



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
znalecký ústav

Znalecký posudek č. 11/110/2013
vyhotovený pro účely pořízení zařízení „Celotělový
MR zobrazovací systém s polem 3T“ v rámci projektu
s názvem „CEITEC – středoevropský technologický institut“, registrační číslo
projektu CZ.1.05/1.1.00/02.0068

Zadavatel znaleckého posudku:

Organizace: **Masarykova univerzita**
Sídlo: Žerotínovo nám. 9, 601 77 Brno
IČ: 00216224
DIČ: CZ00216224
Jednající/zástupce: prof. RNDr. Jaroslav Koča, DrSc.
Kontaktní osoba: JUDr. Pavel Vacek
Tel: +420 549 493 669
email: pavel.vacek@ceitec.muni.cz

Zpracovatel znaleckého posudku:

Organizace: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta biomedicínského inženýrství
Sídlo: nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno
IČ: 684 07 700
DIČ: CZ68407700
Zástupce: prof. MUDr. Jozef Rosina, PhD., děkan
Kontaktní osoba: prof. Ing. Peter Kneppo, DrSc.
Tel: +420 224 359 901
Email: znalecky.ustav@fbmi.cvut.cz

Vydání: první

Číslo záznamu ve znaleckém deníku: 7/2013

Výtisk číslo: 1

V Kladně dne 31. 10. 2013

.....
podpis, razítka znaleckého ústavu



1. Předmět posudku

Na základě písemné žádosti objednatele ze dne 3.9.2013 byl pro potřeby realizace projektu s názvem „**CEITEC – středoevropský technologický institut**“, registrační číslo projektu CZ.1.05/1.1.00/02.0068, vypracován tento znalecký posudek, jehož účelem a předmětem je posouzení unikátnosti zařízení: „**Celotělový MR zobrazovací systém s polem 3T Siemens MAGNETOM Prisma**“ a dále ocenění pořizované věci.

Na základě podrobné rešerše, osobních znalostí a průzkumu trhu je vydáno toto stanovisko:

2. Oblast použití požadovaného zařízení

Zadavatel je řešitelem projektu s názvem „CEITEC – středoevropský technologický institut“, reg. číslo projektu CZ.1.05/1.1.00/02.0068, a příjemcem podpory na uvedený projekt z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace. Účelem uvedeného projektu je vybudování evropského centra excelence v oblasti věd o živé přírodě a pokročilých materiálů a technologií. Záměrem zadavatele je vybudování sdílené laboratoře pro „Multimodální a funkční zobrazování“ v rámci výzkumného programu „Výzkum mozku a lidské mysli“, k čemuž je plánováno pořízení celotělových 3T MR systémů (příloha č. 1).

V současné době panuje v segmentu 3T celotělových rezonancí odklon od dosahování co největší homogenity pole, protože praxe ukázala, že homogenita pole po zavezení pacienta do vyšetřovacího prostoru klesne až o dva řády. Daleko větší pozornost se věnuje patientskému pohodlí a omezení úzkosti otevřenějším prostorem, což se u magnetů soledoidního typu dosahuje větším patientským otvorem a co nejkratším magnetem. Rovněž se opouští představa, že zobrazovací objem sférického tvaru nebo elipsoidního tvaru je zároveň největší použitelný vyšetřovací prostor. Toto dogma je nahrazeno snahou mít možnost vyšetřovat ve virtuálním válci, který daleko lépe kryje rozměrnější zobrazované orgány (obě ledviny v jednom shotu, játra, segmentovaný skelet při vyšetření suspektního mnohočetného myelomu apod.) Zároveň takto řešený stroj umožňuje větší patientskou prostupnost. To vše platí pro stroj určený **pro klinický patientský provoz nebo pro klinický výzkum**.

Pro stroj orientovaný **čistě výzkumně** nebo stroj určený **k základnímu výzkumu** jsou ale požadavky zcela jiné. Patientské pohodlí a snadná obslužnost je potlačena potřebou dosažení nejvyšších možných kvalitativních parametrů zobrazení, které dnešní technologické možnosti dovolují.

S ohledem na výše uvedené je v tomto případě správnou volbou magnet se zcela excelentní homogenitou již základního pole bez ohledu na délku magnetu a patientský otvor. Extrémně důležitý je gradientní systém (jeho síla a rychlost změny pole). Pro nejvyšší možný tkáňový kontrast je vhodné maximálně využívat cívky s co největší hustotou elementů, což dává nejlepší možné předpoklady i pro paralelní techniky, které mimo zkrácení akvizice dobře kompenzují distorze obrazu, a to především u EPI sekvencí, které jsou základem všech pokročilých neuro vyšetřovacích postupů.

3. Zdůvodnění unikátnosti zařízení a zdůvodnění, že na trhu skutečně existuje pouze jediný dodavatel schopný dodat takové zboží

Tomograf magnetické rezonance Siemens MAGNETOM Prisma je stále novinkou na trhu a byl představen odborné společnosti na konci roku 2012. Tento tomograf ještě nemá povolení k použití a není komerčně přístupný ve všech rozvinutých státech světa, ale už je nainstalován ve výzkumných zařízeních Evropy.

Dle pozice výrobce tomograf MAGNETOM Prisma je zaměřen na použití pro výzkumné účely za předpokladu využití jeho špičkových vlastností. Tím se liší od přístrojů magnetické rezonance určených pro oblast klinického zobrazování.

