



Der Einsatz von präoperativer 3D-Planung und PSI in der Schulterendoprothetik

Trotz der Fortschritte beim Implantatdesign und bei der Operationstechnik sind fehlimplantierte Glenoidkomponenten, unvollständige Korrektur der Ausgangsdeformität und anhaltende Subluxation des Humeruskopfes die Hauptursachen für das Langzeitversagen von Schulterprothesen. Präoperative 3D-Planung und patientenspezifische Instrumente (PSI) erfreuen sich in einem breiten Spektrum der Orthopädie wachsender Beliebtheit mit unterschiedlichen Erfolgen. Aktuelle Studien zeigen, dass PSI die Platzierung von Glenoidkomponenten sowohl in der Version als auch in der Neigungsebene im Vergleich zur 2D-chirurgischen Standardplanung verbessern.

KEYPOINTS

- Die Verwendung von PSI liefert eine wesentlich genauere Positionierung und Ausrichtung der Glenoidkomponente.
- Die deutliche Verringerung von Fehlpositionierungen führt zu einer Reduktion von Komplikationen, Subluxationen und Reoperationen.
- Die präoperative Planung mit entsprechender Simulation und Berechnung kann vom Chirurgen selbst durchgeführt werden.

Historie

Ein Blick in die aktuelle Literatur zeigt, dass besonders die Positionierung und Orientierung der Glenoidkomponente wesentlich für die Erfolgchance des Prothesensystems sind, wodurch die präoperative Planung immer weiter in den Vordergrund rückt. Hierzu haben sich die prä-, aber auch intraoperativen Maßnahmen zur Bestimmung der Position, Inklination und Version im Laufe der letzten 20 Jahre deutlich weiterentwickelt.

In den 1980er-Jahren stellte die präoperative Planung mittels Röntgen den Standard dar. Auch zu dieser Zeit war die Bedeutung der Glenoidimplantatposition in ihren Grundzügen bekannt. Zur intraoperativen Bestimmung der richtigen Orientierung und Positionierung des Implantats wurde über einen langen Zeitraum die Fingerpositionstechnik nach Dr. Frederick Matsen für die Bestimmung der 90°-Ebene auf die Glenoidachse angewendet, um die Zielbohrung für die Basisplatte festzulegen.

In darauffolgenden Untersuchungen wurden besonders die Wichtigkeit der Retroversion und die entsprechende Ausgangslage bei arthrotischen Gelenken untersucht. Bei einer physiologischen glenoidalen Retroversion von ca. 5–10° kann es besonders bei arthrotischen Gelenken zu einer präoperativen Retroversion von bis

zu 40° kommen, was auch für den erfahrenen Schulterchirurgen oft Probleme bei der Glenoidimplantation bedeutet. Hierzu wurden verschiedene Auflagemöglichkeiten bzw. Pinsysteme entwickelt, um die Positionierung genauer und reproduzierbarer zu machen.

Eine weitere Innovation stellte die Entwicklung von konzentrischem Reaming dar, wodurch die zentrale Ausrichtung und die Positionierung verbessert werden konnten (Collins et al. 1992). In weiteren biomechanischen Untersuchungen wurden die Optimierung der Implantatverankerung und die Entwicklung von zementierten Glenoidimplantaten untersucht und etabliert (Gerber et al.).

Darauffolgend konnten mittels der präoperativen CT-Untersuchung und der Vermessungstechnik anhand der Technik nach Friedmann et al. genauere Implantatergebnisse erzielt werden. Basierend auf präoperativen CT-Vermessungen konnten dann auch besonders schwierige Defekt- und Deformitätssituationen mit Knochenblockaugmentation oder augmentierten Glenoidkomponenten therapiert werden.

Die aktuellsten Innovationen stellen die 3D-Planungstechniken nach Walch bzw. Ianotti dar, welche beide auf unterschiedlichen Referenzpunkten funktionieren und durch ihren Einbezug von 3D-rekonstruierten CT-Templates eine wesentlich ge-

nauere Planung und Vermessung zulassen (Walch et al. 2014, Ianotti et al. 2012).

