

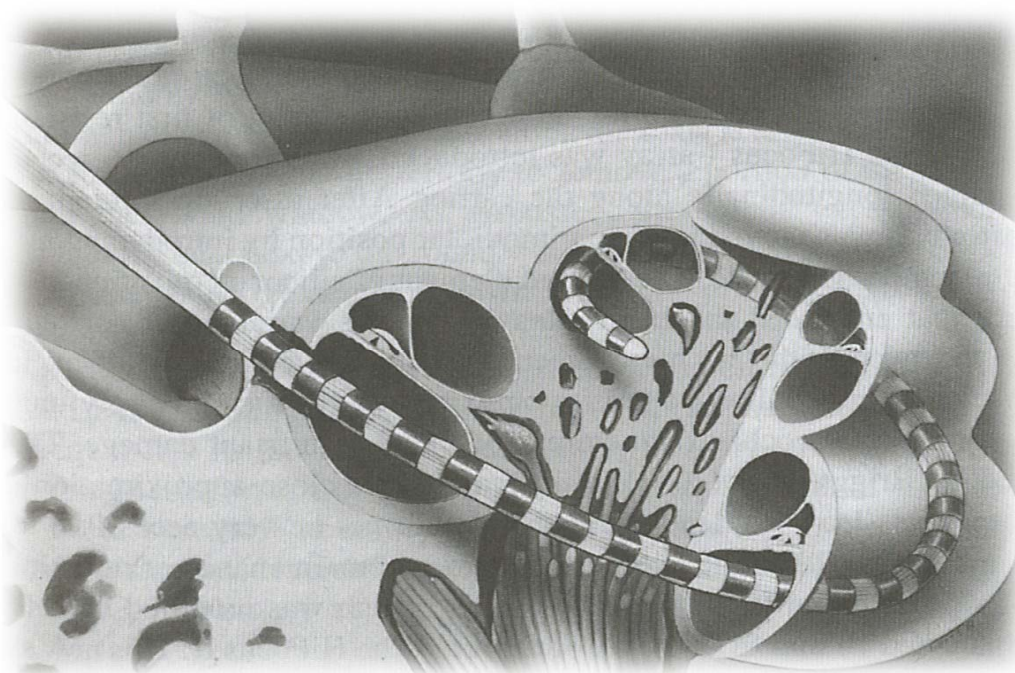
**DET HUMANISTISKE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET**



*Institut for Nordiske Studier & Sprogvidenskab
Afdeling for Audiologopædi*

Cochleaimplantater hos voksne

**Et teoretisk speciale om faktorer som påvirker
udbyttet hos cochleaimplantatbrugere**



**Specialeafhandling
Anne Mette Højgaard Kristensen**

**Vejleder: Lars von der Lieth
Juli 2005**

ABSTRACT

- A theoretical thesis about factors influencing the results among postlingually deaf Cochlear Implant users.

Aims: The thesis is a theoretical exposition of factors which can influence the postoperative performance of people with acquired deafness who receive a Cochlear Implant (CI). New technological initiatives and their effect on the results are also described. The points of investigation are as follows:

The purpose is:

To investigate factors which influence the speech perception results in postlingually deaf CI users with a primary focus on the technical factors.

The partial purpose is:

To describe new technological initiatives that can increase the speech perception results of postlingually deaf CI users.

Methods: The thesis is purely theoretical, and is derived from research-based literature. Many different definitions of factors correlating with the speech perception result have been put forward. Because of this discrepancy I have chosen to describe and analyse those factors, which according to Clark (2003a) influence the speech perception results. Every factors has then been discussed in relation to other authors and their studies to evaluate the reliability.

Discussions: Most of the discussed factors in the thesis can be obtained as predictors. A possible element of uncertainty can consist in whether studies exist which correlate negatively with the outcome and thereby show other results than those concluded in this thesis. The technical aspect in connection with CI has a significant relevance for the postoperative performance, which the new and improved speech processing strategies and electrode designs are proof of.

Conclusion: It can be concluded that the main part of those factors which can be found in Clark's (2003a) definition correlates positively with the applied study results of other authors and can be obtained as predictors. However with those factors which do not correlate positively with the literature, both accordance and discrepancy across the different studies can be found. Even though the technological advances so far have been revolutionary, do the present CI's still not recreate optimal speech perception when listening to speech in participation with noise or other speakers. One of the greatest challenges within the research is that CI users obtain good speech understanding in the presence of background noise. The many technical initiatives prove that implants in the immediate future will be much better and very different from those used today.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	1
1.1	Problemformulering.....	2
1.2	Metode	2
1.3	Afgrænsning.....	3
1.4	Terminologi.....	4
1.5	Opbygning.....	5
2	Det perifere auditive system	6
2.1	Generelt om høremekanismen.....	6
2.2	Lydens vej igennem det perifere auditive system.....	7
2.3	Cochlea	8
2.4	Basilarmembranen	10
2.5	Hårcellerne.....	11
2.6	Den auditive nerve.....	13
2.7	Det centrale auditive system.....	15
2.8	Opsamling	16
3	CI - det tekniske	18
3.1	Generelt om CI	18
3.2	Mikrofonen.....	19
3.3	Taleprocessoren og transmitterspolen.....	20
3.4	Implantatet.....	21
3.5	Elektrodedelen	22
3.6	Taleprocesseringsstrategier	27
3.7	Kanaler	30
3.8	Hvordan et CI-system virker.....	30
3.9	Opsamling	32
4	Præoperative faktorer.....	34
4.1	Alderen ved døvhedens indtræden.....	34
4.1.1	Prælingualt døde voksne.....	35
4.1.2	Postlingualt døde voksne	37
4.2	Døvhedens varighed	38

4.3	Implantationsalderen	39
4.4	Ætiologi	40
4.4.1	NF2 – Neurofibromatosis type 2	41
4.5	Den generelle helbredstilstand	42
4.6	Promontorialtest	42
4.6.1	CT- og MR-scanning	44
4.7	Progressivt høretab	44
4.8	Residual hørelse	45
4.8.1	Ændrede kriterier i forbindelse med residual hørelse	46
4.9	Opsamling	47
5	Taleprocesseringsstrategier.....	50
5.1	Gamle versus nye taleprocesseringsstrategier	50
5.2	Taleprocesseringsstrategier og udbytte	51
5.3	Subjektiv selektion af taleprocesseringsstrategier.....	53
5.4	Objektiv selektion af taleprocesseringsstrategier:.....	54
5.5	Dynamikområdet.....	55
5.6	Stimulationsraten	56
5.7	Kanaler	57
5.7.1	Kanalantal i ro	58
5.7.2	Kanalantal i støj	59
5.8	Kriterier for forøgelse af kanalantallet	61
5.9	Teknologiske tiltag	61
5.9.1	Temporal frekvenskodning	62
5.9.2	Neuroengineering	63
5.10	Opsamling	63
6	Elektroder	67
6.1	Elektrodetype.....	67
6.2	Elektrodeplacering	70
6.3	Elektrodeomfanget samt elektrodens indsættelsesdybde	71
6.4	Antallet af elektrodepunkter	75
6.5	Elektrodeinteraktioner	77
6.6	Teknologiske tiltag	78
6.6.1	Intramodiolære implantater.....	79
6.6.2	Kombineret EAS (Elektrisk og Akustisk Stimulation) i den samme cochlea....	79

6.7	Opsamling	81
7	<i>Postoperative faktorer</i>	84
7.1	Rehabilitering	85
7.2	Undervisning i auditiv træning	88
7.3	Perioden for anvendelse af CI'et.....	90
7.4	Sprogniveau	92
7.5	Mundaflæsningsevner	93
7.6	Motivation	94
7.7	Støtte fra pårørende	96
7.8	Tekniske hjælpemidler.....	97
7.9	Teknologiske tiltag	98
7.9.1	Bimodal stimulation.....	98
7.9.2	Bilaterale CI'er	100
7.9.3	Totalt implanterbare CI'er	101
7.10	Opsamling	102
8	<i>Diskussion & perspektivering</i>	106
9	<i>Konklusion</i>	109
	<i>Litteraturliste</i>	112

1 Indledning

Megen forskning har været foretaget igennem årene for at identificere faktorer, som korrelerer med taleperceptionsresultater hos brugere med cochleaimplantater (CI'er). Som ved ethvert operativt indgreb ønsker CI-kandidater kendskab til den postoperative performans. De faktorer, som forudsiger succesfulde taleperceptionsresultater, er derfor af signifikant relevans i forbindelse med vejledning og rådgivning af CI-kandidater. Det er endnu ikke med sikkerhed muligt at fortælle en CI-kandidat, hvor succesfuldt et udbytte den enkelte vil opnå postoperativt. Dette skyldes de mange variable faktorer på tværs af CI-kandidater og faktorenes interferens, som resulterer i, at CI-brugere kan opnå meget forskellige taleperceptionsresultater.

Undersøgelser, deriblandt multiple regressionsanalyser¹ af voksne CI-brugere har påvist, at ca. 20-40% af varieteten i taleperceptionsresultater kan være forklaret vha. forudsigende faktorer (prædiktorer) (Clark 2003b; Wilson et al., 2003). En sådan varietet er ikke tilstrækkelig til at kunne afgøre en persons postoperative performans. Derimod er de præoperative prædiktorer ganske betydningsfulde i vurderingen af egnetheden af kandidater til en CI-operation (Clark, 2003b). En større viden om de variable faktorer (præoperative faktorer, tekniske faktorer og postoperative faktorer) vil kunne præcisere niveauet for hver CI-kandidats taleperceptionsresultater og hjælpe den professionelle til at svare mere specifikt på CI-kandidatens spørgsmål, ang. den postoperative performans.

¹ Multiple regressionsanalyser er en samling af faktorer. Undersøgelser anvender multiple regressionsanalyser for at kontrollere for flere faktorer, der kan påvirke performans (læs mere i Niparko (2004); Yukawa et al. (2004) og Wilson et al. (2003)).

1.1 Problemformulering

Formålet med specialet er:

At undersøge faktorer, som påvirker taleperceptionsresultater hos postlingualt døde CI-brugere med primært fokus på de tekniske faktorer.

Delformålet med specialet er:

At beskrive nye teknologiske tiltag, som kan forøge taleperceptionsresultater hos postlingualt døde CI-brugere.

1.2 Metode

Specialet er rent teoretisk og opbygges ud fra forskningsbaseret litteratur – primært undersøgelser fra tidsskrifter. CI-forskningens teorigrundlag er meget omfattende og i konstant bevægelse. Ifølge Hyde (2005) forekommer 5 år inden for CI-forskning, som meget lang tid pga. den ”galoperende” udvikling.

Der er opstillet mange forskellige definitioner på faktorer, som korrelerer med taleperceptionsudbyttet (Waltzman, 2000; Clark, 2003b; Friedland et al., 2003; Niparko, 2004; Dijk et al., 1999; Tavartkiladze et al., 1996). Grundet denne uoverensstemmelse har jeg derfor valgt at beskrive og analysere de faktorer, der ifølge Clark (2003a) påvirker taleperceptionsudbyttet.

Undersøgelsesresultater fra andre forfattere vil også være beskrevet og indgå i specialet. Faktorer, der i henhold til Clark (2003a: 576 og 578) korrelerer med taleperceptionsresultater, præsenteres nedenfor:

”The general predictive factors for adults are age when deafened, age at implantation, duration of deafness, duration of implantation, etiology, the presence of progressive hearing loss, degree of residual hearing, speech reading ability, speech-processing strategy, and medical condition.”

“The specific factors predicting speech perception scores in the adult are electrical stimulation of the promontory results, length of insertion and the number of stimulating electrodes, and dynamic range.”

Ifølge Clark (2003a) skal ovennævnte prædiktorer klassificeres efter, om de er indre eller ydre faktorer. Clark (2003a: 655) konkluderer:

*“Good communication depends on intrinsic and extrinsic factors. **Intrinsic factors** are psychological or biological and are inherited or acquired, and may be intelligence, personality, or the residual neural population in the cochlea available for electrical stimulation. **The extrinsic factors** are the type of cochlear prosthesis, and the method of training. These can be more easily controlled”.*

Specialet er inddelt i kapitler, der både omhandler præoperative faktorer, tekniske faktorer eller postoperative faktorer. De præoperative faktorer er indre faktorer, de tekniske faktorer, som har specialets primære fokus, er ydre faktorer og de postoperative faktorer, der ”træder i kraft” i forbindelse med apparatbrug, er oftest en kombination af indre og ydre faktorer.

1.3 Afgrænsning

Ydre versus indre faktorer: Jeg har primært valgt at beskæftige mig med de tekniske faktorer. Årsagen til dette valg er bl.a., at ydre faktorer er inkonsistente variabler, der tildeles CI-brugeren, og er mulige at ændre i modsætning til de indre faktorer. I citatet ovenfor definerer Clark (2003a) de ydre faktorer som lettere kontrollerbare. De indre faktorer har også stor relevans, men pga. det fastsatte omfang af specialet bliver de ikke beskrevet ligeså detaljeret, som de ydre faktorer.

Postlingualt versus prælingualt døde voksne CI-brugere: Voksne døde kan inddeles i prælingualt døde og postlingualt døde, afhængigt af tidspunktet for høretabets indtræden - før eller efter den sproglige udvikling. Specialet omhandler de postlingualt døde af to årsager: 1) I Danmark opererer man sjældent prælingualt døde voksne. 2) Prælingualt døde voksne har et dårligere udbytte af CI og manglende taleforståelse. Der er dog flere steder i udlandet bl.a. i forbindelse med forskningsforsøg, at prælingualt døde voksne bliver opereret.

Målgruppen for dette speciale er personer med almen viden om audiologi, især audio(logo)pæder og hørepædagoger.

1.4 Terminologi

Igennem specialet vil begrebet taleperception primært være anvendt, mens begrebet taleforståelse kun bruges i forbindelse med undersøgelsesresultater. *Taleperception* tjener som det primære input til leksikal adgang og til højere niveauer af sprogprocessering (Clark, 2003a). Udtrykket refererer således til processen af at modtage og afkode taleinput. Taleperceptionen indeholder perception af karakteristika om talere såsom: identitet, dialekt, regionale karakteristika, talernes emotionelle tilstand og talerens attitude til verden m.m. Ligesom taleproduktion er taleperception ikke en isoleret færdighed, men er bl.a. afhængig af sproglige evner samt auditiv perception (Nyrop & Waters, 1993). Udtrykket taleopfattelse indgår i specialet under taleperception. *Taleforståelse* er defineret som den procentdel af de udtalte ord, som lytteren (her CI-brugeren) har registreret korrekt. Med andre ord er taleforståelse funktion af taleniveau, hvor taleforståelsen kan ændre sig fra 0% til 100% (Poulsen, 1991). Taleforståelse vurderes ud fra forskellige faktorer såsom: ordmaterialet (sætninger, ord, tal), præsentationsform (enkeltvis, i tekst), taleren (udtale, talehastighed, styrke, dialekt) og lytteren (høreevne, træning, ordforråd, dialekt).

Modtagere af et CI har mange betegnelser i litteraturen. I specialet vil udtrykkene *CI-bruger* eller *CI-kandidat* være anvendt. Sidstnævnte udtryk bruges i de tilfælde, hvor personen kan/er indstillet til at få fortaget en CI-operation.

Postlingualt døve og svært hørehæmmede voksne, som er CI-brugere, vil gå under betegnelsen "*postlingualt døve*" i specialet.

Den engelske betegnelse Cochlear Implant bliver på dansk stavet cochleaimplantat, hvilket jeg vælger at forkorte *CI*.

Udtrykket *electrodes* på engelsk er tvetydigt. Det betegner både elektrodepunkterne og elektroden, indsat i cochlea. For at undgå tvetydigheden anvendes begrebet *elektrodepunkter* for antallet af stimulationspunkter og udtrykket *elektrode* for selve elektroderækken, som føres ind i cochlea.

Mange af de anvendte fagtermer i specialet er bevaret i den engelske terminologi. Det skyldes: 1) At al forskningslitteratur primært er at finde på engelsk, og der er derfor en idé i at bevare de engelske fagudtryk. 2) At der ikke altid findes danske fagtermer for den engelske terminologi.

Det meste af specialet bygger på undersøgelser fra tidsskrifter. Et problem med de tekniske CI-artikler er deres indforståede sprogbrug og kortfattede struktur. Brugbare oplysninger for læseren er derfor mange gange udeladt. Da specialet henvender sig til audio(logo)pæder og hørepædagoger, er der en del fagtermer, som jeg ikke har fundet det nødvendigt at forklare (eller har flyttet forklaringen til en fodnote).

1.5 Opbygning

Opbygningen af specialet er som følger: Indledningsvis i kapitel 1 gives der en kort redegørelse over problematikken omkring faktorer, som forudsiger succesfulde taleperceptionsresultater. Kapitel 2 "Cochleas opbygning" omhandler hørelsens anatomiske, fysiologiske og biokemiske processer samt psykoakustik. I kapitel 3 "CI - det tekniske" er der en teknisk gennemgang af CI'et. Efterfølgende i kapitel 4 beskrives de "Præoperative faktorer". De tekniske faktorer analyseres både i kapitel 5 "Taleprocesseringsstrategier" og i kapitel 6. "Elektroder". De "Postoperative faktorer" bliver beskrevet i kapitel 7. Derefter er der en "Diskussion & perspektivering" (kap. 8) efterfulgt af en "Konklusion" (kap. 9).

2 Det perifere auditive system

Betegnelsen ”det auditive system” omhandler alle de strukturer i nervesystemet, som har at gøre med hørelse og lydopfattelse, og kan inddeles i det perifere og det centrale auditive system (Wie, 2005). Det perifere auditive system indbefatter ydre, mellem og indre øre (cochlea) samt den auditive nerve. Kendskab til cochleas anatomi er en væsentlig forudsætning for forskning og udvikling af CI'er. Det centrale auditive system indbefatter hjernestammen og hjernens hørecenter og er kun kort belyst i kapitlet. Denne del af det auditive system har dog også signifikant relevans inden for CI-forskningen (som omtalt i afsnit 5.9.2).

Dette kapitel giver læseren et overblik over, hvordan øret arbejder, og hvordan vi hører. Formålet er at beskrive de mange aspekter af normal hørelse for at fremhæve kompleksiteten ved at kunne lave et optimalt fyldestgørende CI. Det første afsnit belyser generelle aspekter omkring høremekanismen. Efterfølgende er der gjort rede for lydens vej igennem det perifere system. Cochleas anatomi er derefter belyst i et afsnit. Basilarmembranen, de indre hårceller og nervefibrene har betydelig relevans i forbindelse med lydprocessering og beskrives i hver sit afsnit. Slutteligt i kapitlet gives der en kort beskrivelse af det centrale auditive system.

2.1 Generelt om høremekanismen

Lydbølgen er det signal, der opfattes af øret. Dette fænomens fysiske beskrivelse bliver kaldt *akustik*. Akustisk betragtet består lyd af tre elementer: styrke, frekvens og varighed. Hørelsens anatomiske, fysiologiske og biokemiske processer benævnes *de auditive processer* (Zenner, 1996).

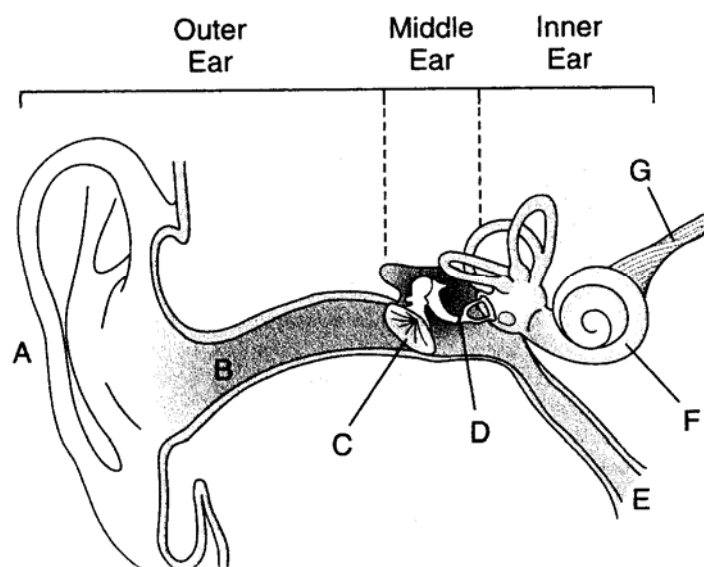
Det raske øre kan beskrives som et ekstraordinært lyddetektorapparat. Det er meget sensitivt over for lyde, og dets diskriminationsevne er derfor meget imponerende. Mennesket kan opfange lyde (fx fløjtelyde) med en ekstrem høj frekvens. Hørelsens nedre grænse starter ofte fra 15 til 16 Hz til den øvre grænse på ca. 20.000 Hz. Hos de fleste voksne er frekvensomfangets øvre grænse dog snarere i nærheden af 14.000 eller 15.000 Hz, mens hørelsens øvre grænse hos nogle børn og unge er over 20.000 Hz (Zemlin, 1997). Grundet den skarpe frekvenstuning formår lytteren selv uden specifik træning at opfange mindst 1000 forskellige tonehøjder (pitch). Ved frekvenser under 1 kHz er det

muligt at opfange en ændring på kun 3 Hz (Zemlin, 1997), m.a.o. lytterens frekvensselektivitetstærskel er i dette område ca. 0.3%. Ud over at have fine evner til diskrimination af tonehøjder er øret også godt udviklet til at opfange forskellige lydstyrkeniveauer. Inden for det totale intensitetsområde kan en lytter skelne over 250 forskellige lydstyrkeniveauer. Kombineres intensitet og frekvens, bliver det muligt for det menneskelige øre at sanse ca. en kvart million lydforskelle (Zemlin, 1997).

De fleste akustiske begivenheder i dagligdagen (inklusiv tale) indeholder alle hørelsens frekvenser og lydstyrkeniveauer. I akustiske termer kaldes det for *støj* (Zenner, 1996). Øret er i stand til at undertrykke alle lydtyper i vores omgivelser og "tune ind" på en samtale i lokalets modsatte side af, hvor man står. Det er yderligere en stor hjælp, hvis man kan se personen, som taler. Ikke-talestøj har ikke den samme kohæsion i de spektrale og temporale komponenter som tale og kan derfor lettere være undertrykt. De vanskeligste lyttesituationer er derfor dem, hvor baggrundsstøjen består af tale (Clark, 2003a).

2.2 Lydens vej igennem det perifere auditive system

Det perifere auditive system indbefatter som beskrevet i introduktionen: ydre, mellem og indre øre samt den auditive nerve (figur 1).



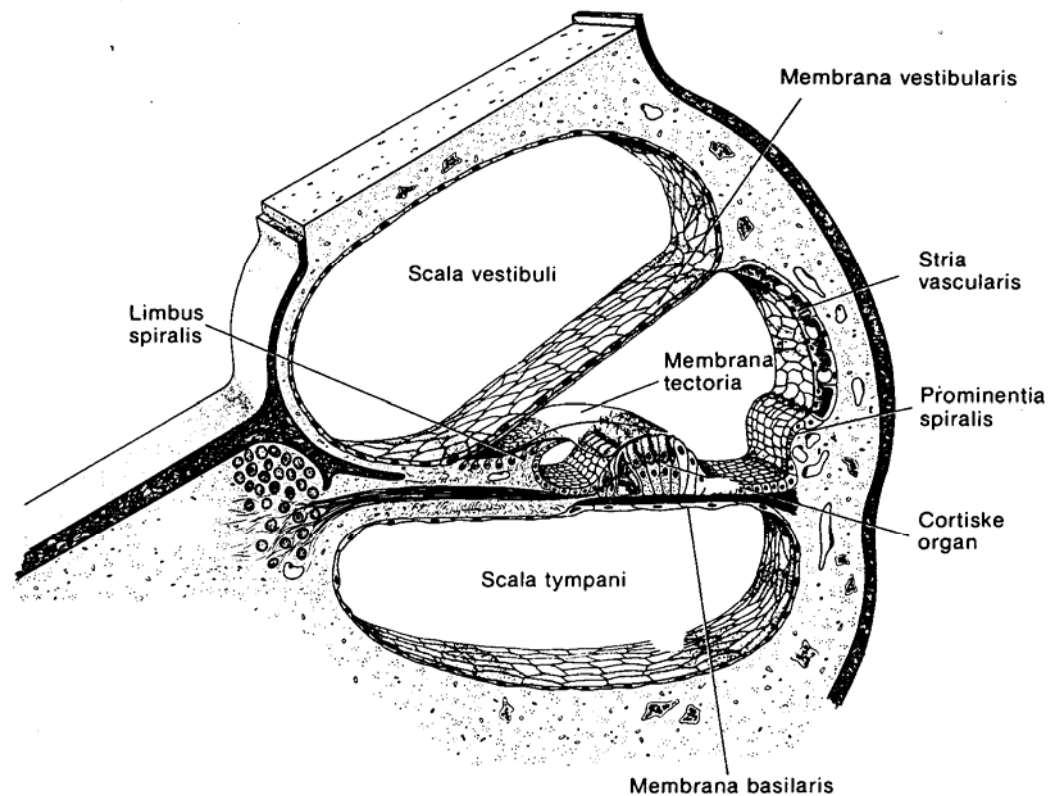
Figur 1 (Clark, 2003a:58). Illustration af det ydre, mellem og indre øre og den auditive nerve. A, pinna; B, den ydre øregang; C, trommehinde; D, knoglekæden; E, det eustatiske rør; F, det indre øre; G, den auditive (cochleære) nerve.

Det ydre øre fører auditive signaler (lydbølger) ind i øregangen. Vores ører sørger for stereofonisk hørelse til at vurdere lydens retning og placering. Når lydbølgen kommer ind i øret, vibrerer trommehinden, som starter en bevægelse i knoglekæden i det luftfyldte mellemøre. *Mellemøret* har tre forbundne knogler; malleus (hammeren), incus (ambolten) og stapes (stigebøjlen). Malleus er sammenvokset med trommehinden, mens stapes fodplade er fæstet til det ovale vindue, som fører ind til cochlea i *det indre øre*². Trykudvekslingerne fra trommehinden og knoglekæden omsættes til mekanisk energi i mellemøret. Denne energiform ændres til hydraulisk energi i det indre øres væske. Den hydrauliske energi stimulerer de sensoriske celler (hårcellerne i cochlea), som sender elektriske impulser til den auditive nerve (den VIII kranienerve), hjernestammen og cortex og så videre til hjernens hørecenter.

2.3 Cochlea

Det indre øre, cochlea er inddelt i tre adskilte kanaler: scala vestibuli, scala tympani og scala media.

² Det indre øre er inddelt i to sammenhængende systemer. Det ene huser de tre buegange, balanceorganet (dynamisk balance) og det andet høreorganet, cochlea (høreopfattelse). Høre- og balanceorganet er beskyttet af den benede labyrinth og perilymfe. I den benede labyrinth ligger den hindede labyrinth fyldt med endolymfe. Vestibulum danner overgangen mellem buegangene og cochlea, heri ligger utriculus og sacculus (statisk balance) (Balle, 2000a).



Figur 2 (Geneser, 1990:704). Illustrationen viser de tre adskilte kanaler i cochlea.

Kanalerne i cochlea er væskefyldte. Scala vestibuli udgør den øvre kanal, og scala tympani udgør den nedre kanal af cochlea, og begge er fyldt med perilymfe. Scala media (sneglegangen) ligger mellem de to kanaler og er fyldt med endolymfe. I scala media ligger hørelsens sanseorgan, det Cortiske organ, som dækkes af tectoralmembranen og med dets gulv formet af basilmembranen. Basilmembranen adskiller scala tympani og scala media.

Cochlea er et spiralsnoet hulrum, der har form som et sneglehus og kan beskrives som en benet kanal, der er 35 mm langt (Hackney, 2005; Zemlin, 1997), og som snor sig $2\frac{3}{4}$ omdrejning (Ganong, 1997; Hackney, 2005) omkring en central kegleformet knoglepille, modiolus. Basen af modiolus er bred og er placeret på meatus acusticus internus. Fra modiolus rager en tynd knoglehylde, lamina spiralis ud i sneglevinding fra basis til apex (benævnes i figur 2 som limbus spiralis). Den adskiller scala vestibuli og scala tympani. I lamina spiralis løber små kanaler, der sammensluttet for at forme Rosenthals kanal. Nervefibrene fra de indre hårceller udgår fra det Cortiske organ gennem lamina spiralis, og deres cellekerner samler sig for at forme den spirale

ganglion i Rosenthals kanal. Den auditive nerve forlader det indre øre gennem meatus acusticus internus til hjernestammen.

I forbindelse med lydens vej igennem det perifere auditive system er der *tre skelnende stadier i processen* (Balle, 2000b): basilarmembranen, de indre hårceller og nervefibrene. De to førstnævnte stadier, der beskrives nedenfor, indgår under cochlea, men er tæt forbundet med det sidstnævnte stadie, nervefibrene.

2.4 Basilarmembranen

Selve basilarmembranen er en bindevævsstruktur, der består af fine fibrae basilares (hørestreng), som ligger parallelt med hinanden i tværgående retning. Der findes i alt ca. 20.000 hørestreng (Geneser, 1990) gennem hele basilarmembranens forløb, fra basis til apex i cochlea. Basilarmembranens længde er ca. 35 mm (svarende til den hele cochleas længde). Dens bredde øges fra 40 μm ved basis til 500 μm ved dens apex (Geneser, 1990). I modsætning til længden forøges fibrenes diameter fra apex til basis, hvilket forøger hver fibers stivhed ca. 100 gange (Geneser, 1990; Zemlin, 1997).

”Svarende til den forskellige længde og stivhed af hørestrengene vil et bestemt område af membrana basilaris komme i maksimal svingning, afhængigt af frekvensen af lyden.”

(Geneser, 1990:706)

Ved de dybest hørlige lydfrekvenser vandrer bølgen, ”the traveling wave” hele vejen op langs basilarmembranen til apex, førend den når området med samme resonansfrekvens og dør ud. Omvendt vil bølgen ved høje frekvenser kun nå at vandre et ganske kort stykke op ad basilarmembranen (nær det ovale vindue) (Balle, 2000a; Zemlin, 1997; Zenner, 1996). Ved enhver tonehøjde eksisterer der derfor et distinkt sted på basilarmembranen, ved hvilket bølgen er maksimal. Frekvensen, som producerer den optimale respons på basilarmembranen, er kaldt den *karakteristiske frekvens*. Det indre øre, cochlea er *tonotopisk organiseret*, dvs. at den karakteristiske frekvens bestemmer hvilke områder på basilarmembranen, som stimuleres, og igen hvilke hårceller og nervefibre, der danner synapse med hinanden.

Ved en normalt fungerende hørelse sker der en fintuning og en ulineær filtrering af inputtet på basilarmembranen:

Fintuning: Basilarmembranen udviser frekvensselektivitet (frekvensfølsomhed) og kan beskrives som en tuningskurve (et frekvensfilter). Fintuningens præcision aftager med forøgelse af lydstyrkeniveauet. Præcisionen af basilarmembranens tuning øges altså ved lavere lydstyrkeniveauer (Zemlin, 1997), og ”tuningskurven” er optimal ved et niveau sammenligneligt med det, der kendetegner rolig samtale.

Ulineær filtrering: En ulineær filtrering på basilarmembranen betyder, at størrelsen af membranforskydningen ikke vokser proportionalt med en forøgelse af lydets intensitet, men ved en meget lavere rate (Zemlin, 1997). Membranens respons er derfor meget ulineær ved og nær den karakteristiske frekvens (Zemlin, 1997; Wilson et al., 2003). Modsat er forskydningens omfang lineært ved de lavere og højere frekvenser på membranen, dvs. at de er proportionelle med intensitetsniveauet.

Ovennævnte processer, ulineær filtrering og fintuning går tabt, hvis cochlea ikke er intakt (Zemlin, 1997).

2.5 Hårcellerne

Bølgen på basilarmembranen påvirker hårcellerne, som producerer nerveimpulspotentiale. Dette potentiale innervierer nervefibrene, som går ind i et nervebundt i modiolus (Wilson et al., 2003). Disse små elektriske potentialer går først til den spirale ganglion, til hjernestammen og tilslut til hjernens auditive cortex.

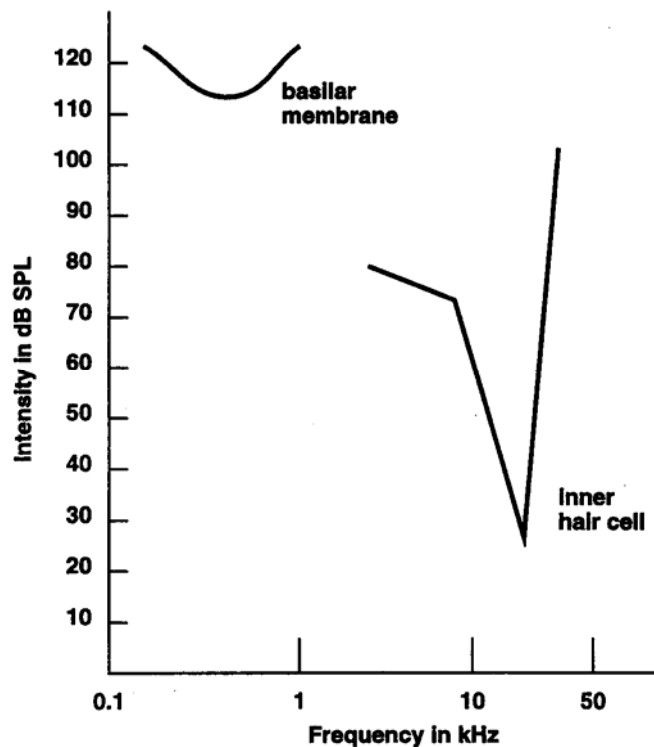
På overfladen af basilarmembranen findes det Cortiske organ med rækker af sensoriske receptorceller. De er opdelt i en række indre hårceller ca. 3.500 og tre-fire rækker ydre hårceller ca. 13.500. (Zemlin, 1997). Arrangementet holdes på plads af støtteceller og dækkes af tectoralmembranen. Når knoglekæden i mellemøret vibrerer og sætter væsken i cochlea i bevægelse, opfanger hårcellerne i det Cortiske organ bevægelsen. Hårcellerne nær cochleas base responderer på højfrekvente lyde, og hårcellerne nær cochleas apex responderer på lavfrekvente lyde.

De indre hårceller er sensoriske og har forskellig frekvensselektivitet (ligesom basilarmembranen), dvs. at den enkelte hårcelle er mest følsom over for en særlig frekvens, den karakteristiske frekvens, ved hvilken den sender flest aktionspotentialer af sted. Det er ved de indre hårceller, at aktionspotentialet udløses, så en lydopfattelse kan finde sted. Der sker en frigivelse af kemisk transmittersubstans ind i synapsekløften mellem den indre hårcelle og multiple afferente fibre (ca. 10 pr. indre hårcelle). Basilarmembranens "traveling wave" producerer faseforsinkelser i aktionspotentialerne som resulterer i skift i nervefibrener "fyringstid" (Clark, 2003a). Der sker både en øjeblikkelig og en forsinket/(ulinear) kompression ved de indre hårceller og en yderligere forsinket kompression ved synapsen (Wilson, 2004; Wilson et al., 2003) (som omtalt i afs. 5.9.1).