Porovnání s alternativami

Alternativními 3T celotělovými tomografy magnetické rezonance jsou následující přístroje:

- Siemens MAGNETOM Trio, A Tim System
- Siemens MAGNETOM Spectra
- Siemens MAGNETOM Verio
- Siemens MAGNETOM Skyra
- Siemens MAGNETOM Prisma
- Philips Ingenia
- Philips Achieva TX
- Philips Achieva X - series
- GE Discovery MR750w
- GE Discovery MR750
- GE Signa HDxt
- Toshiba Vantage Titan

Základní parametry těchto přístrojů jsou uvedeny v tabulce:

Přístroj		Siemens MAGNET OM Trio, A Tim System	Siemens MAGNET OM Spectra	Siemens MAGNET OM Verio	Siemens MAGNET OM Skyra	Siemens Prisma
Magnet						
Konstrukce a provoz magnetu						
Indukce statického magnetického pole	T	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Největší délka oblasti s magnetickým polem přesahujícím 0,5 mT ve směru osy magnetu (osa z)	m	5,9	4,6	4,6	4,6	6
Největší délka oblasti s magnetickým polem přesahujícím 0,5 mT ve směrech kolmých k ose magnetu (osy x, y)	m	3,4	2,6	2,6	2,6	3,5
Průměr patientského tunelu v nejužším místě	cm	60	60	70	70	60
Zobrazovací objem (FOV), délka v ose magnetu (osa z)	cm	50	45	50	50	50
Zobrazovací objem (FOV), průměr kolmo k ose magnetu (osy x, y)	cm	50	40	50	50	50
Hmotnost	t	13	7,35	8,2	5,755	9,674
Minimální výška místnosti	cm	270	240	222	219	273
Kvalita statického pole						
Časová nestabilita pole (drift)	ppm/h			≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Efektivní hodnota nehomogenity statického pole V_{rms} v prázdném magnetu (efektivní hodnota odchylky pole od hodnoty v izocentru, stanovená v kulovém objemu o průměru DSV), po aplikaci všech supravodivých a pasivních šimů						
DSV 10 cm	ppm			0,01	0,01	0,001
typické	ppm			0,003	0,003	0,0008
DSV 20 cm	ppm			0,05	0,05	0,02
typické	ppm			0,03	0,03	0,008
DSV 30 cm	ppm			0,3	0,3	0,1
typické	ppm			0,2	0,2	0,045
DSV 40 cm	ppm	0,25	1,4	1,4	1,4	0,2
typické	ppm	0,1	1,2	1,2	1,2	0,1
DSV 45 cm	ppm	0,5				0,5
typické	ppm	0,32				0,325
DSV 50 cm	ppm	1,5	4	4	4	1,5
typické	ppm	1,2	3,6	3,6	3,6	1,1
Operativní šimy						
Počet šimů 2. a vyšších řádů dostupných pro doladění pro konkrétní protokol a vzorek				5	5	5
Pacientský stůl						
Celotělové použití		ano	ano	ano	ano	ano
Max. hmotnost pacienta	kg	200	200	250	250	250
Gradientní systém						
Max. amplituda gradientu statického magnetického pole v každé ose (x, y, z - nezávisle na ostatních)	mT/m	45	33	45	45	80

Max. časová změna (slew rate) v každé ose (x,y,z) pro max. amplitudu gradientu	T/m/s	200	125	200	200	200
Max. číselný využití gradientu (duty cycle) při maximální amplitudě ve všech 3 směrech	%			100	100	100
Radiofrekvenční systém						
Společné vlastnosti						
Podpora pro jiné částice než protony 1H.	ano/ne			ano	ano	ano
Vysílače						
Počet nezávislých vysílačích RF kanálů (simultánní provoz, nezávislá amplitudová/fázová modulace, použitelných pro B1 šimy, použitelných pro jiné částice než protony)				2	2	2
Šířka pásma	Hz	800	800	800	800	800
Celkový max. výkon vysílače na protonovém kmitočtu	kW	35	20	35	37,5	43,6
Ztrátový výkon, metoda chlazení.	kW					
Přijímače						
Počet přijímacích kanálů		8, 18, 32	24	8, 18, 32	48, 64, 128	48,128
Maximální šířka pásma každého nezávislého přijímacího kanálu.		102	120	102	204	204
Šířka pásma každého nezávislého RF přijímacího kanálu.	MHz	1		1	1	1
RF cívky odpovídající požadovanému rozsahu vyšetření						
Hlava a krk						
Je obsažena hlavová cívka pro vysílání/přijem?	ano/ne	ano	ano	ano	ano	ano
Počet kanálů		32		20 (32)	20 (32)	20 (32, 64)
Systém řízení pořizování a zpracování dat						
Provoz systému						
Rychlost rekonstrukce obrazu – počet jednoduchých FFT rekonstrukcí obrazu za sekundu, matice 256x256, bez interpolace	obrazů/s	7324	12195	12195	14800	12195
Rozsah velikosti pořizovací matice	≥1024x1024	ano	ano	ano	ano	ano
Požadovaná vyšetření, sekvence						
Anatomické zobrazování						
Min. tloušťka 2D vrstvy		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Min. tloušťka vrstvy v 3D MRI		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Spotřeba elektřiny						
Příkon v pohotovostním režimu	kW	10	7,4	≤ 8	5,7	7,4
Příkon během měření (typická hodnota)	kW	50	17,2	33	20,7	20,8

