

FAV – Practical Review of Audiological Methods

<http://onyx.lf1.cuni.cz/mlab/ftp/PPT-CVUT/>

Praktický přehled audiologických metod

**Petr Maršálek (editor/ keeper),
Restored
late Jan Vokřál presentation**

Část 1 - Úvod do praktika

Petr Maršálek/ Jan Vokřál
Foniatrická klinika 1. LF UK a VFN

Audiologie

- Medicínský obor, který se věnuje sluchu - fyziologii, patofyziologii, patologii, diagnostice, rehabilitaci poruch a vad sluchu
- Mezioborový obor na rozhraní mezi obory biologickými technickými a sociálními vědami, věnují se jí otorino-laryngologové, foniatři, fyziologové, akustici, elektroinženýři, biomedicínští inženýři, psychologové, lingvisté a další.
- V ČR je audiologie součástí foniatrické specializace jako nástavbového oboru otorino-laryngologie, to je v současnosti chirurgický obor

Audiologie - součásti

- 1) klinická audiologie (audiologická diagnostika)
- 2) ped-audiologie (diagnostika sluchových vad u dětí, jejich prevence, rehabilitace)
- 3) rehabilitační audiologie (protetická péče pro dospělé)
- 4) experimentální audiologie (fyziologie a patofyziologie sluchového orgánu)
- 5) průmyslová audiologie (prevence poškození sluchu u pracovníků v riziku hluku)
- 6) technická audiologie (technika v audiologii, vyšetřovací přístroje, tiché komory, sluchadla, chrániče proti hluku)

Vztah mezi sluchem a řečí

- Sluch je nezbytnou součástí kontrolního zpětnovazebního systému řeči. Vývoj řeči při sluchové vadě záleží na tíži sluchové vady a léčebné rehabilitaci, jak se opoždění vývoje řeči vlivem stimulace průběžně kompenzuje.

Celoplošný screening vad sluchu

Cílem novorozeneckého screeningu je odhalit trvalé postižení sluchu a zajistit další vyšetření, aby do 6 měsíců věku mohla být vada diagnostikována a byla zajištěna péče o rozvoj řeči sluchově postiženého dítěte; tzn. vybrána vhodná sluchadla, a v případě těžké vady sluchu aby do 1 roku byla stanovena vhodnost kochleární implantace (CI).

1. vyšetření sluchu pomocí OAE proběhne v porodnici 2. – 3. den po narození.

Pokud nejsou otoakustické emise vybaveny, následuje další diagnostika a něče ve specializovaných sluchových centrech k vyloučení či potvrzení

Sluchové vady a poruchy

- Nedoslýchavost znamená příznak oslabení sluchu
- Porucha sluchu – může se jednat o přechodný stav; předpokládá se zlepšení po léčbě (zejména u převodních sluchových vad; např. u dětí během akutního středoušního zánětu, při hypertrofické adenoidní vegetaci = nosní mandle, v oblasti nosohltanu nebo při tubárním kataru).
- Vada sluchu – jedná se o stav trvalý.
- Trvalá porucha sluchu - je definovaná jako oboustranné sluchové postižení, kdy průměr prahů na frekvencích 500, 1000, 2000 a 4000 Hz je roven nebo větší než 40 dB HL (hearing level).
- **1-2 promile dětí se rodí se závažnou vadou sluchu**, která potřebuje korekci sluchadly nebo kochleárními implantáty (CI) a tyto děti vyžadují intenzivní speciální péči: edukaci sluchu a řeči.
- **U rizikových, nedonošených dětí, je výskyt vad sluchu do 2-4 %.**

Klasifikace sluchových vad

- převodní, percepční (kochleární), suprakochleární (retrokokochleární), centrální.
- Klasifikace *podle stupně postižení* (WHO):
 - Lehká vada do ztrát 40 dB, středně těžká do 70 dB, těžká do 90 dB.
 - Hluchota – reakce na 90 dB a výše na frekvencích 250, 500, 1000 Hz; nelze využít pro komunikaci sluchadla. Pro tento případ se někdy u pacientů užívá termín neslyšící.
- Pro účely posudkového lékařství se nyní používá *výpočet ztrát sluchu v % podle Fowlera* – výpočet podle tónového audiogramu (z frekvencí 500, 1000, 2000 a 4000 Hz).
- *Klasifikace vad sluchu podle etiologie* – vrozené a získané;
- *Podle doby vzniku* – prelingvální (před vývojem řeči) a postlingvální (k postižení sluchu došlo při již rozvinuté řeči)

Základní vyšetření sluchu

- Vyšetření sluchu se provádí po základním otorinolaryngologickém (ORL) vyšetření, jehož součástí je otoskopie (vyšetření zevního zvukovodu a bubínku).
- Prvním krokem je *sluchová zkouška řeči*: odhad vzdálenosti rozumění hlasité řeči a šepotu a jejich porovnání (stačí na vzdálenost 3-4 m). Je nutno vyloučit možnost odezírání a nevyšetřované ucho ohlušit manuálně (zakrýt vlastní rukou vyšetřovaného). Význam zkoušky je samozřejmě orientační, ale spolu s *vyšetřením ladičkou* se objeví první indicie poruchy sluchu.
- Audiologie používá řadu vyšetřovacích metod; od *tónové audiometrie*, která je závislá na spolupráci pacienta, k objektivním metodám, které na spolupráci pacienta nezávisí (*vyšetření středoušních reflexů, tympanometrie, vyšetření otoakustických emisí, elektrofyziologické metody - vyšetření evokovaných sluchových potenciálů*).

Část 2 – Měření a měřicí přístroje

Praktická audiologie, audiologické vyšetřovací metody

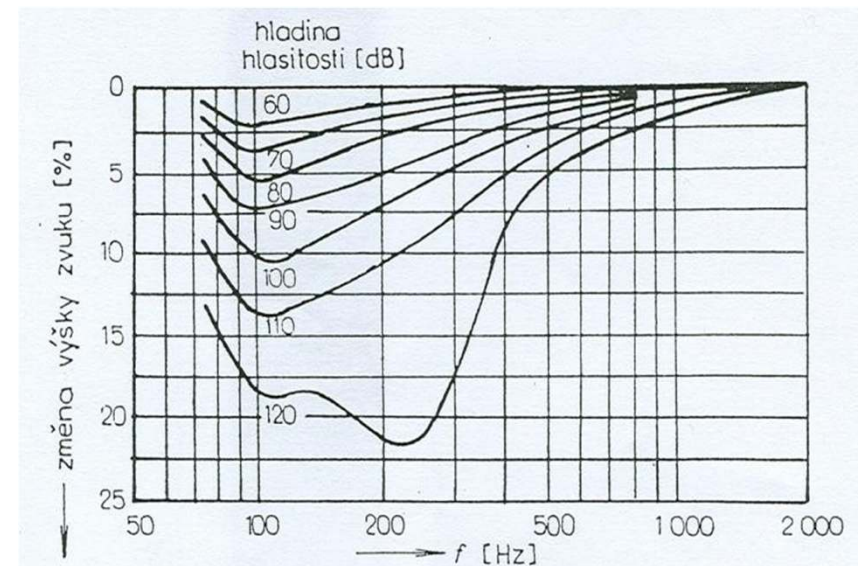
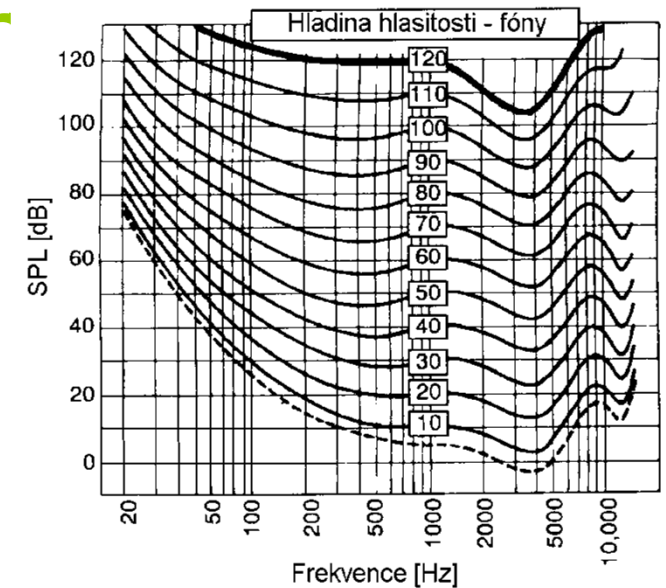
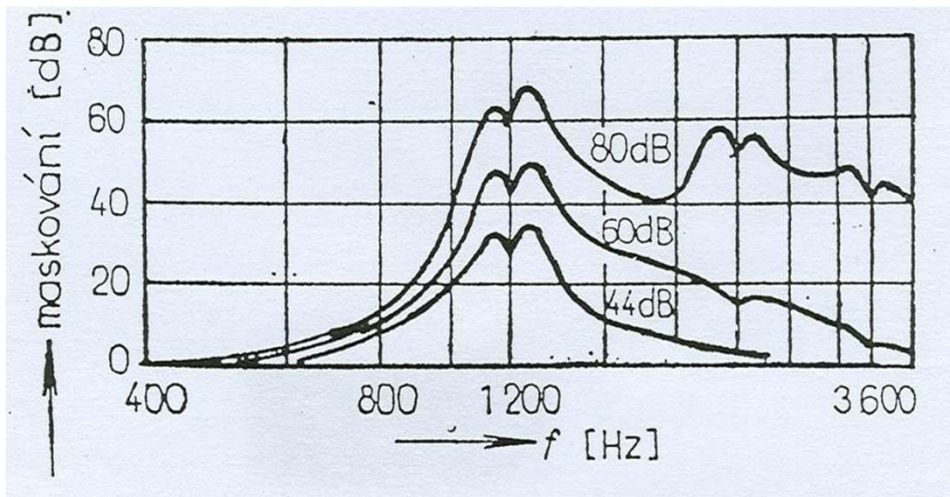
Petr Maršálek/ Jan Vokřál
Foniatrická klinika 1. LF UK a VFN

Obsah sdělení

- Fyziologická akustika
- Akustické normy
- Audiometr, tympanometr
- Audiometrické testy, slovní audiometrie
- Otoakustické emise
- Evokované kmenové a korové potenciály

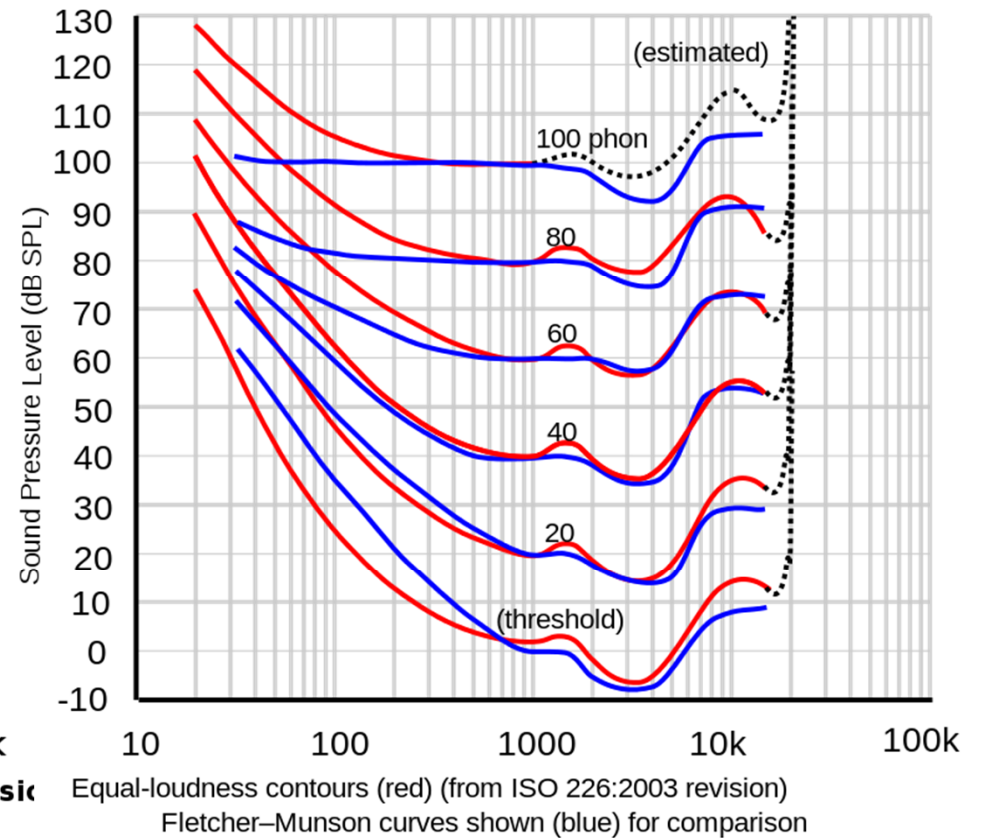
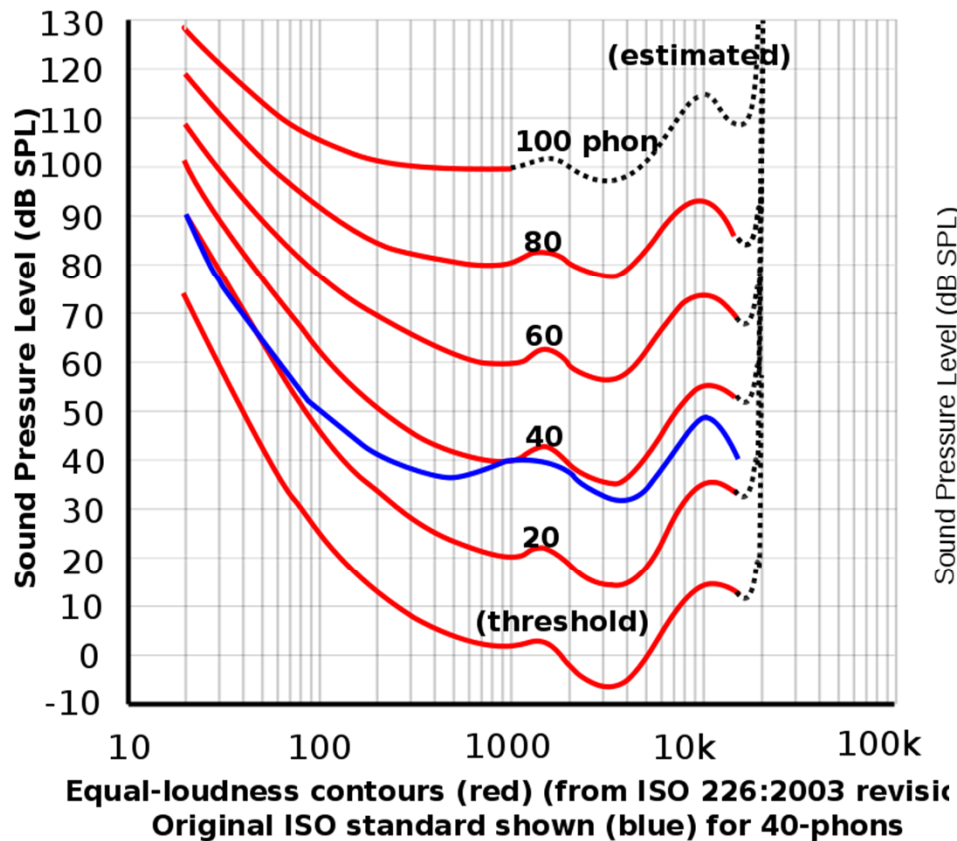
Lidský sluch

- Obrovská dynamika – 120 dB
- Ale: různá citlivost na různých frekvencích (Fletcher-Munsonovy křivky stejné hlasitosti)
- maskování časové, intenzitní, nelineární závislosti (!)
- Kódování MP3 - design



Obr. 19. Změna subjektivní výšky tónu při změně jeho intenzity

Fletcher- Munsonovy křivky versus ISO



Hladina akustického tlaku

- **Fechner-Weberův zákon:** mezi subjektivním počítkem a objektivní fyzikální veličinou, která jej způsobuje, platí, že přírůstek počítku dH je úměrný relativní změně podnětu I

$$dH = K \cdot dI / I$$

integrace: $H = K \cdot \ln(I / I_0)$

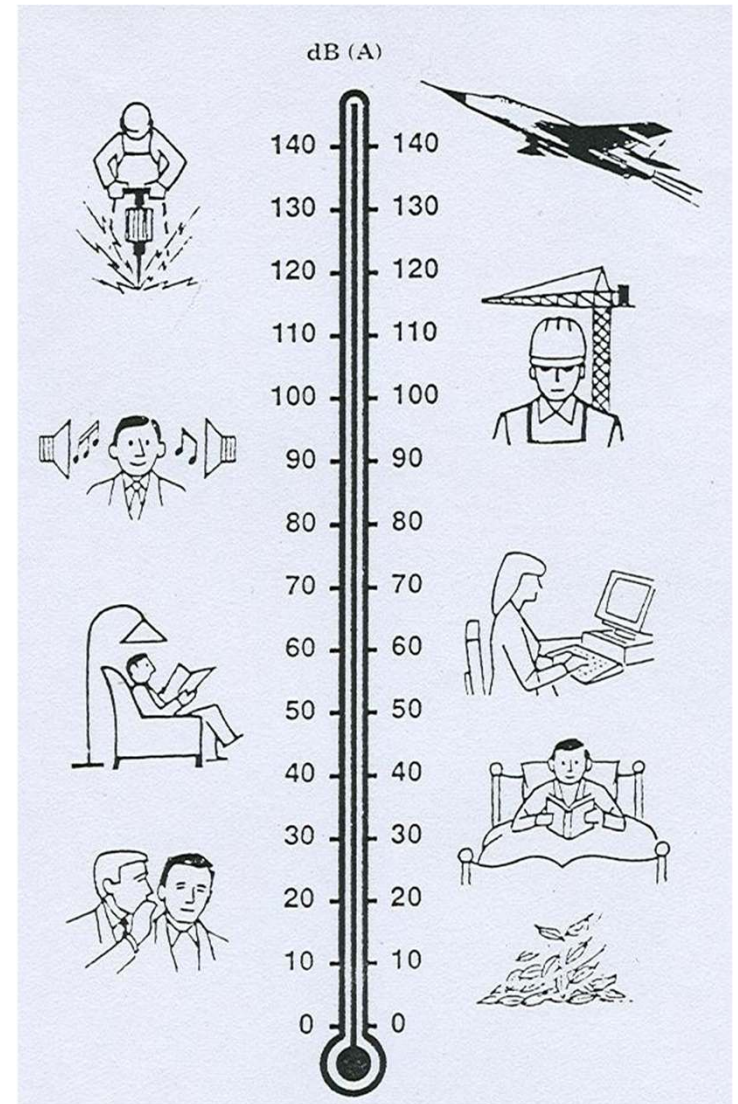
Hladina akustického tlaku

- rozsah lidského sluchu:
cca 10^{-5} Pa až 10^2 Pa = 0.000 01 Pa až 100 Pa

=> cca 0 dB – 140 dB

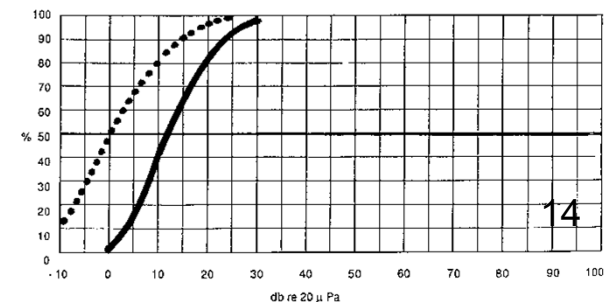
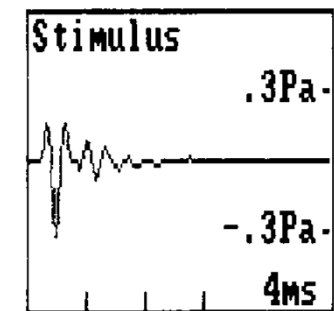
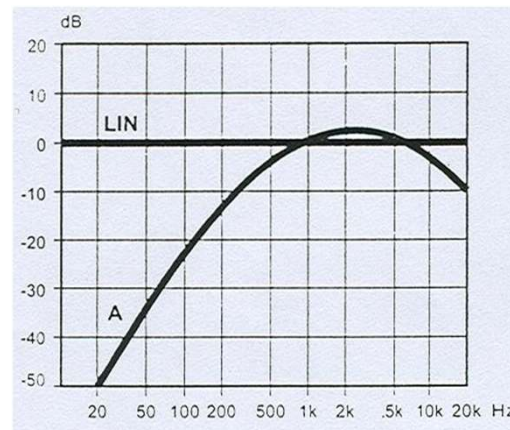
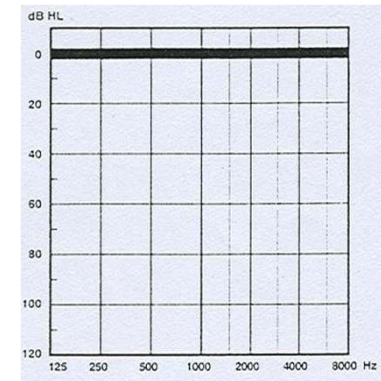
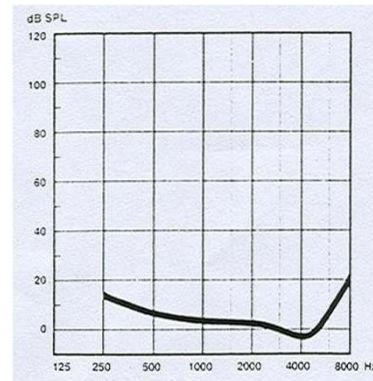
$$L_p = 20 \cdot \log(p / p_0) \text{ [dB]}$$

$$p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ [Pa]}$$



Decibely

- **dB SPL (sound pressure level)** - měření fyzikální veličiny (katalogové údaje u sluchadel)
- **dB HL (hearing level)**
 - hladina vztažená k normálnímu sluchovému prahu (vyjadřování sluchových ztrát v audiologii – váhový filtr)
- **dB(A)** - pro hygienické účely, signál prochází váhovým filtrem 40 Ph (fónů)
 - hodnocení hlučnosti
- **dB p.e. (peak equivalent)** - impulsní průběh
- **dB SRT (speech reception threshold)**
 - slovní audiometrie



Normy v audiologii

- definice, značky a jednotky akustiky, převodní činitele
 - referenční hladiny hladiny v akustice
 - prahová hladina slyšení pro čisté tóny a náhlavní sluchátka, vložná sluchátka, kostní vibrátory
- Požadavky na audiometry, na měřící signál (čistý tón, kmitočtově modulovaný tón, úzkopásmové měřící signály)

Calibration:
Reference Threshold Levels (RTL's)

Freq (Hz)	"A" TDH39 303/9A	"B" TDH50 303/9A	"C" B71 Mastoid	"D" B71 Forehead	"E" Sgl Ins 126/HA2	"F" Spkr 0 Deg	"G" Spkr 45 Deg	"H" 3A/126 HA2	"I" 3A/711 Ear Sim	"J" NBN ISO	"K" SENN HDA200
125	45.0	47.5	N/A	N/A	N/A	24.0	23.5	26.0	28.0	4.0	29.5
250	25.5	26.5	67.0	79.0	23.5**	13.0	12.0	14.0	17.5	4.0	18.0
500	11.5	13.5	58.0	72.0	16.5**	6.0	3.0	5.5	9.5	4.0	9.5
750	8.0	8.5	48.5	61.5	10.5**	4.0	0.5	2.0	6.0	5.0	6.5
1000	7.0	7.5	42.5	51.0	9.0**	4.0	0.0	0.0	5.5	6.0	6.5
1500	6.5	7.5	36.5	47.5	9.0**	2.5	-1.0	2.0	9.5	6.0	5.5
2000	9.0	11.0	31.0	42.5	13.5**	0.5	-2.5	3.0	11.5	6.0	3.0
3000	10.0	9.5	30.0	42.0	9.5**	-4.0	-9.0	3.5	13.0	6.0	3.0
4000	9.5	10.5	35.5	43.5	1.5**	-4.5	-8.5	5.5	15.0	5.0	8.5
6000	15.5	13.5	40.0	51.0	0.5**	4.5	-3.0	2.0	16.0	5.0	9.5
8000	13.0	13.0	40.0	50.0	N/A	13.5	8.0	0.0	15.5	5.0	16.0
12000	N/A	17.5*	N/A	N/A	N/A	13.5	11.5	N/A	N/A	5.0*	27.5
Speech	20.0	20.0	55.0*	63.5*	21.5**	16.5	12.5	12.5	18.0		
9000						15.5	10.5			5.0	17.0
10000						15.5	11.0			5.0	21.5
11200						14.0	10.0			5.0	21.0
12500						13.0	11.5			5.0	27.5
14000						18.0	16.0~			5.0	37.5
16000						44.5	43.5			5.0	58.0

Typy audiometrů

a) **Screeningový audiometr** – umožňuje vyšetření jen několika

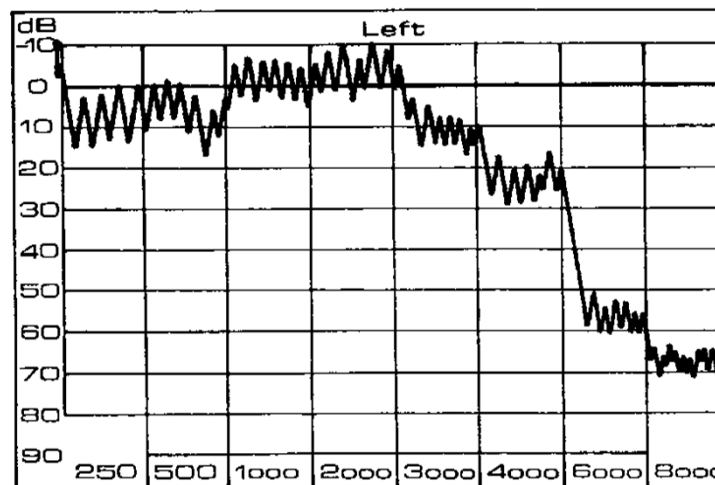
čistých tónů vzdušným vedením, většinou čtyř.

b) **Diagnostický audiometr** – umožňuje základní vyšetření čistými tóny vzdušné a kostní vedení, ohlušení, některý ze speciálních testů.

c) **Klinický audiometr** – umožňuje provedení všech audiometrických testů, včetně slovní audiometrie.

d) **Speciální automatický audiometr**

e) **Vysokofrekvenční audiometr** do 20 kHz



o audiometr –
enzity.

ňuje vyšetření až

Klinický audiometr

Požadavky na klinický audiometr.

