

Die Computernavigation in der Orthopädie

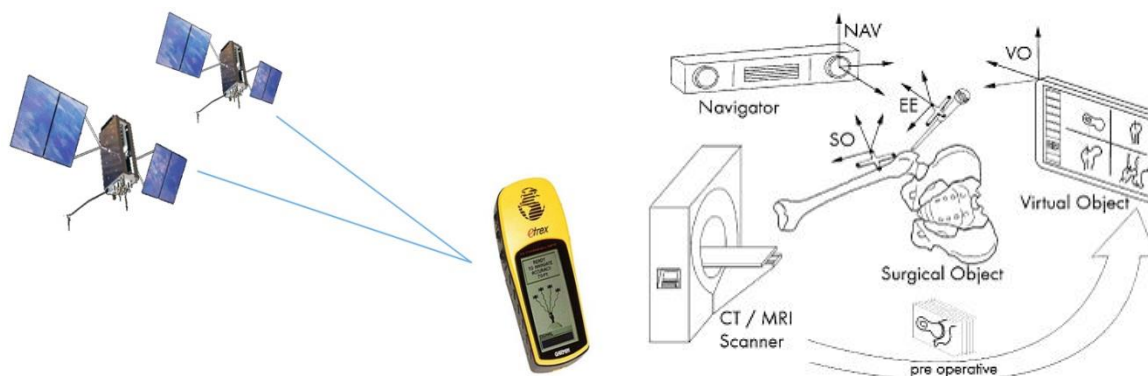
■ Einleitung

Die Verwendung der Computernavigation in der Orthopädie ist umstritten, da ihre Wertigkeit in diversen Studien nicht eindeutig zu beziffern ist. So gelingt es zwar nachzuweisen, dass beispielsweise Prothesen genauer implantiert werden können als mit konventionellen Instrumenten, die Auswirkung auf das klinische Resultat sind bisher aber nicht eindeutig. Kosten und Zeitaufwand der intraoperativen Navigation lassen sich andererseits nur durch bessere Resultate für den Patienten (z.B. weniger Schmerzen, bessere Funktion, längere Haltbarkeit der Prothese) rechtfertigen. Gerade bei den etablierten Orthopäden wird die Navigation deswegen stark kritisiert, etwa mit Aussagen „von Hand kann ich das mindestens so gut...“ abgetan. Die Computernavigation wurde in den späten Achtzigerjahren erstmals in der Orthopädie eingeführt und zwar zur Rekonstruktion von vorderen Kreuzbändern. Eingesetzt wird sie in der Wirbelsäulen- und Tumorchirurgie oder bei der Implantation von Knie-Total- oder -teilprothesen, bei Hüftprothesen in der Revisionsprothetik und bei der Durchführung von Achsenumstellungen am Unterschenkel.

■ Prinzip

Die Navigation in der Orthopädie ist basierend auf CT- (Computer-Tomographie) oder Bildverstärkerbildern, aber auch so genannt image free, also ohne vorherige Bildgebung, bekannt. Sie basiert auf den Prinzipien der Kalibrierung, der Referenzierung und der Registrierung von Punkten, Schnitten. Diese Registrierung kann zur Planung und Kontrolle von durchgeführten chirurgischen Schritten verwendet werden. Werden beim Computer mathematische Modelle z.B. eines Kniegelenks aus tausenden von realen Bildern hinterlegt, kann der Computer anhand weniger Punkte beim zu operierenden Gelenk den Rest rekonstruieren, man spricht vom Bone-morphing. Durch einfaches Bewegen der Hüfte kann der Computer ausserdem das sonst nicht sichtbare Drehzentrum des Hüftgelenks und daraus dann die Beinachse berechnen. Schliesslich erhält man am Schluss der Operation ein Protokoll, in welchem die geplanten und erreichten Schritte mit Abweichungen in mm und Grad ersichtlich sind.