Ursachen des Implantatversagens nach Schulterprothesen

Die häufigste Ursache eines Prothesenversagens beim anatomischen Schulterersatz stellen neben Rotatorenmanschettenrupturen und schlechtem Weichteilbalancing besonders die Subluxation und die Fehlpositionierung des Glenoidimplantats dar (Moska 1998). Die aktuelle Literatur empfiehlt eine Retroversion von ca. 5–15° sowie ein Tilt nach oben/unten zu vermeiden, wobei die Idealposition noch immer in Diskussion ist (Ianotti et al. 2012).

Auch nach Implantation einer inversen Schulterprothese kann eine schlechte Glenosphärenposition mit einer reduzierten Range of Motion und einem Notching der humeralen Epiphysenkomponente an der Scapula einhergehen sowie auch zu einer Instabilität und Lockerung führen.

In einer Arbeit von Gerber und Nyffeler et al. 2006 konnte gezeigt werden, dass bereits wenige Grade an Fehlstellung in der horizontalen Version einer Glenoidkomponente zu einer vermehrten Translation des Humeruskopfes von bis zu einigen Millimetern führen können, was mit deutlich erhöhtem Implantatversagen einhergeht.

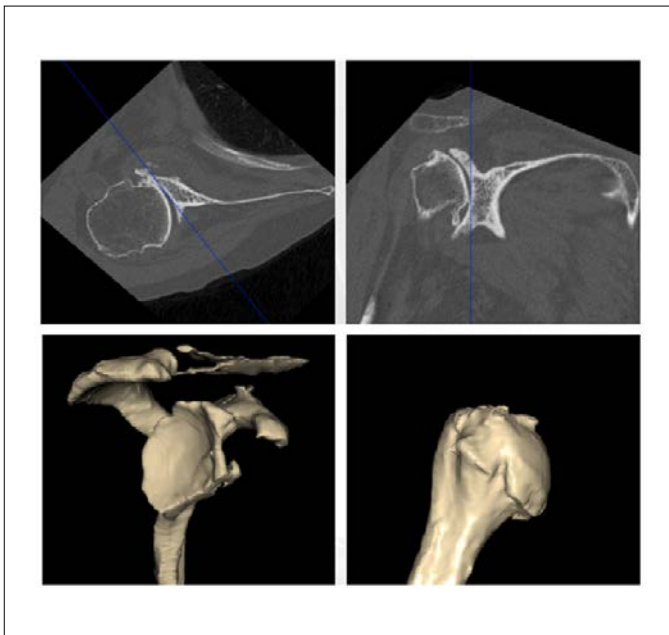


Abb. 1: Workflow der Planung durch den Chirurgen im Programm Glenosys®: 3D-Rekonstruktion und Berechnung

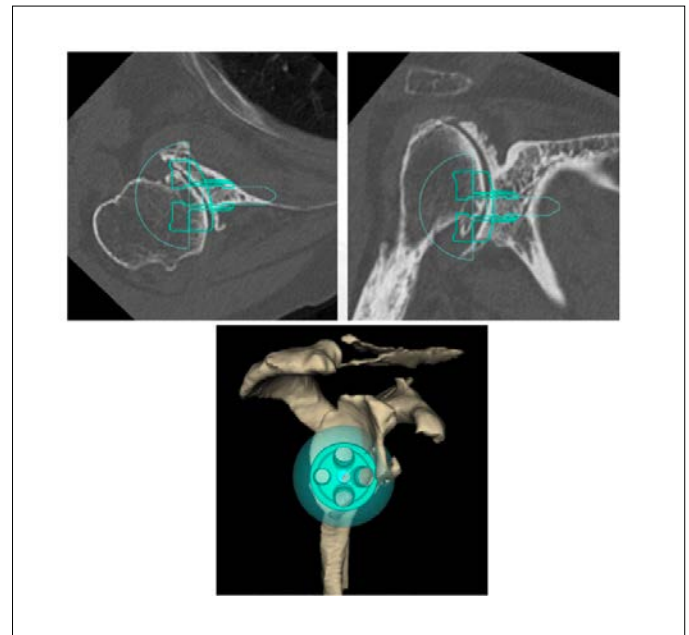


Abb. 2: Workflow der Planung durch den Chirurgen im Programm Glenosys®: Implantatbestimmung

