



**MEDICINSKA FAKULTETEN**

Lunds universitet

Institutionen för logopedi, foniatri  
och audiologi

**Utvärdering av ett datorstött mätsystem vid  
barnaudiometri,  
Visual Reinforcement Audiometry, VRA.**

**Cornelia Bredberg  
Katarina Karlsson**

**Audionomutbildningen, 2004  
Vetenskapligt arbete, 20 poäng**

**Handledare: Leif Hergils**

## SAMMANFATTNING

Att diagnostisera en hörselnedsättning och inleda habilitering så tidigt som möjligt på små barn har visat sig vara av stor betydelse. Genom åren har flera olika diagnostiska metoder utvecklats för att kunna utföra hörselmätningar på små barn. I Linköping utarbetades 1996 ett datorstött mätsystem för barnaudiometri. Systemet är en variant av tittlådeaudiometri, *Visual Reinforcement Audiometry (VRA)*. Syftet var att försöka eliminera en del av de osäkra moment som VRA kan medföra, detta främst med tanke på att förälder och observatör är medvetna om exakt när stimulus presenteras och kan därmed omedvetet påverka barnet. Med hjälp av hörtelefoner med maskeringsbrus "blindas" observatör (i Sverige vanligen audionom) och förälder så att de inte vet om stimuli verkligen ges vid varje mätcykel. Datorn beräknar även ett noggrannhetsvärde mellan 0-100 %, som kan ge en fingervisning på mätningens säkerhet. Syftet med vårt arbete har varit att utvärdera det datorstödda mätsystemet genom att se hur det fungerade i praktisk klinisk arbetssituation. Nitton barn i åldern 10 till 26 månader deltog. Försöken utfördes på hörcentralen, Linköpings universitetssjukhus. Hörseltest på deltagarna utfördes med hjälp av VRA men med de tillägg som det datorstödda mätsystemet innefattar. Våra resultat indikerar att det datorstödda mätsystemet är en bra metod för att få ett mått på mätningens säkerhet, d.v.s. ett mått på bedömningen av barnets svar. Systemet har visat sig vara användarvänligt men ytterligare kompletteringar behövs för att få det att fungera fullt ut. Några av de nödvändiga kompletteringarna är att använda sig av dämpade hörlurar och att tröskelsökningen inte understiger 20 dB HL. Som systemet ser ut idag ser vi det som ett komplement till den nuvarande hörseldiagnostiken på barn, särskilt på de barn som visat stor hörtröskelvariation. När systemet kompletteras med förslag, framtagna i detta arbete, kommer systemet i sig självt att kunna användas till en stor del av barnen vid observationsaudiometri.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1. INLEDNING	1
1.1 Frågeställningar	1
1.2 Bakgrund	1
1.2.1 Historisk utveckling av VRA	3
1.2.2 Barns olika svarsmönster	4
1.2.3 Video- VRA	5
1.2.4 Observer- based procedures	6
1.2.5 Visuell förstärkning	7
2. METOD OCH MATERIAL	7
2.1 Mätutrustning	7
2.2 Försökspersoner	8
2.3 Etiska övervägande	9
2.4 Datainsamling	9
2.5 Kalibrering av mätsystemet	9
2.6 Mätförfarande	10
2.7 Programhandledning	10
2.7.1 Manuella delen- inlärningsfasen	12
2.7.2 Automatiska delen	13
2.7.3 Noggrannhetsmått	15
2.7.4 Programinställningar	15
2.8 PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing)	16
3. RESULTAT	17
3.1 Förtest	18
3.2 Fördelar med systemet	18
3.3 Nackdelar med systemet	18
3.3.1 Hörlurar och maskeringsbrus	18
3.3.2 Programmets layout	19
3.3.3 Belönningssystemet	19
3.3.4 Tröskelsökningsmetod	19
3.4 Subjektiv skattning	19
3.5 Tidsaspekt	19
3.6 Frågor till föräldrar	20
3.6.1 Föräldrarnas kommentarer	21
3.7 Individuella resultat från barnmätningarna	21
4. DISKUSSION	22
4.1 Hörlurar och maskeringsbrus	22
4.2 Programmets layout	23
4.3 Belönningssystemet	23
4.4 Tröskelsökningsmetod	24
4.5 Subjektiv skattning	24
4.6 Tidsaspekt	25
4.7 Framtida studier	25
5. SLUTSATS	25
6. TACK	27

7. REFERENSLISTA	28
------------------	----

#### BILAGOR

Bilaga 1: Frågor till föräldrar i samband med hörselundersökning	30
Bilaga 2: Informationsbrev till föräldrar	31
Bilaga 3: Muntlig instruktion inför hörselmätning	32

## FIGURFÖRTECKNING

- Figur 1. Schematisk testuppställning vid Visual Reinforcement Audiometry, VRA
- Figur 2. Schematisk testuppställning vid Video- VRA
- Figur 3. Schematisk testuppställning vid Observer- based procedures
- Figur 4. Schematisk testuppställning vid aktuella mättillfällen
- Figur 5. Startfönster i VRA- programmet
- Figur 6. Fönster där patientdata skrivs in
- Figur 7. Fönster vid manuell inlärningsfas
- Figur 8. En typisk mätcykel
- Figur 9. Blockschematisk beskrivning av en mätcykel
- Figur 10. Fönster för att ändra inställningar
- Figur 11. Ett typexempel på hörtröskelsökning med PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing)
- Figur 12. Deltagarnas ålder, tidsåtgång och antal frekvenser där tröskelvärde uppnåtts
- Figur 13. Resultat av frågor till förälder i samband med hörseltest

## TABELLFÖRTECKNING

- Tabell 1. Olika beteende, svarsmönster, vid stimulipresentation hos barn beroende av ålder
- Tabell 2. Uppmätta kalibreringsvärden och dess referensvärde, ISO 226, i den automatiska delen i programmet
- Tabell 3. Uppmätta kalibreringsvärden och dess referensvärde, ISO 226, i den manuella delen i programmet
- Tabell 4. Barnens kön, ålder, tid, noggrannhet samt vår egen skattning
- Tabell 5. Uppmätta hörtrösklar för varje barn samt kommentarer

# 1. INLEDNING

Under hösten 2003 inledde vi ett samarbete mellan Linköpings universitetssjukhus och Institutionen för logopedi, foniatry och audiologi, Lunds universitet. Vårt intresse för barnaudiometri var anledningen till att vi kontaktade Leif Hergils, överläkare, docent på audiologiska avdelningen i Linköping. Kontakten ledde till ett fortsatt samarbete som nu resulterat i ett vetenskapligt arbete på 20 poäng. Vårt arbete är en vidareutveckling av ett examensarbete (20 p), av Björn Leander vid Institutionen för medicinsk teknik, Linköpings universitet.

Björn Leander utarbetade 1996 ett datorstött mätsystem för barnaudiometri i Linköping (Leander, 1996). Systemet är en variant av tittlådeaudiometri, *Visual Reinforcement Audiometry (VRA)*. Syftet med mätsystemet var ett försök att hitta en säkrare metod för att bestämma hörtrösklar på små barn. Genom att "blinda" för observatören (i Sverige vanligen audionomen) om stimulus verkligen ges vid varje mätcykel, kan man få ett visst mått på säkerheten i bedömningen av barnets svar. Detta förutsätter att observatör och förälder använder hörtelefoner med maskeringsbrus, så att de inte hör om stimulus utlöses eller ej. Vare sig observatör eller förälder ska heller inte kunna överföra någon form av reaktion på ljud till barnet. Observatören gör sin bedömning av barnets svarsreaktion innan besked ges om huruvida stimulus verkligen utlösts. Datoriseringen ger observatören möjlighet att koncentrera sig på barnets svar och behövs också för att hålla reda på alla extra uppgifter som metoden innebär.

Mätsystemet har aldrig tidigare provats. Syftet med vårt arbete är att se hur det fungerar i praktisk klinisk arbetssituation och hur stor tidsåtgången är. Vidare ska vi försöka göra en bedömning om det mått som fås i programmet på säkerheten i testseansen (beroende både av barnets reaktionssätt och observatörens bedömningsförmåga) har en rimlig överensstämmelse med observatörens subjektiva bedömning. Syftet är inte att fastställa exakta hörströsklar hos barnen.

## 1.1 Frågeställningar

Kan det aktuella utarbetade mätsystemet användas i praktisk klinisk arbetssituation?  
Kan vi utvärdera fördelar och nackdelar med mätsystemet?

## 1.2 Bakgrund

Att diagnostisera en hörselnedsättning och inleda rehabilitering så tidigt som möjligt på små barn är av stor betydelse. En hörselskada påverkar kommunikations-, språk- och talutveckling. Tidigare studier visar att rehabilitering före 6 månaders ålder, ofta leder till normal tal- eller teckenspråksutveckling (Yoshinaga-Itano, Sedey, Coulter & Mehl, 1998).

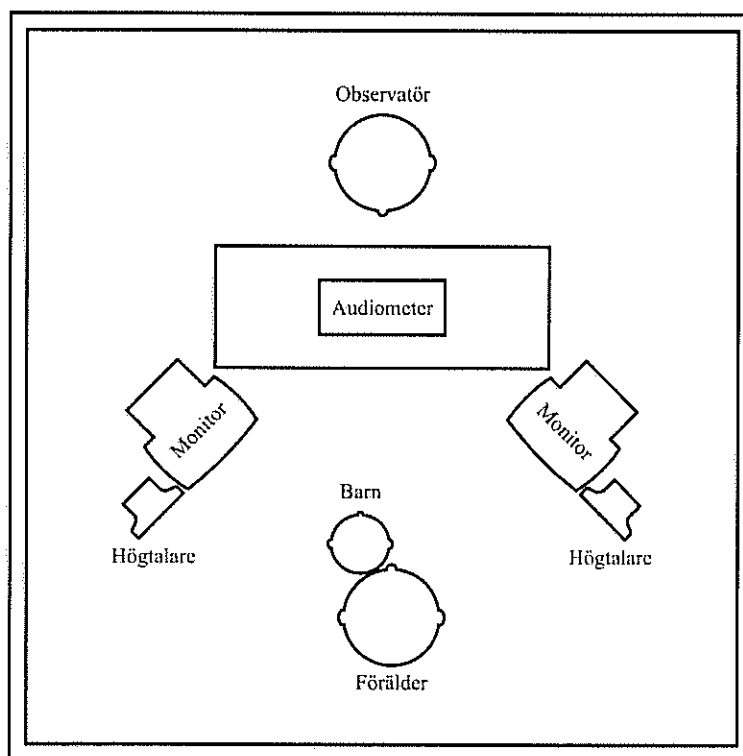
Genom åren har flera olika diagnostiska metoder utvecklats för att så snabbt och smidigt som möjligt kunna utföra hörselmätningar på små barn. Tidsåtgången för mätningen är avgörande eftersom barn har en benägenhet att tröttna och tappa koncentrationen. Hos de yngsta barnen (<12 mån.) är de första minuterna den bästa arbetstiden, hos de något äldre (>12 mån.) kan effektiv arbetstid eventuellt vara 10 minuter (Kankkunen, 1982).

Eftersom små barn inte kan förväntas följa rena verbala instruktioner måste andra tillvägagångssätt användas inför en hörselmätning. Det kan t.ex. vara att lära dem att bygga med klossar när de hör ett ljud eller att vända sig mot en bildskärm där en intressant bild presenteras varje gång ljudstimuli presenteras.

OAE (otoakustiska emissioner) är en av de mätmetoder som numera används rutinmässigt inom flera landsting för hörseltestning av nyfödda. Den används främst som screening av den cochleära funktionen, genom att stimulera innerörat med korta klickljud som ger upphov till kontraktila svar från fungerande yttre hårceller. Då både stimulus och framförallt det svaga svaret passerar mellanörat får man dessutom en kontroll av mellanörats funktion. Metoden i sig ger inte möjlighet till hörtröskelbestämning, men eftersom svaren försvinner vid hörtrösklar över 20-30 dB HL, fungerar metoden som screening. En mycket stor andel normalhörande barn kan frikännas, medan man med stor säkerhet fångar upp de som har en hörselnedsättning av någon betydelse, dock inte de barn med neuropati (L. Hergils, personlig kommunikation, 29 april, 2004).

BRA (Brainstem Response Audiometry) är en annan användbar mätmetod, vilken kan ge mer hörtröskelinformation än OAE (dock mer tidskrävande, eftersom flera nivåer i så fall måste undersökas). För screeningändamål krävs förutbestämd screeningnivå och automatiserad tolkning av svaren för att metoden ska vara praktisk användbar (L. Hergils, personlig kommunikation, 29 april, 2004). När barnet nått några månaders ålder kan det i vissa fall vara nödvändigt med narkos vid BRA, eftersom metoden kräver att barnet håller sig lugnt och stilla. En annan automatiserad mätmetod liknande BRA, är ASSR (Auditory Steady State Responses). Metoden är ett objektiva test, för att få fram tröskelvärden för specifika frekvenser och kan användas vid hörselmätning på små barn (S. Harris, personlig kommunikation, 24 oktober, 2003). Ingen av dessa metoder ger information om hela hörselsystemet. För att få denna information krävs en psykoakustisk mätmetod. En vanlig sådan som används vid hörselmätningar på små barn (från 5 mån.) är tittlådeaudiometri. Metoden används idag för att diagnostisera en hörselnedsättning samt göra en hörtröskelbestämning (Anniko, 2001).