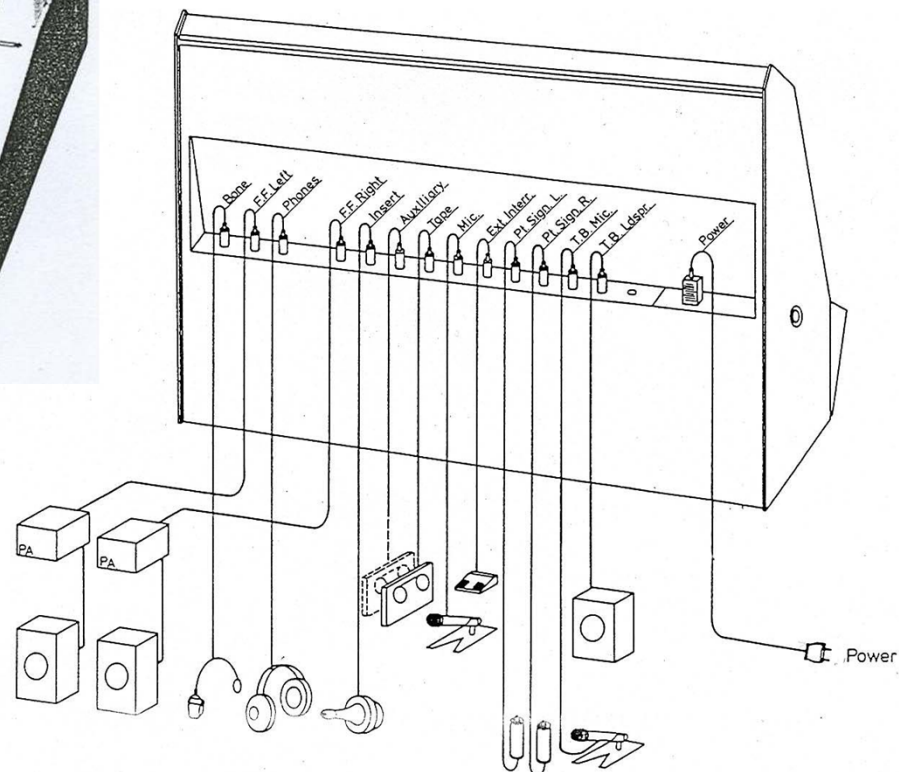
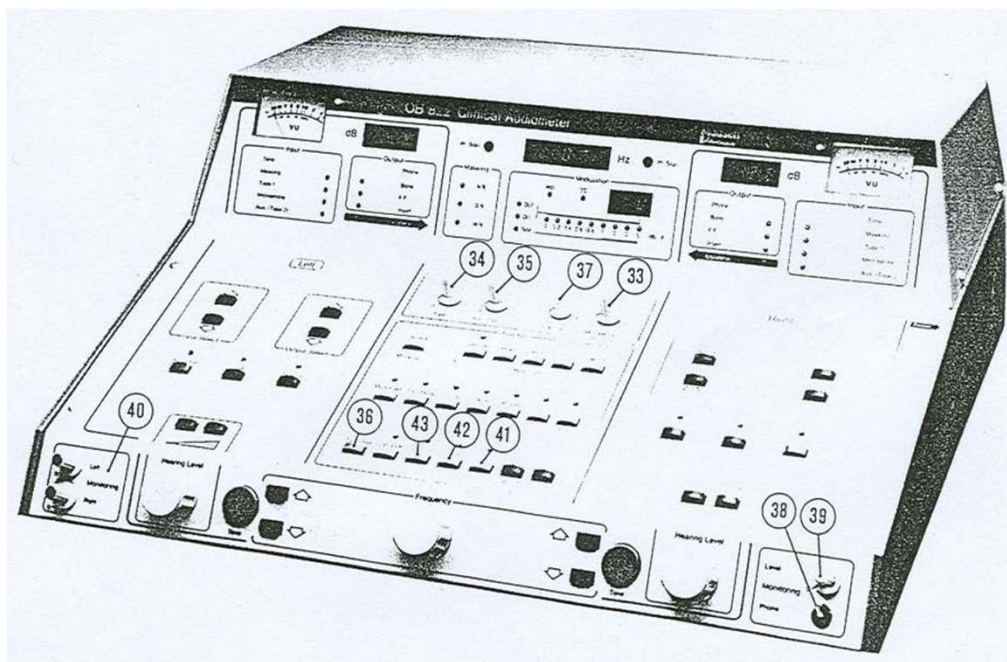
- ohlušení bílým šumem
- úzkopásmovým šumem
- provedení SISI testu (Speech Incremental Sensitivity Index)
- DLF (Difference Limen for Frequency)
- DLI (Difference Limen for Intensity)
- slovní audiometrie do sluchátek i volného pole

Frekvence [Hz]	Vzdušné vedení [dB]	Kostní vedení [dB]
125	70	-
250	90	45
500	120	60
750	120	60
1000	120	60
1500	120	70
2000	120	70
3000	120	70
4000	120	60
6000	110	-
8000	100	-

Pracovní specifikace:

Doba zahřívání	10 min.
Teplota, za které možno vyšetřovat	15° - 35°C
Harmonické zkreslení	3% vzdušné vedení 3% kostní vedení
Frekvenční zkreslení	3%
Výstup pro sluchátka	TDH 39, TDH 49, TDH 50 Telex 1470 A
Výstup pro kostní vibrátor	dle ANSI 3.26 - 1981
Přesnost výstupu SPL	3 dB 125 - 4000 Hz 5 dB 6000 - 8000 Hz

Klinický audiometr



Normy v audiologii (pokračování)

- Požadavky na kalibraci a údržbu přístrojů.
- Požadavky na vyšetřovací místnosti pro měření sluchu na (kvazi-)volné zvukové pole.

Maximální přípustný hluk ve vyšetřovací místnosti (ISO 8253 - 1989).

Frekvence [Hz]	Volné pole nebo kostní vedení [dB(A)]
125	20,0
250	13,0
500	8,0
1000	7,0
2000	8,0
4000	12,0
8000	15,0



ČSN ISO 8253-1: Akustika.

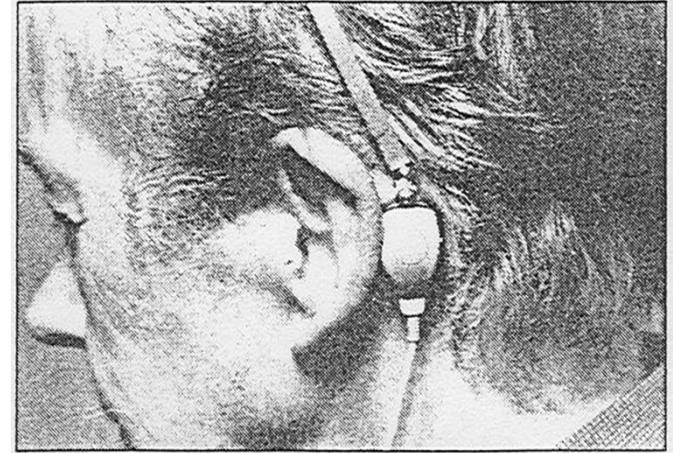
Audiometrické vyšetřovací metody

Část 1: Základní prahová audiometrie čistými tóny vedenými vzduchem a kostí

- Referenční hodnoty prahů slyšení jsou určeny průměrnou hodnotou prahů odpovídající skupiny posluchačů.
- Posluchači jsou otologicky normální osoby ve věku 18 až 25 let včetně.
- Otologicky normální osoba: Osoba v normálním zdravotním stavu bez jakýchkoliv příznaků sluchové poruchy a bez ušního mazu ve zvukovodu, která nebyla nikdy v minulosti vystavena nadměrnému hluku.
- Práh slyšení: Nejnižší hladina akustického tlaku²⁰ nebo hladina síly vibrací při které za

Základní audiologická vyšetření

- vzdušné vedení
- kostní vedení
- slovní audiometrie
- tympanometrie



Vyšetření u dětí



Výsledky audiometrického vyšetření

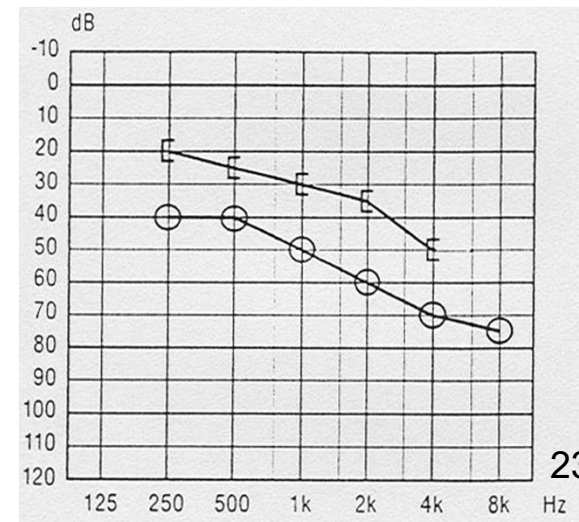
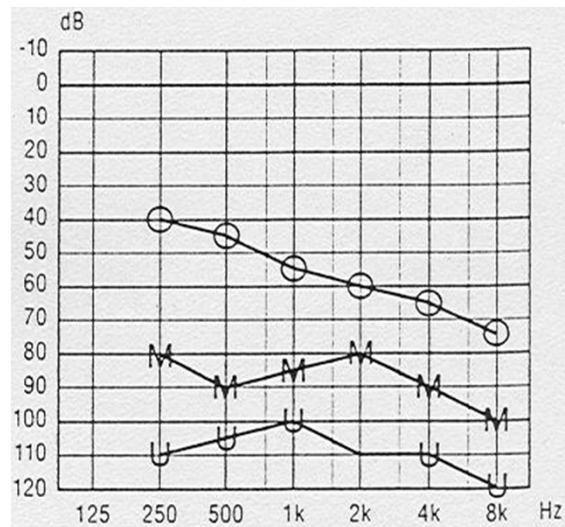
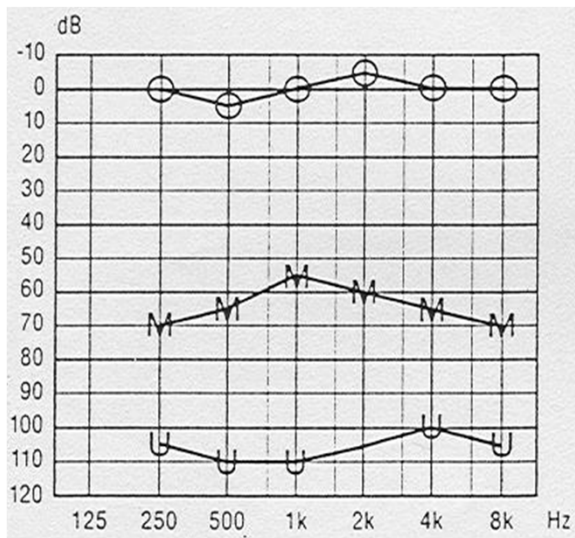
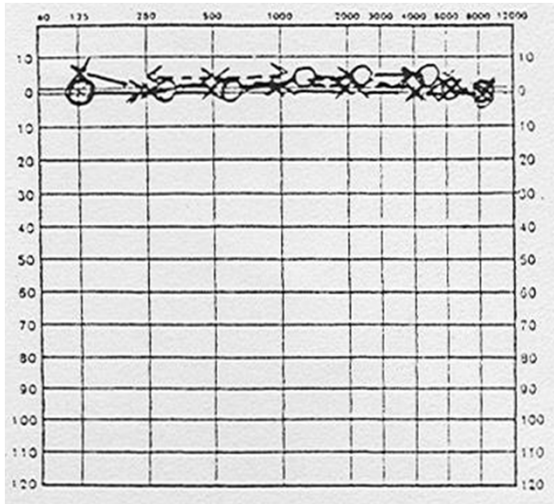
Značky

Pravé ucho o, <, [

Levé ucho x, >,]

Vzdušné vedení o——o x——x

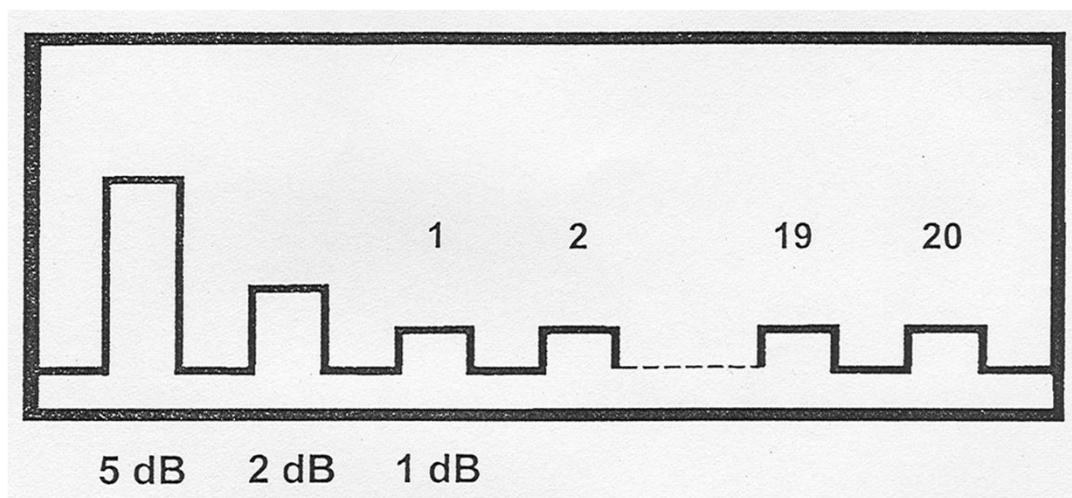
Kostní vedení <---< [---[>--->]---



Nadprahové testy – SISI test

(Short Incremental Sensitivity Index)

- 20 dB nad HL, úkolem je poznat v rovnoměrně znějícím tónu zvýšení intenzity o 1 dB
- rozliší-li 70% a více - kochleární nedoslýchavost
- Rozliší-li pod 20% - suprakochleární nebo převodní nedoslýchavost



Percepční nedoslýchavost - hluk

Pravá strana významná 'profesionální' porucha sluchu (poznámka P.M.)

ÚNZ NV hl. m. Prahy FN s FP
FONIATRICKÁ KLINIKA
PRAHA 2, Žitná 24

Předn. prof. MUDr. Alexej Novák, DrSc.

AUDIOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ

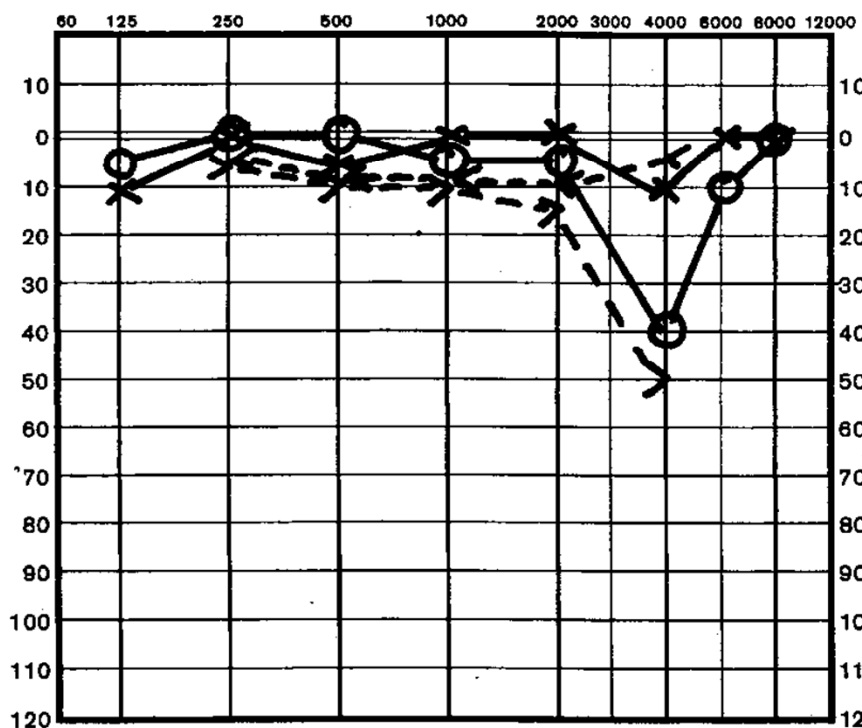
Jméno:

nar.:

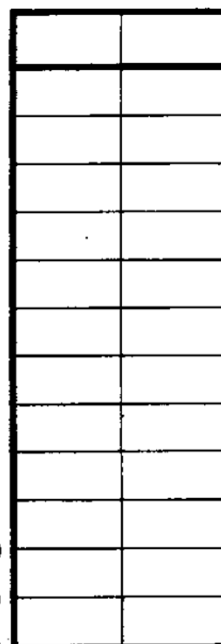
Číslo

datum:

Audiometr



Srovnání hlasitosti



SISI v %				
kHz	1	2	3	4
dx				
sin				

Ztráta sluchu v %

Celková ztráta v %

Vpravo	Vlevo

vedení	vzduš.	kostní
dx	— ○ —	— > —
sin	— × —	— < —

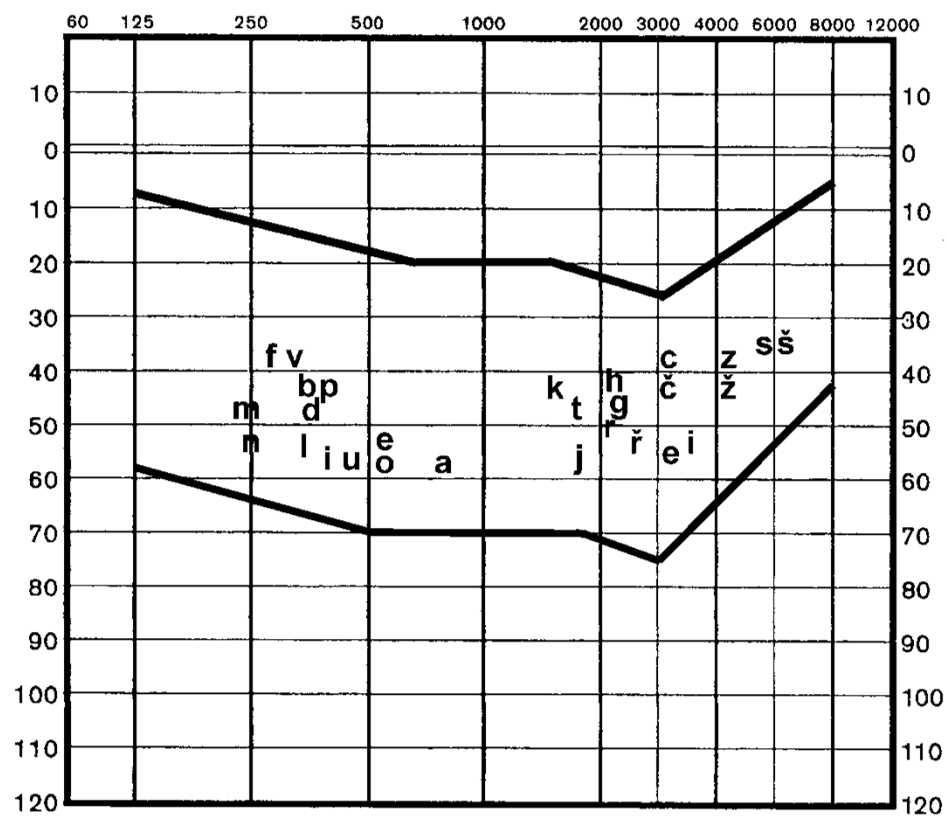
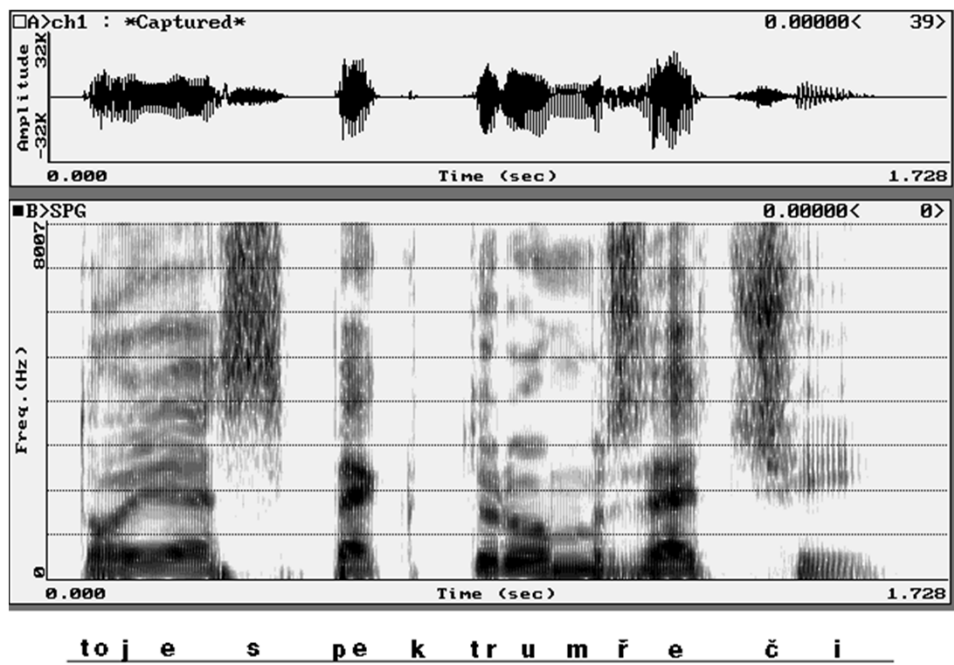
Maskování:

Poznámka:

JČT 1-37251-90

podpis

Slovní audiometrie

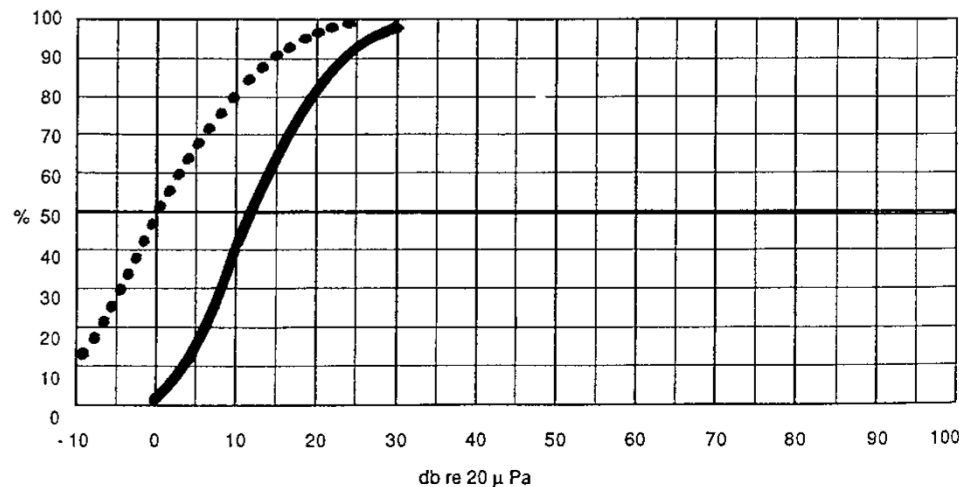


Slovní audiometrie

- Vyvážené dekády slov: hluboké, střední, vysoké hlásky
- Křivky jsou závislé, zda je vyšetření ve volném poli nebo do sluchátek

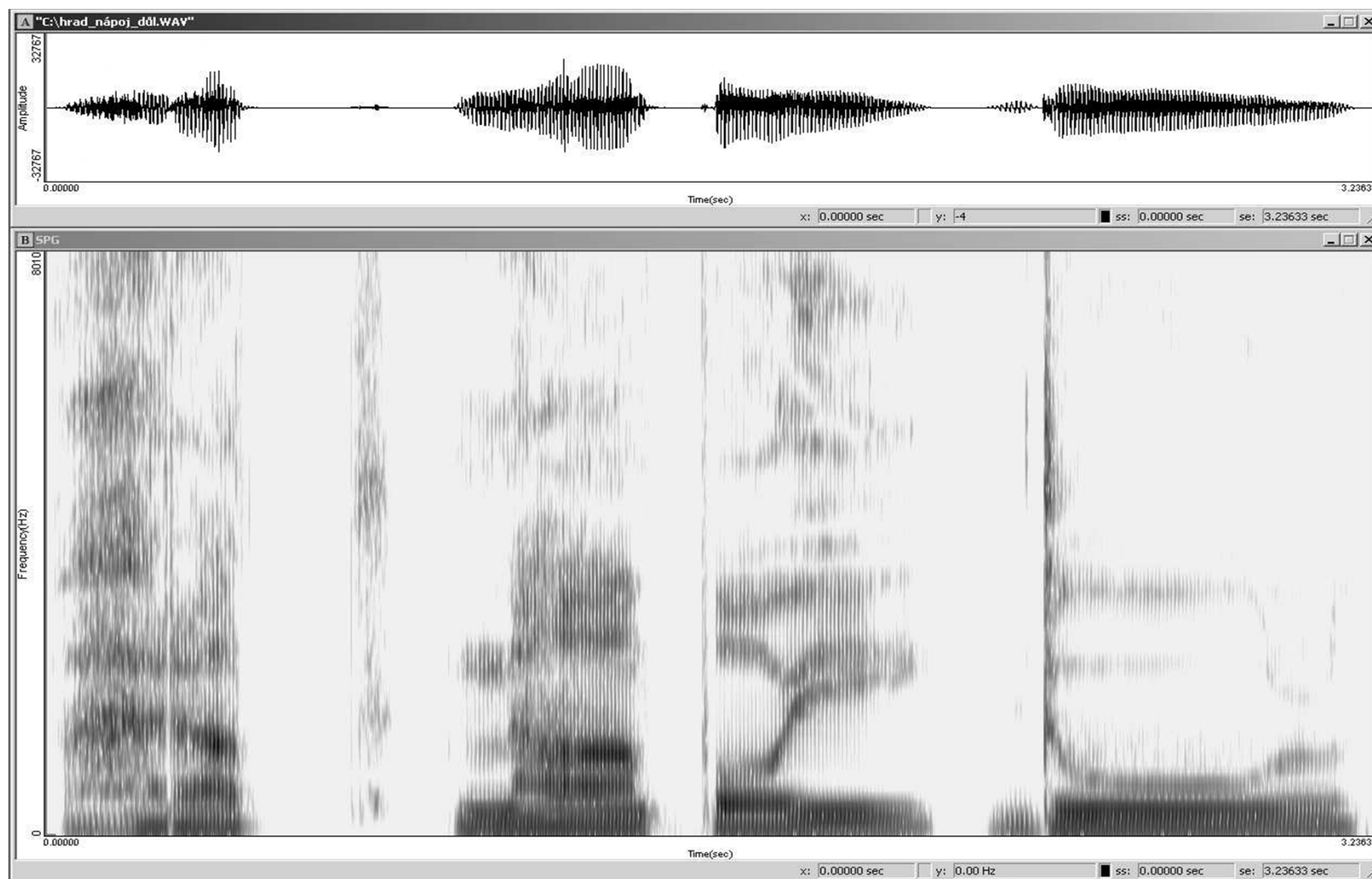
Slovní audiometrie: základní sestava č. 1

