

L'homme bio-artificiel a un bel avenir

Dans ce dossier

Implants articulaires **10**



Implant rétinien **11**



Implants cardiaques **12**



Implants cochléaires **13**



Les recherches investissent plusieurs champs : organes artificiels, ingénierie biomédicale, thérapie cellulaire et xénotransplantation. Dans chacun de ces domaines, les perspectives sont grandes. Les obstacles à lever également. Tour d'horizon avec le Dr Beat Walpoth, spécialiste des organes artificiels.

Des premières prothèses orthopédiques aux stimulateurs cardiaques toujours plus petits et performants, les organes artificiels permettent de sauver des vies ou d'en améliorer la qualité depuis plus de cinquante ans. Aujourd'hui, miniturbine dans le cœur, microprocesseur dans le cerveau, cordes vocales remplacées par des implants en titane, etc. sont presque monnaie courante. Et demain? Quels progrès fera encore la médecine en matière d'implants? Réponses avec le Dr Beat Walpoth, consultant et responsable de la recherche fondamentale et clinique en chirurgie cardiovasculaire aux HUG et ancien président de la société européenne pour les organes artificiels.

Ce dernier insiste d'emblée sur un point: «*La solution optimale demeure la transplantation, mais faute d'organes, il faut trouver d'autres pistes.*» Pour pallier cette pénurie, citons quatre grands domaines de recherche: les organes artificiels, l'ingénierie biomédicale, la thérapie cellulaire et la xénotransplantation.

Interfaces homme-machine

Dans la première catégorie, les implants passifs comme les prothèses orthopédiques (lire en page 10) ou les valves cardiaques progressent dans la qualité des matériaux, la grandeur, le poids et la durée de vie. Alors que ceux dits actifs offrent de plus en plus de fonctionnalités: les stimulateurs cardiaques (lire en page 12) peuvent être consultés à distance, les prothèses de bras robotisées

sont entièrement contrôlées par la pensée, de minuscules puces électroniques sont directement connectées aux cellules rétiennes (lire en page 11) et des microélectrodes remplacent la



JULIEN GREGORIO / PHOTEA

cochlée (lire en page 13). Sans oublier les interfaces homme-machine. Un exemple: pendant qu'une personne pense à une action, un électro-encéphalogramme enregistre les signaux électriques de son cortex, avant qu'un ordinateur ne les traite et les transforme en mouvements de la machine. Le potentiel d'application est énorme pour des patients souffrant de scléroses multiples, de dystrophie musculaire ou encore du syndrome d'enfermement («*locked-in*»).

Greffons synthétiques biodégradables

En ce qui concerne le remplacement des organes qui ont des fonctions métaboliques (rein et foie), les solutions actuelles demeurent des machines externes. «*D'ici dix ans, elles auront été miniaturisées, implantées car biocompatibles (lire ci-contre), avec des pompes et des batteries plus performantes comme c'est déjà le cas pour le*

cœur artificiel», relève le spécialiste. Autre champ, l'ingénierie biomédicale. Pour l'heure, des prothèses vasculaires synthétiques dégradables offrent d'excellents résultats chez l'animal après deux

«La solution optimale demeure la transplantation, mais faute d'organes, il faut trouver d'autres pistes»

Dr Beat Walpoth

ans. L'objectif est de proposer, d'ici cinq à dix ans, des greffons synthétiques biodégradables pour l'homme. Une application concrète est prévue en chirurgie cardiaque dans le laboratoire du Dr Walpoth (Geneva Cardiovascular Research): lors des pontages coronariens - 500 000 par année rien qu'aux Etats-Unis -, le greffon autologue (veine de la jambe ou artère mammaire) serait remplacé par des vaisseaux artificiels. «*Les cellules se répandent dans la matrice biodégradable et reforment une propre structure biologique*», explique le Dr Walpoth, qui voit dans un horizon fort lointain «*la possibilité de recréer des organes entiers grâce au mélange de polymères et de cellules humaines*».

