

Les nouvelles prothèses

Serge LÉCOLIER promo 58

Le développement de nouvelles prothèses est un enjeu de santé important pour améliorer la vie des handicapés et leur permettre la pratique d'un plus grand nombre d'activités. L'utilisation de nouveaux matériaux issus de la chimie a contribué à l'apparition de prothèses très performantes. On y trouve, soit des matériaux classiques comme le plâtre, les plastiques ou les métaux, soit des composites résines-fibres de carbone.

Définition

Prothèse vient du grec *πρό* (devant,...) et *τίθημι* (je pose), désigne un appareil interne ou externe qui succède soit à un membre, soit à une partie d'un membre ou d'un organe du corps pour remplacer la ou les fonction(s) compromise(s). Celles-ci sont, dans la mesure du possible, rétablies, en totalité ou partiellement, ainsi que leurs formes qui seront adaptées pour s'allier parfaitement avec l'organisme. La prothèse a pour but de redonner une autonomie à la personne, soulager sa douleur, la réinsérer à son domicile et dans sa vie sociale.

La mobilité est un besoin essentiel, que tout le monde éprouve. Les amputés de jambe veulent aussi participer activement à la vie. Ils le peuvent grâce à des prothèses appropriées. En équilibre : un soin prothétique de qualité assure une démarche équilibrée et fluide, en exerçant un effet amortissant pour une allure plus légère. La pratique de sports (course, tennis, basket...) est un acquis récent qui a permis d'élargir la gamme des possibilités physiques mais aussi de redonner aux handicapés motivation, goût de l'effort, de la performance et de la compétition.

Des jambes biomécaniques encore perfectibles

Dans une prothèse de jambe, le « squelette » des jambes reproduit les trois articulations

La chimie, les nouveaux matériaux, l'électronique, les biopuces ont permis la mise au point de nouvelles prothèses dont on a pu voir les performances étonnantes lors des derniers jeux paralympiques.

des membres inférieurs – hanches, genoux et chevilles – et les muscles sont, quant à eux, simulés par des sangles qui montent et descendent. Mais tous les mouvements sont déterminés et coordonnés par une réplique électronique d'une partie du système nerveux humain, qui dicte le rythme des signaux musculaires après avoir collecté les informations fournies par différentes parties du corps sur son environnement. Raison pour laquelle nous parvenons à marcher sans y penser.

« *Lorsque nous avons combiné tous ces éléments, le mouvement qui en a résulté était très semblable à celui d'un être humain, particulièrement la hanche et le genou.* »

Histoire des prothèses

Les premières prothèses remonteraient à la préhistoire, au temps où les hommes ont commencé à tenir sur leurs deux pieds ; une fois debout ils ne cherchaient qu'une chose, y rester. L'instinct de survie était primordial ; il leur a donc fallu trouver de quoi remplacer leurs membres amputés ou estropiés.

D'après des chercheurs allemands, les Égyptiens étaient capables d'amputer et de concevoir des prothèses. Ils appuient leur théorie sur une momie d'une femme morte il y a environ 3 000 ans. Elle fut amputée de son orteil droit qui fut remplacé par une prothèse en bois sculpté composée de trois parties. Elle est maintenue par une gaine en cuir cousu et du textile. Les traces d'usure montrent qu'elle a servi et les chercheurs pensent qu'elle permettait un assez bon mouvement.

Pendant l'Antiquité, les Grecs et les Romains fabriquaient aussi des prothèses. Les traces en sont plus nombreuses, grâce

aux artistes qui écrivaient des poèmes, des récits... Tel Hérodote, grand historien grec, avec l'histoire d'Élée dans Calliope qui, pour échapper aux Spartes, s'amputa la jambe et se fit une jambe de bois. Au Moyen-Âge, les prothèses n'ont qu'un but fonctionnel comme les pilons et les crochets.

À la Renaissance, de nombreux chirurgiens ont recours aux prothèses pour assister leurs patients et élaborent de nouveaux dispositifs qui seront utilisés jusqu'au XX^e siècle.

Au XVI^e siècle, le chirurgien français Ambroise Paré (1510-1590) invente de nombreuses techniques d'amputation et de cautérisation au fer chaud. C'est aussi le créateur des armatures métalliques, des pilons articulés et des cuissards à pilons.