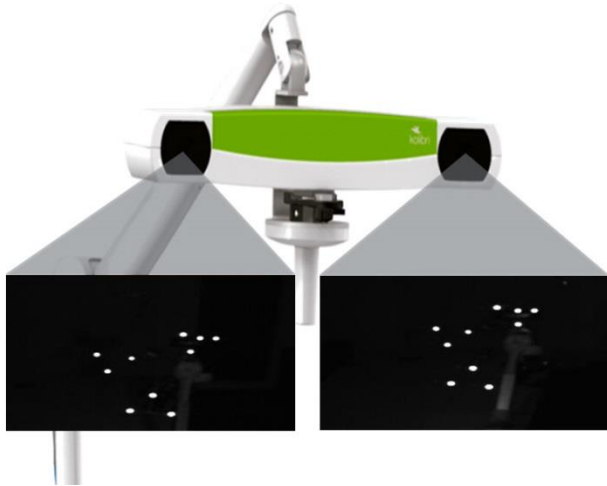
Prinzipien der Navigation



Ähnlich wie beim GPS setzt in der Computernavigation eine zwei-äugige Kamera die Bilder zu einem drei-dimensionalen Objekt zusammen.

Die in der Orthopädie verwendete Kamera sendet Infrarotlicht aus und kann auch nur infrarotes Licht empfangen. Kugeln mit einer retroreflektierenden Beschichtung auf Instrumenten oder fixen Punkten reflektieren das Infrarotlicht, das von der Kamera erkannt und durch den Rechner zu einem dreidimensionalen Bild rekonstruiert wird.

Zwei-äugige Infrarotkamera mit zwei virtuellen Bildern von Instrumenten bestückt mit Leuchtkugeln sowie Beispiel eines Tastinstruments mit drei Leuchtkugeln



Beispiele von Computernavigation in der Hüft- und Knieprothetik mit fix montierten Lokatoren mit je vier reflektierenden Leuchtkugeln



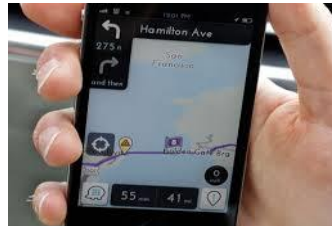
■ Aktueller Stand

Unbestritten sind Nachteile der Navigation wie die Kosten für das Gerät und das Verbrauchsmaterial (die reflektierenden Kugeln können nicht auf sterilisiert werden). Ausserdem benötigt die Computernavigation Zeit, für die Installation und Erfassung sind je nach System und Aufwand 5-20 Minuten Mehraufwand einzukalkulieren. Schliesslich sind die System nicht selbsterklärend, wie bei Allem in der Chirurgie hat die Anwendung eine Lernkurve. Erfahrene Chirurgen fühlen sich oft überwacht und übersteuert durch einen Computer, der doch die Operation nicht versteht. Auch unbestritten sind Vorteile wie die der konventionellen Technik überlegene Genauigkeit der einzelnen Operationsschritte mit Abnahme der Streubreite. Der Anwender lernt viel über die Genauigkeit, der Computer verschafft ihm sehr wertvolle dreidimensionale Informationen, die mit konventionellen Methoden höchstens zu erraten sind. Schliesslich ist die Computernavigation ausserordentlich geeignet für die Ausbildung von jungen Ärzten, welche so

schrittweise beispielsweise an die Prothetik herangeführt werden und jeden Schritt vor und nach der Durchführung kontrollieren können.

In der neusten Literatur häufen sich Studien, welche der Knieprothetik eine bessere Funktion und ein längeres Überleben der Prothese nachweisen.

Ich selber wende die Computernavigation in der Hüftprothetik seit 2005 und im Kniebereich seit Januar 2009 systematisch an, setze den Computer auch bei der Achsenumstellung ein und werde mich in einem Projekt zur Weiterentwicklung der Computernavigation engagieren.



Unser aller Leben ist schon heute im Alltag von Navigation durchdrungen, es sei nur an die Smartphones, die Navigation im Personenwagen oder die Möglichkeiten von Google Glas erinnert. Meines Erachtens ist die Computertechnologie auch nicht mehr aus dem modernen Operationssaal zu verbannen.

