AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de l'archive ouverte DUMAS (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES
UFR DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Année : 2021

CORRELATION BETWEEN COCHLEAR LENGTH, INSERTION ANGLE AND TONOTOPIC MISMATCH FOR 28 mm LONG STRAIGHT LATERAL WALL ELECTRODE ARRAYS

THÈSE
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN MÉDECINE
DIPLÔME D'ÉTAT

Noémie DUTRIEUX

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le 08/09/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury : M. le Professeur Christian Adrien RIGHINI

Membres : M. le Professeur Sébastien SCHMERBER, directeur de thèse

Mme la Docteur Raphaële QUATRE

M. le Docteur Arnaud ATTYE

M. le Docteur Etienne BERTA

L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

Doyen de la Faculté : **Pr. Patrice MORAND**

Année 2020-2021

ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APTEL Florent	Ophtalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PR Ass. Méd.	BOILLOT Bernard	
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH émérite	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénéréologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophtalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Ass. Méd.	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUZUN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOUL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU - PH	LE GOUELLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénéréologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARET Marie-Reine	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
PR Ass. Méd.	ORMEZZANO Olivier	Cardiologie
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	POLACK Benoît	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	RECHE Fabian	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophtalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	THEVENON Julien	Génétique
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANO Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers
MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers
PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale
MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale
PR Ass. Méd. : Professeur des Universités Associé de Médecine
PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale
MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

A mon père,

Hasta siempre

Aux membres du jury :

M. le Professeur S. SCHMERBER, lors de mon orientation je recherchais une spécialité qui allie clinique et chirurgie. L'ORL offrait cette opportunité et en me proposant ce travail de thèse, ultime aboutissement de ma formation, vous m'avez offert un sujet qui m'a permis de répondre à mes attentes. Ce travail m'a passionné et je vous remercie de m'avoir guidé et encouragé tout au long de mes travaux. J'espère que ces travaux contribueront à l'amélioration de la prise en charge des patients implantés. Je vous remercie pour la transmission de votre savoir et de votre passion pour l'otologie autant en consultation qu'au bloc opératoire.

M. le Professeur C.A RIGHINI, vous me faites l'honneur de présider ma thèse. Je vous remercie pour votre enseignement théorique, clinique et chirurgical tout au long de mon cursus. Merci pour la confiance que vous m'avez accordé au cours de mon Master 2.

Mme la Docteur R. QUATRE, c'est un plaisir de travailler avec toi, un grand merci pour l'aide précieuse que tu m'as fourni pour la rédaction de mon travail de thèse et d'avoir été là pour me booster. Tu as été présente depuis mes premiers pas en ORL et a toujours su me guider, je t'en suis sincèrement reconnaissante. Ton **r**egard critique, ta d**i**sponibilité, ton **g**énie, ton h**u**mour, ton **é**nergie, ta j**u**stesse et ta f**r**anchise sont autant de qualités que je garderai en modèle !

M. le Docteur Etienne BERTA, je te remercie de faire partie de mon jury de thèse. Merci pour ton efficacité redoutable, ta disponibilité, tes avis éclairés, merci de m'avoir appris à me remettre en question et pour toutes ces chirurgies pour lesquelles tu m'as confié le bistouri !

M. le Docteur ATTYE, merci d'ajouter ton œil d'expert en neuroradiologie pour juger mon travail de thèse auquel tu as contribué notamment par la mise à disposition des images. C'est un réel plaisir de travailler en collaboration avec toi et tout le service de Neuroradio. Merci pour les avis éclairés que tu nous fournis au quotidien et pour tout ce que j'ai appris en descendant au 4ème regarder des imageries avec toi et ton équipe.

A tous celles et ceux avec qui j'ai eu la chance de travailler

Au Dr Ihab Atallah, merci pour les connaissances en anatomie et physiologie du larynx que tu m'as transmises, pour ta disponibilité au quotidien et ton dévouement pour les patients qui restera un exemple pour moi. C'est un plaisir de travailler avec toi et ta bonne humeur permanente.

Au Dr Philippe Junet pour m'avoir guidé depuis mon premier semestre d'internat, mes premières bêtises (peux-tu supprimer la vidéo de l'épistaxis ?), mon premier décollement d'aponévrose de SCM au bloc et mes premiers remplacements dans ton cabinet. Merci pour ta patience, ta pédagogie et tes blagues que je ne comprends pas toujours !

Au Dr Nils Morel pour nos discussions en congrès et mes remplacements au cabinet.

Au Dr Anne Coffre pour m'avoir fait découvrir et aimer la pédiatrie. Merci pour ton savoir, ton expertise et tes conseils tant professionnels que personnels. Pour ces pauses-déjeuner très agréables pendant notre été. Enfin, merci de m'avoir appris à prendre confiance en moi !

Au Dr Joëlle Troussier pour ton savoir-faire auprès des enfants et ta disponibilité.

Au Dr Anne Rivron pour tes remarques pertinentes pour ce travail de thèse.

Au Dr Georges Dumas pour votre inépuisable motivation dans la recherche en vestibulologie.

A Sylvie Josien pour t'être occupée de mon larynx, pour la délicatesse et l'implication avec lesquelles tu suis les patients.

A Catherine Rebière pour m'avoir expliqué la rééducation orthophonique des patients implantés.

Au Dr Hugo Gil pour ta collaboration pendant mon année de M2, tes explications en anapath, ces heures passées en RCP, au microscope ou au café.

Aux audioprothésistes, orthophonistes et psychologues de l'équipe implant, sans qui ma thèse n'aurait aucun sens ! Merci à Brieux pour ta bonne humeur, ton enthousiasme et félicitations pour la jolie famille que vous formez.

Merci à Vincent Péan pour votre participation à ce travail, votre patience pour m'expliquer les statistiques et la pertinence de vos recherches.

A mes (ex)-co-internes, les Chevaliers de l'ombre, je suis fière de l'équipe soudée que l'on forme ! Merci aux plus vieux pour m'avoir encadré et bravo aux plus jeunes pour la motivation dont vous faites preuve : Mathilde pour nos rigolades et ton don de l'organisation, je suis fière de t'avoir vu grandir en ORL ; Mathieu pour ton aide, ton sens des priorités et ton soutien ; Adrien pour ta curiosité et pour tes canapés qui nous ont si souvent accueillis ; Claire D. je regrette que l'on n'ait pas eu l'occasion de travailler ensemble, je suis sûre que tu seras une super assistante et te souhaite le meilleur ; Ilan pour l'énergie que tu mets dans l'organisation de notre internat ; Olivier pour notre entre-aide pour les sutures. Aux plus jeunes avec qui je n'ai pas encore eu l'occasion de travailler : Judith, Laura, Marin et Emilie, bienvenue dans la famille et l'aventure.
A ceux devenus chef depuis : Dr Ludovic Giraud (Ludo) pour l'animation que tu mets, notre semestre mémorable tant pour tes conseils en ORL que pour les folles soirées que l'on a passées ; Dr Claire Sandré pour les soirées cacahuètes ; Dr Marie Soula pour tes conseils et ta bonne humeur ; Dr Ashley Baguant pour ta passion pour les chevaliers et merci de m'avoir pris sous ton aile pour mes débuts ; Dr Christol Fabre pour tes connaissances dans des domaines tellement variés, pour tes conseils ; Dr Raphaële Quatre, tu as ta place aussi dans cette partie ; Dr Akil Kaderbay pour m'avoir épaulé dans mes débuts d'internat et tes conseils voyage ; Dr Cindy Colombe pour ta rigueur, ton soutien et tes conseils.

Aux infirmiers, aides-soignants et secrétaires du CHU de Grenoble dans le service, en consultation et au bloc opératoire, bravo pour votre assiduité et votre implication pour les patients.

A la belle équipe d'ORL d'Annecy avec qui j'ai eu la chance de travailler pendant 1 an et que je remercie chaleureusement pour ce que vous m'avez apporté. Merci au Dr Guillaume Angel pour ton apprentissage de la chirurgie dans le calme et la précision. Merci au Dr Frédéric Lagarde pour tes petites astuces médicales et chirurgicales et ta bonne humeur. Merci au Dr Dominique Paoletti pour tes playlists enflammées au bloc et m'avoir repris dans mes gestes. Merci au Dr Claire Sandré (encore !) pour ces visites toujours à l'heure, nos questionnements au bloc opératoire et les soirées champagne du mercredi. Au Dr Bernard Fonlupt, je suis fière

d'avoir été votre interne, merci pour votre expérience clinique et chirurgicale et pour votre bienveillance. Dr Etienne Berta pour ton énergie inépuisable et tes conseils.

A l'équipe de CMF d'Annecy - Dr Georges Bettega, Dr Leslie Noyelles et Dr Rodolphe - pour votre disponibilité et votre pédagogie ! A l'équipe de Neurochirurgie d'Annecy, notamment au Dr Vivien Mendes pour votre patience et disponibilité à toute heure de la nuit, et au Dr Catherine Guarneri pour l'amie que tu es, merci pour tes conseils et ces jolis moments que l'on a partagés.
Aux infirmiers et aides-soignants d'Annecy dans le service et en consultation, pour votre travail, votre aide précieuse et nos moments de rire. Sans vous les journées n'auraient pas été les mêmes ! Merci aux secrétaires pour votre efficacité et gentillesse. A Corinne Manganoni pour tenir et animer ce beau service avec rigueur et joie.

A l'équipe d'ORL de Chambéry : au Dr Manipoud pour votre expérience et rigueur ; au Dr Guichard pour vos conseils ; au Dr Maura Filidoro pour m'avoir appris la VNG dans la bonne humeur et pour tes conseils de visite en Italie !
Aux infirmiers, aides-soignants et secrétaires de Chambéry, merci d'avoir été là pendant mon premier semestre d'internat, pour votre bonne humeur et votre aide pour la prise de décision.