De ydre hårceller er motoriske. De beskrives som mekanisk aktive og er i stand til at gøre sig kortere og længere³. Når lydstyrken øges, så bøjes hårene mere, og flere aktionspotentialer affyres. Den mest accepterede hypotese er, at de ydre hårcellers aktivitet spiller en vigtig rolle mht. at regulere og kontrollere de indre hårcellers sensitivitet ved specifikke frekvenser (Hackney, 2005; Zemlin, 1997; Stach, 1998; Zenner, 1996). Med andre ord de ydre hårceller tuner øret og ændrer følsomheden. Ifølge Wilson (2004) og Wilson et al. (2003) så bevirker den ulineære filtrering på basilarmembranen kontraktion af de ydre hårceller.

De indre og ydre hårceller arbejder sammen i konverteringsprocessen mht. at optimere nervekodningen. Hvis de ydre hårceller ødelægges, så er cochleas *fin-tunings karakteristika* reduceret eller elimineret (Zemlin, 1997). Også mange af de *ulinear-effekter* fundet i det normale øre forsvinder, når de ydre hårceller er ødelagt fx ved sensorineuralt høretab (Wilson et al., 2003).

³ Hårcellerne indeholder muskelproteiner bl.a. myosin, som bevirker, at hårene kan bøjes/strækkes.



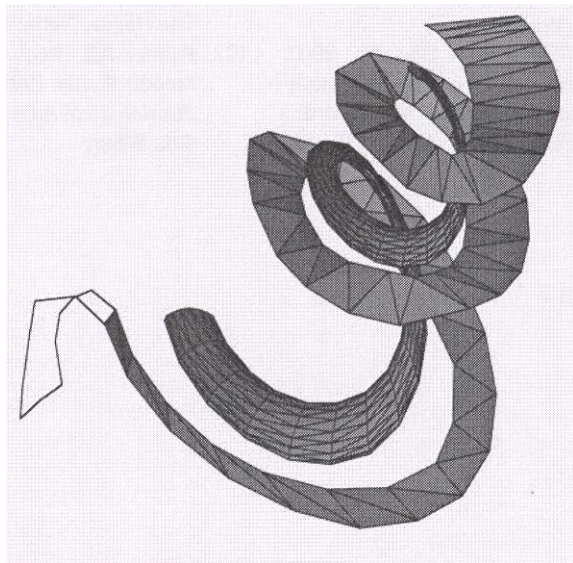
Figur 3 (Stach, 1998:66). Illustrationen viser en tuningskurve af basilarmembranen og en tuningskurve af en indre hårcelles respons. Kurven for den indre hårcelle viser, at responsen falder bemærkelsesværdigt, når frekvensen er flyttet væk fra hårcellens karakteristiske frekvens.

Hårcellerne kan vise skarpere tuning end basilarmembranens tuningskarakteristika (Zemlin, 1997). Dette skyldes, at basilarmembranens mekaniske adfærd er ansvarlig for en bredere diskrimination mellem forskellige frekvenser, mens den fine frekvensdiskrimination i cochlea er relateret til fysiologiske forskelle mellem hårcellerne (Hackney, 2005). Der findes en tuningskurve (et frekvensfilter) for både basilarmembran, hårceller og nerveceller, hvilket forøger cochleas frekvensdiskrimination.

2.6 Den auditive nerve

Den auditive nerve (nervus cochlearis) kan beskrives som et bundt af nervefibre, der forbinder cochlea med hjernestammen (Wie, 2005). Nerven består af ca. 30.000 nervefibre (Zemlin, 1997), som danner synapse med cochleas hårceller. Nervefibrene (neuronerne) er inddelt i et afferent og et efferent innervationsmønster. Hovedparten af nervefibrene er afferente i

modsatning til de efferente⁴, som der er langt færre af (i en kat 1800 fibre). Ved det afferente stimulationsmønster innerverer ca. 95% af fibre de indre hårceller (type I), mens de tilbageblevne 5% af fibre innerverer de ydre hårceller (type II) (Zemlin, 1997). De afferente nervefibre cellelegemer, type I er placeret i Rosenthals spirale kanal, hvor de former den spirale ganglion, derved betegnelsen ganglionceller.



Figur 4 (Wilson et al., 2003:250). Illustrationen viser de forskellige anatomiske forløb for scala tympani (ydre spiral) og Rosenthals kanal med den spirale ganglion (indre spiral).

Den spirale ganglion (og Rosenthals kanal) viser sig ved at have $1\frac{3}{4}$ vinding, hvorimod scala tympani (og basilarmembranen) har $2\frac{3}{4}$ vinding. Den spirale ganglion når derfor ikke højere end scala tympanis anden vindings niveau, hvor den slutter i en "udposning". I dette fremspring er der en tætpakket klynge af spirale ganglionceller (Hochmair et al., 2003; Wilson, 2004). De ganglionceller, som innerverer den øvre region af det Cortiske organ, er placeret i denne "udposning" (Hochmair et al., 2003). Afstanden mellem scala tympanis mediale⁵ væg og den spirale ganglion øges med forøget distance fra

⁴ Ved det efferente stimulationsmønster kommer fibre fra nucleus olivarius i hjernestammen. Ca. 80% af fibre er krydsede og innerverer de ydre hårceller. De tilbageblevne 20% af de efferente fibre er ukrydsede og innerverer de indre hårceller.

⁵ Udtrykkende medialt og lateralt vil være anvendt igennem specialet. Medialt: Betyder i dette tilfælde ved scala tympanis indre væg ind imod modiolus. Lateralt: Betyder derimod det modsatte, nemlig ved scala tympanis ydre væg.

det ovale vindue og basis (imod apex). Den basale vinding er derfor den vinding, der ligger tættest på den spirale ganglion (Hochmair et al., 2003; Wilson, 2004).

Ved normal hørelse har ganglioncellerne, som innerverer hver indre hårcelle, forskellig sensitivitet og dynamiske responsområder (Wilson et al., 2003). Nogle ganglionceller besidder høje tærskler og relativt brede dynamiske områder samt relativt lave rater af spontan frigørelse, mens andre ganglionceller har lave tærskler og relativt begrænsede dynamiske områder samt høje rater af spontan frigørelse (Wilson et al, 2003). Nervefibrene, som tilsammen danner den auditive nerve, er med til at bevare og forøge basilmembranens og hårcellernes frekvensselektivitet. Nervefibrene er dog ligesom basilmembranen ikke så frekvensspecifikke som de indre hårceller (Balle, 2000b).

“The auditory nerve retains the frequency selectivity found along the basilar membrane and in the inner hair cells. The filtering effect of the basilar membrane may be augmented by the hair cells and again by the auditory nerve. This suggests a series of low- pass or band- pass filters that sharpen the tuning of the ear.”

(Zemlin, 1997:499).

Hvilken som helst nervefiber (ganglioncelle) vil respondere på et bredt frekvensområde. Men opsætter man en tuningskurve og afgør responstærskelen over et frekvensområde, finder man, at hver undersøgte nervefiber vil respondere bedst på én specifik frekvens. En nervefiber kan derfor respondere på et bredt frekvensområde, men bedst på sin egen karakteristiske frekvens, og følger således den tonotopiske organisation.

2.7 Det centrale auditive system

Nerveimpulserne overføres via hjernestammen til det centrale auditive system, nærmere betegnet lobus temporalis (Balle, 2000c). Det centrale auditive nervesystem udgør de dele i hjernen, der særligt er henvist til at modtage, bearbejde og tolke auditive signaler (Wie, 2005). De impulser fra nerverne, som opfanges af det primære og sekundære auditive område i cortex, bliver

processeret videre til de centrale sprogcentre i cortex (Wie, 2005). Hjernens har en utrolig plasticitet, m.a.o. er den meget fleksibel, hvilket er af stor betydning i forbindelse med at opnå et optimalt udbytte med et CI (som omtalt i afs. 5.9.2).

2.8 Opsamling

Kendskab til cochleas anatomi er en væsentlig forudsætning for forskning og udvikling af CI'er. Øret kan beskrives som et rigt komplekst system, der udgør en fleksibel og selvregulerende proces. Det har en imponerende diskrimination af tonehøjder og er godt udviklet til at opfatte forskellige lydstyrkeniveauer. De sværeste lyttesituationer opstår i de tilfælde, hvor baggrundsstøjen bliver sammensat af talestøj.

Lydbølgens vej igennem det perifere system går via ydre, mellem og indre øre samt den auditive nerve. Når lyden kommer ind i øret, vibrerer knoglekæden og trommehinden, som sætter bølgen på basilarmembranen i bevægelse. Den hydrauliske energi i det indre øres væske stimulerer de indre hårceller, som frigiver kemisk transmittersubstans ind i den synaptiske kløft. Dette potentiale innervierer ganglioncellerne, der ligger i et nervebundet i modiolus, kaldet ganglion spirale. De små elektriske potentialer går derefter via hjernestammen videre til hjernens auditive cortex.

Cochlea er *tonotopisk opbygget*. Det er frekvensen på det auditive signal, *den karakteristiske frekvens*, som afgør, hvilke frekvenser på basilarmembranen der stimuleres og igen, hvilke indre hårceller og ganglionceller, som danner synapse med hinanden. Den tonotopiske organisation starter derfor i cochlea, fortsætter til hjernestammen og derefter videre af de auditive baner op til det auditive område i cortex.

Ved en normalt fungerende hørelse sker der en *ulineær filtrering* på basilarmembranen, en *forsinket kompression* og en *fintuning* i cochlea. Der findes en *tuningskurve* for både basilarmembranen, hårcellerne og nervefibrene, dvs. at der er *tre skelnende stadier* i lydprocesseringen. De indre hårceller viser en skarpere tuning og er derfor mere frekvensspecifikke end basilarmembranens og nervefibrene tuningskarakteristika.

Den spirale ganglion i Rosenthals kanal har $1\frac{3}{4}$ vinding, hvorimod scala tympani har $2\frac{3}{4}$ vinding. Det medfører, at den spirale ganglion ikke når højere end scala tympanis anden vindings niveau, hvor den slutter i en ”udposning” af tætpakkede spirale ganglionceller. Der er forskellige anatomiske forløb for den spirale ganglion og basilarmembranen, hvilket resulterer i, at de to spiraler ligger tættest på hinanden ved den basale vindings niveau.

3 CI - det tekniske

Man kan ikke sidestille et CI med et høreapparat (HA). HA'er giver forstærkning af lyd, hvilket kun har en meget lille eller ingen effekt på personer med svære og omfattende høretab (Cochlear, u.å.). Under sådanne forhold kan de ødelagte hårceller ikke bearbejde lyden tilfredsstillende, uanset hvor høj den er. Når dette er tilfælde, vil et CI være nødvendigt. Et CI går uden om de ødelagte hårceller ved at sende elektrisk stimulation direkte til fungerende ganglionceller i den auditive nerve. Denne information transmitteres derefter til hjernen, der opfatter den som lyd. Clark (2003a:xxxi) har en meget præcis definition på et CI:

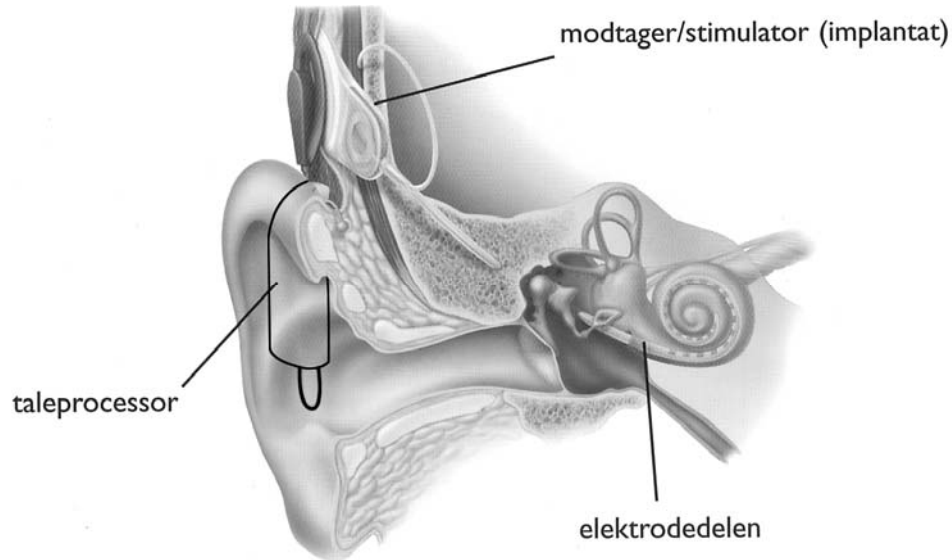
"The multiple-channel cochlear implant (bionic ear) is a device that restores useful hearing in severely to profoundly deaf people when the organ of hearing situated in the inner ear has not developed or is destroyed by disease or injury. It bypasses the inner ear and provides information to the hearing centers through direct stimulation of the hearing nerve."

I det første afsnit gives generelle oplysninger samt en illustration af et CI. Dernæst er de eksterne og interne komponenter for implantatsystemets hardware beskrevet i de følgende afsnit, efterfulgt af et afsnit om taleprocesseringsstrategien, som er CI-systemets software. Afhængig af den anvendte strategi og taleprocessor er der et bestemt antal kanaler (som omtalt i afs. 3.7). Kanalernes funktion bliver der ligeledes gjort rede for. Slutteligt i kapitlet beskrives i korte træk, hvordan et CI-system virker.

3.1 Generelt om CI

De CI-systemer, som anvendes i DK til voksne (og børn), er primært fra firmaerne Cochlear og Advanced Bionics (Andersen, 2004). CI-systemer har de samme basiskomponenter, som varierer i detaljer og design afhængig af den valgte modeltype. På trods af at et CI anses for at være et effektivt hjælpemiddel til taleopfattelse, så kan implantaterne ikke behandle det auditive signal lige så godt, som det auditive system hos normalthørende (som omtalt i afs. 2.1). Udvikling af nye modeller med bedre teknologi og bedre løsninger af strømbehovet fortsætter. Reduktioner i størrelser, forøgelser i kapacitet samt totalt implanterbare CI'er (som omtalt i afs. 7.9.3) kan meget vel blive

tilgængelige inden for den nære fremtid (Clark, 2003a; Gates & Miyamoto, 2003; Wilson, 2004).



Figur 5 (Cochlear, u.å.:3). Illustrationen viser interne og eksterne komponenter i et CI.

Selve CI'et består af både interne og eksterne komponenter (figur 5). Implantatet (modtageren) placeres under huden bag ved øret og er forbundet med en elektrode, som ligger inde i cochlea. Mikrofonen, taleprocessoren og transmitterspolen bæres udvendigt.

3.2 Mikrofonen

Mikrofonen sidder øverst på BTE- (behind-the-ear) taleprocessoren, hvor den opfanger lyd, som omformes til elektriske signaler (Wilson, 2004), der transmitteres videre til taleprocessoren. Lyde, som kommer fra modsatte side af hovedet, kan være vanskelige at opfatte pga., at der forekommer maskering. Hovedet skygger for signalet, hvilket bevirker, at lyden bliver svagere, inden den når mikrofonen.

CI'er i dag har en retningsmikrofon (direktionel mikrofon) (Clark 2003a; Samar, 2004; Wilson, 2004; Wouters & Berghe, 2001). En retningsmikrofon forbedrer signal/støj-forholdet⁶ og øger derved taleforståelse i støj.

⁶ Signal/støj-forholdet er ofte benævnt S/N eller SNR (signal/noise-ratio) og er et signals styrkemål sat i forhold til baggrundsstøjen. Ratioen er ofte målt i decibel (dB).

Hørekomforten i støj forbedres, fordi retningsmikrofonen undertrykker de lyde, der kommer bagfra og eventuelt fra siderne (Dillon, 2001; Wilson, 2004). Mikrofonen kan derfor hjælpe ved lytning af tale under ugunstige forhold såsom at lytte til en taler i situationer, hvor der er andre talere eller anden baggrundsstøj. Men en retningsmikrofon er ikke ønskelig i alle sammenhæng, hvilket kan være et problem, da CI'et ikke har andet. For at få god effekt af en retningsmikrofon kræver det, at den person, som taler med CI-brugeren, står forholdsvist tæt på. Når der er mere end to meters afstand mellem taler og CI-bruger, begynder taleperceptionen at forringes (Andersen, 2005a).

Med nye taleprocessorer bliver det muligt for CI-brugeren at vælge mellem retnings- og omnidirektionelmikrofon (Andersen, 2005b). En retningsmikrofon har en bedre performans end en omnidirektionelmikrofon ved tale i støj (Wouters & Berghe, 2001). Fordelen ved en omnidirektionelmikrofon er derimod, at hvis den testes i frit felt, så vil den samle lyd op lige godt fra alle retninger og således have et cirkulært følsomhedsmønster (Dillon, 2001). Dette kan være en hjælp i nogle lyttesituationer.

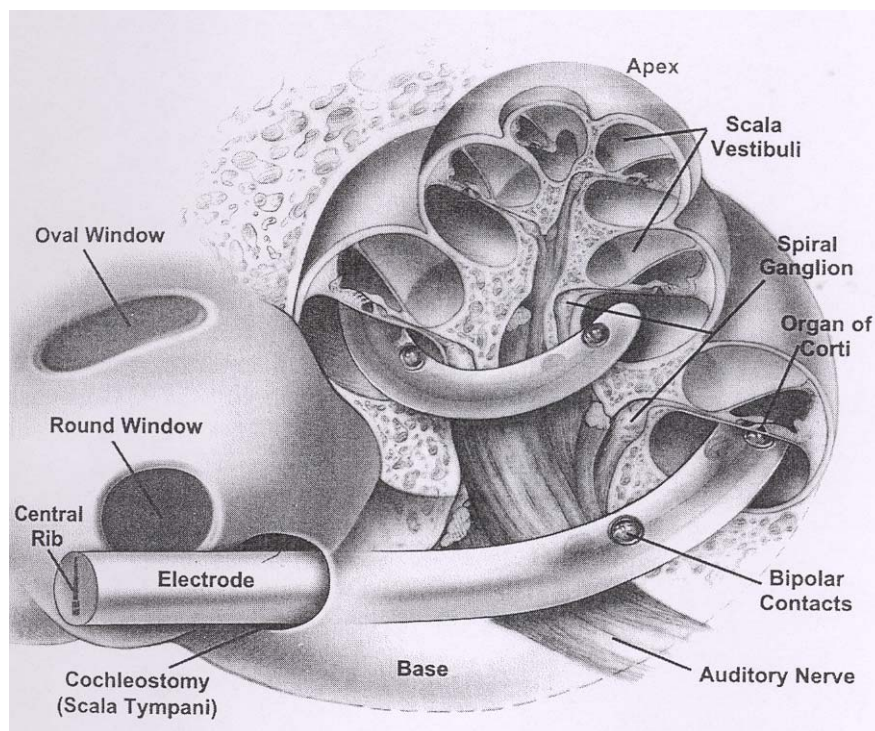
3.3 Taleprocessoren og transmitterspolen

Taleprocessoren, som bliver batteridreven, er en slags datamaskine, der koder og bearbejder signalerne fra mikrofonen til et specielt mønster af elektriske impulser (Wie, 2005). Processoren er den, der programmeres, hvilket normalt foretages af audiologiassistenten eller teknikkeren. Programmeringen refereres til som ”tilpasning” eller ”indstilling” (som beskrevet i afs. 3.6) (Cochlear, u.å.). Der er to typer af taleprocessorer: Den kropsbårne taleprocessor eller den, som bæres bag øret, BTE. Voksne CI-brugere anvender primært BTE-processoren, da den er mere kosmetisk og praktisk samt relativ lille og let. Denne processor har sine begrænsninger, da den kun kan klare 20 elektrodepunkter. Det er ofte elektrodepunkterne 1-2, der kobles fra (Andersen, 2005a; Samar, 2004). Den kropsbårne processor kan derimod klare 22 elektrodepunkter. Processorens størrelse, vægt samt design er betydningsfuldt, og ligeledes er batteriforbrug, holdbarhed, reliabilitet m.m. Kontrolknapperne skal være store og simple nok til at manipulere med for at imødekomme både børn og ældre CI-brugeres behov.

Transmitterspolen er forbundet til taleprocessoren via en separat ledning. Denne ydre spole, kaldt senderen, holdes på plads over modtageren (implantatet) vha. en ydre og en indre magnet, da den ellers kan falde af. De elektriske impulser i taleprocessoren transmitteres til modtageren via senderen gennem en transcutan forbindelse, som afkoder signalerne vha. radiobølger (FM).

3.4 Implantatet

Implantatet, som også kaldes for modtageren, er forbundet med elektroden. Kirurgen implanterer modtageren (ca. 4-5 cm lang) ved tindingebenet bag øret (Hedegård, 2003). Man laver en cochleostomi (udboring) ved siden af det runde vindue i den basale vinding (Andersen, 2004; Leake & Rebscher, 2004) og indfører elektroden i scala tympani (figur 6).



Figur 6 (Leake & Rebscher, 2004:103). En illustration af et multikanal CI. Denne elektroderække skildrer otte elektrodepunkter.

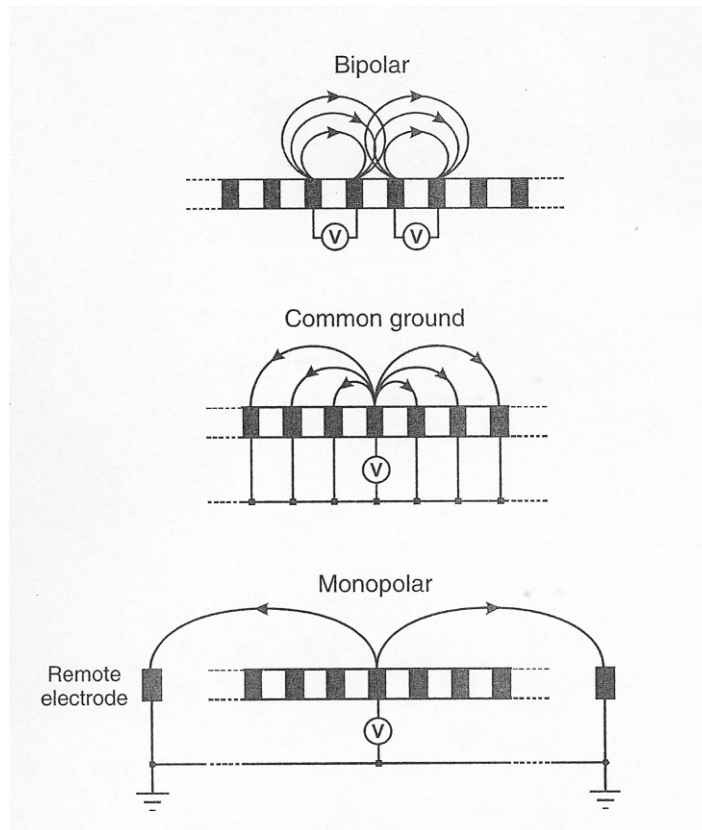
Som beskrevet i afsnittet ovenfor, så modtager og afkoder implantatet det elektriske signal. Dette sendes derefter videre det til de intracochleære elektrodepunkter, der stimulerer den auditive nerve. Signalerne indeholder bl.a.

information om, hvilke elektrodepunkter der skal aktiveres og om, hvor stor en elektrisk impuls, der skal sendes til hvert elektrodepunkt. Størrelsen på den elektriske impuls bestemmer lydens styrke (Wie, 2005).

3.5 Elektrodedelen

Formålet med placeringen af elektroden i scala tympani er at komme tæt på ganglioncellerne og stimulere med elektriske signaler. De apparater, som benyttes i dag, anvender alle multiple elektrodepunkter og kanaler. Multikanal CI-systemer er designet til at udnytte cochleas tonotopiske organisation, hvilket giver en bedre taleperception. Elektrodepunkternes placering i cochlea er afgørende for opfattelsen af frekvens (tonehøjden). Stimulering af basale elektrodepunkter angiver tilstedeværelsen af højfrekvente lyde, og stimulering af apikale elektrodepunkter angiver tilstedeværelsen af lavfrekvente lyde (Wilson, 2004). Talrige områder i det indre øre kan således blive stimuleret efter samme principper (den tonotopiske organisation), som ved det normale auditive system (som omtalt i kap. 2). Hvis den tonotopiske orden ikke er rigtig, så byttes der rundt på elektrodepunkterne, så de passer på den rigtige kanal (Andersen, 2004), fx skal kanal 1 altid være den lyseste tone (dvs. den mest højfrekvente kanal), kanal 2 lidt mørkere osv. Dette skal stemme overens med CI-brugerens subjektive opfattelse.

Retningen og strømspredningen afhænger af elektrodens ”stimulationskonfiguration”. De tre stimulationskonfigurationer, ved hvilke de intracochleære elektrodepunkter bliver stimuleret, er enten bipolar, common ground eller monopolar konfiguration (Clark, 2003a). Det er taleprocesseringsstrategien, som ultimativt afgør typen af elektrodepunkternes stimulationskonfiguration.



Figur 7 (Clark, 2003a:263). En illustration over strømområderne for bipolar, common ground og monopolar stimulation.

Bipolar stimulation (figur 7, øverst) forekommer, når ét ”spændingsfelt” er dannet mellem to elektrodepunkter, som tillader strøm at flyde mellem de to. Spændingsfeltet varierer og benævnes ved BP +1, BP +2 osv. Jo større distance imellem de to elektrodepunkter des mere spredes strømmen (Clark, 2003). På figur 7, øverst er der illustreret to spændingsfelter. Bipolar stimulation er en stimulationsform, der udelukkende vandrer intracochleært.

Common Ground stimulation (Figur 7, i midten). Ved denne stimulationsform løber en strøm fra ét aktivt elektrodepunkt til alle de andre elektrodepunkter, som er forbundet elektronisk (Clark, 2003). Stimulationsformen anvendes ikke længere i dag. Den bruges dog som test under operationen, hvor den måler modstanden på elektrodepunkterne dvs. anvendes som en impedansmåling (Andersen, 2004).

Monopolar stimulation (figur 7, nederst) forekommer, når en potentiel forskel bliver dannet mellem et aktivt elektrodepunkt og et fjernt elektrodepunkt uden

for cochlea, ofte i musculus temporalis. Desuden er der et elektrodepunkt på selve implantatet (Andersen, 2005a). I DK anvendes der i de fleste tilfælde monopolar stimulation (Andersen, 2004). Den valgte stimulationskonfiguration har betydning for, hvor mange elektrodepunkter og kanaler der aktiveres. Ved monopolar stimulation er antallet af aktive elektrodepunkter og antallet af kanaler det samme. Derimod er antallet af aktive kanaler færre end antallet af aktive elektrodepunkter ved bipolar stimulation, fordi der kræves to elektrodepunkter for at opstille et bipolart par (Yukawa et al., 2004).

Elektroden varierer i type, placering, omfang og indsættelsesdybde samt i antallet af aktive elektrodepunkter. De forskellige begreber beskrives kort nedenfor, men de uddybes nærmere i kapitel 6.

De *elektrodetyper*, som er tilgængelige i dag, er en lige elektrodetype eller en perimodiolær elektrodetype dvs. at elektroden snor sig omkring modiolus. Den nyeste elektrode fra Cochlear hedder CI 24 Contour elektrode og er udviklet til at stimulere tæt op ad den mediale væg i scala tympani for at opnå den bedste taleperception (www.cochlear.com, 2005c).



Figur 8 (Cochlear, u.å.:3). Illustrationen viser den perimodiolære CI 24 Contour elektrode.

Placeringen er elektrodedesignets afstand til modiolus, dvs. om elektroderækken ligger langs scala tympanis laterale væg, eller om den ligger medialt i scala tympani. I mange artikler er elektrodens placering også beskrevet i forhold til, hvor dybt elektroden placeres i cochlea, dette blive i specialet benævnt elektrodens indsættelsesdybde (se nedenfor).

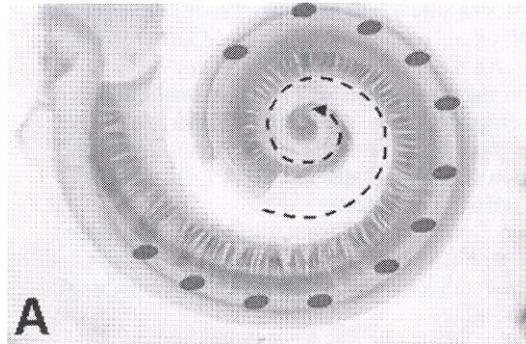
Elektrodeomfanget refererer til distancen mellem de første og sidste elektrodepunkter på elektroderækken (Hochmair et al., 2003). De separate

stimulationspunkter er fordelt ud over cochleas længde og udnytter (i større eller mindre grad) cochleas naturlige opbygning, den tonotopiske organisation.

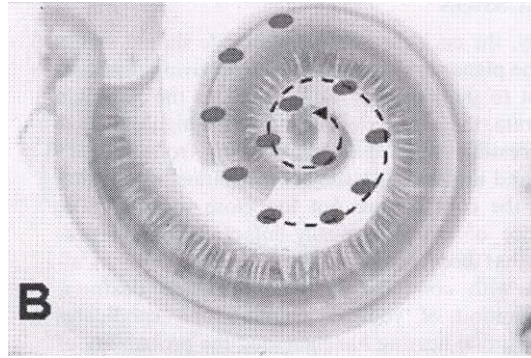
Indsættelsesdybden beskriver, hvor langt elektroden føres ind i cochlea. Det er kendetegnende for scala tympani implantater, at der kun sker en delvis indsættelse af elektroderækken. Det længste en elektrode er blevet indsat er ca. 30 mm fra det runde vindue (Wilson, 2004).

Implantatmodeller har forskellige *antal elektrodepunkter*. De implantater, som anvendes herhjemme i dag, har enten 22 elektrodepunkter (fra Cochlear) eller 16 elektrodepunkter (fra Advanced Bionics), der anbringes i scala tympani, og som stimulerer ganglionceller forskellige steder langs elektroderækken. Antallet af elektrodepunkter stemmer overens med antallet af kanaler.

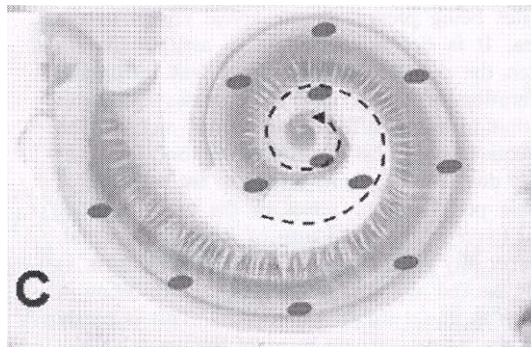
Nedenfor i figurerne 9A-9E (Hochmair et al., 2003) illustreres og beskrives forskellige elektrodeplaceringer, -omfang og -indsættelsesdybder. Til orientering for læseren så er de *stiplede linier* optegnelser af sneglevindingernes forløb i retningen af apex. Cirka 1½ sneglevinding bliver stiplede af hensyn til læsbarheden. *Punkterne* i cochlea illustrerer elektrodeomfanget med antal elektrodepunkter.



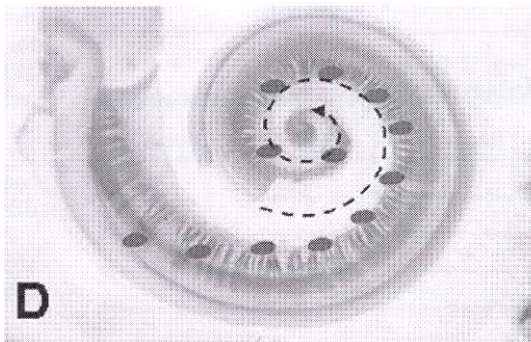
Figur 9A (Hochmair et al., 2003:614). Illustrationen viser en elektrodeindsættelse med manglende stimulation af den lavfrekvente tonotopiske region, apex. Der er et begrænset elektrodeomfang ≈ 20 mm langs scala tympanis laterale væg (Hochmair et al., 2003).



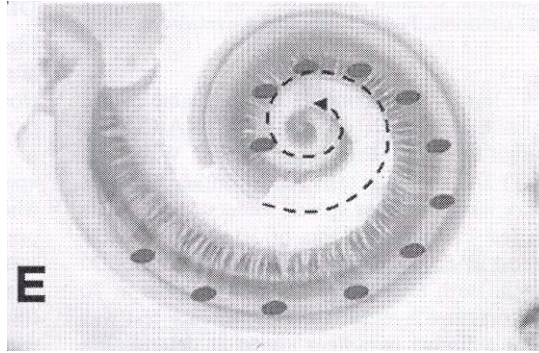
Figur 9B (Hochmair et al., 2003:614). Illustrationen viser en elektrodeindsættelse med manglende stimulation af basis. Der er en begrænsning i elektrodeomfanget som i figur 9A. I begge tilfælde (Figur 9A og 9B) resulterer det indskrænkede elektrodeomfang i en manglende stimuleret tonotopisk region (Hochmair et al., 2003). En elektrodeindsættelse som denne forekommer kun inden for forskning (Andersen, 2005a).



Figur 9C (Hochmair et al., 2003:614). Illustrationen viser en elektrodeindsættelse med et langt elektrodeomfang og dyb elektrodeindsættelse langs scala tympanis laterale væg. Her er strømspredning ikke nødvendig med det formål at stimulere tonotopiske regioner ud over området af elektroderækkens første og sidste stimulationspunkter (Hochmair et al., 2003).



Figur 9D (Hochmair et al., 2003:614). Illustrationen viser en perimodiolar elektrode, som er placeret imod scala tympanis mediale væg. Der er en ideel perimodiolar fordeling af elektrodepunkterne.



Figur 9E (Hochmair et al., 2003:614). Illustrationen viser en delvis perimodiolær fordeling af elektrodepunkterne. Elektroderækken har en delvis forskydning imod den mediale væg. Nogle elektrodepunkter er i reglen perimodiolære, mens andre er placeret ved scala tympanis laterale væg. Ifølge Hochmair et al. (2003) er der flest perimodiolære elektroderækker af denne type.

3.6 Taleprocesseringsstrategier

Digitale taleprocesseringsstrategier er betegnelser for, *hvordan* processoren fortolker det lydsignal, som opfanges af mikrofonen. Det vil sige afhængig af den anvendte taleprocesseringsstrategi udvælger og koder taleprocessoren lyden til digitale signaler, som transmitteres videre til den auditive nerve.

Der findes efterhånden rigtig mange taleprocesseringsstrategier, gamle som nye. Anvendte strategier er bl.a.: ACE (advanced combination encoder), CIS (continuous interleaved sampling) og SPEAK (spectral peak). Hver enkelt strategi findes i flere varianter afhængig af den anvendte processortype⁷ (Andersen, 2005c). De tre strategier, som er nævnt her, vil i hovedtræk være beskrevet ud fra deres maksimalt forekommende kanalantal, stimulationsrate (pulsrate) og maxima⁸:

SPEAK har en stimulationsrate på 250 gange pr. sek. pr. kanal. Den bruger op til 20 kanaler, og Maxima er ca. 8 kanaler. Strategien bruges i dag bl.a. til personer med mondini⁹ (Andersen, 2004).

