

Chirurgie der Zukunft:
robotergestützte
Navigationssysteme

Mikrometergenau fräsen in der Ohrchirurgie

Damit taube und hochgradig schwerhörige Menschen Sprache wieder verstehen können, wird ihnen ein Empfänger und eine Elektrode in die Hörschnecke implantiert. Der Patient trägt hinter dem Ohr ein Hörgerät. Die Signale, die das Hörgerät empfängt, leitet es an den implantierten Empfänger, einen Sprachprozessor, weiter. Die implantierte Elektrode stimuliert die Haarzellen in der Cochlea und erzeugt so Schwingungen, die vom Gehirn als Sprachsignale verstanden werden.

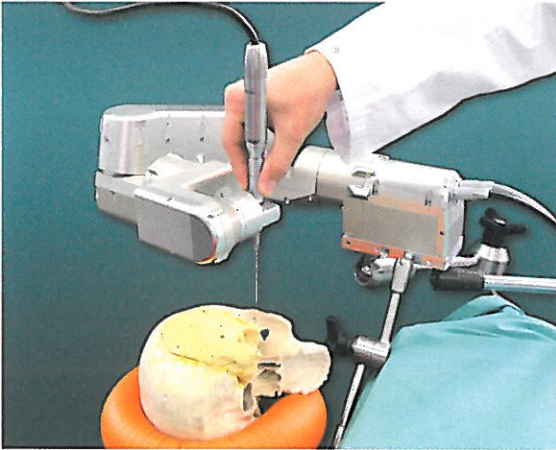
Für die Implantation sind Fräsarbeiten am Schädel erforderlich. Diese feinmechanische Arbeit an der Schädelbasis setzt ein hochpräzises Arbeiten voraus. Aufgrund der extrem kleinen Dimensionen ließen sich solche Arbeiten bisher nur unter dem Mikroskop durchführen.

Arbeiten ohne Mikroskop

Für diesen minimalinvasiven Eingriff haben Dominik Widmer und Prof. Einar Nielsen von der Innerstaatlichen Hochschule für Technik Buchs NTB in St. Gallen sowie Prof. Stefan Weber vom ARTORG Zentrum für Biomedizinische Technik der Universität Bern und Prof. Marco Caversaccio vom der Universitätsklinik für HNO-Chirurgie am Inselspital Bern ein robotergestütztes Navigationssystem entwickelt. Bei dem Eingriff wird dem Patienten zuerst ein Implantatlager in den Schädel gefräst. Mittlerweile hat das Projektteam aber auch Implantattaschen mit dem Roboter vorbereitet, die das Implantieren von speziellen Implantattypen noch einfacher machen. Da die Platzierung des Implantats durch die gefräste Tasche festgelegt ist, verkürzt sich außerdem die Implantierdauer. Im nächsten Schritt muss ein Zugang zur Hörschnecke geschaffen werden, um die Elektrode

einführen zu können. Wenn mit dem Mikroskop gearbeitet wird, legt der Chirurg den Zugang zur Hörschnecke am Knochen hinter dem Ohr deutlich größer an, als es für das Implantat erforderlich wäre, denn die geforderte Genauigkeit von 0,3 bis 0,5 mm lässt sich mit dieser Methode nicht erreichen.

Die Präzisionsmechanik ermöglicht es, Geräte zu entwickeln, mit denen sich komplizierte chirurgische Eingriffe präzise und sicher durchführen lassen. Solche Präzisionsroboter werden die Chirurgie maßgeblich beeinflussen. Erreichen lässt sich die geforderte Genauigkeit nur mit sehr leichten und kleinen Präzisionsgetrieben, die eine entsprechend hohe Übersetzung aufweisen.