A l'équipe de Chirurgie Vasculaire et Thoracique de Chambéry pour ce que vous m'avez appris : merci au Dr Hélène Blaise pour ta bonne humeur et l'apprentissage des sutures vasculaires ; au Dr Nathalie David pour ton calme et ta disponibilité ; au Dr Albéric DeLambert pour m'avoir montré comment masser un cœur à pleine main ; sans oublier le Dr Eric Frassinetti.

A l'équipe de Chirurgie Plastique et Maxillo-Faciale du CHU pour ce semestre ainsi qu'aux infirmières de consultation et au bloc opératoire.

A l'équipe de l'IAB, je garde un très très très très très bon souvenir de mon année de Master 2. Merci au Dr Jean-Luc Coll de m'avoir si bien encadrée et guidée au quotidien dans mes recherches. J'espère que l'ENDOSWIR fera partie de nos futurs outils au bloc. Merci pour ta précision, ta persévérance, ta bonne humeur et tes idées débordantes ! J'étais fière d'avoir intégré votre équipe pendant cette année particulière coupée par le Covid, merci en particulier à Max, Véro, Benoit, Lucie, Julien, Mélanie, Morgane, Thibault, Arlette et Malika.

A mes proches, pour la musique que vous mettez dans ma vie :

Au Duduland : Alexis, *Life is such a funny journey* à tes côtés. Je suis fière d'être ta sœur, ton amie et ta confidente, my *Emotional Rescue*. J'admire ton caractère passionné et ta persévérance, je te souhaite de toujours poursuivre tes projets et tes rêves. Pour nos cafés qui s'éternisent, nos festivals d'été qui commencent à sérieusement nous manquer, merci d'être là tout simplement ! Laura : ma sista, mais oui je suis aussi très fière de toi, je t'entends déjà *Jalousie* ! toujours là pour vivre des aventures improbables et résoudre mes problèmes. Je te souhaite de te plaire dans tes études, de passer du bon temps avec tes copains et de revenir me voir aussi souvent ! Maman, un *Paris Seychelles* quand tu veux. Merci pour ce cocon que nous as concocté, pour ces magnifiques moments que l'on passe ensemble toujours complices, de lire dans mes pensées aussi facilement. Dom, je te dédicace un *Sympathy for the devil* même si tu es plutôt un ange qu'un devil dans nos vies. Vivement que vous veniez en Savoie définitivement !
A mes grands-parents pour l'amour dans lequel nous avons baigné pendant notre enfance à vos côtés. A Oma pour ces parties de jeu de dame, tes délicieux gâteaux et nos discussions.
A ma tante Carole, pour ces étés à St Trop' et maintenant nos discussions au téléphone, *Bien Sûr* on le fera ce voyage à Mazagón. A Thierry et mes cousins Antho, Seb, Guigui et M, la *Fille de Saint Tropez* aurait dû être un tube !
A mon oncle Michel, tu m'as vu grandir, merci pour ton soutien et nos cafés à St Antoine. A Valérie et mes cousins Elliot, Tom et Raphaël, je vous souhaite plein de bonheur.
A Claude et Léa pour votre bienveillance et votre bonne humeur.

Oliv', pour notre complicité évidemment. *I bet that you look good on the Dancefloor*, notre histoire a commence sur ce ton et aujourd'hui je te remercie pour toutes tes passions que tu m'as fait découvrir (et même aimer) pour les animaux, le dessin et la pêche! Merci de m'apaiser, me faire rire chaque jour et me donner l'énergie pour repousser mes limites. J'ai hâte de continuer ce beau voyage à tes côtés et de vivre tous les jolis projets qui nous attendent !

Ines, *La vida es un Carnaval* avec toi ! Toujours présente pour les meilleurs moments comme dans ceux de doute. Je suis très fière d'être ton amie, que les aventures de la Vida Loca continuent pour toujours ! Cécile, je suis tellement heureuse que l'on se soit rapprochées et d'être bientôt ta coloc' !

Eve, *Coco Câline*, mon ange gardien, une amitié très belle, écrite au *lipstick*, s'est créée si naturellement entre nous. La coloc, les voyages, les soirées et discussions qui s'éternisent… A partager autant nos *Blue Monday* que nos *Baies des anges*, on a dépassé aisément toutes les *Limites*, simplement. J'ai hâte que ça continue ! Merci tout simplement d'être là. Continue de croquer la vie et profite de tout le bonheur qui t'entoure.

Alicia, nos points communs et différences nous ont très vite rapprochés, merci pour tes conseils, je serai toujours là pour toi !

Christian, *Shut up and dance with me*, pour tous ces moments improbables et inoubliables, ces discussions interminables, ces soirées improvisées, je te remercie d'être toujours là !
Olivier B. et Clément M., une amitié soudée pendant notre externat qui se poursuit de voyages et weekend de retrouvailles, toujours *Más Más* souvenirs !

Aux Proprios : Alexis, Fred, Yoann, Jimmy, Wano, Aimée, Leny, Solène, Théo, Anna, Charles et tout le reste de la clik' *On se connait* comme dit Youssoufa, l'Amitié dure depuis plus de 10 ans c'est prévu de continuer ! Merci à tous pour vos bonnes ondes, pour m'avoir permis de garder le cap dans les moments difficiles de mes études de médecine et d'avoir partagé les meilleurs. Longue vie aux Proprios !

Au G6, Marine, Diane, Magalie, Aude et Julia, *Le Soleil, Le Soleil*, notre Amitié dure depuis plus de 20 ans maintenant, pour ces années où l'on a grandi ensemble, nos souvenirs aux quatre coins du monde, nos fou-rires, nos débats, nos déguisements…

A Juliette Bonhoure, pour notre amitié d'acier qui est née certes d'une façon particulière mais nous a liée pour la vie. Pour ton sourire à toute épreuve, pour m'avoir fait voir les choses du bon côté quand j'en ai eu besoin, pour ta joie de vivre entrainante !

Elisa, ma belle, je suis si heureuse que l'on continue à partager des moments ensemble, je te souhaite plein de bonheur avec PE et ta magnifique Jade.

Nilu, pour tous ces verres (ou plutôt bouteilles) de rosé, ces fous rires, ces heures qui passent si vites avec toi.

A mes coloc' : Arnaud pour ces séries débiles que l'on regardait à l'appart d'Annecy et les dégustations de whisky, Flo pour tes talents de cuistot et la bonne humeur qui animait la maison de l'Ile Verte. A la maison de Meylan et la bienveillance qui y régnait. Merci d'avoir été ma famille pendant ces 2 années ; *Scarface* résonne encore dans mes oreilles ! Clément C. pour ta passion pour l'escalade et nos petites discussions dans la cuisine. Maxime pour ta bonne et mauvaise humeur et tes tubes de bon matin. Marc pour nos journées posées à la maison et tes pâtes maison à n'importe quelle heure. Camille pour nos discussions à refaire le monde, nos sessions yoga et shopping, que notre amitié dure longtemps, *Time of my life* ! Thibault pour ta motivation au sport sans relâche et nos petites discussions. Et Eve et Agathe pour le bonheur que c'était de vivre avec vous. Merci à Maria pour avoir si bien tenue la maison.
A la team Copains de Grenoble, Marjo, Marie, Théo, Claire, Hugo, Cécile, pour les sorties skis, les randos, les soirées dans la cave, les jeux de sociétés parfois tendus !

A Golfy pour m'avoir accompagné partout pendant mon internat, pour ces heures de karaoké, pour ces rencontres que l'on a faites ensemble et pour m'avoir protégé jusqu'à ton dernier jour.
A la salsa, Roberto et Peggy, Nicky et Daddy, les piliers de mon entrain.

TABLE DES MATIERES

PREAMBULE …….....15

PROBLEMATIQUE DE L'ANALYSE……20

ARTICLE …….....21

Abstract.....22

Introduction.....23

Materials and Methods 24

Results.....28

Discussion.....32

Conclusion.....34

Ackowledgement……..……..34

CONCLUSION DE LA THESE……35

References.....36

SERMENT D'HIPPOCRATE.....41

RESUME (français)……..42

PREAMBULE

Epidémiologie/Généralités :

Les patients présentant une surdité sévère (70-90dB) à profonde (>90dB) souffrent d'un handicap auditif entrainant une perte de la communication ainsi que des répercussions sur le plan socio-professionnel importantes. Depuis les années 1980, une solution de réhabilitation pour ces patients est l'implantation cochléaire dont la technologie et les techniques de pose ne cessent de progresser. En France, on recense environ 1600 implantations cochléaires par an dont un peu plus de 600 enfants (données PMSI, Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information). Le registre EPIIC (Étude Post-Inscription des systèmes d'Implants cochléaires et du tronc cérébral) recensait 6 771 patients implantés en mai 2018.

Histoire de l'implantation cochléaire :

L'idée de l'implant cochléaire remonte à 1957 grâce aux travaux des français Charles Eyriès (otologiste et anatomiste) et André Djourno (professeur de physique médicale) qui sont parvenus à stimuler le nerf auditif d'un patient à partir d'un couple de bobines dont l'une d'elles était branchée à une électrode placée contre une des branches du nerf acoustique. Leurs travaux ont été repris en 1961 par William House à San Francisco qui a mis également au point un implant mono-électrode stimulant toutes les fibres du nerf auditif. Cette même année, Georg Von Békésy a reçu le Prix Nobel pour avoir démontré que les sons entraînent une vibration de la membrane basilaire, qui se propage de la base à l'apex de la cochlée sous forme d'ondes longitudinales. Celles-ci présentent des pics en divers endroits répartis selon la fréquence, à l'image des touches d'un piano : les graves vers l'apex, les aiguës vers la base. Des travaux conjoints entre otologistes et ingénieurs ont abouti à la mise au point d'un système multi-

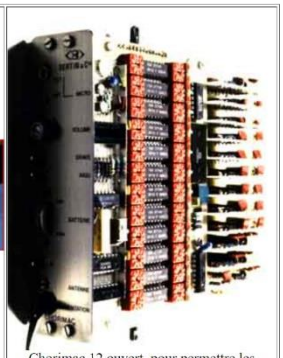
électrodes permettant de reproduire l'environnement sonore. La France, l'Autriche, l'Australie et les États-Unis sont les pionniers de la pose d'implants cochléaires.

