

6 Diskussion

Die in dieser retrospektiven Studie durchgeführte radiologische Bildvermessung wird als Mittel der Wahl bei der Beurteilung des periimplantären Knochenniveaus angesehen (12, 41, 44). Die Messung von Strukturen auf Röntgenbildern kann unter Anwendung von Rasterfolien und Lupensystemen oder auch digital mit entsprechender Software erfolgen. Die vorliegende retrospektive radiologische Untersuchung des periimplantären Knochenniveaus wurde anhand von konventionell erstellten Orthopantomogrammen nach dem digitalen Tübinger Röntgenmessverfahren an Panoramiaschichtaufnahmen (41, 43, 44) unter Anwendung der Sidexis-Software ausgewertet. Es existieren bereits Studien, in denen Röntgenaufnahmen digitalisiert und mit speziellen Software-Programmen ausgewertet wurden (44, 102). Anhand der Röntgenaufnahmen von dreidimensionalen Strukturen lassen sich nur die mesialen und distalen Knochenkonturen darstellen, die vestibulären und oralen Knochenwände sind aufgrund der zweidimensionalen Darstellung durch Überlagerungen nicht beurteilbar. Einstellungsfehler treten bei der Panoramiaschichtaufnahme zwar auf, dennoch wird der Grad der Reproduzierbarkeit in der Vertikaldimension als hoch bewertet (33, 95, 99). Schwierigkeiten ergeben sich bei der Detailgenauigkeit, so dass minimale periimplantäre Knochenkonturen möglicherweise unerkannt bleiben können (47, 68). Da eine Röntgenaufnahme ein Summationsbild aus unterschiedlich harten und weichen Gewebestrukturen ist, muss die Interpretation der einzelnen knöchernen Areale in Hinsicht auf real existierende Knochendefekte mit großer Sorgfalt erfolgen. In weiteren Studien wurde durch Auswertung von Röntgenbildern eine Erfolgsbeurteilung von Implantaten vorgenommen (3, 6, 14, 52, 91, 106).

Gomez konnte in einer Studie keine deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Röntgenverfahren bei einer Genauigkeit von 1 mm feststellen (44). *Jansen*

stellte in einer Studie fest, dass eine größere Genauigkeit von bis zu 1 mm bei der Vermessung von Orthopantomogrammen nicht zu erreichen wäre, nachdem er zum Vergleich die Implantate klinisch dargestellt hatte (56). Im Gegensatz dazu fand *De Smet* heraus, dass bei freigelegten dentalen Implantaten an humanen Leichen die größte Abweichung zwischen der realen Messung und der radiologischen Auswertung unter allen radiologischen Aufnahmetechniken das Maximum von 0,5 mm nicht überschritt (33). Problematisch erscheinen die Messungengenauigkeiten, die sich im Bereich zwischen 0,5 mm und 1,0 mm bewegen, wie von den zuvor aufgeführten Untersuchern bei Röntgenbildvermessungen festgestellt wurde. Die Röntgenmessmethoden werden dennoch akzeptiert, obwohl nach internationalen Kriterien der Knochenabbau nicht größer als 0,2 mm nach dem ersten Jahr nach prothetischer Versorgung sein sollte, damit ein Implantat als erfolgreich bewertet werden kann (5). Der intrapersonelle Messfehler der vorliegenden Studie konnte im Bereich von 0,04 mm bis zu maximal 0,12 mm ermittelt werden. Nimmt ein zweiter Untersucher die Messungen der gleichen Serie vor, kann eine Messungengenauigkeit bis zu 0,15 mm möglich sein. *Grondahl* beschreibt eine intrapersonelle Messungengenauigkeit von 0,08 mm und eine interpersonelle Abweichung von 0,14 mm mit einer 7-fach-Lupe und integrierter 0,1 mm Skalierung (48). Wie schon beschrieben, ist die Auswertung von periimplantären Knochenstrukturen auf Röntgenbildern in Hinsicht auf die Präzision problematisch, dennoch können periimplantäre Strukturen über dieses Verfahren kontrolliert und recht gut beurteilt werden (12, 41, 44). *Weber* individualisierte Röntgenfilmhalter mit Silikonimpressionen der Zähne im Untersuchungsareal, um bei einer Kontrolluntersuchung einen reproduzierbaren Röntgenwinkel zum Patienten so justieren zu können, dass ein Vergleich des aktuellen Röntgenbildes mit der vorherigen Aufnahme möglich ist (102). Diese Lösung lässt eine noch höhere Präzi-

