

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

**FUNÇÃO VESTIBULAR EM DOENTES
SUBMETIDOS A IMPLANTE COCLEAR.
QUAL O VERDADEIRO IMPACTO?**

Bernardo Pinto Hespanhol Coelho

M

2023



FUNÇÃO VESTIBULAR EM DOENTES SUBMETIDOS A IMPLANTE COCLEAR. QUAL O VERDADEIRO IMPACTO?

Dissertação de candidatura ao grau de Mestre em Medicina, submetida ao Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar – Universidade do Porto

Bernardo Pinto Hespanhol Coelho

Aluno do 6º ano profissionalizante de Mestrado Integrado em Medicina

Afiliação: Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar – Universidade do Porto

Endereço: Praceta de Sagres, 82, 4405-700 Vila Nova de Gaia

Endereço eletrónico: up201705926@edu.icbas.up.pt

Orientador: Dr. João José Vale Lino

Assistente Hospitalar de Otorrinolaringologia – Centro Hospitalar Universitário de Santo António

Afiliação: Centro Hospitalar Universitário de Santo António e Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar

Endereço: Hospital de Santo António, Centro Hospitalar do Porto, Largo do Prof. Abel Salazar, 4099-001 Porto

Coorientador: João Nuno Beirão Melo

Assistente Graduado de Oftalmologia – Centro Hospitalar Universitário de Santo António

Afiliação: Centro Hospitalar Universitário de Santo António e Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar

Endereço: Hospital de Santo António, Centro Hospitalar do Porto, Largo do Prof. Abel Salazar, 4099-001 Porto

junho 2023

ASSINATURAS

Bruno José Ceballos

(Assinatura do Estudante)

Juliana

(Assinatura do Orientador)

Bruno

(Assinatura do Coorientador)

Porto, Junho de 2023

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao Dr. João Lino que foi quem me fez olhar para esta especialidade de forma diferente e despertou em mim o gosto por ela. Tenho também de agradecer toda a disponibilidade, prontidão e confiança que depositou em mim durante a realização desta dissertação. Sem a sua orientação e experiência todo este trabalho teria sido impossível. Deixo também uma palavra de gratidão à Dra. Maria Casanova que me acompanhou e orientou de perto ao longo de todos estes meses. Ao Prof. Melo Beirão pela sua disponibilidade e tutoria.

À minha família por me apoiar e encorajar durante todo este trajeto, com especial destaque para a minha Mãe e o meu Pai que sempre estiveram do meu lado, me educaram e forneceram todas as ferramentas para que fosse possível alcançar o meu sonho. Deixo ainda o meu agradecimento ao meu irmão que sempre foi um pilar importante na minha vida e um exemplo a seguir.

Por fim, deixo um especial agradecimento a todos os meus amigos, que tornaram toda esta viagem ainda mais maravilhosa e me moldaram enquanto pessoa.

Resumo

Introdução: Os implantes cocleares permitem desde há cerca de 30 anos, uma recuperação da função auditiva em adultos e crianças com surdez bilateral, neurosensorial severa ou profunda, o que resulta numa melhoria significativa da qualidade de vida destes indivíduos que, caso contrário, teriam uma grande incapacidade para toda a vida. Apesar de extremamente benéfico e de ter sido um grande avanço na especialidade, este tipo de intervenção tem os seus riscos sobretudo no que diz respeito aos órgãos que são contíguos como o sistema vestibular. Existe um leque variado de exames para avaliar a função vestibular dos quais se destacam a videonistagmografia (VNG), posturografia, as provas calóricas, head impulse test (HIT) e o vídeo head impulse test (v-HIT). Este último exame tem ganho preponderância, uma vez que consegue estimular os canais semicirculares de forma não invasiva.

Objetivos: Este estudo tem como objetivo avaliara função vestibular e a audição residual pré e pós-implante coclear, através do v-HIT e audiometria, e investigar se existe correlação.

Métodos: Foi realizada uma análise retrospectiva que incluiu pacientes adultos submetidos a colocação de Implante Coclear unilateral no Serviço de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial no Centro Hospitalar Universitário de Santo António (CHUdSA) e que realizaram avaliação da função vestibular com *video Head Impulse Test* (v-HIT) pré e pós a implantação coclear. Foram ainda analisados dados sociodemográficos, relativos ao procedimento cirúrgico, assim como informações dos exames complementares de diagnóstico realizados. A análise estatística foi realizada com recurso ao Statistical Package for the Social Sciences (SPSS™) versão 29.

Resultados: 28 pacientes participaram neste estudo. Da totalidade da amostra, no v-HIT pré-operatório, 6 (21.4 %) apresentavam função normal e 22 (78.6%) função diminuída. Não existiu nenhum caso em que se tenha verificado o agravamento da função vestibular de “normal” para “diminuída”, para qualquer um dos canais semicirculares. A idade do doente não se correlacionou de forma estatisticamente significativa com um “ganho diminuído” no VOR pós-operatório ($p=0.72$). O grau de perda auditiva pré-operatória também não se relacionou de forma estaticamente significativa com os resultados globais dos v-HIT pós-operatórios ($p=0.089$). Não se verificou nenhuma correlação entre o PTA pós-operatório e a função vestibular pré ($p=0.84$) ou pós-operatório ($p=0.12$)

Conclusão: Neste estudo, não se verificou um agravamento significativo da função vestibular objetivada com recurso ao v-HIT em pacientes submetidos a colocação de implante coclear. Para além disso, não se verificou correlação entre a função vestibular e a audição residual após a cirurgia.

Palavras-Chave: Implante coclear, Função vestibular, v-HIT, teste calórico, VEMP's, VOR, Sintomas Vestibulares.

Abstract

Introduction: Cochlear implants have allowed for the restoration of auditory function in adults and children with severe or profound bilateral sensorineural deafness for approximately 30 years. This has resulted in a significant improvement in the quality of life for individuals who would otherwise face lifelong disability. Despite being highly beneficial and a major advancement in the field, this type of intervention carries risks, particularly regarding adjacent organs such as the vestibular system. There is a range of tests available to assess vestibular function, including videonystagmography (VNG), posturography, caloric tests, head impulse test (HIT), and video head impulse test (v-HIT). The latter test has gained prominence as it can non-invasively stimulate semicircular canals.

Objectives: This study aims to evaluate vestibular function and residual hearing before and after cochlear implantation using v-HIT and audiometry and investigate if there is a correlation between the two.

Methods: A retrospective analysis was conducted, including adult patients who underwent unilateral cochlear implantation at the Department of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery at the Centro Hospitalar Universitário de Santo António (CHUdSA) and underwent vestibular function assessment with video Head Impulse Test (v-HIT) pre- and post-implantation. Sociodemographic data, surgical procedure-related information, and diagnostic test results were analyzed. Statistical analysis was performed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 29.

Results: A total of 28 patients participated in this study. In the preoperative v-HIT, 6 patients (21.4%) exhibited normal function, while 22 patients (78.6%) had diminished function. There were no cases where the vestibular function worsened from "normal" to "diminished" in any of the semicircular canals. Patient age did not show a statistically significant correlation with a "diminished gain" in postoperative VOR ($p=0.72$). The degree of preoperative hearing loss also did not significantly correlate with overall postoperative v-HIT results ($p=0.089$). There was no correlation found between postoperative PTA and preoperative ($p=0.84$) or postoperative ($p=0.12$) vestibular function.

Conclusion: This study did not find a significant worsening of vestibular function, as assessed by v-HIT, in patients undergoing cochlear implantation. Furthermore, there was no correlation observed between vestibular function and residual hearing after surgery.

Keywords: Cochlear implant, Vestibular function, v-HIT, caloric test, VEMP's, VOR, Vestibular symptoms.

Lista de abreviaturas

CAE – Canal Auditivo Externo

CDC - *Center for Disease Control and Prevention*

CHUdSA - Centro Hospitalar Universitário de Santo António

CSC's - Canais semicirculares

dB – Decibéis

DEFI - Departamento de Ensino, Formação e Investigação

FDA - Food and Drug Administration

HIT – Head Impulse Test

Hz - Hertz

LARP - Left Anterior-Right Posterior

OMA - Otite Média Aguda

PTA - Pure Tone Average

RAI - Responsável pelo Acesso à Informação

RALP - Right Anterior-Left Posterior

RM - Ressonância Magnética

SPSS - Statistical Package for the Social Sciences

TC - Tomografia Computorizada

VEMPs - Vestibular Evoked Myogenic Potentials

VNG – Videonistagmografia

VOR – Reflexo Vestibulo Ocular

v-HIT - *Video Head Impulse Test*

Lista de tabelas

Tabela I – Classificação do grau de severidade da surdez.

Tabela II – Critérios convencionais para a colocação de implante coclear.

Tabela III – Dados sociodemográficos e relativos à cirurgia.

Tabela IV – Resultados do ganho do VOR no lado operado no contexto pré e pós-operatório.

Lista de figuras

Figura 1 – Componente externo (esquerda) e interno (direita) de um implante coclear.

Figura 2 – Evolução das incisões ao longo do tempo.

Figura 3 – Colocação do recetor do implante coclear na bolsa subperiosteal.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	<i>i</i>
<i>Resumo</i>	<i>ii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iii</i>
<i>Lista de abreviaturas</i>	<i>iii</i>
<i>Lista de tabelas</i>	<i>v</i>
<i>Lista de figuras</i>	<i>vi</i>
1. <i>Introdução e Nível de Importância</i>	1
2. <i>Contexto Histórico</i>	2
3. <i>Implantes Cocleares</i>	3
3.1- <i>Hardware e modo de funcionamento</i>	3
3.2– <i>Avaliação Pré-Operatória e Critérios de Implantação</i>	4
3.2.1 – <i>Critérios de Implantação</i>	5
3.2.2 – <i>Avaliação Audiométrica</i>	6
3.2.3 – <i>Avaliação Imagiológica</i>	7
3.2.4- <i>Avaliação Vestibular</i>	8
4. <i>Técnicas Cirúrgicas e a sua Evolução</i>	8
4.1 - <i>Evolução da Incisão</i>	9
4.2– <i>Fixação do Implante Coclear</i>	10
4.3– <i>Abordagem do Ouvido Médio</i>	11
4.4 – <i>Estimulação Eletroacústica</i>	12
4.5– <i>Pós-Operatório e Programação do dispositivo</i>	13
5. <i>Complicações</i>	14
5.1– <i>Complicações Minor</i>	15
5.1.1 – <i>Infeciosas</i>	15
5.1.2– <i>Neurológicas</i>	16
5.1.3- <i>Vestibulares</i>	16
5.2– <i>Complicações Major</i>	17
5.2.1 – <i>Infeciosas</i>	17
5.2.2– <i>Colesteatoma</i>	17
5.2.3 - <i>Falhas do Dispositivo</i>	18
5.2.4 – <i>Complicações com Eléttodos</i>	18
6. <i>Objetivo do estudo</i>	19
7. <i>Materiais e Métodos</i>	19
8. <i>Resultados</i>	21
9. <i>Discussão</i>	23
10. <i>Conclusão</i>	26
11. <i>Apêndice: Figuras</i>	27
12. <i>Apêndice Tabelas</i>	28

13. *Referências*.....30

1. Introdução e Nível de Importância

A perda de audição ou surdez do tipo neurosensorial configura o déficit sensitivo mais prevalente na idade adulta.¹ De acordo com os mais recentes dados da Organização Mundial de Saúde (27 de Fevereiro de 2023), esta problemática atinge cerca de 5% da população mundial, correspondendo a 430 milhões de adultos e 34 milhões de crianças. Projeta-se que em 2050, estes números subam para 700 milhões, o que significa que 1 em cada 10 pessoas irá padecer de perda auditiva significativa.²

A surdez neurosensorial pode ser vista como um sintoma que afeta em grande escala o bem-estar e é causa *major* de anos vividos com incapacidade (*Years lived with disability*)³. Pode ser classificada de várias formas, tendo em consideração a sua origem, causa anatómica, grau, entre outros. No que diz respeito ao grau de severidade de perda auditiva, esta vai ser determinada tendo em conta o limiar de audição de um indivíduo em decibéis (dB). Assim, a perda de audição pode ser ligeira, moderada, severa e profunda conforme demonstrado na tabela I.⁴

Tabela I – Classificação do grau de severidade da surdez⁴

Grau de Severidade	Limiar de Audição em dB
Ligeira	26-40 dB
Moderada	41-60 dB
Severa	61-80 dB
Profunda	81 dB ou superior

