



We help ideas meet the real world

Rapport

Undersøgelse af kalibrering af taleaudiometri

Udført for AMGROS

Sagsnr.: A900292

Side 1 af 21

5. marts 2010

DELTA
Dansk Elektronik,
Lys & Akustik

Teknisk-Audiologisk
Laboratorium
Edisonsvej 24
5000 Odense C
Danmark

Tlf. +45 72 19 41 00
Fax +45 72 19 41 01
www.delta.dk
CVR nr. 12275110

Titel
Undersøgelse af kalibrering af taleaudiometri

Sagsnr.
A900292

Vores ref.
SLJ

Rekvirent
AMGROS

Rekvirentens ref.

DELTA, 5. marts 2010

Søren L. Jørgensen
Teknisk-Audiologisk Laboratorium



Indholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| 1. Indledning | 4 |
| 2. Kalibrering af taleaudiometri | 4 |
| 2.1 Kalibrering af forskellige øre-/hovedtelefoner | 5 |
| 3. Undersøgelse af taleaudiometrikalibrering | 5 |
| 4. Resultater af taleforståelighedstests | 6 |
| 5. Tekniske målinger / kalibrering | 9 |
| 6. Beregninger | 10 |
| 7. Konklusion | 14 |
| 8. Litteratur | 14 |
| 9. Appendiks A | 16 |
| 10. Appendiks B | 20 |
| 10.1 Tilnærmelse til den psykometriske funktion | 20 |
| 10.2 Estimering af den psykometriske funktion | 21 |

1. Indledning

Baggrunden for denne undersøgelse er, at Vejle Sygehus har skiftet fra TDH-39 hovedtelefoner til ER-3A insert phones ved deres audiometre, og efterfølgende har de rapporteret om ændret tærskel for talesaudiometri. Det skal undersøges, om der skal benyttes en anden procedure for kalibrering af taleaudiometri end den, der er beskrevet i standarden IEC 60645-2. For eksempel foreskriver databladet for ER-3A, at taleaudiometri skal justeres til 12,5 dB SPL i en 2CC-kobler med henvisning til ANSI-standard, ANSI S3.6. IEC 60645-2 foreskriver 20 dB SPL. Erfaringerne på Vejle Sygehus er, at 12,5 dB SPL for ER-3A stemmer bedre overens med TDH-39 kalibreret til 20 dB SPL, end når de begge er kalibreret i overensstemmelse med IEC 60645-2.

2. Kalibrering af taleaudiometri

Talesignaler, som dem der indgår i taleaudiometritests, er bredspektrede, tidsvarierende signaler, så når man kalibrerer et audiometer til taleaudiometri, benytter man ofte et kalibreringssignal, som består af en 1 kHz tone med samme RMS-niveau som de ordlister, der indgår i en taletest. Dette er tilfældet for spor 20 på DANTALE-CD'en (Elberling et al.).

Den øre-/hovedtelefon, man ønsker at kalibrere, placerer man på en akustisk kobler med en tilsluttet lydtryksmåler (eller lignende), hvorefter man med 1 kHz-kalibreringssignalet tændt justerer forstærkningen i audiometeret, så man opnår et bestemt lydtryk (dB SPL: Sound Pressure Level) fra telefonen i kobleren.

I forbindelse med toneaudiometri benyttes dB HL-skalaen (Hearing Level) til at angive, hvordan et lydtryksniveau er i forhold til en normalhørende for de forskellige frekvenser, således at 0 dB HL svarer til det niveau, hvor en normalhørende lige netop kan høre en tone med en given frekvens. For taleaudiometri er 0 dB HL det niveau, hvor 50% af ordene i taletesten kan forstås. Derfor afhænger kalibreringsniveauet af taletestens opbygning (f.eks. enkeltord eller sætninger), og hvor svært talematerialet er at forstå. Der er derfor reelt set et kalibreringsniveau til hver enkelt taletest. For DANTALE's voksenordlister er det fundet, at niveauet af kalibreringssignalet svarende til 50 % teleforståelighed er 28,15 dB SPL (se Keidser, G.).

Hvis man ønsker at opnå en ensartet kalibrering af audiometre til taleaudiometri, eller hvis man ikke kender et talemateriales kalibreringsniveau, benyttes der ofte en standardiseret kalibreringsmetode. Standarden IEC 60645-2, som er gældende i Danmark, foreskriver, at man for et repræsentativt udvalg af taletests kan kalibrere taleaudiometrien, så kalibreringssignalet med 20 dB SPL i kobleren svarer til 0 dB HL. Det betyder, at hvis man be-



nytter IEC 60545-2 til kalibrering af DANTALE-cd'en, skal man egentligt regne med at opnå 50% taleforståelighed af voksenordlisterne ved ca. 8 dB HL. Tilsvarende er det beskrevet i databladet for ER-3A, at man ifølge standarden ANSI S3.6 skal kalibrere taleaudiometrien, så kalibreringssignalet med 12,5 dB SPL svarer til 0 dB HL.