Tittlådeaudiometri (Visual Reinforcement Audiometry, VRA) innebär att barns reaktion på ljudstimuli studeras med hjälp av betingad, visuell förstärkning. Den visuella förstärkningen kan bl.a. användas i form av bild på monitor eller en dansande mekanisk leksak i en plexiglasbox. Denna typ av mätmetod ställer stora krav på observatören. Genom att observera barnets beteende avgörs om barnet har hört stimuli eller inte. Mätningens resultat beror på observatörens subjektiva bedömning av barnets svar. Säkerheten i tröskelbestämningen påverkas både av hur tydligt barnet visar att det hört och av observatörens förmåga att läsa av barnet. Denna mätmetod innehåller en del osäkra moment, bl.a. att barnen varierar i tydlighet när de uppfattat ett ljud samt att det finns en risk för omedveten påverkan av barnet via både förälder och observatör. Eftersom observatören ofta är den som aktiverar stimuli, vet denne exakt när stimuli har presenterats. Detta kan leda till att observatören med sitt kroppsspråk omedvetet påverkar barnet att svara, trots att barnet inte hört något stimuli. Detta gör naturligtvis att svaren inte blir helt tillförlitliga. Observatören letar efter ett beteende hos barnet som svar på ett stimuli när denne vet att stimulering pågår. Föräldern som ofta har barnet i sitt knä kan också utgöra en osäkerhet genom att omedvetet påverka barnet, vilket i sin tur kan påverka mätresultaten (Leander, 1996). En vanlig testuppställning vid VRA finns schematisk beskriven i figur 1. Andra faktorer som kan påverka en hörselmätning kan vara att barnet är förkyllt, trött och okoncentrerat.



Figur 1. Schematisk testuppställning vid *Visual Reinforcement Audiometry*, (VRA).

### 1.2.1 Historisk utveckling av VRA

1975 presenterades en observationsaudiometrisk metod för att bestämma hörtrösklar på små barn, *Conditioned head-turn procedure* (Moore, Thompson & Thompson, 1975). Metoden är en vidareutveckling av *Conditioning Orientation Reflex (COR)* (Suzuki & Ogiba, 1961). *Conditioned head-turn procedure* bygger på att små barn reflexmässigt lär sig att vrida på huvudet åt det håll ljudstimulus presenteras. En korrekt huvudvridning förstärks med en intressant visuell belöning, som t.ex. en dansande mekanisk docka. På detta sätt lär sig barnet kopplingen mellan stimulus och belöning. Inledningsvis påbörjas mätningen med en inlärningsfas där presentation av stimulus är, på en för barnet, väl hörbar nivå. Observatörens uppgift är att efter varje stimulering återfå barnets uppmärksamhet mot centrum, vanligen med hjälp av en leksak. När stimulus åter presenteras vrider barnet huvudet mot belöningssystemet. Enbart en huvudvridning indikerar att barnet uppfattat stimulus i denna mätmetod. Dessutom kräver metoden att barnet nått tillräcklig motorisk utveckling för att kunna vrida på huvudet, vilket leder till att metoden inte kan användas på barn yngre än 5 ½ månader (Werner, 1995).

Barn svarar på olika sätt vid stimulipresentation och inte enbart genom en huvudvridning (Watrous, McConell, Sitton & Fleet, 1975). Därför utvecklades en metod, *Visual Reinforcement Audiometry (VRA)*, som idag används på de flesta hörcentraler i Sverige (Widén, 1990). Metoden tar bättre hänsyn till barns olika svarsmönster än *Conditioned head-turn procedure*. VRA kan användas från 5 månaders ålder, men hos de yngsta barnen kan inte titlådorna utnyttjas till fullo. Intresset för den visuella förstärkningen är inte maximal vid denna ålder utan uppkommer först vid ca 1-års ålder (Kankkunen, 1982; Widén, 1990).



### 1.2.2 Barns olika svarsmönster

Tidigare studier visar att barn har olika svarsmönster (bl.a. beroende på utvecklingsålder) vid stimulering och svarar inte enbart med en huvudvridning (Northern & Downs, 2002; Watrous, et al., 1975). Små barn är dessutom känsligare för bredbandsljud i jämförelse med rena sinussignaler, vilket leder till att frekvensmodulerade signaler, s.k. warble-toner är att föredra. I samband med att barnen blir äldre ökar även känsligheten för lägre stimulusnivåer (Werner & Boike, 1999).

Till en början visar barn kraftiga reflexrörelser vid stimulering för att i takt med utvecklingen övergå till mer specifikt beteende, som t.ex. ögonrörelser. När barnet börjar kunna koncentrera sig på lägre stimulinivåer börjar de även att kunna lokalisera ljudkällan genom att vrida på huvudet. Lokalisation av ljud börjar i horisontalplan, i öronhöjd, för att sedan övergå till att kunna lokalisera under och över öronhöjd (Watrous, et al., 1975).

Tabell 1 visar några vanliga svarsmönster som man funnit vid stimulipresentation hos små barn. Vid tidig ålder, de första 3 månaderna, svarar barn enbart reflexmässigt på stimuli t.ex. ögonvidgning, olika kroppsrörelser samt öka och avta i aktivitet. Genom att uppmärksamma barnets ansiktsuttryck kan man utläsa om barnet hört stimuli, alternativt så kan en andningspaus påvisas. Vid ca 6 månaders ålder börjar de kunna lokalisera en ljudkälla. De söker då ivrigt efter orsaken till stimuli och sammankopplar ofta stimuli med observatören. Strax under 1-års ålder kan de uppfatta sambandet mellan ljudstimuli och belöningsbild (Kankkunen, 1982).

Tabell 1. Olika beteende, svarsmönster, vid stimulipresentation hos barn beroende av ålder

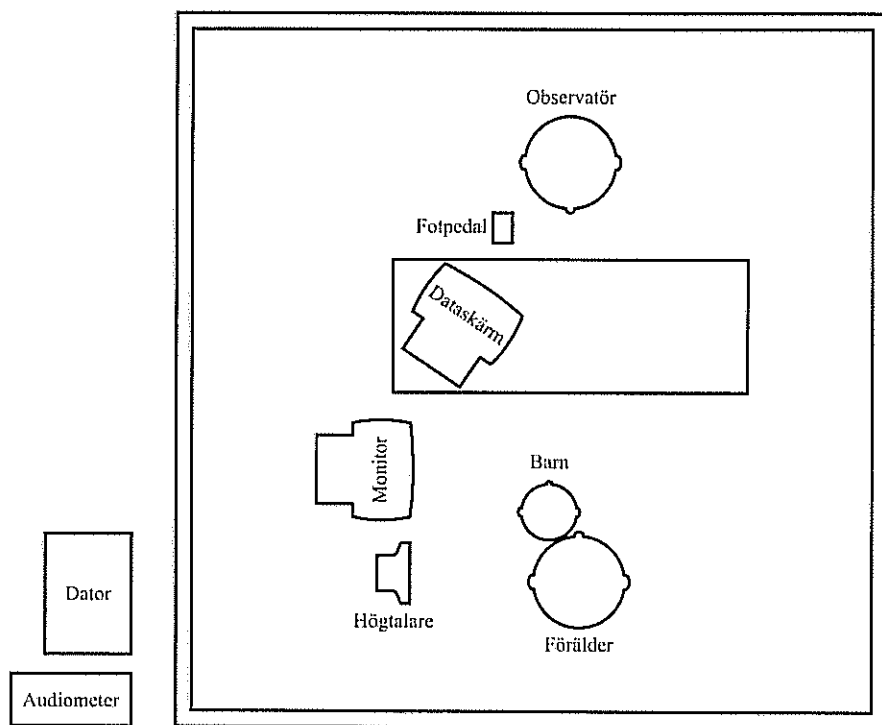
<b>Ålder</b>	<b>Svarsmönster</b>
0-6 veckor	Ögonblinkning Ögonvidgning Blir överraskad Livlighet eller uppvaknande från ev. sömn
6 veckor-4 månader	Ögonblinkning Ögonvidgning Ögonrörelser Tystnad Huvudrörelse (börjar vid 4 månader)
4-7 månader	Huvudrörelser lateralt mot ljudet Lyssnande
7-9 månader	Direkt lokalisation till sidan Indirekt lokalisation under öronhöjd
9-13 månader	Direkt lokalisation till sidan och under öronhöjd Indirekt lokalisation över öronhöjd
13-24 månader	Direkt lokalisation till sidan, under och över öronhöjd

(Northern & Downs, 2002, p. 167)

### 1.2.3 Video-VRA

I Köpenhamn, Bispebjerg Hospital, har civilingenjör Erik Kjaerbol utvecklat en variant av VRA, där man istället för stillbilder eller belyst mekanisk docka (som används i konventionell VRA) använder sig av video-inslag som belöning. Mätssystemet används kliniskt sedan 2 ½ år tillbaka. I figur 2 visas en schematisk testuppställning av mätssystemet.

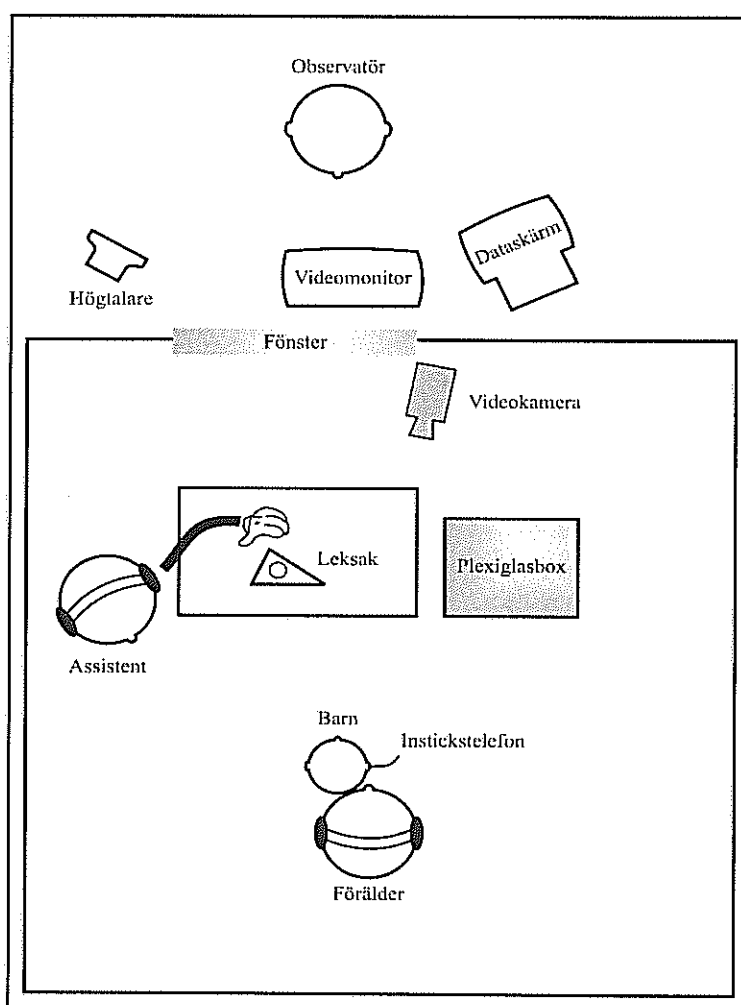
Mätssystemet betecknas *Video-VRA* och används till barn mellan 0-6 år och ingår i ett större testbatteri. Den visuella belöningen som används består av 4-6 sekunder långa videoklipp, som kan visas med eller utan ljud. Nivån på ljudet i videoklippen anpassas efter stimuleringsintensiteten, beroende på barnets hörsel. De videoklipp som presenteras är från kända barnprogram som t.ex. Teletubbies, Bamse eller Byggare Bob. Enligt Kjaerbol är de mindre barnen mer intresserade av rörliga bilder, så som videofilmer, i jämförelse med stillbilder. Är det dessutom något barnet känner igen är det ännu mera intressant. Två olika filmer presenteras som belöning, just för att behålla barnets koncentration längre. I mätssystemet finns möjlighet att alternera mellan automatiskt eller manuellt mätförfarande. Frekvenser kan på förhand bestämmas, vanligen används 0.25 kHz, 0.5 kHz, 1.0 kHz, 2.0 kHz och 4.0 kHz. Observatören aktiverar själv varje mätcykel och har sedan en viss tid på sig att avgöra om barnet hört eller inte. Detta görs med hjälp av en fotpedal. Fotpedalen används för att undvika att barnet kan notera och samtidigt sammankoppla knapptryckning och handrörelser med stimuluspresentation. Stimuli presenteras via en högtalare, alternativt EAR-Tones, med antingen sinussignaler eller frekvensmodulerade signaler. Den hörtröskelsökningsmetod som används i systemet har många likheter med *PEST* (Parameter Estimation by Sequential Testing), som kommer att behandlas i avsnitt 2.8. För närvarande används inte några maskeringshörlurar till förälder eller observatör, detta p.g.a. att det ännu inte kunnat lösas tekniskt (E. Kjaerbol, personlig kommunikation, 12 mars, 2004).



