

## 5. Diskussion

Ziel der Untersuchung war, den Einfluss der neuartigen Konusverbindung zwischen Implantat und Abutment des Ankylos<sup>®</sup>-Implantatsystems auf die Übertragungspräzision zu beurteilen.

Die vorliegenden Untersuchungen zur Übertragungspräzision von Implantaten wurden mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt.

Die klinische Beurteilung des erreichten Randspalts durch Tastungen mit präzisen Metallplättchen von 30 µm Dicke, wie von Klineberg und Murray durchgeführt, kann als exakte Messgröße nicht herangezogen werden [43]. Eine Aussage ist trotz kalibrierter Untersucher nur mit der Präzision von „ungefähr 30 µm und geringer“ oder „größer als 30 µm“ zu treffen. Diese Aussage ist als qualitative Beurteilung hinsichtlich einer Graduierung unzureichend.

Die Untersuchungen von Jemt et al. wurden mittels stereophotogrammetrischer Methoden durchgeführt. Durch parallel zur Objekt-Linse angebrachte Spiegel wurden standardisierte Aufnahmen eines oder mehrerer Objekte aus definierten unterschiedlichen Betrachtungswinkeln erzielt. Die nachträgliche Auswertung der Aufnahmen erfolgte mittels Präzisionsplotter und Computer. Im Hinblick auf Einflussfaktoren wie die Korngröße des verwendeten Films und Übertragungsungenauigkeiten durch die Mechanik des Plotters sind hinsichtlich des Größenordnung der Übertragungspräzision (Mikrometerbereich) potentielle systematische Fehler zu erwarten [32, 34, 35, 37, 40, 44].

Mechanische 3D-Koordinatenmessmaschinen erlauben derzeit die präzisesten Messungen von dreidimensionalen Strukturen. Der Zeitaufwand zur Vermessung eines einzelnen Objekts hängt stark von der Anzahl der angefahrenen Messpunkte ab [47, 63, 69].

Da in dieser Untersuchung Dimensionsveränderungen in allen Raumebenen erwartet wurden und in die Aussage zur Übertragungspräzision einbezogen

werden sollten, wäre eine exakte Vermessung einer ausreichenden Anzahl von Messpunkten (und Modellen) nicht realisierbar.

Optische Vermessungstechniken bieten den Vorteil, innerhalb kurzer Zeit diese Menge an Messpunkten zu ermitteln. Die zur Verfügung stehenden Verfahren sind der 3D-Laserscan und die Streifenlichtprojektion. Der Scan von dreidimensionalen Objekten mittels Laser in der Größe eines zahntechnischen Modells ist technisch realisierbar, dennoch sind Geräte mit dieser Technik und einer ausreichenden Präzision noch nicht auf dem Markt präsent.

Die Streifenlichtprojektion findet als marktreifes System im zahntechnischen Bereich bereits ihre Anwendung (DiGident-System, Fa. GIRRbach). Die notwendige Menge an Messpunkten wird in einem Messdurchlauf innerhalb von 10 Minuten erzeugt und bietet eine ausreichende Genauigkeit von 16 µm (Herstellerangabe; 8 µm Standardabweichung).

Um dennoch eine Vergleichbarkeit der erreichten Übertragungspräzision zu gewährleisten wurde als Referenzsystem das Brånemark-Implantatsystem (Fa. Nobel Biocare) ausgewählt, welches das Untersuchungsobjekt vieler Studien darstellte [1, 7-9, 16, 20, 21, 23, 24, 28, 33-35, 39, 49, 55, 56].

### **5.1 Einfluss des Abformmaterials**

Die Verwendung unterschiedlicher Abformmaterialien mittelvisköser Konsistenz ohne zusätzliche Verblockungen äußerte sich bei der Verwendung von Ankylos<sup>®</sup>-Balance-Übertragungspfeifen nicht in statistisch signifikanten Unterschieden in der Übertragungspräzision.

Liou et al. sowie Wee et al. bestätigen diese Ergebnisse für eine angewendete indirekte Übertragungstechnik [46, 68].