2.1 Kalibrering af forskellige øre-/hovedtelefoner

I forbindelse med audiometri benyttes ofte tre typer øre-/hovedtelefoner; hovedtelefonerne TDH-39 og HDA 200 samt øretelefonen ER-3A eller den nyere ækvivalente ER-5A. Frekvenskarakteristikkerne for øre-/hovedtelefonerne er forskellige. Det betyder ikke så meget ved toneaudiometri, hvor man så blot skal finde et sæt kalibreringsværdier for hver type ved de audiometriske frekvenser.

I forbindelse med taleaudiometri forholder det sig imidlertid anderledes, da talesignaler som nævnt er bredspektrede signaler. Det betyder, at øre-/hovedtelefonernes frekvenskarakteristik (vægten mellem forskellige frekvenser) får indflydelse på, hvor højt talesignalet skal være for at opnå en given taleforståelighed, også selv om man har kalibreret taleaudiometrien til samme niveau ved 1 kHz.

I forbindelse med TDH-39 og HDA 200 hovedtelefonerne er der standardiserede værdier til at kalibrere taleaudiometri i forhold til taleaudiometri i frit felt. Disse korrektionsværdier kunne benyttes til at finde sammenlignelige taletærskler med forskellige typer hovedtelefoner ved at indføre en equalizer i audiometeret til at "glatte" øre-/hovedtelefonernes frekvensgang ud. Det er dog ikke lykkedes at finde tilsvarende værdier for ER-3A. Desuden benytter man oftest de forskellige telefontyper uden equalizer til frekvenskarakteristikken.

3. Undersøgelse af taleaudiometrikalibrering

Der er der lavet en række taleaudiometritests med THD-39, HDA 200 og ER-3A, for at undersøge individuelle forskelle i kalibrering af taleaudiometri. Først er et sæt THD-39 hovedtelefoner kalibreret med et Madsen Aurical audiometer, og disse bruges efterfølgende som reference.

Herefter har en nogle forsøgspersoner lavet taleaudiometritests med alle tre telefontyper, uagtet at de to typer ikke har været kalibreret. Herved kan der findes individuelle forskelle mellem telefonerne.

Forsøgene er afviklet, så der er gennemført en hel voksenordliste på 25 ord fra DANTALE ved et lavt niveau, som forventes at ligge under 50%-taleforståelighedspunktet på den psykometriske funktion, og en liste ved et højere niveau, som forventes at ligge over 50%-punktet. Forsøgsplanen ses i Appendiks A. På baggrund af resultatet fra de to tests kan



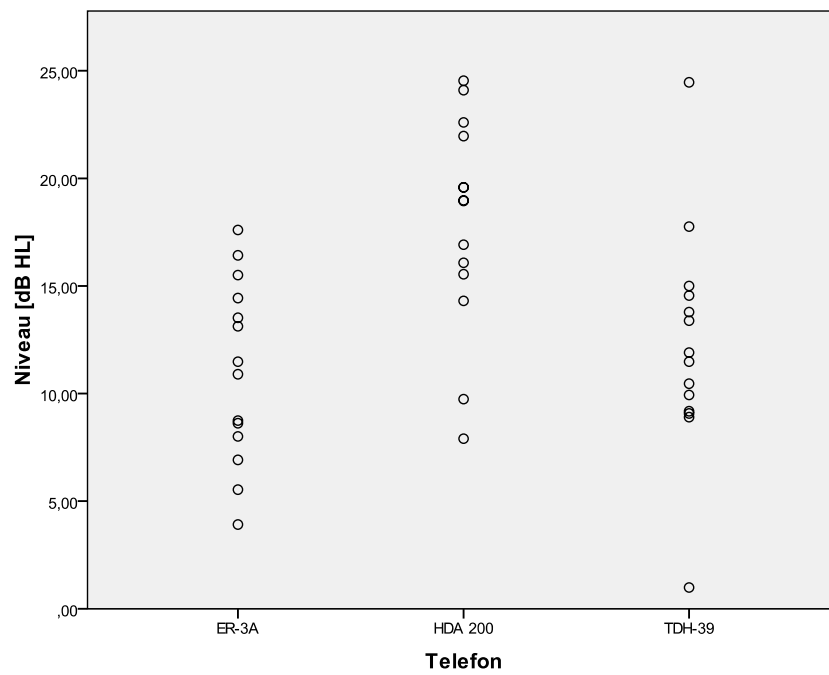
50%-punktet på den psykometriske funktion bestemmes. Dette gøres ved at benytte en tilnærmelse til den kumulative normalfordelingsfunktion, som hedder den logistiske funktion. Beregningerne er gennemgået i Appendiks B.

Der er 14 forsøgspersoner, som har gennemført hele testen; alle havde normal hørelse. Testene blev kun gennemført på et af forsøgspersonernes ører – hovedsageligt det højre øre. En forsøgsperson gennemførte ikke forsøget pga. konstateret høretab. Forsøget blev gennemført i et lokale på Odense Universitetshospital i DELTAs lokaler i forbindelse med høreklubben, hvor baggrundsstøjen var forholdsvis lav. Forsøget blev ikke gennemført i en lydboks.