Thérapie cellulaire

La thérapie cellulaire offre elle aussi de nombreux espoirs pour des maladies telles qu'Alzheimer, Parkinson, diabète, insuffisance

L'homme bionique

Des implants pour toutes les fonctions corporelles.

Implant actif (avec électronique)

- 1 pour la neuromodulation
- 2 pour la neurostimulation
- 3 oculaire
- 4 cochléaire
- 5 vocal
- 6 pompe à infusion
- 7 cardiaque (défibrillateur, stimulateur)

Endoprothèse (prothèse dans un organe creux)

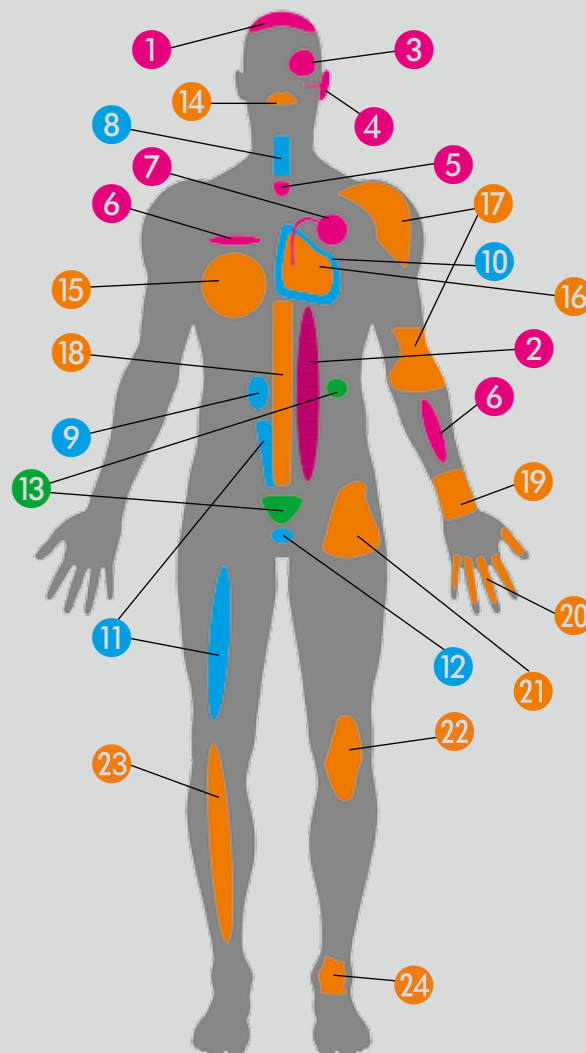
- 8 de la trachée, de l'œsophage
- 9 des voies biliaires
- 10 stent coronarien
- 11 vasculaire (abdomen, jambes)
- 12 urètre

Sphincter

- 13 vésical, pelvien, gastrique

Prothèse passive (sans électronique)

- 14 dentaire
- 15 mammaire
- 16 cardiaque (valve)
- 17 d'articulation (épaule, coude)
- 18 du rachis et des disques intervertébraux
- 19 du poignet
- 20 digitale
- 21 de la hanche
- 22 du genou
- 23 vasculaire
- 24 de la cheville



cardiaque, leucémie. Les cellules souches peuvent se diviser presque à l'infini et se différencier en n'importe quel autre tissu du corps: muscle, foie, cœur, etc. Pour l'heure, il est possible de cultiver in vitro des tissus à partir de cellules souches embryonnaires ou adultes. A l'avenir, l'objectif est de rendre les greffons compatibles pour une implantation chez l'humain

en éliminant les risques comme le rejet et les tumeurs. Relevons que la médecine régénératrice propose déjà des utilisations: greffe de cellules souches hématopoïétiques (provenant de la moelle épinière) pour traiter les leucémies ou d'autres maladies graves du sang; greffes cutanées chez les grands brûlés; injection de cellules souches dans un infarctus

du myocarde pour améliorer la fonction cardiaque. «Dans ce dernier cas, des recherches, notamment à l'Université de Genève, visent à obtenir une meilleure fonction et survie de ces cellules», relève le Dr Walpoth.

