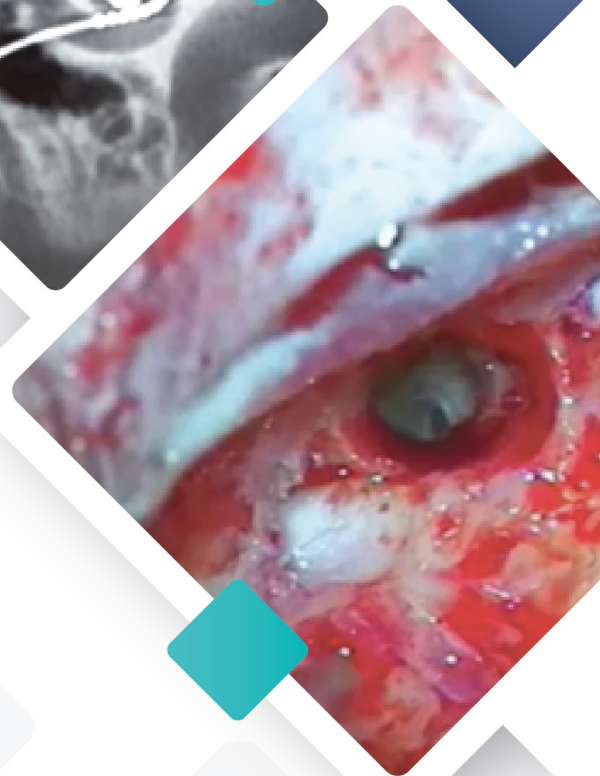




Rapport de la Société Tunisienne d'ORL
et de Chirurgie Cervico-Faciale

Implantation cochléaire: Chirurgie et suivi



Novembre, 2023

⊕ www.storl.net

COORDINATRICES

Houda CHAHED

(Maître de conférences agrégé en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Bouthaina HAMMAMI

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

GROUPE DE LECTURE

Abdelmonem Ghorbel

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Bouthaina Hammami

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Chiraz M'barek

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Ghazi Besbes

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Ilheme Charfeddine

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Imen Achour

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Ines Hariga

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Jamel Koubaa

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Khelifa Mighri

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Nabil Driss

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Najeh Beltaief

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Olfa Ben Gamra

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

Rim Lahiani

(Professeur en ORL et Chirurgie Cervico-Faciale)

AUTEURS ET CO-AUTEURS

Chapitre I: Introduction

Houda CHAHED

(Maître de conférences agrégé au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta Tunis)

Chapitre II: Indications de l'implantation cochléaire

Najeh BELTAIEF

(Professeur au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Amel KORBI

(Maître de conférences agrégé au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Fattouma Bourguiba de Monastir)

Chapitre III: Approches chirurgicales

Choix du côté à implanter

Houda CHAHED

(Maître de conférences agrégé au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Choix du porte-électrode

Houda CHAHED

(Maître de conférences agrégé au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Voies d'abord chirurgicales

Safa NEFZAOUI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Thameur de Tunis)

Accès à la rampe tympanique: fenêtre ronde ou cochléostomie

Safa NEFZAOUI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Thameur de Tunis)

Traitement médical péri-implantation cochléaire

Safa NEFZAOUI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Thameur de Tunis)

Choix du mode de stimulation

Syrine AYEDI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Bourguiba de Sfax)

Bouthaina HAMMAMI

(Professeur au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Bourguiba de Sfax)

Chapitre IV: Particularités des malformations de l'oreille interne

AZZA MEDIOUNI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Selima SIALA

(Médecin spécialiste en Imagerie Médicale, Tunis)

Chapitre V: Tests électrophysiologiques per-opératoires et implications

Houda CHAHED

(Maître de conférences agrégé au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Chapitre VI: Incidents per-opératoires et complications post-implantation cochléaire

Incidents per-opératoires

Maissa LAJHOURI

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU la Rabta de Tunis)

Najeh BELTAIEF

(Professeur au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU de la Rabta de Tunis)

Complications post-implantation cochléaire

Ines KHARRAT

(Assistante au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Bourguiba de Sfax)

Imen Achour

(Professeur au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Bourguiba de Sfax)

Bouthaina HAMMAMI

(Professeur au Service ORL et Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Habib Bourguiba de Sfax)

Chapitre VII: Activation et surveillance électrophysiologiques post-opératoire

Sawssen HADRICHE

(Professeur enseignant en sciences de la santé: Orthophonie, Ecole supérieure des sciences et techniques de la santé de Tunis)

Chapitre VIII: Evaluation des résultats post-implantation cochléaire

Rachida BOUATAY

(Maître de conférences agrégé au Service ORL, CHU Fattouma Bourguiba de Monastir)

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-------|--|-----------|
| I. | Introduction | 9 |
| II. | Indications de l'implantation cochléaire | 13 |
| A. | Indications chez l'enfant | 15 |
| 1. | Indications audiométriques | 15 |
| 2. | Indications selon l'âge | 15 |
| B. | Indications chez l'adulte | 16 |
| 1. | Indications audiométriques | 16 |
| 2. | Age de l'implantation cochléaire chez l'adulte | 17 |
| C. | Implantation cochléaire urgente ou prioritaire | 17 |
| D. | Implantation cochléaire bilatérale | 18 |
| E. | Implantation cochléaire et audition résiduelle | 18 |
| 1. | Implantation cochléaire et audition résiduelle homolatérale à l'implant | 19 |
| 2. | Implantation cochléaire et audition résiduelle controlatérale à l'implant | 19 |
| F. | Implantation cochléaire et surdité unilatérale | 20 |
| 1. | Chez l'enfant | 20 |
| 2. | Chez l'adulte | 20 |
| III. | Approches chirurgicales | 23 |
| A. | Choix du côté à implanter | 25 |
| 1. | Facteurs anatomiques | 25 |
| 2. | Degré de la perte auditive | 26 |
| 3. | Durée de la déprivation auditive | 27 |
| 4. | Données de l'examen vestibulaire | 29 |
| 5. | Facteurs neuro-physiologiques | 30 |
| B. | Choix du porte-électrode | 33 |
| 1. | Choix du type du porte-électrode | 33 |
| 1.1 | En l'absence d'audition résiduelle | 33 |
| 1.2 | En cas d'audition résiduelle | 34 |
| 2. | Choix de la longueur du porte-électrode | 35 |
| C. | Choix du mode de stimulation | 39 |
| 1. | Stimulation électrique exclusive | 39 |
| 2. | Stimulation électro-acoustique/ Stimulation électro-acoustique avec un complément électrique | 39 |
| 2.1. | Indications audiométriques | 41 |
| 2.2. | Préservation de l'audition résiduelle post-implantation | 42 |
| D. | Voies d'abord chirurgicales | 47 |
| 1. | Incision cutanée | 47 |
| 2. | Voies d'abord | 48 |
| 2.1. | Voie trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure | 48 |
| 2.2. | Voies sans mastoïdectomie | 49 |
| 2.2.1 | Approche trans-canaulaire dite de Veria | 49 |
| 2.2.2 | Approche supra-méatale | 50 |
| 3. | La chirurgie robotique | 51 |
| E. | Accès à la rampe tympanique: fenêtré ronde ou cochléostomie | 53 |
| F. | Traitement médical péri-implantation cochléaire | 57 |
| 1. | Place des glucocorticoïdes | 57 |
| 2. | Place de l'acide hyaluronique | 58 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| IV. | Particularités des malformations de l'oreille interne | 61 |
| A. | Classification et prise en charge des malformations de l'oreille interne | 62 |
| 1. | Aplasia labyrinthique complète (ALC, aplasia de Michel) | 63 |
| 2. | Otocyste rudimentaire | 64 |
| 3. | Aplasia cochléaire | 65 |
| 4. | Cavité commune | 65 |
| 5. | Hypoplasie cochléaire (CH) | 68 |
| 6. | Partition Incomplète (IP) | 72 |
| 6.1. | Partition incomplète de type I: IP-I | 72 |
| 6.2. | Partition incomplète de type II: IP-II | 74 |
| 6.3. | Partition incomplète de type III: IP-III | 76 |
| 7. | Aqueduc du Vestibulaire large (AVL) | 78 |
| 8. | Anomalies du canal cochléaire | 78 |
| B. | Anomalies du nerf cochléaire (NC) | 80 |
| 1. | Nerf cochléaire (NC) normal | 80 |
| 2. | Hypoplasie du nerf cochléaire | 80 |
| 3. | Agénésie du nerf cochléaire | 81 |
| 4. | Nerf cochléo-vestibulaire normal (NCV) | 82 |
| 5. | Hypoplasie du nerf cochléo-vestibulaire | 82 |
| 6. | Agénésie du nerf cochléo-vestibulaire | 82 |
| V. | Tests électrophysiologiques per-opératoires et implications | 87 |
| A. | Mesure des impédances télémétriques | 88 |
| B. | Mesure du potentiel d'action évoqué électrique | 89 |
| C. | Reflexe stapédien évoqué électrique | 90 |
| D. | Électro-cochléographie | 90 |
| VI. | Incidents per-opératoires et complications post-implantation cochléaire | 93 |
| A. | Incidents per-opératoires | 94 |
| 1. | Incidents lors de la mastoïdectomie | 94 |
| 2. | Incidents lors de la tympanotomie postérieure | 94 |
| 3. | Incidents lors de la cochléostomie | 95 |
| 3.1. | Difficultés d'identification de la fenêtre ronde | 95 |
| 3.2. | Geyser labyrinthique | 96 |
| B. | Complications post-implantation cochléaire | 98 |
| 1. | Complications liées à l'appareil | 98 |
| 1.1. | Panne de l'appareil | 98 |
| 1.2. | Déplacement de l'aimant et/ou du stimulateur-receveur | 101 |
| 1.3. | Migration de l'électrode | 101 |
| 2. | Complications infectieuses | 101 |
| 2.1. | Surinfection de la plaie opératoire | 101 |
| 2.2. | Otite moyenne aigue (OMA) et oto-mastoïdite aigue | 105 |
| 2.3. | Méningite | 106 |
| 3. | Complications liées à la technique opératoire | 108 |
| 3.1. | Paralysie faciale périphérique | 107 |
| 3.2. | Atteinte de la corde du tympan | 107 |
| 4. | Atteinte vestibulaire | 108 |
| VII. | Activation et surveillance électrophysiologique post-opératoire | 115 |
| A. | Mise en service du processeur vocal | 117 |
| B. | Réglage et programmation de l'implant | 118 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 1. | Identification du champ dynamique..... | 118 |
| 2. | Optimisation du programme..... | 119 |
| C. | Rythme de suivi des réglages..... | 120 |
| 1. | Programme de suivi des enfants implantés cochléaires..... | 121 |
| 2. | Programme de suivi des adultes implantés cochléaires..... | 121 |
| 3. | Composantes des rendez-vous de suivi..... | 121 |
| VIII. | Evaluation des résultats post-implantation cochléaire..... | 126 |
| A. | Moyens d'évaluation..... | 127 |
| 1. | Test de détection des six Sons de Ling (Six Ling Sound)..... | 127 |
| 2. | Audiométrie tonale en champ libre et vocale..... | 129 |
| 2.1. | Audiométrie tonale..... | 129 |
| 2.2. | Audiométrie vocale..... | 130 |
| 2.2.1. | Tests de reconnaissance des mots (dans le silence et dans le bruit)..... | 130 |
| 2.2.2. | Tests de reconnaissance des phrases (dans le silence et dans le bruit)..... | 131 |
| 3. | Scores d'évaluation post-implantation cochléaire..... | 134 |
| 3.1. | Test de CAP (Category of auditory performance)..... | 134 |
| 3.2. | Test de MAIS ET IT-MAIS (Meaningful auditory integration scale questionnaire)..... | 135 |
| 3.3. | Speech Intelligibility Rating (SIR)..... | 135 |
| 3.4. | Echelle d'évaluation APCEI..... | 136 |
| 3.5. | Autres tests..... | 138 |
| 4. | Questionnaires de qualité de vie..... | 138 |
| 4.1. | Questionnaires génériques..... | 139 |
| 4.2. | Questionnaires spécifiques..... | 139 |
| B. | Rythme de surveillance des résultats post-implantation cochléaire..... | 142 |
| C. | Résultats..... | 143 |
| 1. | Perception et reconnaissance des mots..... | 143 |
| 1.1. | Chez l'enfant..... | 143 |
| 1.2. | Chez l'adulte..... | 144 |
| 2. | Compétences linguistiques des patients implantés..... | 145 |
| 3. | Cognition et mémoire..... | 148 |
| 3.1. | Synthèse des aspects cognitifs et psycho-affectifs des enfants implantés..... | 148 |
| 3.2. | Spécificités de l'implantation de l'adulte..... | 149 |
| 4. | Qualité de vie post implant cochléaire..... | 149 |
| 4.1. | Evaluation de la qualité de vie des enfants implantés cochléaires..... | 150 |
| 4.2. | Evaluation de la qualité de vie des adultes implantés cochléaires..... | 150 |
| D. | Facteurs influençant les résultats post-implantation cochléaire..... | 151 |
| 1. | Facteurs liés à l'enfant..... | 151 |
| 1.1. | Age d'implantation..... | 151 |
| 1.2. | Genre..... | 152 |
| 1.3. | Comorbidités..... | 152 |
| 2. | Facteurs liés à la déficience auditive..... | 153 |
| 2.1. | Existence d'une audition résiduelle..... | 153 |
| 2.2. | Etiologie de la surdité..... | 154 |
| 3. | Facteurs externes..... | 154 |
| 3.1. | Environnement familial..... | 154 |
| 3.2. | Rééducation orthophonique..... | 155 |
| 3.3. | Appareillage conventionnel avant l'implantation..... | 155 |
| 3.4. | Appareillage bimodal..... | 155 |
| 3.5. | Implantation cochléaire bilatérale..... | 156 |

I. INTRODUCTION

INTRODUCTION

Houda CHAHED

L'implant cochléaire est actuellement admis comme un moyen fiable de réhabilitation de l'audition dans les surdités sévères à profondes aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant. Au fil des années et avec le développement technologique, le spectre de ses indications ne cesse de s'élargir pour inclure les surdités partielles, unilatérales avec une tendance de plus en plus importante vers l'implantation bilatérale aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte.

Les avancées galopantes de l'industrie des implants cochléaires ont aussi offert une variété d'implant de plus petite taille et une panoplie d'électrodes de formes et de longueurs différentes qui ont permis une chirurgie de plus en plus minimaliste et une implantation ciblée adaptée à chaque patient. En outre le développement de l'imagerie médicale et des expertises dans l'implantation cochléaire a permis l'implantation dans des situations encore plus compliquées telles que les cochlées malformées ou ossifiées.

Une fois l'indication d'implantation cochléaire a été posée, la planification de la chirurgie est un temps capital qui permet d'offrir une chirurgie la moins pourvoyeuse de complications et garantissant les meilleurs résultats post-implantation. Cette planification qui tient compte des données cliniques, audiométriques et radiologiques pré-opératoires, se soucie du moindre détail allant du choix du côté à implanter et du porte-électrode jusqu'au mode de stimulation prévue et la gestion des éventuels incidents per-opératoires.

Même si l'approche chirurgicale est relativement standardisée, la hantise des chirurgiens pour conserver une éventuelle audition résiduelle, réduire le temps opératoire et le risque de complication a permis de développer de nouvelles techniques d'abord de la rampe tympanique.

Le succès de l'implantation cochléaire ne se limite pas à l'introduction du porte-électrode dans la cochlée. C'est tout un projet de réglage et d'ajustement réguliers ainsi que de rééducation orthophonique et de suivi post-implantation afin de familiariser le patient avec ce nouveau moyen de réhabilitation auditive et d'optimiser les résultats post-implantation, la perception de la parole et l'acquisition du langage notamment chez l'enfant. En effet, il existe une grande diversité de tests qui permettent d'évaluer les résultats orthophoniques post-implantation et le retentissement sur la qualité de vie. Cette grande diversité témoigne, en fait, de la difficulté d'apprécier les bénéfices de l'implantation cochléaire dans leurs différents aspects audiométriques, orthophoniques et socio-professionnels. Ces résultats post-implantation dépendent de plusieurs facteurs aussi bien intrinsèques qu'extrinsèques.

Considérant tous ces facteurs, l'implantation cochléaire reste un projet individuel et spécifique pour chaque patient. L'approche chirurgicale, les modalités de réglage, le rythme de suivi et les moyens d'évaluation des résultats post-implantation s'ajustent au cas par cas après concertation entre plusieurs intervenants dont le chirurgien, l'orthophoniste, l'audiologiste et le patient ou sa famille.

Dans ce rapport, élaboré de la Société Tunisienne d'ORL et de Chirurgie Cervico-Faciale, nous avons essayé de répondre aux questions pouvant se poser pour planifier la chirurgie d'implantation cochléaire. Quelle stratégie chirurgicale, quelle électrode et pour quelle oreille?

Nous avons passé en revue les principaux incidents et complications de l'implantation cochléaire ainsi que les modalités de réglage, de suivi et d'évaluation des résultats post-implantation.

II. INDICATIONS DE L'IMPLANTATION COCHLÉAIRE

INDICATIONS DE L'IMPLANTATION COCHLÉAIRE

Najeh BELTAIEF, Amel KORBI

L'implant cochléaire a révolutionné la prise en charge de la perte auditive neuro-sensorielle aussi bien chez l'enfant que l'adulte. Dans ce chapitre seront résumées les principales indications d'implantation selon les recommandations de la Société Tunisienne d'ORL et de Chirurgie Cervico-Faciale.

A. Indications chez l'enfant

1. Indications audiométriques

L'implantation cochléaire (IC) est indiquée chez l'enfant présentant une surdité neuro-sensorielle bilatérale sévère à profonde sur les fréquences conversationnelles avec peu de bénéfice des prothèses auditives, en l'occurrence absence d'acquisition du langage (1). Elle est aussi recommandée en cas de surdité sévère lorsque la discrimination est inférieure ou égale à 50% lors de la réalisation de tests d'audiométrie vocale adaptés à l'âge de l'enfant. Les tests doivent être pratiqués à 60 dB, en champ libre, avec des prothèses bien adaptées (1).

En cas de surdité fluctuante, l'implantation cochléaire reste de mise lorsque les critères suscités sont atteints plusieurs fois par mois et/ou lorsque les fluctuations retentissent sur le langage de l'enfant (1).

Outre les critères audiométriques, un bilan orthophonique avec une évaluation de l'acquisition, de la compréhension du langage et du développement cognitif adaptés à l'âge permet de confirmer l'absence de bénéfice des aides auditives correctement ajustées pendant au moins 3 à 6 mois et justifie, en l'absence de contre-indication, l'implantation cochléaire (2,3). Le bilan pré-implantation avec l'imagerie (tomodensitométrie et imagerie par résonance magnétique), une évaluation psychologique, pédiatrique et neurologique permettent d'éliminer les contre-indications à l'implantation cochléaire et de prédire son bénéfice.

En Tunisie, l'implantation cochléaire pédiatrique a démarré en 2003, le nombre d'enfants implantés a augmenté progressivement, et de nombreux centres ont été inclus au programme national d'implantation cochléaire. Pour les indications, nous suivons les mêmes recommandations internationales.

2. Indications selon l'âge

L'implantation cochléaire précoce est un des principaux facteurs déterminants pour garantir de meilleurs résultats audiométriques, une acquisition d'un langage et une qualité de vie comparables à ceux des personnes normo-entendantes. Ainsi, aussi bien en France

qu'en Pologne, l'IC est proposée avant l'âge de 12 mois en cas de surdité profonde bilatérale congénitale (1, 5). En mars 2020, la FDA (Food and Drug Administration) a fourni une approbation spécifique pour l'IC chez les nourrissons sourds profonds bilatéraux à l'âge de 9 mois (4). Au Royaume d'Arabie Saoudite, il est recommandé d'implanter les enfants le plus tôt possible. En effet, l'âge minimum recommandé est de 9 mois, et les résultats longitudinaux des enfants implantés précocement ont montré une amélioration des capacités d'élocution et de langage, et de meilleures performances fonctionnelles, ainsi que des effets positifs sur les capacités cognitives et le développement psycho-social (3). Toutefois cette décision d'IC pédiatrique doit être posée par une équipe multidisciplinaire afin d'évaluer le degré de la perte auditive et peser les risques anesthésiques et chirurgicaux encourus même si certaines études ont démontré l'innocuité de cette chirurgie réalisée à bas âge comparée aux enfants plus âgés et aux adultes (1,4).

Quant à la limite d'âge supérieure, la SFORL ne recommande pas une implantation cochléaire au-delà de 5 ans, en cas de surdité congénitale profonde, sauf cas particuliers où un enfant ayant développé une appétence à la communication orale. Mais, Il doit être considéré que si l'enfant est entré dans une communication orale, il peut bénéficier d'une IC quel que soit son âge (1).

En Tunisie, pour les surdités congénitales, le diagnostic se fait encore tardivement et l'âge de l'implantation est encore tardif. En réalité, la réalisation de l'implantation avant l'âge de 1 an se heurte souvent aux difficultés et aux délais de confirmation diagnostique, aux délais du bilan pré-implant, à la nécessité du respect d'une période suffisante de réhabilitation audio-prothétique et à la disponibilité des implants. C'est pourquoi, Il est recommandé de réaliser un dépistage systématique chez tous les nouveau-nés et les nourrissons de moins de six mois afin d'optimiser le diagnostic précoce de la surdité congénitale, permettant ainsi une intervention plus précoce.

B. Indications chez l'adulte

1. Indications audiométriques

L'implant cochléaire est recommandé chez l'adulte présentant une surdité neuro-sensorielle bilatérale sévère à profonde sur les fréquences conversationnelles avec peu de bénéfice des prothèses auditives et/ou une discrimination inférieure ou égale à 50% lors de la réalisation de tests d'audiométrie vocale. Les tests doivent être pratiqués à 60 dB, en champ libre, avec des prothèses bien adaptées (1).

En cas de fluctuations, une implantation cochléaire est indiquée si le retentissement sur la communication est majeur (1).

Manrique (2) et Musaed (3) avancent d'autres critères:

- Surdité péri-linguale et post-linguale.
- Absence de gain prothétique après une période d'essai entre 3 et 6 mois.

- L'imagerie (tomodensitométrie TDM et imagerie par résonance magnétique IRM) confirme la possibilité d'insertion de l'électrode dans la cochlée et la présence du nerf cochléaire avec absence de lésions sur les voies auditives centrales.
- Patients convaincus que l'implantation cochléaire va promouvoir leur vie personnelle et sociale.
- Surdité asymétrique associée à des acouphènes homolatéraux ne pouvant pas être traitée par une autre prothèse comme le système CROS/biCROS ou réhabilitation de la conduction osseuse par des prothèses à ancrage osseux. Cette indication doit être considérée au cas par cas.

2. Age de l'implantation Cochléaire chez l'adulte

Chez l'adulte, l'implantation cochléaire permet de remédier aux impacts négatifs de la déficience auditive sur la communication, les performances cognitives, la santé mentale, la vie professionnelle et les relations inter-humaines. Selon les recommandations de la SFORL, il n'y a pas de limite d'âge supérieure à l'implantation cochléaire chez l'adulte, sous réserve de la réalisation d'un bilan neuro-psychologique et de l'absence de démence avérée. Un trouble cognitif léger (Mild Cognitive Impairment (MCI)) n'est pas une contre-indication à l'implantation cochléaire qui peut même améliorer la qualité de vie des personnes avec des troubles cognitifs légers (1). L'isolement et la surdité ont été identifiés comme deux facteurs de risque modifiables du développement de la démence. Les implants cochléaires sont donc sûrs et efficaces pour restaurer la compréhension de la parole dans le calme et le bruit et améliorent la qualité de vie chez les personnes avec et sans troubles cognitifs légers (6). Cependant, l'indication doit être posée après une évaluation psycho-cognitive et, si possible, gérontologique.

En France, il est suggéré de proposer une implantation cochléaire dans les surdités pré-linguales de l'adulte; mais à condition d'avoir une communication orale d velopp e, une bonne production de la parole et un certain degré d'intelligibilité de la parole avec l'appareil auditif (1).

C. Implantation cochléaire urgente ou prioritaire

Toute surdité qui risque de se compliquer à court terme d'une ossification cochléaire bilatérale, particulièrement la méningite bactérienne qui constitue la première cause de surdité neuro-sensorielle acquise chez l'enfant et les fractures du rocher bilatérales, est justiciable d'une implantation cochléaire précoce avant que l'ossification ne soit trop avanc e (7). Selon la SFORL, il est recommandé d'implanter les patients ayant une surdité secondaire à une pathologie qui peut se compliquer d'une ossification cochléaire bilatérale dans les plus brefs délais (1). Il est aussi recommandé d'instaurer une surveillance intensifi e de l'audition au décours d'une méningite bactérienne (1).

De même dans le syndrome d'Usher essentiellement le type 1, l'IC doit être précoce afin de minimiser l'impact de la cécité secondaire à la rétinite pigmentaire sur les processus d'apprentissage des enfants. Selon les recommandations de la SFORL, cette implantation cochléaire doit être bilatérale et précoce (1).

D. Implantation cochléaire bilatérale

Plusieurs études se sont intéressées à évaluer les bénéfices de l'implantation cochléaire bilatérale aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant. Il a été démontré que cette dernière impacte positivement sur l'audition binaurale, la compréhension dans le bruit et la localisation du son, mais aussi sur la qualité de vie particulièrement chez les adultes. Pour ces raisons l'implantation bilatérale est de plus en plus recommandée (8).

Dans le registre français des implants cochléaires publié en 2020, les auteurs ont évalué l'incidence et les résultats de l'implantation cochléaire bilatérale chez l'adulte et l'enfant . Ils ont constaté que les implantés bilatéraux ont significativement amélioré les scores CAP (Category of Auditory Performance) dans tous les cas ($P < 0,001$) (9). Ainsi la SFORL préconise une implantation bilatérale chez l'enfant ayant une surdité bilatérale sévère à profonde (1).

De même, il est recommandé d'indiquer une IC bilatérale chez l'adulte lorsqu'il existe un risque important de fibrose cochléaire (méningite ou fracture du labyrinthe) ou lorsqu'un patient, avec un seul implant plus une prothèse auditive controlatérale, perd le bénéfice de cette dernière et souffre d'un handicap socioprofessionnel ou en perte d'autonomie dans le cas des personnes âgées (1).

L'implantation bilatérale peut être simultanée ou séquentielle. Aucun consensus n'existe actuellement qui recommande l'une ou l'autre de ces approches. Cependant, en cas d'implantation bilatérale il est suggéré de procéder à une implantation simultanée (1). Et lors d'une implantation séquentielle, il est recommandé d'avoir un délai le plus court possible entre les deux implantations cochléaires s'il n'y a pas de bénéfice avec la prothèse controlatérale (1).

E. Implantation cochléaire et audition résiduelle

Le concept audition résiduelle associée à l'implantation cochléaire (treating partial deafness with cochlear implant) a été introduit en 2006 par Skarzynski et al. Elle est définie par une audition normale ou une surdité légère à moyenne sur les fréquences graves et moyennes associée à une surdité profonde sur les fréquences aiguës (10). Elle représente les réserves cochléaires, notion importante à considérer pour les candidats à l'implantation cochléaire en vue d'une optimisation de la réhabilitation auditive homo et controlatérale à l'implant.

1. Implantation cochléaire et audition résiduelle homolatérale à l'implant

Selon les recommandations du groupe HEARRING, la surdité partielle ne constitue plus une contre-indication à l'implantation cochléaire mais une excellente indication à la stimulation électroacoustique dont le bénéfice à long terme, aussi bien chez les enfants que chez les adultes, a été scientifiquement prouvé (11). Ainsi, selon la SFORL, il est recommandé de proposer une réhabilitation hybride combinant une stimulation acoustique et une stimulation électrique aux patients, en cas de préservation de l'audition résiduelle sur les fréquences graves (1).

Selon les recommandations espagnoles (2), publiées en 2019, la stimulation électroacoustique ou hybride est indiquée si les critères suivants sont réunis:

- Age > 6 ans.
- Surdité neuro-sensorielle post-linguale sévère à profonde sur les fréquences > 1500Hz et légère à modérée sur les fréquences > 500Hz, sans restriction audiométrique pour l'oreille controlatérale.
- Durée de la perte < 30 ans.
- Reconnaissance de mots à deux syllabes avec une prothèse correctement ajustée dans l'oreille à implanter entre 10% et 50%, en silence et jusqu'à 65 dB SPL.

L'audition résiduelle constitue ainsi un défi pour le chirurgien qui se doit de la préserver, c'est pourquoi il est suggéré de proposer une technique chirurgicale préservant au mieux les structures encore fonctionnelles de l'oreille externe, moyenne et interne, en cas d'indication d'implantation cochléaire à tous les patients; de même Il est suggéré d'informer le patient concernant les risques de perte de l'audition résiduelle lors de toute implantation cochléaire en post-opératoire immédiat comme à long terme (1).

2. Implantation cochléaire et audition résiduelle controlatérale à l'implant

Chez les enfants atteints de surdité bilatérale sévère à profonde, l'audition bilatérale peut être obtenue soit par stimulation bimodale, soit par implantation cochléaire bilatérale. Par rapport à la stimulation monaurale, la stimulation bilatérale entraîne une audition plus naturelle, un effort d'écoute réduit et une meilleure qualité de vie. De même, La stimulation des deux oreilles prévient la dégénérescence neurale résultant de la déprivation auditive en particulier chez l'enfant. Le choix entre les deux approches est influencé par de multiples facteurs dont l'étiologie de la perte auditive et l'importance de l'audition résiduelle. C'est ainsi qu'en cas d'audition résiduelle, il est recommandé de proposer une réhabilitation bimodale combinant une stimulation électrique d'un côté et une stimulation acoustique du côté controlatéral (1).

Dans notre pays, l'implantation cochléaire est le plus souvent réalisée de façon unilatérale; il est recommandé d'inciter les patients à porter une aide auditive controlatérale en cas d'audition résiduelle permettant une stimulation bimodale.

F. Implantation cochléaire et surdité unilatérale

1. Chez l'enfant

Il s'agit de patients présentant une surdité sévère à profonde d'un côté et une audition normale ou une surdité légère controlatérale.

En 2019, la FDA (Food Drug Administration) a donné son aval pour l'implantation cochléaire chez les enfants âgés de 5 ans ou plus présentant une surdité unilatérale (12). En effet la surdité unilatérale retentit, chez l'enfant, sur la communication et par conséquent sur la vie familiale et sociale. Parmi les bénéfices de l'implant dans cette situation outre la stéréophonie et la discrimination dans le bruit, c'est le développement complet du système auditif central durant la première année de vie qui correspond à la période de grande réceptivité sensorielle (2).

Selon la SFORL, en l'absence d'indication formelle et consensuelle, l'implantation cochléaire peut être proposée chez les enfants porteurs d'une surdité de perception sévère à profonde d'un côté avec une audition normale ou une surdité légère en controlatéral. Des études sont en cours pour apprécier le bénéfice de l'implant cochléaire chez cette catégorie d'enfants (1).

2. Chez l'adulte

Une surdité unilatérale post-linguale peut survenir à tout moment durant la vie. Cette surdité entraîne une baisse des performances auditives avec difficulté de localisation du son et de compréhension de la parole aussi bien dans le bruit que dans le silence surtout si le locuteur est situé du côté de l'oreille sourde. Cet handicap auditif se majore lorsqu'il s'y ajoute un acouphène homolatéral qui peut devenir invalidant (1). Plusieurs études ont démontré l'efficacité de l'implant cochléaire dans les surdités unilatérales aussi bien sur les acouphènes que sur l'audition et la localisation du son.

Actuellement, en France, il est recommandé d'informer les patients adultes atteints de cophose unilatérale avec acouphène invalidant de la possibilité de maîtriser dans un nombre important de cas l'acouphène par une implantation cochléaire du côté sourd. De même, Il est recommandé d'informer les patients sourds unilatéraux et qui ont une doléance vis-à-vis de la compréhension de la parole et/ou de la localisation spatiale des sons que l'implantation cochléaire est une alternative thérapeutique qui peut être plus efficace que

les systèmes CROS par voie aérienne ou osseuse chez certains patients (1).

Les recommandations espagnoles publiées en 2019 retiennent les critères suivants pour indiquer l'implantation cochléaire chez un adulte sourd unilatéral (2):

- Adulte d'âge supérieur à 18 ans.
- Surdité sévère à profonde dans l'oreille à implanter.
- Discrimination <50% au test bi-syllabique à 65 dB réalisée dans le silence sans lecture labiale.
- Acouphènes invalidants:
 - Score au Tinnitus Handicap Inventory > 58.
 - Acouphènes entrainant une infirmité non expliquée par une cause autre que la surdité.
 - Durée des acouphènes est supérieure à un an.
 - Audition normale ou surdité légère controlatérale.
 - Acouphènes n'ayant pas répondu au traitement conventionnel de ce symptôme incluant les thérapies de rééducation des acouphènes durant 6 mois.
 - Seront exclus les patients ayant des acouphènes d'origine centrale, pulsatiles, paroxystiques, d'origine somato-sensorielle ou en rapport avec des céphalées ou post-traumatiques.

Références

1. Indications de l'implant cochléaire chez l'adulte et chez l'enfant. In: Surdités [Internet]. Elsevier; 2018 [cité 16 juill 2023]. p. 175-201. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9782294761317000124>
2. Manrique M, Ramos Á, de Paula Vernetta C, Gil-Carcedo E, Lassaletta L, Sanchez-Cuadrado I, et al. Guideline on cochlear implants. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2019;70(1):47-54.
3. Alzahrani MA, Aldajani NF, Alghamdi SA. Guidelines for cochlear implantation in Saudi Arabia. *Saudi Med J.* déc 2021;42(12):1265-71.
4. Deep NL, Purcell PL, Gordon KA, Papsin BC, Roland Jr. JT, Waltzman SB. Cochlear Implantation in Infants: Evidence of Safety. *Trends Hear.* janv2021;25:233121652110146.
5. Szyfter W, Karlik M, Sekula A, Harris S, Gawęcki W. Current indications for cochlear implantation in adults and children. *Otolaryngol Pol PolOtolaryngol.* 5 avr 2019;73(3):1-5.
6. Buchman CA, Gifford RH, Haynes DS, Lenarz T, O'Donoghue G, Adunka O, et al. Unilateral Cochlear Implants for Severe, Profound, or Moderate Sloping to Profound Bilateral Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review and Consensus Statements. *JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg.* 1 oct 2020;146(10):942-53.
7. Masson E. EM-Consulte. [cité 21 juill 2023]. Implants cochléaires dans les surdités après méningite bactérienne : suivi audiologique de 16 enfants. Disponible sur: <https://www.emconsulte.com/article/811400/implants-cochléaires-dans-les-surdites-apres-me>
8. Brown KD, Balkany TJ. Benefits of bilateral cochlear implantation: A review. *Curr Opin Otolaryngol*
9. Comparison of bilateral and unilateral cochlear implantation in adults: A Randomized Clinical Trial-PubMed [Internet]. [cité 22 juill 2023]. Disponible sur:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26796630/>.
10. Skarzyński H, Lorens A, Piotrowska A. A new method of partial deafness treatment. *Med SciMonit Int Med J Exp Clin Res.* avr 2003;9(4):CS20-24.
11. Hearing preservation cochlear implantation in children: The HEARRING Group consensus and practice guide - PubMed [Internet]. [cité 22 juill 2023]. Disponible sur:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29073844/>.
12. FDA Approves Cochlear Implantation for Single-Sided Deafness and Asymmetric Hearing Loss | Newsroom [Internet]. [cité 22 juill 2023]. Disponible sur: <https://news.unhealthcare.org/2019/07/fda-approves-cochlear-implantation-for-single-sideddeafness-and-asymmetric-hearing-los>.

III. APPROCHES CHIRURGICALES



CHOIX DU CÔTÉ À IMPLANTER

Houda CHAHED

Le choix de l'oreille appropriée pour l'implantation cochléaire est l'un des points les plus controversés notamment lorsqu'il s'agit d'une perte auditive profonde bilatérale en l'absence de recommandations fondées sur des données probantes. Quel que soit le type de la surdité, son caractère symétrique ou asymétrique et sa durée d'évolution, une fois l'indication de l'implantation cochléaire a été posée, les facteurs anatomiques sont déterminants dans le choix du côté à implanter. Néanmoins, d'autres facteurs sont pris en considération notamment le degré de la surdité, la durée de la privation auditive et les données de l'examen clinique et para-clinique notamment vestibulaire.

1. Facteurs anatomiques

Les facteurs anatomiques sont déterminants dans le choix du côté à implanter. La tomodensitométrie (TDM) couplée à l'IRM permet une analyse minutieuse de l'anatomie de l'os temporal, et ses composantes notamment la mastoïde, le canal du nerf facial, la cochlée, le conduit auditif interne et son contenu. La TDM est réalisée sans injection de produit de contraste avec une acquisition volumique et la reconstruction est faite dans les différents plans axial, coronal et sagittal en fenêtre osseuse. L'examen IRM doit comporter des séquences hyper-pondérées T2 sur le labyrinthe membraneux et des séquences T1 avant et après injection de gadolinium sur les paquets acoustico-faciaux et les oreilles internes.

Différentes études ont tenté d'identifier les éléments radiologiques pré-opératoires permettant de prédire un accès difficile à la fenêtre ronde. Selon les données de la tomodensitométrie pré-opératoires, une mastoïde éburnée de petite taille, une procidence du tegmen tympani et l'absence de cellules mastoïdiennes sentinelles en regard du récessus du facial sont associées à une mastoïdectomie plus difficile et une exposition plus laborieuse du récessus du facial (1). Un récessus du facial étroit, une procidence du dôme de la jugulaire venant au contact du tour basal de la cochlée, une position aberrante antérieure ou externe du nerf facial ainsi qu'une projection postérieure du conduit auditif externe sont pourvoyeurs d'exposition difficile de la fenêtre ronde (2,3). L'épaisseur du surplomb osseux couvrant la niche de la fenêtre ronde est un autre facteur qui pourrait entraver l'exposition de la membrane de la fenêtre ronde (1).

Xie LH a mesuré sur la TDM les rochers en coupe axiale l'angle « α » entre la ligne unissant le bord supérieur de la troisième portion du nerf facial et le centre de la niche de la fenêtre ronde et la ligne sagittale médiane unissant le septum ou la lame perpendiculaire de l'ethmoïde et la protubérance occipitale (figure 1). Il a trouvé que plus l'angle α est large

plus l'accès à la fenêtre ronde est difficile (4). Il a conclu qu'un angle supérieur ou égal à 65° serait prédictif d'une exposition difficile de la fenêtre ronde.

Le couple TDM –IRM est indispensable pour analyser les pathologies de l'oreille interne et choisir le côté à implanter (3). Ainsi, en cas d'anomalie morphologique de la cochlée (malformation, ossification...) ou de variante anatomique des rochers à risque chirurgical, il est recommandé d'opérer le côté où la fenêtre ronde est d'accès plus facile et où l'implantation cochléaire est la moins pourvoyeuse de complications.

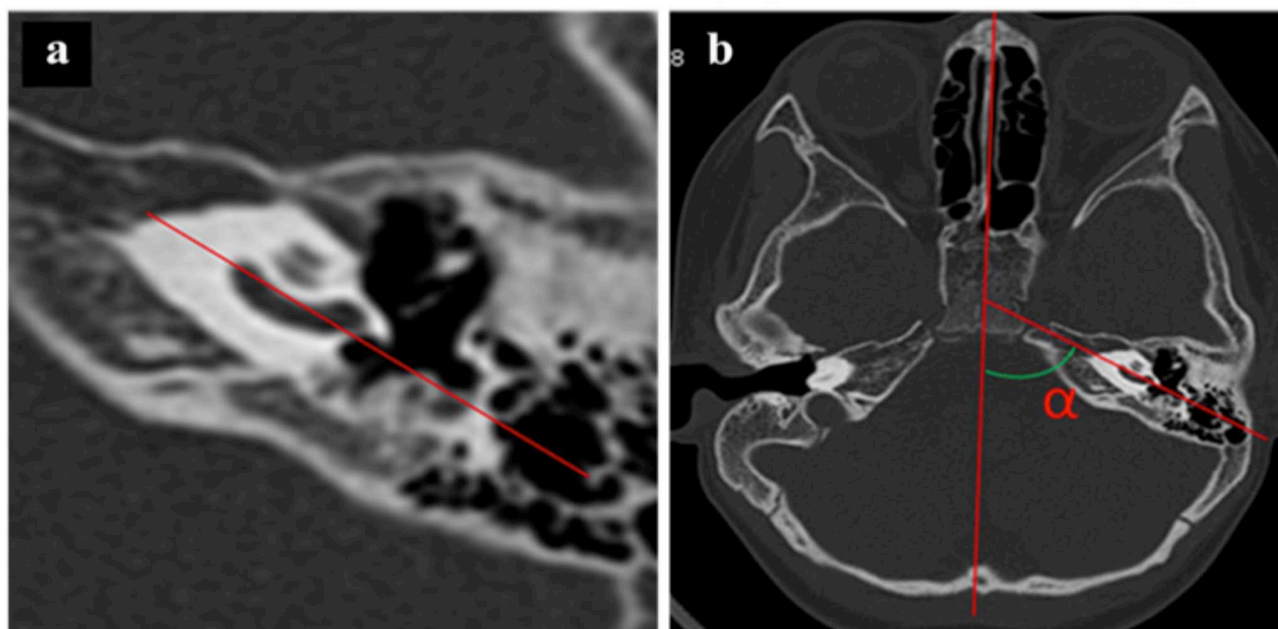


Figure 1: TDM des rochers haute résolution en coupe axiale: (a): la ligne unissant le bord supérieur de la troisième portion du nerf facial et le centre de la niche de la fenêtre ronde. (b): L'angle α . (4).

2. Degré de la perte auditive

Dans les surdités sévères à profondes asymétriques de l'adulte, la majorité des auteurs s'accordait sur l'implantation de l'oreille la plus sourde. En effet, Francis et al n'ont pas trouvé de différence significative dans les résultats à 1 an post-implantation entre un groupe d'adultes implantés pour une surdité sévère bilatérale comparativement à ceux présentant une surdité asymétrique implantés du côté de la surdité profonde (5). Lazard et al ont montré dans une large étude ayant inclus 2250 adultes sourds post-linguaux que les résultats post-implantation ne dépendaient pas du degré de la perte auditive de l'oreille implantée comparativement à l'autre oreille (6). Selon Cheng et al, pourvue que l'histoire naturelle de la surdité des deux oreilles n'ai pas été différente, les résultats post-implantation n'étaient pas influencés par l'implantation de l'oreille la plus sourde ou par le port préalable des prothèses auditives (7).

Des résultats comparables ont été rapportés même chez les sujets âgés. En effet, dans sa revue de la littérature, Lassaletta L et al, ont conclu que les résultats post-implantation chez les adultes implantés du côté le plus sourd étaient comparables à ceux implantés au niveau de la meilleure oreille (8).

En effet selon la littérature, la présence d'une audition résiduelle même dans une seule oreille permettrait une stimulation suffisante du cortex auditif et garantirait des résultats satisfaisants en post-implantation même en implantant l'oreille la plus sourde (9).

Si les publications se rapportant au choix de l'oreille à implanter chez l'adulte sont riches et nombreuses, il n'en est pas de même pour les surdités sévères à profondes asymétriques pré et péri-linguales chez l'enfant. Toutefois, il a été toujours rapporté que la détermination précise du seuil auditif ainsi que l'évaluation de l'utilité d'une éventuelle audition résiduelle chez les très jeunes enfants demeurent un défi dans la pratique clinique et compte tenu de l'importance de l'implantation cochléaire précoce, il serait implicitement recommandé d'implanter l'oreille la plus sourde. D'ailleurs depuis plus d'une décade les études s'intéressaient à l'importance de la stimulation bimodale dans les surdités sévères à profondes chez l'enfant. Plusieurs études ont rapporté que la reconnaissance des mots dissyllabiques et des phrases dans le silence et dans le bruit était meilleure en cas de stimulation bimodale comparativement à l'implantation unilatérale (10,11). Ching et al ont toutefois postulé que cette approche n'est concevable qu'en cas d'audition résiduelle utile du côté non implanté (10). D'ailleurs, Scorpecci A et al ont trouvé que le seul facteur prédictif d'acceptation de la prothèse auditive au niveau de l'oreille non implantée chez l'enfant était une perte auditive inférieure à 90 dB sur les fréquences 250 à 500 Hz. Ils ont aussi constaté que le port de la prothèse était plus régulier lorsque l'audition résiduelle était plus importante (12).

Néanmoins, l'identification de l'importance de l'audition résiduelle reste encore plus difficile chez les très jeunes enfants (10). L'implantation cochléaire bilatérale est actuellement le standard pour les surdités pré-linguales sévères à profondes. Mais si pour des raisons, le plus souvent pécuniaires, on ne dispose que d'un seul implant cochléaire, on choisira l'oreille la plus sourde en associant idéalement une réhabilitation acoustique de l'oreille controlatérale surtout en présence d'une audition résiduelle.

3. Durée de la déprivation auditive

Un patient qui présente une déprivation auditive est celui qui présente une déficience auditive sévère à profonde et qui n'était pas appareillé avant l'implantation cochléaire (13). Si la durée de la déprivation auditive constitue un facteur déterminant des acquisitions langagières dans les surdités pré-linguales, son influence sur les résultats post-implantation chez les adultes malentendants est encore débattue. En effet, le choix de l'oreille la plus appropriée à l'implantation cochléaire reste toujours un sujet de controverse notamment en cas de surdité sévère à profonde post-linguale avec des délais de déprivation auditive différents des deux oreilles.

Il s'agissait le plus souvent d'un patient aux antécédents de cophose unilatérale (dead ear) chez qui l'aide auditive contralatérale est devenue inutile. Les attitudes sont divergentes. Certains auteurs préconisaient d'implanter l'oreille dont la privation auditive était la plus courte pour optimiser les résultats post-implantation en stimulant le nerf auditif qui a été longtemps sollicité par les stimulations acoustiques (14). Van Dijk JE et al recommandaient, en cas de surdité post-linguale, d'implanter l'oreille dont la déprivation auditive était la plus courte et où le port de la prothèse auditive était plus régulier (15). Certains auteurs ont même suggéré d'éviter d'implanter les oreilles dont la déprivation auditive dépassait 10 ans (16). En effet, ils considéraient que l'absence de stimulation auditive est associée à une altération des cellules du ganglion spiral, une raréfaction des cellules neuro-sensorielles du tour basal de la cochlée ainsi qu'une dégénérescence nerveuse rétrograde (17).

Par contre, d'autres auteurs recommandaient l'implantation de l'oreille dont la déprivation auditive était plus longue afin d'éviter les risques, même faibles, de complications au niveau de la meilleure oreille et de tirer un éventuel bénéfice de la stimulation bimodale surtout que les résultats post-implantation de ces oreilles se révélaient excellents (5, 18). Ils s'appuyaient sur les résultats de nombreuses études qui n'ont pas trouvé de corrélation entre les résultats post-implantation et la durée de la déprivation auditive. En effet, Selon Medina MDM et al, les résultats post-implantation étaient comparables entre les adultes sourds post-linguaux implantés que la durée de la déprivation auditive de l'oreille implantée était supérieure ou inférieure à 10 ans (19). Sorrentino F et al ont rapporté que les résultats post-implantation, en cas de déprivation unilatérale, étaient comparables à ceux en l'absence de déprivation. (13). Selon Canale et al, aucune corrélation n'a été retrouvée entre la durée de la déprivation auditive et le score de reconnaissance du langage post-implantation (20). Des études histologiques post-mortem sur des rochers d'adultes implantés cochléaires, ont trouvé que les résultats post-implantation ne dépendaient pas du nombre des cellules du ganglion spiral résiduelles (21,22). En effet, il a été démontré que le cerveau humain est capable de se réorganiser après une réhabilitation auditive même après 40 ans de déprivation auditive (19). En outre, il a été rapporté qu'une audition résiduelle même unilatérale est suffisante pour maintenir l'intégrité des voies auditives centrales et l'activité de décodage du signal auditif (dans (13)). En plus, la durée du stimulus auditif préalable à l'implantation et l'expérience auditive globale du patient sont des facteurs supplémentaires qui devraient être pris en considération en plus de la durée de la déprivation auditive.

L'expérience auditive globale du patient a été définie, par Boisvert I, par le concept de «la perte auditive bilatérale significative ou bilateral significant hearing loss» qui correspond à la période durant laquelle le patient présentant une surdité sévère bilatérale est incapable d'utiliser le téléphone avec à l'audiométrie vocale un pourcentage de discrimination avec prothèses auditives bilatérales inférieur à 30%. ils ont trouvé que le pronostic de l'implantation cochléaire était meilleur si la durée de cette période de perte auditive significative était courte (23).

D'autre part, dans la pratique, il est souvent difficile de convaincre les patients d'implanter l'oreille qui a été longtemps précieuse même si l'audition est devenue inutile. Ainsi, même si la durée de la déprivation auditive constitue un facteur déterminant des acquisitions langagières dans les surdités pré-linguales, son rôle semble être secondaire dans les surdités post-linguales et ne contre indique pas l'implantation de ces oreilles longtemps non fonctionnelles. La réalisation d'une électro-cochléographie pré-opératoire en cas de déprivation auditive prolongée peut être proposée comme une alternative permettant d'évaluer l'intégrité fonctionnelle du nerf cochléaire et d'inciter à l'implantation cochléaire quelle que soit la durée de la privation auditive (7).

Dans les surdités pré-linguales de l'enfant, la durée de la privation auditive est souvent courte et le port des prothèses auditives bilatérales est systématique. L'implantation cochléaire est souvent réalisée dans l'oreille la plus sourde pour mieux profiter des bénéfices des stimulations bimodales avant de discuter l'implantation bilatérale (24).

4. Données de l'examen vestibulaire

Le bilan vestibulaire fait actuellement partie intégrante du bilan pré-implantation cochléaire vu la prévalence élevée des atteintes vestibulaires pré-opératoires chez les patients malentendants même s'ils sont souvent pauci symptomatiques (25). En effet, selon la littérature, la prévalence des atteintes vestibulaires variait entre 20-80% chez les enfants sourds profonds (26). En outre l'implantation cochléaire est une chirurgie pourvoyeuse d'altération de la fonction vestibulaire au niveau de l'oreille implantée voire au niveau de l'oreille controlatérale (25–27). La prévalence des altérations vestibulaires post-opératoires variait de 20 à 75% avec une aréflexie vestibulaire dans 10% des cas (25,26,28). Des études ont montré une amélioration de la symptomatologie vertigineuse en post-implantation malgré une altération de la fonction vestibulaire sur l'épreuve calorique et rotatoire (25,27). Une amélioration de l'équilibre postural a été également rapportée (27).

Ainsi, compte tenu de la fréquence des atteintes vestibulaires pré-opératoires et post-opératoires, une évaluation de la fonction vestibulaire pré-opératoire permet de rechercher une asymétrie fonctionnelle du système de l'équilibre et de sélectionner l'oreille à opérer. En effet, si la configuration des deux cochlées est équivalente et que la surdité est symétrique, serait implantée l'oreille qui présente une atteinte vestibulaire afin d'éviter la survenue d'une éventuelle aréflexie vestibulaire bilatérale qui serait pourvoyeuse d'une limitation dans les activités de la vie quotidienne, telles que la marche dans des environnements peu éclairés ou sur des terrains irréguliers avec une oscillopsie dans les milieux obscurs (28,29).

Toutefois et contrairement aux adultes, l'évaluation clinique et instrumentale de la fonction vestibulaire chez les enfants reste un défi et nécessite d'utiliser un protocole adapté aux enfants (26). L'évaluation vestibulaire doit être adaptée à l'âge du patient. Chez l'enfant, les tests cliniques comprennent le test d'intégration sensorielle de l'équilibre, le Head-impulse test, la rotation sur chaise, le test d'acuité visuelle dynamique, la position debout sur une

jambe, la position debout en tandem et l'âge de la motricité globale. Cet examen clinique est complété, au besoin, par des tests objectifs tels que l'épreuve calorique, Video Head impulse Test et les potentiels évoqués otolithiques myogéniques cervicaux et/ou oculaires (30).