Přístroj	Siemens Prisma	Philips Ingenia	Philips Achieva TX	Philips Achieva X-series	GE Discovery* MR750w	GE Discovery* MR750	GE Signa HDxt	Toshiba Vantage Titan
Magnet								
Konstrukce a provoz magnetu								
Indukce statického magnetického pole	2,98	3	3	3	3	3	3	3
Největší délka oblasti s magnetickým polem přesahujícím 0,5 mT ve směru osy magnetu (osa z)	6	4,95	5	5	5,2	4,5	5	4,6
Největší délka oblasti s magnetickým polem přesahujícím 0,5 mT ve směrech kolmých k ose magnetu (osy x, y)	3,5	3,05	3,1	3,1	2,8	2,8	2,75	2,6
Průměr patientského tunelu v nejužším místě	60	70	60	60	70	60	60	70
Zobrazovací objem (FOV), délka v ose magnetu (osa z)	50	50	45	45	50	48	48	45
Zobrazovací objem (FOV), průměr kolmo k ose magnetu (osy x, y)	50	55	50	50	50	48	48	50
Hmotnost	9,674	5,8		4,6	7,187	9,75	11,02	6,375
Minimální výška místnosti	273	229	260	260	250	250	250	222
Kvalita statického pole								
Časová nestabilita pole (drift)	≤ 0,1				≤ 0,1	≤ 0,1		
Efektivní hodnota nehomogenity statického pole V_{rms} v prázdném magnetu (efektivní hodnota odchylky pole od hodnoty v izocentru, stanovená v kulovém objemu o průměru DSV), po aplikaci všech supravodivých a pasivních šimů								
DSV 10 cm	0,001	0,002	0,04	0,04	0,05			
typické	0,0008				0,03	0,02	0,03	
DSV 20 cm	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05			
typické	0,008				0,03	0,03	0,05	
DSV 30 cm	0,1	0,07	0,12	0,12	0,15			
typické	0,045				0,08	0,08	0,1	
DSV 40 cm	0,2	1,1	0,5	0,5	0,5			1,4
typické	0,1	0,4			0,27	0,27	0,25	1,2
DSV 45 cm	0,5				1,5			
typické	0,325				0,7	0,53		
DSV 50 cm	1,5							
typické	1,1							
Operativní šimy								
Počet šimů 2. a vyšších řádů dostupných pro doladění pro konkrétní protokol a vzorek	5	5						5
Pacientský stůl								
Celotělové použití	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Max. hmotnost pacienta	250	250	250	250	227	227	159	200
Gradientní systém								
Max. amplituda gradientu statického	80	45	80	40	44	50	39	30

magnetického pole v každé ose (x, y, z - nezávisle na ostatních)								
Max. časová změna (slew rate) v každé ose (x,y,z) pro max. amplitudu gradientu	200	200	200	120	200	200	80	203
Max. činitel využití gradientu (duty cycle) při maximální amplitudě ve všech 3 směrech	100	100			100			100
Radiofrekvenční systém								
Společné vlastnosti								
Podpora pro jiné částice než protony 1H.	ano		ano					
Vysílače								
Počet nezávislých vysílačích RF kanálů (simultánní provoz, nezávislá amplitudová/fázová modulace, použitelných pro B1 šimy, použitelných pro jiné částice než protony)	2	2			2			
Šířka pásma	800	720						
Celkový max. výkon vysílače na protonovém kmitočtu	43,6	36	36	18	30	35	35	36
Ztrátový výkon, metoda chlazení.								
Přijímače								
Počet přijímacích kanálů	48,64, 128		16, 32	16, 32	32	16, 32	8, 16	16, 32
Maximální šířka pásma každého nezávislého přijímacího kanálu.	204	≥52	32	32	36		29	32
Šířka pásma každého nezávislého RF přijímacího kanálu.	1		3	3	2	2	1	0,5
RF cívky odpovídající požadovanému rozsahu vyšetření								
Hlava a krk								
Je obsažena hlavová cívka pro vysílání/přijem?	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Počet kanálů	20 (32, 64)	15 (32)			8 (32)			14
Systém řízení pořizování a zpracování dat								
Provoz systému								
Rychlost rekonstrukce obrazu – počet jednoduchých FFT rekonstrukcí obrazu za sekundu, matice 256x256, bez interpolace	12195	12000			13000	13000	5400	4400
Rozsah velikosti pořizovací matice	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Požadovaná vyšetření, sekvence								
Anatomické zobrazování								
Min. tloušťka 2D vrstvy	0,1	0,5			0,2	0,5	0,5	0,5
Min. tloušťka vrstvy v 3D MRI	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,05
Spotřeba elektřiny								
Příkon v pohotovostním režimu	7,4	13			≤ 17 kVA			
Příkon během měření (typická hodnota)	20,8	19			41 kVA	41 kVA		

Stanovisko o unikátnosti

Hodnocená magnetická rezonance Siemens MAGNETOM Prisma plní požadavky na přístroj určený k základnímu výzkumu a je unikátní především z těchto důvodů:

1. Magnet je konstruován na excelentní homogenitu a standardní FOV sférického tvaru o průměru 50 cm. Homogenita pole je pod 1,5 ppm /sférické FOV o průměru 50 cm ve všech směrech. Jeho konstrukce vychází z nejosvědčenějšího 3T magnetu Trio - *nejlepší hodnota na trhu*
2. Gradientní výkonový stupeň je společně s mimořádně výkonnou gradientní cívkou schopen dodávat 80 mT/m (efektivní 139 mT/m) sílu pole a současně Slew Rate 200 T/m/s (efektivní 346 T/m/s). Toto uspořádání je s velkým odstupem nejsilnější gradientní systém na trhu. Při uvedených parametrech je zatížitelnost gradientního systému bez časového omezení. Konstrukčně je gradientní systém řešen jako zcela nestandardně robustní, aby se zabránilo jeho mechanické deformaci při přepínání proudů a následným vibracím a vzniku vířivých proudů, které by mohly nepříznivě ovlivnit stabilitu měření - *unikátní gradientní systém*
3. Cívková hustota použitých kombinovatelných cívek až do 204 připojitelných elementů a až do 128 nezávislých kanálů je rovněž vysoko nad ostatními stroji a je tímto unikátní. Veškeré cívky jsou bez omezení vhodné pro PAT ve všech směrech. Pro neuro výzkum je nabízena 64 kanálová hlavová cívka, která je rovněž jediná na trhu.
4. Stroj se dodává standardně s minimálně 64 přijímacími kanály (128 voleb), což dobře koresponduje a nabízenými cívkami – *dodává pouze Siemens*.
5. Paralelní akvizční techniky jsou možné s algoritmem pracujícím jak v obrazovém prostoru (SENSE), tak (pouze u Siemensu!) v K-prostoru surových dat (GRAPPA), což je z hlediska vytváření rekonstrukčních artefaktů mnohem výhodnější.
6. Pro účely základního výzkumu a vývoj nových sekvencí nebo modifikací stávajících sekvencí je zcela nezbytné mít přístup do softwaru přístroje na úrovni zdrojových kódů. Tento přístup je u přístroje Prisma zajištěn softwarem s obchodním názvem Idea, předpokladem je absolvování speciálního kursu programování - *tato vlastnost je rovněž unikátní*.