Les guerres, à cause du nombre impressionnant d'amputés et de démembrés mais aussi de brûlés et de mutilés, ont permis l'essor des technologies prothétiques et des entreprises qui les conçoivent. La Guerre de Sécession (1861-1865), qui compta environ 30 000 amputés, vit la naissance de centaines d'entreprises spécialisées soutenues par un gouvernement qui appareillait ses vétérans.

Par la suite, les deux Grandes Guerres vont permettre un nouvel essor de l'industrie prothétique, notamment grâce à la mobilisation de nombreux vétérans de guerre et à l'aide financière du gouvernement américain.

Aujourd'hui, la science prothétique a considérablement évolué. On assiste à une réelle révolution des prothèses et des méthodes d'appareillage. Les prothèses se modernisent, sont de plus en plus légères, de plus en plus résistantes, de plus en plus « humanisantes » c'est-à-dire

qu'on ne distinguera plus à l'avenir un membre organique d'une prothèse. La science prothétique prend de plus en plus place dans l'esthétisme (chirurgie esthétique, instituts de beauté, etc.), dans le sport (handisports) et même dans le vétérinaire (prothèse animalière). Les entreprises prothétiques se comptent par milliers dans le monde, même si les prothèses sont encore majoritairement faites à la main.

Prothèses sportives

Les athlètes appareillés peuvent participer aux Jeux Handisports Paralympiques créés et organisés par le Comité Olympique. Plus de vingt disciplines sont à leur disposition comme l'athlétisme, l'haltérophilie, la natation mais aussi les arts martiaux, le cyclisme et le rugby.

Leurs appareillages sont plus légers et plus résistants que des prothèses classiques en utilisant en particulier le titane (résistant et élastique) et le carbone (léger et résistant) ainsi que d'autres métaux pour l'assemblage.

Certaines possèdent des composants apportant propriétés et caractéristiques mécaniques : ressorts, engrenages, alimentation électrique.

Parmi les prothèses mécaniques on trouve les « *X fingers* » dépourvus de tout système électrique ; ils permettent de retrouver une mobilité fonctionnelle et des actions de saisie. Le système est à la fois ingénieux et simple, le mécanisme utilise les restes amputés des doigts ou un autre doigt dans le cas contraire et, à l'aide de combinaisons de ressorts et de tenseurs, il reproduit les articulations d'un doigt organique. La reproduction est si parfaite qu'un patient portant ces doigts artificiels peut saisir une pièce, porter une charge ou même jouer du piano.

L'intelligence intégrée dans la prothèse est conçue pour aider les mouvements de son propriétaire.

La prothèse baptisée « *Power Knee* », est capable d'apprendre la façon de marcher de son utilisateur. Elle va ensuite bouger lorsqu'il marche, ou qu'il monte des escaliers, de la même façon que la « vraie » jambe. La prothèse contient des capteurs, des moteurs et un calculateur intégré qui, en fonction du sol sur lequel est posé le pied, vont corriger la posture, et aider le mouvement en bougeant de façon active. En plus des membres de remplacement pour les personnes amputées, on vise aussi à créer des membres « améliorés », qui augmentent la

puissance des mouvements.

Samedi 4 août 2012, lors des J.O. de Londres, le coureur jamaïcain Usain Bolt débute les séries du 100 m, mais la star du jour n'est pas le sprinteur jamaïcain. Les regards sont tournés vers Oscar Pistorius. Le Sud-Africain, équipé de ses prothèses de jambes en carbone, est devenu le premier athlète handicapé à participer aux épreuves d'athlétisme aux Jeux olympiques. Mais pour atteindre ce sommet sportif, le coureur de 400 m a surmonté des obstacles devant lesquels beaucoup auraient baissé



les bras. Dernier en date : on voulait le contraindre à partir en première position lors du relais 4 x 400 m pour des raisons de sécurité.

Depuis quelques années déjà, les performances d'Oscar Pistorius défraient régulièrement la chronique sportive, les responsables de la fédération internationale d'athlétisme estimant que ses jambes artificielles lui procureraient un avantage majeur sur ses concurrents ! Amputé des jambes au niveau des tibias dès son plus jeune âge à cause d'une malformation, le sportif utilise des prothèses en fibres de carbone. Pour autant, ces prothèses n'ont pas été développées spécialement pour lui. Elles sont commercialisées par la société islandaise Ossur, spécialiste des membres artificiels.