Xénotransplantation

La xénotgreffe, c'est-à-dire l'utilisation d'organes animaux pour

la transplantation chez l'humain, est aussi une source d'espoir. Les travaux sur les cellules pancréatiques et hépatiques porcines sont nombreux, mais l'application à l'homme est encore lointaine. Les barrières immunologiques et infectieuses seront les plus difficiles à lever.

Giuseppe Costa

Rejet et biocompatibilité

Tout organe transplanté demeure un corps étranger pour le receveur. Conséquence: l'obligation de prendre des médicaments antirejet chaque jour et à vie. Dans ce domaine, un pas de géant a été accompli au début des années 80 avec l'apparition de la ciclosporine. Ce médicament est un immunosuppresseur qui prévient le rejet des greffes en inhibant le système immunitaire.

Qu'en est-il des organes artificiels? Comme ils ne sont pas vivants, mais de matière synthétique ou métallique, il ne peut y avoir de rejet. «Par contre, il y a une réaction du corps contre l'implant. On essaie de la minimiser en utilisant des matériaux les plus biocompatibles possible, tel le titane», explique le Dr Beat Walpoth, spécialiste des organes artificiels. A terme, cela peut aboutir à une capsule

fibreuse, réaction normale de l'organisme formant une sorte de tissu cicatriciel autour du corps étranger afin de l'isoler et de se protéger.

Autre difficulté rencontrée: le contact avec le sang. Dans ce cas, la réaction au corps étranger est la thrombose (caillot sanguin). «Pour éviter le risque de thrombose de prothèse, les personnes sont sous traitement anticoagu-

lant toute leur vie, par exemple celles qui portent une valve cardiaque mécanique, qu'elle soit en titane ou en carbone», précise le Dr Walpoth.

A relever encore que plusieurs groupes, dont certains aux HUG, cherchent à trouver de nouveaux recouvrements de surface pour les organes artificiels afin d'augmenter leur biocompatibilité.

G.C.

« On peut remplacer toutes les articulations »

De la hanche au genou, en passant par la cheville, les disques intervertébraux, le poignet, ou le coude, la chirurgie orthopédique a les moyens de remplacer toutes les articulations qui font souffrir.

Oscar Pistorius, ce coureur sud-africain muni de prothèses qui courait plus vite qu'un homme valide, a marqué les esprits. Muni de deux lames en carbone en guise de tibias, le sprinteur a établi des records. Et il a aussi mis les prothèses orthopédiques sous les feux de la rampe.

« L'une des premières prothèses date de 1880 », explique le Pr Pierre Hoffmeyer, chef du département de chirurgie des HUG. « C'était une épaule destinée à un apprenti boulanger souffrant de tuberculose. Normalement, il aurait fallu lui couper le bras, mais un chirurgien, Jules-Emile Péan, a eu l'idée de demander à un dentiste de fabriquer une prothèse en platine et caoutchouc pour lui remplacer l'épaule. Cette prothèse, arrimée entre l'humérus et l'omoplate, a duré deux ou trois ans et quand la tuberculose s'est asséchée, elle a été retirée et le bras a ainsi pu être sauvé. »

Prothèses de coude

De nos jours, on remplace quasiment toutes les articulations. Mais les prothèses les plus connues du public restent celles de hanche et de genou. Pour l'épaule, ce sont 30 à 40 prothèses par an implantées aux HUG chez des patients victimes de traumatismes ou souffrant d'arthrose. Le coude

et le poignet sont aussi remplacés, mais moins couramment.

« Les prothèses de coude sont délicates à installer. On en place environ cinq par année », précise le chirurgien. La prothétique liée à des cancers permet, elle, à des malades souvent jeunes d'éviter l'amputation après avoir été opérés de tumeurs. « Le boom des prothèses peut apparaître comme un phénomène de société, mais il faut savoir qu'elles soulagent des gens venant nous consulter pour des douleurs sévères », relève le chirurgien.

JULIEN GREGORIO / PHOTOVA



Grâce au progrès des matériaux, les prothèses résistent mieux à l'usure.