La première implantation d'implant intra-cochléaire multi-électrodes au monde a eu lieu à l'hôpital Saint-Antoine en septembre 1976 par C.H. Chouard et Bernard Meyer. En France, la pose d'implants cochléaires s'est ensuite élargit à Montpellier (A.S Uziel) et Lyon (A Morgon). Les résultats présentés par les français au Symposium organisé par l'Académie des Sciences de New York en 1982 (48 patients français) dominent largement ceux des autres équipes (à peine 10 patients).

Jean Bertin (français) a développé le *Chorimac 12* comportant douze électrodes avec un émetteur plus petit. En 1987 il vend sa licence à MXM-Neurelec qui en 1991 MXM a sorti un système entièrement numérisé pouvant être adapté également aux cochlées ossifiées.



le Chorimac-12



Chorimac 12 ouvert, pour permettre les réglages à l'aide de potentiomètres mobilisés par un tourne-vis

http://recorlsa.online.fr/implantcochleaire/historicfrancais.html

L'implantation cochléaire à Grenoble

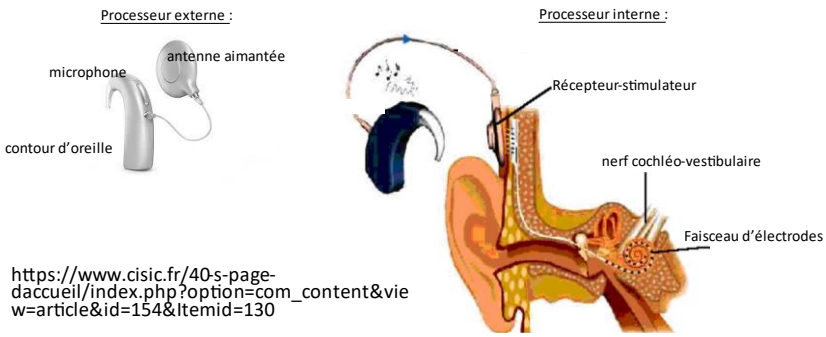
Le Pr Robert Charachon a initié la chirurgie d'implantation cochléaire et a également entretenu des liens avec les ingénieurs du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) de Grenoble pour le développement de la recherche dans ce domaine. Bernard Accoyet a soutenu sa Thèse de Médecine à la Faculté de Médecine de Grenoble en 1976, intitulée *Approche théorique et clinique du traitement des surdités totales par implantations chroniques d'électrodes intra-cochléaires multiples*, avant de se lancer dans sa carrière politique. C'est à partir des années 2000 que l'implantation cochléaire a pris son essor au CHU de Grenoble et depuis l'activité ne cesse de progresser avec une équipe d'implantation cochléaire composée aujourd'hui de six médecins, neuf régleurs, cinq orthophonistes, une psychologue et une infirmière coordonnatrice.

Le Centre d'Implantation Cochléaire des Alpes (CICA) créé en 2018, avec une antenne à Annecy, a pour but de permettre aux patients candidats à une implantation cochléaire ou porteur d'implant cochléaire un meilleur accès aux soins avec une prise en charge plus simple.

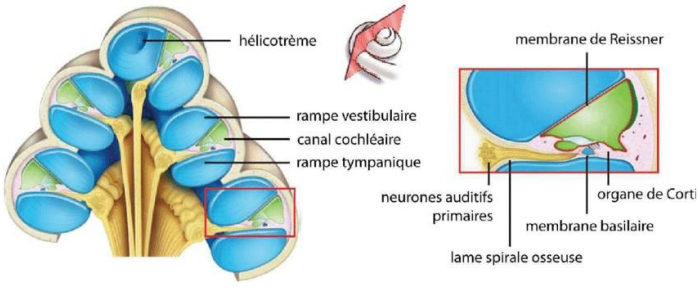
Principe de fonctionnement d'un implant cochléaire (IC) :

Le principe de l'implant cochléaire repose sur la transformation d'un message auditif en un message électrique. Il ne s'agit donc pas d'une amplification du signal sonore comme pour les autres systèmes d'aides auditives, mais d'une transformation de celui-ci. Le signal acoustique est traité par le dispositif médical permettant la stimulation des fibres du nerf cochléaire jusqu'aux voies auditives centrales permettant d'activer les centres de la discrimination des sons et de la parole du cerveau.

Un implant cochléaire se compose d'un processeur interne et d'un processeur externe (Figure ci-dessous). Le processeur externe se présente sous la forme d'un contour d'oreille et comprend le microphone, le système de traitement du signal, la source d'énergie et un câble avec une antenne. L'antenne circulaire est localisée derrière le pavillon de l'oreille en regard du récepteur qui a été placé chirurgicalement sous la peau. Cette antenne permet le transfert des informations traitées par le processeur à travers la peau grâce à un aimant. Le signal mis en forme par le processeur vocal est ainsi transmis au stimulateur sous-cutané par couplage électromagnétique, assurant un passage transcutané à vitesse rapide. Le processeur interne est placé chirurgicalement au cours d'une intervention sous anesthésie générale par un chirurgien otologiste qualifié. Il comprend un récepteur sous-cutané placé au niveau de l'os mastoïdien qui reçoit les stimulations par voie transcutanée et les transfère aux différentes électrodes. Ces électrodes sont localisées sur un porte-électrode inséré dans la rampe tympanique de la cochlée par le chirurgien. A chaque électrode est appliquée une gamme fréquentielle définie par une cartographie de réglage.



https://www.cisic.fr/40-s-page-daccueil/index.php?option=com_content&view=article&id=154&Itemid=130



https://www.researchgate.net/figure/Coupe-transversale-de-lacochlee-La-cochlee-est-formee-de-deux-rampes-et-dun-canal_fig3_331628631

Indications :

En France, les recommandations de la pose d'implant cochléaire sont définies par la Haute Autorité de Santé (HAS) :

- Niveau de discrimination inférieur ou égal à 50 % lors de la réalisation des tests d'audiométrie vocale avec la liste monosyllabique de Fournier (ou équivalent) à une intensité de 60 dB en champ libre avec des aides auditives bien adaptées sans le support de la lecture labiale.
- Fluctuation de l'audition lorsque le retentissement sur la communication est majeur.
- Surdité unilatéral sévères à profondes avec acouphènes invalidants, après échec ou inefficacité des systèmes CROS ou à ancrage osseux (indication récente).

Lorsque cette indication est respectée l'implantation cochléaire est prise en charge à 100% par la sécurité sociale.

Différents types d'implants cochléaires :

Quatre fabricants développent des implants cochléaires dans le monde : MED-EL (autrichien), Oticon (danois), AB (suisse) et Cochlear (australien). Les prototypes d'implants cochléaires ont énormément évolué, le boitier de la taille d'un paquet de cigarettes a été miniaturisé au contour d'oreille en 1995. Il existe une large gamme d'implants cochléaires qui varies en fonction des caractéristiques du porte-électrode : longueur, rigidité, nombre d'électrodes (12 à 24 selon les marques) et approche théorique des différentes structures de la cochlée : proche du mur latéral (dites *lateral wall*), proche du modiolus (dites *perimodiolar*) et au milieu de la rampe tympanique (dites *midscala*). Aujourd'hui il n'existe pas de recommandation claire permettant de définir en préopératoire le type d'implant cochléaire adapté à chaque patient.

Parcours de l'implantation cochléaire :

L'implantation cochléaire par le chirurgien puis le travail de réhabilitation auditive du patient sont le fruit d'un travail pluridisciplinaire en pré, per et post-opératoire. Le bilan préopératoire comprend des examens d'imagerie (scanner et/ou IRM), une étude des fonctions vestibulaires du patient, un entretien psychologique et une consultation avec un orthophoniste spécialisé dans ce domaine.

La qualité de la réhabilitation auditive dépend de paramètres intrinsèques au patient (âge, étiologie de surdité, audition résiduelle...), de facteurs non liés au patient (insertion en rampe tympanique, insertion complète, angle d'insertion, décalage tonotopique entre la cartographie de réglage de l'implant et la tonotopie cochléaire du patient) ainsi que de la qualité de la rééducation orthophonique post-opératoire et du réglage de l'implant cochléaire.

PROBLEMATIQUE DE L'ANALYSE

L'analyse de scanner du rocher de l'os temporal en coupes fines permet de mesurer les paramètres morphologiques cochléaires ainsi que d'évaluer précisément la position de l'implant cochléaire en post-opératoire. Il est par ailleurs possible de déterminer la répartition tonotopique de la cochlée en différents et ainsi de calculer le décalage entre la fréquence allouée à chaque électrode et la fréquence correspondante à ce même endroit de la cochlée du patient. Par exemple une électrode réglée pour stimuler dans un intervalle centré sur 2000 Hertz, ne sera pas forcément exactement localisée au niveau de la bande fréquentielle centrée à 2000 Hertz sur la cochlée du patient.