1 Der fünfachsigige Fräsroboter erzielt eine Genauigkeit von 1μ durch die hohe Übersetzung der Präzisionsgetriebe



2 Das Leichtbaugetriebe CPL-17A-120-2A

Mit dem 5,2 kg schweren chirurgischen Robotersystem (Bild 1) lassen sich die Fräsarbeiten an der Schädelbasis mit der geforderten Genauigkeit durchführen. Zusammen mit den Chirurgen sind die technischen Eigenschaften des Systems umgesetzt worden, das auf der Basis von dreidimensionalen CT-Bilddaten arbeitet. Mit diesen Bilddaten wird auf einem PC ein Operationsplan erstellt und definiert, wo gefräst werden soll. Am Kopf des Patienten setzt man Orientierungsschrauben am Schädel ein (fiducial landmarks), mit denen sich die Bildkoordinaten festlegen lassen. Der Roboter vergleicht bei den Fräsarbeiten die Koordinaten des Patienten mit den Daten aus dem OP-Plan und richtet sich automatisch aus. Das System kann die ganze Fräsarbeit anhand des Plans automatisch durchführen.

Obwohl der Roboter im Einsatz eine Nutzlast von etwa einem 1 kg in Form von Bohrern oder Endoskopen bewegt und eine Fräskraft von bis zu 10 N aufbringen muss, dürfen Position und Orientierung des Roboters nur wenige Zehntelmillimeter von der geplanten Bohrachse abweichen. Bei einer Positionsauflösung von $1\mu\text{m}$ liegt die Wiederholgenauigkeit an der Frässpitze bei $\pm 0,05\text{ mm}$. Unter Last darf sich der Roboter höchstens um 0,2 mm durchbiegen. Beim aktuellen Entwicklungsstand hat der fünfachsigige Roboter eine Reichweite von 500 mm. Die Achsen sind technisch ähnlich aufgebaut. Die ersten drei Achsen von der Basis aus gesehen sind mit den Getriebeeinheiten CPL-17A-120-2A von Harmonic Drive (Bild 2) ausgestattet. Beim Leichtbaugetriebe wurde für diese Anwendung noch einmal das Gewicht reduziert, es wiegt 100 g. Der Flexspline-Abtriebsflansch ist auf die minimale Geometrie optimiert. Mit einem Innendurchmesser von 13,5 mm bietet er Platz für eine Hohlwelle. Das Drehmoment (wiederholbares Spitzendrehmoment) beträgt 54 Nm und das Trägheitsmoment $4,9 \times 10^{-6}\text{ kgm}^2$. In den Achsen vier und fünf sind die 60 g leichten, flachbauenden CSD-14-100-2A-R-Getriebe mit einem Innendurchmesser von 11 mm, einem Drehmoment (wiederholbares Spitzendrehmoment) von 19 Nm und einem Trägheitsmoment von $2,7 \times 10^{-6}\text{ kgm}^2$ integriert.

Nur durch die hohe Übersetzung der Getriebe ist die hohe Positioniergenauigkeit möglich. Durch die Hohlwel-

len der spielfreien Getriebe lassen sich Kabel durchführen. Ein weiterer Bestandteil dieses robotergestützten Navigationssystems ist der Miniservoantrieb PMA von Harmonic Drive. Dank der kompakten Bauweise bietet er höchste Drehmomentkapazität auf kleinstem Bauraum. Die optimierte Montage ermöglicht eine Verbesserung der Übertragungsgenauigkeit um bis zu 30 Prozent. In der fünften Achse ist zudem ein Kraft-Moment-Sensor für die Regelung der Kontaktkräfte integriert. So hat der Chirurg die Möglichkeit, manuell einzugreifen.

Die Leistungselektronik des Antriebs ist im Roboters untergebracht. Wird die Energiezufuhr unterbrochen, blockieren alle Achsen. Ihre Position wird digital gespeichert, sodass beim nächsten Systemstart die Positionen in der Regelung wieder geladen werden. Aus Sicherheitsgründen wird im OP eine zusätzliche Positionierüberwachung mit einem optischen Messsystem durchgeführt. Bei Hard- oder Softwarefehlern in der Steuerung oder der Antriebseinheit lässt sich das System sofort außer Kraft setzen.

Mit seinem Konstruktionsteam konnte die A-S-S (www.assag.ch), als Landesvertretung von Harmonic Drive für die Schweiz, die Kunden bei der Auslegung und Konstruktion der Gelenkeinheiten optimal unterstützen.



KONTAKT

Harmonic Drive AG
65555 Limburg an der Lahn
Tel. +49 (0)6431 50080
Fax +49 (0)6431 5008-119
www.harmonicdrive.de