5. Facteurs neuro-physiologiques

Les études neuro-physiologiques ont rapporté que la perception et la production de la parole sont essentiellement élaborées au niveau de l'hémisphère gauche qui est l'hémisphère dominant aussi bien chez les droitiers (95-98%) que les gauchers (70-80%), et que les principales afférences vers l'aire auditive, quoique bilatérales, sont essentiellement issues de l'oreille controlatérale. Ainsi chez les patients normo-entendants, la perception et la production de la parole sont principalement imputées à la fonctionnalité de l'oreille droite définissant ainsi le concept de l'oreille droite prédominante (right ear advantage) (dans (31)). Une méta-analyse a été élaborée afin de rechercher si ce concept d'oreille droite dominante persiste chez les patients sourds implantés. Cette étude a retrouvé, à travers une revue de la littérature, que les résultats post-implantation étaient souvent meilleurs chez les patients implantés du côté droit comparés à ceux implantés du côté gauche. Ces résultats étaient semblables aussi bien chez les adultes que chez les enfants, qu'il s'agit d'une surdité pré-linguale ou post-linguale. Les auteurs de cette méta-analyse ont proposé, en cas de surdité bilatérale, symétrique et non associée à des variantes anatomiques à risque chirurgical, dans les deux oreilles, d'opter pour l'implantation de l'oreille droite. Toutefois, les études incluses dans cette Meta-analyse ne manquent pas de biais; l'hétérogénéité des populations étudiées était grande et les tests d'évaluation utilisés étaient variables et non adaptés pour confirmer l'oreille dominante. En plus la quasi majorité des études incluses était rétrospective ne permettant pas de contrôler certains facteurs de confusion tels que ceux liés au patient (âge d'implantation, la durée de la déprivation auditive, les comorbidités associées...).

Mosnier et al ont rapporté que la discrimination de la parole dans le bruit a été significativement plus élevée chez les adultes implantés de l'oreille droite (32). Toutefois, Deguine O et al n'ont trouvé aucune influence de la dominance corticale sur les résultats post-implantation. Ils préconisaient en cas de deux oreilles identiques, l'implantation de l'oreille du côté de la main dominante pour faciliter la manipulation du processeur externe (33). Selon Ö Surmelioglu, le côté implanté n'influçait pas les résultats post-implantation chez des enfants ayant une surdité pré-linguale (34).

En conclusion, même si l'implantation cochléaire bilatérale est de plus en plus indiquée en cas de surdité sévère à profonde bilatérale, l'implantation unilatérale reste la pratique la plus courante en Tunisie pour des raisons essentiellement budgétaires. Le choix du côté à implanter dépend de plusieurs facteurs notamment anatomiques et le degré de la perte auditive. D'autres facteurs sont aussi pris en considération tels que la durée de la déprivation auditive et les données de l'examen vestibulaire, le choix du côté à implanter sera fait après concertation entre le patient, le chirurgien et l'audiologiste.

Références

1. Park E, Amoodi H, Kuthubutheen J, Chen JM, Nedzelski JM, Lin VYW. Predictors of round window accessibility for adult cochlear implantation based on pre-operative CT scan: a prospective observational study. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 28 mai 2015;44(1):20.
2. Mandour M, Tomoum M, El Zayat S, Hamad H, Amer M. Surgeon Oriented Preoperative Radiologic Evaluation in Cochlear Implantation - Our experience with a Proposed Checklist. *Int Arch Otorhinolaryngol.* avr 2019;23(2):137-41.
3. Ambrosio AA, Loundon N, Vinocur D, Kruk P, Le Pointe HD, Chalard F, et al. The role of computed tomography and magnetic resonance imaging for preoperative pediatric cochlear implantation work-up in academic institutions. *Cochlear Implants Int.* mars 2021;22(2):96-102.
4. Xie LH, Tang J, Miao WJ, Tang XL, Li H, Tang AZ. Preoperative evaluation of cochlear implantation through the round window membrane in the facial recess using high-resolution computed tomography. *Surg Radiol Anat.* juin 2018;40(6):705-11.
5. Francis HW, Yeagle JD, Bowditch S, Niparko JK. Cochlear implant outcome is not influenced by the choice of ear. *Ear and hearing.* 2005/08/06 éd. août 2005;26(4 Suppl):7s-16s.
6. Lazard DS, Vincent C, Venail F, Van de Heyning P, Truy E, Sterkers O, et al. Pre-, per- and postoperative factors affecting performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: a new conceptual model over time. *PLoS One.* 2012;7(11):e48739.
7. Chen JM, Shipp D, Al-Abidi A, Ng A, Nedzelski JM. Does choosing the «worse» ear for cochlear implantation affect outcome? *Otol Neurotol.* mai 2001;22(3):335-9.
8. Lassaletta L, Calvino M, Sánchez-Cuadrado I, Pérez-Mora RM, Gavilán J. Which ear should we choose for cochlear implantation in the elderly: The poorer or the better? Audiometric outcomes, quality of sound, and quality-of-life results. *Acta Otolaryngol.* 2015;135(12):1268-76.
9. Patki A, Tucci DL. Choice of ear for cochlear implantation: implant the better- or worse-hearing ear? *Laryngoscope.* janv 2015;125(1):5-6.
10. Ching TY, Psarros C, Hill M, Dillon H, Incerti P. Should children who use cochlear implants wear hearing aids in the opposite ear? *Ear Hear.* oct 2001;22(5):365-80.
11. Chen Y, Huang M, Li B, Wang Z, Zhang Z, Jia H, et al. Bimodal Stimulation in Children With Bilateral Profound Sensorineural Hearing Loss: A Suitable Intervention Model for Children at the Early Developmental Stage. *Otol Neurotol.* déc 2020;41(10):1357-62.
12. Scorpecci A, Giannantonio S, Pacifico C, Marsella P. Bimodal Stimulation in Prelingually Deaf Children: Lessons from a Cross-sectional Survey. *Otolaryngol Head Neck Surg.* déc 2016;155(6):1028-33.
13. Sorrentino F, Gheller F, Lunardi G, Brotto D, Trevisi P, Martini A, et al. Cochlear implantation in adults with auditory deprivation: What do we know about it? *Am J Otolaryngol.* avr 2020;41(2):102366.
14. Friedland DR, Venick HS, Niparko JK. Choice of ear for cochlear implantation: the effect of history and residual hearing on predicted postoperative performance. *Otol Neurotol.* juill 2003;24(4):582-9.
15. van Dijk JE, van Olphen AF, Langereis MC, Mens LH, Brokx JP, Smoorenburg GF. Predictors of cochlear implant performance. *Audiology.* avr 1999;38(2):109-16.
16. Connell SS, Balkany TJ. Cochlear implants. *Clinics in geriatric medicine.* 2006/07/25 éd. août 2006;22(3):677-86.
17. Hinojosa R, Marion M. Histopathology of profound sensorineural deafness. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 1983/01/01 éd. 1983;405:459-84.
18. Perreau AE, Tyler RS, Witt S, Dunn C. Selection strategies for binaural and monaural cochlear implantation. *American journal of audiology.* 2007/12/07 éd. déc 2007;16(2):85-93.

19. Medina MDM, Polo R, Gutierrez A, Muriel A, Vaca M, Perez C, et al. Cochlear Implantation in Postlingual Adult Patients With Long-Term Auditory Deprivation. *Otol Neurotol.* sept 2017;38(8):e248-52.
20. Canale A, Dalmaso G, Dagna F, Lacilla M, Montuschi C, Rosa RD, et al. Monaural or binaural sound deprivation in postlingual hearing loss: Cochlear implant in the worse ear. *Laryngoscope.* août 2016;126(8):1905-10.
21. Khan AM, Handzel O, Burgess BJ, Damian D, Eddington DK, Nadol JB Jr. Is word recognition correlated with the number of surviving spiral ganglion cells and electrode insertion depth in human subjects with cochlear implants? *The Laryngoscope.* 2005/04/05 éd. avr 2005;115(4):672-7.
22. Cheng YS, Svirsky MA. Meta-Analysis-Correlation between Spiral Ganglion Cell Counts and Speech Perception with a Cochlear Implant. *Audiology research.* 2021/06/03 éd. 26 mai 2021;11(2):220-6.
23. Boisvert I, McMahon CM, Tremblay G, Lyxell B. Relative importance of monaural sound deprivation and bilateral significant hearing loss in predicting cochlear implantation outcomes. *Ear and hearing.* 2011/07/14 éd. nov 2011;32(6):758-66.
24. Simon F, Roman S, Truy E, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Guidelines (short version) of the French Society of Otorhinolaryngology (SFORL) on pediatric cochlear implant indications. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* oct 2019;136(5):385-91.
25. Bonucci AS, Costa Filho OA, Mariotto LDF, Amantini RCB, Alvarenga K de F. Vestibular function in cochlear implant users. *Braz J Otorhinolaryngol.* avr 2008;74(2):273-8.
26. Devroede B, Pauwels I, Le Bon SD, Monstrey J, Mansbach AL. Interest of vestibular evaluation in sequentially implanted children: Preliminary results. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* juin 2016;133 Suppl 1:S7-11.
27. Buchman CA, Joy J, Hodges A, Telischi FF, Balkany TJ. Vestibular effects of cochlear implantation. *Laryngoscope.* oct 2004;114(10 Pt 2 Suppl 103):1-22.
28. Bittar RSM, Sato ES, Ribeiro DJS, Tsuji RK. Preoperative vestibular assessment protocol of cochlear implant surgery: an analytical descriptive study. *Braz J Otorhinolaryngol.* oct 2017;83(5):530-5.
29. Robard L, Hitier M, Lebas C, Moreau S. Vestibular function and cochlear implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* mars 2015;272(3):523-30.
30. Janky K, Rodriguez A. Quantitative Vestibular Function Testing in the Pediatric Population. *Semin Hear.* août 2018;39(03):257-74.
31. Kraaijenga VJC, Derksen TC, Stegeman I, Smit AL. The effect of side of implantation on unilateral cochlear implant performance in patients with prelingual and postlingual sensorineural hearing loss: A systematic review. *Clin Otolaryngol.* avr 2018;43(2):440-9.
32. Mosnier I, Bebear JP, Marx M, Fraysse B, Truy E, Lina-Granade G, et al. Predictive factors of cochlear implant outcomes in the elderly. *Audiol Neurootol.* 2014;19 Suppl 1:15-20.
33. Deguine O, Garcia de Quevedo S, Fraysse B, Cormary X, Uziel A, Demonet JF. Criteria for selecting the side for cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl.* sept 1995;166:403-6.
34. Sürmelioglu O, Cetik F, Tarkan O, Ozdemir S, Tuncer U, Kiroglu M, et al. Choice of cochlear implant side in a paediatric population. *J Laryngol Otol.* juin 2014;128(6):504-7.

CHOIX DU PORTE-ÉLECTRODE

Houda CHAHED

Le choix du type d'électrode optimal en implantation cochléaire a été toujours un sujet d'actualité et de débat. En effet, pour garantir les meilleurs résultats orthophoniques post-implantation, la sélection des électrodes doit être adaptée à l'anatomie de la cochlée, la longueur du canal cochléaire et à la distribution des cellules du ganglion spiral. L'insertion du faisceau d'électrodes doit être complète en assurant une interface neuro-électrique la plus étroite. Elle doit être atraumatique pour prévenir toute lésion des structures intra-cochléaires entravant la stimulation électrique des cellules neurales ou la préservation d'une audition résiduelle (1,2).

Il existe une grande diversité de faisceau d'électrodes selon la forme, la longueur, le diamètre, le nombre d'électrode de contact contenus et les modalités d'insertion. De nouvelles électrodes ont été conçues pour prévenir les traumatismes intra-cochléaires tout en optimisant l'interface électrode-cellules neurales.

1. Choix du type du porte-électrode

Classiquement, on distingue deux formes d'électrodes: les péri-modiolaires et les droites.

- Les électrodes droites: sont souvent facilement introduites dans la rampe tympanique. Une fois en place, elles seraient en contact avec la paroi latérale du canal cochléaire. La stimulation électrique serait essentiellement au niveau des terminaisons nerveuses de l'organe de Corti. En l'absence de stylet, ces électrodes sont plus souples et plus fines comparées aux péri-modiolaires. Elles existent en différentes longueurs permettant d'adapter le choix de l'électrode selon l'anatomie de la cochlée. Canfarotta et al ont trouvé dans une étude prospective randomisée que la discrimination de la parole a été meilleure en cas d'implantation par une électrode longue comparée à une plus courte (31.5mm vs 24 mm). En effet, à un nombre fixe d'électrode, plus le porte-électrode est court plus les interfaces électrode- nerf sont rapprochées. Cette proximité va induire une interaction entre les différents canaux électriques et donc une altération de la discrimination de la parole (3).

- Les électrodes péri-modiolaires: sont des électrodes incurvées introduites dans la cochlée à l'aide d'un stylet ou d'une gaine directrice. Une fois le stylet ou la gaine retiré, elles ont tendance à s'enrouler autour du modiolus. La proximité des électrodes des cellules du ganglion spiral permettrait, théoriquement, de réduire les seuils de stimulation électrique et les courts circuits et donc d'améliorer la résolution fréquentielle et d'augmenter la longévité des batteries (1).

1.1. En l'absence d'audition résiduelle

Quel que soit le type du porte-électrode, son introduction complète dans la cochlée n'est pas toujours de mise, elle dépendrait de l'anatomie de la cochlée, de la présence d'ossification cochléaire et de l'angle d'ouverture de la fenêtre ronde. L'essentiel est d'éviter le traumatisme aussi bien du porte-électrode que des structures intra-cochléaires.

Théoriquement les traumatismes peuvent survenir quel que soit le type d'électrode. Néanmoins, la translocation du porte-électrode vers la rampe vestibulaire est l'une des complications les plus graves. Elle est pourvoyeuse de fibrose, de néo-ostéogenèse intracochléaire, de dégénérescence irréversible des cellules nerveuses et d'une altération définitive d'une éventuelle audition résiduelle en cas de brèche de la membrane basilaire (2).

Jwaier S, dans une méta-analyse réalisée en 2020 a rapporté que le risque de translocation du porte-électrodes de la rampe tympanique vers la rampe vestibulaire a été significativement plus élevé pour les électrodes péri-modiolaires comparées à celles droites (43% vs 7%, $p < 0,001$). Cette différence est restée significative en cas d'implantation exclusive via la fenêtre ronde (22% vs 2%; $p < 0,001$) (1). Des résultats semblables ont été rapportés dans une méta-analyse réalisée en 2022 par Van de Heyning et al. (28,6% vs 11%; $p < 0,001$) et ceci indépendamment de la marque de l'implant (2).

D'autre part la plicature de l'extrémité distale du porte-électrode, quoique rare ($< 2\%$) semble être plus fréquente avec les modèles péri-modiolaires comparés aux droits (1,2). Leurs prévalences respectives ont été de (5,38% vs 0,51%; $p < 0,001$) (1). Par contre le risque d'extrusion après implantation cochléaire quoique rare était significativement plus élevé avec les électrodes droites comparativement aux péri-modiolaires (3,2% vs 0,53%; $p < 0,001$) (1).

Qu'il s'agisse d'une translocation, plicature ou d'extrusion du porte-électrode, toutes ces complications semblent être pourvoyeuses d'une mauvaise discrimination de la parole après implantation cochléaire. Ainsi selon les résultats des méta-analyses de Van de Heyning et de Jwaier S, les électrodes droites semblent être l'alternative optimale pour réduire le risque de traumatismes cochléaires et leurs conséquences délétères sur la compréhension de la parole en post-implantation (1,2).

Toutefois, le consensus sur l'implant cochléaire élaboré en 2020 par un groupe d'experts en implantation cochléaire (Delphi consensus panel) a rapporté que les électrodes péri-modiolaires et droites peuvent être utilisées indifféremment en implantation cochléaire chez l'adulte étant donné la faible prévalence des complications. Selon leur revue de la littérature, aucune différence dans la reconnaissance de la parole n'a été identifiée entre les patients implantés avec une électrode péri-modiolaire et ceux implantés avec une droite. La sélection du type de l'électrode doit être adaptée au cas par cas par le chirurgien (4). Dans une étude multicentrique aux Etats-Unis, les chirurgiens n'avaient aucune préférence pour une forme particulière de porte-électrode. En effet, en l'absence d'audition résiduelle 56% préféraient la péri-modiolaire alors que 44% optaient pour la droite (5).

1.2. En cas d'audition résiduelle

En cas d'audition résiduelle, la hantise est de perdre ces réserves cochléaires. La majorité des chirurgiens (86%) préfère utiliser une électrode droite surtout que des électrodes droites plus fines, plus flexibles et plus courtes ont été conçues par plusieurs fabricants d'implant cochléaire (5). Ainsi, l'insertion du porte-électrode à travers la fenêtre ronde vers la rampe tympanique

est supposée être plus facile et moins traumatisante pour les structures intra-cochléaires (soft surgery). Selon Moran et al, moyennant ce type d'électrode, 39.5% des patients ont conservé une audition fonctionnelle constante à 3 mois et 1 an post-opératoire (6).

Encore, à ce jour aucune étude n'a comparé le degré de préservation auditive entre les deux types d'électrodes (péri-modiolaire vs droite) en l'absence de translocation intra-vestibulaire confirmée (1).

Il n'existe aucune technique chirurgicale rapportée dans la littérature permettant de garantir une préservation complète de l'audition résiduelle à court ou long terme. Cependant, l'utilisation d'une électrode à positionnement latéral, insérée par la fenêtre ronde, permet au mieux de préserver l'audition résiduelle (7,8). Selon la revue de la littérature du consensus sur l'implantation cochléaire chez l'adulte élaboré par Buchman et al., la préservation d'une audition résiduelle a été variable indépendamment de la forme de l'électrode qu'elle soit droite ou péri-modiolaire (4). Toutefois, dans l'étude multicentrique de Matthew LC, en cas d'audition résiduelle, l'immense majorité des chirurgiens (86% vs 14%) optait pour des électrodes droites (5).

Ainsi en l'absence d'audition résiduelle, les électrodes droites et péri-modiolaires peuvent être utilisées indifféremment selon les préférences et les habitudes du chirurgien. Cependant en cas d'audition résiduelle, les électrodes droites fines et souples sont préférées.

2. Choix de la longueur du porte-électrode

Il est actuellement admis que pour optimiser les résultats post-implantation, la position des différentes électrodes doit être adaptée à la tonotopie de l'oreille interne telle qu'a été décrite par Greenwood (Greenwood's frequency fonction) (9). En effet, le choix de la longueur du porte-électrode doit être adapté à la longueur du canal cochléaire afin que chaque électrode stimule les ganglions spiraux spécifiques de chaque fréquence et la zone cérébrale responsable de la reconnaissance de la parole tout en minimisant la stimulation des régions génératrices de bruit de fond qui entrave la reconnaissance vocale (9,10).

En outre, pour une meilleure perception du langage, la stimulation électrique doit intéresser le maximum de ganglions spiraux résiduels qui prédominent au niveau du segment 2 du canal cochléaire situé sur une angulation entre 70° et 200° et étendu sur 16mm. Tous les portes électrodes actuellement disponibles permettent de stimuler tous les ganglions spiraux de ce segment. Néanmoins, les surdités sont souvent associées à une altération des ganglions spiraux au niveau du tour basal plus que le tour apical, ainsi les résultats thérapeutiques seront optimaux si la stimulation électrique couvre les ganglions spiraux au niveau du segment 4 de la cochlée (> 400°) tout en évitant les traumatismes intra-cochléaires (9). Sauf que la longueur du canal cochléaire n'est pas constante variant de 28,2 à 36 mm avec une moyenne de 33,04 mm. Elle est moindre chez le genre féminin et en cas de surdité comparativement aux normo-entendants (11).

La mesure de la longueur du canal cochléaire le long de la paroi latérale de la cochlée (CDL_{lw}) et le long de l'organe de corti (CDL_{oc}) est actuellement possible sur les données de

la tomодensitométrie. Les reconstructions 3D permettent une évaluation précise de la CDL_{LW} qui variait entre 37.9 à 40mm et celle du CDL_{oc} qui variait entre 32.1 et 33.4 mm (dans 9). Mais elles sont fastidieuses et chronophages (9). Plusieurs formules mathématiques ont été utilisées pour mesurer la longueur du canal cochléaire en se basant sur la tomодensitométrie (Tableau 1). Elles sont basées sur la mesure sur une coupe coronale, de la distance «A » entre le centre de la fenêtre ronde à la paroi latérale de la cochlée en passant par l'hélicotrema et qui correspond au diamètre du tour basal de la cochlée (figure 1).

Selon l'angle d'insertion désiré, d'autres équations linéaires plus simplifiées ont été établies pour prédire la longueur du canal cochléaire le long de la paroi latérale de la cochlée CDL_{LW} (Tableau 2). Ces équations permettent d'estimer la longueur du canal cochléaire le long de l'organe de corti (CDL_{oc}) en utilisant le rapport de 0.86 entre le CDL_{LW} et CDL_{oc} (10). La longueur du canal cochléaire le long de l'organe de corti correspond le mieux à la longueur optimale du porte électrode qui permet de stimuler les ganglions spiraux tout au long de l'angle d'insertion désiré. Toutefois, ces équations rapportées dans le tableau 2 ne permettent de prédire que la longueur du canal cochléaire le long des deux premiers tours de la cochlée. Au-delà d'un angle d'insertion de 720° , la corrélation est plus faible dans la mesure de la longueur de la totalité du canal cochléaire (10). Ainsi en cas de surdité profonde la formule CDL_{720° sera utilisée pour estimer la longueur du canal cochléaire sur au moins deux tours de spire. Alors qu'en cas d'audition résiduelle la CDL_{oc} sera mesurée selon l'angle d'insertion désirée et en tenant compte de la formule de Greenwood (17).

Plus récemment Schurzig D et al ont publié la formule de l'approximation circulaire elliptique (the elliptic circular approximation formula) qui semble donner une estimation plus fiable de la longueur du canal cochléaire le long de la paroi latérale du canal cochléaire (CDL_{LW}). Cette formule tient compte du diamètre du tour basal de la cochlée «A», de la hauteur «B» de cette dernière et de l'angle d'insertion « Θ » désirée (figure 1) (16). La longueur du CDL_{oc} est calculée en tenant compte du rapport CDL_{oc} / CDL_{LW} qui est égal à 0,82 (9). La formule de l'approximation elliptique, permet une meilleure approximation de la longueur de CDL_{LW} pour un angle d'insertion supérieur ou égale 720° (insertion au-delà de 2 tours de spires) comparativement à la méthode d'Escude (16).

Tableau 1 : les formules mathématiques permettant de calculer la longueur du canal cochléaire

| Auteurs | Formules | CDL: moy [min ; Max] (mm) |
|----------------------|---|-----------------------------------|
| Escude et al (12) | $CDL_{LW} = 2,62 A \log (1+(\Theta/235))$ | $CDL_{LW} = 37,1 [30,9 ; 43,3]$ |
| Erixon et al (13) | $CDL_{LW} = 3,08 A + 12,44$ | $CDL_{LW} = 40,2 [35,5 ; 44,8]$ |
| Alexiades et al (14) | $CDL_{oc} = 4,16 A - 4$ | $CDL_{oc} = 33,4 [27,2 ; 39,7]$ |
| Koch et al (15) | $CDL_{oc} = 4,16 A - 5,05$ | $CDL_{oc} = 32,4 [26,2 ; 38,6]$ |
| Schurzig et al (16) | $CDL_{LW}(\Theta) = (0,83 \cdot 10^{-8} \cdot \Theta^3 - 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot \Theta^2 + 0,34 \cdot \Theta + 3,7) \cdot (1,18 A + 2,69 B - \sqrt{0,72AB})$ | |

Θ : angle d'insertion, CDL_{LW} : longueur du canal cochléaire le long de la paroi latérale de la cochlée, CDL_{oc} : longueur du canal cochléaire le long de l'organe de de corti.

Tableau 2: Equations linéaires permettant de prédire la longueur du canal cochléaire CDLLW selon l'angle d'insertion désiré (10)

| Angle d'insertion | Couverture cochléaire | Formule |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 90° | Totale | $CDL900 = 4,16 \cdot A - 3,98$ |
| 720° | tours de spire 2 | $CDL720 = 3,65 \cdot A - 3,63$ |
| 540° | tours de spire 1.5 | $CDL540 = 3 \cdot A - 3,02$ |
| 360° | tour de spire 1 | $CDL360 = 2,43 \cdot A - 2,43$ |

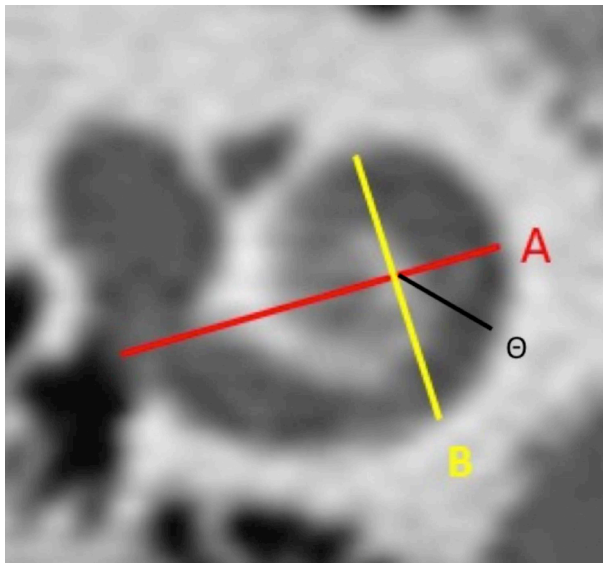


Figure 1: TDM de la cochlée en coupe coronale: (A) diamètre du tour basal de la cochlée correspondant à la distance entre le centre de la fenêtre ronde et la paroi opposée de la cochlée en passant par le centre de la cochlée. (B): La ligne perpendiculaire à la ligne A passant par le centre de la cochlée. (Θ): l'angle d'insertion désiré.

Ainsi la tendance actuelle est de développer le concept de la médecine personnalisée qui consiste à adapter la longueur du porte-électrode à celle du canal cochléaire et aux données du bilan audiométrique pré-opératoire (9). Même si une préservation de l'audition résiduelle a été rapportée avec des électrodes droites longues (19), l'adaptation de la longueur du porte-électrode à celle de la cochlée et aux fréquences justiciables d'une stimulation acoustique permet de préserver une éventuelle audition résiduelle.

Le choix de la longueur du porte-électrode doit être bien réfléchi. Si les électrodes courtes semblent être plus adaptées pour prévenir les traumatismes cochléaires, elles ne permettent pas une stimulation électrique optimale en cas de dégradation ultérieure de l'audition résiduelle. De ce fait selon l'étude multi-centrique de Matthew LC, en cas d'audition résiduelle, 71% de ces chirurgiens préféraient utiliser des électrodes d'une longueur conventionnelle (5).

Il n'existe pas à l'heure actuelle une longueur idéale du porte-électrode. Le choix dépendra de l'anatomie de la cochlée, l'importance de l'audition résiduelle, et de l'étiologie de la surdité.

Des électrodes spéciales ont été conçues pour des cas particuliers d'ossification cochléaire. Des modèles courts ou à double électrodes ont été préconisés en cas

d'ossification cochléaire avancée (20). Mais des électrodes classiques aussi bien droites que péri-modiolaires ont été utilisées avec des résultats comparables (21).

Quant aux malformations de l'oreille interne, le recours aux électrodes standards ne semble pas être la solution idéale vu le risque potentiel de gusher et de migration dans le conduit auditif interne, les électrodes droites et courtes semblent être les plus adaptées; des électrodes spéciales avec un stopper ont été conçues pour remédier au risque potentiel de geysers per-opératoire (22).

En conclusion, le choix du type et de la longueur du porte-électrode doit être bien raisonné tenant compte des particularités anatomiques cochléaires, la présence et l'importance d'une audition résiduelle, de l'étiologie et de l'évolutivité de cette surdité ainsi que d'autres facteurs liés au patient (19). Quels que soient le type et la longueur du porte-électrode, il est recommandé de prévenir au mieux les traumatismes des structures intra-cochléaires. En cas de pathologie de l'oreille interne, qu'il s'agit d'ossification ou de malformation, le choix de la forme et de la longueur de l'électrode doit être adapté au cas par cas selon l'anatomie de la cochlée.

Références

1. Jwair S, Prins A, Wegner I, Stokroos RJ, Versnel H, Thomeer HGXM. Scalar Translocation Comparison Between Lateral Wall and Perimodiolar Cochlear Implant Arrays - A Meta- Analysis. *Laryngoscope*. juin 2021;131(6):1358-68.
2. Van de Heyning P, Roland P, Lassaletta L, Agrawal S, Atlas M, Baumgartner WD, et al. Suitable Electrode Choice for Robotic-Assisted Cochlear Implant Surgery: A Systematic Literature Review of Manual Electrode Insertion Adverse Events. *Front Surg*. 2022;9:823219.
3. Canfarotta MW, Dillon MT, Buchman CA, Buss E, O'Connell BP, Rooth MA, et al. Long-Term Influence of Electrode Array Length on Speech Recognition in Cochlear Implant Users. *Laryngoscope*. avr 2021;131(4):892-7.
4. Buchman CA, Gifford RH, Haynes DS, Lenarz T, O'Donoghue G, Adunka O, et al. Unilateral Cochlear Implants for Severe, Profound, or Moderate Sloping to Profound Bilateral Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review and Consensus Statements. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 1 oct 2020;146(10):942-53.
5. Carlson ML, O'Connell BP, Lohse CM, Driscoll CL, Sweeney AD. Survey of the American Neurotology Society on Cochlear Implantation: Part 2, Surgical and Device-Related Practice Patterns. *Otol Neurotol*. janv 2018;39(1):e20-7.
6. Moran M, Dowell RC, Iseli C, Briggs RJS. Hearing Preservation Outcomes for 139 Cochlear Implant Recipients Using a Thin Straight Electrode Array. *Otol Neurotol*. juin 2017;38(5):678-84.
7. Wanna GB, O'Connell BP, Francis DO, Gifford RH, Hunter JB, Holder JT, et al. Predictive factors for short- and long-term hearing preservation in cochlear implantation with conventional-length electrodes. *Laryngoscope*. févr 2018;128(2):482-9.
8. Fraysse B, Macías AR, Sterkers O, Burdo S, Ramsden R, Deguine O, et al. Residual hearing conservation and electroacoustic stimulation with the nucleus 24 contour advance cochlear implant. *Otol Neurotol*. août 2006;27(5):624-33.
9. Rak K, Ilgen L, Taeger J, Schendzielorz P, Voelker J, Kaulitz S, et al. Influence of cochlear parameters on the current practice in cochlear implantation: Development of a concept for personalized medicine. *HNO*. janv 2021;69(Suppl 1):24-30.
10. Mistrík P, Jolly C. Optimal electrode length to match patient specific cochlear anatomy. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. juin 2016;133 Suppl 1:S68-71.
11. Curtis DP, Baumann AN, Jeyakumar A. Variation in cochlear size: A systematic review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. août 2023;171:111659.
12. 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 Neuro otol*. 2006;11(Suppl 1):27e33.
13. Erixon E, Rask-Andersen H. How to predict cochlear length before cochlear implantation surgery. *Acta Otolaryngol*. 2013; 33:1258e1265.
14. Alexiades G, Dhanasingh A, Jolly C. Method to estimate the complete and two-turn cochlear duct length. *Otol Neurotol*. 2015;36:904e907.
15. Koch RW, Ladak HM, Elfarnawany M, Agrawal SK. Measuring cochlear duct length: A historical analysis of methods and results. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017;46:19.

16. Schurzig D, Timm ME, Batsoulis C et al. Novel method for clinical cochlear duct length estimation toward patient-specific cochlear implant selection TO Open.2018 <https://doi.org/10.1177/2473974X18800238>.
17. Greenwood DD. A cochlear frequency-position function for several species – 29years later. *J Acoust Soc Am*. 1990;87(6):2592–2605.
18. Dhanasingh A. The rationale for FLEX (cochlear implant) electrode with varying array lengths. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2021;7(1):45–53.
19. Brant JA, Ruckenstein MJ. Electrode selection for hearing preservation in cochlear implantation: A review of the evidence. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2016;2(3):157–60.
20. Wang L, Zhang D. Surgical methods and postoperative results of cochlear implantation in 79 cases of ossified cochlea. *Acta Otolaryngol*. 2014;134(12):1219–24.
21. Yan T, Zong F, Ma X, Xu X, Chen W, Song Z, et al. Cochlear implantation in patients with ossified cochleas. *Am j otolaryngol*. 2019;40(2):183–6.
22. Sennaroğlu L, Atay G, Bajin MD. A new cochlear implant electrode with a «cork»-type stopper for inner ear malformations. *Auris Nasus Larynx*. août 2014;41(4):331–6.

CHOIX DU MODE DE STIMULATION

Syrine AYADI, Bouthaina HAMMAMI

Si l'objectif de l'implantation est de restaurer une fonction auditive la plus proche de la normale, il est recommandé d'associer une stimulation acoustique quand c'est possible. En effet, la stimulation acoustique est proche d'une audition normale plus qu'une stimulation électrique. Actuellement, trois types de mode de stimulation de l'implant cochléaire sont développés.

* Stimulation électrique exclusive: La stimulation électrique couvre les basses et les hautes fréquences. Elle est assurée par l'implant cochléaire standard.

* Stimulation électro- acoustique (SEA) (Electro-acoustic stimulation): La stimulation combine une amplification des basses fréquences (stimulation acoustique) et une stimulation électrique des hautes fréquences. Elle est assurée par l'implant cochléaire dit électro-acoustique.

* Stimulation électro-acoustique avec complément électrique: La stimulation combine en plus de l'amplification des basses fréquences et la stimulation électrique des hautes fréquences, une stimulation électrique des fréquences graves non amplifiées. Elle est assurée par l'implant cochléaire électro-acoustique.

Le choix entre ces différents modes de stimulation dépend du type de la surdité et du niveau auditif résiduel post-opératoire (1,2,3). D'autres facteurs, tels que l'âge, l'étiologie de la surdité, l'état d'acquisition du langage avant le début de la perte auditive et l'expérience d'utilisation de l'aide auditive avant la chirurgie, devraient être pris en considération lors du choix du mode de stimulation (1,4). Ainsi, est actuellement introduite la notion de la stimulation «personnalisée».

1. Stimulation électrique exclusive:

L'implant cochléaire à stimulation électrique exclusive est recommandé chez les sujets avec une surdité sévère à profonde bilatérale sur toutes les fréquences (2). L'implantation cochléaire bilatérale est actuellement le standard pour les surdités pré-linguales sévères à profondes chez les adultes et les enfants. Elle peut être simultanée ou séquentielle, mais pour différentes raisons, elle est souvent unilatérale (2).

Chez l'adulte, une implantation cochléaire unilatérale à stimulation électrique est indiquée pour une surdité unilatérale sévère à profonde associée des acouphènes invalidants (2).

2. Stimulation électro-acoustique/ Stimulation électro-acoustique avec un complément électrique:

Les implants cochléaires à stimulation électro-acoustique sont définis par la combinaison d'une aide auditive amplificatrice stimulant acoustiquement les basses fréquences, avec une stimulation électrique des hautes fréquences.

Ce système intègre les technologies de l'implant cochléaire avec celles de l'aide auditive numérique. La configuration actuelle de l'appareillage est similaire à celle de l'implant cochléaire avec stimulation électrique, avec une partie externe (explant) et une partie interne (implant). Sur le plan configuration externe, l'explant comporte, en plus de l'implant cochléaire avec stimulation électrique, un embout auriculaire similaire à celui d'une aide auditive conventionnelle. Fonctionnellement, les deux types de stimulation partagent une entrée de microphone commune qui capte le signal sonore. Celui-ci est ensuite numérisé et analysé par l'audio-processeur de nouvelle génération, qui transmet instantanément le signal électrique à deux circuits indépendants (Figure 1):

- **Un module acoustique:** une aide auditive dédiée à l'amplification des basses fréquences (125-1500 Hz). Le signal amplifié est transmis au conduit auditif via l'embout auriculaire.
- **Un module implant cochléaire:** est dédié au traitement des hautes fréquences. Le signal électrique est traité et transmis à la partie interne, comme dans un implant à stimulation électrique via une stratégie de traitement.

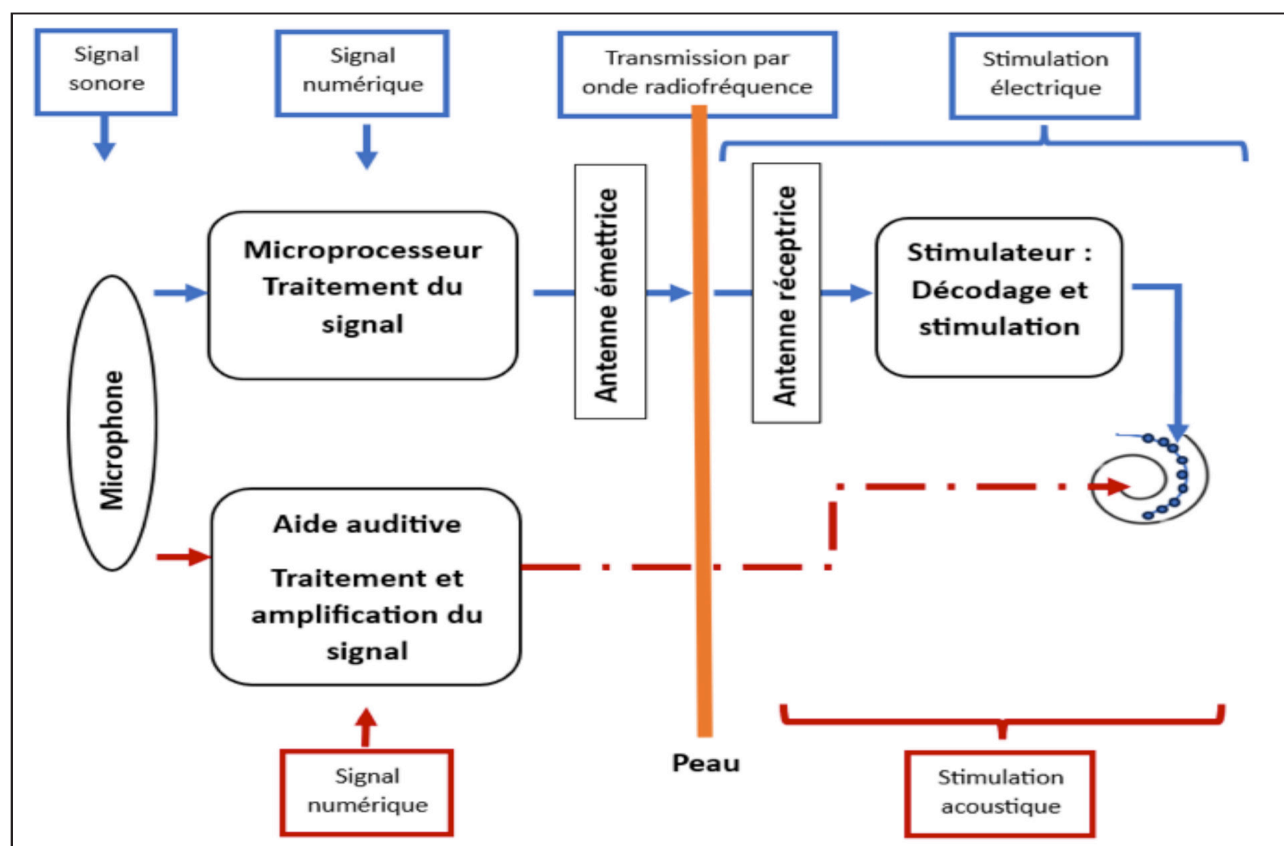


Figure 1: Présentation schématique du mode de fonctionnement de l'implant cochléaire à stimulation électro-acoustique

Cette technologie offre une stimulation simultanée électrique et acoustique. L'amplification acoustique des basses fréquences, même si elle est insuffisante en elle-même pour la compréhension de la parole, aura pour avantage d'offrir une représentation plus forte de la fréquence fondamentale des signaux environnants et au premier formant des sons de la parole (1, 5-7). Elle permet ainsi une amélioration des scores de perception de la parole dans le bruit, une amélioration de la perception de la musique, avec une amélioration de la qualité de vie en offrant une expérience d'écoute plus naturelle que l'implant cochléaire classique (1, 8-11).

2.1. Indications audiométriques:

La SEA est une alternative pour les patients en échec avec l'amplification conventionnelle et la compression fréquentielle. La SEA est indiquée pour les patients présentant une surdité neuro-sensorielle sévère à profonde sur les hautes fréquences avec une audition résiduelle sur les fréquences graves en échec avec des prothèses auditives convenablement ajustées (2,3). La stimulation électro-acoustique n'est permise que pour une implantation cochléaire unilatérale de l'adulte (patient âgé de 18 ans ou plus).

Les fabricants proposent des seuils audiométriques, correspondant à des plages audiométriques, adaptés à la SEA (12, 13):

- Audition normale ou une perte auditive légère à modérée sur les basses fréquences: Seuil auditif inférieur à 65 dB HL sur les fréquences graves jusqu'à 500 Hz.
- Surdité sévère à profonde bilatérale sur les fréquences moyennes à aiguës (2000, 3000 et 4000 Hz).
- Score de reconnaissance assistée des mots inférieur ou égal à 60% mesuré avec une liste de mots monosyllabiques de l'oreille à implanter avec des aides auditives bien réglées.
- Absence de perte auditive rapidement progressive
- Absence de malformation, d'obstruction de la cochlée, d'otospongiose ou d'ossification.
- Absence de contre-indication au niveau de l'oreille externe pour l'utilisation de systèmes d'amplification
- Motivation et attente réaliste du patient.

Usami S et al ont défini des critères audiométriques, légèrement différents pour indiquer la pose d'implant à SEA (14,15) et qui sont:

- Seuil auditif moyen bilatéral inférieur ou égal à 65 dB HL sur les fréquences 125, 250 et 500 Hz.
- Seuil auditif moyen bilatéral supérieur ou égal à 80 dB HL sur la fréquence 2000 Hz, et supérieur ou égal à 85 dB HL sur les fréquences 4000 et 8000 Hz.

- Discrimination inférieure ou égale à 60% lors de la réalisation des tests d'audiométrie vocale avec une liste de mot monosyllabique. Les tests doivent être pratiqués à 65 dB SPL, avec des aides auditives bien réglées.

2.2 Préservation de l'audition résiduelle post-implantation

La préservation de l'audition résiduelle sur les basses fréquences en post-opératoire est l'un des facteurs clés de la réussite de la SEA.

Anatomiquement, l'introduction du porte-électrode peut être associée à un traumatisme cochléaire, qui peut aller d'un traumatisme minime de la membrane basilaire et/ou du ligament spiral, jusqu'à une dislocation de celle-ci vers la scala vestibuli ou le canal cochléaire, voire une rupture vraie de la lame spirale (16). Histologiquement, et en conséquence à de tels traumatismes, deux aspects peuvent apparaître:

- Réaction inflammatoire au niveau de la périlymphe.
- Fibrose et néo-ostéogenèse endo-Cochléaire.

Ces lésions sont irréversibles et peuvent induire une augmentation de l'impédance des électrodes, voire une perte de l'audition résiduelle (16, 17, 18).

Kamakura et al ont étudié dix-sept os temporaux d'utilisateurs d'IC après leurs décès, et ont montré une corrélation entre le pourcentage de volume de formation osseuse à l'intérieur de la cochlée à la suite d'un traumatisme d'insertion d'électrode à la membrane basilaire et les performances auditives de l'utilisateur d'IC (18). La survenue de telle complication peut résulter de certains facteurs liés aux caractéristiques de l'électrode et à la technique chirurgicale.

- Technique chirurgicale:

Au cours de la chirurgie de l'implantation cochléaire à SEA, le principe de la chirurgie prudente (Soft Surgery) a été introduit, objectivant une préservation de l'audition résiduelle en post-opératoire.

Le principe de la chirurgie prudente inclut l'éviction du traumatisme de la chaîne ossiculaire et son blocage par un tissu, l'éviction de l'aspiration de la périlymphe et de la pénétration du sang ou de débris osseux dans la cochlée, la limitation du fraisage de la cochléostomie et sa fermeture étanche lorsqu'elle est réalisée.

Deux techniques atraumatiques d'introduction de l'électrode ont été défendues: l'insertion à travers la fenêtre ronde et la cochléostomie prudente «Soft cochleostomy technique». La comparaison entre ces 2 techniques est difficile vu la variabilité des électrodes utilisées entre les différentes séries. Une revue de la littérature de Snels et al, a évalué la différence de la préservation de l'audition entre ces 2 techniques à 1 mois, 6 mois et 12 mois après la chirurgie (19). Les différences étaient de 13,1%, 18,6% et 1,7% respectivement en faveur de l'insertion à travers la fenêtre ronde (19). Cependant, la différence n'était statistiquement

significative qu'à 6 mois post-opératoires (19).

Quelle que soit la technique adoptée, la réalisation d'une tympanotomie large et une exposition correcte de la fenêtrée ronde sont nécessaires pour une introduction précise au niveau de la scala tympani (20).

L'administration de la corticothérapie péri-opératoire aura pour intérêt théorique anti-inflammatoire contre les phénomènes inflammatoires qui surviennent au cours ou après insertion du porte-électrode.

Snels et al ont étudié l'effet de la corticothérapie administrée à 4 groupes: Pas de corticothérapie, corticothérapie systémique, corticothérapie locale, et combinaison corticothérapie locale et générale. Aucune différence significative de la préservation de l'audition dans les 4 groupes n'a été observée à 1 mois, 6 mois et 12 mois post-opératoires, mais avec des résultats en faveur de la corticothérapie.

Une revue de la littérature de Killeen et al., réalisée en 2022 a retenu un effet bénéfique de la corticothérapie péri-opératoire par voie orale, un effet bénéfique à court terme de la corticothérapie intra-tympanique la veille de la chirurgie (21).

- Les caractéristiques de l'électrode

Une limitation de la profondeur/ angle d'insertion de l'électrode intra-cochléaire est discutée. Afin de minimiser le traumatisme cochléaire induit par l'insertion de l'électrode, des études histologiques ont montré qu'une insertion au-delà de la profondeur de 1 tour de spire, correspondant à une angulation d'insertion de 360°, et au niveau de 1000 Hz du modèle de Greenwood, est responsable de l'apparition d'un traumatisme apical (22, 23). Les données actuelles de la littérature sont en faveur d'une profondeur d'insertion entre 18-24 mm (24-28).

Néanmoins, certaines séries ont montré la possibilité d'une préservation de l'audition résiduelle aux basses fréquences avec des électrodes flexibles plus longues (entre 20mm et 30 mm). Skarzynski H. et al, dans leur série de 15 patients implantés avec une porte-électrode flexible de longueur standard (MED-EL STANDARD/FLEX SOFT TM), ont conclu à une préservation de l'audition résiduelle à moyen terme (1 à 4 ans après la chirurgie), avec une amélioration significative des scores de perception de la parole à 1 an post-implantation (7). Ces résultats sont concordants avec ceux d'études plus récentes montrant un effet significatif de la longueur de l'électrode, et la profondeur de son insertion, pour la préservation de l'audition résiduelle à court terme (1 an post-opératoire) (30, 31). Cet effet n'est cependant pas observé à long terme (24 mois post-opératoires) (32, 33).

Les porte-électrodes doivent être conçus, de façon à protéger au mieux les structures fragiles de la cochlée. En comparant les deux types d'électrodes, les portes électrodes péri-modiolaires ont une plus forte incidence de translocation de la scala tympani vers la scala-vestibuli par rapport aux portes électrodes droites (16). Cette constatation peut être

expliquée par la présence du stylet qui amène l'électrode à être dans une configuration droite avant que son insertion complète ne se produise, limitant ainsi sa correspondance à toutes les variations de taille et de géométrie inter-individuelle des cochlées.

La méta-analyse de Snels et al, a montré une différence significative dans la préservation de l'audition résiduelle à court terme (1 mois) entre les portes électrodes droites et péri-modiolaires en faveur des électrodes droites (19). Ces résultats sont similaires à ceux constaté par Mady et al, dans une série de 45 patients implantés des 2 types d'électrodes (34). A long terme, l'effet du type d'électrode sur la préservation de l'audition résiduelle n'est plus retenu (34, 35, 36), et la dégradation de l'audition résiduelle est observée. Celle-ci n'est pas dépendante du type du porte-électrode, mais plutôt secondaire à d'autres facteurs.

La rigidité du porte-électrodes est déterminée aussi par la taille, l'épaisseur et la méthode de construction de la plaque de contact de l'électrode, le nombre de canaux de stimulation individuels (12, 16, 20, 22 ou 24), l'épaisseur du platine-Fil d'iridium, teneur en iridium du fil (10% contre 20%), et la dureté de l'élastomère de silicone.

En conclusion, le choix du mode de stimulation dépend de plusieurs facteurs dont essentiellement le type de la surdité en pré-opératoire et l'audition résiduelle post-opératoire. Au cours de l'implantation cochléaire, une préservation de l'audition résiduelle permet une stimulation auditive post-opératoire optimale.

Références

1. Jang JH, Kim H, Choo OS, Ha J, Mun HA, Park HY, Choung YH. Preliminary study to determine an optimal mode for favorable residual hearing at low frequencies: Full electrical stimulation, electric acoustic stimulation, and electrical complement. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2022 Jun 30;7(4):1129-1135.
2. F. Simon, S. Roman, E. Truy, P. Barone, J. Belmin, C. Blanchet, S. Borel, et al. Recommandations de la SFORL (version courte) sur l'indication de l'implant cochléaire chez l'enfant. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*. 2019;136(5):376-382.
3. von Ilberg CA, Baumann U, Kiefer J, Tillein J, Adunka OF. Electric-acoustic stimulation of the auditory system: a review of the first decade. *Audiol Neurotol*. 2011;16 Suppl 2:1-30.
4. Kopelovich JC, Reiss LA, Oleson JJ, Lundt ES, Gantz BJ, Hansen MR. Risk factors for loss of ipsilateral residual hearing after hybrid cochlear implantation. *Otol Neurotol*. 2014 Sep;35(8):1403-8.
5. Adunka O, Unkelbach MH, Mack MG, Radeloff A, Gstoettner W. Predicting basal cochlear length for electric-acoustic stimulation. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005 Jun;131(6):488-92.
6. Kiefer J, Gstoettner W, Baumgartner W, Pok SM, Tillein J, Ye Q, von Ilberg C. Conservation of low-frequency hearing in cochlear implantation. *Acta Otolaryngol*. 2004 Apr;124(3):272-80.
7. Skarzynski H, Lorens A. Electric acoustic stimulation in children. *Adv Otorhinolaryngol*. 2010;67:135-143.
8. Pillsbury HC 3rd, Dillon MT, Buchman CA, Staecker H, Prentiss SM, Ruckenstein MJ, Bigelow DC, Telischi FF, Martinez DM, Runge CL, Friedland DR, Blevins NH, Larky JB, Alexiades G, Kaylie DM, Roland PS, Miyamoto RT, Backous DD, Warren FM, El-Kashlan HK, Slager HK, Reyes C, Racey AI, Adunka OF. Multicenter US Clinical Trial With an Electric-Acoustic Stimulation (EAS) System in Adults: Final Outcomes. *Otol Neurotol*. 2018 Mar;39(3):299-305.
9. Usami S, Moteki H, Tsukada K, Miyagawa M, Nishio SY, Takumi Y, Iwasaki S, Kumakawa K, Naito Y, Takahashi H, Kanda Y, Tono T. Hearing preservation and clinical outcome of 32 consecutive electric acoustic stimulation (EAS) surgeries. *Acta Otolaryngol*. 2014 Jul;134(7):717-27.
10. Gantz BJ, Turner C, Gfeller KE, Lowder MW. Preservation of hearing in cochlear implant surgery: advantages of combined electrical and acoustical speech processing. *Laryngoscope*. 2005 May;115(5):796-802.
11. Schaefer S, Sahwan M, Metryka A, Kluk K, Bruce IA. The benefits of preserving residual hearing following cochlear implantation: a systematic review. *Int J Audiol*. 2021 Aug;60(8):561-577.
12. Cochlear. <https://pronews.cochlear.com/hybrid-hearing-who-is-a-candidate/>. (En ligne) (Citation: 05 09 2023.)
13. Li C, Kuhlmeier M, Kim AH. Electroacoustic Stimulation. *Otolaryngol Clin North Am*. 2019 Apr;52(2):311-322.
14. Usami S, Moteki H, Tsukada K, Miyagawa M, Nishio SY, Takumi Y, Iwasaki S, Kumakawa K, Naito Y, Takahashi H, Kanda Y, Tono T. Hearing preservation and clinical outcome of 32 consecutive electric acoustic stimulation (EAS) surgeries. *Acta Otolaryngol*. 2014 Jul;134(7):717-27.
15. Saito K, Fujita T, Osaki Y, Koyama H, Shiraishi K, Kobayashi T, Sato M, Seo T, Doi K. Prevalence of potential candidates for electric-acoustic stimulation implant in a hearing-impaired population. *Auris Nasus Larynx*. 2020 Apr;47(2):198-202.
16. Dhanasingh A, Jolly C. Review on cochlear implant electrode array tip fold-over and scalar deviation. *J Otol*. 2019 Sep;14(3):94-100.
17. O'Connell BP, Hunter JB, Wanna GB. The importance of electrode location in cochlear implantation. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2016 Nov 29;1(6):169-174.

