

Die biomechanische Stabilität des augmentierten Alveolarkammes im Vergleich zum nativen Kieferknochen (Teil 2)

Der hier veröffentlichte zweite Teil des Fachbeitrags widmet sich den weiteren Ergebnissen der Studienprotokolle und fasst diese zusammen. Dabei werden die Vergleichsgruppen ausgewertet und umfassend diskutiert. Von Dr. med. univ. et med. dent. Angelo Christian Trödhán, Dr. med. dent. Izabela Schlichting, Prof. Dr. med. dent. Marcel Wainwright und Dr. med. dent. Andreas Kurrek.

Die moderne Augmentationschirurgie verdrängt aufgrund zahlreicher biokompatibler Materialien zusehends die Notwendigkeit autologer Knochentransplantate. Besonders sticht hier die Entwicklung selbsthärter Knochenersatzmaterialien als Alternative zum autologen Knochenblocktransplantat hervor. Im Folgen-

in der Kontrollgruppe, bei der in ausreichendem subantralem Alveolarkamm Q2-Implantate gleicher Dimension inseriert wurden (Abb. 19), im Mittel 22,2 Ncm (Standardabweichung: 4,6 Ncm), für mit easy-graft CLASSIC (100 % β -TCP) augmentierten Sinuslifts 45,9 Ncm (Standardabweichung: 5 Ncm) und easy-

falls mit hoch signifikanten Unterschieden ($p < 0,05$).

Vergleichende Auswertung Gruppe I und II

Bei einem Vergleich der Gruppe I und II in Bezug auf die Verwendung des biphasischen selbsthärten Biomaterials kann ein signifikanter Unterschied sowohl für die ITVs als auch die Standardabweichung ($p < 0,05$) zugunsten der Gruppe I festgestellt werden. Gleichermassen signifikant ist auch der Unterschied der ITVs und deren Standardabweichungen zwischen Gruppe I und II in Bezug auf die Verwendung des monophasischen selbsthärten Biomaterials, ebenfalls zugunsten der Gruppe I ($p < 0,05$). Die kumulativen Ergebnisse der vergleichenden Analyse zwischen Gruppe I und II mittels One-way ANOVA-Analyse und des student T- und Tukey-Kramer-Tests sind in **Abbildung 21** grafisch dargestellt.

Diskussion

Grundvoraussetzung der Heilung jeglicher Gewebearten des Säugetierkörpers – auch des akzidentell oder iatrogen traumatisierten (Kiefer-)Knochens – ist eine ausreichende Versorgung der traumatisierten Region mit neu gebildeten Blutgefässen um den erhöhten Sauerstoffbedarf in dieser Region zu decken. Die Neubildung eines ausreichenden Netzwerkes neuer Blutgefässe in einer (Knochen-)Wunde als unabdingbare Grundlage der Heilung ist höchst mechanosensitiv und unterbleibt, wenn die (Knochen-)Wunde nicht ausreichend immobilisiert wird.²⁴ Evolutionär wird diese Immobilisierung von Wunden über Schmerz-Feedbackschleifen geregelt, die den Säugetierorganismus zur Ruhigstellung der Verletzung zur Vermeidung von Schmerzen zwingen. Im Falle von Knochenverletzungen erfolgt dieser Regelmechanismus über das sehr dichte Schmerzrezeptoren-Netzwerk des Periosts.²⁵ Periost – und mit diesem das Endost, das jedes einzelne Trabekel der Spongiosa umhüllt – ist der alleinige biologische Träger der (Kiefer-)Knochenheilung und (Kieferknochen-)Regeneration. Es ist als

einziges Körpergewebe in der Lage, in seinem Stratum osteogenicum (Abb. 22) Präosteoblasten zu bilden, die – nach Immobilisation und dadurch ermöglichte Vaskularisation der (Kiefer-)Knochenwunde – die vollständige Knochenheilung und -regeneration durch Mineralisation des Kollagenfasernetzwerkes des (Kiefer-)Knochens bewirken.^{26–29} Auch die Kieferhöhlenschleimhaut (Schneider'sche Membran) ist ultrastrukturell nichts anderes als Periost (Abb. 1, 2 [Teil 1] und 22), denn (Kiefer-)Knochen könnte ohne vollständige Umkleidung mit Periost nicht existieren oder regenerieren.^{16,27,30}