Z hlediska souhrnu výše uvedených parametrů je přístroj MAGNETOM Prisma od firmy Siemens mezi 3T tomografy unikátní.

4. Zdůvodnění, že není možné použít jiná obdobná a přijatelná zařízení či technologie

S ohledem na vědecký záměr použití tomografu magnetické rezonance Siemens MAGNETOM Prisma jsou jeho unikátní parametry podstatné z následujících důvodů:

- vyšší homogenita statického magnetického pole je podstatná pro měření difúze (omezení vlivu parazitního difúzního váhování), pro echo-planární zobrazovací techniky (zlepšení homogenity obrazu a citlivosti detekce), je často užívané pro dynamická měření (fMRI, perfuzometrie), a pro spektroskopii (zlepšené spektrální rozlišení a možnosti spektrální editace – při použití kvalitního šimovacího programu);
- vyšší hodnoty gradientů umožní zkrácení akvizice u metod monitorujících dynamiku, jako je zobrazování perfúze (DCE, DSC, ASL) nebo funkčního zobrazování efektu BOLD (fMRI), s dopadem na potlačení pohybových artefaktů a zlepšení časového rozlišení;
- pro měření difúze je podstatná možnost zkrácení echo-času a tím potlačení vlivu relaxace při difúzním váhování, díky čemuž lze očekávat vyšší spolehlivost těchto měření a širší možnosti v oblasti využití moderních difuzometrických metod, které vypovídají o vícesměrové anizotropní difúzi (HARDI, DSI, Q-ball imaging), která je základem pro neuronální traktografii, komplikovanou v oblastech křížení vláken i v oblasti analýzy negaussovské difúze (DKI), která odráží prostorové omezení buněčných a mezibuněčných kompartmentů, v nichž difúze probíhá; Tyto možnosti vycházejí z prakticky dvakrát vyšší maximální hodnoty gradientů, než je možné u kteréhokoli jiného měřicího systému. Role tohoto parametru se projeví v realizaci difúzního váhování intenzity signálu, jehož míru charakterizuje tzv. b-faktor (váhování intenzity faktorem $\exp(-bD)$), kdy typicky $b = (\gamma Gt)^2 (D-t/3) \approx (\gamma Gt)^2 TE$, kde γ je magnetogyrická konstanta protonů, G hodnota gradientu pole, t délka difúzi váhujícího gradientního pulsu, D časový interval mezi prvním a druhým difúzi váhujícím gradientním pulsem, TE echo-čas). Při daných časových parametrech pulsní sekvence je tedy hodnota b přímo úměrná druhé mocnině gradientu, tzn. s dvojnásobným gradientem lze dosáhnout čtyřnásobné hodnoty b , což je podstatné pro charakterizaci negaussovské difúze. Alternativně, dvojnásobná hodnota gradientu umožní zachovat difúzní váhování b a přitom čtyřikrát zkrátit TE . K difúzi konkurenční mechanismus ztráty signálu, T_2 relaxace, zmenší během TE signál na $\exp(-TE/T_2)$ -násobek originální hodnoty. Zkrácení TE na $TE/4$ povede ke zvýšení SNR v poměru $\exp(-TE/4/T_2)/\exp(-TE/T_2) = \exp(3 \cdot TE/4/T_2)$, tzn. např. při referenčních hodnotách $TE=100$ ms, $T_2=100$ ms je očekáván 2,1-násobný nárůst SNR (tedy obdobně jako při použití 6T magnetu). Tento nárůst je velmi podstatný pro kvantifikovatelnost měřených dat. O technické parametry gradientního systému se opírají některé unikátní měřicí metody zařazené v konfiguraci obou systémů, např. RESOLVE využívající pro difúzní váhování segmentované EPI s extrémně zkráceným echo-časem. Unikátní výkon a vlastnosti gradientů Prismy umožňuje právě realizovat vysoké b-faktory s relativně krátkým TE , a to v mnoha prostorových směrech (zminěná metoda

HARDI a Q-ball), t.j. jde právě naproti uvedeným požadavkům (rekonstrukce křížení drah, negaussovský typ difuze atd.);