Progrès dans les matériaux et la chirurgie

La tendance est à une chirurgie de moins en moins invasive, grâce à des mini-incisions et à des robots intelligents qui guident le chirurgien lors de l'intervention. Les matériaux font aussi l'objet de recherches et de progrès, pour que les appareils résistent mieux à l'usure. « Sur 350 à 400 prothèses posées par an, nous devons en changer seulement 30 à 40. Qui sont le plus souvent en place depuis de nombreuses années, donc un taux de 10% » précise le Pr Hoffmeyer. L'usure dépend de l'activité du patient et l'exercice physique est recommandé (marche, vélo). Les taux d'infection restent très bas grâce aux salles d'opérations ultra-sophistiquées dont sont dotées les HUG : ils n'atteignent que 0,6 à 0,7%. Pour les prothèses de hanche, les complications classiques sont la luxation ou l'embolie pulmonaire. Les progrès sont impressionnants dans ce domaine, puisque les prothèses de hanche ont par exemple un taux de réussite de 98% après 10 ans et de 90% après 20 ans !

Cécile Aubert

Des prothèses pour les enfants du Vietnam

Depuis 2000, le Pr André Kaelin, médecin-chef de service d'orthopédie pédiatrique des HUG, part chaque année en mission humanitaire au Vietnam avec l'organisation Children Action. Il y soigne des enfants souffrant de diverses pathologies, comme la poliomyélite, des tumeurs, des affections neurologiques. Ou encore les victimes des malformations congénitales dues au fameux agent orange, ce produit toxique

largué par l'armée américaine sur les forêts et les champs pendant la guerre du Vietnam. Le chirurgien y prodigue aussi des conseils pour la pose de prothèse.

Savoir-faire local

Les progrès techniques liés aux prothèses bénéficient surtout aux patients des pays développés. Au Vietnam, les malades n'ont pas les moyens financiers d'être appareillés.

En revanche, le savoir-faire existe grâce aux artisans. Et des missions humanitaires comme celles de Children Action offrent des prothèses orthopédiques aux jeunes patients et apportent l'expertise de chirurgiens occidentaux comme le Pr Kaelin. « Les prothèses fabriquées au sud ne sont certes pas aussi légères, fiables et ergonomiques par manque de moyens, mais elles sont d'une grande utilité.

Et le savoir-faire local en matière de prothétique doit être salué. Je donne des conseils aux artisans qui fabriquent les prothèses, je leur apporte mon expérience de chirurgien orthopédiste en pédiatrie », explique le médecin. Children Action envoie une mission tous les deux mois, composée de deux chirurgiens, pour assurer les interventions et le suivi régulier.

C.A.

Une puce sur la rétine

Deux patients malvoyants des HUG ont accepté de se faire poser un implant rétinien dans le cadre d'une recherche internationale qui ne compte qu'une trentaine de participants.

Cet essai clinique de prothèse rétinienne est le fruit de plus de dix ans de recherches auxquelles ont participé deux scientifiques du service d'ophtalmologie des HUG: Jörg Sommerhalder, docteur en physique, et Angélica Pérez Fornos, docteure en ingénierie biomédicale et maître-assistante à la Faculté de médecine de l'Université de Genève.



À gauche, un implant rétinien «Argus II»; à droite, des lunettes avec caméra intégrée et VPU (Video Processing Unit).

Ils participent à l'évaluation d'un implant électronique de 5 mm destiné aux rétines déficientes de patients malvoyants. Cette puce,

qui comprend 60 électrodes, est implantée par un chirurgien au fond de l'œil, sur la rétine. Elle est conçue par la société américaine Second Sight et va bientôt être commercialisée. Avec cet implant, le patient reçoit des lunettes, auxquelles est fixée une caméra, reliée à un boîtier électronique.