Figur 2. Schematisk testuppställning vid *Video-VRA*.

### 1.2.4 Observer- based procedures

Det datorstödda mätsystemet som Björn Leander har utarbetat, bygger på en VRA- metod som utvecklats på University of Washington, Seattle, och benämns, "Observer- based procedures". Metoden har använts i olika forskningsändamål vad gäller barn så som vid gap detection, barns känslighet för bredbandsbrus, metoder för att hitta barns hörrösklar och känsligheten för rena sinussignaler. En schematisk testuppställning vid Observer- based procedures visas i figur 3. Hörselmätningarna utförs i en mätbox, där barnet sitter i förälderns knä. Även en assistent till observatören sitter inne i mätboxen. Assistentens uppgift är att få barnet att titta framåt, mot videokameran och fönstret. Föräldern och assistenten har hörlurar med musik alternativt maskeringsbrus på sig under mätningens gång. Barnet har instickstelefoner, EAR-Tones. Framför barnet finns ett bord placerat och vid sidan om bordet sitter assistenten. Observatören som utför hörselmätningen sitter utanför hörselboxen och kan genom ett fönster (one-way screen) följa mätförloppet. I hörselboxen finns även en videokamera monterad så att observatören kan följa barnet på en bildskärm, för att lättare kunna se barnets reaktioner. Observatören är ovetande om stimuli presenteras eller ej och har 4-8 sekunder på sig att avgöra om barnet hört. Inne i hörselboxen finns belöningssystemet bestående av olika mekaniska leksaker i en plexiglasbox, alternativt, bilder som aktiveras vid belöning. Eftersom olika typer av belöning finns kan en passande sådan väljas. Belöningssystemet aktiveras endast om observatören registrerat ett svar (d.v.s. uppfattat att barnet hört) då stimuli verkligen har presenterats (Werner, 1995).



Figur 3. Schematisk testuppställning vid *Observer- based procedures*.

### **1.2.5 Visuell förstärkning**

Flera studier har tidigare gjorts vad gäller den visuella förstärkningens betydelse. I en studie från 1977 studerades skillnaden mellan komplexa och enkla visuella förstärkningar. Med komplex visuell förstärkning menas exempelvis en dansande docka och samtidigt en blinkande lampa. Med enkel visuell förstärkning menas exempelvis enbart en blinkande lampa. Resultatet visade att ljudlokaliseringen blev bättre vid komplex visuell förstärkning, p.g.a. att barnet visade större intresse för den komplexa visuella förstärkningen (Moore, Wilson & Thompson, 1977). En annan studie visar att om två olika typer av visuella förstärkningar används, t.ex. en dansande docka ena gången och en björn andra gången, leder det till att barnen kan behålla koncentrationen längre (Thompson, Thompson & McCall, 1992).

Effekter av belöningsens duration har studerats. Studien visade att barn i 2-års ålder kunde koncentrera sig längre om durationen på belöningsbilden var kortare. De barn som fick en durationslängd på 0.5 sekunder kunde behålla koncentrationen längre än de barn som fick en durationslängd på 1.5-4 sekunder. Genom kortare duration fick de mer intresse för både observatör och belöningsbild. Huvudvridning mot den visuella förstärkningen blev därmed tydligare (Culpepper & Thompson, 1994). Samma år undersöktes skillnader i visat intresse för olika visuella belönings typer. Man använde sig av två olika belönings typer under samma mätförfarande, i detta fall en dansande docka och ett videoklipp på barn som leker. Resultaten visade att barnen var mer intresserade av videoklippen än den dansande dockan (Werner & Kopyar, 1994).

Möjligheten att använda en DVD-film som belöning har också undersökts. Jämförelser gjordes mellan en vanlig visuell belöning (i detta fall en dansande docka i en plexiglasbox) och en DVD-film. Det visade sig att de barn som fick en DVD-film som belöning, hade tydligare och fler huvudvridningar mot den visuella förstärkningen, i jämförelse med de som fick en vanlig belöning (Schmida, Peterson & Tharpe, 2003).

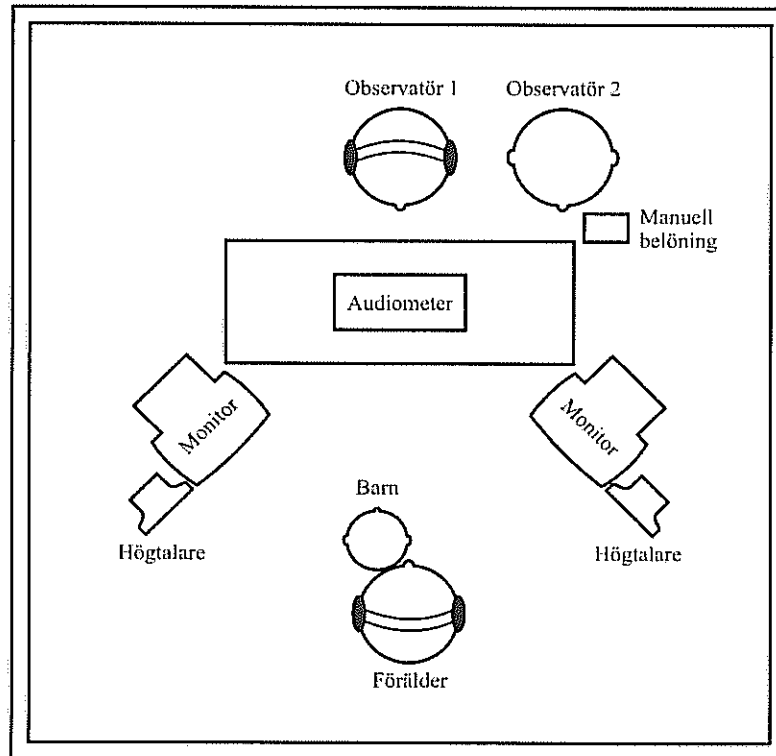
## **2. METOD OCH MATERIAL**

Mätsystemet som ligger till grund för detta vetenskapliga arbete är det datorstödda mätsystem som Björn Leander utarbetade 1996. Datorn sköter stimuleringen (ljudstimulus eller slumpmässig tyst mätcykel då observatören aktiverar mätcykel), samt intensitetsval, medan observatören kan koncentrera sig på barnets reaktioner. Datorn räknar också ut ett noggrannhetsmått, grundat på hur väl observatören kunnat bedöma barnets reaktioner under de randomiserade, tysta mätcyklarna.

### **2.1 Mätutrustning**

Mätsystemet består av en audiometer, Madsen Aurical version 2.3, som styrs av en dator med operativsystemet Windows 2000. De frekvensmodulerade signaler som utgår från audiometern förstärks av en effektförstärkare och presenteras via en av högtalarna. Högtalarna är monterade för barnet i öronhöjd, 45° vinkel, ca 50 cm avstånd, på var sida om barnet, se figur 4. Endast den vänstra högtalaren är aktiv under mätningens gång. Två stereohörlurar (till observatör 1 och förälder) av dynamisk halvöppen typ, AKG K-66, kopplas via en

dubbelingång till en bärbar CD-spelare. I hörlurarna presenteras rosa maskeringsbrus inspelat på en CD-skiva, producerad i WaveLab. Nivån på maskeringsbruset styrs manuellt på den bärbara CD-spelaren. Samma nivå på maskeringsbruset användes vid varje mättillfälle. Belöningsystemet består av två monitorer, varav endast den vänstra är aktiv under pågående mätning. Monitorerna är monterade i öronhöjd, 45° vinkel, ca 50 cm avstånd, på var sida om barnet. Bilderna som presenteras som belöning är stillbilder bl.a. på en björn, stövlar och en snögubbe. Dessa aktiveras manuellt av observatör 2, genom knapptryckning på en dosa placerad vid sidan om audiometern. När kommandot *Belöning* visas på systemets monitor aktiveras belöningen manuellt genom knapptryckning.



Figur 4. Schematisk testuppställning vid aktuella mättillfällen.

## 2.2 Försökspersoner

Till studien kallades 22 barn, varav 3 (14 %), barn exkluderades p.g.a. sjukdom. Barnens ålder varierade mellan 10-26 månader, medelålder 17 månader. Könsfördelning: 9 pojkar och 10 flickor. Inklusionskriterier för deltagande i studien var normal allmänutveckling och att barnet var friskt på testdagen. Ett barn hade en tillfällig hörselnedsättning p.g.a. otosalpingit, resterande var normalhörande. Till normalhörande räknades de som tidigare visat hörtröskelvärden på 30 dB HL eller bättre. Rekrytering utfördes bland barn som vid uppföljning av nyföddhetscreening av hörseln i Linköping fått godkänt BRA, alternativt godkänt OAE. Personnummer används inte i denna studie. Endast ålder, kön, hörtrösklar och tidsåtgång redovisas. Observatörerna var normalhörande, god syn och vid god hälsa på testdagarna.

## 2.3 Etiska överväganden

Forskningsetisk ansökan (diariernr. 18/04) godkändes av etikprövningsnämnden i Linköping, 2004-03-22.

## 2.4 Datainsamling

Hörselmätningarna utfördes av författarna till detta arbete som har likvärdig erfarenhet av barnaudiometri. Barnen fördelades mellan observatörerna, så att ena observatören observerade 9 barn medan den andra observatören observerade 10 barn. Datainsamlingen genomfördes på hörcentralen, Linköpings universitetssjukhus och pågick under 4 veckors tid. Barnen som rekryterades till studien var från Linköping med omnejd. Varje barn tilldelades ett konsekutivt nummer, detta för att kunna samla in data i avidentifierad form.

Data som insamlades vid varje mättillfälle var hörtrösklar i fritt fält på frekvenserna 0.5 kHz, 1.0 kHz, 2.0 kHz, 3.0 kHz och 4.0 kHz. Även tidsåtgång och ett mått på mätningens noggrannhet samlades in. Mätningens noggrannhet utgjordes av en egen skattning markerad på en 100 mm lång VAS-skala samt systemets egna beräknade noggrannhetsmått. Efter varje mättillfälle fick föräldern även besvara ett antal frågor, se bilaga 1.

## 2.5 Kalibrering av mätsystemet

En frifältskalibrering av systemet utfördes 2004-03-31 under överseende av klinikens teknikansvarige. Utsignalen som användes vid kalibreringen var en frekvensmodulerad signal på 60 dB HL. Uppmätta värden jämfördes med referensvärden ISO 226. Det kalibreringsinstrument som användes var *Larson. Davis Laboratories, MODEL 800B*. I tabell 2 och 3 redovisas uppmätta värden och dess referensvärden. Dels för den automatiska delen i programmet, dels för den manuella delen i programmet. Dessa båda programdelar kommer att beskrivas mer utförligt under stycke 2.7.1 och 2.7.2. Systemets uppmätta värden har ej korrigerats vid hörtröskelbestämning.