⁷ Med ACE-strategien kan der fx være op til 22 kanaler med Sprint og Freedom processoren, og op til 20 kanaler med ESPrit 3G processoren (Andersen, 2005c).

⁸ Maxima er et udtryk for hvor mange kanaler der skal bruges til at præsentere formanterne F1, F2 og F3 (Andersen, 2005c) (udtrykket formanter er beskrevet i fodnote 15). Det er et vist antal kanaler, der stimulerer ud af de aktive kanaler.

⁹ Mondini er misdannelser i det indre øre, som giver en forkert anatomisk opbygning med kun 1½ vinding samt et hulrum (cavitet). Ved mondini er der færre nerveceller at stimulere, og man

CIS har en høj stimulationsrate på 2400 gange pr. sek. pr. kanal. Strategien har 8-12 *faste* kanaler. Ved CIS er Maxima derfor lig antallet af kanaler. Ifølge Andersen (2003a) tyder meget på, at man er ved at gå bort fra denne strategien (CIS-strategien er yderligere beskrevet i afs. 5.4).

ACE er den nyeste strategi, og har en stimulationsrate på op til 2400 gange pr. sek. pr. kanal. Strategien anvender op til 22 kanaler. Maxima er normalt sat til mellem 8 og 12. De 22 stimulationskanaler giver en detaljeret mængde information af spektral art, dvs. et væld af informationer om både tonehøjde og timing (Dorman, 2000). Ligesom SPEAK er ACE en dynamisk og vekslende strategi, men svarende til CIS har ACE nogle højere stimulationsrater. ACE er efterhånden den strategi i DK, som de fleste brugere får (Andersen, 2004).

Taleprocesseringsstrategier kan arbejde ud fra flere metoder¹⁰: Analog, pulsativ, simultan eller sekventiel i forbindelse med omdannelsen af talelyde til passende elektriske signaler (Nyrop & Waters, 1993). Retningen er gået imod at benytte pulsativ stimulering (Andersen, 2005c; Una, 2005). Desuden arbejdes der med systemer, som også stimulerer sekventiel. Advanced Bionice Hi-Res strategi stimulerer sekventiel (Andersen, 2005c). Ifølge Andersen (2005c) vil man i fremtiden se mere komplekse måder at stimulere på.

Man kan ikke umiddelbart sige, hvorledes lyden fra CI'et opfattes i hjernen, men man ved, at det er muligt at høre fra 125-8000 Hz (Hedegaard, 2003; Samar, 2004).

Efter implantationen skal taleprocessoren tilpasses i forhold til personens subjektive lydopfattelse. Der tilpasses to justerbare stimuliniveauer, et T-niveau, den svagest hørbare lyd og et C-niveau, den maksimalt komfortable lyd, som man arbejder ud fra i tilpasningsprocessen. C-niveauet er en form for

opnår derfor ofte ikke lige så gode resultater, som hos andre CI-brugere (Hedegaard, 2003; Andersen, 2005a)

¹⁰ *Analog*: Anvendes ikke længere i dag. *Pulsativ*: Det er en sinuspuls eller biphasiskpuls, der stimuleres med (Andersen, 2005c).

Sekventiel: Skifter mellem kanalerne på forskellige tidspunkter (Nyrop & Waters, 1993).

Simultan: Stimulerer samtidig. Den mest anvendte stimulationsmåde er sekventiel, da det er vanskeligt at styre simultan, men begge forekommer (Andersen, 2005c).

loudness måling (Andersen, 2005c). Mellem T- og C-niveauerne ligger dynamikområdet.

”T- level: det mindste elektriske stimulus niveau, på en bestemt kanal, som den implanterede med sikkerhed kan detektere.

C- level: det maksimale elektriske stimulus niveau, som den implanterede finder komfortabelt, hvis lyden bliver kontinuerlig præsenteret på samme niveau.”

(Samar, 2004)

T-og C-niveauerne fastsættes for hver kanal (Clark, 2003a). Denne information, der er unik for hver CI-bruger og let kan reprogrammeres, er lagret i en hukommelseschip inde i taleprocessoren. Ifølge Clark (2003a) går det under betegnelsen MAP¹¹. Anvendes der monopolar stimulation (som omtalt i afs. 3.5), er det i dag muligt at nøjes med at måle T- og C-level på ca. 5-7 kanaler, og derefter interpolere¹² de øvrige kanaler (Andersen, 2005c). Både impedansmålinger¹³ og interpolering har reduceret tidsforbruget væsentligt.

Niveauerne (T og C) ændrer sig særligt i starten (Clark, 2003a; Samar, 2003), og nye MAP'er behøver derfor at blive programmeret i taleprocessoren. Andersen (2005a) påpeger, at der godt kan være meget store forskelle på T- og C-tærskler fra person til person. Dynamikområdet ligger som udgangspunkt fra 40-70 dB SPL (Andersen, 2005a), dvs. at ved ca. 40 dB SPL¹⁴ er tærsklen placeret. Men dynamikområdet kan flyttes, da CI-brugeren har mulighed for at manipulere dynamikområdet op og ned afhængig af lydsignalet. En kraftig lyd

¹¹ MAP = Map for the threshold and maximum comfortable levels in the speech processor (Clark, 2003a).

¹² Når man tilpasser med monopolar stimulation, får man næsten en flad profil, dvs. at de målte niveauer næsten er på det samme niveau som nabokanalerne. Man måler fx på kanal 22, 17, 12, 7, 3 og 1, og derefter estimeres T-og C-level på de øvrige kanaler. Dette betegnes interpolering, som er integreret i softwaren (Andersen, 2003c).

¹³ Med CI24 systemet (fra Cochlear) og HiRes 90K (fra Advanced Bionics) er det i dag muligt at nøjes med at måle elektrodeimpedansen (modstanden) og dermed diagnosticere evt. fejl på elektroderne (Andersen, 2005c).

¹⁴ DB SPL (Sound Pressure Level) er et fysisk mål for en lydstyrke. Styrken angives i forhold til lydtrykket 20 µPa, og resultatet kaldes et lydtryksniveau (Poulsen, 1991).

har ikke de samme fysiske gener, som den har for en normalthørende, da kraftige lyde generelt vil blive komprimeret ned til 70 dB SPL.

3.7 Kanaler

I taleprocessoren bliver lydsignalet inddelt i kanaler. Ved at inddele i et relativt stort kanalantal opnår man en rimelig høj grad af frekvensopløsning.

Implantater, som anvendes herhjemme i dag, har enten 22 kanaler (Cochlear) eller 16 kanaler (fra Advanced Bionics). Kanalantallet svarer til antallet af elektrodepunkter (ved monopolar stimulation), som beskrevet i afsnit 3.5.

Der sker en konvertering fra kanaler til elektrodepunkter. Det er kanalerne, der bestemmer, hvilke par af elektrodepunkter der skal stimuleres på = MODE.

Kanalerne tager sig hver især af et bestemt *frekvensbånd*. Til hvert frekvensbånd svarer der et digitalt *båndpasfilter*. Et båndpasfilter er karakteriseret ved to parametre: *centerfrekvensen* og *båndbredden*. Hvert filter repræsenterer talens energi. En effektiv måde at analysere tale på er ved at lade signalerne passere igennem en bank af båndpasfiltre. Energimønstret i hvert filter er talespektret. Talespektret over en tidsperiode præsenteres grafisk som et spektrogram (Clark, 2003a). Taleprocessoren aflæser peaks og formanter¹⁵ i spektret. De kanaler med de største energikoncentrationer bliver fremhævet, og elektrodepunkterne, associeret med disse kanaler, stimuleres (Dorman, 2000). Komplekse signaler kan således omdannes til talesignaler vha.

taleprocesseringsstrategien. Strategien stimulerer med forskelligt strømniveau på elektrodepunkterne og de spektrale mønstre genskabes. Disse mønstre bliver genkendt i hjernen som talesignaler.

3.8 Hvordan et CI-system virker

Princippet ved et CI er, at man forsøger at efterligne cochleas normale omdannelse af lydbølger til elektriske impulser, der dernæst stimulerer den auditive nerve.

¹⁵ Formanter er stemte lyde (vokaler og halvvokaler), som er karakteriseret ved multiple koncentrationer af energi ved specifikke frekvenser. Formanternes størrelse og placering i spektret er karakteristisk for den enkelte vokal. Tale kan have mange veldefinerede formanter, men den første (F1) og den anden (F2) formant er de mest betydningsfulde til identifikation af stemte lyde (Poulsen, 1991; Clark, 2003a).



Figur 10 (Cochlear: u.å.). En illustration over, hvordan CI'et virker. Lyd omdannes til digitale signaler, som transmitteres via den auditive nerve til hørecentret i hjernen, hvor de genkendes som lyd.

Tallene henviser til anvisninger på figuren ovenfor.

1: En mikrofon øverst på taleprocessoren opfanger lyd fra omgivelserne og omdanner den til et elektrisk signal som input til taleprocessoren.

2: Afhængig af den valgte strategi udvælger, bearbejder og koder taleprocessoren lyden til digitale signaler.

3: Det omformede signal sendes til transmitterspolen.

4: Transmitterspolen overfører signalerne igennem huden til implantatet, hvor de omdannes til elektriske signaler.

5: Signalerne sendes til elektrodepunkterne, der stimulerer ganglioncellerne.

6: Via den auditive nerve sendes signalerne til hjernen, hvor de genkendes som lyd, og resultatet er hørelse.

3.9 Opsamling

Den *mikrofontype*, som anvendes til CI'er i dag, er en retningsmikrofon. Den primære fordel ved denne mikrofontype er, at man kan forbedre taleforståelse i støj, men en retningsmikrofon er ikke ønskelig i alle situationer. Nye taleprocessere giver CI-brugeren mulighed for at vælge mellem en retnings- og en omnidirektionel mikrofon.

Taleprocessoren bearbejder signalerne fra mikrofonen til elektriske impulser. Voksne CI-brugere anvender primært en BTE-processor, da den er mere praktisk og bekvem end den kropsbårne processor. *Transmitterspolen* er forbundet til taleprocessoren med en ledning og transmitterer de elektriske impulser fra taleprocessoren til modtageren via en transcutan forbindelse.

De interne dele er *implantatet* (kaldet modtageren) og elektroden. Når implantatet har modtaget og afkodet signalet, sendes det til elektrodepunkterne, som stimulerer den auditive nerve. *Elektrodedelen* er placeret i scala tympani og har til formål at ligge tæt på ganglioncellerne og stimulere med elektriske signaler. Et multikanal CI er designet til at udnytte cochleas tonotopiske organisation ved at matche hvert frekvensbånd til et overensstemmende elektrodepunkt, for at opnå bedre taleperception. Elektrodedesignets detaljer kan variere i: type, placering, omfang, indsættelsesdybde samt i antallet af aktive elektrodepunkter.

Strømspredningen afhænger af elektrodens *stimulationskonfiguration*. Der findes tre forskellige typer: Bipolar, monopolar og common ground, hvoraf den sidstnævnte ikke anvendes længere. Stimulationskonfigurationen afgør, hvor mange elektrodepunkter og kanaler som aktiveres. I DK anvendes der i de fleste tilfælde monopolar stimulation, hvor antallet af elektrodepunkter bliver synonymt med apparatets kanalantal.

Taleprocesseringsstrategien er CI-systemets software og indeholder de teknikker, som taleprocessoren anvender til at omsætte talesignalet til elektriske impulser, der sendes videre til den auditive nerve. Tre kendte strategier, der anvendes, er SPEAK, CIS og ACE.

Taleprocessoren bliver indpasset efter personens subjektive lydopfattelse. Der tilpasses to justerbare niveauer: Et T-niveau, der er den svageste hørbare lyd, og et C-niveau, som er den maksimale komfortable lyd. Spændingsområdet

mellem T-og C-niveauet er kaldt dynamikområdet, der som udgangspunkt ligger mellem 40-70 dB SPL.

I taleprocessoren bliver lydsignalet inddelt i *kanaler*. Der opnås en relativ høj grad af frekvensopløsning ved at inddele i et forholdsvis stort antal.

Kanalerne afgør, hvilke elektrodepar der skal stimuleres på. De kanaler med de største energikoncentrationer bliver fremhævet, og elektrodepunkterne, som er associeret med disse kanaler, stimuleres.

4 Præoperative faktorer

Valg og beslutninger mht. de ydre faktorer, herunder de tekniske faktorer og flere af de postoperative faktorer kan påvirke performans, og hvert valg kan interagere med valg af andre faktorer. De indre præoperative faktorer, som stammer fra CI-kandidaten, kan ifølge Niparko (2004) og Waltzman (2000) have en mere signifikant effekt på taleperceptionsresultater end de ydre faktorer. Som beskrevet i kap. 1, er de indre faktorer langt sværere at kontrollere end de ydre faktorer ifølge Clark (2003a), pga. at de indre faktorer er konsistente.

Dette kapitel har til formål at give læseren en kort gennemgang af mange af de indre faktorer fra Clarks (2003a) citat i indledningen. De beskrevne faktorer er: alderen ved døvhedens indtræden, døvhedens varighed, implantationsalder, ætiologi, den generelle helbredsstilstand, progressivt høretab og residual hørelse. Promontorialtesten (som omtalt i afs. 4.6) er en objektiv test, der ifølge Clark (2003a) korrelerer med udbyttet og ligeledes indgår som en præoperativ faktor. I det første afsnit: Alderen ved døvhedens indtræden, er prælingualt døde voksne med CI beskrevet. Gruppen er medinddraget for at give læseren et mere nuanceret billede af populationen af voksne døde og svært hørehæmmede.

4.1 Alderen ved døvhedens indtræden

Alderen ved døvhedens/høretabets indtræden bliver hos voksne døde og svært hørehæmmede groft inddelt i prælingualt døde og postlingualt døde (som omtalt i afs. 1.3) og er de overordnede definitioner, der anvendes igennem specialet. Parving (1999) og Wie (2005) opdeler døde og svært hørehæmmede, som er kandidater til et CI i fire grupper. Betegnelsen:

- o *Døvfødt* bruges, når høretabet indtræffer *før* eller *ved* fødslen.
- o *Prælingualt døde* bruges, når høretabet indtræffer, *før* barnet har tilegnet sig talesproget.
- o *Perilingualt døde* bruges, når høretabet indtræffer, *mens* barnet tilegner sig talesproget.
- o *Postlingualt døde* bruges, når høretabet indtræffer, *efter* barnet har lært talesproget.

Aldersskellet mellem de oven for beskrevne definitioner er uoverensstemmende i litteraturen, da der ingen entydighed findes på området. Clarks (2003a) definition er meget uspecifik og forlyder: Hvis høretabet indtræder *før* 4-6 års alderen, så er personen prælingualt døv. Hvis høretabet derimod indtræder *efter* 4-6 års alderen, så er personen postlingualt døv, og udbyttet fra et CI vil afhænge af et antal af faktorer, som bl.a. inkluderer alder og sproglige færdigheder. Wie (2005) betegner derimod personer, som har mistet hørelsen før 25. levemåned som prælingualt døde, og personer, som har mistet hørelsen efter 41. levemåned, benævnes postlingualt døde. Wie (2005) anvender ovennævnte aldersskel ud fra teori samt tidligere undersøgelser.

Undersøgelsesresultaterne fra et studie (Kaplan et al., 2003) af præ- og perilingualt døde CI-brugere påviste, at disse grupper har signifikant dårligere talegenkendelseskapacitet og kræver en mere omfattende rehabilitering end de postlingualt døde CI-brugere. Ifølge Fugain et al. (1996) og Kaplan et al. (2003) er prælingualt og perilingualt døde voksne meget forskellige i deres auditive opfattelse og har meget variable rehabiliteringsbehov i forbindelse med CI-brug. I specialet indgår de to grupper under ét, som prælingualt døde af den årsag, at fokus er på de postlingualt døde voksne. Omkring 800.000 danskere har problemer med hørelsen, og ud af disse er 8-9000 døvblevne eller svært hørehæmmede (Hansen, 2004). Der bliver på nuværende tidspunkt implanteret ca. 70 voksne om året i DK, med en stigende tendens (Andersen, 2005b). De to forskellige populationer: Præ- og postlingualt døde voksne er beskrevet nedenfor.

4.1.1 Prælingualt døde voksne

Anvendelsen af CI til prælingualt døde voksne har ofte været debatteret pga. det begrænsede udbytte, som er forventet hos denne gruppe. Skønt prælingualt døde voksne har meget langsom eller ingen fremgang i talegenkendelse med et CI, erfarer de næsten altid andre basisfordele, såsom forbedret opmærksomhed på omgivelsernes lyde samt støtte til og forbedret mundaflæsning (Hinderink, 2001; Kaplan et al., 2003; Machdoun, 1998). Akustisk kontakt med omgivelserne er af stor psykologisk og social betydning. Tilegnelsen af lyd via et CI hos prælingualt døde voksne viser sig derfor ofte som meget positivt, på trods af det lave niveau af objektive målelige resultater (såsom taletests og audiologiske tests). CI er dog særlig egnet for et lille antal specielt udvalgte

prælinguallt døde personer, heriblandt personer med Ushers syndrome type I¹⁶, som ikke kun er døde men også lider af et visuelt handicap, der kan føre til blindhed. Hos personer med Ushers syndrom type I kan lydsignalet fra et CI derfor være afgørende for deres virke i samfundet (Makhdoum, 1998). Personer med Usher får pga. deres handicap tilbudt bilateralt CI (Andersen, 2005b).

Årsagerne til hvorfor relativt få implantationer er blevet foretaget hos populationen af prælinguallt døde beskrives nedenfor:

Sociale faktorer: Prælinguallt døde voksne er ofte medlemmer af døvesamfund med alternative kommunikationsmetoder, såsom tegnsprog. Dette fører til en lille interesse for CI inden for denne gruppe. Især til at begynde med var der en betydelig modstand imod CI. Den tidlige frygt hos prælinguallt døde, at CI vil være en trussel for ”døvekulturen” eller, at døde mennesker ikke vil blive accepteret i samfundet, er gradvist aftaget (Hinderink, 2001).

Dårlige taleperceptionsresultater: Forskning påviser, at CI ikke har haft favorable taleperceptionsresultater for prælinguallt døde voksne sammenlignet med dem hos postlinguallt døde voksne (Bosco et al., 1996; Clark, 2003a; Hinderink, 2001; Kaplan et al., 2003; Makhdoum, 1998). Der er dog et stigende antal af prælinguallt døde voksne, som nu søger om implantation. Denne udvikling kan sandsynligvis tilskrives den høje succesrate set hos postlinguallt døde CI-modtagere (Kaplan et al., 2003).

Fysiologiske faktorer: Det dårligere udbytte hos prælinguallt døde voksne skyldes i høj grad fysiologiske faktorer. En lang periode med døvhed og manglende lydinput til det auditive system fører til tab af neuroner og nerveforbindelser i det centrale auditive nervesystem (Clark, 2003b; Clark, 2003a; Niparko, 2004; Rubinstein et al., 1999; Waltzman, 2000). Adskillige undersøgelser (Waltzman, 2000) konkluderer, at tidlig lyddeprivation resulterer i negative effekter af det centrale auditive system, hvorimod deprivation på senere tidspunkter ikke har de samme alvorlige konsekvenser. Forskning har ligeledes dokumenteret, at hvis visuelle signaler er brugt til at kommunikere

¹⁶ Ushers syndrom type I er en form for arvelig døvhed som også har en progressiv form for retinitis pigmentosa, der er en lidelse på øjet, som eventuelt fører til en seriøs reduktion af synet, i sidste instans endog blindhed (Makhdoum, 1998).

med, i stedet for auditive signaler hos prælingualt døve personer, så kan de visuelle signaler trænge sig ind på og bruge det højere auditive cortex. Undersøgelser (Clark, 2003a) med PET-scanning (positron emissions tomography) har påvist, at cortexs auditive associationsområde i stedet bliver aktiveret af tegnsprog hos prælingualt døve CI-brugere.

En undersøgelse af Hinderink et al. (2001) påviser, at det er muligt at implantere prælingualt døve personer, hvis de er motiverede og har lært at bruge oral-auditiv kommunikation. Resultaterne påpeger, at enkeltkanals CI-systemer kan være lige så effektive som multikanals CI-systemer hos denne gruppe. Som kontrast havde de postlingualt døve CI-brugere, som ventet, meget bedre performans på en talegenkendelsestest, når et multikanals CI var anvendt.

Jo tidligere implantation des bedre taleperceptionsresultater, især hos prælingualt døve personer (Clark, 2003a; Makhdoum, 1998). Clark (2003a) understreger, at alderen ved døvhedens indtræden ikke er en signifikant faktor hos postlingualt døve voksne på samme måde, som den er hos børn, der bliver døve inden for den kritiske periode for sprogudviklingen. Ifølge Clark (2003a) opstår der en kritisk periode for udviklingen af sproget omkring barnets første 5 år, pga. at hjernens plasticitet (som omtalt i afs. 7.1) ændrer sig. I dag implanterer man derfor børn under to års alderen (Clark, 2003a; Gates & Miyamoto, 2003) for at opnå så lille en difference som muligt mellem den kronologiske alder og hørealdren af hensyn til barnets sproglige udvikling. Ifølge Wie (2005) bevæger udviklingen sig hen imod at implantere spædbørn, som ikke er mere end 5-6 måneder gamle.

4.1.2 Postlingualt døve voksne

Clark (2003a) og Makhdoum (1998) rapporterer, at taleperceptionsresultater i reglen er bedst hos brugere med en kort varighed af døvhed, som har tale og sprog, førend deres døvhed opstår. Ifølge Nyrop & Waters (1993) giver det øgede auditive input CI-brugere mulighed for bedre kontrol over egen tale, stemmeleje og stemmestyrke.

Adskillige undersøgelser har vist, at mange postlingualt døde voksne opnår høje taleperceptionsniveauer på åben-sæt (open-set) talediskrimination¹⁷ (Clark, 2003a; Hamzavi et al., 2003; Dijk et al., 1999) (som omtalt i afs. 5.2). En stor gruppe postlingualt døde CI-brugere er i stand til at kommunikere uden mundaflæsning (Clark, 2003a; Dorman, 2000; Hamzavi et al., 2003; Pedersen et al., 2000). Ifølge Dorman (2000) påviser studier, at ca. halvdelen af voksne CI-brugere kan arbejde i et miljø, som kræver telefonbrug, og at de kan fungere på en arbejdsplads, dog med få restriktioner. Forfatteren fremhæver her lytning i støjende omgivelser, hvilket generelt er svært for CI-brugere. Enkelte postlingualt døde voksne opnår derimod ikke høje taleperceptionsresultater. Allum (1996) og Clark (2003a) rapporterer, at postlingualt døde voksne overordnet kan opdeles i to grupper (som omtalt i afs. 7.1) i forhold til deres udbytte, hvilket viser sig i forbindelse med behovet for hørepædagogisk rehabilitering.

4.2 Døvhedens varighed

Den almindelige forekomst er, at jo kortere varighed af døvhed des bedre taleforståelse med implantatet. Ifølge litteraturen er det den bedste individuelle prædikator for taleperception (Clark, 2003a; Clark, 2003b; Friedland et al., 2003; Gates & Miyamoto 2003; Niparko, 2004; Rubinstein, 1999; Dijk et al., 1999). Gates & Miyamoto (2003: 421-422) udtrykker det således:

”The chief predictor of success is a short duration of hearing loss”

Det er vigtigt at påpege, at degeneration af neuroner og nerveforbindelser ikke kun er aktuelt hos prælingualt døde, men også hos postlingualt døde, hvis døvhedens varighed strækker sig over en lang periode (Clark, 2003a; Hinderink, 2001). En bruger, der er blevet postlingualt døv tidligt, og som først bliver implanteret sent i voksenalderen, vil have signifikant dårligere forudsætninger for udbyttet af taleperception i forhold til en postlingualt døv

¹⁷ Åben-sæt (open-set) talediskrimination evaluerer personens færdigheder af fx fonemer, ord eller sætninger. Der er ingen kontekstuelle tegn, og materialet og temaet er ukendt. Åben-sæt forudsiger en persons evne til at kommunikere i hverdagssituationer (Clark, 2003a). Det modsatte af åben-sæt er lukket-sæt (closed set). Ved lukket-sæt er temaet på forhånd kendt, eller der foreligger et begrænset antal af valgmuligheder (Wie, 2005). CI-brugeren lærer først at diskriminere ord i et lukket sæt. Se mere i Clark (2003a), Strauss-Schier & Rost (1996) eller Wie (2005).

person, der implanteres kort efter døvhedens indtræden. Andersen (2005a) påpeger, at et øre, som ikke er blevet stimuleret i lang tid, godt kan implanteres, men at det kan tage lang tid for personen at lære at afkode de elektriske signaler fra CI'et, da erindringen af lyd ikke er "frisk". De fleste voksne har progressiv forværring af den auditive funktion, og der er derfor ingen fordele ved at vente med implantation (Gates & Miyamoto, 2003). Gantz et al. (1993) rapporterer, at det ikke er overraskende, at døvhedens varighed er en signifikant prædikator for CI-performans, siden den kan være højt korreleret med residuale auditive nerveforbindelser og integriteten af den auditive cortex.

4.3 Implantationsalderen

Alderen ved implantationen er en omdiskuteret faktor i forbindelse med taleperceptionsresultater. I nogle undersøgelser korrelerer implantationsalderen hos postlingualt døde ikke med de postoperative resultater (Gates & Miyamoto, 2003; Dijk et al., 1999), hvorimod andre undersøgelser viser lavere taleperceptionsresultater hos ældre CI-brugere (Bosco et al., 1996; Clark, 2003a; Friedland et al., 2003; Niparko, 2004; Dijk et al., 1999).

Ifølge Clark (2003a) er implantationsalderen signifikant, hvis postlingualt døde er over 60 år, inden de bliver implanteret. Han begrundet det med, at alderen ved implantationen kan have dens effekter, pga. perceptuel læring er vanskeligere, jo ældre CI-kandidaten bliver. De ældre er mere sensitive over for fejl og har tendens til at generalisere negative oplevelser (Bosco, 1996). Niparko (2004) rapporterer ligeledes en korrelation mellem implantationsalderen og taleperceptionsresultater, men indikerer at grænsen for postlingualt døde CI-kandidater er ved 65 års alderen. Dette skyldes ifølge Niparko (2004), at CI-brugere over 65 år potentielt repræsenterer en lang periode med døvhed, og at det intet har at gøre med selve den kronologiske alder. I et undersøgelsesdesign har Friedland et al. (2003) forsøgt at dokumentere, hvorvidt der er et signifikant fald i performans efter 60 års alderen. CI-brugernes aldre rangerede fra 19 til 78. De yngre CI-brugere opnåede lidt bedre taleperceptionsscores, men statistisk signifikante forskelle på tværs af aldersgrupperne kunne ikke dokumenteres. Friedland et al. (2003) påpeger, at forskellen derfor kan være forklaret ud fra andre kriterier. Som et kriterium fremhæver de ligesom Niparko (2004) ovenfor, at variationen i performans på tværs af implantationsaldrene kan være forårsaget af, at de ældre

CI-brugere i undersøgelsen udviste en længere varighed af døvhed versus de yngre CI-brugere. Prædiktoren for bedre taleperceptionsscores kunne i dette tilfælde derfor skyldes døvhedens varighed og ikke implantationsalderen. Clark (2003a) påpeger, at døvhedens varighed førhen var længere hos ældre end hos yngre CI-kandidater, men at dette ikke længere er tilfældet.

4.4 Ætiologi

Ætiologi har ingen effekt på taleperceptionsresultater ifølge Clark (2003a) undtagen i tilfælde af Menières sygdom¹⁸, hvor taleperceptionen bliver bedre samt ved bakteriel meningitis¹⁹, hvor taleperceptionen bliver dårligere. Dijk et al. (1999) påpeger, at undersøgelsesresultater, der korrelerer ætiologi med den postoperative performans, viser de dårligste taleperceptionsresultater hos CI-brugere med bakteriel meningitis. Forfatteren påpeger, at de bedste resultater derimod findes hos CI-brugere, hvis ætiologi enten skyldes et progressivt høretab (som omtalt i afs. 4.7), eller døvhed forårsaget af otosclerose. Dijk et al. (1999) og Gantz et al. (1993) rapporterer dog, at der i mange undersøgelser ikke er fundet noget klart forhold mellem ætiologi og den postoperative performans.

De mest almindelige ætiologier hos døve voksne er: otosclerose, bakteriel meningitis kompliceret ved labyrinthitis²⁰, Menière's sygdom, hovedtraumaer, operation, virale sygdomme, ototoksisk medicin, otitis media og karskader. Autoimmune lidelser og et acusticus neurinoma (som omtalt i næste afs.) er andre mulige ætiologier (Clark, 2003a).

¹⁸ Menières sygdom er et mere eller mindre akut optrædende symptomkompleks bestående af svimmelhed, kvalme, opkastning og øresusen, oftest i forbindelse med en nedsættelse af hørelsen. Skyldes lidelser af labyrinten eller nervus VIII (Klinisk Ordbog, 2002).

¹⁹ Meningitis er en infektion i hjernens hinder. Den kan skyldes en virus eller bakterier. Hvis meningitis skyldes virus, bliver man helt rask efter 1-2 uger. Hvis meningitis skyldes en bakterie, bliver de fleste raske igen. Men bakteriel meningitis er en alvorlig sygdom, og selv om det er en sjælden sygdom, så er der hvert år nogle; som dør, bliver hjerneskadede eller som mister hørelsen (Friis, 2002/2003).

²⁰ Labyrinthitis (otitis interna, labyrinthosis) er en lidelse i labyrintens væskesystem (endo- og perilymfe), som giver symptomerne tunghørhed, øresusen, presfornemmelse og ofte tillige diplacusis (tvetonig hørelse), svimmelhed og nystagmus. Hvis de sidstnævnte symptomer er særligt fremtrædende, så dækker sygdomsbilledet det, som man finder ved Menières sygdom (Kliniks Ordbog, 2002).

Antallet af overlevende ganglionceller er delvist afgjort af døvhedens ætiologi (Hinderink, 2001). Det højeste antal af ganglionceller er fundet ved pludselig idiopatisk døvhed, mens det laveste antal af ganglionceller er fundet ved labyrinthitis, medfødt eller arvelig døvhed og bakteriel meningitis (Hinderink, 2001). Man kunne forvente, at de mange ætiologier med forskellige antal ganglionceller skulle give tilsvarende forskelligt resultater, men der er ikke fundet megen sammenhæng her. Det er endnu uvist, hvor stor betydning antallet af ganglionceller har for de endelige resultater. Nyrop & Waters (1993) har rapporteret om data i litteraturen, der underbygger den hypotese, at antallet af overlevende neuroner korrelerer med udbyttet. Data fra Clark (2003a) og Friedland et al. (2003) påviser derimod det modsatte, nemlig at tabet af ganglionceller efter døvhed eller et omfattende høretab ikke er en signifikant faktor for manglende succes med CI-systemer. Gomaa et al. (2003) og Rubinstein et al. (1999) rapporterer ligeledes, at der er mange undersøgelsesresultater, som har ”kastet tvivl” omkring den hypotese, at antallet af ganglionceller er en signifikant faktor for taleperceptionsresultater.

4.4.1 NF2 – Neurofibromatosis type 2

NF2 er en genetisk sygdom, som rammer én ud af 40.000 (www.cochlear.com, 2005a). Personer, som får denne sygdom, har godartede tumorer, der afficerer både den højre og den venstre auditive nerve. Når tumorerne bliver fjernet ved et operativt indgreb, kan det ofte være nødvendigt at fjerne dele af den auditive nerve sammen med tumorerne, hvilket vil resultere i total bilateral døvhed. Et almindeligt CI er derfor ikke anvendeligt i tilfælde af NF2, og i stedet anvendes et hjernestammeimplantat. Et *hjernestammeimplantat* (Auditory Brainstem Implant (ABI)) er netop udviklet i tilfælde af NF2. Et ABI's elektrodepunkter anbringes på overfladen af nucleus cochlearis i hjernestammen (Hartmann & Kral, 2004; Shannon et al., 2004; www.cochlear.com, 2005a). Nucleus 24 ABI har 21 elektrodepunkter (www.cochlear.com, 2005a). De elektriske auditive signaler går så direkte fra hjernestammen til hjernen, hvor de bliver fortolket. I DK bl.a. på KAS (Københavns Amts Sygehus) i Gentofte har man implanteret hjernestammeimplantater (Andersen, 2005a). Den postoperative performans er dårligere hos brugere med ABI end med CI. De fleste ABI-brugeres performans er på et niveau svarende til det, som opnås med et enkeltkanals CI-system. Få ABI-brugere (færre end 10%) bliver i stand til at forstå et begrænset antal ord i sætninger (Shannon et al., 2004).

4.5 Den generelle helbredstilstand

Personens generelle helbredstilstand (medical conditions) kan påvirke udbyttet med et CI, især hvis det involverer det centrale nervesystem. Kognitive evner og central auditiv processering er derfor dårligere hos folk med fx demens og skizofreni. Hos personer med multiple handicaps, som er retarderede og har indlæringsforstyrrelser, er taleperceptionsresultaterne heller ikke så gode som hos andre CI-brugere (Clark, 2003a). Man laver derfor en psykologisk udredning, fx en demenstest, hvis man er i tvivl om personens tilstand. Andersen (2005a) påpeger, at en døv voksen med demens i mild grad godt vil kunne få CI. Ligeledes vil andre psykiske lidelser eller skader på det centrale nervesystem ikke udelukke muligheden for CI, men skal indgå i en helhedsvurdering af personen. Nyrop & Waters (1993) understreger, at en kognitiv vurdering af CI-kandidaten ikke nødvendigvis forudsiger den auditive præstation med et CI og indikerer, at personer med indlæringsvanskeligheder netop kan få gavn af de ekstra muligheder, som et CI kan give.

4.6 Promontorialtest

En promontorialtest er en af de specifikke faktorer, som ifølge Clark (2003a) forudsiger taleperceptionsscores hos voksne. Det er en præoperativ test, som via elektrisk stimulation af den auditive nerve kan anvendes til at vurdere sandsynligheden for succesfuld CI-brug. Promontoriumet, som bliver stimuleret, ligger foran det runde vindue (Clark, 2003a; Hedegård, 2003). Det er en prominens på mellemørets mediale væg, fremkaldt af cochleas nederste vinding (Klinisk ordbog, 2002).

For at CI'et kan producere auditiv stimulation, må et tilstrækkeligt antal ganglionceller være i stand til at blive stimuleret elektrisk. Promontorialtesten kan anvendes som hjælp til at differentiere mellem cochleære og retrocochleære tab (Clark, 2003a). Det grundlæggende høretab skal overvejende være af cochleær oprindelse. Testen er brugbar til voksne kandidater, som ikke har haft hørelse i en længere tidsperiode (Clark, 2003a; Hedegård, 2003; Samar, 2003). Ved at teste begge ører er det en hjælp til at udpege det øre, som responderer bedst på elektrisk stimulation. Hvis alle undersøgelser er ens, såsom CT-scanninger (som beskrevet i næste afs.) og audiologiske resultater, så vil øret med de bedste resultater fra promontorialtesten være valgt til CI-operationen. Hvis der desuden opleves

tinnitus under testen, er der en stor risiko for tinnitus postoperativt (Samar, 2003).