Reconstruire une image

Grâce à cet appareillage, la personne scanne ce qu'elle a devant elle avec ses lunettes, la caméra enregistre une image qui est transformée en impulsions électriques et transmise au récepteur implanté sur l'œil. Puis, la puce envoie des impulsions aux neurones de la rétine et le cerveau construit une image à l'aide des informations reçues. Car il ne les obtient plus automatiquement, pour cause de cellules rétinienne endommagées ou disparues suite à une dégénérescence liée à la rétinite pigmentaire, par exemple. La prothèse est donc posée dans le but de remplacer la fonction des photorécepteurs disparus.

Avec cet implant, des gens qui ne voyaient quasiment plus rien arrivent à distinguer le jour de la nuit ou peuvent se déplacer et effectuer des tâches quotidiennes. «Comme dans toute recherche médicale, il existe une part d'aléatoire, car chaque patient est différent et sur les 60 électrodes de l'implant,

certaines ne sont pas utilisables pour une stimulation permanente, explique Angélica Pérez Fornos. Les sensations varient selon l'état de sa rétine, son âge, la distance des cellules à stimuler par rapport à la puce, le positionnement de l'implant sur la rétine, la réaction des tissus, les seuils de stimulation nécessaires ou alors la plasticité de son cerveau.»

Bilan positif

Deux patients des HUG ont accepté de participer à un protocole de recherche sur cet implant encore à l'état de prototype. «L'un a été implanté en 2008 et l'autre en 2009 par un chirurgien rétinien expérimenté», explique Jörg Sommerhalder. «Ils se sont engagés à venir passer des tests une fois par semaine pendant trois ans afin d'améliorer cette prothèse rétinienne. Nous évaluons alors leurs sensations, les tâches qu'ils sont en mesure d'effectuer, leurs perceptions, afin de mieux comprendre la stimulation de la rétine.» Pour l'instant, le bilan est positif, car la prothèse rétinienne s'avère en général bien tolérée par les patients. La recherche se poursuit donc pour améliorer les perceptions visuelles délivrées par cet implant.

Publicité

DÉFICIT VISUEL ET RÉADAPTATION DIMENSIONS AFFECTIVES, SOCIALES, NEUROSCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Symposium à l'Auditoire Jenny, Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) les 21, 22 et 23 septembre 2011

Organisation :

Prof. Avinoam B. Safran et Dr André Assimacopoulos

En collaboration avec le Prof. José-Alain Sahel, directeur de l'Institut de la Vision à Paris

Toutes les informations et formulaires d'inscription disponibles sur le site : www.abage.ch



Association pour le Bien des Aveugles et malvoyants

Association pour le Bien des Aveugles et malvoyants
Bourg-de-Four 34
CH-1204 Genève
Tél.: +41(0)22 317 79 10
Fax: +41(0)22 317 79 11
mail: symposium@abage.ch
CCP: 12-872-1

Le cœur sous contrôle électronique

Les petits boîtiers, comme les pacemakers ou les défibrillateurs internes, font toujours plus de progrès et sauvent des vies.

Vous souffrez d'un trouble du rythme cardiaque qui ralentit votre pouls. Ou à l'inverse votre cœur, occasionnellement, bat trop vite. Dans les deux cas, cela peut mener à une perte de connaissance ou à une mort subite. Mais à chaque fois la solution existe: les stimulateurs cardiaques. «Ces petits ordinateurs implantables sauvent des vies», martèle d'entrée le Pr François Mach, médecin-chef du service de cardiologie des HUG. Quand il s'agit d'accélérer le cœur, le cardiologue pose un pacemaker. Ce petit dispositif de quelques centimètres de long, placé sous la peau dans le thorax, est relié au cœur par une sonde qui délivre un influx (ce n'est pas un choc électrique) lorsqu'il bat trop lentement. Sous anesthésie locale, l'intervention dure environ une heure et ne nécessite pas d'hospitalisation. Les HUG en implantent environ 250 par an. En plus de cinquante ans - le premier a été posé en 1958 -, les progrès sont nombreux: taille, fiabilité, durée de

vie (7 à 10 ans). Et pas seulement. «Lors des contrôles annuels, on peut interroger le pacemaker sur plusieurs mois et analyser finement les épisodes. Ce qui permet, en cas d'arythmies fréquentes par exemple, de modifier le traitement», précise le Pr Mach.