- pro spektroskopii je podstatná možnost zkrácení echo-času a tím potlačení ztráty signálu relaxací a zjednodušení spekter metabolitů omezením vlivu spin-spinové interakce ve vázaných spinových systémech; důsledkem by měla být spolehlivější kvantifikace metabolitů; vedle unikátního gradientního systému podporují spektroskopii i mimo isocentrum magnetu také unikátně posílené šimy druhého řádu. Přesné zdůvodnění všech přínosů nové konstrukce je poněkud obšírné: Minimální hodnota echo-času je určena délkou RF pulsů a mezi ně vložených gradientních pulsů. Limitujícím faktorem RF pulsů je podle konkrétního zadání buď hodnota gradientu nebo RF výkon. Pro ostatní intervaly jsou podstatné časové integrály gradientů a přechodové děje související s vibracemi gradientního systému a indukci vířivých proudů. Pro gradientní pulsy je podstatný součin amplitudy G a časové délky t , tj. Gt . Hodnoty Gt jsou určeny požadavky na kódování polohy a na regulaci prostorové koherence (refokusace měřených složek magnetizace, rozfázovaných během RF pulsů, a naopak potlačení nežádoucích typů signálů jejich prostorovým rozfázováním) a lze je považovat za dané; zvýšení Gt je žádoucí pro prostorové kódování u spektroskopického zobrazování a pro zvýšení odstupu žádoucích a nežádoucích složek signálu. Dvojnásobné zvýšení G oproti standardu umožní zkrátit intervaly mezi RF pulsy na polovinu, v jistých případech se dá počítat i se zkrácením RF pulsů; lze odhadnout praktické zkrácení TE o cca 25–30 %. Za standardní limit lze považovat $TE > 8$ ms, tzn. lze očekávat přímou úsporu cca 2 ms, tzn. zisk SNR nebude výrazný. Standardní protokoly zde ovšem neužívají maximální hodnoty gradientů, jako opatření k omezení vibrací a vířivých proudů. U gradientního systému XR80/200, jehož obzvláště robustní konstrukce je navržena i s ohledem na minimalizaci vibrací, lze očekávat, že využitelnost gradientního rozsahu bude relativně vyšší, tzn. je předpoklad i výraznějšího zkrácení TE , na polovinu obvyklých hodnot nebo ještě více. Přiblížení k $TE = 0$ by přitom nemělo vést ke zhoršení reprodukovatelnosti měření a mělo by být možné spolehlivě měřit i signály rychle relaxujících makromolekul. To umožní standardně měřit spektra s extrémně krátkými echo-časy, s minimálním vlivem spin-spinové interakce, která způsobuje rozštěpení rezonančních čar na fázově rozevřené multiplety, jejichž složky se v podmínkách reálných nehomogenit stacionárního pole překrývají a destruktivně interferují. Její hodnoty J se v metabolitech pohybují mezi 5 a 15 Hz (často kolem 7 Hz), a ke konstruktivní interferenci je potřeba TE volit v násobcích $1/J$, tj. např. 140 ms. Pokud se využije 0-násobek, tj. $TE \approx 0$, místo $TE = 140$ ms, dojde k $\exp(TE/T_2)$ -násobnému zvýšení SNR, tzn. při $T_2 = 300$ ms cca 1,6-krát. Vedlejším přínosem je, že 0-násobek nezávisí na přesné hodnotě vazební konstanty J . Spolu s výkonným gradientním systémem se na spektroskopii (ale i na řadě dalších zobrazovacích technik) pozitivně uplatňuje nový RF systém ("Zoom-in"), který umožňuje realizaci velmi krátkých RF pulsů (zmíněný argument nezbytnosti krátkých pulzů u spektroskopie kvůli zachování krátkého TE). Systém umožňuje navíc tzv. B1 šim nebo-li kompenzaci nehomogenity obrazů díky tzv. dielektrické rezonanci, umožňuje realizaci dalších sofistikovaných RF pulzů pro metody MR spektroskopie, ale také např. 2D RF pulzy pro MR zobrazování, což v důsledku umožňuje výrazně zkrátit

měření při zobrazování cílených oblastí. Návaznost na gradientní systém, homogenitu B0 a B1 a možnost použití hlavové TX/RX. Pro spektroskopii je možnost přídavného šimu se zvýšenými šimovacími proudy;

- unikátní parametry RF tras (cívek, předzesilovačů, počtu kanálů) jsou velmi žádoucí a jejich přínos je prakticky u všech měření vzhledem k tomu, že citlivost a čas jsou hlavními problémy všech MR měření;
- moderní mnohakanálové (64) hlavové detekční cívky poskytují zlepšenou citlivost a homogenitu detekce, resp. mohou být využity ke zkrácení měření omezením počtu opakování excitace při vyšetřování mozku a krční míchy;
- pořízení přiměřené sestavy dalších cívek pro oblasti mimo hlavu a krk by přispělo k možnosti studia i periferního nervstva a umožnilo by širší využití MR systému i pro další aplikace; Prisma nabízí unikátní cívkový systém s největší hustotou a počtem přenosových kanálů včetně i unikátní cívky pro periferní angiografii, která umožňuje díky své konstrukci výbornou kvalitu obrazu i v náročných oblastech např. mezi kolena, je jediná na trhu, konkurenční řešení je pomocí tělových cívek. Zařízení je možno vybavit hlavovou cívkou v unikátním provedení vysílací/přijímací, kde je dosahováno vyšší hodnoty buzení, a tím umožňuje extrémní zkrácení TE časů, což je významný přínos pro spektroskopii;
- zlepšenou homogenitu excitace (RF pole B1) dosahují systémy s vícekanálovou (2 nebo více) excitací, a tím měřené obrazy činí přístupnější pro kvantitativní analýzu; Zlepšená excitace u poptávaného systému je zajišťována dvěma naprosto nezávislými RF vysílacími trasami, což dává pro optimalizaci excitace větší prostor než jen modifikace fázového zpoždění nebo amplitudy kvadraturních kanálů, což je standardem u pokročilých produktů jiných typů. Protože obrazový jas závisí na excitačním RF poli nelineárně, je homogenní excitace velmi podstatná pro jakékoli kvantitativní zobrazování (perfuzometrii, relaxometrii, spektroskopii). Na základě této techniky může být systém Prisma vybaven spolehlivě fungující metodou zmenšení zorného pole (ZOOMit), díky němuž lze excitovat vrstvu omezenou do pásu, takže při požadavku na vysoké prostorové rozlišení nevzniká potřeba prodloužit měření k zamezení Nyquistových překladů z oblastí mimo oblast zájmu do ní;
- možnost přístupu do softwaru přístroje na úrovni zdrojových kódů je zcela nezbytná za účelem vývoje nových nebo modifikací stávajících sekvencí pro účely základního výzkumu;
- paralelně s protony systém umožňuje měření dalších biogenních izotopů, z nichž jsou zajímavé zejména ^{13}C (studium metabolismu), ^{31}P (studium buněčné energetiky), ^{19}F (oximetrie), ^{23}Na (transport iontů). I když z hlediska současných výzkumných projektů nejsou tyto studie v oblasti hlavního zájmu zákazníků, bude tato vlastnost tomografu požadovaná z komplementárního pohledu. Tato měření mohou poskytnout komplexnější pohled na patofyziologii zkoumaných onemocnění nebo na charakteristiky normálního. Jeden ze systémů je specifikován jako multinukleární, tzn. je vybaven RF trasami umožňujícími měření i na kmitočtech jiných jader než protonů. Prisma umožňuje využívat nejen