Ce sont ces différents paramètres (morphologie cochléaire, insertion de l'implant, tonotopie de la cochlée) qui ont été analysés pour cette étude dans le but de les corréler entre eux afin de chercher à réduire le décalage tonotopique. Dans le but d'uniformiser les résultats obtenus nous avons sélectionné les patients porteurs d'un seul type d'implant cochléaire : le Flex^{28} de la marque MED-EL.

Ce travail a fait l'objet d'un article accepté pour publication à la revue *Otology and Neurotology*. Nous vous proposons ici le papier correspondant intitulé « Correlation between cochlear length, insertion angle and tonotopic mismatch for MED-EL Flex^{28} electrode array ». DOI : 10.1097/MAO.0000000000003337

Correlation between cochlear length, insertion angle and tonotopic mismatch for MED-EL Flex^{28} electrode array.

N. Dutrieux[1,2], R. Quatre[1,2], V. Péan[3], S. Schmerber[1, 2, 4]

1 : Department of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery, Grenoble Alpes University Hospital, France

2 : Medical Faculty, University of Grenoble Alpes, Grenoble, France

3 : MED-EL, France

4 : Brain Tech Inserm Laboratory, UMR 1205, University of Grenoble Alpes, Grenoble, France

Corresponding author: DUTRIEUX Noémie. Department of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery, Grenoble Alpes University Hospital, France. Tel : +33 (0)4 76 76 56 56, e-mail: ndutrieux@chu-grenoble.fr

Conflict of Interest Statement: The authors have no conflicts of interest to declare.

Keywords : cochlear implant; cochlear length; insertion angle; tonotopic mismatch

Abstract :

Objective: To investigate the relationship between cochlear length, insertion angle, and tonotopic mismatch and to compare the tonotopic mismatches with respect to the spiral ganglion and the organ of Corti.

Study design: retrospective.

Setting: tertiary referral center with cochlear implant program.

Patients: Analyses of patients' computed tomography images after cochlear implant surgery.

Intervention: Cochlear implantation with 28-mm-long straight lateral wall electrode arrays.

Main Outcome Measure: Cochlear length, insertion angle and insertion depth were assessed using the OTOPLAN software. Tonotopic mismatch for each electrode contact was estimated using the Greenwood (organ of Corti) and the Stakhovskaya (spiral ganglion) maps and compared.

Results: 106 cochleae were analysed. 99% of the electrode arrays were located in the tympanic ramp. The insertion was complete in 96% of cases. The mean cochlear length was 34.5mm and the mean insertion angle of the apical electrode was 545°. Cochlear length was negatively correlated with the insertion angle of the contacts E1 to E9 (all $p<0.004$). The tonotopic mismatch was greater at the organ of Corti than at the spiral ganglion. It was also greater at the organ of Corti in larger cochleae (correlation with mismatch for E1 $r=0.421$, $p<0.0001$) and in the apical than in the middle and basal regions of the cochlea.

Conclusion: Small cochlea size corresponded to higher insertion angle and reduction of tonotopic mismatch on a 28-mm-long straight lateral wall electrode array. Tonotopic mismatch could be minimised preoperatively by choosing electrode arrays according to the individual cochlear morphology and postoperatively by appropriate frequency fitting.

Introduction :

The performance of a cochlear implant (CI) depends on many factors, including aetiology of deafness (1), duration of hearing deprivation (1, 2), age at implantation (1, 3, 4), degree of residual hearing (5), time of deafness onset (pre- or post-lingual) (6), presence of translocation (3, 7, 8), completeness and depth of insertion (3, 8, 9), proximity to modiolus, implant settings, and, finally, brain plasticity of the CI recipient. (4, 10, 11).

Knowledge of individual cochlear morphology is necessary for the understanding of many factors influencing implant performance. The size of the cochlea does not change after birth (12-15). It is defined as the length of the scala media from the round window to the helicotrema (16) and varies between 25 and 45 mm (4, 15-21). Whereas the size of the cochlea was initially evaluated based on histological sections of the temporal bone, it is now determined using computed tomography (CT), which allows better understanding of the cochlear morphology and better electrode array placement (22-24).

In 1961, Greenwood et al. proposed for the first time a formula to estimate cochlear tonotopy on the basilar membrane at the level of the organ of Corti (25, 26). Another tonotopic map at the level of the spiral ganglion was later established by Stakhovskaya et al. in 2006 (27, 28).

Although CI manufacturers continuously optimize the design of their electrode arrays and although each electrode contact can be fitted postoperatively to reproduce the natural tonotopy of the cochlea as closely as possible, tonotopic mismatches (also called frequency-to-place mismatches) still occur. Detrimental effects of tonotopic mismatch on CI performance and users' adaptation time are well-established (29-33). These effects are particularly troublesome for users with post-lingual deafness (34). However, the role of the electrode array length and insertion angle is still debated (35).

The first objective of the study was to determine the relationship between cochlear length, insertion angle and tonotopic mismatch at the organ of Corti and the spiral ganglion in users of

a 28-mm-long straight lateral wall electrode array with 12 contacts designed for maximum cochlear coverage. It was selected because it consistently showed more promising results in terms of complete insertion rates, insertion angles, tonotopic mismatch, and audiometric scores compared to other electrode arrays (30, 33, 36, 37). The second objective was to compare the mismatches with respect to the spiral ganglion and the organ of Corti.

Material and methods

Participants

A retrospective study was carried out between September 2012 and August 2019 in the Grenoble University Hospital, France. The protocol was validated by the local ethics committee (CECIC Rhône-Alpes-Auvergne, France, IRB 5891). The participants included in the study were informed of the protocol and received a non-opposition form. Demographic data on gender, age, aetiology and age at implantation were collected. The participants were over 18 years old, presented with severe-to-profound hearing loss and had a unilateral or bilateral CI placement (38). They all received a MED-EL cochlear implant with a MED-EL Flex^{28} electrode array (MED-EL, GmbH, Innsbruck, Austria) which is a 28-mm-long straight lateral wall electrode with 12 contacts. Only users of an electrode array supplied with a FS4 or FS4p coding strategy (fitting frequency range: 100-8500 Hertz, Hz) and a complete insertion with 12 active electrodes were included in the analysis of tonotopic mismatch. All of them had the default fitting frequencies defined by the MED-EL fitting software (Maestro, Version 7, MED-EL GmbH). Individuals with cochlear malformation were not included in the study.

Surgical procedure

Cochlear implantation was performed as an outpatient surgery using standard mastoidectomy, posterior tympanotomy and round window approach, which allowed a natural approach to the cochlea.

The round window was prepared by removing the posterosuperior bony overhang from the round window niche. A hearing preservation technique was performed by making a microincision at the anterior third of the round window membrane with a 26 gauge needle. No perilymph aspiration was performed. The entire electrode array was slowly inserted into the tympanic ramp of the cochlea. Postoperatively, each patient underwent either thin-slice CT (Revolution GSI, General Electric, United States, detector 20mm, scanning speed 21.25mm/s, field of view 11cm, slice section 625µm) or cone beam CT (5G NewTom, Verona, Italy, detector 20mm, field of view 12cm, 18 seconds/360 degree rotation, slice section 125µm).

Image Analysis

Image analysis was performed with the OTOPLAN version 1.2 software (CAScination AG, Bern, Switzerland in collaboration with MED-EL, Innsbruck, Austria). The key points in the cochlea (modiolus, round window, lateral wall on the basal turn, apex, lower extremity) and 12 electrode contacts were marked in a manually reconstructed 3D space (coronal section shown in Fig. 1). Cochlear duct length (CDL) was estimated using the Alexiades's formula $CDL(oc) = 4.16A - 4$, where A is the length of the basal turn of the cochlea and *oc* is the organ of Corti (16). Complete insertion of the electrode array was achieved when all 12 contacts were placed within the cochlea. Presence of at least one electrode contact outside the round window was classified as partial insertion. The array insertion angle was defined by the angular position of the apical electrode contact E1 (39). It was determined automatically for each electrode

contact and used to approximate the cochlear place frequency based on the organ of Corti or the spiral ganglion map [31]. CDL and insertion angle were measured for 106 cochleae.

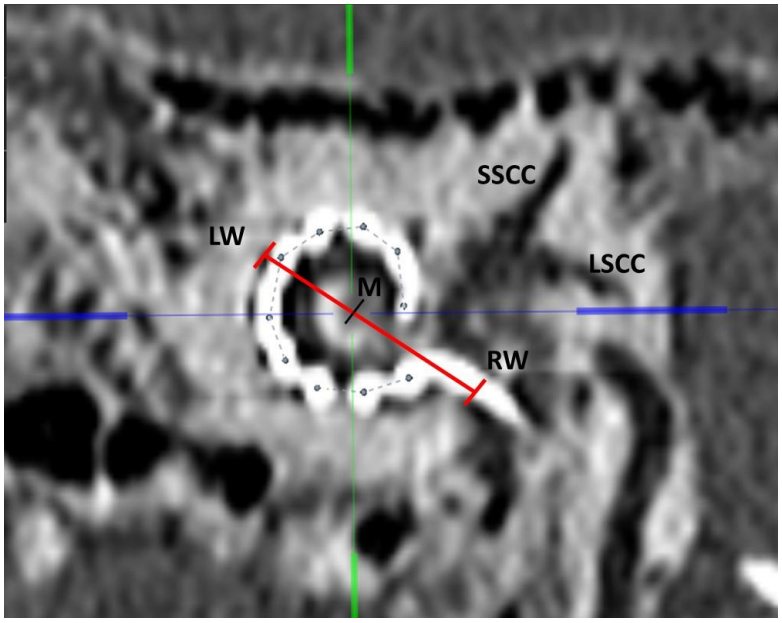


Fig. 1. Cochlear view. Computed tomography section showing position of 28-mm-long straight lateral wall electrode array. Electrodes E12 to E3 are visible on this cochlear view. Electrodes E2 and E1 are apical electrodes. Red line: measure of the length A from the round window (RW) to the opposite lateral wall (LW) passing through the modiolus (M). SSCC: superior semi-circular canal, LSCC: lateral semi-circular canal.