Neste contexto surgem os implantes cocleares, um dos novos avanços da medicina moderna. O implante coclear revolucionou de forma imensurável o mundo dos indivíduos com perda auditiva severa ou profunda. Com apenas um pequeno dispositivo, é possível recuperar um dos sentidos indispensáveis para a vivência enquanto ser humano, o que se traduz num grande impacto a nível social. Desta forma, permite a crianças e adultos uma reintegração completa na vivência em sociedade, minimizando os impactos que esta surdez tem em valências tão importantes como a comunicação, aprendizagem e socialização. Adicionalmente, este procedimento causou grande impacto na comunidade médica, oferecendo aos especialistas uma opção de tratamento para os casos sem sucesso com reabilitação com prótese auditiva convencional. É ainda importante referir que o implante coclear foi o primeiro estimulador implantável de um nervo craniano com sucesso clínico.⁵

2. Contexto Histórico

Historicamente, a descoberta de que esta estimulação elétrica pode conduzir a uma sensação auditiva remonta ao final do século XVIII, mais precisamente em 1790, e é atribuída ao inventor da bateria elétrica, Alessandro Volta. O italiano conseguiu produzir uma sensação auditiva que descreveu como “se algum material estivesse a ferver ou borbulhar”, ao inserir nos seus dois canais auditivos lâminas metálicas que estariam conectadas aos pólos de uma bateria.⁶ Cerca de meio século depois, em 1855, o neurologista *Guillaume Benjamin Duchenne* conseguiu reproduzir a mesma sensação auditiva que Volta, utilizando uma corrente elétrica alternada para estimulação coclear, em contraste com o primeiro que utilizou uma corrente direta. Adicionalmente, descreveu ainda sensações gustativas que atribui à estimulação do nervo da corda do tímpano.^{6,7} Posteriormente, na década de 50, *Lundberg*, conseguiu pela primeira vez, durante um procedimento neurocirúrgico a estimulação da via auditiva com uma corrente sinusoidal.⁶ Quando se fala em pioneiros no que diz respeito aos implantes de estimulação do nervo auditivo, existem dois nomes que ficaram marcados na história – *Charles Eyriès* e *André Djourno*. *Charles Eyriès* foi um otorrinolaringologista que sempre teve um especial gosto pelo conhecimento neuroanatômico. Seguiu um paciente que fora submetido a várias cirurgias para tratamento de colesteatoma bilateral, apresentando já como complicações paralisia facial e surdez neurosensorial bilateral, e ao realizar o estudo pré-operatório deste indivíduo, apercebeu-se que a dimensão residual dos seus nervos auditivos não seria suficiente, pelo que teve de procurar ajuda, acabando por conhecer um eletrofisiologista de nome *Djourno*.^{6,7,8} Assim, em 25 de fevereiro de 1957 implantaram um eletrodo no nervo auditivo, com resultados pós-operatórios muito satisfatórios onde o indivíduo para além de referir sentir sensações auditivas também adquiriu capacidade de discriminar diferentes intensidades e pequenas palavras em algumas frases. Apesar do sucesso inicial, o dispositivo começou a falhar passadas algumas semanas o que levou os investigadores a desistirem deste projeto.^{6,7} Ao longo dos anos, esta foi uma temática que sofreu grandes avanços, através de várias tentativas falhadas, concretizadas por diversas personalidades com algum perigo associado.⁷⁻¹⁰ Merecem especial destaque os contributos de *Simons* (1966) e Dr. *William House* (1961). O primeiro, descreveu a organização da cóclea enquanto o segundo desenvolveu, em conjunto com o engenheiro *Jack Urban*, o primeiro dispositivo coclear implantável capaz de estimular o nervo auditivo, tornando assim os implantes cocleares uma realidade.^{6,11}

3. Implantes Cocleares

Um implante coclear é um dispositivo que tem a capacidade de traduzir energia acústica num sinal elétrico, sendo este capaz de estimular as células do nervo auditivo. É um aparelho introduzido cirurgicamente em pessoas com surdez neurosensorial severa e /ou profunda que não têm benefícios significativos com os restantes tratamentos, constituindo um dos maiores avanços na otorrinolaringologia que se traduz numa recuperação bastante significativa da função auditiva.^{12,13} Apesar do conceito ser simples, a produção dos componentes para formar estes implantes revelou-se algo complexo. De facto, os fabricantes destas peças têm de ter em conta a biocompatibilidade das mesmas, na medida em que se introduz um corpo estranho numa região que pode contactar com o líquido cefalorraquidiano, podendo causar complicações como a meningite.¹² O primeiro implante coclear foi aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) em 1984.¹⁴

3.1- *Hardware* e modo de funcionamento

O *hardware* dos implantes cocleares é composto por dois componentes: um externo (Figura 1), responsável por captar e processar os sons, e um interno (Figura 1), que vai traduzir o sinal recebido e estimular diretamente a cóclea.¹¹ O primeiro, que ficará colocado atrás do pavilhão auricular, é constituído por um microfone, um processador de som, e uma bateria, enquanto o segundo, por sua vez, é configurado por um recetor e cabo que contém eléctrodos (entre 12-22).^{11,15} Todos estes constituintes devem estar interligados e funcionar como um sistema harmónico de modo a otimizar o *outcome* auditivo do doente. Assim, os componentes internos e externos estão conectados através de uma bobina de indução eletromagnética, transmitindo o sinal através da pele e dos tecidos moles circundantes.¹¹

Em termos do seu funcionamento, o microfone deteta todos os sons que são produzidos no ambiente externo, gerando um primeiro sinal que é encaminhado para o processador, que por sua vez estará conectado e transmite esta informação ao componente interno. Neste, o recetor funcionará como o “cérebro” do implante, convertendo e adaptando estes sons para *inputs* elétricos capazes de ativar os eléctrodos correspondentes, estimulando diretamente o nervo auditivo ao nível da cóclea. Desta forma, é feito um *bypass* às células ciliadas, que são as responsáveis por exercer esta função e se encontram lesadas neste tipo de surdez, restituindo-se a função auditiva.¹⁶

Atualmente, aquilo que está preconizado é a colocação dos eléctrodos na rampa timpânica. No entanto, se a cóclea tiver algum tipo de malformação ou deformação como ossificação pode ser

considerada uma alternativa que tem sido alvo de estudos recentes (elétrodos intraneurais). Caso esta se revele igualmente eficaz ao método tradicional poderá assumir um papel determinante nestas situações.¹⁷



Figura 1 – Componente externo (esquerda) e interno (direita) de um implante coclear. [Adaptado de (15)]

3.2– Avaliação Pré-Operatória e Critérios de Implantação

A decisão se um indivíduo é ou não candidato a implante coclear tem por base uma extensa avaliação multidisciplinar.⁵ Esta obriga à coordenação entre várias especialidades médicas e o recurso a audiologistas e terapeutas da fala. Inicialmente, o indivíduo será avaliado com base numa história clínica completa e exame físico, componentes essenciais nesta fase, na medida em que permitem prever *outcomes* e excluir alguns doentes deste procedimento. Posteriormente, estes são sujeitos à realização de exames auxiliares de diagnóstico, nomeadamente estudo imagiológico com Tomografia Computorizada (TC) e Ressonância Magnética (RM), bem como avaliação da função auditiva com recurso ao audiograma. Idealmente, todos os doentes devem ainda realizar um estudo da função vestibular e em alguns é considerada uma avaliação psicológica.^{5,15}

Assim, e apesar do impacto deste dispositivo ser bastante positivo, existe um grande número de fatores a ter em conta. Deste modo, na colheita de história é importante ter em consideração a idade do paciente, o tempo de surdez e tentar determinar a etiologia da mesma, distinguindo entre pré e pós-lingual. Nos pacientes em idade pediátrica, a maioria da surdez é congénita e, como tal, ocorre antes da fala, traduzindo-se em pouco tempo de surdez e em melhores *outcomes*, com maior otimização de resultado se a intervenção for realizada entre o primeiro e segundo anos de vida.^{12,18} O contrário também é válido, na medida em que, com um tempo prolongado de surdez o córtex auditivo adapta-se para exercer uma outra função sensitiva

(com destaque para a visual) , tornando-se quase impossível uma regressão para a sua função mãe o que predispõe a terríveis resultados. Deste modo, indivíduos com longos períodos de perda auditiva severa ou profunda têm poucos benefícios com a colocação de implante coclear.^{12,19}

Neste período pré-operatório é fundamental conversar com os candidatos à cirurgia e esclarecer os potenciais riscos, benefícios, objetivos e ainda expectativas face à implantação, reiterando a importância de realizar reabilitação e programação no período pós-operatório. Nesta fase é ainda importante potenciar a saúde do doente, evitando possíveis complicações infecciosas. Neste sentido, é possível realizar profilaxia pré-implantação contra a meningite. Existe um nível de evidência C que propõe o recurso à utilização de antibioterapia sistémica como profilaxia da complicação já mencionada. O *Center for Disease Control and Prevention* (CDC) recomenda a vacinação antipneumocócica a todos os indivíduos que são candidatos a esta intervenção, sendo aconselhada a vacina conjugada 13 ou 15 para a população pediátrica e a 15 ou 20 para os adultos. É ainda recomendada a vacina polissacárida 23 a todas as faixas etárias.^{20,21,22}

3.2.1 – Critérios de Implantação

Os critérios que tornam os indivíduos aptos para a colocação destes dispositivos têm sofrido várias alterações ao longo das décadas. Existe ainda uma grande variabilidade conforme o tipo de implante utilizado e a empresa em questão, o que dificulta o consenso na criação de critérios absolutos. Inicialmente, apenas indivíduos com surdez neurosensorial pós-lingual seriam considerados, sendo em 1990 incluídas crianças com mais de dois anos com perda auditiva pré-lingual. Em 2000, estes critérios foram mais uma vez expandidos considerando crianças com mais de 12 meses.⁵

Os critérios convencionais para implante coclear foram definidos pela FDA, estando descritos na tabela II.

Tabela II – Critérios convencionais de implante coclear.¹²

	Adultos	Crianças 2-17 anos	Crianças 12 -14 meses
Limiares de Audição	Perda auditiva neurosensorial moderada a profunda, ou seja, > 40 dB	Perda auditiva neurosensorial severa a profunda, ou seja, > 60 dB	Perda auditiva neurosensorial profunda, ou seja, > 80 dB
Reconhecimento de discurso	Capacidade de distinguir frases inferior ou igual a 50 % no ouvido afetado e 60% no contralateral, ou 50 % bilateralmente.	Scores de reconhecimento inferiores ou iguais a 20-30 %.	Benefício limitado no <i>trial</i> de amplificação binaural.

Existem várias contraindicações a ter em conta antes de propor um indivíduo para a colocação de um implante coclear. Estas tornaram-se mais claras com o avanço da tecnologia e com uma maior experiência na realização destas intervenções. Em primeiro lugar, para um doente estar apto necessita de possuir um nervo coclear íntegro, sendo a ausência de nervo ou nervo com displasia e/ou hipoplasia uma contraindicação relativa. Caso se considere a implantação estes são indivíduos que normalmente têm piores *outcomes*.^{23,24} Em segundo lugar, uma outra contraindicação relativa corresponde a adultos que padeçam de surdez neurosensorial pré-lingual e que ainda não tenham desenvolvido qualquer capacidade de fala. Por fim, indivíduos que não possuem suporte familiar e social e que são considerados instáveis psicologicamente não devem ser candidatos a receber o implante coclear, uma vez que não serão capazes de cumprir o processo de reabilitação que é fundamental.⁵

Apesar da existência destas contraindicações, note-se que todas elas são relativas. Isto deve-se ao facto de existir um constante progresso no que diz respeito à ciência por detrás da implantação coclear, o que em última instância leva a melhores *outcomes* e, como tal, à inclusão de indivíduos anteriormente não considerados para esta intervenção. Este processo tem levado a uma contínua expansão dos critérios ao longo das décadas. Assim, crianças com distúrbio do espectro da Neuropatia Auditiva e com malformações cocleares congénitas como a Displasia de Mondini são atualmente aceites e candidatos válidos para a implantação, com resultados auditivos bastante satisfatórios.²⁵ Um outro exemplo da evolução do paradigma dos implantes cocleares são os doentes com surdez unilateral. A cirurgia de implantação mostrou resolver ou pelo menos atenuar os acúfenos sentidos por estes pacientes e melhorou a capacidade de localização sonora, constituindo assim uma opção válida para estes casos.²⁶

3.2.2 – Avaliação Audiométrica

A escolha de quem é candidato para a realização de um implante coclear vai basear-se em grande escala na avaliação audiométrica. Esta deve incluir a avaliação dos limiares mínimos de audição por via aérea e por via óssea num intervalo de frequências entre 125 e 8000 Hertz (Hz) e num intervalo de intensidade entre 0 e 120 dB²⁷. Para além desta avaliação tonal, para a cirurgia de implante coclear é também importante testar a capacidade de reconhecer e perceber os sons do discurso. Existe uma grande variedade de testes capazes de realizar esta avaliação, como por exemplo o *AzBio sentence testing*. Um dos maiores desafios desta fase (audiograma vocal) é que não existe ainda um protocolo estandardizado para determinar esta capacidade de discriminação de discurso, o que pode cursar com diferentes interpretações e causar alguma variabilidade nos

critérios de implantação.^{5,28} No Centro Universitário Hospitalar de Santo António esta avaliação é feito através de dissílabos.