Periost als makroskopische und vollständige Umkleidung aller (Kiefer-)Knochen im Säugetierkörper und Endost als mikroskopisches Analogon dürfen jedoch nicht isoliert voneinander betrachtet werden: Als entscheidender Regelmechanismus für die physiologische Erneuerung des (Kiefer-)Knochens und den zeitlebens belastungsangepasst stattfindenden Umbau ist das Periost über die Sharpey-Fasern mit dem Endost zu einem funktionellen Organ und Regelkreislauf verbunden, dem sogenannten Periost-Sharpey fiber-Endost structural continuum (PSE structural continuum), das sich auch als Regulationskreislauf der Knochenerneuerung in das Periodontalligament der Zähne erstreckt.³¹ Erst mit dem umfassenden Wissen und Verständnis der Voraussetzungen für eine ungestörte (Kiefer-)Knochenheilung (Immobilisation als Voraussetzung für Vaskularisation) und der alleinigen Rolle des Peri- und Endosteums als funktionelles Organ (PSE structural continuum) der (Kiefer-)Knochenregeneration kann der praktisch tätige Implantologe abseits von teilweise fehlerhaften oder falsch begründeten „Kochrezepten“ der Oralchirurgie und Implantologie die Konsequenzen seiner chirurgischen Handlungen abschätzen und vor allem vorgefertigte chirurgische Protokolle betreffs ihrer Anwendbarkeit in der individuellen Patientensituation kritisch hinterfragen. Dies beginnt grundsätzlich bei der Planung des individuellen Patientenfalles unter Einbeziehung grundlegenden physikalischen (Hebelmechanik) und

medizinischen Wissens (Knochenphysiologie). Ein kräftiger, bruxierender Patient mit grossen Kieferbögen wird zur Einleitung physiologisch tolerierter Kräfte innerhalb der biologischen Belastungsbandbreite mehr und längere Implantate benötigen als ein zarter Patient mit kleinen Kieferbögen, da die Knochenqualität nur bis zu einem bestimmten Grad die Belastungseinleitung und -toleranz des Kieferknochens infolge der Hebelmechanik kompensieren kann.

Werden Konzepte wie der Trend zu kurzen Implantaten zur Vermeidung anspruchsvoller Augmentationschirurgie kritiklos und wider jeglichen physikalischen und medizinischen Wissens übernommen, wird der praktisch tätige Implantologe mehr Misserfolge als Erfolge bei seinen Patienten zu beklagen haben. In Kenntnis der evolutionären Regeln der (Knochen-)Heilung und des ausführenden Organs (Periost und Endost) wird das Verständnis von Erfolg oder Misserfolg in der Augmentationschirurgie jedoch sehr einfach, denn die Operationsmethoden müssen sich diesem Primat vollständig unterordnen. Es darf sich daher nie die Frage stellen, ob ein bestimmtes Implantat oder Augmentationsmaterial „besser“ ist (denn alle zugelassenen Materialien aus Titan, ZrO₂, PEEK, Korallen, Kuh- oder sonstiger xenogener Knochen, Biogläser, β -TCP oder HA sind vollständig und nachweislich biokompatibel), sondern ob es in der spezifischen Patientensituation richtig angewendet wird (Indikationsstellung als grundsätzliche und nicht delegierbare Verantwortung des Arztes). Auch die Entwicklung von Technologien zur Verbesserung von Operationsergebnissen muss im Hinblick auf die Grundregeln der Kieferknochenheilung und -regeneration stets kritisch hinterfragt werden. Minimalinvasive Techniken zerstören die funktionelle Einheit von Periost, Sharpey-Fasern, Endost geringer als hochinvasive Techniken. Beim Sinuslift stellt sich daher nie die Frage, welches Operationssystem das bessere ist, sondern lediglich, ob es auch in ungeübter Hand vermag, das Periost der Kieferhöhlenschleimhaut als Träger der Knochenregeneration



13

Abb. 13: Klinische Situation vor Durchführung der Piezotome enhanced Subperiostal Tunnel Technique (PeSPTT). Auf Position 22 ging alieno loco bereits ein Implantat verloren und eine autologe Knochenblockaugmentation scheiterte ebenfalls alieno loco.

den werden Studienprotokolle bewertet, diskutiert und zusammengefasst.

