



Kurzfassung der Vorträge der wissenschaftlichen Sitzungen der
Österreichischen Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie
vom 10.4.2010

Universitätsklinik für Orthopädie Innsbruck

Computerassistierte Orthopädie

CAS in der Fußchirurgie: Experimentelle Vergleichsstudie konventioneller versus computernavigierter Subtalararthrodesen an humanen Präparaten	2
<i>R. Schuh, J. S. Reach jr., M. E. Easley.....</i>	<i>2</i>
Vergleichsstudie navigierter vs. konventioneller KnieEndoprothesen mit Evaluierung der Navigationszuverlässigkeit	3
<i>A. Giurea, D. Drnek, S. Schubert, R. Lass, B. Kubista</i>	<i>3</i>
Lernkurve bei navigierten Knie-Endoprothesen. Eine kontrollierte Multizenter-Studie an 368 Patienten	4
<i>A. Giurea, R. Miehle, B. Kubista, R. Lass, J. Y. Jenny.....</i>	<i>4</i>
Reduktion der Pfannenvariabilität in Hüftendoprothetik mit Hilfe der Navigation durch einen minimal invasiven direkt anterioren Zugang	5
<i>M. Thaler, E. Mayr, M. Krismer, M. Nogler.....</i>	<i>5</i>
Ergebnisse nach Beinverlängerung mit einem voll implantierbaren, motorisierten intramedullären Verlängerungsmarknagel.....	6
<i>A. Handlbauer, R. Ganger, C. Radler, F. Grill</i>	<i>6</i>
Navigierte Resektion eines Becktumors durch multimodale Bildfusion.....	8
<i>P. T. Funovics, M. Dominkus, J. Panotopoulos, R. Windhager.....</i>	<i>8</i>
Neue Ansätze in der Robotik und Anwendungsmöglichkeiten in der Orthopädie.....	9
<i>S. Klug, D. Putzer, M. Nogler</i>	<i>9</i>

CAS in der Fußchirurgie: Experimentelle Vergleichsstudie konventioneller versus computernavigierter Subtalararthrosen an humanen Präparaten

R. Schuh, J. S. Reach jr., M. E. Easley

Fragestellung

Computernavigation wird in einigen Subspezialitäten der orthopädischen Chirurgie und Traumatologie eingesetzt, da sie die Genauigkeit der Implantatplatzierungen und die Operationseffizienz erhöhen kann, wohingegen die Zeit der Strahlenexposition durch bildgebende Verfahren minimiert werden kann. In der Literatur gibt es jedoch kaum Berichte, welche dieses Verfahren in der Fußchirurgie beschreiben. Ziel dieser Studie war es festzustellen, ob Computernavigation in der Lage ist bei Subtalararthrosen die Genauigkeit der erstmaligen Führungsdraht- beziehungsweise der endgültigen Schraubenposition zu erhöhen und gleichzeitig die Zeit der Strahlenexposition im Vergleich zur konventionellen Operationsmethode (fluoroskopisch unterstützt) zu senken.

Methodik

36 matched pairs Kadaverbeine wurden einer Subtalararthrose unterzogen, wobei diese mittels zweier divergierender kanülierter 7,3 mm Schrauben (Synthes USA, Paoli, PA) fixiert wurde, da sich diese Fixationsmethode in einer vorhergehenden biomechanischen Studie als rigideste erwies. Je Paar wurde eine Subtalararthrose konventionell und die andere unter Zuhilfenahme eines Computernavigationssystems (Vector Vision System, BrainLAB AG, Heimstetten) durchgeführt.

Es gab zwei Gruppen von Chirurgen mit jeweils 3 Operateuren, wobei eine Gruppe aus Erfahrenen und die Andere aus unerfahrenen Fußchirurgen bestand. Intraoperativ wurden totale Operationszeit, totale Durchleuchtungszeit und die Anzahl der nötigen Versuche zum Erreichen einer adäquaten Führungsdrahtposition gemessen. Postoperativ wurde die Genauigkeit der Schraubenposition mithilfe von CT Aufnahmen beurteilt sowie etwaige Komplikationen festgehalten. Die statistische Auswertung wurde mittels ANOVA durchgeführt.

Ergebnisse

Bezüglich der Genauigkeit der Schraubenposition sowie mit der Positionierung einhergehender Komplikationen gab es weder zwischen den beiden Chirurgengruppen noch zwischen den Operationsverfahren signifikante Unterschiede.