18. Kamakura T, Nadol JB Jr. Correlation between word recognition score and intracochlear new bone and fibrous tissue after cochlear implantation in the human. *Hear Res.* 2016 Sep;339:132-41.
19. Snels C, Int'Hout J, Mylanus E, Huinck W, Dhooge I. Hearing Preservation in Cochlear Implant Surgery: A Meta-Analysis. *Otol Neurotol.* 2019 Feb;40(2):145-153.
20. E. Kay-Rivest, J.T. Roland, D. Jethanamest. Hearing Preservation and Electro-acoustic Stimulation in Cochlear Implants. Dans: DeSaSouza, S. (eds) *Cochlear Implants.* Singapore: Springer; 2022. p. 315-328.
21. Killeen DE, Kutz JW Jr, Hunter JB, Isaacson B. Do Perioperative Systemic Corticosteroids Improve Cochlear Implant Hearing Preservation Outcomes? *Laryngoscope.* 2022 Feb;132(2):255-256.
22. Gstoettner W, Franz P, Hamzavi J, Plenk H Jr, Baumgartner W, Czerny C. Intracochlear position of cochlear implant electrodes. *Acta Otolaryngol.* 1999 Mar;119(2):229-33.
23. Adunka O, Kiefer J. Impact of electrode insertion depth on intracochlear trauma. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2006 Sep;135(3):374-82.
24. Adunka O, Unkelbach MH, Mack M, Hambek M, Gstoettner W, Kiefer J. Cochlear implantation via the round window membrane minimizes trauma to cochlear structures: a histologically controlled insertion study. *Acta Otolaryngol.* 2004 Sep;124(7):807-12.
25. Gifford RH, Dorman MF, Spahr AJ, Bacon SP, Skarzynski H, Lorens A. Hearing preservation surgery: psychophysical estimates of cochlear damage in recipients of a short electrode array. *J Acoust Soc Am.* 2008 Oct;124(4):2164-73.
26. Gstoettner W, Helbig S, Settevendemie C, Baumann U, Wagenblast J, Arnoldner C. A new electrode for residual hearing preservation in cochlear implantation: first clinical results. *Acta Otolaryngol.* 2009 Apr;129(4):372-9.
27. Lenarz T, Stöver T, Buechner A, Lesinski-Schiedat A, Patrick J, Pesch J. Hearing conservation surgery using the Hybrid-L electrode. Results from the first clinical trial at the Medical University of Hannover. *Audiol Neurootol.* 2009;14 Suppl 1:22-31.
28. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Podskarbi-Fayette R. Results of partial deafness cochlear implantation using various electrode designs. *Audiol Neurootol.* 2009;14 Suppl 1:39-45.
29. Helbig S, Helbig M, Rader T, Mack M, Baumann U. Cochlear reimplantation after surgery for electric-acoustic stimulation. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* 2009;71(3):172-8.
30. Moran M, Dowell RC, Iseli C, Briggs RJS. Hearing Preservation Outcomes for 139 Cochlear Implant Recipients Using a Thin Straight Electrode Array. *Otol Neurotol.* 2017 Jun;38(5):678-684.
31. Skarzynski H, Matusiak M, Lorens A, Furmanek M, Pilka A, Skarzynski PH. Preservation of cochlear structures and hearing when using the Nucleus Slim Straight (CI422) electrode in children. *J Laryngol Otol.* 2016 Apr;130(4):332-9.
32. Skarzynski PH, Skarzynski H, Dziendziel B, Rajchel JJ, Gos E, Lorens A. Hearing Preservation With the Use of Flex20 and Flex24 Electrodes in Patients With Partial Deafness. *Otol Neurotol.* 2019 Oct;40(9):1153-1159.
33. O'Connell BP, Hunter JB, Haynes DS, Holder JT, Dedmon MM, Noble JH, Dawant BM, Wanna GB. Insertion depth impacts speech perception and hearing preservation for lateral wall electrodes. *Laryngoscope.* 2017 Oct;127(10):2352-2357.
34. Mady LJ, Sukato DC, Fruit J, Palmer C, Raz Y, Hirsch BE, McCall AA. Hearing Preservation: Does Electrode Choice Matter? *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2017 Nov;157(5):837-847.
35. Harrison L, Manjaly JG, Ellis W, Lavy JA, Shaida A, Khalil SS, Saeed SR. Hearing Preservation Outcomes With Standard Length Electrodes in Adult Cochlear Implantation and the Uptake of Electroacoustic Stimulation. *Otol Neurotol.* 2020 Sep;41(8):1060-1065.
36. Selleck AM, Park LR, Choudhury B, Teagle HFB, Woodard JS, Gagnon EB, Brown KD. Hearing Preservation in Pediatric Recipients of Cochlear Implants. *Otol Neurotol.* 2019 Mar;40(3):e277-e282.

VOIES D'ABORD CHIRURGICAL

Safa NEFZAOUI

Durant les 3 dernières décades, la chirurgie d'implantation cochléaire a largement évolué avec une tendance de plus en plus importante vers une chirurgie mini-invasive réduisant aussi bien le temps opératoire que le risque de complications. Les incisions cutanées sont devenues de plus en plus petites et le fraisage du lit de l'implant n'est plus systématique. Si l'approche trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure reste le standard, d'autres voies d'abord ont été décrites permettant un accès satisfaisant à la fenêtre ronde. Dans ce chapitre on passera en revue les principales voies d'abord décrites dans la littérature.

1. Incision cutanée:

Depuis le premier implant cochléaire en 1957, les incisions ont changé avec l'évolution technologique de la partie interne implantée. Au départ, on optait pour les incisions réalisant une large exposition du stimulateur interne. En conséquence, la majorité des complications de l'implant cochléaire étaient liées aux lambeaux, parfois nécessitant le retrait de l'implant.

Les premières incisions étaient rétro-auriculaires réalisées en forme de C à charnière antérieure. Ces incisions ont bien fonctionné avec les implants à canal unique, mais ont dû être modifiées pour une incision en forme de C plus grande avec les implants à canaux multiples. La conséquence était un important taux de complications à type de nécrose cutanée et extrusion du dispositif.

Ce qui a amené certains auteurs à opter pour l'incision endaurale qui a été largement utilisée en Europe en raison de sa petite taille et du moindre risque des complications. Mais, elle a été abandonnée plus tard en raison de complications liées à la cicatrisation de la peau au niveau du méat auditif externe et d'engourdissement du cuir chevelu.

Par la suite, une incision inversée en forme de U à charnière inférieure a été développée en Australie qui après a été modifiée en une incision inversée en forme de J afin d'améliorer la vascularisation du lambeau, mais sans réduction du risque de complications cutanées.

Actuellement, l'incision la plus couramment employée est une incision rétro-auriculaire droite oblique de 2 à 4 cm. Les avantages de cette incision sont: un rasage minimal des cheveux, une moindre élévation dissection des tissus sous-cutanés, un temps opératoire plus court et une cicatrisation plus rapide. Les inconvénients comprennent une visibilité réduite et un accès limité pour réaliser le lit d'implant.

L'incision en S inversé est une autre option fréquemment utilisée qui offre l'avantage de permettre un bon accès au lit d'implant. Quelle que soit l'incision réalisée, elle doit permettre d'accéder aux repères chirurgicaux (Linea temporalis, pointe mastoïde et épine de Henlé) et être à distance du stimulateur interne pour éviter une extrusion potentielle sans compromettre la vascularisation du lambeau cutané (1).

2. Voies d'abord:

L'approche trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure, décrite par House, a été la technique la plus couramment utilisée pour la chirurgie d'implant cochléaire (IC). Devant certaines contraintes anatomiques, certains auteurs ont décrit des techniques alternatives dites approches sans mastoïdectomie telle que l'approche supra méatale (SMA) et ses variantes et celle trans-canalair (Veria) et ses variantes.

2.1. Voie trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure:

C'est la voie classique de la chirurgie de l'implant cochléaire (figure 1). Cette voie permet de satisfaire trois objectifs simultanés: donner accès à la mastoïde, recouvrir le stimulateur implanté et préserver la vascularisation du lambeau cutané. Que l'incision soit inter hélico-tragienne avec extension postéro-supérieure, arciforme postérieure en C à charnière antérieure ou sus et rétro-auriculaire étendue vers le haut et l'arrière en S, elles doivent toujours être réalisées de telle sorte que l'implant ne soit pas exposé, mais positionné à distance de celles-ci pour limiter les risques de souffrance cutanée et donc d'extrusion. Cette chirurgie requiert un chirurgien expérimenté. En effet, l'abord de la fenêtrée ronde par tympanotomie postérieure expose au risque surtout de lésion du nerf facial.

Kant, dans une étude récente, a publié les résultats d'un questionnaire auprès de 59 chirurgiens d'implants cochléaires, travaillant dans 13 différents pays. Le nombre médian d'années d'expérience professionnelle était de 17 ans. Les répondants de cette cohorte d'étude ont réalisé en moyenne 2338 implantations cochléaires par an. La majorité travaillait en Europe de l'Ouest (n = 38; 64%), en Europe centrale (n = 7; 12%), en Amérique du Nord (n = 7; 12%), en Océanie (n = 4; 7%) ou en Sud d'Europe (n = 3; 5%). Tous les répondants ont utilisé l'approche trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure. Les formes d'incision préférées étaient la forme en S (41%) et la forme en C (36%) (1).

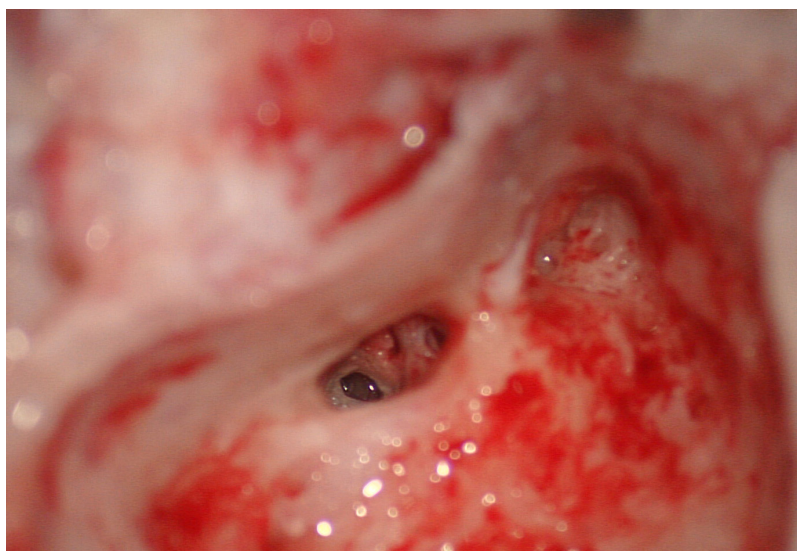


Figure 1:
Voie trans-mastoïdienne avec tympanotomie postérieure. (Photo Dr J. Koubaa)

2.2. Voies sans mastoïdectomie:

Les approches sans mastoïdectomie sont valables dans les cas où la voie trans-mastoïdienne conventionnelle est difficile à réaliser. Les indications se résument principalement à un récessus facial étroit, un trajet aberrant du canal du facial, une mastoïde sévèrement éburnée, les malformations cochléaires et l'ossification cochléaire. La chirurgie peut être pratiquée chez les nourrissons qui n'ont pas encore complètement développé la mastoïde.

Par conséquent, plusieurs auteurs considèrent qu'il est utile et même obligatoire que les chirurgiens de l'IC se familiarisent avec ces approches.

2.2.1. Approche trans-canalaire dite de Veria:

Il s'agit d'une voie endaurale pour la cochléostomie avec fraisage d'un tunnel dans l'épaisseur du mur postérieur du CAE, entre la corticale mastoïdienne et l'oreille moyenne, après élévation du lambeau tympano-méatal (figure 2). Elle permet une inspection complète de l'anatomie, une localisation sûre du tour basal de la cochlée et le point de cochléostomie ou l'ouverture de la fenêtre ronde.

L'incision cutanée peut être endaurale ou retroauriculaire, et l'insertion de l'électrode dans la cochlée peut être à travers une cochléostomie ou à travers la membrane de la fenêtre ronde.

La technique est surtout adaptée aux variations anatomiques et aux malformations. Les avantages de cette voie sont essentiellement l'absence d'impact sur la croissance des enfants, l'absence de corps étranger dans la mastoïde et la préservation de l'anatomie mastoïdienne ainsi que la possibilité de traiter une éventuelle mastoïdite comme chez les personnes non implantées. Toutefois, cette approche expose à un haut risque d'extrusion du porte-electrode.

Freni a comparé dans une étude les résultats de l'approche endo-méatale réalisée sur 103 oreilles présentant un sinus latéral procident ou une petite cavité mastoïdienne et ceux d'une mastoïdectomie conventionnelle réalisées sur 107 oreilles. La différence dans le nombre total de complications majeures et mineures entre le groupe de cas et le groupe témoin n'était pas statistiquement significative. Cependant, la durée moyenne de la chirurgie était de 102 ± 29 min pour l'EMA et de 118 ± 15 min pour la technique PT ($p = 0,008$) (2).

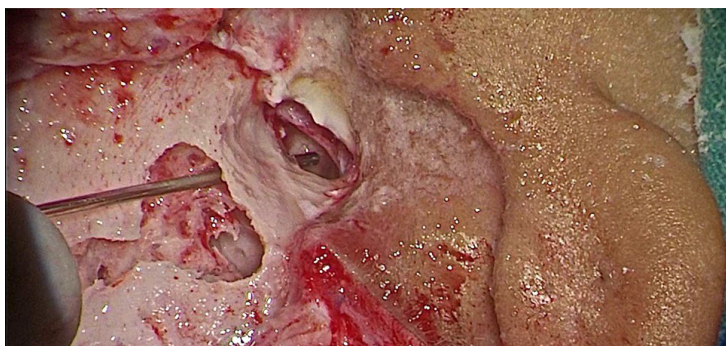


Figure 2:
Approche trans-canalaire de Veria (3).

2.2.2. Approche supra-méatale

Kronenberg a initialement développé l'approche supra-méatale en 1999. La procédure consiste à soulever un lambeau cutané rétro-auriculaire puis un lambeau tympano-méatal de manière à exposer l'oreille moyenne. Une fois la corde tympanique identifiée, une encoche de 1 mm est creusée dans le scutum postéro-supérieur au nerf facial et latéralement à l'incus jusqu'à ce que le processus court de l'incus soit exposé. Un tunnel est creusé dans l'os temporal et au-dessus du conduit auditif externe (EAC), visant la rainure créée dans le scutum (figure 3). L'électrode est introduite à travers le tunnel supra-méatal dans l'oreille moyenne vers la cochléostomie (4).

El Anwar dans une revue de la littérature a retrouvé que dans plus d'un millier de cas publiés d'approche supra-méatale, la prévalence totale des complications était de 11%; celle des complications majeures était de 1,3% et mineures de 9,8% (5). Ces taux de complications étaient similaires à ceux trouvés avec l'approche trans-mastoïdienne, mais avec l'avantage supplémentaire d'une durée plus courte de la chirurgie, de l'anesthésie, de la convalescence et du séjour à l'hôpital. En plus, le taux d'extrusion des électrodes chez plus de 1000 patients était de 0,79% dans l'approche supra-méatale et de 1,88% pour l'approche trans-canaulaire. Il a conclu ainsi que les taux de complications avec les approches sans mastoïdectomie sont similaires à ceux trouvés dans l'approche trans-mastoïdienne (6).

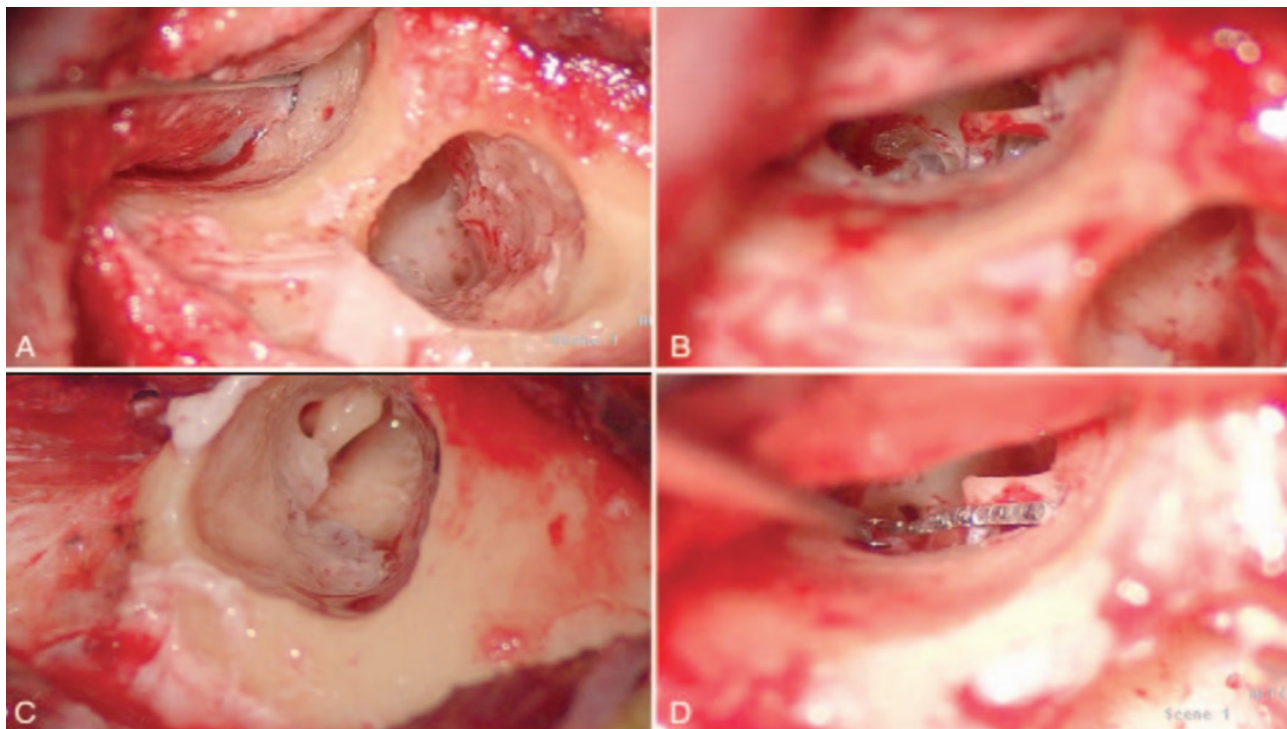


Figure 3:
Images per-opératoires d'une voie supra-méatale gauche. (A) Antrotomie et élévation du lambeau tympano-méatal en doigt de gant. (B): Exposition de la membrane de la fenêtré ronde. (C): fraisage du tunnel latéral à la courte apophyse de l'enclume avec une fraise diamantée de 1,5 mm. (D): Insertion de l'électrode à travers la membrane de la fenêtré ronde (5).

3. La chirurgie robotique:

L'utilisation de la robotique dans les implants cochléaires est encore à ses débuts. Jusqu'à présent, la procédure robotique n'a été effectuée que chez quelques patients et son applicabilité dans la routine clinique doit encore être évaluée. Les avantages de cette chirurgie est la possibilité de planification d'une approche sûre des structures de l'oreille moyenne et interne en cas de malformations et la préservation de l'audition résiduelle. En effet, les résultats des patients et les performances auditives pourraient être améliorés en raison d'un traumatisme réduit à l'oreille interne (7).

Références

1. Kant E, Markodimitraki LM, Stegeman I, Thomeer HGXM. Variability in surgical techniques for cochlear implantation: an international survey study. *Cochlear Implants Int.* 2022;23(4):195-202.
2. Freni F, Gazia F, Slavutsky V, Scherdel EP, Nicenboim L, Posada R, et al. Cochlear Implant Surgery: Endomeatal Approach versus Posterior Tympanotomy. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(12).
3. Hans JM, Prasad R. Cochlear Implant Surgery by the Veria Technique: How and Why? Experience from 1400 Cases. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2015;67(2):107-9.
4. Kronenberg J, Baumgartner W, Migirov L, Dagan T, Hildesheimer M. The suprameatal approach: an alternative surgical approach to cochlear implantation. *Otol Neurotol.* 2004;25(1):41-4; discussion 44-45.
5. Dietz A, Wüstefeld M, Niskanen M, Löppönen H. Cochlear Implant Surgery in the Elderly: The Feasibility of a Modified Suprameatal Approach Under Local Anesthesia. *Otol Neurotol.* 2016;37(5):487-91.
6. El-Anwar MW, ElAassar AS, Foad YA. Non-mastoidectomy Cochlear Implant Approaches: A Literature Review. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2016;20(2):180-4.
7. Panara K, Shahal D, Mittal R, Eshraghi AA. Robotics for Cochlear Implantation Surgery: Challenges and Opportunities. *Otol Neurotol.* 2021;42(7):e825-e835.

ACCÈS À LA RAMPE TYMPANIQUE: FENÊTRE RONDE OU COCHLÉOSTOMIE

Safa NEFZAOUI

Les procédures d'implantation cochléaire (IC) étaient initialement destinées uniquement aux patients atteints de surdité totale. Actuellement, les indications se sont élargies et des patients avec une audition résiduelle sont implantés. La préservation de l'audition est devenue un objectif à prendre en considération lors de la détermination de l'approche chirurgicale de l'implantation cochléaire.

Ainsi, des approches chirurgicales «douces» qui minimisent le traumatisme intra-cochléaire et optimisent le contact des électrodes avec les neurones du ganglion spiral du limaçon ont été discutées.

Les changements intra-cochléaires dus 3 aux dommages causés par l'insertion des électrodes peuvent être immédiats ou retardés. Le traumatisme intra-cochléaire initial comprend une fracture ou une luxation de la lame spirale osseuse, des lésions de l'organe de Corti et une rupture du ligament spiral et de la strie vasculaire.

Le déplacement inter-scalaire est une complication fortement indésirable dans la chirurgie de l'IC, qui entraîne des dommages à la microstructure cochléaire avec perte des cellules ciliées et des neurones du ganglion spiral. En effet, il a été établi que l'insertion au niveau de la rampe tympanique est garante de meilleurs résultats auditifs globaux, de moins de vertiges post-opératoires et une préservation de l'audition résiduelle par rapport à l'insertion dans la rampe vestibulaire (1,2).

Les traumatismes secondaires sont représentés par la formation d'un tissu inflammatoire ou de la fibrose autour de l'électrode. Ce processus peut induire une altération des perceptions ainsi que la modification de l'impédance de l'électrode, conduisant à une augmentation du seuil de stimulation électrique. Un autre effet délétère est l'oblitération de la rampe vestibulaire avec perturbation des fluides cochléaires, conduisant à un hydrops cochléaire.

Lors de l'implantation cochléaire, le chirurgien a la possibilité d'insérer l'électrode dans la rampe tympanique à travers la fenêtré ronde (RW), avec ou sans élargissement de ses bords (RWE), ou via une cochléostomie adjacente à la fenêtré ronde. Le choix est en fonction de l'anatomie et/ou de la préférence du chirurgien. Les deux techniques ont leurs avantages et leurs inconvénients.

L'approche à travers la fenêtré ronde étendue est une combinaison de l'approche directe RW et de la cochléostomie et est généralement considérée comme une variante

de l'approche de la cochléostomie. Plusieurs études ont montré que l'approche RW peut entraîner moins de traumatismes que la cochléostomie en ce qui concerne le déplacement inter-scalaire. Jiam a comparé dans une étude la prévalence de l'extrusion inter-scalaire entre 8 patients implantés cochléaires par des faisceaux de 12 électrodes (4 par cochléostomie et 4 par fenêtre ronde). La cochléostomie était associée à une probabilité plus élevée d'extrusion inter-scalaire. Dans le groupe cochléostomie, 29% des contacts d'électrodes (14 électrodes sur 48) étaient à l'extérieur de la rampe tympanique versus 8,5% (4 sur 47 électrodes) dans le groupe d'insertion de fenêtre ronde (3).

Pour certains auteurs, l'implantation via la fenêtre ronde (RW) permet une préservation auditive optimale. En effet, les résultats audiologiques sont meilleurs en l'absence de fraisage dans la cochlée, ce qui réduit les risques de migration de poussière osseuse dans la cochlée. En outre, il existe un risque moindre d'extrusion scalaire avec l'approche RW. Cette approche est associée à une meilleure perception de la parole, acquisition et production de la parole que l'insertion par cochléostomie (4). Avasarala a effectué une revue systématique et une méta-analyse pour comparer les approches chirurgicales de fenêtre ronde (RW) et de cochléostomie. L'approche RW (93%) a conduit à une préservation de l'audition statistiquement meilleure que la cochléostomie (84,3%) ($p < 0,05$). Elle était également associée à de meilleurs résultats en termes de perception de la parole, de facilité d'insertion dans la rampe tympanique et d'un risque de migration inter-scalaire. Aucune différence entre les approches n'a été trouvée en ce qui concerne le traumatisme, l'impédance électrique et le dysfonctionnement vestibulaire (5).

Dans une étude comparant 100 enfants âgés de 2 à 8 ans ayant eu un implant cochléaire par RW et 100 enfants par cochléostomie, la perception de la parole, la reconnaissance de la parole dans le silence et la compréhension de phrases dans le bruit à 24-30 mois et à 31-36 mois après l'implantation étaient meilleures pour le groupe de la fenêtre ronde. En outre, l'acquisition du langage et la production de la parole, à 24-30 et 31-36 mois post-implantation, étaient meilleures pour le groupe fenêtre ronde ($p < 0,001$) (6). Rajput a comparé les résultats post-implantation chez des enfants présentant une surdité profonde bilatérale congénitale non syndromique implantés via une cochléostomie à ceux via la fenêtre ronde. Tous les patients ont montré une amélioration des performances auditives et de l'intelligibilité de la parole mesurées à 03 mois, 06 mois et 01 an après l'implantation cochléaire. Il n'y avait pas de différence significative dans les capacités de perception de la parole et de l'ouïe dans les deux groupes (7). Tsukada a montré dans une étude comparant l'implantation cochléaire via la fenêtre ronde versus cochléostomie que les fréquences des réactions anormales post-opératoires au test calorique et à l'oVEMP (Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potential) dans les oreilles implantées ne différaient pas significativement, que l'approche via RW ou la cochléostomie a été choisie. Cependant, la fréquence des cVEMP (cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential) post-opératoires anormaux était significativement plus élevée chez les patients ayant

eu une cochléostomie. Il a conclu ainsi que la fenêtre ronde est l'approche préférable pour la préservation de la fonction vestibulaire (4). Par contre, Korsager a comparé deux groupes: le premier implanté via une cochléostomie et le second via la fenêtre ronde. Il a étudié leurs profils vestibulaires en post-opératoire par le VHIT et subjectivement par l'échelle visuelle analogique et le Dizziness Handicap Inventory (DHI). Aucune différence statistiquement significative entre l'approche par cochléostomie et l'approche par fenêtre ronde n'a été trouvée (8). Dans une étude histo-pathologique, Ishiyama a rapporté que la cochléostomie était significativement associée à une fibrose de la rampe vestibulaire et à l'hydrops comparativement à l'insertion via la fenêtre ronde(9). Ainsi, l'implantation via la fenêtre ronde a été préconisée comme méthode de choix pour réduire le traumatisme d'insertion et préserver l'audition résiduelle.

Cependant, l'accès à la membrane de la fenêtre ronde peut être difficile en raison du surplomb osseux de la niche de la fenêtre ronde. De plus, la taille et l'orientation variables de la fenêtre ronde peuvent rendre l'insertion de l'électrode difficile. Panda a proposé une classification de la visibilité de la fenêtre ronde en 4 grades: Grade I: > 50% de la membrane de la fenêtre ronde est visible. Grade II: 25% à 50% de la membrane de la fenêtre ronde est visible. Grade III: < 25%, c'est-à-dire que seul un aperçu de la membrane de la fenêtre ronde est visible et Grade IV: la membrane de la fenêtre ronde n'est pas visible (10). Dans son étude, pour les fenêtres rondes classées grade I, l'électrode a pu être facilement insérée à travers la fenêtre ronde. Pour le grade II, un perçage minimal de la niche était nécessaire pour une insertion en douceur de l'électrode à travers la fenêtre ronde. Pour une fenêtre ronde grade III, un fraisage complet de la fenêtre ronde était nécessaire. Pour le grade IV, une cochléostomie standard a été réalisée dans 16/47 cas. Il recommande ainsi que le chirurgien devrait toujours tenter d'effectuer une insertion à travers la fenêtre ronde, faute de quoi une cochléostomie standard pourrait être réalisée (10).

Références

1. Wanna GB, O'Connell BP, Francis DO, Gifford RH, Hunter JB, Holder JT, et al. Predictive factors for short- and long-term hearing preservation in cochlear implantation with conventional-length electrodes. *Laryngoscope*. févr 2018;128(2):482-9.
2. Fraysse B, Macías AR, Sterkers O, Burdo S, Ramsden R, Deguine O, et al. Residual hearing conservation and electroacoustic stimulation with the nucleus 24 contour advance cochlear implant. *Otol Neurotol*. août 2006;27(5):624-33.
3. Jiam NT, Limb CJ. The impact of round window vs cochleostomy surgical approaches on interscalar excursions in the cochlea: Preliminary results from a flat-panel computed tomography study. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. sept 2016;2(3):142-7.
4. Tsukada K, Usami SI. Vestibular Preservation After Cochlear Implantation Using the Round Window Approach. *Front Neurol*. 2021;12:656592.
5. Avasarala VS, Jinka SK, Jeyakumar A. Complications of Cochleostomy Versus Round Window Surgical Approaches: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*. mai 2022;14(5):e25451.
6. Elafandi H, Khalifa MA, Elguindy AS. Cochlear implantation outcomes with round window electrode insertion versus cochleostomy insertion. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. nov 2020;138:110272.
7. Rajput M, Nilakantan A. Functional Outcomes in Cochleostomy and Round Window Insertion Technique: Difference or No Difference? *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. nov 2019;71(Suppl 2):1615-20.
8. Korsager LEH, Schmidt JH, Faber C, Wanscher JH. Vestibular Outcome After Cochlear Implantation Is Not Related to Surgical Technique: A Double Blinded, Randomized Clinical Trial of Round Window Approach Versus Cochleostomy. *Otol Neurotol*. mars 2018;39(3):306-12.
9. Ishiyama A, Doherty J, Ishiyama G, Quesnel AM, Lopez I, Linthicum FH. Post Hybrid Cochlear Implant Hearing Loss and Endolymphatic Hydrops. *Otol Neurotol*. déc 2016;37(10):1516-21.
10. Panda N, Kameswaran M, Patro SK, et al. Evaluation of round window accessibility for electrode insertion: validation study from two centers. *J Otolaryngol ENT Research*. 2017;8(5):517-20.

TRAITEMENT MÉDICAL

PÉRI-IMPLANTATION COCHLÉAIRE

Safa NEFZAOUI

La rampe tympanique est un environnement biologiquement actif. Suite à l'introduction de l'électrode, la périlymphe, riche en protéines risque de s'adsorber à la surface de l'électrode, ce qui conduit à un processus de formation de fibrose et de néo-ostéogenèse. Cette fibrose péri-électrode agirait comme une barrière à la stimulation qui peut réduire l'efficacité du dispositif en augmentant l'impédance électrique et également provoquer une détérioration de l'audition résiduelle post-opératoire. En outre, ceci pourrait présenter un risque d'oblitération de la rampe tympanique dans certains cas, ce qui rend difficile la réinsertion des électrodes dans les chirurgies de réimplantation potentielles.

1. Place des glucocorticoïdes:

Au cours des dernières années, les glucocorticoïdes ont été utilisés pour protéger l'audition résiduelle, qui est particulièrement importante pour la perception de la parole, de la musique, de la localisation du son et de l'audition dans le bruit. Le rationnel de cette utilisation est basé sur l'effet des glucocorticoïdes à réduire l'inflammation, qui est l'une des causes potentielles de lésions cochléaires. L'application de corticostéroïdes permettrait de minimiser la formation de tissu fibreux intra-cochléaire autour de l'électrode (1).

Bien qu'ils soient largement utilisés, le moment de l'administration des stéroïdes n'est pas standardisé par rapport à la chirurgie. Il en va de même pour la dose, la voie d'administration des substances pharmacologiques actuellement disponibles (2).

Des études humaines et animales ont montré que l'administration de stéroïdes nécessite des doses élevées pour atteindre des taux intra-cochléaires élevés. Certains auteurs recommandent d'utiliser la Dexaméthasone par voie intra-veineuse une heure avant la chirurgie afin de réduire une éventuelle perte auditive induite par la chirurgie; d'autres suggèrent l'injection directe dans la fenêtre ronde (2).

Skarżyńska et al, ont comparé trente-cinq patients adultes répartis au hasard en trois sous-groupes: le premier sous-groupe recevant uniquement de la dexaméthasone par voie intra-veineuse (0,1 mg/kg deux fois par jour) pendant trois jours en post-opératoire, le deuxième sous-groupe avec une combinaison de corticothérapie intra-veineuse et orale: Prednisone (1 mg/kg) pendant trois jours en pré-opératoire suivi par de la dexaméthasone, 0,1 mg/kg) trois jours en post-opératoire puis relai par le prednisone pendant trois jours et diminution progressive de la dose et le troisième sous-groupe sans corticothérapie (groupe témoin). La majorité des patients du premier et deuxième sous-groupe avait une

audition partiellement préservée (77,8% versus 61,5% des participants) contrairement au troisième groupe (3).

Dans les recommandations de la SFORL, les auteurs ont rapporté que le bénéfice de la corticothérapie péri-opératoire était modéré et observé dans des séries limitées de patients et qu'il n'existe pas d'étude randomisée bien menée comparant les différentes voies d'administration. De ce fait, ils ne peuvent recommander préférentiellement ni une molécule, ni un mode d'administration, ni une durée au vu des données de la littérature.

Cependant, ils ont recommandé de proposer au patient un traitement par corticothérapie péri-opératoire en cas de tentative de préservation de l'audition résiduelle (4).

Certains auteurs ont rapporté l'effet bénéfique de l'application d'hydrogel de corticoïde qui est facilement applicable et entraîne une libération prolongée de glucocorticoïde dans l'oreille interne avec des concentrations maximales au cours du premier jour après l'application. Honeder dans une étude expérimentale animale a montré que l'application d'hydrogel de dexaméthasone intra-tympanique un jour avant la chirurgie a entraîné une réduction significative des baisses de seuil auditif sur les basses, moyennes et hautes fréquences mesurées à 1 mois post-opératoire (5).

2. Place de l'acide hyaluronique:

L'acide hyaluronique a été utilisé en 1995 par Donnelly pour faciliter l'insertion d'électrodes dans des spécimens d'os temporal humain (6). De nombreuses études l'ont utilisé pour réduire les forces de friction lors de l'insertion de l'électrode et pour maintenir un jeu dans la périlymphe à l'intérieur de la cochlée après mise en place des électrodes (7). L'acide hyaluronique appliqué contre la fenêtrée ronde permet, grâce à sa haute densité, de réduire la pénétration de la poudre d'os et du sang dans la rampe tympanique ainsi que la fuite de liquide péri-lymphatique (7). L'acide hyaluronique permet de faciliter l'introduction la plus distale de la première électrode en réduisant le traumatisme des structures de l'oreille interne ainsi que des neurones des ganglions spiraux (7). Dans une étude expérimentale, son association à une corticothérapie locale a permis une meilleure préservation d'une audition résiduelle (8). Cependant, les données actuelles ne permettent pas de confirmer un bénéfice significatif en ce qui concerne la préservation de l'audition chez les patients implantés.

Références

1. O'Leary SJ, Choi J, Brady K, Matthews S, Ozdowska KB, Payne M, et al. Systemic methylprednisolone for hearing preservation during cochlear implant surgery: A double blinded placebo-controlled trial. *Hear Res.* mai 2021;404:108224.
2. Parys QA, Van Bulck P, Loos E, Verhaert N. Inner Ear Pharmacotherapy for Residual Hearing Preservation in Cochlear Implant Surgery: A Systematic Review. *Biomolecules.* Mars 2022;12(4).
3. Skarżyńska MB, Skarżyński PH, Król B, Kozieł M, Osińska K, Gos E, et al. Preservation of Hearing Following Cochlear Implantation Using Different Steroid Therapy Regimens: A Prospective Clinical Study. *Med Sci Monit.* 22 avr 2018;24:2437-45.
4. Simon F, Roman S, Truy E, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Guidelines (short version) of the French Society of Otorhinolaryngology (SFORL) on pediatric cochlear implant indications. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* oct 2019;136(5):385-91.
5. Honeder C, Zhu C, Schöpfer H, Gausterer JC, Walter M, Landegger LD, et al. Effects of sustained release dexamethasone hydrogels in hearing preservation cochlear implantation. *Hear Res.* nov 2016;341:43-9.
6. Donnelly MJ, Cohen LT, Clark GM. Initial investigation of the efficacy and biosafety of sodium hyaluronate (Healon) as an aid to electrode array insertion. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl.* sept 1995;166:45-8.
7. Laszig R, Ridder GJ, Fradis M. Intracochlear insertion of electrodes using hyaluronic acid in cochlear implant surgery. *J Laryngol Otol.* mai 2002;116(5):371-2.
8. Thapa N, Zheng Y, Gao N, Chi F. Evaluation of the hearing preservation and tissue response of dexamethasone and hyaluronic acid delivery during cochlear implantation on cats in a three-month period study. *Auris Nasus Larynx.* avr 2023;50(2):228-34.

IV. PARTICULARITÉS DES MALFORMATIONS DE L'OREILLE INTERNE



PARTICULARITÉS DES MALFORMATIONS DE L'OREILLE INTERNE

Azza MEDIOUNI; Selima SIALA

Les malformations de l'oreille interne (MOI), telles que définies radiologiquement, représentent environ 20% des surdités neuro-sensorielles (SNS) congénitales (1). Ces malformations se traduisent morphologiquement par des anomalies du labyrinthe osseux et du labyrinthe membraneux associées ou non à des anomalies des structures nerveuses de l'oreille interne.

La majorité des patients ayant des MOI sont porteurs d'une SNS bilatérale sévère à profonde et sont donc candidats à un implant cochléaire (IC) qui est désormais la méthode de réhabilitation de choix dans ces SNS.

La classification la plus aboutie et la plus consensuelle actuellement est celle de Sennaroglu (2,3). Cette classification est basée sur les différences d'anatomie cochléaire, c'est-à-dire que les malformations de caractéristiques similaires sont regroupées. La classification offre un langage commun grâce auquel, l'échange d'expériences est plus aisé et plus fructueux.

Après le bilan radiologique pré-implantation, composé obligatoirement d'une TDM haute résolution (HRCT) et d'une IRM des rochers, le clinicien, face à la découverte d'une MOI, doit pouvoir:

- Classer de manière appropriée la malformation et statuer sur l'état du nerf cochléaire
- Prendre une décision quant à la faisabilité de l'implantation cochléaire
- Evaluer les risques opératoires inhérents à la malformation: geysers, difficultés à identifier la cochlée, fausse-route de l'électrode, malposition du nerf facial et fistule péri-lymphatique associée.
- Planifier une stratégie de prise en charge adaptée: voie d'abord, type d'électrode, prise en charge du geysers.

On présentera la classification en l'illustrant et en discutant la prise en charge implantatoire de chaque malformation à la faveur du cumul d'expériences rapportées dans la littérature.

A. Classification et prise en charge des malformations de l'oreille interne:

Selon la littérature actuelle (2,3), les MOI sont classées en huit groupes distincts:

1. Aplasie labyrinthique complète (ALC, aplasie de Michel)

1.1. Définition et radiologie

L'aplasie labyrinthique est l'absence de cochlée, de vestibule, de canaux semi-circulaires et d'aqueducs vestibulaire et cochléaire. L'os pétreux peut être hypoplasique, tandis que la capsule otique peut être hypoplasique ou aplasique (4). Chez la majorité

des patients, le conduit auditif interne (CAI) se compose uniquement du canal facial; les segments labyrinthique, tympanique et mastoïdien du nerf facial peuvent être suivis dans l'os temporal. Les osselets sont généralement présents dans l'oreille moyenne. Il existe trois groupes différents d'ALC (2):

- ALC avec os pétreux hypoplasique ou aplasique: L'oreille moyenne peut être adjacente à la fosse postérieure (Figure 1a).
- ALC sans capsule otique: Dans ce groupe d'ALC, la formation de l'os pétreux est normale, mais la capsule otique est hypoplasique (Figure 1b) ou aplasique.
- ALC avec capsule otique: La formation de l'os pétreux et de la capsule otique est normale. Le canal du nerf facial est visible.

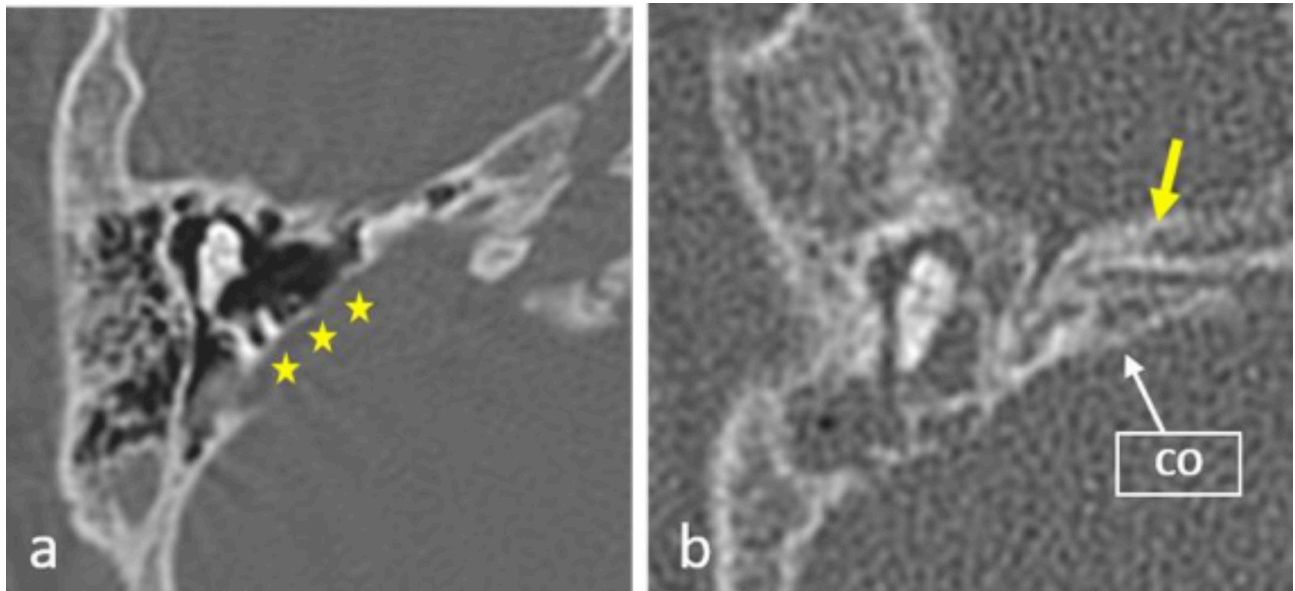


Figure 1: TDM du rocher droit en coupe axiale montrant une aplasie labyrinthique chez deux patients différents: a- Aplasie labyrinthique avec hypoplasie de l'os temporal et aplasie de la capsule otique, la caisse tympanique étant immédiatement au contact de la fosse postérieure (étoiles). b- Aplasie labyrinthique avec une capsule otique (CO) hypoplasique, segment labyrinthique du canal facial (flèche) (5).

1.2. Résultats audiolinguistiques

L'examen audiolinguistique révèle soit une absence de réponse, soit une perte auditive profonde à 125, 250 et 500 Hz ce qui peut être dû à des sensations vibro-tactiles (6).

1.3. Prise en charge

L'implantation cochléaire chez ces enfants est impossible car l'oreille interne est absente. L'implantation du tronc cérébral auditif (Auditory Brainstem Implantation: ABI) est donc la seule option chirurgicale pour la réhabilitation auditive (7).

2. Otocyste rudimentaire

2.1. Définition et radiologie

Un otocyste rudimentaire est constitué de représentations millimétriques incomplètes de la capsule otique (de forme ronde ou ovoïde), sans CAI (Figure 2). Parfois, des parties des canaux semi-circulaires peuvent accompagner l'otocyste rudimentaire.

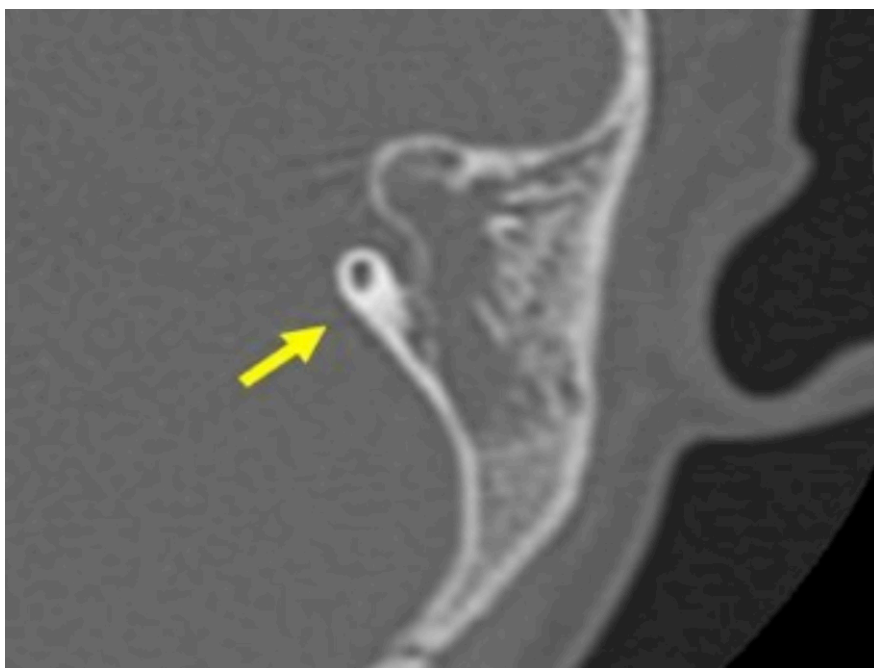


Figure 2: TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant un otocyste rudimentaire (flèche) (5).

2.2. Résultats audiolinguistiques

L'examen audiolinguistique révèle soit une absence de réponse, soit une perte auditive profonde à 125, 250 et 500 Hz ce qui peut être dû à des sensations vibro-tactiles (6).

2.3. Prise en charge

L'absence de connexion entre l'otocyste et le tronc cérébral est une contre-indication à la chirurgie de l'IC et l'ABI reste le seul moyen de réhabilitation auditive (7).

3. Aplasie cochléaire

3.1. Définition et radiologie:

L'aplasie cochléaire est décrite comme l'absence de cochlée. Le vestibule et les canaux semi-circulaires se trouvent à leur emplacement anatomique normal, dans la partie postéro-latérale du fundus (fond du CAI) (Figure 3). Le segment labyrinthique du nerf facial est déplacé vers l'avant et occupe généralement l'emplacement normal de la cochlée. Le système vestibulaire qui l'accompagne peut-être normal ou dilaté définissant une aplasie cochléaire avec dilatation du vestibule (ACVD) (1).

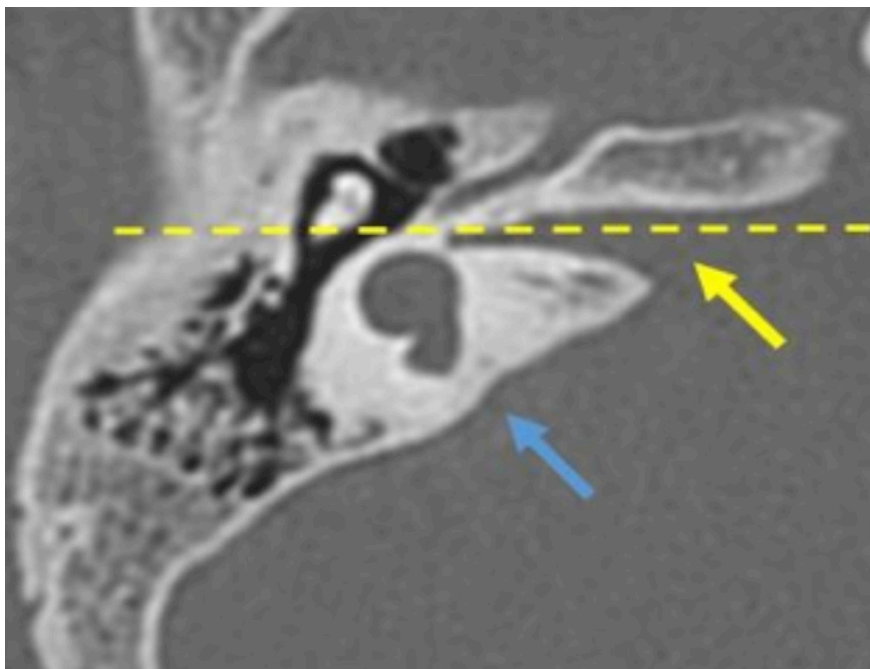


Figure 3: TDM du rocher droit en coupe axiale: Aplasie cochléaire avec sténose du CAI dont le calibre est $< 2,5$ mm (flèche jaune), malformation du labyrinthe postérieur associée: labyrinthe postérieur malformé situé en position postéro-latérale par rapport au fond du CAI (flèche bleue), vestibule large et agénésie des CSC (ACVD) (5).

3.2. Résultats audiologiques

Comme indiqué dans les malformations précédentes, ces personnes ne réagissent généralement pas à la stimulation audiométrique. Ils peuvent également présenter une surdité profonde sur les basses fréquences, due à une stimulation vibrotactile (7).

3.3. Prise en charge:

En l'absence de cochlée, l'aplasie cochléaire est une impossibilité d'IC et une indication à l'ABI (7).

4. Cavité commune

4.1. Définition et radiologie

Une cavité commune (CC) est définie comme une chambre unique (de forme ovoïde ou ronde) représentant la cochlée et le vestibule. En théorie, cette structure comporte des structures neurales cochléaires et vestibulaires. Le CAI pénètre généralement dans

la cavité en son centre (Figure 4). Elle peut être accompagnée de canaux semi-circulaires (CSC) ou de leurs parties rudimentaires. La CC peut être de petite ou de grande taille avec un diamètre variant de 1 à 3 cm (6).

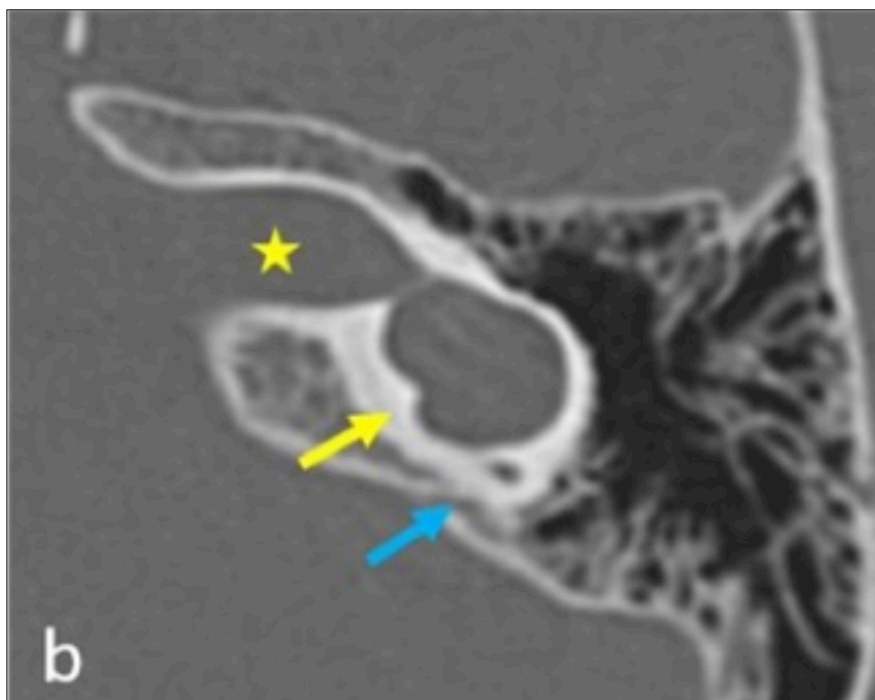


Figure 4: TDM des Rochers en coupe axiale montrant une Cavité commune gauche: une structure ovoïde (flèche jaune) avec un CSC postérieur rudimentaire (flèche bleue). Le CAI (étoile) pénètre dans la cavité en son centre (5).

