDEK
19	karcinom	chaotická	nejasná	chaotická	N	ANO	ANO	ANO	M
20	tumor	chaotická	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M

PŘÍLOHA 3 - CBR DATABÁZE PRO CROSS VALIDATION

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALC.	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSLEDEK	SKUPINA
12	choleodochiální cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
13	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
14	pseudomyxom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
15	bilíom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
18	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
19	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
20	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
24	choleodochiální cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
26	hematom	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
29	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
39	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	A
10	hematom	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B	B
21	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B	B
22	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B	B
33	echinokoková cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	ANO	NE	NE	B	C
40	choleodochiální cysta	astrukturální	ostrá	anecho	P	ANO	NE	NE	B	C
3	karcinom	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	D
50	neuroendokrinní tumor pankreatu	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	D
64	maligní lymphom	hrubá	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	D
75	klatskín tumor	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	E
76	tumor	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	E
77	adeno-karcinom	hrubá	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	E
16	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	F
17	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	F
34	hematom	hrubá	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	F
27	echinokoková cysta	hrubá	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	G
28	echinokoková cysta	hrubá	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	G
4	tumor	hrubá	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	H
38	adenom	hrubá	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	H
41	bronchiální karcinom	chaos	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	I
59	metastázy	chaos	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	I
62	perikardiální tumor	chaos	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	I
73	tumor + metastázy	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J
74	trombotizov. tumor	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J
93	metastázy	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALC.	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSLEDEK	SKUPINA
94	metastázy	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J
95	metastázy	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J
97	kaposí sarkom	chaos	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	J
51	karcinom	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
52	karcinom	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
53	tumor uncinatu	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
54	metastázy	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
68	lymphom	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
69	lymphom	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
89	hepatocel. karcinom	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
49	cystadenokarcinom	chaos	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	L
70	sarkom	chaos	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	L
99	karcinom	chaos	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	L
65	hepatocel. karcinom	chaos	nejasná	chaos	N	ANO	ANO	ANO	M	M
80	metastázy	chaos	nejasná	chaos	N	ANO	ANO	ANO	M	M
43	polypoidní karcinom	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
44	invazivní karcinom	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
45	invazivní karcinom	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
46	karcinom	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
98	metastázy	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
100	karcinom	chaos	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	N
48	lymphomy	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O
58	lymphom	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O
66	metastázy	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O
67	metastázy	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O
71	metastázy	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O
32	maligní lymphom	jemná	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M	P
85	lymphom	jemná	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M	P
83	metastázy	jemná	nejasná	hypo	P	NE	ANO	ANO	M	Q
90	maligní lymphom	jemná	nejasná	hypo	P	NE	ANO	ANO	M	Q
47	karcinom	jemná	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	R
55	maligní lymphom	jemná	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	R
7	lipom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	S
8	lipom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	S
9	FNH	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	S
31	FNH	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	S
36	kapilární hemangiom	jemná	ostrá	hyper	P	NE	NE	NE	B	S
1	adenom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B	T
5	paragangliom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B	T
61	mezentériální tumor	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	U
88	metastázy	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	U
91	lymphom	rozpad	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	U
82	malignom	rozpad	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	V