A população pediátrica constitui um nicho populacional onde a aplicação destes testes convencionais pode revelar-se bastante complexa. Assim, nas crianças que colaborem pode ser realizada audiometria comportamental, mas as otoemissões acústicas e os potenciais evocados auditivos do tronco cerebral podem confirmar perda auditiva sem a colaboração do paciente. De forma adicional, as crianças devem ser vistas por um terapeuta da fala para a avaliação da capacidade de compressão da fala.⁵

3.2.3 – Avaliação Imagiológica

Como já foi referido anteriormente a avaliação imagiológica é parte fundamental do *workup* pré-operatório, contribuindo para determinar se um individuo é ou não apto para ser submetido a este procedimento. Existe uma grande variabilidade de exames disponíveis para fazer este estudo, contudo não existe uma uniformidade sobre qual deles deve ser a primeira escolha e sobre as indicações específicas para a aplicação de uns em detrimento de outros. Independentemente do exame realizado, a avaliação imagiológica tem como objetivo teórico verificar se a janela redonda se encontra patente, o trajeto e a localização do nervo facial, a localização do golfo da jugular, a deteção de processos infecciosos e ainda de algumas anomalias cocleares como hipoplasia, sendo estas informações imprescindíveis para a decisão de realizar ou não a implantação e também de guiar a realização da cirurgia.²⁹

Na população adulta, esta avaliação é realizada sobretudo através de TC e RM^{5,30}. No Centro Universitário Hospitalar de Santo António, todos os adultos candidatos à colocação de implante coclear são submetidos a TC para estudo anatómico, deteção de malformações e planeamento cirúrgico e também RM para avaliar o oitavo par craniano e o cérebro.

Na população pediátrica o exame que está mais aconselhado é a RM, uma vez que se trata de um meio auxiliar de diagnóstico que não acarreta exposição a radiação (muito importante nesta faixa etária) e que consegue detalhar com mais precisão tecidos moles, sendo o nervo coclear melhor identificado na ponderação T2.^{5,31}

3.2.4- Avaliação Vestibular

Apesar do sistema coclear ser diferente do sistema vestibular, ambos tem um modelo de transmissão nervosa bastante idêntico e anatomicamente são contíguos. Assim, a estimulação elétrica proveniente do implante coclear vai afetar não só a componente auditiva como também a componente vestibular. Desta forma, este procedimento acarreta alguns riscos inerentes como a deterioração da função vestibular, sobretudo se já existir patologia pré-existente.³²

Por tudo o que foi supramencionado, ter conhecimento da função vestibular do paciente previamente à realização da cirurgia assume um papel de extrema importância, permitindo uma melhor gestão caso a caso, a seleção correta do ouvido a implantar e ainda uma melhor compreensão e resolução de sintomatologia vertiginosa que poderá surgir no pós-operatório. Existe uma panóplia de exames à disposição para a realização desta avaliação de destacar os Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMPs), os testes calóricos e ainda o vídeo Head Impulse Test (v-HIT). Esta é uma temática que tem suscitado particular interesse aos investigadores, na medida em que cada teste tem vantagens e desvantagens e ainda não está estabelecido um protocolo estandardizado para a realização desta avaliação. Esta falta de consenso leva a que o verdadeiro impacto do implante coclear na função vestibular não seja compreendido, motivando a realização de novos estudos sobre esta problemática^{32,33}.

4. Técnicas Cirúrgicas e a sua Evolução

A cirurgia de colocação do implante coclear é realizada no bloco operatório sob anestesia geral, com o doente em posição supina e com rotação cefálica contralateral ao lado da intervenção. Pressupõe uma monitorização contínua do nervo facial. Para isso, é importante que o cirurgião converse com o anestesista de modo a impedir a utilização de relaxantes musculares durante a indução, caso contrário esta monitorização será impossível.^{34,35}

Esta cirurgia tem acompanhado a evolução dos próprios dispositivos, o que levou ao desenvolvimento de inúmeras técnicas e alternativas, sendo de especial destaque o aperfeiçoamento da incisão, da fixação do recetor e da abordagem da cóclea. Tem como principais objetivos uma correta fixação do recetor ao crânio e uma inserção adequada dos elétrodos na rampa timpânica.³⁶ Após o posicionamento do elétrodo é feita uma telemetria intra-operatória para confirmar o seu correto posicionamento, e alguns especialistas advogam a realização de

radiografia pós-operatória. Em condições ideais a duração deste procedimento é de cerca de duas a três horas.^{37,38}

4.1 - Evolução da Incisão

Originalmente, as primeiras incisões tinham como pressuposto que uma maior exposição seria necessária para um melhor posicionamento e melhor fixação do recetor, sendo a incisão adaptada ao tipo de dispositivo utilizado. Desta forma, à medida que os implantes cocleares foram evoluindo, o tipo de incisão também foi mudando. Inicialmente, era feita uma incisão em forma de C com uma abertura anterior e de localização retroauricular, ideal para acomodar implantes monocanal. Com o aparecimento de implantes multicanal esta incisão manteve a forma, mas teve de ser alargada. As incisões em forma de C permitiam preservar o suprimento sanguíneo proveniente dos ramos da artéria temporal superficial, contudo intersetavam ramos da occipital. Adicionalmente, a incisão em C alargada estava associada a extrusões frequentes. De forma a combater estas desvantagens, foi desenvolvida uma outra incisão que recebeu o nome de endaural. Esta apesar de conseguir solucionar os pontos referidos anteriormente, por ser uma agressão claramente mais curta, estava associada a outros efeitos laterais que levaram à sua descontinuação, nomeadamente parestesias do escalpe. Os cirurgiões continuaram o seu trabalho em busca de otimizar o resultado deste procedimento, levando ao aparecimento, na Austrália, de uma incisão em forma de U invertido com abertura orientada inferiormente. Posteriormente, esta foi sendo adaptada e adquiriu a forma de uma incisão em forma de J também invertido. Ambas estas incisões, permitem otimizar o fluxo sanguíneo ao não seccionar a circulação proveniente da artéria temporal superficial e occipital.

Apesar de toda esta evolução, as incisões da cirurgia do implante coclear têm de seguir três princípios fundamentais e que são transversais a todas as descritas anteriormente. Em primeiro lugar, a incisão deve estar suficientemente afastada do local onde vai ser fixado o recetor para impedir a extrusão ou dor relacionado com o mesmo. Em segundo lugar, deverá ser feita de tal forma a minimizar o impacto no suprimento sanguíneo da área. Por último, deve ser executada de modo a permitir acessibilidade à linha temporal, à apófise mastoideia e à espinha de *Henle* sem ser necessária retração.³⁸

Ao longo dos anos a incisão em J invertido foi trabalhada e encurtada para aquela que é utilizada atualmente, ou seja, uma abordagem minimamente invasiva onde se realiza uma incisão oblíqua e reta, posteriormente ao pavilhão auricular, e com a dimensão entre 2 a 4 cm. Tem como principais vantagens diminuição dos tempos operatórios, menor área de tricotomia, menor manipulação de tecido, resultando em menor reação inflamatória, melhor cicatrização e

possibilidade de ativação mais precoce do implante. Contudo, esta abordagem está associada a menor visibilidade e, como tal, maior retração tecidual.^{38,39}

A evolução das várias técnicas de incisão descritas ao longo deste segmento encontram-se explanadas por ordem na figura 2.

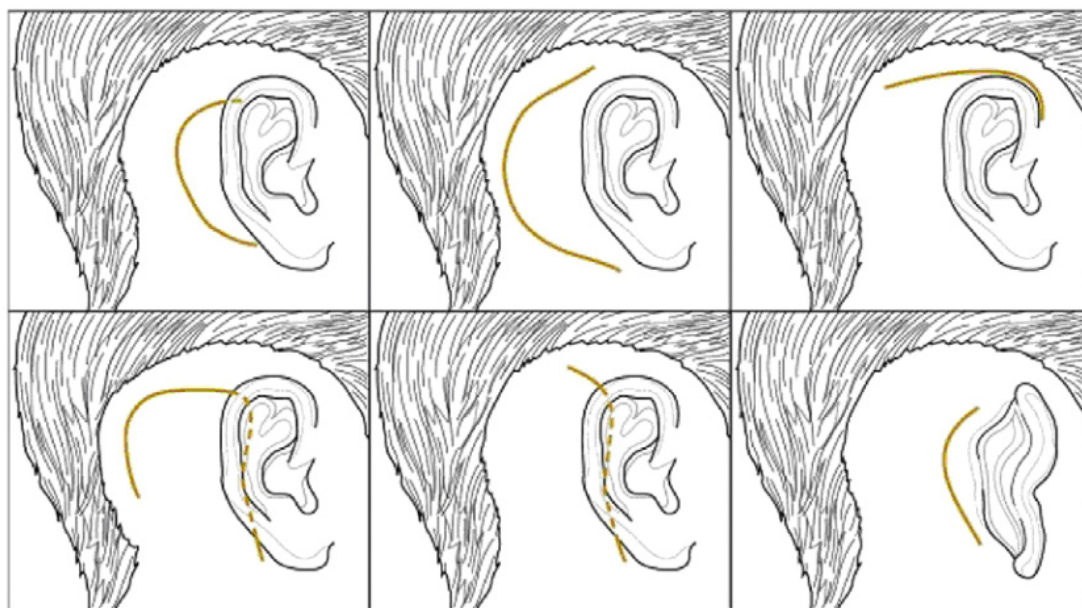


Figura 2 – Evolução das incisões ao longo do tempo. [Adaptado de (38)]

4.2– Fixação do Implante Coclear

Como referido na secção anterior, um dos principais objetivos desta cirurgia é uma correta fixação do recetor. Esta etapa assume uma especial importância, uma vez que realizada de forma inadequada pode levar a migração do dispositivo, tendo como possíveis consequências infeção, extrusão e em último caso levar à necessidade de realizar uma revisão cirúrgica.⁴⁰ À semelhança do que aconteceu com as incisões, a técnica de fixação deste componente sofreu várias modificações até chegar aquela que é consensual e mais utilizada atualmente.

Inicialmente, foram descritas várias formas de proceder a esta fixação que tinham em comum a necessidade de perfuração do osso com uma broca. Era realizado um orifício em cada lado do recetor, colocados parafusos de titânio, sendo estes posteriormente conectados com uma sutura com fio de *nylon*.⁴¹ Outro autor sugeriu a colocação de uma rede de polipropileno, sendo esta depois fixa com dois parafusos de titânio, posicionados um em cada lado deste componente.⁴² Apesar de raras, estas abordagens estavam associadas a complicações intracranianas devastadoras,

intimamente relacionadas com a agressividade imposta pela perfuração óssea. Assim começaram a surgir as técnicas minimamente invasivas, sendo descrita a que é mais utilizada atualmente, em que é criada uma bolsa subperiosteal (figura 3) que vai alojar o recetor, podendo ou não ser encerrada por meio de suturas. Para além de não ter as complicações supramencionadas, permite tempos operatórios muito mais curtos e diminui a necessidade de utilização de corpos estranhos (parafusos de titânio), com resultados muito semelhantes em termos de fixação do implante.^{5,36,38}

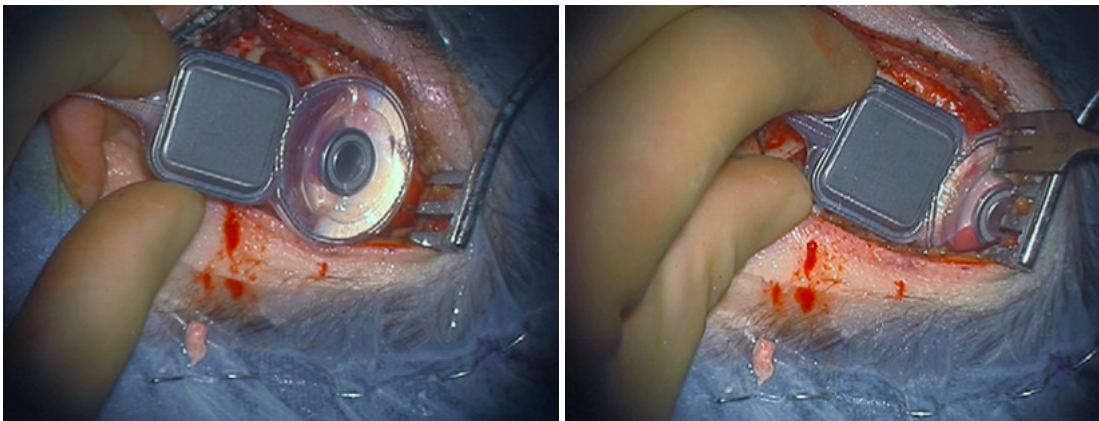


Figura 3 – Colocação do recetor do implante coclear na bolsa subperiosteal. [Adaptado de (38)]