Testen foregår under lokalbedøvelse. CI-kandidatens hørestatus vurderes ved, at man indfører en tynd nål gennem trommehinden og tilfører strøm til elektroden, der er placeret med spidsen på promontoriet (Nyrop & Waters, 1993). CI-kandidaten skal sige, hvornår han/hun hører noget, og hvornår der føles smerte. Man kortlægger derved personens dynamikområde og den auditive nerves funktion (Nyrop & Waters, 1993). Hvis personen fornemmer lyd, kan han/hun blive spurgt om, hvorvidt lyden er kontinuerlig eller periodisk, hvordan tonehøjden er og om lydstyrkeniveauet.

Clark (2003a) rapporterer, at for hovedparten af de kandidater, som undergår promontorialtesten, har resultaterne været positive, hvilket er en indikation på, at der har været tilstrækkeligt med residuale auditive neuroner til at tillade succesfuld CI-brug. Hvad der er mindre tydeligt, er forholdet mellem relativt dårlige resultater fra promontorialtesten og efterfølgende CI-brug. Adskillige kandidater har opnået negative testresultater, men har alligevel udvist et succesfuldt udbytte med CI'et, hvilket bl.a. er årsagen til, at promontorialtesten ikke anvendes rutinemæssigt (Clark, 2003a). Ifølge Clark (2003a) og Dijk (1999) er promontorialtesten prædikator for taleperception. De rapporterer, at undersøgelsesresultater har vist en positiv korrelation mellem præoperative promontorialtests og taleperceptionsresultater. Gantz et al. (1993) påpeger derimod det modsatte, at en præoperativ promontorialtest ikke er en effektiv indikatorer for performans med et CI.

I tilfælde af kandidatur til CI er hospitalet ansvarlig for den medicinske audiologiske udredning. Kandidaten kommer først til en forsamtale med orientering om: (1) Det præoperative forløb. (2) Om CT scanning samt eventuel MR-scanning og promontorialtest. (3) Operation. (4) Det postoperative forløb, bl.a. processortilpasningen, som sker, når såret er lægt ca. 1 mdr. efter operationen. Der gives information, rådgivning og vejledning vedrørende CI (Samar, 2004). Finder man den voksne egnet til et CI, vil operationen foregå på et af de tre universitetssygehuse i enten Århus, Odense eller Gentofte.

4.6.1 CT- og MR-scanning

Det er ikke standard i DK, at man laver en MR-scanning. Denne scanningstype anvendes kun i tilfælde af, at CT-scanningen ikke er optimal (Samar, 2004). Ved meningitis benyttes begge scanningstyper. En person, som mister hørelsen pga. meningitis, skal implanteres hurtigt, fordi der sker en ossificering i det indre øre. Både CT-scanning og MR-scanning er en non-invasiv billeddiagnostisk teknik (Klinisk Ordbog, 2002):

CT-scanning (computertomografi). Billeder taget med en CT-scanner er mere detaljerede end almindelige røntgenbilleder (www.netdokter.dk, 2005a). Scanningen muliggør differentiering af stoffer, der kun har minimal forskel i røntgenstråleabsorption fx hjernens grå og hvide substans, væv kontra væske, afgrænsning af normale strukturer og organer og identificering af abnorme processer, ansamlinger og læsioner, herunder aneurismer, hjernesvulster og hjernesvulster (Klinisk Ordbog, 2002; www.netdokter.dk, 2005a).

MR-scanning (magnetisk resonans scanning). Teknikken bag MR og CT-scanning er forskellig. CT-scanning er baseret på røntgenstråling, mens MR-scanning benytter magnetfelter og radiobølger til at danne billeder af kroppens bestanddele (www.netdokter.dk, 2005b). Denne type scanning undersøger bløddeler og kan skelne væv med kvantitativt og kvalitativt forskelligt grundstofindhold fra hinanden (Klinisk ordbog, 2002). MR-scanneren giver en bedre kontrast mellem normalt og unormalt væv end CT-scanneren. Herved er der mulighed for at afsløre de detaljer, som en CT-scanner ikke opfanger (www.netdokter.dk, 2005b).

4.7 Progressivt høretab

Ifølge Clark (2003a; 2003b) og Nyrop & Waters (1993) korrelerer et progressivt høretab med taleperception. Undersøgelsesresultater fra Dijk et al. (1999) viser en positiv sammenhæng mellem postoperativ performans og et progressivt høretab. Strauss-Schier & Rost (1996) og Friedland et al. (2003) påpeger ligeledes, at blandt de faktorer, som korrelerer med den postoperative performans, er tidligere HA-brug. Personer med et progressivt høretab har i modsætning til personer med et akut høretab tilvænningstid til at lære at processere et forringet signal. Den tidsperiode, hvor man lærer at anvende nedsat auditiv information via HA-brug, kan overføres til bedre

taleperceptionsresultater med elektrisk stimulation fra CI'er (Clark, 2003a; Dijk et al., 1999; Nyrop & Waters, 1993). Mo et al. (2005) påpeger, at i en rapport fra UK Cochlear Implant gruppen fandt man kun en lille forskel i den postoperative performans mellem grupper af CI-brugere, der intet scorede med HA'er inden operationen og grupper, som scorede op til 50% korrekt (den anvendte testtype er ikke beskrevet). Resultaterne viste også, at en gruppe af CI-brugere, som havde haft et omfattende høretab i mere end 30 år, havde reduceret effekt fra implantationen.

4.8 Residual hørelse

Clark (2003a); Gantz et al. (1993) og Rubinstein et al. (1999) associerer residual hørelse (dvs. tilstedeværelsen af en hørerest inden operationen) med bedre taleperceptionsresultater. Rubinstein et al. (1999) fremhæver betydningen af at implantere det øre med residual hørelse og med kortere tids døvhed, pga. effekten af døvhedens varighed (som omtalt i afs. 4.2). Undersøgelsesresultater af Dijk et al. (1999) viser, at ud over døvhedens varighed, så er residual hørelse den mest signifikante prædikator til at påvise forbedrede taleperceptionsresultater. Ifølge Hamzavi et al. (2003) så kan det bedste audiologiske resultat ligeledes være forventet, hvis operationen er foretaget i det "bedre" øre, hvor flere neurale strukturer har overlevet. Mange publikationer har dog ikke rapporteret om en korrelation mellem residual hørelse og taleperceptionsresultater (Friedland et al., 2003; Nyrop & Waters, 1993; Dijk, 1999). Denne kendsgerning kan ifølge Gantz et al. (1993) og Dijk (1999) skyldes, at kandidaterne var udvalgt til et CI i tilfælde af, at de ikke havde nogen residual hørelse. Det er dog meget få, som overhovedet ingen hørerest har. Hos svært hørehæmmede voksne finder man ofte lavfrekvent residual hørelse under 1 KHz, kun med en lille, hvis nogen målbar hørelse over den frekvens (Hochmair et al, 2003; Wilson et al., 2003).

Som beskrevet ovenfor hersker der uoverensstemmelser angående valg af øre til operationen. Friedland et al. (2003) rapporterer, at operation i det dårlige øre ikke resulterer i ringere postoperativ performans, og at det samtidig forhindrer skade på et organ med residual funktion. De påpeger desuden, at resultaterne indikerer, at CI-kandidatens totale auditive erfaring, frem for et øre-specifikt kriterium, er den bedste prædikator for den postoperative performans. I DK opererer man det dårligste øre. I det tilfælde af at der ikke er noget præference

øre, vælger man højre ud fra, at venstre hjernehalvdel er den dominerende (Hedegård, 2003) (mht. sprog).

4.8.1 Ændrede kriterier i forbindelse med residual hørelse

Inklusions- og eksklusionskriterier for at få et CI har gradvist ændret sig i takt med den teknologiske udvikling (Ching et al., 2004; Hamzavi et al., 2003). Kriterierne for at få CI er forskellige afhængigt af det pågældende land og hospital (Andersen, 2005a; Gates & Miyamoto, 2003; Hamzavi et al., 2003). Det vigtigste eksklusionskriterium for CI har igennem mange år været evnen til at udnytte den residuale hørelse med veltilpassede konventionelle HA'er (Hedegård, 2003 og Makhdoum, 1998). Andersen (2005a) påpeger, at på KAS Gentofte er kriterierne i dag hos postlingualt døde: 90 dB HL²¹ hos voksne ved 2 og 4 KHz, og tillige skal skelneevnen være dårligere end 40% med HA i ro. Disse værdier er ikke præcise krav, men de skal indgå i en helhedsvurdering. Kandidaten kan derfor godt have normal hørelse i bassen. Uden bidrag fra hørfrekvente lyde bliver talegenkendelsen som bekendt meget forringet.

Svært hørehæmmede, med begrænset residual hørelse som førhen fik konventionelle HA'er, har i dag mulighed for at modtage CI (Hinderink, 2001). Clark (2003a): Hamzavi et al., 2003; Hinderink (2001) og Wilson et al. (2003) rapporterer, at mange personer med signifikant residual hørelse kan forvente et højere niveau af taleperception med et CI end med et veltilpasset HA. Ifølge Hinderink (2001) kan bedre resultater evt. også opnås hos denne gruppe med en kombination af CI og et konventionelt HA i det kontralaterale øre (bimodal stimulation), og med tiden måske kombineret elektrisk og akustisk stimulation (EAS) i det samme øre. I sidstnævnte tilfælde bruges et CI med delvis elektrodeindførelse kombineret med et konventionelt HA, for på den måde at forebygge skade på den residuale hørelse. Bimodal stimulation er beskrevet i afs. 7.9.1 og kombineret EAS er beskrevet i afs. 6.6.2.

²¹ DB HL (Hearing Level) er et fysisk mål for en lyds styrke. Styrken angives i forhold til normalthørende personers gennemsnitlige høretærskel for den pågældende lyd (Poulsen, 1991).

4.9 Opsamling

Flere af de indre faktorer, der ifølge Clark (2003a) er prædiktorer for taleperceptionsresultater, og som er beskrevet i kapitlet, er i mange tilfælde ikke overensstemmende med den anvendte litteratur:

Alderen ved døvhedens indtræden: Denne faktor bliver hos voksne døde og svært hørehæmmede groft inddelt i prælingualt døde og postlingualt døde. Prælingualt døde voksne opnår et dårligt taleperceptionsudbytte med et CI. Fordele erfaret hos denne gruppe er bl.a., støtte til og forbedret mundaflæsning samt øget opmærksomhed på omgivelsernes lyde – alt sammen af stor psykologisk betydning. En stor gruppe postlingualt døde CI-brugere er i stand til at kommunikere uden mundaflæsning og kan tale i telefon.

Døvhedens varighed: Døvhedens varighed er den mest signifikante prædiktør for taleperceptionsresultater. Som tommelfingerregel: Jo længere tid døv des dårligere resultater, da talesignalerne bliver sværere at omdanne i hjernen pga. deprivationseffekten. Dette inkluderer også de postlingualt døde i tilfælde af, at døvhedens varighed strækker sig over en lang periode.

Implantationsalderen: I nogle studier korrelerer implantationsalderen ikke med udbyttet, mens andre studier påviser et dårligere udbytte hos ældre CI-brugere. Flere forfattere rapporterer, at årsagen til de dårligere resultater hos ældre kan skyldes, at de har været døde igennem en længere årrække end yngre CI-brugere inden implantationen. De påpeger, at hvis dette er tilfældet, så kan udbyttet være relateret til døvhedens varighed og ikke implantationsalderen. Clark (2003a) understøtter ikke denne konklusion.

Ætiologi: Der er i mange undersøgelser ikke fundet noget klart forhold mellem ætiologi og den postoperative performans. Antallet af overlevende ganglionceller er bl.a. afgjort af døvhedens ætiologi. Det er endnu uvist, hvor stor relevans antallet af ganglionceller har for de endelige resultater. Ifølge hovedparten af den anvendte litteratur korrelerer antallet af ganglionceller ikke med den postoperative performans.

NF2 – Neurofibromatosis type 2: Personer, som får denne sygdom, har godartede tumorer på både den højre og den venstre auditive nerve. Tumorerne fjernes ofte ved et operativt indgreb, som kan resultere i total bilateral døvhed.

I sådanne tilfælde kan der anvendes et hjernestammeimplantat (ABI). Det postoperative udbytte er dårligere med et ABI end et med et CI.

Den generelle helbredstilstand: Lidelser, der giver forstyrrelser i det centrale nervesystem, korrelerer med dårligere taleperceptionsresultater. Årsagen skyldes primært indlæringsvanskeligheder.

Promontorialtest: Ikke alle undersøgelser viser, at en promontorialtest er prædikator for taleperceptionsresultater. Et positivt testresultat er en indikation på, at der er et tilstrækkeligt antal af ganglionceller til at tillade succesfuld CI-brug. Problemet med testen, ifølge Clark (2003a), er sammenhængen mellem negative testresultater og det postoperative udbytte. Flere brugere, som har haft negative testresultater, har alligevel opnået et succesfuldt udbytte.

CT- og MR-scanning: I forbindelse med det præoperative forløb anvendes der i DK altid en CT-scanning, og i enkelte tilfælde fx ved meningitis også en MR-scanning. Teknikkerne bag CT- og MR-scanning er forskellige. CT-scanning er baseret på røntgenstråling, mens MR-scanning anvender magnetfelter og radiobølger.

Progressivt høretab: De anvendte undersøgelser rapporterer alle, at der er en positiv korrelation mellem den postoperative performans og et progressivt høretab understøttet af tidligere HA-brug. Personer med et progressivt høretab har i modsætning til personer med et akut høretab tilvænnings tid til at lære, hvordan man processerer et forringet signal vha. et HA. Men i tilfælde af et omfattende høretab og mange års HA-brug er der ingen effekt, tværtimod.

Residual hørelse: Der hersker stor uoverensstemmelse i litteraturen omkring hvilket øre, der skal planteres. Flere forfattere associerer præoperativ residual hørelse med bedre taleperceptionsresultater, mens andre ikke korrelerer tilstedeværelsen af en hørerest inden implantationen med det postoperative udbytte.

Ændrede kriterier i forbindelse med residual hørelse: Kriterierne for at få et CI er forskellige, afhængigt af det pågældende land og hospital. Inklusions- og eksklusionskriterier for et CI ændrer sig ligeledes gradvist i takt med den teknologiske udvikling. Det er dokumenteret, at nogle personer med signifikant residual hørelse kan opnå bedre auditiv performans med et CI end med et veltilpasset HA.

5 Taleprocesseringsstrategier

Taleprocesseringsstrategien er ifølge mange forfattere en signifikant prædikator for den postoperative performans (Clark, 2003a; Clark, 2003b; Geurts & Wouters, 1999, Niparko, 2004 og Vandali, 2001). Især brug af nyere strategier, såsom CIS, SPEAK og ACE, har givet store forbedringer i taleperceptionsresultater hos CI-brugere sammenlignet med tidligere strategier.

Kapitlet vil belyse problemstillinger i forbindelse med strategibrug og CI-brugerens taleperception. Forskelle i udbyttet mellem anvendelsen af nye og gamle strategier vil være beskrevet, samt den signifikante variabilitet i performans på tværs af CI-brugere. Der er gjort rede for tre parameterværdier: dynamikområdet, stimulationsraten og forskellige kanalantal. Slutteligt i kapitlet er der fokus på teknologiske tiltag, der er rettet imod at opnå forbedret kvalitetslyd hos CI-brugere.

5.1 Gamle versus nye taleprocesseringsstrategier

Mange undersøgelsesresultater viser signifikant forbedret taleperception hos voksne CI-brugere på åben-sæt stimuli, når de nyere og forbedrede strategier afløser de ældre. For eksempel når CIS erstattede SAS (simultaneous analog stimulation), når SPEAK erstattede dets forgænger MPEAK (multipeak) og da MPEAK afløste dets forgænger osv. (Clark, 2003a; Waltzman, 2000).

Geurts & Wouters (1999) og Vandali (2001) analyserer og beskriver hver især i deres undersøgelse en ny taleprocesseringsstrategi - henholdsvis TESM, (the transient emphasis spectral maxima) og EECIS (enhanced envelope CIS).

Strategierne var udviklet til at forbedre repræsentationer af vigtige taletræk. Disse to strategier blev hver især sammenlignet med scores fra to ældre strategier SMSP (spectral Maxima Sound Processor) og CIS.

Undersøgelsesresultaterne viste, at de to nye strategier (TESM og EECIS) begge opnåede bedre scores end de to ældre strategier og kan derved give en forbedret taleforståelse hos CI-brugere. I et studie af Wilson et al. (1995) undersøgte man intrapersonelle sammenligninger for SPEAK- og MPEAK-strategierne. Resultaterne påviste bedre taleforståelse med SPEAK for 63 engelsktalende CI-brugere. Testpersonerne havde min. 8 mdr. med MPEAK inden undersøgelsens start og blev testet med et ABAB design i følgende

rækkefølge: 1) Brugerne anvendte først MPEAK igennem en 3 ugers periode. 2) Derefter SPEAK i 6 uger. 3) MPEAK igen i 3 uger. 4) Og tilslut SPEAK i en 3 ugers periode. Resultaterne viste, at blandt de 61 personer, som blev testet med sætninger uden støj, havde 24 signifikante fordele med SPEAK og 2 med MPEAK. Ved sætninger i støj blev 58 personer testet, hvoraf 41 personer havde signifikant højere scores med SPEAK og ingen med MPEAK. Den nyere strategi SPEAK viste signifikante fordele ved taleforståelse i støj, modsat den ældre strategi MPEAK. Det er vigtigt at understrege, at *tale i støj* giver ringere performans end tale i ro, hos alle de nuværende strategityper.

5.2 Taleprocesseringsstrategier og udbytte

De gennemsnitlige åben-sæt ordscores viser, at ved brugen af nyere strategier i CI-systemer hos postlingualt døve er det muligt at forstå signifikante mængder af flydende tale uden behov for mundaflæsning. Mange CI-brugere kan i dag også tale i telefon (Clark, 2003a; Dorman, 2000). Det nuværende National Institute of Health (NIH) Consensus Statement on Cochlear Implants in Adults and Children (1995) beskriver CI-brugernes udbytte mere specifikt:

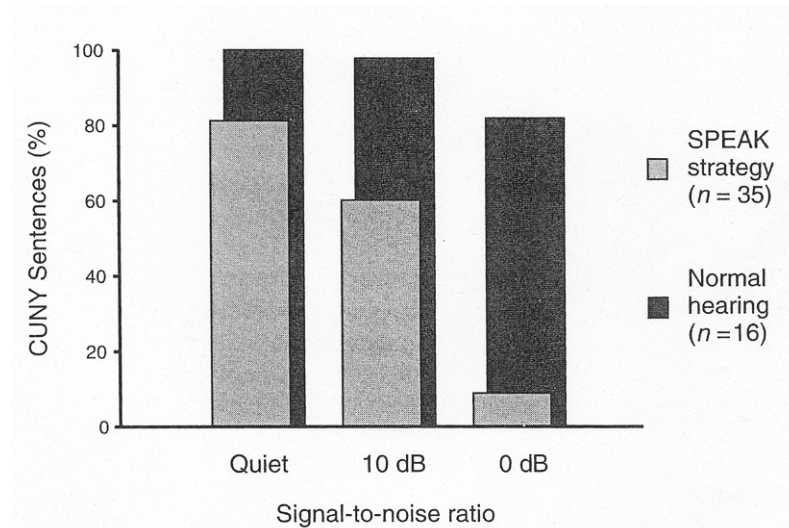
"A majority of those individuals with the latest speech processors for their implants will score above 80 percent correct on high- context sentences, even without visual cues."

Wilson et al. (2003:238); Wilson (2004:14).

Skønt de implanterede grundlæggende har dårligere resultater ved testning af enkeltord end sætningstests, fortsætter disse gennemsnitsscores med at forbedres, som strategierne udvikler sig (Niparko, 2004). Ifølge Dorman (2000) opnår ca. halvdelen af populationen af voksne CI-brugere taleperceptionsresultater på op til 80-100% korrekte scores på sætningsgenkendelsestests, når sætningerne er præsenteret i ro (svarende til citatet ovenfor). Ligeledes opnår de en gennemsnitsscores på omkring halvdelen af niveauet (for sætningsgenkendelse) på monosyllabisk ordgenkendelsestests.

Perception af nogle konsonanter og vokaler kan være vanskeligt for mange CI-brugere. Undersøgelser, som udforsker perceptionen af konsonanter, har vist:

At stemthed er bedst opfattet, artikulationsmåden er ofte næstbedst opfattet og artikulationsstedet er det dårligst opfattede taleproduktionstræk (Vandali, 2001). Et generelt problem, som er almindeligt for alle CI-brugere, er forståelsesvanskeligheder, når personen færdes i baggrundsstøj (Clark, 2003a; Wilson, 2004). Der er derfor et stort behov for at evaluere og forbedre taleperception i støj.



Figur 11 (Clark, 2003a:716). Figuren viser tale i støj (signal/støj-forholdet) fra en undersøgelse af Clark (2003a), som sammenligner normalthørende og CI-brugere med strategien SPEAK.

En undersøgelse af Clark (2003a) konkluderer, at når tale optræder uden baggrundsstøj, så kan CI-brugerne opfatte 80%, svarende til NIHS succesniveau (se ovenfor), hvorimod de normalthørende har en taleforståelse på 100%. Ved en SNR på 10 dB (støjen er 10 dB under signalet) har CI-brugerne derimod 60% taleforståelse sammenholdt med de normalthørende, som har tæt på 100% taleforståelse. Øges SNR til 0 dB (lige meget talesignal og støj), er CI-brugeren kun i stand til at opfange ca. 10% sammenholdt med de normalthørende, hvis taleforståelse falder til ca. 80%. Forskellige tests er udviklet til at vurdere taleforståelse. I denne undersøgelse har man anvendt CUNY (City University of New York), emnerelaterede sætninger. En årsag til dette er, at sætninger er mere anvendelige end to stavelsesord til at repræsentere normale spektrale vægtninger og intonationer m.m. (Clark, 2003a).

Men på trods af nyere strategier hersker der stadig store forskelle blandt CI-brugernes taleperceptionsresultater (Wilson, 2004; Wilson et al., 2003). Nogle

CI-brugere scorer tæt på 100% korrekt på standard sætningstests i ro (som beskrevet ovenfor), hvorimod andre CI-brugere opnår lave scores på trods af, at de anvender en identisk taleprocesseringsstrategi, taleprocessor og elektroderække. I et studie af Clark (2003a) varierede scores med SPEAK-strategien fra 27% til 83% interpersonelt. Adskillige faktorer har været foreslået til at forklare den høje variabilitet, såsom: forskelligt antal af ganglionceller, ætiologi, elektrodeinteraktioner (som omtalt i afs. 6.5), elektrodeplacering, lofteffekter, naturlig taleprocessor begrænsninger, stimulationsrater m.m. (Fu & Shannon, 1999). De dårlige taleperceptionsresultater giver sig således til kende hos en lille gruppe, der ikke får megen gavn fra deres implantater ved brug af hørelsen alene. Wilson et al. (2003) betegner denne gruppe som "the difficult cases". Postlingualt døde voksne kan ifølge Allum (1996) og Clark (2003a) overordnet inddeles i to grupper, der korrelerer med rehabiliteringsbehovet, som omtalt i afs. 7.1.

5.3 Subjektiv selektion af taleprocesseringsstrategier

CI-brugere har præferencer i forbindelse med udvælgelse af en taleprocesseringsstrategi. Flere undersøgelser viser, at CI-brugerens foretrukne strategi korrelerer signifikant med taleperceptionsresultater (Clark, 2003a; Nyrop & Waters, 1993). Af den grund kan strategipræference være en brugbar tilpasningsprocedure (Clark, 2003a). I praksis kan CI-brugere opleve, at forskellige strategier kan passe til forskellige lytteforhold. I et studie af Skinner et al. (2002) var 12 nye CI-brugere givet SPEAK, ACE og CIS i forskellig rækkefølge, efter hver strategi var tilpasset til hver bruger. Resultaterne viste, at 58% foretrak ACE, 25% SPEAK og 17% CIS. Der var også en stærk korrelation mellem den foretrukne strategi og taleperceptionsscores. En større undersøgelse (Clark, 2003a) af 62 postlingualt døde voksne gav ensartede resultater med dem fra Skinner et al. (2002). SPEAK-brugere blev trænet med ACE- og CIS-strategier, og resultaterne viste, at 61% foretrak ACE, 23% SPEAK og 8% CIS. Der var her ligeledes en høj korrelation mellem strategipræference og talegenkendelsesscores.

Øvelse i brugen af en strategi og perioden for anvendelse af apparatet har ligeledes en stor indflydelse på taleperception. Jo længere varighed med CI'et des bedre resultater (Clark, 2003a), da læring er nødvendig selv med de

strategier, som giver mest information. Forbedringerne er derimod mere gradvise, når strategien giver mindre information (som omtalt i afs. 7.3).

5.4 Objektiv selektion af taleprocesseringsstrategier:

Selektion af de bedste taleprocesseringsstrategier inden for forskningen er omgivet af kontroverser. Adskillige faktorer har påvirket udvælgelsen. Som beskrevet i afsnittet ovenfor har undersøgelser påvist, at det er forskelligt, hvilke taleprocesseringsstrategier CI-brugere opnår de bedste resultater med. Strategierne varierer i forhold til, hvordan den spektrale information er præsenteret til elektrodepunkterne. De bedste strategier afspejler så vidt muligt den normale cochleas funktion (Clark, 2003a; Wilson, 2004; Wilson et al., 2003) (som omtalt i afs. 5.9.1).

Strategierne har deres eget sæt af begrænsninger. Nuværende taleprocesseringsstrategier inkluderer ikke ulineær filtrering som den på basilmembranen (og ved de ydre hårceller) eller forsinket kompression, fundet ved normal hørelse (Clark, 2003a; Wilson, 2004; Wilson et al., 2003). Wilson et al. (2003) fremhæver CIS-strategien som eksempel. Strategien (og andre strategier) bruger en øjeblikkelig logaritmisk kompression og har derfor en meget grov processering i forhold til den normale cochleas funktion. På det tidspunkt hvor CIS-strategien blev udviklet, havde man mindre kontrol over nerveresponsmønstre samt viden om processeringen i det normale auditive perifere system, end man har i dag (Wilson et al., 2003). Der er nu i kraft af den forøgede viden mulighed for at anvende et højt kontrolniveau over nerveresponsmønstre (Wilson et al., 2000; Wilson et al., 2003).

Fakta, der ifølge Wilson et al. (2003) bidrager til CIS-strategiens relative simple struktur, er beskrevet nedenfor:

- o *Filtrering:* Der anvendes (fx en bank af) lineære båndpasfiltre i stedet for ulineære og koblede filtre, som bedre afspejler den normale auditive funktion.
- o *Kompression:* Kompressionen i standard CIS-processoren er øjeblikkelig, hvorimod kompression ved den indre hårcelle (neuronsynapsen) i den normale hørelse er forsinket med store adaptationseffekter.

- o *Kompression*: En enkelt ulineær ”mapping” er anvendt til at producere den totale kompression, som det normale auditive system opnår over multiple trin.

Forbedret lydprocessering er ifølge Clark (2003a): Udvalgelsen af de bedste taletræk, som skal transmitteres videre til hjernen, kræver en optimal taleprocesseringsstrategi. Clark (2003a) fremhæver følgende strategier mht. at udvinde de bedste taletræk: TESM (the emphasis of formant transitions) og ADRO (adaptive dynamic range optimization). Den første strategi, TESM fremhæver amplitude- og frekvenstransitioner i formanter, da de er meget vigtige for taleforståelse. ADRO derimod, tilpasser dynamikområdet for lydintensiteter i hvert frekvensbånd ind i det dynamiske område for hvert elektrodepunkt og er blevet implementeret i CI-systemer. Undersøgelser har allerede vist forbedret taleperception (Clark, 2003a).

Mange parametre kan forbedre signaltransmissionen for at opnå en mere effektiv lyd kvalitet. Både taleprocesseringsstrategiens parameterverdier, men også hardwarens implementering har stor indflydelse på taleperceptionsresultaterne (Clark, 2003a; Loizou et al., 2000; Wilson, 2004; Wilson et al., 1995). Ganske store mål kan opnås gennem individuelle valg i taleprocesseringsstrategien. Mens nogle forudbestemte parameterverdier i softwaren er passende for alle CI-brugere, er andre parameterverdier variable over visse områder med det formål at optimere taleperceptionen hos hver enkelt CI-bruger. Parameterverdier, som er belyst under de næste tre afsnit, er: dynamikområdet, stimulationsraten og forskellige kanalantal.

5.5 Dynamikområdet

En af de specifikke faktorer, som ifølge Clark (2003a) og Blamey et al. (1992) korrelerer positivt med taleperception hos voksne, er dynamikområdet (som omtalt i afs. 3.6). Andre undersøgelser har ikke kunnet påvise en korrelation mellem dynamikområdet og den postoperative performans (Nyrop & Waters, 1993). Dynamikområdet går fra høretærskelen (T) til det maksimale komfortable niveau (C). Clark (2003a) påpeger, at jo større dynamikområde mellem tærskelen (T) og maksimale komfortable niveau (C) des flere trin er der i styrkeniveau til at præsentere tale. Det er af signifikant betydning at have optimale MAPs. T- og C- niveauerne må derfor være tjekket jævnlige i den

første tid efter implanteringen efterfulgt af færre tjek. Nogle af de CI-brugere, der har været døve i en lang periode, finder det meget svært at vænne sig til den høje pitch, som er produceret af de elektrodepunkter, der ligger i den basale vinding. Lejlighedsvis har adskillige elektrodepunkter været fjernet fra en MAP for at gøre høreopfattelsen mere behagelig og acceptabel (Clark, 2003a).

5.6 Stimulationsraten

Stimulationsraten er et eksempel på en variabel parameter værdi. Mange undersøgelser har været udført for at finde den stimulationsrate, hvorved man kan opnå de bedste taleperceptionsresultater hos CI-brugere. Ifølge Wilson (2004); Wilson et al. (2003) øges taleperceptionsudbyttet i kraft af anvendelsen af høje stimulationsrater. Forfatterne påpeger, at det skyldes flere faktorer såsom: 1) Genindsætter i nogen grad et normalt mønster af "spontan" aktivitet i auditive neuroner, hvilket bidrager til en tættere afspejling af processeringen i den normale cochlea. 2) Øger dynamikområdet. 3) Øger mængden af temporal information pr. kanal m.m. De høje stimulationsrater forekommer altså at være brugbare i nogle undersøgelser og for nogle CI-brugere.

I et studie af Frijns et al. (2003) undersøgte man den interpersonelle variabilitet i forhold til stimulationsraten. Ni testpersoner blev tilpasset i tilfældig rækkefølge med 8-, 12- og 16- kanals "high-rate" CIS-strategier (± 1400 pulses/s/ kanal). Resultaterne viste, at hvis det optimale antal af elektrodepunkter var afgjort individuelt for hver CI-bruger, ville taleperception i støj være forbedret signifikant ved brug af højere stimulationsrater.

Loizou et al. (2000) udførte en undersøgelse, som viste, at høje stimulationsrater på 2100 pulses/s/kanal producerede en signifikant højere taleforståelse på ord og konsonantgenkendelse end lavere stimulationsrater (<800 pulses/s/kanal) med en CIS-strategi. De højere stimulationsrater viste sig især at have en signifikant effekt på konsonantgenkendelsen, hvilket dog afhang af vokalkonteksten. Der var større effekt for konsonanter i /uCu/ og /iCi/ kontekster og mindre for konsonanter i /aCa/ konteksten (C står for konsonant).

Clark (2003a) rapporterede i modsætning til ovennævnte undersøgelser, at hurtigere nervestimulering ikke nødvendigvis får nervecellerne til at fungere

mere effektivt, da de neurale biokemiske mekanismer kræver tid til at fungere, og at stimulusrater over 1500 pulses/s/kanal ikke øger den postoperative performans. Samtidig rapporterer Loizou et al. (2000) og Wilson et al. (2003), at der er mange kliniske undersøgelser, som ikke har påvist forbedret taleforståelse ved stimulationsrater > 500 pulses/s/kanal. Årsagen er ifølge forfatterne en høj interpersonel variabilitet.

5.7 Kanaler

I taleprocessoren bliver signalet inddelt i kanalantal, som tager sig hver især af et bestemt frekvensbånd. Fordi talelydene hver især har forskellig akustisk signatur (nogle ændrer sig hurtigt, andre langsomt), vil talesignalets formanter ændre sig fra det ene øjeblik til det andet. I forbindelse med identifikation af en stemt lyd skal CI'et være i stand til at specificere, hvor formanterne dvs. energikoncentrationerne optræder i frekvensdomænet. En strategi skal afkode, hvor formanterne er på et givet øjeblik i tid samt afgøre hurtige ændringer i formanter over tid. Forskellene i inputfrekvens må derefter være kodet ved det/de elektrodepunkt/er, som er stimuleret i cochlea. Man må formode, at jo flere kanaler og jo flere elektrodepunkter des bedre vil et CI fungere (Clark, 2003a; Dorman, 2000). Et øget antal kanaler er mere nødvendige i støj end i ro for at opnå høje scores, pga. flere kanaler giver bedre ”frekvensopløsning” (Dorman, 2000; Dorman et al., 1998; Wilson et al., 2000). Forøgelsen i kanalantallet giver mulighed for bedre præcision om anden formanten (F2) samt bedre spektralkontraster inden for hver kanal. Derudover kan andre faktorer være medvirkende til forbedringer i performans (Dorman, 2000; Dorman et al., 1998).

Som beskrevet i afs. 3.7. har de CI-systemer, der anvendes i DK i dag enten 22 eller 16 kanaler. Mange studier (Dorman, 2000; Dorman et al., 1998; Frijns et al., 2003; Hochmair et al., 2003) har været udført for at undersøge hvor stort et antal af aktive kanaler, der er nødvendige for at opnå taleforståelse i både ro og støj. Undersøgelsesdesigns, som omhandler taleperceptionsresultater i ro og/eller i støj, er beskrevet i de to næste afsnit.

5.7.1 Kanalantal i ro

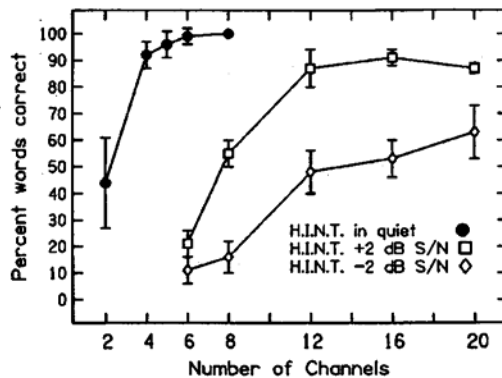
Resultater fra forskellige undersøgelser har vist, at fire til seks aktive kanaler er dækkende for at støtte høje niveauer af taleopfattelse i ro hos nogle CI-brugere. Dorman et al. (1998); Wilson et al. (1995) og Wilson et al. (2000) fremhæver, at sætninger i ro kan være forstået med mere end 90% præcision, når så få som fire kanaler er implementeret. Med andre ord så behøver CI-brugere kun at udtrække informationer fra få kanaler for at opnå en høj score på sætningsidentifikationstests. Et problem med sætningsforståelsestests er, at de ofte er for lette (Dorman, 2000), hvilket kan resultere i lofteffekt. Det er derfor i nogle tilfælde svært at udlede, hvor mange aktive informationskanaler CI-brugeren modtager taleforståelse fra. For at undgå lofteffekt kan det være nødvendigt at anvende flere vanskelige tests, fx monosyllabiske ordtests. Anvendes der monosyllabiske ordgenkendelsestests (vs. sætningstests), er det samtidig et ”must” med flere aktive kanaler, hvis CI-brugeren skal opnå høje testcores i taleperception. Data fra Dorman (2000) påviser, at CI-brugere, der anvender otte stimulationskanaler, opnår et højt performansniveau på 80%-90% scores ved monosyllabisk ordgenkendelse. I en undersøgelse af Frijns et al. (2003) (er beskrevet i næste afs.) testede man bl.a. forsøgspersonernes taleforståelse i ro ved C-V-C ord. Resultaterne viste, at den gennemsnitlige fonemscore i ro var $\approx 85\%$, uanset om der blev anvendt 8-, 12-, og 16 kanals CIS strategier.