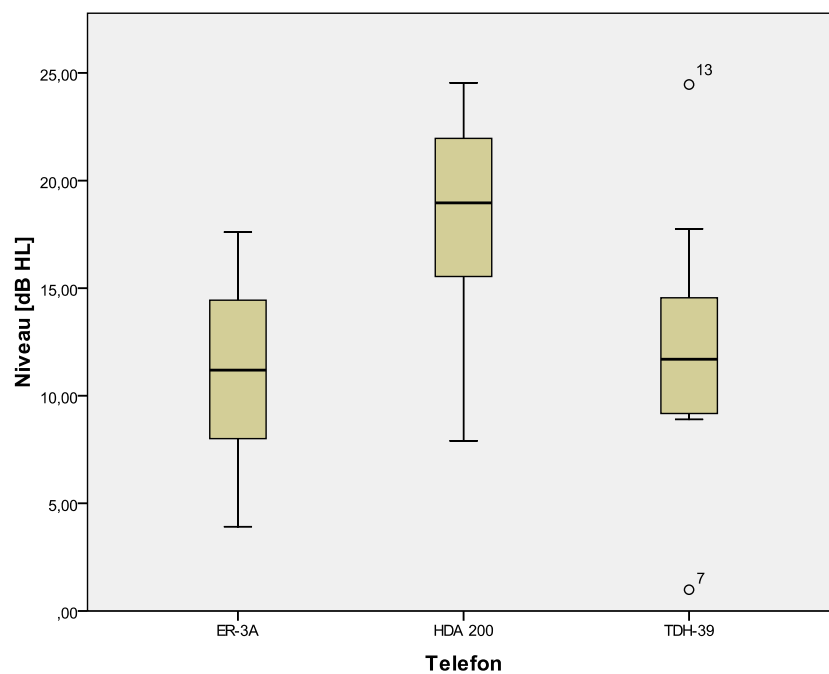
4. Resultater af taleforståelighedstests

Resultaterne fra forsøget for de tre typer telefoner udgør antallet af korrekt forståede ord, og ved hvilket niveau på audiometeret dette er opnået (i dB HL) for de to punkter på den psykometriske funktion for hver forsøgsperson. De er efterbehandlet i Excel. Det udregnede 50%-punkt pr. hovedtelefon og forsøgsperson har en vis usikkerhed, især i enkelte situationer, hvor det ikke er lykkedes at ramme to punkter, som ligger i hver ende af den psykometriske funktion. Derfor er der f.eks. et beregnet 50%-punkt, som ligger ved ca. 1 dB HL.

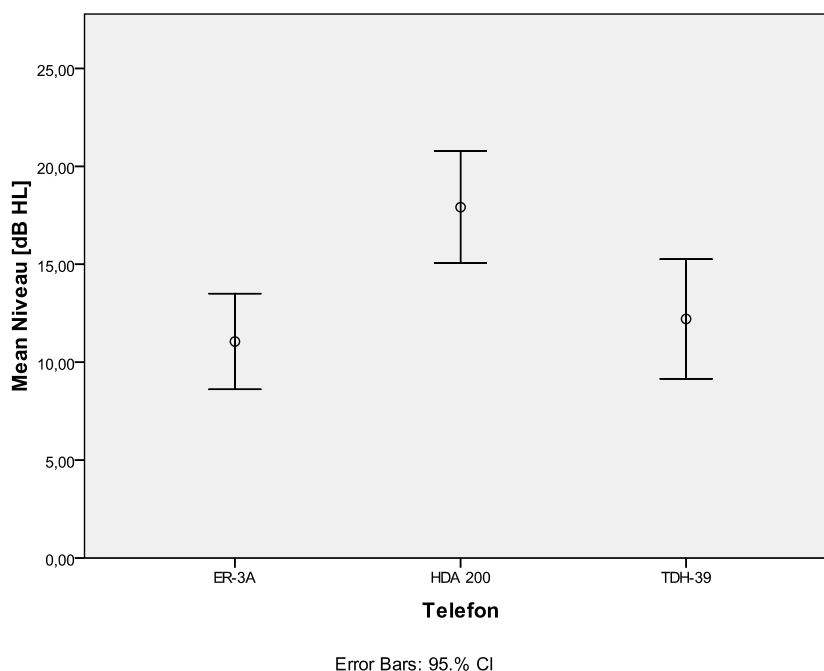
De beregnede 50%-taleforståelighedsniveauer er overført til statistikprogrammet SPSS PASW Statistics 17.0. Her er der lavet grafer med scatterplot, box-plot og middelværdi og 95%-konfidensintervaller for hver hovedtelefon. Graferne ses herunder.



Figur 1. Scatterplot af resultaterne for hver hoved-/øretelefon.



Figur 2. Boxplot for resultaterne for hver hoved-/øretelefon.



Figur 3. Middelværdi og 95%-konfidensinterval for hver hoved-/øretelefon.

Det ses af Figur 3, at der ikke findes en statistisk signifikant forskel i middelværdierne for ER-3A og TDH-39, når der laves taleaudiometri med de to hovedtelefoner på audiometeret, som er kalibreret til TDH-39 hovedtelefonerne. Derimod skal audiometeret skrues signifikant højere op, hvis man benytter HDA 200 hovedtelefonerne i den tilsvarende situation. Middelværdien for hver hovedtelefon ses i tabellen herunder, og der er ca. 1,2 dB forskel mellem TDH-39 og ER-3A. HDA 200 er mere end 5 dB højere. Det skal dog bemærkes, at resultaterne for ER-3A og HDA 200 som tidligere nævnt ikke er kalibreret, da audiometeret kun blev kalibreret til TDH-39.