Ergebnisse

Alle Operationen in Gruppe I und Gruppe II verliefen komplikationslos mit nur – wie für die Piezotome-Chirurgie allgemein bewiesen – geringgradigen Schwellungen und Schmerzgeschehen.^{22,23} INTRALIFT-Patienten berichteten über ein leichtes Druckgefühl im Bereich der augmentierten Seiten, PeSPTT-Patienten über ein voluminöses Gefühl unter der Nase.

Einzelauswertung Gruppe I

Die Eindrehmomentwerte (Insertion Torque Values, ITV) betragen

graft CRYSTAL (60 % HA, 40 % β -TCP) 56,6 Ncm (Standardabweichung: 3,4 Ncm) und zeigten damit hoch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Einzelauswertung Gruppe II

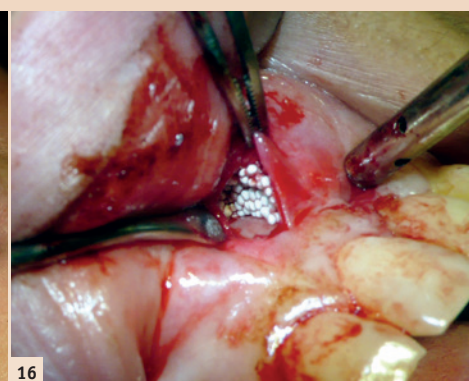
Die Mittelwerte der ITVs in der Kontrollgruppe, bei der im ausreichend dimensionierten anterioren Alveolarkamm Q1-Implantate gleicher Dimension inseriert wurden (Abb. 20), betragen 27,87 Ncm (Standardabweichung: 6,66 Ncm), für PeSPTT-Augmentationen mit easy-graft CLASSIC 42,51 Ncm (Standardabweichung: 7,03 Ncm) und easy-graft CRYSTAL 52,5 Ncm (Standardabweichung: 8,15 Ncm) eben-



14



15



16



17

Abb. 14: Piezotome-Präparation des subperiostalen Tunnels. – Abb. 15: Einbringen von 2 ccm Biomaterial. – Abb. 16: Zustand nach Modellation und Aushärtung. – Abb. 17: Zustand nach Wundverschluss.