Ovennævnte data påviser således, at de fleste CI-brugere ikke anvender mere end et relativt lille antal aktive kanaler, især ved sætningsgenkendelsestests. Dette skyldes bl.a. den kendsgerning, at CI-brugere ved sætningsgenkendelsestests kan tage konteksten i brug, hvilket ikke er muligt ved monosyllabiske ordtests. Som beskrevet i afs. 5.7 giver flere kanaler også bedre bestemmelse af 2 formanten, hvilket især er brugbart ved monosyllabisk ordtests (vs. sætningstests). Studier viser ligeledes at i det tilfælde, der kobles nogle kanaler (eller elektroder) fra, så får de resterende aktive kanaler en bredere spektral-region (således at hele talespektrummet er præsenteret), hvilket ikke betyder noget ifølge ovenstående resultater. Svarende til at et højere kanalantal er brugbart ved monosyllabisk ordgenkendelse, så er et højere kanalantal, som beskrevet ovenfor, især også brugbart i forbindelse med at lytte til tale i støj (Dorman, 2000; Dorman et al., 1998; Wilson et al., 2000), hvilket er beskrevet i nedenstående afsnit.

5.7.2 Kanalantal i støj

I den "rigtige" verden optræder talesignaler ofte imod en baggrund af omgivelsernes støj. Kanalantallet, som er nødvendigt for at opnå et givent performansniveau, varierer, som SNR varierer.

Dorman et al. (1998) fremhæver i afsnittet ovenfor, at kun fire stimulationskanaler er nødvendige i ro, for at sætninger forstås med $> 90\%$ præcision. Dette er ikke tilfældet i støj. Dorman et al. (1998) udførte en undersøgelse, hvor sætninger bliver processeret ind i 6, 8, 12, 16 og 20 kanaler og præsenteret for normalthørende²², imod en baggrund af talemøderet støj ved $+2$ dB SNR (signalet er 2 dB højere end støjniveauet) og ved -2 dB SNR (signalet er 2 dB under støjniveauet) (figur 12).



Figur 12 (Dorman et al., 1998:3584). Illustrationen viser, at ved $+2$ dB er (performans)maksimum nået med 12 stimulationskanaler, og ved -2 dB SNR er (performans)maksimum nået med 20 stimulationskanaler.

Resultaterne påviste, at når SNR bliver dårligere, så er flere kanaler nødvendige mht. at opnå et givent udbytte. Både ved $+2$ og -2 dB SNR er der store forbedringer i sætningsforståelse, når kanalantallet forøges fra 8 til 12, men derimod ingen signifikante forbedringer fra 12 til 16. Dorman et al. (1998) påpeger, at den store forbedring i performans, hvis man anvender 12 i stedet for 8 kanaler, skyldes en forøgelse på tre til fire kanaler, som er tildelt til anden formantens (F2) frekvensdomæne (mellem 900 og 2500 Hz). Ved $+2$

²² I undersøgelsen blev der anvendt normalthørende lyttere som testpersoner for at undgå de mange variabilitetskilder ved testningen af CI-brugere, såsom: forskelle i taleprocesseringsstrategi, forskelle i overlevelsen af ganglionceller og forskelle i elektrodeplaceringen (Dorman et al., 1998). Alle disse faktorer er elimineret ved at anvende normalthørende som testpersoner, hvilket giver indsigt i det kanalantal, som er nødvendigt for CI-brugere.

dB SNR var der opnået 34% scores i sætningsforståelse, når kanalantallet var forøget fra seks til otte. Dette viser, at antallet af aktive kanaler kun skal være forbedret en lille smule, for at give en signifikant forbedring i CI-brugerens taleperception i støj.

En taleperceptionsundersøgelse af Hochmair et al. (2003) påviste en resultatscore på 8 aktive kanaler. I undersøgelsen blev elektroderækker med stimulationspunkter fordelt over cochleas hele længde. Formålet var, at undersøge taleperceptionsscores af sætningstests i støj ud fra enten to forskellige otte-kanals arrangementer, benævnt 8a og 8b eller også ud fra alle 12 kanaler, som indgik i undersøgelsesdesignet. Taleperceptionsresultaterne viste, at der ingen forskelle var fundet mellem de to forskellige otte-kanals arrangementer (Ext 8a og Ext 8b), eller når alle 12 kanaler var anvendt og testet (undersøgelsen er beskrevet i afs. 6.4).

Frijns et al. (2003) undersøgte kanalantallets og elektrodepunkternes effekt af taleperception i støj (og i ro) ved at bruge en "high-rate" CIS-strategi. Forsøgspersonerne, ni brugere var alle implanteret med et Clarion CII CI. Brugerne havde mellem 3-11 måneders erfaring med en 8 kanal CIS-strategi (833 pulses/s/kanal) og blev i undersøgelsen tilpasset tilfældigt med 8-, 12-, og 16-kanals CIS-strategier (± 1400 pulses/s/kanal). Efter 1 måned blev udbyttet testet med C-V-C ord i både ro og tale-moduleret baggrundsstøj med SNR ved +10, +5, 0 og -5 dB. Denne proces blev gentaget i 3 mdr., indtil hver CI-bruger havde været testet med alle tre strategier. Hver CI-brugers optimale strategi var afgjort af testsresultaterne (ved +10, +5 og 0 dB SNR). De gennemsnitlige fonemscores blev forbedret fra 57% til 72% ved en SNR på +5 dB, og fra 46% til 56% ved en SNR på 0 dB. Som forventet aftog taleperceptionsresultaterne med øget støjniveau. Resultaterne viste: 1) At det optimale kanalantal var meget afhængigt af den individuelle CI-bruger, og at der ikke var en specifik strategi, som var bedst for alle CI-brugere. 2) At de individuelle CI-brugeres taleperception i støj kan forbedres ved "high rate" stimulation med op til 16 kanaler. Frijns et al. (2003) påpeger, at undersøgelsesresultaterne viser, at taleperceptionen kan blive yderligere forbedret, og arbejdsmængden for CI-brugeren reduceret, hvis strategien bliver "skræddersyet" til hvert individ. Hvis taleforståelse i støj skal være så optimal som muligt, må taleprocesseringsstrategien have mange aktive kanaler (Dorman, 2000; Wouters & Berghe, 2001).

5.8 Kriterier for forøgelse af kanalantallet

Afsnittets formål er at angive nogle retninger for yderligere forøgelse i antallet af aktive kanaler, hvilket ifølge Wilson et al. (2000) kan opnås igennem:

- o Nye elektrodedesigns
- o Brug af forskellige teknikker til at reducere elektrodeinteraktioner
- o Bilaterale implantater.

Nye elektrodedesigns: Den perimodiolære elektrodetype ved scala tympanis mediale væg giver større succes end den lige elektrodetype. Placeringen tæt på modiolus kan netop reducere tærskler og øge såvel dynamikområdet som den spatiale stimulationsspecificitet²³ (Wilson et al., 2000). Den sidste fordel kan være den vigtigste, fordi øget spatial stimulationsspecificitet kan øge antallet af aktive kanaler og give forbedret taleperception.

Reduktion af elektrodeinteraktioner: En anden mulighed, mht. at forøge antallet af aktive kanaler, er at reducere elektrodeinteraktioner (som omtalt i afs. 6.5).

Bilaterale implantater: En tredje mulighed er at bruge bilaterale implantater (som omtalt i afs. 7.9.2). Bilaterale implantater vil med fuld kanalindsættelse på hver side fordoble stimulationspunkterne, sammenlignet med unilaterale implantater. Det centrale auditive system vil integrere og kombinere input fra de to sider til taleperception. Primære fordele ved bilateral stimulation for CI-brugere er:

1. Forbedret lydlateralisering
2. Betydelige SNR fordele, støttet af forbedrede lydlateraliseringsevner.

5.9 Teknologiske tiltag

Et primært forskningsområde for de næste årtier er at sikre, at alle CI-brugere modtager høj kvalitetslyd (Clark, 2003a; Wilson et al., 2003). Clark (2003a) anvender udtrykket ”flaskehals” som en metafor i forståelsen af, hvordan man opnår en forbedret lydprocessering. Forfatteren påpeger, at man kan tænke på

²³ Der menes med dette udtryk, specificiteten af den spatiale aktivering af nervevæv, som forekommer i forbindelse med elektrodestimulation. Graden af den spatiale aktivering af nervevæv kan variere afhængig af elektrodetypen og påvirke udbyttet.

CI som en flaskehals, der begrænser strømmen af akustisk information til hjernen, og han udtrykker det således:

”To improve speech perception and achieve high- fidelity sound, it is necessary to (1) select the best speech features to pass through the bottleneck, (2) present information at optimal rates through the bottleneck, and (3) reproduce the coding of sound more effectively.”

Clark (2003a:788).

Clark (2003a) nævner her tre forskellige metoder til at transmittere mere information gennem ”flaskehalsen”. De to første punkter er omtalt under afs. 5.4 og afs. 5.6. Det sidste punkt (3) ”effektiv kodning af lyd” indgår under de to afsnit nedenfor.

5.9.1 Temporal frekvenskodning

En mulighed for at forbedre taleperception og musikperception kan opnås ved en bedre reproduktion af lydkodning - især den temporale frekvenskodning (Clark, 2003a). Clark (2003a) påpeger, at undersøgelsesresultater viser, at dette vil kræve produktion af et fint temporospatialt (temporalt og spatialt) responsmønster i små grupper af nervefibre. Basilarmembranens vandreboølge producerer faseforsinkelser i aktionspotentialerne (Som beskrevet tidligere i afs. 2.5). Dette skift i nervefibres ”fyringstid” forekommer ikke i de nuværende elektriske stimulationsmetoder. Fordi temporospatiale responsmønstre er nødvendige for en optimal temporal frekvenskodning, er der derfor ifølge Clark (2003a) et stort behov for at udvikle stimulusmetoder, der bedre reproducerer faseforsinkelserne i aktionspotentialerne. Wilson (2004) og Wilson et al. (2003) understøtter Clark (2003a) i, at designet af nye taleprocesseringsstrategier skal afspejle en tættere efterligning af signaltransformationerne (processeringstrinnene) i den normale cochlea. Wilson (2004:43) fremhæver følgende punkter:

“1) the nonlinear filtering that occurs at the basilar membrane and outer hair cell complex, and 2) the stages of instantaneous and noninstantaneous compression that occur at the inner hair cells and at the synapses between the cells and adjacent fibers of the auditory nerve.”

Flere nye strategier bliver designet til at afbilde adaptationsegenskaberne af det perifere system med det formål at producere yderligere taleperceptions forbedringer (Clark, 2003a, Wilson et al., 2003). Inklusion af de ulineære kompressionsfunktioner (som forekommer ved basilar-membran-komplekset i normal hørelse) i nye strategier kan forbedre taleperceptionsscores, især for tale i baggrundsstøj.

5.9.2 Neuroengineering

Clark (2003) fremhæver neuroengineering som en signifikant faktor til at forbedre kodningen af lyd i CI'er. Man anvender her hjernens neurale arkitektur og kodningsmekanismer. I kraft af modeludvikling for auditiv hjernefunktion kan man analysere taleinformation såsom fonemer samt ord, og bruge denne information til elektrisk stimulation med et CI.

Ved fonemers onsets er der en eksplosion af energi (voice-onset tiden), efterfulgt af en pause. Dette lader sig tydeligt afspejle i nervecellernes responser. Afhængig af om det fx er /bet/, /det/ og /get/ stavelser, bliver responseksplosionernes varighed signifikant forskellig (Clark, 2003a). Disse og andre temporale lydkomponenter hjælper med at give markører for bedre human-teknologisk kommunikation samt for mere præcis præsentation af talesignaler (kodning af lyd). Med human-teknologisk kommunikation er der i dag begrænsninger i den måde computere genkender menneskelig tale. Computeren analyserer tale ved separate vinduer i tid. Men den har vanskeligheder ved at bruge information på tværs af flere vinduer. Desuden antager den i hvert vindue, at signalet er konstant. Det er i dag derfor kun sandsynligt at undersøge, hvordan hjernen processerer information over korte tidsperioder (Clark, 2003a). Taleprocesseringsstrategiens bearbejdning af signalerne bliver derfor kvasilineær, hvilket resulterer i tab af information.

5.10 Opsamling

Gamle versus nye taleprocesseringsstrategier: Brugen af nyere og forbedrede taleprocesseringsstrategier har en signifikant effekt på den postoperative performans. Der er en korrelation mellem strategitype og den informationsmængde, som strategien yder.

Udbytte: Nyere strategier giver forbedret taleperception hos CI-brugere på åben-sæt stimuli. Majoriteten af brugere med de nyeste strategier scorer > 80% korrekt på sætningstests uden mundaflæsning. Mange CI-brugere kan derfor også tale i telefon. Men på trods af nye strategier med identiske taleprocessorer og elektroderækker hersker der stadig høj variabilitet på tværs af CI-brugernes taleperceptionsresultater - med en lille gruppe, som ikke har gavn af CI'et ved brug af hørelsen alene. Et generelt problem hos CI-brugere er forståelsesvanskeligheder i situationer med baggrundsstøj.

Subjektiv selektion af taleprocesseringsstrategier: Taletrækkenes betydning kommer bl.a. til udtryk ved CI-brugernes præferencer i forbindelse med udvælgelse af en taleprocesseringsstrategi. Undersøgelsesresultater viser, at CI-brugernes foretrukne strategi korrelerer med den postoperative performans. Det er derfor forskelligt, hvilken strategitype CI-brugere opnår de bedste resultater med.

Objektiv selektion af taleprocesseringsstrategier: Man har i dag fået bedre kendskab til nerveresponsmønstre samt en større viden om processeringen i det perifere system. Strategier, deriblandt CIS, forældes derfor hurtigt i takt med den teknologiske udvikling. *Parameterværdierne* har signifikant indflydelse på taleperceptionen. Det bedste parametervalg i taleprocesseringsstrategien kan variere fra den ene CI-bruger til den anden CI-bruger. Mange klinisk tilgængelige parametre er endnu dårligt forstået, i relation til at maksimere talegenkendelse. *Parameterværdier*, som er belyst i kapitlet, er: dynamikområdet, stimulationsraten og antallet af kanaler.

Dynamikområdet: I nogle studier korrelerer dynamikområdet ikke med udbyttet, mens andre studier påviser et bedre udbytte med øget dynamikområde.

Stimulationsraten: Den optimale stimulationsrate er endnu ikke fundet. Undersøgelsesresultater viser en høj interpersonel variabilitet i forbindelse med den postoperative performans.

Kanaler: Undersøgelsesresultater har påvist, at fire aktive kanaler i ro er nok for at få en høj score (ca. 90%) på sætningsidentifikationstests. For at opnå en

tilsvarende taleperceptionsscore ved monosyllabisk ordgenkendelse i ro, er otte aktive stimulationskanaler nødvendige. Et højere kanalantal er også behørigt i støj. Studier viser op til 8-12 aktive kanalantal, og i enkle tilfælde op til 16 aktive kanaler i støj, ved sætningsidentifikationstests.

Kriterier for forøgelse af kanalantal: CI-brugernes performans i støj kan være forbedret ved at øge de aktive kanalers antal. En forøgelse af antallet kan bl.a. opnås igennem: nye elektrodedesigns, reduktion af elektrodeinteraktioner og bilaterale implantater.

Teknologiske tiltag: Et overordnet tiltag inden for forskningen består i, at alle CI-brugere opnår høj kvalitetslyd. Dette kræver bl.a. en effektiv kodning af lyd, som kan opnås via: temporal frekvenskodning og neuroengineering.

Temporal frekvenskodning: Flere nyere strategier bliver designet til at afbilde adaptationsegenskaberne af det normale perifere system, med det formål at forbedre den postoperative performans. Temporal frekvenskodning er nødvendig mht. at give forbedret og optimal lyd kvalitet, hvilket vil kræve produktion af et fint temporospatiale responsmønster i små grupper af nervefibre. Det er derfor nødvendigt at udvikle stimulusmetoder, der bedre reproducerer faseforsinkelserne i aktionspotentialerne.

Neuroengineering: I forbindelse med neuroengineering anvender man hjernens neurale arkitektur og kodningsmekanismer. Dette er en signifikant faktor til at forbedre kodningen af lyd. I kraft af modeludvikling for auditiv hjernefunktion kan man undersøge, hvordan hjernen processerer information. Dette er i dag dog kun muligt at kortlægge over korte tidsperioder.

Taleprocesseringsstrategiens signalbearbejdning bliver derfor kvasilineær, hvilket resulterer i tab af information.

6 Elektroder

Den intracochleære elektroderække, som via elektriske pulser stimulerer den auditive nerve, er en af de essentielle komponenter ved et CI-system. Nyere typer af elektrodedesigns bidrager til bedre taleperception. Mange faktorer, der indgår i elektrodedesignet, kan ifølge flere undersøgelser påvirke taleperceptionen. Specifikke faktorer, der ifølge Clark (2003a) (som omtalt i afs. 1.2) korrelerer med udbyttet hos voksne, er bl.a. elektrodens indsættelsesdybde og antallet af stimulerede elektrodepunkter.

I dette kapitel diskuteres elektrodedesignets morfologiske og tekniske aspekters indvirkning på taleperception. Der vil blive redegjort for den perimodiolære elektrodetype, da det er den, som primært implanteres i dag. Elektroderækker varierer i type, placering, omfang, indsættelsesdybde og antallet af aktive elektrodepunkter. Alle de ovennævnte faktorer behandles i hver sit afsnit nedenfor. Elektrodeinteraktioner²⁴ er ligeledes belyst i et afsnit. Slutteligt i kapitlet beskrives teknologiske tiltag i forbindelse med elektrodedesigns.

6.1 Elektrodetype

I dette afsnit vil fordele og ulemper ved den perimodiolære elektrodetype være beskrevet. Denne elektrodetype er generelt at foretrække, men i enkelte tilfælde såsom ved mondini er der større succes forbundet med at implantere den lige elektrodetype, hvilket vil være belyst i afsnittet.

Der er i dag to intracochleære elektrodetyper tilgængelige (som beskrevet tidligere i afs. 3.5), en lige og en perimodiolær:

Den lige elektrodetype dækker en lateral vægposition i scala tympani og kan i nogle tilfælde, også antage en mere mellemliggende placering afhængig af elektrodedesignet.

Den perimodiolære elektrodetype ligger derimod tæt på modiolus i en krum position ved scala tympanis mediale væg (Roland, 2000). Elektrodepunkter tættere på modiolus stimulerer mere lokaliserede grupper af ganglionceller for at udvinde de fine temporospatiale responsmønstre krævet for at forbedre

²⁴ I litteraturen taler man ikke om elektrodepunkter, men blot om elektroder (som tidligere omtalt i afs. 1.4 om terminologi), derfor termen elektrodeinteraktioner. Udtrykket elektrodeinteraktioner tolkes i specialet som en samtidig overlapning af elektriske felter.

kodningen af lyd (som omtalt i afs. 5.9.1). Denne elektrodetype kan derfor give et bedre udbytte frem for den lige elektrodetype, som ofte falder ud til scala tympanis laterale væg (Wilson et al., 2000; Wilson et al., 2003).

Fordele ved et perimodiolært elektrodedesign frem for den lige elektrodetype:

- o Bedre og mere diskret nervestimulation som resulterer i mindre stimulationsområder (Clark, 2003a; Roland et al., 2000; Waltzman, 2000).
- o Længere batteritid og et mere effektivt energiforbrug. Strømforbruget bliver reduceret, fordi elektrodepunkter og ganglionceller kommer tættere på hinanden (Andersen, 2005a; Clark, 2003a; Roland et al., 2000; Waltzman, 2000).
- o Stimulation af ansigtsnerven (nervus facialis) kan undgås eller reduceres, fordi elektroderækken ikke ligger ved scala tympanis laterale væg (Roland et al., 2000; Waltzman (2000).
- o Perimodiolære placeringer reducerer tærskler og øger dynamikområdet (som omtalt i afs. 3.6 og afs. 5.5) (Clark, 2003a; Wilson, 2000). Der er bl.a. undersøgelser, som har påvist signifikante reduktioner i auditive hjernestammeresponstærskler hos katte, når elektroderne var flyttet fra scala tympanis laterale væg imod modiolus og tættere på de spirale ganglionceller (Roland et al., 2000).
- o Placeringerne kan også øge den spatiale stimulationsspecificitet, hvilket primært optræder omkring den basale vinding (som omtalt i næste afsnit). Denne fordel er vigtig, fordi bedre spatial stimulationsspecificitet kan øge antallet af aktive kanaler (Wilson, 2000)
- o I kraft af den øgede spatiale stimulationsspecificitet kan de perimodiolære placeringer desuden medvirke til at reducere elektrodeinteraktioner (Wilson, 2000).

Ulemper i forbindelse med et perimodiolært elektrodedesign:

- o Ved *mondini*: 1) Elektroden stimulerer mediallyt i scala tympani og er derfor ikke så brugbar, da en af ulemperne ved *mondini* er, at man ikke helt præcist ved, hvor ganglioncellerne ligger (Andersen, 2005a; Samar, 2004). 2) Et andet problem er, at elektroden vil sno sig sammen. Dette skyldes den anatomiske opbygning i cochlea, forårsaget af *mondini*.

Der anvendes derfor en lige elektrodetype ved *mondini*. En lige elektrodetype vil lægge sig i kanten af cochlea dvs. lateralt (Andersen, 2005a). En anden fordel er, at der er større sandsynlighed for, at elektroden ved hver puls stimulerer et større antal nervefibre, da den stimulerer både mediallyt og lateralt i scala tympani (Andersen, 2004; Roland et al., 2000; Waltzman, 2000).

- o *Øget mulighed for traumer* med perimodiolære elektrodedesigns (Hochmair et al., 2003; Roland et al., 2000; Wilson et al., 2003). Komplet indsættelse af en elektrode langs den mediale væg (som illustreret i fig. 9D, afs. 3.5) er meget vanskelig at opnå uden traume (Hochmair et al., 2003). Indsættelsestraumer skal undgås, især hvis traumet involverer cochleas mediale væg, da traume på modiolus kan føre til lokaliseret degeneration af nervestrukturen (Roland et al., 2000).

Roland et al. (2000) sammenholdt i en undersøgelse tre forskellige elektrodetyper: En lige elektrodetype, som dækkede en lateral vægplacering i scala tympani, en elektrode, der dækkede en mere mellemliggende placering samt en perimodiolær prototype elektrode. Ingen af de testede elektrodetyper traumatiserede modiolus og lamina spiralis. Al observeret skade var på basilmembranen. Sidstnævnte elektrodetype, prototype elektroden var mere traumatiserende end de andre to designs. Ifølge Roland et al. (2000) så er den ideelle utraumatiske perimodiolære elektrode endnu ikke fuldt tilgængelig. Clark (2003a) påpeger, at minimalt traume på cochleas strukturer kan opnås, hvis elektrodeindsættelsen stopper ved det punkt med den første modstand.

Elektrodens placering (afstanden mellem elektroden og modiolus) kan være en af de mange variabler, som influerer på CI-brugerens udbytte, hvilket er belyst i nedenstående afsnit.

6.2 Elektrodeplacering

Der er ifølge flere forfattere (Clark & Lawrence, 2000; Fu & Shannon, 1999; Wilson, 2000; Wilson et al., 2003) en korrelation mellem elektrodeplacering og det postoperative udbytte hos CI-brugere. Jo tættere afstand til modiolus jo bedre taleperceptionsresultater. Figur 9D og 9E (afs. 3.5) illustrerer en ideel perimodiolær fordeling af stimulationspunkterne og en delvis perimodiolær fordeling af stimulationspunkterne.

På trods af perimodiolære elektrodedesigns' krumme position ved scala tympanis mediale væg, kan de ikke opnå signifikant spatial selektiv aktivering af ganglioncellerne gennem cochleas hele længde. Den perimodiolære elektroderække reducerer distancen mellem elektrodepunkterne og ganglioncellerne i den basale vinding, hvorimod virkningsfuldheden af den perimodiolære elektroderækkes placering er begrænset i de højere vindinger (Clark & Lawrence, 2000; Hochmair et al., 2003; Wilson et al., 2000; Wilson, 2004). Denne effekt skyldes ifølge Wilson (2004:24) nedenstående faktorer:

“(1) different anatomic courses of the ST²⁵ and spiral ganglion, and (2) a relatively non-differentiated “clustering” of spiral ganglion cells at about the level of the second turn of the ST.”

(1): Bortset fra i den basale vinding, så er der pga. de forskellige anatomiske forløb begrænset mulighed for en tæt kontakt mellem ganglioncellerne og elektrodepunkterne gennem hele cochleas længde (som omtalt tidligere i afs. 2.6 og illustreret i figur 4). Spredningen af strøm med den perimodiolære elektroderække er bl.a. blevet undersøgt med psykofysiske maskeringsforhold, som netop har påvist en mere lokaliseret spredning af strøm i den basale vinding af scala tympani (Clark, 2003a).

(2): Ifølge Wilson (2004) så kan elektrodepunkter, som ligger ud over scala tympanis anden vinding ikke stimulere forskellige populationer af ganglionceller. De kan kun stimulere ”udposningen” af ganglioncellerne ved den spirale ganglions apex. Hochmair et al. (2003) påpeger, at pga. ”udposningen” af ganglionceller på den spirale ganglions anden vinding, så reduceres den tonotopiske orden i forbindelse med elektrodestimulationen.

²⁵ ST er en forkortelse for scala tympani.

Dette giver øget risiko for elektrodeinteraktioner. Et andet problem er ectopisk stimulation²⁶.

Som beskrevet ovenfor kan elektrodepunkterne ikke stimulere ud over scala tympanis anden vinding. I få tilfælde er det dog muligt at stimulere den apikale del af cochlea. Ifølge Wilson (2004) og Hochmair et al. (2003) afhænger det af to ting:

For det første: Dybt indsatte elektroderækker er nødvendige for at kunne stimulere den apikale region. De elektroderækker, der indsættes i dag, er max. 30 mm fra det runde vindue (som omtalt næste afs.).

For det andet: Frekvensspecifik stimulation i den apikale region kan kun opnås ved at stimulere overlevende dendritter²⁷, da der, som beskrevet, ingen ganglionceller er i den region (Hochmair et al., 2003; Wilson, 2004).

Frekvensspecifik stimulation i scala tympanis apikale del er næsten aldrig muligt. Dette skyldes, at overlevelsen af dendritter er sjælden i den døde cochlea (Wilson, 2004). Men den lavfrekvente residuale hørelse, som er almindeligt set hos svært hørehæmmede voksne og i stigende grad hos CI-brugere, bevidner om tilstedeværelsen af dendritter i den apikale region (Hochmair et al., 2003). På trods af manglende dendritter, så vil den fuldt indsatte elektrode stadig være effektiv mht. at stimulere den basale region og den anden vindings "udposning" på den spirale ganglion (Hochmair et al., 2003; Wilson, 2004).

6.3 Elektrodeomfanget samt elektrodens indsættelsesdybde

Elektrodens indsættelsesdybde og elektrodeomfanget er ifølge Clark (2003a) og andre forfattere (Dorman, 2000; Fu & Shannon, 1999; Hochmair et al., 2003; Yukawa et al., 2004) blandt de faktorer, som er medvirkende til øgede taleperceptionsscores hos CI-brugere.

²⁶ Ectopia (Ecto = bort fra + Topos = sted) (Klinisk Ordbog, 2002). Ectopisk stimulation refererer her til en uønsket stimulation på tværs af vindingen eller modiolus. Ectopisk stimulation optræder og forøges ved "udposningen" ved scala tympanis anden vinding. I tilfælde af svær ectopisk stimulation er elektrodepunkterne ude af stand til at stimulere på én specifik frekvensregion (Hochmair et al., 2003).

²⁷ Nervesystemets neuroner inkluderer en cellekerne. Dendritterne er afferente og fører nerveimpulser til cellekernen. Axoner er derimod efferente og fører nerveimpulser væk fra cellekernen (Zemlin, 1997).

Elektrodeomfanget refererer til distancen mellem de første og sidste stimulationspunkter på elektroderækken, og *indsættelsesdybden* beskriver, hvor langt elektroden er ført ind i cochlea (som omtalt i afs. 3.5). Begreberne supplerer hinanden i litteraturen, da elektrodeomfanget ofte er lig elektrodens indsættelsesdybde og omvendt. Men i nogle tilfælde (fx i undersøgelsen af Hochmair et al. (2003) beskrevet senere i afsnittet) hvor der anvendes eksperimentelle taleprocessorer, som stimulerer enten centralt eller apikalt på elektrodepunkterne, da vil elektrodeomfanget og indsættelsesdybden være uoverensstemmende.

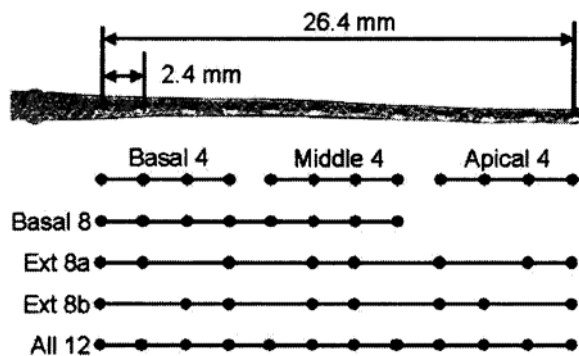
Ifølge Wilson (2004) har ingen elektroderækker været indsat dybere end 30 mm fra det runde vindue, og typiske indsættelsesdybder er kortere, mellem 20 til 26 mm. Gantz & Turner (2003) påpeger derimod, at nuværende CI'er involverer placeringer af elektroderækker langs cochleas længde, som er 24 til 28 mm. De dybeste elektrodeindsættelser i dag er i en position, som svarer til omkring 500 Hz hos en normalthørende (Fu & Shannon, 1999; Andersen, 2004). For eksempel kanal 22 stimulerer 200 Hz på elektrodepunkt 22, men opfattes subjektivt som 500 Hz, dvs. at der er en pitchforskydning. Lydbilledet bliver forskubbet i cochlea, fordi elektroden ikke ligger så langt inde i cochlea, som ønsket. Dette fører til en højere pitch end normalt, hvor stemmer opfattes skarpere og lysere. Et nyere elektrodedesign, med en elektrode som er placeret mere apikalt, vil resultere i tale med aftagende pitch og bedre taleperception, og CI-brugerens lydbillede vil blive mere tilsvarende den normalthørendes (Andersen, 2004). Ifølge Hochmair et al. (2003) og Wilson (2004) er det (som beskrevet i afsnittet ovenfor) kun muligt hos CI-brugere, der har tilstedeværelse af dendritter i cochleas apikale region.

Dorman et al. (2000) påpeger, at korte indsættelsesdybder kan have signifikant negativ effekt på taleperception hos CI-brugere. Forfatterne rapporterer, at indsættelsesdybder, som ikke går ret langt ind i cochlea, er delvis ansvarlige for dårlig taleforståelse, efter processeren er aktiveret. Data viser (Dorman et al., 2000; Fu & Shannon, 1999), at CI-brugerne kun er i stand til at kompensere for et forskubbet lydbillede af en moderat størrelse, i forbindelse med inputfrekvensers kodning til de cochleære stimulationssteder. Den auditive opfattelse i kraft af indsættelsesdybden får derved en signifikant effekt på performans. I et studie af Yukawa et al. (2004) undersøgte man, hvorvidt indsættelsesdybden fra en elektroderække påvirker den postoperative

taleperception. Deltagerne var 48 postlingualt døde voksne, som anvendte et Nucleus 22 eller et Nucleus 24 CI med en lige elektroderække.

Undersøgelsesresultaterne påviste, at elektrodens indsættelsesdybde samt døvhedens varighed var prædiktorer for taleperception. Undersøgelsen dokumenterede, at skønt flere faktorer er kontrolleret, så påvirker indsættelsesdybden stadig CI-brugernes taleperception.

Hochmair et al. (2003) evaluerede effekten af indsættelsesdybdens samt stimulationsstedets indflydelse på taleperception hos 10 CI-brugere. Alle personer havde et totalt kanalantal på 12 og var implanterede med elektroder med en indsættelsesdybde på 26.4 mm.



Figur 13 (Hochmair et al., 2003:615). Øverst er en illustration af den anvendte standard COMBI 40+ elektrode, dens længde samt afstanden mellem elektrodepunkter. Nederst er afbildet de forskellige kanalarrangementer og tilhørende stimulationsregioner på basilmembranen, som indgik i undersøgelsesresultaterne. Punkterne symboliserer de aktiverede kanaler.

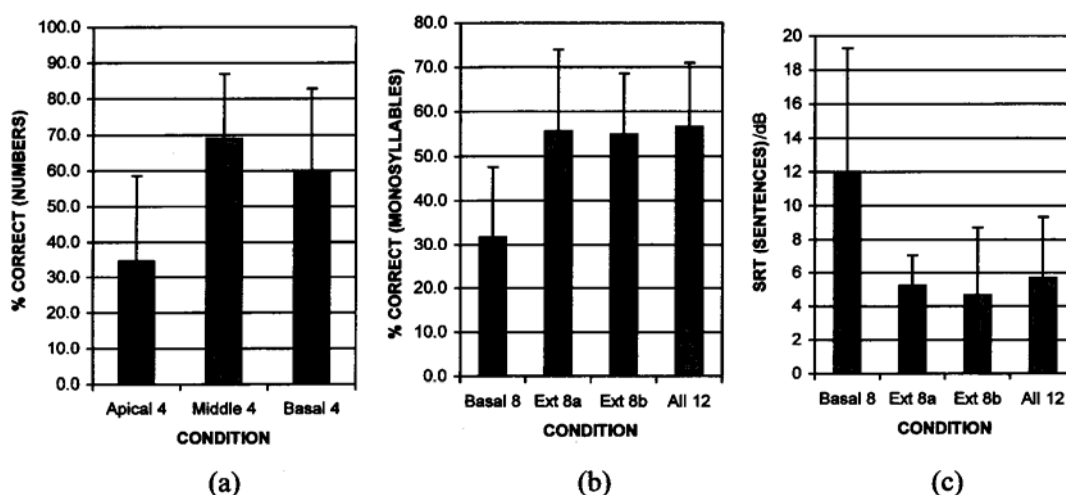
1) *En taltest* var anvendt med det formål at vurdere, hvorvidt specifik stimulation af cochleas apikale region støtter en signifikant grad af taleforståelse. Stimulation var begrænset til enten cochleas apikale, mellem og basale regioner. Et antal på 4 aktive kanaler blev på skift aktiveret ud af det totale kanalantal på 12: de apikale 4, de mellemste 4 og de basale 4 (figur 13). De fire apikale elektroder stimulerer den neurale "udposning" i enden af den anden vinding.