Il est très important de différencier la CC de l'aplasie cochléaire avec dilatation du vestibule (ACVD). L'ACVD présente un vestibule et des canaux semi-circulaires dilatés situés en regard de la partie postéro-latérale du fond du CAI, ce qui est leur emplacement habituel (Figure 3). La localisation d'une CC peut être antérieure mais généralement postérieure à la localisation normale du labyrinthe. Il est très important de différencier ces malformations l'une de l'autre, car l'implantation cochléaire dans une CC peut entraîner une stimulation acoustique, alors que dans le cas d'une ACVD, aucune stimulation fonctionnelle ne se produira avec l'IC (7).

Le nerf qui pénètre dans la CC est le nerf cochléo-vestibulaire commun (NCV). Il contient des fibres cochléaires et vestibulaires, mais les examens radiologiques actuels ne permettent pas de déterminer le pourcentage de fibres cochléaires dans le NCV. Le NCV doit être mis en évidence par IRM 3 Tesla chez les candidats à l'IC. S'il n'est pas identifié à l'IRM ou si le CAI est atrétique, la présence de fibres cochléaires est douteuse et un ABI peut être une meilleure option (7).

4.2. Résultats audiolologiques:

L'évaluation audiométrique est très importante pour déterminer si l'audition est présente dans la CC, ce qui donne indirectement une estimation des fibres cochléaires dans le NCV.

Si une réponse audiométrique comportementale ou un développement du langage est présent avec l'utilisation d'une aide auditive, on peut supposer qu'il existe une population significative de fibres cochléaires et que le patient peut bénéficier d'un IC (7). Ces patients peuvent avoir des seuils auditifs détectables uniquement aux basses fréquences ou une surdité neuro-sensorielle profonde (6).

4.3. Prise en charge:

Les voies d'abord pour l'implantation cochléaire sont multiples, outre la voie habituelle par le récessus facial , 3 techniques seront étayées spécifiquement pour la CC et les malformations dites vésiculaires ou kystiques:

- **La labyrinthotomie trans-mastoïdienne:**

Elle est décrite par McElveen en 1997. Elle a pour vocation de minimiser le geysier et d'éviter la voie de tympanotomie postérieure à haut risque de paralysie faciale devant des trajets du nerf facial souvent aberrants (8). La labyrinthotomie est pratiquée à l'emplacement habituel du CSC externe, après introduction de l'électrode un packing par du tissu conjonctif scellera la labyrinthotomie et une élévation des pressions du liquide céphalo-rachidien (LCR) est demandée à l'anesthésiste pour s'assurer de l'absence de fuite. Habituellement il n'y a ni recours à une exclusion de la mastoïde ni à un drainage lombaire (8). Il est conseillé d'utiliser une électrode droite, non-modiolaire. Elle sera positionnée à la périphérie de la CC pour avoir un meilleur contact avec le tissu neural. Une électrode pré-courbée restera au centre de la cavité et ses contacts seront situés médialement, ce qui risque de ne pas stimuler efficacement le tissu neural situé essentiellement à la périphérie de la CC.

Comme la taille de la cavité commune varie, il est important d'estimer la longueur de l'électrode en pré-opératoire. Elle peut être calculée à l'aide de la formule $2 \pi r$, où r est le rayon de la CC (1).

- **La double labyrinthotomie:**

Elle a été décrite par Beltrame et al. qui ont également décrit une électrode spéciale pour la cavité commune. Cette électrode a une pointe inactive qui se termine par une petite boule. Une labyrinthotomie supérieure est pratiquée dans la zone de l'extrémité non ampullaire du canal semi-circulaire latéral. Une seconde labyrinthotomie de la même taille est pratiquée 4 mm en dessous de la labyrinthotomie supérieure et l'endoste est ouvert (9).

La partie non active de l'électrode est poussée dans la labyrinthotomie supérieure jusqu'à ce qu'elle soit visible à travers la labyrinthotomie inférieure. Une encoche circonférentielle entre la silicone et la petite boule terminale est facilement visualisée et accrochée à l'aide d'un crochet de 0,5 mm à travers la labyrinthotomie inférieure. Une fois l'électrode est en place, la partie terminale non active du faisceau est retirée, laissant une boucle dans la cavité commune (9).

- **La technique d'insertion circulaire:**

Une labyrinthotomie est créée dans la zone bombée de la cavité. Le porte-électrodes est enroulé dans sa région médiane puis inséré délicatement dans la cavité. Pendant l'insertion, l'extrémité de l'électrode doit être maintenue en dehors de la cavité et la boucle doit être guidée vers le CAI pour faciliter le contact entre l'électrode et le neuroépithélium de la cochlée. Il faut également veiller à ne pas enfoncer la pointe dans la cavité avant que l'ensemble de l'anse ne soit étalé dans la cavité (10).

Le geyser n'est pas fréquent dans les CC, et il n'est noté que dans 14% des cas selon Sennaroglu. Par contre la fistule péri-lymphatique platinare (FPP) est fréquente et doit être recherchée sur l'imagerie et réparée dans le même temps de l'implantation par une voie combinée trans-mastoïdienne et trans-canalair (11).

La portion mastoïdienne du nerf facial (NF) est souvent difficile à identifier à cause de la sévérité de la malformation et du manque de repères radiologiques mais le récessus facial est étroit dans plus de 20% des malformations sévères, dont la CC (12). McElveen recommande un monitoring systématique du nerf facial (8).

5. Hypoplasie cochléaire (CH):

5.1. Définitions et radiologie:

Dans cette malformation, il y a une nette différenciation entre la cochlée et le vestibule. Les dimensions externes de la cochlée sont inférieures à celles d'une cochlée normale avec diverses anomalies de l'architecture interne (7). Ces mesures sont très importantes pour différencier la CH-III de la cochlée normale et la CH-II de la partition incomplète de type I (IP-I). L'étude récente de Pamuk et al a montré que cela peut être fait très facilement en mesurant la longueur du tour basal de la cochlée (13). Si la longueur du tour basal est inférieure à 7,5 mm, la cochlée est classée comme hypoplasique. La seule exception est la CH-IV où le tour basal de la cochlée peut être normal mais avec des spires médianes et apicales hypoplasiques. Ainsi quatre types différents d'hypoplasie cochléaire ont été définis (3).

- **CH-I (cochlée en forme de bourgeon):** La cochlée ressemble à un petit bourgeon, de forme ronde ou ovoïde, qui naît du CAI (Figure 5). L'architecture interne est sévèrement déformée; il n'y a ni modiolus ni septa inter-scalaires (SIS).

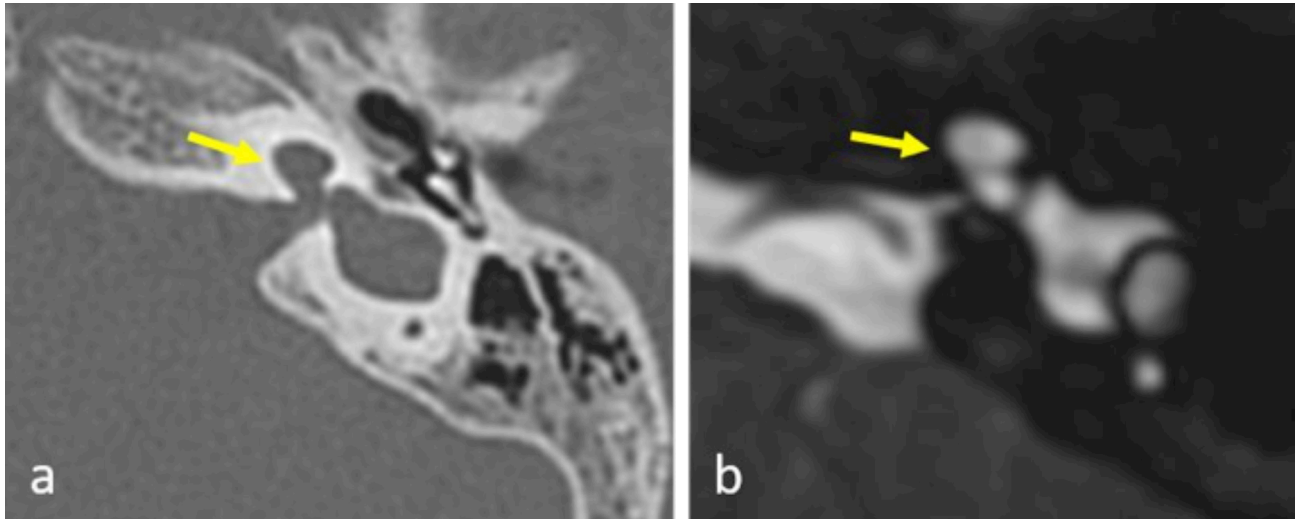


Figure 5: Hypoplasie cochléaire gauche de type I (CH-I): a- TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant la cochlée sous forme de bourgeon émergeant du CAI (Flèche). b- IRM de l'oreille interne gauche en séquence HR T2 en coupe axiale chez le même patient, montrant la cochlée sous forme de bourgeon sans modiolus ni septum inter-scalaire (flèche) (5).

- CH-II (cochlée kystique hypoplasique):** Il s'agit d'une petite cochlée avec un modiolus et des septa inter-scalaires hypoplasiques, mais son architecture externe se rapproche de celle d'une cochlée normale (Figure 6). Le fundus peut être le siège d'un défaut osseux, ce qui entraîne une communication entre la cochlée et le CAI. L'aqueduc vestibulaire peut être large et le vestibule dilaté.

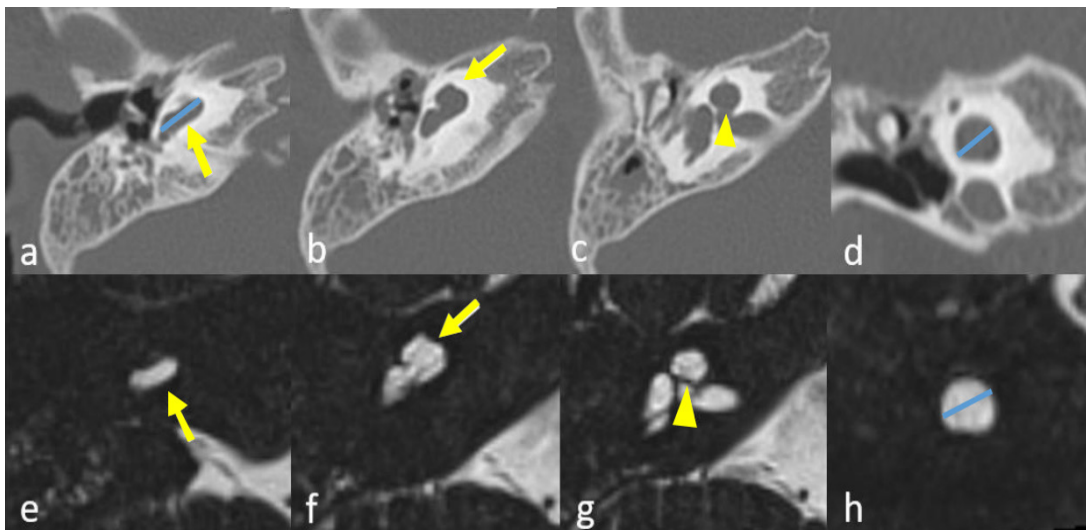


Figure 6: TDM du rocher droit et IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2 en coupes axiales et en reconstructions coronales chez un patient présentant une CH-II: Tour basal hypoplasique mesurant 6 mm de longueur (a+e). Apex kystique (b+f). Large communication avec défaut osseux entre le fond du CAI et la cochlée (c+g) (têtes de flèche). Reconstructions coronales montrant l'hypoplasie de la cochlée dont la hauteur est de 3,5 mm (d+h) (5).

- **CH-III (cochlée à moins de deux tours):** La cochlée a un modiulus court et la longueur totale des septa inter-scalaires est réduite, ce qui donne moins de tours. L'architecture interne (modiulus, SIS) et externe est similaire à celle d'une cochlée normale, mais les dimensions sont plus petites et le nombre de spires est moindre (Figure 7). Le vestibule est généralement hypoplasique. Les canaux semi-circulaires sont hypoplasiques ou aplasiques. L'ouverture cochléaire peut être hypoplasique ou aplasique.

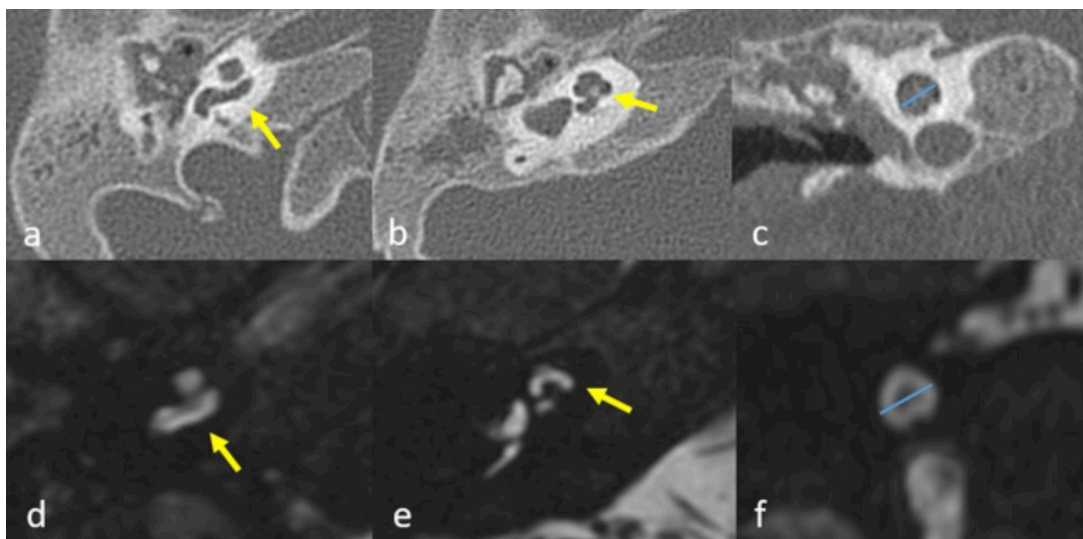


Figure 7: TDM du rocher droit et IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2 en coupes axiales et en reconstructions coronales chez un patient présentant une CH-III: Tour basal hypoplasique (flèches) (a+d). Tours apicaux hypoplasiques mesurant 2,7 mm de hauteur et situés en position antérieure médiane normale par rapport au tour basal avec un modiulus hypoplasique (flèches) (b+e). Reconstructions coronales montrant l'hypoplasie de la cochlée dont la hauteur est de 4 mm (c+f) (5).

- **CH-IV (Cochlée avec tours médian et apical hypoplasiques):** La taille et l'aspect du tour basal est presque normal, mais les spires médiane et apicale sont très hypoplasiques et situées antérieurement et médialement plutôt que dans leur position centrale normale (Figure 8). Le segment labyrinthique du nerf facial est caractéristiquement situé en antéro-supérieur par rapport à la cochlée plutôt qu'à son emplacement habituel (14).

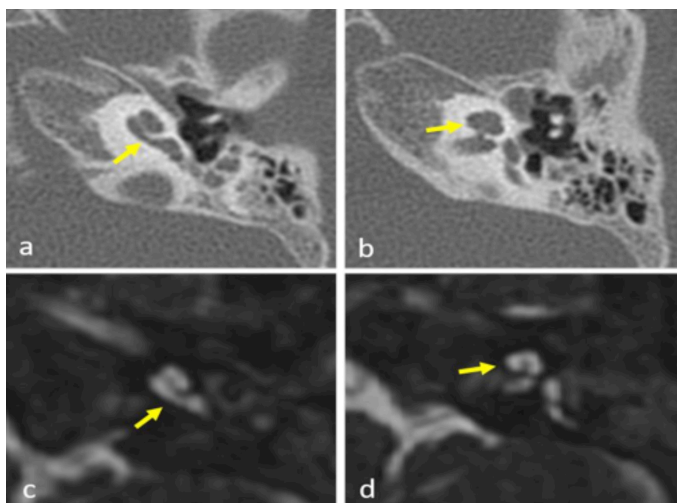


Figure 8: TDM du rocher gauche et IRM de l'oreille interne gauche en séquence HR T2 en coupes axiales chez le même patient montrant une CH-IV: Tour basal hypoplasique mesurant 5,9 mm de longueur (a+c) (flèches). Tours apicaux hypoplasiques mesurant 2,8 mm de hauteur et situés en position antéro-médiale anormale par rapport au tour basal avec un modiulus hypoplasique (b+d) (flèches) (5).

5.2. Résultats audiologiques

Les hypoplasies cochléaires sont associées à des pertes auditives souvent neuro-sensorielles de degrés variables. Certains cas d'hypoplasie (en particulier l'hypoplasie de type IV) peuvent présenter une perte auditive mixte dans laquelle la composante transmissionnelle est due à une fixation stapédienne (7).

5.3. Prise en charge:

Les patients ayant une perte auditive légère à modérée peuvent être appareillés avec des prothèses auditives et ont un développement du langage proche de la normale ou normal. Mais la majorité des patients atteints d'hypoplasie cochléaire présentent une surdité neuro-sensorielle sévère à profonde, pour laquelle un IC serait une option raisonnable, s'ils disposent d'un nerf cochléaire (7).

En effet, la prise de décision d'implantation cochléaire peut être délicate étant donnée la fréquence de l'hypoplasie du NC. La meilleure option dans ces cas est de tenter l'IC du côté qui répond le mieux lors de l'évaluation audiologique avec prothèses en place ou du côté qui, anatomiquement, se prête le mieux à la chirurgie (7).

Pour l'implantation cochléaire, une approche trans-mastoïdienne à travers le récessus facial peut être utilisée chez la majorité de ces patients (7).

Pendant la chirurgie, il faut s'attendre à une malposition du nerf facial en raison de la fréquence de l'hypoplasie des canaux semi-circulaires associée. Les trajets aberrants de la portion tympanique sont très fréquents dans les CH (12). Un récessus facial étroit a été noté dans près de 7% des CH et ainsi une analyse minutieuse du trajet du NF sur la tomodynamométrie pré-opératoire et un monitoring systématique du nerf facial sont recommandés pour toutes les CH à implanter (12).

De plus, vu que la cochlée est hypoplasique, le promontoire peut ne pas présenter la proéminence habituelle, et il peut être difficile d'identifier la cochlée hypoplasique et les repères nécessaires (tels que la fenêtre ronde) à travers la tympanotomie postérieure. Dans ces situations, une approche trans-canaulaire associée peut être nécessaire et permettre un meilleur accès à la cochlée hypoplasique (7).

Le choix des électrodes doit aussi être adapté à la longueur et au diamètre de la cochlée hypoplasique. Il convient donc d'utiliser des électrodes plus fines et plus courtes. Une électrode standard peut être trop longue pour la cochlée et l'insertion peut être incomplète (7). Sennaroglu et al ont conçu une version plus courte de l'électrode 19 mm avec un bouchon en silicone de type bouchon de liège (cork) (FORM 19) qui est utile pour l'implantation cochléaire dans une cochlée hypoplasique (en particulier CH-II) (15).

Hu a proposé dans les CH la technique d'insertion circulaire (cf cavité commune: 4.3). Dans les cas où une fenêtre ronde n'a pas été identifiée, la cochléostomie a été réalisée 2mm en dessous de l'étrier. L'électrode a été enroulée en boucle dans la région distale, puis

insérée délicatement. Le diamètre de l'ouverture doit être d'au moins 1mm pour permettre l'insertion de l'électrode en forme de boucle dans la cochlée hypoplasique. Une extrémité du porte electrode peut être fixée d'un côté de l'ouverture pendant que l'on insère l'autre extrémité de la boucle. La boucle doit être insérée aussi profondément que possible dans la cochlée hypoplasique (10).

La CH-II présente un risque de fuite de LCR. Une électrode courte avec un anneau de silicone de type stoppeur peut être utilisée avec d'autres mesures pour gérer une fuite de LCR (7) (cf IP-I: 6.1.c).

La CH-I et CH-II peuvent s'associer à une fistule péri-lymphatique (FPP) qui doit être activement recherchée en pré-opératoire sur le HRCT et une exploration trans-canalair per-opératoire est indiquée devant tout doute afin de réparer la fistule dans le même temps de l'implantation (11,16).

Pour les patients présentant une ouverture cochléaire aplasique et une aplasie du nerf cochléaire l'ABI reste la seule option de réhabilitation auditive pour un projet oraliste.

En présence de nerfs cochléaires extrêmement hypoplasiques, la possibilité d'obtenir de bons résultats avec l'IC est faible. Par conséquent, l'IC et l'ABI peuvent être mis en place simultanément dans certains cas et dans certains centres spécialisés (17).

6. Partition Incomplète (IP):

Les anomalies de partition incomplète représentent un groupe de malformations cochléaires, où il existe une différenciation claire entre la cochlée et le vestibule, avec des dimensions cochléaires externes normales. Les cloisons incomplètes sont les plus fréquentes des malformations de l'oreille interne (7). Il existe trois types de MOI par partition incomplète différenciés selon l'architecture interne (Modiolus et SIS).

6.1. Partition incomplète de type I: IP-I

6.1.1. Définition et radiologie:

La cochlée peut être clairement différenciée du vestibule. Les dimensions externes (hauteur et longueur) d'une cochlée IP-I sont similaires à celles des cas normaux (18). La cochlée est située à son emplacement habituel dans la partie antéro-latérale du fond du CAI et est dépourvue de modiolus et de SIS (Figure 9), ce qui donne l'apparence d'une structure kystique vide. La cochlée est accompagnée d'un vestibule élargi et dilaté. L'élargissement de l'aqueduc vestibulaire est très rarement observé. Il peut y avoir un défaut osseux entre le CAI et la base de la cochlée et en l'absence de modiolus le LCR peut remplir complètement la cochlée.

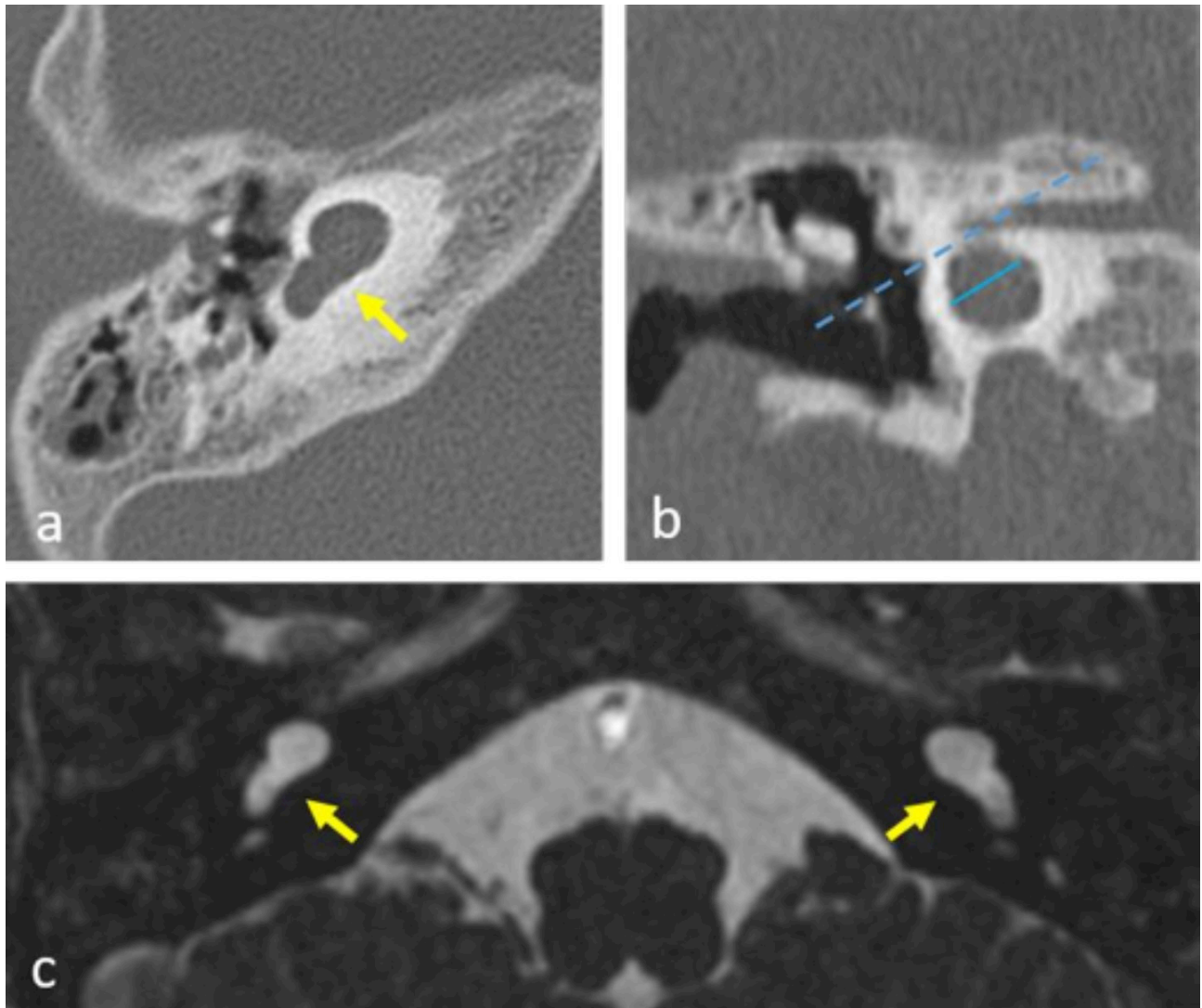


Figure 9: TDM du rocher droit et IRM des oreilles internes chez un patient montrant une IP I bilatérale: Cochlée de forme kystique sans modiolus (a) ni septum inter-scalaire (c). Reconstruction coronale montrant une cochlée de taille normale avec une hauteur cochléaire à 5,5 mm (b) (5).

6.1.2. Résultats audiologiques:

La majorité des patients IP-I présentent une SNS sévère à profonde. Ils sont presque toujours candidats à l'IC, quand le NC est présent (6).

6.1.3. Prise en charge:

L'approche trans-mastoïdienne à travers le récessus facial est utilisée chez la majorité de ces patients. Les trajets des portions tympanique et mastoïdienne du nerf facial, sont rarement affectés lors des IP-I et le récessus facial est étroit dans moins de 2% des cas d'IP (12). Quant au choix du porte-électrode, devant la taille normale de la cochlée, il est préférable d'utiliser une électrode droite d'environ 25 mm. Les électrodes pré-courbées ne

sont pas conseillées en cas de défaut du fundus vu le risque de migration dans le CAI. L'électrode FORM 24 a été mise au point pour ces cas (15). La longueur est de 24 mm, ce qui permet d'effectuer un tour complet de la spire basale. Le bouchon conique de FORM 24 est utilisé pour arrêter la fuite de LCR autour de l'électrode. Il est passé à travers un fascia de 2 × 2 mm, et les deux sont insérés ensemble. Le bouchon en silicone pousse et stabilise le fascia dans la cochléostomie et le maintient également en place (7).

Dans les IP-I, il y a 50% de risque de fuite de LCR. Le chirurgien ne doit pas quitter la salle d'opération sans avoir contrôlé la fuite. Il faut mettre la tête du patient surélevée à 30° et attendre 10 à 15 mn en aspirant, le flux de LCR diminuera le plus souvent, et c'est le moment opportun pour insérer l'électrode (1).

Plutôt qu'une petite cochléostomie, privilégier une cochléostomie large qui permettra de passer l'électrode et le tissu conjonctif autour pour bien l'obturer. Il est recommandé de placer le tissu conjonctif en «haltère»; soit 2/3 dedans et 1/3 dehors de la cochléostomie pour bien entourer l'électrode et profiter de la pression qui refoulera le conjonctif pour sceller l'orifice (1). Une autre méthode consiste à prélever un petit morceau de fascia rond, d'environ 5-6 mm de diamètre. L'électrode est introduite dans un trou pratiqué au centre du bloc de fascia. Lorsque l'électrode est insérée, le fascia est avancé jusqu'au niveau de la cochléostomie autour de l'électrode. Cela permet d'obtenir une couche complète de tissu mou autour de l'électrode au niveau de la cochléostomie (1).

Certains auteurs proposent un protocole de perfusion hyper-osmolaire en péri-opératoire; à l'induction et le long de la 1ère heure afin de minimiser le geyser et ainsi de mieux le contrôler. Le protocole se base sur une perfusion de mannitol associée ou non à une perfusion d'acetazolamide (Diamox®), moyennant une surveillance de la diurèse et du bilan ionique (19). Quand la fuite est contrôlée avec certitude, une obturation de la trompe auditive par de la cellulose oxydée (Surgicel®) est conseillée parfois associée à une pétrectomie subtotale (1,7)

Parfois, malgré toutes ces mesures la fuite persiste, il est possible dans ces cas de pratiquer un drainage lombaire continu pendant 5 à 7 jours en post-opératoire (1).

Les IP-I sont fréquemment associées à une FPP et cette association doit être recherchée et réparée dans le même temps implantaire par voie combinée trans-mastoïdienne et canalaire (11, 16).

6.2. Partition incomplète de type II: IP-II

6.2.1. Définition et radiologie:

Dans l'IP-II, la partie apicale du modiolus est hypoplasique. Cette anomalie a été décrite à l'origine par Carlo Mondini et constitue, avec un vestibule dilaté et un aqueduc vestibulaire large (AVL) la triade de Mondini (Figure 10). Le terme «Mondini» ne doit être utilisé que si la triade de malformations sus-mentionnée est présente (1, 20-22). La partie apicale

du modiolus et les septa inter-scalaires correspondants sont défectueux, ce qui donne à l'apex de la cochlée un aspect kystique dû à la confluence des tours médians et apicaux. Les dimensions externes de la cochlée (hauteur et diamètre) sont similaires à celles d'une cochlée normale(18) (Figure 11).

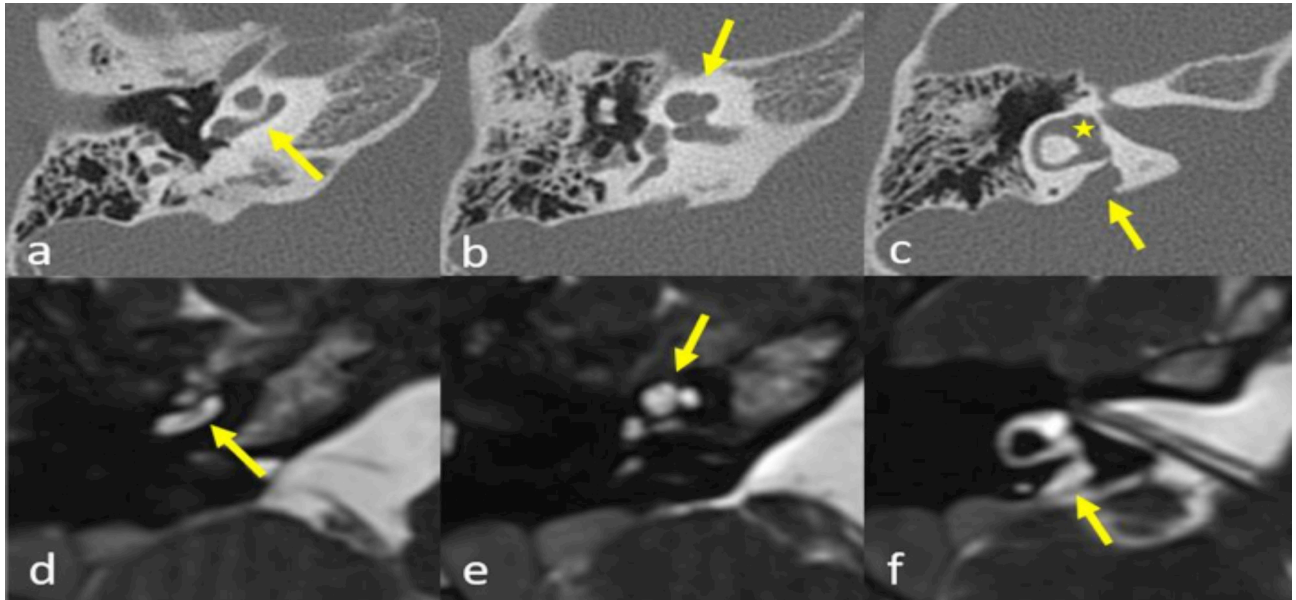


Figure 10: TDM du rocher droit et IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2 en coupes axiales chez un même patient montrant une IP II (Triade de Mondini): Tour basal normal mesurant 9,2 mm de longueur (a+d) (flèches). Fusion des tours apicaux qui sont de hauteur normale mesurant 3,9 mm (b+e) (flèches). Aqueduc du vestibule large (flèches jaunes) et discrète dilatation du vestibule (étoile) (c+d) (5).

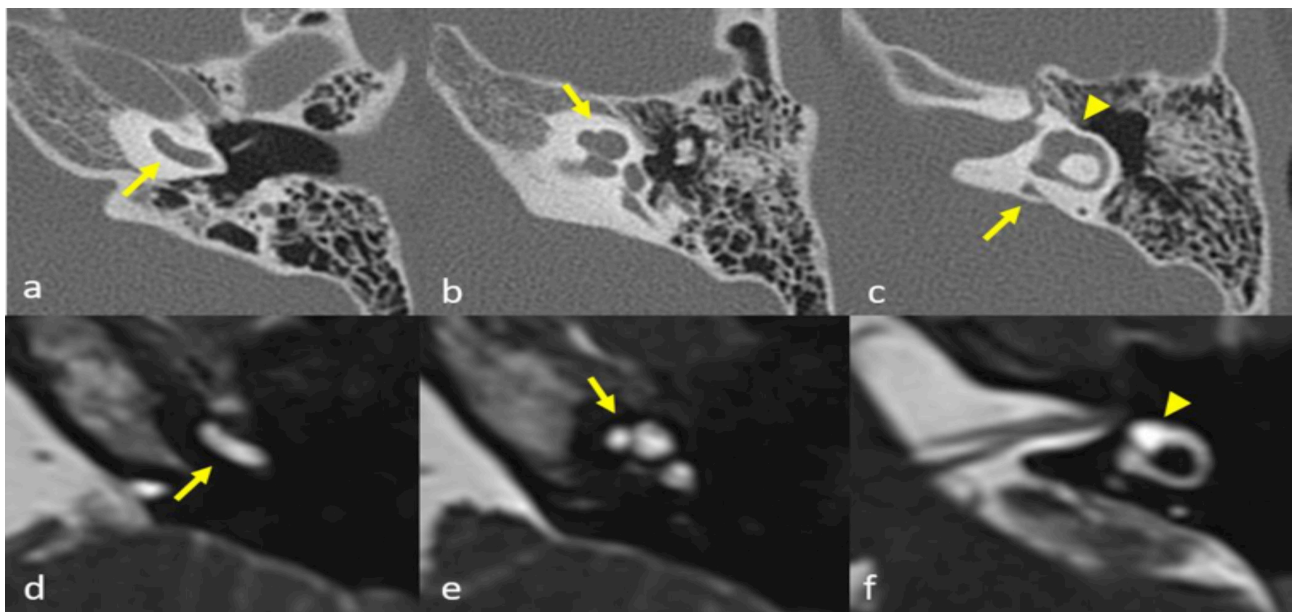


Figure 11: TDM du rocher gauche et IRM de l'oreille interne gauche en séquence HR T2 en coupes axiales chez un autre patient présentant une IP II gauche: Tour basal normal (a+d) (flèches). Fusion des tours apicaux qui sont de hauteur normale (b+e) (flèches). Aqueduc du vestibule fin (flèches) et vestibule non dilaté (têtes de flèches) (c+f) (5).

6.2.2. Résultats audiologiques:

Ces patients n'ont pas de niveau d'audition caractéristique, car leur audition varie entre la normale et la surdité profonde. La perte auditive peut être symétrique ou asymétrique, mais elle est généralement progressive. Il est également possible de souffrir d'une surdité neuro-sensorielle brutale. Les patients atteints d'IP-II présentent généralement un rinne en particulier sur les basses fréquences qui peut être dû à l'effet «troisième fenêtre» de l'aqueduc du vestibule large (AVL) (7).

Il a été observé que certains patients atteints d'IP-II sont nés avec une audition tout à fait normale. Ils présentent généralement des fluctuations et une perte progressive de l'audition et deviennent des candidats à l'appareillage auditif (7).

6.2.3. Prise en charge:

En général, la nécessité d'un implant cochléaire survient à un moment ou à un autre de la vie. L'approche standard peut être utilisée chez tous les patients vu que la cochlée et le labyrinthe sont de dimensions normales et les anomalies du nerf facial sont très rares (6).

Comme la partie basale du modiolus est normale, toutes sortes d'électrodes peuvent être utilisées pendant l'opération (6).

Lors de la chirurgie de l'IC dans l'IP-II, le oozing de LCR au niveau de la fenêtre ronde est dû à l'effet de la troisième fenêtre de l'AVL qui transmet la pression du LCR dans la cochlée. La fuite et le geyser de LCR, parfois observés, sont dûs au défaut modiolaire qui transmet une pression élevée de LCR (23). C'est pourquoi il est conseillé d'utiliser une électrode avec un bouchon en silicone dans le cas de l'IP-II et être paré pour gérer un geyser malgré sa rareté (6). L'électrode FORM 24 fait un tour complet autour du tour basal et contrôle efficacement les fuites de LCR autour de l'électrode (7).

6.3. Partition incomplète de type III: IP-III

6.3.1. Définition et radiologie:

La partition incomplète de type III (IP-III) est le type d'anomalie observée exclusivement dans la surdité liée à l'X, décrite par Nance et al (24) pour la première fois en 1971. Phelps et al (25) ont rapporté l'existence d'un CAI bulbeux, d'une séparation incomplète des spires de la cochlée du CAI. De plus, Sennaroglu et al (26) ont rapporté que les septa inter-scalaires sont présents, mais le modiolus est complètement absent. La cochlée est située directement à l'extrémité latérale du conduit auditif interne au lieu de sa position antérolatérale habituelle. Cela donne à la cochlée un aspect caractéristique. Dans une cochlée IP-III, la capsule otique autour du labyrinthe membraneux est plus fine que dans une cochlée normale (Figure 12). Les dimensions externes de la cochlée (hauteur et diamètre) sont similaires à celles d'une cochlée normale; il convient donc d'inclure l'IP-III dans les partitions incomplètes. Cette déformation caractéristique a été incluse pour la première fois dans la catégorie des déformations de cloison incomplètes par Sennaroglu et al. en 2006 (27).

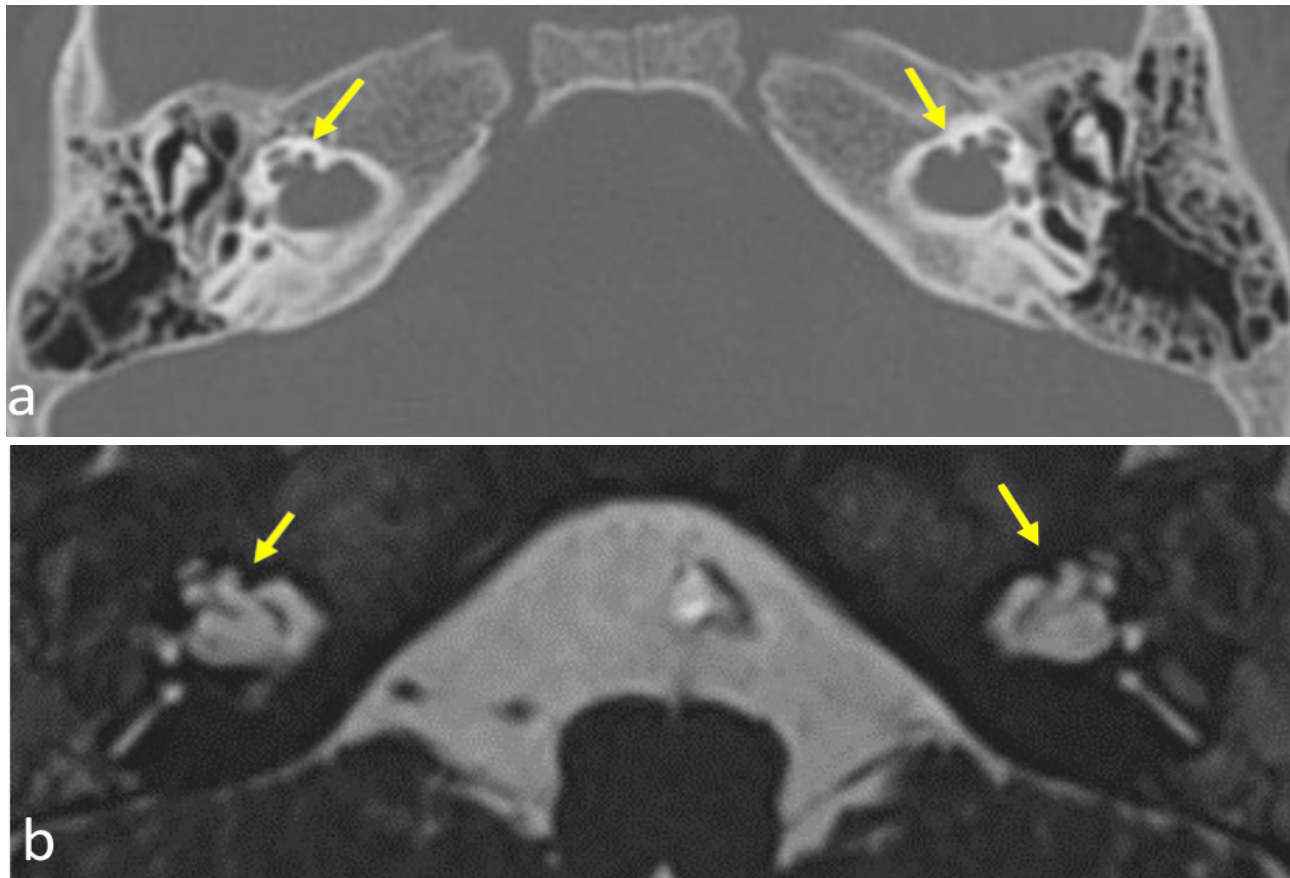


Figure 12: TDM des rochers (sup) et IRM des oreilles internes en séquence HR T2 (inf) en coupe axiale montrant une IP III bilatérale: Absence totale du modiulus et large ouverture du CAI dans la cochlée (flèches). Notez la capsule otique fine (5).

6.3.2. Résultats audiologiques

Dans le cas de l'IP-III, il peut s'agir d'une surdité de type mixte ou d'une surdité neuro-sensorielle profonde. La composante transmittionnelle peut être due à la capsule otique mince et donc à un phénomène de 3^{ème} fenêtre (6).

6.3.3. Prise en charge:

Les patients souffrant d'une perte auditive sévère à profonde sont candidats à l'implantation cochléaire.

En raison de l'absence de modiulus et de l'important défaut de la base cochléaire, tous les patients atteints d'IP-III présentent un geyser important lors de la chirurgie de l'IC. Le chirurgien doit être préparé à gérer un geyser systématique et de grande abondance (Cf 6.1.c).

Il y a aussi un risque très élevé de fausse-route des électrodes dans le CAI.

Les électrodes pré-courbées ont plus de risque de migrer dans le CAI et doivent être évitées dans les IP-III (7). En effet, les électrodes modiolaires ont tendance à se diriger vers

le centre de la cochlée. Comme il n'y a pas de modiulus dans l'IP-III, il peut en résulter une fausse-route dans CAI (6). La position de l'électrode doit être vérifiée en per-opérateurs dans tous les cas d'IP-III (7).

A cause de l'absence du modiulus, les électrodes avec des anneaux complets ou une surface de contact des deux côtés fournissent une meilleure stimulation (6).

Les électrodes FORM 24 font un tour complet de la base cochléaire et contrôlent également la fuite de LCR autour de l'électrode. Si les septa inter-scalaires sont épais, ils réduisent le volume intra-cochléaire et une électrode longue peut être mal dirigée dans le CAI. Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser l'électrode plus courte FORM 19 (7).

Les électrodes Digisonic Classic et Digisonic Evo (Oticon) ont également un bouchon en silicone qui pourrait être utile pour contrôler le geysier, mais elles sont plus longues que les électrodes FORM, et risquent de pénétrer dans le CAI (7).

Les FPP spontanées n'ont jamais été rapportées en rapport avec les IP-III (16).

Le NF dans ses portions tympanique et mastoïdienne est habituellement en place dans les IP-III, ainsi le monitoring n'est pas recommandé (12).

7. Aqueduc du Vestibulaire large (AVL)

L'aqueduc vestibulaire large (AVL) signifie que le point médian entre le labyrinthe postérieur et l'opercule est supérieur à 1,5 mm en présence d'une cochlée, d'un vestibule et de canaux semi-circulaires normaux, ce qui la différencie de l'IP-II. Une définition plus correcte de l'AVL pourrait être la suivante: «largeur verticale et axiale supérieure à 1,5 mm au point médian entre le labyrinthe et l'opercule» (4).

Elle semble être responsable de la transmission de pression du LCR dans l'oreille interne, provoquant une surdité neuro-sensorielle progressive ou brusque (3). Certains aspects audiométriques sont le résultat d'un phénomène de troisième fenêtre. La présentation audiologique et la prise en charge sont similaires à celles de l'IP-II (7).

8. Anomalies du canal cochléaire

8.1. Définition et radiologie

Le canal cochléaire est le canal osseux qui livre passage au nerf cochléaire de la cochlée au CAI. Ce canal peut être visualisé sur la coupe mid-modiolaire du HRCT des rochers.

Le canal cochléaire est considéré comme hypoplasique ou sténotique (Figure 13a) si sa largeur est inférieure à 1,4 mm (28). Il est considéré comme aplasique ou agénésique lorsque le canal est complètement remplacé par de l'os ou qu'il n'y a pas de canal sur la vue mid-modiolaire (Figure 13b).



Figure 13: a-TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une sténose du canal cochléaire (flèche: Calibre du canal cochléaire: 0,6 mm accompagnant une cochlée normale. b-TDM du rocher gauche en coupe axiale montrant une agénésie du canal cochléaire (flèche) accompagnant une CH-III (5).

L'aplasie du canal cochléaire s'accompagne généralement d'une aplasie du nerf cochléaire. Lorsque le canal est hypoplasique, le nerf cochléaire peut être hypoplasique ou aplasique. L'hypoplasie et l'aplasie du canal cochléaire peuvent être isolés, accompagnant une cochlée normale (7).

Les anomalies du canal peuvent s'accompagner d'un CAI étroit sur le HRCT. Le CAI est considéré comme étroit si la largeur du point médian du CAI est inférieure à 2,5 mm (7).

8.2. Résultats audiolologiques

L'évaluation audiolologique révélera une perte auditive profonde ou une absence de réponse en fonction de l'état du NC.

8.3. Prise en charge

Chez les patients présentant une hypoplasie bilatérale du canal cochléaire avec hypoplasie du nerf cochléaire, l'essai d'une aide auditive est nécessaire. Si cela ne permet pas d'obtenir une audition fonctionnelle adéquate, ces patients deviennent généralement candidats à l'IC. La famille doit être informée que l'IC peut ne pas permettre une audition suffisante en termes de perception auditive et d'évolution linguistique. Dans ces cas-là, dans certains centres spécialisés, un ABI controlatéral peut être proposé pour obtenir de meilleurs résultats (7).

Chez les patients présentant un NC extrêmement hypoplasique, le meilleur résultat était obtenu par une stimulation bimodale avec l'IC du côté présentant le meilleur profil audiométrique comportementale et l'ABI du côté ne présentant aucune réponse (7).

En cas d'aplasie du canal cochléaire, seul l'ABI est possible.

B. Anomalies du nerf cochléaire (NC)

L'évaluation du nerf cochléo-vestibulaire est également importante pour la prise en charge des MOI. C'est Casselman et al. qui ont classé les anomalies du nerf cochléaire (29). Une IRM doit être réalisée pour déterminer si le NC est normal, aplasique ou hypoplasique. Des images axiales et sagittales obliques à forte pondération T2 (CISS, Fiesta, etc.) (HR T2) sont nécessaires à cette fin. Il est très important d'obtenir des images sagittales obliques directes plutôt que des reconstructions (30).

1. Nerf cochléaire (NC) normal

Il est important de suivre le NC jusqu'à son entrée dans la cochlée sur les coupes axiales inférieures passant par le CAI (Figure 14). Sur les coupes para-sagittales, il existe un NC distinct situé dans la partie antéro-inférieure du CAI, entrant dans la cochlée. La taille du nerf cochléaire est similaire à celle du NC du côté normal controlatéral. Selon Casselman et al. (29), en vue para-sagittale, la taille du NC est supérieure à celle du NF ipsilatéral.

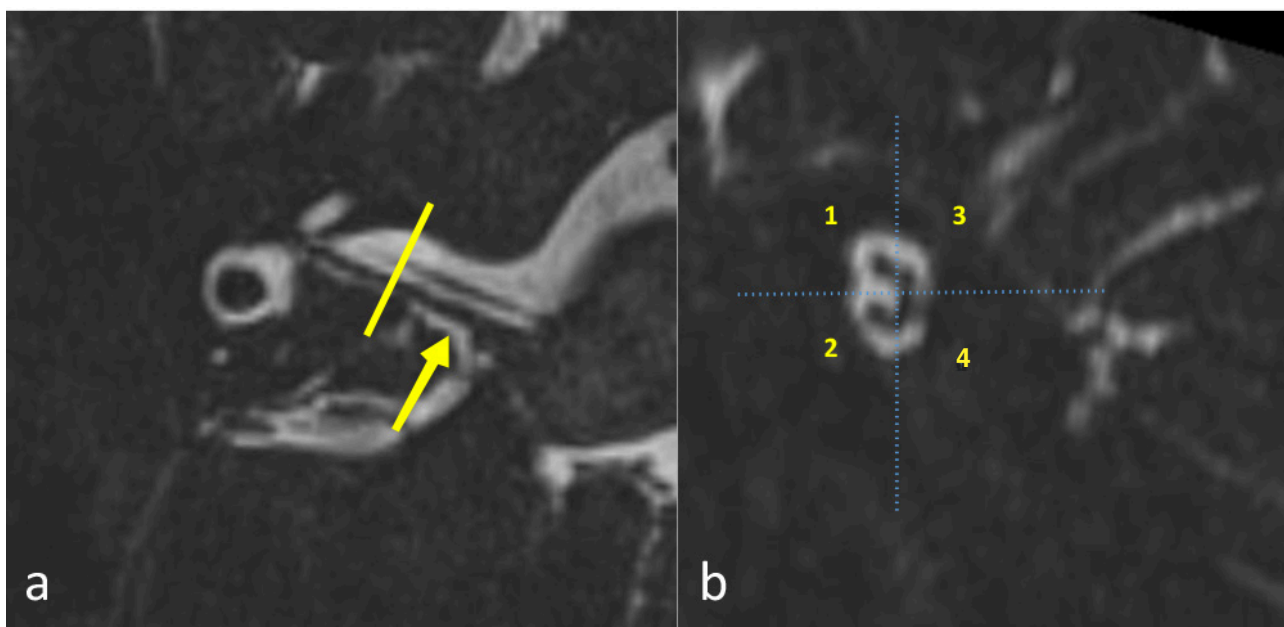


Figure 14: IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2: a- Coupe axiale passant par le CSC latéral et le CAI: Nerf cochléo-vestibulaire (flèche). b- Reconstruction sagittale oblique perpendiculaire au plan du CAI: 1) antéro-sup. Nerf facial, 2) antéro-inf. Nerf cochléaire, 3) postéro-sup. Nerf vestibulaire supérieur, 4) postéro-inf. Nerf vestibulaire inférieur

2. Hypoplasie du nerf cochléaire

Il existe un NC distinct, mais sa taille est inférieure à celle du NC normal controlatéral ou du nerf facial normal ipsilatéral (Figure 15).