Die totale Operationszeit, sowie die Anzahl der Versuche zum Erreichen einer adäquaten Führungsdrahtposition war während konventioneller Schraubenfixation in der Gruppe der erfahrenen Fußchirurgen signifikant geringer als in der Gruppe der Unerfahrenen ($p < 0,001$). Die Anzahl der Versuche zum Erreichen einer adäquaten Führungsdrahtposition sowie die totale Durchleuchtungszeit war in beiden Gruppen bei navigierter Schraubenfixation geringer verglichen zur konventionellen Methode ($p < 0,001$).

Diskussion

Die Untersuchung zeigte, dass es bei computernavigierter Schraubenfixation der Subtalararthrosen zu einer Reduktion der Durchleuchtungszeit im Vergleich zur konventionellen Methode kommt. Weiters wurde mithilfe der Computernavigation auch die Anzahl der Versuche zum Erreichen einer adäquaten Führungsdrahtposition reduziert. Dies gilt sowohl für den erfahrenen als auch für den unerfahrenen Chirurgen.

Vergleichsstudie navigierter vs. konventioneller Knie-Endoprothesen mit Evaluierung der Navigationszuverlässigkeit

A. Giurea, D. Drnek, S. Schubert, R. Lass, B. Kubista

Problemstellung:

Ziel dieser Studie war der Vergleich von konventionell implantierten Knie-Total-Endoprothesen (KTEPs) zu 2 navigiert implantierten KTEP-Systemen. Ein weiteres Ziel war die Untersuchung der Zuverlässigkeit der zwei Navigationssysteme im Vergleich zu postoperativen Röntgenaufnahmen.

Patienten & Methode:

Es handelt sich um eine prospektive, kontrollierte, chirurgengemachte Studie in der 30 konventionell implantierte Duracon-KTEPs mit jeweils 30 navigierte KTEP (emotion-KTEP, OrthoPilot) und 30 navigierten Duracon-KTEP verglichen wurden.

Studienparameter waren: KSS, ROM, OP-Dauer und die Implantationsgenauigkeit. Die Navigationszuverlässigkeit wurde durch den Vergleich der intraoperativen Computerdaten mit den postoperativen Ganzbein Röntgen untersucht.

Ergebnisse:

In allen 3 Gruppen kam es nach der Operation zu einer signifikanten Verbesserung des KSS, zwischen den Gruppen gab es keine Unterschiede. Die navigierten KTEPs zeigten eine signifikant bessere Implantationsgenauigkeit ($p < 0,05$) in der mechanischen Ganzbeinachse und in sagittaler Achse (0,001) der Tibia. Die Operationszeiten waren bei navigierter Implantation signifikant länger als bei konventioneller Technik ($p = 0,008$). Die Abweichung der mechan. Achse in den post OP Ganzbein Röntgen zu den intraoperativ erhobenen Daten betrug 1,8 bei der Stryker-Navigation und 1,5 bei der OrthoPilotNavigation.

Facit:

Diese Vergleichsstudie einer konventionell und zweier navigierter KTEP-Systeme zeigte eine höhere Implantationsgenauigkeit bei navigierter Technik mit längerer Operationszeit und gleichem klinischen Outcome. Die Übereinstimmung von post operativen Röntgen mit intraoperativ generierten Navigationsdaten war zufriedenstellend.

Lernkurve bei navigierten Knie-Endoprothesen. Eine kontrollierte Multizenter-Studie an 368 Patienten

A. Giurea, R. Miehle, B. Kubista, R. Lass, J. Y. Jenny

Problemstellung:

Die Computer-Navigation brachte eine Verbesserung der Implantationsgenauigkeit bei KnieTotal-Endoprothesen (KTEPs). Durch die Anwendung der Navigation kam es aber auch zu einer Verlängerung der Operationszeit. Ziel dieser Multizenter-Studie war die Evaluierung der Lernkurve anhand der Operationszeiten zwischen erfahrenen Anwendern und Anfängern der Navigationstechnik.

Patienten & Methode:

In 13 europäischen Zentren wurden 386 navigierte KTEP (emotion-KTEP, OrthoPilot) implantiert. In 5 Zentren mit Erfahrung mit dem Navigationssystem wurden 150 Implantationen durchgeführt und mit 218 KTEPs verglichen, die in 8 Zentren ohne vorhergehende Erfahrung mit dem Navigationssystem operiert wurden.

