

Marcus Steven Rieker
Dr.sc.hum.

Vergleichende Untersuchungen zur magnetresonanztomographischen und computer-tomographischen Bildgebung bei der Planung dentaler Implantationen

Geboren am 11. Januar 1967 in Heilbronn-Sontheim

Reifeprüfung am 25. Juni 1992 in Stuttgart

Studiengang der Fachrichtung Physikalische Technik vom WS 92/93 bis WS 96/97

Vordiplom am 30. August 1994 an der Fachhochschule Heilbronn

Diplom am 28. Februar 1997 an der Fachhochschule Heilbronn

Eignungsfeststellungsverfahren September 2002 bis Juli 2003 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Medizinische Biometrie und Informatik

Doktorvater: Prof. Dr.-Ing. H. Dickhaus

Mit der dentalen Implantologie steht der zahnärztlichen Praxis heute eine etablierte Methode zur Wiederherstellung der geschlossenen Zahnreihe und damit zur Rehabilitation der okklusalen Verhältnisse zur Verfügung. Vorteile der Methode bestehen in der Kombination aus hoher Bißstabilität und langer Lebensdauer. Zur korrekten Planung einer Implantation ist die Kenntnis über die anatomischen Verhältnisse im betroffenen Kiefergebiet unerlässlich. Nicht zuletzt muß der exakte Verlauf des *canalis mandibularis* bekannt sein, um die Gefahr einer Gewebs- oder Nervenverletzung während der Implantatversorgung auszuschließen. Beim überwiegenden Teil der Patienten wird die Planung anhand eines Orthopantomogramms (OPG) erstellt. Analog zur konventionellen Röntgenuntersuchung entsteht aus dem OPG ein planares Bild, das projizierte Überlagerungen der untersuchten Region zeigt. Die fehlende räumliche Komponente führt dazu, dass ausschließlich orthogonale Implantatfixierungen geplant werden können. Bei Patienten mit Knochendefekten oder großflächig spongiösem Knochengewebe wird die Implantatplanung vorwiegend mit Hilfe der Computertomographie (CT) durchgeführt. Diese ermöglicht Schichtaufnahmen beliebiger Orientierung, die mit geeigneten Computerprogrammen auch zu einer dreidimensionalen Ansicht des betroffenen Gebietes rekonstruiert werden können.

Die CT als röntgenologisches Verfahren liefert neben der notwendigen anatomischen Auflösung, indirekt auch eine Aussage über die zu erwartende Dichte im zu implantierenden Gebiet. Da spongiöses Knochengewebe für die Aufnahme eines Implantats weniger gut geeignet ist, ist diese Information zur Planung der optimalen Implantatposition äußerst hilfreich. Des weiteren verfügt die Methode über kurze Meßzeiten und eine damit verbundene geringe Empfindlichkeit gegenüber Patientenbewegungen. Aufgrund des physikalischen Effektes der Strahlschwächung durch das Auftreten von Materie sind die für die Planung notwendigen anatomischen Strukturen wie zum Beispiel Zähne, Kortikalis oder Gingiva deutlich sichtbar. Die Computertomographie bietet außerdem eine hohe Ortsauflösung bei hoher metrischer Genauigkeit.

Der Hauptnachteil des Verfahrens besteht in der nicht unerheblichen Strahlenbelastung des Patienten, die eine postoperative Verlaufskontrolle unmöglich macht. Bei Jugendlichen und Kindern, sowie während der Schwangerschaft ist eine genaue Abwägung der Notwendigkeit einer solchen Untersuchung angezeigt. Außerdem besteht eine hohe Artefaktsensitivität gegenüber verschiedenen dentalen Werkstoffen. Dies führt bei dreidimensionalen Rekonstruktionen des Kiefergebietes zu Auslöschungen einzelner Bereiche, die die Diagnostizierbarkeit beeinflussen. Zudem ist die Sensitivität der Methode bezüglich der Differenzierung von Nervengewebe äußerst gering.

Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung und der guten Eigenschaften hinsichtlich der Weichteil-Gewebedifferenzierung könnte die Magnetresonanztomographie (MRT) die CT zur Planung von dentalen Implantaten in Zukunft ersetzen. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Planung mit MRT Daten, insbesondere bei gleicher geforderter Maßgenauigkeit, ohne nennenswerte Einschränkung analog zur Planung mit CT Bildern, durchgeführt werden kann.