4.3– Abordagem do Ouvido Médio

Em 1961, o médico de nome *William House* introduziu o conceito de abordagem através de mastoidectomia e timpanotomia posterior para a colocação do implante coclear. Esta é uma abordagem que tem resistido ao longo do tempo, sendo atualmente a mais utilizada. Como o próprio nome indica, após a incisão retroauricular já mencionada, é realizada uma abertura na apófise mastoideia do osso temporal (mastoidectomia cortical) e subsquente timpanotomia posterior, permitindo assim chegar ao ouvido médio. Após este passo, o cirurgião tem acesso ao recesso facial que é delimitado pelo nervo facial, a corda do tímpano e pela chamada fosseta *incudis*. Neste espaço são claramente visíveis o promontório e a janela redonda, que quando identificada permite atingir a rampa timpânica da cóclea através de vários métodos, com especial destaque para dois: o acesso através da própria janela redonda ou a criação de um orifício junto da mesma, designado cocleostomia.^{14,38}

Várias outras técnicas têm sido desenvolvidas com o objetivo de tentar diminuir o impacto da agressão cirúrgica e minimizar os danos colaterais que o nervo facial pode sofrer, estando atualmente reservadas para doentes que revelem alterações anatómicas no estudo imagiológico e

que, como tal, precisem de uma abordagem que evite o recesso facial.⁴³ A que se encontra melhor descrita e, por conseguinte a alternativa mais utilizada, é a abordagem suprameatal, tendo sido utilizada pela primeira vez em 1999 por Kronenberg . Esta tem como vantagens a ausência de lesão do nervo facial, que se encontra protegido pela bigorna, a preservação da mastóide, menor tempo operatório e maior facilidade na manipulação de elétrodos.^{5,44} Existem outras duas abordagens possíveis para a realização da implantação coclear: a Transcanal e a pela Fossa Média, contudo não são utilizadas por rotina.^{45,46}

4.4 – Estimulação Eletroacústica

Como já mencionado anteriormente, os critérios para implantação coclear têm sido expandidos ao longo dos anos, passando a incluir indivíduos com capacidade auditiva residual para frequências mais baixas. Neste sentido, torna-se pertinente falar do conceito de estimulação eletroacústica, surgindo este do facto de o nosso cérebro ter a capacidade de processar e integrar simultaneamente estímulos acústicos e elétricos codificados a partir de sons de alta frequência. O objetivo desta estimulação é a utilização do implante coclear para solucionar o problema da perda auditiva de altas frequências e de um amplificador para potenciar a capacidade auditiva residual. Nestes candidatos devem ser utilizadas técnicas cirúrgicas menos agressivas para evitar lesões traumáticas que possam diminuir esta função residual.⁴⁷ Adicionalmente, alguns investigadores advogam que estes pacientes podem ter benefício com a administração de corticóides sistémicos no período perioperatório e tópicos antes de inserir o elétrodo.⁴⁸ A cocleostomia tradicional associada à colocação de elétrodos mais curtos revelou uma melhoria na deteção e perceção de sons e música nestes pacientes, contudo esta técnica é bastante invasiva o que resulta em lesão das estruturas ósseas com possível perda da função auditiva residual. Por outro lado, a abordagem através da janela redonda tem ganho mais importância, uma vez que minimiza estes potenciais danos, resultando numa melhor preservação da audição.⁴⁹

4.5– Pós-Operatório e Programação do dispositivo

Em condições ideais o paciente tem alta do internamento no dia seguinte após a cirurgia. Nos adultos os pontos são retirados no décimo dia após o procedimento, enquanto na população pediátrica são utilizados pontos reabsorvíveis. Até à ferida da incisão cicatrizar completamente, não está recomendado ativar o implante. Assim, esta ativação é realizada pelo audiólogista, passadas duas a quatro semanas. Os resultados não são imediatos e inicialmente vários doentes referem que os sons que ouvem estão claramente distorcidos. Todos os indivíduos implantados têm de passar por um longo período de programação do dispositivo, onde são ajustados vários parâmetros (intensidade do som por exemplo) de forma individual e personalizada. O cérebro tem a capacidade de ir assimilando estes novos estímulos, sendo reportadas melhorias em termos de *outcome* auditivo passados 3 a 6 meses. A duração deste processo depende de vários fatores como a idade, o tempo de duração da surdez, a experiência prévia com dispositivos sonoros e ainda o acesso a terapias adjuvantes. No que diz respeito a esta última temática, a terapia audioverbal assume um papel primordial e imprescindível em todos os doentes, permitindo uma melhoria da compreensão do discurso e ainda a recuperação e/ou desenvolvimento da linguagem e capacidade de comunicação. Todo este processo deve ser feito de forma regular e sustentada, devendo ser intensivo durante o primeiro ano e depois mais espaçado com duração total de até 3 a 5 anos após a colocação do implante.^{12,34}

O implante coclear é uma das intervenções médicas com maior índice de custo benefício, sobretudo quando se olha para a população infantil.⁵⁰ De facto, em adultos os resultados auditivos são bastante notórios, conseguindo a restituição da audição para limiares muito próximos da normalidade (25 dB), um reconhecimento de até 75% das frases, uma retoma da capacidade de manter uma conversa sem necessidade de recorrer à leitura labial e até 60% dos implantados revelam conseguir comunicar através de chamadas telefónicas. Adicionalmente, os doentes com acúfenos e depressão pré-implante revelaram uma melhoria desta sintomatologia com a introdução deste dispositivo.¹² Na idade pediátrica os resultados estão diretamente relacionados com o tipo de surdez. As crianças com surdez pós-lingual conseguem reconhecer mais de 80 % das palavras após a implantação, sendo que nas com surdez pré-lingual estes resultados são mais variáveis e mais tardios. Contudo, acabam por recuperar e passados 30 a 60 meses após o procedimento têm capacidades auditivas muito semelhantes às com surdez pós-lingual.⁵¹

5. Complicações

A cirurgia de colocação do implante coclear é um procedimento que se encontra bem definido, considerado seguro e que é realizado rotineiramente em vários centros hospitalares pelo mundo inteiro. Contudo, desde a sua introdução, vários estudos têm sido realizados para perceber quais são as complicações deste ato cirúrgico e várias classificações têm sido propostas. Estas estão relacionadas com a técnica cirúrgica, com o facto de ser colocado um corpo estranho dentro do organismo e ainda com falhas diretas do próprio dispositivo.⁵² Ao longo dos anos, assistiu-se a uma evolução contínua das técnicas utilizadas bem como a um progresso tecnológico dos implantes cocleares o que se refletiu de forma drástica nas taxas de complicações deste procedimento. De facto, desde 1991, data onde foi publicada por *Cohen* uma das primeiras grandes revisões sobre as complicações do implante coclear, as taxas globais de complicações têm diminuído regularmente, o que se deveu ao aparecimento de técnicas cirúrgicas minimamente invasivas, com incisões minimalistas e dispositivos com superior biocompatibilidade.⁵³ As complicações inicialmente surgiam em 39 % dos indivíduos implantados, tendo esses valores baixado para 9% atualmente.⁵² No entanto, existe uma grande variabilidade na literatura no que diz respeito a estes valores, com diversos estudos a relatar taxas de complicações que variam entre 1,8 % até 12,3 %. Ora, este diferencial pode ser explicado pelo facto de existirem numerosos sistemas de classificação e de avaliação, não havendo um consenso sobre qual utilizar. Na tentativa de resolver esta problemática, em 2010 *Hansen* propôs o primeiro consenso internacional sobre como relatar as complicações desta cirurgia, sendo *Jeppesen* e *Faber* os pioneiros na aplicação deste modelo em 2013.^{40,54,55}

De uma forma geral, as complicações podem ser agrupadas em duas grandes categorias. A primeira, correspondente às complicações *minor* que são aquelas que se resolvem com medidas conservadoras e não exigem cirurgias para a sua resolução. A segunda corresponde às complicações *major*, que exigem uma intervenção cirúrgica, seja uma simples revisão ou uma explantação com ou sem reimplantação posterior. Esta é uma forma de classificação dinâmica, na medida que uma complicação considerada *minor* pode passar a *major* de acordo com a sua evolução natural. Segundo a revisão feita por *Farinetti* em 2014, 19,9 % dos indivíduos sofreram complicações deste procedimento, sendo 14,9 % complicações *minor* e 5% complicações *major*.⁵²

5.1– Complicações Minor

Como foi explanado pelos números anteriormente apresentados, estas são o tipo de complicações que mais se observam após implantação coclear, tendo um curso geralmente autolimitado. Dividem-se em complicações infecciosas, neurológicas e ainda vestibulococleares.¹⁴

5.1.1 – Infecciosas

Estas são o tipo de complicação *minor* com maior prevalência, afetando sobretudo a população pediátrica (com maior destaque para as crianças com idade inferior a dois anos).⁵⁶

A Otite Média Aguda (OMA) é a complicação infecciosa mais frequente, ocorrendo geralmente entre as primeiras 2 semanas e 3 meses após a cirurgia. Geralmente os doentes apresentam como queixas otorreia, dor e edema de localização retroauricular. Apesar de ser uma infecção facilmente gerida e também bastante comum na população geral, a maior preocupação prende-se com um risco mais elevado de evolução nestes pacientes implantados para complicações mais graves como a mastoidite e a meningite.^{40,56} Esta patologia consegue ser facilmente controlada com antibioterapia empírica direcionada para os principais microrganismos envolvidos (*Pneumococcus e Haemophilus Influenzae*), ou seja, amoxicilina + ácido clavulânico.

A Mastoidite a seguir à OMA assume a maior prevalência em termos de complicação infecciosa, registando-se valores que chegam até 2,6 % dos implantados.⁵⁷ Esta patologia tende a ocorrer 9 meses após o processo de implantação, apresentando-se como edema, tecido de granulação, rubor e dor no local de incisão. A mastoidite é mais frequente em doentes implantados, uma vez que a mastoidectomia cortical se apresenta como fator de risco e é realizada na técnica cirúrgica clássica como já foi mencionado. À semelhança da infecção anterior pode ser gerida de forma convencional, se for administrada antibioterapia intravenosa com ceftriaxone e clindamicina ou vancomicina de forma empírica. Em casos refratários, ambas as situações podem necessitar de realizar miringotomia com ou sem colocação de tubo transtimpânico, permitindo determinar o agente causador e direcionar a antibioterapia. No caso de suspeita de complicações intracranianas está recomendado o estudo imagiológico com TC.^{52,57}

Para terminar o capítulo das complicações infecciosas, merecem menção as infeções da ferida cirúrgica. Estas têm como principais etiologias uma reação de corpo estranho, stress mecânico contínuo devido a uma força eletromagnética excessivamente forte e ainda

traumatismos inadvertidos. Geralmente cursam com dor, eritema e edema, podendo evoluir para um abscesso e até mesmo necrose tecidual o que implica uma revisão cirúrgica. Não obstante, em concordância com as anteriores, estas infecções respondem bem a medidas de desinfecção tópicas associadas a antibioterapia sistêmica. Os agentes patogênicos mais comumente encontrados são o *Staphylococcus Aureus* e *Pseudomonas Aeruginosa*.^{40,52}

5.1.2– Neurológicas

As complicações neurológicas são atualmente acontecimentos raros, assumindo um caráter temporário e autolimitado, geralmente com regressão em meses e sem necessidade de terapia adicional. As mais frequentes são a paralisia transitória do nervo facial e a disgeusia por lesão do nervo da corda do tímpano. Os mecanismos lesionais prendem-se com o tipo de cirurgia e proximidade destas estruturas em relação à coclea, podendo existir uma lesão mecânica direta por perfuração excessiva ou então um sobreaquecimento da região devido à perfuração necessária durante a cocleostomia e/ou timpanostomia.⁵⁸ A paralisia facial se ocorrer imediatamente após o procedimento tem pior prognóstico quando comparada com a que surge mais tardiamente, podendo beneficiar de terapia com corticoides.^{58,59}

5.1.3- Vestibulares

O implante coclear pode causar efetivamente deterioração da função vestibular que pode ocorrer imediatamente após a cirurgia ou apenas suceder quando o implante for ativado. Esta diminuição da função deve-se em grande parte à proximidade de estruturas e poderá ser consequência de trauma direto intraoperatório ou resultar da estimulação elétrica pelo dispositivo. Esta alteração da função vestibular é independente não só da etiologia da perda auditiva, mas também da deterioração auditiva que pode ocorrer após implante.⁶⁰ Geralmente afeta maioritariamente a população adulta, acometendo 2,2 % das crianças e 25 % no caso dos adultos, segundo o estudo de *Hansen*.⁵⁴ A sintomatologia descrita compreende acufenos, perda de estabilidade posicional e vertigem, sendo uma problemática que assume especial importância, uma vez que na literatura estão documentadas lesões vestibulares e consequente sintomatologia entre 23% a 100% dos implantados. Deste modo, os doentes que são submetidos a este procedimento devem ser ativamente seguidos, na medida em que a sintomatologia vestibular é causa de perda de qualidade de vida, podendo mesmo ser uma ameaça ao bem-estar e segurança dos doentes.

