

5.1 SUMMARY IN GERMAN (ZUSAMMENFASSUNG)

Das Thema dieser Dissertation ist die Möglichkeit die Kopplung zwischen der Roboterarm und am Patient Verbündete Werkzeug ohne kraft Übertragung zur Patient während Robotergestützte Orthognathie Chirurgie.

Kiefermissbildungen bekümmern ein bedeutend Anteil der Weltbevölkerung, an denn viele Behandlung suchen. Obwohl Orthodontie kann Zahnokklusion bis zu einem gewissen Grad beheben, um falsche Kieferausrichtung zu korrigieren Chirurgie ist notwendig. In den Operationen wo die Umsetzung des Kiefers einbeziehen, muss die richtige Position des oberen Kiefers in Verbindung zur Schädelbasis gefunden werden. Eine genaue Umsetzung ist nicht nur aus ästhetischen Gründen extrem wichtig aber außerdem, in der Korrektur von Gebissanomalien, die die Fähigkeit zu kauen, schlucken und atmen verbessert.

Orthognathie Chirurgie hat in den letzten Jahren zu einem relativen alltäglich Verfahren mit einem hohen Maß Voraussagbarkeit entwickelt. Technische Fortschritte, wie steife Fixierungstechniken, Knochen Erntemethoden, oder Knochen ersetzt, haben erhöht weiter chirurgischen Erfolg. Jedoch trotz dieser bedeutenden Entwicklungen gibt es noch Raum für Verbesserungen. In Moment das Umsetzen verfahren erfolgt mittels eines Plastik schienen. Diese Schiene definiert die richtige Position des Kiefers in Vergleiche zu dem unberührten Unterkiefer, zwar nur in der Horizontalebene.

Die Neupositionierung, Bohrung und Fixierung des Kiefers in der vertikalen Achse bleibt eine schwierige Aufgabe, die manuell durchgeführt wird, indem man den Unterkiefer in eine stabilen Position hielt, die so viel wie möglich zu einer „normal“ Situation heranreichen. Vertikale Abstandmaße sind mit einem lineal genommen und verglichen mit dem präoperativen chirurgischen Plan. Die herkömmliche Methode hat keine Unterstützung von Computermitteln und folglich ist die Hauptquelle der Ungenauigkeit die Plastik Abdruckschiene und das menschliche Auge.

Aus diesem Grund sind neuen Techniken, die darauf abzielen eine genaue Implementierung des präoperatives Planes, entwickelt geworden. Navigation und erweitert Realität helfen den präoperative Plan um dem Chirurgie zu bringen, indem sie den tatsächlichen Patienten mit den Informationen vergleichen, die auf dem Bildschirm vorgelegt werden. Jedoch, wie von einigen Forschern beschrieben, eben wenn eine Knochenfragment-Navigationsysteme zum Untermillimeter Genauigkeiten durchführen könnte, wird die angewandte Genauigkeit in den Händen eines Chirurgen geschätzt, um zwei bis vier Millimeter zu sein. Die Neupositionierung ist hoch menschlich-abhängige, da die Chirurgen nicht imstande sind, die Genauigkeit, Präzision und Stabilität eines Roboterarmes zu erreichen.

Infolgedessen wurde ein Robotersystem, um den Chirurgen zu unterstützen entwickelt, und die genaue Übertragung des präoperatives Planes in das Operations Raum zu erleichtern und vermied menschlich-abhängige Störungen.

Diese Robotersystem durchteufen den herkömmlichen Workflow, indem sie Präoperative die Umwandlung erfassen; Registrierung mit dem Patienten vor Trennung des Maxillas; und schließlich die Zielposition nach Untenbruch des Maxilla zeigen. Wenn man die Durchteufe dieser Roboterannäherung mit dem herkömmlichen Workflow analysiert, wurde es einer Anforderung hauptsächlich erkannt; den Roboter weg von der chirurgischen

Eingriffstelle während meisten der Chirurgie zu setzen und den Roboter nur selten zu holen und an dem Patienten bringen. Das heißt, dass notwendig ist, des Roboterarmes mit dem Patient Verbündete Werkzeug zum Mehrfachenkoppeln und entkoppeln. Jedoch bleibt ungelöst das Problem der Kopplung des Roboters mit dem Patient Verbündete Werkzeug, auf eine intuitive, einfach Art die jede mögliche Gefahr auf den Patienten beschränkt.

