



© Maciek Musialek/Demotix/Corbis

GRÂCE À SON COSTUME BIONIQUE, Claire Lomas est devenue, en mai 2013, la première femme paraplégique à finir le marathon de Londres (en 16 jours). L'utilisation de ces exosquelettes est autorisée en Grande-Bretagne depuis 2012 et a récemment été approuvée par l'Agence américaine des aliments et des médicaments. En Europe, le premier exosquelette développé, *Hercule*, est français (société RB3D). Il devrait avoir un usage tant militaire que civil, notamment médical.

■ BIBLIOGRAPHIE

H. N. Noristani *et al.*, Correlation of *in vivo* and *ex vivo* ^1H -MRI with histology in two severities of mouse spinal cord injury, *Front Neuroanat.*, vol. 9, art. 24, 5 mars 2015.

U. Sławińska *et al.*, The role of serotonin in the control of locomotor movements and strategies for restoring locomotion after spinal cord injury, *Acta Neurobiol. Exp. (Wars)*, vol. 74, pp. 172-187, 2014.

J. C. Furlan *et al.*, Global incidence and prevalence of traumatic spinal cord injury, *Can. J. Neurol. Sci.*, vol. 40, pp. 456-464, 2013.

S. David et A. J. Aguayo, Axonal elongation into peripheral nervous system « bridges » after central nervous system injury in adult rats, *Science*, vol. 214, pp. 931-933, 1981.

aussi fait la preuve de son efficacité lorsqu'elle est pratiquée dans les dix heures suivant la lésion. La rééducation fonctionnelle intervient alors pour optimiser les fonctions résiduelles, réduire la masse grasseuse, limiter la fonte musculaire. En 2014, Naaz Kapadia, de l'Institut de réhabilitation de Toronto, et ses collègues ont montré que l'association de cette rééducation avec une stimulation électrique améliore les performances, surtout si la lésion est incomplète. L'association active probablement des circuits « dormants », inactifs en temps normal.

Enfin, en 2013, Heather Hayes, de l'université Emory, à Atlanta, a prouvé l'efficacité d'une forme de rééducation inédite, l'hypoxie transitoire, qui consiste à retenir sa respiration pendant quelques dizaines de secondes. Là aussi, des circuits dormants seraient activés lors du stress induit.

Bientôt des neuroprothèses ?

Divers dispositifs robotiques sont aussi à l'étude pour restaurer une autonomie aux patients. Les premiers exosquelettes ont vu le jour dans les années 1960 dans le cadre du projet *Hardiman*, issu de la collaboration de General Electric avec l'armée américaine. Ce projet a été arrêté, car le poids des exosquelettes (700 kg) les rendait inutilisables, mais il a posé les bases des costumes bioniques actuels. Constitués d'attelles mécaniques aux articulations motorisées, ces derniers s'enfilent comme un harnais. Une série de capteurs détectent les mouvements du buste et des bras, puis les transmettent à un ordinateur localisé dans le dos de l'utilisateur. L'ordinateur calcule ensuite les mouvements correspondants des jambes, puis actionne les articulations mécaniques et commande ainsi la marche. Des béquilles sont utilisées pour plus de stabilité (voir la figure ci-contre).

Malgré leur potentiel, ces exosquelettes ne sont pas adaptés à tous les patients. Bien que leur coût baisse, ils demeurent onéreux (plus de 50 000 euros), lourds (plus de 20 kg) et d'autonomie restreinte (quelques heures). En outre, leur utilisation nécessite un long apprentissage et, surtout, une certaine force dans le buste et les bras. Ils ne conviennent donc pas aux tétraplégiques.

Pour ces derniers, un espoir réside dans les interfaces cerveau-machine, qui visent à contrôler des prothèses par la pensée. Les activités électriques des neurones sont enregistrées avec une grande résolution

temporelle et spatiale grâce à une grille d'électrodes implantée sur le cortex moteur, à la surface du cerveau. Lorsque le sujet essaie mentalement de bouger ses bras ou ses mains, il active les neurones qui contrôlent ces mouvements. Les électrodes captent cette activité électrique et la transmettent à un ordinateur, qui la décode puis envoie les commandes motrices correspondantes aux prothèses. Une variante consiste à envoyer ces commandes à un dispositif de stimulation électrique connecté aux muscles du paralysé.

En 2008, l'équipe d'Andrew Schwartz, de l'université de Pittsburgh, a ainsi permis à un macaque de contrôler par la pensée un bras robotisé. L'animal a pu tourner une poignée de porte puis attraper et manger des guimauves. En 2012, Christian Ethier, de l'université Northwestern, à Chicago, et ses collègues ont restauré la motricité fine d'un bras paralysé chez un singe, qui a réussi à attraper une balle. La même année, l'équipe d'Andrew Schwartz a implanté une grille d'électrodes dans le cortex moteur d'une femme tétraplégique de 52 ans : elle est maintenant capable de contrôler un bras artificiel et d'attraper des objets avec la main de la prothèse. En 2013, un deuxième patient tétraplégique de 30 ans a bénéficié du même type d'implantation et a pu contrôler le mouvement d'une main artificielle.

L'application clinique à grande échelle de cette technique ne sera pas immédiate. Le contrôle de neuroprothèses par la pensée est une technique invasive qui, pour l'instant, ne donne des résultats qu'en laboratoire et avec l'aide de bon nombre d'ingénieurs et de chercheurs. Néanmoins, ces travaux constituent une étape importante dans l'utilisation d'implants bioniques.

Ainsi, l'avenir de la prise en charge des blessés médullaires est sans doute à la mise en œuvre séquentielle d'une série de mesures thérapeutiques allant de la neuroprotection à l'utilisation d'implants bioniques, centrée sur la stimulation et le contrôle d'une régénération neurale intrinsèque. La compréhension du fonctionnement de la moelle épinière éclaire aussi d'autres domaines des neurosciences. Partie intégrante du système nerveux central, la moelle épinière constitue désormais un modèle pour tester de nouvelles thérapies applicables à d'autres pathologies du cerveau adulte, telles que les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson. Dans ces pathologies aussi, des modifications des cellules gliales participent à la mort des neurones... ■