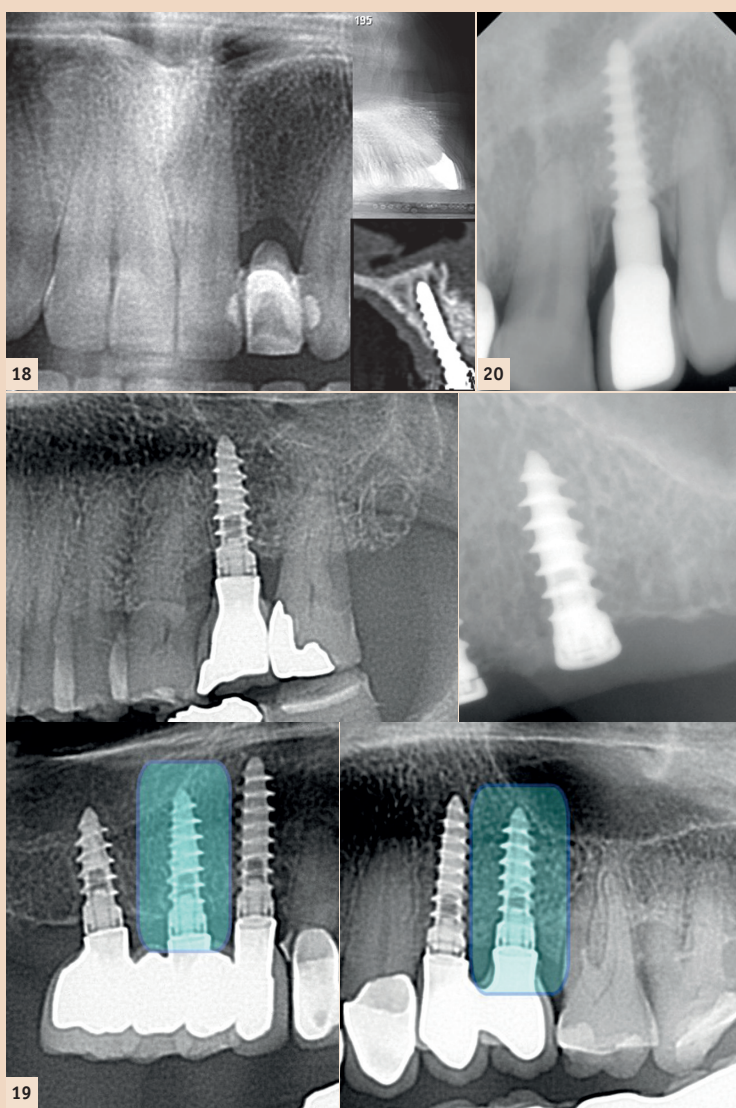


Abb. 18: Im Uhrzeigersinn: präoperative Situation, postoperatives DVT, DVT nach Implantatinsertion (das Augmentat ist aufgrund seiner höheren röntgenologischen Dichte vom hochtrahen Restalveolarkamm deutlich abgrenzbar). – Abb. 19: Beispiele von subantralen Implantatinsertionen bei der Kontrollgruppe I. – Abb. 20: Beispiel einer anterioren Implantatinsertion bei der Kontrollgruppe II.

zerstörungsfrei abzulösen (Abb. 22) bzw. überhaupt auf das Ablösen des Periosts zu verzichten.^{17,32} Hier hat sich die Piezotome-Chirurgie als eine der wenigen echten Innovationen der letzten Jahre in der Knochenchirurgie (Oral- und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, HNO, Neuro- und orthopädischer Chirurgie) als höchst segensreich erwiesen und dazu beigetragen, bes-

sere Ergebnisse mit geringerem Patientenleid zu erzielen. Ebenso darf bei der Verwendung von Knochenersatzmaterialien bzw. der längst geklärten Diskussion über „Goldstandards“ (autologe vs. xenogene vs. synthetische Knochenersatzmaterialien) nicht das Material für sich (untermauert durch Studien bezüglich rein virtueller Kunstbegriffe wie „Osteoinduktivität“ und „Osteo-

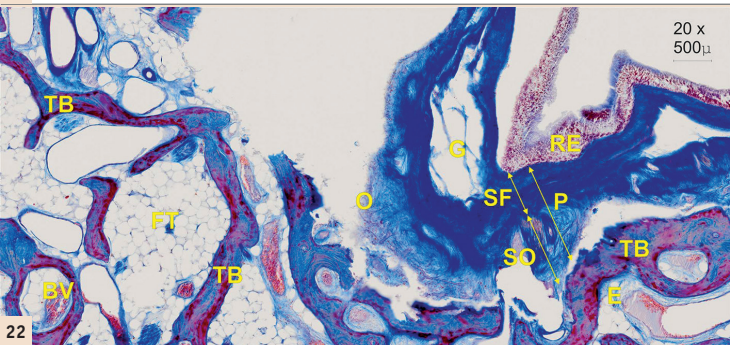
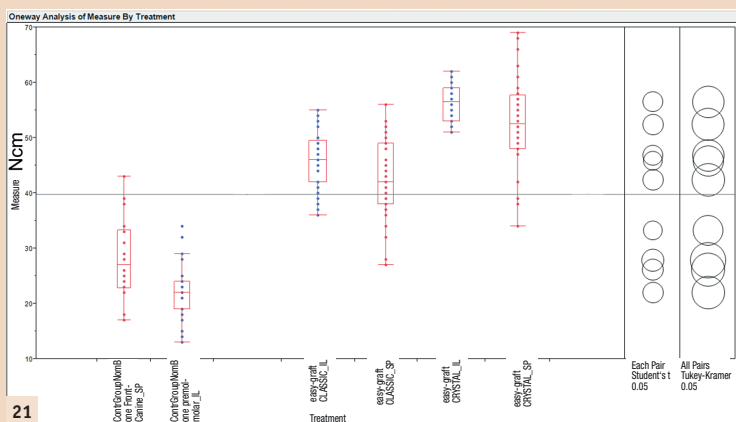