Die bekannte Größe von Ungenauigkeiten in den optischen Tracking Technologien habe geführt, um Kräften am Patient Verbündete Werkzeug anzustehen, die während der Koppelung auch am Patienten angewendet werden. Diese Kräfte heben ernsten Sicherheitsinteressen ab, besonders wenn der Kiefer beweglich ist, wo solche unbeaufsichtigten und unerwarteten Kräfte natürlich nicht gewünscht sind. Zusätzlich, die intuitive Behandlung wird gehindert mit der Nutzung von externen Trackingsysteme, die ein konstantes Blick zu den Marker brauchen, und ihren relativ großen Größe. Aus diesen Gründen wurde ein neues Konzept an das Koppelungsproblem geforscht.

In dieser Studie der Nutzung einer eingebettet Kamera im Endeffektor hat erreicht eine bessere Koppelungslösung. Die Kamera, die auf den Roboterarm gesetzt wird, ist näher an den optischen Marker und erlaubt eine höhere Tracking Genauigkeiten, die ermöglicht einer sichereren Koppelung ohne die Ansetzung der Kraft zum Patienten. Mit dieser Methode wurde das Koppelungsproblem verringert auf einem Roboterarm / Bewegliches Ziel relativ Positionierungsproblem. Die relative Position wird ermittelt, indem man die Informationen von den Kreismarkierungen auf dem Werkzeug extrahiert. Und die Roboterposition wird berechnet, um sich zu bewegen im Verhältnis zum Ziel. Um die Registrierung zu behalten und eine genaue Übersetzung des präoperatives Planes zu ausführen, ein Genaues Zusammenpassenden von den Schnittstellen zwischen Werkzeug und Endeffektor war entworfen. Das entwickelte chirurgische Werkzeug wird an den Zähnen des Patienten befestigt mit ähnlicher nachgeben als die herkömmliche Schiene. Der Kraftsteuermodus lieferte das intuitive Gefühl der Roboterführung, als der Chirurg den Roboter zur Nähe Position des Werkzeugs steuert. Wegen der Art des Operation Raumes wurde diese Koppelungsmethode weiter mit einer spezifischen mechanischen Lösung erhöht, um die Sterilität beizubehalten.

Das Bildverarbeitungskonzept, das für das Tracking verwendet wurde, war erfolgreich um die korrekte 3D Position und Orientierung mit einer angemessenen Menge der Ungenauigkeit erkannte. Die Bahn, die minimiert die Tracking Fehlern wurde erforscht und gefunden, um das Niedrigste zu sein, als dem Ziel auf der aufrecht der Zielfläche nähernd, gegeben vom Normale Vektor und durch den Mittelpunkt des Ziels.

Nullkraftkoppelung wird erzielt, wenn der Roboter in der Lage ist, das Werkzeug ohne Zusammenstoß zu ergreifen. Um Patient Sicherheit zu behaupten, wurden der Kräften an der Werkzeugseite gemessen. Zusätzliche Versuchsreihe mit dem leichte Roboter LBR-3 (KUKA Roboter GmbH, Augsburg, Deutschland) haben beigetragen die Informationen für realistische chirurgische Bedingungs-, Bohrung- und Schraubenfixierung, mit Plastikphantom und Schweinkadaver. Es wurde während wiederholten Experimente beobachtet, dass Koppelung ist möglich ohne Kraft auf dem Patienten auszuüben.