Report

| Niveau [dB HL] | | | |
|----------------|------|----|----------------|
| Telefon | Mean | N | Std. Deviation |
| ER-3A | 11,1 | 14 | 4,2 |
| HDA 200 | 17,9 | 14 | 4,9 |
| TDH-39 | 12,2 | 14 | 5,3 |
| Total | 13,7 | 42 | 5,6 |

Tabel 1. Gennemsnitsniveauet for hver telefon er beregnet.

Af scatterplottet på Figur 1 ses, at der for TDH-39, som er uden støjkopper, nok har været rigeligt med baggrundsstøj i lokalet under testene. Dette ses, da der generelt er en begrænsning nedad i niveau i forhold til de to andre telefoner (bortset fra den tidligere nævn-

te tvivlsomme værdi på ca. 1 dB HL). Baggrundsstøjsniveauet blev ligeledes kommenteret af nogle forsøgspersoner i forbindelse med TDH-39.

5. Tekniske målinger / kalibrering

Det er ved taletestene fundet, at der ikke er signifikant forskel mellem TDH-39 og ER-3A. Imidlertid er det som nævnt kun TDH-39, som inden testen fik kalibreret taleaudiometri ved 1 kHz med en ren tone. Derfor laves der en måling af niveauet for de tre hovedtelefoner ved 1 kHz for at kunne kompensere taletestresultaterne med forskelle i følsomheden ved 1 kHz.

Kalibreringen med 1 kHz-tonen er foretaget ved 65 dB HL på audiometeret, og niveauet er målt i en akustisk kobler, som anvendes med den respektive hoved- / øretelefon. Da audiometeret er kalibreret i henhold til IEC 60645-2 (hvor 0 dB HL svarer til 20 dB SPL) forventes et niveau omkring 85 dB SPL for TDH-39 hovedtelefonen. Resultatet af kalibreringen af taleaudiometri for de tre hoved- / øretelefoner ses i tabellen nedenfor.

| Telefon | Kobler | Målt niveau, dB SPL @ 65 dB HL iht. IEC 60645-2 |
|---------|--|---|
| TDH-39 | 6CC-kobler | 85,1 dB |
| ER-3A | 2CC-kobler | 81,6 dB |
| HDA 200 | Artificial Ear simulator (IEC 60318-1) | 72,0 dB |

Tabel 2. Tabellen viser kalibreringsniveauet for TDH-39, ER-3A og HDA 200 i SPL ved et input på 65 dB HL (i henhold til IEC 60645-2, dvs. 20 dB offset i forhold til SPL). Audiometeret er justeret til TDH-39. Ligeledes er det angivet, hvilken kobler der er målt med.

Det ses af Tabel 2, at TDH-39 er kalibreret korrekt indenfor en acceptabel tolerance på 0,1 dB. Desuden ses det, at ER-3A og HDA 200 med audiometerets justering/kalibrering giver et lavere lydtryk end TDH-39, og at visningen (i dB HL) i audiometerets software derfor er højere end det reelt opnåede lydtryk. Derfor beregnes relative korrektioner for de to transducertyper i forhold til TDH-39, så der kan beregnes ”korrekte” kalibrerede resultater for taleforståelighedstesten.

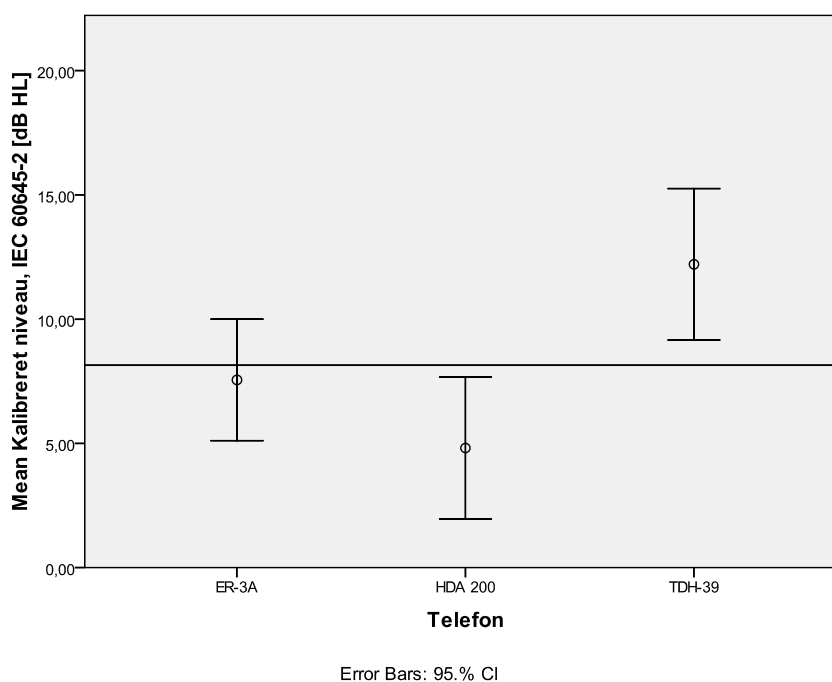


| Telefon | Korrektion i niveauer re. TDH-39 |
|---------|----------------------------------|
| TDH-39 | 0 dB |
| ER-3A | 3,5 dB |
| HDA 200 | 13,1 dB |

Tabel 3. Tabellen viser den korrektion, resultaterne fra taletesten skal ændres med for at opnå kalibrerede resultater for alle tre typer af hoved-/øretelefoner.