Untersucht wurden: Demographische Daten, Operationszeit, KSS, Implantationsgenauigkeit und Komplikationen.

Ergebnisse:

Die Operationszeit in der Anfängergruppe (118,23 min) war signifikant länger als in der Erfahrenengruppe (107,26 min) wobei nach 30 Implantationen kein Zeitunterschied mehr feststellbar war. Es zeigten sich keine Unterschiede in den demographischen Daten, dem pre- als auch post-operativen KSS und kein Unterschied bei der Implantationsgenauigkeit zwischen erfahrenen Anwendern und Anfängern. Es gab weiters keinen Unterschied navigationsbedingter Komplikationen zwischen beiden Gruppen.

Fazit:

Die Lernkurve bei dem angeführten Navigationssystem scheint nach 30 Implantationen abgeschlossen zu sein, wobei keine Unterschiede bei Komplikationsrate und Implantationsgenauigkeit zwischen Erfahrenen und Anfängern festzustellen waren.

Reduktion der Pfannenvariabilität in Hüftendoprothetik mit Hilfe der Navigation durch einen minimal invasiven direkt anterioren Zugang

M. Thaler, E. Mayr, M. Krismer, M. Nogler

Problemstellung:

Korrekte Positionierung der Pfanne im Acetabulum ist von entscheidender Bedeutung in der Hüftendoprothetik. Nicht adäquat platzierte Pfannen zeigen eine kürzere Lebensdauer und führen zu einem höheren Luxationsrisiko beim Patienten. Wir untersuchten den Einfluss von navigierter Pfannenpositionierung durch einen minimal invasiven direkt anterioren Zugang.

Patienten und Methoden:

Hüftpfannen wurden bei 44 Kadaverhüften minimal invasiv durch einen direkt anterioren Zugang implantiert (22 Kadaver). Die Hüften wurden vorher zufällig randomisiert. Bei 22 Hüften wurde die Pfanne mit Hilfe eines Navigationssystems implantiert. Bei den verbleibenden 22 Hüften wurde die Pfanne konventionell implantiert. Alle 44 Kadaveroperationen wurden von einem erfahrenen Hüftchirurgen durchgeführt. Postoperativ wurden von jedem Kadaver, Computer Tomographie (CT) Bilder angefertigt. Die Hüftpfannen wurden anschließend in der CT 3D Rekonstruktion vermessen. Als Referenz diente die frontale Beckenebene (Verbindung beider Sp. Iliacae ant. Sup und beider Tub. pubis). Wie vom Hersteller empfohlen war es das Ziel der Pfannenimplantation 45° Inklination und 20° Anteversion bezogen auf die frontale Beckenebene zu erreichen.

Ergebnisse:

In der navigierten Gruppe zeigte sich eine statistisch signifikante Reduktion ($p < 0,001$) der Variabilität der Pfannenimplantation bezogen auf Inklination (45°) und Anteversion (20°) im Vergleich zur Kontrollgruppe. Bei der Inklination zeigte sich bei der navigierten Gruppe eine mediane Abweichung von 1,3° (Interquartil Range (ICR): 0,6-2,2), während die nicht navigierte Gruppe eine mediane Abweichung von 5,8° (ICR: 3,0-8,8) zeigte. Bei der navigierten Gruppe wurde eine mediane Abweichung von 2,4° (ICR: 1,0-3,2) in Bezug auf die Pfannenanteversion gefunden. Bei der nicht navigierten Gruppe wurde eine mediane Abweichung von 9,9° (ICR: 2,2-14) dokumentiert.

Fazit:

Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass mit Hilfe der Navigation die Pfannenpositionierung durch einen minimal invasiven Zugang entscheidend verbessert werden kann.

Ergebnisse nach Beinverlängerung mit einem voll implantierbaren, motorisierten intramedullären Verlängerungsmarknagel

A. Handlbauer, R. Ganger, C. Radler, F. Grill

Problemstellung:

Die Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur durch Kallusdistraction mittels Externer Fixation hat in vielen Bereichen der Orthopädie und Unfallchirurgie einen wichtigen Stellenwert. Trotzdem ist diese Methode mit diversen Komplikationen behaftet und stellt für den Patienten eine erhebliche Beeinträchtigung dar.

Im folgenden berichten wir über unsere Ergebnisse bei der Behandlung von Beinlängendifferenzen (BLD) und Achsfehlstellungen mit Hilfe des voll implantierbaren, motorisierten, intramedullären Verlängerungsmarknagels Fitbone.