sion und Aussagekraft der Messungen erwarten, da projektionsbedingte Fehler vermutlich gering gehalten werden können (35). Die Einzelbildaufnahme hat zwar eine hohe Detailwiedergabe, stellt aber bei größeren implantatprothetischen Konstruktionen keine Alternative zum Orthopantomogramm dar. Vorteile der Übersichtsaufnahme ergeben sich vor allem unter Berücksichtigung der verringerten Strahlenbelastung (78) bei der Insertion und der späteren Kontrolle mehrerer Implantate bei einem Patienten, sowie der Praktikabilität bei der Darstellung von stark atrophierten Unterkiefern (39). In einem Beobachtungszeitraum im Mittelwert von drei Jahren ließen sich die Veränderungen des Knochenniveaus in Bezug auf die jeweilige implantatprothetische Suprakonstruktion darstellen. Der Medianwert des Knochenverlustes dieser Studie für 34 Einzelkronen auf Implantaten liegt bei 1,0 mm und grenzt sich signifikant von 93 Implantaten unter Brückenkonstruktionen mit 2,0 mm und 46 Implantaten unter Stegkonstruktionen mit 2,44 mm ab. Im Vergleich dazu ist der Knochenabbau gemessen am Implantatkörper bei Einzelzahnversorgungen 0,58 mm, an Brückenkonstruktionen 1,61 mm und bei Stegkonstruktionen 1,76 mm tief. Auch in dieser Auswertung ist der periimplantäre Knochenabbau bei Einzelzahnversorgungen signifikant geringer im Vergleich zu Brücken- und Stegkonstruktionen auf Implantaten. In einer Untersuchung von *Henry et al* wurde ein Knochenabbau von 1 mm an Branemark[®]-Implantaten nach bis zu fünf Jahren an Einzelkronen auf Implantaten ermittelt (52), wobei eine Differenzierung der Versorgungsareale ohne Berücksichtigung blieb. In Betrachtung einer prospektiven Studie mit Ankylos[®]-Implantaten von *Döring* (35), in der 42 Einzelzahnimplantate, davon 22 Frontzahnimplantate, nach einem Jahr nach funktioneller Belastung auf Knochenabbau untersucht wurden, konnte ein Mittelwert aus allen mesialen und distalen Werten von 0,78 mm gemessen werden. Der Knochenabbau zwischen chirurgischer Intervention und Eingliede-