5.2– Complicações Major

5.2.1 – Infeciosas

Como referido anteriormente, este é um modelo de classificação dinâmico, pelo que as patologias infecciosas previamente descritas nomeadamente a OMA, mastoidite e a infeção da ferida cirúrgica podem levar à formação de abscessos e progredir para úlceras e necrose, causando extrusão do recetor do implante. Ora, estas situações já exigem uma abordagem cirúrgica invasiva, passando então a denominar-se complicações *major*.^{61,62}

Apesar de ser uma complicação rara, afetando cerca de 0,6 % dos doentes implantados, a meningite é uma complicação *major* que merece alguma discussão, devido às implicações que pode ter em termos de morbimortalidade.⁴⁰ Esta patologia infecciosa, embora apresente uma baixa incidência em termos globais, é trinta vezes mais frequente em pessoas implantadas do que na população geral.¹⁴ Para além da associação clara com a cirurgia do implante coclear, estão descritos outros fatores de risco como a presença de malformações do ouvido interno e ainda OMA no seguimento da intervenção. De facto, os microorganismos identificados nestes casos de meningite são o *Streptococcus Pneumonia* e *Haemophilus Influenzae* o que pode sugerir um ponto de partida no ouvido médio para estas infeções. Por este motivo, está recomendada e constitui um pré-requisito a vacinação conjugada que mostrou reduzir consideravelmente as patologias causadas por estes agentes, incluindo meningite. Estes doentes devem ser tratados empiricamente com vancomicina + cefotaxime e deve ser feita uma avaliação com TC e posterior revisão cirúrgica. Geralmente, é encerrada a comunicação que foi efetuada entre o ouvido médio e o interno, seja através da cocleostomia ou da janela redonda. A decisão de manter ou não o implante depende da severidade da doença, dos achados intraoperatórios e da experiência do cirurgião.^{14,40,63}

5.2.2– Colesteatoma

O colesteatoma é uma possível complicação deste procedimento cirúrgico, acometendo cerca de 0,5 % dos implantados. Desta forma, é considerada uma complicação rara e de aparecimento tardio, já que surge em média 45 meses após implantação.⁶⁴ Em termos de etiologia, pensa-se que esteja relacionada com a técnica cirúrgica utilizada, onde para efetuar a timpanotomia posterior e colocar os elétrodos na cóclea existe o risco de lesar estruturas vizinhas, nomeadamente a membrana timpânica e o canal auditivo externo (CAE). Estes indivíduos requerem

intervenção cirúrgica geralmente com timpanoplastia com enxerto de cartilagem e reconstrução do CAE.⁴⁰ Idealmente, é também realizada a explantação do dispositivo, de forma a prevenir possíveis recidivas do colesteatoma. Quando se tentava manter o dispositivo, foram documentadas taxas de recorrência na ordem dos 75 % dos casos, pelo que se realiza a explantação com posterior introdução do implante no lado contralateral.^{40,52}

5.2.3 - Falhas do Dispositivo

A falha no dispositivo pode ser definida como uma ausência de *input* auditivo e/ ou de comunicação elétrica entre o componente interno e externo. Esta pode ser percebida pelos doentes como uma perda auditiva súbita, contudo também se pode manifestar como acufenos de novo ou atípicos, função auditiva intermitente e ainda sensações de choque.^{61,65} Assim, esta é uma situação que inicialmente pode ser difícil de diagnosticar, assumindo uma especial importância a envolvência dos cuidadores, pais e/ou terapeutas nesta tarefa. De facto, na população pediátrica, devido à fraca capacidade de comunicação pode ser extremamente complexo fazer este diagnóstico.⁶³ As falhas dos implantes cocleares podem ser espontâneas e inerentes ao próprio material elétrico ou estar relacionadas com traumatismos diretos em até 30% dos casos. Uma vez levantada a suspeita, deve ser confirmada mediante avaliação audiológica, radiológica e, caso seja necessário, devem ser realizados testes de integridade do dispositivo. Em termos de tratamento, é realizada uma explantação com posterior reimplante do mesmo lado, com *outcomes* audiológicos bastante favoráveis e em tudo comparáveis a uma implantação primária.^{61,66}

5.2.4 – Complicações com Eléttodos

As complicações relacionadas com os eléctrodos propriamente ditas são raras, no entanto constituem a segunda principal causa de necessidade de explantação, ficando apenas atrás das falhas do dispositivo. Existem sobretudo dois grandes problemas que levam aos chamados eléctrodos extracocleares: a migração e o mau posicionamento.

A migração é mais frequente na população pediátrica e tem como fatores de risco a ossificação intracoclear, a fibrose e o trauma. O mecanismo fisiopatológico não se encontra bem estabelecido, existindo uma teoria que remete para a neoformação óssea e conseqüente crescimento craniano nas crianças como causa para esta migração. Por outro lado, para a colocação indevida dos eléctrodos surgem como fatores de risco a otesclerose, fibrose, fraturas temporais e

ainda a inexperiência do cirurgião. Estas complicações podem manifestar-se como diminuição da qualidade do som, diminuição da capacidade de percepção do discurso, vertigens, dor e ainda estimulação do nervo facial. Para confirmação do diagnóstico, é necessária uma avaliação audiológica e imagiológica, sendo a posição dos elétrodos determinada por TC.^{40,61,62}

Existem ainda outras complicações que, à semelhança das anteriores, são tratadas através de uma revisão, e que incluem a reação de corpo estranho e a paralisia facial permanente. Assim, também são consideradas complicações *major*.

6. Objetivo do estudo

Todas as complicações descritas são de importância extrema para os cirurgiões e foram motivo de investigações ao longo do tempo. As complicações vestibulares, como já mencionado, para além de serem altamente prevalentes, o seu verdadeiro impacto ainda não está corretamente definido, em grande parte devido a uma ausência de consenso no que diz respeito à forma como se deve realizar a avaliação vestibular. Assim, este estudo debruça-se exatamente sobre esta problemática, sendo o seu principal objetivo tentar compreender em que medida existe uma alteração da função vestibular efetiva e objetivada através do v-HIT. Adicionalmente, um dos motes desta investigação será tentar correlacionar a perda de função auditiva residual avaliada através de audiograma e uma possível perda de função vestibular.

7. Materiais e Métodos

Foi realizada uma análise retrospectiva que incluiu pacientes adultos submetidos a colocação de Implante Coclear unilateral no Serviço de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial no Centro Hospitalar Universitário de Santo António (CHUdSA).

A amostra do estudo é constituída por 28 participantes, sendo incluídos os pacientes que realizaram avaliação da função vestibular com *video Head Impulse Test* (v-HIT) pré e pós a implantação coclear e que realizaram audiograma pré e pós a cirurgia (a última sem o implante colocado) para avaliar a audição residual. Foram ainda analisados dados sociodemográficos, relativos ao procedimento cirúrgico, assim como informações dos exames complementares de diagnóstico realizados.

Todas as cirurgias foram realizadas pelo mesmo cirurgião. A técnica cirúrgica foi realizada sempre da mesma forma, utilizando a abordagem do recesso facial, através de realização de mastoidectomia com timpanotomia posterior, e a introdução do eletrodo através da janela redonda após incisão da sua membrana. Em média esta intervenção teve uma duração de 149 minutos, sendo o tempo máximo e mínimo 262 e 103 minutos respetivamente.

O v-HIT pré e pós-operatório foi realizado pelo mesmo Otorrinolaringologista com recurso ao sistema ICS Impulse da Otometrics™. Os pacientes foram instruídos a fixarem um ponto vermelho que foi projetado numa parede a 1 metro de distância, permitindo assim fazer a testagem do Reflexo Vestibulo Ocular (VOR). Esta foi feita bilateralmente e para todos os canais semicirculares (CSC's). Com o doente sentado, o médico posicionou-se posteriormente, manipulando a cabeça com movimentos abruptos e aleatórios. No plano horizontal, foram feitos movimentos de aproximadamente 10-20º para ambos os lados com velocidade máxima entre 150 e 300º/segundo (todos os impulsos fora deste intervalo foram automaticamente excluídos pelo software). No plano vertical, os CSC's foram testados aos pares, left anterior-right posterior (LARP) e right anterior-left posterior (RALP), realizando a rotação cefálica 30-40º lateralmente ao ponto de fixação. O ganho no VOR foi calculado pelo rácio da velocidade cefálica e ocular. Estes foram registados, e considerados normais se >0.7 nos canais semicirculares anterior e posterior e >0.8 no canal semicircular lateral. Usando estes limiares converteu-se o resultado do v-HIT numa variável categórica: "Ganho Normal" vs "Ganho Diminuído".

O audiograma tonal foi realizado do lado operado sem o implante coclear para avaliar a audição residual, nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz. O Pure Tone Average (PTA) foi calculado pela média entre as frequências de 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.

A análise estatística foi realizada com recurso ao Statistical Package for the Social Sciences (SPSS™) versão 29.

As variáveis categóricas foram analisadas com o teste Qui-Quadrado, e as variáveis emparelhadas foram testadas com o teste de Wilcoxon.

Todos os doentes deram o seu consentimento informado de forma escrita e os dados foram analisados mantendo o anonimato.

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética do Centro Hospitalar Universitário de Santo António (CHUdSA), pelo Departamento de Ensino, Formação e Investigação (DEFI) e, finalmente, pelo departamento Responsável pelo Acesso à Informação (RAI) – 2022.219 (178-DEFI/181-CE).

8. Resultados

28 pacientes participaram neste estudo. Destes, 17 são do sexo feminino e 11 do sexo masculino, sendo que 13 foram implantados no lado esquerdo e 15 no lado direito. Todos os restantes dados sociodemográficos encontram-se explanados na tabela III.

Tabela III. Dados sociodemográficos e relativos à cirurgia.

Sexo, n (%)	Feminino	17 (60.7)
	Masculino	11 (39.3)
Idade, média em anos (Desvio Padrão)		50.2 (16.3)
Grau de hipoacusia no ouvido implantado, n (%)	Severa	7 (25)
	Profunda	21 (75)
Ouvido implantado, n (%)	Esquerdo	13 (46.4)
	Direito	15 (53.6)
Tempo cirúrgico, média em minutos (Desvio Padrão)		149.6 (35.9)

No que diz respeito à comparação dos valores absolutos dos ganhos do VOR no v-HIT pré e pós operatorivamente estes dados encontram-se organizados na tabela IV.

Tabela IV. Resultados do ganho do VOR no lado operado no contexto pré e pós-operatório.

v-HIT		Resultado, média (Desvio Padrão)	<i>p</i>
CSC Lateral	Pré	0.77 (0.30)	0.63
	Pós	0.77 (0.29)	
CSC Anterior	Pré	0.78 (0.25)	0.73
	Pós	0.78 (0.30)	
CSC Posterior	Pré	0.51 (0.25)	0.10
	Pós	0.50 (0.22)	

Tal como foi descrita na secção dos Materiais e Métodos, os resultados globais dos v-HIT pré-operatório foram divididos em duas variáveis categóricas: “Ganho Normal” e “Ganho diminuído”. Assim, dos 28 participantes, 9 (32.1 %) apresentavam função normal e 19 (67.9%) função diminuída. Destes 28 pacientes, 7 só têm resultados referentes aos canais semicirculares laterais, uma vez que não colaboraram na avaliação dos planos verticais. Ora, desta amostra, 4 apresentam hipofunção e 3 função normal. Dos restantes 21, que colaboraram na realização da avaliação nos vários planos 6 têm função normal, 4 hipofunção de todos os canais semicirculares, 3 apresentavam défice de função nos CSC’s posteriores e laterais, 1 hipofunção nos CSC’s anterior e lateral e, para terminar, 7 apenas hipofunção no canal semicircular posterior.

Não existiu nenhum caso em que se tenha verificado o agravamento da função vestibular de “normal” para “diminuída”, para qualquer um dos canais semicirculares.

A idade do doente não se correlacionou de forma estatisticamente significativa com um “ganho diminuído” no VOR pós-operatório ($p=0.72$).

O v-HIT pós-operatório foi realizado entre 1 e 16 meses após a cirurgia, sendo a média de 7,29 meses com desvio padrão de 4.5. Não se verificou nenhuma correlação estatisticamente significativa entre os ganhos no VOR nos canais semicirculares anterior, lateral ou posterior e este intervalo ($p=0.29, 0.61, 0.38$ respetivamente).