Additionsvernetzende Silikone und Polyether mittlerer Konsistenz wurden als gleichwertig eingestuft, wobei auf die leichtere Entformung der A-Silikon-

Abformungen in Abhängigkeit von anatomisch bedingten Hartgewebsunterschnitten hingewiesen wurde.

Lorenzoni et al. haben im Gegensatz dazu eine höhere Übertragungspräzision unter Verwendung von hochfesten A-Silikon-Abformwerkstoffen ermittelt [47].

Vigolo et al. empfehlen den Einsatz von Adhäsiv am Übertragungspfofen, um den Verbund zwischen Übertragungspfofen und Abformmaterial zu optimieren. Dieser Ansatz konnte in einer Untersuchung bestätigt werden [66].

### **5.2 Einfluss verschiedener Übertragungspfofen**

Im Vergleich zu den Übertragungspfofen Ankylos<sup>®</sup>-Standard, Brånemark reponierbar und Brånemark verschraubt wurden mit den Ankylos<sup>®</sup>-Balance-Übertragungspfofen signifikant schlechtere Ergebnisse erzielt, wenn als Referenzebene das Gesamtmodell herangezogen wurde.

Bei der Übertragungspräzision der Implantate im relativen Bezug zueinander sind Ankylos<sup>®</sup> Balance - Übertragungspfofen und Brånemark – Übertragungspfofen vergleichbar genau.

Im klinischen Einsatz ist diesen Übertragungspfofen für rein implantatgetragene Suprakonstruktionen aufgrund der höheren Konstanz der Übertragungspräzision der Vorzug zu geben.

Eine geringere Konstanz der Übertragungspräzision ist beim Einsatz der Transferkappen des Ankylos<sup>®</sup>-Standard-Abutments zu beobachten. Die Unterschiede sind nicht hochsignifikant zu den Ergebnissen der Ankylos<sup>®</sup>-Balance-Pfofen und der Übertragungspfofen des Brånemark-Systems. Es konnte eine ausgeprägte Streuung der Messwerte dokumentiert werden.

Diese größere Ungenauigkeit scheint im konstruktiven konusartigen Aufbau der Verbindung zwischen Übertragungspfofen resp. Abutment und dem enossalen Implantatanteil begründet zu sein. Bei theoretisch gleichen Fertigungstoleranzen aller Komponenten ermöglicht die Konusverbindung fertigungsbedingte

Differenzen zwischen Ausgangssituation und Ergebnis nach Übertragung. Ein Laboranalog mit einem größeren Durchmesser des Innenkonus (oberes Toleranzniveau des Herstellers) wird bei konstantem Fixationsdrehmoment in einer vertikal höheren Position auf dem Meistermodell erscheinen. Die dort installierten Abutments können wiederum durch Fertigungstoleranzen bedingt zu anderen Ausgangssituationen vor der eigentlichen Gerütherstellung führen. Ferner resultieren aus einer fehlenden Standardisierung der Anzugsmomente von Übertragungspfosten („fingerfestes“ Anzugsmoment) auch unterschiedliche Kräfte, die zum Lösen des Übertragungspfostens bei der Entnahme der Abformung nötig sind. Dies kann vertikale Dimensionsveränderungen des Übertragungspfostens in der Abformung erzeugen.

Aufgrund dieser höheren Empfindlichkeit gegenüber Fertigungstoleranzen sollten Abformungen vom Implantatniveau mit dem Ankylos<sup>®</sup> Balance-Übertragungspfosten nicht zum Einsatz kommen, wenn ein Verbund der Suprakonstruktion mit dem Restzahnbestand vorgesehen ist. In dieser Indikation ist eine Abformung vom Abutmentniveau, wie mit dem Ankylos<sup>®</sup> Standardabutment und der Kunststoff-Transferkappe, deutlich präziser und mit der erreichten Übertragungspräzision des Brånemark-Systems vergleichbar.