Die prothetische Versorgung hatte einen Wert von 0,66 mm. Die Studien von *Döring* (35) und *Henry* (52) lassen ausschließlich einen Vergleich der Ergebnisse von Einzelkronen auf Implantaten zu, da keine weiteren prothetischen Konstruktionsarten auf Implantaten untersucht wurden. In einer Studie von *Klaus* konnte für Brückenkonstruktionen und Einzelzahnversorgungen auf Implantaten innerhalb von vier Jahren ein Knochenabbau von bis zu 2 mm ermittelt werden, ohne Unterscheidungen zwischen den prothetischen Konstruktionsarten zu treffen. Dabei bewegte sich der Knochenverlust lediglich im Bereich des polierten Implantathalses (59). Eine Untersuchung von *Gómez* mit Patienten aus dem Tübinger Implantatregister stellte einen Knochenabbau für zwei interforaminär gesetzte Implantate pro Unterkiefer im Mittel von 1,4 mm nach prothetischer Stegversorgung innerhalb von fünf Jahren unter Verwendung verschiedener Implantatsysteme fest (42). Das Ergebnis ist für Stegversorgungen auf zwei interforaminären Implantaten mit einem Implantatabstand von mindestens 25-29 mm an Unterkiefern ermittelt worden. Wurde der Abstand von 25 mm zwischen den Implantaten unterschritten, zeigte sich ein erhöhter Knochenabbau. Die in der vorliegenden Untersuchung durchgeführten implantatprothetischen Stegversorgungen sind im Unterschied zu der Studie von *Gomez* starr gelagert und zeigen einen mittleren Knochenabbau von 1,76 mm in einem Untersuchungszeitraum von bis zu 78 Monaten. In einer weiteren Studie mit Branemark[®]-Implantaten konnten an zahnlosen Unterkiefern Knochenabbauraten von 1,5 mm nach einem Jahr nachgewiesen werden (1). Unterscheidet man jedoch die Implantatposition nach subcrestaler und equicrestaler Lage, so ergibt sich ein durchschnittlicher Knochenverlust von 2,9 mm an 72 subcrestal inserierten Implantaten, worin 1,37 mm Knochenabbau am Implantatkörper einbezogen sind. Der Knochenabbau an equicrestal inserierten Implantaten beträgt 1,5 mm und unterscheidet sich mit 0,13 mm nicht signifikant von

den subcrestal gesetzten Implantaten. Der Knochenverlust an subcrestal inserierten Implantaten beinhaltet auch den supraimplantär liegenden knöchernen Anteil, der für die Implantatverankerung nicht verantwortlich ist. Es muss also bei subcrestaler Implantation mit einem höheren Knochenverlust gerechnet werden, wobei ein minimaler jedoch nicht signifikant geringerer Knochenabbau am Implantatkörper zu messen ist. Im Gegensatz dazu steht die equicrestale Implantation, welche einen minimal höheren Knochenabbau von 0,13 mm messen lässt, die einen Knochenverlust oberhalb der Implantatschulter jedoch nicht zulässt. Dieser supraimplantäre Knochen ist für die Implantatverankerung nicht tragend, aber unter Betrachtung des darüberliegenden Weichgewebes möglicher Weise von Bedeutung. Wird ein Implantat subcrestal inseriert, so kann der supraimplantäre Knochen das Implantat nicht stabil halten, und es kann zu trichterförmigen Einbrüchen am Knochen kommen (41).

Aktuell liegen keine Studien vor, wo unter Berücksichtigung der subcrestalen und equicrestalen Implantationstiefe das Knochenniveau verglichen wurde.

Die Werte des Knochenverlustes gegenüber dem Knochenabbau wiesen Unterschiede auf. Im Vergleich der mesialen und distalen Messungen konnten höhere Werte von Knochenverlust an mesialen Implantatschultern gemessen werden. Im Gegensatz dazu konnten beim Knochenabbau distal höhere Werte am Implantat nachgewiesen werden als mesial. Diese Werte beziehen sich auf den knöchernen Teil, der für die enossale Verankerung des Implantates verantwortlich ist. Unter Berücksichtigung des Austrittsprofiles und der Implantatpositionierung wurden tendenziell häufiger in anterioren Kieferregionen Implantationen durchgeführt, so dass distal von der anterioren Restbezahnung kein supraimplantärer Knochen vorhanden war und somit der Knochenverlust distal geringer war. Auch hierzu liegen zurzeit keine

weiteren Untersuchungen vor, die einen Vergleich zwischen Knochenverlust und Knochenabbau diskutieren lassen.