O grau de perda auditiva pré-operatória também não se relacionou de forma estatisticamente significativa com os resultados globais dos v-HIT pós-operatórios ($p=0.09$). Dos 21 pacientes que apresentavam perda auditiva profunda, 17 apresentavam função vestibular alterada e 4 normal. Dos restantes 7, que apresentavam perda auditiva severa, 5 tinham função alterada e 2 normal.

O PTA pré-operatório médio foi de $101.7 \pm 12.5\text{Hz}$, e após a cirurgia de $112.0 \pm 8.8\text{Hz}$ ($p=0.001$). Não se verificou nenhuma correlação entre o PTA e a função vestibular pré ($p=0.84$) ou pós-operatório ($p=0.12$), nem entre o grau de hipoacusia pré-operatória e o v-HIT pré ($p=0.12$) ou pós-operatório ($p=0.09$).

9. Discussão

O equilíbrio é uma condição fundamental para a preservação da nossa espécie, na medida em que nos permite perceber e interagir com o ambiente que nos rodeia e também reagir de forma correta a mudanças posturais de modo a manter o corpo numa postura segura. A manutenção deste estado de equilíbrio é conseguida à custa da integridade do sistema vestibular, que quando não existe está associada a pior prognóstico e a uma diminuição marcada da qualidade de vida.³²

Os benefícios do implante coclear estão bem documentados e provados assim como o seu impacto inegável na qualidade de vida das pessoas com surdez neurosensorial. Contudo, e como já foi mencionado, esta implantação requer uma abertura cirúrgica do labirinto o que pode acarretar riscos quando ainda existe função vestibular presente. Isto acontece porque apesar do sistema coclear e vestibular serem distintos, possuem uma transmissão neuronal idêntica. Assim, o implante coclear pode acarretar risco de lesão dos CSC's ou órgãos otólitos com deterioração da função vestibular.⁶⁶ Esta consequência é reportada na literatura, entre 23 a 100% dos pacientes implantados, o que torna o estudo da mesma de especial importância.⁶⁷

Neste estudo, não se verificou correlação entre a função vestibular pré-operatória e o grau de perda auditiva, o PTA pré-operatório, ou a idade do paciente.

Apesar de ser bastante evidente a relação entre o implante coclear e a deterioração da função vestibular, o mecanismo fisiopatológico que se encontra na base desta problemática ainda não é consensual. Algumas das hipóteses que têm surgido afirmam que pode estar relacionada com uma inserção traumática do eléctrodo, com uma labirintite pós cocleostomia e com uma perda intraoperatória de endolinfa com alterações na pressão da mesma que causa danos nos recetores vestibulares. Dentro destes recetores o mais afetado é o sáculo, seguido do utrículo e por fim os canais semicirculares.^{68,69 e 70}

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a função vestibular após a colocação de um implante coclear, recorrendo para tal a diversos exames complementares diagnósticos. Segundo uma meta-análise, os mais requisitados têm sido os Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMPs), correspondendo a 44,7% da totalidade dos exames utilizados nos diversos estudos, seguido das provas calóricas (36.8%) e, por fim, os v-HIT (23.6%). Uma ressalva importante é que a maioria dos estudos utiliza mais que um teste para avaliar a função vestibular.^{71,72}

Segundo a literatura, os VEMPs são aqueles que se encontram claramente mais afetados, tendo demonstrado diminuição da função vestibular entre 9 a 86 % dos casos. Estes parecem ser os testes mais sensíveis para detetar alterações no vestíbulo pós implantação coclear, dado que

representam o sáculo e utrículo, as estruturas mais comumente afetadas por este procedimento, devido à sua proximidade com a cóclea. Apesar de ser o teste mais utilizado, ainda apresenta algumas discrepâncias como se pode ver pelos diferentes valores de afetação. As razões para a magnitude desta disparidade prendem-se com o facto de estes testes terem algumas limitações tais como ainda não se encontrarem padronizados, serem contraindicados em indivíduos com surdez de condução (os que são realizados através de estímulos com ar) e pelo facto de perderem acuidade com a idade, podendo as respostas serem mesmo ausentes em indivíduos mais velhos. Assim, uma alteração da resposta no VEMP pode ser devido a uma diferença no método de testagem, a uma estimulação incorreta devido a surdez de condução ou à idade e, finalmente, a disfunção vestibular.^{33,71,73}

Os testes calóricos também têm sido muito utilizados na avaliação da função vestibular após a colocação de um implante coclear. Na literatura estima-se que se detetem alterações e assimetrias em aproximadamente 34% dos casos. Contudo, existe uma grande variabilidade nestes dados com vários estudos a reportar alterações numa gama que vai desde os 0 até 77%. Os testes calóricos são exames que avaliam fundamentalmente a integridade do canal semicircular horizontal. Este exame possui duas grandes limitações. Em primeiro lugar, pensa-se que a sua interpretação pode ser afetada por alterações na anatomia do osso temporal. Efetivamente, em 2016 Patki conduziu um estudo para tentar descobrir a contribuição que a anatomia teria na resposta ao teste calórico, tendo chegado à conclusão de que 69% da variação das respostas a estes testes se devem a alterações anatómicas. Assim, estes dados sugerem que modificações na mastoide podem alterar as características de transmissão de calor deste teste, culminando assim com respostas alteradas. Ora, este facto assume especial destaque em indivíduos que possuem um implante coclear, na medida em que, na maioria, para a realização deste procedimento é necessária a realização de uma mastoidectomia e, como tal, distorção anatómica do osso temporal. Posto isto, nestes indivíduos alterações nos testes calóricos têm de ser interpretadas com cuidado, uma vez que podem ser o reflexo de uma perda de função vestibular ou de alterações nas características de condução térmicas devido à alteração anatómica que a mastoidectomia impõe. Para além disto, este é um teste que implica um certo nível de atenção e cooperação para que possa ser executado de forma correta e para que os resultados sejam fidedignos. Geralmente é realizado numa sala escura para diminuir as distrações visuais. Para doentes que possuem um implante coclear e, como tal, têm um grau de perda auditiva significativo, a manutenção da atenção pode constituir um desafio, na medida em que dependem da estimulação visual para interagir com o examinador. Por tudo o que foi dito, este é um exame que apesar da sua larga utilização não é ideal para a avaliação da função vestibular após implante coclear.^{33,74,75,76.}

O v-HIT é um exame que tem assumido uma maior importância recentemente, uma vez que é rápido de executar, inócuo para o paciente, repetível, fornece informação sobre todos os canais semicirculares, não necessita de equipamento especializado e utiliza um estímulo fisiológico que é a rotação da cabeça e, como tal, não depende das propriedades de condução térmica como acontece nos testes calóricos.⁷⁷ Adicionalmente, este é um exame que é fácil de interpretar, ou seja, o aparecimento de novo de sacadas *overt* ou *covert* bem como uma queda no ganho do VOR devem ser interpretados como lesão vestibular.⁷¹ Outra questão a ter em consideração é a sensibilidade e especificidade deste teste que tem sido alvo de muita investigação, sendo que estudos preliminares mostram que o v-HIT parece ser menos sensível a detetar disfunção vestibular que os testes calóricos.^{71,78}

Este estudo mostrou que a colocação do implante coclear não agravou a função vestibular, objetivada através do v-HIT. Estes resultados vão de encontro aos dos estudos mais recentes, que afirmam que este exame é o menos afetado no contexto pós colocação de implante coclear.⁷⁹ Outra limitação do v-HIT é que esta restringido a testar gamas de alta frequência de função vestibular e, como tal, pode deixar escapar algumas disfunções.⁷⁶ Outro fator que é necessário ter em conta e pode explicar os resultados obtidos é a técnica cirúrgica utilizada. A abordagem escolhida para introdução do elétrodo na rampa timpânica na nossa instituição é através da janela redonda, por preferência do cirurgião. Ora, esta tem sido considerada mais protetora da função vestibular quando comparada com a cocleostomia, embora alguns estudos não encontrem diferença significativa.⁸⁰ Como tal, este dado também vai de encontro ao facto de no nosso estudo não se ter objetivado um agravamento da função vestibular.

Este estudo tem algumas limitações, nomeadamente a pequena amostra, o tempo variável após a cirurgia no momento da realização do v-HIT e o facto de não existir comparação com outros métodos de avaliação da função vestibular.

10. Conclusão

Por mais de 30 anos os implantes cocleares têm sido desenvolvidos e melhorados com o objetivo de conseguir recuperar a audição em indivíduos com surdez neurossensorial severa ou profunda, permitindo desta forma melhorar a qualidade de vida dos mesmos e voltar a inseri-los na sociedade. Os critérios que tornam um doente apto a realizar este procedimento têm acompanhado esta evolução e têm sido expandidos ao longo do tempo, fazendo com que a população que pode beneficiar desta tecnologia se torne cada vez maior. Contudo, esta intervenção vem acompanhada de algumas complicações, nomeadamente a nível vestibular que podem ter impacto na vida destes doentes. Assim, tem sido de especial interesse esta questão, motivando diversos estudos do impacto que este dispositivo possa ter na função vestibular. Neste estudo, não se verificou um agravamento significativo da função vestibular objetivada com recurso ao v-HIT em pacientes submetidos a colocação de implante coclear. Para além disso, não se verificou correlação entre a função vestibular e a audição residual após a cirurgia. Ainda não existe um consenso sobre qual o melhor exame para avaliar a função vestibular no contexto pós-implante coclear. Assim, estudos futuros devem tentar concentrar os seus esforços em tentar encontrar medidas alternativas que vão para além da análise de reflexos e que não sejam influenciáveis pelas alterações anatómicas impostas pela própria cirurgia. Deste modo, será possível ter uma melhor percepção da afetação vestibular nesta população.

11.Apêndice: Figuras



Figura 1 – Componente externo (esquerda) e interno (direita) de um implante coclear. [Adaptado de (15)]

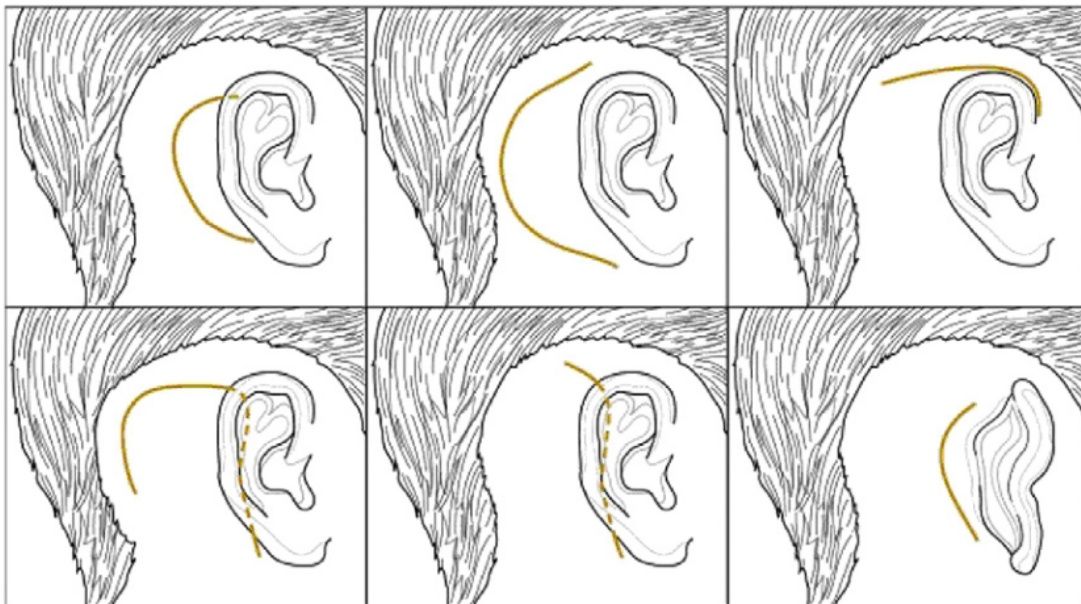


Figura 2 – Evolução das incisões ao longo do tempo. [Adaptado de (38)]

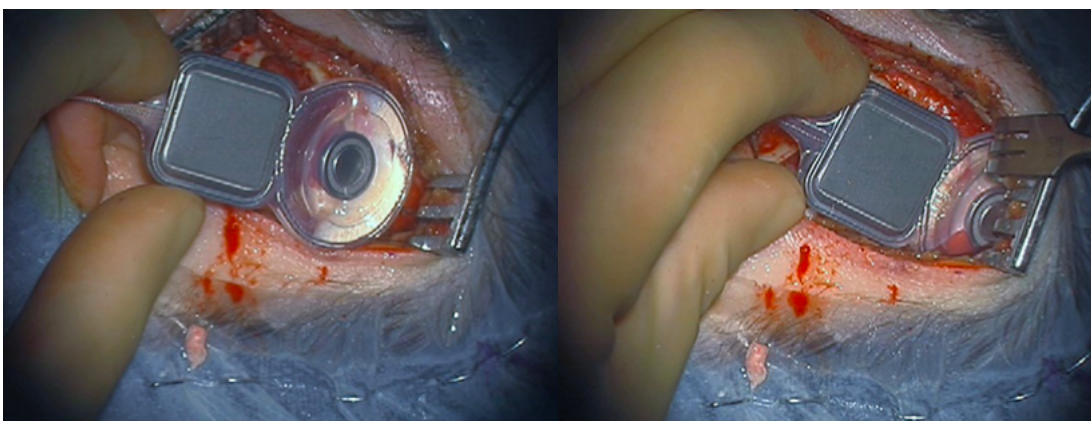


Figura 3 – Colocação do recetor do implante coclear na bolsa subperiosteal. [Adaptado de (38)]

12. Apêndice Tabelas

Grau de Severidade	Limiar de Audição em dB
Ligeira	26-40 dB
Moderada	41-60 dB
Severa	61-80 dB
Profunda	81 dB ou superior

Tabela I – Classificação do grau de severidade da surdez.