Příjmení:			Narozen(a):			Dne:					
Jméno:			DG:								
ucho db			ucho db			ucho db			ucho db		
rád	—	—	koně	—	—	trať	—	—	kraj	—	—
kolej	—	—	vřed	—	—	pošta	—	—	dřevo	—	—
člen	—	—	žert	—	—	křen	—	—	čert	—	—
četa	—	—	nálada	—	—	dělej	—	—	chvátá	—	—
hluk	—	—	průvod	—	—	vor	—	—	trup	—	—
brambor	—	—	dub	—	—	obul	—	—	uhnout	—	—
houba	—	—	oblouk	—	—	pomluva	—	—	komora	—	—
tisk	—	—	dík	—	—	čest	—	—	žizeň	—	—
sít	—	—	tisíc	—	—	sice	—	—	sníst	—	—
číšnice	—	—	řečník	—	—	dívčí	—	—	šéfik	—	—
Součet			Součet			Součet			Součet		
ucho db			ucho db			ucho db			ucho db		
tvář	—	—	choť	—	—	drž	—	—	vlajka	—	—
anděl	—	—	neděle	—	—	chládek	—	—	pět	—	—
věž	—	—	kaňka	—	—	lež	—	—	dech	—	—
trojka	—	—	kovář	—	—	šátek	—	—	tráva	—	—
pumpa	—	—	hrom	—	—	brouk	—	—	hudba	—	—
hůl	—	—	duben	—	—	volno	—	—	kluk	—	—
loupat	—	—	kloub	—	—	průkop	—	—	úrok	—	—
jez	—	—	řidič	—	—	syč	—	—	šest	—	—
šťěstí	—	—	zeď	—	—	čistý	—	—	syčí	—	—
silnice	—	—	dítě	—	—	dědictví	—	—	šetření	—	—
Součet			Součet			Součet			Součet		

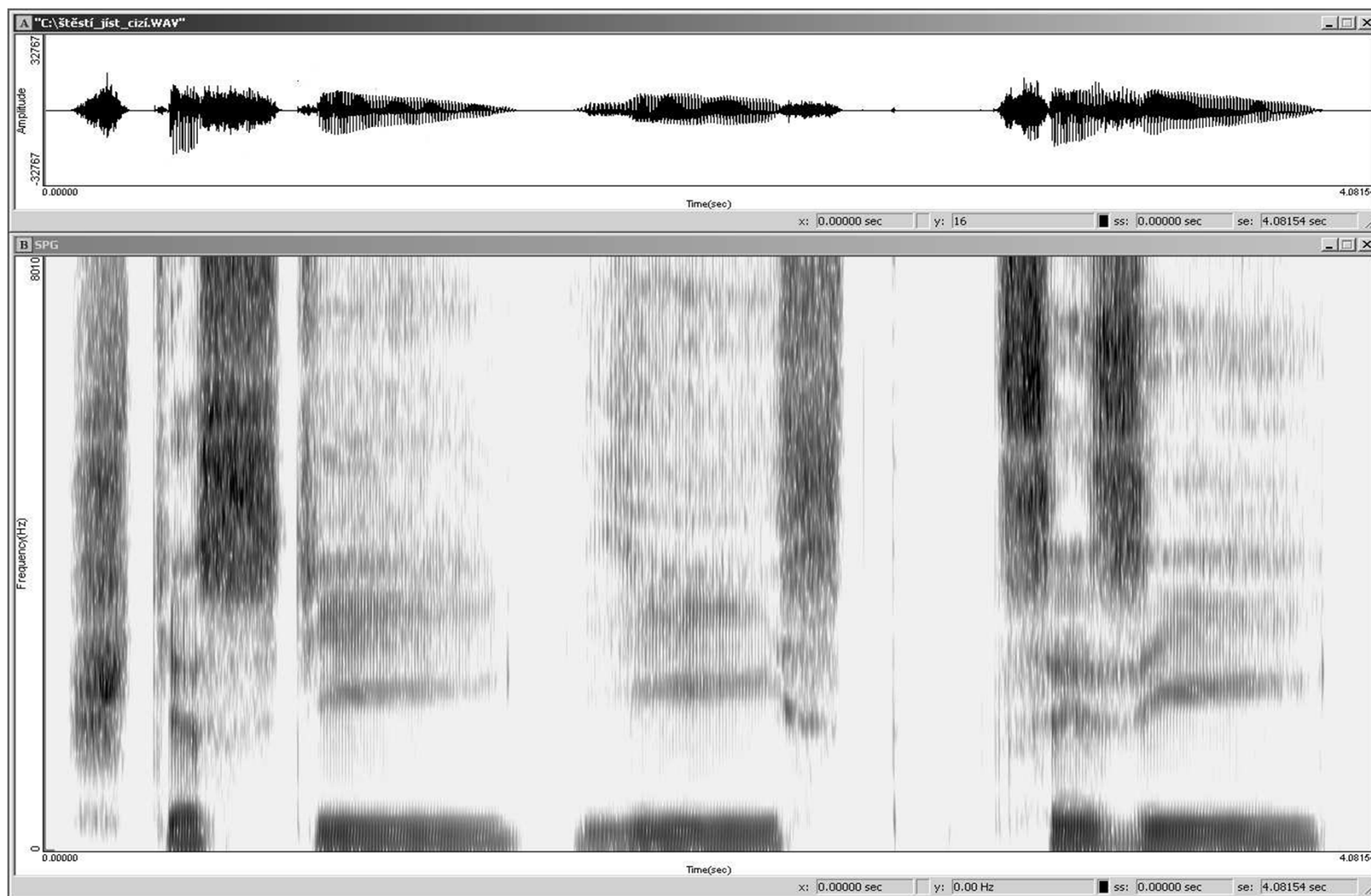


Sonagram (spektrogram) slov hrad, nápoj, důl

Slova obsahují hluboké a střední hlásky



Sonagram (spektrogram) slov štěstí, jíst, cizí slova obsahují vysoké hlásky



Slovní audiometrie

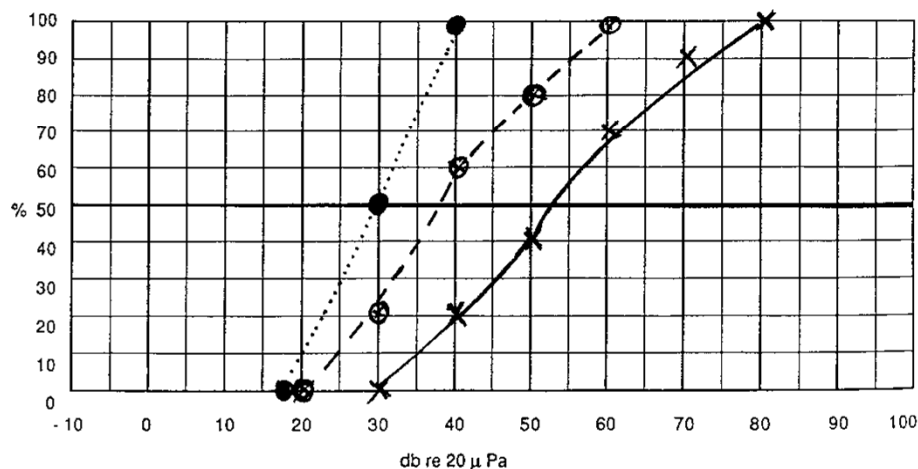
PERCEPČNÍ TEST PRO DĚTI 2. verze

Jméno:

Datum:

auto		bába		ucho		kytka		měsíc	
balón		ptáček		bota		noha		kočka	
ryba		kolo		koza		pani		párek	
oko		zajíc		rohlik		salám		ruka	
nos		čert		mič		stůl		slon	
had		loď		koš		pes		klíč	
vlak		král		dům		myš		čaj	
vůz		strom		pán		kluk		sýr	
lopata		čokoláda		autobus		čepice		miminko	
opice		krabice		jablíčko		panenka		kytička	
voda		děda		míša		postel		kabát	
talíř		kotě		lampa		houska		židle	
koláč		prase		motýl		komin		žába	
holka		okno		banán		miska		kráva	
dort		nůž		pták		plot		zub	
hůl		čáp		sud		věž		prst	
kůň		chléb		drak		líst		hrad	
les		tank		éro		mrak		kouř	
vajíčko		domeček		brambora		košile		lavice	
televizor		sluníčko		koloběžka		bubínek		slépice	

- modifikace testů pro děti (ukazování obrázků)
- vyšetření na sluchadla (bez sluchadla, analogové, digitální)



Dichotický poslech - děti

Speciální dichotické binaurální testy v českém jazyce modifikované pro mladší děti.

Různé stimuly (slova), které jsou prezentovány do každého ucha současně.

Dichotický test - dvouslabičná slova

	Intenzita v dB	Intenzita v dB	Bin	Nbin	Poznámka
I/I					
1	kráva	bučí			
2	voda	teče			
3	žába	kváká			
4	lampa	svítí			
5	auto	troubí			
6	paní	myje			
7	vítr	fouká			
8	kytka	voní			
9	ryba	plave			
10	míša	bručí			
Abs					
%					

Větná srozumitelnost v šumu

- Testování rozumění řeči provedeno prezentováním testovacího materiálu ve formě vět za přítomnosti rušivého šumového signálu.
- Pro vyšetřování větné srozumitelnosti však nejsou k dispozici mezinárodní standardy a normativní data musí být stanovena na vytvořeném materiálu

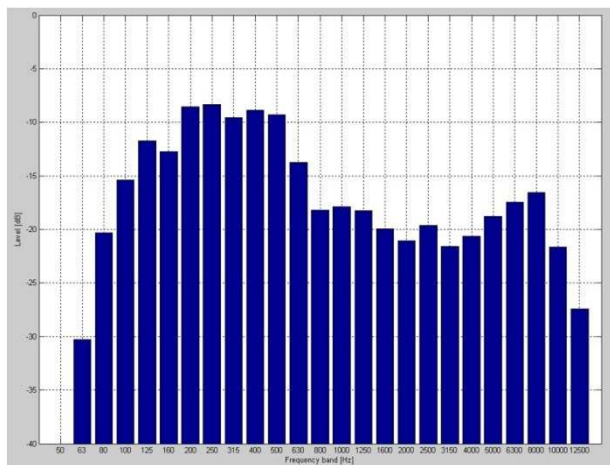
Výsledky ovlivňuje řada faktorů:

- 1) Použitý větný materiál (věty s velkou pravděpodobností výskytu určitých slov oproti větám s nízkou pravděpodobností výskytu), počet slov ve větě.
- 2) Typ a vlastnosti použitého konkurenčního signálu: např. řečový šum, který je definován technickou normou; hovorový šum (v anglickém jazyce používán termín „babble noise“) vzniká ze směsi promluv několika osob; cocktail party šum je náhodně pořízený zvukový šum (hluk) při společenské události. Některé zahraniční testy používají ustálené technické šumy - bílý šum, růžový šum.

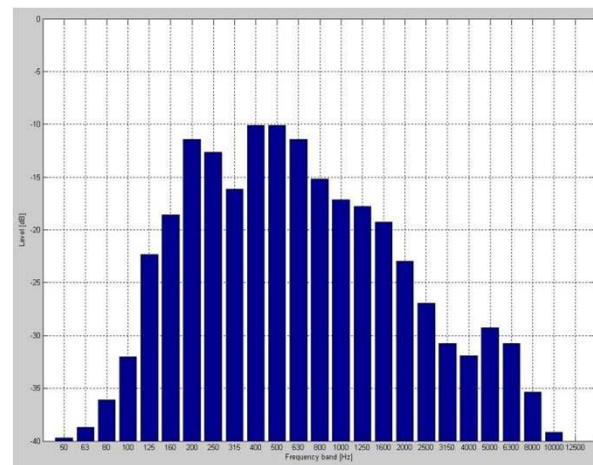
Větná srozumitelnost v šumu (pokračování)

- 3) Hlas a řeč profesionálního řečníka (konverzační výška hlasu, frekvenční spektrum / muž versus žena), preciznost výslovnosti, rychlost mluvního projevu.
- 4) Vztah mezi parametry hlasu řečníka a parametry použitého rušivého konkurenčního signálu, podobnost či odlišnost frekvenčního i časového průběhu signálů.
- 5) Způsob vyhodnocení testu - způsob přiřazení bodů za správně nebo částečně zopakovanou část věty (1 klíčové slovo, které má vysokou pravděpodobnost určení z kontextu věty; větší počet hodnocených slov ve větě; procentuální vyjádření počtu zopakovaných slov, apod.)
- 6) Poslech v tzv. volném poli v audiometrické kabině nebo poslech do sluchátek.

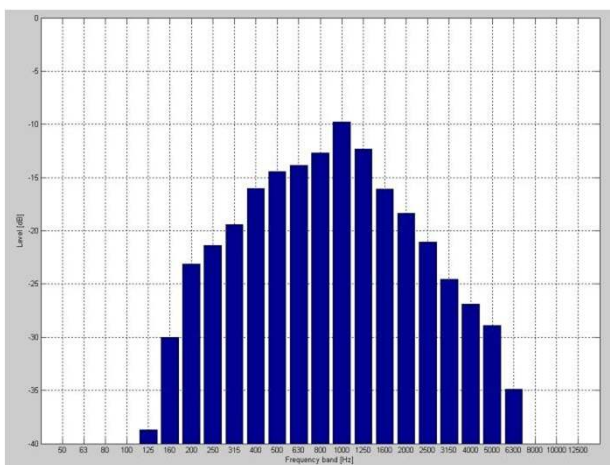
Větná srozumitelnost v šumu (spektra)



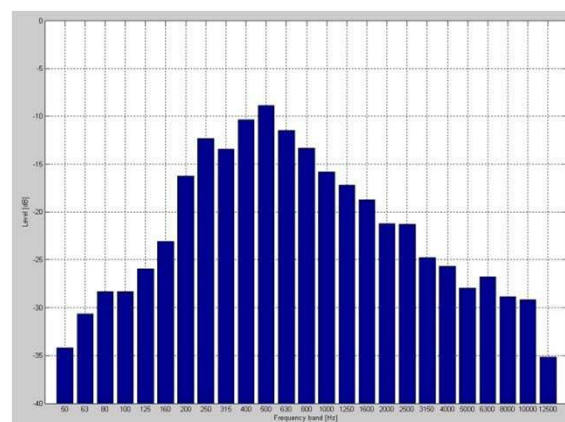
a) profesionální řečník



c) hovorový šum (babble noise)

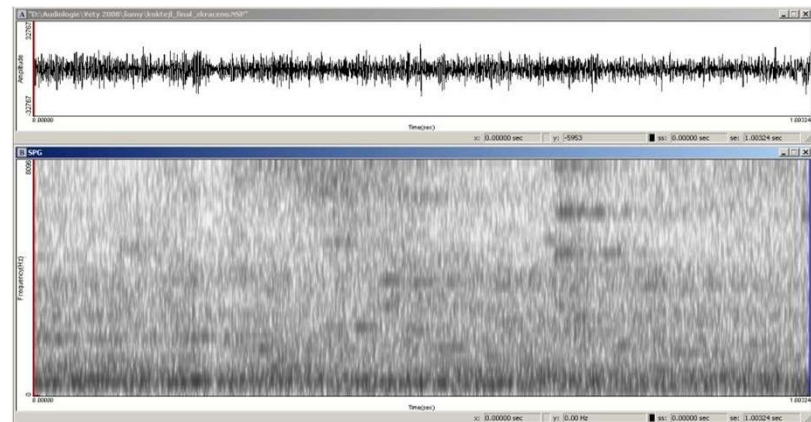
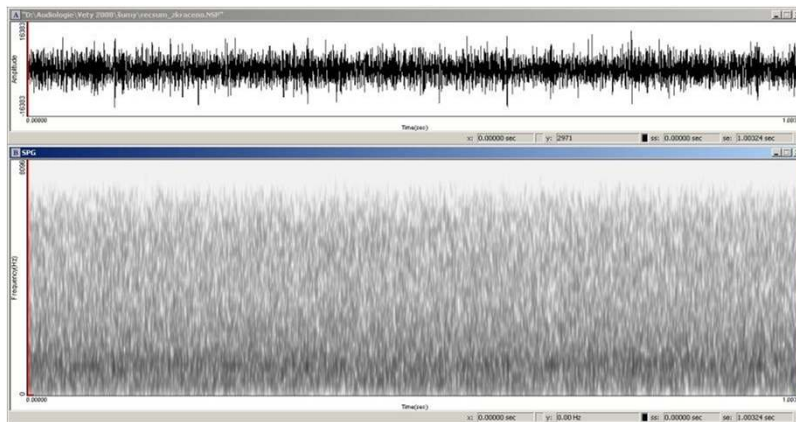
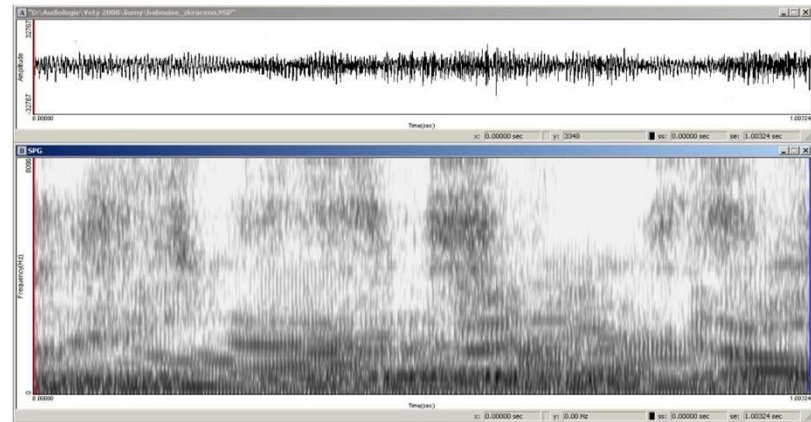
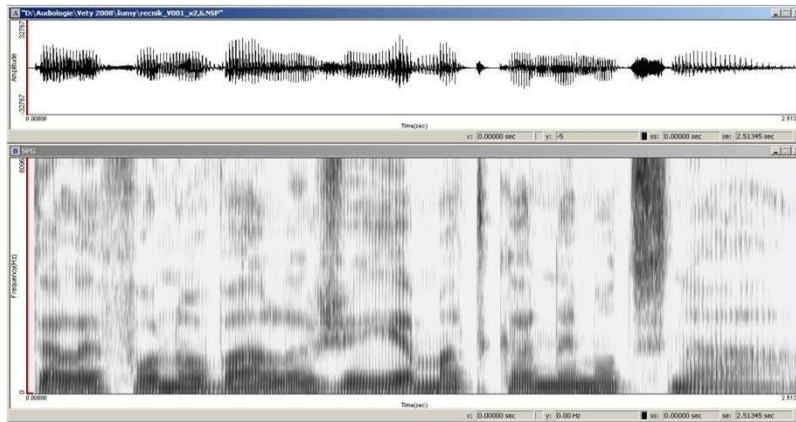


b) řečový šum

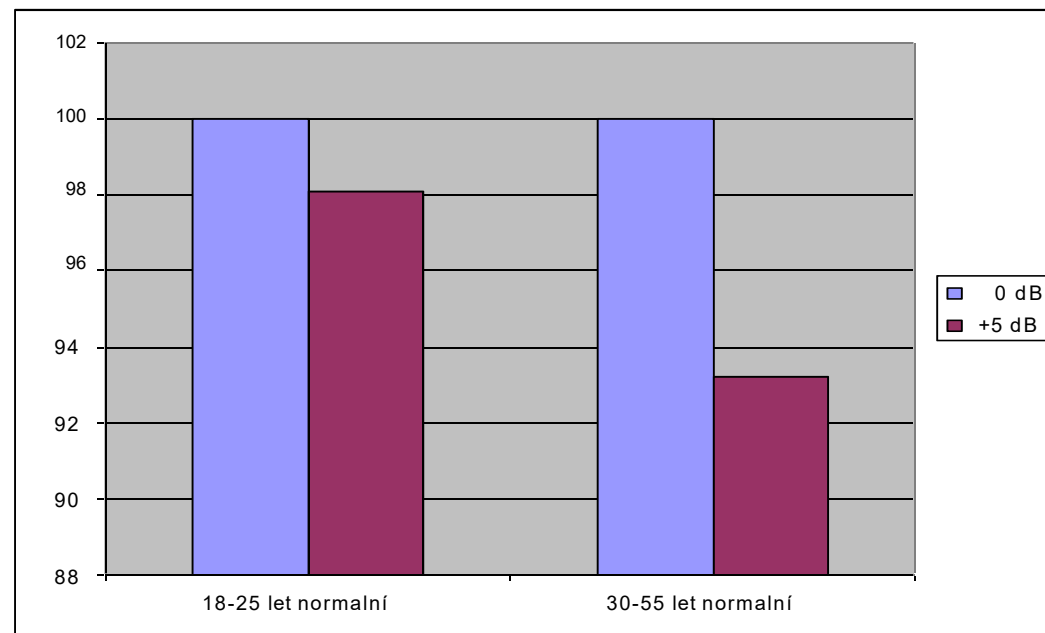


d) cocktail party šum

Větná srozumitelnost v šumu Spektrogramy

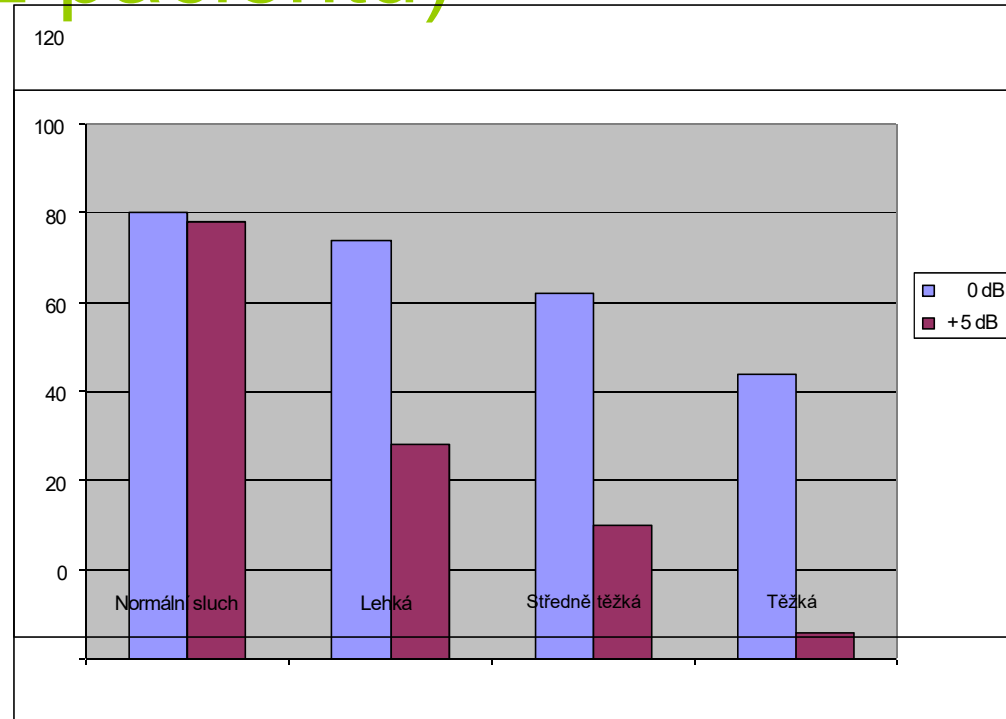


Výsledky - větná srozumitelnost na pozadí šumu skupiny s normálním sluchem



- Z výsledků je patrné, že s vyšším věkem i u normálně slyšících probandů se schopnost diferencovat řeč oproti pozadí zesíleného šumu o 5 dB snižuje.

výsledky věty srozumitelnosti na pozadí babble noise pacienti bez sluchadla (62 pacientů)



- S tíží nedoslýchavosti narůstá úroveň příjemné hladiny hlasitosti řeči, na které jsou věty a šumy prezentovány: průměrná úroveň MCL: 61 dB - 68 dB - 72 dB,
- % úspěšnosti rozumění větám oproti šumu na stejné hladině: u lehké poruchy 94%, u středně těžké 82%, u těžké 64%
- % úspěšnosti při babble šumu + 5 dB: u lehké 48%, u středně těžké 30% a

Zhoršování sluchu v závislosti na věku

ÚNZ NV hl. m. Prahy FN s FP
FONIATRICKÁ KLINIKA
PRAHA 2, Žitná 24

Předn. prof. MUDr. Alexej Novák, DrSc.

AUDIOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ

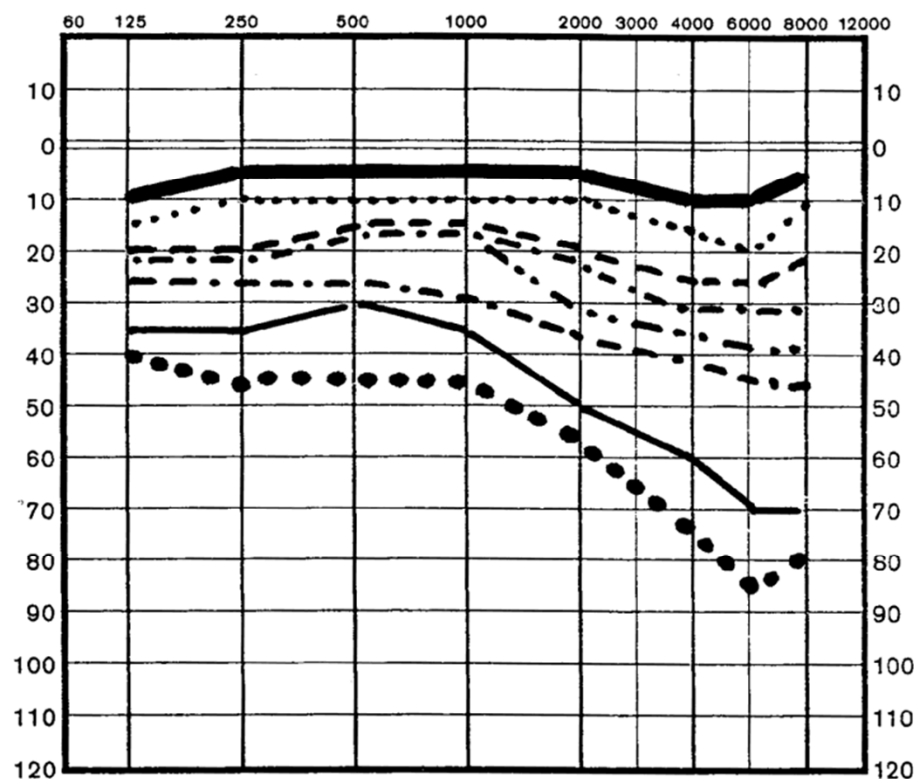
Jméno: _____

nar.: _____

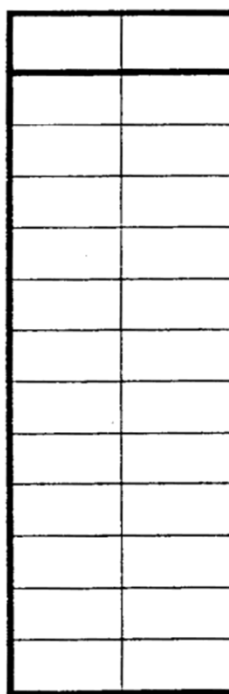
Číslo _____

datum: _____

Audiometr



Srovnání hlasitosti



SISI v %				
kHz	1	2	3	4
dx				
sin				

Ztráta sluchu v %

Celková ztráta v %

Vpravo	Vlevo

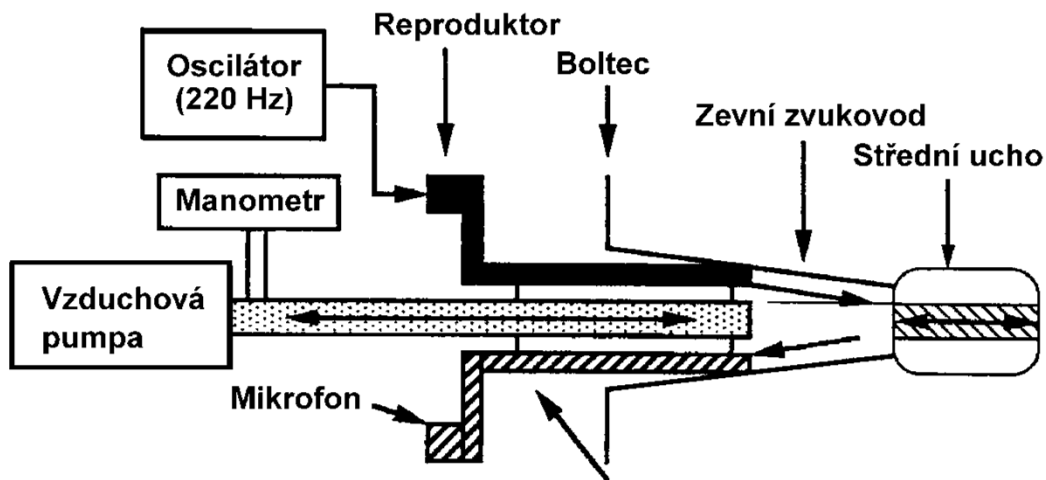
vedení	vzduš.	kostní
dx	— ○ —	-->--
sin	— × —	--<--

Maskování: _____

Poznámka: _____

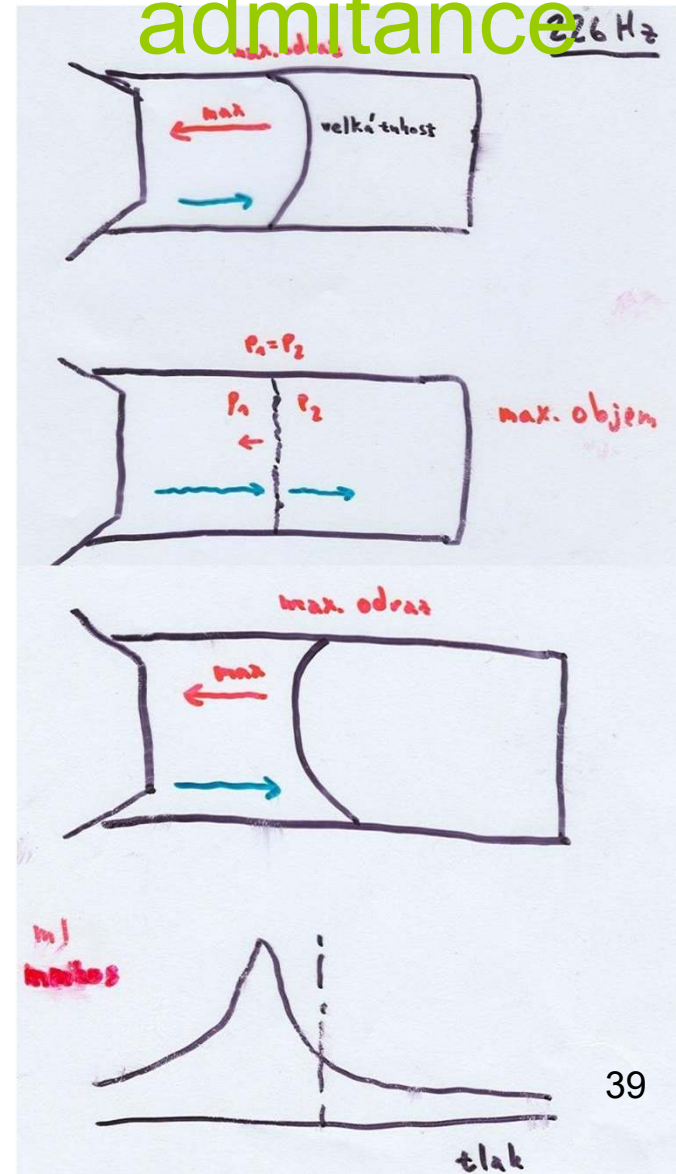
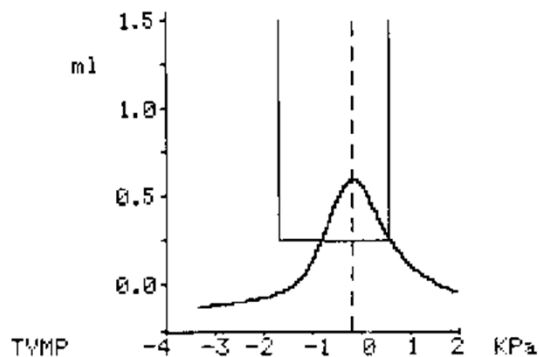
podpis _____

Tympanometrie, měření akustické admittance

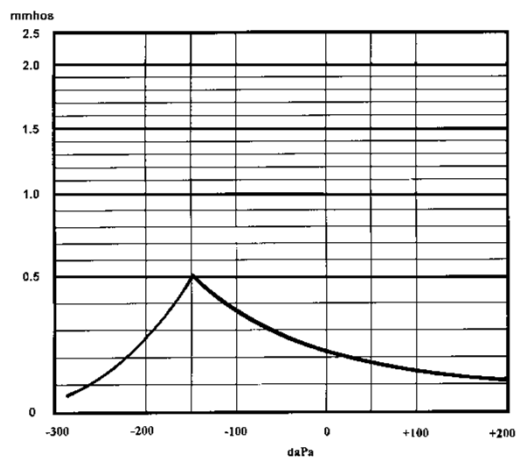
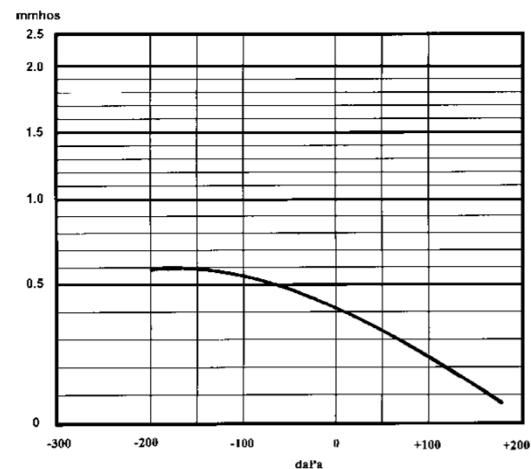
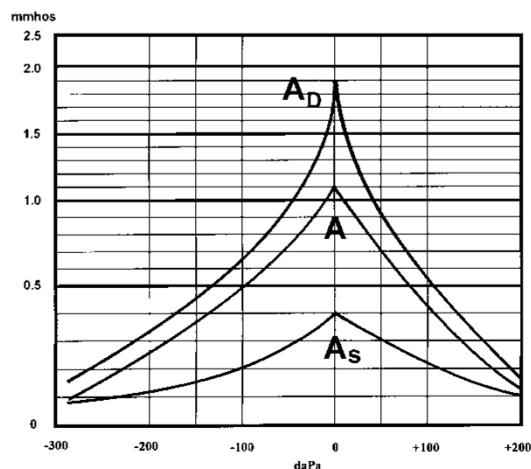


Office : MADSEN ELECTRONICS
 Operators Name : PROF. NOVAK
 Unit Number : 20-2020 AUDIOMETER
 Calibrated On : 05/02/91
 Date : 00/00/00
 Time [hh:mm] : 00:04
 Patient Ident. :
 Probe Tone/Ear : 226Hz / Right Ear

Ear Canal Volume = 1.7 cc
 Tympanic Pressure = -25 daPa
 Static Compliance = .61 cc
 Gradient = .37
 Pump Speed = 400 daPa/sec



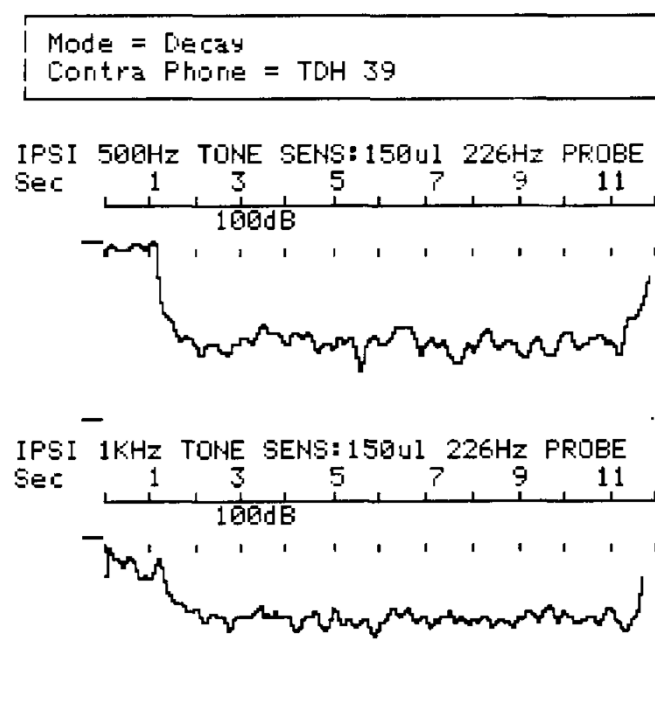
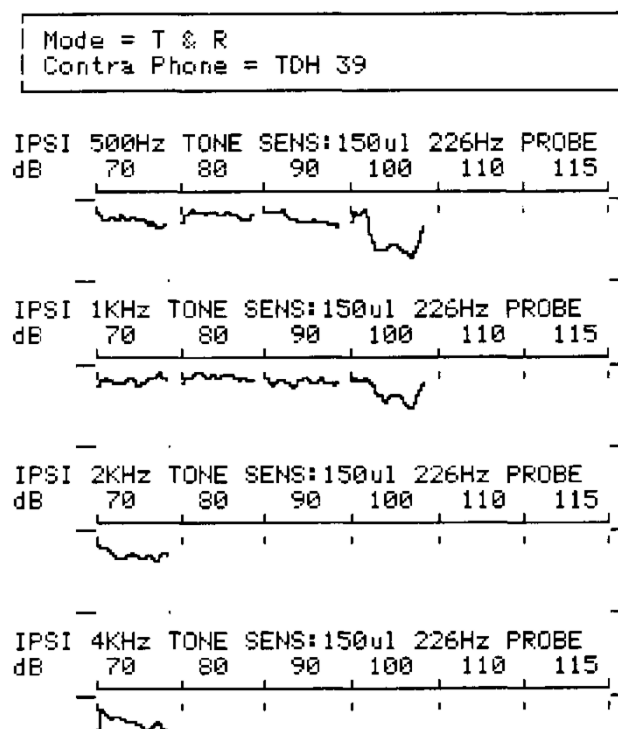
Tympanogramy – A, B, C



Procentuální výskyt jednotlivých typů tympanometrických křivek (A,B,C) u některých patologických procesů středoušní

Tympanogram	A	B	C [%]
Otosclerosis	95	1	4
Otitis media	10	43	47
Cholesteatoma	4	54	42
Zjizvený, ztlustělý bubínek	45	15	40
Přerušený řetěz kůstek	100	-	-

Stapediální reflex, decay test

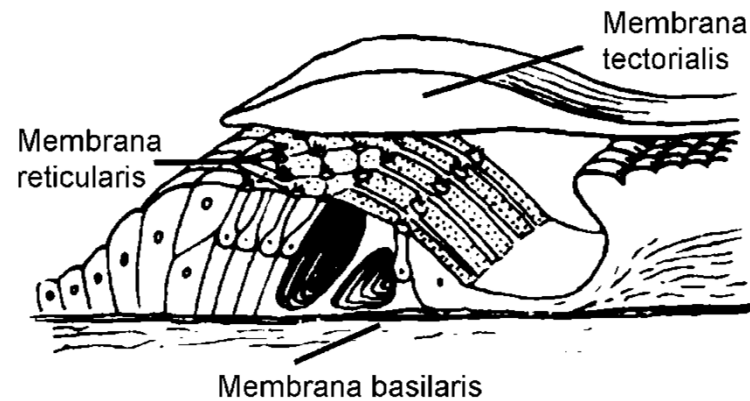
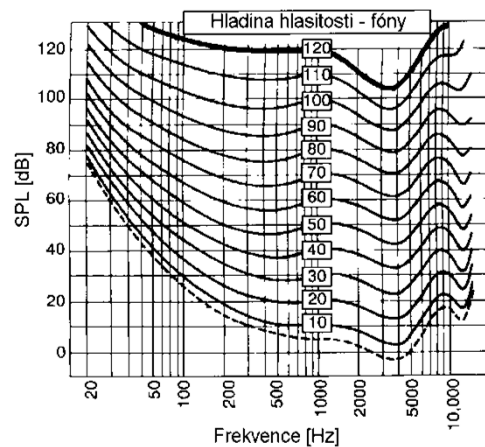
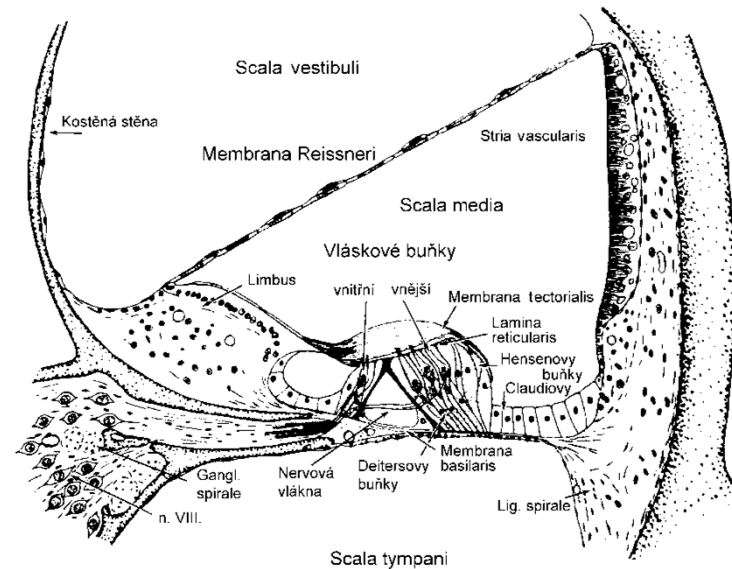


**Průměrné prahové hodnoty stapediálního reflexu v dB HL
normálně slyšících osob (podle Wiley, Oviatt a Block, 1987)**

	500	1000	2000	4000 Hz	BBN
Kontralaterálně průměr	84,6	85,9	84,4	89,8	66,3
Ipsilaterálně průměr	79,9	82,0	86,2	87,5	64,6

Otoakustické emise (OAE)

- objev 1978, prof. Kemp
- rychlá neinvazivní metoda
- **tranzientní (TEOAE)**
- **distorzní produkt (DPOAE)**
- **spontánní otoakustické emise (SOAE)**

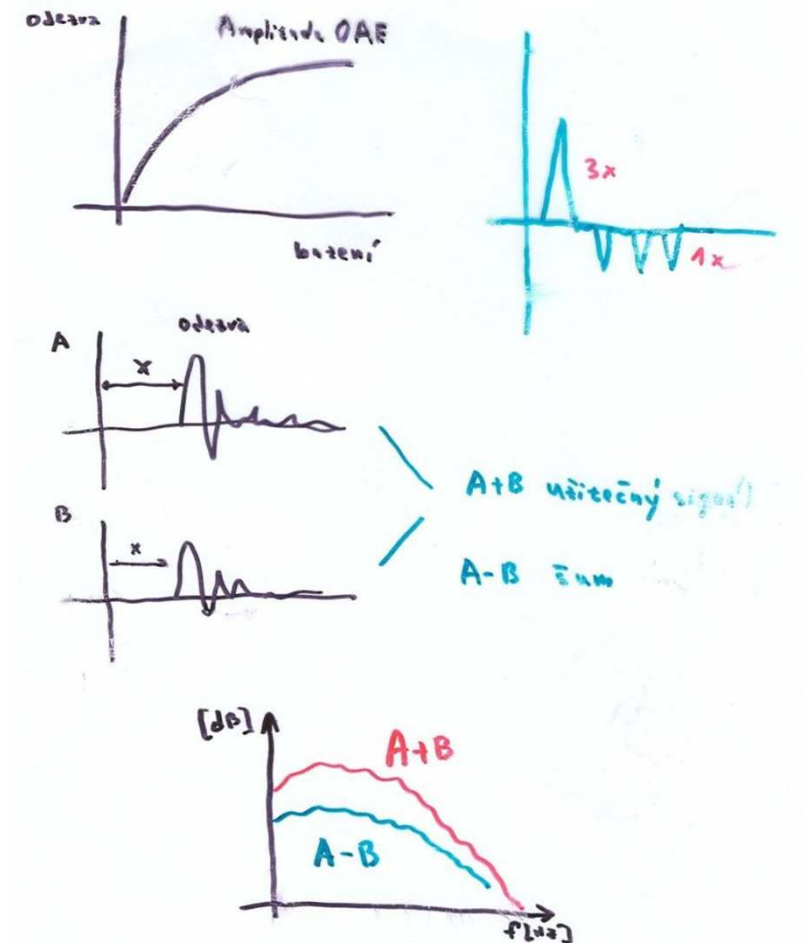
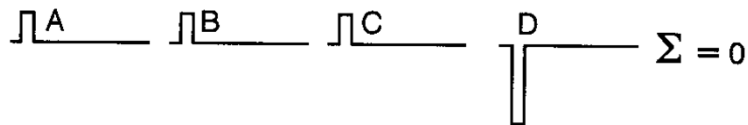


Rozdělení a klasifikace přístrojů pro OAE

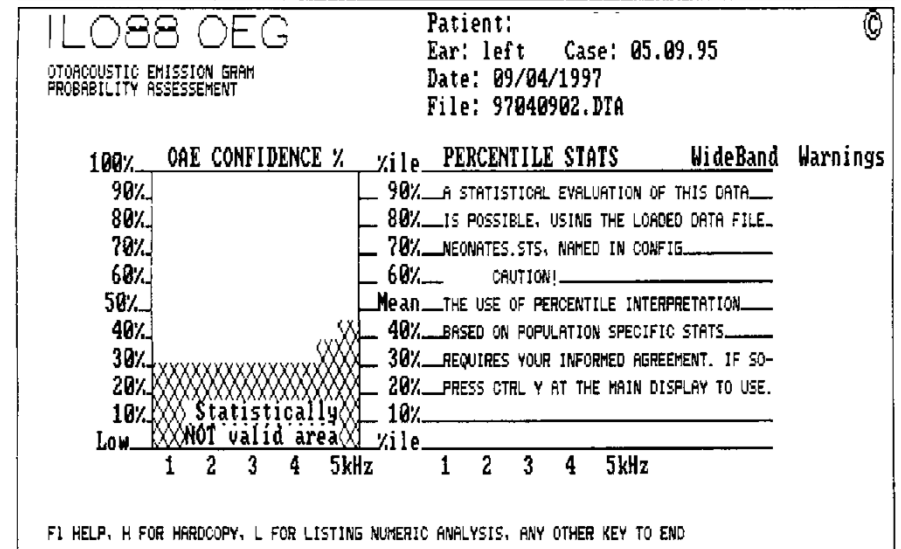
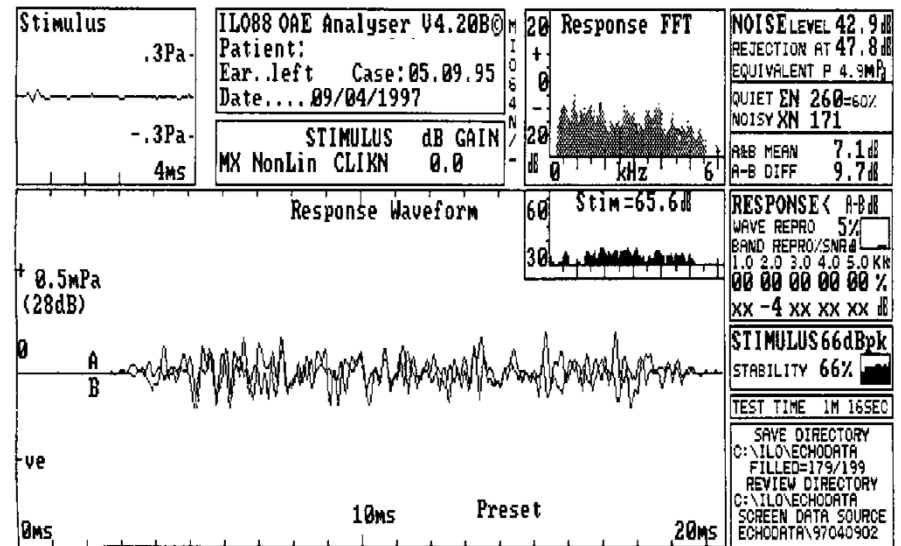
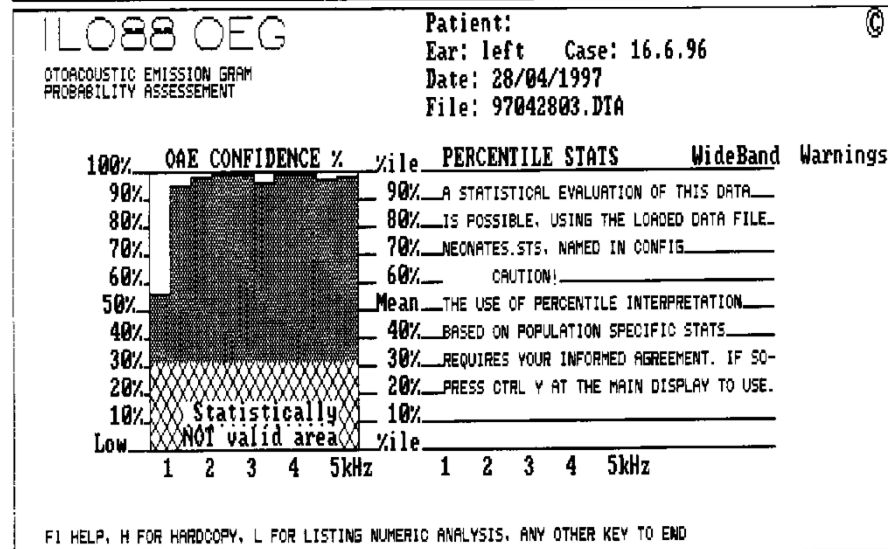
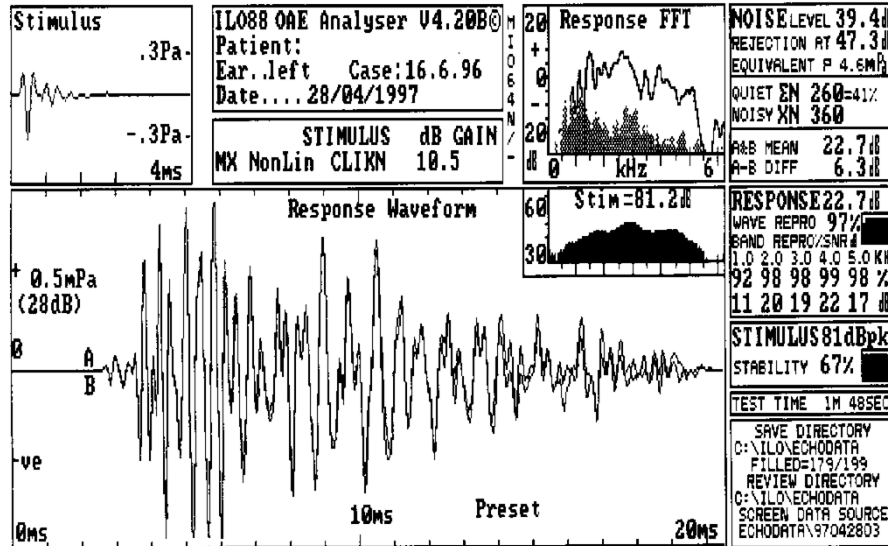
- Základní dělení dle dostupných funkcí
 - **Screeningové** (možnost měření TEOAE, DPOAE, někdy i ABR, jen screeningové výsledky typu *vyhověl/nevyhověl*)
 - **Klinické** (maximální vybavenost – TEOAE, DPOAE, SOAE, eventuálně další metody – FMDPOAE, high-resolution DPOAE, někteří výrobci OAE v kombinaci s ABR)
- Normativní klasifikace dle požadavků na minimální vybavení přístrojů pro OAE a podle uvažovaného základního použití (dle ČSN EN 60645-6, 2010)
 - Třída 1 – Diagnostika/klinická práce
 - Třída 2 - Vyhledávání (screening)

Tranzientní otoakustické emise (TEOAE)

- buzení kliky (impulz)
- odpověď 500-6000 Hz, frekvenčně specifické
- odpověď přijde pokud zachovány zpětnovazební mechanismy
- periferního systému, cca do 30 dB HL
- screeningové vyšetření