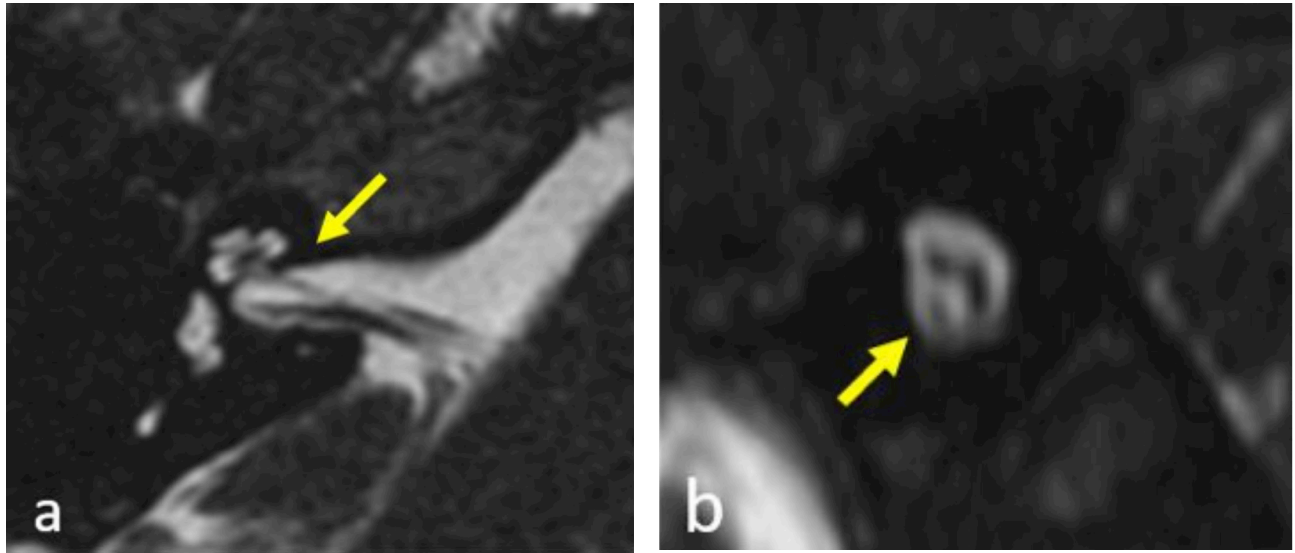


Figure 15: IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2 en coupe axiale (a) et en reconstruction sagittale oblique perpendiculaire au CAI (b): Hypoplasie du nerf cochléaire (flèches) (5).

3. Agénésie du nerf cochléaire

Aucune structure nerveuse n'est retrouvée dans la partie antéro-inférieure du CAI (Figure 16). Cette agénésie est constante en cas d'aplasie cochléaire et peut être observée dans l'hypoplasie et l'aplasie de l'ouverture cochléaire.

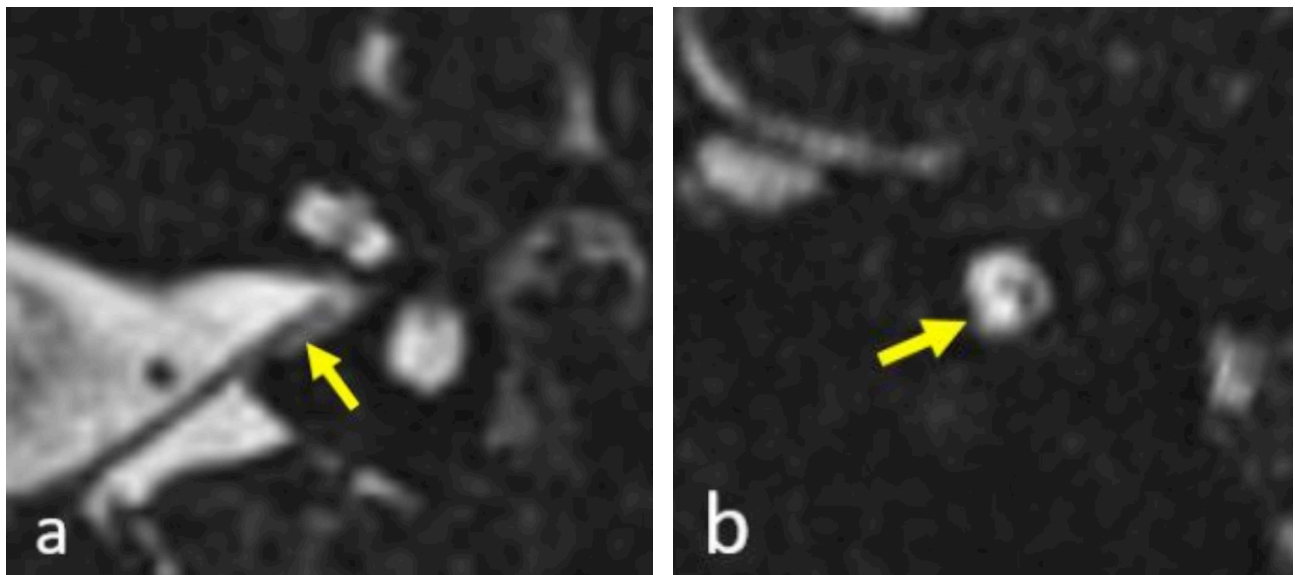


Figure 16: IRM de l'oreille interne gauche en séquence HR T2: a- Coupe axiale passant le CAI: Nerf VIII (flèche). b- Reconstruction sagittale oblique perpendiculaire au CAI: Agénésie du nerf cochléaire (flèche) (5).

4. Nerf Cochléo-vestibulaire normal (NCV)

Normalement, les nerfs cochléaires et vestibulaires prennent naissance dans le tronc cérébral et forment ensemble le NCV. Le NCV se sépare ensuite en NC et en nerfs vestibulaires supérieur et inférieur dans le CAI. En cas de cavité commune, le NCV pénètre dans la cavité sans se séparer en nerfs individuels. Avec la précision radiologique actuelle, il est impossible de déterminer le contenu en fibres cochléaires du NCV, mais si sa taille est 1,5 à 2 fois supérieure à celle du nerf facial ipsilatéral ou similaire à celle du NCV controlatéral normal, il peut être considéré comme normal (6).

5. Hypoplasie du nerf cochléo-vestibulaire

Si le NCV est plus petit que le NCV controlatéral ou le NF ipsilatéral, il peut être considéré comme hypoplasique. L'hypoplasie du NCV est particulièrement importante dans la CC.

6. Agénésie du nerf cochléo-vestibulaire

En cas de malformation de Michel avec absence de CAI, le NCV est également absent. Seul le NF peut être identifié (Figure 17).

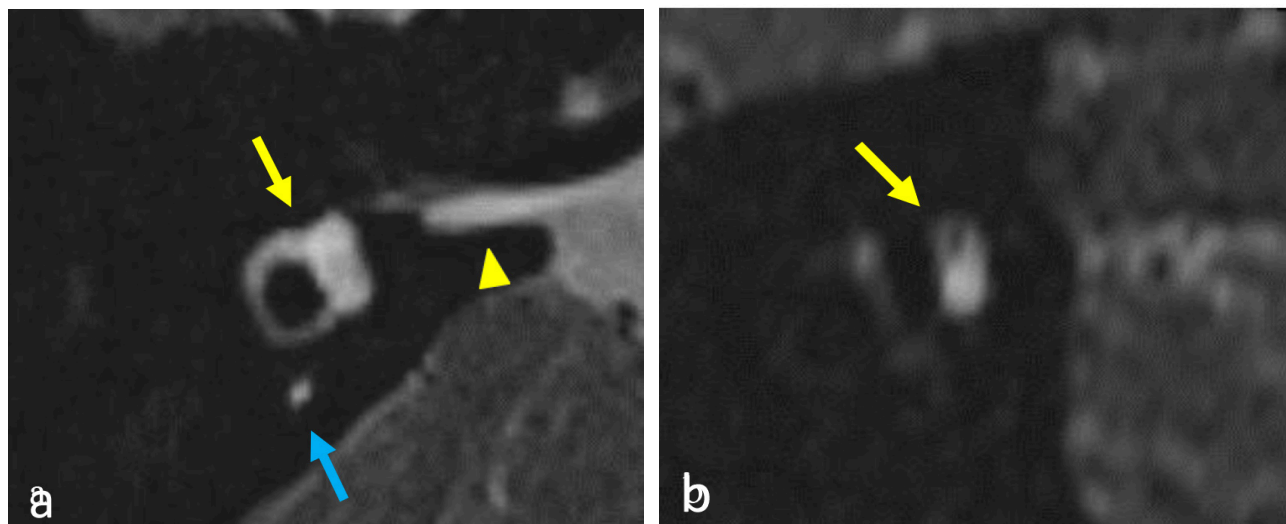


Figure 17: IRM de l'oreille interne droite en séquence HR T2: a- Coupe axiale passant par le CSC latéral montrant une sténose du CAI avec agénésie du nerf VIII (NCV) (tête de flèche), vestibule et CSC latéral (flèche jaune), CSC postérieur (flèche bleue). b- Reconstruction sagittale oblique perpendiculaire au CAI montrant une sténose du CAI avec présence du nerf facial au niveau du quadrant antéro-supérieur (flèche) et agénésie du nerf VIII (NCV) (5).

En conclusion, les malformations de l'oreille interne constituent un groupe particulier de patients. Malheureusement, jusqu'à ces dernières années, les termes «Mondini» ou «dysplasie de l'oreille interne» ont été grossièrement utilisés pour décrire une grande variété de MOI.

Une classification correcte est très importante pour la prise en charge des MOI. Si l'anomalie est correctement classée, une prise en charge appropriée peut être organisée en fonction des particularités de chaque entité.

De plus, une classification consensuelle permettra également de créer un langage commun dans le monde entier, où les cliniciens pourront mieux se comprendre et échanger.

Ce groupe de patients pose des problèmes chirurgicaux ainsi que des problèmes de prise de décision.

Lors de l'implantation cochléaire, il peut y avoir des fuites de liquide céphalo-rachidien, des anomalies du nerf facial, des fausses routes de l'électrode ou même des difficultés à trouver la cochlée elle-même. Le chirurgien doit savoir anticiper les risques et être prêt à modifier l'approche chirurgicale afin de les gérer.

Références

1. Sennaroglu L. Cochlear implantation in inner ear malformations—a review article. *Cochlear Implants Int.* 2010;11(1):4–41.
2. Sennaroglu L. Histopathology of inner ear malformations: do we have enough evidence to explain pathophysiology? *Cochlear Implants Int.* 2016;17(1):3–20.
3. Sennaroglu L, Bajin MD. Classification and current management of inner ear malformations. *Balkan Med J.* 2017;34(5):397–411.
4. Ozgen B, et al. Complete labyrinthine aplasia: clinical and radiologic findings with review of the literature. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30(4):774–80.
5. Imagerie des malformations de l'oreille interne: Etude chez des patients candidats à l'implantation cochléaire. Th Med 2019
6. Sennaroglu L, Bajin MD. Classification of Inner Ear Malformations. In: Kaja K, editor. *Cochlear Implantation in Children with Inner Ear Malformation and Cochlear Nerve Deficiency.* Singapore: Springer Science; 2017.p.61-85. DOI 10.1007/978-981-10-1400-0_6
7. Sennaroglu L. Classification and Management of Inner Ear Malformations. In: DeSaSouza S, editor. *Cochlear Implants New and Future Directions.* Singapore: Springer Nature; 2022.p.358-86. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0452-3_11
8. McElveen JT Jr, et al. Cochlear implantation in common cavity malformations using a transmastoid labyrinthotomy approach. *Laryngoscope.* 1997;107(8):1032–6.
9. Beltrame MA, et al. Double posterior labyrinthotomy technique: results in three Med-EI patients with common cavity. *Otol Neurotol.* 2005;26(2):177–82.
10. Hu H-C, Chen W K-H, Huang M-J, Lin C-C, Chen J K-C. Rounded Insertion Technique for Cochlear Implantation Surgery to Treat Cystic Inner Ear Malformation. *Laryngoscope.* 2019;00:1-5. DOI: 10.1002/lary.28425
11. Sennaroglu L, Bajin MD. Management of stapes footplate fistula in inner ear malformations. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2021;140:110525.
12. Sennaroglu L, Tahir E. A novel classification: anomalous routes of the facial nerve in relation to inner ear malformations. *Laryngoscope.* 2020;00:1-8. DOI: 10.1002/lary.28596
13. Pamuk G, et al. Radiological measurement of cochlear dimensions in cochlear hypoplasia and its effect on cochlear implant selection. *J Laryngol Otol.* 2021:1–7.
14. Sennaroglu L, et al. Cochlear hypoplasia type four with anteriorly displaced facial nerve canal. *Otol Neurotol.* 2016;37(10):e407–9.
15. Sennaroglu L, Atay G, Bajin MD. A new cochlear implant electrode with a “cork”-type stopper for inner ear malformations. *Auris Nasus Larynx.* 2014;41(4):331–6.
16. Sennaroglu L. Radiological Features and Pathognomonic Sign of Stapes Footplate Fistula in Inner Ear Malformations. *Turk Arch Otorhinolaryngol.* 2021;59(2):95-102.
17. Sennaroglu L, et al. Simultaneous cochlear and auditory brainstem implantation in children with severe inner ear malformations: initial surgical and audiological results. *Otol Neurotol.* 2020;41(5):625–30.
18. Sennaroglu L, Saatci I. Unpartitioned versus incompletely partitioned cochleae: radiologic differentiation. *Otol Neurotol.* 2004;25(4):520–9.

- 19 . Loundon N et al. Cochlear implant and inner ear malformation Proposal for an hyperosmolar therapy at surgery. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2008;72:541-7. doi:10.1016/j.ijporl.2008.01.004
- 20 . Sennaroglu L, Saatci I. A new classification for cochleovestibular malformations. *Laryngoscope.* 2002;112(12):2230–41.
- 21 . Phelps PD, King A, Michaels L. Cochlear dysplasia and meningitis. *Am J Otol.* 1994;15(4):551– 7.
- 22 . Lo WW. What is a 'Mondini' and what difference does a name make? *Am J Neuroradiol.* 1999;20(8):1442–4.
- 23 . Bajin MD, et al. The association between modiolar base anomalies and intraoperative cerebrospinal fluid leakage in patients with incomplete partition type-II anomaly: a classification system and presentation of 73 cases. *Otol Neurotol.* 2018;39(7):e538–42.
- 24 . Nance WE, et al. X-linked mixed deafness with congenital fixation of the stapedial footplate and perilymphatic gusher. *Birth Defects Orig Artic Ser.* 1971;7(4):64–9.
- 25 . Phelps PD, et al. X-linked deafness, stapes gushers and a distinctive defect of the inner ear. *Neuroradiology.* 1991;33(4):326–30.
- 26 . Sennaroglu L. Special article: incomplete partition type III. In: Naito Y, editor. *Pediatric ear diseases diagnostic imaging atlas and case reports.* Karger; 2013. p. 106–8
- 27 . Sennaroglu L, Sarac S, Ergin T. Surgical results of cochlear implantation in malformed cochlea. *Otol Neurotol.* 2006;27(5):615–23.
- 28 . Wilkins A, et al. Frequent association of cochlear nerve canal stenosis with pediatric sensorineural hearing loss. *Arch Otolaryngol–Head Neck Surg.* 2012;138(4):383–8.
- 29 . Casselman JW, et al. Aplasia and hypoplasia of the vestibulocochlear nerve: diagnosis with MR imaging. *Radiology.* 1997;202(3):773–81.
- 30 . Sennaroglu L, et al. Consensus statement: long-term results of ABI in children with complex inner ear malformations and decision making between CI and ABI. *Cochlear Implants Int.* 2016;17(4):163–71.

V. TESTS ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES PER-OPÉRATOIRES ET IMPLICATIONS

TESTS ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES PER-OPÉRATOIRES ET IMPLICATIONS

Houda CHAHED

Les tests électrophysiologiques per-opératoires réalisés dans la salle opératoire ou à distance sont utiles pour vérifier l'intégrité de l'implant cochléaire, le fonctionnement individuel de chaque électrode et évaluer la réponse neurale aux stimulations électriques. Ils permettent, aussi, de fournir des renseignements utiles pour discuter une éventuelle réimplantation (1–5). Toutefois ces tests ne doivent en aucun cas remplacer la radiographie per-opératoire ou post-opératoire qui permet de vérifier l'emplacement intra-cochléaire du porte-électrode et l'absence de faux chenal.

Bien que les résultats de ces tests ne fournissent pas de directives immédiates sur la façon exacte de programmer l'implant cochléaire, ils offrent des données objectives qui pourraient être utiles pour amorcer les réglages de l'IC et influencer les décisions de programmation post-opératoire particulièrement plus difficile chez les sujets non coopérants comme le jeune enfant.

Les tests électrophysiologiques per-opératoires comme la mesure des impédances télémétriques, des potentiels auditifs composites et le réflexe stapédien provoqués par la stimulation électrique sont utiles pour définir le champ dynamique quand les réponses comportementales manquent de fiabilité. Ce champ dynamique est compris entre le niveau T (seuil minimal de stimulation permettant la perception auditive) et le niveau C (niveau maximal de stimulation toléré sans inconfort). Le niveau d'électro-stimulation requis pour provoquer une sensation auditive varie d'une électrode à une autre et entre les individus.

L'Électro-cochléographie est une autre exploration qui permet de monitorer, au cours de l'insertion du porte-électrode, l'intégrité de la cochlée en cas d'une audition résiduelle.

Les implants cochléaires modernes sont dotés de la capacité d'enregistrement utilisée pour la mesure des impédances télémétriques et des potentiels évoqués électriques. Les mêmes électrodes de position intra-cochléaire peuvent être utilisées comme électrode d'enregistrement des potentiels microphoniques avec un meilleur rapport signal-bruit.

A. Mesure des impédances télémétriques

La mesure per-opératoire des impédances télémétriques est l'un des tests les plus utilisés pour l'évaluation de l'intégrité fonctionnelle per-opératoire de l'implant cochléaire. Elle consiste en la mesure de la résistance des électrodes au passage du courant électrique. Elle permet de vérifier si l'implant cochléaire est susceptible de produire les stimulations électriques appropriées (2,5). Toutefois, des impédances normales ne signifient pas une insertion

complète du porte-électrode mais plutôt un contact entre les électrodes et un intermédiaire conducteur d'électricité (5). Des impédances élevées correspondent à des circuits ouverts qui pourraient être transitoires et tendent à décroître après le passage d'un courant électrique constant à travers l'électrode ou dues à la présence de bulle d'air ou de poudre d'os dans la rampe tympanique (6). La persistance des impédances élevées serait en rapport avec une électrode endommagée, de position extra cochléaire ou l'absence de contact entre l'électrode et les terminaisons nerveuses. Des impédances faibles seraient liées à des court-circuits (6). Les impédances tendent à être à leurs niveaux les plus faibles en per-opératoire comparativement au jour du premier réglage de l'implant (7,8). Les valeurs seuils définissant les impédances comme faibles ou élevées sont prédéfinies par chaque fabricant.

Les indications du recours à un implant cochléaire de secours n'est pas bien élucidées dans la littérature. La mesure des impédances téléométriques, l'analyse des résultats d'autres tests électrophysiologiques (tels que le potentiel évoqué électrique, le réflexe stapédien évoqué électrique) et impérativement des données de l'imagerie sont indispensables pour discuter la non fonctionnalité de l'implant et éventuellement son remplacement. Selon le consensus de l'académie américaine des audiologistes, au vu des données des tests électrophysiologiques et de l'imagerie, le recours à un implant de secours pourrait être proposé si 50% ou plus des électrodes présentent des impédances anormales qu'il s'agit de court-circuits ou des circuits ouverts surtout si l'insertion du porte-électrode a été difficile (9).

B. Mesure du potentiel d'action évoqué électrique

La télémetrie de réponse neurale (TRN), l'imagerie de réponse neuronale (IRN) et la télémetrie de réponse auditive (TAR) sont des termes différents relatifs aux différents fabricants pour désigner l'enregistrement téléométrique du potentiel d'action composite évoqué (PAEE) par la stimulation électrique de chaque électrode d'un implant cochléaire. Il s'agit d'un test per-opératoire rapide, non invasif et objectif qui évalue la fonction neurale périphérique. Il mesure le potentiel d'action composite résultant de la stimulation du nerf cochléaire et notamment des cellules nerveuses du ganglion spiral, par des impulsions électriques biphasiques. Les réponses ont une latence relativement courte, généralement inférieure à 0,5 ms (8). Néanmoins, les seuils d'obtention des PAEE per-opératoires ne permettent pas de prédire ceux du réglage post-opératoire (6,10,11). La mesure du PAEE permet d'évaluer l'intégrité fonctionnelle aussi bien de l'implant que du nerf auditif. Toutefois leur absence n'est pas forcément synonyme d'un dysfonctionnement neural ou de l'implant. Une évaluation plus approfondie de l'emplacement du porte d'électrode dans la cochlée sera nécessaire pour éliminer d'autres étiologies telles qu'une plicature de l'embout du porte-électrode (3,10,12,13). De Vos et al ont conclu que les études incluses dans leur méta-analyse ne permettaient pas de conclure quant à l'intérêt de la mesure des PAEE, pour prédire les modalités et les niveaux de réglage des implants cochléaires ultérieurement (14).

C. Reflexe stapédien évoqué électrique

Le réflexe stapédien (RS) peut être identifié en per-opératoire par l'observation directe de la contraction du muscle stapédien homolatéral par le biais du microscope ou mesuré au niveau de l'oreille contralatérale suite à une stimulation électrique au niveau du porte-électrode. Il s'agit d'un test qui permet de vérifier l'intégrité fonctionnelle de l'implant cochléaire, du nerf cochléaire et de l'arc réflexe stapédien.

Toutefois, l'absence de réflexe stapédien évoqué par la stimulation électrique ne permet pas de conclure à la défaillance de l'implant ou à l'altération des voies de conduction nerveuses (3,10). En effet, des pathologies de l'oreille moyenne comme l'otosclérose peuvent abolir l'effet induit par la contraction du muscle stapédien. Il est également impossible d'enregistrer le RS en l'absence de l'ensemble étrier-tendon-muscle stapédien dans le cas de certaines reprises chirurgicales complexes ou d'otite chronique destructive telle que les otites moyennes cholestéatomateuses. En plus les agents anesthésiques volatils suppriment le réflexe stapédien proportionnellement à la dose d'anesthésique administrée. De même, le curare à durée d'action longue peut empêcher l'enregistrement du réflexe stapédien (15). Les seuils de stimulation électrique nécessaires pour déclencher le réflexe stapédien induisent une surestimation du niveau de confort réel post-opératoire (13–17).

Ainsi ces mesures ne sont pas les meilleurs prédicteurs des modalités de réglage de l'implant en post-opératoire. Toutefois, certains auteurs ont comparé les seuils de détection du réflexe stapédien en utilisant un protocole de stimulation séquentielle multi-électrode comparé à la stimulation mono électrode chez un groupe de 35 adultes. Ils ont retrouvé que les seuils de détection du réflexe enregistrés selon le protocole de stimulation séquentielle multi-électrode étaient proches des valeurs correspondant au niveau maximal de confort lors des réglages de l'IC chez l'adulte pour les mêmes électrodes, et significativement plus faibles que ceux enregistrés d'après le protocole mono-électrode. Ils ont conclu que les seuils du réflexe stapédien évoqués en stimulation séquentielle peuvent contribuer à définir la limite supérieure du champ dynamique lors des réglages initiaux mais d'autres études sont nécessaires pour généraliser ces conclusions à la population pédiatrique (18).

D. Électro-cochléographie

L'implantation cochléaire a certes modifié le pronostic des surdités profondes. Toutefois cette alternative de réhabilitation auditive reste associée à un haut risque de lésions cochléaires irréversibles lors de l'insertion du porte-électrode en cas d'audition résiduelle. Depuis 2003, l'électro-cochléographie a gagné de l'intérêt dans le domaine de l'implantation cochléaire essentiellement pour monitorer l'insertion du porte-électrode et détecter des éventuelles lésions cochléaires particulièrement dans les surdités avec audition résiduelle.

A travers une revue de la littérature avec une méta-analyse. Trecca et al. ont conclu que l'électro-cochléographie per-opératoire pourrait être utile pour monitorer la préservation de l'audition résiduelle et ainsi étendre les indications de l'implantation cochléaire aux surdités avec des réserves cochléaires sur les basses fréquences (19).

L'insertion sous guidage robotique du porte-électrode et le monitoring électrocochléographique per-opératoire en temps réel pourraient théoriquement réduire les traumatismes cochléaires. Il est actuellement recommandé d'utiliser des tests électrophysiologiques, notamment l'électro-cochléographie pour monitorer, en temps réel lors de l'insertion du porte-électrode, la fonction cochléaire et la préservation de l'audition résiduelle (20,21).

Références

1. Carlson ML, Archibald DJ, Dabade TS, Gifford RH, Neff BA, Beatty CW, et al. Prevalence and timing of individual cochlear implant electrode failures. *Otol Neurotol.* août 2010;31(6):893-8.
2. Cosetti MK, Troob SH, Lutzman JM, Shapiro WH, Roland JTJ, Waltzman SB. An evidence-based algorithm for intraoperative monitoring during cochlear implantation. *Otol Neurotol.* févr 2012;33(2):169-76.
3. Mason S. Electrophysiologic and objective monitoring of the cochlear implant during surgery: implementation, audit and outcomes. *Int J Audiol.* déc 2004;43 Suppl 1:S33-38.
4. Shapiro WH, Huang T, Shaw T, Roland JTJ, Lalwani AK. Remote intraoperative monitoring during cochlear implant surgery is feasible and efficient. *Otol Neurotol.* juin 2008;29(4):495-8.
5. Goehring JL, Hughes ML, Baudhuin JL, Lusk RP. How well do cochlear implant intraoperative impedance measures predict postoperative electrode function? *Otol Neurotol.* févr 2013;34(2):239-44.
6. Tanamati LF, Goffi-Gomez MVS, Muniz LF, Samuel PA, Wiemes GRM, Lima DP, et al. Use of remote control in the intraoperative telemetry of cochlear implant: multicentric study. *Braz J Otorhinolaryngol.* août 2019;85(4):502-9.
7. Hughes ML, Vander Werff KR, Brown CJ, Abbas PJ, Kelsay DM, Teagle HF, et al. A longitudinal study of electrode impedance, the electrically evoked compound action potential, and behavioral measures in nucleus 24 cochlear implant users. *Ear Hear.* déc 2001;22(6):471-86.
8. Busby PA, Plant KL, Whitford LA. Electrode impedance in adults and children using the Nucleus 24 cochlear implant system. *Cochlear Implants Int.* sept 2002;3(2):87-103.
9. Messersmith JJ, Entwisle L, Warren S, Scott M. Clinical Practice Guidelines: Cochlear Implants. *J Am Acad Audiol.* déc 2019;30(10):827-44.
10. Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV. Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children. *Ear Hear.* oct 2004;25(5):447-63.

11. Telmesani LM, Said NM. Electrically evoked compound action potential (ECAP) in cochlear implant children: Changes in auditory nerve response in first year of cochlear implant use. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* mars 2016;82:28-33.
12. Grolman W, Maat A, Verdam F, Simis Y, Carelsen B, Freling N, et al. Spread of excitation measurements for the detection of electrode array foldovers: a prospective study comparing 3-dimensional rotational x-ray and intraoperative spread of excitation measurements. *Otol Neurotol.* janv 2009;30(1):27-33.
13. Caner G, Olgun L, Gültekin G, Balaban M. Optimizing fitting in children using objective measures such as neural response imaging and electrically evoked stapedius reflex threshold. *Otol Neurotol.* août 2007;28(5):637-40.
14. Crawford MW, White MC, Propst EJ, Zaarour C, Cushing S, Pehora C, et al. Dose-dependent suppression of the electrically elicited stapedius reflex by general anesthetics in children undergoing cochlear implant surgery. *Anesth Analg.* mai 2009;108(5):1480-7.
15. M. Guida, M. Falcioni, F. Di Lella, M. Negri, E. Fagnani, V. Vincenti. Stimulation séquentielle multi-électrodes versus stimulation mono-électrode pour évoquer le réflexe stapédien pendant l'implantation cochléaire : corrélation avec le niveau maximal de confort. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2019;136:169-72.
16. Makhdom MJ, Snik AF, Stollman MH, de Grood PM, van den Broek P. The influence of the concentration of volatile anesthetics on the stapedius reflex determined intraoperatively during cochlear implantation in children. *Am J Otol.* sept 1998;19(5):598-603.
17. van den Borne B, Snik AF, Mens LH, Brokx JP, van den Broek P. Stapedius reflex measurements during surgery for cochlear implantation in children. *Am J Otol.* juill 1996;17(4):554-8.
18. Trecca EMC, Riggs WJ, Mattingly JK, Hiss MM, Cassano M, Adunka OF. Electrocochleography and Cochlear Implantation: A Systematic Review. *Otol Neurotol.* août 2020;41(7):864-78.
19. Dalbert A, Sim JH, Gerig R, Pfiffner F, Roosli C, Huber A. Correlation of Electrophysiological Properties and Hearing Preservation in Cochlear Implant Patients. *Otol Neurotol.* août 2015;36(7):1172-80.
20. Harris MS, Riggs WJ, Koka K, Litvak LM, Malhotra P, Moberly AC, et al. Real-Time Intracochlear Electrocochleography Obtained Directly Through a Cochlear Implant. *Otol Neurotol.* juill 2017;38(6):e107-13.
21. Radeloff A, Shehata-Dieler W, Scherzed A, Rak K, Harnisch W, Hagen R, et al. Intraoperative monitoring using cochlear microphonics in cochlear implant patients with residual hearing. *Otol Neurotol.* avr 2012;33(3):348-54.

VI. INCIDENTS PER-OPÉRATOIRES ET COMPLICATIONS POST-IMPLANTATION COCHLÉAIRE

INCIDENTS PER-OPÉRATOIRES

Mayssa LAJHOURI, Najeh BELTAIEF

L'implantation cochléaire est une chirurgie bien codifiée. Une analyse rigoureuse pré-opératoire de l'imagerie ainsi qu'une technique chirurgicale bien réalisée diminuent considérablement le risque d'incidents per-opératoires sans pour autant le rendre nul. La meilleure conduite face à ces incidents est de bien les connaître, d'anticiper leur survenue et de les éviter. Mais une fois survenus, il est important de pouvoir les gérer.

L'implantation cochléaire implique l'ouverture de trois «portails» qui sont la mastoïdectomie, la tympanotomie postérieure et l'ouverture de la lumière cochléaire via la membrane de la fenêtre ronde ou à travers une cochléostomie, et ceci sans oublier le fraisage du lit de l'implant. Des incidents sont spécifiques à chaque étape.

1. Incidents lors de la mastoïdectomie

Les incidents possibles sont communs à toutes interventions nécessitant un abord des cavités postérieures. Il peut s'agir de:

- Accidents hémorragiques: Ils sont principalement secondaires à une lésion accidentelle lors du fraisage du sinus sigmoïde surtout quand il est de siège antérieur ou à une blessure de la veine émissaire mastoïdienne.
- Ecoulement de liquide céphalo-rachidien (LCR): Il survient en cas de brèche ostéoméningée secondaire à un fraisage excessif vers la fosse temporale moyenne
- Lésion iatrogène du canal semi-circulaire latéral ou du nerf facial: ces lésions surviennent en cas de mastoïde sclérotique où il est plus difficile de retrouver l'antra et la courte apophyse de l'enclume (1).

Ces complications sont rares au cours de l'implantation cochléaire car la mastoïde est le plus souvent bien pneumatisée et indemne de phénomènes inflammatoires pouvant altérer les repères anatomiques chirurgicaux (2).

2. Incidents lors de la tympanotomie postérieure

Lors de la tympanotomie postérieure, la lésion du nerf facial reste l'incident le plus redoutable et le plus dangereux (3).

S'il est plus fréquent d'avoir une lésion du nerf facial dans les mastoïdes sclérotiques, ce risque existe également dans les mastoïdes bien pneumatisées où les cloisons cellulaires peuvent être très fines ainsi que le canal osseux du nerf facial. Il est à noter également l'effet délétère de la diffusion de la chaleur vers le nerf facial à travers la mèche de fraisage, d'où l'importance d'une irrigation suffisante lors du fraisage à proximité du canal de Fallope. (1)

Chez l'enfant, la 3^{ème} portion du nerf facial peut avoir un trajet plus superficiel, le fraisage en plus d'être doux et prudent doit respecter les «impératifs» de la mastoïdectomie: toujours fraiser en dehors du plan du canal semi-circulaire latéral, Le fraisage en dehors du plan du canal semi-circulaire latéral et l'identification de la crête du digastrique permettent souvent de protéger cette portion du nerf facial.

Dans les malformations de l'oreille interne, le nerf facial peut avoir un trajet aberrant avec un risque plus élevé de complications. Ceci est le cas essentiellement des malformations à type de cavité commune et d'hypoplasie cochléaire, justifiant le monitoring per-opérateur systématique du nerf facial en cas de malformations de l'oreille interne (4,5,6) (cf chapitre IV).

Lors de ce temps opératoire, une lésion accidentelle de la corde du tympan est également possible. Ce repère anatomique de grande importance doit être identifié grâce à un fraisage prudent à l'aide d'une fraise diamantée et sous irrigation suffisante. Quand la corde du tympan n'est pas identifiée, le fraisage peut être mené à tort vers la paroi postérieure du conduit et non pas vers l'oreille moyenne (1). Cet incident nécessite impérativement la reconstruction de la paroi postérieure du conduit.

3. Incidents lors de la cochléostomie

Lors de l'ouverture de la lumière cochléaire, deux incidents sont possibles: le premier est relatif aux difficultés techniques de retrouver la lumière cochléaire et le second est l'écoulement de liquide céphalo-rachidien ou geysier.

3.1. Difficultés d'identification de la fenêtre ronde

Une tympanotomie postérieure large et bien réalisée ne garantit pas toujours la visualisation adéquate de la fenêtre ronde. Cette situation délicate peut se voir en cas d'ossification cochléaire avec une oblitération osseuse ou fibreuse de la niche de la fenêtre ronde. Il existe alors un risque majeur de mettre en place l'électrode dans une cellule aérienne hypotympanique voire dans le conduit auditif interne (7,8).

Dans cette situation, d'autres repères chirurgicaux sont essentiels comme par exemple le tendon du muscle de l'étrier et la position de la fenêtre ovale: grâce à ces repères, le chirurgien doit pouvoir identifier le promontoire et la niche de la fenêtre ronde sans se tromper et aller vers les cellules hypotympaniques (7,8).

La cochléostomie idéale est alors inférieure et légèrement antérieure par rapport au siège supposé de la membrane de la fenêtre ronde. La cochléostomie doit se faire selon une ligne verticale au promontoire pour éviter la tendance spontanée à se rapprocher antérieurement du canal carotidien. La présence de tissu dans la lumière de la cochléostomie doit alerter le chirurgien sur une possible erreur (7,8).

D'autre part, quand le golfe de la jugulaire est haut situé, il peut cacher la fenêtre ronde ou le tour basal et empêcher l'accès à la lumière cochléaire à travers l'approche trans-mastoïdienne classique aboutissant à la réalisation d'une pétrectomie sub-totale (2).

3.2. Geysers labyrinthiques

Le geysers ou Gusher pour les anglosaxons sont des termes généralement utilisés dans la littérature pour décrire une issue profuse de liquide clair au moment de réaliser une ouverture dans l'oreille interne (6). Cet écoulement de liquide céphalo-rachidien est le plus souvent dû à un défaut osseux anormal dans le fond du méat auditif interne (fundus) (6).

Phelps et al. décrivent deux types d'écoulement de LCR lors de la cochléostomie (6):

- Le oozing: il est le résultat d'un petit défaut entre l'oreille interne malformée et le conduit auditif interne (CAI). Cet écoulement intermittent de LCR s'arrête habituellement au bout de quelques minutes. Le oozing est plus fréquent dans les malformations à type de partition incomplète de type II et d'aqueduc du vestibule large.
- Le geysers ou gusher: il existe une communication large entre l'espace sous-arachnoïdien et l'oreille interne. Le flux de LCR au moment de la cochléostomie est profus et dure environ 20 minutes. Il est surtout observé chez les patients ayant une partition incomplète de type 1 et chez quelques patients porteurs d'une partition incomplète de type 2.

En cas de geysers, une surélévation de la tête, une aspiration douce sur les berges osseuses de l'ouverture cochléaire, avec un temps d'attente de quelques minutes permettent généralement d'améliorer la visibilité de la lumière cochléaire et d'introduire les électrodes avec la main opposée à celle qui manie l'aspiration. Seneraroglu et d'autres auteurs recommandaient une cochléostomie large qui permet la mise en place de fragments musculaires autour des électrodes bloquant ainsi l'écoulement du LCR. Ce même auteur proposait également de placer l'électrode à travers un trou réalisé dans un fascia ou dans du muscle et d'introduire ce montage dans la cochléostomie (6) (voire chapitre IV).

En cas de geysers persistant et incontrôlable, d'autres méthodes ont été également proposées telles que la pétrectomie sub-totale avec un comblement de la cavité par de la graisse ainsi que la dérivation lombaire externe continue de LCR (6,9).

4. Autres incidents:

Pour ce qui est de la préparation de la loge de l'antenne réceptrice, les incidents sont quasi-nuls d'autant plus que l'épaisseur actuelle des dispositifs implantés est de plus en plus fine. Cependant, quelques cas d'hématomes sous-duraux ont été rapportés dans la littérature et ceci malgré l'absence d'exposition de la dure mère. L'hématome sous-dural serait secondaire à la lésion d'une veine diploïque dont l'électrocoagulation à la pince bipolaire faciliterait la rétraction dans l'espace sous-arachnoïdien. Cet incident est important à noter si le patient présente des troubles neurologiques en post-opératoire pour assurer un diagnostic et une prise en charge rapides (10).

Références

- 1- Jun B, Song S. Surgical considerations during cochlear implantation: the utility of temporal bone computed tomography. *J Laryngol otol.* May 2021;135:134-141.
- 2- Di Lella F, Falcioni M, Piccinini S, Iaccarino I, Bacciu A, Pascanisi E and al. Prevention and management of vascular complications in middle ear and cochlear implant surgery. *Eur Arch Otolaryngol.* September 2017.
- 3- Miyamoto R T, Young M, Myres W A, Kessler K, Wolfert K, Kirk K I. Complications of pediatric cochlear implantation. *Eur Arch Otolaryngol.* 1996;235:1-4.
- 4- Sahai S, Ghosh B, Anjankar A. A spectrum of intraoperative and postoperative complications of cochlear implants: a critical review. *Creus.* August 2022;14(8):1-8.
- 5- Parent V, Codet M, Aubry K, Bordure P, Bozorg-Grayeli A, Deguine O and al. The french cochlear implant registry (EPIIC): cochlear implantation complications. *ANORL.* 2020.
- 6- Senanaroglu L. Cochlear implantation in inner ear malformations- a review article. 2009; *Cochlear Implants Int.*
- 7- Ying Y M, Lin J, Oghalai J S, Williamson R A. Cochlear implant electrode misplacement: incidence, evaluation, and management. *Laryngoscope.* March 2013;123:757-766.
- 8- Garrada M, Alsulami M, Almutairi S, Alessa S, Aselami A, Alharbi N. Cochlear implant complications in children and adults: retrospective analysis of 148 cases. December 2021; *Creus* 13(12):1-9.
- 9- Farinetti A, Ben Gharbia D, Mancini J, Roman S, Nicollas R, Triglia JM. Cochlear implant complications in 403 patients: comparative study of adults and children and review of the literature. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2014;131:177-182.
- 10- Stamatiou G, Kyrodimos E, Sismanis A. Complications of cochlear implantation in adults. *Ann. Otol. Rhinol.* 2011;120(7):428-432.

COMPLICATIONS POST-IMPLANTATION COCHLÉAIRE

Inès KHARRAT, Imen ACHOUR, Bouthaina HAMMAMI

L'implantation cochléaire a bénéficié de plusieurs progrès concernant les techniques chirurgicales et les modèles des appareils, qui sont de plus en plus sophistiqués, afin d'avoir le maximum d'efficacité avec le minimum de morbidité.

Malgré ces progrès, cette chirurgie expose toujours à un risque de complications, qui sont souvent mineures, mais qui peuvent parfois compromettre le résultat de l'implant cochléaire ou même le pronostic vital.

Les complications post-opératoires sont divisées en complications mineures, qui peuvent être traitées médicalement, en ambulatoire et sans préjudice important pour le patient; et majeures, si elles nécessitent une hospitalisation, une réintervention, ou si elles sont responsables d'une invalidité permanente, telle qu'une paralysie faciale définitive (1,2). Elles sont classées également, selon la chronologie d'apparition, en complications péri-opératoires (dans les premières 24 heures post-opératoires), précoces (survenant entre 24 heures et 7 jours post-opératoires), et tardives (au-delà de 7 jours) (2).

Les complications post-opératoires peuvent survenir dans 3,57% à 7,4% des cas (3,4). Ce taux varie en fonction de plusieurs facteurs et peut atteindre 10,12% en cas de malformation cochléaire par exemple (5).

1. Complications liées à l'appareil

1.1. Panne de l'appareil

Les implants cochléaires sont des appareils destinés à vivre longtemps. Ils ont une garantie de 10 ans de la part des fabricants, mais la pièce interne est conçue pour durer à vie ou plus que 25 ans, et seule la partie externe devrait être changée au bout d'une dizaine d'années. Cependant, certains patients peuvent rencontrer des pannes, avec des conséquences variables allant jusqu'à l'explantation. En effet, le taux d'explantation dans la littérature est de l'ordre de 7,6% (6). Sa cause la plus fréquente est la panne de l'appareil, retrouvée dans 1,9% à 5,9% des cas d'implants cochléaires réalisés (6,7).

La panne constitue la complication la plus fréquente. Elle est classée en:

- «Hard Failure» ou Panne grave: une défaillance identifiable et mesurable de l'appareil: l'appareil présente une ou plusieurs caractéristiques en dehors de la spécification du fabricant causant un déclin du bénéfice clinique (8).
- «Soft Failure»: déclin du fonctionnement de l'appareil sans mise en évidence d'une cause: le dysfonctionnement de l'appareil est suspecté, mais ne peut pas être confirmé par les tests in vivo (9).

Le «Hard Failure» est plus fréquent que le «Soft Failure». Dans son étude rétrospective portant sur 869 implantations cochléaires, Yeung a rapporté 66 cas d'explantation, dont l'indication était un «Hard Failure» dans 45,45%, et un «Soft Failure» dans 34,84%. Le délai de survenue de la panne était de 44 mois \pm 37 mois (6).

Les implants cochléaires sont des dispositifs médicaux implantables soumis à une obligation de traçabilité. Pour cela, il est recommandé de déclarer et rapporter toute panne aux autorités et au fabricant, qui est dans l'obligation de fournir un rapport de fiabilité après explantation (8).

Le consensus européen établi en 2005, recommande la réimplantation en cas de panne confirmée responsable de déclin du bénéfice clinique; ou en cas de déclin inexplicé des performances de l'implant et de son bénéfice clinique. L'appareil sera alors retiré et examiné par le fabricant. Si la panne est mise en évidence ou si le bénéfice clinique se revoit avec le nouvel appareil réimplanté, l'ancien appareil sera classé en panne. Dans le cas contraire, où aucune panne n'est détectée, la raison de l'explantation sera classée pour «raison médicale». En revanche, dans le cas où l'appareil présente une ou plusieurs caractéristiques en dehors de celles définies par le fabricant, mais qui reste fonctionnel avec un bénéfice clinique toujours présent, cette panne ne doit pas être rapportée, et l'équipe médicale décidera s'il faut et quand il faut réimplanter (8).

Les différentes pannes possibles sont: une fracture, ou perte du joint hermétique avec inclusion de la poussière et de l'humidité dans le boîtier en céramique; fracture du microprocesseur; soudure anormale des boîtiers en titane; ou fracture de l'électrode (7,9).

Les enfants sont plus exposés à des pannes de l'appareil à cause de la fréquence des traumatismes crâniens. Yeung a rapporté 8 cas de traumatisme crânien responsable d'un «Hard Failure» avec une moyenne d'âge de 90 mois \pm 44 mois et une majorité masculine (6). Les auteurs recommandent alors d'éviter les sports à risque de traumatisme crânien (football, sport de combat...); et d'utiliser des casques avec rembourrage spécifique à l'implant cochléaire (6).

Si le diagnostic du «Hard Failure» est possible et facile in vivo, le diagnostic du «Soft Failure» est plus compliqué et ne peut être confirmé qu'après extraction de l'appareil.

Pour cela, il est important de faire attention aux prodromes et signes annonciateurs d'un «Soft Failure». Ces signes comportent (9):

- Un déclin progressif des performances, des résultats audiologiques ou une régression du langage.
- Des signes indésirables: sensation d'éclatement, de choc ou douleur lors de la stimulation électrique.
- Intermittence dans le fonctionnement de l'appareil.

Kim et al., ont noté la présence de signes prodromiques chez 14 patients parmi les 27 patients qui ont eu une panne. Ces signes étaient présents dans les 3 mois qui ont précédé l'échec de l'appareil; et ils étaient à type de changement d'impédance dans 4 cas, et intermittence dans le fonctionnement de l'implant cochléaire dans 10 cas (7).

Le diagnostic est plus difficile chez les enfants en raison de leur difficulté à rapporter les sensations liées à la stimulation électrique et de la variabilité des résultats audiologiques et du langage (9).

En présence de signes prodromiques, il est recommandé de réaliser une évaluation minutieuse visant à éliminer en parallèle une cause médicale ou un problème de programmation. Cette évaluation va comporter: un examen clinique; une imagerie; des tests électrophysiologiques; avec en parallèle, une étude de la partie externe de l'appareil à la recherche d'une panne, en changeant les pièces par de nouvelles pièces fonctionnelles. Si tout le bilan s'avère normal, le diagnostic de «Soft Failure» sera posé. Dans ce cas, l'appareil doit être explanté, notamment en présence d'une diminution du bénéfice clinique ou de sensations indésirables intolérables (9).

Après explantation, l'appareil sera examiné à la recherche de panne pour confirmer le diagnostic. En absence de panne avérée à l'examen de l'appareil explanté, la reprise de bons résultats après réimplantation conforte le diagnostic mais ne peut pas le confirmer catégoriquement. En effet, plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette situation en dehors de la panne comme:

- La mise en place de l'électrode a été effectuée initialement en dehors de la rampe tympanique.
- L'adaptation neurale à une stimulation électrique prolongée peut provoquer à long terme une intermittence ou une baisse des performances
- Les cellules ciliées fonctionnelles peuvent provoquer une désynchronisation des fibres nerveuses auditives lors de la stimulation électrique, provoquant des sensations désagréables mimant un dysfonctionnement de l'appareil.
- Le nouvel appareil réimplanté est généralement upgradé et plus performant (9).

Dans la série de kim et al., une explantation pour panne a été rapportée dans 27/1431 cas. Le rapport du fabricant a été réalisé dans 25 cas et a montré une panne du stimulateur-receveur dans 2 cas, et une électrode cassée dans 2 cas. Dans 21 cas, aucune panne n'a été détectée (7).

1.2. Déplacement de l'aimant et/ou du stimulateur-receveur

La migration de l'aimant et/ou de la pièce interne est une complication rare. Dans une revue systématique de la littérature incluant 26 études et 6469 patients apparue en 2021, l'incidence de la migration de l'aimant, et de la pièce interne, était respectivement de 1,3%

et 0,1%. Les causes les plus fréquentes étaient la réalisation d'une imagerie par résonance magnétique (IRM) (43 cas soit 55,1%) et le traumatisme crânien (32,1%). En effet, l'IRM a provoqué une migration de l'aimant même avec 1,5 tesla et en portant les bandages spécifiques recommandés par les fabricants (14/43 cas). Les autres causes retrouvées dans la littérature étaient: l'utilisation de jouet magnétique et l'otite moyenne suppurative. Dans certains cas, la cause était non identifiable, et on parle de migration spontanée (10).

La migration de l'aimant et/ou de la pièce interne devrait être suspectée devant la présence de douleur, rougeur et tuméfaction en regard du site; la diminution des réponses en télémétrie; ou intermittence dans le fonctionnement de l'implant, notamment au décours d'une IRM ou d'un traumatisme crânien (10).

Devant la suspicion clinique, le diagnostic doit être confirmé par imagerie (radiographie standard ou Cone-Beam) suivie d'une réintervention pour réduction et refixation en cas de retentissement clinique ou de dysfonctionnement de l'implant (10).

1.3. Migration de l'électrode

Elle est définie comme une migration secondaire d'au moins 2 électrodes en dehors de la cochlée. Elle peut être précoce, dans les premiers 15 jours post-opérateurs; ou tardive, au-delà de 15 jours (11).

Goh et al. ont rapporté dans leur étude rétrospective, que la migration précoce de l'électrode a été retrouvée dans 11,5% des cas et elle a été significativement associée à la présence de malformation cochléaire; alors que la migration tardive, retrouvée dans 0,8% des cas, a été généralement causée par un traumatisme crânien (11).

2. Complications infectieuses

2.1. Surinfection de la plaie opératoire

Le taux de complication locale au niveau de la plaie opératoire est de 3,1% (12). Les surinfections de la plaie opératoires peuvent être mineures ou majeures. Les formes mineures sont à type d'œdème, hématome ou infection superficielle de la plaie, ne nécessitant pas une hospitalisation, et pouvant être traitées en ambulatoire. Les formes majeures sont à type de surinfection sévère, déhiscence de la plaie, ouverture du lambeau ou perte de substance avec mise à nu de la pièce interne (figure 1). Ces complications majeures représentent 2% des complications locales (12). Elles nécessitent une prise en charge plus agressive, avec recours à l'hospitalisation, le traitement intra-veineux, la chirurgie pour drainage (12,13) ou même l'explantation (0,28 à 1,26% des cas) (6,7).

Les germes les plus fréquents sont le Staphylocoque Aureus (*S. Aureus*) et le Pseudomonas Aeruginosa (*P. Aeruginosa*) (14). L'infection à *P. Aeruginosa* est généralement plus sévère pouvant aboutir à une explantation dans 100% des cas (14). En effet, Kabelka et al. ont montré que le *P. Aeruginosa* a tendance à provoquer des



Figure 1:

Déhiscence de la cicatrice opératoire mettant à nu l'implant cochléaire (Photo Dr Gh. Besbes)

abcès avec pseudocapsule autour de l'implant cochléaire, ce qui va dévasculariser la zone autour de l'implant et empêcher la pénétration des antibiotiques systémiques. Les auteurs recommandent pour ces cas l'explantation de l'implant (15).

La forme et la taille de l'incision peuvent influencer le risque de complication locale. L'incision en forme de C et l'incision étendue en endaural sont plus à risque de complication (13,14). De même, Laureano et al. ont montré dans leur méta-analyse, qu'une incision \geq à 7 cm est associée à un risque significativement plus élevé de complications cutanées qu'une incision mini-invasive $<$ à 7 cm (2,9% versus 1,2%, $p = 0,02$) (12). En revanche, ces auteurs n'ont pas trouvé de différence significative entre la mise en place de l'implant directement dans une poche sous-périostée sans fraisage versus une niche fraisée avec ou sans sutures de fixation (12).

Vijendren et al. recommandent cependant, de mettre la pièce interne loin de la position supposée du contour externe, pour éviter le traumatisme et la nécrose du lambeau; et de réaliser une fermeture en plusieurs couches à l'aide du mono-filament pour éviter la déhiscence de la plaie et l'extrusion secondaire de l'implant (14).

Le rôle de l'antibiothérapie prophylactique pour prévenir le risque de surinfection, a été largement discuté dans la littérature, mais reste controversé. Plusieurs molécules ont été rapportées. Les molécules les plus utilisées dans la série de Basavarj et al. étaient la Céfuroxime et l'Amoxicilline-acide clavulanique (16). Ces auteurs ont trouvé que le traitement prophylactique pendant 5 ou 7 jours était associé à un risque significativement plus élevé de surinfection par rapport à une dose unique (16). Hirsch et al. ont utilisé principalement le Céfazoline en une seule dose en pré-opératoire avec un taux de complication de 3% (17). Garcia et al. recommandent une dose de Céftriaxone en pré-opératoire, suivie de 6 semaines de Clindamycine à dose bactériostatique (125 mg/jour pour les enfants de 4 ans et 500 mg/jour pour les adultes). En effet, l'utilisation de la Clindamycine a été justifiée

devant son effet immunomodulateur, inhibant la constitution du biofilm à la surface de l'implant et diminuant ainsi les surinfections post-opératoires (18).

Cependant, dans leur revue systématique de la littérature, Anne et al. n'ont pas démontré un bénéfice significatif de l'antibiothérapie prophylactique péri-opératoire, mais ils recommandent, une prophylaxie par une dose unique pré-opératoire, vue la supériorité du bénéfice par rapport au risque en cas d'infection sur implant cochléaire (13).

Dans la méta-analyse de Laureano et al., aucune différence significative n'a été trouvée entre l'antibioprophylaxie per-opératoire et l'association d'une antibiothérapie per-opératoire et post-opératoire (12).

En plus de l'antibiothérapie prophylactique, certaines mesures ont été rapportées dans la littérature pour prévenir les complications infectieuses, telles que la désinfection de la peau et du cuir chevelu par de la chlorhexidine 0.5% dans l'alcool 70%, ou par les préparations à base d'iode (14); et le traitement préalable de tout foyer infectieux, notamment une otite moyenne, avant l'implantation cochléaire (19).