Sobald der Roboter mit dem Werkzeug verbunden ist, die folgende Etappe des chirurgischen Workflow ist die Zielposition zu halten, während der Chirurg den Maxilla mit Schrauben und Mini-platten bohrt und befestigt. Während der Laborexperimente war der LBR3 gemäß von der Kraft, die vom Chirurgen angelangt wurde, um seine Stabilität zu prüfen. Abhängig von der Stärke, die auf den Roboterarm zugetroffen ist, verschob die Zielposition fast 1.5mm. Ein Überschießen nach Freigabe wurde auch gemerkt. Die

Zielposition wurde mit Positionierungsfehlern unter 0.01mm und Orientierung bis zu 0.06° zurückgewonnen. Auch mit dem LBR3 war identifiziert der Achsestabilitätsunterschied.

Schließlich stellt diese Studie fest, dass das LBR3 ausreichend ist, um dieses Verfahren zu bearbeiten. Der bewegliche Kiefer kann in Position gehalten werden, während der Chirurg seine Aufgaben durchführt und eine intuitive kraftfreie Koppelung für medizinische Roboter möglich ist, zeigt uns einen sicheren, sterilen, zuverlässigen und vorhersagbaren Methode, die an der Entwicklung der neuen medizinischen Roboter eingeschlossen sollte.

Weiteren Versuchen, zu der Nutzbarkeit dieser Methode sollten mit tatsächlichen Patienten gebildet werden. Zusätzlich, gibt es noch Leistungen Möglichkeiten durch die Verkleinerung in der Gesamtgröße des Kopplers und des Systems.

5.2 SUMMARY IN PORTUGUESE (SUMÁRIO)

O tema desta tese é a possibilidade de acoplar um braço robótico com uma ferramenta fixa no paciente, sem exercer força no mesmo, durante uma cirurgia ortognática assistida por robot.

Deformidades dentofaciais afligem uma considerável percentagem da população mundial, pelas quais muitos procuram tratamento. Os ortodontologistas podem corrigir a oclusão dental até certo ponto, no entanto uma cirurgia correctiva poderá ser necessária para corrigir o alinhamento dos maxilares. Em cirurgias envolvendo a reposição da maxila, é necessário determinar a correcta posição do maxilar superior em relação à base do crânio. Uma correcta reposição é extremamente importante, não apenas por razões estéticas, mas igualmente para corrigir a oclusão dental, que melhora a capacidade de mastigar.

A cirurgia ortognática é hoje um procedimento relativamente comum com um elevado grau de previsibilidade. Avanços técnicos como fixações rígidas, colheita de enxertos ósseos ou substitutos avançaram o sucesso cirúrgico. No entanto, apesar destes significativos avanços ainda há lugar para melhoramentos. Actualmente, a reposição da maxila é realizada com uma patilha de plástico. Esta patilha define a correcta posição da maxila em relação à intacta mandíbula, mas apenas no plano horizontal. O restabelecimento, perfuração e fixação da maxila no eixo vertical permanece uma tarefa difícil que é executada suportando a mandíbula numa posição estável manualmente, aproximando tanto quanto possível de uma situação “normal”. Deslocamentos verticais são medidos com uma régua e comparados com o plano pré-cirúrgico. Esta técnica convencional não tem assistência de métodos computacionais e portanto a principal fonte de erro é a patilha de plástico e o olho humano.

Por essa razão, novas técnicas foram desenvolvidas para trazer uma exacta implementação do plano pré-operatório. Sistemas de navegação e de realidade aumentada auxiliam na transferência do plano pré-operatório comparando o paciente *in-situ* com informação presente no ecrã do computador. No entanto, mesmo que um sistema de navegação para segmentos de osso conseguisse obter exactidões de ordem sub-milimétrica, a exactidão aplicada nas mãos do cirurgião estima-se ser de dois a quatro milímetros. Assim sendo, foi desenvolvido um sistema robótico para apoiar o cirurgião intra-operativamente e facilitar a exacta transferência do plano pré-operatório para a sala de operações, evitando erros dependentes do operador.