Zur Überprüfung der Abbildungsgenauigkeit bei der MRT Bildgebung wurden Schweinekiefer sowohl im CT, als auch im MRT untersucht und die räumlich korrespondierenden Schichten der Messungen anschließend überlagert.

Die Artefaktempfindlichkeit auf dentale Werkstoffe wurde anhand multipler MRT Untersuchungen mit unterschiedlichen Mengen Metalls getestet. Hierzu wurde zunächst eine Basismessung des Kiefers ohne Fremdmaterialien durchgeführt. In weiteren Messungen, bei denen der Kiefer in der Kopfspule verblieb, wurde eine zunehmende Menge Fremdmaterial eingebracht, und erneut gemessen. Die Differenz korrespondierender Schnittbilder vor und nach der Applikation verdeutlichte auftretende Artefakte. Zur Untersuchung wurden die Schweinekiefer in einem in der Stereotaxie üblichen Leksell Rahmen mit Fiducialbox aus *Polymethylmethacrylat* (PMMA) fixiert. Zur Signalerzeugung im MRT ist der Fiducialverbund mit Kupfersulfatlösung gefüllt. Die magnetresonanztomographischen Untersuchungen wurden ausnahmslos am Siemens Magnetom Symphony mit einem Magnetfeld von 1.5 Tesla der Neuroradiologischen Klinik Heidelberg durchgeführt. Als geeignete Meßsequenz stellte sich die **V**olumetric **I**nterpolated **B**reathold **E**xamination heraus. Sie ist eine ultraschnelle T1 gewichtete Gradientenecho Sequenz mit Spoiler und liefert einen dreidimensionalen Volumensatz hoher isotroper Auflösung. Zur Unterdrückung des Fettgewebes wird vor jeder Partitionsschleife ein frequenzselektiver Fettsättigungsimpuls gesendet. Der Vorteil der VIBE Sequenz besteht in einer vollständigen Abdeckung der Anatomie bei kurzer Meßzeit.

Bei Goldkronen und Amalgamfüllungen waren bei unseren Untersuchungen keine Artefakte beobachtbar, da die Artefaktausdehnung lokal begrenzt und kleiner als die Entfernung zwischen Metall und Gewebe ist. Der Artefakt beschränkte sich demnach auf einen Bereich zwischen Zahn und angrenzender Schleimhaut. Abhängigkeiten zwischen dem Auftreten von Artefakten und der eingebrachten Werkstoffmenge waren innerhalb der beobachteten Grenzen von bis zu 7g Gold nicht feststellbar. Lediglich bei Titan resultierte eine lokale Signalerhöhung unmittelbar am Übergang zum Gewebe. Das Ausmaß der Artefakte hängt entscheidend vom Metalltyp ab. Bei ferromagnetischem Metall waren schon geringe Mengen ausreichend, um massive kreis- oder eiförmige Auslöschungen zu verursachen.

Die MRT Aufnahmen lieferten bei guter Maßgenauigkeit einen sehr guten Weichteilkontrast, so dass die unterschiedlichen Gewebetypen optimal differenziert werden konnten. Leider werden jedoch die zur Planung erforderlichen dichteren Bereiche wie Kortikalis und Zähne hier nur sehr schwach oder überhaupt nicht dargestellt. Das fehlende Signal bei den Zähnen führt dazu, dass sich der Bereich des Kiefers gegenüber der oralen Mundhöhle nicht abhebt, und daher die Implantatpositionen nicht optimal bestimmt werden können. Dies wiederum ist durch eine Schablone kompensierbar, die der Patient während der Untersuchung trägt und die sich im MRT darstellt. Dadurch können Zähne und Kortikalis segmentiert und visualisiert werden. Es zeigte sich, dass eine Kombination aus einem starren Trägermaterial mit einer MRT sensitiven Auskleidung die besten Resultate liefert. Als Trägermaterial wurde ein lighthärtender Kunststoff verwendet, an dem auch ein Referenzsystem angebracht werden konnte. Die Auskleidung bestand aus einem Hydrogel zur Anfertigung von dermatologischen Individualrezepturen.