Le traitement des infections dépend de la sévérité et est basé sur l'antibiothérapie, la chirurgie de débridement et l'explantation-réimplantation dans les cas ultimes (14).

Le choix de l'antibiothérapie n'est pas consensuel. Il doit être guidé par les prélèvements bactériologiques, la culture et l'antibiogramme (14,20). L'antibiothérapie initiale doit avoir idéalement une action sur les germes les plus fréquents: le *S. Aureus* et le *P. Aeruginosa*.

Kabelka a utilisé la Coamoxiclav pour les infections à *S. Aureus*; et les associations: Céftriaxone–Tazocine et Céftriaxone–Ciprofloxacine pour les infections à *P. Aeruginosa*. La durée du traitement intra-veineux pour les cas à *P. Aeruginosa* était de 16 jours à 21 jours avec une durée totale de 7 semaines avant l'explantation (15). Davids et al., ont traité les infections à *S. Aureus* par la Céfazoline, et celles à *Haemophilus Influenzae* (*H. Influenzae*) par Tazocine (21). Olsen a utilisé essentiellement des inhibiteurs de bêta-lactamase (Dicilline ®). Pour les infections plus sévères, il a utilisé une association de céphalosporine et métronidazole (22). Palau et al. ont rapporté 7 cas d'infection à Staphylocoque. Il s'agissait d'un Staphylocoque Méti-S dans 4 cas, traités par Coamoxiclav, et d'un Staphylocoque Méti-R dans 3 cas, traités par Lévofloxacine (23). La durée du traitement intra-veineux varie dans la littérature de 2 semaines à 6 semaines (15,24).

En cas d'infection mineure ou de sévérité intermédiaire, type œdème, sérosité ou collection limitée, le traitement associé à l'antibiothérapie, une ponction-aspiration à l'aiguille fine, un bandage compressif autour de la mastoïde avec des soins locaux aux antiseptiques. La ponction peut être répétée au besoin. La corticothérapie est associée en cas de doute sur une réaction type à corps étranger (25,26).

En cas d'échec du traitement initial, ou en cas d'infection d'emblée sévère avec défaut cutané et extrusion de l'implant, le traitement est plus agressif. Si l'implant est encore

fonctionnel, le traitement associe une chirurgie de débridement avec exérèse du tissu nécrotique, infecté et du tissu de granulation, au niveau de la plaie opératoire et de la mastoïde, associé à des lavages abondants aux antibiotiques topiques et anti-septiques (15,20,24–27).

Dans ces cas, l'implant cochléaire est généralement déplacé et fixé dans un autre site, loin du site primaire, en étendant la poche sous-périostée en supérieur, pour qu'il soit sécurisé le temps que l'infection guérisse (24,25,27).

Suri et al. ont rapporté les résultats de l'utilisation d'un surfactant tensioactif à base de bétaine et du polyhexanide, au cours de la chirurgie de débridement, pour désinfecter le site de l'implant et la pièce interne. Leur série a comporté 5 patients ayant eu une infection résistante au traitement médical avec un implant cochléaire fonctionnel dans les 5 cas et mis à nu dans 2 cas. Leur procédure consiste à réaliser une excision large des tissus infectés; l'implant cochléaire est ensuite mis dans une solution d'hydrogène de peroxyde pendant une heure, puis dans une solution de bétaine et de polyhexanide pendant 30 minutes; l'aimant est dissocié et traité à part dans une solution d'hydrogène de peroxyde et de polyhexanide; et la cavité mastoïdienne est remplie par une solution d'hydrogène de peroxyde et de polyhexanide. L'implant est ensuite replacé dans une nouvelle niche fraisée plus haut avec remise de l'aimant et mise en place d'une solution anti-biofilm associée au gel polyhexanide. Les auteurs ont pu sauver 4 implants parmi 5 (28).

Claros et al. ont rapporté 20 cas d'infection cutanée avec extrusion de l'implant, qu'ils ont traités par une antibiothérapie avec chirurgie, une antibiothérapie avec chirurgie et oxygénothérapie hyperbare, ou par antibiothérapie avec oxygénothérapie hyperbare. Ils ont noté une guérison de l'infection dans tous les cas qui ont reçu l'oxygénothérapie hyperbare (29).

La mise à nu de l'implant cochléaire ou l'extrusion de l'implant nécessite le recours à un recouvrement à la fin de la chirurgie de débridement. Bi et al. ont réalisé un lambeau de rotation myo-facial temporalis (25) alors que Qin et al. utilisent un lambeau de rotation du cuir chevelu (26). D'autres auteurs utilisent des lambeaux doubles. Suri et al. ont utilisé deux lambeaux vascularisés de tissus mous (28). Gawecki et al. ont utilisé plutôt deux lambeaux de rotation, l'un externe formé par tissu mou, et l'autre interne formé de muscle et de fascia (20).

Enfin, après échec de toutes ces étapes, où en cas de défaillance secondaire de l'implant, l'explantation est inévitable. Celle-ci est généralement suivie d'une guérison définitive de l'infection (20,25). La réimplantation sera réalisée, selon les cas, du même côté ou en controlatéral (20,25,26,28,29). En cas de réimplantation ipsilatérale envisagée, l'implant cochléaire est explanté en laissant en place l'électrode pour éviter la formation de fibrose au niveau de la fenêtre ronde et l'ossification cochléaire (20,25,28,29). La réimplantation ipsilatérale doit être faite après un délai minimum de 6 mois (20,25). Par contre, l'implantation controlatérale peut être réalisée avant ou après l'explantation (20).

2.2. Otite moyenne aigue (OMA) et oto-mastoïdite aigue

L'OMA est une pathologie fréquente chez l'enfant. Elle est souvent banale, mais peut se compliquer par une mastoïdite ou une méningite, compromettant ainsi le pronostic vital. Le risque de méningite est plus élevé chez les enfants implantés puisqu'ils ont une communication entre les cavités de l'oreille moyenne et l'oreille interne via la fenêtre ronde ou la cochléostomie. Pour cela, le diagnostic et le traitement de toute OMA doit être rapide et efficace avant le stade des complications.

L'incidence de l'OMA chez les enfants implantés est de 9 à 20,1% (30,31). La mastoïdite aigue est plus rare. Son incidence est estimée à 1,29% (43 cas sur un total de 3331 cas d'implantation cochléaire inclus dans 12 études) (32). Dans cette revue systématique de la littérature, la symptomatologie clinique et le profil bactériologique étaient non spécifiques; similaires aux enfants non implantés. La symptomatologie est faite d'otalgie, fièvre, rougeur et tuméfaction rétro-auriculaire. Le délai de survenue était très variable allant de 4 à 58,4 mois, avec une moyenne de 17,2 mois post-opératoires (surtout dans les deux premières années post-implantation). L'abcès sous-périosté a été retrouvé dans 14,3% des cas.

Le traitement était basé sur la Céftriaxone en intra-veineux, avec une durée variable de 3 jours à 6 semaines; associée à une incision drainage ou mastoïdectomie selon la sévérité du tableau. Un seul cas d'explantation a été réalisé (32).

En effet, l'antibiothérapie intra-veineuse est systématique et doit être précoce devant une infection des cavités de l'oreille moyenne. La Céftriaxone par voie générale est recommandée pendant au moins 7 jours, avec un relai per os pendant 3 semaines (32). En cas d'OMA isolée, une myringotomie suivie d'une surveillance rapprochée doit être faite dans tous les cas. En présence d'abcès rétro-auriculaire, un drainage de l'abcès sera associé (33,34). Osborn et al. recommandent la mise en place d'un drain trans-tympanique même dans les OMA isolées (33).

Le traitement est plus agressif en présence de mastoïdite abcédée. Il s'agit d'une forme plus grave qui peut entraîner des conséquences plus lourdes comme l'explantation. En effet, Kitano et al. ont rapporté 15 complications parmi 86 cas d'implantation cochléaire, dont 12 étaient mineures et 3 majeures. Les 3 cas de complication majeure étaient tous des mastoïdites compliquées d'abcès sous-cutané ou sous-périosté. L'explantation a été nécessaire dans un cas: il s'agissait d'une mastoïdite compliquée d'un abcès sous-périosté, récurrente malgré le traitement antibiotique et la chirurgie de drainage (35).

2.3. Méningite

L'incidence de la méningite chez les enfants ayant reçu un implant cochléaire varie de 0,07 à 0,7% (37,38). Elle est 16 fois supérieure au taux observé dans la population générale pour le même groupe d'âge (36). Les germes les plus retrouvés sont le *Streptococcus Pneumoniae* (*S. Pneumoniae*) et *H. Influenzae* (37).

L'incidence et la mortalité ont nettement diminué en raison de l'utilisation de l'antibiothérapie et des protocoles de vaccination (37,38).

Alanazi et al. ont rapporté, dans leur méta-analyse récente, 202 cas de méningite avec 3/202 cas de décès (1,48%). Parmi les 202 cas de méningite, une vaccination contre le *S. Pneumoniae* a été faite dans 27,2% des cas (37). Gowrishankar et al. ont rapporté que l'incidence de méningite chez les patients ayant en un implant cochléaire passe de 0,07% à 0,02% chez les patients ayant reçu une vaccination contre le *S. Pneumoniae* (38). En effet, la vaccination diminue le risque de méningite, la sévérité de l'infection, le taux d'hospitalisation et de mortalité (38). Elle est recommandée contre le *S. Pneumoniae* pour les enfants et les adultes candidats à un implant cochléaire (39,40). La vaccination contre *H. Influenzae* ne figure pas dans les recommandations, mais elle est préconisée par la majorité des auteurs (37,38).

Le délai de survenue de la méningite en post-opératoire est très variable. Elle peut être précoce ou tardive allant de 1 jour à 72 mois (37).

Plusieurs facteurs de risque de méningite ont été étudiés dans la littérature. Alanazi et al., dans leur revue systématique de la littérature, ont rapporté que 11,38% des cas de méningite avaient une fuite de liquide céphalo-rachidien (LCR) après l'implantation cochléaire, 23,26% avaient une malformation de l'oreille interne, et 30,7% avaient une histoire d'OMA avant l'épisode de méningite (37).

Selon Reefhuis et al. la présence de malformation de l'oreille interne n'était pas un facteur de risque indépendant de méningite post-opératoire que lorsqu'elle a été associée à une fuite de LCR (36). De même, Gowrishandar et al. ont rapporté, dans leur méta-analyse récente, portant sur 1300 cas d'implantation cochléaire pour oreille malformée, une incidence de méningite proche de celle survenue sur des oreilles non malformées, (10 cas de méningite avec incidence de 0,12%). Dans 60% des cas, la méningite était associée à une fuite de LCR (41).

Dans une méta-analyse portant sur 58940 cas d'implantation cochléaire, les auteurs n'ont pas trouvé une association significative entre le risque de méningite et l'âge, la présence d'histoire d'OMA et la technique opératoire (fenêtre ronde ou cochléostomie) (38).

La cause la plus fréquente de méningite après implantation cochléaire reste otogène. En effet, la cochléostomie provoque une communication entre les cavités de l'oreille moyenne et les liquides péri-lymphatiques laissant ainsi une porte ouverte au passage des bactéries de l'oreille moyenne vers l'oreille interne. Pour cela, il a été recommandé de réaliser une cochléostomie adaptée à la taille de l'électrode suivie d'une fermeture étanche avec la mise en place d'une greffe de tissu conjonctif entre la cochléostomie et l'électrode (42,43).

Le traitement de ces méningites est basé sur l'antibiothérapie associée parfois à la chirurgie. Dès la suspicion de la méningite, le patient doit être mis sous antibiothérapie

empirique visant les germes les plus fréquents (*S. Pneumoniae*) qui sera adaptée ultérieurement aux résultats bactériologiques de la ponction lombaire (44). Cette antibiothérapie comporte la Vancomycine associée à la Céfotaxime ou la Céftriaxone. En présence de perforation tympanique, l'antibiothérapie doit couvrir le *Pseudomonas* (42,44), et dans ce cas il est recommandé d'associer la Méropénem, la Céfépime ou la Céftrizidime à la Vancomycine, à la place de la Céfotaxime et de la Céftriaxone. Si l'examen direct du LCR montre des bacilles gram négatifs, il est recommandé d'ajouter un aminoglycoside (42).

L'otorrhée, si elle est présente, doit faire l'objet également d'un prélèvement avec examen bactériologique. En cas d'otite à tympan fermé, une paracentèse doit être réalisée (44).

En cas de méningite bactérienne confirmée, une imagerie doit être réalisée pour chercher une complication mastoïdienne associée ou une ostéolyse cochléaire (42).

Selon Arnold et al., pour les méningites d'origine otogène, une chirurgie de révision doit être réalisée afin de drainer les cavités de l'oreille moyenne et de réaliser l'exérèse des tissus inflammatoires et de granulation. Une fistule péri-lymphatique doit être recherchée en per-opératoire. La cochléostomie doit être nettoyée de tout tissu de granulation pour identifier une éventuelle fuite et la colmater. Dans le cas où on identifie en per-opératoire du pus au niveau de la cochléostomie, l'électrode doit être retirée et une labyrinthectomie partielle doit être réalisée. Si on identifie à l'imagerie une lyse labyrinthique, une exclusion de l'oreille moyenne doit être réalisée en plus. En dehors de ces cas, il pourrait être suffisant de nettoyer le tissu de granulation autour de la cochléostomie, de retirer partiellement l'électrode, injecter un antibiotique dans la cochlée, puis réinsérer l'électrode et fermer la cochléostomie par du tissu conjonctif. Cette procédure permet de préserver l'implant (42).

Cependant, la majorité des auteurs ne réalisent pas de chirurgie de révision que dans les cas de méningite récurrente ou de panne secondaire de l'implant (43,45,46).

3. Complications liées à la technique opératoire

3.1. Paralysie faciale périphérique

La paralysie faciale (PF) post IC est une complication rare. Elle peut être secondaire à un traumatisme direct per-opératoire du nerf facial, un traumatisme indirect par la chaleur de la fraise, œdème ou thrombose autour du nerf secondaire à une infection, ou encore à une névrite suite à la réactivation du virus herpès simplex (HSV) (47).

Alzhrani et al. ont rapporté un taux de 0.76% (26/3403) de PF post-opératoire, qui était immédiate dans 5 cas (0,15%) et retardée dans 21 cas (0,62%). Dans 100% des cas de PF immédiate, le nerf a été exposé en per-opératoire contre 9,5% des cas dans le groupe de PF retardée (48).

La réactivation du HVS doit être considérée pour toute PF retardée survenant au-delà de deux jours post-opératoires (47,49). Dans ce cas, une sérologie HSV réalisée au moment du diagnostic, et répétée 2 à 3 semaines après, permet de confirmer le diagnostic si elle montre une augmentation du taux des anticorps supérieure à 2 fois (47). Cependant, la détection du pic des anticorps peut être tardive jusqu'à 80 jours (47). Cette réactivation virale peut être due à l'exposition per-opératoire de la corde du tympan, avec une réactivation rétrograde du virus vers le nerf facial (47). Le traitement est basé sur les fortes doses de corticoïde: Prednisolone à la dose de 120 mg/jour, l'antiviral: Acyclovir à la dose de 1500 mg/jour et la rééducation motrice de la face (49).

Le risque de PF post-opératoire est plus élevé en cas d'oreille malformée, étant donné la fréquence de l'association d'une position aberrante du nerf aux malformations de l'oreille interne, surtout celles où le tour basal de la cochlée n'a pas été complètement formé (50). Ceci expose au risque, non seulement de PF post-opératoire, mais aussi de la stimulation du nerf facial lors de la stimulation de l'implant (50).

Karamert et al. ont rapporté un seul cas de PF post-opératoire qui appartenait au groupe de malformations de l'oreille interne. Il s'agissait d'un cas d'hypoplasie cochléaire avec un nerf facial déhiscent passant en avant de la fenêtrée ronde (51).

Kamogashira et al. n'ont noté aucun cas de PF post-opératoire chez les patients ayant une malformation de l'oreille interne; par contre, ils ont rapporté une stimulation du nerf par l'IC, chez 50% des patients ayant une cavité commune, et 38% des patients ayant une hypoplasie cochléaire (52).

3.2 Atteinte de la corde du tympan

L'atteinte de la corde du tympan lors de la chirurgie otologique est responsable d'un trouble de la gustation de l'hémilangue ipsilatérale. Il s'agit d'une complication fréquente mais souvent négligée par les chirurgiens. Cependant, cette complication peut altérer la qualité de vie des patients (53). Une méta-analyse réalisée en 2023, incluant 9 études, et 442 patients, pour lesquels ont été réalisées des évaluations subjectives et objectives de la fonction gustative post-implantation cochléaire, a rapporté que, 11,8% des patients notent un changement de la sensation gustative à court terme, et 9,8% notent un changement au long court (54).

4. Atteinte vestibulaire

L'atteinte vestibulaire est une complication fréquente après implantation cochléaire, du fait de la proximité anatomique du vestibule à la cochlée, mais elle est souvent sous-estimée à cause du manque de consensus d'évaluation vestibulaire pré-opératoire et du manque de moyens d'investigation dans plusieurs centres. Son implication est majeure surtout dans la chirurgie bilatérale, avec le risque d'une atteinte vestibulaire bilatérale conséquente pour le patient à long terme. Elle a aussi un rôle important dans le choix du côté à implanter, quand il existe une atteinte vestibulaire pré-opératoire.

Les différents mécanismes d'atteinte vestibulaire décrits dans la littérature sont: une lésion traumatique du labyrinthe lors de l'introduction de l'électrode, une réaction à corps étranger, une labyrinthite, une fistule péri-lymphatique post-opératoire, un vertige paroxystique positionnel bénin ou un hydrops (55,56).

Dans une revue systématique de la littérature avec méta-analyse (57), une évaluation de l'atteinte subjective de la fonction vestibulaire post-opératoire a montré la présence d'un vertige en pré-opératoire dans 24,7% des cas, et l'apparition récente de vertige en post-opératoire dans 17,4% des cas. Les différents symptômes subjectifs qui ont été rapportés dans la littérature étaient: une instabilité, un déséquilibre, un vertige rotatoire, un vertige positionnel, un balancement, une sensation de plénitude ou des symptômes vagues (57).

Cette méta-analyse a montré une augmentation significative de l'apparition d'un nouveau vertige après chirurgie cochléaire avec $p < 0,0001$ (57).

Plusieurs moyens d'exploration et d'évaluation ont été utilisés dans la littérature pour mettre en évidence l'atteinte vestibulaire post-opératoire. Les plus utilisés étaient l'épreuve calorique (EC) pour évaluer la fonction canalaire (55–58), et les potentiels évoqués vestibulaires myogéniques cervicaux (cVEMP) pour évaluer la fonction otholithique (56–58).

Kuang et al. ont réalisé une revue de la littérature, incluant 25 études qui ont réalisé des EC post-opératoires, chez 439 patients opérés d'un implant cochléaire. Ils ont rapporté que 115 patients avaient une asymétrie vestibulaire post-opératoire à l'EC alors qu'ils avaient une symétrie en pré-opératoire. Cette asymétrie était en moyenne de 34%. Les différents facteurs de risque de survenue d'une asymétrie étaient: l'âge avancé, l'insertion de l'électrode dans la scala vestibuli, l'approche par cochléostomie antérieure par rapport à l'approche de la FR, l'utilisation d'électrode traumatique et l'implantation bilatérale (55).

Dans une autre méta-analyse réalisée sur des adultes ayant reçu un IC uni ou bilatéral, les auteurs ont recueilli les résultats de 27 études concernant le Head Impulse Test (HIT), l'EC, les cVEMP, le questionnaire Dizziness Handicap Inventory (DHI) et la posturographie dynamique, réalisés en pré puis en post-opératoire. Ils ont trouvé une différence significative entre les mesures pré et post-opératoires concernant uniquement les EC ($p = 0,0039$) et les cVEMP ($p < 0,0001$). Cependant, cette altération était sans implication clinique avec un DHI qui n'a pas changé de façon significative du pré au post-opératoire (56).

De même, dans la méta-analyse de Hansel et al., les auteurs ont mis en évidence une altération significative des EC et des cVEMP après implantation cochléaire ($p < 0,0001$) (57).

Yong et al. ont réalisé une revue systématique de la littérature et une méta-analyse, pour étudier l'effet de l'implantation cochléaire sur la fonction vestibulaire, dans la population pédiatrique. Ils ont démontré une altération significative des réponses des cVEMP en post-opératoire ($p < 0,001$) sans altération significative des EC. Cependant, ce résultat est à

prendre avec précaution puisque les critères et les seuils de variation significative utilisés dans la littérature, étaient hétérogènes, rendant la comparaison difficile (58).

Tous ces résultats laissent les chirurgiens otologistes inquiets vis à vis l'implication de l'implantation cochléaire sur la fonction vestibulaire. Cependant, la majorité des atteintes objectivées n'étaient pas significatives sur le plan clinique et subjectif (56,58). De plus, une étude expérimentale, faite sur des primates pour lesquels ils ont implanté par technique mini-invasive et approche de la fenêtre ronde, a montré à l'étude histologique de l'oreille interne post-implantation, des lésions cochléaires (d'ossification de la scala tympani, d'oblitération de l'aqueduc cochléaire et de fibrose autour de l'électrode), contrairement aux macules des organes otolithiques qui étaient intactes. Les auteurs ont conclu que la réalisation d'une implantation cochléaire avec technique mini-invasive en insérant des électrodes atraumatiques à travers la fenêtre ronde, est une technique sécurisante et sans risque pour le vestibule (59).

En cas de diagnostic de déficit vestibulaire post-opératoire du côté implanté, et si le malade est candidat à un implant cochléaire controlatéral, il est discutable de différer la chirurgie controlatérale le temps de prendre en charge le déficit par une rééducation vestibulaire.

En conclusion, l'implantation cochléaire est une chirurgie fonctionnelle non dénouée de risque. Les complications sont dominées par la panne de l'appareil suivie des complications infectieuses. Le but est de dépister ces complications précocement afin de pouvoir les traiter à temps et d'éviter le risque d'explantation. Les techniques mini-invasives et l'utilisation de plus en plus d'électrodes atraumatiques, permettront de diminuer de plus en plus le risque des complications.

Références

1. Cohen NL, Hoffman RA. Complications of cochlear implant surgery in adults and children. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* sept 1991;100(9 Pt 1):708-11.
2. Bhatia K, Gibbin KP, Nikolopoulos TP, O'Donoghue GM. Surgical Complications and Their Management in a Series of 300 Consecutive Pediatric Cochlear Implantations: *Otol Neurotol.* sept 2004;25(5):730-9.
3. Asghari A, Daneshi A, Farhadi M, Ajalloueyan M, Rajati M, Hashemi SB, et al. Complications and outcomes of cochlear implantation in children younger than 12 months: A multicenter study. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* avr 2023;167:111495.
4. Loundon N, Simon F, Aubry K, Bordure P, Bozorg-Grayeli A, Deguine O, et al. The French Cochlear Implant Registry (EPIIC): Perception and language results in infants with cochlear implantation under the age of 24 months. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* sept 2020;137 Suppl 1:S11-8.
5. Parent V, Codet M, Aubry K, Bordure P, Bozorg-Grayeli A, Deguine O, et al. The French Cochlear Implant Registry (EPIIC): Cochlear implantation complications. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* sept 2020;137:S37-43.
6. Yeung J, Griffin A, Newton S, Kenna M, Licameli GR. Revision cochlear implant surgery in children: Surgical and audiological outcomes. *The Laryngoscope.* nov 2018;128(11):2619-24.
7. Kim JH, Choi Y, Kang WS, Park HJ, Ahn JH, Chung JW. The experience of device failure after cochlear implantation. *J Otolaryngol - Head Neck Surg.* 17 juill 2023;52(1):45.
8. European Consensus Statement on Cochlear Implant Failures and Explantations: *Otol Neurotol.* nov 2005;26(6):1097-9.
9. Balkany T, Hodges A, Buchman C, Luxford W, Pillsbury C, Roland P, et al. Cochlear implant soft failures Consensus Development Conference Statement. *Cochlear Implants Int.* sept 2005;6(3):105-22.
10. Alahmadi A, Alenzi S, Alsheikh M, Alghamdi S, Morra ME, Badr KM. Magnet and receiver-stimulator displacement after cochlear implantation: Clinical characters and management approaches. *Saudi Med J.* août 2021;42(8):813-24.
11. Goh X, Harvey L, Axon PR, Donnelly NP, Tysome JR, Borsetto D, et al. Frequency of electrode migration after cochlear implantation in the early postoperative period. What are associated risk factors? *Clin Otolaryngol.* juill 2023;48(4):638-47.
12. Laureano J, Ekman B, Balasuriya B, Mahairas A, Bush ML. Surgical Factors Influencing Wound Complication After Cochlear Implantation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Otol Neurotol.* déc 2021;42(10):1443-50.
13. Anne S, Ishman SL, Schwartz S. A Systematic Review of Perioperative Versus Prophylactic Antibiotics for Cochlear Implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* nov 2016;125(11):893-9.
14. Vijendren A, Borsetto D, Barker EJ, Manjaly JG, Tysome JR, Axon PR, et al. A systematic review on prevention and management of wound infections from cochlear implantation. *Clin Otolaryngol.* nov 2019;44(6):1059-70.
15. Kabelka Z, Groh D, Katra R, Jurovcik M. Bacterial infection complications in children with cochlear implants in the Czech Republic. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* mai 2010;74(5):499-502.

16. Basavaraj S, Najaraj S, Shanks M, Wardrop P, Allen AA. Short-term versus long-term antibiotic prophylaxis in cochlear implant surgery. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol*. sept 2004;25(5):720-2.
17. Hirsch BE, Blikas A, Whitaker M. Antibiotic prophylaxis in cochlear implant surgery. *The Laryngoscope*. mai 2007;117(5):864-7.
18. Garcia-Valdecasas J, Jiménez-Moleon JJ, Sainz M, Fornieles C, Ballesteros JM. Prophylactic effect of clarithromycin in skin flap complications in cochlear implants surgery. *The Laryngoscope*. oct 2009;119(10):2032-6.
19. Gluth MB, Singh R, Atlas MD. Prevention and management of cochlear implant infections. *Cochlear Implants Int*. nov 2011;12(4):223-7.
20. Gawęcki W, Karlik M, Borucki Ł, Szyfter-Harris J, Wróbel M. Skin flap complications after cochlear implantations. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. déc 2016;273(12):4175-83.
21. Davids T, Ramsden JD, Gordon KA, James AL, Papsin BC. Soft tissue complications after small incision pediatric cochlear implantation. *The Laryngoscope*. mai 2009;119(5):980-3.
22. Olsen LB, Larsen S, Wanscher JH, Faber CE, Jeppesen J. Postoperative infections following cochlear implant surgery. *Acta Otolaryngol (Stockh)*. oct 2018;138(10):956-60.
23. Palau E, Yanes JB, Martínez IM, Aguado RG, Barreiros S, Macías ÁR. Postoperative Infection in Cochlear Implantation. In 2012 [cité 20 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Postoperative-Infection-in-Cochlear-Implantation-Palau-Yanes/aef4303edc523daaa501adb763cae80789efcf57>
24. Low WK, Rangabashyam M, Wang F. Management of major post-cochlear implant wound infections. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. sept 2014;271(9):2409-13.
25. Bi Q, Chen Z, Lv Y, Luo J, Wang N, Li Y. Management of delayed-onset skin flap complications after pediatric cochlear implantation. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol Off J Eur Fed Oto-Rhino-Laryngol Soc EUFOS Affil Ger Soc Oto-Rhino-Laryngol - Head Neck Surg*. août 2021;278(8):2753-61.
26. Qin F, Li W, Qiu J, Zhang L, Zhong M. After cochlear implantation: Complications related to flap around implants. *J Otol*. déc 2016;11(4):198-201.
27. Shohet JA, Borrelli M, Desales A. Reimplantation of an Extruding Cochlear Implant. *Ear Nose Throat J*. sept 2021;100(6_suppl):865S-866S.
28. Suri N, Yadav C, Sandilya S, Bhalodia N. Salvaging Cochlear Implant After Suspected Biofilm Infection: Our Experience. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. déc 2021;73(4):499-503.
29. Clarós P, Końska N, Clarós-Pujol A, Pujol C, Clarós A. Hyperbaric oxygen therapy as a therapeutic option in cochlear implants extrusion treatment in infected wounds. *Acta Otolaryngol (Stockh)*. 2 juill 2020;140(7):544-7.
30. Hoberg S, Danstrup C, Laursen B, Petersen NK, Udholm N, Kamarauskas GA, et al. Characteristics of CI children with complicated middle ear infections. *Cochlear Implants Int*. mai 2017;18(3):136-42.
31. Migirov L, Yakirevitch A, Henkin Y, Kaplan-Neeman R, Kronenberg J. Acute otitis media and mastoiditis following cochlear implantation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. mai 2006;70(5):899-903.
32. Zawawi F, Cardona I, Akinpelu OV, Daniel SJ. Acute Mastoiditis in Children with Cochlear Implants: Is Explantation Required? *Otolaryngol Neck Surg*. sept 2014;151(3):394-8.

33. Osborn HA, Cushing SL, Gordon KA, James AL, Papsin BC. The management of acute mastoïditis in children with cochlear implants: saving the device. *Cochlear Implants Int.* nov 2013;14(5):252-6.
34. Raveh E, Ulanovski D, Attias J, Shkedy Y, Sokolov M. Acute mastoïditis in children with a cochlear implant. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* févr 2016;81:80-3.
35. Kitano M, Sakaida H, Takeuchi K. Retrospective study of cochlear implantations at a single facility focusing on postoperative complications. *Auris Nasus Larynx.* oct 2021;48(5):809-14.
36. Reefhuis J, Honein MA, Whitney CG, Chamany S, Mann EA, Biernath KR, et al. Risk of Bacterial Meningitis in Children with Cochlear Implants. *N Engl J Med.* 31 juill 2003;349(5):435-45.
37. Alanazi GA, Alrashidi AS, Alqarni KS, Khozým SAA, Alenzi S. Meningitis post-cochlear implant and role of vaccination. *Saudi Med J.* déc 2022;43(12):1300-8.
38. Gowrishankar SV, Fleet A, Tomasoni M, Durham R, Umeria R, Merchant SA, et al. The Risk of Meningitis After Cochlear Implantation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Otolaryngol Neck Surg.* sept 2023;169(3):467-81.
39. Matanock A. Use of 13-Valent Pneumococcal Conjugate Vaccine and 23-Valent Pneumococcal Polysaccharide Vaccine Among Adults Aged ≥65 Years: Updated Recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep [Internet].* 2019 [cité 14 sept 2023];68. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/68/wr/mm6846a5.htm>
40. Use of 13-Valent Pneumococcal Conjugate Vaccine and 23-Valent Pneumococcal Polysaccharide Vaccine Among Children Aged 6–18 Years with Immunocompromising Conditions: Recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP) [Internet]. [cité 14 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6225a3.htm>
41. Gowrishankar S, Fleet A, Tomasoni M, Kuhn I, Tysome J, Smith ME, et al. Meningitis Risk in Patients with Inner Ear Malformations after Cochlear Implants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Otol Neurotol.* août 2023;44(7):627-35.
42. Arnold W, Bredberg G, Gstöttner W, Helms J, Hildmann H, Kiratzidis T, et al. Meningitis following cochlear implantation: pathomechanisms, clinical symptoms, conservative and surgical treatments. *ORL J Oto-Rhino-Laryngol Its Relat Spec.* 2002;64(6):382-9.
43. Tarkan Ö, Tuncer Ü, Özdemir S, Sürmelioğlu Ö, Çetik F, Kiroğlu M, et al. Surgical and medical management for complications in 475 consecutive pediatric cochlear implantations. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* avr 2013;77(4):473-9.
44. Rubin LG. Prevention and treatment of meningitis and acute otitis media in children with cochlear implants. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol.* oct 2010;31(8):1331-3.
45. Ahn JH, Lim HW, Lee KS. Hearing improvement after cochlear implantation in common cavity malformed cochleae: long-term follow-up results. *Acta Otolaryngol (Stockh).* sept 2011;131(9):908-13.
46. Bajin MD, Pamuk AE, Pamuk G, Özgen B, Sennaroğlu L. The Association Between Modiolar Base Anomalies and Intraoperative Cerebrospinal Fluid Leakage in Patients With Incomplete Partition Type-II Anomaly: A Classification System and Presentation of 73 Cases. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol.* août 2018;39(7):e538-42.

47. Ishikawa Y, Hosoya M, Kanzaki S, Ogawa K. Delayed facial palsy after cochlear implantation caused by reactivation of Herpesvirus: A case report and review of the literature. *Auris Nasus Larynx*. oct 2022;49(5):880-4.
48. Alzhrani F, Lenarz T, Teschner M. Facial palsy following cochlear implantation. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol Off J Eur Fed Oto-Rhino-Laryngol Soc EUFOS Affil Ger Soc Oto-Rhino-Laryngol - Head Neck Surg*. déc 2016;273(12):4199-207.
49. Kitahara T, Kubo T, Doi K, Mishiro Y, Kondoh K, Horii A, et al. [Delayed facial nerve palsy after otologic surgery]. *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*. juill 2006;109(7):600-5.
50. Shah S, Walters R, Langlie J, Davies C, Finberg A, Tuset MP, et al. Systematic review of cochlear implantation in patients with inner ear malformations. *Monsanto RDC, éditeur. PLOS ONE*. 21 oct 2022;17(10):e0275543.
51. Karamert R, Tutar H, Altinyay Ş, Düzlü M, Yildiz M, Akdulum İ, et al. Cochlear Implantation in Inner Ear Malformations: Considerations Related to Surgical Complications and Communication Skills. *ORL*. 2022;84(3):211-8.
52. Kamogashira T, Akamatsu Y, Kashio A, Ogata E, Karino S, Kakigi A, et al. Development of auditory skills after cochlear implantation in children with inner ear malformations. *Acta Otolaryngol (Stockh)*. 2016;136(1):78-82.
53. Blijleven EE, Wegner I, Stokroos RJ, Thomeer HGXM. The impact of injury of the chorda tympani nerve during primary stapes surgery or cochlear implantation on taste function, quality of life and food preferences: A study protocol for a double-blind prospective prognostic association study. *Pace A, éditeur. PLOS ONE*. 18 mai 2023;18(5):e0284571.
54. Kons ZA, Lee L, Coelho DH. Subjective and Objective Taste Change After Cochlear Implantation Systematic Review and Meta-Analysis. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol*. 1 sept 2023;44(8):749-57.
55. Kuang H, Haversat HH, Michaelides EM. Impairment of Caloric Function After Cochlear Implantation. *J Speech Lang Hear Res*. août 2015;58(4):1387-95.
56. Ibrahim I, Da Silva SD, Segal B, Zeitouni A. Effect of cochlear implant surgery on vestibular function: meta-analysis study. *J Otolaryngol - Head Neck Surg*. déc 2017;46(1):44.
57. Hänsel T, Gauger U, Bernhard N, Behzadi N, Romo Ventura ME, Hofmann V, et al. Meta-analysis of subjective complaints of vertigo and vestibular tests after cochlear implantation: Cochlear Implantation and Complaints of Vertigo. *The Laryngoscope*. sept 2018;128(9):2110-23.
58. Yong M, Young E, Lea J, Foggini H, Zaia E, Kozak FK, et al. Subjective and objective vestibular changes that occur following paediatric cochlear implantation: systematic review and meta-analysis. *J Otolaryngol - Head Neck Surg*. déc 2019;48(1):22.
59. Manrique-Huarte R, Garaycochea O, Troconis DP, Pérez-Fernández N, Manrique M. Histopathological reaction in the vestibule after cochlear implantation in *Macaca fascicularis*. *J Neurol Sci*. juill 2023;450:120672.

VII. ACTIVATION ET SURVEILLANCE ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE POST-OPÉRATOIRE

ACTIVATION ET SURVEILLANCE ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE POST-OPÉRATOIRE

SAWSEN HADRICHE

La programmation et le réglage de l'implant est un processus long et continu qui permet en association avec la rééducation orthophonique, aux patients implantés de tirer un bénéfice optimal de l'appareil. Les objectifs de la programmation des implants cochléaires sont une audibilité et une compréhension optimales de la parole, ainsi que le confort sonore permettant un meilleur accès à la communication orale. Avec le développement technologique, les objectifs se sont élargis à l'appréciation de la musique et la compréhension de la parole dans des environnements d'écoute complexes.

La fonction rudimentaire et les composants des implants cochléaires sont en grande partie les mêmes d'un fabricant à l'autre malgré la variabilité des réseaux d'électrodes, de la conception des processeurs sonores, des schémas de traitement et des considérations de programmation.

A. Mise en service du processeur vocal

Après l'opération, les patients doivent disposer d'un temps suffisant pour que le site de l'implant guérisse avant l'activation initiale. Le délai d'activation de l'implant cochléaire est non consensuel. Il dépend des habitudes des centres d'implantation. En règle générale, il a lieu entre la deuxième et la sixième semaine post-opératoire même si certains centres autorisent l'activation dès le lendemain de la chirurgie de l'implant cochléaire (1). L'essentiel est d'attendre la cicatrisation complète ainsi que la disparition de l'œdème et des douleurs au niveau du site opératoire.

Avant toute activation, une analyse des données du compte rendu opératoire, des tests électrophysiologiques per-opératoires et des explorations radiologiques post-opératoires est utile pour vérifier l'intégrité et le nombre d'électrodes dans la cochlée (2). Une consultation médicale avec une actualisation des examens complémentaires (tests auditifs avec surtout la recherche d'une audition résiduelle, évaluation vestibulaire et éventuellement radiologique) seront effectués afin d'optimiser les paramètres du réglage ultérieur.

Une mesure des impédances téléométriques est de mise et doit être refaite aussi fréquemment que possible, du moins à chaque fois qu'un ajustement du réglage est réalisé afin de vérifier l'intégrité fonctionnelle des électrodes. En effet, une électrode qui fonctionne normalement ou qui a des antécédents de court-circuit ou de circuit ouvert peut revenir à un état de court-circuit ou ouvert entre les visites périodiques. Le patient implanté peut éprouver une diminution de la perception auditive via l'implant jusqu'à ce que la reprogrammation puisse être effectuée. Les électrodes qui présentent de façon intermittente des circuits courts ou ouverts doivent être programmées hors de la carte ou désactivées.

L'activation et le premier réglage de l'implant se déroulent en deux temps à un jour d'intervalle. Le premier jour, l'orthophoniste ou l'audiologiste réalise le premier réglage du processeur vocal ainsi que des séances de rééducation orthophonique. Le patient implanté et sa famille seront informés sur l'entretien, la manipulation du processeur et les précautions à prendre. Le deuxième jour, l'orthophoniste contrôle le réglage et réalise de nouveaux exercices de rééducation. Il peut reprendre, si nécessaire, les différentes informations données la veille.

B. Réglage et programmation de l'implant

La programmation de l'implant est l'un des éléments les plus critiques de la réussite d'un implant cochléaire et fortement influencée par les connaissances et l'expertise l'audioprothésiste, audiologiste ou l'orthophoniste chargé de la programmation des implants cochléaires (1). L'objectif initial après l'activation est de familiariser le patient implanté au monde sonore, de garantir l'acceptation de l'implant et de fournir une audition confortable des stimuli auditifs utilisés (3). Les objectifs des réglages ultérieurs sont d'établir un champ dynamique accepté par le patient implanté et qui assure l'audibilité sur un large spectre de stimuli auditif tout en distinguant les sons faibles, modérément forts et bruyants. Le réglage de l'implant comporte une identification des seuils du champ dynamique basée sur les techniques de conditionnement employées en audiométrie infantile, un équilibrage du volume (intensité) et l'échelonnement de la hauteur tonale (fréquence).

1. Identification du champ dynamique

Le champ dynamique est compris entre le niveau T (seuil minimal de stimulation permettant la perception auditive) et le niveau C (niveau maximal de stimulation toléré sans inconfort).

Le niveau d'électro-stimulation requis pour provoquer une sensation auditive varie d'une électrode à une autre et entre les individus. Les valeurs des seuils du champ dynamique varient selon la stratégie du codage qui doit être choisie au préalable. Le champ dynamique peut être établi pour toutes les électrodes ou un sous-ensemble sélectionné d'électrodes. Certaines recherches suggèrent qu'une mesure d'un sous-ensemble d'électrodes est adéquate. La pratique clinique courante varie (4). L'obtention de mesures psycho-physiques (les niveaux T et c) précises de la sonie et de la hauteur du son est susceptible d'améliorer les performances post implant cochléaire (2,5).

Au cours des premières séances de réglage seront ajustés les seuils d'intensité de stimulation permettant la détection du signal auditif, et le seuil d'inconfort ou de confort, au-dessus duquel la stimulation sonore par l'implant devient désagréable voire douloureuse (1).

Le déroulement des premiers réglages peut justifier des contrôles électro-physiologiques ou radiologiques. Selon certaines études, le niveau C peut être prédit par le seuil

d'identification du reflexe stapédien électrique (ESRT). Toutefois, il n'est pas consensuel d'assimiler les ESRT aux niveaux de stimulation supérieurs puisqu'ils peuvent les sous-estimer, approcher ou surestimer (6-11). Ce reflexe peut être absent chez certains patients (6,8,9,12).

Les seuils des potentiels d'action évoqués électriques (ECAP) et les niveaux de stimulation du programme ne sont que modérément corrélés. Les seuils ECAP se situent généralement dans le champ dynamique et donc devraient être audible pour l'utilisateur de l'IC. Mais s'ils sont presque toujours au-dessus du niveau T comportemental, ils peuvent dépasser les niveaux de confort pour certains patients implantés. (14, 15).

Après la mise en place du champ dynamique électrique, un test informel de la parole, tel que le test des sons de Ling, permet de s'assurer du confort de l'audibilité et que le patient a accès à diverses fréquences du domaine (2).

Les réglages ultérieurs seront adaptés au patient et l'intensité de la stimulation délivrée est progressivement augmentée. Ces seuils doivent être mesurés aussi fréquemment que possible. En effet, si les seuils minimaux de stimulation (niveau T) sont sous-estimés, le patient implanté peut ne pas percevoir les sons de faible intensité alors que s'ils sont trop élevés, le patient risque d'être gêné par le bruit ambiant et par la réduction de l'étendue du champ dynamique (15). Une sous-estimation des seuils d'inconfort (niveau C) peut avoir un impact négatif sur la reconnaissance de la parole, la qualité du son et la capacité à contrôler l'intensité de sa voix. Par contre leur sur-estimation peut entraîner une gêne et une aversion pour l'appareil (15).

Des contrôles itératifs permettent d'ajuster les seuils ou modifier des paramètres selon les perceptions auditives du patient implanté. Le but étant de parvenir à un meilleur confort auditif et une compréhension de la parole (3). Le programme le plus efficace est celui qui nécessite un minimum de manipulation et le moins de temps possible.

2. Optimisation du programme

L'optimisation de la programmation comporte l'équilibrage de volume (intensité) sonore et le classement des fréquences. Elle doit inclure l'identification des électrodes aberrantes qui produisent une qualité sonore médiocre susceptible d'être désactivées (16,17).

- L'équilibrage du volume (intensité)

Une programmation avec des perceptions d'intensité sonore égales ou proches entre les électrodes aura probablement une meilleure qualité sonore (2, 5).

- La répartition de la hauteur tonale

Les électrodes activées devraient permettre une perception croissante de la hauteur du son au fur et à mesure que l'emplacement de l'électrode progresse de l'apex vers la base de la cochlée. Une désactivation pourrait être discutée pour les électrodes aberrantes

qui s'écartent de cette organisation et/ou celles qui ne permettent pas de percevoir la différence des tonalités et qui n'augmentent pas l'intensité sonore avec l'augmentation des niveaux de courant (17–20).

C. Rythme de suivi des réglages

Le rythme de réglage doit être adapté à chaque patient. Il est en règle générale, soutenu au cours de la première année suivant l'activation de l'implant cochléaire pour optimiser la programmation et maximiser l'audibilité pour devenir moins fréquent ultérieurement (1). En effet, les seuils électriques et les niveaux de stimulation supérieurs déterminés sur la base du rapport du patient sur l'intensité sonore peuvent fluctuer, en particulier au cours de la première année d'utilisation de l'implant cochléaire (2,18). Il est souvent utile de tenir compte de la réaction comportementale du patient implanté pour la détermination et l'adéquation du champ dynamique électrique lors des rendez-vous du suivi (7,22).

Même si les réglages ne sont pas toujours effectués par des médecins, il est très difficile de les dissocier d'un acte médical, car les différentes conséquences d'un réglage, ou le ressenti de changement de perception des sons d'un patient, peuvent être en relation avec de multiples paramètres, non seulement techniques mais aussi médicaux. Le travail en réseau avec d'autres professionnels à distance peut se concevoir à condition que le contrôle des actes de réglage soit effectif et médicalisé. Tout problème doit pouvoir être rapporté instantanément au centre d'implantation cochléaire, ce qui nécessite des moyens technologiques dédiés (télémédecine), une disponibilité en personnel médical et coordination effective. En effet, la gestion continue de l'appareil, la surveillance du site chirurgical, et le suivi des progrès des acquisitions post-implantation sont nécessaires pour garantir l'accès auditif et l'adaptation appropriée au fil du temps.

Selon l'académie américaine d'audiologie, le calendrier de suivi et de réglage varie selon qu'il s'agit d'un enfant ou un adulte. Mais en dehors des bilans annuels le patient peut être amené à consulter pour un réglage intermédiaire en cas de dysfonctionnement de l'implant avec dégradation de la qualité auditive ou de la production de la parole ou pour une pathologie intercurrente associée (2).

1. Programme de suivi des enfants implantés cochléaires

Selon l'académie américaine d'audiologie, le premier réglage est réalisé à une semaine et à un mois après l'activation initiale, puis tous les 3 mois durant la première année d'utilisation de l'implant. Le calendrier de suivi après la première année dépend des progrès réalisés par l'enfant et de l'aisance et de la compétence de la personne qui s'occupe de l'entretien de l'appareil (2). La fréquence des réglages est plus importante que l'enfant est plus jeune et que le langage oral n'est pas encore développé.

Pour les enfants qui ne sont pas fiables dans le rapport de la qualité sonore (trop jeune, polyhandicap...) ou pour ceux dont la personne en charge n'a pas développé de

compétences dans l'entretien de l'équipement, il est souhaitable que la surveillance et l'évaluation soient trimestrielle (23,24). Les enfants aptes de décrire et d'évaluer la qualité du son et dont les parents se sont familiarisés à l'entretien de l'équipement peuvent être réévalués à des intervalles plus espacés soit deux fois par an pour les enfants d'âge scolaire ou annuellement pour les adultes puériles (2, 23, 24).

D'autres auteurs préconisent 4 réglages pendant les 4 premiers mois, puis 4 réglages selon les cas durant les 8 mois suivants. Ensuite, 2 réglages au minimum sont indispensables pendant les premières années puis une fois par an. Ils recommandent une assistance soutenue pendant toute l'enfance avec une durée allant jusqu'à 10-12 ans pour les enfants implantés cochléaires (1).

2. Programme de suivi des adultes implantés cochléaires

Selon l'académie américaine des audiologistes, le rythme de réglage de l'implant cochléaire chez l'adulte, au cours de la première année, est superposable à celui de l'enfant. Ultérieurement, les rendez- vous de suivi peuvent avoir lieu tous les six mois ou tous les ans selon les doléances et les progrès réalisés par le patient (2,22).

3. Composantes des rendez-vous de suivi

Les centres d'implantation doivent assurer un accompagnement à la prise en main du processeur impliquant une présentation des fonctionnalités des processeurs, une formation du patient à sa pleine utilisation et la vérification de la maîtrise par le patient des fonctionnalités de l'appareil. Des ressources de soutien et des groupes d'entraide entre pairs (par exemple, des groupes de parents à parents pour les enfants porteurs d'implants cochléaires et des groupes d'adultes pour les adultes implantés) devraient être inclus dans le cadre des soins de suivi de routine (27).

Au cours des rendez-vous du suivi, la fonctionnalité du processeur est vérifiée et des ajustements des réglages peuvent être réalisés. Une mesure des impédances téléométriques ainsi qu'une évaluation orthophonique de la perception, de la discrimination de la parole et du développement du langage sont systématiques notamment chez l'enfant.

Ces entretiens doivent, en outre, permettre de refaire le point sur l'entretien du processeur, la nécessité d'une assurance, l'utilisation des accessoires (téléphone, télévision, microphone...). Une discussion autour des derniers développements technologiques pourrait être entamée et de nouveaux accessoires peuvent être testés (1).

Des composants supplémentaires inclus dans les soins continus d'un individu avec un implant cochléaire peuvent inclure des conseils d'information et d'adaptation, la mise en relation avec des ressources d'éducation et de réadaptation professionnelle, le développement de l'autonomie et l'assurance du patient pour l'utilisation continue de l'implant cochléaire.

Références

1. <https://www.sforl.org/wp-content/uploads/2020/09/Reco-suivi-du-patient-implante-cochléaire-version-finale-1-1.pdf> [Internet]. 2019. Le suivi du patient implanté cochléaire enfant/adulte.
2. Shapiro WH, Bradham TS. Cochlear implant programming. *Otolaryngol Clin North Am.* févr 2012;45(1):111-27.
3. Messersmith JJ, Entwisle L, Warren S, Scott M. Clinical Practice Guidelines: Cochlear Implants. *J Am Acad Audiol.* déc 2019;30(10):827-44.
4. Plant K, Law MA, Whitford L, Knight M, Tari S, Leigh J, et al. Evaluation of streamlined programming procedures for the Nucleus cochlear implant with the Contour electrode array. *Ear Hear.* déc 2005;26(6):651-68.
5. Dawson PW, Skok M, Clark GM. The effect of loudness imbalance between electrodes in cochlear implant users. *Ear Hear.* avr 1997;18(2):156-65.
6. Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV. Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children. *Ear Hear.* oct 2004;25(5):447-63.
7. Han DM, Chen XQ, Zhao XT, Kong Y, Li YX, Liu S, et al. Comparisons between neural response imaging thresholds, electrically evoked auditory reflex thresholds and most comfortable loudness levels in CII bionic ear users with HiResolution sound processing strategies. *Acta Otolaryngol.* juill 2005;125(7):732-5.
8. Lorens A, Walkowiak A, Piotrowska A, Skarzynski H, Anderson I. ESRT and MCL correlations in experienced paediatric cochlear implant users. *Cochlear Implants Int.* mars 2004;5(1):28-37.
9. Opie JM, Allum JH, Probst R. Evaluation of electrically elicited stapedius reflex threshold measured through three different cochlear implant systems. *Am J Otol.* nov 1997;18(6 Suppl):S107-108.
10. Spivak LG, Chute PM. The relationship between electrical acoustic reflex thresholds and behavioral comfort levels in children and adult cochlear implant patients. *Ear Hear.* avr 1994;15(2):184-92.
11. Battmer RD, Laszig R, Lehnhardt E. Electrically elicited stapedius reflex in cochlear implant patients. *Ear Hear.* oct 1990;11(5):370-4.
12. Hodges AV, Butts S, Dolan-Ash S, Balkany TJ. Using electrically evoked auditory reflex thresholds to fit the CLARION cochlear implant. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl.* avr 1999;177:64-8.
13. Devroede B, Pauwels I, Le Bon SD, Monstrey J, Mansbach AL. Interest of vestibular evaluation in sequentially implanted children: Preliminary results. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* juin 2016;133 Suppl 1:S7-11.
14. Polak M, Hodges A, Balkany T. ECAP, ESR and subjective levels for two different nucleus 24 electrode arrays. *Otol Neurotol.* juill 2005;26(4):639-45.
15. Wolfe J, Schafer E. *Programming Cochlear Implants.* deuxième édition. 2011. 377 p.
16. Bierer JA, Litvak L. Reducing Channel Interaction Through Cochlear Implant Programming May Improve Speech Perception: Current Focusing and Channel Deactivation. *Trends Hear.* 17 juin 2016;20.