Afterwards only patients with FS4 and FS4p strategy and complete insertion with 12 active electrodes were selected to study the pitch mismatch because for the calculation of the mismatches the same fitting frequency map is needed for all subjects. All the patients had the default fitting frequencies from 100 Hz to 8500 Hz (shown Fig. 2).

The cochleae of the patients with the FS4 or FS4p coding strategy were classified into 3 groups according to length: small (< 33.3 mm), medium-sized (33.3-36.2 mm), and large (> 36.2 mm). The tonotopic map was determined according to Greenwood et al. (26) at the level of the organ of Corti and according to Stakhovskaya et al. (27) at the level of the spiral ganglion.

The frequencies fitted to the electrodes and the frequencies of the cochlear tonotopy were expressed in Hertz. The tonotopic mismatches calculated as the difference between them, were expressed in semitones, a musical unit corresponding to one twelfth of an octave.

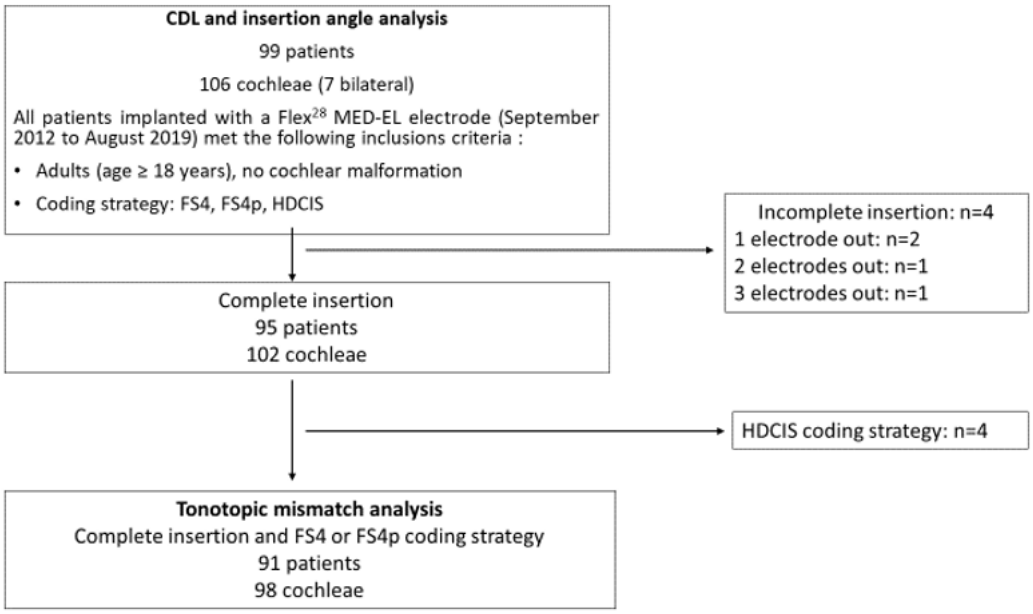


Fig. 2. Flow Chart

Statistical analysis

Statistical analysis was carried out using XLSTAT software (Version 2012.4.02). Mean, standard deviation (SD) and 95% confidence interval were calculated for the quantitative variables. Cochlear length in men and women was compared using Student t-test and Kolmogorov-Smirnov test. Correlation between cochlear length and insertion angle, and cochlear length and tonotopic mismatch was expressed using the Pearson correlation coefficient. The tonotopic mismatch between the apical electrode contact and the organ of Corti in cochleae of different length was compared using Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test.

For the statistical tests, the significance was set at 0.05. A Bonferroni correction was applied to the analysis of the correlations with the results of the 12 electrode contacts (i.e. $p < 0.004$).

Results

Participants

Ninety-nine participants took part in this study (forty-seven women; mean age at implantation: 63 years, SD = 16). Seven were bilaterally implanted, i.e. there were 106 implanted cochleae in total. 91.5% of the implants were placed by a senior surgeon and 8.5% by a junior surgeon. The aetiologies of hearing loss were : progressive sensorineural hearing loss (32.1%), sudden deafness (10.4%), Meniere's disease (11.3%), otosclerosis (5.7%), congenital hearing loss (13.2%), traumatic hearing loss (4.7%), ototoxicity (7.5%), meningitis (2.8%), multi-operated cholesteatoma (2.8%), acoustic neuroma (1.9%), and unknown (7.5%). 72.0% received a traditional CT scan and 28.0% received a cone beam CT scan.

Cochlear measurements

CT scans demonstrated tympanic ramp insertion in all cases except one, when vestibular ramp insertion was deliberately chosen during the surgery due to ossification of the round window. No translocation was observed and insertion was complete for 96.2% of the 106 electrode arrays.

The 106 CDL values were normally distributed with a mean of 34.5 mm (SD = 3.5) as shown in Table 1. There was no significant difference by gender: the mean CDL was 34.9 mm (SD=3.4) in men and 34.1 mm (SD=3.5) in women. The mean and distribution of CDL were not significantly different between men and women, either (respectively $p=0.212$ and $p = 0.685$).

The mean insertion angle of the apical contacts was 545° (SD = 60) (shown in Table 1) and 100% of the implants had an insertion angle greater than 360°, i.e. beyond the first turn of the cochlea (shown in Fig. 3).

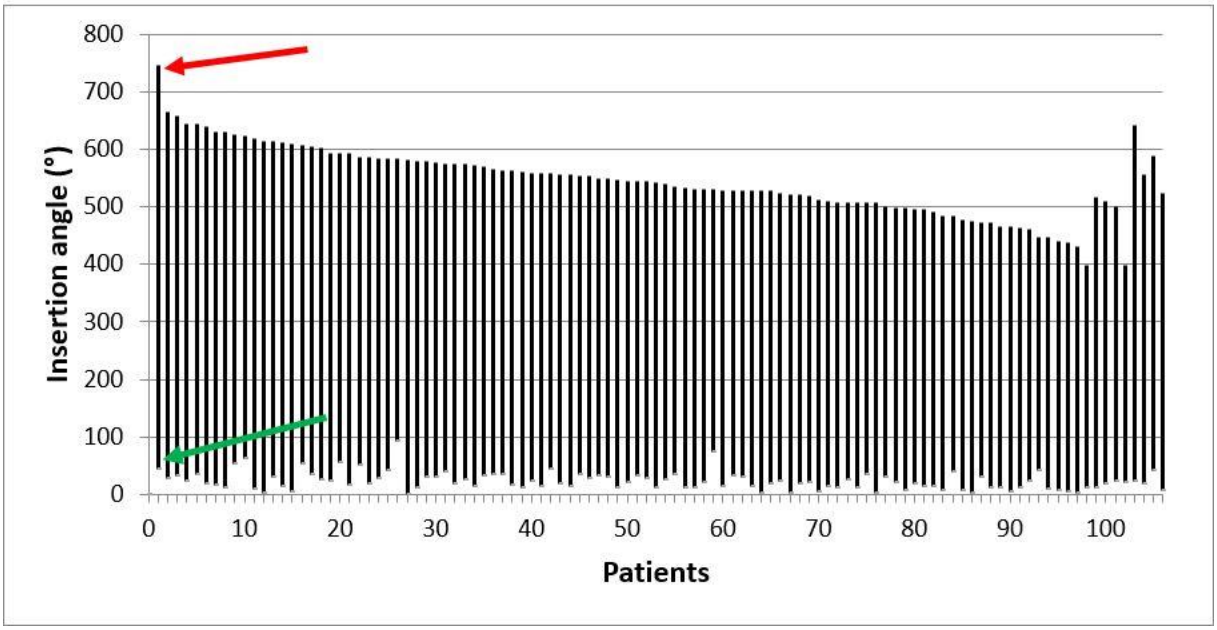


Fig. 3. Representation of the insertion angles of the apical electrode (red arrow) and of the basal electrode (green arrow). Patients 99 to 102 had incomplete insertion. Patients 103 to 106 had HDCIS strategy.

For the 98 cochleae of patients with FS4 or FS4p coding strategy and complete insertion with 12 active electrodes (Table 1), the mean CDL in large cochleae (n = 33) was 38.3 mm (SD=1.5) and the mean insertion angle of the apical contact was 518° (SD=55). The mean CDL in medium-sized cochleae (n = 33) was 34.7 mm (SD=0.8) and the mean insertion angle was 556° (SD=50). The mean CDL in small cochleae (n = 32) was 30.6 mm (SD=1.9) and the mean insertion angle was 565° (SD=64). The CDL was negatively correlated with the insertion angle of every electrode contact. This association was statistically significant for electrode contacts E1 to E9 (all $p < 0.004$). The strongest correlation was between the CDL and the insertion angle of E1 ($r = -0.419$, $p < 0.0001$).

Cochlear size	n=	Cochlear lenght (mm) : mean +/- standard deviation	Cochlear lenght (mm) : $CI_{95\%}$	Insertion angle (°) : mean +/- standard deviation	Insertion angle (°) : $CI_{95\%}$
All	106	34.5 +/- 3.5	[33.8-35.2]	545 +/- 60	[533 - 557]
All 3 groups	98	34.6 +/- 3.5	[33.9-35.3]	546 +/- 59	[534 - 558]
small	32	30,6 +/- 1.9	[29.9-31.3]	565 +/- 64	[542 - 588]
medium	33	34.7 +/- 0.8	[34.4-35]	556 +/- 50	[538 - 574]
large	33	38.3 +/- 1.5	[37.7- 38.8]	518 +/- 55	[499 - 537]

Table 1

Tonotopic mismatch

The tonotopic mismatch in all cochleae varied between -6.1 and -15.6 semitones according to the Stakhovskaya map and between -10 and -16 semitones according to the Greenwood map, depending on the position and the fitting frequency of the electrode contact (shown in Fig. 4).