Tabell 2. Uppmätta kalibreringsvärden och dess referensvärde, ISO 226, i den automatiska delen i programmet

Utsignal 60 dB HL	Uppmätt värde	Referensvärde ISO 226
1.0 kHz	64 dB HL	62 dB HL
2.0 kHz	61.3 dB HL	58.5 dB HL
3.0 kHz	56.6 dB HL	54 dB HL
4.0 kHz	59.9 dB HL	53.6 dB HL
0.5 kHz	67dB HL	64 dB HL

Tabell 3. Uppmätta kalibreringsvärden och dess referensvärde, ISO 226, i den manuella delen i programmet

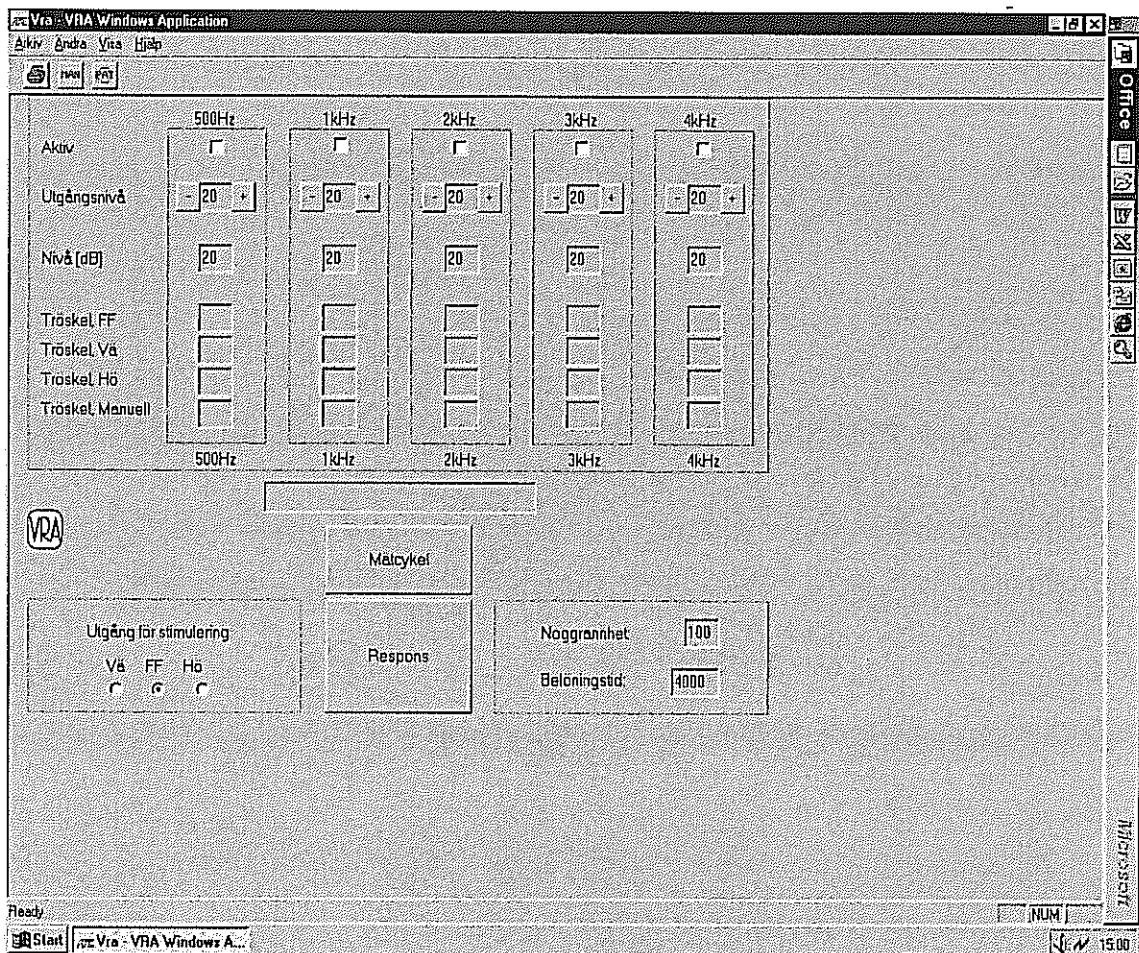
Utsignal	Uppmätt värde	Referensvärde ISO 226
1.0 kHz	64.6 dB HL	62 dB HL
2.0 kHz	60.6 dB HL	58.5 dB HL
3.0 kHz	56.3 dB HL	54 dB HL
4.0 kHz	59.3 dB HL	53.6 dB HL
0.5 kHz	66.9 dB HL	64 dB HL

## 2.6 Mätförfarande

I samband med rekrytering, via telefon, gavs muntlig information om studien. Efter telefonsamtalet sändes skriftlig information, se bilaga 2. Föräldrarna fick även muntlig information i direkt anslutning till mätningens början. Identisk information inför hörselmätningen gavs genom uppläsning av bilaga 3. Hörselmätningarna ägde rum i en mätbox avsedd för hörselmätningar på barn. Barnet placerades i föräldrarnas knä med ansiktet mot observatören (observatör 1). Till vänster om observatören satt den observatör som inte utförde hörselmätningen (observatör 2), se figur 4. Dennes uppgift var att ta tid på den automatiska delen av mätningen samt att aktivera belöningssystemet, när kommandot *Belöning* visades. Föräldern hade hörlurar med maskeringsbrus på sig under hela mätförfarandet, medan observatören tog på dem efter det att den manuella inlärningsfasen avslutats. För att få barnets koncentration riktad rakt fram, mot observatör 1, användes ibland handdockor. Efter avslutad mätning utfördes en egen skattning på VAS-skalan innan datorns skattning kontrollerades. Avslutningsvis fick föräldrarna besvara frågorna (se bilaga 1).

## 2.7 Programhandledning

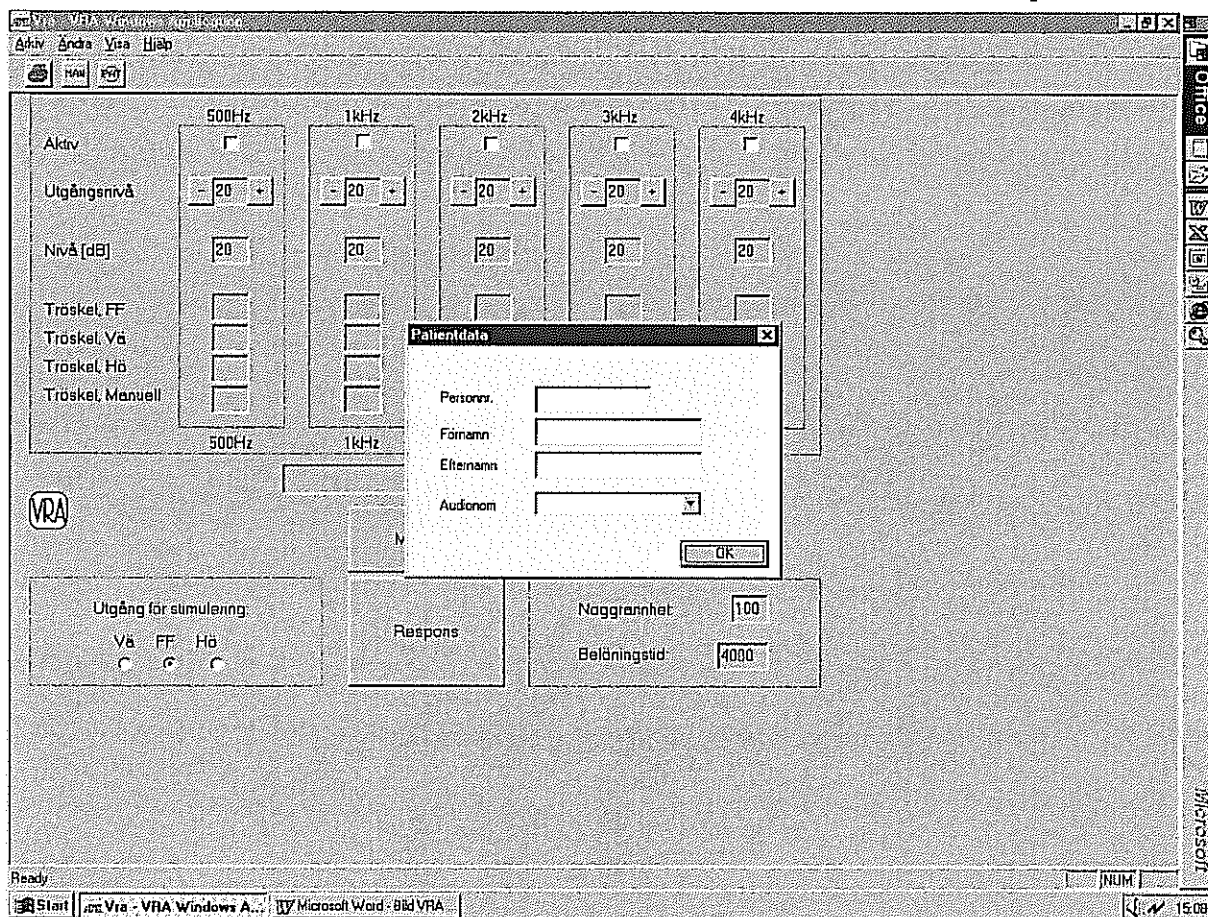
Genom att klicka på ikonen VRA, på dataskärmen upprättas kontakt mellan audiometer och program. Väl inne i programmet öppnas ett fönster, se figur 5.



Figur 5. Startfönster i VRA- programmet.

Om man klickar på patientsymbolen, PAT (högra fyrkanten uppe till vänster) visas fönstret patientdata, se figur 6. Här skrevs patienten in med personnummer, för- och efternamn samt audionomsignatur. Istället för barnets namn och personnummer infördes i denna studie barnets tilldelade nummer, ålder och kön.

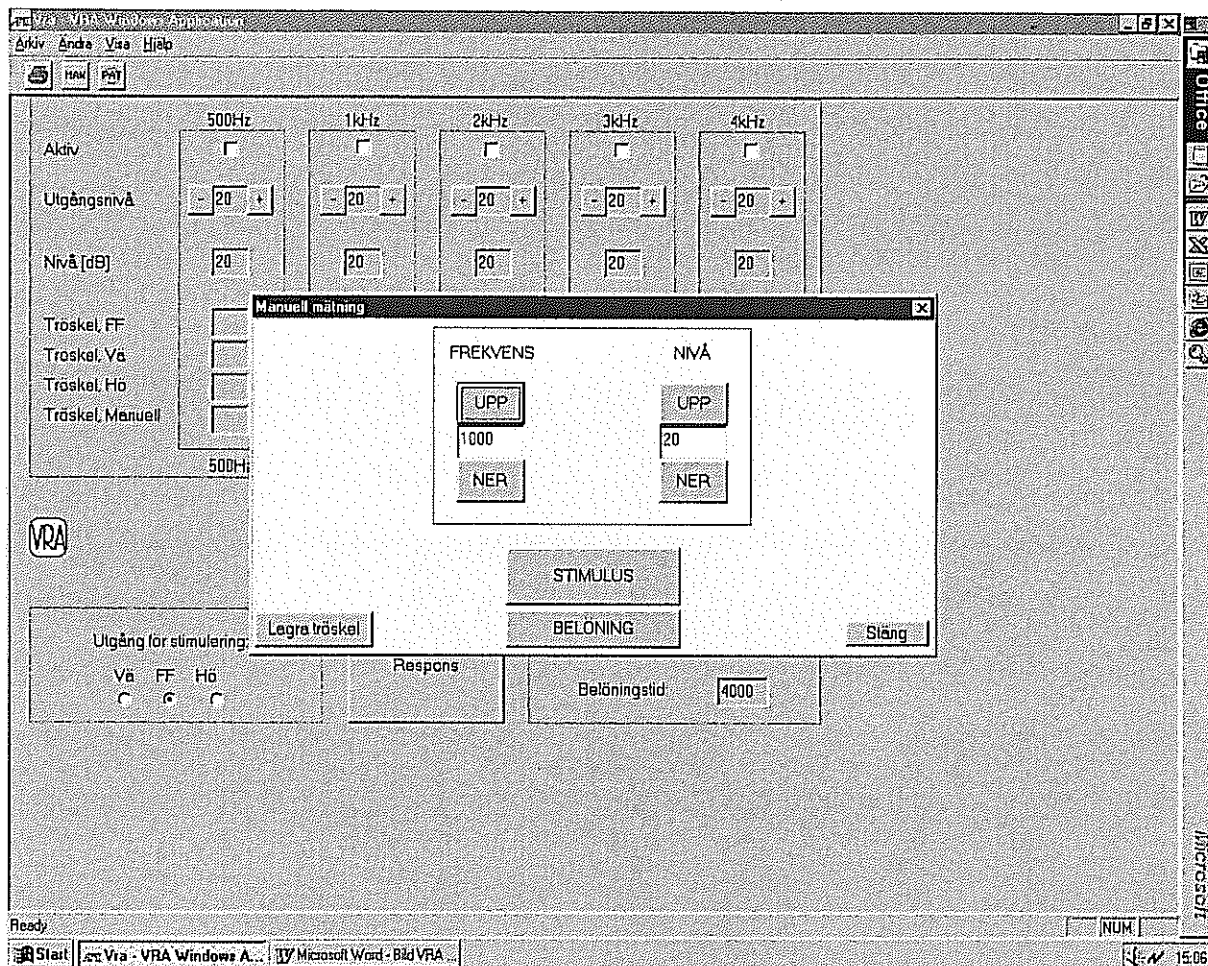




Figur 6. Fönster där patientdata skrivs in.