Cette prothèse est un ensemble d'éléments. Il y a d'abord le manchon, qui est roulé sur le moignon. Il est constitué de silicone, un matériau doux, étirable, qui agit comme une interface entre l'emboîture qui supporte le poids du corps et la peau. Le manchon assure la suspension de la prothèse. Il s'insère dans l'emboîture qui est réalisée sur mesure dans des matériaux variés.

Dans les prothèses sous le genou (transtibiales), l'emboîture est fixée directement au pied en carbone, ou via un tube, suivant la taille et la longueur de la jambe de la personne amputée. Le pied est disponible en neuf catégories, correspondant à la limite de poids qu'il peut supporter (jusqu'à 147 kg), pour des hauteurs entre 254 et 457 mm.

Des prothèses guidées par la pensée

Depuis des années, la recherche en biotechnologie travaille ardemment pour mettre au point des prothèses légères et surtout capables de répondre aux besoins quotidiens des personnes amputées à la suite d'accidents. Fini le temps des jambes de bois et des bras en cire inerte. Plusieurs entreprises ont réussi à mettre au point des prothèses de dernière génération. Les matériaux utilisés sont extrêmement légers, résistants et très maniables grâce à la mise en place d'un système hydraulique au niveau des articulations. Mais la révolution bionique est dans la réalisation de nombreux mouvements commandés par... le cerveau.

Un bras qui obéit

Lors d'une conférence de presse à Washington en 2006, Claudia Mitchell, totalement amputée du bras gauche à la suite d'un accident de moto, a pu montrer qu'avec sa nouvelle prothèse, elle pouvait saisir une tasse et la porter à sa bouche ou encore tourner les pages d'un

livre... Tous ses gestes familiers, elle peut les commander comme son ancien membre disparu : par la pensée. Comment l'ensemble fonctionne-t-il ?

Les moteurs électriques de la prothèse sont commandés par des signaux myo-électriques envoyés par le cerveau aux muscles restant au-dessus du membre amputé. Les terminaisons nerveuses coupées qui innervaient le bras ont été dérivées vers le thorax et rattachées aux muscles. À cet endroit, les scientifiques apposent tout un mécanisme de capteurs (électrodes) qui vont enregistrer les influx nerveux émis par le cortex moteur (centre de la motricité de notre cerveau) vers ces terminaisons des nerfs du bras disparu.

Mais comment le membre artificiel fait-il pour distinguer le type d'information souhaitée par le cerveau ? Comment va-t-il savoir qu'il faut tourner le poignet, contracter tel muscle... ? La réponse est dans la puce. Elle est capable d'analyser une centaine de signaux électriques et de commander vingt-deux mouvements possibles de la prothèse.

La prochaine avancée est de permettre aux personnes amputées de percevoir à nouveau des sensations : la température, la pression... Les scientifiques ont constitué un réseau de fibres nerveuses capables, à la fois d'envoyer les informations nerveuses du cerveau à la prothèse, et d'acheminer des signaux sensitifs de la prothèse au cerveau. La personne amputée éprouvera de nouveau des sensations.

« Lève-toi et marche »

Le cerveau est l'organe de notre corps le plus complexe mais aussi le plus fascinant par sa plasticité, son aptitude à tout commander dans notre organisme. Les chercheurs travaillent à sa compréhension afin d'aider les personnes lourdement handicapées et, qui sait, de leur permettre un jour de remarquer. Cette célèbre phrase tirée de la Bible est le nom donné à un programme européen lancé en 2000 et dirigé par le professeur Pierre Rabischong, chercheur à l'INSERM de Montpellier. L'objectif de ce projet est de mettre au point un mécanisme technologique pour aider les paralysés à retrouver une certaine motricité.

Tout part d'un constat simple : lors d'une lésion de la moelle épinière, tous les nerfs et les muscles situés en dessous de cette lésion sont totalement déconnectés du cerveau ; d'où une paralysie des membres car les influx nerveux cérébraux ne leur parviennent plus. Un seul moyen pour y

remédier : incorporer une sorte de « deuxième cerveau » sous la lésion. Comment ? En plaçant une biopuce qui va stimuler les nerfs par des impulsions électriques : c'est l'électrostimulation.