protonové zobrazování a spektroskopii (^1H), ale také práci s dalšími jádry (^{31}P , ^{23}Na , ^{19}F , ^{13}C). To umožňuje multi-jaderná volba, která je dodávána na přání. Zejména pro požadavky MR spektroskopie a experimentů v oblasti dalších jader je u Prisma optimalizována koncepce magnetu, kdy je díky moderní technologii a menšímu průměru (60 cm) dosaženo řádově vyšší homogenity základního pole B_0 , než je tomu u ostatních systémů.

Výzkumná práce přirozeně vyžaduje z hlediska průkaznosti získaných výsledků a návazně publikačních možností v renomovaných vědeckých časopisech zařízení na samých mezích současných technologických limitů. Z tohoto pohledu je MAGNETOM Prisma zařízení nejlépe plnící tento požadavek výzkumného MR zařízení a vzhledem k absenci srovnatelného zařízení na trhu v současnosti je unikátní.

5. Ocenění pořizované věci

Stanovení ceny pořizovaného zařízení vychází z cenového návrhu firmy Siemens srovnanou s několika uskutečněnými prodeji v zahraničí. Cena základní sestavy MAGNETOM Prisma je v okolo 50 mil. Kč, dle výbavy pro daný účel použití se pohybuje mezi 55-65 mil. bez DPH.

Znalecká doložka:

Ministr spravedlnosti rozhodl v souladu s § 21 zákona č. 36/1967 Sb., o znalcích a tlumočnících, ve znění pozdějších předpisů, ve spojení s § 22 odst. 3 téhož zákona a ustanovením § 6 odst. 1 vyhlášky č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících, ve znění pozdějších předpisů, ve věci žádosti ze dne 18. 6. 2012 účastníka – **Českého vysokého učení technického v Praze**, se sídlem Zikova 4, 166 36 Praha 6 – Dejvice, o zápis Českého vysokého učení technického v Praze, **Fakulty biomedicínského inženýrství**, se sídlem nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, do II. oddílu seznamu znaleckých ústavů pro obory: technické obory (různé), metrologie, ekonomika, zdravotnictví takto:

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

se zapisuje takto:

II. oddíl

v oboru technické obory (různé) s rozsahem znaleckého oprávnění pro:

- biomedicínské inženýrství, zdravotnické přístroje a systémy;

v oboru metrologie s rozsahem znaleckého oprávnění pro:

- měřidla a měřící techniku ve zdravotnictví, zabezpečení jednotnosti a správnosti měření ve zdravotnictví;

v oboru ekonomika s rozsahem znaleckého oprávnění pro:

- ekonomiku zdravotnictví, oceňování zdravotnických prostředků a hodnocení efektivity jejich provozu;

v oboru zdravotnictví s rozsahem znaleckého oprávnění pro:

- lékařskou fyziku a biofyziku, pro stanovení účinnosti zdravotnické techniky pro diagnózu i terapii a hodnocení souladu jejich technických parametrů s účelem využití v zdravotnickém zařízení, efektivita systémů zdravotní péče, metody hodnocení kvality zdravotní péče.

V Kladně dne 31. 10. 2013

.....
podpis, razítko znaleckého ústavu



Příloha 1.

SPECIFIKACE VÝZKUMNÝCH TÉMAT A MR SYSTÉMŮ PRO SDÍLENOU LABORATOŘ MAFIL

Zadavatel je řešitelem projektu s názvem „CEITEC – středoevropský technologický institut“, reg. číslo projektu CZ.1.05/1.1.00/02.0068 (dále jen „Projekt“) a příjemcem podpory na uvedený projekt z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (dále jen „OP VaVpI“). Účelem uvedeného projektu je vybudování evropského centra excelence v oblasti věd o živé přírodě a pokročilých materiálů a technologií. Záměrem zadavatele je vybudování sdílené laboratoře „Multimodální a funkční zobrazování“ v rámci výzkumného programu „Výzkum mozku a lidské mysli“, k čemuž je plánováno pořízení celotělových 3T MR systémů.

CÍLE PROGRAMU MOZKU A LIDSKÉ MYSLI

Podporovat společnou teoretické, experimentální a klinické studium mozku od molekulární pro behaviorální a kognitivní úroveň. Rovněž bude realizován rozsáhlý výzkum buněčných, molekulárních a klinických aspektů poškození a nápravy nervové tkáně. Bude realizován mezioborový výzkum v oblastech neurobiologie, neuropsychofarmakologie, funkční neuroanatomie, neurofyziologie, neurozobrazování, neuropsychologie, neurologie, psychiatrie a výpočetních neurověd. Pokročilé metody biomedicínského zobrazování dnes začínají překračovat dříve nedosažitelnou hranici na mikroskopické a molekulární úrovni. Jejich aplikace mohou výrazně přispívat k lepšímu pochopení fyziologických a patologických změn v nervovém systému, víceúrovňové studii chování zvířat a lidí, a konečně i k translačnímu výzkumu se silným dopadem na léčbu neuropsychiatrických onemocnění. Program se zaměřuje na dosažení excelence ve výzkumu a vzdělávání v oblasti mozku a lidské mysli.