### 2.7.1 Manuella delen- inlärningsfasen

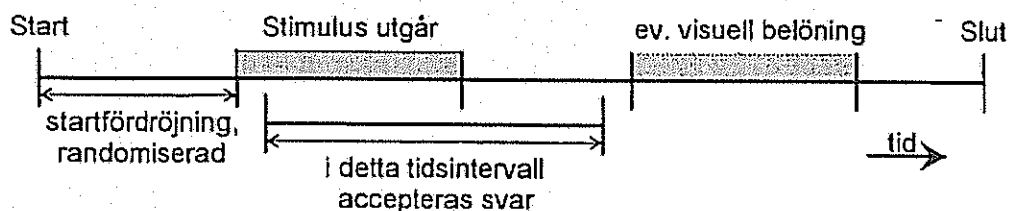
Själva mätförfarandet inleddes med en manuell inlärningsfas, där observatör 1 presenterade ett väl hörbart stimuli följt av visuell belöning. Detta för att barnet skulle lära sig samband mellan stimulus och visuell belöning. Hörtröskeln från den manuella delen (inlärningsfasen) i programmet kan lagras och flyttas över till den automatiska delen. Den manuella delen i programmet aktiveras genom att klicka på ikonerna MAN (mellersta fyrkanten uppe till vänster), se figur 7. Här ändras stimulusintensitet och mätfrekvens manuellt.



Figur 7. Fönster vid manuell inlärningsfas.

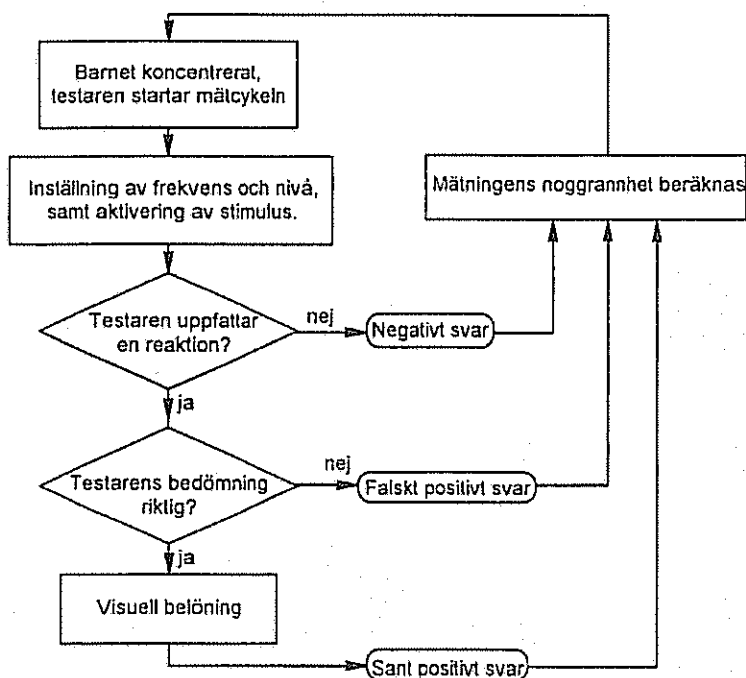
### 2.7.2 Automatiska delen

När den manuella inlärningsfasen var över, d.v.s. när barnet förstått sambandet mellan stimuli och visuell belöning, stängdes den manuella delen och den automatiska delen kunde påbörjas. Under den automatiska delen i programmet hade observatör 1 och förälder hörlurar med maskeringsbrus, tills dess att mätningen avslutades. Nivån på maskeringsbruset var konstant under mätningen (volym 4 på CD-spelaren). Fönstret som visas i den automatiska delen ses i figur 5. I detta fönster väljs startfrekvens samt utgångsnivå. Mätningen påbörjades på 1.0 kHz, stegvis upp mot 4.0 kHz och avslutades med 0.5 kHz. Utgångsnivån varierade efter barnets koncentration och intresse. När programmet fastställt hörtröskeln vid den aktuella mätfrekvensen, byttes frekvens manuellt. När barnet riktade sin koncentration rakt fram, mot observatör 1, aktiverades varje mätcykel via ikonen *Mätcykel*. När en mätcykel aktiverades var observatören ovetande om ett stimuli presenterades eller inte. Under varje mätcykel utgår högst ett stimuli, eventuellt inget (tyst mätcykel). En mätning består av ett antal mätcyklar och under varje mätcykel kan det maximalt inkomma ett sant positivt svar. I figur 8 finns ett exempel på en typisk mätcykel.



Figur 8. En typisk mätcykel (Leander, 1996, s.14. Reproducerad med tillstånd från Leander).

Observatör 1 hade till uppgift att inom ett visst förutbestämt tidsintervall avgöra om barnet hört stimulus eller inte. Om observatör 1 tyckte sig uppfatta en reaktion hos barnet, indikerade observatören detta genom knapptryckning på ikonen *Respons*, se figur 5. Programmet registrerade observatörens svar. Om den aktuella mätcykeln lyckats, presenterades ordet *Belöning* för observatör 2, i den rektangulära tomma rutan ovanför ikonen mätcykel, se figur 5. När ordet belöning visades på skärmen aktiverades belöningsystemet manuellt, genom knapptryckning på dosan vid sidan om audiometern, av observatör 2. Programmet bedömde därefter om svaret var sant positivt, falskt positivt eller negativt. Med sant positivt svar menas att stimuli har utgått samt att observatören uppfattat och registrerat ett svar hos barnet. Falskt positivt svar räknas det som när observatören upplevt ett svar hos barnet, men inget stimulus har utgått (tyst mätcykel). Programmet kan inte avgöra om de negativa svaren är sanna eller falska, det kan antingen bero på att barnet inte har hört ett stimuli, alternativt att observatören inte uppfattat att barnet har hört ett stimuli, trots att barnet hört. I figur 9 finns en blockschematisk beskrivning över en mätcykel och dess olika utfall (Leander, 1996).



Figur 9. Blockschematisk beskrivning av en mätcykel (Leander, 1996, s.15. Reproducerad med tillstånd från Leander).

### 2.7.3 Noggrannhetsmätt

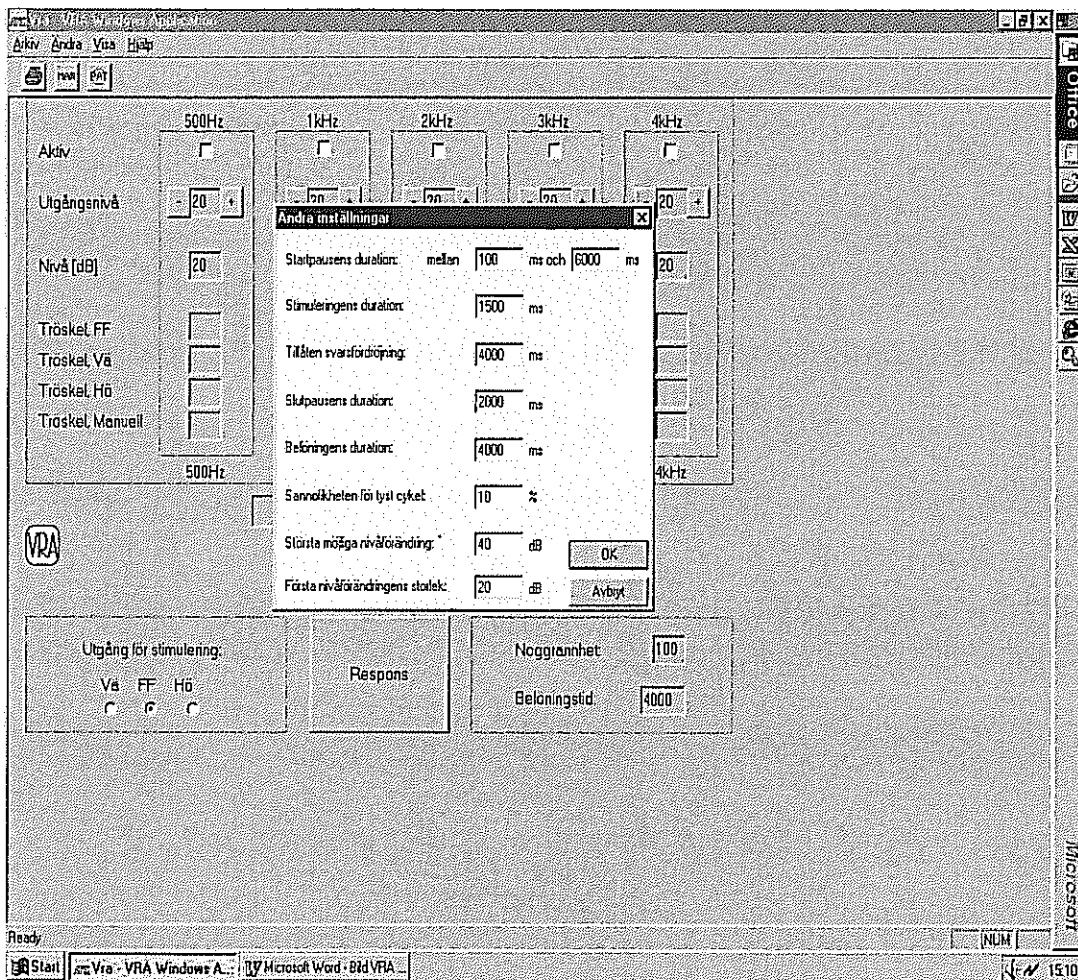
När mätförfarandet var över visades ett mått på mätningens noggrannhet. Måttet varierade mellan 0-100%, där 100% visade att mätningen lyckats maximalt. Noggrannhetsmättet beräknades under mätningens gång och visades till höger om ikonerna *Respons*, se figur 5. Noggrannheten beräknades som kvoten mellan antalet sant positiva svar och det totala antalen positiva svar (sanna och falska). Enligt formeln:

$$\text{Noggrannhet} = \frac{\sum \text{sant positiva svar}}{\sum \text{positiva svar (sanna \& falska)}}$$

För att få ett mått på vår egen skattning av mätningen, valde vi att dölja noggrannhetsmättet på bildskärmen, för att sedan kunna jämföra VAS-skalan med systemets beräknade noggrannhet.

### 2.7.4 Programinställningar

I programmet fanns olika inställningar, som gick att ändra. För att kunna ändra dessa, gick man in via *ändra* och vidare till *inställningar*. Rutan ändra inställningar visades, se figur 10.



Figur 10. Fönster för att ändra inställningar.

Startpausens duration var när en mätcykel aktiverades tills dess att signal presenterats och varierade slumpvis mellan 100-6000 ms. Hela mätcyklens längd berodde på hur lång den slumpvisa startpausens duration var. Om mätcyklen var tyst pågick den lika länge som startpausens maximala längd. Den tillåtna svarsfördröjningen inträdde en kort period efter stimulering. Observatören hade då en viss tid på sig att avgöra om barnet hört (om svaret inkommit under stimuleringen accepterades även det). Systemets tillåtna svarsfördröjning var grundinställt på 200 ms, vilket vi ändrade till 4000 ms. Slutligen, efter svarsfördröjningen inträdde slutpausens duration och därefter var mätcyklens slut. I systemet var stimuleringens duration inställd på 1500 ms och belöningens duration inställd på 4000 ms. I nuläget fungerade inte belöningens duration eftersom belöningen skedde manuellt. Sannolikhet för tyst cykel angavs i procent och kunde väljas av observatören från 10-90 %. I vår studie var sannolikhet för tyst cykel inställd på 10 %. Första nivåförändringens storlek var inställd på 20 dB och största möjliga nivåförändring var inställd på 40 dB. Tröskelsökningen hade ett maximum på 100 dB HL och ett minimum på -10 dB HL. Den tröskelsökningsmetod som används i det aktuella mätsystemet är en variant av PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing) som kommer att behandlas i stycke 2.8 (Leander, 1996).

## 2.8 PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing)

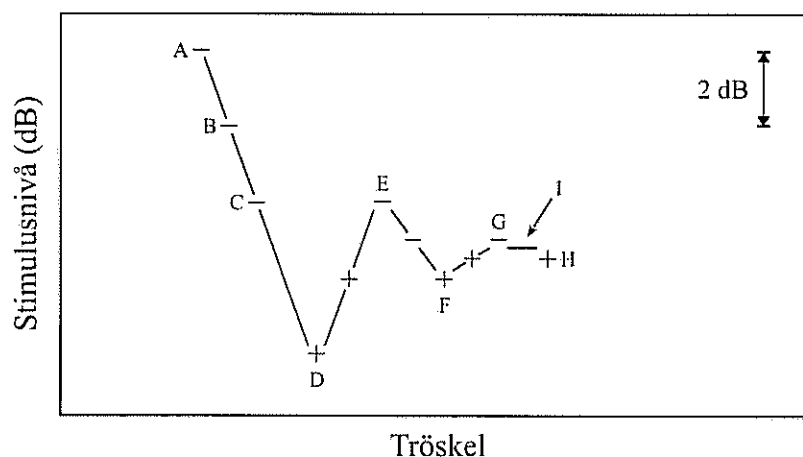
PEST är en adaptiv mätmetod, vilket innebär att riktning på förändringen av stimulusintensiteten och stegstorlek inte är fast, utan beror på lyssnarens svar. Detta medför att koncentration kan inriktas på hörtröskelområdet och man behöver därför inte försumma tid och lyssnarkoncentration på mindre intressanta områden, långt ifrån hörtröskelområdet. Detta medför att man kan utnyttja den begränsade tiden med ett koncentrerat barn på optimalt sätt. Beroende på lyssnarens svar ändras riktningen antingen åt det positiva eller negativa hållet, d.v.s. ökar eller minskar i intensitet (SAME, 1990).