Chocs à haute énergie

Les défibrillateurs implantables remontent à une trentaine d'années. Ils sont placés selon le même mode que les pacemakers et comportent un boîtier électronique complexe à l'écoute permanente du rythme cardiaque. Les différences? Ils sont un peu plus gros et munis d'une électrode et d'une cathode qui provoquent un choc électrique - lorsque le cœur s'emballe (tachycardie) ou est totalement désorganisé (fibrillation ventriculaire) - afin d'éviter l'arrêt cardiaque. «Le défibrillateur intervient après quelques secondes en donnant des impulsions indolores. Si cela ne suffit pas, il délivre des chocs à haute énergie, ressentis plus ou

«C'est sécurisant de vivre avec»

Il y a un peu plus d'une année, Béatrice, 40 ans, fait un arrêt cardiorespiratoire alors qu'elle conduit son scooter. Conséquence: un grave accident de la route et quelques jours de coma. Au réveil, le verdict tombe, syndrome de QT long. Cette anomalie cardiaque dégenère souvent en fibrillation ventriculaire, ce qui peut causer une perte de connaissance, un arrêt cardiaque ou une mort subite. La pose d'un

défibrillateur interne est la solution dans une telle situation. «C'est sécurisant de vivre avec. Je sais que si j'ai un pépin, l'appareil va se déclencher et faire son travail. Cela me permet de vivre comme avant», se réjouit-elle. Devenue maman après l'accident, la jeune femme voit un autre avantage: «Grâce au défibrillateur, je n'ai pas besoin, pour l'heure, de prendre des médicaments.»



La pose d'un stimulateur cardiaque dure environ une heure sous anesthésie locale et ne nécessite pas d'hospitalisation.

moins douloureusement», relève le cardiologue. Environ 60 sont posés annuellement aux HUG. Dans ce domaine, le monitoring à distance est la dernière évolution importante. Si le patient ne se sent pas bien, il peut, de chez lui, transmettre les données

cardiaques via une borne téléphonique. Le médecin les reçoit sur un site web sécurisé. Celui-ci est de toute manière informé de façon automatique par le système en cas de complication. «Nous pouvons vérifier 24h sur 24 s'il y a un problème de santé détecté par le défibrillateur ou un problème technique qui provoquerait des chocs inappropriés et ne protégerait plus contre l'arythmie», détaille le Pr Mach.

Place de leader

A noter que, tous types de stimulateurs confondus, les HUG sont le premier centre de Suisse dans ce domaine. Ils font également figure de leader en Europe en tant qu'investigateurs principaux de plusieurs grandes études multicentriques sur le sujet.

G.C.

Giuseppe Costa

Une success story (in)ouïe

Les HUG ont joué un rôle pionnier dans le développement des implants cochléaires. Cette invention rend possible la communication orale pour 90% des personnes atteintes de surdité totale.

En 1985, on criait au miracle. En 2011, l'implant cochléaire est devenu une opération de routine. Chaque année aux HUG, une vingtaine de patients retrouve l'ouïe grâce à cette merveille de micro-technologie. A Genève, quelque 200 enfants vivent aujourd'hui avec un implant. Dans le monde, on compte environ 200 000 personnes implantées. «C'est une vraie success story!», se réjouit le Pr Marco Pelizzone, physicien aux HUG et responsable du centre romand d'implants cochléaires. Il est

d'autant plus fier de cette réussite que l'Hôpital genevois, en collaboration avec le Massachusetts Institute of Technology (Etats-Unis), a joué un rôle pionnier dans l'élaboration de cette prothèse auditive électronique. L'implant cochléaire permet de retrouver la communication orale dans plus de 90% des cas de surdité profonde. Pour qu'il soit efficace, il suffit que le nerf auditif et les zones du cerveau qui traitent l'audition fonctionnent normalement, ce qui est le cas pour la grande majorité de surdités totales. Bien entendu, les 24 électrodes du dispositif (lire encadré) ne restituent pas les sons avec la même finesse que les 3000 cellules nerveuses d'une cochlée saine.