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALC.	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSLEDEK	SKUPINA
84	cholangiocelulární karcinom	rozpad	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	V
56	infiltrativní karcinom	rozpad	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	W
57	infiltrativní karcinom	rozpad	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	W
23	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	d = 1
60	gastrinom	hrubá	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	d = 1
79	tumor	hrubá	nejasná	hypo	N	ANO	ANO	ANO	M	d = 1
78	maligní lymphom	hrubá	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	d = 1
42	karcinom	hrubá	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	d = 1
11	část tromb. hemangiom	hrubá	ostrá	hyper	N	NE	NE	NE	B	d = 1
6	neurinom	hrubá	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B	d = 1
81	adenom	jemná	částečně	hypo	P	ANO	NE	NE	B	d = 1
35	FNH	jemná	částečně	iso	P	NE	NE	NE	B	d = 1
25	billiom	jemná	ostrá	anecho	P	NE	NE	NE	B	d = 1
2	papilom	jemná	ostrá	hyper	N	NE	NE	NE	B	d = 1
30	kavernózní hemangiom	jemná	ostrá	hypo	N	NE	NE	NE	B	d = 1
87	metastázy	rozpad	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	d = 1
96	multilokulární primární karcinom	hrubá	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	d = 1
37	metastáza	hrubá	částečně	iso	P	NE	ANO	ANO	M	d = 2
86	adenom	hrubá	částečně	iso	P	NE	NE	NE	B	d = 2
92	hepatocelulární karcinom	hrubá	nejasná	hyper	P	NE	ANO	ANO	M	d = 2
72	metastázy	hrubá	nejasná	chaos	P	NE	ANO	ANO	M	d = 2
63	metastázy	hrubá	částečně	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	d = 2

Vysvětlivka: shodné záznamy jsou seřazeny do skupin (poslední sloupec), pořadová čísla (první sloupec) odpovídají pořadovým číslům v příloze 1. Posledních 19 záznamů je v databázi unikátních, tzn. nemají žádného „dvojníka“, ve sloupci skupina je označena jejich Hammingova vzdálenost od nejbližších záznamů.

PŘÍLOHA 4 - VERIFIKAČNÍ SOUBOR 20 ZÁZNAMŮ

	LOŽISKO	STRUKTURA	KONTURACE	ECHOGENITA	TVAR	KALC.	INFILTRACE	PROKRVENÍ	VÝSLEDEK	skupina/ záznam č.
101	caroli syndrom echinokoková cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	23
102	biliární cystadenom	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	23
103	cysty	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B	B
104	cysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	NE	NE	NE	B	B
105	pseudocysta	astrukturální	ostrá	anecho	N	ANO	NE	NE	B	23
107	kavernózní hemangiom	hrubá	částečně	iso	P	NE	NE	NE	B	d = 2
108	hematom	hrubá	nejasná	hyper	N	ANO	NE	NE	B	d = 2
109	adenom	hrubá	ostrá	hypo	N	ANO	NE	NE	B	d = 1
110	hematom	jemná	nejasná	hyper	N	NE	NE	NE	B	d = 2
111	adenom	jemná	ostrá	hypo	P	NE	NE	NE	B	T
112	pleurakarcinom	hrubá	částečně	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	60
113	intramurální tumor	hrubá	částečně	hypo	P	NE	ANO	ANO	M	d = 1
114	tumor	hrubá	nejasná	hyper	N	NE	ANO	ANO	M	54
115	karcinom	hrubá	nejasná	iso	N	ANO	ANO	ANO	M	d = 1
116	metastáza	chaos	nejasná	hyper	P	NE	ANO	ANO	M	d = 1
117	metastázy	chaos	nejasná	hypo	N	NE	ANO	ANO	M	K
118	metastázy	chaos	nejasná	chaos	N	NE	ANO	ANO	M	K
119	karcinom	chaos	nejasná	chaos	N	ANO	ANO	ANO	M	M
120	tumor	chaos	nejasná	iso	N	NE	ANO	ANO	M	O

Vysvětlivka: v posledním sloupci (skupina/záznam č.) je uvedena skupina nebo identifikační číslo záznamu z CBR databáze pro cross validation (viz. příloha 3), které odpovídá i zkoumaný záznam z tohoto verifikačního souboru 20 záznamů. Některé záznamy z tohoto souboru nemají odpovídajícího „dvojníka“ v hlavní databázi 100 záznamů (viz. přílohy 1 a 3), v takovém případě je ve sloupci „skupina/záznam č.“ uvedena jejich Hammingova vzdálenost od nejpodobnějších záznamů.