■ **Computernavigation in der Knieprothetik**

Ich wende die Navigation von Pi Galileo® seit Januar 2009 systematisch für die Definition der Schnitte am Schienbeinkopf und am Oberschenkelende des Kniegelenks an. Dies erspart die Eröffnung des Markraumes am Oberschenkel und reduziert die Streubreite der Achsenabweichung, da die Navigation auch das von Auge nicht direkt sichtbare Rotationszentrum der Hüfte einbezieht. Sehr hilfreich ist auch die Überprüfung der Knochenschnitte nach dem Sägen, da bei unterschiedlich hartem Knochen auch beim geführten Sägen durchaus Abweichungen von 2° und mehr möglich sind. Auch beim Einzementieren der definitiven Prothese sind Abweichungen im X- oder O-Bein möglich, was die Navigation augenblicklich anzeigt.

Navigation Schritt für Schritt

Nach Eröffnung des Kniegelenkes in Abhängigkeit der Fehlstellung (vgl. unten) und Darstellung der Landmarken werden am Ober- und Unterschenkel Lokatoren im Knochen verankert. Im Schienbein sind dazu zwei kleine Hautstiche erforderlich, damit zwei Gewindedrähte im Knochen verankert werden können. Am Oberschenkel wird der Lokator an der Innenseite in der Wunde platziert und dient gleichzeitig als Retraktionshaken. Nach Kalibrierung des Systems wird durch Bewegungen das Rotationszentrums der Hüfte bestimmt, mit einem mobilen Lokator werden vorbestimmte Landmarken am Knie abgetastet und eingegeben. Nun konstruiert der Computer die virtuelle Beinachse und gibt bei Bewegungen Auskünfte über das kinematische Verhalten des kranken Knies. Unter Navigationshilfe wird der erste Schnittblock am Schienbein angebracht und feinjustiert. Winkel und Höhe des geplanten Knochenschnittes werden in Grad und mm angegeben. Nach dem Sägen wird die Präzision des Schnittes mit dem Computer überprüft. In Streckung wird nun ein Bandspanner eingesetzt. Bei symmetrischer Spannung innen und aussen müsste nun ein gerades Bein resultieren. Ist dies nicht der Fall, werden die Weichteile korrigiert bis der Computer die gewünschte Beinachse anzeigt. Erst jetzt wird der erste Knochenschnitt am Oberschenkel in analoger Manier wie am Schienbein, unterstützt mit Computernavigation durchgeführt. Abschliessend können Spannungsverhältnisse und Achse in Streckstellung überprüft und bei Bedarf noch einmal nachkorrigiert werden.

Die Navigation wird abschliessend zur Beurteilung der Kinematik der Knieprothese (Probeprothese und definitives Implantat) noch einmal eingesetzt.

Rechtes Kniegelenk mit installierten Lokatoren am Oberschenkel und Schienbein:

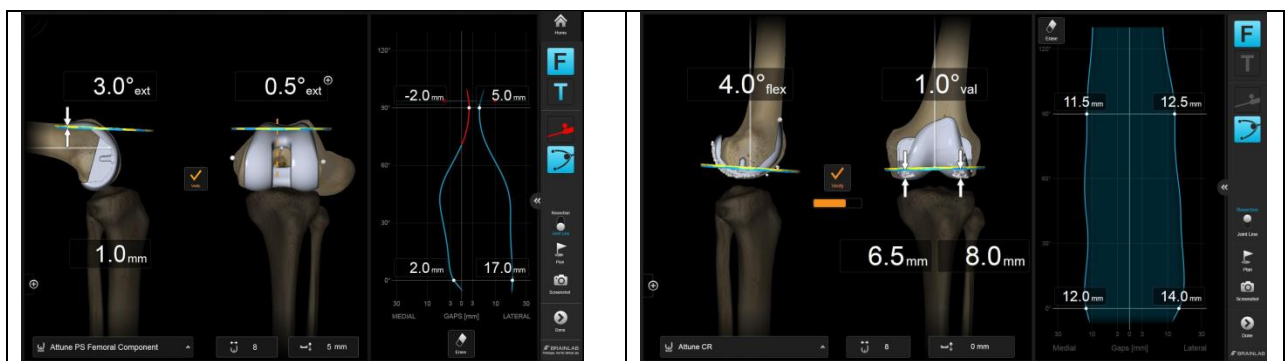
Jeder Lokator weist 4 reflektierende Kügelchen auf, die von der Infrarotkamera erkannt werden. Links wird gerade der Schnitt am Schienbein geplant, rechts wird die Präzision dieses Sägeschnittes überprüft.