17. Vickers D, Degun A, Canas A, Stainsby T, Vanpoucke F. Deactivating Cochlear Implant Electrodes Based on Pitch Information for Users of the ACE Strategy. *Adv Exp Med Biol.* 2016;894:115-23.
18. Raghunandhan S, Ravikumar A, Kameswaran M, Mandke K, Ranjith R. A clinical study of electrophysiological correlates of behavioural comfort levels in cochlear implantees. *Cochlear Implants Int.* mai 2014;15(3):145-60.
19. Hughes ML, Vander Werff KR, Brown CJ, Abbas PJ, Kelsay DM, Teagle HF, et al. A longitudinal study of electrode impedance, the electrically evoked compound action potential, and behavioral measures in nucleus 24 cochlear implant users. *Ear Hear.* déc 2001;22(6):471-86.
20. Uhler K, Gifford RH. Current trends in pediatric cochlear implant candidate selection and postoperative follow-up. *Am J Audiol.* sept 2014;23(3):309-25.
21. Hemmingson C, Messersmith JJ. Cochlear Implant Practice Patterns: The U.S. Trends with Pediatric Patients. *J Am Acad Audiol.* sept 2018;29(8):722-33.
22. Vaerenberg B, Smits C, De Ceulaer G, Zir E, Harman S, Jaspers N, et al. Cochlear implant programming: a global survey on the state of the art. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:501738.
23. Zaidman-Zait A. Parenting a child with a cochlear implant: a critical incident study. *J Deaf Stud Deaf Educ.* Spring 2007;12(2):221-41.
24. Ainbinder JG, Blanchard LW, Singer GH, Sullivan ME, Powers LK, Marquis JG, et al. A qualitative study of Parent to Parent support for parents of children with special needs. Consortium to evaluate Parent to Parent. *J Pediatr Psychol.* avr 1998;23(2):99-109.

VIII. ÉVALUATION DES RÉSULTATS POST-IMPLANTATION COCHLÉAIRE

ÉVALUATION DES RÉSULTATS POST - IMPLANTATION COCHLÉAIRE

Rachida BOUATAY

LISTE DES ABBREVIATIONS

| | |
|---------------|---|
| ASSR: | Auditory Steady-State Responses |
| APCEI: | Acceptance, Perceptive language performance, Comprehension of the oral orders, Expressive language and Speech intelligibility |
| CAP: | Category of auditory performance (catégories de performance auditive) |
| dB SPL: | Sound Pressure Level (en decibels) |
| HINT: | Hearing in Noise Test |
| IC: | Implant Cochléaire |
| IDR: | Input Dynamic Range (champ dynamique acoustique traité). |
| IT-MAIS: | Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale |
| LEAQ: | Le Questionnaire Auditif LittleEARS® |
| List PBK: | Phonetically Balanced Kindergarten Word list |
| M ou C level: | Niveau de stimulation électrique maximal ou confortable |
| MAIS: | Meaningful Auditory Integration Scale questionnaire |
| MSTB: | Minimal Speech Test Battery |
| MUSS: | Meaningful Use of Speech Scale (échelle d'utilisation significative de la parole). |
| NSmin: | Niveau Sonore Minimal |
| NSmax: | Niveau Sonore Maximal |
| OEAS: | Otoémissions Acoustiques Spontanées |
| OMS: | l'Organisation Mondiale de la Santé |
| PEA: | Potentiels Evoqués Auditifs |
| PMSTB: | Pediatric minimal Speech Tests Battery (batterie de test de parole minimale pédiatrique) |
| PTA: | Pure Tone Average (moyenne de tonalité pure) |
| QV: | Qualité de Vie |
| QVLS: | Qualité de Vie Liée à la Santé |
| RSB: | Rapport Signal sur Bruit |
| SIR: | Speech Intelligibility Rating (Indice d'intelligibilité de la parole) |
| SRT: | Speech Recognition Threshold Level (seuil de reconnaissance de la parole) |
| SDS: | Speech Discrimination Score (Seuil de Discrimination de la parole) |
| SFORL: | Société française d'Oto Rhino Laryngologie |
| SFA: | Société française d'audiologie |
| SNR: | Speech-to-noise ratio |
| SiN: | Sentence Recognition in Noise (Score de perception de la parole dans le bruit) |
| T level: | Niveau de stimulation électrique minimal perceptible |
| TSA: | Trouble du Spectre Autistique |

L'évaluation des résultats post-implantation cochléaire est fondamentale, pour évaluer l'efficacité de l'intervention, et pour améliorer et surveiller les soins individuels.

En effet, une évaluation régulière de la perception et la reconnaissance des mots dans le calme et dans le bruit, des acquisitions langagières et même de la qualité de vie, chez les patients implantés, s'impose afin d'ajuster et optimiser les programmes de réglage de l'implant.

Actuellement, il existe un accord général sur l'importance de mesurer les résultats post-implantation, mais un faible consensus sur les outils d'évaluation les plus appropriés (1).

Les recommandations concernant le suivi des patients implantés sont globalement peu nombreuses mais toutes soulignent l'importance d'une collaboration multidisciplinaire au sein d'un centre de suivi post-implantation (2).

A. Moyens d'évaluation:

1. Le test de détection des six Sons de Ling (Six Ling Sound):

C'est un test de détection de six sons de langage qui a été initialement conçu par Daniel Ling en 1978 (3).

C'est un test simple et efficace, permettant d'évaluer qualitativement la perception de l'enfant via son implant sur l'ensemble du spectre sonore de la parole. Il consiste à vérifier qu'un enfant perçoit les sons minimaux nécessaires pour entendre, comprendre et apprendre la parole. Il prend en charge six sons vocaux allant des graves aux aigus: /m/, /u/, /i/, /a/, /ch/ et /s/.

Ces sons sont utilisés parce qu'ils regroupent des composantes de basses, moyennes et hautes fréquences, ce qui permet de balayer l'ensemble du spectre sonore de la parole, appelé «banana speech» (Figure 1) (4).

Le principe du test est simple: Il consiste à prononcer 6 sons (3 consonnes «ch»; «mmm»; «sss»; et 3 voyelles «aaa»; «iii»; «ou») et s'assurer que l'enfant les entend bien.

Lorsque l'enfant détecte ces 6 sons, à deux mètres, à un niveau de conversation normal, cela signifie qu'il perçoit toute la gamme des phonèmes importants de la parole. Deux jeux de carte représentent ces 6 sons, (Figure 2) (4).

Récemment, les six sons de Ling ont été enregistrés, calibrés et utilisés dans le cadre d'une procédure de mesure de seuil dans des études sur les aides auditives. Ces études ont démontré que les six sons de Ling calibrés peuvent être utilisés pour encadrer de manière fiable les seuils de détection des sons de la parole et sont sensibles aux changements entre différents traitements d'aides auditives.

La mesure des seuils de détection intègre les six sons de Ling préenregistrés et calibrés en dB (HL) (Annexe: Figure 3).

IMPLANTATION COCHLÉAIRE: CHIRURGIE ET SUIVI

VIII . Évaluation des résultats post-implantation cochléaire

Six fichiers sonores, prononcés par une locutrice, sont fournis pour la mesure des seuils d'audition par son. Ces sons ont été préparés sous forme de disque compact, avec des instructions complètes pour l'administration. Les tests initiaux ont été effectués sur un groupe d'auditeurs adultes normo-entendants afin de déterminer les réponses typiques et la fiabilité des tests. Ce qui a abouti à un ensemble enregistré et calibré de stimuli Ling-6(HL) qui fournissent des seuils normaux plats en HL pour les auditeurs qui entendent normalement. Les performances assistées typiques peuvent varier selon le niveau d'audition et la prescription d'aides auditives (5).

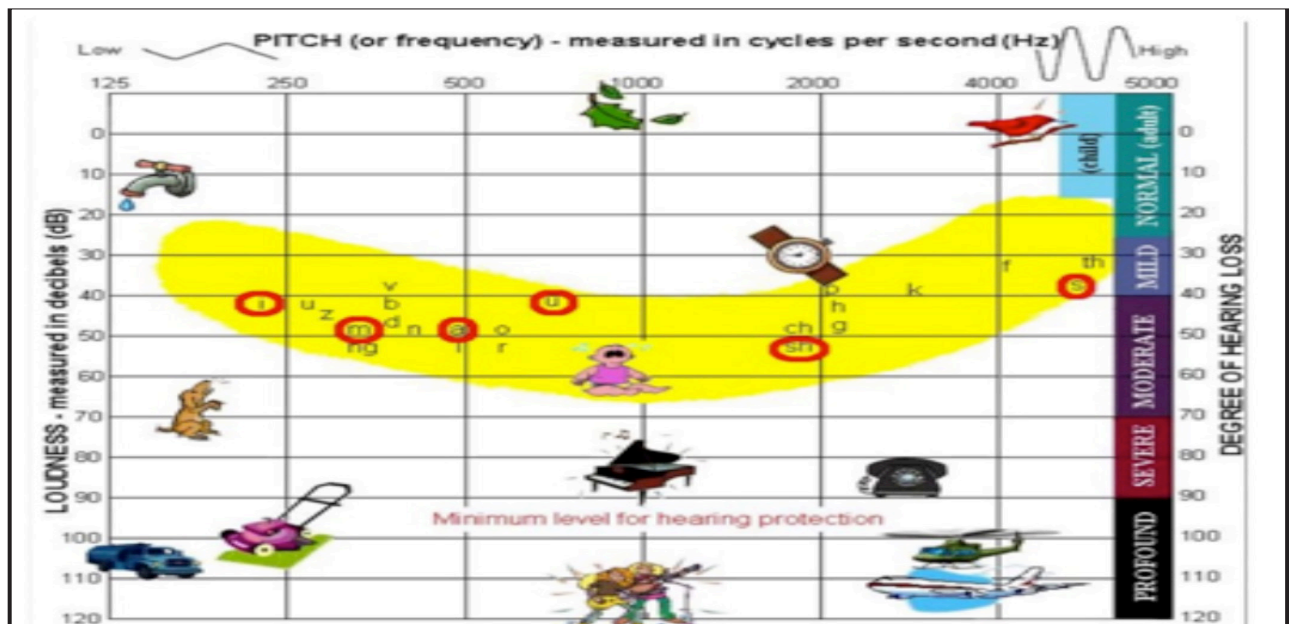


Figure 1: Les six sons Ling représentent la gamme de fréquences dans la parole (4)



Figure 2: Liste des cartes représentant les 6 sons de Ling (4)

Ling-6(HL) Scoring Sheet

Name: _____ D.O.B: _____
 Date: _____ Respondent: _____
 Notes on testing conditions: _____

Test method: Standard CPA VRA
 Reliability: Good Fair Poor
 Test type: Aided Unaided CI Bone conducted BAHA
 Masking (unaided ear)? n/a Yes No

Plot the corrected threshold values in dB HL below:

| | /m/ | /u/ | /a/ | /l/ | /s/ |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| -10 | | | | | |
| 0 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 40 | | | | | |
| 50 | | | | | |
| 60 | | | | | |
| 70 | | | | | |
| 80 | | | | | |
| 90 | | | | | |
| 100 | | | | | |
| 110 | | | | | |
| 120 | | | | | |

Grey region shows the normal hearing range. Values assume binaural sound field testing at zero degrees azimuth.

Figure 3: Stimuli et données normatives pour la détection des sons Ling-6 au niveau auditif (5)

2. Audiométrie tonale en champ libre et vocale:

2.1. Audiométrie tonale:

L'évaluation des seuils auditifs en audiométrie tonale n'est pas de pratique courante après implantation cochléaire. Les seuils auditifs peuvent être estimés par l'évaluation orthophonique.

L'implantation cochléaire permet de reclasser les seuils auditifs de l'oreille implantée en surdité légère à moyenne.

L'audiométrie tonale chez l'enfant implanté est réalisée en champ libre sans et avec IC; elle est néanmoins différente de celle de l'enfant appareillé. En effet, l'implant cochléaire (IC) est une prothèse qui se substitue au transducteur physiologique. Ce qui va entraîner deux limitations essentielles:

- La tonotopie cochléaire est considérablement dégradée, de même que la discrimination fréquentielle. La perception d'un son pur est très dépendante du programme de l'IC.
- Le champ dynamique acoustique traité (Input Dynamic Range: IDR) est limité: de 30 à 65 dB selon les types d'implant et de programmation. Ainsi, à partir d'un niveau sonore minimal (NSmin), de l'ordre de 20 à 45 dB SPL, l'IC délivrera un niveau de stimulation électrique de seuil (T level). En-dessous du NSmin, aucun stimulus électrique n'est délivré. De même, il existe un niveau sonore maximal (NSmax) auquel correspond un niveau de stimulation électrique maximal ou confortable (M ou C level), qui se situe autour de 70 dB SPL.

L'audiométrie tonale ne renseigne pas sur les niveaux et les fréquences réellement perçus par l'enfant implanté comme elle le fait en présence d'une cochlée fonctionnelle. Le seuil mesuré sera influencé par les paramètres de programmation et ne peut être inférieur au NSmin.

Il faut noter que les seuils électriques s'améliorent avec le temps et l'expérience auditive: les T levels diminuent, les C-M levels augmentent, ce qui donne une augmentation de la dynamique électrique en quelques semaines ou mois. Parallèlement, les seuils en audiométrie initialement élevés, diminuent progressivement. Il ne faut pas chercher à atteindre des seuils à 30-40 dB avant plusieurs mois (6). Il faut donc revoir régulièrement la programmation de l'implant chez l'enfant surtout si les performances auditives et le langage stagne, ou si l'enfant présente de l'inconfort.

L'audiométrie tonale constitue l'une des principales mesures psycho-acoustiques pour lesquelles un certain nombre de centres d'implantation cochléaire ont défini des objectifs. Ainsi, 85% des centres ont des seuils audiométriques cibles fixés entre 20 et 40 dB HL, avec une médiane 30 dB HL (7).

Dans l'étude de Piromchai (2021), les performances auditives ont été évaluées sur la base de l'audiométrie tonale, du seuil de reconnaissance de la parole (SRT), du seuil de discrimination de la parole (SDS) et des catégories de scores de performance auditive (CAP). Le succès de l'implantation a été défini comme une moyenne en audiométrie tonale (PTA) ou $SRT \leq 50$ dB et un $SDS \geq 50\%$ dans l'année suivant l'opération (8).

2.2. Audiométrie vocale:

L'audiométrie vocale chez l'enfant doit être réalisée dès que possible en s'adaptant aux capacités et au niveau lexical de l'enfant. C'est l'un des indicateurs de l'entrée dans la langue orale et doit évoluer avec le développement du langage et de la parole.

Elle consiste à évaluer les pourcentages d'intelligibilité dans le silence ou dans le bruit. Différentes épreuves spécifiques ont été développées. Les protocoles d'évaluation utilisés sont multiples. Souvent, il est recommandé de mesurer le maximum d'intelligibilité à un niveau vocal reflétant le niveau de voix parlée à force moyenne (65 dB SPL) (6).

L'audiométrie vocale dans le bruit consiste à mesurer l'intelligibilité de la parole, lorsqu'un signal ou bruit perturbant est diffusé simultanément. Tous les tests d'audiométrie vocale dans le bruit évaluent donc l'intelligibilité en fonction du rapport signal sur bruit (RSB) en dB qui correspond à la différence entre le niveau de présentation de la parole et celui du bruit concurrent (9, 10).

Les recommandations de la SFORL et de la Société française d'audiologie (SFA) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte, privilégient les tests à base de phrases pour mesurer la compréhension de la parole dans un environnement au plus proche de la réalité. Les pseudo-mots, les logatomes ou les chiffres doivent être utilisés si l'on souhaite s'affranchir des capacités langagières du sujet et des effets de suppléance mentale, notamment si celles-ci sont limitées (non-maîtrise de la langue, troubles cognitifs...)(9).

Seule la réalisation en champ libre permet d'évaluer ou de comparer des gains prothétiques, l'apport de la binauralité ou de mesurer la perception dans le bruit dans un environnement au plus proche de la réalité (9).

2.2.1. Tests de reconnaissance des mots (dans le silence et dans le bruit)

Qu'il s'agisse de liste ouverte ou de liste fermée, le matériel vocal utilisé peut être:

- Des mots connus, mots simples et courants (par exemple: parties du corps)
- Listes dissyllabiques pour enfant (par exemple: listes enfant de Boorsma, Borel-Maisonny, Lafon), listes de mots monosyllabiques (par exemple: Phonetically Balanced Kindergarten Word: List PBK), listes cochléaires, logatomes. Pour les enfants plus âgés, les listes adultes peuvent être utilisées.

Chez un tout petit (2½ - 3½ ans), il est pratique d'utiliser des tests de désignation d'images ou des objets familiers.

Chez l'enfant plus grand, un test d'intelligibilité en liste ouverte préétablie de mots phonétiquement équilibrés et adaptés au niveau de langage de l'enfant sera utilisé.

Chez le grand enfant, il est possible de réaliser une épreuve vocale avec les listes phonétiques de Lafon. Le score de l'enfant représente le pourcentage de mots qui ont été répétés correctement

Chez l'enfant, en fonction de son âge, il est possible de réaliser des tests vocaux dans le bruit, notamment pour l'évaluation des perceptions de la parole dans le cadre des bilans et du suivi de l'implantation cochléaire (11).

2.2.2. Tests de reconnaissance des phrases (dans le silence et dans le bruit)

Ils comportent plusieurs types de tests: identification des phrases complexes (TEPPP), listes de Fournier, de P. Combescure, HINT (Hearing in Noise test), MMBA...

Le test de répétition de phrases dans le calme permet de mesurer la perception de la parole dans le calme et de familiariser l'enfant au test de perception dans le bruit (HINT).

La perception de la parole dans le calme est présentée à 65 dB. Le nombre de mots que l'enfant est capable de répéter avec précision est compté pour calculer un pourcentage de mots dans les phrases.

La perception de la parole dans le bruit est évaluée avec le HINT à l'aide d'un haut-parleur placé à un mètre devant le participant. Les phrases utilisées dans le test doivent être courtes, la syntaxe simple et le vocabulaire est familier même aux enfants d'âge préscolaire (12).

La procédure adaptative a été utilisée pour estimer le niveau liminaire d'intelligibilité vocale (Speech Recognition Threshold level: SRT) dans le bruit en forme de parole fixé à 60 dBA. Le SRT a été défini comme le score de reconnaissance vocal (SNR) moyen auquel l'auditeur pouvait répéter correctement 50% des phrases à partir de deux listes composées chacune de dix phrases.

Les niveaux de parole ont été ajustés pour chaque phrase selon que la phrase précédente a été répétée correctement ou non (d'où le nom de procédure adaptative). Les SRT des deux listes ont été moyennés. Les SRT et HINT doivent être ajustés en fonction de l'âge et des effets de la pièce, pour obtenir la mesure finale de la perception de la parole dans le bruit (SiN) (12).

En l'absence de recommandation d'un protocole d'évaluation international standardisé, l'académie américaine d'audiologie (13) a établi un guide de pratique clinique comportant les moyens d'évaluation des résultats chez l'enfant implanté avec une batterie de test de parole minimale pédiatrique (PMSTB) pour les enfants implantés (Tableau 1).

De même chez l'adulte, différents matériaux vocaux tels que des phonèmes, des mots simples ou des phrases donnant des informations complètes sur les capacités de perception

et de reconnaissance de la parole. L'académie américaine des audiologistes et les lignes directrices de bonnes pratique préconisaient, chacune une batterie de test de parole minimale (minimal speech test battery: MSTB) pour les adultes (Tableau 2 et 3) (13,14).

Différents tests de perception de la parole ont été utilisés pour évaluer les résultats post-implantation. Les mesures les plus fréquemment utilisées sont: les mots monosyllabiques, les phrases dans le calme et dans le bruit, présentés à un niveau de 65 dB SPL à partir d'un seul haut-parleur devant le participant (15).

Les conditions d'évaluation des capacités de discrimination de la parole dans le bruit varient considérablement dans la littérature. Il n'existe aucune recommandation officielle quant au type de matériel vocal ou de bruit concurrent à utiliser. De même, aucune méthode de standardisation n'autorise à ce jour de stricte comparaison des résultats obtenus entre les différentes langues. Des phrases sont en règle générale choisies, en liste ouverte ou liste fermée. Le bruit concurrent peut être un bruit de bande, un bruit blanc ou des sons de parole (16).

Les audiologistes doivent déterminer les outils d'évaluation les plus appropriés au cas par cas selon les compétences linguistiques. Des modifications des composants de la batterie de tests d'évaluation peuvent être nécessaires. Il est important de noter que, afin de comparer de manière appropriée, les performances post-opératoires avec l'implant cochléaire aux performances pré-opératoires avec l'appareil précédent du patient, la même batterie de tests de perception de la parole doit être administrée. De plus, les audiologistes doivent être conscients des effets de plafond et adapter la batterie de tests de manière appropriée au fil du temps.

Enfin, il est important de noter que l'audiométrie vocale dans le calme ou dans le bruit reflète la performance auditive quotidienne, mais dépend à la fois du traitement cochléaire du son et des compétences cognitives. L'audiométrie vocale n'est donc que partiellement représentative de la qualité du fonctionnement cochléaire. Elle est utilisée par environ la moitié des centres, plutôt pour contrôler l'amélioration ou la stabilité des performances au cours du temps. Seuls 11% des équipes disent avoir défini des cibles d'audiométrie vocale pour le réglage de l'implant (7).

Tableau 1: Moyens d'évaluation des résultats chez l'enfant implanté selon le guide de pratique clinique de l'académie américaine d'audiologie (13)

| Tests objectifs d'évaluation | Sources |
|---|--|
| Seuils de champ sonore assistés PMSTB Test de perception précoce de la parole (ESP) Intelligibilité de la parole pédiatrique (PSI) Test de voisinage lexical (LNT) Test de voisinage lexical multisyllabique (MLNT) Consonne-Noyau Consonne (CNC) Phrases de Bamford-Kowal-Bench dans le bruit (BKBSIN) Listes de phrases pédiatriques AzBio | Uhler et al (2017) (17) Moog et al. (1990) (18) Jerger et al. (1982) (19) Kirk et al. (1995) (20) Peterson et al. (1962) (21) Bench et al. (1979) (22) Etymotic Research (2005) (23) Spahr et al. (2014) (24) |
| Tests subjectifs | Sources |
| Liste de contrôle des compétences auditives (ASC) Questionnaire auditif LittleEARS (LEAQ) score IT-MAIS score MAÏS Évaluation des performances auditives/orales par les parents des enfants (PEACH) | Meinzen-Derr et al (2007) (25) Kuehn-Inacker et al (2003) (26) Obrycka et al (2017) (27) Zimmerman-Philips et al (2000) (28) Robbins et al (1991) (29) Ching and Hill (2005) (30) |

Tableau 2: Moyens d'évaluation des résultats post-implantation chez les adultes selon le guide de pratique clinique de l'académie américaine d'audiologie, 2019 (13)

| Tests objectifs d'évaluation | Sources |
|--|---|
| Seuils de champ sonore assistés (MSTB) Consonne-Noyau Consonne (CNC) Listes de phrases AzBio | Battery MST (2011) (37) Peterson and Lehiste (1962) (21) Spahr et al (2012) (32) |
| Tests subjectifs | Sources |
| Questionnaires: Profil abrégé de l'aide auditive L'échelle d'amélioration axée sur le client Le profil des avantages des appareils auditifs de Glasgow Inventaire des handicaps auditifs pour adultes (HHIA) Inventaire des handicaps auditifs pour les personnes âgées (HHIE) Parole, espace et qualités auditives Questionnaire (SSQ) | Cox et al (1995) (38) Dillon et al (1997) (39) Gatehouse et al (1999) (40) Newman et al (1990) (41) Ventry and Weinstein (1982) (42) Gatehouse and Noble (2004) (43) |

Tableau 3: Outils utilisés pour l'évaluation des résultats post-implantation cochléaire selon les guidelines for Best Practice in the Audiological Management of Adults with Severe and Profound Hearing Loss (14)

| Outil | Notation | Référence |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| Liste des mots AB | Mots Phonèmes | Boothroyd A, 1968 (31). |
| Listes de phrases AzBio (disponible en plusieurs langues) | Phrases | Spahr A, 2012 (32) |
| Listes de phrases BKB-A | Phrases, mots clés | Bench J, 1979 (22). |
| BKB-SIN test | Phrases, mots clés | Niquette P, ; 2003 (33). |
| CUNY phrase listes | Phrases | Boothroyd A, 2019 (34). |
| CNC listes de mots (disponible dans une gamme de dialectes) | Mots simulés | Peterson G, 1962 (21). |
| HINT Phrases (disponible dans plusieurs langues) | Phrases dans le bruit | Nilsson M, 1994 (35). |
| Quick SIN | Phrases Score par perte SNR | Etymotic Research, 2006 (36). |

3. Scores d'évaluation post-implantation cochléaire:

Les principaux tests utilisés pour l'étude de la perception auditive et la production langagière sont:

3.1. Test de Category of auditory performance (CAP):

L'échelle CAP est une évaluation des performances fonctionnelles qui a été développée dans le cadre du Nottingham Cochlear Implant Program et en tant qu'évaluation globale des capacités de perception et de reconnaissance auditive. Il s'agit d'une échelle non linéaire sur laquelle les capacités auditives en développement des patients peuvent être évaluées en huit catégories de difficulté croissante (8).

Les scores des catégories de performance auditive (CAP) vont de 0 à 7; 0 = aucune conscience du son environnemental, 1 = conscience du son environnemental, 2 = réponse au son de la parole, 3 = identification du son de l'environnement, 4 = discrimination à certains sons de la parole sans lecture labiale, 5 = compréhension de phrases courantes sans lecture labiale, 6 = compréhension d'une conversation sans lecture labiale, et 7 = communication téléphonique avec une personne (44).

3.2. Questionnaires de Meaningful auditory integration scale (MAIS) et Infant-Toddler Meaningful Auditory Integration Scale (IT-MAIS):

Le questionnaire de MAIS est une échelle de rapport parental standardisée qui aide à évaluer les capacités auditives et d'élocution d'un enfant dans une situation significative et réelle du point de vue des parents. Le test de MAIS évalue principalement les informations comportementales auditives (45).

Le MAIS a été créé en 1991. Chaque questionnaire comprend 10 questions. Les deux premières questions reflètent la confiance des patients dans les appareils auditifs, les questions de 3 à 6 reflètent la sensibilité auditive et les questions 7 à 10 reflètent la capacité à relier les sons au sens. Le questionnaire comprend des informations sur les habitudes de l'enfant lorsqu'il porte les appareils auditifs, la distance à laquelle l'enfant peut entendre le son et la capacité de discrimination et d'analyse des sons perçus tel que la capacité de distinguer des voix différentes. Le Questionnaire Parents est complété par un entretien au cours duquel les testeurs lisent les questions aux parents et notent ou idéalement enregistrent les réponses des parents. Si les parents ont été interrogés deux fois, ils peuvent remplir le questionnaire directement par eux-mêmes.

Les questions 1 et 2 sont différentes pour les enfants avec des conditions différentes. La question 1 comprend trois niveaux (A, B, C) de questions:

Le 1A est utilisé pour les enfants de moins de cinq ans, tandis que le 1B est utilisé pour les enfants de plus de 5 ans et le 1C est utilisé pour les enfants qui ne peuvent répondre ni à la question 1A ni à la question 1B. La question 2 comprend deux niveaux de questions (A, B): Le 2B est utilisé si les parents ne peuvent pas répondre à la question 2A. Le testeur lit les questions aux parents et note leurs réponses.

Les critères de notation à cinq niveaux (niveau 0 à 4) sont les suivants: 0 = jamais, 1 = rarement, 2 = parfois, 3 = fréquemment, 4 = toujours..

Des scores sont également attribués en fonction des réponses des proches ou des enseignants du patient (46).

IT-MAIS: (Infant-toddler meaningful auditory integration scale): L'échelle d'intégration auditive significative du nourrisson au tout-petit contient 10 questions, chacune étant notée de 0 à 4 (0=jamais, 1=rarement, 2= parfois, 3=fréquemment et 4=toujours) (44).

3.3. Speech Intelligibility Rating (SIR):

Le score d'intelligibilité de la parole (SIR) constitue une échelle adaptée largement utilisée qui permet à la fois aux auditeurs expérimentés, y compris les audiologistes ou les orthophonistes, et aux auditeurs normo-entendants sans expertise préalable d'évaluer la perception de la parole avant et après IC. Il est composé de 5 catégories comme indiqué dans le tableau 4.

L'intelligibilité de la parole est plus élevée à mesure que le numéro de classification augmente.

Une recherche approfondie dans la littérature n'a démontré aucun SIR arabe validé existant. Pourtant, il existe un besoin accru d'une version arabe validée et fiable du SIR qui permettra une évaluation précise et un suivi des progrès des patients implantés. La disponibilité d'un SIR arabe validé donne également aux familles un outil d'évaluation quotidienne des performances de leurs enfants et encourage les parents à participer davantage à la réhabilitation et la rééducation de leurs enfants implantés. De plus, ce test peut être utilisé par les parents, les enseignants des écoles ordinaires et d'éducation spécialisée et les non-professionnels qui sont en contact direct avec les patients implantés pour suivre leurs progrès.

Yazeed A et al ont développé un SIR arabe qui semble être un outil fiable et valide pour l'évaluation du développement du langage parlé chez les enfants arabophones implantés. Cependant, la limite de cette étude est la taille relativement petite de l'échantillon (47).

Tableau 4: Catégories de l'indice d'intelligibilité de la parole (SIR)

| SIR categories | |
|----------------|---|
| Catégorie 1 | Les phrases consécutives ne peuvent pas être distinguées |
| Catégorie 2 | Les phrases consécutives ne peuvent pas être comprises, mais un seul mot peut être distingué |
| Catégorie 3 | Les phrases conséquentes peuvent être distinguées, mais l'auditeur dépend de la lecture labiale |
| Catégorie 4 | Les phrases conséquentes peuvent être distinguées clairement par quelqu'un ? |
| Catégorie 5 | Les phrases conséquentes peuvent être distinguées par n'importe qui. |

3.4. Echelle d'évaluation APCEI:

L'échelle d'évaluation de l'Acceptation, perception du langage, de la Compréhension des ordres oraux, de l'expression orale et de l'intelligibilité de la parole (APCEI) a été développée par l'équipe d'ORL de l'hôpital Robert-Debré en 2006 (48). Elle a été traduite en arabe par deux traducteurs interprètes assermentés, maîtrisant les deux langues, reconnus par le consulat général de France à Tunis (tableau 5) et a été utilisée pour la première fois en Tunisie dans une thèse élaborée par l'équipe du service ORL de la Rabta (49) puis dans une deuxième thèse réalisée à l'hôpital Fattouma Bourguiba de Monastir pour l'évaluation des résultats post-implantation (50).

Son intérêt réside dans le fait de coter séparément 5 domaines importants: port et acceptation de l'appareil, perception, compréhension, expression orale et intelligibilité de la parole. Il n'utilise pas de pourcentages ce qui le rend plus facile à appliquer. Le profil

APCEI permet une surveillance dans le temps des enfants implantés. Pour chaque enfant suivi, ces valeurs APCEI peuvent être stockées dans une base de données, sous forme du nombre à 5 chiffres. Cette base de données peut ensuite être analysée, avec comparaisons possibles selon différents critères (51).

L'évaluation est généralement faite tous les 6 mois pendant les deux premières années puis tous les ans. Certaines équipes ont utilisé le cAPCEI (corrected APCEI, Annexe: Tableau 6), qui est adapté à l'âge de l'enfant, en estimant les performances maximales selon chaque tranche d'âge (52).

Tableau 5: Version arabe du profil APCEI

| | |
|---|--|
| <p>0 - رفض: رفض الجهاز او الزرع 1 - استعمال مكروه للجهاز لبضع ساعات في اليوم: طفل معترض على الجهاز ولكنه يضعه لفترة محدودة 2 - استعمال غير منتظم للجهاز: الطفل يحمل جهازه طوعا وبدون إكراه لكن ليس كامل اليوم 3 - استعمال سلبي للجهاز: الطفل يقبل حمل الجهاز طوال اليوم لكن بشكل سلبي أي أنه يمكن للطفل الاستغناء عنه. 4 - استعمال إيجابي للجهاز: حمل الطفل للجهاز كامل اليوم وبطلب منه وهذا مؤشر على بداية تجاوب الطفل مع جهازه. 5 - استعمال بسبب الحاجة: الطفل يوافق على حمل الجهاز كامل اليوم بسبب حاجته الواضحة إليه</p> | <p>المجال الأول مدى تقبل وحمل الجهاز</p> |
| <p>0 - انعدام التلقي عند الطفل ويقصر مستوى التلقي عنده على الذبذبات الصوتية 1 - يستجيب الطفل للضجة الشديدة لكنه لا يميز الأصوات. 2 - يستجيب الطفل للصوت العالي وبعض أنواع الضجيج العالي نسبيا 3 - يستجيب الطفل للصوت العادي 4 - يستجيب الطفل للصوت المنخفض 5 - يتمتع الطفل بقدرة عالية على تمييز الأصوات الرفيعة</p> | <p>المجال الثاني مدى التقبل السمعي والقدرة على تمييز الأصوات</p> |
| <p>0 - انعدام الفهم وغياب تام لإدراك الأصوات 1 - إدراك سمعي لا يفهم الطفل ولكنه يدرك ماهية الأصوات 2 - تمييز الضجيج والحديث وردود فعل عند مناداة اسمه 3 - استيعاب تام لقائمة كلمات محددة الطفل قادر تماما على تمييز رسم وتكرار مجموعة كلمات محددة 4 - فهم جيد لقائمة مفتوحة 5 - أداء ممتاز</p> | <p>المجال الثالث فهم شفهي: مصطلحات، معنى رسالة شفوية</p> |
| <p>0 - لا يصدر الطفل أي أصوات 1 - يصدر الطفل أصوات عشوائية تفتقر للمعنى 2 - يصدر الطفل بانتظام كلمات غير مترابطة وبدون صياغة 3 - الطفل قادر على تجميع الكلمات لبناء جملة، البنية النحوية سيئة أو غير موجودة 4 - يكون الطفل جملا بصيغ نحوية جيدة 5 - أداء ممتاز للطفل</p> | <p>المجال الرابع تعبير شفهي، استعمال الصوت، تراكيب نحوية</p> |
| <p>0 - طفل أبكم 1 - كلام غير واضح تماما 2 - بعض الكلمات فقط يمكن تمييزها 3 - الأصوات التي يصدرها الطفل ولا يقتصر الأمر على بعض الكلمات لا يمكن فهمها إلا من قبل الأبوين أو المختصين في المجال فقط 4 - الأصوات التي يصدرها الطفل مفهومة من قبل غير المختصين في المجال 5 - نطق واضح تماما</p> | <p>المجال الخامس مستوى وضوح ونوعية الجمل التي يكونها الطفل</p> |

Tableau 6: Score APCEI corrigé et adapté à l'âge de l'enfant

| | A | P | C | E | I | Maximum |
|---------------|---|---|---|---|---|---------|
| Naissance | | 2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 6 mois | | 3 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| 12 mois | | 3 | 2 | 1 | 1 | 12 |
| 18 mois | | 3 | 2 | 2 | 2 | 14 |
| 2 ans | | 4 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| 2 ans et demi | | 4 | 3 | 3 | 4 | 19 |
| 3 ans | | 4 | 4 | 3 | 4 | 20 |
| 4 ans | | 5 | 4 | 4 | 4 | 22 |
| 5 ans | | 5 | 5 | 5 | 5 | 25 |

3.5. Autres tests:

Outres les tests suscités, qui sont les plus couramment utilisés, il existe de nombreux autres moyens d'évaluation des résultats post-implantation chez l'enfant rapportés dans la littérature.

- Le questionnaire auditif LittleEARS® (LEAQ) contient 35 questions dichotomiques. Il a été proposé pour la première fois par Weichbold et al en 2005. Des scores LEAQ plus élevés indiquent des capacités auditives et de parole avancées (44).
- L'échelle d'utilisation significative de la parole ou meaningful use of speech scale (MUSS) a également été utilisée. C'est une échelle de rapport parental standardisée qui aide à évaluer les capacités auditives et d'élocution d'un enfant dans une situation significative et réelle du point de vue des parents. Ce questionnaire contient 10 questions, chacune étant notée de 0 à 4 (0 = jamais, 1 = rarement, 2 = occasionnellement, 3 = fréquemment et 4 = toujours) (45).

En conclusion, cette revue de la littérature met l'accent sur la diversité des tests et la complexité de l'évaluation post-implantation cochléaire chez l'enfant.

4. Questionnaires de qualité de vie:

La qualité de vie (QV) est définie par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme «la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes».

L'analyse de la QV est indispensable pour évaluer le rapport coût/efficacité et donc la pertinence d'une intervention thérapeutique (1).

Le retentissement d'un handicap sur la QV est traditionnellement mesuré par des questionnaires standardisés.

Toutefois chez l'enfant, l'OMS, recommandait d'utiliser des mesures de QV valides centrées sur l'enfant, adaptées à l'âge, validées de manière inter-culturelle, et mettant en avant les auto-rapports des enfants. Les rapports des parents doivent compléter les rapports des enfants notamment chez ceux très jeunes ou présentant d'autres handicaps. L'utilisation d'instruments adaptés à l'âge est particulièrement importante lors de l'obtention des auto-évaluations (6).

Il existe différents types de questionnaires sur la qualité de vie des patients implantés aussi bien pour les adultes que les enfants.

4.1. Questionnaires génériques

Les questionnaires génériques sont élaborés à partir de questionnaires utilisés dans la population générale et permettent des comparaisons entre diverses populations ou maladies. Ils ont l'avantage d'être validés et de disposer de valeurs normatives permettant leur interprétation, et s'avèrent plus lisibles pour les décideurs publics en matière de santé. Cependant, ils ne peuvent pas rendre compte avec détail de la spécificité de chaque pathologie abordée, et manquent donc de sensibilité pour des variations plus faibles d'un état de santé (53–55).

Les questionnaires génériques utilisés dans la littérature dans le cadre de l'évaluation de l'implantation cochléaire aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte sont énumérés dans les tableaux 8 et 9.

4.2. Questionnaires spécifiques

L'instrument peut être spécifique d'une pathologie donnée (diabète, asthme, surdité, etc.) ou d'une population donnée (enfants, population âgée, etc.). Ces questionnaires se révèlent généralement plus sensibles aux variations cliniques, notamment en cas d'intervention thérapeutique, et sont donc plus sensibles à un changement fonctionnel (56,57).

Les questionnaires spécifiques utilisés dans la littérature dans le cadre de l'évaluation de l'implantation cochléaire sont énumérés dans le tableau 10 et 11.

Tableau 8: Instruments génériques utilisés pour l'évaluation de la qualité de vie chez l'enfant dans le cadre d'une implantation cochléaire (16).

| Instruments | Langue originale | Âge cible (années) | Répondants | Études |
|--|------------------|--------------------|------------------|---|
| EQ-5D (EuroQoL-5D) | Anglais | Non précisé | Enfant et Parent | TheEuroQOLGroup, 1990 (58) Sach, 2007 (59) |
| HUI 3 (Health Utility Index 3) | Anglais | >5 | Parent | Cheng, 2000 (60) Horsman,2003 (61) Lovett, 2010 (62) Sparreboom, 2012 (63) |
| CHIP (Child Health and Illness Profile) | Anglais | 6–17 | Enfant et Parent | Starfield, 1993 (64) Clark,2010(65) Riley, 2004 (66) |
| CHQ (Child Health Questionnaire) | Anglais | 5 mois–18 | Enfant et Parent | Landgraf, 1998 (67) Ravens- Sieberer, 2001(68) Wake, 2004 (69) |
| PedsQL 4.0 (Pediatric Quality of Life 4.0) | Anglais | 2 –18 | Enfant et Parent | Borton, 2010 (53) Lovett, 2010 (62) Sparreboom, 2012 (63) Varni, 2011, 2007 (70,71) Beijen, 2007 (72) Rajendran, 2010 (73) |
| YQOL (Youth Quality of Life Instrument) | Anglais | 11–18 | enfant | Edwards, 2002 (74) Patrick, 2002 (75) Kushalnagar, 2011 (76) Schick, 2013 (77) |
| KIDSCREEN-27 | Anglais | 8 –18 | Enfant et Parent | Ravens-Sieberer,2005(78) Robitail,2007 (79) Razafimahefa-Raoelina,2016(80) |
| GCBI (Glasgow Children's Benefit Inventory) | Anglais | 1–15 | Enfant et Parent | Kubba,2004 (81) Lovett, 2010 (62) |

Tableau 9: Instruments génériques utilisés pour l'évaluation de la qualité de vie chez l'adulte dans le cadre d'une implantation cochléaire (16).

| Instruments | Langue originale | Domaines explorés | Études |
|--|------------------|-------------------------|---|
| EQ-5D (EuroQoL-5D) | Anglais | QV | Perneger, 2010 (82) |
| HUI 3 (Health Utility Index 3) | Anglais | QV | Horsman, 2003 (61) |
| WHOQOL (World Health Organisation Quality Of Life) | Anglais | QV+dimension financière | The WHOQOL (83) Bauman, 2010 (84) |
| SF 36 (Short Form 36) | Anglais | QV | McHorney, 1993 (85) Leplège, 1998 (86) |
| GHSI (Glasgow Health Status Inventory) | Anglais | QV | Gatehouse, 1998 (87) |
| GBI (Glasgow Benefit Inventory) | Anglais | QV | Robinson, 1996 (88) |

Tableau 10: Instruments spécifiques à l'évaluation de la qualité de vie chez l'enfant et/ou l'adolescent implantaté cochléaire (16).

| Instruments | Âge cible (années) Répondants | Domaines explorés | Études |
|--|----------------------------------|--|---|
| YQOL-DHH (Youth Quality Of Life – Deaf and Hard of Hearing) | 11–18 Enfant et parents | QV | Kulshanagar, 2011 (76) Shick, 2013 (77) Patrick, 2011 (89) Hintermair, 2011 (90) |
| PVECIQ (Parent's Views and Expe- riences with pediatric Cochlear Implant Questionnaire) | 5–16 Parents | Perception parentale des bénéfices/ Limites de l'implant, et sur la QV de leurs enfants | Archbold, 2002 (91) O'Neill, 2004 (92) Nunes, 2005 (93) Incesulu, 2003 (94) Nicholas, 2003 (95) |
| PAQL (Paediatric Audiology Quality of Life Questionnaire) | 3–18 parents | QV des enfants avec co- morbidités associées | Edwards, 2012 (96) |
| HEAR-QL (Hearing Environments and Reflection on Quality of Life) | 7–17 enfant | Bien-être physique et mental + difficultés d'écoute dans certains environnements | Umansky, 2011 (97) Rachakonda, 2014 (98) |

Tableau 11: Instruments spécifiques à l'évaluation de la qualité de vie et des performances auditives chez l'adulte dans le cadre d'une implantation cochléaire (16).

| Instruments | Domaines explorés | Études |
|---|--|--------------------------|
| HHIA (Hearing Handicap Inventory for Adults) | Domaines émotionnel et psychosocial | Newman, 1990 (41) |
| HHIE (Hearing Handicap Inventory for Elderly) | Domaines émotionnel et psychosocial | Ventry, 1982 (42) |
| NCIQ (Nijmegen Cochlear Implantation Questionnaire) | Domaines physique, psychologique et social | Hinderink, 2000 (99) |
| ERSA (Évaluation du retentissement de la surdité chez l'adulte) | Qualité de vie personnelle, sociale et professionnelle | Ambert-Dahan, 2017 (100) |

B. Rythme de surveillance des résultats post-implantation cochléaire:

L'évaluation des résultats post-implantation est indispensable pour apprécier le bénéfice de l'implant et ajuster les réglages ultérieurs. Elle doit être multi-dimensionnelle faisant intervenir le patient, l'entourage et le clinicien et doit comporter une analyse et un suivi des aptitudes de perception, de reconnaissance de la parole dans le silence et dans le bruit, de la production du langage et du retentissement de l'implantation cochléaire sur la qualité de vie.

Des évaluations des performances auditives et de communication sont réalisées à 3, 6, 12 et 24 mois après l'activation. Des évaluations complémentaires pourront être programmées au besoin. Elles sont systématiquement complétées par des questionnaires de QV . L'ensemble des résultats sera colligé dans une base de données (2).

Les recommandations du suivi du patient implanté cochléaire enfant/adulte 2020 (2), incitent à assurer un suivi à long terme du développement langagier chez l'enfant implanté. La durée du suivi est de 5 ans ou jusqu'à une phase de plateau des performances. Elles recommandent de

- Maintenir CAP et SIR pour les enfants en phase d'acquisition du langage
- Maintenir pour le suivi, l'indicateur audiologique dans le silence utilisé dans l'indication initiale. Dans ce cas, il est suggéré de privilégier l'utilisation de listes vocales permettant de tester la perception des phonèmes sans recours à la suppléance mentale.
- Réaliser un bilan audiologique avant et/ou après renouvellement de processeur externe (tous les 5 ans),

- Pratiquer pour les patients implantés en bilatéral l'étude de la compréhension de la parole dans le bruit par une procédure de préférence adaptative. Le critère de jugement est le rapport signal sur bruit (RSB) autorisant un score de reconnaissance de la parole de 50% et de 70% (respectivement, SNR50 et SNR70),

Chez l'adulte, le plateau de performance est souvent atteint à 1 ou 2 ans en post-implantation. Un bilan cognitif est souvent réalisé chez le sujet âgé sous-performant ou en baisse de performance.

C. Résultats:

1. Perception et reconnaissance des mots:

1.1. Chez l'enfant

La perception auditive signifie la reconnaissance, la prise de conscience et l'interprétation des stimuli auditifs dans le cerveau. La compréhension des informations verbales est liée à l'intelligibilité de la parole et à la perception auditive (101).

En effet, l'enfant atteint de surdité sévère à profonde implanté ne devient pas un enfant entendant. Un effort de décodage pour analyser et comprendre les nouvelles informations auditives qu'il reçoit, est nécessaire.

La perception auditive permet des progrès linguistiques considérables chez l'enfant implanté. L'enfant va progressivement apprendre à utiliser l'information auditive pour construire son répertoire phonétique. Toutefois, la plupart des études rapportent que malgré une nette amélioration de son niveau, la qualité de parole de l'enfant implanté reste bien loin de celle de ses congénères entendants au même âge. Ceci serait notamment dû au fait que l'enfant sourd découvre les sons plus tardivement que l'enfant normo entendant. Alors que ce dernier avance dans son acquisition orale, l'enfant sourd, n'en est qu'à l'appropriation de ses premiers phonèmes.

Ashori et al (101), ont comparé l'intelligibilité de la parole et la perception auditive des enfants d'âge préscolaire avec une prothèse auditive, un implant cochléaire et une audition normale à travers une étude descriptive-analytique et comparative. Les résultats ont indiqué que les scores moyens d'intelligibilité de la parole et de perception auditive du groupe des enfants normo entendants étaient significativement plus élevés que ceux des autres groupes. Les scores moyens d'intelligibilité de la parole dans le groupe avec IC ne différaient pas significativement de ceux du groupe avec aide auditive ($P < 0,38$). Toutefois, la perception auditive chez les enfants avec IC était significativement plus élevée que celle des enfants avec aide auditive.

Les auteurs ont aussi souligné l'importance de l'implantation cochléaire à un plus jeune âge et son impact significatif sur la perception auditive chez les enfants sourds (100).

Il est important de noter que les enfants malentendants et ceux souffrant de troubles du langage peuvent avoir une excellente reconnaissance de la parole dans le calme, mais éprouvent toujours des difficultés lorsqu'ils écoutent la parole dans des environnements bruyants.

Torkildsen JvK et al (12), ont étudié les différences de la reconnaissance des phrases dans le bruit (Sentence Recognition in Noise (SRiN), mesurées par le «Hearing in Noise Test» HINT, entre quatre groupes d'enfants d'âge scolaire.

Les enfants malentendants implantés ou ayant une prothèse auditive et ceux ayant un trouble du développement du langage avaient du mal à percevoir le langage parlé dans le bruit par rapport aux enfants normo-entendants sans trouble de développement du langage. En outre, les enfants implantés nécessitent des rapports signal/bruit les plus élevés (c'est-à-dire les performances les plus faibles) et le groupe avec développement normal nécessitent un rapport signal/bruit le plus faible (12).

1.2. Chez l'adulte

Chez l'adulte, Boisvert et al (15), ont réalisé une revue systématique de la littérature qui a mis en évidence que la capacité moyenne de perception des mots s'améliorait de 8,2% à 53,9% après implantation. Le bénéfice auto déclaré s'est amélioré de 21,5%. Au niveau individuel, 82% des adultes ayant une perte auditive post-linguale et 53,4% des adultes ayant une perte auditive prélinguale ont amélioré leur capacité de perception de la parole de 15% ou plus. Il semble alors évident que l'implantation cochléaire est bénéfique pour la majorité des adultes de tout âge qui ont des capacités limitées de perception de la parole.

Plusieurs études ont évalué les facteurs intra- individuels liés au patient pouvant influencer les aptitudes de reconnaissance vocale post-implant cochléaire (IC). Elise et al (102), dans sa méta-analyse de 13 études portant sur 1095 patients, ont étudié les associations entre les facteurs liés au patient et les résultats de la reconnaissance vocale de l'implant cochléaire.

Les résultats de la reconnaissance vocale de l'IC se sont révélés être associés de manière négligeable à l'âge au moment de l'implantation, à la durée de la perte auditive, à la moyenne préimplantatoire du son pur et à la reconnaissance des mots préimplantatoires. Bernhard et al (103) ont examiné les effets de la durée de la période préimplantation et celle post-implantation sur les performances auditives chez des adultes sourds post-linguaux. La perception des phrases et des mots monosyllabiques, était négativement corrélée avec la durée de surdité. Chez les sourds post-linguaux implantés, la perception auditive s'améliore le plus durant les 3 à 6 premiers mois après la chirurgie et se stabilise après 1 à 2 ans contrairement aux patients sourds prélinguaux dont l'amélioration est constante sur une période de 4 ans. Les méta-analyses ont révélé une corrélation négative entre la durée de la privation auditive et la perception de la parole monosyllabique (103).

En conclusion, l'évolution de la perception et de la reconnaissance des mots est favorable progressivement en fonction de la durée de stimulation après activation de l'implant cochléaire aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant.

Elle nécessite néanmoins un programme de rééducation unique et individuel pré et post-implantation pour développer davantage les compétences d'expression orale des enfants implantés. Cette réadaptation doit être conçue pour inclure toutes les compétences de communication telles que l'écoute, la perception de la parole et l'utilisation de la langue.

2. Compétences linguistiques des patients implantés:

L'un des résultats ultimes et recherchés de l'implant cochléaire (IC) est le développement du langage intelligible.

L'acquisition du langage est un processus multimodal qui consiste en l'acquisition de la phonologie, du vocabulaire, de la morphologie et la syntaxe. Chacune de ces composantes peut être altérée de manière différente par la surdité.

Les études ont montré une nette amélioration de l'acquisition du langage chez l'enfant implanté en fonction de l'âge et de la durée de l'implantation. Cependant les mécanismes internes qui permettent à l'enfant d'acquérir un langage oral sont encore mal connus. Le degré de contribution des facteurs externes comme l'environnement de l'enfant ainsi que d'autres facteurs reste encore méconnu (104).

La variabilité individuelle des résultats langagiers des enfants implantés cochléaires est une préoccupation majeure. Plusieurs études ont examiné les trajectoires de développement langagier des enfants implantés et identifié les facteurs influençant les compétences linguistiques des implantés cochléaires.

L'âge de l'implantation a un impact évident sur les capacités de l'enfant à acquérir le langage oral. Fagan a rapporté que l'enfant implanté même précocement garde un retard par rapport à son âge de développement d'environ 6 mois. Cependant les résultats étaient significativement meilleurs que ceux des enfants implantés tardivement (105).

Par ailleurs, il semble que même après une implantation précoce avant l'âge de 2 ans, la maîtrise de la grammaire est moins bonne chez les enfants implantés cochléaires même si leur capacité de s'exprimer était aussi bonne qu'un enfant entendant (106).

Kumar et al (107) ont évalué, tous les 6 mois, le langage réceptif et expressif chez les enfants implantés depuis moins de 2 ans. Ils ont conclu que l'utilisation de l'IC pendant au moins 18 mois peut potentiellement stimuler le langage réceptif et expressif jusqu'au niveau des pairs normo-entendants.

BUSCH et al (108) ont constaté que les déficits du vocabulaire réceptif étaient courants chez les enfants implantés. Les déficits étaient particulièrement importants dans les premières années du primaire. Par conséquent, il est essentiel de soutenir et de surveiller

le développement du langage des enfants implantés au cours des premières années d'étude en primaire notamment en cas de détection de retard par rapport à leurs pairs normo-entendants.

Cependant, un vocabulaire adapté à l'âge dans les premières années suivant l'implantation ne garantit pas une bonne performance continue.

En conséquence, comprendre le développement du langage des patients implantés, les risques et les facteurs de protection peut aider à décider quand et quel soutien est nécessaire pour cette population. Kaitlyn A et al (109), ont examiné les effets de l'intervalle d'implantation séquentielle sur le vocabulaire et les compétences linguistiques réceptives chez les enfants ayant des IC bilatéraux. Les auteurs ont conclu que de meilleurs vocabulaires réceptifs et compétences linguistiques réceptives étaient associés à un âge plus précoce au premier IC , mais pas à des intervalles d'implantation cochléaire plus courts. L'utilisation d'une aide auditive au niveau de l'oreille non implantée, avant la deuxième implantation, peut atténuer les effets d'une privation auditive bilatérale précoce.