De tankar som ligger till grund för denna hörtröskelsökningsmetod är att kunna identifiera hörtrösklar på kort tid men samtidigt med stor precision. Detta kunde uppnås med hjälp av serier med regler för dubbling respektive halvering av stimuleringsintensiteten. Dubbling alternativt halvering av intensiteten beror på föregående svar från lyssnaren (Taylor & Creelman, 1967).

Varje gång teckenväxling sker halveras förändringens storlek åt det positiva alternativt negativa hållet (ökning alternativt minskning av stimulusintensitet). Det eventuella andra steget i samma riktning är lika stort som föregående steg. Det eventuella tredje steget i samma riktning förhåller sig till det andra enligt följande villkor; steget blir dubbelt så stort om den sista nivåförändringen innan den senaste teckenväxlingen var dubbelt så stor som föregående steg. Alternativt, steget blir lika stort om den sista nivåförändringen innan den senaste teckenväxlingen var lika stor som sin föregångare. Ett eventuellt fjärde steg i samma riktning blir dubbelt så stort som sin föregångare. Mätningen pågår tills nivåförändringen har antagit ett på förhand bestämt minsta värde. Som tröskel antas sedan det nivåvärde vid vilken nästa stimulering skulle ha skett. Metoden i sig kräver komplicerade matematiska beräkningar i dator, vilka utförs regelbundet under mätningens gång (Hall, 1981).

I figur 11 visas ett exempel på hur hörtrösklar upptäcks med PEST. Testproceduren påbörjas under hörtröskelnivån, punkt A. Om försökspersonen inte uppfattar stimulus presenteras ett stimulus på högre nivå, punkt B. Om svar fortfarande inte erhålls på denna, högre nivå, ökas stimuli med samma stegstorlek som föregående, punkt C. Om försökspersonen fortfarande

inte uppfattat stimuli, ökas intensiteten igen och då sker en dubbling, punkt D. Om positivt svar erhålls vid punkt D indikerar det att hörtröskeln passerats. Då ändras riktningen och nästföljande stegstorlek halveras. (Om däremot ett negativt svar erhålls vid punkt D fördubblas nästa steg). Om det medför ännu ett positivt svar presenteras stimulus på ännu en lägre nivå, punkt E. Ett negativt svar vid punkt E, medför att riktningen av stimuli ändras och stegen halveras i jämförelse med föregående. Om stimuli hörs igen på nästa nivå, F, ändras riktningen igen och stegstorleken halveras igen. Stimuli presenteras nu i en negativ riktning tills dess att försökspersonen inte längre uppfattar stimulus, punkt G. Stegstorleken halveras och ytterligare en gång ändras riktning mot ett positivt svar, punkt H. Detta indikerar att hörtröskeln ligger någonstans mellan G och H. Nivån där nästa stimuli skulle ha presenterats är den nivå som anses som hörtröskeln, punkt I, vilken finns mellan punkt G och H (Gelfand, 1998).



**Figur 11.** Ett typexempel på hörtröskelsökning med PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing) (Gelfand, 1998, p.256).

Den hörtröskelsökningsmetod som används i det aktuella mätsystemet är PEST men med två tillägg. Eftersom barn lätt blir okoncentrerade presenteras ett väl hörbart stimuli om inget positivt svar erhållits under fem efter varandra presenterade stimuli, för att återfå barnets uppmärksamhet. Ytterligare ett tillägg som införts är att ibland presenteras inget stimulus, detta uppkommer med cirka 10 % sannolikhet. Här kan de s.k. falska positiva och det sant negativa svaren uppstå (Leander, 1996).

### 3. RESULTAT

Vid bearbetning av resultaten var första steget att kategorisera de fördelar och nackdelar vi funnit i det datorstödda mätsystemet. De fördelar och nackdelar vi påträffat i systemet redovisas i stycke 3.2 och 3.3. Förslag på förbättring av dessa nackdelar kommer att behandlas i avsnitt 4. I nästa steg bearbetades tidsåtgången för hörselmätningarna och slutligen beräknades korrelationen mellan det skattade värdet på VAS-skalan och datorns beräknade noggrannhetsmått.

### 3.1 Förtest

Innan studien kunde genomföras var några förändringar nödvändiga att utföras. En första upptäckt var, att innan systemet slutligen fastställer en hörtröskel visades ej kommandot *Belöning*, även om stimuli utgång och svar registrerats. Detta har nu åtgärdats. En annan nödvändig förändring var att ändra den tillåtna svarsfördröjningen. Efter att ha testat systemet med hjälp av 3 vuxna som genom handuppräkning indikerat att de hört ett stimuli, kom vi fram till att den tillåtna svarsfördröjningen var för kort för att hinna registrera ett svar. Med tanke på att målgruppen var små barn, krävdes en ökad tillåten svarsfördröjning p.g.a. att det tar längre tid att uppfatta ett svar från ett barn i jämförelse med en vuxen. I denna studie användes en tillåten svarsfördröjning på 4000 ms.

### 3.2 Fördelar med systemet

Några av de fördelar vi funnit med systemet är att risken för att förälder eller observatör påverkar barnets reaktioner vid stimulering minimeras. Därmed elimineras en del av de felkällor som kan uppkomma vid denna typ av hörselmätning. Varken föräldrar eller observatörer har upplevt maskeringsbruset som särskilt obehagligt eller tröttsamt att lyssna på. Barnen har heller inte visat något större intresse av att ta av föräldrarnas hörlurar. Systemets användarvänlighet gör att man relativt snabbt lär sig att använda det. Ännu en fördel är att hörtröskeln från den manuella inlärningsfasen kan lagras och flyttas över till den automatiska delen. Detta kan ge en viss tidsbesparing eftersom hänsyn till den manuella hörtröskeln kan användas, vid val av utgångsnivån i den automatiska delen. En stor del i systemet är dess noggrannhetsmått, vilket ger en hänvisning till hur pass väl mätningen lyckats. Detta kan vara till nytta vid exempelvis barn med stor hörtröskelvariation, som antingen kan bero på observatörens förmåga att läsa av barnet eller av barnets svarsmönster. Med hjälp av noggrannhetsmättet kan man tänka sig att det kan leda till en säkrare mätmetod och undvikande av att exempelvis ställa diagnos på en osäker hörselmätning. Ytterligare en fördel är att den genomsnittliga tidsåtgången för en fulländad hörselmätning på normalhörande barn, känns för oss acceptabel. Datorn finns dessutom placerad utanför mätboxen för att eliminera eventuella stör ljud som kan uppkomma.

### 3.3 Nackdelar med systemet

Några av de nackdelar vi funnit i systemet handlar om hörlurar och dess maskeringsbrus, programmets layout, belöningssystemet samt tröskelsökningsmetoden.

#### 3.3.1 Hörlurar och maskeringsbrus

De halvöppna hörlurar som använts maskerade inte tillräckligt, vilket resulterade i att stimuli vid vissa nivåer och frekvenser hördes igenom. För att försöka maskera stimulus från högtalaren krävdes ett relativt högt maskeringsbrus. Både beroende på att det var halvöppna hörlurar som användes och att en relativt hög maskeringsnivå var nödvändig, läckte en del av bruset i hörlurarna ut. Med tanke på barnets placering i förälderns knä är detta inte önskvärt p.g.a. att en eventuell hörtröskelförsämring hos barnet kan uppkomma. Maskeringsbruset har varit på en konstant nivå under hela mätningen och presenterats via en portabel CD-spelare. Kommunikationen mellan observatör och barn påverkas negativt p.g.a. maskeringsbruset.

### 3.3.2 Programmets layout

Ikonerna, *Mätcykel* och *Respons* som finns i startfönstret är små och ligger för nära varandra. Ikonerna, *Utgång för stimulering* samt *Noggrannhet* och *Belöningsstid*, är centralt placerade på systemets startfönster, vilka saknar central betydelse under pågående mätning. Texten i den tomma rektangulära rutan, ovanför ikonerna *Mätcykel*, är tunn då den visar olika kommandon så som, mätcykel slut, belöning och mätning pågår. Efter varje avslutad patient måste programmet stängas ner och startas upp på nytt inför ny patient.

### 3.3.3 Belöningsystemet

Som systemet ser ut idag fungerar det inte med endast en observatör, eftersom ytterligare en person, manuellt måste aktivera belöningsystemet. Belöningsystemet visar gamla och detaljrika stillbilder.

### 3.3.4 Tröskelsökningsmetod

Under mätningens gång presenteras flera tysta signaler efter varandra, ibland t.o.m. 3-4 stycken. Den tillåtna svarsfördröjningen i systemet är grundinställd på 200 ms, vilket har visat sig vara alldeles för kort för att hinna observera och registrera ett svar. I dagsläget söker systemet hörtröskelvärderna även under 20 dB HL, ner t.o.m. -10 dB HL. Varje frekvens måste manuellt väljas inför en ny tröskelsökning. Mus- och tangenttryck hörs alldeles för tydligt och barnet kan då eventuellt sammankoppla det med stimulering.

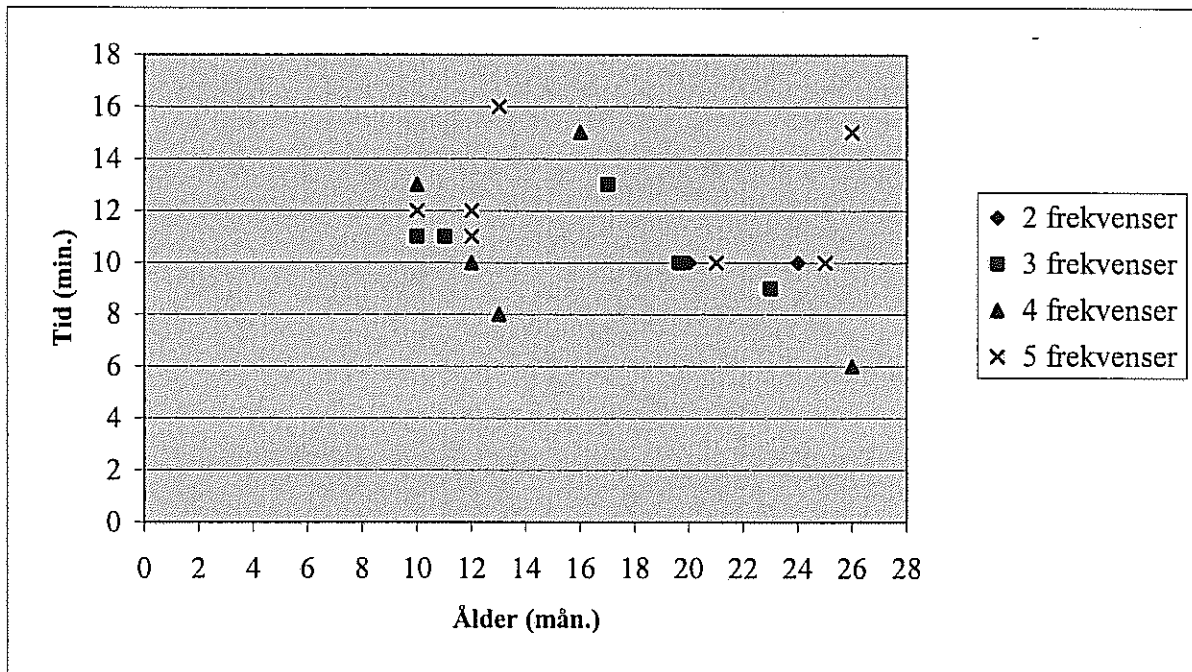
## 3.4 Subjektiv skattning

Beräkning av Pearson korrelation mellan vårt skattade värde på VAS-skalan och datorns noggrannhetsmått visar att  $p < 0.01$ ,  $r = 0.73$  och  $r^2 = 0.53$ .

## 3.5 Tidsaspekt

I figur 12 redovisas deltagarnas ålder, tidsåtgång samt antal uppnådda frekvenser. Medianen för tidsåtgången var 11 minuter, med en variationsbredd på 6-16 minuter. I de fall där maximalt antal frekvenser (5) inte uppnåts, har barnen tröttnat och mätningen därmed fått avbrytas.