Patienten und Methoden:

Zwischen 2007 und 2009 wurden an 18 Patienten (12 femora, 6 tibiae) mit einem Durchschnittsalter von 27,4 Jahren (15 bis 55 Jahre) wegen Beinlängendifferenz und Achsfehlstellung den Verlängerungsmarknagel Typ Fitbone (Wittenstein intens, Igersheim, Deutschland) implantiert.

Die Hauptindikationen für die operative Versorgung waren idiopathische und posttraumatische Fälle. Kontraindikationen für die Nagelimplantation waren postinfektiöse Fälle sowie Patienten mit Gelenksinstabilitäten (Aplasie des vorderen Kreuzbandes), zu enger Markraum, offene Wachstumsfugen und kosmetische Beinverlängerungen. Die Patientenergebnisse wurden bei einem durchschnittlichen follow up von 16,6 Monaten (2 bis 28 Monate) klinisch und radiologisch nachuntersucht.

Ergebnisse:

Die durchschnittliche Verlängerungsstrecke betrug 31,3 mm am Femur (14 bis 55 mm) und 28 mm an der Tibia (25 bis 35 mm). Bei 14 Patienten war die Verlängerung mit einer simultanen Beinachsenkorrektur verbunden (11 in der Femur-Gruppe, 3 in der Tibia-Gruppe).

Der durchschnittliche Laterale Distale Femur Winkel (LDFA) lag präoperativ bei 88° (82 bis 94°) und postoperativ bei 87,2° (85 bis 89°). Der durchschnittliche Mediale Proximale Tibia Winkel (MPTA) lag präoperativ bei 88° (86 bis 91°) und postoperativ bei 86,1° (83 bis 87°). Der durchschnittliche präoperative ROM des Kniegelenks lag in der Femur-Gruppe bei 140,9° (130 bis 160°), postoperativ am Ende der Verlängerungsphase bei 115° (50 bis 130°). Der durchschnittliche präoperative ROM des Kniegelenks lag in der Tibia-Gruppe bei 145,8° (135 bis 150°) und am Ende der Verlängerungsphase bei 128,3° (115 bis 140°). Der durchschnittliche präoperative ROM des Sprunggelenks in der Tibia-Gruppe betrug 60,8° (55 bis 80°), am Ende der Verlängerung 46° (35 bis 65°).

Alle Patienten erreichten einen normalen ROM zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung. Der Konsolidierungsindex (Zeitraum zwischen Operation und Vollbelastung) war in der Femur-Gruppe 45,5 Tage/cm (32,1 bis 100 Tage/cm) und in der Tibia-Gruppe 57,8 Tage/cm (32,3 bis 111,1 Tage/cm). Es wurden weder neurovaskuläre Komplikationen noch Infektionen beobachtet. Das Verlängerungsziel und die Achskorrektur wurden mit Ausnahme von 4 Fällen bei allen Patienten erreicht. Bei einem Patienten mit einem sehr kurzen distalen

Femurfragment kam es nach Stabilitätsverlust der Fixierung zu einer Beschädigung des Empfängerkabels, was eine Revisionsoperation erforderlich machte. Ein Patient endete mit einem radiologischen MPTA von 83° und einer mechanischen Achsabweichung von 14 mm medial der Kniemitte auf Grund einer geringfügigen Fragmentverschiebung intraoperativ. Bei 2 Patienten kam es nach Ende der Verlängerungsphase zu einer Nagelverkürzung von mehr als 10 mm.

Fazit:

Die Beinverlängerung – und im Bedarfsfall simultane Beinachsenkorrektur – mittels Fitbone stellt eine exzellente Methode zur operativen Korrektur bestimmter Deformitäten der unteren Extremität dar.

Abgesehen von hohen Implantatkosten und einer längeren Operationsdauer gibt es im Vergleich zum Fixateur externe viele Vorteile wie niedriges Infektionsrisiko, hervorragender Bewegungsumfang der beteiligten Gelenke, eine kürzere Rehabilitationszeit, einen erheblich besseren Patientenkomfort und ein deutlich besseres kosmetisches Ergebnis.

Aus diesen Gründen ist die Beinverlängerung mit Hilfe des Verlängerungsmarknagels bei allen dafür geeigneten Patienten unsere Methode der Wahl. Trotzdem sind eine exakte operative Technik sowie ein striktes postoperatives Management unerlässlich um exzellente Resultate zu erzielen.