Välilmaa et al. (110), ont effectué une étude multi-centrique prospective dont les objectifs étaient de comparer les compétences linguistiques en langue parlée des enfants avec des aides auditives bilatérales et des enfants avec des IC bilatéraux; à celles de leurs pairs normo-entendants de même âge et d'étudier les facteurs associés aux résultats du langage parlé. Les auteurs ont conclu qu'à l'âge de 3 ans, le vocabulaire particulièrement réceptif et les compétences phonologiques présentaient des variations inter-individuelles considérables. Les enfants avec des aides auditives bilatérales semblaient être plus susceptibles d'avoir un vocabulaire réceptif et des compétences phonologiques plus faibles que les enfants avec des IC bilatéraux. Une surveillance étroite des compétences en langage parlé est importante pour garantir des opportunités similaires à tous les enfants et une intervention rapide, si nécessaire.

Wie et al. (111), ont suivi le développement du langage des enfants implantés d'emblée bilatéralement et précocement (à l'âge de 5 à 18 mois) et pendant les 6 premières années suivant l'implantation. Les auteurs ont conclu qu'au cours des 4 premières années suivant l'implantation, les performances langagières des enfants étaient de plus en plus similaires à celles de leurs pairs normoentendants. Cependant, 4 à 6 ans après l'implantation, il y avait des défis avec certains aspects du langage, en particulier le vocabulaire réceptif et la grammaire expressive. Une analyse en régression multiple a montré qu'une meilleure capacité de reconnaissance de la parole, une implantation plus précoce et une éducation maternelle plus élevée étaient tous prédictifs de meilleures compétences linguistiques 6 ans après l'implantation (111).

Ainsi, même dans les circonstances les plus optimales en termes d'âge et de mode d'implantation, les enfants implantés restent à risque de difficultés de développement du langage. Les prestataires de soins doivent offrir à tous les parents des conseils et un

soutien concernant une entrée linguistique de bonne qualité. De plus, il est important de considérer chaque enfant atteint d'un déficit auditif sévère à profond individuellement en ce qui concerne le bénéfice de l'IC.

Monshizadeh L et al. (112), ont rapporté que l'amélioration de facteurs cognitifs spécifiques tels que l'attention et la mémoire visuelle et la mémoire de travail jouent un rôle dans le développement du langage d'un enfant implanté. Cependant, peu d'études examinent simultanément l'acquisition du langage et le développement cognitif des enfants implantés cochléaires.

Ching et al. (113), dans une étude longitudinale prospective, ont révélé que de meilleurs résultats linguistiques étaient associés à une perte auditive moins sévère, à une capacité cognitive non verbale plus élevée, à l'absence de handicaps supplémentaires, à l'utilisation de la parole pour la communication et à une éducation maternelle plus élevée. Les avantages de l'éducation parentale pour le développement de l'enfant sont bien documentés. L'éducation maternelle est liée à l'apport linguistique et à l'environnement linguistique, à l'engagement dans l'interaction, au bien-être émotionnel, le soutien social perçu et l'auto-efficacité.

En conclusion, La chirurgie d'implant cochléaire est la porte d'entrée vers le développement des compétences linguistiques. L'acquisition est généralement lente et progressive et reste largement influencée par de nombreux facteurs dont l'âge précoce d'implantation, le développement cognitif de l'enfant et le niveau d'éducation des parents. La rééducation orthophonique, le suivi à long terme ainsi que l'évaluation périodique des résultats linguistiques chez les enfants implantés doivent être considérés afin de mieux comprendre la trajectoire du développement langagier de l'enfant implanté, de détecter les difficultés pouvant apparaître au-delà des premières années d'implantation et prévoir à temps une intervention et un soutien intensifs et continus pour mieux développer certains aspects du langage.

3. Cognition et mémoire:

L'étude du développement des fonctions neurocognitives de l'enfant implanté a aussi permis de constater les conséquences qui résultent de sa privation sensorielle.

La plupart des études soulignent l'impact positif de l'implantation cochléaire sur la cognition et la mémoire. En effet, l'implant cochléaire permet une réorganisation neuronale en développant de nouvelles connexions synaptiques. Cependant, plusieurs facteurs peuvent influencer cette liaison en particulier l'âge de l'implantation, l'environnement familial et le statut socio économique ce qui souligne l'importance de recherches supplémentaires pour clarifier et expliquer ces relations.

3.1. Synthèse des aspects cognitifs et psychoaffectifs des enfants implantés

Différentes études portant sur des enfants normaux et des enfants présentant une déficience sensorielle ou intellectuelle indiquent une forte corrélation entre le domaine de vocabulaire de l'enfant et ses capacités cognitives. Il est confirmé que le développement du langage d'un enfant s'accompagne de sa capacité à traiter l'information conceptuelle et à discriminer les objets et les événements de son environnement. La communication avec l'entourage, un système auditif sain et une bonne capacité d'apprentissage permettent à l'enfant de comprendre de nouveaux mots et structures dans le discours adulte.

De plus, il est prouvé dans différentes études que l'amélioration de facteurs cognitifs spécifiques tels que l'attention et la mémoire visuelle et la mémoire de travail jouent un rôle dans les résultats langagiers d'un enfant implanté. De plus, la capacité de l'enfant, qui l'aide à explorer l'environnement et à manipuler des objets, l'aide indirectement à développer des capacités cognitives et par conséquent une bonne compétence linguistique (112).

Kronenberger et al. (114) ont aussi examiné le développement longitudinal de la fonction exécutive et les compétences linguistiques parlées dans des échantillons d'enfants ayant une audition normale et d'enfants implantés à l'âge préscolaire. Ces résultats ont démontré que, malgré une amélioration significative au fil du temps, de certains domaines de la fonction exécutive en particulier déclarée par les parents et les compétences linguistiques, les enfants utilisateurs d'IC sont en retard par rapport à ceux des enfants normo entendants à l'âge préscolaire. Les retards de langage n'expliquent pas entièrement les différences de développement des FE, mais les compétences de la FE prédisent le développement ultérieur du langage chez les enfants avec IC.

Plusieurs études ont soutenu l'impact positif d'une implantation cochléaire précoce sur la cognition et la mémoire. En effet, un effet bénéfique de l'implantation au cours de la première année de vie est également conforme aux théories neuro développementales qui soulignent l'importance de l'expérience auditive précoce pour le développement des réseaux cérébraux qui sous-tendent l'apprentissage du langage (108).

3.2. Spécificités de l'implantation de l'adulte:

Au cours des dernières décennies, une grande attention a été accordée à l'étude des liens entre la perte auditive et les déclinés cognitifs chez l'adulte. Hugo et al. (115) ont mené une revue systématique concernant les résultats cognitifs, en se concentrant principalement sur les personnes âgées (50 ans et plus) avec une perte auditive bilatérale. Les études incluses ont rapporté une amélioration de la cognition après implantation cochléaire. Cependant, les auteurs ont déclaré que les études présentaient plusieurs risques de biais et étaient considérées comme non concluantes. Ils ont proposé l'utilisation d'outils d'évaluation cognitive adéquatement adaptés aux personnes malentendantes incluant une description des modifications.

Volter et al. (116) ont étudié l'impact de la réhabilitation auditive par implantation cochléaire sur le déclin cognitif chez la population vieillissante à travers une étude prospective. Les auteurs ont conclu que l'implantation cochléaire n'entraîne pas seulement une meilleure perception de la parole et une meilleure qualité de vie, mais il a également été démontré qu'elle améliore les capacités cognitives chez les adultes déficients auditifs âgés de 50 ans ou plus. Ces effets semblent indépendants les uns des autres.

En conclusion, des recherches plus ciblées sont nécessaires pour clarifier l'impact de la perte auditive sur le déclin cognitif et identifier quelles fonctions cognitives spécifiques peuvent être affectées par une perte auditive importante chez les adultes et les personnes âgées.

4. Qualité de vie post-implantation cochléaire:

De nombreuses études scientifiques confirment une amélioration de la qualité de vie globale des personnes ayant une surdité prélinguale, post-linguale suite à l'acquisition d'un IC aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte.

Selon l'OMS, la qualité de vie doit être évaluée dans ses trois dimensions: physique, psychologique et sociale. Cependant, peu d'études ont permis de mesurer la qualité de vie dans ces trois dimensions tels que le ressenti de la scolarité, l'humeur, la relation aux parents (48,117).

Rackan et al. (118), dans une méta analyse, ont conclu que bien qu'elles soient régulièrement utilisées, les mesures de la qualité de vie liée à la santé (QVLS) ne reflètent pas avec précision les difficultés complexes auxquelles sont confrontés les patients implantés cochléaires. En conséquence, seul un effet positif moyen de l'implantation cochléaire sur la QVLS a été observé avec une faible corrélation.

4.1. Évaluation de la qualité de vie des enfants implantés cochléaires

Peu d'études ont permis de mesurer la qualité de vie dans les trois dimensions définies par l'OMS. Ces quelques études correspondent majoritairement à une hétéro évaluation parentale. Très peu de travaux ont étudié la qualité de vie des enfants implantés à partir d'une auto- et hétéro évaluation (53,78,117,119).

Ces études ont démontré que les parents des enfants implantés cochléaires avaient un score global similaire voire meilleur par rapport aux parents témoins représentatifs de la population générale ($p < 0,01$) à partir de l'échelle de qualité de vie Child Health and Illness Profile-Child Edition. Razafimahefa-Raoelina et al. (117), ont montré que l'implantation cochléaire dans les 3 premières années de vie des enfants sourds pré-linguaux favorisait une qualité de vie proche de celle de la population générale. L'implant cochléaire semble améliorer la qualité de vie des enfants, au-delà de l'aspect langagier pur.

Plusieurs études ont analysé les facteurs influençant la qualité de vie. Dans une revue systématique, Silva et al. (120) ont conclu que, chez les enfants âgés de 18 mois à 18 ans,

la qualité de vie dépendait du délai précoce d'implantation, de l'utilisation de l'appareil, des capacités auditives et des compétences linguistiques. Huber et al (121), ont rapporté qu'une mauvaise reconnaissance des phrases dans le bruit (SRiN) peut être un fardeau altérant la qualité de vie des enfants et des adolescents implantés.

4.2. Évaluation de la qualité de vie des adultes implantés cochléaires:

Une revue systématique récente de 18 articles, comprenant un total de 1093 adultes implantés, a révélé qu'une amélioration de la qualité de vie spécifique à la maladie était généralement signalée. Cependant, les questionnaires génériques de qualité de vie évaluant l'état de santé général étaient ambigus. L'auteur a conclu à la nécessité d'un outil standardisé d'évaluation spécifique de la qualité de vie pour les patients ayant une implantation cochléaire (8).

Rostkowska et al. (122) ont évalué la QVLS avant et après implantation cochléaire chez 104 adultes ayant une perte auditive profonde post-linguale. Les auteurs ont conclu que l'implantation cochléaire améliore la qualité de vie liée à la santé de ces patients. Cependant, les auteurs ont souligné la nécessité d'une prise en charge psycho-sociale de ces patients en post-implantation. Ils ont, aussi, conclu que l'étude de la QV devrait tenir compte des facteurs socio-démographiques: âge, sexe, éducation, état matrimonial et conjugal, statut d'emploi et facteurs culturels et psycho-sociaux.

En conclusion, Il est actuellement admis que l'IC a un impact positif sur le développement de la parole et du langage des patients implantés. Toutefois d'autres aspects psychosociaux pré et post-implantation nécessitent d'être évalués pour une analyse plus large des bénéfices de l'implantation cochléaire. L'étude de la qualité de vie est l'un des principaux aspects à évaluer pour mieux discerner l'apport de l'implantation cochléaire pour accéder à une vie quotidienne normale pour les bénéficiaires et leurs familles.

D. Facteurs influençant les résultats post-implantation cochléaire

L'implantation cochléaire (IC) est établie comme la norme de soins pour la restauration de l'audition chez les patients atteints de perte auditive sévère à profonde bilatérale.

Les bénéfices de l'IC en termes de compétences perceptives, productives et langagières, et d'amélioration de la qualité de vie ne sont plus à démontrer. Cependant, il existe une variabilité inter-individuelle des performances qui peut être expliquée par plusieurs facteurs.

1. Facteurs liés à l'enfant:

1.1. Age de l'implantation:

L'âge de l'implantation cochléaire (IC) est souvent considéré comme un facteur prédictif important des compétences linguistiques chez les enfants implantés. En effet, l'implantation

précoce a des effets très positifs sur le développement de l'acquisition du langage chez l'enfant sourd.

Les chercheurs rapportent que le meilleur moment pour restaurer l'audition est avant 6 ans, et parlent d'implantation précoce lorsque l'enfant est implanté avant ses 3 ans, c'est-à-dire avant la fin de «plasticité optimale». C'est à cet âge que l'enfant implanté pourrait augmenter sa capacité à intégrer de nouvelles données orales et à communiquer, mais également que le décalage avec l'enfant entendant serait le moins important (123).

L'implant cochléaire va agir sur la réorganisation neuronale permettant le développement de nouvelles connexions synaptiques. Ce qui permettra à l'enfant d'interpréter les nouveaux stimuli acoustiques auxquels il sera confronté. Cependant, l'implantation ne permet pas d'inverser les phénomènes dus à la plasticité trans-modale. De plus, plus l'enfant est âgé, plus cette mobilisation semble difficile. Cela supposerait une période critique dont dépendrait le succès de l'implantation (124).

Il n'y avait pas d'âge maximal connu pour garantir les meilleures performances après implantation cochléaire. Certaines équipes recommandent une implantation avant 4 ans, d'autres avant 3 ans. Plusieurs études confirment l'obtention des meilleurs résultats pour les enfants implantés avant l'âge de 3 ans par rapport aux enfants implantés après cet âge (125).

Yang et al ont aussi rapporté que des résultats optimaux peuvent être obtenus si l'IC est réalisée avant l'âge de 1 an pour la plupart des candidats à une implantation cochléaire. En effet, un IC précoce est utile car la plasticité diminue dans le cortex auditif en l'absence de stimulation sonore (44).

La SFORL recommande en cas de surdité profonde congénitale une implantation cochléaire avant l'âge de 12 mois (16).

Cependant, les avantages de la grande précocité de l'implantation sont à mettre en balance avec la problématique spécifique des jeunes nourrissons (126):

- D'une part, il n'est pas toujours facile d'affirmer l'importance de la surdité avant 6 mois, même avec les techniques actuelles de mesures objectives (PEA, ASSR, OEAS), et l'examen subjectif est parfois mis en défaut
- D'autre part, les éléments d'observation du développement de l'enfant sont limités et une pathologie associée à la surdité sera peu ou pas visible. Le risque d'une implantation précoce dans ces cas est celui l'inadéquation des attentes parentales au projet de réhabilitation
- Enfin, il est nécessaire de bien connaître les particularités chirurgicales, anesthésiques et de réglages d'implant cochléaire chez le tout petit enfant.

1.2. Genre:

Plusieurs études ont montré que le développement du langage est meilleur chez le genre

féminin pour les enfants âgés de moins de 5 ans aussi bien pour les enfants normo entendants que pour les sourds. Ces différences se normalisent avec l'âge. D'autres études n'ont pas conclu à une différence des résultats après implantation cochléaire selon le genre (127).

1.3. Comorbidités:

Environ le tiers des enfants présentent des handicaps associés connus ou qui seront mis en évidence secondairement avec le développement de l'enfant.

1.3.1 Trouble de comportement

Les résultats post-implantation cochléaire chez les enfants avec troubles de comportement (troubles du spectre autistique (TSA), retard mental) ne doivent pas être comparés à ceux obtenus chez des enfants sans troubles du comportement, mais plutôt par rapport à l'enfant lui-même et à ses capacités personnelles de progression.

Eshraghi et al. ont observé une amélioration des capacités de perception (67%) et d'expression (60%) chez 15 enfants autistes implantés comparés aux 15 enfants implantés sans troubles du comportement. Les auteurs soulignent une nette amélioration de la reconnaissance de leur nom, de la réponse aux ordres oraux et du plaisir à écouter de la musique ainsi qu'une meilleure conscience de l'environnement (128).

Lachowska et al. ont constaté l'absence de majoration d'hyperactivité autistique chez les enfants implantés; même si les bénéfices semblaient varier d'un patient à un autre. Les auteurs soulignent que les outils habituels pour évaluer les résultats auditifs chez les enfants implantés sont souvent insuffisants pour évaluer les bénéfices chez les enfants avec TSA (129).

1.3.2 Enfants aux «besoins complexes»

Les enfants ayant une surdité associée à d'autres difficultés (autisme, troubles du comportement, retard mental, malformations, poly-handicap). développent dans 70% des cas un score d'intelligibilité (SIR) entre 3 et 5 dans les 5 ans qui suivent l'implantation, versus 96% dans le groupe contrôle des enfants avec une surdité isolée. Seuls 16% des enfants avec ces mêmes difficultés atteignent les scores SIR 4 et 5 versus 61% des enfants du groupe contrôle. Ces résultats étaient inversement proportionnels au nombre d'atteintes associées identifiées chez ces patients (130).

Les enfants ayant une surdité associée à un désordre neurologique central dans un contexte de prématurité, de retard de croissance, d'hypoxie, de faible APGAR ou encore un ictère nucléaire et qui bénéficient d'une implantation cochléaire auront des résultats divers. Les meilleurs résultats sont obtenus chez les enfants avec atteinte cognitive légère comparativement à ceux avec atteinte sévère (131).

En conclusion, les comorbidités limitent le pronostic linguistique. Les enfants ayant un retard mental léger ou modéré peuvent tirer un bénéfice perceptif d'un implant, mais le développement linguistique restera limité ou inexistant.

Il est recommandé d'informer les parents des enfants ayant des pathologies associées à la surdité (pluri et poly-handicaps) de l'éventualité de résultats limités de l'implantation cochléaire (16). Enfin, chaque candidature est discutée de façon multi-disciplinaire (126).

2. Facteurs liés à la déficience auditive:

2.1. Existence d'une audition résiduelle:

Le concept de préservation de l'audition au cours de la chirurgie d'implantation cochléaire permet une préservation des structures de l'oreille interne et une possibilité de stimulation électro-acoustique bénéfique surtout pour ceux qui ont une audition normale ou une surdité légère à moyenne pour les basses fréquences.

La littérature confirme l'effet positif d'une audition résiduelle sur l'acquisition du langage après implantation cochléaire (121,127). La SFORL recommande une chirurgie qui préserve les différentes structures de l'oreille, ainsi que l'utilisation des corticoïdes en péri-opératoire (16).

2.2. Etiologie de la surdité:

Plusieurs auteurs ont étudié les résultats auditifs en fonction de l'étiologie de la surdité.

Singhal K et al. (132) ont étudié les résultats audiologiques après implantation cochléaire chez les enfants présentant une surdité post-méningitique. Ces résultats étaient satisfaisants, fournissant des niveaux fonctionnels de perception et d'intelligibilité de la parole. L'amélioration de l'audition dépend du degré d'ossification cochléaire, de la durée de la surdité avant l'implantation, de la profondeur d'insertion des électrodes et de la présence de séquelles neurologiques.

De ce fait, une implantation précoce et bilatérale est recommandée chez tous les patients présentant une surdité post-méningitique avant que ne s'installe l'ossification cochléaire, pour une insertion optimale de l'électrode, conduisant à la plus grande chance de bonnes performances audiométriques (132)

Yongzhi Liu et al (133) ont étudié l'efficacité de l'implantation cochléaire chez les enfants sourds porteurs d'une mutation génétique du gène GJB2. Ils ont conclu que les performances auditives et l'intelligibilité étaient meilleures si l'âge d'implantation cochléaire était inférieur à 5 ans, le niveau d'éducation des parents et le revenu mensuel familial étaient élevés.

D'autres auteurs ont rapporté qu'au fil du temps, les résultats auditifs post-implantation chez les enfants avec des malformations de l'oreille interne, étaient favorables et comparables à ceux des enfants ayant une oreille interne normale. Par conséquent, ces groupes d'enfants devraient incontestablement avoir la possibilité d'une implantation cochléaire précoce (134). L'implantation cochléaire chez les enfants présentant une neuropathie auditive qu'elle soit due à une prématurité, hypoxie ou une hyper-bilirubinémie

doit être discutées au cas par cas. Les meilleurs résultats sont obtenus chez les enfants ayant une atteinte cognitive légère (1).

Des études récentes ont montré que les résultats des implantations cochléaires chez ces patients sont globalement positifs et dépendent du site de la lésion.

3. Facteurs externes:

3.1. Environnement familial:

Un faible investissement familial est un facteur essentiel pourvoyeur de mauvais résultats perceptifs et linguistiques de l'implantation cochléaire. Holt et al, ont montré que les environnements familiaux de soutien, interactifs et sont associés à de meilleurs résultats linguistiques, psychosociaux et des fonctions exécutives des enfants malentendants (135). La prise en charge de l'enfant sourd doit ainsi inclure un accompagnement familial afin de lui permettre de participer aux décisions et d'être activement impliquée dans la prise en charge à long terme. Ceci nécessite une communication tout en apportant du soutien, de la guidance et de la supervision en pré et post-implantation (136).

Le niveau socioéconomique peut aussi influencer indirectement les résultats de l'implantation cochléaire via le volet intellectuel, émotionnel et financier des parents (133). De ce fait, les enfants issus des familles démunies nécessitent une attention particulière.

3.2. Rééducation orthophonique:

Plusieurs études ont souligné l'importance d'une rééducation orthophonique post-implantation cochléaire. L'IC améliore considérablement les capacités audiolinguistiques et d'élocution des enfants lorsqu'une thérapie verbale auditive intensive est fournie de manière systématique et personnalisée (16). Certes le degré d'amélioration varie selon les enfants mais le rôle de l'orthophoniste ainsi que le soutien parental sont tous deux essentiels pour obtenir les meilleurs résultats (45).

L'American Cochlear Implant Alliance recommande entre 50 et 100 h/an de rééducation orthophonique chez les enfants implantés cochléaires. Certains patients peuvent nécessiter des séances plus longues, en raison de leur pathologie (surdité ancienne, polyhandicaps), de leur environnement socio-culturel (en cas de multilinguisme, de précarité sociale, ou d'isolement géographique) ou si leur progression après implantation est moins bonne que ce qui est prévu (137).

3.3. Appareillage conventionnel avant l'implantation:

Un appareillage conventionnel avant l'implantation permet une stimulation auditive et un accès au langage oral avant l'implantation cochléaire qui influence positivement les résultats (138).

Baser et al (139) ont retrouvé outre l'âge précoce à l'implantation, l'utilisation régulière des prothèses auditives en pré-implantation et la morphologie cochléaire normale sont les facteurs ayant un impact direct sur les résultats de l'implant cochléaire et associés à de

meilleurs résultats auditifs à un an post-implantation.

3.4. Appareillage bimodal:

Pour les enfants qui ont eu une implantation cochléaire unilatérale, le port d'aide auditive controlatérale permet l'amélioration de la perception de la parole dans le silence et dans le bruit, la localisation du son, la différenciation de la qualité du son ainsi que la perception de la musique. Cette amélioration est marquée pour les enfants qui ont une audition résiduelle au niveau de l'oreille non implantée, et en cas de courte période de stimulation unilatérale (140). La SFORL recommande le port d'aide auditive controlatérale en cas d'implantation cochléaire unilatérale chez les enfants qui ont une audition résiduelle (16).

3.5. Implantation cochléaire bilatérale

Les données de la littérature sont unanimes concernant l'effet bénéfique de l'implantation cochléaire bilatérale par rapport à l'implantation unilatérale au niveau de l'intelligibilité de la parole, de la qualité de vie, de la scolarité et du mode de communication (62,125).

En plus de la capacité de localisation, l'implantation cochléaire bilatérale améliore la perception des sons de différentes intensités via la sommation, augmente la perception dans le calme et dans le bruit par l'effet de «l'ombre de la tête» et l'effet dit «squelch» c'est-à-dire l'effet de la fusion des 2 signaux auditifs grâce à laquelle on comprend mieux la parole dans un bruit de fond en faisant abstraction de l'effet de l'amplification (141).

La SFORL recommande une implantation cochléaire bilatérale en cas de syndrome d'Usher, des surdités post-méningitiques, des surdités bilatérales post-traumatiques, et en cas de surdité neuro-sensorielle bilatérale sévère à profonde chez l'enfant. En cas d'implantation séquentielle, un intervalle entre les 2 opérations inférieur à 18 mois est recommandé (16).

En conclusion, En plus du développement du langage oral, l'implantation cochléaire permet d'améliorer la qualité de vie des enfants implantés et de leurs familles.

L'évaluation des résultats reste très hétérogène dans la littérature. De même qu'il existe une grande variabilité inter-individuelle des résultats qui témoignent de nombreux facteurs impactant le succès de l'implantation cochléaire.

Les données de la littérature sont unanimes concernant la supériorité de l'implantation cochléaire bilatérale par rapport à l'implantation unilatérale surtout en terme de localisation des sons et de perception de la parole dans le bruit.

Références

1. RCP_SFORL_Indications_implant_cochléaire_adulte_enfant_2018.pdf.
2. Le suivi du patient implanté cochléaire enfant/adulte Recommandations du groupe de travail.2020.
3. Ling D. Speech development in hearing-impaired children. *J Commun Disord*. 1978;11(2-3):119-24.
4. Les 6 Sons de Ling (Six Ling Sound) [Internet]. Les 6 Sons de Ling (Six Ling Sound). [cité 22 juill 2023]. Disponible sur: <http://implantcochléaire.blogspot.com/2019/05/les-6-sons-de-ling-six-ling-sound.html>
5. Scollie S, Glista D, Tenhaaf J, Dunn A, Malandrino A, Keene K, et al. Stimuli and normative data for detection of Ling-6 sounds in hearing level. 2012;
6. 2009sfaudio-guide-des-bonnes-pratiques-en-audiomc3a9trie-de-lenfant.pdf.
7. Les Cahiers de l'Audition 2014 N° 6 | Collège National d'Audioprothèse [Internet]. [cité 22 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.college-nat-audio.fr/cahiers-de-laudition/les-cahiers-de-laudition-2014-ndeg-6>
8. Pirochchai P, Tanamai N, Kiatthanabumrung S, Kaewsiri S, Thongyai K, Atchariyasathian V, et al. Multicentre cohort study of cochlear implantation outcomes in Thailand. *BMJ Open*. 2021;11(11):e054041.
9. Joly CA, Reynard P, Mezzi K, Bakhos D, Bergeron F, Bonnard D, et al. Recommandations de la Société française d'ORL et de chirurgie de la face et du cou (SFORL) et de la Société française d'audiologie (SFA) pour la pratique de l'audiométrie vocale dans le bruit chez l'adulte. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale*. 2022;139(1):20-7.
10. Loundon N, Busquet D. Implant cochléaire pédiatrique et rééducation orthophonique: comment adapter les pratiques? Flammarion Médecine-sciences; 2009.
11. Les cahiers de l'audition. 2005; 18 (4).
12. Torkildsen J von K, Hitchins A, Myhrum M, Wie OB. Speech-in-noise perception in children with cochlear implants, hearing aids, developmental language disorder and typical development: The effects of linguistic and cognitive abilities. *Front Psychol*. 2019;10:2530.
13. Academy-of-Audiology-Cochlear-Implant-Practice-Guidelines 2019.pdf.
14. Thieme E-Journals - Seminars in Hearing / Full Text [Internet]. [cité 28 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0040-1714744>
15. Boisvert I, Reis M, Au A, Cowan R, Dowell RC. Cochlear implantation outcomes in adults: A scoping review. *PLoS One*. 2020;15(5):e0232421.
16. Simon F, Roman S, Truy E, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Recommandations de la SFORL (version courte) sur l'indication de l'implant cochléaire chez l'enfant. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale*. 1 oct 2019;136(5):376-82.
17. Uhler K, Warner-Czyz A, Gifford R, Group PW. Pediatric minimum speech test battery. *J Am Acad Audiol*. 2017;28(03):232-47.
18. Moog JS, Popelka GR, Geers AE, Russo MH. Early speech perception test for profoundly hearing-impaired children. Central Institute for the deaf; 1990.
19. Jerger S, Jerger J. Pediatric speech intelligibility test: Performance-intensity characteristics.

- Ear Hear. 1982;3(6):325-34.
20. Kirk KI, Pisoni DB, Osberger MJ. Lexical effects on spoken word recognition by pediatric cochlear implant users. *Ear Hear.* 1995;16(5):470.
 21. Peterson GE, Lehiste I. Revised CNC lists for auditory tests. *J Speech Hear Disord.* 1962;27(1):62-70.
 22. Bench J, Kowal Á, Bamford J. The BKB (Bamford-Kowal-Bench) sentence lists for partially-hearing children. *Br J Audiol.* 1979;13(3):108-12.
 23. Holder JT, Sheffield SW, Gifford RH. Speech understanding in children with normal hearing: Sound field normative data for BabyBio, BKB-SIN, and QuickSIN. *Otol Neurotol.* 2016;37(2):e50-5.
 24. Spahr AJ, Dorman MF, Litvak LM, Cook S, Loiselle LM, DeJong MD, et al. Development and validation of the pediatric AzBio sentence lists. *Ear Hear.* 2014;35(4):418.
 25. Meinzen-Derr J, Wiley S, Creighton J, Choo D. Auditory skills checklist: Clinical tool for monitoring functional auditory skill development in young children with cochlear implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2007;116(11):812-8.
 26. Kühn-Inacker H, Weichbold V, Tsiakpini L, Coninx S, D'Haese P, Almadin S. LittleEars auditory questionnaire. *Innsbr Austria Med-El.* 2003;
 27. Obrycka A, Lorens A, García JLP, Piotrowska A, Skarzynski H. Validation of the LittleEARS Auditory Questionnaire in cochlear implanted infants and toddlers. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2017;93:107-16.
 28. Zimmerman-Phillips S, Osberger MJ, Robbins AM. Infant-toddler: meaningful auditory integration scale (IT-MAIS). *Sylmar Adv Bionics Corp.* 1997;
 29. Robbins AM, Renshaw JJ, Berry SW. Evaluating meaningful auditory integration in profoundly hearing-impaired children. *Otol Neurotol.* 1991;12:144-50.
 30. Ching TY, Hill M, Brew J, Incerti P, Priolo S, Rushbrook E, et al. The effect of auditory experience on speech perception, localization, and functional performance of children who use a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears: el efecto de la experiencia auditiva sobre la percepción del lenguaje, la localización y el desempeño funcional en niños que usan un implante coclear y un auxiliar auditivo en el oído opuesto. *Int J Audiol.* 2005;44(12):677-90.
 31. Boothroyd A. Developments in speech audiometry. *Br J Audiol.* 1968;2(1):3-10.
 32. Spahr AJ, Dorman MF, Litvak LM, Van Wie S, Gifford RH, Loizou PC, et al. Development and validation of the AzBio sentence lists. *Ear Hear.* 2012;33(1):112.
 33. Niquette P, Arcaroli J, Revit L, Parkinson A, Staller S, Skinner M, et al. Development of the BKB-SIN Test. In: annual meeting of the American Auditory Society, Scottsdale, AZ. 2003.
 34. Boothroyd A, Hanin L, Hnath T. A sentence test of speech perception: Reliability, set equivalence, and short term learning. 1985;
 35. Nilsson M, Soli SD, Sullivan JA. Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J Acoust Soc Am.* 1994;95(2):1085-99.
 36. Turton L, Souza P, Thibodeau L, Hickson L, Gifford R, Bird J, et al. Guidelines for best practice in the audiological management of adults with severe and profound hearing loss. In: *Seminars in hearing.* Thieme Medical Publishers, Inc. 333 Seventh Avenue, 18th Floor, New York, NY ...; 2020. p. 141-246.

37. Battery MST. Minimum speech test battery for adult cochlear implant users. Los Angel CA House Ear Inst. 2011;
38. Cox RM, Alexander GC. The abbreviated profile of hearing aid benefit. *Ear Hear.* 1995;16(2):176-86.
39. Dillon H, James A, Ginis J. Client Oriented Scale of Improvement (COSI) and its relationship to several other measures of benefit and satisfaction provided by hearing aids. *J Am Acad Audiol.* 1997;8(1).
40. Gatehouse S. A self-report outcome measure for the evaluation of hearing aid fittings and services. *Health Bull (Edinb).* 1999;57(6):424-36.
41. Newman CW, Weinstein BE, Jacobson GP, Hug GA. The Hearing Handicap Inventory for Adults: psychometric adequacy and audiometric correlates. *Ear Hear.* 1990;11(6):430-3.
42. Ventry IM, Weinstein BE. The hearing handicap inventory for the elderly: a new tool. *Ear Hear.* 1982;3(3):128-34.
43. Gatehouse, S. & Noble, W. (2004). The Speech, Spatial... - Google Scholar [Internet]. [cité 25 juill 2023]. Disponible sur: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_
44. Yang Y, Chen M, Zheng J, Hao J, Liu B, Liu W, et al. Clinical evaluation of cochlear implantation in children younger than 12 months of age. *Pediatr Investig.* 2020;4(02):99-103.
45. Venkataramani N, Anbuezhian R, Maheswari SS, Arumugam SV, Raghu Nandhan S, Kameswaran M. Comparison of clinician versus parental perspectives of outcomes in cochlear implantees: a South Indian experience. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2021;73(1):41-4.
46. Liu S, Wang F, Chen P, Zuo N, Wu C, Ma J, et al. Assessment of outcomes of hearing and speech rehabilitation in children with cochlear implantation. *J Otol.* 2019;14(2):57-62.
47. Al-Shawi YA, Mesallam TA, Albakheet NM, Alshawi MA, Alfallaj RM, Aldrees TM, et al. Validation and inter-rater reliability testing of the Arabic version of speech intelligibility rating among children with cochlear implant. *Saudi Med J.* 2020;41(10):1139.
48. Noël-Petroff N, Dumont A, Busquet D. Le profil APCEI: une méthode d'affichage des performances audio-phonologiques des enfants sourds appareillés ou implantés. *Connaiss Surdités.* 2006;17:19-27.
49. ksentini Amel. Implant cochléaire chez l'enfant: Evaluation des résultats par le profil acceptation de l'implant, perception auditive, compréhension orale, expression orale, intelligibilité vocale. *Th Med.* 2019.
50. Moufida Yahyaoui. implantation cochléaire chez l'enfant. étude descriptive et évaluation des résultats. *Th Med.* 2021.
51. Allen C, Nikolopoulos TP, Dyar D, O'Donoghue GM. Reliability of a rating scale for measuring speech intelligibility after pediatric cochlear implantation. *Otol Neurotol.* 2001;22(5):631-3.
52. Gérard JM, Deggouj N, Hupin C, Buisson AL, Monteyne V, Lavis C, et al. Evolution of communication abilities after cochlear implantation in prelingually deaf children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2010;74(6):642-8.
53. Borton SA, Mauze E, Lieu JE. Quality of life in children with unilateral hearing loss: a pilot study. 2010;
54. Wake M, Hughes EK, Poulakis Z, Collins C, Rickards FW. Outcomes of children with mild-profound congenital hearing loss at 7 to 8 years: A population study. *Ear Hear.* 2004;25(1):1-8.

55. Looi V, Lee ZZ, Loo JH. Quality of life outcomes for children with hearing impairment in Singapore. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;80:88-100.
56. Wiebe S, Guyatt G, Weaver B, Matijevic S, Sidwell C. Comparative responsiveness of generic and specific quality-of-life instruments. *J Clin Epidemiol*. 2003;56(1):52-60.
57. Patrick DL, Deyo RA. Generic and disease-specific measures in assessing health status and quality of life. *Med Care*. 1989;S217-32.
58. Group TE. EuroQol-a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy*. 1990;16(3):199-208.
59. Sach TH, Barton GR. Interpreting parental proxy reports of (health-related) quality of life for children with unilateral cochlear implants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2007;71(3):435-45.
60. Cheng AK, Rubin HR, Powe NR, Mellon NK, Francis HW, Niparko JK. Cost-utility analysis of the cochlear implant in children. *Jama*. 2000;284(7):850-6.
61. Horsman J, Furlong W, Feeny D, Torrance G. The Health Utilities Index (HUI®): concepts, measurement properties and applications. *Health Qual Life Outcomes*. 2003;1(1):1-13.
62. Lovett RE, Kitterick PT, Hewitt CE, Summerfield AQ. Bilateral or unilateral cochlear implantation for deaf children: an observational study. *Arch Dis Child*. 2010;95(2):107-12.
63. Sparreboom M, Snik AF, Mylanus EA. Sequential bilateral cochlear implantation in children: quality of life. *Arch Otolaryngol Neck Surg*. 2012;138(2):134-41.
64. Starfield B, Ensminger M, Riley A, McGahey P, Skinner A, Kim S, et al. Adolescent health status measurement: development of the Child Health and Illness Profile. *Pediatrics*. 1993;91(2):430-5.
65. Clark JH, Wang NY, Riley AW, Carson CM, Meserole RL, Lin FR, et al. Timing of cochlear implantation and parents' global ratings of children's health and development. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol*. 2012;33(4):545.
66. Riley AW, Forrest CB, Starfield B, Rebok GW, Robertson JA, Green BF. The parent report form of the CHIP-Child Edition: reliability and validity. *Med Care*. 2004;210-20.
67. Landgraf JM, Maunsell E, Nixon Speechley K, Bullinger M, Campbell S, Abetz L, et al. Canadian-French, German and UK versions of the Child Health Questionnaire: methodology and preliminary item scaling results. *Qual Life Res*. 1998;7:433-45.
68. Ravens-Sieberer U, Gosch A, Abel T, Auquier P, Bellach BM, Bruil J, et al. Quality of life in children and adolescents: a European public health perspective. *Soz Präventivmedizin*. 2001;46(5):294-302.
69. Wake M, Hughes EK, Collins CM, Poulakis Z. Parent-reported health-related quality of life in children with congenital hearing loss: A population study. *Ambul Pediatr*. 2004;4(5):411-7.
70. Varni JW, Burwinkle TM, Seid M, Skarr D. The PedsQLTM* 4.0 as a pediatric population health measure: feasibility, reliability, and validity. *Ambul Pediatr*. 2003;3(6):329-41.
71. Varni JW, Limbers CA, Burwinkle TM. Impaired health-related quality of life in children and adolescents with chronic conditions: a comparative analysis of 10 disease clusters and 33 disease categories/severities utilizing the PedsQLTM 4.0 Generic Core Scales. *Health Qual Life Outcomes*. 2007;5:1-15.
72. Beijen JW, Snik AF, Mylanus EA. Sound localization ability of young children with bilateral cochlear implants. *Otol Neurotol*. 2007;28(4):479-85.
73. Rajendran V, Roy FG. Comparison of health related quality of life of primary school deaf children with and without motor impairment. *Ital J Pediatr*. 2010;36:1-5.

74. Edwards TC, Huebner CE, Connell FA, Patrick DL. Adolescent quality of life, part I: conceptual and measurement model. *J Adolesc.* 2002;25(3):275-86.
75. Patrick DL, Edwards TC, Topolski TD. Adolescent quality of life, part II: initial validation of a new instrument. *J Adolesc.* 2002;25(3):287-300.
76. Kushalnagar P, Topolski TD, Schick B, Edwards TC, Skalicky AM, Patrick DL. Mode of communication, perceived level of understanding, and perceived quality of life in youth who are deaf or hard of hearing. *J Deaf Stud Deaf Educ.* 2011;16(4):512-23.
77. Schick B, Skalicky A, Edwards T, Kushalnagar P, Topolski T, Patrick D. School placement and perceived quality of life in youth who are deaf or hard of hearing. *J Deaf Stud Deaf Educ.* 2013;18(1):47-61.
78. Ravens-Sieberer U, Erhart M, Wille N, Wetzel R, Nickel J, Bullinger M. Generic health-related quality-of-life assessment in children and adolescents: methodological considerations. *Pharmacoeconomics.* 2006;24:1199-220.
79. Robitail S, Ravens-sieberer U, Simeoni M, et al. Testing the structural and cross-cultural validity of the KIDSCREEN-27 quality of life questionnaire. *Qual Life Res* 2007 ; 16 : 1335–45.
80. Razafimahefa-Raelina T, Farinetti A, Nicollas R, Triglia JM, Roman S, Anderson L. Auto-et hétéroévaluation de la qualité de vie des enfants implantés cochléaires. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* 2016;133(1):29-33.
81. Kubba H, Swan IR, Gatehouse S. The Glasgow Children's Benefit Inventory: a new instrument for assessing health-related benefit after an intervention. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2004;113(12):980-6.
82. Perneger TV, Combescure C, Courvoisier DS. General population reference values for the French version of the EuroQol EQ-5D health utility instrument. *Value Health.* 2010;13(5):631-5.
83. Group Whoq. Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument (WHOQOL). *Qual Life Res.* 1993;2:153-9.
84. Baumann C, Erpelding ML, Régat S, Collin JF, Briancon S. The WHOQOL-BREF questionnaire: French adult population norms for the physical health, psychological health and social relationship dimensions. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2010;58(1):33-9.
85. McHorney CA, Ware Johnne JR, ANASTASIAE R. The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): II. Psychometric and clinical tests of validity in measuring physical and mental health constructs. *Med Care.* 1993;31(3):247-63.
86. Leplège A, Ecosse E, Verdier A, Perneger TV. The French SF-36 Health Survey: translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *J Clin Epidemiol.* 1998;51(11):1013-23.
87. Gatehouse S, Browning GG, Robinson K. The Glasgow health status questionnaires manual. *Glasg Scotl MRC Inst Hear Res Glasg R Infirm.* 1998;
88. Robinson K, Gatehouse S, Browning GG. Measuring patient benefit from otorhinolaryngological surgery and therapy. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1996;105(6):415-22.
89. Patrick DL, Edwards TC, Skalicky AM, Schick B, Topolski TD, Kushalnagar P, et al. Validation of a quality-of-life measure for deaf or hard of hearing youth. *Otolaryngol Neck Surg.* 2011;145(1):137-45.
90. Hintermair M. Health-related quality of life and classroom participation of deaf and hard-of-hearing students in general schools. *J Deaf Stud Deaf Educ.* 2011;16(2):254-71.

91. Archbold SM, Lutman ME, Gregory S, O'Neill C, Nikolopoulos TP. Parents and their deaf child: their perceptions three years after cochlear implantation. *Deaf Educ Int*. 2002;4(1):12-40.
92. O'Neill C, Lutman ME, Archbold SM, Gregory S, Nikolopoulos TP. Parents and their cochlear implanted child: questionnaire development to assess parental views and experiences. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2004;68(2):149-60.
93. Nunes T, Pretzlik U, Ilicak S. Validation of a parent outcome questionnaire from pediatric cochlear implantation. *J Deaf Stud Deaf Educ*. 2005;10(4):330-56.
94. Incesulu A, Vural M, Erkam U. Children with cochlear implants: parental perspective. *Otol Neurotol*. 2003;24(4):605-11.
95. Nicholas JG, Geers AE. Personal, social, and family adjustment in school-aged children with a cochlear implant. *Ear Hear*. 2003;24(1):69S-81S.
96. Edwards L, Hill T, Mahon M. Quality of life in children and adolescents with cochlear implants and additional needs. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2012;76(6):851-7.
97. Umansky AM, Jeffe DB, Lieu JE. The HEAR-QL: quality of life questionnaire for children with hearing loss. *J Am Acad Audiol*. 2011;22(10):644-53.
98. Rachakonda T, Jeffe DB, Shin JJ, Mankarious L, Fanning RJ, Lesperance MM, et al. Validity, discriminative ability, and reliability of the hearing-related quality of life questionnaire for adolescents. *The Laryngoscope*. 2014;124(2):570-8.
99. Hinderink JB, Krabbe PF, Van Den Broek P. Development and application of a health-related quality-of-life instrument for adults with cochlear implants: the Nijmegen cochlear implant questionnaire. *Otolaryngol Neck Surg*. 2000;123(6):756-65.
100. Ambert-Dahan E, Laouénan C, Lebredonchel M, Borel S, Carillo C, Bouccara D, et al. Evaluation of the impact of hearing loss in adults: validation of a quality of life questionnaire. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2018;135(1):25-31.
101. Ashori M. Speech intelligibility and auditory perception of pre-school children with Hearing Aid, cochlear implant and Typical Hearing. *J Otol*. 2020;15(2):62-6.
102. Zhao EE, Dornhoffer JR, Loftus C, Nguyen SA, Meyer TA, Dubno JR, et al. Association of patient-related factors with adult cochlear implant speech recognition outcomes: a meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2020;146(7):613-20.
103. Bernhard N, Gauger U, Romo Ventura E, Uecker FC, Olze H, Knopke S, et al. Duration of deafness impacts auditory performance after cochlear implantation: a meta-analysis. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2021;6(2):291-301.
104. Von Muenster K, Baker E. Oral communicating children using a cochlear implant: Good reading outcomes are linked to better language and phonological processing abilities. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2014;78(3):433-44.
105. Fagan MK. Spoken vocabulary development in deaf children with and without cochlear implants. *Oxf Handb Deaf Stud Lang*. 2016;132-45.
106. Duchesne L. Grammatical competence after early cochlear implantation. *Oxf Handb Deaf Stud Lang*. 2016;113-31.
107. Kumar et al. Receptive and Expressive Language in Hindi 408 Speaking Children. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2021;25(3):e407–e412.
108. Busch T, Brinchmann EI, Braeken J, Wie OB. Receptive vocabulary of children with bilateral cochlear implants from 3 to 16 years of age. *Ear Hear*. 2022;43(6):1866-80.
109. Wenrich KA, Davidson LS, Uchanski RM. The effect of cochlear implant interval on spoken language skills of pediatric bilateral cochlear implant users. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol*. 2019;40(6):e600.

110. Välimaa T, Kunnari S, Antti A. et al. Spoken language skills in children with hearing aids or cochlear implants. *Ear & Hearing* 2022;43:220-233.
111. Wie OB, von Koss Torkildsen J, Schaubert S, Busch T, Litovsky R. Long-term language development in children with early simultaneous bilateral cochlear implants. *Ear Hear.* 2020;41(5):1294.
112. Monshizadeh L, Vameghi R, Rahimi M, Sajedi F, Hashemi SB, Yadegari F. Is There Any Association Between Language Acquisition and Cognitive Development in Cochlear-Implanted Children? *J Int Adv Otol.* 2021;17(3):195.
113. Ching TY, Dillon H, Leigh G, Cupples L. Learning from the Longitudinal Outcomes of Children with Hearing Impairment (LOCHI) study: Summary of 5-year findings and implications. *Int J Audiol.* 2018;57(sup2):S105-11.
114. Kronenberger WG, Xu H, Pisoni DB. Longitudinal development of executive functioning and spoken language skills in preschool-aged children with cochlear implants. *J Speech Lang Hear Res.* 2020;63(4):1128-47.
115. Nijmeijer HG, Keijsers NM, Huinck WJ, Mylanus EA. The effect of cochlear implantation on autonomy, participation and work in postlingually deafened adults: a scoping review. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021;278:3135-54.
116. Völter C, Götze L, Dazert S, Falkenstein M, Thomas JP. Can cochlear implantation improve neurocognition in the aging population? *Clin Interv Aging.* 2018;701-12.
117. Razafimahefa-Raoelina T, Farinetti A, Nicollas R, Triglia JM, Roman S, Anderson L. Auto-et hétéroévaluation de la qualité de vie des enfants implantés cochléaires. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* 2016;133(1):29-33.
118. McRackan TR, Bauschard M, Hatch JL, Franko-Tobin E, Droghini HR, Nguyen SA, et al. Meta-analysis of quality-of-life improvement after cochlear implantation and associations with speech recognition abilities. *The Laryngoscope.* 2018;128(4):982-90.
119. Meserole RL, Carson CM, Riley AW, Wang NY, Quittner AL, Eisenberg LS, et al. Assessment of health-related quality of life 6 years after childhood cochlear implantation. *Qual Life Res.* 2014;23:719-31.
120. Silva et al. Variables influençant la qualité de vie des enfants porteurs d'implants cochléaires : une revue systématique. *CoDAS* 2021;33(1):e20190153 DOI : 10.1590/2317-1782/20202019153).
121. Huber M, Havas C. Restricted speech recognition in noise and quality of life of hearing-impaired children and adolescents with cochlear implants—need for studies addressing this topic with valid pediatric quality of life instruments. *Front Psychol.* 2019;10:2085.
122. Rostkowska J, Skarzynski PH, Kobosko J, Gos E, Skarzynski H. Health-related quality of life in adults with profound postlingual hearing loss before and after cochlear implantation. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021;278(9):3393-9.
123. Sharma A, Spahr A, Dorman M, Todd NW. Early cochlear implantation in children allows normal development of central auditory pathways. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2002;111(5_suppl):38-41.
124. Castellanos I, Pisoni D, Kronenberger W, Beer J. Neurocognitive function in deaf children with cochlear implants: early development and longterm outcomes. *Oxf Handb Deaf Stud Lang.* 2016;264-75.

125. Sharma SD, Cushing SL, Papsin BC, Gordon KA. Hearing and speech benefits of cochlear implantation in children: A review of the literature. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2020;133:109984.
126. Loundon N. Implants cochléaires chez l'enfant: bilan et perspectives. *Réal Pédiatriques.* 2014;
127. Phan J, Houston DM, Ruffin C, Ting J, Holt RF. Factors affecting speech discrimination in children with cochlear implants: Evidence from early-implanted infants. *J Am Acad Audiol.* 2016;27(06):480-8.
128. Eshraghi AA, Nazarian R, Telischi FF, Martinez D, Hodges A, Velandia S, et al. Cochlear implantation in children with autism spectrum disorder. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol.* 2015;36(8):e121.
129. Lachowska M, Pastuszka A, \Lukaszewicz-Moszyńska Z, Mikołajewska L, Niemczyk K. Cochlear implantation in autistic children with profound sensorineural hearing loss. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2018;84:15-9.
130. Nikolopoulos TP, Archbold SM, Wever CC, Lloyd H. Speech production in deaf implanted children with additional disabilities and comparison with age-equivalent implanted children without such disorders. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2008;72(12):1823-8.
131. Steven RA, Green KM, Broomfield SJ, Henderson LA, Ramsden RT, Bruce IA. Cochlear implantation in children with cerebral palsy. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2011;75(11):1427-30.
132. Singhal K, Singhal J, Muzaffar J, Monksfield P, Bance M. Outcomes of cochlear implantation in patients with post-meningitis deafness: a systematic review and narrative synthesis. *J Int Adv Otol.* 2020;16(3):395.
133. Liu Y, Li Y, Zhao Y, Ao L, Wen Y, Ding H. The Effectiveness of Cochlear Implantation for Children of Hereditary Deafness: A Multicenter Retrospective Study. *J Healthc Eng.* 2021;2021:1-6.
134. Othman IA, Abdullah A, Goh BS, Umat C, Tyler RS. Auditory performance in early implanted children with cochleovestibular malformation and cochlear nerve deficiency. *J Int Adv Otol.* 2020;16(3):297.
135. Holt RF, Beer J, Kronenberger WG, Pisoni DB, Lalonde K, Mulinaro L. Family environment in children with hearing aids and cochlear implants: Associations with spoken language, psychosocial functioning, and cognitive development. *Ear Hear.* 2020;41(4):762.
136. Holt RF, Beer J, Kronenberger WG, Pisoni DB, Lalonde K. Contribution of family environment to pediatric cochlear implant users' speech and language outcomes: Some preliminary findings. 2012;
137. Position Statement. Pediatric Habilitation Following Cochlear Implantation. *American Academy of Otolaryngology-Head & Neck Surgery.* 2016.
138. Nicholas JG, Geers AE. Effects of early auditory experience on the spoken language of deaf children at 3 years of age. *Ear Hear.* 2006;27(3):286.
139. Brajendra Baser. A Study to Determine Various Factors Influencing Auditory Outcomes in Paediatric Cochlear Implantation.. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2020. 72(4):453–56.
140. Polonenko MJ, Papsin BC, Gordon KA. Cortical plasticity with bimodal hearing in children with asymmetric hearing loss. *Hear Res.* 2019;372:88-98.
141. Lammers MJ, van der Heijden GJ, Pourier VE, Grolman W. Bilateral cochlear implantation in children: a systematic review and best-evidence synthesis. *The Laryngoscope.* 2014;124(7):1694-9.

im 92672577
Conception & Impression
Design
rachid.rahmeni23@gmail.com

asm.
All Soft Multimedia

focus
GRAPHICS



www.storl.net