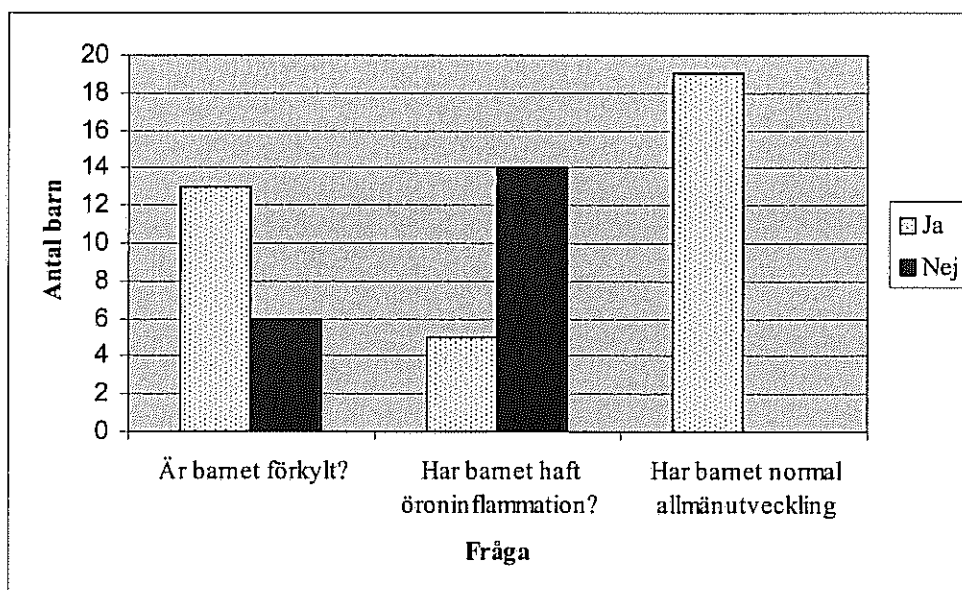




Figur 12. Deltagarnas ålder, tidsåtgång och antal frekvenser där tröskelvärde uppnåtts (vid ålder 20 månader, 10 minuter visas två punkter; 3 frekvenser respektive 2 frekvenser).

### 3.6 Frågor till föräldrar

Resultat från tre av de fyra frågor som avslutningsvis ställdes till föräldrarna efter hörseltestet redovisas i figur 13. De barn som enligt sina föräldrar varit förkylda på testdagen, har inte varit mer sjuka än att de kunnat medverka.



Figur 13. Resultat av frågor till förälder i samband med hörseltest.

### 3.6.1 Föräldrarnas kommentarer

Sista frågan var öppen, därför har vi valt att redovisa denna i löpande text. Föräldrarnas kommentarer av hörseltestet var övervägande positivt, flertalet upplevde inte maskeringsbruset som besvärande. En del föräldrar tyckte dock att det p.g.a. maskeringsbruset blev lite svårt att kommunicera med barnet, när det blev oroligt och inte ville sitta stilla. En förälder tyckte det var intressant att se vilken roll de spelade eftersom man som förälder vill att barnet ska höra. En del föräldrar kommenterade att de hörde igenom vissa signaler.

### 3.7 Individuella resultat från barnmätningarna

I tabell 4 och 5 redovisas barnens individuella resultat. Tabell 4 visar kön, ålder, tid, noggrannhetsmått samt vår egen skattning vid varje mättillfälle. Tabell 5 visar uppmätta hörtrösklar samt kommentarer.

Tabell 4. Barnens kön, ålder, tid, noggrannhet samt vår egen skattning

Barn nr:	Kön	Ålder (mån.)	Tid (min.)	Noggrannhetsmått (%)	Skattning VAS-skala (%)
1	P	10	12	60	35
2	F	17	13	59	10
3	P	12	10	59	50
4	F	12	12	72	60
5	P	25	10	74	70
6	F	26	15	85	70
7	F	10	11	83	70
8	F	10	13	77	60
9	P	13	16	74	80
10	P	11	11	87	65
11	P	21	10	68	85
12	P	13	8	81	80
13	P	23	9	100	90
14	P	20	10	71	50
15	F	20	10	83	75
16	F	24	10	75	70
17	F	26	6	77	70
18	F	12	11	65	70
19	F	16	15	66	60

Tabell 5. Uppmätta hörtrösklar för varje barn samt kommentarer

Barn nr:	0.5 kHz	1.0 kHz	2.0 kHz	3.0 kHz	4.0 kHz	Kommentar
1	35	35	35	40	30	
2		35	65	45		Hade med sig en bror i mätbox
3		40	50	40	35	
4	50	55	40	30	45	Mätsystemet trösklar snabbt vid 0.5 kHz och 1.0 kHz
5	30	35	15	30	30	Pratglad, ville gärna prata om belöningsbilderna
6	55	50	40	40	30	Otosalpingit, ska få plaströr
7		35	30	40		
8		40	35	30	30	
9	30	45	40	30	40	Släktingar med hörselnedsättning
10		55	60	50		Mycket glad och sprallig, tappar koncentration
11	50	35	40	50	40	Tröttnar efter 3 frekvenser, hade tid sen eftermiddag
12		0	50	35	40	Trånga hörselgångar. 1.0 kHz, tog för lång tid och tröttnade efter den frekvensen. Hade tid sen eftermiddag
13		25	30	30		
14		50	40			Varit på dagis hela dagen. Hade tid på sen eftermiddag Var väldigt trött
15		30	35	30		
16		40	20			Okoncentrerad, hade tid sen eftermiddag
17		-5	30	45	20	Blyg och vill inte ta ögonkontakt
18	30	15	45	30	20	
19	50		40	45	65	Okoncentrerad. Hade tid på sen eftermiddag

## 4. DISKUSSION

I vårt arbete var syftet att se hur det datorstödda mätsystemet fungerade i praktisk klinisk arbetssituation och hur stor tidsåtgången var. Vidare skulle vi försöka göra en bedömning om det mått som fås i programmet på säkerheten i testseansen, hade en rimlig överensstämmelse med observatörens subjektiva bedömning. Vårt mål var även att utvärdera fördelar och nackdelar med det datorstödda mätsystemet.

### 4.1 Hörlurar och maskeringsbrus

De halvöppna hörlurarna maskerade inte vissa frekvensmodulerade signaler tillräckligt och maskeringsbruset i hörlurarna läckte dessutom ut. Barnet som satt i förälderns knä hörde troligen maskeringsbruset från framförallt förälderns hörlurar. Detta kan ha varit en av förklaringarna till att vissa barns hörtrösklar var högre än vad som räknas som normala värden (30 dB HL i fritt fält). En annan trolig förklaring till de höga hörtröskelvärdena är vår egen begränsade erfarenhet av barnaudiometri. En lösning är att använda slutna hörlurar med en eventuell dämpning. Slutna hörlurar minimerar risken att maskeringsbruset läcker ut och dämpade hörlurar minimerar risken för att stimuli hörs igenom, både för förälder och observatör. Dämpningen medför även att en lägre maskeringsnivå behövs. I nuläget kan vi inte uttala oss om hur höga maskeringsnivåer som krävs för ett hörselskadat barn. Tanken med systemet är att maskeringsbruset endast ska presenteras under pågående mätcykel (även

under tyst mätcykel), men som det ser ut idag fungerar inte det. När maskeringen automatiseras kan den portabla CD-spelaren uteslutas.

Ett annat problem vi upptäckt är att p.g.a. maskeringsbruset blir kommunikation mellan barn och observatör bristfällig. Barn kräver viss respons på vad de säger, medan observatören omöjligt kan besvara denna p.g.a. maskeringsbruset i hörlurarna. Utan responsen tappar barnet intresse för både observatör och belöningsbilder. Observatören mister dessutom sin auditiva feed-back, vilket ökar svårigheten att hitta rätt röstläge och prosodi. Barnen kan därför tänkas uppleva att observatören pratar monotont och annorlunda, vilken kan leda till att de finner situationen märklig. Om maskeringsbruset endast presenteras under pågående mätcykel kan situationen förbättras.

## 4.2 Programmets layout

Programmet är användarvänligt, vilket vi finner positivt. Vi har dock vissa förslag på förändringar. Till att börja med har vi reflekterat över att ikonerna för *Mätcykel* och *Respons* är placerade för nära varandra. Genom att tydligt skilja dem åt och samtidigt göra dem större kan detta förbättras. I dagsläget känns det lätt att missa ikonerna *Respons* när svar ska registreras, vilket leder till att stimulivån höjs. Ett annat alternativ hade varit om dessa två ikoner markerats i två olika färger. Ikonerna för *stimulering*, *noggrannhet* och *belöningsstid* är centralt placerade. När en hörselmätning pågår är dessa av mindre betydelse. Ikonerna kunde lika väl placeras längre ner i detta fönster för att undvika att de stör under mätningens gång. Den tomma, rektangulära rutan ovanför ikonerna mätcykel indikerar med en tunn text bl.a. när en mätcykel startar och när en mätcykel är slut. Det kräver avläsning från skärmen vilket leder till ett flackande med blicken och det gör att fokus på barnet minskas. Ett förslag är att istället för text använda en vandrande, grön, liggande stapel under mätcykelns gång. Stapeln kan tänkas vandra från grönt mot rött, där rött indikerar att mätcykeln är slut. Detta skulle underlätta på så vis att man i ögonvrån skulle kunna utläsa när en mätcykel är slut och när en ny mätcykel kan påbörjas. Att programmet måste stängas ner och öppnas upp på nytt inför ny patient är troligen enkelt att åtgärda.

## 4.3 Belöningsystemet

Belöningsystemet aktiveras idag manuellt, vilket gör att det företrädesvis behövs 2 observatörer för att genomföra en hörselundersökning. När väl belöningsssystemet automatiseras krävs endast 1 observatör. De belöningsbilder som visas är gamla stillbilder och verkar upplevas ointressanta för barnen. En del av bilderna i belöningsssystemet är detaljrika, vilket troligen är ännu mindre intressant för barnen. En tänkvärd lösning kan vara att använda olika CD-skivor innehållande belöningsbilder anpassade för olika åldrar. För att fånga deras intresse anser vi att enklare bilder är att föredra, alternativt rörliga bilder. Med DVD-tekniken finns även möjlighet att använda sig av olika filmer, anpassade för olika åldrar. Föräldern skulle på så vis ha möjlighet att välja en passande DVD-film som skulle intressera barnet. Det finns även möjlighet att byta skiva om barnet tappar intresse. Som studier har visat är belöningsstidens duration avgörande för att behålla barnets intresse. En kortare duration på belöningsbild leder till att barnet kan koncentrera sig längre och bli mer intresserad av belöningen. Kanske bör därför belöningsstiden 4000 ms förkortas, när väl den automatiska belöningen är i funktion. Användandet av två olika typer av belöning, exempelvis bild och

dansande docka leder till att barnet kan hålla koncentrationen uppe längre. Skulle möjligheten att kunna tillgodogöra även denna aspekt ser vi detta som mycket positivt.

#### 4.4 Tröskelsökningsmetod

För att finna en hörtröskel finns flera olika tillvägagångssätt, varav PEST används i detta system. När det gäller barn är det viktigt att använda en snabb tröskelsökningsmetod eftersom arbetstiden är begränsad. Som det ser ut idag söker systemet hörtrösklar ner t.o.m. -10 dB HL och detta anser vi som onödigt eftersom barnet då hinner tappa koncentrationen. Istället för att försumma tid på låga stimuleringsnivåer under 20 dB HL vid en aktuell mätfrekvens, skulle kanske ytterligare en hörtröskelfrekvens kunna ha fastställts. Vårt önskemål är att den tröskelsökningsmetod som används i systemet inte arbetar under 20 dB HL för de äldre barnen (> 2 år) och 30 dB HL för de yngre barnen (< 2 år). Vad gäller PEST-metoden som arbetar i steg med regler för halvering respektive dubbling, ser vi svårigheter rent tekniskt med en sådan förändring. Vi vet heller inte om PEST-metoden är mer effektiv att använda i jämförelse med den traditionella Hughson-Westlake-metoden, som används vid observationsaudiometri. 10 % av systemets stimuli är tysta (grundinställt på 10 %), vilket är randomiserat. I dagsläget finns en tveksamhet i programmets slumpgenerering, ibland uppkommer flera tysta stimuli efter varandra. I de fall där detta uppkommit har konsekvensen blivit att barnet tappat koncentrationen och i vissa fall har mätningen fått avbrytas. Detta har visat sig vara en bugg i programmet som troligen är lätt att åtgärda.

Den tillåtna svarsfördröjningen är grundinställd på 200 ms och det anser vi är helt orimligt för att hinna registrera ett svar. Grundinställningen bör förlängas, så att man inte behöver gå in och göra en ändring för varje ny patient. Vad som är en rimlig tid kräver ytterligare studier. I efterhand har vi reflekterat över att 4000 ms kan ha varit för lång tid. Testfrekvens väljs idag manuellt, ett förslag på förbättring är att detta automatiseras, så att innan varje hörselmätning påbörjas markeras de frekvenser som ska undersökas. För att undvika att tangenttryck hörs alldeles för tydligt och samtidigt minimera risken för att barnet ska sammankoppla handrörelser och knapptryckning med stimulering, kan en fotpedal lösa delar av den problematiken. Med fotpedalen startas varje mätcykel och även svar kan tänkas registreras med hjälp av denna. Ett annat alternativ vore självklart att använda ett tystare tangentbord. När hörselmätningar utförs i fritt fält, kan inte säker sidoskillnad konstateras. Information om detta kan fås genom att använda instickstelefoner, vilket vi anser vara en bra lösning. Detta kan dock skapa vissa problem hos de äldre barnen, eftersom de troligen har svårare att acceptera instickstelefonerna.