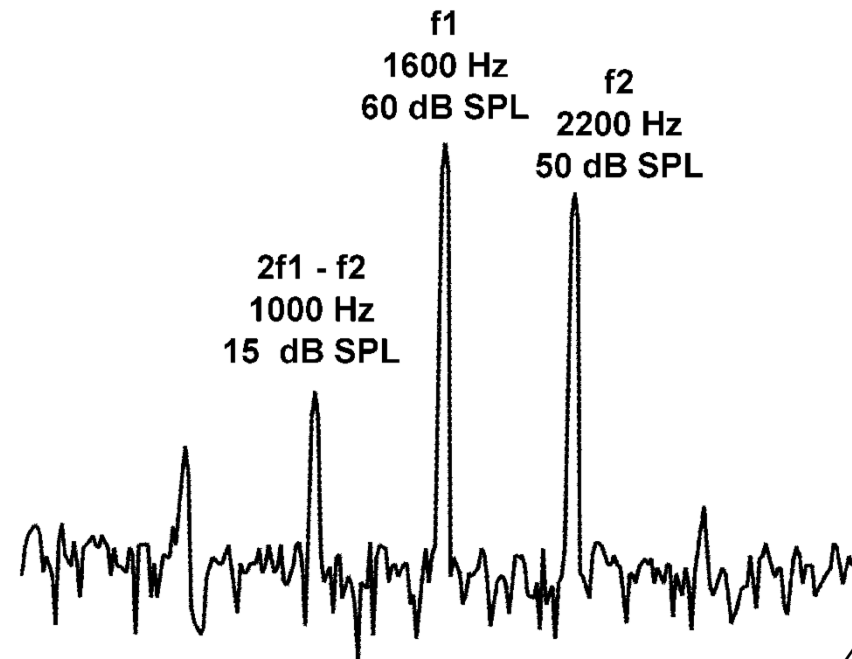
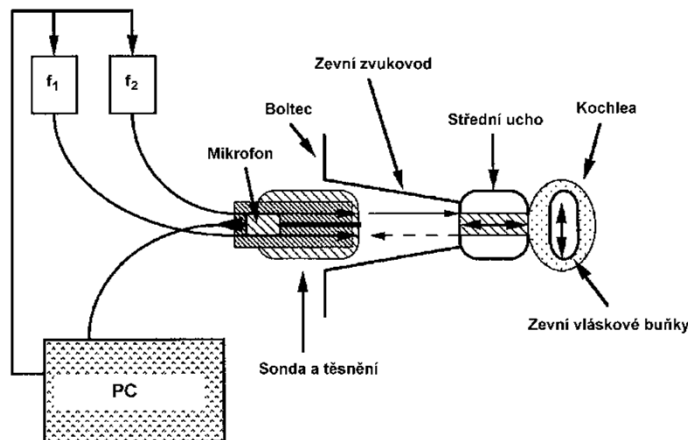


Tranzientní otoakustické emise (TEOAE)



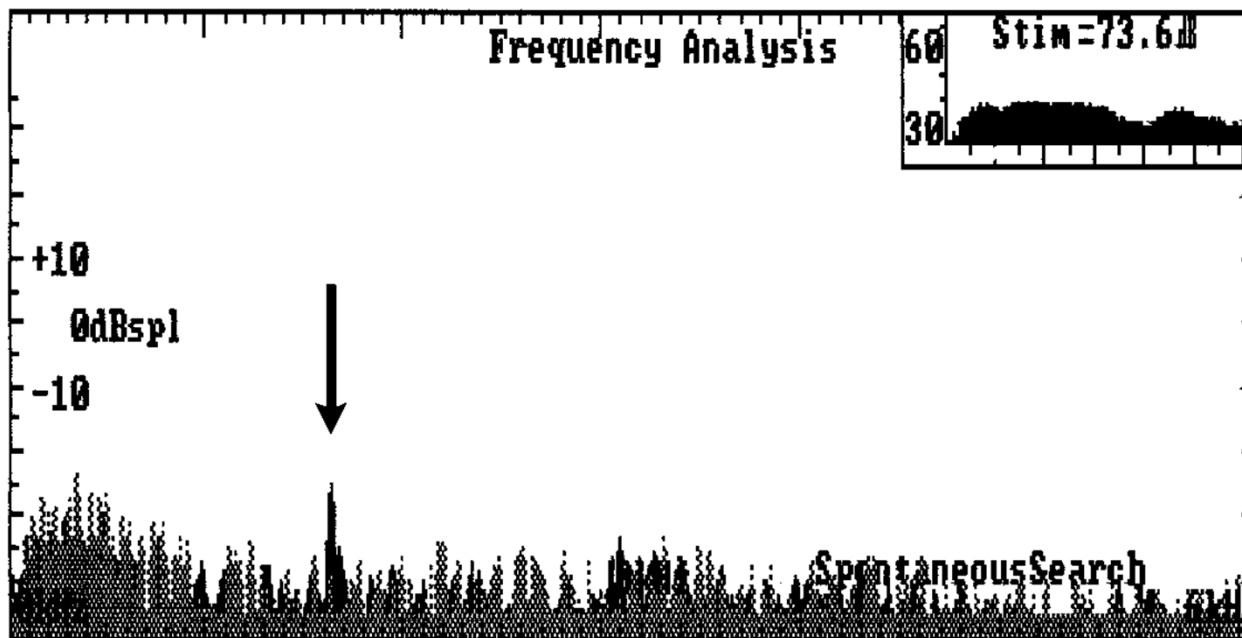
Distorzní otoakustické emise (DPOAE)

- důsledkem intermodulačního zkreslení, vznikajícím při stimulaci dvěma tóny současně
- nejčastěji je měřen $2f_1 - f_2$
- distorzní produkt změřitelný u všech osob s normálním sluchem, 50-60 dB pod hladinou tónu, který ho vyvolává
- poskytují detailní informace o činnosti zevních vláskových buněk



Spontánní otoakustické emise (SOAE)

- tonální charakter, vznikají bez jakéhokoliv vnějšího podnětu
- nejsou slyšitelné pro jedince, jehož ucho je produkuje
- souvisí s normální funkcí kochley, vedlejší produkt kochleárního zesilovače, který zodpovídá za frekvenční selektivitu
- výskyt u 70% osob s normálním sluchem, 2x častější u žen než u mužů, častěji na pravém než levém uchu
- mezi 1-2 kHz

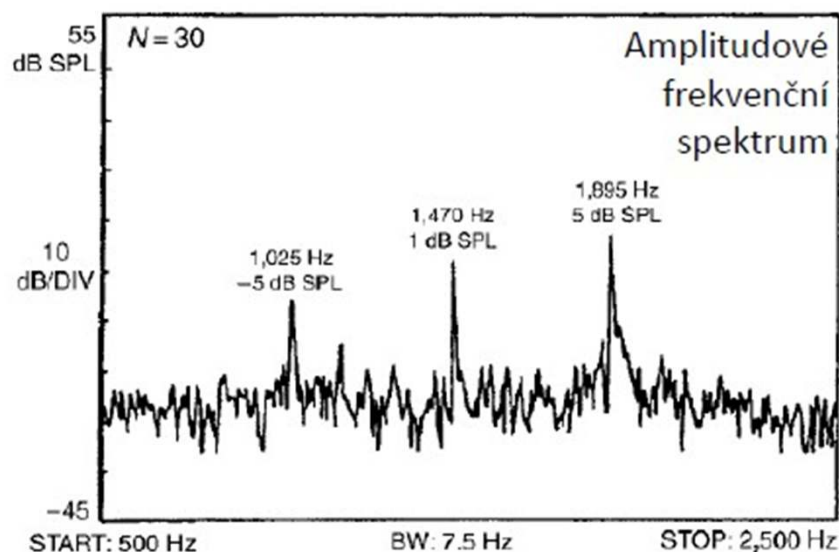


SOAE u dospělého jedince zachycené opakovaně na frekvenci 1636 Hz

Spontánní otoakustické emise (SOAE)

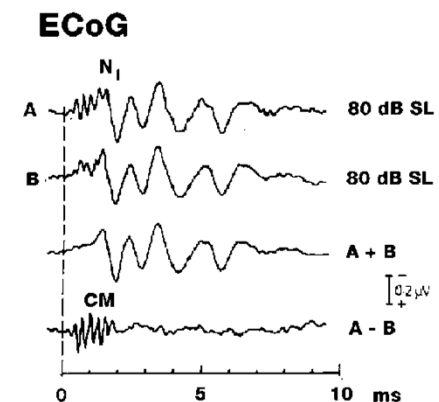
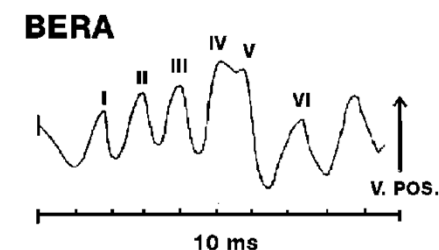
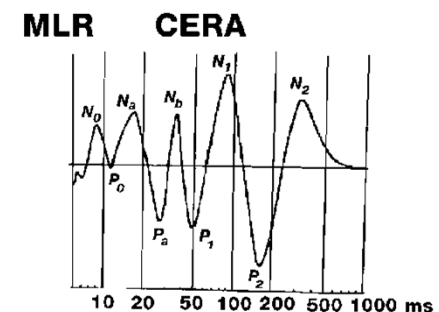
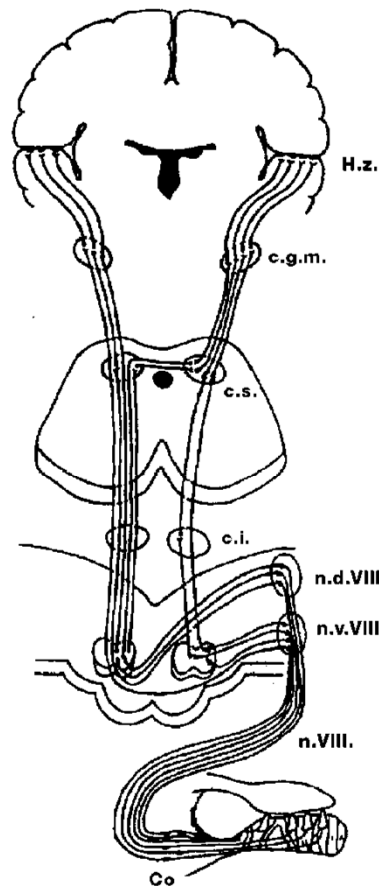
Princip měření SOAE

- **SOAE (Spontaneous Otoacoustic Emissions) – spontánní OAE**
 - Měříme bez jakéhokoliv externího stimulu, pouze zaznamenáváním signálu z ucha pomocí vysoce citlivého mikrofonu.
 - Analýzou frekvenčního spektra měřeného signálu detekujeme případné emise.
 - Emise výbavné jen u max. 30-50 % zdravé populace – nemají tedy příliš velký klinický význam, spíše vědecké uplatnění.

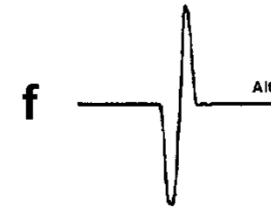
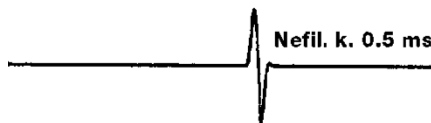
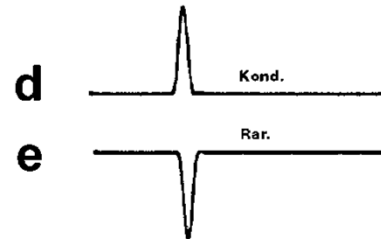
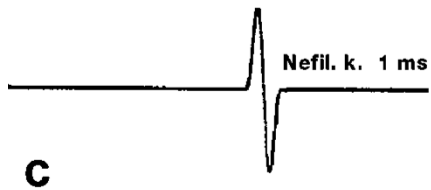
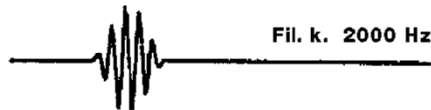
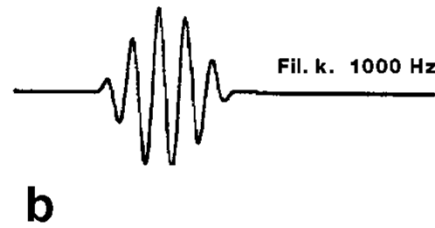
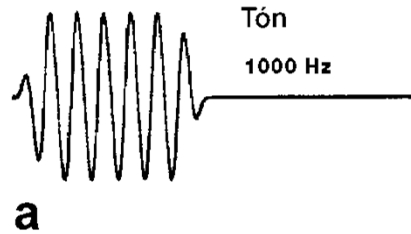


Sluchové evokované potenciály (EP)

- objektivní reprodukovatelná míra
 - analýza v časové oblasti – semiobjektivní vyhodnocení (!)
 - potenciály 0,1 - 5 mikrovoltů,
 - artefakty, mozková aktivita
- = nutnost sumace a průměrování např. 1000, 2000 odezev (odpověď vždy ve stejný okamžik po stimulu, jiné aktivity nejsou synchronizovány) nebo do doby, kdy se křivka zdá být dostatečně jasnou
- předzesilovač v blízkosti elektrod,
 - zesílení 1 000 000x, kontrola nalepení elektrod
 - filtr (síťové napájení 50 Hz, dolní propust – omezení kmitočtu), A/D převod, (14 bitů) a horizontální (okénko např. 20 ms, vzorkovací frekvence 20 000 Hz
- = $20 \times 10^{-3} \times 20\,000 = 400$ vzorků na stopu)
- automatické odmítání artefaktů – napěťová úroveň, korelace
 - automatické nastavení parametrů
- (např. automatické nastavení zesílení, předdefinované testy)
- měření časových vzdáleností (latencí) pomocí kurzorů, amplitud

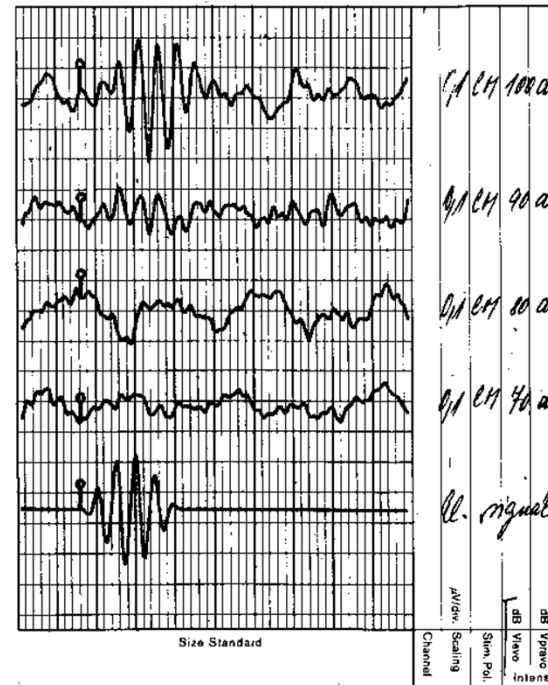


Druhy podnětů u E.P.



ERA 2250

XY - Počátek



Jméno:	[redacted]	
Date:	28.2.79	Cislo: 22.1.14
Stim. Function:	Filt. 0.1	
Freq./Time:	1000	1 Hz
Input Filter:	H	
Rep. Rate:	20	1/Sweep/Sec.
Stimulus Start:	1000	5 ms
Sweep Time:	20	ms

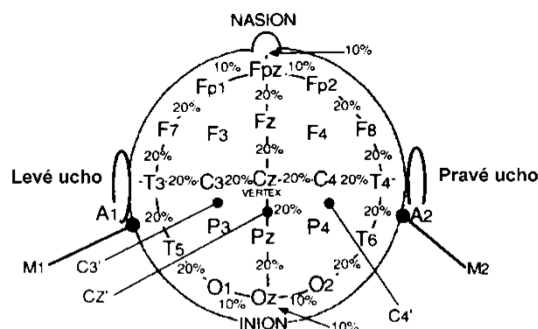
Vyp. v kódu
stano.

Vstup +
mast. + Jellova
Přístrojová komora
pod amplex hypnospin
Cito - Klem 50

ICT 1-34520-84

BERA – brainstem auditory evoked potentials (kmenové; ABR = EN abbr.)

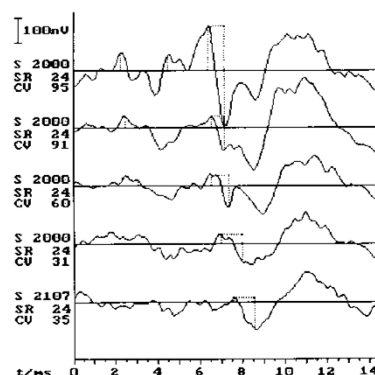
- okénko - 20 ms (3 ms prestimulační pauza)
2000 podnětů, 20 přeběhů/vteřinu
- pro stanovení sluchového prahu frekvence:
filtrováný klik 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz
(+) temeno, (-) proc.mastoideus, zem - čelo
- malé děti ve spánku, dospělí v klidu
- vyhodnocování latencí:
N1 - latence 1,5-1,9 odpovídá sluchovému nervu
N2 -2,8-3,0 sluchové jádro
N3 –
N4 -3,5-4,1 ncl.olivarius sup.
N5 -5,1-5,9 colliculus inferior
(různí autoři různě, rozdíl ne větší než 0,4 ms)



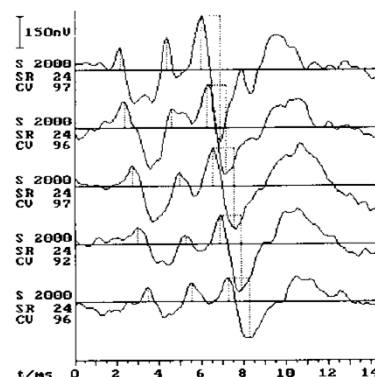
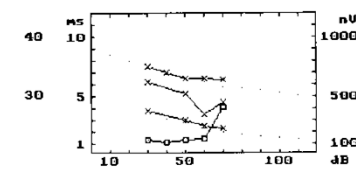
HORT MANN B E R A
NEURO-OTOMETRY Foniatrická klinika UFN Praha

license number:
600108358E

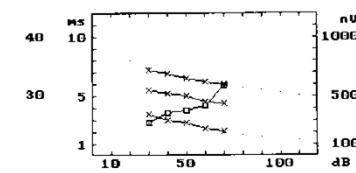
name firstn M F born
ren. Korová atrofie, EPI s grafoelementy na EEG, OVR. date 16.09.1996



Right						
dB	I	III	V	I-V	III-V	
70						
60	2.2	4.4	6.3	4.1	1.9	
50	2.4	3.4	6.5	4.1	3.1	
40	3.0	5.2	6.5	3.5	1.3	
30	3.7	6.2	7.5	3.8	1.3	



Left						
dB	I	III	V	I-V	III-V	
70						
60	2.1	4.3	5.9	3.8	1.6	
50	2.3	4.5	6.2	3.9	1.7	
40	2.7	4.9	6.5	3.8	1.6	
30	2.9	5.2	6.8	3.9	1.6	
20	3.4	5.5	7.2	3.8	1.7	



Comment:

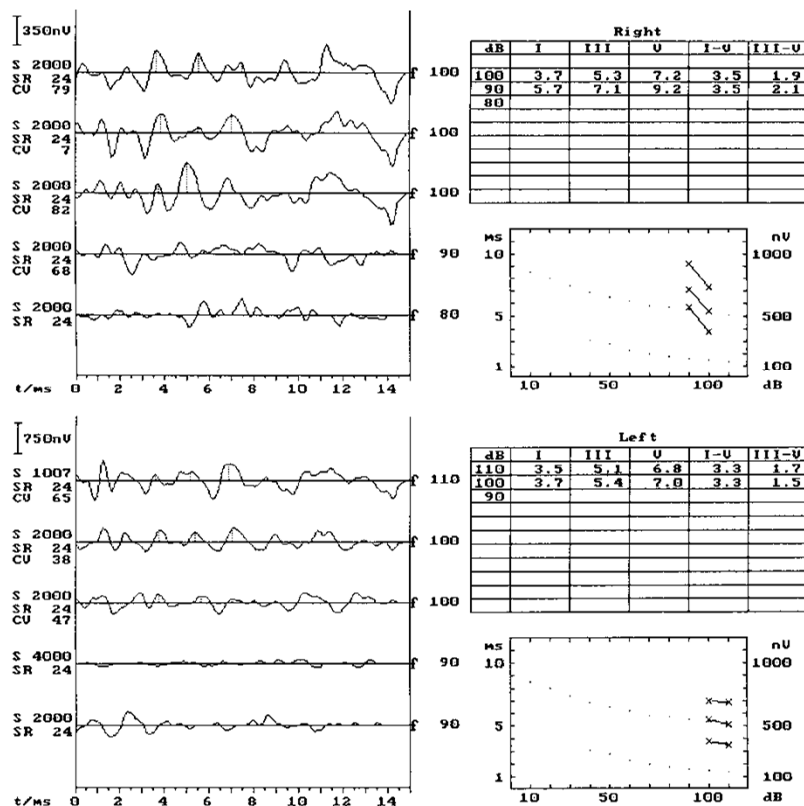
Pozn.: V přirozeném spánku.
Závěr: Normální prah sluchu, upravo mírně opožděné latence všech vln, výrazně horší diferenciace I. a III. vln může svědčit pro susp. lesi v oblasti VIII. nervu a kmene upravo.

BERA – brainstem auditory evoked potentials (kmenové)

HORT MANN BERA
NEURO-OTOMETRY Foniatrická klinika UFN Praha

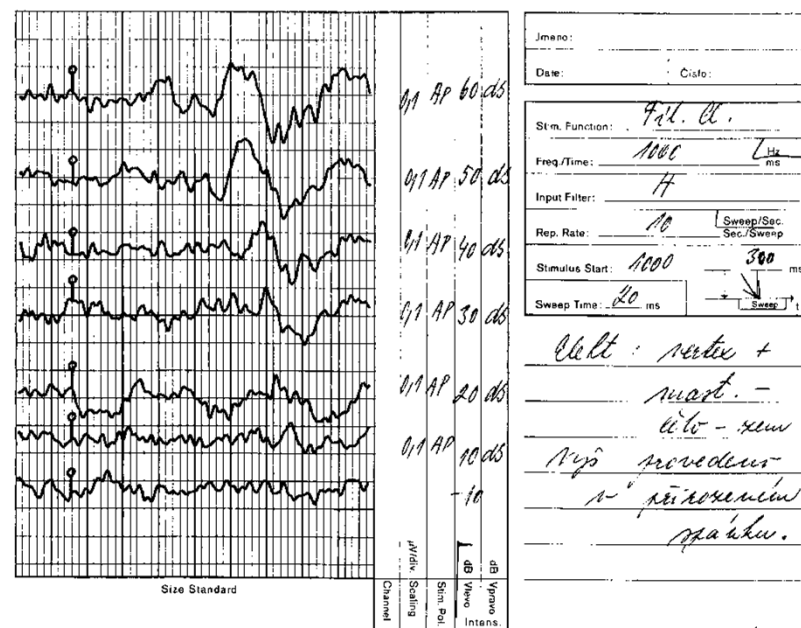
license number:
60010B358E

name XXXXXXXXXX firstn XXXXXXXXXX M ☒ F born XXXXXXXXXX
rem. XXXXXXXXXX date 28.03.1997



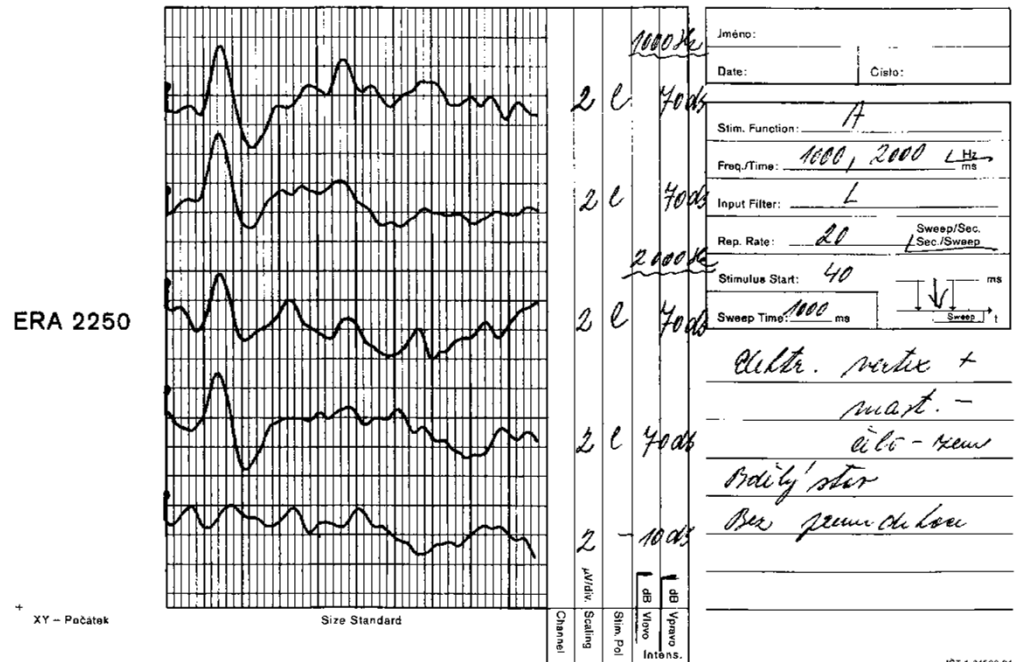
Comment: Nález je na 100dB stimulaci symetrický s výrazným latenčním posunem při zkrácení interpeak intervalu I-U. Upravo je sledovatelná U.vlna ještě na 90dB, vlevo již ne.
RESUME: Svědčí pro intrakochleární postižení Jed

ERA 2250



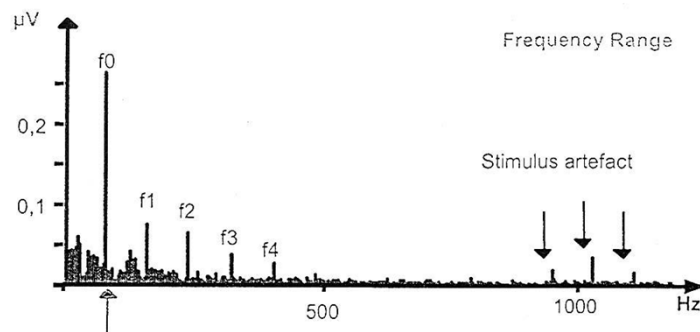
LAEP – long latency auditory
evoked potentials CERA –
cortical evoked auditory
responses (korové)

- vyšetření nemocných s afázií
- vývojové poruchy řeči u dětí
k zodpovězení, jak je
zpracováván zvukový signál
- Čisté tóny 400 ms, doba
náběhu 10 ms, doba doběhu
30 ms, doba přeběhu 1000
ms, průměrování cca 50
opakování
- Při speciálních vyšetřeních
používán slovní podnět
„máma“, nebo širokopásmový