Une puce en guise de cerveau

Un paraplégique s'est prêté à une expérience en mars 2000. Les chirurgiens lui ont implanté dans l'abdomen une biopuce enfermée dans un cylindre en céramique (léger et résistant). Ce micro-circuit est relié aux nerfs et aux muscles locomoteurs via des électrodes reliées à des câbles en acier recouverts de Téflon (fonction isolante). La puce envoie des stimulations électriques aux nerfs et aux muscles agonistes et antagonistes (ce sont les muscles complémentaires d'un membre : l'un se contracte pendant que l'autre se relâche. Un boîtier extérieur commande le stimulateur par des ondes radio.

Le 17 mars 2000, ce paraplégique a pu faire quelques pas, soutenu par des béquilles, pour la première fois depuis dix ans. Un véritable message d'espoir pour tous les handicapés.

Biocompatibilité

Pour améliorer l'acceptation par le corps des ligaments artificiels on les habille d'un « camouflage biologique ». On greffe sur le ligament des polymères bioactifs, c'est-à-dire qui possèdent des motifs chimiques que l'on retrouve dans l'environnement des cellules. Décoré de ces motifs, le ligament artificiel ne suscite plus l'ire du corps. Testé avec succès chez cinquante six brebis, il est en cours de certification chez l'homme.

Des vaisseaux sanguins artificiels

Si la biocompatibilité chimique est un critère important d'acceptation de la prothèse par le corps, attention également au comportement mécanique du greffon artificiel qui peut mener à son rejet. Par exemple, la rigidité est un paramètre clé pour les vaisseaux sanguins artificiels. Ceux-ci sont implantés chez des patients, diabétiques notamment, dont l'irrigation sanguine des membres est si gravement perturbée qu'elle peut mener à l'amputation. Le problème est qu'après l'implantation l'organisme perçoit rapidement la rigidité anormale de ces vaisseaux synthétiques et obstrue par coagulation les implants les plus étroits. Pour y remédier, des scientifiques ont eu recours aux premiers petits vaisseaux synthétiques qui

passent le cap de l'implantation.

On utilise des polymères naturels issus de cultures de bactéries et de champignons mis en forme par chimie de réticulation. Cette dernière consiste à souder les polymères entre eux pour leur conférer les propriétés voulues. Le résultat a l'aspect d'un banal tube, mais qui se comporte mécaniquement comme un vaisseau naturel, en particulier lors des soubresauts dus aux contractions cardiaques. Autre avantage, les polymères sont naturellement dégradables : lors d'expériences faites chez le rat, un nouveau vaisseau a remplacé l'implant en quelques mois. Des expériences supplémentaires vont à présent devoir être conduites chez l'homme pour s'assurer sur le long terme du succès complet de la méthode.

Fabrication des prothèses orthopédiques.

Les prothèses sont fabriquées avec différentes sortes de plastiques tel le polypropylène, le Téflon et les polyesters, ainsi que des alliages à base de chrome et de cobalt. La résine assure les liaisons entre les fibres de renforcement. Une liaison chimique unit la résine à une fibre pour supporter le stratifié, afin qu'il devienne rigide. Cela forme un plastique renforcé. Dans le cas d'une prothèse, la résine se lie avec le tissu et celui-ci devient plus dur. Une bonne résine doit empêcher les fibres de se déplacer pour ne pas déformer la prothèse. Si la résine n'est pas assez adhérente, les fibres du tissu vont se déplacer et un petit nombre d'entre elles vont supporter la charge. La résine doit donc permettre aux charges d'être équilibrées tout en les gardant en place pour ne pas briser la prothèse. La résine sert aussi à amortir les chocs pour qu'il y ait moins de vibrations, afin de protéger la pièce. En plus, à cause de l'étanchéité causée par celle-ci, il y a une protection contre l'humidité. Cela peut permettre à une prothèse d'aller à l'eau. Un exemple de résine fréquemment utilisée pour fabriquer des prothèses est constitué par les polyesters. Pour unir les emboîtures, des alliages de chrome et de cobalt sont utilisés car ils sont résistants à la rupture, ils ne se déforment presque pas et une fois que leurs surfaces sont polies, elles glissent très bien. En plus ces métaux sont inertes ce qui évite le risque de rejet pour la prothèse, à moins qu'il y ait présence de bactéries. On utilise davantage ces métaux car on peut leur donner des formes plus

complexes qu'avec les céramiques, et leur coût est beaucoup moins élevé. Les céramiques ont les mêmes utilisations que ces alliages sauf qu'elles sont beaucoup moins malléables et plus couteuses. Le titane est apprécié surtout pour sa légèreté mais comme il ne glisse pas aussi bien que les alliages de chrome et de cobalt, on ne s'en sert pas pour faire des articulations de prothèses. On l'utilise seulement pour les endroits fixes.