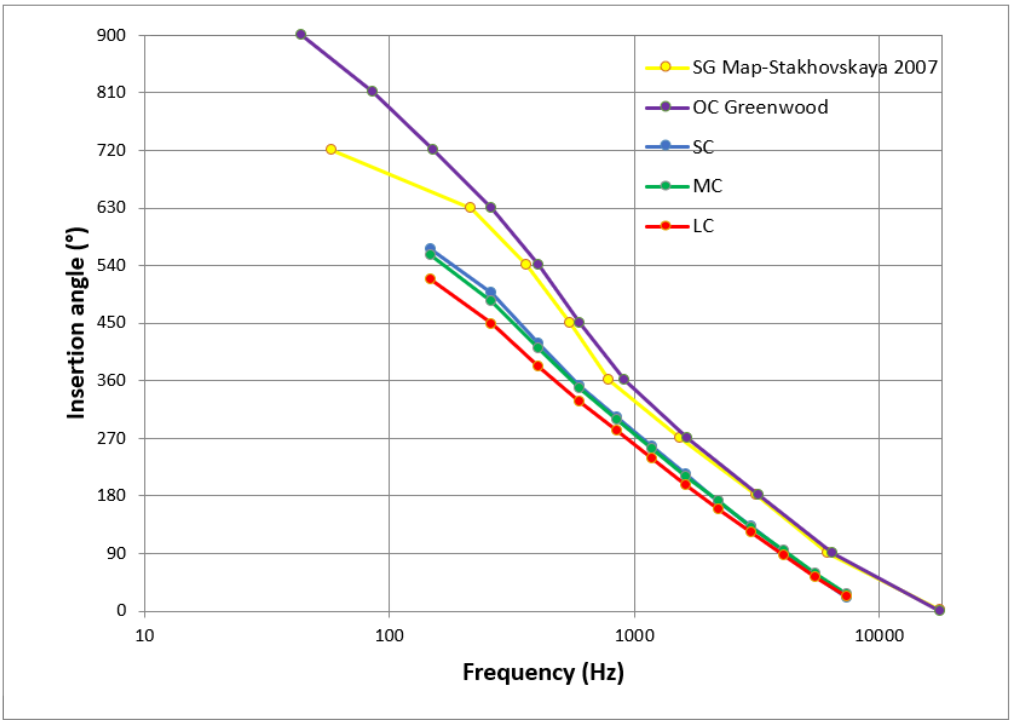


Fig. 4. Representation of the frequencies allocated to the electrodes for the 3 groups of cochlea lengths: large cochlea (LC, red), middle cochlea (MC, green) and small cochlea (SC, blue) and tonotopy to the spiral ganglion according to Stakhovskaya (yellow), to the organ of Corti according to Greenwood (purple).

According to both maps, the mismatch was smaller in small and medium-sized cochleae than in large cochleae (shown in Fig. 5). The mismatch between the apical contact and the organ of Corti was significantly different between large (mean = -18.6 semitones; SD=5.2) and medium-sized cochleae (mean = -15.0; SD=4.8) and between small (mean = -14.1; SD=6.3) and large cochleae (Kruskal-Wallis: $p = 0.005$; post-hoc Dunn's test: $p = 0.007$ and $p=0.003$). The shift in tonotopy was especially pronounced beyond 360° for all 3 groups of cochleae (shown in Fig. 5). The difference in tonotopy between the groups was marked between the insertion angles of 90° and 450° (shown in Fig. 5). Therefore, the smaller were the cochlea, the smaller was the mismatch between its natural tonotopy and the 28-mm-long straight lateral wall electrode array. The CDL was correlated with the (negative) mismatch at the contacts E1 to E9 (all $p < 0.004$ and for E1: $r = -0.421$, $p < 0.0001$). The tonotopic mismatch was greater at the apical contacts and the last basal contact compared to the other contacts in the middle (shown in Fig. 5).

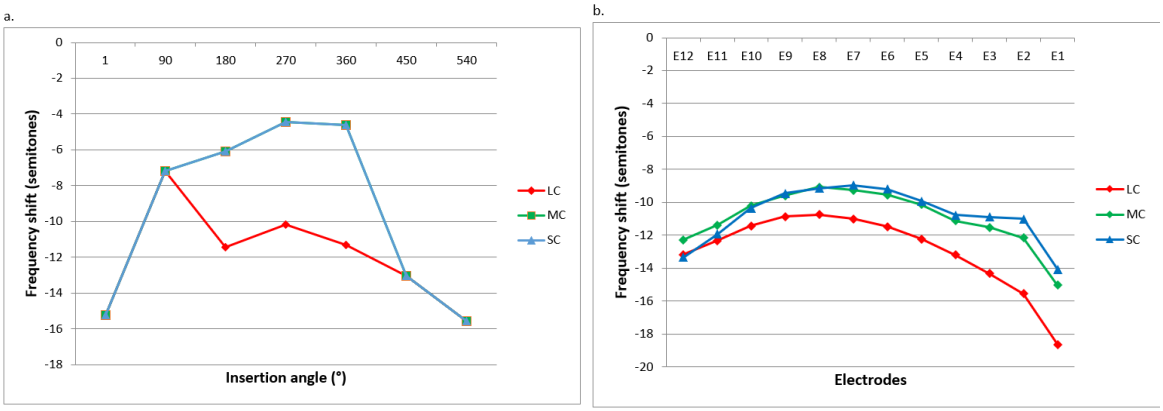


Fig. 5. Difference between the average frequency of the implant electrodes and the tonotopy for the 3 cochlea lengths: large cochleae (LC, red), medium-sized cochleae (MC, green) and small cochleae (SC, blue)
a. spiral ganglion tonotopy (Stakhovskaya)
b. organ of Corti tonotopy (Greenwood). Each point represents an electrode (E1: apical electrode, E12: basal electrode).

Discussion

This study demonstrated that small cochlea size was associated with higher insertion angle and smaller tonotopic mismatch in the users of a 28-mm-long straight lateral wall electrode array. The mean CDL of 106 cochleae (34.5 mm) was similar to the results of both histological (13, 14, 28) and imaging studies (15, 16, 30, 40-43). The rate of complete insertion of the 28-mm-long straight lateral wall electrode array (96.2%) was similar to the rate reported by Canfarotta et al. (95.5%) (30) and better than that reported by Franke-Trieger et al. (80%) (44). The mean insertion angle of the apical contact was 545°. It can vary between 469° and 587° according to other studies conducted with the same electrode array (30, 36, 37, 39, 44-46). A higher insertion angle was also reported to be associated with smaller tonotopic mismatch (36).

The 28-mm-long straight lateral wall electrode arrays approached the apex of the spiral ganglion as it is located at 720° according to Stakhovskaya et al. (27) and the Rosenthal canal stops at 565° according to Avci et al. (47). The critical band distance in the spiral ganglion are narrower at the apex than at the base due to the more tangential course of the nerve fibres (28), creating a point where multiple nerve fibres with narrower frequency bands converge (48). Therefore, the electrode arrays could also stimulate the apex of the organ of Corti.

Stimulating the apex of the cochlea has clear advantages, because this region carries essential information for speech understanding (9, 46), and users with longer electrodes have better audiometric scores (49) and music perception (50). However, the need to reach the apex remains controversial. Firstly, deep insertion could be traumatic for the fine structures of the apex (51), especially as the height of the tympanic ramp sharply decreases after 450° (47). Secondly, stimulation of the apex could be achieved at the expense of the basal region (8). The choice of insertion depth is therefore a compromise between optimal stimulation at the low frequencies and structure and residual hearing preservation.

This study assessed the tonotopic mismatch at the spiral ganglion according to Stakhovskaya and the organ of Corti according to Greenwood. The mismatch in semitone was smaller at the spiral ganglion compared to the organ of Corti. Therefore, tonotopically, the 28-mm-long straight lateral wall electrode arrays were located closer to the modiolus than to the organ of Corti.

The mismatch was more pronounced at the apex of the cochlea, which was also reported in other studies (30, 37). They highlighted a mismatch of 12-20 semitones beyond 270°, while the gap remained around 12 semitones at the more basal contacts. The mismatch observed at the basal contact could be explained by the proximity of the round window. The position of the last electrode varies a lot due to the larger diameter at the base of the tympanic ramp (52). Several studies have shown that a tonotopic mismatch of 3 mm or greater than 7 semitones leads to a drop in the audiometric scores (29-31).

Tonotopic mismatch requires considerable adaptation from implant users. Adaptation is possible thanks to central neural plasticity, which decreases with age. Older people exhibit deficits in temporal information processing and delays in sound processing (53). Cognitive alterations influence up to 20% of hearing performance with a CI (4). Unfortunately, neural adaptation is not sufficient to re-establish perfect frequency correspondence (34); therefore tonotopic mismatch should be minimised. Preoperatively, the choice of implant should be guided by the cochlear length of the prospective implant user. Intraoperatively, the electrode array should be inserted in the tympanic ramp without translocation and deep enough but without damaging the surrounding structures. Postoperatively, optimal fitting should be obtained.

As a limitation of the study, it would be interesting to correlate these observations to audiometric data. Previous studies analysing the relationship between audiometric scores and electrode array placement differed greatly in their methodology and conclusions (35): while

some observed a positive correlation between the insertion angle and audiometric scores (40, 45, 48), others showed no correlation (4, 54-56) or even a negative correlation (8); further research is warranted.

