Die Welt der Hightech-Prothesen

von Gunnar Göpel / veröffentlicht am 25.05.2020

In der Prothesen-Forschung werden immer größere Fortschritte gemacht – die Natur ist das Vorbild. „Neuromuskuloskeletale Prothesen“ verbinden die künstliche Hand mit dem Gehirn. Eine neue Studie zeigt die neuen Möglichkeiten auf. Zu groß sollten die Erwartungen aber noch nicht sein.

Weltweit leben mehr eine Million Menschen mit dem Verlust von Gliedmaßen. Genauere Zahlen gibt es nicht. **Denn ein Amputationsregister, das der Bundesverband für Menschen mit Arm- oder Beinamputationen fordert, existiert in Deutschland nicht.** Verschiedene Selbsthilfegruppen gehen von jährlich 40.000 bis 60.000 Amputationen an den unteren Extremitäten und rund 10.000 Amputationen der oberen Extremitäten und anderen Körperteilen aus. Waren grobschlächtige Prothesen des Kriegshandwerks etwa im Altertum und Mittelalter – der Ritter Götz von Berlichingen wurde auch durch seine „eiserne Hand“ berühmt – kaum mehr als eine optische Ergänzung des angeschlagenen Körpers, können die heutigen Medizinprodukte Menschen immer mehr Lebensqualität zurückgeben. **Längst haben Wissenschaftler und Unternehmen die ingenieurgetriebene Medizintechnik mit den Lebenswissenschaften zum „Bioengineering“ verwoben.**

„Es ist in der Forschung derzeit ein großer Trend hin zu immer hochtechnologischeren Prothesen zu verzeichnen, die nicht mehr nur ein nützliches, mechanisches Werkzeug sein sollen, sondern technisch einige der verloren gegangenen Fähigkeiten des Menschen wieder sicher umsetzen“, so Sami Haddadin, Inhaber des Lehrstuhls für Robotik und Systemintelligenz an der Technischen Universität München (TUM). Eine neue Studie der Technischen Hochschule Chalmers im schwedischen Göteborg, die dem Tagesspiegel Background vorliegt, berichtet von vier Patienten mit Oberarmamputationen, die seit drei bis sieben Jahren mit einer „neuromuskuloskeletalen Prothese“ leben. Bei einem rund sechs- bis achtstündigen chirurgischen Eingriff wird ein Titanimplantat in den Knochen am Oberarm eingesetzt. Im selben Eingriff werden die Nerven so verkabelt, dass die Signale direkt in der Prothese ankommen und von dort wieder zurückgeleitet werden. „Die Informationen laufen in die Prothese und von dort wieder zurück ins Gehirn“, so Oskar Aszmann vom Klinischen Labor für Bionische Extremitätenrekonstruktion an der Universitätsklinik für Chirurgie der MedUni Wien, das an der Entwicklung beteiligt ist. Laut Aszmann sollen einzelne Finger der Prothese in Echtzeit wahrgenommen werden können.

Die Berührungsempfindungen entstehen laut Studie durch Kraftsensoren im Daumen der Prothese. Die Sensoren, die in eine Prothese des deutschen Weltmarktführers Ottobock integriert wurden, messen den Kontakt und den Druck, der beim Greifen auf ein Objekt ausgeübt wird. **Dabei werden die Signale von einem eingebetteten Steuerungssystem in der Prothese interpretiert und mithilfe von KI-Algorithmen verarbeitet.** Diese Informationen werden an die Nerven der Patienten übertragen, die zu ihrem Gehirn führen. Patienten können so fühlen, wann sie ein Objekt berühren, welche Eigenschaften es hat und wie stark sie darauf drücken, was für die Nachahmung einer biologischen Hand entscheidend ist. „Die Herausforderung besteht darin, neuronale Schnittstellen zu

schaffen, die große Mengen künstlich gesammelter Informationen nahtlos an das Nervensystem übertragen können, so dass der Benutzer Empfindungen auf natürliche Weise wahrnehmen kann“, sagt Max Ortiz Catalan, Professor für Elektrotechnik an der Technischen Universität Chalmers. Ähnlich beschreibt Christian Hofer vom Ottobock Research Hub in Wien die größten Herausforderungen bei der Entwicklung neuromuskuloskelettaler Prothesen: „Stabilität sowohl im Sinn der mechanischen und elektrischen Haltbarkeit als auch im Sinn von Zuverlässigkeit der Informationsübertragung (Steuerung/Feedback).“

Bewegungsabläufe trainieren und abrufen

Die Hand als sensorisches Werkzeug sei in der Prothetik noch am Beginn der Forschung, so Hofer weiter. **Ein wesentliches Problem bei der technischen Umsetzung von Händen bestehe in der großen Anzahl der benötigten Gelenke – und damit in der Anzahl der künstlichen Muskeln, oft Motoren, die unabhängig voneinander gesteuert werden müssen, so Sami Haddadin.** „Eine menschliche Hand hat konkret über zwanzig solcher Freiheitsgrade“, so der TUM-Wissenschaftler. Moderne Prothesenhände würden schon heute eine hohe Bewegungsfähigkeit, also eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden, bieten, ergänzt Hofer. **„Für die praktische Anwendung der Möglichkeiten ist die Steuerung, die Übertragung der Benutzerintention in entsprechende Bewegungen, der limitierende Faktor.“**