Navigierte Resektion eines Becktumors durch multimodale Bildfusion

P. T. Funovics, M. Dominkus, J. Panotopoulos, R. Windhager

Problemstellung:

Die chirurgische Behandlung von Sarkomen erfordert ihre weite Resektion mit freien Resektionsrändern. Die technische Durchführung derartiger Resektionen ist besonders am Stammskelett durch die limitierte chirurgische Exposition und Visualisierung deutlich erschwert. Wir berichten von unseren ersten Erfahrungen mit einem Navigationssystem zur gezielten Beckenresektion unter Verwendung multimodaler Bilddatenfusion.

Methoden:

Bei einem zwölfjährigen Mädchen mit Ewing-Sarkom des linken Iliums wurde an unserer Abteilung nach Abschluss der neoadjuvanten Chemotherapie entsprechend dem EUREC-2007-Protokoll eine Typ I/IV Beckenresektion indiziert. Die präoperative Bildgebung umfasste neben dem standardgemäßen Staging die Durchführung eines KokalmRTs des Beckens und eines Ganzkörper-PET-CTs in identer Schichtung. Die entsprechenden Dicom-Datensätze wurden digital zu einer multimodalen Tumordarstellung fusioniert und so in ein Navigationssystem importiert (Stryker-Leibinger, Freiburg, Germany).

Ergebnisse:

Die geplanten Resektionsebenen konnten im multimodalen Datensatz erfolgreich identifiziert werden. Ein falsch positives Signalverhalten im MRT konnte durch die topografische Korrelation mit dem PET korrigiert werden und schränkte so das geplante Resektionsausmaß ein. Die definitive Tumorausdehnung konnte so in den CT-Datensatz integriert und in dieser Form in das Navigationssystem eingespielt werden. Die geplanten Resektionsebenen und anatomischen Referenzpunkte konnten intraoperativ eindeutig reproduziert werden. Das intraoperative Navigationssystem erlaubte die Referenzierung unterschiedlicher Instrumente und die in allen Ebenen mit der Bildgebung korrelierte Resektion des Tumors. Die histopathologische Aufarbeitung des Resektates sowie ein zusätzlich durchgeführtes MicroCT bestätigten freie Resektionsränder. Die Rekonstruktion des Defektes wurde mittels doppeläufiger nicht gefäßgestielter Fibula erreicht.

Fazit:

Die präoperative Fusion multimodaler Bilddaten erlaubt eine erfolgreiche Identifikation muskuloskeletaler Tumoren und die Planung ihrer Resektion. Eine Computer-unterstützte Navigation erleichtert die intraoperative Darstellung adäquater Resektionsebenen und reduziert bei ausreichender onkologischer Radikalität gleichzeitig das resultierende Defektausmaß.

Neue Ansätze in der Robotik und Anwendungsmöglichkeiten in der Orthopädie

S. Klug, D. Putzer, M. Nogler

Problemstellung:

Während die einzigen in den Operationssälen der Orthopädie zugelassenen Roboter wieder vom Markt verschwunden sind, nimmt die Anzahl von Roboter-Assistenzsystemen in industriellen Anwendungen, die eine enge Zusammenarbeit mit Menschen erlauben stetig zu. Speziell in den letzten Jahren wurden viele Robotersysteme entwickelt, deren mechanische und regelungstechnische Architektur für eine direkte Interaktion mit dem Menschen ausgelegt sind. Eine Besonderheit dieser Systeme ist in den meisten Fällen eine physikalische oder virtuelle Nachgiebigkeit im Antrieb, wodurch eine direkte Kontaktaufnahme mit dem Menschen erleichtert wird. Am Beispiel des an der TU-Darmstadt entwickelten elastischen Leichtbauroboters "BioRob" sollen hier die Eigenschaften und Fähigkeiten dieser neuen Generation von Robotern vorgestellt werden.