Conclusion

Our study demonstrated that small cochlea size corresponded to a higher insertion angle of the apical contact on a 28-mm-long straight lateral wall electrode array and smaller tonotopic mismatch both in the spiral ganglion and in the organ of Corti. Therefore, individual cochlea size could guide the preoperative choice of the electrode array to minimise tonotopic mismatch and facilitate adaptation. The array should be inserted in the tympanic ramp deep enough to stimulate lower frequencies while preserving the surrounding structures. In addition, knowing the precise location of each electrode contact might lead to improved frequency fitting postoperatively. That way, cochlear implant users could be able to benefit from better implant performance and shorter adaptation times.

Acknowledgement : The authors would like to thank Angelina Gurkina (MED-EL GmbH) for her medical writing services on a version of this manuscript.

THÈSE SOUTENUE PAR : DUTRIEUX Noémie

TITRE : CORRELATION BETWEEN COCHLEAR LENGTH, INSERTION ANGLE AND TONOTOPIC MISMATCH FOR 28 mm LONG STRAIGHT LATERAL WALL ELECTRODE ARRAY.

CONCLUSION :

La réhabilitation de la surdité sévère à profonde par implantation cochléaire est une modalité thérapeutique efficace qui vise depuis quelques années à une forte individualisation dans l'interface électrode-cochlée. Une analyse poussée des données anatomiques cochléaires, en pré et en post opératoire est un facteur clé de cette individualisation.
Cette étude rétrospective d'analyse des imageries post opératoire de patients porteurs d'implants cochléaires MED-EL Flex^{28} a montré que pour les cochlées de plus petites longueurs, l'angle d'insertion de l'électrode apicale était plus élevé et que le décalage fréquentiel entre la fréquence allouée aux électrodes et la tonotopie naturelle de la cochlée était moindre par rapport aux plus grandes cochlées, au niveau du ganglion spiral comme de l'organe de Corti.
Le choix individualisé de l'électrode en pré-opératoire, selon les caractéristiques morphologiques de la cochlée du patient permettrait de réduire le décalage fréquentiel et ainsi de faciliter la rééducation audio-phonologique du patient implanté. La chirurgie d'implantation vise une insertion de l'électrode non traumatique, dans la rampe tympanique de la cochlée, assez profonde pour stimuler les basses fréquences tout en préservant les structures fines. Ainsi, le réglage de l'électrode en post opératoire pourrait être facilité et personnalisé grâce à la connaissance précise de la localisation fréquentielle de chaque électrode. Les patients porteurs d'un implant cochléaire pourraient bénéficier de meilleures performances de l'implant et d'un temps d'adaptation à leur implant plus court.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 17/07/2021

LE DOYEN

Pr. Patrice MORAND

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

Pr. Christian Adrien RIGHINI

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES
Le Doyen de l'UFR de Médecine
Pr. Patrice MORAND

References

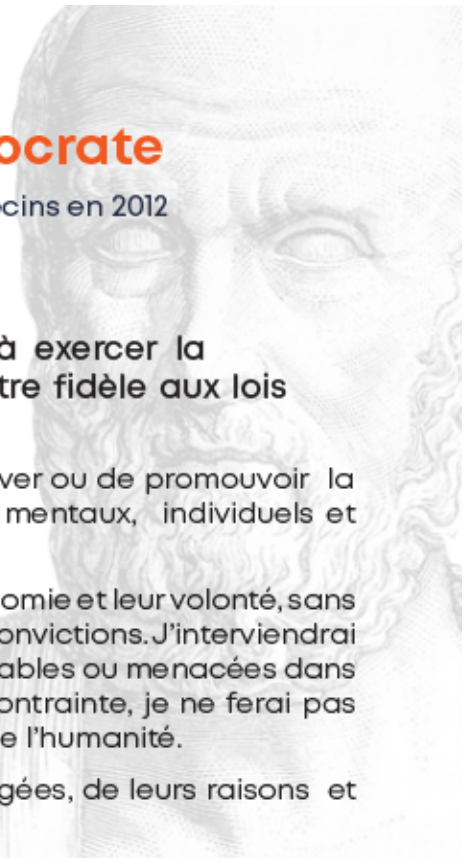
1. Blamey P, Artieres F, Baskent D, Bergeron F, Beynon A, Burke E, et al. Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: an update with 2251 patients. Audiol Neurootol. 2013;18(1):36-47.
2. Blamey PJ, Pyman BC, Gordon M, Clark GM, Brown AM, Dowell RC, et al. Factors predicting postoperative sentence scores in postlinguistically deaf adult cochlear implant patients. The Annals of otology, rhinology, and laryngology. 1992;101(4):342-8.
3. O'Connell BP, Cakir A, Hunter JB, Francis DO, Noble JH, Labadie RF, et al. Electrode Location and Angular Insertion Depth Are Predictors of Audiologic Outcomes in Cochlear Implantation. Otol Neurotol. 2016;37(8):1016-23.
4. Lee J, Nadol JB, Jr., Eddington DK. Depth of electrode insertion and postoperative performance in humans with cochlear implants: a histopathologic study. Audiol Neurootol. 2010;15(5):323-31.
5. Friedland DR, Venick HS, Niparko JK. Choice of ear for cochlear implantation: the effect of history and residual hearing on predicted postoperative performance. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2003;24(4):582-9.
6. Dawson PW, Blamey PJ, Rowland LC, Dettman SJ, Clark GM, Busby PA, et al. Cochlear implants in children, adolescents, and prelinguistically deafened adults: speech perception. Journal of speech and hearing research. 1992;35(2):401-17.
7. Adunka O, Kiefer J, Unkelbach MH, Radeloff A, Gstoettner W. Evaluating cochlear implant trauma to the scala vestibuli. Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery. 2005;30(2):121-7.
8. Finley CC, Holden TA, Holden LK, Whiting BR, Chole RA, Neely GJ, et al. Role of electrode placement as a contributor to variability in cochlear implant outcomes. Otol Neurotol. 2008;29(7):920-8.
9. Hochmair I, Arnold W, Nopp P, Jolly C, Muller J, Roland P. Deep electrode insertion in cochlear implants: apical morphology, electrodes and speech perception results. Acta oto-laryngologica. 2003;123(5):612-7.
10. Shepherd RK, Hardie NA. Deafness-induced changes in the auditory pathway: implications for cochlear implants. Audiology & neuro-otology. 2001;6(6):305-18.

11. Shepherd RK, Hartmann R, Heid S, Hardie N, Klinke R. The central auditory system and auditory deprivation: experience with cochlear implants in the congenitally deaf. Acta Otolaryngol Suppl. 1997;532:28-33.
12. Dimopoulos P, Muren C. Anatomic variations of the cochlea and relations to other temporal bone structures. Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987). 1990;31(5):439-44.
13. Hardy M. The length of the organ of Corti in man. American Journal of Anatomy. 1938;62(2):291-311.
14. Sato H, Sando I, Takahashi H. Sexual dimorphism and development of the human cochlea. Computer 3-D measurement. Acta oto-laryngologica. 1991;111(6):1037-40.
15. Wurfel W, Lanfermann H, Lenarz T, Majdani O. Cochlear length determination using Cone Beam Computed Tomography in a clinical setting. Hear Res. 2014;316:65-72.
16. Alexiades G, Dhanasingh A, Jolly C. Method to estimate the complete and two-turn cochlear duct length. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2015;36(5):904-7.
17. Dhanasingh A, Jolly C. An overview of cochlear implant electrode array designs. Hear Res. 2017;356:93-103.
18. Erixon E, Hogstorp H, Wadin K, Rask-Andersen H. Variational anatomy of the human cochlea: implications for cochlear implantation. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2009;30(1):14-22.
19. Escude B, James C, Deguine O, Cochard N, Eter E, Fraysse B. The size of the cochlea and predictions of insertion depth angles for cochlear implant electrodes. Audiol Neurootol. 2006;11 Suppl 1:27-33.
20. Rivas A, Cakir A, Hunter JB, Labadie RF, Zuniga MG, Wanna GB, et al. Automatic Cochlear Duct Length Estimation for Selection of Cochlear Implant Electrode Arrays. Otol Neurotol. 2017;38(3):339-46.
21. Rask-Andersen H, Liu W, Erixon E, Kinnefors A, Pfaller K, Schrott-Fischer A, et al. Human cochlea: anatomical characteristics and their relevance for cochlear implantation. Anat Rec (Hoboken). 2012;295(11):1791-811.
22. Marsh MA, Xu J, Blamey PJ, Whitford LA, Xu SA, Silverman JM, et al. Radiologic evaluation of multichannel intracochlear implant insertion depth. The American journal of otology. 1993;14(4):386-91.