Navigationssystem Brainlab®

Seit dem 18.2.2014 setze ich das neue Navigationssystem von Brainlab (Version 3.0) ein, das die Weichteile mit einbezieht. Damit ermöglicht die Navigation nicht nur die Durchführung und Kontrolle der wichtigsten Knochenschnitte an Schienbein und Oberschenkel und damit präzise Einstellung der Gelenkachsen, sondern den Einbezug der Innen- und Aussenbänder. Durch das kontinuierliche Aufzeichnen des Weichteilmantels, kann das neue Kniegelenk optimal auf die Bandspannungen abgestimmt implantiert werden. Die Messungen sind nicht wie bisher nur in voller Streckung und 90° Beugung durchführbar, sondern können im gesamten Bewegungsablauf aufgezeichnet werden. In einer Simulation wird diese Weichteilbalancierung fortwährend jeweils vor den Knochenschnitten berechnet, wodurch die Position der Komponenten an die spezifischen Verhältnisse jedes Knies optimiert werden kann. Mit Einbezug einer intraoperativen Planung kann die Prothese bezüglich Grösse und Ausrichtung optimal an Ihr Knie angeglichen werden. Das Knie ist dadurch nicht nur maximal beweglich, sondern bleibt im gesamten Bewegungsumfang auch stabil.

Brainlab 3.0



In der linken Bildschirmhälfte sind Masszahlen sichtbar, welche sämtliche Navigationssysteme auch bieten: Winkel in Grad, mm zur Beurteilung der Ausrichtung der Prothesenkomponenten am Ober- und Unterschenkel. Rechts ist der Weichteilmantel zwischen Streckung (unten) und Beugung dargestellt. Im linken Bild Darstellung einer (unrealistischen) unausgeglichene Situation, im rechten Bild die gewünschte Balance mit identischer Weite der Streck- und Beugespalte sowohl auf der Innen- wie auch Aussenseite des Knies.

Inwieweit sich das neue Navigationssystem auf die Resultate auswirken wird, ist nach dieser kurzen Anwendungsphase noch nicht auszusagen. Die ersten Erfahrungen sind aber sehr viel versprechend. Es ist durchaus denkbar, dass die Navigation mit dieser Entwicklung wieder vermehrt in den Operationssälen Einzug halten wird. Das Interesse der Orthopäden ist gross, bereits wurden in Australien und Europa zahlreiche Navigationssysteme ausgeliefert.

■ Computernavigation in der Hüftprothetik

Während in der Schweiz etwa 20% der Knieprothesen mit Hilfe der Computernavigation eingesetzt werden, ist diese Quote bei der Hüfte noch weit kleiner, dürfte bei 1% liegen. Die Hüftprothese ist ein seit Jahren etabliertes Verfahren mit anerkannt guten Langzeitresultaten und im Vergleich zur Knieprothese guter Funktion und geringen Komplikationen. Mit Einführung der minimal invasiven Techniken Ende der 90er Jahre nahen allerdings die Komplikationen vor allem in der Lernkurve drastisch zu. Grund ist die schlechtere Einsicht der üblichen Landmarken durch den limitierten operativen Zugang. Dies kann kompensiert werden durch den Einsatz der Computernavigation, wie ich dies seit 2005 systematisch anwende. Auch nach Überwindung der Lernkurve nach etwa 50 Hüftprothesen, sehe ich keine Veranlassung, diese intraoperative Hilfe aufzugeben, habe mittlerweile mit der Technik über 500 Hüftprothesen implantiert.