Methode:

Herkömmliche Industrieroboter erzielen herausragende Leistungen, was die Geschwindigkeit und die Wiederholungsgenauigkeit von Bewegungen angeht. Jedoch können diese Eigenschaften nur durch die strikte Vermeidung jeglicher Elastizität in der Kinetik des Roboters erreicht werden, was eine entsprechend massive mechanische Konstruktion erfordert. Dadurch ergibt sich ein relativ schlechtes Verhältnis von Traglast zu Eigengewicht. Im Vergleich zu einem menschlichen Arm wiegt ein Roboter mit der gleichen Reichweite und Tragkraft oft das zehnfache seines biologischen Gegenstücks. Eine weitere Einschränkung ergibt sich auf Grund der starren und unnachgiebigen Bewegungen des Roboters. Auch wenn Sicherheitsvorschriften existieren, die die Interaktion mit Menschen behandeln, sind Industrieroboter primär nicht für den direkten Einsatz in der Umgebung des Menschen gedacht, und können ihre optimale Leistung nur in einer vom Menschen abgeschotteten Umgebung erreichen. Auch viele im medizinischen Bereich eingesetzte Roboter sind abgewandelte Industrieroboter und arbeiten weit unterhalb ihres Leistungsoptimums.

Anzumerken sei hier, dass die benötigten Anforderungen an einen Roboter im Operationssaal an Arbeitsraum, Freiheitsgrade, Traglasten und Präzision im Grunde denen von industriellen Anwendungen ähneln. Die entscheidenden Unterschiede ergeben sich vor allem aus den Sicherheitsanforderungen, da der Roboter im direkten Umfeld des Menschen eingesetzt wird und eine Fehlfunktion vor allem während einer Operation katastrophale Auswirkungen hätte.

Um diese konkurrierenden Einschränkungen von Sicherheit und optimaler Leistung zu überwinden sind verschiedene Ansätze aus der Literatur bekannt, die ein neues Paradigma in der Konstruktion von Robotern beschreiben – die Nachgiebigkeit. Während, wie oben beschrieben, bei herkömmlichen Industrierobotern versucht wird, jede Art von Nachgiebigkeit, bzw. Elastizität, zu vermeiden, ist sie ein entscheidendes Element bei der Konstruktion von Robotern für den Einsatz im direkten Umfeld des Menschen. Neben der als Erweiterung bei Industrierobotern weit verbreiteten virtuellen Nachgiebigkeit, ermöglicht auch die Verwendung von mechanischen elastischen Komponenten im Antrieb, wie im BioRob umgesetzt, eine direkte Mensch-Roboter-Interaktion.

Ergebnisse:

Die Leistungsparameter des bionischen Manipulators BioRob orientieren sich in Bezug auf die Reichweite und Bewegungsdynamik am menschlichen Arm. Inspiriert vom biologischen Vorbild des Muskel-Sehnen-Apparates wird der BioRob über serienelastisch gekoppelte Aktuatoren angetrieben. Der Manipulator zeichnet sich im Vergleich zu herkömmlichen Industrierobotern des Weiteren durch seine Leichtbaukonstruktion und den damit verbundenen geringeren Energieverbrauch aus.

Auf Grund der elastisch gekoppelten Antriebe ergeben sich wesentliche Unterschiede zu herkömmlichen Robotersystemen.

Potentielle Schwierigkeiten:

Die Elastizität führt zu Schwingungen während einer Bewegung, die durch zusätzlichen Regelaufwand unter Kontrolle gebracht werden können. Hierzu sind zusätzliche Gelenksensoren zur Bestimmung des aktuellen Ist-Zustands des Systems notwendig. Des Weiteren ist ein optimaler Betrieb nur in einem bestimmten, auf die elastische Kopplung im Antrieb abgestimmten, Traglastbereich möglich.

Potentielle Vorteile:

Durch die passive mechanische und dadurch verzögerungsfreie Nachgiebigkeit und die geringe Masse bietet der BioRob-Manipulator eine intrinsische Sicherheit. Weiterhin wird durch die zusätzlichen, abtriebsseitigen Gelenksensoren nicht nur eine sehr hohe Positionsgenauigkeit erreicht, sondern es wird, durch Messung der Dehnung der elastischen Elemente, auch die Berechnung der im System wirkenden Kräfte ermöglicht, wozu sonst zusätzliche schwere und teure Kraftsensoren nötig wären.

Fazit:

Durch die natürliche und regulierbare Nachgiebigkeit des bionischen Antriebs wird eine hohe Sicherheit und direkte Bedienbarkeit des Roboters gewährleistet, wodurch der BioRob für neue Anwendungsbereiche in der Industrie, in der Medizin oder im Labor prädestiniert ist, bei denen eine intensive Interaktion zwischen Roboter und Mensch nötig ist. Die Leichtbauweise des Manipulators trägt zusätzlich zur Sicherheit bei und führt darüber hinaus im Betrieb zu einer signifikanten Reduzierung des Energiebedarfs bei einem exzellenten Verhältnis von Traglast zu Eigengewicht.