### **5.3 Einfluss eines Verblockungsmaterials**

Ein Einsatz von Verblockungsmaterialien (hier Pattern Resin LS) zum Zwecke der Retentionserhöhung von Ankylos<sup>®</sup> Balance-Übertragungspfosten führte nicht zu einer höheren Übertragungspräzision. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von Hsu et al.[27], welcher als mögliche Erklärung „eventuell ideale Eigenschaften des Polyethers“ (i. S. von Dimensionsstabilität u. Rigidität) heranzieht. Auch die Autorengruppen um Herbst und Phillips konnten in ihren Untersuchungen keine klinischen Vorteile durch den Einsatz von Verblockungsmaterialien feststellen [26, 54].

Das als Verblockungsmaterial eingesetzte Acrylat Pattern Resin LS führt bei einzeitiger Anwendung zu einer signifikanten Verschlechterung der Übertragungspräzision der Implantatpositionen. Ein erneutes Trennen des Verbundes aus Ankylos® Balance-Übertragungspfosten und Kunststoff und der anschließenden intraoralen Fügung verbessert dieses Ergebnis, erreicht jedoch nicht die Präzision einer Übertragung ohne Verblockungsmaterial. Eine werkstoffbedingte Schrumpfung des Verblockungsmaterials und damit ein Verzug des Verbundes ist als Erklärung wahrscheinlich.

Der Einfluss einer Verkantung der Abformung während der Entnahme scheint sich durch Symmetrien in den Kurvenverläufen der Regressionsgeraden widerzuspiegeln: Initial wurde die Abformung gelüftet und im IV. Quadranten gelockert und angehoben, bevor ein weitgehend paralleles Abnehmen möglich war. Die Übertragungspfosten 1 und 2 (IV. Quadrant) konnten damit quasi wie gewünscht parallel und ruckartig vom Implantat gelöst werden. Die Pfosten 3 und 4 (III. Quadrant) hingegen durchliefen vor der Trennung vom Implantat eine geringgradige Verkantung. Die Übertragungspräzision dieser beiden Pfosten ist schlechter als die der Pfosten im IV. Quadranten.

Eine Ausnahme dazu stellten die reponierbaren Übertragungspfosten des Bränemark-Systems dar.

Offensichtlich kommt es zu entformungsbedingten Positionsveränderungen der Übertragungspfosten im Abformmaterial, die bei systembedingt notwendiger manueller Reposition der Übertragungspfosten ohne Einfluss sind.

Daher ist durch nachträgliches manuelles Repositionieren (Fingerdruck auf Übertragungspfosten in der Abformung) ein präzisionsverbessernder Einfluss auch bei den anderen Transfertechniken vorstellbar.

Generell erscheint unter Verwendung der indirekten Herstellungsmethodik in der zur Zeit üblichen Form (Abformung – Modellherstellung – Suprakonstruktion) eine hundertprozentige Übertragung der Implantatpositionen nicht möglich zu sein.

Mögliche Auswege stellen sich in Form von intraoralem Scan der Implantatpositionen und frästechnischer Herstellung der Suprakonstruktion dar.

Zur Vermeidung von Spannungen der Suprakonstruktion könnte alternativ zu einer Verschraubung eine adhäsive oder zementierte Befestigung mit definierten „Zementierungsspalten“ beitragen, die übertragungsbedingte geringfügige Ungenauigkeiten kompensieren kann.

Aus klinischer Erfahrung kann von erheblichen Plaqueakkumulationen unter verschraubten Suprakonstruktionen mit perfekter Passung berichtet werden. Die adhäsive oder zementierte Befestigung bietet den Vorteil, verbliebene Spalträume zwischen Abutment und Suprakonstruktion mit dem Befestigungszement aufzufüllen. Damit stellt diese Befestigungsmethode einen erheblichen Beitrag zur Vermeidung periimplantärer bakteriologisch bedingter Probleme dar.