Weng zeigt in einer Tierversuchsstudie an Hunden, dass bei subcrestal gesetzten Ankylos[®]-Implantaten am Kiefer mit einem supraimplantären Knochenverlust von 0,77 mm bei transgingivaler Einheilung und ohne Belastung der Implantate innerhalb von sechs Monaten gerechnet werden muss (105). *Adell* gibt in einer Untersuchung einen Knochenabbau von 0,5 mm an, der bereits durch den operativen Eingriff während der Implantation hervorgerufen werden kann (1). In einer Studie von *Cherng-Tzeh Chou* et al. wird ein postoperativer Knochenabbau von 0,7 mm bis zur prothetischen Rehabilitation beschrieben (27). Weiterführend zeigte die Untersuchung von *Cherng-Tzeh Chou* einen durchschnittlichen Knochenabbau am Implantat von 0,2 mm pro Jahr nach Eingliederung der prothetischen Konstruktionen, was von anderen Untersuchern bestätigt wird (5, 57, 66). In zwei voneinander unabhängigen Studien von *Behneke*, konnte ein Knochenabbau an Implantaten von 0,1 mm pro Jahr nach prothetischer Versorgung festgestellt werden (13-15). Wird der vorhergehend beschriebene postimplantäre Knochenverlust von 0,7 bis 0,8 mm angenommen, der bis zur prothetischen Rehabilitation auftritt und mit dem langsam fortschreitenden postprothetischen Knochenverlust von etwa 0,2 mm pro Jahr (5) addiert, so ergeben sich in der vorliegenden Studie bei einem medianen Untersuchungszeitraum von 31 Monaten annähernd vergleichbare Ergebnisse für Brücken- und Stegkonstruktionen auf Implantaten. Für implantatgetragene Einzelkronen sind bessere Ergebnisse erzielt worden. Der geringe periimplantäre Knochenabbau von 0,58 mm an Einzelzahnkronen in dem zuvor erwähnten Untersuchungszeitraum lässt einen Vergleich mit einjährigen Studienergebnissen von *Döring* (35) mit einem Knochenabbau von 0,78 mm zu. Unter der Berücksichtigung des präprothetischen Knochenabbaus von 0,73 mm

nach chirurgischer Intervention konnte lediglich ein Knochenabbau nach einjähriger prothetischer Belastung von 0,05 mm festgestellt werden. In der hier vorliegenden Studie muss ein geringerer postimplantärer Knochenabbau angenommen werden, da der Knochenabbau von 0,58 mm in einem medianen Untersuchungszeitraum von 31 Monaten nach prothetischer Versorgung nachgewiesen werden konnte. Die Studie von *Döring* zeigt nach rechnerischer Überführung der ermittelten absoluten Messwerte in die des tatsächlichen Knochendefektes einen Knochenabbau von 0,51 mm zwischen dem Zeitpunkt der Implantation und der prothetischen Versorgung (35). *Andersson* stellte an Branemark-Implantaten einen Knochenabbau von 0,35 mm in der Einheilphase fest (9) und *Palmer* gibt einen Knochenabbau von 0,47 mm vor der prothetischen Belastung beim Astra-Implantatsystem an (76). Im Verlauf der Studie von *Palmer* konnte kein weiterer Knochenabbau zum Zeitpunkt der einjährigen Kontrolluntersuchung unter prothetischer Belastung festgestellt werden. In einer Implantatstudie von *Norton* konnte ein Knochenabbau von insgesamt 0,41 mm nach funktioneller Belastung an Astra[®]-Implantaten gemessen werden, wobei zum Zeitpunkt der Eingliederung der prothetischen Konstruktion das Knochenniveau nicht kontrolliert wurde (75).

Da die vorliegende Studie retrospektiven Ursprungs ist, kann der Knochenabbau zwischen chirurgischer Intervention und dem Zeitpunkt der Eingliederung der prothetischen Versorgung nicht mehr ermittelt werden. Es zeigte sich, dass die Resultate des periimplantären Knochenabbaus für Einzelkronen auf Implantaten in dem Bereich der aufgeführten Studien lagen. Für Brücken- und Stegkonstruktionen können die Ergebnisse für Einzelkronen nicht zum Vergleich herangezogen werden. Tendenziell konnte ein höherer Knochenabbau bei einer Vergrößerung der funktionellen Oberfläche von prothetischen Konstruktionen im Verhältnis zu den jeweiligen enos-