6. Beregninger

”Kalibrerede” resultater fra taleaudiometritesten kan nu beregnes ud fra korrektionerne i Tabel 3, så man får en graf tilsvarende den i Figur 3. Resultatet ses i Figur 4 og er i dB HL i henhold til IEC 60645-2.



Figur 4. Middelværdi og 95%-konfidensinterval af det kalibrerede lydtryksniveau (dB HL i henhold til IEC 60645-2) fra taleaudiometritesten for hver hoved-/øretelefon. Referenceniveauet på 28,15 dB SPL (se Keidser, G.) svarende til 8,15 dB HL for DANTALE-CD’ens voksenordlister er tilføjet og gælder for TDH-39 (vandret linje).

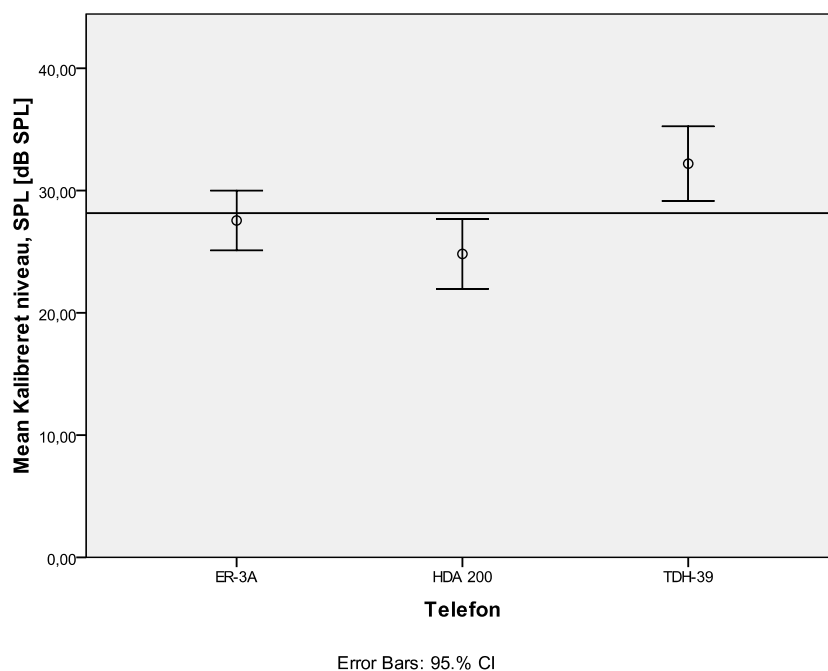
Det ses af de kalibrerede resultater fra taleaudiometriforsøget, at 50%-punktet for TDH-39 og ER-3A nu ikke længere er helt så sammenfaldende. Der er noget i retningen af 4½ dB forskel mellem middelværdierne for TDH-39 og ER-3A. Nu stemmer resultaterne for ER-3A og HDA 200 mere overens.

I Figur 4 er der desuden indført en linje, som viser det niveau for 50% taleforståelighed, som er fundet for voksenordlister i forbindelse med valideringsprojektet for DANTALE-cd'en (se Keidser, G.). I den forbindelse er der brugt en TDH-39 hovedtelefon, men en artificial ear-simulator til kalibrering (den tekniske rapport for DANTALE (Elberling et al.) benytter en TDH-39 med en 6CC-kobler). En kontrolmåling viser dog, at forskellen mellem de to koblere ligger inden for ½ - 1 dB, når 1 kHz-kalibreringssignalet gengives over en TDH-39 hovedtelefon.

Sammenligner man resultatet fra de gennemførte taletests med resultaterne fra valideringen af DANTALE, ses det, at for TDH-39 er niveauet for 50% taleforståelighed i dette forsøg højere end fundet i forbindelse med udarbejdelsen af DANTALE. Dette kan skyldes, at der ved den gennemførte forundersøgelse har været lidt baggrundsstøj i lokalet, hvor forsøget blev gennemført. Der er som tidligere nævnt ikke benyttet en audiometri-boks/lydboks, og dæmpningen af baggrundsstøj i TDH-39 (uden støjkopper) er begrænset. Et tilsvarende forbehold er ikke gældende for ER-3A og HDA 200 i dette tilfælde, da de har tilstrækkelig dæmpning af baggrundsstøj.

Det fundne niveau for ER-3A er sammenligneligt med resultatet fra DANTALE's valideringsprojekt, mens HDA 200 ligger en smule under.