Navigation Schritt für Schritt

Zuerst werden auf der zu operierenden Seite am Beckenkamm sowie am Oberschenkel aussen-vorne etwa 10 cm über dem Knie je zwei Drähte in den Knochen eingebohrt (am Schluss werden sie wieder entfernt), welche die beiden Lokatoren für die Kamera aufnehmen. Es sind dazu 4 kleinste Hautstiche von je 2-3 mm Länge erforderlich.

Abgeschlossene Vorbereitungen zur Hüft-Totalprothese links:



Zur Operation vorbereitetes linkes Bein mit den beiden am Beckenkamm und Oberschenkel montierten Lokatoren für die Computernavigation.

Eingezeichnet sind bogenförmig (umgekehrtes C) der grosse Rollhöcker und der geplante Hautschnitt mit queren Markierungen.

Im nächsten Schritt werden drei Punkte an Ihrem Becken zur Bestimmung der Beckeneingangsebene abgetastet (deswegen die Desinfektion des Gegenbeines). Anschliessend können durch Bewegungen das dynamische Hüftzentrum sowie die Beinachse und -länge bestimmt werden.

Der Hautschnitt liegt seitlich über dem Rollhöcker, leicht vorne. Die Länge des Schnittes beträgt 7-12 cm und richtet sich nach den Weichteilen (je schlanker, desto kürzer). Ähnlich wie bei der klassischen Methode werden Unterhautfettgewebe und die darunter liegende Sehnenplatte (= Tractus iliotibialis) gespalten. Die Abspreizer (= Abduktoren) werden nun aber nicht abgelöst, sondern mit Haken nach oben weggedrängt. Die Gelenkkapsel wird H-förmig eröffnet und nach oben und unten weggehalten. Nach Absetzen des Schenkelhalses mit der Säge, wird der Hüft-

kopf entfernt. Jetzt wird die Pfanne dargestellt und auf gefräst, der Computer zeigt einem dabei Richtung, Winkel und Frästiefe an.

Fräsung der Pfanne mit Navigationshilfe:



Fräsung der Pfanne mit Hilfe der Navigation (*links*), Kontrolle auf dem Bildschirm (*rechts*)



Die Hüftpfanne kann zementfrei eingeschlagen werden, die Position wird noch einmal mit Hilfe des Computers überprüft. Die Lauffläche aus Keramik oder Polyäthylen wird eingesetzt. Im nächsten Schritt stellt man unter erneuter Verdrängung der Abspreizmuskulatur schrittweise das obere Ende des Oberschenkelknochens dar. Nach Eröffnung des Markraumes und Bestimmung der Oberschenkelachse mit dem Computer wird der Schaft mit der druckluftbetriebenen Raffel (Lärm und Erschütterungen!) bearbeitet. Sobald unter Mitwirkung der Navigation die ideale Grösse mit korrekter Länge gefunden ist, kann nach Aufsetzen eines Halses und Kopfes die Hüfte probeweise eingelenkt werden. Das Gelenk wird nun durch Bewegungen getestet. Vom Computer erhält man Angaben zur Beinlänge, zur Achse und zum Hebelarm (= Offset), dies immer im Vergleich zur Situation vor der Operation. Die allenfalls gewünschte Korrektur ist aufgrund der präoperativen Planung einzubeziehen. Ist man zufrieden mit dem Resultat, kann der definitive Schaft aus Titan zementfrei eingeschlagen werden. Auf den Konus wird der Kopf aus Keramik oder seltener Metall aufgesetzt. Die erhaltene Gelenkkapsel wird wieder vernäht. Die Wunde ist rasch verschlossen, da die Abspreizmuskulatur nicht genäht werden muss. Es wird häufig keine Drainage mehr eingelegt (Redon). Schliesslich werden die Unterhaut und Haut verschlossen.