	Adultos	Crianças 2-17 anos	Crianças 12 -14 meses
Limiares de Audição	Perda auditiva neurossensorial moderada a profunda, ou seja, > 40 dB	Perda auditiva neurossensorial severa a profunda, ou seja, > 60 dB	Perda auditiva neurossensorial profunda, ou seja, > 80 dB
Reconhecimento de discurso	Capacidade de distinguir frases inferior ou igual a 50 % no ouvido afetado e 60% no contralateral, ou 50 % bilateralmente.	Scores de reconhecimento inferiores ou iguais a 20-30 %.	Benefício limitado no <i>trial</i> de amplificação binaural.

Tabela II – Critérios convencionais para a colocação de implante coclear.

Sexo, n (%)	Feminino	17 (60.7)
	Masculino	11 (39.3)
Idade, média em anos (DP)		50.2 (16.3)
Grau de hipoacusia no ouvido implantado, n (%)	Severa	7 (25)
	Profunda	21 (75)
Ouvido implantado, n (%)	Esquerdo	13 (46.4)
	Direito	15 (53.6)
Tempo cirúrgico, média em minutos (DP)		149.6 (35.9)

Tabela III – Dados sociodemográficos e relativos à cirurgia.

v-HIT		Resultado, média (DP)	<i>p</i>
CSC Lateral	Pré	0.77 (0.30)	0.63
	Pós	0.77 (0.29)	
CSC Anterior	Pré	0.78 (0.25)	0.73
	Pós	0.78 (0.30)	
CSC Posterior	Pré	0.51 (0.25)	0.10
	Pós	0.50 (0.22)	

Tabela IV – Resultados do ganho do VOR no lado operado no contexto pré e pós-operatório.

13.Referências

- 1- Quaranta N, Coppola F, Casulli M, et al. Epidemiology of age related hearing loss: A review,” *Hear. Balanc. Commun.*, 2015, vol. 13, no. 2, pp. 77–81.
- 2- “Deafness and hearing loss,” *World Health Organization*, 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>. [Accessed: 2-Mar-2023].
- 3- GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018 Nov 10;392(10159):1789-1858. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32279-7. Epub 2018 Nov 8. Erratum in: *Lancet*. 2019 Jun 22;393(10190):e44. PMID: 30496104; PMCID: PMC6227754.
- 4- Olusanya BO, Davis AC, Hoffman HJ. Hearing loss grades and the *International classification of functioning, disability and health*. *Bull World Health Organ*. 2019 Oct 1;97(10):725-728. doi: 10.2471/BLT.19.230367. Epub 2019 Sep 3. PMID: 31656340; PMCID: PMC6796665.
- 5- Naples JG, Ruckenstein MJ. Cochlear Implant. *Otolaryngol Clin North Am*. 2020 Feb;53(1):87-102. doi: 10.1016/j.otc.2019.09.004. Epub 2019 Oct 31. PMID: 31677740.
- 6- Eshraghi AA, Nazarian R, Telischi FF, Rajguru SM, Truy E, Gupta C. The cochlear implant: historical aspects and future prospects. *Anat Rec (Hoboken)*. 2012 Nov;295(11):1967-80. doi: 10.1002/ar.22580. Epub 2012 Oct 8. PMID: 23044644; PMCID: PMC4921065.
- 7- Mudry A, Mills M. The early history of the cochlear implant: a retrospective. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2013 May;139(5):446-53. doi: 10.1001/jamaoto.2013.293. PMID: 23681026.
- 8- Hainarosie M, Zainea V, Hainarosie R. The evolution of cochlear implant technology and its clinical relevance. *J Med Life*. 2014;7 Spec No. 2(Spec Iss 2):1-4. PMID: 25870662; PMCID: PMC4391344.
- 9- Eisen MD. Djourno, Eyries, and the first implanted electrical neural stimulator to restore hearing. *Otol Neurotol*. 2003 May;24(3):500-6. doi: 10.1097/00129492-200305000-00025. PMID: 12806307.
- 10- Shah SB, Chung JH, Jackler RK. Lodestones, quackery, and science: electrical stimulation of the ear before cochlear implants. *Am J Otol*. 1997 Sep;18(5):665-70. PMID: 9303167.
- 11- Hainarosie M, Zainea V, Hainarosie R. The evolution of cochlear implant technology and its clinical relevance. *J Med Life*. 2014;7 Spec No. 2(Spec Iss 2):1-4. PMID: 25870662; PMCID: PMC4391344.
- 12- Deep NL, Dowling EM, Jethanamest D, Carlson ML. Cochlear Implantation: An Overview. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2019 Apr;80(2):169-177. doi: 10.1055/s-0038-1669411. Epub 2018 Sep 6. PMID: 30931225; PMCID: PMC6438790.
- 13- B. S. Wilson and M. F. Dorman, “Interfacing Sensors With the Nervous System: Lessons From the Development and Success of the Cochlear Implant,” *IEEE Sens. J.*, vol. 8, no. 1, pp. 131–147, Jan. 2008.
- 14- Yawn R, Hunter JB, Sweeney AD, Bennett ML. Cochlear implantation: a biomechanical prosthesis for hearing loss. *F1000Prime Rep*. 2015 Apr 2;7:45. doi: 10.12703/P7-45. PMID: 26097718; PMCID: PMC4447036.
- 15- Hajioff D. Cochlear implantation: a review of current clinical practice. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2016 Dec 2;77(12):680-684. doi: 10.12968/hmed.2016.77.12.680. PMID: 27937030.

- 16- Kirkby-Strachan G, Que-Hee C. Implantable hearing devices - An update. *Aust Fam Physician*. 2016 Jun;45(6):370-3. PMID: 27622224.
- 17- Roche JP, Hansen MR. On the Horizon: Cochlear Implant Technology. *Otolaryngol Clin North Am*. 2015 Dec;48(6):1097-116. doi: 10.1016/j.otc.2015.07.009. Epub 2015 Oct 9. PMID: 26443490; PMCID: PMC4641792.
- 18- Tajudeen BA, Waltzman SB, Jethanamest D, Svirsky MA. Speech perception in congenitally deaf children receiving cochlear implants in the first year of life. *Otol Neurotol*. 2010 Oct;31(8):1254-60. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181f2f475. PMID: 20814343; PMCID: PMC2962931.
- 19- Sharma A, Gilley PM, Dorman MF, Baldwin R. Deprivation-induced cortical reorganization in children with cochlear implants. *Int J Audiol*. 2007 Sep;46(9):494-9. doi: 10.1080/14992020701524836. PMID: 17828665.
- 20- Kajal S, Mishra A, Gupta P, Kairo AK. Duration of Antibiotic Prophylaxis for Cochlear Implantation: A Systematic Review. *J Int Adv Otol*. 2022 May;18(3):269-275. doi: 10.5152/iao.2022.21454. PMID: 35608498.
- 21- Center for Disease Control and Prevention (2022). Use of Vaccines to Prevent Meningitis in Persons with Cochlear Implant. Available from: <https://www.cdc.gov/vaccines/vpd/mening/hcp/dis-cochlear-gen.html>. Cited 2023 Mar 17
- 22- Kahue CN, Sweeney AD, Carlson ML, Haynes DS. Vaccination recommendations and risk of meningitis following cochlear implantation. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014 Oct;22(5):359-66. doi: 10.1097/MOO.000000000000092. PMID: 25101934.
- 23- Peng KA, Kuan EC, Hagan S, Wilkinson EP, Miller ME. Cochlear Nerve Aplasia and Hypoplasia: Predictors of Cochlear Implant Success. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017 Sep;157(3):392-400. doi: 10.1177/0194599817718798. Epub 2017 Jul 4. PMID: 28675079.
- 24- Birman CS, Powell HR, Gibson WP, Elliott EJ. Cochlear Implant Outcomes in Cochlea Nerve Aplasia and Hypoplasia. *Otol Neurotol*. 2016 Jun;37(5):438-45. doi: 10.1097/MAO.0000000000000997. PMID: 27050647.
- 25- Onan E, Tuncer U, Surmelioglu O, Dagkiran M, Ozdemir S, Tarkan O, Kiroglu MM. The Results of Cochlear Implantation in the Inner Ear Malformations. *J Int Adv Otol*. 2022 May;18(3):203-209. doi: 10.5152/iao.2022.20134. PMID: 35608487.
- 26- Marx M, Mosnier I, Venail F, Mondain M, Uziel A, Bakhos D, Lescanne E, N'Guyen Y, Bernardeschi D, Sterkers O, Deguine O, Lepage B, Godey B, Schmerber S, Bonne NX, Vincent C, Fraysse B. Cochlear Implantation and Other Treatments in Single-Sided Deafness and Asymmetric Hearing Loss: Results of a National Multicenter Study Including a Randomized Controlled Trial. *Audiol Neurootol*. 2021;26(6):414-424. doi: 10.1159/000514085. Epub 2021 Mar 31. PMID: 33789270; PMCID: PMC8686720.
- 27- Carl AC, Cornejo J. Audiology Pure Tone Evaluation. [Updated 2022 Apr 17]. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK580531/>
- 28- Spahr AJ, Dorman MF, Litvak LM, Van Wie S, Gifford RH, Loizou PC, Loiseau LM, Oakes T, Cook S. Development and validation of the AzBio sentence lists. *Ear Hear*. 2012 Jan-Feb;33(1):112-7. doi: 10.1097/AUD.0b013e31822c2549. PMID: 21829134; PMCID: PMC4643855.
- 29- Tamplen M, Schwalje A, Lustig L, Alemi AS, Miller ME. Utility of preoperative computed tomography and magnetic resonance imaging in adult and pediatric cochlear implant candidates. *Laryngoscope*. 2016 Jun;126(6):1440-5. doi: 10.1002/lary.25659. Epub 2015 Sep 11. PMID: 26360798.
- 30- Roberts DM, Bush ML, Jones RO. Adult progressive sensorineural hearing loss: is preoperative imaging necessary before cochlear implantation? *Otol Neurotol*. 2014 Feb;35(2):241-5. doi: 10.1097/MAO.0b013e3182a437b3. PMID: 24448283; PMCID: PMC4383313.