Six octaves

Mais l'essentiel est là. Un patient implanté pourra communiquer avec son entourage - même si l'apprentissage peut prendre parfois plusieurs années, comme dans le cas d'un enfant sourd de naissance. En revanche, il lui sera plus difficile d'apprécier les subtilités d'un concerto de Mozart. «Contrairement à la musique, la parole couvre un



Les électrodes sont dans le colimaçon (tout à gauche).

signal à large bande, de 80 à 6000 Hertz. C'est six octaves sur un piano. Elle résiste donc très bien aux perturbations et déformations sonores», explique le Pr Pelizzone. Après la pose de l'implant, l'équipe des HUG accompagne le patient pour l'aider à utiliser au mieux sa nouvelle perception auditive. Elle assure son suivi médical, logopédique et psychologique. La plupart des enfants implantés peuvent être scolarisés à l'école ordinaire. Certains iront même à l'université. «Le bénéfice ne se mesure pas en comparant le patient à une personne dont l'audition est normale. Mais par rapport à sa situation de départ, celle d'une absence complète de communication orale», souligne le Pr Pelizzone.

En 1994, le centre des HUG est devenu officiellement le Centre romand d'implants cochléaires. En 2006, une antenne a été ouverte au service ORL du CHUV.

André Koller

Comment ça marche?



1. Les sons sont captés par le microphone et transmis au processeur vocal.
2. Le processeur code les sons.
3. Cette information est transmise à l'implant, à travers la peau, au moyen d'ondes radio.
4. L'implant envoie des impulsions électriques codées au faisceau d'électrodes implanté dans l'oreille interne - la cochlée.
5. Les 24 électrodes stimulent les fibres du nerf auditif.
6. Le cerveau interprète ces signaux comme des sons.

A.K.

Première mondiale aux HUG

Fin 2010, en première mondiale, l'équipe du Pr Jean-Philippe Guyot, médecin-chef du service d'ORL et de chirurgie cervicofaciale, a démontré la faisabilité d'un implant vestibulaire. De quoi s'agit-il?

Le système vestibulaire gère la perception du mouvement et de l'orientation. Un dysfonctionnement de ce système provoque des pertes d'équilibre et perturbe

la vision en mouvement. «Nous avons démontré qu'il est possible de générer des réflexes d'équilibre par un capteur de mouvement, placé sur la tête du patient, relié à un implant. A l'avenir, nous pourrions pallier la déficience vestibulaire et supprimer les symptômes typiques de cette affection», indique le Pr Jean-Philippe Guyot.

A.K.

Vrai ou Faux

Un implant ou une prothèse peut déclencher les contrôles de sécurité dans les aéroports.

Vrai On peut délivrer des certificats, mais cela n'empêchera pas une fouille corporelle par la sécurité.

On garde une prothèse à vie.

Faux La longévité d'une prothèse articulaire est étroitement liée à l'activité. Pour un train de vie normal, on peut compter entre 10 et 15 ans. Une prothèse peut être remplacée aussi souvent que nécessaire. Mais chaque nouvelle opération est plus difficile.

Après la pose d'une prothèse articulaire, on ne peut plus pratiquer de sport.

Faux Au contraire, le sport maintient le squelette et la quantité de calcium dans les os. Il est donc à encourager. Il faut cependant éviter les sports d'impact (football, course à pied, etc.). Pour ceux qui aiment la randonnée en montagne, il est recommandé de monter à pied et de redescendre en téléphérique. La pratique de la plupart des sports, de la course à pied à la natation, est aussi possible avec un stimulateur cardiaque.

Les implants mammaires peuvent éclater dans un avion à haute altitude.

Faux Les implants mammaires ne présentent pas de risque de rupture dans un avion, ni d'ailleurs lors de plongée sous-marine.

On peut utiliser un téléphone portable si on porte un stimulateur cardiaque.

Vrai Le téléphone portable n'est absolument pas interdit. Cependant, il est recommandé de le placer à distance du stimulateur cardiaque, en le collant à l'oreille droite, du côté opposé où l'appareil a été implanté.