### **5.4 Fehlerdiskussion**

Die Aussagekraft der Ergebnisse ist an die Beschränkungen einer In-vitro-Untersuchung gekoppelt. In einer In-vitro-Untersuchung sind Einflüsse auf die Abformpräzision durch schwierige anatomische Situationen und Speichelzutritt nicht gegeben. Während ein Speichelfilm auf dem Tegument isolierende Eigenschaften besitzt und damit die Entnahme der Abformung erleichtert, ist klinisch bei Unterschnitten durch Restzahnbestand oder Exostosen eine Entnahme der Abformung erschwert.

Die im Studienablauf erreichten Ergebnisse unterliegen Einflüssen, die in systematische und zufällige Fehler zu unterteilen sind.

Zu den **systematischen Fehlern** sind zu zählen:

- Unterschiedliche Abzugskräfte beim Entnahmeprocedere
- Temperaturschwankungen beim Transport der Abformungen in das gewerbliche Labor
- Inkonstante Lagerungsdauer zwischen Abformung und Modellerstellung (Zeitintervall)
- Nicht kalibrierte Repositionskräfte beim Installieren der Manipulierimplantate

Diese Fehler liegen im System der Herstellung der Meistermodelle begründet und sind unter dem Gesichtspunkt der tatsächlichen praktischen Anwendung nicht standardisierbar. Insofern werden diese Fehler bewusst in Kauf genommen, da deren Einfluss von klinischer Relevanz ist.

Dem systematischen Fehler einer Gewöhnung an Material und Technik konnte durch die Gestaltung des Ablaufs in Form von Cross-over-Versuchen begegnet werden.

Für den Vergleich der Gruppen „Abformmaterial“, „Übertragungspfofen“ und „Verblockung“ wurden mit dem Computer Zufallslisten generiert, die den Ablauf und die entsprechende Variation des Materials vorschrieben.

Eine Gewöhnung an die Abformtechnik als solche war nicht notwendig, da die verwendeten Implantatsysteme und Materialien durch den Untersucher bereits seit längerem klinisch eingesetzt werden.

Messtechnische Ungenauigkeiten sind durch den Einsatz des Feinstpartikelsprays zu erwarten. Die Abdeckung von metallischen Oberflächen ist notwendig, um Messfehler durch Reflexionen zu vermeiden.

Weitestgehend konnte auf den Einsatz dieser Beschichtung verzichtet werden, da durch ein Oxidieren der Messabutments keine Reflexionen mehr auftraten. Ein

solches Oxidieren führte bei den Standard-Abutments des Ankylos<sup>®</sup>-Systems nicht zur gewünschten Oberflächenveränderung. Die Materialbeschaffenheit (Titanlegierung) führte lediglich zu Verfärbungen, eine Unterdrückung der Reflexion konnte nicht erreicht werden. Im Messplan wurde daher zur Vermessung von Modellen mit Ankylos<sup>®</sup>-Standard-Abutments eine dünne Schicht Feinstpartikelspray verwendet.

**Zufällige Fehler** sind u. a. durch die meßtechnisch bedingte Montage der Modelle in einer möglichst identischen Position auf einer Artikulatorgrundplatte entstanden. Während dieser Montage im Artikulator über einen Schlüssel sind Positionierungsungenauigkeiten durch die Expansion des Sockelgipses nicht auszuschließen. Da die Modelle nicht identisch in ihrer Höhe sind, waren zum Sockeln eines jeden Modells unterschiedliche Mengen Sockelgips notwendig. Die im Ergebnis möglicherweise unterschiedlich hohen Modelle stellen im 3D-Scanner unterschiedliche Voraussetzungen für die Vermessung dar. Inwiefern die abschließende Best-Fit-Justage durch die Software den Fehler der Erfassung kompensiert kann nicht abschließend beurteilt werden.

Als Referenzsystem wurde mit dem Brånemark-Implantatsystem ein klinisch bewährtes und exzellent dokumentiertes System gewählt, welches hinsichtlich der erzielten Übertragungspräzision eine vergleichende Beurteilung erlaubt. Aufgrund der erreichten vergleichbaren Übertragungspräzision des Ankylos<sup>®</sup>-Implantatsystems ist eine gute klinische Prognose zu erwarten.