Entwicklung von CT-gestützten Planungstools mittels 3D-Rekonstruktion

Ianotti et al. konnten 2012 in einer multizentrischen Studie mittels postoperativer Computertomografien (CT) zeigen, dass auch bei besonders erfahrenen Chirurgen bei der Positionierung der Glenoidkomponente im Vergleich zur präoperativ geplanten Inklination und Retroversion deutliche Abweichungen von 5–15° in der Retroversion zustande kommen können. Dies stellte die Grundlage zur weiteren Entwicklung von CT-gestützten Planungs- und Positionierungstools dar, die intraoperativ eine genauere Ausrichtung der Glenoidkomponente ermöglichen sollen. Hierzu wurde im Jahr 2013 erstmalig eine standardisierte Implantationstechnik einer Glenoidkomponente mithilfe eines 3D-gedruckten Guides, nach entsprechender CT-Planung, zugelassen und damit die Glenoid- oder Glenosphärenimplantation auf einen neuen Level gehoben.

Unsere eigenen Erfahrungen in der Wiener Schulter- und Sportklinik seit 2016 mit CT-basierten Planungs- und Positionierungstools sowie aktuelle Studien, vergleichend zwischen konventioneller und personalisierter Instrumentierung der Glenoidkomponente, zeigen einen deutlichen Vorteil für die PSI-Technik in der Glenoid-

positionierung und Ausrichtung in Version und Inklination (Gauci et al., Heylen et al., Hendel et al., Walch et al., Levy et al., Verborgt et al., Ianotti et al., Suero et al., Emery et al.).

Workflow einer PSI-Technik

Anhand eines in den Markt eingeführten Produktes (Glenosys®, Tornier) wollen wir den entsprechenden Workflow darstellen. Zu Beginn steht die standardisierte Vermessung des Schultergelenks bzw. der Scapula mittels CT. Hierzu werden die entsprechenden CT-Aufnahmen des Schultergelenkes in das Verarbeitungsprogramm integriert, um eine 3D-Rekonstruktion durchzuführen. Der Chirurg kann dann anhand eines 3D-Modells sowie einer 2D-CT-Schichtebendarstellung die Planung durchführen (Abb. 1). Die Glenoidretroversion und Inklination werden anhand der Skapular- und Glenoidebene gemessen. Eine Berechnung der Glenoidneigung wird aus der Querachse des Schulterblatts (Mittelpunkt Glenoid und Schulterblatt-Trigonum) durchgeführt.

Nach Validierung wird die entsprechende Prothese mit glenoidaler und humeraler Schablone virtuell dargestellt (Abb. 2). Nun kann der Chirurg die Inklination und Retroversion manuell anpassen und jeweilige Implantatkomponenten für Glenoid

und Humerus bestimmen. Sitzoberfläche und Reaming-Tiefe sowie berechnete Beweglichkeit werden angegeben und virtuell dargestellt.

Anschließend werden die Kontaktpositionen am Glenoid für die Stabilität des Guides bestimmt (Abb. 3). Diese Daten werden nun an die Firma übermittelt und der Guide mit Probeglenoid 3D-gedruckt (Kunststoff oder Metall). Für den Operationssaal müssen beide noch sterilisiert werden.

Intraoperativ müssen die vorhin ausgewählten Kontaktpunkte des Guides zum Glenoid von Weichteil/Knorpel befreit werden. Dieser wird mit Pins am Glenoid befestigt und der Zielpin für die weitere Bearbeitung des Glenoids kann in der vorhin vermessenen Position eingebracht werden. Das weitere Procedere der Prothesenimplantation entspricht dem Standardprocedere.

Vor- und Nachteile der personalisierten Systeme

Ein klarer Vorteil liegt in der entsprechend genauen Ausrichtung und Positionierung der Glenoidkomponente sowie in klarer Planungsmöglichkeit und Visualisierung präoperativ. Dadurch wird eine Anpassung bei besonders schwierigen Fällen erleichtert. Daraus resultiert eine deutliche



Abb. 3: Workflow der Planung durch den Chirurgen im Programm Glenoysis®: Pinguide Kontaktstellenbestimmung