2) *Monosyllabisk ordtest i ro* og *en sætningstest i støj* blev udført med det formål at vurdere indsættelsesdybdens effekt på taleperception. Her anvendte man elektrodekonfigurationer, hvor stimulationspunkterne enten var fordelt over cochleas hele længde via 2 forskellige 8 kanals arrangementer (8a og 8b),

12 kanaler (standard) eller blot koncentreret i den basale ende (basal 8). Sidstnævnte elektrode havde kun en indsættelsesdybde på ≈ 20 mm. (figur 13). Taltesten og den monosyllabiske ordtest var præsenteret i ro, ved 70 dB SPL. Sætningstesten blev præsenteret ved et taleniveau på 70 dB SPL og med et støjniveau, som varierede med det sigte at finde SRT²⁸, der giver en 50% korrekt talescore. Alle tre tests undersøgte de fire forskellige elektrodetyper.

Resultater:

1) *Cochleas apikale region støtter en signifikant grad af taleperception* (Hochmair et al., 2003). Resultatscorerne fra taltesten, som blev anvendt, viste signifikante forskelle i gennemsnitsscores. De apikale 4 kanaler havde 34,5% scores sammenlignet med de mellemste 4 kanaler på 69% og de basale 4 kanaler på 60% (figur 14a).



Figur 14 (Hochmair et al., 2003:616). Illustrationen viser resultaterne for a) taltesten; b) den monosyllabiske test; og c) sætningstesten.

2) *Hvis elektrodepunkterne er distribueret over cochleas hele længde, så forbedres taleperception i ro og i støj.* Data påviste, at fra basal stimulation (basal 8) til stimulation af cochleas hele længde (8a, 8b og standard 12 kanaler) øgedes den monosyllabiske forståelsestest i ro med 24% i gennemsnit (figur 14b). Gennemsnitsscoren for basal 8 var 31,8%, sammenlignet med fx de 12 standard kanaler, som havde det bedste resultat på 56,7% korrekte scores.

²⁸ SRT = Speech Reception Threshold eller Speech Recognition Threshold. Hvis man kan genkende 50% korrekt, har man et mål for SRT. SRT er en måling for, hvor kraftig talelyd skal være, for at man lige netop kan følge en samtale. Der kan anvendes en to-stavelsestest eller som i dette tilfælde en sætningstest.

I *sætningstesten* viste undersøgelsesresultaterne (figur 14c), at den basale del af scala tympani (basal 8) var 11.8 dB SRT, hvorimod ved stimulation af hele scala tympani aftog den gennemsnitlige SRT med 6.6 dB. Undersøgelsen påviser således, at 8a, 8b og de 12 standardkanaler kan tåle et signal/støj-forhold, der er ca. halvt så godt, som basal 8 elektrodetyper kan tåle.

Årsagen, til den observerede forbedring i taleperception med stimulation langs hele cochlea, skyldes en mere naturlig tonotopisk organisation, som sker ved elektroderækker indsat mere apikalt i cochlea (Dorman, 2000; Fu & Shannon, 1999; Hochmair et al., 2003). Makhdoum (1998) og Yukawa et al. (2004) påpeger svarende til alle forfatterne i dette afsnit, at resultatet af delvis indsættelse af en elektroderække er generelt dårligere end den med fuld indsættelse. Forfatterne rapporterer, at det netop også kan afhænge af andre faktorer såsom elektroderækkens placering og antallet af aktive elektrodepunkter, som er beskrevet nedenfor. Der er derfor flere parametre at tage hensyn til for at opnå de bedste taleperceptionsresultater i forbindelse med en dyb elektrodeindsættelse.

6.4 Antallet af elektrodepunkter

Det er rimeligt at antage, at jo større antal af aktive elektrodepunkter des bedre taleforståelse. Som omtalt tidligere, så skal strategien have mange aktive kanaler, hvis taleforståelsen i støj skal være så optimal som muligt. En reduktion i antal aktive elektrodepunkter resulterer i en begrænsning af antallet af aktive kanaler (Frijns et al. 2003). En forøgelse i antallet af aktive kanaler kan derfor opnås igennem nye og forbedrede elektrodedesigns. Clark (2003a; 2003b), Frijns et al. (2003) og Fu & Shannon (1999) konkluderer, at antallet af elektrodepunkter korrelerer med den postoperative performans. Dette er dog ikke altid tilfældet ifølge flere af de undersøgelser (Dorman et al, 1998; Fishman et al., 1997), der er beskrevet nedenfor.

Flere faktorer kan påvirke antallet af aktive elektrodepunkter såsom: Elektrodepunkternes afstand til hinanden²⁹, støj versus ro i omgivelserne, hvor langt elektroden ligger inde i cochlea, elektrodeinteraktioner (omtalt i næste afsnit), lofteffekter, stimulationsrater og individuelle forskelle i patologi osv.

²⁹ Faktoren: Afstanden mellem elektrodepunkter kan der læses mere om i Fu & Shannon, (1999), Hochmair et al. (2003) og Wilson et al. (1995).

(Fishman et al., 1997). Fishman et al. (1997) påpeger, at nogle CI-brugere kan gøre fuld brug af den spektrale information via alle 20 elektrodepunkter, mens andre CI-brugere aldrig vil opnå anvendelse af et tilsvarende antal elektrodepunkter, pga. deres patologi. Fu & Shannon (1999) rapporterer i overensstemmelse med Fishman et al. (1997), at elektrodepunkternes optimale antal må være subjektrelateret, i forhold til CI-brugernes patologi og mønstre af overlevende ganglionceller. Clark (2003a) påpeger, at afhængig af patologi og det forskellige antal af ganglionceller er det samtidig en fordel med mange aktive elektrodepunkter, da flere elektrodepunkter vil være tilgængelige i de områder af cochlea, hvor den tonotopiske organisation er mest effektiv.

Ifølge Clark (2003b) kan det påvises, at der er øgede fordele ved at have tilføjende elektrodepunkter fra 9 og op til 21 (9 værende det minimale antal indsat hos CI-brugerne i undersøgelsen). Fra en forelæsning af Samar (2004) blev der sagt, at undersøgelsesdesigns havde påvist, at 12 aktive elektrodepunkter var den maksimale grænse for taleperceptionsscores. En undersøgelse af Dorman et al. (1998) påviste derimod et lavere antal aktive elektrodepunkter. CI-brugere med 6-kanals processorer og 6 elektrodepunkter opnåede scores på taleforståelsetests, som var ens med scorerne hos CI-brugere, der anvendte processorer med mange flere kanaler og elektrodepunkter.

Fishman et al. (1997) udførte en undersøgelse *i ro*, hvor talegenkendelse var målt hos CI-brugere, som en funktion af antallet af elektrodepunkter. I undersøgelsesdesignet varierede man systematisk antallet af aktive elektrodepunkter, for at vurdere effekterne af at have 1,2,4,7,10, eller 20 elektrodepunkter hos 11 Nucleus-22 implanterede CI-brugere. Undersøgelsesdesignet bestod af i alt 20 frekvensbånd (kanaler). Som antallet af elektrodepunkter blev reduceret, modtog hvert elektrodepunkt information fra en bredere spektral-region, dvs. fra flere kanalers output, således at hele talespektrummet altid var repræsenteret. Talegenkendelse blev målt på mediale konsonanter, vokaler, monosyllabiske ord, fonemtests og sætninger. Grupperdata på tværs af alle tests viste signifikante forbedringer i talegenkendelse, efterhånden som elektrodepunkternes antal blev forøget fra 1 til 4. Ingen signifikante forbedringer i talegenkendelse blev observeret på nogen som helst tests, som elektrodeantallet blev forøget fra 7 til 20. Ved sætningstests blev ingen forbedringer observeret med mere end 4

elektrodepunkter, hvorimod fonemtests viste forbedringer i performans med op til 7 elektrodepunkter. Dette kunne tyde på, at flere spektrale detaljer kræves til identifikation af isolerede akustiske mønstre (fonemer). Resultaterne viste, at skønt spektral information var tilgængelig fra 20 frekvensbånd (kanaler), så anvendte CI-brugerne langt fra alle de 20 elektrodepunkter.

Ovennævnte undersøgelsesresultater viser, at CI-brugere i dag sjældent er i stand til at gøre fuld brug af alle de tilgængelige elektrodepunkter i det kommercielle apparat. Det står endnu ikke klart, hvorfor CI-brugere ikke kan anvende den totale mængde af spektral information, som er tilgængelig gennem de multiple elektrodepunkter. Ligeledes vides det heller ikke med sikkerhed, hvilke faktorer der har signifikant effekt på antal aktive elektrodepunkter. Undersøgelser (Clark, 2003a; Frijns et al., 2003) konkluderer, at flere elektrodepunkter er nødvendigt i støj, end i ro. Frijns et al. (2003) konstaterer, at i forbindelse med ældre studier (fremhæver bl.a. Fishman et al.'s (1997) undersøgelse) er det ikke muligt at øge antallet af aktive elektrodepunkter (og kanaler) med mere end 7. Dette skyldes ifølge Frijns et al. (2003) brugen af traditionelle elektroder og ældre implantatelektronikker, som bl.a. resulterer i elektrodeinteraktioner og begrænset spatiale stimulationsspecificitet. Interaktioner blandt elektrodepunkter vil være beskrevet i nedenstående afsnit.

6.5 Elektrodeinteraktioner

Et vigtigt mål for elektrodedesigns er at undgå elektrodeinteraktioner. Interaktioner blandt elektrodepunkter fører potentielt til sløring af det originale signals spektrum (Hochmair et al., 2003). I litteraturen har der været fremhævet faktorer, som kan *reducere* elektrodeinteraktioner, flere er anført nedenfor:

- o Brug af sekventiel stimulation kan ifølge Andersen (2005a), Clark (2003a) og Wilson (2000) reducere elektrodeinteraktioner og derved producere yderligere forbedringer i den spatiale stimulationsspecificitet. I et studie af Clark (2003a) har resultater påvist, at der i forbindelse med simultan stimulation var uforudsigelige variationer i lydstyrkeniveau, som skyldtes de elektriske felters samtidige overlap. Clark (2003a) påpeger derfor, at taleinformation ikke skal være

præsenteret simultant til de separate elektrodepunkter, da det øger muligheden for elektrodeinteraktioner.

- o Perimodiolære elektrodeplaceringer minimerer distancen mellem stimulationspunkterne og ganglioncellerne. I kraft af øget spatial stimulationsspecificitet så afhjælpes og reduceres elektrodeinteraktionerne (Wilson, 2000).
- o Ifølge Hochmair et al. (2003) giver stimulation af hele cochlea bedre plads til stimulationspunkterne. Dette reducerer elektrodepunkternes interaktioner i modsætning til, når der sker en begrænset stimulation, kun af fx cochleas basale del.
- o Studier (Wilson et al., 2003) har påvist, at hvis man fjerner elektrodepunkter, som producerer mange elektrodeinteraktioner, er det muligt at forbedre taleperception hos CI-brugere, som tidligere havde relative lave taleperceptionsscores. Som en kontrast gav elektrodereduktionen dårligere taleperceptionsscores for de CI-brugere, som havde høje scores og med maksimum antal af elektrodepunkter. Derfor kan CI-brugere med lave scores og høje interaktionsniveauer have gavn af, at man ekskluderer de mest interaktive elektrodepunkter. Ifølge Wilson et al. (2003) er der brug for yderligere undersøgelsesdata.

Disse ovennævnte funktioner er nogle af de faktorer, som kan hjælpe til med at reducere interaktioner og derved producere yderligere forbedringer i den spatiale stimulationsspecificitet ved implantatbrug. Det er dog ifølge Wilson (2000) sandsynligt, at på trods af nye perimodiolære elektroderækker, så vil elektrodeinteraktioner vedblive med at være tilstede, især ud over den basale vinding (som omtalt i afs. 6.2).

6.6 Teknologiske tiltag

Mange udviklingstiltag er undervejs inden for elektrodedesigns. Clark (2003) og Clopton & Spelman (2003) rapporterer bl.a. om ”high-density” perimodiolære elektroderækker. Et stort antal af elektrodepunkter placeres tæt på den mediale væg i cochlea. Clopton & Spelman (2003) fremhæver 72 elektrodepunkter, som et kommende teknologisk tiltag for at opnå bedre

lydlateralisering samt taleperception i støj. Flere nutidige tiltag arbejder med at forebygge traumer på scala tympani. Forskning anvender nanoteknologi for at udvikle sensorer (følere), som kan indikere elektrodeindsættelsernes retning. Elektroderækker kan have tilbøjelighed til at forårsage traume, hvilket sensorer kan afhjælpe. Blandt andre nutidige tiltag kan nævnes: intramodiolære implantater og kombineret EAS (elektrisk og akustisk stimulation) i den samme cochlea. Begge udviklingstiltag er beskrevet nedenfor.

6.6.1 Intramodiolære implantater

Et alternativ til perimodiolære placeringer er at implantere en elektroderække langs den auditive nerve, benævnt intramodiolære implantater (Clark, 2003a; Wilson, 2004; Wilson et al., 2003). Et intramodiolært CI giver forskellige fordele såsom: En mere direkte kontaktflade til et større neuronantal, lavere strømniveauer til tærskelstimulation (T), øget spatial stimulationsspecificitet og et større antal stimulussteder, sammenlignet med scala tympani implantater (Clark, 2003a; Wilson et al., 2003).

En større spatial stimulationsspecificitet, især i den basale vinding, er opnået for de fleste CI-brugere, som anvender perimodiolære elektroderækker (Clark & Lawrence, 2000; Hochmair et al., 2003; Wilson, 2004; Wilson et al., 2000). Yderligere forbedring af spatial stimulationsspecificitet i *alle* de stimulerede områder, kan ifølge Wilson et al. (2003) være tilgængelig i fremtiden med intramodiolære implantater. Det er dog vigtigt at bemærke, at nye elektrodedesigns – enten i scala tympani (Roland et al., 2000) eller intramodiolære implantater – kan være mere traumatiserende (Wilson et al., 2003). Det er derfor et emne, som kræver videre forskning.

6.6.2 Kombineret EAS (Elektrisk og Akustisk Stimulation) i den samme cochlea

Det er almindeligt kendt, at de fleste CI-kandidater mister deres residuale hørelse ved cochleaimplantationen (Cohen, 1997; Gantz & Turner, 2003). For at undgå degeneration af de tilbageblevne hårceller har undersøgelser vist positive resultater, ved at kombinere elektrisk og akustisk stimulation (EAS) i den samme cochlea for personer med signifikant residual lavfrekvent hørelse (Armstrong et al., 1997; Clark, 2003a; Gantz & Turner, 2003; Gates &

Miyamoto, 2003; Shannon et al., 2004; Wilson et al., 2003). Gates & Miyamoto (2003) benævner implantaterne: hybridapparater.

Kombineret EAS komplementerer akustisk stimulation af cochleas apikale (lavfrekvente) ende med elektrisk stimulation af cochleas basale (højfrekvente) ende. Gantz & Turner (2003) påpeger, at den akustiske hørelse (hvis høretabet ikke er for dårligt) giver betydelige fordele til forståelse af de æstetiske lydkvaliteter, såsom musik og stemmekvalitet, såvel som fordele i forståelse af tale i baggrundsstøj.

Den mest almindelige form for tab af hørelsen hos voksne er et højfrekvent sensorineuralt høretab. Et sådant høretab giver vanskeligheder med at skelne de højfrekvente talelyde, som er nødvendige for menneskelig kommunikation. Akustisk forstærkning (HA'er) er derfor ofte ineffektiv mht. at transmittere talelyde til personer med omfattende højfrekvente høretab (Gantz & Turner, 2003). Kombineret EAS bevarer den akustiske stimulerede lydforfølelse for lavfrekvente signaler, og en intracochleær elektroderække er derfor kun delvist indsat (Clark, 2003a; Wilson et al., 2003). Elektroderækker har været indsat til en dybde på ca. 20, 10 og 6 mm. (Wilson et al., 2003). Kombineret EAS forekommer endnu kun på forsøgsbasis.

De kliniske undersøgelser har indtil nu vist forskellige resultater (Shannon et al., 2004). Nogle implanterede har opnået bedre taleperception med Kombineret EAS – især i støj, mens andre implanterede enten ikke havde noget udbytte eller endog udviste dårligere residual hørelse efter implantationen. I et studie af Gantz & Turner (2003) deltog seks postlingualt voksne med sværere høj-frekvente høretab, som blev fulgt i mere end 12 mdr. Tre personer blev implanteret med intracochleære elektroder på 6 mm og tre med elektroder, der var 10 mm i længde. Man ønskede at teste, hvorvidt residual hørelse kunne bevares, når en elektroderække blev placeret i det indre øre på op til 10 mm, og hvorvidt stedet for elektrisk stimulation (place-of-frequency) påvirkede taleperceptionen. De anvendte tests var monosyllabisk ordforståelses- og konsonantidentifikationstests. Resultaterne viste, at residual hårcellefunktion var bevaret hos alle seks personer. Den 6 mm elektrode gav ingen signifikante taleperceptionsscores. Derimod forekom der en 30-40% forbedring i konsonantidentifikationen med 10 mm elektroden. Brugere af denne elektroderække var desuden i stand til at forstå 83-90% af de monosyllabiske

ord, ved at anvende implantatet plus HA på modsatte øre. Scorerne var mere end fordoblet, da de blev sammenlignet med de præoperative scores, som kun var med HA-brug. Elektrodens placering og stedet for elektrisk stimulation i cochlea viste sig at være vigtige faktorer mht. udbyttet. Gantz et al. (2003) rapporterede, at forbedringerne primært skyldtes den øgede perception af de højere frekvenser. Ifølge undersøgelsesresultaterne tog det adskillige måneder, inden denne forbedring blev signifikant. Wilson et al. (2003) rapporterer, at kombineret EAS vil blive anvendt, hvis en signifikant del af de EAS-implanterede personer bevarer deres residuale hørelse i mange år.

6.7 Opsamling

En perimodiolar *elektrode*type ligger tæt på scala tympani mediale væg, hvilket resulterer i mange fordele frem for den lige elektrode type. Elektrodedesignet har dog også sine ulemper. Det reducerer taleperceptionsresultater hos CI-brugere med monodini, pga. cochleas anatomiske opbygning. I tilfælde af monodini implanteres der derfor en lige elektroderække. Dernæst kan perimodiolære elektroder forårsage traumer på scala tympani.

Den perimodiolære *elektrode*placering er prædiktør for bedre postoperativ performans, da designet øger muligheden for at opnå de fine temporospatiale responsmønstre, som resulterer i en bedre kodning af lyd. Effektiviteten af den perimodiolære elektrodes placering er primært i den basale vinding. Dette skyldes: (1) At det anatomiske forløb af scala tympani og den spirale ganglion er tættest i den basale vinding. (2) En generel manglende effekt ved at stimulere udover den anden vindings niveau.

Indsættelsesdybden og *elektrode*omfanget korrelerer med CI-brugernes taleperceptionsresultater. Studier konkluderer signifikant postoperativ performans i forbindelse med at stimulere elektroderækkens apikale region. Dybere elektrodeindsættelse giver bedre taleperception, da lydbilledet vil blive mere tilsvarende den normalthørendes. Taleperceptionen forbedres både i ro og i støj pga. den mere naturlige tonotopiske organisation. Hvis elektroden ikke indsættes særligt dybt i scala tympani, så vil den tonotopiske organisation kun forekomme i diskanten, lydbilledet vil være forskubbet og CI-brugerne vil savne de dybe toner.

Der er uoverensstemmelser i den anvendte litteratur om, hvorvidt *antallet af aktive elektrodepunkter* er prædikator for den postoperative performans. Det vides endnu ikke, hvorfor CI-brugere ikke er i stand til at gøre fuld brug af den spektrale information via alle de tilgængelige elektrodepunkter. Det anvendte antal af aktive elektrodepunkter varierer fra 4 ved sætningstests i ro til 16 i støj. Hvis taleforståelse i støj skal være så optimal som muligt, er det nødvendigt med mange aktive elektrodepunkter. Forbedrede elektrodedesigns medvirker til en forøgelse af antallet af aktive kanaler.

Elektrodeinteraktioner slører det originale signals spektrum, hæmmer den spatiale stimulationsspecificitet og skal derfor undgås. Flere faktorer er fremhævet mht. at reducere elektrodeinteraktioner, deriblandt sekventiel stimulation. Der vil altid være større risiko for elektrodeinteraktioner ud over den basale vinding.

Som beskrevet i dette kapitel, er der mange nye *teknologiske tiltag* i forbindelse med elektrodedesigns. Der forskes i dag i ”high-density” elektrodedesigns. Et stort antal af elektrodepunkter fx 72 kan øge den spatiale stimulationsspecificitet og derved opnås en bedre taleperception i støj og ved lydlateralisering. Ligeledes anvendes der i dag nanoteknologi for at udvikle sensorer (følere), som kan afhjælpe traume på scala tympani.

Et alternativ til perimodiolære placeringer er *intramodiolære implantater*, hvor elektrodepunkter placeres langs den auditive nerve. Et intramodiolært CI giver en mere direkte kontaktflade til et større neuronantal, større spatial stimulationsspecificitet og et lavere strømniveau m.m., sammenlignet med en perimodiolær elektrodetype. Det er dog vigtigt at bemærke, at nye elektrodedesigns – enten i scala tympani eller intramodiolære implantater – kan være mere traumatiserende.

For at undgå skade på den residuale hørelse er der et apparat under udvikling, som kombinerer elektrisk og akustisk stimulation (EAS). *Kombineret EAS* giver tættere efterligning af normale auditive funktioner i den lavfrekvente region. Den akustiske hørelse kan i mange tilfælde bidrage til forståelse af æstetiske lydkvaliteter, såsom musik og stemmekvalitet og såvel være en hjælp til forståelse af tale i baggrundsstøj. Undersøgelser har påvist, at brugere med kombineret EAS opnår bedre taleperceptionsresultater end brugere med

udelukkende akustisk stimulation (HA). Fremtidsperspektiverne tyder på, at kombineret EAS tages i brug, hvis en signifikant del af de kombineret EAS-implanterede personer bevarer deres residuale hørelse i mange år.

7 Postoperative faktorer

Formålet med dette kapitel er at kortlægge nogle af de postoperative faktorer hos postlingualt døde voksne, som ”støder til” under rehabiliteringen i forbindelse med apparatbrug. De postoperative faktorer er ofte en kombination af indre og ydre faktorer. Clark (2003a) konkluderer i sit sidste citat i kap. 1 ”Indledning”, at god kommunikation og deriblandt taleperception er inddelt i indre og ydre faktorer. Ifølge forfatteren skal alle faktorer, der er prædiktorer for gode eller dårlige taleperceptionsresultater, tages i betragtning mht. planlægning og vurdering af rehabilitering. Clark (2003a: 672) fremhæver i forbindelse med rehabilitering faktorer, som forøger taleperceptionsresultaterne hos CI-brugere:

”The factors that are likely to produce good or poor results need to be considered in planning and assessing the (re)habilitation. Key factors are age when deafened, age at implantation, duration of deafness, etiology, speech-processing strategy, progressive hearing loss, degree of residual hearing, speech-reading ability, language level, medical condition, educational method³⁰, and motivation and parental guidance³¹.”

De fleste af de ovennævnte faktorer bliver belyst under kap. 4 ”Præoperative faktorer”. De resterende faktorer vil indgå og være beskrevet i dette kapitel. Vigtigt at bemærke er, at ovenstående citat er rettet imod både prælingualt døde børn og voksne samt postlingualt døde voksne.

I det første afsnit vil der være en beskrivelse af rehabilitering af CI-brugere, efterfulgt af et afsnit om træning med CI. Dernæst er der en gennemgang af de faktorer, som ”støder til” i forbindelse med apparatbrug og rehabilitering ifølge Clark (2003a). Tekniske hjælpemidler er også beskrevet i dette kapitel, pga. at

³⁰ Faktoren: Uddannelsesmetode (educational method) er relateret til børn (Clark, 2003a) og er derfor ikke omtalt i specialet. Hos prælingualt døde børn er yderligere specialuddannelse krævet til sprogudviklingen (Clark, 2003a; Gates & Miyamoto, 2003). Clark (2003a) påpeger, at uddannelsesmetoden er en signifikant faktor hos børn, fordi de både skal opnå tilegnelsen af tale- og sprogfærdigheder og rapporterer, at børn klarer sig bedst, hvis de har en auditiv-oral undervisning frem for totalkommunikation.

³¹ Støtte fra forældre (parental guidance) er ifølge Clark (2003a) en betydningsfuld faktor, som fører til gode resultater hos børn. I specialet omtales faktoren i stedet: støtte fra pårørende.

det er en faktor, som kan være medvirkende til at øge CI-brugerens udbytte. Slutteligt i kapitlet vil teknologiske tiltag være præsenteret.

7.1 Rehabilitering

I dette afsnit er der først en beskrivelse af henholdsvis rehabilitering versus habilitering, og om hvorledes de to forskellige træningstilgange korrelerer med hjernens plasticitet. Slutteligt bliver tidsforløbet for den hørepædagogiske rehabilitering beskrevet, hvilket er meget forskelligt afhængig af CI-brugeren.

En overordnet definition på rehabilitering forlyder:

”den samlede indsats til at optimere en persons funktionsevne og forebygge eller reducere handicap.”

Klinisk ordbog (2002:757).

Rehabilitering af postlingualt døde CI-brugere involverer taleperceptionstræning (Clark, 2003a). Clark (2003a) påpeger, at CI-brugeren skal lære at genbruge de tidligere anvendte ”neurale hørebaner” samt kommunikationsfærdigheder vha. det elektriske signal. De postlingualt døde voksne har både tale og sprog i forvejen, som skal indøves på ny under andre forhold. *Habilitering* refererer til træning af nye kommunikationsfærdigheder (taleperception, taleproduktion, impressivt og ekspressivt sprog) hos prælingualt døde børn, der er CI-brugere, og som har mistet hørelsen, førend de har udviklet deres sprog fuldt ud.

(Re)habilitering med elektrisk stimulation kræver plasticitet i det centrale auditive nervesystem og tilpasningsevne til de ”neurale hørebaner” samt perceptuelle processer (Clark, 2003a; Clark, 2003b). Formålet er at præsentere neurale stimulationsmønstre, som bedst muligt repræsenterer dem fra tale. Udtrykket *plasticitet* er blevet anvendt fysiologisk til at referere specifikt til en ændring i neurale forbindelser. Dyreforsøg har vist, at der er to typer af plasticitet i det centrale auditive nervesystem, som enten korrelerer med habilitering eller rehabilitering:

Developmental plasticitet: Er udviklingen af de neurale auditive forbindelser til at processere information inden for en kritisk periode efter fødselen - understøtter rehabilitering. *Postdevelopmental plasticitet:* Skyldes en ændring i den centrale repræsentation af neuroner i det voksne forsøgsdyr, efter at de neurale forbindelser til at processere auditiv information med (developmental plasticitet) er blevet etableret - understøtter rehabilitering.

Den læring, som finder sted med CI'et, kan afhænge af developmental eller postdevelopmental plasticitet. Det er derfor vigtigt, at audiopæden ved, hvordan den implanterede skal trænes for at lette læring (Clark, 2003a).

Den hørepædagogiske rehabilitering påbegyndes efter tilpasningen af udstyr. I Danmark afgøres rehabilitering i det enkelte amt, og der er ikke sat nogen standard for, hvad der kan tilbydes postoperativt (Mortensen et al., 2004). Voksne døvblevne i Danmark tilbydes CI via den offentlige sygesikring og kan modtage undervisning og vejledning på amtskommunale tale- høreinstitutter/kommunikationscentre. Ifølge en dansk undersøgelse af Mortensen et al. (2004) (beskrevet i næste afsnit) havde ti ud af 34 (30%) fået > tre måneders auditiv træning, 14 ud af 34 (40%) havde fået < tre måneders auditiv træning, og ti ud af 34 (30%) havde ikke fået auditiv træning overhovedet. Ifølge Clarks (2003a) anbefaling skal rehabiliteringsprogrammet hos de fleste CI-brugere vare i ca. 3 mdr. med to lektioner pr. uge. Samtidig understreger han, at kontakten med andre implanterede er vigtig og kan opnås via regulære gruppefunktioner. Rehabiliteringsprogrammet kan vare i op til 12 mdr. eller mere for enkelte CI-brugere. I flere tilfælde har store forbedringer været set nogle måneder efter træningens afslutning (Clark, 2003a). Generelt, jo længere anvendelse af implantatet des bedre resultater (Clark, 2003a; Niparko, 2004) (som omtalt i afs. 7.3). Det er ikke kun ord og sætninger, som forbedres over tid, men vokal- og konsonantgenkendelse gør det ligeledes i et mindre omfang. Ifølge undersøgelsesresultater (Clark, 2003a) fandt man, at fonemsammensatte ord var forøget med et gennemsnit på 8.6% i de første ni måneder af implantatbrug, og med yderligere 4.4% i de næste ni måneder. Der var små usignifikante ændringer derefter.

Behovet for hørepædagogisk rehabilitering varierer ofte hos CI-brugere. Dette kan bl.a. afhænge af deres auditive erfaring før døvhedens onset samt af døvhedens varighed (som omtalt i afsnit 4.2), hvilket influerer på taleperceptionsresultaterne (Allum, 1996; Clark, 2003a; Friedland et al., 2003;

Gates & Miyamoto, 2003; Makhdoum, 1998; Niparko, 2004; Rubinstein, 1999; Dijk et al., 1999). Avancerede multikanals-implantater i dag, som har effektive taleprocesseringsstrategier, er ifølge Clark (2003a) årsagen til, at mange CI-brugere opnår gode taleperceptionsresultater med mindre træning, end det var muligt tidligere (som omtalt i afs. 7.3).

Ifølge Clark (2003a) og Allum (1996) så kan postlingualt døve voksne overordnet inddeles i to grupper, som korrelerer med det hørepædagogiske rehabiliteringsbehov:

Gruppe 1. CI-brugere i denne gruppe er dem, som lærer at opfatte tale meget hurtigt. De kræver mindre rådgivning og behøver ingen træning i mange af de lettere diskriminationsopgaver. I dette tilfælde er det kun de auditive øvelsers antal og sværhedsgrad, som er forøget og ikke audiovisuelle øvelser (omtalt i næste afsnit) (Clark, 2003a). Gruppen opnår hurtigt adækvat taleperception.

Gruppe 2. Denne gruppe inkluderer CI-brugere med døvhed af lang varighed. Disse brugere har generelt behov for længere perioder af hørepædagogisk rehabilitering for adækvat taleperception (Clark, 2003a og Kaplan et al., 1999). CI-brugerne i denne gruppe kan ofte opfatte fonemer samt har gode resultater mht. pitch-diskrimination, men kan have sværere ved at integrere informationen og forstå tale uden mundaflæsning (Clark, 2003a). Hos såvel prælingualt døve voksne som hos nogle postlingualt døve, som er implanteret, tilfører CI'et kun taleforståelse med suppleret støtte, som mundaflæsning eller tegn (Mortensen et al., 2004). For de postlingualt døve med døvhed af mange års varighed skal rehabiliteringen indbefatte meget rådgivning og diskussion, deriblandt høretaktik³² (Clark, 2003a; Strauss-Schier & Rost, 1996).

Optimal CI-brug kræver detaljeret individuel tilpasning, hørepædagogisk rehabilitering og træning samt daglig øvelse (Gates & Miyamoto, 2003). Allum (1996) rapporterer ligeledes, at rehabilitering hos CI-brugere er en proces snarere end en serie af træningsopgaver.

³² Det danske udtryk høretaktik indgår under begrebet coping

7.2 Undervisning i auditiv træning

Auditive øvelser kan udføres med hørelse plus mundaflæsning (audiovisuel træning) eller med hørelse alene (auditiv træning). Et auditivt undervisningsforløb har ifølge Clark (2003a) og Strauss-Schier & Rost (1996) typisk mere audiovisuel træning i begyndelsen, med mere specifik auditiv træning imod programmets sidste del. Øvelserne øges i sværhedsgrad i takt med CI-brugerens fremgang. Allum (1996) påpeger, at auditiv træning i sig selv er en udvidelse af mange af de teknikker, der har været anvendt for HA-brugere, og at de overordnede forskelle er brugen af flere materialer, der indeholder højfrekvent information. Et undervisningsforløb kan være meget forskelligt afhængig af CI-brugeren. Det er ikke muligt at give en klar struktureret tilgang, som vil henvende sig til alle CI-brugere. Strukturen (øvelsernes sværhedsgrad) og tidsrammen for det auditive undervisningsforløb afhænger altid af CI-brugerens taleperception (Allum, 1996; Strauss-Schier & Rost, 1996). CI-brugerens præoperative erfaring med mundaflæsning, HA og høretaktik, såvel som døvhedens varighed, vil influere på arten og sværhedsgraden af diskriminations- og identifikationsopgaver (Strauss-Schier & Rost, 1996).

Ifølge Clark (2003a) skal audiopæden give auditiv og audiovisuel undervisning gennem analytiske og syntetiske metoder:

Analytisk undervisning arbejder med talens individuelle komponenter (enkelt ord, fonemer m.m.) og med at træne diskrimination på dette niveau. Typisk er meget lille kontekstuel information tilgængelig i forbindelse med analytisk undervisning. Det er antaget, at denne form for auditiv undervisning vil forbedre talediskrimination.

Syntetisk undervisning eller global undervisning arbejder med kommunikationsstrategier, som skal hjælpe CI-brugeren til at forstå det totale budskab. CI-brugeren bliver opmuntret til at gøre brug af konstruktive spørgsmål, gætning, kontekstuelle tegn osv., som hjælp til at afgøre, hvad der bliver sagt. Betydningen af nøgleord er fremhævet med lille vægtning på de mindre betydningsfulde ord i en ytring. Den syntetiske tilgang til undervisning er blevet foretrukket frem for den analytiske, eller i så fald en kombination af de to metoder. Begrænset forskning har undersøgt værdien af analytisk versus syntetisk undervisning i forbindelse med CI (Clark, 2003a).