salen Implantatoberflächen festgestellt werden. In diesem Zusammenhang ist sicherlich auch der zusätzlich physiologisch fortschreitende horizontale Knochenabbau, der mit zunehmendem Alter und Zahnverlust in Verbindung zu bringen ist, zu berücksichtigen. In einer weiteren Untersuchung konnte *Rangert* feststellen, dass eine Belastung distaler Implantate bei Mastikation doppelt so hoch ist, im Vergleich zu Frontzahnrestaurationen auf Implantaten (82), wobei ein Unterschied im Knochenabbau nicht nachgewiesen werden konnte.

In dieser Studie waren Plaqueanlagerungen an Suprakonstruktionen von Implantaten in bis zu 48,6 % der untersuchten Implantate vorhanden, dennoch konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Plaquepräsenz und Knochenabbau am Implantatkörper festgestellt werden, was von anderen Untersuchern bestätigt wurde (10, 26, 84). Ein signifikanter Einfluss auf den Knochenabbau durch Gingivitiden war nicht festzustellen, was durch andere Studien Bestätigung findet (1, 42, 56, 80, 81, 104). Im Gegensatz dazu konnte *Teixera* eine Korrelation zwischen Mukositis und periimplantärem Knochenabbau nach dreijähriger Prothetikversorgung nachweisen (97). Die Ergebnisse einiger Studien deuten darauf hin, dass bekannte Zusammenhänge aus der Parodontologie, aus denen ein Zahnverlust oder eine Schädigung des Zahnhalteapparates resultierte nicht unbedingt auf periimplantäre Strukturen zu übertragen sind (26, 84). Für eine periimplantäre Diagnostik sind daher parodontale Parameter eher als eine Ergänzung zu einer radiologischen Implantatuntersuchung heranzuziehen, da nur eine begrenzte Aussagekraft möglich ist (12, 103).

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die Wahl der richtigen Implantatdimensionierung dar. Bei der Untersuchung der Implantatlängen konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich des Knochenverlustes festgestellt werden. Ein signifikant geringerer Knochenverlust ist bei Implantaten mit einem Durchmesser von 4,5 mm im Vergleich

zu 3,5 mm zu beobachten, was von *Rinke* (85) bereits in einer Untersuchung festgestellt wurde. Da in dieser Untersuchung nur drei Implantate mit einem Durchmesser von 5,5 mm zum Einsatz kamen, ist ein Vergleich in Bezug auf den Knochenverlust gegenüber anderen Implantatdurchmessern nicht möglich. Die Ergebnisse müssen im Zusammenhang mit dem intraoperativen Knochenangebot mit Vorsicht betrachtet werden. Sind nur grazile Knochenstrukturen vorhanden und ist kein ausreichendes Knochenangebot in vestibulär-oraler Richtung vorhanden, kommen Implantate mit einem größeren Durchmesser ohne augmentative Verfahren nicht zum Einsatz, da die geforderte Mindestknochenstärke von 1 mm circular um das Implantat nicht unterschritten werden sollte (62). Insgesamt konnte festgestellt werden, dass das Therapiekonzept mit dem Ankylos[®]-Implantatsystem für Einzelkronen, Brücken- und Stegrestaurationen funktionell ist und der Knochenabbau gering gehalten werden kann.

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass eine subcrestale Verankerung für die Implantation nur aus ästhetischen Gründen durchgeführt werden sollte, da der Knochenabbau bei equicrestaler Implantation nahezu gleich ist. Der Knochenverlust, der sich aus der subcrestalen Implantation ergeben würde, ist jedoch zu berücksichtigen, da ihm Weichgewebe aufliegt.

Zusammenhänge zwischen dem Knochenverlust und den Einflüssen von Gingivitiden und schlechter Mundhygiene konnten in dieser Untersuchung nicht festgestellt werden, dennoch sollte die parodontale Gesundheit bei einer Implantatversorgung im Vordergrund stehen.