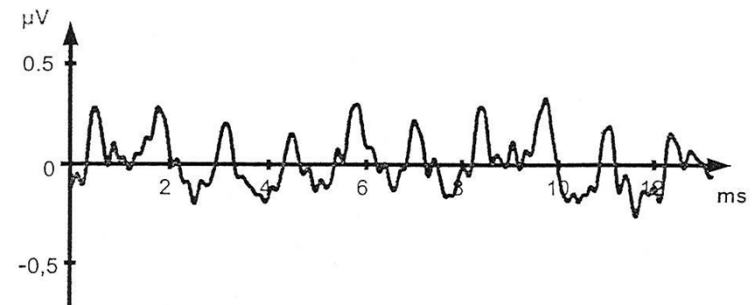
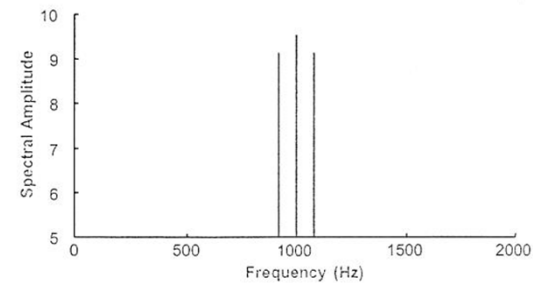
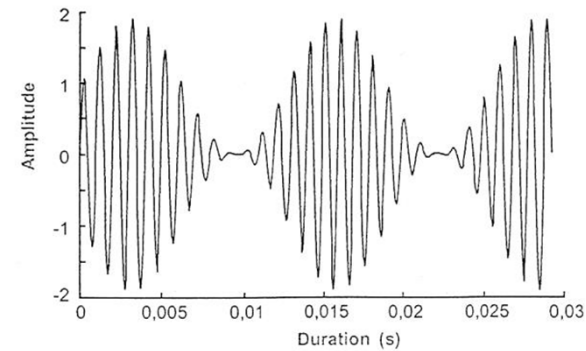


Sluchové ustálené evokované potenciály

- SSEP - Steady State Evoked Potentials
- ASSR - Auditory Steady-State Evoked Responses
- AMFR – Amplitude Modulation Following Response
- kontinuální buzení amplitudově modulovaným tónem
 - nosné frekvence 0,5 , 1, 2, 4 kHz)
 - modulační frekvence: 80 – 95 Hz)
- objektivní automatické zpracování

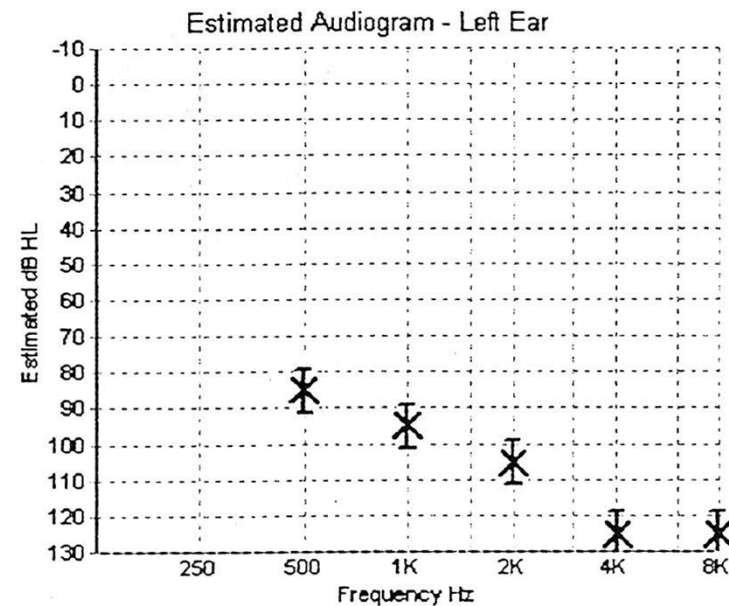
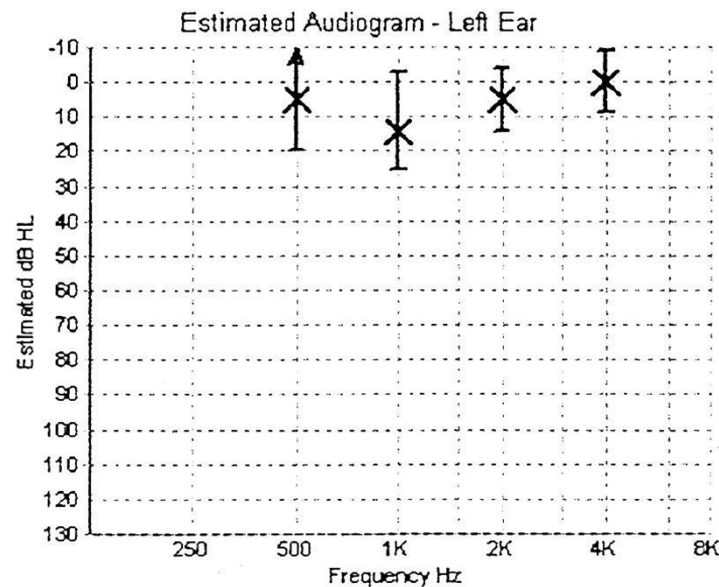


Test frequency: 1 kHz
 Modulation frequency: 80 Hz
 Stimulation level: 60 dBHL



Sluchové ustálené evokované potenciály

- statistické zpracování odpovědi ve frekvenční rovině
- vysoká korelace s prahem určeným tónovou audiometrií u středně těžkých a těžkých nedoslýchavostí (95%)
= rozdíl méně než 10 dB (sluchadla a kochleární implantace)
- u normálních případů a mírné nedoslýchavosti (90 %)
= rozdíl méně než 20 dB
- - vyšetření ve spánku, aby nedocházelo k ovlivňování EEG signálem



Část 3 – Použité signály

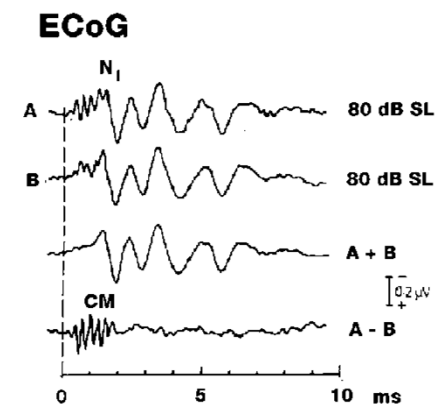
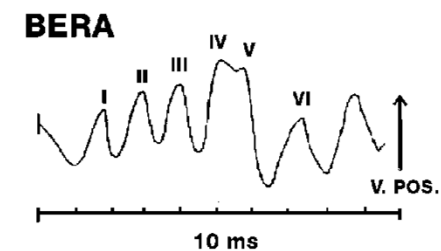
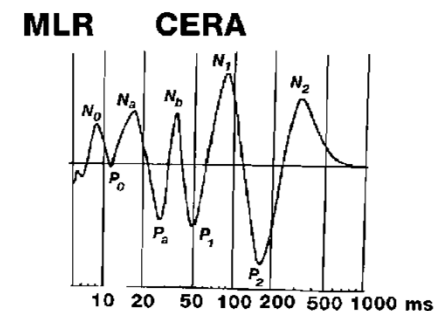
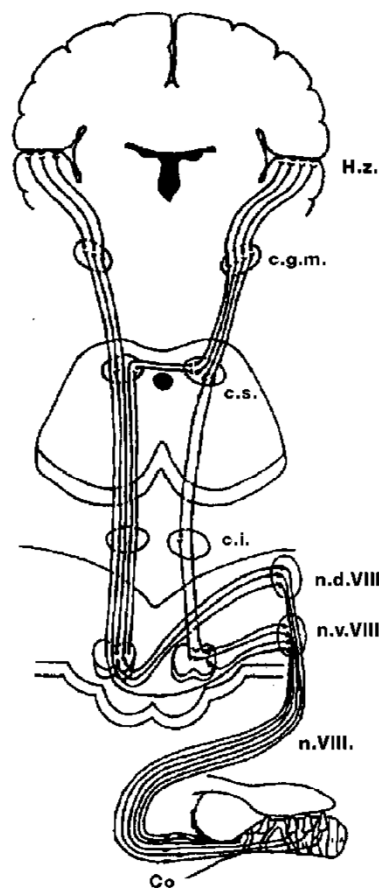
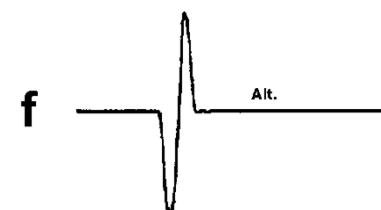
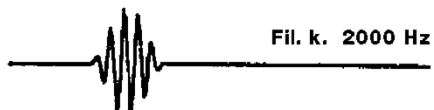
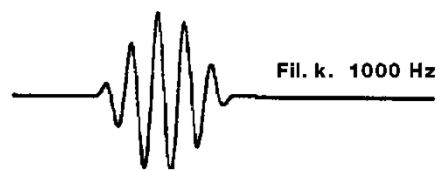
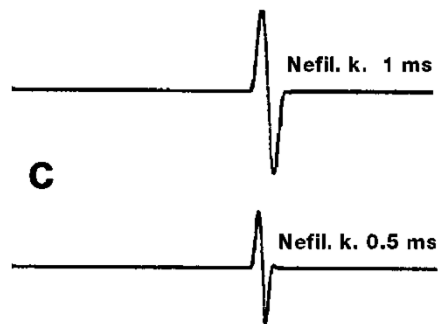
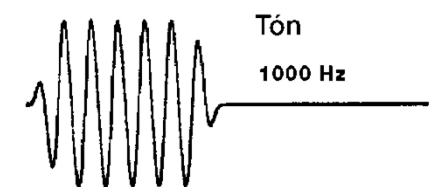
- Akustické signály pro vyšetření sluchových evokovaných potenciálů

Petr Maršálek/ Jan Vokřál
Foniatrická klinika 1. LF UK a VFN

Přehled akustických signálů

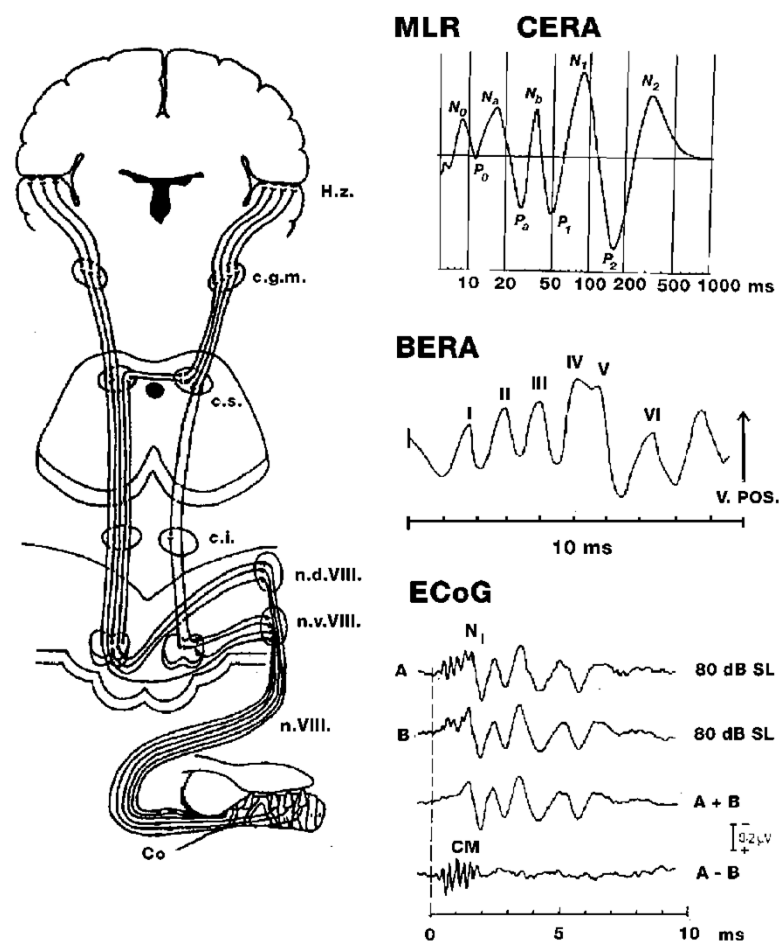
- Click (klik)
- Krátký tonální podnět
(filtrovaný klik, burst, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz)
- Notched noise s krátkým tonálním podnětem
(500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz)
- Tónový podnět u korových vyšetření
(dlouhý tonální podnět, tone burst)
- Kontinuální buzení amplitudově modulovaným tónem
(SSEP, AFMR, ASSR)
- Chirp

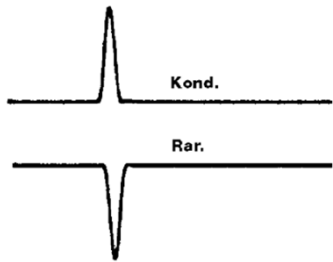
Druhy podnětů



Sluchové evokované potenciály

- objektivizující hodnocení
- analýza v časové oblasti – semiobjektivní hodnocení
- potenciály 0,1 - 5 mikrovoltů,
- zesílení 1 000 000x, kontrola nalepení elektrod (elektrické rušení, svalové artefakty)
- artefakty, mozková aktivita
 ⇒ nutnost sumace a průměrování např. 1000, 2000 odezev (odpověď vždy ve stejný okamžik po stimulu, jiné aktivity nejsou synchronizovány) nebo do doby, kdy se křivka zdá být dostatečně jasnou
- automatické odmítání artefaktů – napětěová úroveň, korelace
- měření časových vzdáleností (latencí) pomocí kurzorů, amplitud





Polarita stimulu BERA

rarefakční, kondenzační, alternující

- Roeser et al.: Audiology diagnosis, 2007
 - v současnosti není shoda kterou polaritu preferovat
 - výzkumníci doporučují **rarefakční** nebo **alternující polaritu**
 - **Rarefakční** - poskytuje kratší latence a větší amplitudy
 - **Alternující** - snížení stimulačního artefaktu, který může interferovat s vlnou I. **Kochleární mikrofonika** a **stimulační artefakt** je ve fázi s podnětem - alternujícím podnětem se vyruší. Alternující podnět však může narušit čitelnost vln.

Vliv polarity je především významný u **click podnětu**, méně významný u **krátkých tonálních podnětů**, kde však **alternující polarita** vede k rozšíření vrcholů a zhoršení čitelnosti vln u nízkých frekvencí.

Stimulační rychlost

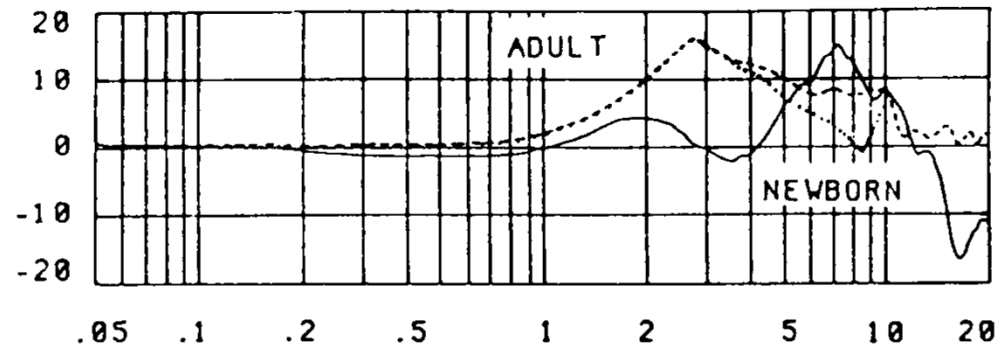
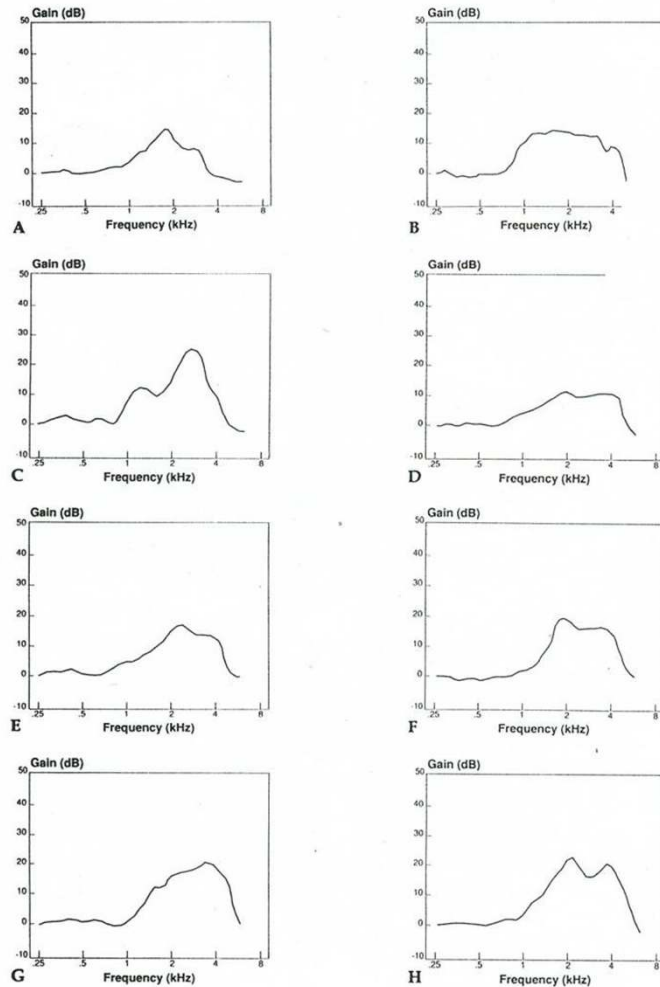
počet podnětů za sekundu
(kmenové evokované potenciály)

- Stapells (1990) – 39,1 /s (doporučuje 27,1 /s),
- Orsini (2004) - 17,1 /s, Hurley (2007) – 27,7 /s
(potlačení interference 60 Hz v USA !!)
- MADSEN, ERA2250 – 20 /s (1987, používáme alternující polaritu)
- Hortman, Octavus BERA – 24 /s (1996, používáme alternující polaritu)
- Pilot Blankenfelde, Evoselect – 20 /s (2005, používáme rarefakční polaritu)
- Vyšší stimulační rychlost (Roeser et al.: Audiology diagnosis, 2007)
 - nižší odezvy (neuronová zotavovací fáze, synchronní odezva více neuronů), ale zvýšení rychlosti vyšetření a tím možnost zlepšení odstupu signálu od šumu (počet průměrování odezev 1500, 2000)
 - kompromis mezi rychlostí vyšetření a čitelností křivek v klinické praxi
 - 17 - 20 podnětů za sekundu

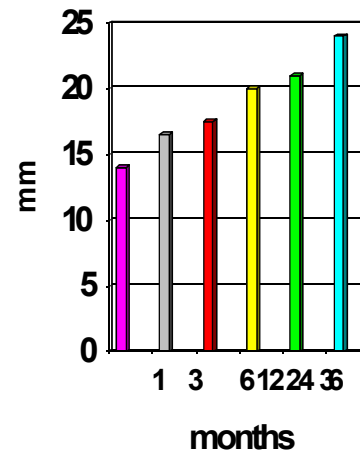
Stimuly s pomalejším nástupem (nad 5 ms) mají větší frekvenční selektivitu, ale mají menší amplitudu odezvy.

Na vyšších intenzitách stimulace se ztrácí frekvenční selektivita bez ohledu na dobu nárůstu stimulu.

Rezonance vnějšího zvukovodu

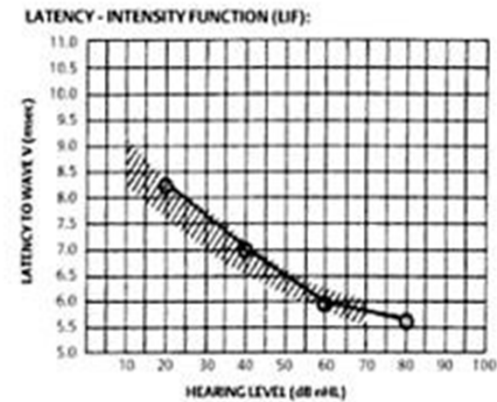
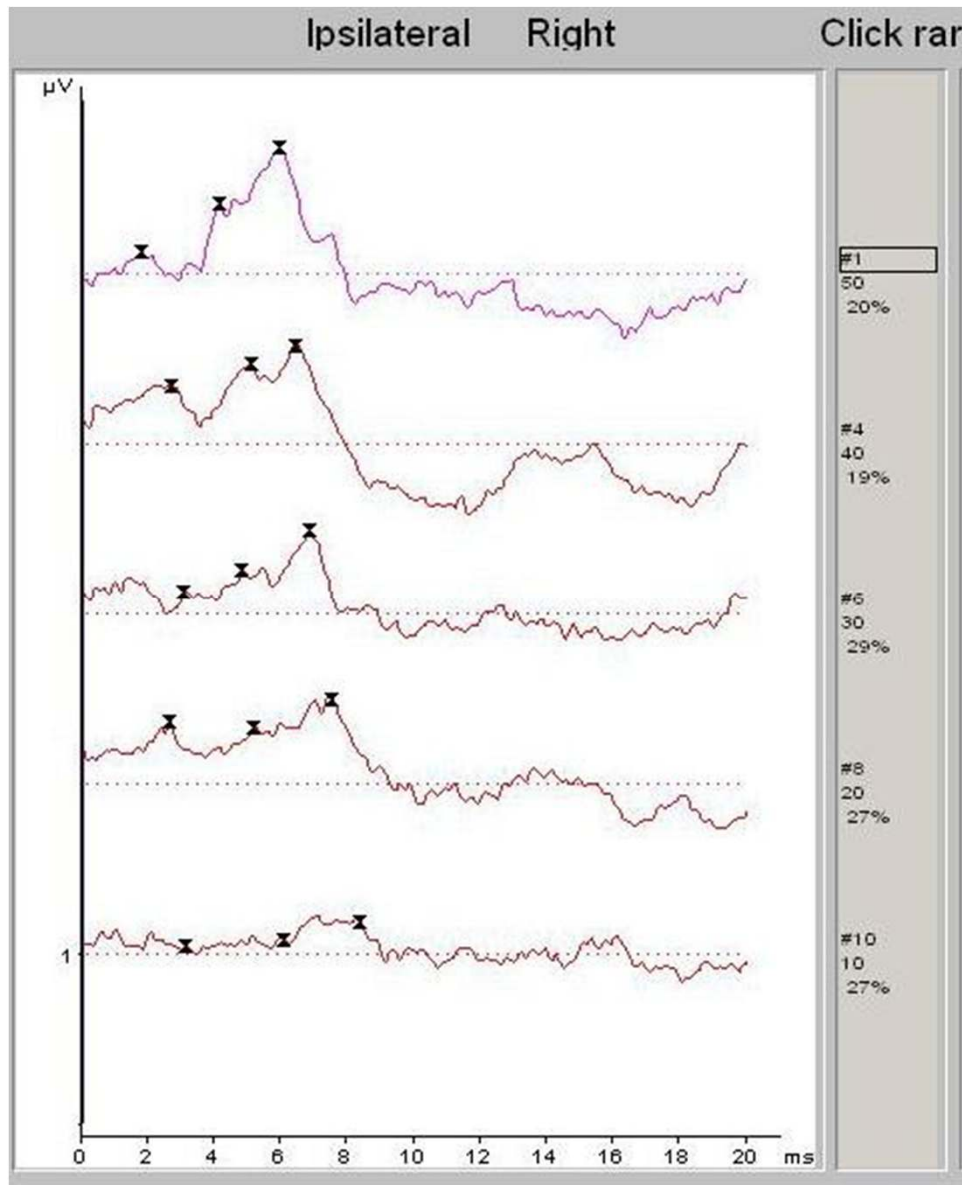


Length of ear canal



Testovací výsledky Evoselect, 2005

(Pilot Blankenfelde (Německo))

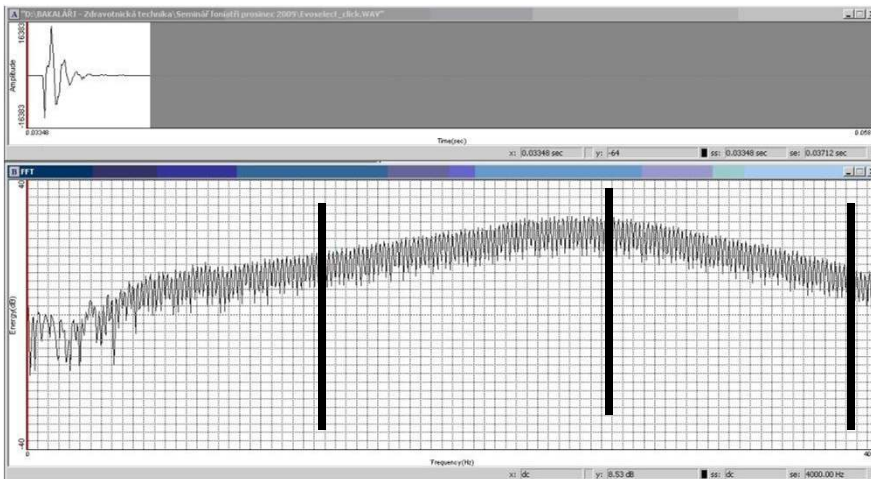


Click (klik)

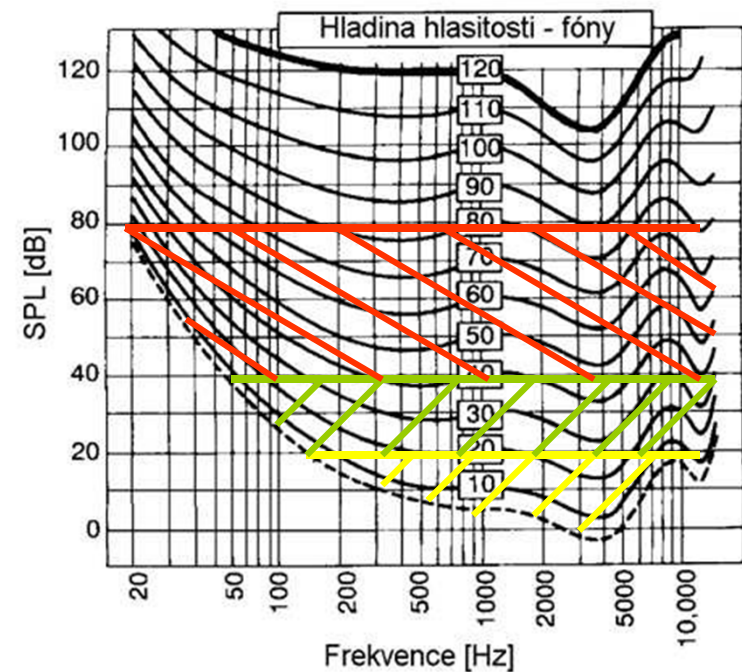
- Stimulace v širokém pásmu frekvencí, není frekvenčně specifický, je aktivována široká oblast bazilární membrány, jasně čitelné vlny, odchylka od tónového audiogramu 5 - 20 dB