- 31- Jiang ZY, Odiase E, Isaacson B, Roland PS, Kutz JW Jr. Utility of MRIs in adult cochlear implant evaluations. *Otol Neurotol*. 2014 Oct;35(9):1533-5. doi: 10.1097/MAO.0000000000000453. PMID: 24892366.
- 32- Bittar RSM, Sato ES, Ribeiro DJS, Tsuji RK. Preoperative vestibular assessment protocol of cochlear implant surgery: an analytical descriptive study. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2017 Sep-Oct;83(5):530-535. doi: 10.1016/j.bjorl.2016.06.014. Epub 2016 Jul 31. PMID: 27574724; PMCID: PMC9444770.
- 33- Piker EG, Riska K, Garrison D, Kaylie DM. Vestibular function after cochlear implantation: A test battery and case-by-case approach. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2020 Jun 4;5(3):560-571. doi: 10.1002/lio2.413. PMID: 32596501; PMCID: PMC7314491.
- 34- Kirtane M, Mankekar G, Mohandas N, Patadia R. Cochlear Implants *An International Journal of Otorhinolaryngology Clinics*, 2010, 2(2), 133–137. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10003-1026>
- 35- Hsieh HS, Wu CM, Zhuo MY, Yang CH, Hwang CF. Intraoperative facial nerve monitoring during cochlear implant surgery: an observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2015 Jan;94(4):e456. doi: 10.1097/MD.0000000000000456. PMID: 25793243; PMCID: PMC4602960.
- 36- Kant E, Markodimitraki LM, Stegeman I, Thomeer AGXM. Variability in surgical techniques for cochlear implantation: an international survey study. *Cochlear implants international*, 23(4), 195–202. 2022 Available from: <https://doi.org/10.1080/14670100.2022.2051242>
- 37- Fernandes V, Wang Y, Yeung R, Symons S, Lin V. Effectiveness of skull X-RAY to determine cochlear implant insertion depth. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2018 Sep 3;47(1):50. doi: 10.1186/s40463-018-0304-9. PMID: 30176926; PMCID: PMC6122652.
- 38- Mangus B, Rivas A, Tsai BS, Haynes DS, Roland JT Jr. Surgical techniques in cochlear implants. *Otolaryngol Clin North Am*. 2012 Feb;45(1):69-80. doi: 10.1016/j.otc.2011.08.017. PMID: 22115682.
- 39- O'Donoghue GM, Nikolopoulos TP. Minimal access surgery for pediatric cochlear implantation. *Otol Neurotol*. 2002 Nov;23(6):891-4. doi: 10.1097/00129492-200211000-00014. PMID: 12438852.
- 40- Petersen H, Walshe P, Glynn F, McMahon R, Fitzgerald C, Thapa J, Simoes-Franklin C, Viani L. Occurrence of major complications after cochlear implant surgery in Ireland. *Cochlear Implants Int*. 2018 Nov;19(6):297-306. doi: 10.1080/14670100.2018.1513386. Epub 2018 Aug 29. PMID: 30157714.
- 41- Lee DJ, Driver M. Cochlear implant fixation using titanium screws. *Laryngoscope*. 2005 May;115(5):910-1. doi: 10.1097/01.MLG0000154537.05252.A0. PMID: 15867664.
- 42- Davis BM, Labadie RF, McMenomey SO, Haynes DS. Cochlear implant fixation using polypropylene mesh and titanium screws. *Laryngoscope*. 2004 Dec;114(12):2116-8. doi: 10.1097/01.mlg.0000149443.22393.ab. PMID: 15564830.
- 43- Sürmelioglu Ö, Özdemir S, Tarkan Ö, Tuncer Ü, Çetik F, Kara K, Kiroğlu M. Alternative Techniques in Cochlear Implantation. *J Int Adv Otol*. 2016 Apr;12(1):109-12. doi: 10.5152/iao.2015.1022. PMID: 27340995.
- 44- Postelmans JT, Tange RA, Stokroos RJ, Grolman W. The suprameatal approach: a safe alternative surgical technique for cochlear implantation. *Otol Neurotol*. 2010 Feb;31(2):196-203. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181c29f8b. PMID: 20009783.
- 45- Carfrae MJ, Foyt D. Intact meatal skin, canal wall down approach for difficult cochlear implantation. *J Laryngol Otol*. 2009 Aug;123(8):903-6. doi: 10.1017/S0022215108004039. Epub 2008 Oct 31. PMID: 18976512.
- 46- Bittencourt AG, Tsuji RK, Tempestini JP, Jacomo AL, Bento RF, Brito Rd. Cochlear implantation through the middle cranial fossa: a novel approach to access the basal turn of the cochlea. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2013 Mar-Apr;79(2):158-62. doi: 10.5935/1808-8694.20130028. PMID: 23670319; PMCID: PMC9443918.

- 47- Friedland DR, Runge-Samuelson C. Soft cochlear implantation: rationale for the surgical approach. *Trends Amplif.* 2009 Jun;13(2):124-38. doi: 10.1177/1084713809336422. PMID: 19447766; PMCID: PMC4111526.
- 48- Cho HS, Lee KY, Choi H, Jang JH, Lee SH. Dexamethasone Is One of the Factors Minimizing the Inner Ear Damage from Electrode Insertion in Cochlear Implantation. *Audiol Neurootol.* 2016;21(3):178-86. doi: 10.1159/000445099. Epub 2016 May 28. PMID: 27229744.
- 49- Briggs RJ, Tykocinski M, Xu J, Risi F, Svehla M, Cowan R, Stover T, Erfurt P, Lenarz T. Comparison of round window and cochleostomy approaches with a prototype hearing preservation electrode. *Audiol Neurootol.* 2006;11 Suppl 1:42-8. doi: 10.1159/000095613. Epub 2006 Oct 6. PMID: 17063010.
- 50- Cheng AK, Niparko JK. Cost-utility of the cochlear implant in adults: a meta-analysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1999 Nov;125(11):1214-8. doi: 10.1001/archotol.125.11.1214. PMID: 10555692.
- 51- Ahmad FI, Demason CE, Teagle HF, Henderson L, Adunka OF, Buchman CA. Cochlear implantation in children with postlingual hearing loss. *Laryngoscope.* 2012 Aug;122(8):1852-7. doi: 10.1002/lary.23362. Epub 2012 May 1. PMID: 22549479.
- 52- 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 Jun;131(3):177-82. doi: 10.1016/j.anorl.2013.05.005. Epub 2014 Jun 2. PMID: 24889283.
- 53- Cohen NL, Hoffman RA. Complications of cochlear implant surgery in adults and children. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1991 Sep;100(9 Pt 1):708-11. doi: 10.1177/000348949110000903. PMID: 1952660.
- 54- Hansen S, Anthonsen K, Stangerup SE, Jensen JH, Thomsen J, Cayé-Thomasen P. Unexpected findings and surgical complications in 505 consecutive cochlear implantations: a proposal for reporting consensus. *Acta Otolaryngol.* 2010 May;130(5):540-9. doi: 10.3109/00016480903358261. PMID: 19958250.
- 55- Jeppesen J, Faber CE. Surgical complications following cochlear implantation in adults based on a proposed reporting consensus. *Acta Otolaryngol.* 2013 Oct;133(10):1012-21. doi: 10.3109/00016489.2013.797604. Epub 2013 Jun 14. PMID: 23768013; PMCID: PMC3793264.
- 56- Migirov L, Yakirevitch A, Henkin Y, Kaplan-Neeman R, Kronenberg J. Acute otitis media and mastoiditis following cochlear implantation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2006 May;70(5):899-903. doi: 10.1016/j.ijporl.2005.10.001. Epub 2005 Nov 23. PMID: 16309750.
- 57- Raveh E, Ulanovski D, Attias J, Shkedy Y, Sokolov M. Acute mastoiditis in children with a cochlear implant. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2016 Feb;81:80-3. doi: 10.1016/j.ijporl.2015.12.016. Epub 2015 Dec 31. PMID: 26810295.
- 58- Thom JJ, Carlson ML, Olson MD, Neff BA, Beatty CW, Facer GW, Driscoll CL. The prevalence and clinical course of facial nerve paresis following cochlear implant surgery. *Laryngoscope.* 2013 Apr;123(4):1000-4. doi: 10.1002/lary.23316. Epub 2013 Feb 4. PMID: 23382004.
- 59- Alzhrani F, Lenarz T, Teschner M. Taste sensation following cochlear implantation surgery. *Cochlear Implants Int.* 2013 Sep;14(4):200-6. doi: 10.1179/1754762812Y.0000000018. Epub 2012 Nov 27. PMID: 23321682.
- 60- Filipo R, Patrizi M, La Gamma R, D'Elia C, La Rosa G, Barbara M. Vestibular impairment and cochlear implantation. *Acta Otolaryngol.* 2006 Dec;126(12):1266-74. doi: 10.1080/00016480600678789. PMID: 17101587.
- 61- Rivas A, Wanna GB, Haynes DS. Revision cochlear implantation in children. *Otolaryngol Clin North Am.* 2012 Feb;45(1):205-19. doi: 10.1016/j.otc.2011.09.005. PMID: 22115691.

- 62- Ikeya J, Kawano A, Nishiyama N, Kawaguchi S, Hagiwara A, Suzuki M. Long-term complications after cochlear implantation. *Auris Nasus Larynx*. 2013 Dec;40(6):525-9. doi: 10.1016/j.anl.2013.04.012. Epub 2013 Jul 2. PMID: 23827755.
- 63- Arnold W, Bredberg G, Gstöttner W, Helms J, Hildmann H, Kiratzidis T, Müller J, Ramsden RT, Roland P, Walterspiel JN. Meningitis following cochlear implantation: pathomechanisms, clinical symptoms, conservative and surgical treatments. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2002 Nov-Dec;64(6):382-9. doi: 10.1159/000067579. PMID: 12499760.
- 64- Terry B, Kelt RE, Jeyakumar A. Delayed Complications After Cochlear Implantation. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2015 Nov;141(11):1012-7. doi: 10.1001/jamaoto.2015.2154. PMID: 26469680.
- 65- Marlowe AL, Chinnici JE, Rivas A, Niparko JK, Francis HW. Revision cochlear implant surgery in children: the Johns Hopkins experience. *Otol Neurotol*. 2010 Jan;31(1):74-82. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181c29fad. PMID: 19887981.
- 66- Rivas A, Marlowe AL, Chinnici JE, Niparko JK, Francis HW. Revision cochlear implantation surgery in adults: indications and results. *Otol Neurotol*. 2008 Aug;29(5):639-48. doi: 10.1097/MAO.0b013e31817e5d31. PMID: 18665030.
- 67- Buchman CA, Joy J, Hodges A, Telischi FF, Balkany TJ. Vestibular effects of cochlear implantation. *Laryngoscope*. 2004 Oct;114(10 Pt 2 Suppl 103):1-22. doi: 10.1097/00005537-200410001-00001. PMID: 15454752.
- 68- Coordes A, Basta D, Götze R, Scholz S, Seidl RO, Ernst A, Todt I. Sound-induced vertigo after cochlear implantation. *Otol Neurotol*. 2012 Apr;33(3):335-42. doi: 10.1097/MAO.0b013e318245cee3. PMID: 22334157.
- 69- Tien HC, Linthicum FH Jr. Histopathologic changes in the vestibule after cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2002 Oct;127(4):260-4. doi: 10.1067/mhn.2002.128555. PMID: 12402002.
- 70- O'Leary MJ, Fayad J, House WF, Linthicum FH Jr. Electrode insertion trauma in cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1991 Sep;100(9 Pt 1):695-9. doi: 10.1177/000348949110000901. PMID: 1952658.
- 71- Sosna-Duranowska M, Tacikowska G, Gos E, Krupa A, Skarzynski PH, Skarzynski H. Vestibular Function After Cochlear Implantation in Partial Deafness Treatment. *Front Neurol*. 2021 May 21;12:667055. doi: 10.3389/fneur.2021.667055. PMID: 34093414; PMCID: PMC8175845.
- 72- Vaz FC, Petrus L, Martins WR, Silva IMC, Lima JAO, Santos NMDS, Turri-Silva N, Bahmad F Jr. The effect of cochlear implant surgery on vestibular function in adults: A meta-analysis study. *Front Neurol*. 2022 Aug 10;13:947589. doi: 10.3389/fneur.2022.947589. PMID: 36034277; PMCID: PMC9402268.
- 73- Licameli G, Zhou G, Kenna MA. Disturbance of vestibular function attributable to cochlear implantation in children. *Laryngoscope*. 2009 Apr;119(4):740-5. doi: 10.1002/lary.20121. PMID: 19205016.
- 74- 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*. 2017 Jun 8;46(1):44. doi: 10.1186/s40463-017-0224-0. PMID: 28595652; PMCID: PMC5465585.
- 75- Krause E, Louza JP, Hempel JM, Wechtenbruch J, Rader T, Gürkov R. Effect of cochlear implantation on horizontal semicircular canal function. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009 Jun;266(6):811-7. doi: 10.1007/s00405-008-0815-5. Epub 2008 Sep 20. PMID: 18807058.
- 76- Patki AU, Ronen O, Kaylie DM, Frank-Ito DO, Piker EG. Anatomic Variations in Temporal Bones Affect the Intensity of Nystagmus During Warm Caloric Irrigation. *Otol Neurotol*. 2016 Sep;37(8):1111-6. doi: 10.1097/MAO.0000000000001129. PMID: 27525622.
- 77- Halmagyi GM, Chen L, MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Curthoys IS. The Video Head Impulse Test. *Front Neurol*. 2017 Jun 9;8:258. doi: 10.3389/fneur.2017.00258. PMID: 28649224; PMCID: PMC5465266.

- 78- Bell SL, Barker F, Heselton H, MacKenzie E, Dewhurst D, Sanderson A. A study of the relationship between the video head impulse test and air calorics. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2015 May;272(5):1287-94. doi: 10.1007/s00405-014-3397-4. Epub 2014 Nov 23. PMID: 25416853.
- 79- Abouzayd M, Smith PF, Moreau S, Hitier M. What vestibular tests to choose in symptomatic patients after a cochlear implant? A systematic review and meta-analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2017 Jan;274(1):53-63. doi: 10.1007/s00405-016-4007-4. Epub 2016 Apr 8. PMID: 27059840.
- 80- Todt I, Basta D, Ernst A. Does the surgical approach in cochlear implantation influence the occurrence of postoperative vertigo? *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2008 Jan;138(1):8-12. doi: 10.1016/j.otohns.2007.09.003. PMID: 18164986.