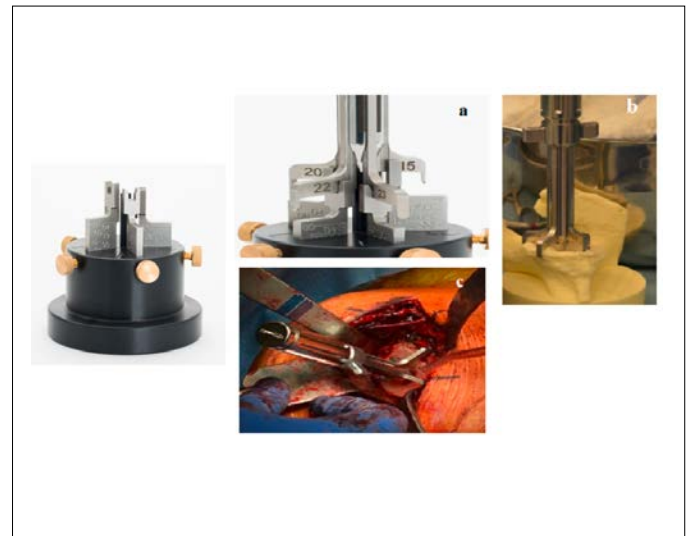


Abb. 4: Darstellung eines wiederverwendbaren Glenoidpositionierungstools. a) Glenoid-5D-Kalibrator mit verstellbaren Zielfühnern für Glenoidpositionierungstool, b) Anpassungsmöglichkeit auch am 3D-Modell, c) Positionierung am humanen Glenoid und Bohrung des Zielpins (von der Firma Arthrex Inc., Naples, FL, USA, zur Verfügung gestellt)

Reduktion der Fehlimplantationen, die in vielen Fällen zu frühzeitiger Lockerung, Subluxation und/oder Implantatversagen führen, was meistens mit Revisionsoperationen verbunden ist. Einen weiteren Vorteil liefert die Planung für den Chirurgen selbst, der entsprechende Änderungen präoperativ durchführen und die Implantation simulieren kann.

Die Verwendung von PSI in der Schulterendoprothetik stellt für die Infrastruktur der jeweiligen Klinik einen entsprechenden Mehraufwand dar. Hier müssen sowohl die präoperative Planung durchgeführt als auch die notwendigen Guides sterilisiert werden. Einen weiteren negativen Faktor bei den derzeit auf dem Markt befindlichen Systemen stellen die erhöhten Kosten für die Anfertigung der 3D-Modelle sowie der Positionierungsguides dar. Zusätzlich muss besonders bei Implementierung mit etwas verlängerten Operationszeiten gerechnet werden. Weiters verwenden die verschiedenen Systeme unterschiedliche Referenzwerte am Glenoid, was eine Vergleichbarkeit deutlich erschwert.

Ausblick in die Zukunft

Einen besonderen Fortschritt stellt die Entwicklung eines wiederverwendbaren Zieltools der Firma Arthrex (VIP, Arthrex

Inc., Naples, FL, USA) (Abb. 4 a, b, c) dar, welches seit Juli 2019 auf dem Markt erhältlich ist. Hierzu können nach entsprechender 3D-Planung mit dem VIP-System der Firma Arthrex die Justierdaten für einen wiederverwendbaren Positionierungsguide schon innerhalb von 24 Stunden an den Chirurgen überliefert werden, was für den logistischen Aufwand in der Klinik einen deutlichen Fortschritt bedeutet. Die intraoperative Adaptierung dieses wiederverwendbaren Positionierungsguides kann über einen 5D-Kalibrator oder durch ein 3D-Scapulamodell des Patienten ohne zusätzliche Kosten erfolgen.

Fazit für die Praxis

Mithilfe der PSI-Technologie kann die Implantation von Glenoidkomponenten sowohl bei anatomischen als auch inversen Prothesen zuverlässig und korrekt durchgeführt werden. Vor allem bei deutlichen Deformitäten und ausgiebigen Knochen-substanzverlusten am Glenoid kann diese Technologie eine Hilfestellung bei der Planung sein und die optimale Ausrichtung des Glenoids gewährleisten. ■

Autoren:

Dr. **Werner Anderl**^{1,2},
Dr. **Bernhard Kriegleder**²,
Dr. **Leo Pauzenberger**²

¹ Austrian Research Group for Regenerative and Orthopedic Medicine (AURROM), Wien

² Vienna Shoulder and Sports Clinic

E-Mail: ordination@anderl.at

■04

Literatur:

bei den Autoren