Plastiques utilisés pour fabriquer des prothèses



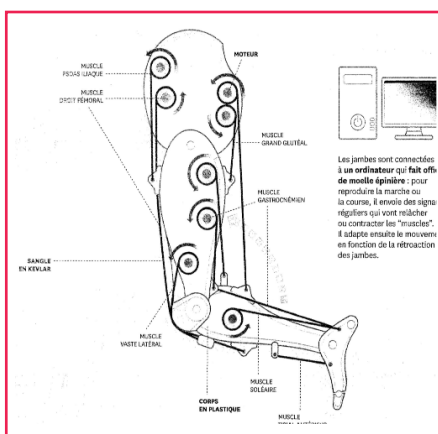
Une prothèse de footballeur !

Ceux-ci doivent répondre à plusieurs obligations, selon leur utilisation. Si une prothèse doit aller à l'eau, on utilise un plastique imperméable comme le polytétrafluoréthylène (plus communément appelé Téflon). Sa formule chimique est : ... CF₂ — CF₂ ...

C'est un thermoplastique, qui peut donc être moulé (à une température de 320°C). En plus, il ne se combine pas à l'oxygène, ce qui empêche les moisissures de s'y installer. Ce plastique est aussi très intéressant pour fabriquer des prothèses, car il est perméable à l'eau et aux graisses et résiste à la corrosion. Il est donc très résistant. De plus, le Téflon ne réagit pas avec les autres molécules et n'adhère pas aux surfaces des autres corps. D'autres plastiques ont besoin de résister aux

chocs. Par exemple, les plastiques utilisés pour fabriquer des jambes artificielles subissent fréquemment de gros chocs. C'est pourquoi un plastique thermodurcissable tel le polyester peut être intéressant. Un polyester se fabrique en condensant un mélange de diacides et de dialcools à 200°C. Les acides sont alors remplacés par leurs anhydrides, tandis que l'eau produite dans la réaction s'évapore à cause de la température élevée. Pendant que le polyester est liquide, on lui ajoute un monomère et, quand la masse se solidifie, elle devient infusible.

Le polypropylène est un polymère résistant aux chocs. Il a aussi d'autres propriétés qui le rendent intéressant pour fabriquer des prothèses. Il résiste aux températures élevées, pourvu qu'elles soient inférieures à 135°C. Il est rigide, de faible densité et résiste aux rayons X. Par contre, il n'est pas résistant à l'eau. Le polypropylène est un thermoplastique tout comme le téflon.



Détail d'une prothèse de jambe

Conclusion

Les dix dernières années ont vu un développement rapide d'innovations qui ont conduit à la réalisation de prothèses,



Tout devient possible !

à la fois très diverses et très performantes, grâce à la combinaison et à la mise en œuvre de connaissances et de disciplines variées, telles que la chimie des polymères, des matériaux composites, la biochimie, couplées à l'informatique et plus récemment à la neurophysiologie qui permet la commande de certaines prothèses par le cerveau, c'est-à-dire par la pensée. On entre véritablement dans les débuts d'une révolution qui préfigure un futur homme bionique, qui ne sera peut-être pas dépourvu d'effets pervers que l'on n'a pas encore véritablement identifiés. Mais l'essentiel est de redonner aux handicapés qui sont malheureusement de plus en plus nombreux dans le monde la possibilité de vaincre leurs handicaps, de leur redonner une certaine « normalité » et de leur permettre une insertion dans la société, dans le monde du travail, du sport et des loisirs. ■

Références:

Cet article s'est inspiré largement du numéro du Journal du CNRS sur « La Chimie prend soin de nous », janvier-février 2011, n° 252-253.

Et sur le site internet :

<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/ces-materiaux-qui-reparent-le-corps-827>