SOUČASNÁ TÉMATA

- **Téma 1: Multimodální studie strukturální a funkční konektivity ve fyziologických, hraničních a patologických podmínkách v kontextu behaviorální a sociální neurovědy.**

Cílem této oblasti je dosáhnout partnerství s psychology a sociology, respektive zahájit společné projekty v sociální a behaviorální neurovědě zabývající se různými aspekty sociální kognice a mozkové konektivity zdravých jedinců i neuropsychiatrických pacientů. Specifika výzkumu empatie, motivace a rozhodování; iracionální aspekty funkce lidského mozku; neuroekonomika a vývoj aplikační možnosti v tomto oboru.

Experimentální metody: funkční MRI (BOLD+ASL), simultánní snímání v sociální interakci, zobrazování tenzorů difuze (nebo DSI), anatomická versus funkční konektivita v mozku, spojující změny ve funkci (fMRI) a struktuře (morfometrické studie, strukturální konektivita).

- **Téma 2: Aplikace neurověd, včetně vývoje multimodálních protokolů MRI vytvořených k identifikaci biomarkerů neuropsychiatrických onemocnění (neurodegenerace Parkinsonovy choroby a schizofrenie), které souvisí s nemocemi, a neuropatické bolesti.**

Současným cílem je stanovení spolehlivých biomarkerů raného stadia Parkinsonovy choroby

(PD), studium strukturálních a funkčních změn v mozkových sítích při schizofrenii a založení laboratoře pro výzkum bolesti. Výzkum lidských jedinců bude následovat po translačním výzkumu na zvířecích modelech (s transgenickými nebo toxickými modely myší) v oblasti mechanismů na molekulární a buněčné úrovni. Metoda multimodálního MRI umožňuje rozlišit symptomatické a chorobu modifikující účinky léčebných zásahů a rychle i objektivně stanovit jejich účinnost. Každou z těchto modalit se získá jedinečná doplňující informace o celkové atrofii, mikrostruktuře, funkci a chemickém složení; metoda multimodálního MRI by tak měla vytvořit komplexní obraz progresivních změn a účinků léčby na patologii

Experimentální metody: Korelace elektrofyziologických měření s behaviorálním a kognitivním testováním, funkční zobrazovací metody (zájem je zejména o klidový stav fMRI), metody tenzorů difuze pro kvantitativní vyhodnocení parametrů difuze a traktografie a dalších, spíše doplňkových měření MR (ASL perfuze, MR spektroskopie, morfometrické studie, strukturální konektivita).

- **Téma 3: Komplexní kortiko-subkortikální interakce ve zdraví a nemoci.**

Výzkum procesů pozornosti, paměti, rozhodování, inhibice habituálních reakcí, kognitivních funkcí. Zaměření na především kortikální (epilepsie) a především subkortikální (PD) choroby. Lepší pochopení kortiko-subkortikálních interakcí se odrazí na přesnějších neuromodulačních technikách (optimální indikace, minimalizace vedlejších účinků).

Experimentální metody: Intrakraniální záznamy, fMRI, multiparametrické metody mapování mozku, funkční MR spektroskopie, ASL perfuze.

- **Téma 4: Vývoj v technologii MR, pokročilé zpracování dat a metody pro multimodální/multiparametrickou integraci dat**

Zaměření na maximální využití prostorového, spektrálního a časového rozlišení dosaženého při specifických expozicích vysokého magnetického pole (např. limitace vysokofrekvenčního pole a B1 šimování, změna kontrastu ve vysokém poli, plné využití paralelní detekce) pro potřeby strukturálního a funkčního zobrazování in vivo a ex vivo subjektů. Zvláštní pozornost bude věnována účinným technikám robustního a rychlého MR spektroskopického zobrazování, následného zpracování zobrazovacích dat využívaných pro charakterizaci mozkové konektivity, a kvantitativní MRI.

Experimentální metody: Elektrofyziologická data, všechny techniky MRI/MRS včetně výpočetní neuroanatomie a modelování/simulací dynamických změn v mozku (funkční a efektivní konektivita).

- **Téma 5: Pokročilé techniky zobrazování páteře a svalů**

Hlavním cílem je využití několika pokročilých zobrazovacích technik pro zobrazování míchy za účelem studia ultrastrukturálních změn a patofyziologických procesů míchy in vivo při různých patologických podmínkách. Hlavní důraz bude spočívat na zkoumání patopsychologie a přirozeného průběhu cervikální spondylotické myelopatie, ostatní typy myelopatie budou zkoumány kvůli správné klasifikaci a zlepšení diagnostické přesnosti. Dále budou zkoumány různé patologie muskuloskeletálních svalů, a to pomocí difuze a

zobrazování difuzních tenzorů, což jsou slibné techniky pro detekci ultrastrukturálních abnormalit svalů.

- Experimentální metody: Zobrazování difuzních tenzorů, zobrazování perfuze a spektroskopie; parametry pro zobrazování budou přizpůsobeny konkrétním anatomickým oblastem a dojde k vývoji nových postupů ve zpracování dat.

DALŠÍ VÝZKUMNÉ PROGRAMY

Cílové léky a kontrastní látky: testování prospěšnosti látek testovaných v preklinickém systému ultra vysokého pole při klinickém nastavení.

Umělé materiály v těle: např. chrupavka při klinické intenzitě pole.

OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PŘÍSTROJŮ

Dva celotělové 3T MR systémy se supravodivými, aktivně stíněnými magnety, certifikované pro klinické využití, vybavené pro potřeby pokročilého výzkumu v oblasti neurověd a zároveň podporující výzkum v oblasti kardiologie a ortopedie, včetně instalace na místo určení, funkčních zkoušek a proškolení obsluhy. Dodávka obsahuje vysokofrekvenčně stíněné kabiny, ovládací panel pro zpracování sdílených dat, software s odpovídajícími licencemi pro vizualizaci, analýzu a uchovávání dat, respektive pro plánování pokusů a vývoj metod na obou systémech i ovládacím panelu, dále metody měření a protokoly pro diagnostiku a výzkum, přístrojové vybavení pro funkční zobrazování kompatibilní s MR. Oba tomografy musí zaručovat zejména vysoce kvalitní morfologické zobrazování, pokročilé měření parametrů difúze, funkční zobrazování vycházející z BOLD efektu, dynamické měření pro zobrazování perfuze, protonovou stereoskopii a spektroskopické zobrazování.

Oba tomografy musí využívat totožný software, umožňovat sdílení měřících protokolů a vysokofrekvenčních cívek, podporovat synchronizaci pomocí externích signálů. Požadavkem je dodávka tomografu A vybaveného pro potřeby citlivého a současně rychlého protonového a neprotonového zobrazování, dále pro spektroskopii a spektroskopické zobrazování hlavy a oblasti krku. Tomograf B bude rovněž vybaven s ohledem na hlavu a oblast krku, včetně rozšířené podpory zobrazování míchy, trupu a kloubů. Požadavkem je, aby oba systémy zaručovaly vysokou homogenitu statického pole (podporovanou širými alespoň druhého řádu pracujících za pokojové teploty) a dosahovaly vynikajících parametrů gradientních a vysokofrekvenčních subsystémů.

Ke každému přístroji a softwarové jednotce je třeba dodat podrobný uživatelský manuál obsahující informace týkající se správné obsluhy a údržby, stejně jako servisní příručku, příručku pro programování protokolu a pulzní sekvence a podrobný popis dodávaných přístrojů, a to včetně dodávaných měřících metod a protokolů. Zmíněné dokumenty je třeba doručit elektronicky (ve formátu PDF umožňujícím alespoň kopírování, připojování komentářů a tisk). Veškerá technická dokumentace musí být dodána v anglickém jazyce, uživatelské příručky rovněž v českém jazyce.

Oba systémy se stanou základními prostředky zobrazování ve sdílené (centrální) laboratoři MAFIL (Laboratoře multimodálního a funkčního zobrazování¹) institutu CEITEC. Hlavním využitím obou snímacích zařízení používaných ve výzkumném programu CEITEC Výzkum mozku a lidské mysli² je neurovědní výzkum. Jako součást sdílené laboratoře však oba tomografy podpoří také výzkum dalších programů CEITECu v rámci Masarykovy univerzity, respektive jeho výzkumných partnerů. Sdílená laboratoř se rovněž zapojí do translačního výzkumu využívajícího specializované tomografy zvířat (např. 9,4T MR) a různá zařízení používaná u zvířat (umístěná v Ústavu přístrojové techniky – ÚPT). Společným záměrem sdílené laboratoře CEITECu a ÚPT je poskytovat část snímací kapacity MRI externím uživatelům z pozice národního uzlu projektu EuroBioImaging.

Očekává se, že se oba systémy brzy stanou přístrojovým základem špičkového neurovědního výzkumu a zároveň podpoří ostatní výzkum v rámci CEITECu, který by mohl těžit z multiparametrického, vysoce kvalitního MR zobrazování lidského těla. Svě postavení by si měly udržet alespoň 8-12 let, což je v současné době běžná morální životnost srovnatelných systémů. Nedávná historie MR prokázala úzké spojení mezi kvalitou a rychlostí získávání dat a vývojem v oblasti MR technologie, které bylo zpravidla výsledkem vývoje metod na výzkumných ústavech. Z tohoto důvodu není požadavkem pouze vybavení systému měřícími protokoly aktuálními v době nákupu, ale také umožnění rychlé aplikace novějších prací uskutečněných na jiných výzkumných ústavech v době po koupi a poskytnutí týmu MAFIL možnosti vlastního rozvoje metod. Tato skutečnost by měla být výhodou pro celý CEITEC i pro budoucí výzkumné partnery a zároveň by se mohla stát předmětem spolupráce s výrobcem celého systému. Zapojení CEITECu do globálního rozvoje MR povede nejenom k dosažení nejvyšších metodologických úrovní, ale i k posílení jeho vnímání v zahraničí. Aby CEITEC těchto očekávání dostál, musí dosáhnout plné programovatelnosti metod v rámci systémů, jak ji poskytuje licence IDEA pro systémy firmy Siemens. Je známo, že vydání takovéto licence se zakládá na úspěšném školení zaměstnanců v programování MR systémů, jež Siemens pořádá. Zmíněný model udělování licencí, pro Siemens jedinečný, má více než desetiletou tradici a je podporovaný internetovým fórem, které zajišťuje sdílení technických znalostí důležitých pro vývoj metod mezi vývojáři celého světa. Skupina MAFIL má již dva členy (P. Latta, Z. Starčuk), kteří podobným kurzem prošli a mají již dřívější zkušenosti s programováním těchto systémů, což do značné míry zvyšuje šance CEITECu na rychlý start v této oblasti; je to tedy další důvod pro výběr systému.

Svým podpisem potvrzuji výše uvedené.

V Brně dne 31. 10. 2013



Prof. MUDr. Ivan Rektor, CSC.
vedoucí výzkumné skupiny Multimodální
a funkční neurozobrazování

MASARYKOVA UNIVERZITA
Středoevropský technologický institut
Kamenice 753/5, 625 00 Brno



14

Prof. RNDr. Jaroslav Koča, DrSc.
ředitel CEITEC MU

¹ <http://www.ceitec.eu/headquarters/multimodal-and-functional-imaging-laboratory/z10>

² <http://www.ceitec.eu/ceitec-mu/brain-and-mind-research/v8>