Som følge af kalibreringen til IEC 60645-2 kan man ved at lægge 20 dB til resultaterne i Figur 4 få resultaterne for 50%-taleforståelighed i SPL. Resultatet ses i Figur 5 og Tabel 4.



Figur 5. Middelværdi og 95%-konfidensinterval af det kalibrerede lydtryksniveau for taleaudiometritesten omregnet til dB SPL for hver hoved-/øretelefon. Referenceniveauet (se Keidser, G.) på 28,15 dB SPL for DANTALE er tilføjet og gælder for TDH-39 (vandret linje).

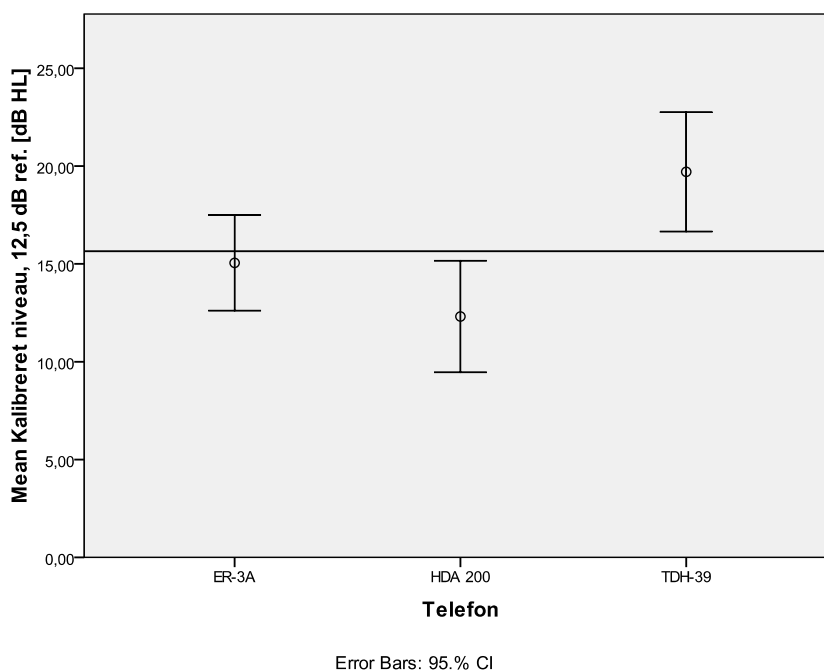
Report

Kalibreret niveau, SPL [dB SPL]

| Telefon | Mean | N | Std. Deviation |
|---------|------|----|----------------|
| ER-3A | 27,6 | 14 | 4,2 |
| HDA 200 | 24,8 | 14 | 4,9 |
| TDH-39 | 32,2 | 14 | 5,3 |
| Total | 28,2 | 42 | 5,6 |

Tabel 4. På baggrund af taleaudiometritestene er der beregnet en middelværdi/et 50%-punkt i dB SPL samt standardafvigelse for hver hoved-/øretelefon.

Omregningen til SPL ændrer ikke på den indbyrdes placering af niveauerne for øre- / hovedtelefonerne, men er en glimrende mellemregning at have, når man vil undersøge betydningen af at kalibrere i henhold til ANSI S3.6-standarden (som beskrevet i databladet for ER-3A). Dette kan opnås ved at trække 12,5 dB fra SPL-niveauerne. Herved fås resultaterne i Figur 6.



Figur 6. Middelværdi og 95%-konfidensinterval af det kalibrerede lydtryksniveau for taleaudiometritesten omregnet til dB HL med reference til 12,5 dB SPL (ANSI S3.6) for hver hoved-/øretelefon. Referenceniveauet (se Keidser, G.) på 28,15 dB SPL / 15,65 dB HL for DANTALE er tilføjet og gælder for TDH-39 (vandret linje).

Med kalibrering i forhold til et referenceniveau på 12,5 dB SPL opnås et 50%-punkt for taleforståeligheden for ER-3A på 15,1 dB HL. Den erfaring, man har gjort på Høreklinikken, Vejle Sygehus, hvor ER-3A og TDH-39 skal kalibreres med hhv. 12,5 dB SPL og 20 dB SPL som reference betyder, at man skal sammenligne resultaterne for TDH-39 fra Figur 4 med resultaterne for ER-3A fra Figur 6. Dette giver for TDH-39 et niveau på 12,2 dB HL (IEC 60645-2) og for ER-3A altså 15,1 dB HL (ANSI S3.6), men med et 95%-konfidensinterval på mere end ± 2 dB for begge telefon typer kan man næppe sige, at 50%-punkterne er signifikant forskellige.

Resultaterne af forsøgene er lidt uklare. Det kunne se ud til, at ER-3A og TDH-39 skal kalibreres forskelligt, hvis man vil opnå samme taleforståelighed, som det er afprøvet på Vejle Sygehus. Imidlertid giver sammenligningen med DANTALE's valideringsprojekt grund til tvivl om, hvorvidt resultaterne fra taletestene for TDH-39 er påvirket for meget af baggrundsstøj. Det bør dog snarere give en mindre forskel i forsøgsresultaterne mellem ER-3A og TDH-39, hvis taletestene gennemføres i et rum, hvor baggrundsstøjen er mindre.