Undersøgelser af auditiv træning: Der findes indtil i dag kun få undersøgelser, som omhandler effekten af målrettet auditiv træning (Clark, 2003b; Mortensen et al., 2004). I en undersøgelse af Sherbourne et al. (2002) hævdes, at der er opnået forbedret kommunikation efter CI-brugeres deltagelse i et intensivt rehabiliteringsprogram, men det fremgår ingen steder i undersøgelsen, hvorvidt der foreligger tests af taleperceptionen. Strauss-Schier & Rost (1996) påpeger ligeledes, at erfaringer har vist, at et kort intensivt auditivt rehabiliteringsprogram, der starter 4-6 uger postoperativt, (så snart såret og mastoid-regionen er helet) er en vigtig faktor, men ingen testresultater er beskrevet. Som tidligere omtalt har Mortensen et al. (2004) vist i en undersøgelse, at der er stor uoverensstemmelse blandt CI-brugeres postoperative hørepædagogiske rehabiliteringsforløb. Ti ud af 34 (30%) havde fået > tre måneders auditiv træning, 14 ud af 34 (40%) havde fået < tre måneders auditiv træning og ti ud af 34 (30%) havde ikke fået auditiv træning overhovedet. Alle 34 CI-brugere blev testet med Helen-testen³³. Den gennemsnitlige score (uden mundaflæsning) viste henholdsvis 61,5%, 61% og 59%, og det var således ikke muligt at påvise, at auditiv træning medførte en bedre taleperception. Ifølge Mortensen et al. (2004) kunne dette skyldes de mange individuelle faktorer, som muligvis influerer på resultatet. I et andet studie af D'Agosta et al. (1999) fik CI-brugere 18 mdr's grupperehabilitering. Resultaterne viste signifikante ændringer i forskellige kategorier, såsom: stemmekvalitet, artikulation og ordforråd samt andre auditive færdigheder.

I et undersøgelsesdesign af Lunts et al. (2002) påviste data, at CI-brugere med unilateralt CI har nogen evne til at lokalisere lyd, og at denne evne kan være forbedret via regulær auditiv træning. CI-brugerne blev udsat for lydstimuli fra forskellige retninger og blev bedt om at lokalisere dem. Efter den initiale evaluering var der en auditiv undervisningsperiode på 6.5 lektioner i gennemsnit, over en periode på 6.5 uger, hvorefter CI-brugerne blev re-evalueret. Studiegruppen bestod af tre postlingualt døde CI-brugere samt et prælingualt døvt barn på syv år. Barnet viste signifikant dårlige resultater samt manglende gavn af den auditive undervisning. De fire CI-brugeres gennemsnitsscore i den initiale test var 42.8 (ud af en maksimum score på

³³ Helentesten er udarbejdet i samarbejde mellem Statens Høreinstitut, Statens Hørecentral og Københavns Universitet til brug for hørelinikker. Testen vurderer CI-brugerens evne til at opfatte det talte sprog. Testen består af standardspørgsmål i forskellige kategorier, som stilles med og uden mulighed for mundaflæsning. Hvis der er mere end 60% korrekte svar uden mundaflæsning, er det indikation for en god taleforståelse (Mortensen et al., 2004 og Nyrop & Waters, 1993).

100). Efter en træningsperiode var gruppens gennemsnitsscore på den finale test 74.3. I undersøgelsen indgik to kontrolgrupper. *Kontrolgruppe A*: Bestod af fem normalthørende personer, som generelt udviste perfekte lokaliseringsevner. *Kontrolgruppe B*: Bestod af normalthørende lyttere med "akut" tilstopning af det ene øre. Disse monoaurale lyttere viste svære forstyrrelser i lokaliseringsevner og opnåede en gns.score på 33.4. På trods af det prælinguallt døve barns signifikant dårlige resultater, og anvendelsen af CI frem for et normalt fungerende øre, var CI-gruppens initiale testresultater (42.8) svagt bedre, og de finale testresultater (74.3) signifikant bedre end kontrolgruppe B's resultater. Testresultaterne viste altså signifikante forbedringer hos de tre postlinguallt døve CI-brugere efter de ugentlige øvelsessessioner. Hver af CI-brugerne opnåede en score på 85 ud af 100 eller over (scoringerne fra kontrolgruppe A lå imellem 94 og 100). De bedste lydlokaliseringsevner var præsenteret af en 54-årig CI-bruger, som havde den længste varighed af implantatbrug. Clark (2003a) rapporterer tilsvarende, at jo længere anvendelse af implantatet des bedre resultater. Denne faktor benævnt "perioden for anvendelse af implantatet" er beskrevet nedenfor.

7.3 Perioden for anvendelse af CI'et

Clark (2003a) og Niparko (2004) påpeger, at perioden for anvendelse af implantatet er stærkt korreleret med god taleperception. Clarks (2003a: 728) beskrivelse af faktoren lyder:

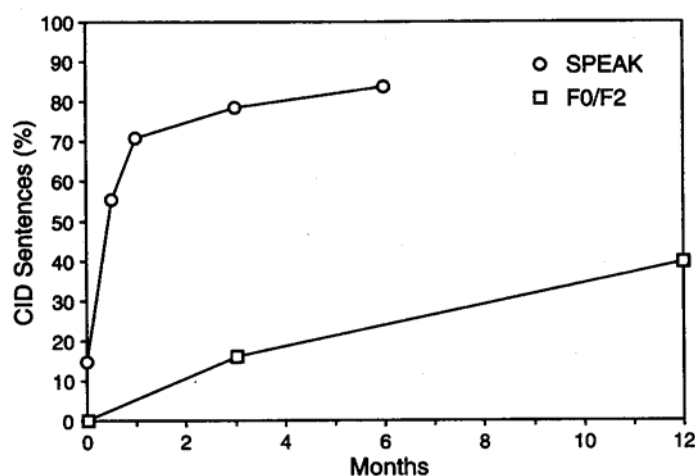
"The longer the duration of the implantation the better the results, as learning is required for both children and adults even with the strategies that provide the most information."

Læring indeholder både træningseffekter og erfaring med CI'et og er nødvendigt for at anvende CI'et hos postlinguallt døve voksne. Læring sker hurtigere, når strategien giver mere information og er mere taleagtig, såsom hos de nyere strategier (Clark, 2003a). To betydningsfulde variabler indgår under faktoren "perioden for anvendelse af implantatet". Den ene er strategitypen, som beskrevet ovenfor og den anden er bruger-variabiliteten.

Hamzavi et al. (2003) udførte en longitudinal undersøgelse med det formål at evaluere den tidsperiode, hvor der var størst forbedring i

taleperceptionsresultater hos postlingualt døde voksne. Tal, monosyllables og sætningstests blev indsamlet for 66 CI-brugere i regulære intervaller i op til 6 år efter cochleaimplantationen. Undersøgelsestestene viste, at alle CI-brugere havde en konstant forbedring over tid på alle tests. Der blev fundet store variationer i den postoperative performans. Mange CI-brugere opnåede statistisk signifikante scores inden for de første 12 mdr., hvorimod andre behøvede mere implantaterfaring for at opnå maksimum fordelene fra deres CI. Der var observeret individuelle forbedringer i op til 72 mdr. efter cochleaimplantationen. Personer, som var ”opgraderet” fra et analogt til et digitalt CI, forbedrede deres testresultater nærmest tofold.

Clark rapporterer (2003b), at i forbindelse med den hørepædagogisk rehabilitering er det nødvendigt ikke kun at vide, hvilke ændringer i taleperception der kan forekomme, men også tidsforløbet for disse ændringer samt de faktorer, som påvirker dette tidsforløb, såsom strategitypen. Øvelse i brug af en strategi har stor indflydelse på taleperception (Clark, 2003a). Betydelige forbedringer i talescores for CI-brugere forekommer især i de første få måneder efter operationen, men fortsætter i op til nogle år. Hos postlingualt døde voksne er forbedringerne mere gradvise, når strategien giver mindre information. Undersøgelser hos postlingualt døde voksne har påvist (Clark, 2003a), at taleperceptionsresultaterne opnås hurtigere, når strategien yder mere information. Dette er illustreret i Figur 16, som viser åben-sæt (som omtalt i afs. 4.1.2) taleresultater over tid (i måneder) for den ældre F0/F2 strategi og den nyere SPEAK strategi. Den sidstnævnte giver mere taleinformation.



Figur 16 (Clark, 2003a: 675; Clark, 2003b:438). Åben-sæt CID (Central Institute for the Deaf) sætningsscores for elektrisk stimulation over tid hos postlingualt døde voksne, som anvender to forskellige strategier: F0/F2 og SPEAK.

Læringsraten for taleperception med F0/F2-strategien og SPEAK-strategien hos postlingualt døde voksne kan ses i figur 16. Scorerne stiger til et plateau meget hurtigt med den nyere SPEAK-strategi. Dette tyder på, at signalet indeholder mere information, som er ens med naturlig tale, og ifølge Clark (2003a) er mindre rehabilitering derfor nødvendigt.

7.4 Sprogniveau

Ifølge Clark (2003a) og Dijk et al. (1999) er CI-brugernes kognitive og sproglige færdigheder blandt de faktorer, som korrelerer med de postoperative taleperceptionsresultater. Rehabiliteringens succes afhænger af de kognitive processer, som er nødvendige for taleperception, taleproduktion og sprogtilegnelse (Clark, 2003a).

Flere af CI-brugerens kognitive færdigheder kommer til udtryk under rehabiliteringen hos CI-brugere, såsom:

Opmærksomhedsspændevide: Denne færdighed er betydningsfuld under rehabiliteringsprocessen mht. at kunne producere og gentage opgaver (Clark, 2003a). *Sproglig opmærksomhed:* Nyrop & Waters (1993) rapporterer, at generel sproglig opmærksomhed og indsigt er nyttig for CI-brugere, idet viden om de sproglige forhold kan gøre brugeren opmærksom på, hvilke sproglige komponenter der vil lette taleforståelsen. Andre forfattere (Gomaa et al., 2003) påpeger ligeledes, at det er rimeligt at antage, at CI-brugere, som har en god hukommelse for lyde (fx fonemer) og tale, vil have et bedre udbytte efter implantationen, da de har en bedre tilgang til taleinformation.

Kognitiv organisering: Clark (2003a) nævner i den forbindelse færdigheder, der indbefatter personens stil, måden hvorpå vedkommende ”griber opgaver an på”, og om vedkommende er velovervejende i sin måde at udføre rehabiliteringsøvelserne på m.m.

Totalkommunikationsfærdigheder: Færdigheden inkluderer fx brugen af gestus, mundaflæsningsevner samt kontekstuelle fingerpeg m.m. (Clark, 2003a).

Ifølge Friedland et al. (2003); Gomaa et al. (2003); Rubinstein et al. (1999) er præoperative scores på sætningstests inkluderet som én af de prædiktorer, der

korrelerer med den postoperative performans. I et studie af Rubinstein et al. (1999) viste undersøgelsesresultaterne, at de to præoperative mål; døvhedens varighed og den præoperative sætningsgenkendelse, talte for 80% af varieteten i ordgenkendelse. En undersøgelse af Gomaa et al. (2003) viste ligeledes, at den præoperative sætningsgenkendelse var statistisk korreleret med den postoperative ordgenkendelse. Gomaa et al. (2003) observerede, at CI-brugere med lang varighed af døvhed kunne forventes at have aftagende ordgenkendelse postoperativt. Dette skyldes, at hverken de spirale ganglionceller eller de centrale auditive hørebaser er beskyttet fra den skadelige effekt, som en lang varighed af døvhed giver på taleperception.

Clark (2003a) fremhæver den sociokulturelle status som værende en væsentlig faktor. Dette aspekt inkluderer mange variabler, såsom professionen, sproglige kompetencer, niveauet for sætningskonstruktion, typen af syntaks, som er anvendt samt erfaring med læsning, skrivning osv. Friedland et al. (2003) påpeger tillige, at uddannelseserfaring kan være en signifikant faktor, som korrelerer med den postoperative performans.

7.5 Mundaflæsningsevner

Clark (2003a); Cohen et al. (1993) og Gantz et al. (1993) påpeger alle, at der er en svag korrelation mellem mundaflæsningsevner og taleperceptionsresultater, og at det skyldes, at gode mundaflæsningsevner afspejler bedre topdown færdigheder hos CI-brugere. Strauss-Schier & Rost (1996) påpeger, at i blandt flere faktorer vil CI-brugerens præoperative erfaring med mundaflæsning influere på den postoperative rehabilitering.

Dijk (1999) rapporterer om uoverensstemmelser i undersøgelsesresultater mht. mundaflæsningsevner. Han påpeger, at nogle undersøgelsesdesigns viser en sammenhæng mellem personer med gode mundaflæsningsevner og performans. Men fremhæver samtidig, at i andre undersøgelser har mundaflæsningsevner ingen signifikant værdi eller, at de CI-brugere, som var bedst til at mundaflæse, var blandt de CI-brugere med de dårligste taleperceptionsresultater.

Som beskrevet tidligere i afsnit 4.2.2. er en stor gruppe postlinguelt døde CI-brugere i stand til at kommunikere uden mundaflæsning (Clark, 2003a; Hamzavi et al., 2003; Petersen et al., 2000). Andre brugere har dårligere

resultater. Men når man anvender mundaflæsning og CI sammen, har undersøgelser vist (Pedersen et al., 2000), at alle CI-brugere er i stand til at kommunikere oralt. Strauss-Schier & Rost (1996) konstaterer, at for voksne døve med mere end 20 års døvhed er det vigtigt at integrere hørelse og mundaflæsning. CI-brugerne i denne gruppe opnår sædvanligvis et vist niveau af åben-sæt taleforståelse, men først efter adskillige års erfaring med deres CI.

Behovet for at præsentere tests, der kombinerer elektrisk stimulation med mundaflæsning, var mere nødvendig med de tidligere strategier, hvor dårligere resultater blev opnået med elektrisk stimulation alene, og hvor flere CI-brugere skulle sætte endnu mere lid til mundaflæsningsassistance, end de skal i dag (Clark, 2003a). Helentesten er velegnet til både audiovisuel og rent auditiv præsentation og er at finde i lignende form i udlandet (Nyrop & Waters, 1993). Nogle af de træk, som er svære at aflæse visuelt, fx stemthed og nasalitet, kommer med i det elektriske signal, og de auditive og visuelle input kan således supplere hinanden (Nyrop & Waters, 1993). Gode mundaflæsningsevner, såvel som anvendelse af implantatet kræver øvelse og motivation (Dijk, 1999). Mundaflæsning kan forbedres, men der er tilsyneladende en øvre grænse for hver enkelt person (Nyrop & Waters, 1993).

7.6 Motivation

CI-brugerens motivation i forbindelse med rehabilitering er ifølge Clark (2003a); Friedland et al. (2003); Gates & Miyamoto (2003); Niparko (2004) og Nyrop & Waters (1993) prædiktor for taleperceptionsresultater. Gates & Miyamoto (2003) understreger, at ingen kan forudsige, hvor godt apparatet vil virke for hver enkelt CI-bruger, men at brugerens motivation for at lære at anvende apparatet er af signifikant betydning. CI-brugernes motivation og engagement er relateret til deres kommunikationsbehov, tillidsniveau, evne til at acceptere mindre fejl, villighed til at ”turde forsøge” og den støtte, som de modtager fra familie og venner (som omtalt i afsnittet nedenfor). Typisk, opnår de brugere med megen motivation bedre resultater mht. talediskrimination og er bedre til at cope med baggrundsstøj end CI-brugere med mindre motivation og standhaftighed (Clark, 2003a). Mo et al. (2005) udførte et studie, hvor de evaluerede ændringer i livskvalitet, angstelse og depression efter cochleaimplantation hos 27 voksne. Resultaterne viste, at CI’et var associeret med statistisk signifikant forbedringer i livskvalitet. Forbedringerne var størst i

de kategorier, som omhandlede kommunikation, følelsen af at være en byrde, isolation og forhold til venner og familie. En CI-bruger (Bonderup, 2004: 80) udtrykker det at have fået CI, således:

”Jeg er blevet mere åben og imødekommende overfor andre og har fået mere selvtillid, fordi jeg kan høre, hvad der bliver sagt. Dermed er jeg eller ikke så anspændt som tidligere, men tager det hele mere afslappet, hvilket giver øgede resurser og energi til at klare dagligdagen og til at kunne fungere socialt igen.”

CI har en betydelig indflydelse på postlingualt døve voksnes hverdag. Det bringer brugeren ud af en akustisk isolation og forbedrer derved kommunikationen, så de fleste bliver i stand til at føre en almindelig samtale også med fremmede. En genetableret hørelse nedsætter behovet for hjælpemidler og hjælpepersoner (Mortensen et al., 2004). Nogle CI-brugere kan i tilfælde af tinnitus opleve bedring efter implantationen (Mortensen, 2004; Nyrop & Waters, 1993). Hedegård (2003) rapporterer tillige, at hovedregelen er, at tinnitus ændres til det bedre med et CI, men at enkelte brugere samtidig påpeger, at det bliver værre.

Mange psykologiske forhold hos CI-modtageren er relevante, såsom personlighedskarakteristika, emotionel tilstand, intelligens, forventninger osv. På grund af det uforudsigelige og divergerende udbytte er det vigtigt, at CI-kandidaten har realistiske forventninger før implantationen. CI-kandidatens forventninger må tages i betragtning og vejes op imod det sandsynlige udbytte af implanteringen. Uopfyldte forventninger kan udgøre et tab for personen med efterfølgende sårbarhed over for emotionelle problemer. Kandidater, som allerede er emotionelt belastede, kan være særligt modtagelige for dette (Nyrop & Waters, 1993). Strauss-Schier & Rost (1996) konstaterer, at de CI-brugere, som har været døve igennem en lang periode (20 år), derimod i særlig grad har brug for opmuntring til at fortsætte forbedringer af deres lytteevner. Forfatterne rapporterer, at denne gruppe skal have meget støtte og vejledning, skal motiveres, rådgives til tålmodighed og udholdenhed, da de fleste CI-brugere i denne gruppe til sidst, efter en lang rehabiliteringsperiode, vil kunne forstå simple samtaler.

7.7 Støtte fra pårørende

Ifølge Clark (2003a) er forældrestøtte til børn med CI en vigtig faktor, som fører til gode resultater. Hos voksne CI-brugere er det derimod støtte fra pårørende, familie og venner, som kan have indflydelse på den postoperative performans (Sierra et al., 1996). Parving (1999) påpeger, at cochleaimplantation bør foregå som et team-work, hvor der indgår audiologer, otologer, ingeniører, psykologer, høre-talepædagoger, socialrådgivere og ikke mindst CI-brugerens netværk i form af familie og venner, som har stor betydning for den enkelte CI-bruger. I en undersøgelse af Sierra et al. (1996) fandt man, at sociale forhold resulterer i signifikant postoperativ performans. For hørehæmmede og CI-brugere er det at få opbakning fra familie og venner af utrolig stor betydning. En ung døvbleven kvinde (Mølgaard-Madsen, 2004: 37) med neurofibromatosis type 2, (NF2), udtrykker det således:

”Jeg går til undervisning i TSK sammen med nogle veninder, og det betyder meget for mig. At få opbakning på det område også er enormt dejligt. Min familie er også i gang med at lære TSK. Jeg har to brødre på 10 og 17 år, og jeg er virkelig glad for, at også de tager sig tid til at lære det.”

For en CI-bruger kan kontakt til andre brugere udover gode relationer til familie og venner være utrolig givende, da det kan give mulighed for at drøfte problemstillinger med ligestillede. En sådan kontakt bliver ofte etableret via foreninger såsom: Døvblevne og Døvblevneafdelingen (DBA), Landsforeningen for Bedre Hørelse (LBH), Cochlear Implant Foreningen (CIF).

Pårørende til en hørehæmmet person må lære at cope med kommunikationsvanskeligheder i dagligdagen, som er relateret til døvhed (Mo et al., 2005). En undersøgelse af Mo et al. (2005) viser, at pårørende til CI-brugere har signifikante fordele fra CI-brugernes fremgang i hørelse og kommunikation i kraft af brugen af CI’et. Både Mo et al. (2005) og Sierra et al. (1996) påpeger, at det er vigtigt ikke kun at være opmærksom på CI-brugeren, men også på hans familie, fordi jo bedre familieforhold des større sandsynlighed for succesfuldt brug af CI’et.

7.8 Tekniske hjælpemidler

Tekniske hjælpemidler er ligeledes en faktor, som kan øge taleperceptionsudbyttet hos CI-brugeren i kraft af et forbedret signal/støj-forhold. CI-brugere samt majoriteten af personer med HA erfarer vanskeligheder ved at kommunikere i tilstedeværelsen af baggrundsstøj (Clark, 2003a). Andersen (2005b) rapporterer, at FM (er beskrevet nedenfor) og retningsmikrofoner er de bedste metoder til at fjerne uønsket støj. Selv små mængder af baggrundsstøj kan være årsag til, at CI-brugere får grundlæggende reduktioner i talegenkendelse (Donaldson & Allen, 2003). Flere typer af tekniske hjælpemidler er beskrevet nedenfor:

FM-system: Det er i dag muligt at få et trådløst lyttesystem til CI-brugere, som består af en sender og en modtager, der forbedrer signal/støj-forholdet. En adapter³⁴ klipses direkte på taleprocessoren og fastgør derved FM-modtageren (MicroLink'en). Senderen (HandyMic'en) placeres i lokalet, hvor den "zoomer ind" på personen, som taler, eller en del af et lokale, og systemet undertrykker derved uønsket støj. FM-systemer består ofte af en sender, der bæres af taleren og en modtager, som bæres af den cochleaimplanterede bruger (www.cochlear, 2005b). Et FM-system bruges hyppigt i undervisningssammenhænge. Når et FM-system anvendes, så bliver lydkilden forstærket uden omgivende støj (Dillon, 2001).

Telespole: Den indbyggede telespole er en hjælp, når CI-brugeren skal tale i telefon, eller når den anvendes i et lokale, der er udstyret med teleslynge, som fx et auditorium, et klasselokale eller et teater. Telespolen tillader også adgang ved et tryk på omskifteren, til FM-systemer (Cochlear, u.å.; www.cochlear.com, 2005b). Telespolen sidder i CI'et og opfanger magnetiske signaler fra et teleslyngeanlæg. Med et teleslyngeanlæg aktiveret i stedet for mikrofonen, kan CI-brugeren opnå en bedre lyd kvalitet i situationer, hvor der er baggrundsstøj, og/eller hvor der er relativ stor afstand til lydkilden (Dillon, 2001).

Telefonadapter: En adapter forbinder taleprocessoren direkte med telefonen for at forbedre signalets lyd kvalitet og skærer derved baggrundsstøj bort

³⁴ En adapter er en form for stikkontakt (en audioindgang), hvor man kobler et høreteknisk hjælpemiddel til (Dillon, 2001).

(Cochlear, u.å.; Clark, 2003a). Mange CI-brugere synes godt, at de kan bruge telefonen uden brug af ekstraudstyr (www.cochlear.com, 2005b).

TV/Hi-fi-ledning: En ledning anvendes sammen med udstyr, som får elektricitet fra en stikkontakt, som fx fjernsyn, stereoanlæg eller computere (www.cochlear.com, 2005), hvilket hjælper CI-brugeren til bedre taleperception.

7.9 Teknologiske tiltag

Som omtalt flere steder i specialet er der et konstant ”flow” inden for forskning og udvikling af bedre implantater. I dette afsnit er flere teknologiske tiltag beskrevet, såsom bilaterale CI'er og totalt implanterbare CI'er. Bimodal stimulation (CI i den ene øre og HA i det andet) er også beskrevet i dette afsnit på trods af, at det allerede anvendes hos mange CI-brugere i dag.

7.9.1 Bimodal stimulation

Binaural taleperception fra et implantat i et øre og HA i det andet (bimodal stimulation), eller et implantat i hvert øre (bilaterale implantater) (beskrevet i næste afsnit) kan forbedre lydlokaliseringen og har potentiale til at give bedre taleperception, især i støj (Clark, 2003a; Ching et al., 2004; Hoesel & Tyler, 2003; Long et al., 2003; Litovsky et al., 2004; Gates & Miyamoto, 2003; Wilson, 2004).

I forbindelse med ændringer i kriterier (som omtalt i afs. 4.8.1) har flere CI-kandidater i dag nogen brugbar hørelse i det ikke-implanterede øre, hvilket kræver bimodal stimulation (Ching et al., 2004; Clark, 2003a). Brugere med CI kombineret med HA (eller med bilaterale CI'er) har gavn fra de effekter, som assisterer normalthørende til at forstå tale i støjende situationer og forbedre lydlokalisering (Clark, 2003a; Long et al., 2003). Ifølge Litovsky et al. (2004) og McKay (2004) indgår hovedskyggeeffekt og lydlokalisering som to vigtige komponenter, ved hvilke normalthørende opnår fordele ved at bruge binaural hørelse frem for monoaural hørelse:

Hovedskyggeeffekt refererer til lydenes dæmpning, idet lydene går fra den ene side af hovedet til den anden. Højfrekvente lyde (over ca. 1 kHz) er mere

påvirkelige end lavfrekvente lyde pga. deres kortere bølgelængde³⁵. Der er en ”skygge” på den side af hovedet, som er modsat lyden, hvor lydniveauet bliver signifikant dæmpet. Hovedskyggeeffekten er minimal hos normalthørende uanset fra hvilken side, at talesignalet er præsenteret fra. For en hørehæmmet person kan effekten være signifikant (Kochkin & Kuk, 2000).

Lydlokalisering er baseret på binaural høreelse og afhænger af interaurale (distancen mellem ørerne) intensitets-³⁶ og tidsforskelle³⁷ (Luntz et al., 2002) hos normalthørende. Interaurale forskelle i lydes ankomst tid og intensitet forsyner lytteren med brugbare værktøjer til forståelse samt lydlokalisering (Clark, 2003a; Ching et al., 2004; Hoesel & Tyler, 2003; Kochkin & Kuk, 2000; Litovsky et al., 2004). Hvis lyde ikke er hørbare i det ene øre, så kan hjernen ikke have adgang til ovennævnte informationer. Tids- og intensitetsforskelle er derfor nødvendige for lydlokalisering samt for optimal høreelse i tilstedeværelse af baggrundsstøj (Ching et al., 2004; Clark, 2003a). Læs mere om processer, som underligger binaural høreelse i Ching et al. (2004); Clark (2003a); Kochkin & Kuk (2000); McKay (2004).

Studier, som har undersøgt effekterne af at anvende bimodal stimulation, udviser meget varierende resultater (Ching et al. 2004). Ikke alle brugere, som indgår i nedenstående undersøgelser, opnår fordele af at anvende et HA i det ikke-implanterede øre. Studier af Ching et al. (2004); Hamzavi et al. (2003) og Tyler et al. (2002) viste fordele ved bimodal stimulation. De binaurale fordele var større i baggrundsstøj end i ro. I alle studierne opnåede mange af brugerne også nogen forbedring i evnen til at lokalisere lyde. En undersøgelse af Armstrong et al. (1997) påviste ligeledes signifikant højere taleperceptionsscores hos CI-brugere, som anvendte et CI sammen med et konventionelt HA i det modsatte øre, sammenlignet med CI alene. Kun seks ud af de 48 personer viste en højere score for de monoaurale forhold,

³⁵ Clark (2003a) rapporterer, at undersøgelsesresultater har påvist, at brug af HA resulterer i underskud af højfrekvent information. Hvorimod anvendelse af ét CI har en større præsentation af høje frekvenser, mens bimodal stimulation er tættest på normalen.

³⁶ Interaurale intensitetsforskelle produceres primært af en lydskyggeeffekt ved lytterens øre (Luntz et al., 2002).

³⁷ Interaurale tidsforskelle er distancen mellem ørerne og den resulterende forskel i lydtilførelsen ved hvert øre (Luntz et al., 2002).

sammenlignet med de binaurale forhold. To grupper af CI-brugere indgik i undersøgelsen. De bedste taleperceptionsscores var associeret med de brugere, som vanemæssigt anvendte CI sammen med HA i det modsatte øre. Armstrong et al. (1997) og Ching et al. (2002) konstaterer, at de blandede resultater kan skyldes flere ukendte variabler, såsom: ætiologi, metoderne, der er anvendt til at evaluere binaurale fordele, manglende erfaring i HA- og CI-brug, graden af høretab i det ikke-implanterede øre og mangelfulde HA-tilpasninger. Ukontrollerede HA-variabler kan have en modsat effekt på taleperception og komfort. Hamzavi et al. (2003) udvælger blandt flere faktorer nødvendigheden af at forsøge at balancere HA'ernes og CI'ernes volumenniveauer, indtil begge apparater er udregnet til at være ens og komfortable i lydstyrke. CI-brugerne rapporterer fordele ved den bimodale tilpasning: 1) Mere taleagtig lydkvalitet – HA'et bidrager til en mere "naturlig" lyd. 2) Personen med den bimodale tilpasning fornemmer, at lyd er hørt i begge ører, snarere end udelukkende gennem implantatet (Armstrong et al., 1997; Hamzavi et al., 2003).

7.9.2 Bilaterale CI'er

Skønt mange CI-brugere, som er implanteret monolateralt, opnår signifikante niveauer af taleforståelse i ro, erfarer de ofte store vanskeligheder ved at forstå tale i støjende omgivelser (Litovsky et al., 2004; Long et al., 2003). En måde at forbedre taleperception på, især i støj, er brugen af bilaterale CI'er (Clark, 2003a; Gates & Miyamoto, 2003; Hoesel & Tyler, 2003; Litovsky et al., 2004; Long et al., 2003; Wilson, 2004). De fleste, som er implanteret i dag, får unilaterale CI'er. Et mindre antal CI-brugere rundt om i verden har modtaget to implantater. I en nyhedsmail (2005) fra videnscenter for døvblevne, døve og hørehæmmede står der, at man i DK vil til at operere tidligt og implantere på begge ører hos (nogle) børn.

Bilaterale implantater giver bl.a. CI-brugeren mulighed for at få fordele af hovedskyggeeffekten (Hoesel & Tyler, 2003; Wilson et al., 2003).

Undersøgelsesresultater (Clark, 2003a; Hoesel et al., 2002) har påvist, at selv om tidsforskelle ikke er godt kodet og modtaget af bilaterale implantatbrugere, så opnår de signifikante fordele ved at anvende to apparater i stedet for kun et. Clark (2003a) påpeger yderligere, at binaural frigørelse fra maskering samt både

tidsforskelle og intensitetsforskelle er nødvendige for lydlokalisering og for god høreelse i tilstedeværelse af baggrundsstøj, dvs skelneevnen i støj øges.

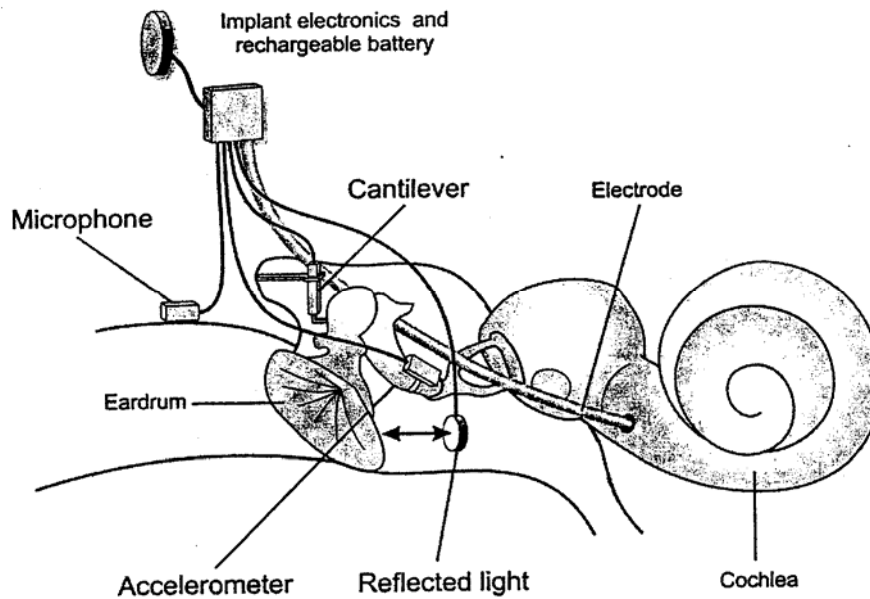
Flere undersøgelser har været foretaget af bilaterale CI-brugere (Hoesel et al., 2002; Hoesel & Tyler, 2003; Litoysky et al., 2004). Resultater har vist, at bilaterale implantater hos postlingualt døve voksne har ført til forbedringer i taleforståelse, især i situationer, hvor der er baggrundsstøj og ved lokalisering af lyde. I et studie fra Litovsky et al. (2004) undersøgte man individuelle faktorer, såsom: høretabets varighed, ætiologi, taleprocesseringsstrategi, præoperative talescores m.m. Data rapporterede, at den bedste prædikator mht. lokalisering af lyde med bilaterale CI'er, var varigheden af bilateralt HA-brug, anvendt inden implantationen (som omtalt i afs. 4.7). Ifølge Litovsky et al. (2004) og Shannon et al. (2004) har undersøgelsesresultater påvist, at der er en lille gruppe af bilaterale CI-brugere, som ikke opnår fordele i baggrundsstøj, udover dem de får ved anvendelse af ét monolateralt implantat. Shannon et al. (2004) understreger, at det kan skyldes, at nogle CI-brugere ikke har tilstrækkelig residual auditiv kapacitet i det centrale nervesystem, til at kunne gøre brug af binaurale talesignaler fra to implantater. Bilaterale CI'er skal ifølge Ching et al. (2002) kun implanteres, hvis udbyttet er signifikant større end det med bimodal stimulation. Dette ses hos personer, hvis høretab er så ekstremt, at et HA ikke tilpasses adækvat til at yde brugbar assisterende høreelse til et CI.

7.9.3 Totalt implanterbare CI'er

En yderligere teknologisk udfordring består i at gøre apparatet totalt implanterbart, hvilket er under udvikling (Clark, 2003a; Gates & Miyamoto, 2003; Wilson, 2004). Det vil betyde, at mikrofonen og taleprocessoren også bliver implanteret, hvorimod det pt. kun er implantatet (modtageren) og elektroderækken, som er implanteret. Dette vil også kræve et implanterbart opladeligt batteri. Flere forskellige apparattyper er blevet designet til at fornemme lyd vibrationer såsom:

- (1) En lille mikrofon implanteret under huden ved den ydre øregang.
- (2) Et accelerometer, der er forbundet til de små knogler (malleus, incus og stapes).
- (3) En cantilever (udhænger) som forvandler vibrationer til elektriske signaler.

- (4) Et apparat på mellemørets mediale væg, designet til at transmittere til/samt modtage infrarødt lys fra en reflektor på trommehinden. Undersøgelser har påvist (Clark, 2003a), at reflekteret lys fra et spejl på trommehinden kan måle vibrationer ned til 0,2 nm, dvs. ned til mindre end en milliontedel af en millimeter.



Figur 17 (Clark, 2003a: 802). Eksempler på flere forskellige apparattyper til at registrere lyd vibrationer.

Anvendelse af et totalt implanterbart CI vil medføre, at brugeren vil opnå konstant auditiv stimulation og ikke på noget tidspunkt være ”døv” som nu, når CI-brugeren sover, bader, svømmer m.m. Som beskrevet ovenfor, forskes der i dag i at udvikle flere forskellige typer af totalt implanterbare CI’er. De forskellige alternativer er mulige, pga. af de mange teknologiske fremskridt.

7.10 Opsamling

Rehabiliteringsbehovet varierer hos CI-brugere og korrelerer ifølge flere forfattere med brugerens taleperceptionsniveau. Faktorer, såsom auditiv erfaring før døvhedens onset samt døvhedens varighed, er prædiktorer for udbytte og succes med et CI og er dermed indikatorer for omfanget og varigheden af den hørepædagogiske rehabilitering, på tværs af CI-brugerne.