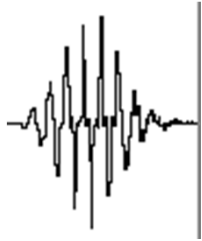


Přednost: rychlost – měření jen za pomocí 1 stimulu na různých intenzitách



Maximum energie 2,6kHz
na 1 kHz a 4 kHz o 10 dB slabší





Krátký tonální podnět

(filtrovaný klik, Gauss burst)

500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz

- přijatelná přesnost odhadu prahů audiogramu



Existuje velký počet variant

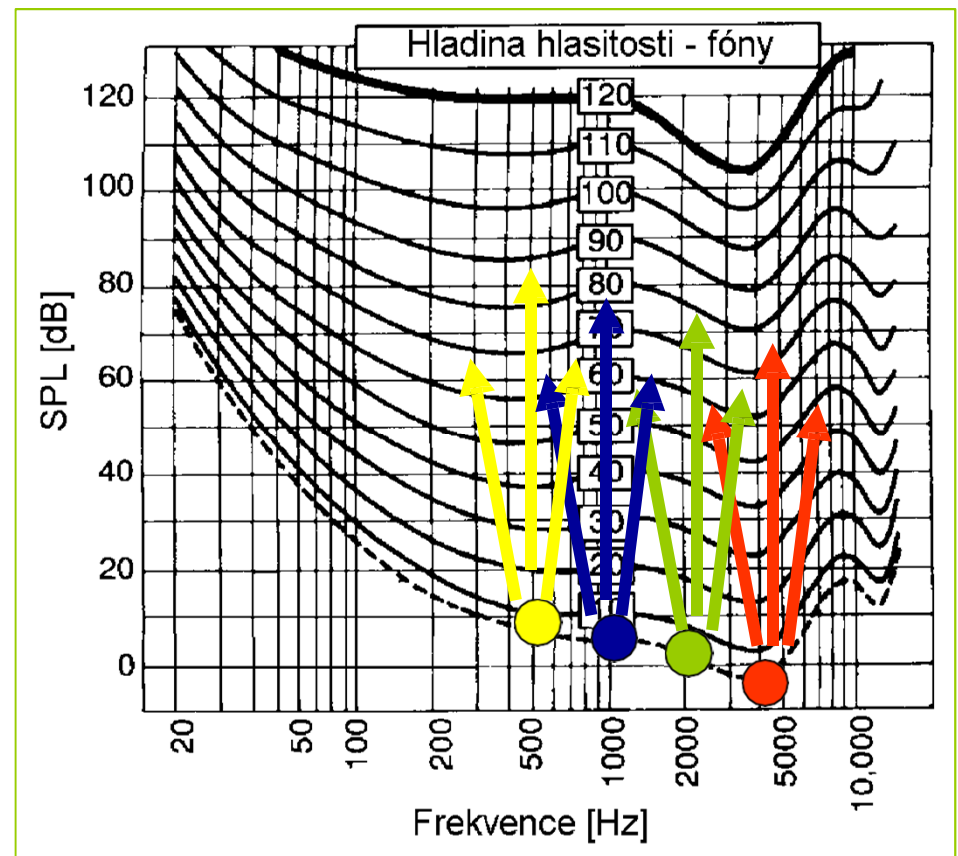
vytvoření krátkého tonálního podnětu:

* Filtrovaný klik

* Matematické vygenerování

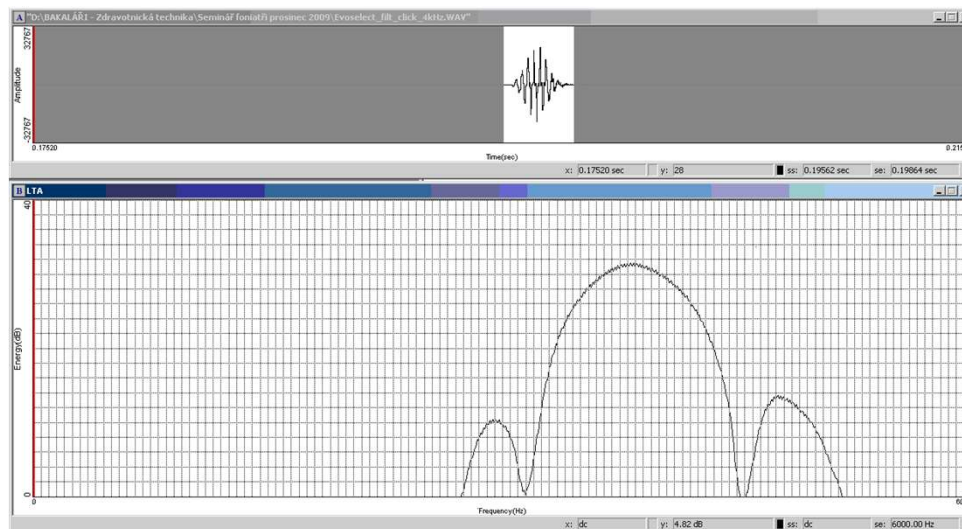
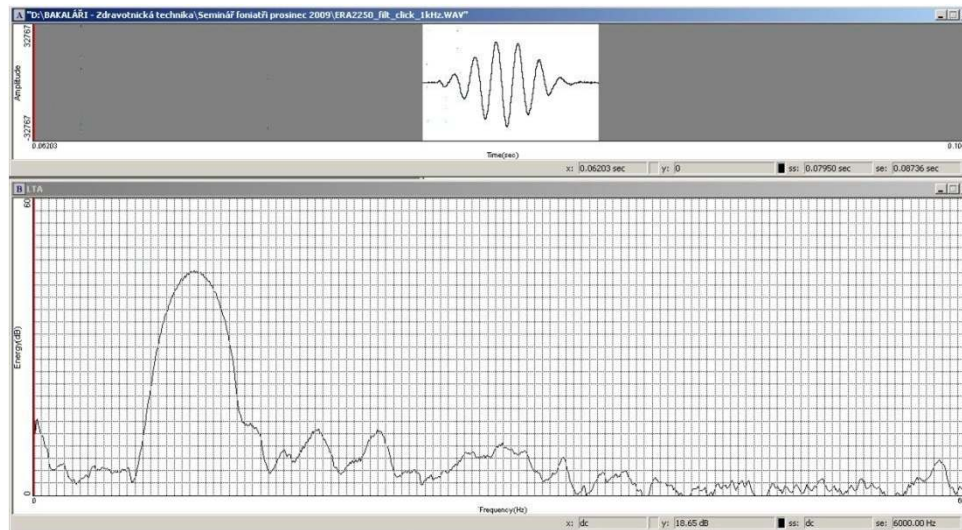
(Gauss burst, řada metod odchylky ve vlastnostech)

* 2-1-2 – nárůst, plato, pokles



Krátký tonální podnět

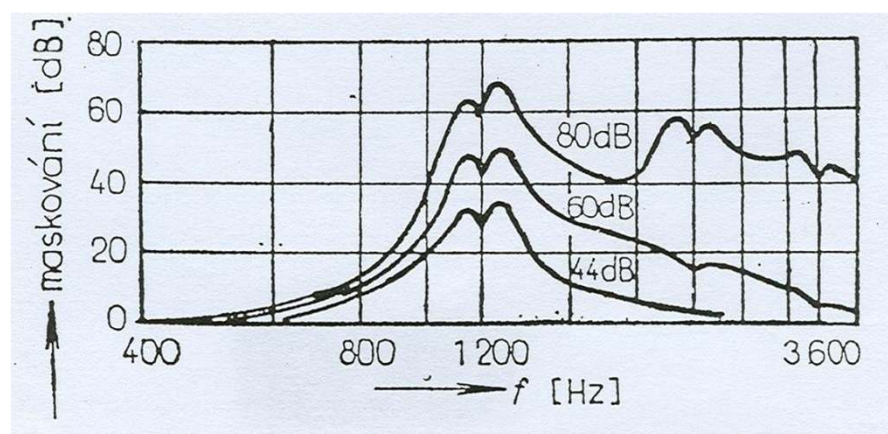
(filtrovaný klik 1 kHz, Gauss burst 4 kHz)



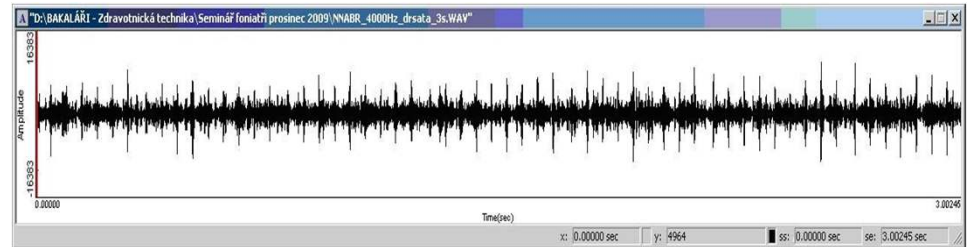
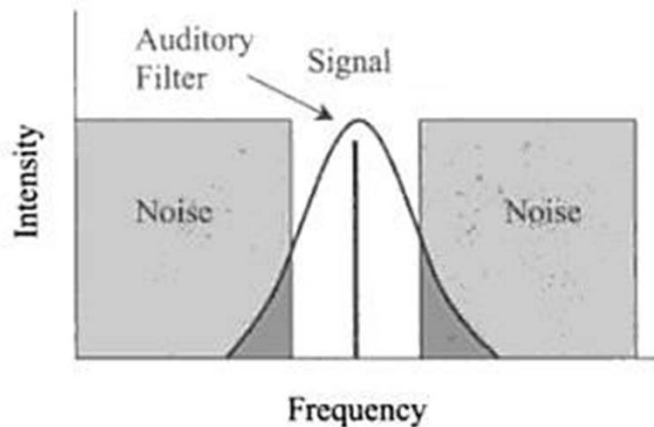
Krátký tonální podnět

(filtrovaný klik, gauss burst)

- Hall, J.W. (1992): Handbook of Auditory Evoked Responses
 - rychlý čas náběhu může způsobit stimulaci jiných částí kochley, evokovaný potenciál odpovídá jiné frekvenční oblasti, snížení frekvenčního rozlišení
 - při vysokých intenzitách stimulace (80 dB SPL a výše) dochází u nízkofrekvenčních stimulů k šíření stimulace do vyšších frekvenčních oblastí

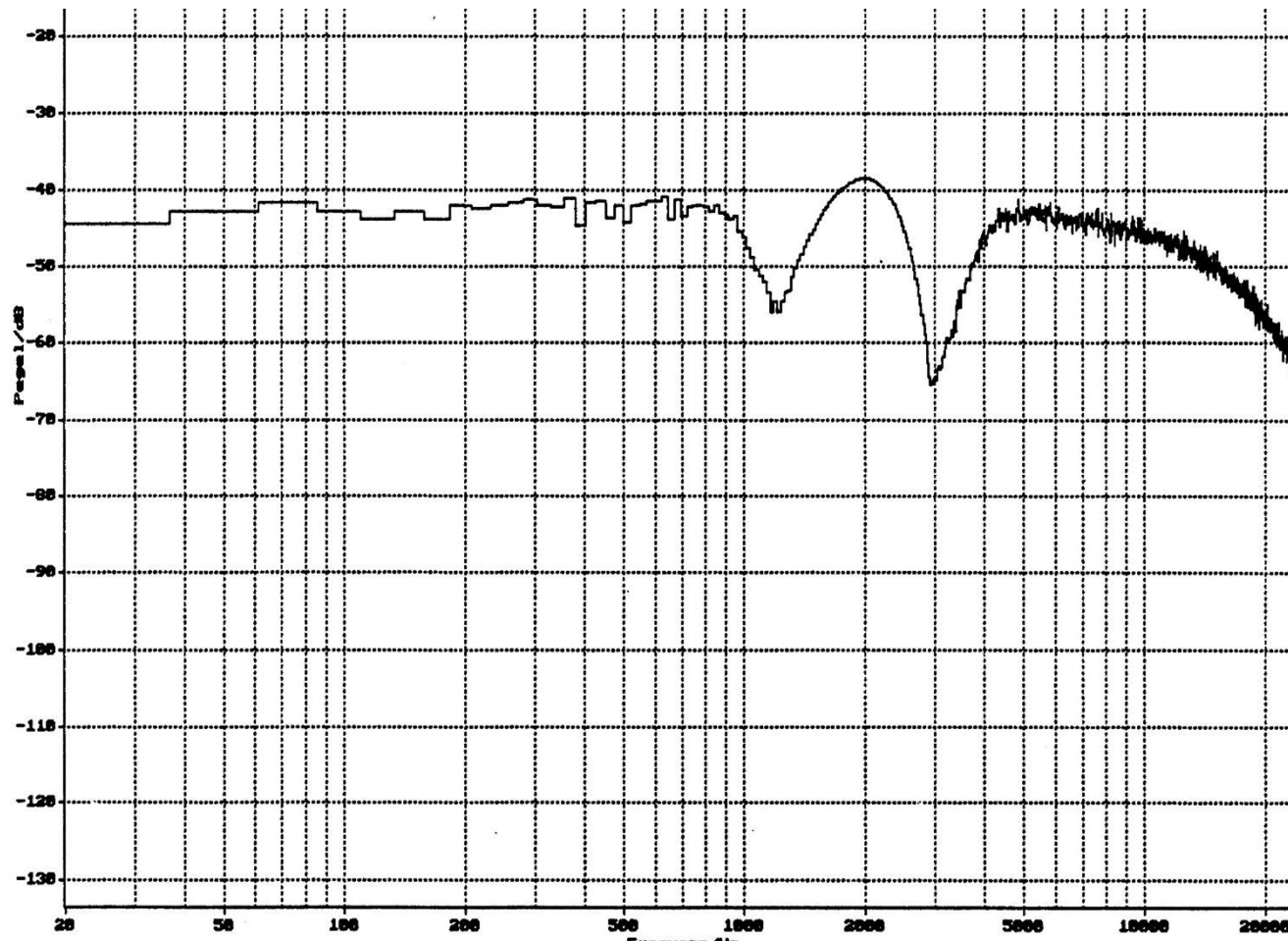


Notched noise s krátkým tonálním podnětem



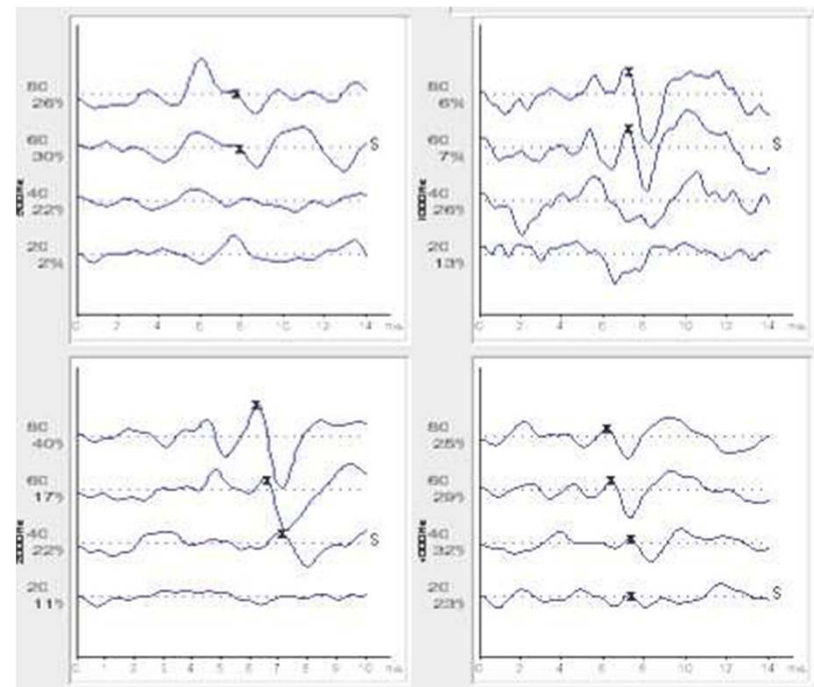
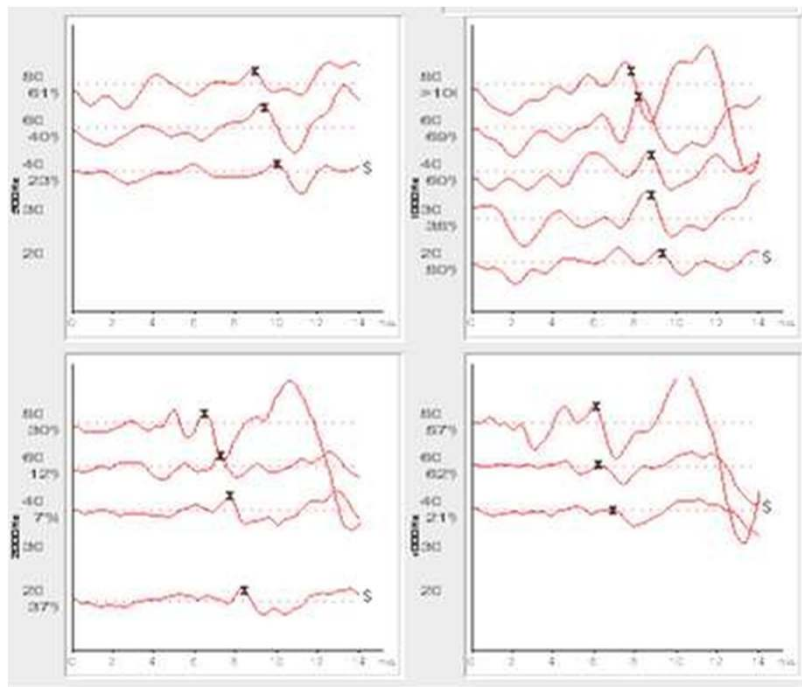
- Notched noise ABR
 - maskování širokopásmovým šumem
 - ve vyšetřované oblasti není šum přítomen, omezení evokované odpovědi na frekvenční pásmo, kde není šum přítomný
 - stimulace krátkým tonálním podnětem
- Teorie: zvýšení přesnosti frekvenčního rozlišení

Spektrum 2kHz - Tonburst +
Notch – Masking
(firemní materiál fy Pilot Blankenfelde)



Notched noise s krátkým tonálním podnětem

- Nevýhody:
 - tvar vln je ovlivněn přítomností maskovacího signálu
 - Vlna V má širší vrchol a menší amplitudu a může být špatně identifikována/neidentifikovatelná
 - nízkofrekvenční šum se šíří i do oblasti vyšetřované



Příklad výsledků z prezentace výrobce fy Pilot Blankenfelde

Notched noise s krátkým tonálním podnětem

- Orsini R.M.: A Comparison of Tone Burst Auditory Brainstem Response (ABR) Latencies Elicited With and Without Notched Noise Masking, An Audiology Doctoral Project, 2004
- Zkoumání rozdílů v latencích ve vlně „V“ mezi NNABR a standardní buzením krátkým tonálním podnětem.
- 25 probandů s normálním sluchem, 15 pacientů s percepční nedoslýchavostí
- Závěr: Výsledky této studie neprokázaly, že užití NNABR zlepšují určení frekvenční specifity. Tento závěr je v rozporu s předchozími výsledky (Stapells et al., 1990), které uváděly zlepšení frekvenční specifity při užití krátkých tonálních podnětů u NN oproti standardní ABR bez maskování.

Tónový podnět u korových sluchových potenciálů

- čisté tóny 320 ms, doba náběhu 10 ms, doba doběhu 10 ms, délka 1 cyklu 2,5 s, analýza 1000 ms, průměrování cca 30 - 50 opakování
- při speciálních vyšetřeních používán slovní podnět „máma“, nebo širokopásmový šum



500 Hz



1 kHz



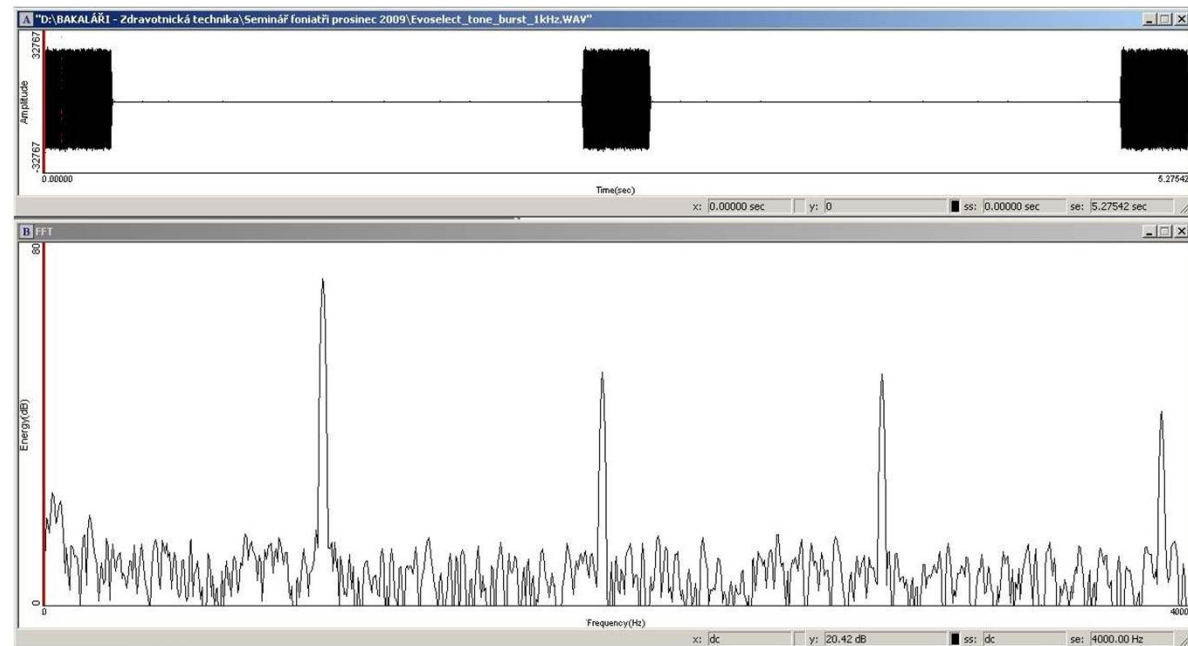
2 kHz



3 kHz



4 kHz

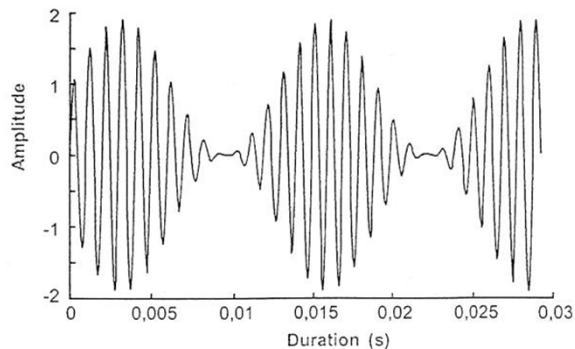


1 kHz $\approx$ 72 dB, vyšší harmonické 2+3. = 47 dB, 4. $\approx$ 38 dB

Kontinuální buzení amplitudově modulovaným tónem

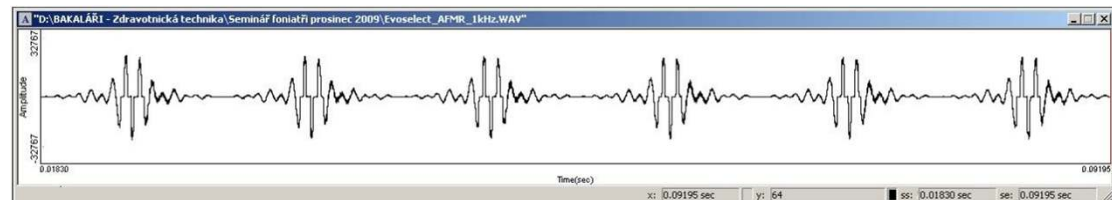
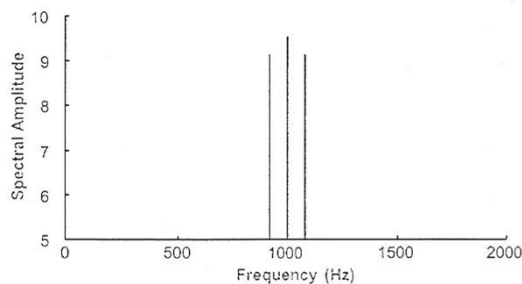
- **Sluchové ustálené evokované potenciály**

- SSEP - Steady State Evoked Potentials
- ASSR - Auditory Steady-State Evoked Responses
- AMFR - Amplitude Modulation Following Response



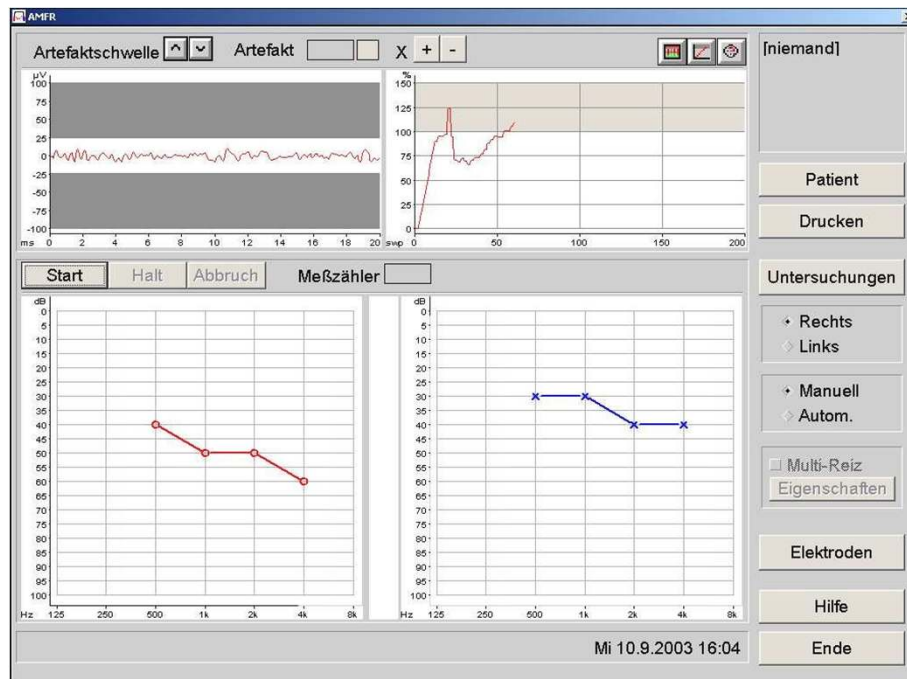
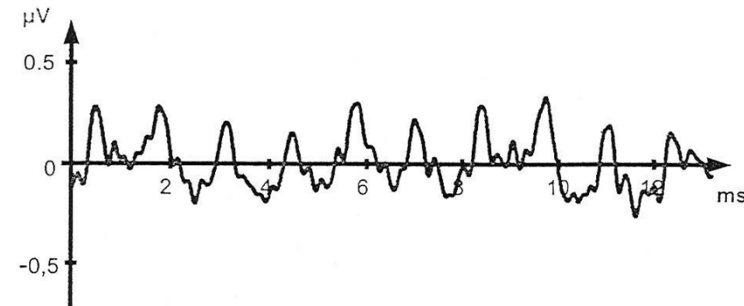
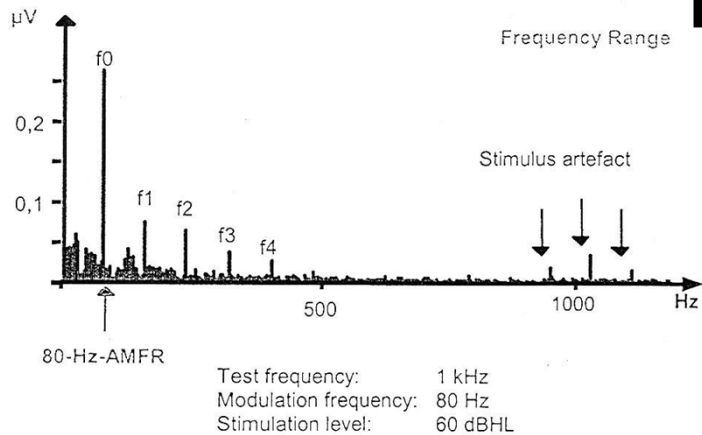
kontinuální buzení amplitudově modulovaným tónem