23. Xu J, Xu SA, Cohen LT, Clark GM. Cochlear view: postoperative radiography for cochlear implantation. The American journal of otology. 2000;21(1):49-56.
24. Cohen LT, Xu J, Xu SA, Clark GM. Improved and simplified methods for specifying positions of the electrode bands of a cochlear implant array. The American journal of otology. 1996;17(6):859-65.
25. Greenwood DD. Critical bandwidth and the frequency coordinates of the basilar membrane. The Journal of the Acoustical Society of America. 1961;33(10):1344-56.
26. Greenwood DD. A cochlear frequency-position function for several species--29 years later. The Journal of the Acoustical Society of America. 1990;87(6):2592-605.
27. Stakhovskaya O, Sridhar D, Bonham BH, Leake PA. Frequency map for the human cochlear spiral ganglion: implications for cochlear implants. J Assoc Res Otolaryngol. 2007;8(2):220-33.
28. Sridhar D, Stakhovskaya O, Leake PA. A frequency-position function for the human cochlear spiral ganglion. Audiology & neuro-otology. 2006;11 Suppl 1(Suppl 1):16-20.
29. Başkent D, Shannon RV. Combined effects of frequency compression-expansion and shift on speech recognition. Ear and hearing. 2007;28(3):277-89.
30. Canfarotta MW, Dillon MT, Buss E, Pillsbury HC, Brown KD, O'Connell BP. Frequency-to-Place Mismatch: Characterizing Variability and the Influence on Speech Perception Outcomes in Cochlear Implant Recipients. Ear and hearing. 2020.
31. Fu QJ, Shannon RV. Effects of electrode configuration and frequency allocation on vowel recognition with the Nucleus-22 cochlear implant. Ear and hearing. 1999;20(4):332-44.
32. Svirsky MA, Silveira A, Neuburger H, Teoh SW, Suárez H. Long-term auditory adaptation to a modified peripheral frequency map. Acta oto-laryngologica. 2004;124(4):381-6.
33. Venail F, Mathiolon C, Menjot de Champfleur S, Piron JP, Sicard M, Villemus F, et al. Effects of electrode array length on frequency-place mismatch and speech perception with cochlear implants. Audiol Neurootol. 2015;20(2):102-11.
34. Svirsky MA, Fitzgerald MB, Sagi E, Glassman EK. Bilateral cochlear implants with large asymmetries in electrode insertion depth: implications for the study of auditory plasticity. Acta Otolaryngol. 2015;135(4):354-63.
35. Heutink F, de Rijk SR, Verbist BM, Huinck WJ, Mylanus EAM. Angular Electrode Insertion Depth and Speech Perception in Adults With a Cochlear Implant: A Systematic Review. Otol Neurotol. 2019;40(7):900-10.

36. Canfarotta MW, O'Connell BP, Buss E, Pillsbury HC, Brown KD, Dillon MT. Influence of Age at Cochlear Implantation and Frequency-to-Place Mismatch on Early Speech Recognition in Adults. Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery. 2020:194599820911707.
37. Landsberger DM, Svrakic M, Roland JT, Jr., Svirsky M. The Relationship Between Insertion Angles, Default Frequency Allocations, and Spiral Ganglion Place Pitch in Cochlear Implants. Ear and hearing. 2015;36(5):e207-13.
38. HAS. Traitement de la surdité par pose d'implants cochéaires ou du tronc cérébral 2007.
39. Boyer E, Karkas A, Attye A, Lefournier V, Escude B, Schmerber S. Scalar localization by cone-beam computed tomography of cochlear implant carriers: a comparative study between straight and periomodiolar precurved electrode arrays. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2015;36(3):422-9.
40. Kuthubutheen J, Grewal A, Symons S, Nedzelski J, Shipp D, Lin V, et al. The Effect of Cochlear Size on Cochlear Implantation Outcomes. Biomed Res Int. 2019;2019:5849871.
41. Zahara D, Dewi RD, Aboet A, Putranto FM, Lubis ND, Ashar T. Variations in Cochlear Size of Cochlear Implant Candidates. Int Arch Otorhinolaryngol. 2019;23(2):184-90.
42. Meng J, Li S, Zhang F, Li Q, Qin Z. Cochlear Size and Shape Variability and Implications in Cochlear Implantation Surgery. Otol Neurotol. 2016;37(9):1307-13.
43. Skinner MW, Ketten DR, Holden LK, Harding GW, Smith PG, Gates GA, et al. CT-derived estimation of cochlear morphology and electrode array position in relation to word recognition in Nucleus-22 recipients. Journal of the Association for Research in Otolaryngology : JARO. 2002;3(3):332-50.
44. Franke-Trieger A, Jolly C, Darbinjan A, Zahnert T, Mürbe D. Insertion depth angles of cochlear implant arrays with varying length: a temporal bone study. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2014;35(1):58-63.
45. O'Connell BP, Hunter JB, Haynes DS, Holder JT, Dedmon MM, Noble JH, et al. Insertion depth impacts speech perception and hearing preservation for lateral wall electrodes. Laryngoscope. 2017;127(10):2352-7.
46. Hamzavi J, Arnoldner C. Effect of deep insertion of the cochlear implant electrode array on pitch estimation and speech perception. Acta Otolaryngol. 2006;126(11):1182-7.

47. Avci E, Nauwelaers T, Lenarz T, Hamacher V, Kral A. Variations in microanatomy of the human cochlea. J Comp Neurol. 2014;522(14):3245-61.
48. Hilly O, Smith L, Hwang E, Shipp D, Symons S, Nedzelski JM, et al. Depth of Cochlear Implant Array Within the Cochlea and Performance Outcome. Ann Otol Rhinol Laryngol. 2016;125(11):886-92.
49. Buchman CA, Dillon MT, King ER, Adunka MC, Adunka OF, Pillsbury HC. Influence of cochlear implant insertion depth on performance: a prospective randomized trial. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2014;35(10):1773-9.
50. Roy AT, Penninger RT, Pearl MS, Wuerfel W, Jiradejvong P, Carver C, et al. Deeper Cochlear Implant Electrode Insertion Angle Improves Detection of Musical Sound Quality Deterioration Related to Bass Frequency Removal. Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology. 2016;37(2):146-51.
51. Adunka O, Kiefer J. Impact of electrode insertion depth on intracochlear trauma. Otolaryngol Head Neck Surg. 2006;135(3):374-82.
52. Koch RW, Elfarnawany M, Zhu N, Ladak HM, Agrawal SK. Evaluation of Cochlear Duct Length Computations Using Synchrotron Radiation Phase-Contrast Imaging. Otol Neurotol. 2017;38(6):e92-e9.
53. Goupell MJ, Gaskins CR, Shader MJ, Walter EP, Anderson S, Gordon-Salant S. Age-Related Differences in the Processing of Temporal Envelope and Spectral Cues in a Speech Segment. Ear Hear. 2017;38(6):e335-e42.
54. Holden LK, Finley CC, Firszt JB, Holden TA, Brenner C, Potts LG, et al. Factors affecting open-set word recognition in adults with cochlear implants. Ear Hear. 2013;34(3):342-60.
55. Kos MI, Boex C, Sigrist A, Guyot JP, Pelizzone M. Measurements of electrode position inside the cochlea for different cochlear implant systems. Acta Otolaryngol. 2005;125(5):474-80.
56. Lenarz T, Buechner A, Lesinski-Schiedat A, Timm M, Salcher R. Hearing Preservation With a New Atraumatic Lateral Wall Electrode. Otol Neurotol. 2020;41(8):e993-e1003.



Le serment d'Hippocrate

Texte revu par l'Ordre des médecins en 2012

« **Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.**

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.
Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.
Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque. »

SECTEUR SANTÉ
Université Grenoble Alpes

RESUME

Introduction : La qualité de réhabilitation audiophonologique des patients après la pose d'un implant cochléaire dépend de facteurs cliniques audiologiques, chirurgicaux de positionnement de l'implant cochléaire, liés au réglage de l'implant et aux facultés de plasticité centrale du patient. Selon la position des électrodes au sein de la cochlée, un décalage plus ou moins important existe entre la fréquence allouée à chaque électrode et la tonotopie naturelle de la cochlée. L'objectif de notre étude était d'évaluer la longueur cochléaire des patients, l'angle d'insertion de l'implant et la correspondance tonotopique chez des patients implantés cochléaires avec une électrode MED-EL Flex^{28}.

Matériels et méthodes : Il s'agissait d'une étude rétrospective, de patients implantés cochléaires avec un porte électrode MED-EL Flex^{28}, entre septembre 2012 et août 2019. La longueur cochléaire, l'insertion complète de l'implant en rampe tympanique, la présence d'une translocation et l'angle d'insertion de chaque électrode ont été évalués à l'aide du logiciel OTOPLAN. Les cochlées ont été réparties en 3 groupes selon leur longueur. La correspondance tonotopique cochléaire de chaque électrode a été estimée à partir de la formule de Greenwood sur l'organe de Corti et à partir de la formule de Stakhovskaya sur le ganglion spiral. Le décalage tonotopique pour chaque électrode a été étudié dans chaque groupe.

Résultat : Parmi les 106 cochlées implantées analysées, 99% des implants étaient situés en rampe tympanique. L'insertion était complète dans 96% des cas. La longueur cochléaire moyenne était de 34.5mm et l'angle d'insertion moyen de l'électrode apicale de 545°. La longueur cochléaire était corrélée négativement avec la position angulaire pour les électrodes E1 à E9 ($p<0,004$). Le décalage tonotopique entre la fréquence allouée à chaque électrode par défaut et la fréquence correspondante prédite sur la cochlée était plus importante sur l'organe de Corti (entre -10 et -16,2 semitons) par rapport au ganglion spiral (entre -6,1 et -15,6 semitons). Plus la cochlée était grande plus l'écart à la tonotopie de l'organe de Corti était important (coefficient de corrélation pour E1 $r=0,421$, $p<0,0001$). L'écart tonotopique était plus important à l'apex par rapport aux portions moyenne et basale de la cochlée.

Conclusion : Le choix individualisé de l'électrode en pré-opératoire, selon les caractéristiques morphologiques de la cochlée du patient permettrait de réduire le décalage fréquentiel et ainsi de faciliter la rééducation audio-phonologique du patient implanté. La chirurgie d'implantation vise une insertion de l'électrode non traumatique, dans la rampe tympanique de la cochlée, assez profonde pour stimuler les basses fréquences tout en préservant les structures fines. Ainsi, le réglage de l'électrode en post opératoire pourrait être facilité et personnalisé grâce à la connaissance précise de la localisation fréquentielle de chaque électrode. Les patients porteurs d'un implant cochléaire pourraient bénéficier de meilleures performances de l'implant et d'un temps d'adaptation à leur implant plus court.