Brugerne kan overordnet opdeles i to grupper. Den første gruppe: Opnår hurtigt gode taleperceptionsresultater og har derfor kun brug for en relativ kort periode af hørepædagogisk rehabilitering, for at opnå adækvat taleperception. Den anden gruppe: Inkluderer CI-brugere med døvhed af lang varighed. For at opnå adækvat taleperception har denne gruppe generelt behov for en lang hørepædagogisk rehabilitering.

Undervisning i auditiv træning: Lige såvel som taleperceptionsudbyttet varierer hos hver CI-bruger, så går træningsprogrammet det også. Øvelsernes sværhedsgrad afhænger altid af CI-brugerens færdigheder.

Der er i dag kun udført få studier af effekten af auditiv træning, hvoraf meget begrænsede data har dokumenteret en forøget effekt i taleperception. Ifølge flere forfattere kan årsagen til dette tænkes at være de mange individuelle faktorer, som influerer på taleperceptionsudbyttet. Undersøgelsesresultater har påvist forbedret artikulation, ordforråd, stemmekvalitet samt andre auditive færdigheder. Ligeledes kan evnen til at lokalisere lyde forbedres signifikant via regulær auditiv træning.

Perioden for anvendelse af CI'et: Denne faktor er stærkt korreleret med gode taleperceptionsresultater. Som hovedregel, jo længere anvendelse af implantatet jo bedre. Der er især to faktorer, som påvirker perioden for anvendelse af implantatet. (1) Strategitypen: Nye strategier stiger til et plateau meget hurtigt, giver mere information og er mere taleagtige. Udbyttet hos de ældre strategityper er derimod mere gradvist, pga. at de giver mindre taleinformation. (2) forskellen i den postoperative performans på tværs af CI-brugerne: Studier har påvist, at de fleste CI-brugere opnår signifikante scores inden for de første 12 mdr. Men der er en gruppe, som behøver væsentlig længere erfaring med implantatet samt auditiv træning m.m., for at uddrage det optimale udbytte fra deres CI. Individuelle erfaringer er mulige at observere i op til 72 mdr. efter implantationen.

Sprogniveau: CI-brugerens kognitive færdigheder korrelerer med de postoperative færdigheder. Flere forfattere konkluderer desuden, at den præoperativescore på sætningstests er prædikator for den postoperative performans. En anden faktor, som ifølge Clark (2003a) korrelerer med udbyttet, er den sociokulturelle status, såsom uddannelseserfaring.

Mundaflæsningsevner: Der er uoverensstemmelser i undersøgelsesresultater mht mundaflæsningsevner. Flere studier har påvist, at der er en svag korrelation mellem mundaflæsning og den postoperative performans og at det skyldes, at gode mundaflæsningsevner afspejler bedre topdown færdigheder.

Motivation: Dette er en betydningsfuld prædiktør, i forbindelse med implantatbrug. Den grad af motivation, som CI-brugeren besidder, kan afhænge af flere faktorer såsom: kommunikationsbehov, evne til at acceptere mindre fejl samt støtte fra familie og venner m.m. Ligeledes er det også vigtigt, at kandidaten har realistiske forventninger før implantationen, da uopfyldte forventninger kan udgøre et tab for CI-brugeren.

Støtte fra pårørende: Hos voksne CI-brugere har de sociale forhold, såsom støtte fra familie og venner utrolig stor indflydelse på den postoperative performans. Desuden har foreninger, som beskæftiger sig med hørehæmmede ofte en positiv effekt for CI-brugeren. Studier viser, at det er vigtigt ikke kun at være opmærksom på CI-brugeren, men også på familien. Jo bedre familieforhold des større sandsynlighed for succesfuld brug af CI'et.

Tekniske hjælpemidler: Metoder til at reducere baggrundsstøj og øge taleperceptionsudbyttet er bl.a. ved at bruge tekniske hjælpemidler. Hyppigt anvendte tekniske hjælpemidler er: FM-system, telespole, telefonadapter og TV/Hi-fi-ledning.

De teknologiske tiltag, som er beskrevet, er følgende:

Bimodal stimulation: Mange CI-kandidater har signifikant brugbar residual hørelse i det modsatte uopererede øre, hvilket øger muligheden for bimodal taleprocessering. Ud over at opnå bedre taleperception i støj, bidrager bimodal hørelse også til lokalisering af lydkilderne i omgivelserne. Både tids- og intensitetsforskelle er nødvendige for lydlokalisering samt for optimal hørelse, i tilstedeværelse af baggrundsstøj.

Bilaterale CI'er: Formålet med at implantere bilateralt er at forbedre lydlokalisering og taleforståelse i baggrundsstøj, med det formål at opnå tilsvarende biaurale fordele som hos normalthørende brugere. Ifølge litteraturen skal bilaterale CI'er kun forekomme i tilfælde af, at kandidatens høretab er så signifikant på begge ører, at bimodal hørelse ikke er muligt.

Totalt implanterbare CI'er: Der forskes for tiden i at gøre CI'et totalt implanterbart, og flere forskellige apparatyper er blevet udviklet i den forbindelse.

8 Diskussion & perspektivering

I kapitlets første del diskuteres problemformuleringens primære formål, som omhandler faktorer, der påvirker taleperceptionsresultater hos postlingualt døde CI-brugere med primært fokus på de tekniske faktorer. Det tekniske aspekt har signifikant relevans for udbyttet. Audiopædens kendskab til det tekniske i forbindelse med den hørepædagogiske rehabilitering er derfor diskuteret. Specialets delformål omhandler nye teknologiske tiltag og deres effekt på taleperceptionsresultaterne. Slutteligt i specialet er der derfor givet forslag til, hvordan man kan opretholde en optimal ekspertise, der kan bidrage til en fortsat teknologisk udvikling.

De faktorer, (som beskrevet i citaterne i afs. 1.2 og i citatet i kap. 7, intro) der ifølge Clark (2003a) korrelerer med den postoperative performans, bliver i specialet undersøgt i forhold til andre forfattere og deres studier. Der er påvist uoverensstemmelser i forbindelse med: *implantationsalder, promontorialtest, residual hørelse, dynamikområdet, mundaflæsningsevner* samt *ætiologi (Menière's sygdom og bakteriel meningitis)*. Ovennævnte faktorer kan derfor godt være prædiktorer for nogle CI-brugere men er det ikke for alle.

Hovedparten af de prædiktorer (ca to tredjedel), som indgår i Clarks (2003a) definition, korrelerer positivt med de anvendte undersøgelsesresultater. Et eventuelt usikkerhedsmoment kan bestå i, hvorvidt der eksisterer undersøgelser, der korrelerer negativt med udbyttet, og derfor påviser noget andet end de resultater, der er uddraget af dette speciale! For eksempel korrelerer et *progressivt høretab* ifølge litteraturen generelt positivt med udbyttet, men hvis høretabet har fundet sted over en længere årrække, vil faktoren korrelere negativt med den postoperative performans. CI-brugernes *sprogniveau* samt *støtte fra pårørende* korrelerer positivt med udbyttet, men bliver kun svagt repræsenteret i litteraturen. Der er derfor brug for tilvejebringelsen af yderligere undersøgelser, for at faktorerne kan fremtræde mere pålideligt.

Faktoren *undervisning i auditiv træning* inkluderes ikke som en prædiktor ifølge Clark (2003a). I dag findes der kun få studier af effekten af auditiv træning, hvoraf meget begrænsede data har dokumenteret en forøget effekt i taleperception. Der er derfor brug for langt mere forskning inden for dette felt.

CI-brugerne har krav på et så optimalt rehabiliteringsforløb som muligt, og audiopæden skal have (større) kendskab til undervisningseffekten. Det er vigtigt at påpege, at den dynamiske teknologiske udvikling ikke kun ændrer de absolutte postoperative scores, men også influerer på interaktioner og korrelationer mellem alle de prædiktorer, som påvirker udbyttet med et CI.

I forbindelse med specialets opbygning, så er faktorerne *motivation* og *støtte fra pårørende* først blevet beskrevet under kapitel 7 ”De postoperative faktorer”. Begge faktorer har signifikant relevans allerede præoperativt og meget taler derfor for, at de i stedet blev beskrevet under kapitel 4 ”De præoperative faktorer”. Årsagen til den valgte placering af faktorerne skyldes, at de ikke indgår i de citater (som omtalt i afs. 1.2), der beskriver de generelle og specifikke faktorer for voksne CI-brugere. Faktorerne er derimod først anført i det citat fra Clark (2003a) (som omtalt i kap. 7, intro), der fremhæver prædiktorer i forbindelse med rehabilitering.

Fagfolk, som arbejder med CI, bør have basal viden om talens akustik samt forståelse for, hvordan et CI fungerer. Det tekniske og det kommunikative (rehabiliteringen) korrelerer med hinanden, hvilket de nye og forbedrede taleprocesseringsstrategier og elektrodedesigns er et bevis på! Hvor stor indsigt, fagfolk skal have til det tekniske i forbindelse med CI, afhænger af profession. For eksempel skal audiologiassistenten/CI-teknikeren, som tilpasser CI’et, have et omfattende kendskab til hver finesse i apparatet. Selvom det i dag ikke er audiopæder, som tilpasser CI’et, så må vedkommende ikke negligere og/eller glemme den tekniske del vedrørende rehabiliteringen. Det er vigtigt i forbindelse med den hørepædagogiske rehabilitering, at audiopæden har kendskab til den aktuelle CI-models karakteristika og begrænsninger. CI-modtageren, pårørende samt eventuel arbejdsplads eller plejepersonale skal have mulighed for at stille audiopæden overordnede spørgsmål, som omhandler de tekniske forhold. Dette underbygges bl.a. ud fra Clarks (2003a) tese om, at alle faktorer, der er prædiktorer for gode eller dårlige taleperceptionsresultater, skal tages i betragtning i forbindelse med planlægning og vurdering af rehabilitering.

CI-teamet fra hospitalet skal have ressourcer til løbende at afholde kurser eller udvikle skriftligt materiale til de audiopæder, som varetager den hørepædagogiske rehabilitering. Audiopæden på høreinstituttet skal overordnet

holdes ajour med det tekniske område og nye teknologiske tiltag. Denne viden skal bl.a. sørge for, at CI-brugeren og pårørende m.fl. får et entydigt og præcist svar fra både hospitalet og høreinstituttet. Forhandlere af CI'ets komponenter kan ligeledes udbyde kurser og des lignende for at holde de forskellige fagfolk opdaterede. Audiopæden kan også orientere sig vha. artikler, bøger og pjecer om det tekniske aspekt i forbindelse med CI. Men man må være opmærksom på, at den teknologiske udvikling inden for CI hele tiden er i vækst. Hvis man ikke arbejder med det tekniske i praksis, men kun tilegner sig viden via litteraturen, kan det ofte være svært at vurdere, hvorvidt de tekniske parametre og tilpasningsformularer m.m. er ændret, eller om de stadig er aktuelle. Dette aspekt har uden tvivl været den største udfordring i forbindelse med udformningen af specialet.

En mulighed for at bevare tilstrækkelig ekspertise, som kan bidrage til en fortsat teknologisk udvikling, opnås bl.a. ved at centralisere behandlingstilbuddet for CI-brugere. Et godt koordineret tværfagligt samarbejde forudsætter mødet mellem mindst tre fagområder: det medicinske, det tekniske og det pædagogiske. De personer, som er i direkte kontakt med CI-brugerne, repræsenterer en multidisciplinær gruppe med bl.a. forskere, ingeniører, kirurger, audio(logo)pæder, audiologiassistenter og psykologer. Kendskab til de mange interaktive faktorer: De præoperative faktorer, de tekniske faktorer og de postoperative faktorer, som påvirker CI-brugerens udbytte, kræver kyndig ekspertise. Teamwork i kraft af et multidisciplinært team er derfor den mest effektive tilgang til at: Give en holistisk behandling, vurdere en kandidats behov og ønsker samt udforme nye teknologiske tiltag.

CI-erfaring indsamlet fra voksne forekommer ligeledes som en vigtig reference i forbindelse med processortilpasninger og nye teknologiske tiltag. Postlingualt døve voksne er netop i stand til detaljeret at beskrive de signaler, som de opfatter fra CI'et. Tæt kontakt med voksne CI-brugere er derfor meget brugbar, både i forbindelse med videre udvikling af teknologiske tiltag samt til forbedring af den postoperative rehabilitering. Audiopæden skal være nuanceret i sin undervisning, da alle CI-brugere har divergerende behov og ønsker, mht. den hørepædagogiske rehabilitering. Ligeledes skal varigheden af den enkelte CI-brugers træningstid kunne individualiseres.

9 Konklusion

Formålet med specialet var at undersøge en varietet af faktorer, som påvirker den postoperative performans – med udgangspunkt i Clarks (2003a) definition. De faktorer, der i kraft af undersøgelsesresultater kan klassificeres som prædiktorer for udbyttet hos CI-brugere, er opført i punktform nedenfor. Slutteligt i kapitlet er der en kort opsummering og konkludering af de teknologiske tiltag, som er beskrevet i specialet.

Faktorer der kan defineres som prædiktorer ud fra den anvendte litteratur:

Præoperative faktorer:

- o Alderen ved døvhedens indtræden
- o Døvhedens varighed
- o Den generelle helbredstilstand
- o Progressivt høretab

Faktoren *døvhedens varighed* er ifølge litteraturen den bedste individuelle prædiktør for taleperceptionsresultater. Jo længere tid med døvhed (/svært høretab) des dårligere udbytte med et CI, da talesignalerne bliver sværere at omdanne pga. deprivationseffekten.

De tekniske faktorer:

- o Nye taleprocesseringsstrategier
- o Perimodiolære elektrodedesigns (elektrodetypen)³⁸
- o Elektrodeplaceringen³⁹
- o Indsættelsesdybden og elektrodeomfanget
- o Antallet af elektrodepunkter/(kanaler)⁴⁰

³⁸ Perimodiolære elektrodedesigns inkluderes ikke som en prædiktør ifølge Clarks (2003a) definition, men er alligevel opstillet her pga., at det er den elektrodetype, der anvendes i dag for at opnå det bedste udbytte.

³⁹ Elektrodeplaceringen bliver ikke inkluderet som en prædiktør ifølge Clarks (2003a) definition, men opstilles som en prædiktør pga., at elektrodeplaceringen har betydning for udbyttet.

⁴⁰ Antallet af kanaler bliver ikke inkluderet som en prædiktør ifølge Clarks (2003a) definition, men er en signifikant faktor (tæt relateret til elektrodepunkterne) og er derfor opstillet som en prædiktør.

De ydre faktorer er betydningsfulde, fordi CI'ets tekniske muligheder såvel som begrænsninger hænger sammen med CI-brugerens udbytte. Igennem årene er CI'ets kvalitet blevet forbedret betydeligt.

Den postoperative performans hos CI-brugere bliver vedvarende forbedret i takt med introduktionen af nye *taleprocesseringsstrategier*, som er en signifikant prædiktør for taleperceptionsudbyttet. Flere elektrodepunkter og kanaler giver tilføjende spektral information som hjælp til talegenkendelse i støjende omgivelser og ved fx monosyllabisk ordgenkendelse. For at opnå flere kanaler vil det samtidig kræve, at elektroderækken ligger tæt på modiolus. Det er derfor berettiget at fremme udviklingen af et sikkert og effektivt perimodiolært elektrodedesign.

Postoperative faktorer:

- o *Perioden for anvendelse af implantatet*
- o *Sprogniveau*
- o *Motivation*
- o *Støtte fra pårørende*

Perioden for anvendelse af implantatet er stærkt korreleret med taleperceptionsresultaterne. Som hovedregel, jo længere anvendelse af implantatet des bedre. De to sidstnævnte faktorer: *Motivation* samt *støtte fra pårørende* er betydningsfulde prædiktører mht. den postoperative performans. Det kan konkluderes, at hovedparten af de faktorer (ca. to tredjedel), som indgår i Clarks (2003a) definition, og som er opstillet i punktform ovenfor, korrelerer positivt med den anvendte litteratur.

Som beskrevet i kapitel 8, så korrelerer faktorerne: *implantationsalder*, *promontorialtest*, *residual hørelse*, *dynamikområdet*, *mundaflæsningsevner* samt *ætiologi* (*Menière's sygdom* *sygdom* og *bakteriel meningitis*) ikke positivt med alle de anvendte undersøgelser. Der optræder derfor både overensstemmelser og uoverensstemmelser på tværs af studierne.

Det er en omfattende udvikling, der har ført til, at CI i dag er en veletableret behandlingsmetode for døve og svært hørehæmmede. Forbedrede teknologiske tiltag i CI-design samt dokumenteret forskning er nødvendig for at gøre disse resultater endnu bedre. Viden om de forskellige faktorer, som påvirker udbyttet, skal føre til udviklingen af bedre CI-systemer.

Nuværende teknologiske tiltag, som er beskrevet i specialet, anføres nedenfor:

- o *Bimodal stimulation*
- o *Bilaterale CI'er*
- o *Totalt implanterbare CI'er*
- o *Teknologiske tiltag i forbindelse med taleprocesseringsstrategier: temporal frekvenskodning & neuroengineering*
- o *Intramodiolære implantater*
- o *Kombineret EAS i den samme cochlea*

Flere nyere strategier bliver designet til at afbilde adaptationsegenskaberne af det normale perifere system, med det formål at forbedre den postoperative performans. Det centrale system har såvel som det perifere system signifikant relevans inden for CI-forskningen. Endnu er det kun muligt at undersøge, hvordan hjernen processerer information over korte tidsperioder. Forståelsen for de mekanismer, ved hvilke hjernen ”omsætter” det elektriske signal, er derfor ufuldstændig.

Skønt de teknologiske fremskridt indtil nu har været revolutionerende, så genskaber nuværende apparater stadig ikke optimal taleperception (selv for ”stjernebrugere”) ved lytning af tale i deltagelse af støj eller andre talere. En tendens til at forbedre taleperception i dag - især i støj, er bimodal taleprocessering og bilaterale CI'er. Det kan konkluderes, at en af de største udfordringer inden for CI-forskningen er at opnå god taleforståelse i tilstedeværelsen af baggrundsstøj. Vi befinder os på et interessant sted i CI'ets historie med udvikling af nye signalprocesseringsteknikker, perimodiolære elektroderækker, intramodiolære implantater, kombineret EAS og totalt implanterbare CI'er m.m. De mange teknologiske tiltag er et bevis på, at implantater i den nære fremtid vil blive væsentligt bedre og ganske forskellige fra dem, som anvendes i dag.

Litteraturliste

- Allum, D.J. (1996). Introduction. I: D.J. Allum (red.). *Cochlear Implant Rehabilitation in Children and Adults* (s. xiii-xvi). London: Whurr Publishers.
- Andersen, J. (2004). Personlig meddelelse. København (13.12.04).
- Andersen, J. (2005a). Personlig meddelelse. København (11.04.05).
- Andersen, J. (2005b). Mailkorrespondance (19.05.05).
- Andersen, J. (2005c). Mailkorrespondance (15.06.05).
- Andersen, K.B. et al. (2004) (red.). *Tab af hørelsen – et skred i livet*. København: Center for Tegnsprog og Tegnstøttet Kommunikation – KC.
- Armstrong, M. et al. (1997). Speech Perception in Noise With Implant and Hearing Aid. *The American Journal of Otology*. Vol. 18, s. 140-141.
- Balle V. (2000a). Forelæsningsnotat. København (21.03.00).
- Balle V. (2000b). Forelæsningsnotat. København (25.03.00).
- Balle V. (2000c). Forelæsningsnotat. København (11.12.00).
- Blamey, P.J. et al. (1992). Factors Predicting Postoperative Sentence Scores in Postlinguistically Deaf Adult Cochlear Implant Patients. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*. Vol. 101, s. 342-348.
- Bonderup B. (2004). Hvor der er vilje. I: K.B. Andersen et al. (red.). *Tab af hørelsen – et skred i livet* (s. 65-82). København: Center for Tegnsprog og Tegnstøttet Kommunikation – KC.

- Bosco, E. et al. (1996). Rehabilitation Procedures Adapted to Adults and Children. I: D.J. Allum (red.). *Cochlear Implant Rehabilitation in Children and Adults* (kap. 12). London: Whurr Publishers.
- Clark, G. (2003a). *Cochlear Implants. Fundamentals & Applications*. New York: Springer.
- Clark, G. (2003b). Cochlear implants for adults and children. I: L.M. Luxon et al. (red.). *Textbook of audiological medicine. Clinical aspects of hearing and balance* (s. 417-428). London: Martin Dunitz.
- Clark, G. & Lawrence, D. (2000). Technical Features of the Nucleus, Med-El and Clarion Cochlear Implant. *Australian Journal of Otolaryngology*. Vol. 3(5), s. 516-522.
- Ching, T.Y. et al. (2004). Binaurale Benefits for Adults Who Use Hearing Aids and Cochlear Implants in Opposite Ears. *Ear & Hearing*. Vol. 25(1), s. 9-21.
- Clopton, B.M. & Spelman, F.A. (2003). Technology and the Future of Cochlear Implants. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*. Vol. 112, s. 26-32.
- Cochlear (u.å.). *The Nucleus Cochlear Implant System. Hjælper børn og voksne til at høre*. Cochlear Limited. Danaflex.
- Cohen, N.L. et al. (1993). A prospective, randomized Study of Cochlear Implants. *New England Journal of Medicine*. Vol. 328, s. 233-237.
- Cohen, N.L. (1997). Cochlear implant soft surgery: Fact or fantasy? *Otolaryngology- Head and Neck Surgery*. Vol. 117(3), s. 214-216.
- D'Agosta et al., (1999). "Small group" rehabilitation in adolescent cochlear implant users: aims, method and results. *International Journal of pediatric Otorhinolaryngology*. Vol. 47, s. 191-194.

- Dijk, J.E.v. et al. (1999). Predictors of Cochlear Implant Performance. *Audiology*. Vol. 38, s. 109-116.
- Dillon, H. (2001). *Hearing Aids*. New York: Thieme.
- Donaldson, G.S. & Allen, S.L. (2003). Effects of Presentation Level on Phoneme and Sentence Recognition in Quiet by Cochlear Implant Listeners. *Ear & Hearing*. Vol. 24, s. 392-405.
- Dorman, M.F. et al. (1998). The recognition of sentences in noise by normal-hearing listeners using simulations of cochlear-implant signal processors with 6-20 channels. *Journal of Acoustical Society of America*. Vol. 104(6), s. 3583-3585.
- Dorman, M.F. (2000). Speech Perception by Adults. I: S.B. Waltzman & N.L. Cohen (red.). *Cochlear Implants* (317-330). New York: Thieme.
- Dowell, R.C. et al. (1986). Speech Recognition for 40 Patients Receiving Multichannel Cochlear Implants. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*. Vol. 112, s. 1054-1059.
- Fishman, K.E. et al. (1997). Speech Recognition as a Function of the Number of Electrodes Used in the SPEAK Cochlear Implant Speech Processor. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. Vol. 40, s. 1201-1215.
- Friedland, D.R. et al. (2003). Choice of Ear for Cochlear Implantation: The Effect of History and Residual Hearing on Predicted Postoperative Performance. *Otology & Neurotology*. Vol. 24, s. 582-589.
- Friis, H. (2002/2003). Meningitis. I: Kristensen, M.B. et al. (red.). *Medicinhåndbogen. Opslagsbogen om alle lægemidler og deres anvendelse*. København: Dansk lægemiddel Information.

- Frijs, J.H.M. et al. (2003). Optimizing the Number of Electrodes with High-rate Stimulation of the Clarion CII Cochlear implant. *Acta Otolaryngologica*. Vol. 123, s. 138-142.
- Fu, Q. & Shannon, R.V. (1999). Effects of Electrode Location and Spacing on Phoneme Recognition with the Nucleus-22 Cochlear Implant. *Ear and hearing*. Vol. 20(4), s. 321-331.
- Fugain, C. et al. (1996). Differences in Postoperative Management for Postlingual and Prelingual Adults and Children using Cochlear Implants. I: D.J. Allum (red.). *Cochlear Implant Rehabilitation in Children and Adults* (kap. 20). London: Whurr Publishers Ltd.
- Gantz, B.J. et al. (1993). Multivariate predictors of audiological success with multichannel cochlear implants. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*. Vol. 102, s. 909-916.
- Gantz, B.J. & Turner, C.W. (2003). Combining Acoustic and Electrical Hearing. *Laryngoscope*. Vol. 113, s. 1726-1730.
- Ganong, W.F. (1997) (18 udg.). *Review of Medical Physiology* (kap. 9). San Francisco: Appleton & Lange.
- Gates, G.A. & Miyamoto, R.T. (2003). Cochlear Implants. *New England Journal of Medicine*. Vol. 349(5), s. 421-423.
- Geneser, F. (1990) (2 udg.) *Histologi*. København: Munksgaard.
- Geurts, L. & Wouters, J. (1999). Enhancing the speech envelope of continuous interleaved sampling processors for cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 105(4), s. 2476- 2484.
- Gomaa, N.A. et al. (2003). Residual Speech Perception and Cochlear Implant Performance in Postlingually Deafened Adults. *Ear & Hearing*. Vol. 24, s. 539-544.

- Gstoettner, W. et al. (2000). Combi 40 Cochlear Implantation: Insertional Trauma with Different Types of Electrodes. I: S.B. Waltzman & N.L. Cohen (red.). *Cochlear Implants* (s. 178-179). New York: Thieme.
- Hackney, C.M. (2005). I: S. Standring et al. (red.) (39 udg.). *Gray's Anatomy: the anatomical basis of clinical practice* (kap. 39). Edinburgh: Elsevier.
- Hamzavi et al. (2003). Variables affecting Speech Perception in Postlingually Deaf Adults Following Cochlear Implantation. *Acta Oto-laryngologica*. Vol. 123, s. 493-498.
- Hamzavi et al. (2003). Variables affecting Speech Perception in Postlingually Deaf Adults Following Cochlear Implantation. *Acta Oto-laryngologica*. Vol. 123, s. 493-498.
- Hansen, B. (2004). Forord. I: K.B. Andersen et al. (red.). *Tab af hørelsen – et skred i livet* (s. 6-7). København: Center for Tegnsprog og Tegnstøttet Kommunikation – KC.
- Hartmann, R. & Kral, A. (2004). Central Responses to Electrical Stimulation. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 6). New York: Springer.
- Hedegård, J. (2003). Forelæsningsnotat. København (12.11.03).
- Hedegård, J. (2004). Forelæsningsnotat. København (01.12.04).
- Hinderink, J.B. (2001). *Cochlear implants in adults. Results from the Nijmegen-Sint Michielsgestel Cochlear Implant Program*. Den Haag: Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Hochmair, I. et al. (2003). Deep Electrode Insertion in Cochlear Implants: Apical Morphology, Electrodes and Speech Perception Results. *Acta Oto-laryngology*. Vol. 123, s. 612-617.

- Hoesel, R.J.M.v. et al. (2002). Sound-Direction Identification, Interaural Time Delay Discrimination, and Speech Intelligibility Advantages in Noise for a Bilateral Cochlear Implant User. *Ear & Hearing*. Vol. 23, s. 137-149.
- Hoesel, R.v. & Tyler, R.S. (2003). Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *Acoustical Society of America*. Vol. 113(3), s. 1617-1630.
- Hyde, M.B. (2005) Forelæsningsnotat. København (11.02.05).
- Kaplan, D.M. et al. (2003). Early-Deafened Adult Cochlear Implant Users: Assessment of Outcomes. *The Journal of Otolaryngology*. Vol. 32(4), s. 245-249.
- Klinisk ordbog (2002) (15 udg.). København: Munksgaard.
- Kochkin, S. & Kuk, F. (2000). Binaural Hearing aids: The Fitting of Choice for Bilateral Loss Subjects. www.medical.hearingit.org/page.dsp?forside=yes&area=473
- Leake, P.A. & Rebscher, S.J. (2004). Anatomical Considerations and Long-Term Effects of Electrical Stimulation. I: F. Zeng et al. (eds.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 4). New York: Springer.
- Litovsky et al. (2004). Bilateral Cochlear Implants in adults and Children. *Archives of otolaryngology- head & neck surgery*. Vol. 130, s. 648-655.
- Loizou et al. (2000). The effect of parametric variations of cochlear implant processors on speech understanding. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 108(2), s. 790-802.

- Long, C.J. et al. (2003). Binaural sensitivity as a function of interaural electrode position with a bilateral cochlear implant user. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 114(3), s. 1565-1574.
- Luntz et al. (2002). Sound localization in patients with cochlear implant – preliminary results. *International Journal of pediatric Otorhinolaryngology*. Vol. 64, s. 1-7.
- Makhdoum, M.J. (1998). *Auditory performance of cochlear implant users. Psychophysical and objective measurements*. Den Haag: Katholieke Universiteit Nijmegen.
- McKay C.M. (2004). Psychophysics and Electrical Stimulation. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 7). New York: Springer.
- Mecklenburg, D.J. (1990). Cochlear Implants and Rehabilitative Practices. I: R.E. Sandlin (red.). *Handbook of Hearing Aid Amplification* (kap. 8). San Diego: Singular Publishing Group.
- Mo, B. et al. (2005). Cochlear Implants and Quality of Life: A Prospective Study. *Ear and Hearing*. Vol. 26, s. 186-194.
- Mortensen, M.V. et al. (2004). Cochleaimplantat til døve voksne: psykosociale konsekvenser. *Ugeskrift for Læger*. Vol. 166(34), s. 2894-2898.
- Mølgaard-Madsen, V. et al. (2004). 14 november 2002 - en mærkedag. I: K.B. Andersen et al. (red.). *Tab af hørelsen – et skred i livet* (s. 27-45). København. Center for Tegnsprog og Tegnstøttet Kommunikation – KC.
- Niparko, J.K. (2004). Cochlear Implants: Clinical Applications. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 3). New York: Springer.
- Nyhedsmail (2005). Nyhedsmail fra Videnscenter for døvblevne, døve og hørehæmmede (25.04.05). www.vcdh.dk

- Nyrop, L.M. & Waters, E.H. (1993). "*Det er livet at man kan høre.*" *Cochlear Implant. Baggrund, udbytte og rehabilitering – en teoretisk opgave med illustrativ empiri. Speciale.* København: Institut for Almen og Anvendt Sprogvidenskab, Københavns Universitet.
- Parving, A. (1999). *Kompendium i Medicinsk Audiologi.* København: Bispebjerg Hospital, Hovedstadens Sygehusfællesskab.
- Pedersen, C.B. et al. (2000). Results and experience of 50 Cochlear Implant operations. *Acta Oto-laryngologica Supplementum* 543, s. 147-150.
- Poulsen, T. (1991). *Lydopfattelse.* Lyngby: Laboratoriet for akustik, DTH.
- Roland, T.J. et al. (2000). Electrode to Modiolus Proximity: A Fluoroscopic and Histologic Analysis. *The American Journal of Otology.* Vol. 21, s. 218-225.
- Rubinstein, J.T. et al. (1999). Residual Speech Recognition and Cochlear Implant Performance: Effects of Implantation Criteria. *The American Journal of Otology.* Vol. 20, s. 445-452.
- Samar, C.F. (2003). Forelæsningsnotat. København (02.11.03).
- Samar, C.F. (2004). Forelæsningsnotat. København (19.11.04).
- Shannon R.V. et al. (2004). Speech Perception with Cochlear Implants. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 8). New York: Springer.
- Sherbourne K. Et al. (2002). Intensive Rehabilitation programmes for deafened men and woman: an evaluation study. *International Journal of Audiology.* Vol. 41, s. 195-201.
- Sierra C. et al. (1996). Evaluation of Psychosocial Adjustment Following Cochlear Implant in Adults. *European Journal of Psychiatry.* Vol. 10(2), s. 76-82.

Skinner, M.W. et al. (2002). Speech Recognition with the Nucleus 24 SPEAK, ACE and CIS Speech Coding Strategies in Newly Implanted Adults. *Ear & Hearing*. Vol. 23, s. 207-223.

Stach, B.A. (1998). *Clinical Audiology. An Introduction*. San Diego: Singular Publishing Group.

Strauss-Schier A. & Rost U. (1996). Rehabilitation in adult cochlear implant patients. I: D.J. Allum (red.). *Cochlear Implant Rehabilitation in Children and Adults* (kap. 17). London: Whurr Publishers.

Tavartkiladze, G.A. et al. (1996). Therapeutic Concepts for Training Cochlear Implant Patients who Have Good Preoperative Language Skills. I: D.J. Allum (red.). *Cochlear Implant Rehabilitation in Children and Adults* (kap. 15). London: Whurr Publishers.

Vandali, A.E. (2001). Emphasis of short-duration acoustic speech cues for cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 109(5), s. 2049-2061.

Waltzman, S.B. (2000). Variables Affecting Speech Perception in Children. I: S.B. Waltzman & N.L. Cohen (red.). *Cochlear Implants* (kap. 11). New York: Thieme.

Wie, O.B. (2005). *Kan døve bli hørende? En kartlegging av de hundre første barna med cochleaimplantat i Norge*. Oslo: Unipub.

Wilson, B.S. (2004). Engineering Design of Cochlear Implants. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 2). New York: Springer.

Wilson, B.S. et al. (1995). Advances in Coding Strategies for Cochlear Implants. *Advances in Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. Vol. 9, s. 105-128.

- Wilson, B.S. et al. (2000). Variables Affecting Speech Perception in Children. I: S.B. Waltzman & N.L. Cohen (eds.), *Cochlear Implants* (kap. 4). New York: Thieme.
- Wilson, B.S. et al. (2003). Cochlear implants: Some Likely Next Steps. *Annual Review of Biomedical Engineering*. Vol. 5, s. 207-49.
- Wouters, J. & Berghe, J.V. (2001). Speech Recognition in Noise for Cochlear Implantees with a Two-Microphone Monaural Adaptive Noise Reduction System. *Ear & Hearing*. Vol. 22, s. 420-430.
- www.cochlear.com (2005a). ABI (Hjernestammeimplantat).
www.cochlear.com/Danish/26.asp
- www.cochlear.com (2005b). Tilbehør til Nucleus 3-system.
www.cochlear.com/Danish/32.asp
- www.cochlear.com (2005c). Nucleus 24 Contour implantat.
www.cochlear.com/Danish/49.asp
- www.netdokter.dk (2005a). CT-scanning.
www.netdokter.dk/sunderaad/undersogelser/ctgenerel.htm
- www.netdokter.dk (2005b). MR-scanning.
www.netdokter.dk/sunderaad/undersogelser/mrgenerel.htm
- Yukawa, K. et al. (2004). Effects of Insertion Depth of Cochlear Implant Electrodes upon Speech Perception. *Audiology & Neuro-otology*. Vol. 9, s. 163-172.
- Zemlin, W.R. (1997). *Speech and Hearing Science. Anatomy and Physiology*. Boston: Allyn & Bacon.
- Zeng, F. (2004). Auditory Prostheses: Past, Present, and Future. I: F. Zeng et al. (red.). *Cochlear Implants. Auditory Prostheses and Electric Hearing* (kap. 1). New York: Springer.

Zenner, H.P. (1996). Hearing. I: R. Greger & U. Windhorst (red.).
*Comprehensive Human Physiology. From Cellular Mechanisms
to Integration* (s. 711-727). New York: Springer.