7. Konklusion

Der er lavet en række taletests med voksenlisterne fra DANTALE-cd'en for at undersøge den indbyrdes kalibrering af TDH-39, ER-3A og HDA 200. Forsøget bør ikke betragtes som konkluderende. Dertil kræves en grundigere undersøgelse.

Resultaterne er noget uklare. Der er en række faktorer, som bidrager til usikkerhed om resultaterne. For det første har kun 14 personer gennemført testen. For det andet er beregningen af 50%-punktet på den psykometriske funktion for taleforståeligheden kun beregnet ud fra taletests ved to niveauer. For det tredje bør forsøget gennemføres i et rum med lavere baggrundsstøj end det, som er benyttet her.

Det ser ud til, at hvis ER-3A kalibreres i henhold til IEC 60645-2, opnås 50% taleforståelighed ved ca. 7,5 dB HL for DANTALE's voksenordlister. Det svarer nogenlunde til det niveau på ca. 28 dB SPL eller ca. 8 dB HL i.h.t. IEC 60645-2, som blev fundet for TDH-39 ved taletestens valideringsforsøg (se Keidser, G.).

Kalibreres ER-3A (eller ER-5A, som er ækvivalent) i henhold til ANSI S3.6, som det er afprøvet på Høreklinikken, Vejle Sygehus, opnås et resultat, som er sammenligneligt med forsøgsresultaterne for TDH-39 kalibreret i henhold til IEC 60645-2. Der er dog indikationer af, at resultaterne for TDH-39 fra forsøget er påvirket af baggrundsstøj. Uden denne påvirkning ville 50%-punktet være lavere, hvilket går i retning af referencedataene for DANTALE (se Keidser, G.). Det er uvist, om nogle tilsvarende overvejelser kan ligge til grund for de erfaringer, man har fundet på Høreklinikken på Vejle Sygehus, da det ikke vides om man tidligere har benyttet TDH-39 med eller uden støjkopper, samt hvordan de akustiske forhold er på klinikken.

8. Litteratur

IEC 60645-2: <http://webstore.iec.ch/>

ANSI S3.6: <http://webstore.ansi.org/>

ER-3A datablad: <http://www.aearo.com/pdf/audsys/instbk2k.pdf> eller <http://www.etymotic.com/pdf/er3a-datasheet.pdf>

Elberling, Ludvigsen og Lyregaard, DANTALE – Compact Disc Teknisk Rapport, Laboratoriet for Akustik, DTH, oktober 1988

Keidser, G., Reference-data for DANTALE, Publikation nr. 40, Laboratoriet for Akustik, DTH, 1991 (ISSN 0105-2853)



Poulsen, T., Psykoakustiske Målemetoder, version 3.1, note nr. 3108, Institut for Akustisk Teknolog, DTU, 1998.



9. Appendiks A

Herunder følger forsøgsplanen. Efterfølgende ses koder for hoved-/øretelefonerne. Listenumrene til taleaudiometrien lavet ved det lave niveau (overskrift "Liste 1") samt ved det højere niveau (overskrift "Liste 2") henviser til voksenordlisterne fra DANTALE.

| Person | Telefon | Liste 1 | Liste 2 |
|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 1 | 1 | 2 |
| 1 | 2 | 7 | 8 |
| 1 | 3 | 3 | 5 |
| 2 | 2 | 2 | 4 |
| 2 | 1 | 5 | 7 |
| 2 | 3 | 6 | 8 |
| 3 | 3 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 6 | 8 |
| 3 | 1 | 5 | 7 |
| 4 | 1 | 4 | 6 |
| 4 | 2 | 3 | 5 |
| 4 | 3 | 7 | 8 |
| 5 | 2 | 3 | 5 |
| 5 | 1 | 4 | 6 |
| 5 | 3 | 1 | 2 |
| 6 | 3 | 6 | 8 |
| 6 | 2 | 1 | 3 |

| Person | Telefon | Liste 1 | Liste 2 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 6 | 1 | 2 | 4 |
| 7 | 1 | 5 | 7 |
| 7 | 2 | 2 | 4 |
| 7 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | 2 | 7 | 8 |
| 8 | 1 | 1 | 2 |
| 8 | 3 | 4 | 6 |
| 9 | 3 | 1 | 2 |
| 9 | 2 | 7 | 8 |
| 9 | 1 | 3 | 5 |
| 10 | 1 | 2 | 4 |
| 10 | 2 | 5 | 7 |
| 10 | 3 | 6 | 8 |
| 11 | 2 | 1 | 3 |
| 11 | 1 | 6 | 8 |
| 11 | 3 | 5 | 7 |
| 12 | 3 | 4 | 6 |
| 12 | 2 | 3 | 5 |
| 12 | 1 | 7 | 8 |
| 13 | 1 | 3 | 5 |
| 13 | 2 | 4 | 6 |
| 13 | 3 | 1 | 2 |