- nosné frekvence 0,5 , 1, 2, 4 kHz)
- modulační frekvence: 80 – 95 Hz)



1 kHz

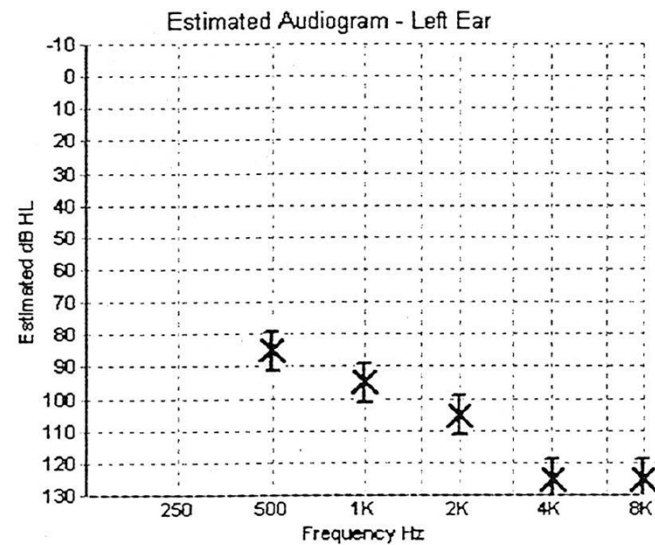
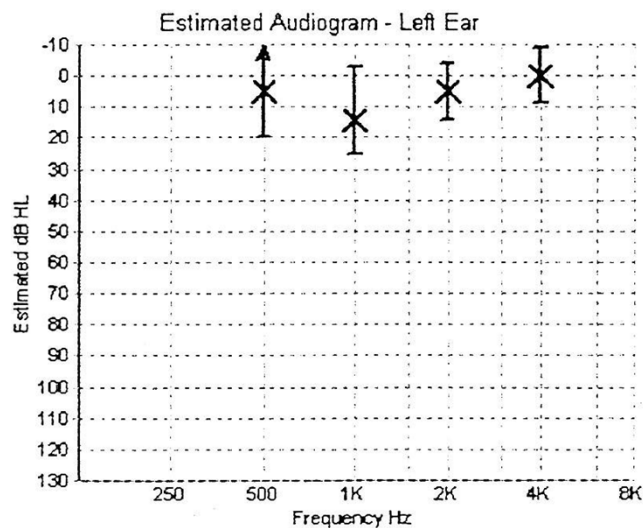
Sluchové ustálené evokované potenciály



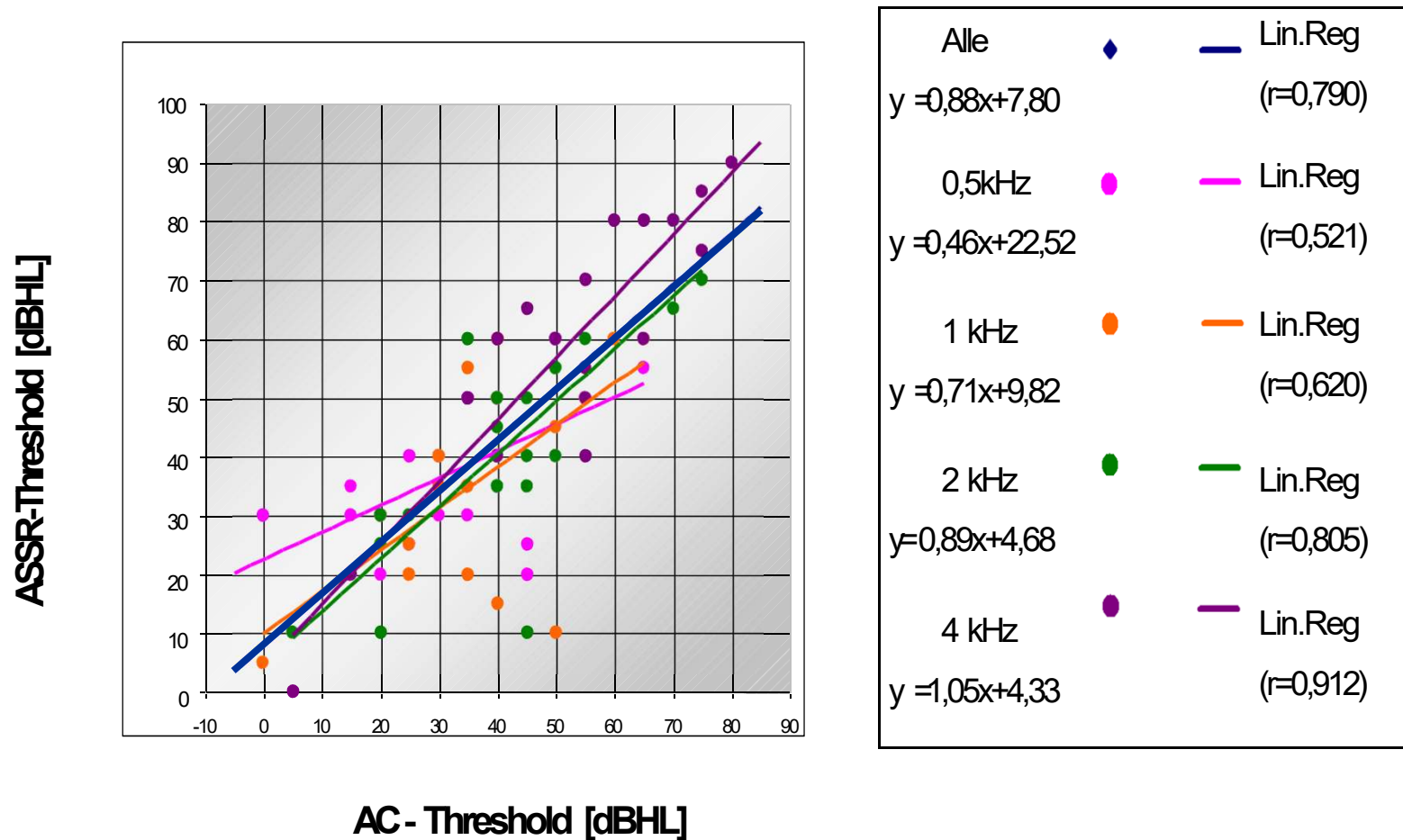
- Jednoduché statistické zpracování odpovědi ve frekvenční rovině
- Neprovádí se průměrování odezev – ale pouze statistická analýza
- Uživatel nemůže kontrolovat ani vyhodnocovat výsledky

Sluchové ustálené evokované potenciály

- vysoká korelace s prahem určeným tónovou audiometrií
u středně těžkých a těžkých nedoslýchavostí (95%)
⇒ rozdíl méně než 10 dB (sluchadla a kochleární implantace)
- u normálních případů a mírné nedoslýchavosti (90 %)
⇒ rozdíl méně než 20 dB
- Vyšetření dětí ve spánku, aby nedocházelo k ovlivňování EEG signálem



Vztah mezi ustálenými potenciály a tónovou audiometrií (podklady fy Pilot Blankenfelde)

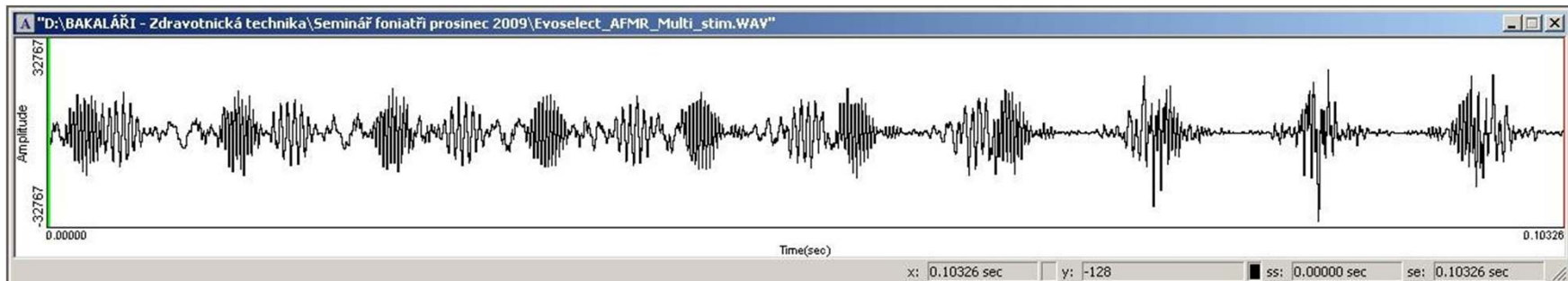


- Výsledky mají větší nepřesnost na hlubokých frekvencích

Sluchové ustálené evokované potenciály

Multifrekvenční stimulace

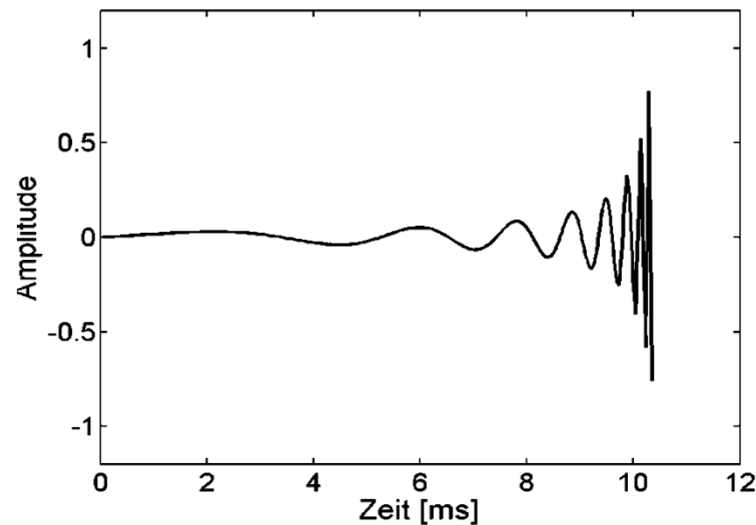
- simultání testování na několika frekvencích současně



Chirp

(cvrkot, ctvrđlikat, řvitořit)

- vybuzení celé kochley najednou při postupném zvyšování frekvence v čase
- optimální vybuzení kochley
 - vysoké potenciály a amplitudy
 - nutný menší počet průměrování = kratší měření



Chirp

$$f(t) = f_0 \cdot k^t \quad (\text{exponenciální chirp})$$



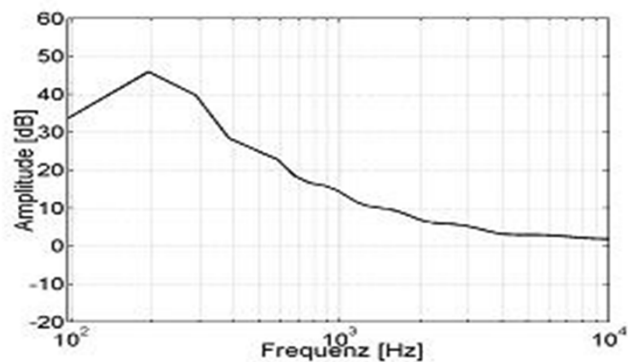
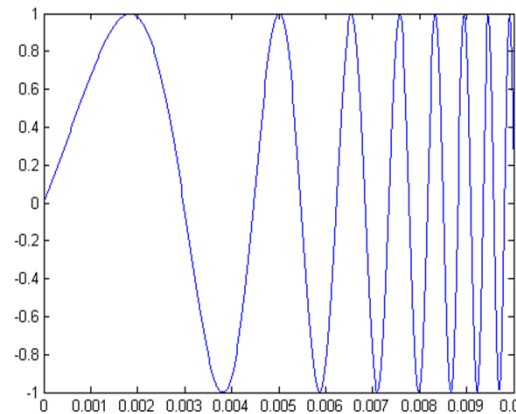
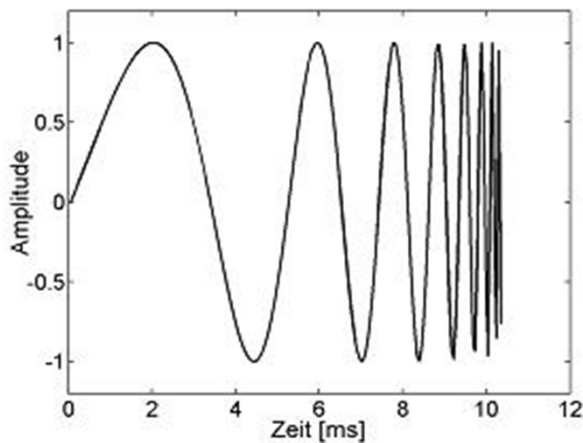
$$x(t) = \sin\left(2\pi \int_0^t f(t') dt'\right) = \sin\left(2\pi f_0 \int_0^t k^{t'} dt'\right) = \sin\left(\frac{2\pi f_0}{\ln(k)}(k^t - 1)\right)$$

Technický signál

(100 Hz – 6300 Hz)



1x chirp



Flat chirp (rovný chirp)

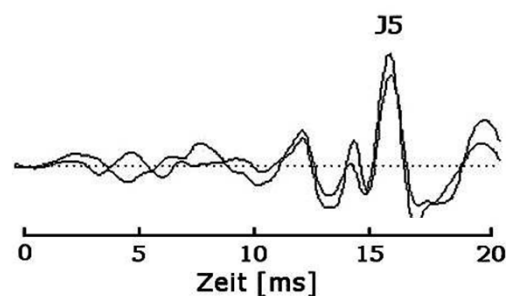
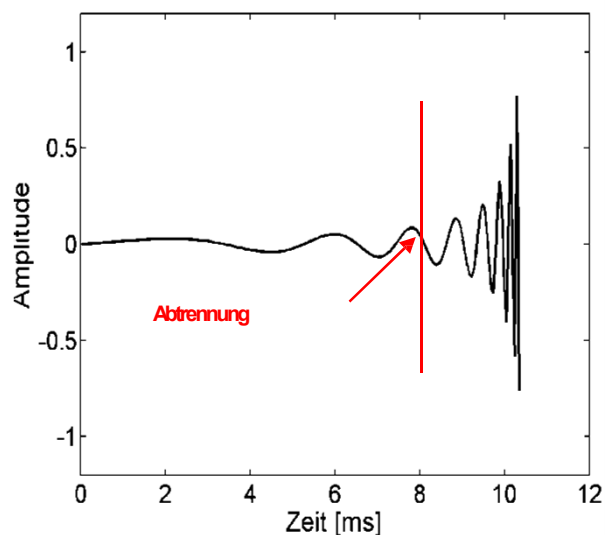
(firemní materiály fy Pilot Blankenfelde)



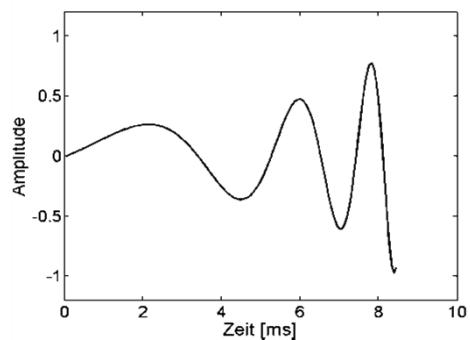
Flat chirp

20x za sekundu

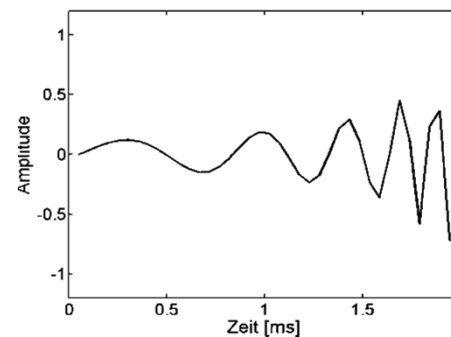
Flat Chirp
0.1-10 kHz



Flat
Low-Chirp 0.1-
0,85 kHz



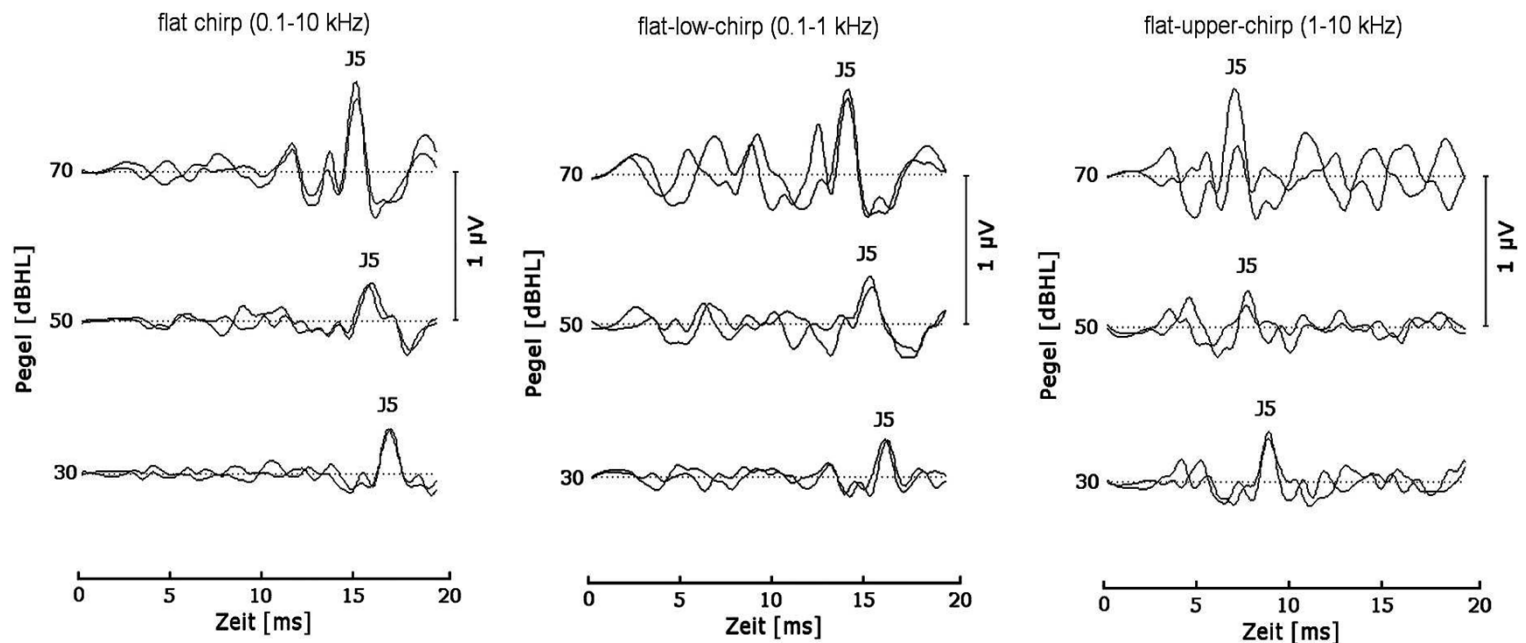
Flat
Upper-Chirp 1-
10 kHz



Chirp

flat, low, upper

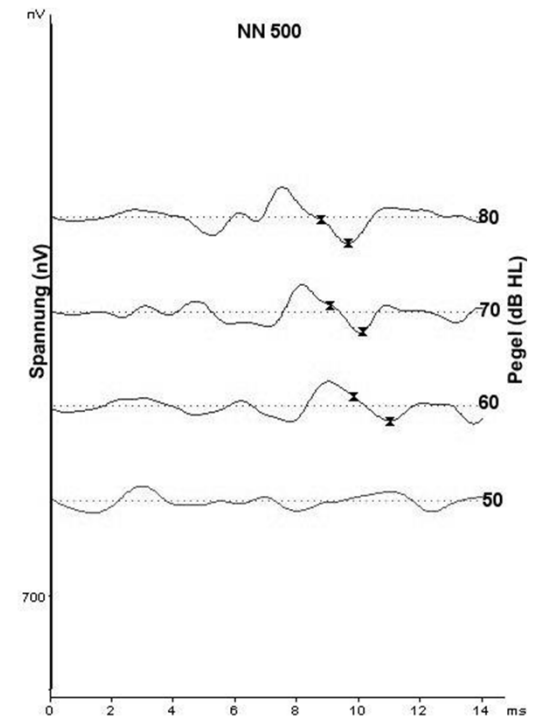
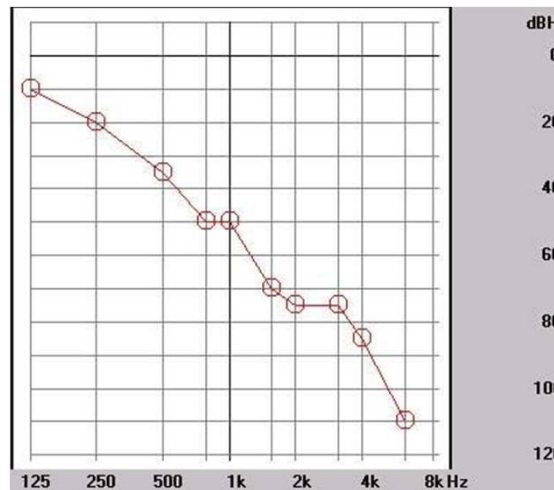
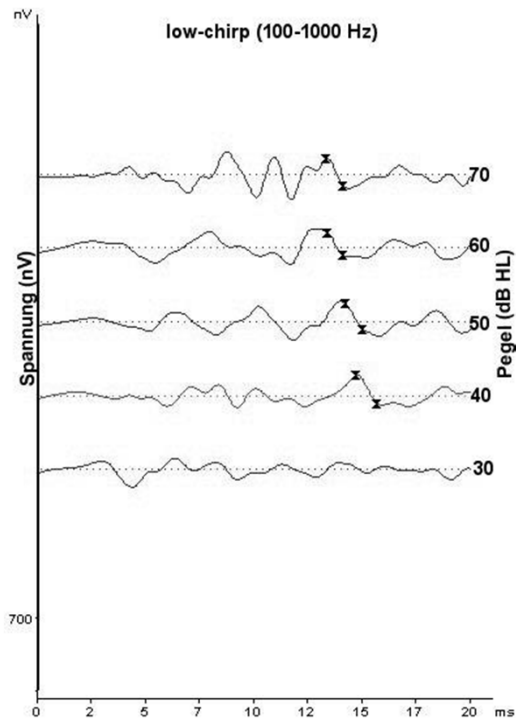
(firemní materiály fy Pilot Blankenfelde)



- 1) Evokované potenciály jsou reprodukovatelné
- 2) Upper-chirp jsou frekvenčně specifické
- 3) Low-chirp jsou frekvenčně specifické na všech úrovních

Chirp (závěr)

(firemní materiály fy Pilot Blankenfelde)



- 1) Velmi rychlé pořízení evokovaných potenciálů
- 2) Snadné označení potenciálů vzhledem k vysoké amplitudě odezvy
- 3) Obdobné použití jako BERA vyšetření

Thanks for your attention

Warning: neither the PDF, nor the PPT, PPTX, etc.
versions of this presentation are official study materials.
For internal use only. Do not distribute.

Contact: Petr.Marsalek@CVUT.CZ

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická Právní doložka (licence) k tomuto Dílu (elektronický materiál) České vysoké učení technické v Praze (dále jen ČVUT) je ve smyslu autorského zákona vykonavatelem majetkových práv k Dílu či držitelem licence k užití Díla. Užívat Dílo smí pouze student nebo zaměstnanec ČVUT (dále jen Uživatel), a to za podmínek dále uvedených.

ČVUT poskytuje podle autorského zákona, v platném znění, oprávnění k užití tohoto Díla pouze Uživateli a pouze ke studijním nebo pedagogickým účelům na ČVUT. Toto Dílo ani jeho část nesmí být dále šířena (elektronicky, tiskově, vizuálně, audiem a jiným způsobem), rozmnožována (elektronicky, tiskově, vizuálně, audiem a jiným způsobem), využívána na školení, a to ani jako doplňkový materiál. Dílo nebo jeho část nesmí být bez souhlasu ČVUT využívána ke komerčním účelům. Uživateli je povoleno ponechat si Dílo i po skončení studia či pedagogické činnosti na ČVUT, výhradně pro vlastní osobní potřebu. Tím není dotčeno právo zákazu výše zmíněného užití Díla bez souhlasu ČVUT. Současně není dovoleno jakýmkoliv způsobem manipulovat s obsahem materiálu, zejména měnit jeho obsah včetně elektronických popisných dat, odstraňovat nebo měnit zabezpečení včetně vodoznaku a odstraňovat nebo měnit tyto licenční podmínky.

V případě, že Uživatel nebo jiná osoba, která drží toto Dílo (Držitel díla), nesouhlasí s touto licencí, nebo je touto licencí vyloučena z užití Díla, je jeho povinností zdržet se užívání Díla a je povinen toto Dílo trvale odstranit včetně veškerých kopií (elektronické, tiskové, vizuální, audio a zhotovených jiným způsobem) z elektronického zařízení a všech záznamových zařízení, na které jej Držitel díla umístil.

END
OF THE LECTURE