Kalibreringsvärdet vid 4.0 kHz visar något förhöjt värde, vilket vi ej korrigerade inför denna studie. Detta var vi medvetna om men för syftet i denna studie hade detta mindre betydelse. Syftet var inte att fastställa exakta hörströsklar hos barnen.

#### 4.5 Subjektiv skattning

Korrelationen mellan vår egen skattning av mätningen och datorns noggrannhetsmått är en indikation på tämligen god överensstämmelse. För att kunna säkerställa detta resultat krävs dock ett större antal mättillfällen. Med tanke på vår begränsade erfarenhet av barnaudiometri ser vi detta som positiva resultat. Möjligheterna att göra korrekta bedömningar av

svarsreaktionerna är naturligtvis beroende av hur tydligt barnets ljudreaktioner är och av observatörens erfarenhet.

## 4.6 Tidsaspekt

Vad gäller tidsaspekt av hörselmätningarna finns flera faktorer som kan ha haft negativ inverkan, dels ålder på barnet, tidpunkt på dagen då hörselundersökningen utfördes, observatörens förmåga att läsa av barnet, barnets intresse för hörselmätningen samt antal frekvenser som uppnåts. De barn som kom sent på eftermiddagen upplevde vi oftast trötta och mer okoncentrerade än de som kom på förmiddagen. Ofta hade barnen varit på dagis hela dagen. En annan faktor som kan ha inverkat är åter igen vår begränsade erfarenhet av barnaudiometri. Kanske utgör erfarenhet av barnaudiometri även att tidsåtgången för hörselundersökningen förkortas.

## 4.7 Framtida studier

För att fullt ut kunna utvärdera detta mätsystem, krävs ytterligare studier.

Det skulle vara av intresse att jämföra den VRA-metod som idag används kliniskt med det datorstödda VRA-systemet. Dels skulle tidsåtgång kunna jämföras, men även en jämförelse mellan fastställda hörtrösklar. Då skulle möjligheten att dra slutsatser om hörtrösklarnas relevans finnas. Hörtrösklarnas relevans med det datorstödda mätsystemet skulle även kunna påvisas genom att testa samma barn flera gånger med det datorstödda VRA-systemet. Problemet med jämförelser av denna typ är att samma barn måste ingå flera gånger, vid samma tidpunkt, inom kort tidsperiod (p.g.a. utvecklingsålder) samt att förslagsvis samma observatör används.

För att ytterligare kunna utveckla systemet skulle det vara av stort intresse från vår sida att även låta en erfaren barnaudiolog uttala sig om detta system. Kanske upplever de systemet annorlunda än vi? Om en erfaren barnaudiolog utförde hörselmätningen kanske resultaten även blivit annorlunda. Det hade dessutom varit intressant att se hur pass mycket noggrannhetsmättet skulle skilja sig i dessa fall. Hade den subjektiva skattningen sett annorlunda ut? Hur hade den i så fall skiljt sig från vår?

## 5. SLUTSATS

I samband med denna studie är det första gången det datorstödda mätsystemet utvärderas och detta arbete ser vi endast som ett led i en vidareutveckling mot ett färdigt system. Våra resultat indikerar att det datorstödda mätsystemet går att använda kliniskt praktiskt, men att vissa förändringar bör utföras. Vi har också förslag på förbättringar i systemet, vilka har redovisats. Att dra några direkta slutsatser angående tidsåtgång känns i dagsläget inte korrekt eftersom antalet deltagare har varit relativt få. Resultat indikerar dock att tidsåtgången för en genomsnittlig hörselundersökning känns acceptabel. Korrelationen mellan vårt eget skattade värde och datorns beräknade noggrannhetsmått visar en relativt god överensstämmelse i bedömningarna.

Som mätsystemet ser ut idag ser vi detta som ett komplement till den nuvarande hörseldiagnostiken på barn. När systemet kompletteras med förslag, framtagna i detta arbete, kommer systemet i sig självt att kunna användas till en stor del av barnen vid framtida observationsaudiometri.

## **6. TACK**

Ett varmt tack vill vi framföra till:

**Leif Hergils**, vår handledare.

**Björn Leander**, för stort intresse och engagemang att få systemet i bruk.

**Reza Zarenoe**, för goda råd.

**Torsten Pettersson**, för god hjälp.

**Anette Lagergren**, för god hjälp.

**Inger Gustavsson**, för tillgång till din pärm med barnlister.

**Anders Jönsson**, som alltid ställer upp med ett brinnande intresse.

**Einar Jón Einarsson**, för visat intresse, stöd och hjälp under arbetets gång.

**Phonak**, för fina nyckelringar.

**Sennheiser**, för gulliga plaströrelser.

**Oticon**, för mysiga flodhästar.

**Alla barn och föräldrar**, som ställt upp och gjort denna studie möjlig.

Lund 2004-05-20

Cornelia Bredberg och Katarina Karlsson



## 7. REFERENSLISTA

- Anniko, M. (2001). *Öron, näs- och halssjukdomar, huvud och halskirurgi*. (2 nd ed.). Stockholm: Liber AB.
- Culpepper, B., & Thompson, G. (1994). Effects of Reinforcer Duration on the Response Behavior of Preterm 2-Year-Olds in Visual Reinforcement Audiometry. *Ear and Hearing, 15*:161-167.
- Gelfand, S.A. (1998). *Hearing an introduction to psychological and physiological acoustics*. (3 rd ed.). New York: Marcel Dekker.
- Hall, J.L. (1981). Hybrid Adaptive Procedure for Estimation of Psychometric Functions. *The Journal of the Acoustical Society of America, 69*:1763-1769.
- Kankkunen, A. (1982). *Barnaudiologi*. Uppsala: Almqvist & Wiksell.
- Leander, B. (1996). *Datorstött mätsystem för barnaudiometri*. (Examensarbete från Linköpings tekniska högskola). Linköpings universitet, Institutionen för medicinsk teknik, 581 85 Linköping.
- Moore, J., Wilson, W., & Thompson, G. (1977). Visual Reinforcement of Head-turn Responses in Infants under 12 months of Age. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 42*:328-334.
- Moore, J.M., Thompson, G., & Thompson, M. (1975). Auditory Localization of Infants as a Function of Reinforcement Conditions. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 40*:29-34.
- Northern, J.L. & Downs, M.P. (2002). *Hearing in children*. (5<sup>th</sup> ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- SAME (1990). *Handbok i hörselmätning*. Stockholm: CA Tegner AB.
- Schmida, M.J., Peterson, H.J., & Tharpe, A.M. (2003). Visual Reinforcement Audiometry Using Digital Video Disc and Conventional Reinforcers. *American Journal of Audiology, 12*:35-40.
- Suzuki, T., & Ogiba, Y. (1961). Conditioned Orientation Reflex Audiometry. *Archives of Otolaryngology, 74*:192-198.
- Taylor, M.M., & Douglas Creelman, C. (1967). PEST: Efficient Estimates on Probability Functions. *The Journal of the Acoustical Society of America, 41*:782-787.
- Thompson, G., Thompson, M., & McCall, A. (1992). Strategies for Increasing Response Behavior of 1-and 2-Year-Old Children During Visual Reinforcement Audiometry (VRA). *Ear and Hearing, 13*:236-240.
- Watrous, B.S., McConnell, F., Sitton, A.B., & Fleet, W.F. (1975). Auditory Responses of Infants. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 40*:357-366.

Werner, L.A. (1995). *Observed-based approaches to human infant psychoacoustics*, Opublicerat manuskript.

Werner, L.A., & Boike, K. (1999). Infants' Sensitivity to Broadband Noise. *Acoustical Society of America*, 109:2103-2111.

Werner, L.A., & Kopyar, B. (1994). *A procedure for developing effective visual reinforcers for infant psychoacoustics*, [WWW dokument]. URL <http://www.aro.org/archives/1994/286.html>

Widén, J.E. (1990). Behavioral Screening of High-risk Infants Using Visual Reinforcement Audiometry. *Seminars in Hearing*, 11:342-346.

Yoshinaga-Itano, C., Sedey, A.L., Coulter, D.K., & Mehl, A.L. (1998). Language of Early- and Later- identified Children with Hearing Loss. *Pediatrics*, 102:1161-1171.

BARN NR:

**Frågor till föräldrar.**

1. Är barnet förkyllt?

.....  
.....  
.....

2. Har barnet haft öroninflammation?

.....  
.....  
.....

3. Har barnet normal allmänutveckling?

.....  
.....  
.....

4. Hur upplever du hörseltestet?

.....  
.....  
.....



Linköping 2004-03-29

**Information till föräldrar**

Vi är två audionomstudenter från Lunds universitet som just nu läser vår åttonde och sista termin. I denna termin ingår ett vetenskapligt arbete, som kommer att utföras på universitetssjukhuset i Linköping. Vår handledare kommer att vara Leif Hergils, överläkare, docent, på audiologiska avdelningen.

Studien gäller test av förbättrad mätmetod vid hörselmätningar på barn i 7-26 månaders ålder. I denna ålder får man presentera ett för barnet intressant ljud i högtalare och testledaren ska sedan avgöra om barnet uppfattat ljudet eller inte genom att avläsa barnets beteende. Efter att ljud presenteras kommer en trevlig bild att visas för barnet som belöning. När barnet lärt sig kopplingen mellan ljud och presentation av belöningsbild på bildskärm kan man sedan bedöma om barnet hört testljudet, genom att se barnet vända sig mot bildskärmen för att få sin bildbelöning. Denna mätmetod innehåller en del osäkra moment, bl.a. att barnets reaktioner varierar i tydlighet, sättet på vilket de visar att de uppfattat ett ljud och den risk som finns för omedveten påverkan via föräldern eller testledaren.

Nu har en mätmetod utvecklats för att minska dessa osäkra moment. Vi vill nu testa denna mätmetod i praktiskt bruk. Mätmetoden innebär ingen skillnad för barnets del mot nuvarande mätmetod.

Hörselmätningen kommer att utföras i ett ljudisolerat mättrum. Under mätningen kommer barnet att sitta i ert knä med ansiktet mot testledaren. Barnet kommer att höra ljud i högtalare och testledaren ska försöka avgöra om barnet hör, genom att studera barnets kroppsspråk. Ni kommer att få ha hörlurar med brusande ljud i, under själva mätningen, för att undvika omedveten påverkan på ert barn. Ni förväntas själv inte medverka på något aktivt sätt under mätningen.

Testet kommer att pågå ca 1 timme och är helt ofarligt för barnet. Vi kommer inte att presentera höga eller skadliga ljud. Deltagandet är helt frivilligt och testen kan när som helst avbrytas utan motivering. Barnet kommer att vara anonymt vid resultatsammanställningen, resultaten avidentifieras redan vid insamlingen. Medverkan eller avböjande av medverkan i studien kommer inte att på något sätt påverka fortsatta kontakter med sjukvården.

De barn som kommer att medverka kommer att få en liten present som tack för hjälpen!

Ditt barn är välkommet att delta **den \_\_\_\_\_ klockan \_\_\_\_\_**. Testet kommer att utföras på hörselvårdsavdelningen i Linköping, plan 11. Var god sitt ner i väntrummet så kommer vi och hämtar er. Vid förhinder, vänligen kontakta Katarina eller Cornelia på telefonnummer 070-xx xx xxx snarast möjligt. På så vis kan vi försöka hitta någon annan som kan medverka i ert ställe.

Med vänliga hälsningar

---

Katarina Karlsson

---

Cornelia Bredberg

---

Leif Hergils

Jag kommer nu att presentera ljud ifrån högtalarna. (barnets namn) kommer då att vrida huvudet eller på något annat sätt visa att hon/han hört ljudet. Min uppgift blir att titta på (barnet namn) och avgöra om hon/han hört. En bild kommer att presenteras på monitorn när han/hon visat att det hört. Du kommer att få ha hörlurar med brusande ljud under hela mätningen, jag kommer också att ha sådana hörlurar men sätter på mig dem efter en viss tid. Det brusande ljudet kommer att finnas under hela mätningens gång. Du behöver inte göra någonting under mätningen, bara sitta tyst och stilla. Min kollega kommer att sköta om belöningsbilderna som kommer att visas på monitorn och eventuellt även hjälpa till under mätningen, genom att ibland ta fram en leksak för att få (barnets namn) att titta framåt.