| Person | Telefon | Liste 1 | Liste 2 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 14 | 2 | 6 | 8 |
| 14 | 1 | 1 | 3 |
| 14 | 3 | 2 | 4 |
| 15 | 3 | 5 | 7 |
| 15 | 2 | 2 | 4 |
| 15 | 1 | 1 | 3 |
| 16 | 1 | 7 | 8 |
| 16 | 2 | 1 | 2 |
| 16 | 3 | 4 | 6 |
| 17 | 2 | 1 | 2 |
| 17 | 1 | 7 | 8 |
| 17 | 3 | 3 | 5 |
| 18 | 3 | 2 | 4 |
| 18 | 2 | 5 | 7 |
| 18 | 1 | 6 | 8 |
| 19 | 1 | 1 | 3 |
| 19 | 2 | 6 | 8 |
| 19 | 3 | 5 | 7 |
| 20 | 2 | 4 | 6 |
| 20 | 1 | 3 | 5 |
| 20 | 3 | 7 | 8 |
| 21 | 3 | 3 | 5 |

| Person | Telefon | Liste 1 | Liste 2 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 21 | 2 | 4 | 6 |
| 21 | 1 | 1 | 2 |
| 22 | 1 | 6 | 8 |
| 22 | 2 | 1 | 3 |
| 22 | 3 | 2 | 4 |
| 23 | 2 | 5 | 7 |
| 23 | 1 | 2 | 4 |
| 23 | 3 | 1 | 3 |
| 24 | 3 | 7 | 8 |
| 24 | 2 | 1 | 2 |
| 24 | 1 | 4 | 6 |

Koder for hoved-/øretelefoner:

| Telefon | Model |
|----------------|--------------|
| 1 | TDH-39 |
| 2 | ER-3A |
| 3 | HDA 200 |



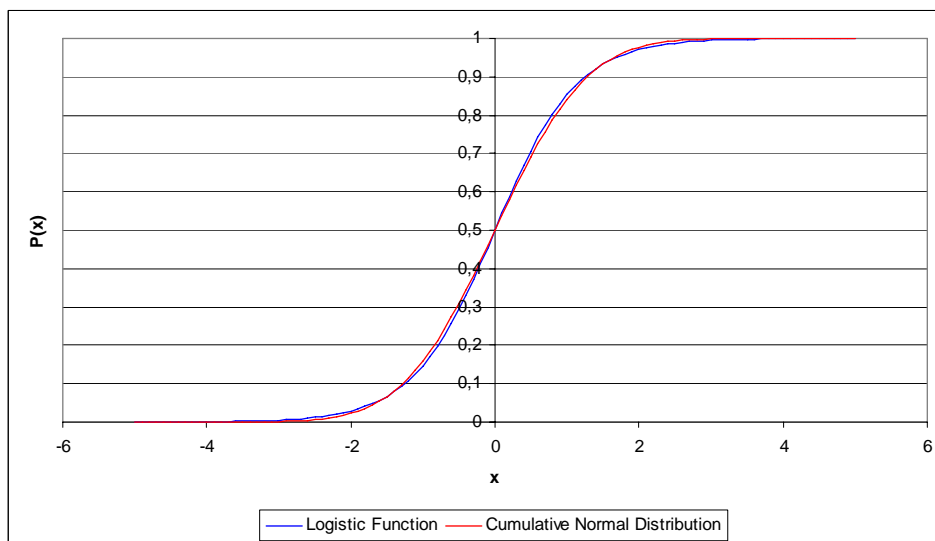
10. Appendiks B

10.1 Tilnærmelse til den psykometriske funktion

Den psykometriske funktion kan ofte tilnærmes den kumulative normalfordelingsfunktion. Som beskrevet i blandt andet "Psykoakustiske målemetoder" (Poulsen, T.) kan den kumulative normalfordeling tilnærmes med en logistisk funktion, som har formen:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{1 + e^{x/a}}$$

Hvis man benytter $a = 0,569$ fås en god tilnærmelse til den kumulative normalfordeling med $P(x) = 0,5$ for $x = 0$ og spredning på 1. Se figuren herunder:



Såfremt $P(x) = 0,5$ ikke skal være for $x = 0$ indføres konstanten b , hvorefter $P(x) = 0,5$ vil forekomme for $x = b$:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{x-b}{a}}}$$

10.2 Estimering af den psykometriske funktion

Hvis man antager, at ”enderne” af den psykometriske funktion går asymptotisk fra 0 til 1 (altså $P(-\infty) \approx 0$ og $P(\infty) \approx 1$ (*ikke matematisk korrekt, men jeg håber du forstår – gad ikke skrive $\lim x \rightarrow \dots$ bla, bla, bla*)) kan a og b i den logistiske tilnærmelse bestemmes såfremt to punkter er kendte.

Altså, kender man $(x_1, P(x_1))$ og $(x_2, P(x_2))$ kan a og b (som er ”50 % - punktet” på den psykometriske funktion) beregnes som:

$$a = \frac{x_1 - x_2}{\ln\left(\frac{1}{1-P(x_1)} - 1\right) - \ln\left(\frac{1}{1-P(x_2)} - 1\right)}$$

$$b = x_1 - \frac{x_1 - x_2}{1 - \frac{\ln\left(\frac{1}{1-P(x_2)} - 1\right)}{\ln\left(\frac{1}{1-P(x_1)} - 1\right)}}$$