Hier seien erste Lösungen in der Mustererkennung bereits vorhanden. Bei Ottobock heißt die entsprechende Technik „Myo Plus“. Acht Elektroden in der Prothese sollen dabei die Bewegungsmuster der Muskeln im Unterarmstumpf messen und diese bestimmten Handbewegungen und -griffen zuordnen. Greift der Patient beispielsweise nach einer Flasche Wasser, soll die Prothesensteuerung das zugehörige Bewegungsmuster erkennen und den jeweiligen Griff oder die Rotation ausführen. Nach einer ersten Anpassung durch einen Orthopädietechniker soll der Träger über eine App die Prothesensteuerung selbstständig kontrollieren und trainieren können.

„Natur hat Fantastisches geleistet“

Bei genauer Betrachtung der Anatomie des menschlichen Hand-Arm-Systems werde deutlich, dass sich die meisten Muskeln der Hand im Unterarm befinden, führt Haddadin weiter aus. „Das ist von Vorteil bei sehr schnellen und geschickten Bewegungsabläufen.“ Die Herausforderung bestehe also darin, zwanzig Antriebe in menschlicher Bauform mit einem Gesamtgewicht von rund zwei Kilogramm im Unterarm unterzubringen. **„Die Natur hat da wahrlich Fantastisches geleistet und uns eine Grand Challenge der verkörperten Künstlichen Intelligenz vorgelegt“, so Haddadin weiter.** Trotz des durch die Kreativität der Ingenieure befeuerten großen Tempos in der Entwicklung und vielversprechenden Ansätzen müsse festgestellt werden, dass noch keine dem menschlichen Arm ebenbürtige, technische Lösung gefunden werden konnte.

Groß ist der Fortschritt in der Prothetik dennoch. „Es besteht beispielsweise die Möglichkeit, auf Basis von vielfältigen Sensoren und Algorithmen erstmals koordinierte Bewegungen oder gar sichere Reflexe bei ungewollten Zusammenstößen zu erzeugen und die Nachgiebigkeit der menschlichen Muskeln für die sichere Interaktion mit der Umgebung umzusetzen“, so Haddadin.

Die in der schwedisch-österreichischen Studie beschriebene invasive Methode bei neuromuskuloskelettalen Prothesen hat laut Haddadin großes Potential durch die Nähe der Sensoren zu den Nervenbahnen. „Wir hatten vor zehn Jahren gemeinsam mit Kollegen in den USA

den ersten durch ein invasives Gehirnimplantat gesteuerten Roboterarm entwickelt. Eine gelähmte Probandin konnte mit dem System nach fast 20 Jahren erstmals ein Glas Wasser kraft ihrer Gedanken selbstständig zum Mund führen und trinken“, so der Robotik-Experte. Da jede dieser Prothesen mit einer schweren Operation für den Patienten einhergehe, würden aber auch große Risiken, Aufwände und Kosten entstehen. **„Das wird die Verfügbarkeit solcher Systeme auf absehbare Zeit sicherlich noch stark beeinträchtigen.** Eine weitere große Herausforderung bei amputierten Menschen ist auch, dass nicht alle für die Prothesensteuerung relevanten Muskeln mehr intakt sind, so dass wichtige Messsignale für die Steuerung fehlen“, so Haddadin.

Ausblick und die Probandenfrage

Die aktuelle Studie befasst sich mit Patienten mit Amputationen über dem Ellenbogen. Das beteiligte Forscherteam soll parallel bereits an einem neuen System für Amputationen unterhalb des Ellenbogens arbeiten. „Wir gehen davon aus, dass dieses System in ein paar Jahren außerhalb Schwedens verfügbar sein wird, und wir machen auch erhebliche Fortschritte mit einer ähnlichen Technologie für Beinprothesen, die wir später in diesem Jahr einem ersten Patienten implantieren wollen“, so der Chalmers-Forscher Catalan.

Testgruppen für klinische Studien, welche Teil der regulatorischen Anforderungen an die Entwicklung von Medizinprodukten nach der EU-Medizinprodukte-Verordnung sind, lassen sich bei Prothesen deutlich schwieriger rekrutieren als bei vielen Medikamenten. **„Untersuchungen finden an hochspezialisierten Institutionen und an vergleichsweise kleinen Probandengruppen statt“, erklärt Andreas Hahn, Corporate Vice President Clinical Research and Services bei Ottobock.**

Bemerkenswert sei, dass statistisch und klinisch relevante Unterschiede auch in diesen kleinen Gruppen nachgewiesen werden könnten, so Hahn.