Abb. 21: Statistischer ANOVA-, student T-, Tukey-Kramer-Test: Kumulative vergleichende Drehmomentwerte in Ncm zwischen den Gruppen I und II und zwischen MoSHB und BiSHB. – Abb. 22: Histologischer Schnitt nach Durchführung an einem humanen Kadaverpräparat: TB = Trabekulärer Knochen, BV = Blutgefäße, FT = Fettgewebe, O = Osteoblastensaum, SO = Stratum Osteogenicum, SF = Stratum Fibrosum; O, SO und SF bilden gemeinsam das Periost der Schneider'schen Membran; G = Schleimdrüse, RE = respiratorisches Epithel der Schneider'schen Membran, E = Endosteum.

konduktivität“) beurteilt werden, sondern darf in Bezug auf seine sinnvolle Anwendbarkeit nur im Kontext des Primates der Immobilisation des Augmentationsgebietes und seiner möglichst fehlerverzeihenden Anwendbarkeit auch in ungeübter Hand bewertet werden.

Ein historischer Abriss von Techniken der vergangenen Jahrzehnte:

- Verschraubte Eigenknochenblöcke sind erfolgreich, weil das Augmentationsgebiet immobilisiert wird und das Periost intakt ist.
- Starre verschraubte Titanmembranen sind auch ohne Knochenersatzmaterial erfolgreich, weil das Augmentationsgebiet immobilisiert wird und das Periost intakt ist.
- Granuläre Biomaterialien sind erfolgreich, wenn sie durch eine stabil verankerte Membran immobilisiert werden (die zwar die Regeneration durch das intakte Periost blockieren, jedoch durch transkortikales Anbohren der Trabekel und deren Endosts die Regeneration ermöglichen).
- Der Sinuslift ist immer erfolgreich, wenn das Periost intakt ist, selbst wenn nur Implantate die Sinusmembran hochhalten.

Deshalb stellt die in dieser Studie untersuchte neue Klasse der selbsthärtenden Knochenersatzmaterialien nicht aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung eine der wenigen Innovationen der letzten Jahre dar, sondern wegen ihres bis dato einzigartigen Vermögens, in situ zu einem Analogon eines autologen Knochenblocks auszuhärten und somit die grundlegende Forderung nach bestmöglicher Immobilisierung des Augmentationsgebietes zu erfüllen. Wie die Ergebnisse dieser Studie nachweisen können, müssen Augmentationsverfahren und die Wahl des Augmentationsmaterials neben dem Primat der atraumatischen und verletzungsfreien Periostablösung durch Piezotome-Chirurgie vor allem im Hinblick auf die kurz- und langfristige Fähigkeit zur Immobilisation des Augmentationsgebietes betrachtet werden. Beleuchtet man die Hintergründe für die signifikant unterschiedlichen Eindrehmomentwerte zwischen dem regenerativeren Alveolarkamm der Frontzahnregion und dem weniger regenerativen subantralen Kieferkamm zugunsten des INTRALIFTS (bei gleicher knöcherner Basis und Periostabdeckung; Abb. 1 und 2) bei gleichen selbsthärtenden Biomaterialien (MoSHB und BiSHB), muss zwangsläufig und den Gesetzen der Knochenheilung folgend die Frage gestellt werden, welche funktionellen Unterschiede vorliegen.³³ Als Erklärungsansatz kann die Tatsache dienen, dass beide Regionen zwar statisch die gleichen optimalen physiologischen Voraussetzungen für eine ungestörte Knochenregeneration mitbringen, jedoch im Verlauf der Regeneration durch äusserlich einwirkende Kräfte eine unterschiedlich starke Mobilisierung des noch nicht osseointegrierten Augmentates stattfindet: multivektorielle und starke Kräfte der perioralen Muskulatur auf das anteriore Augmentationsgebiet durch Sprechen, Grimassieren, Nahrungsaufnahme

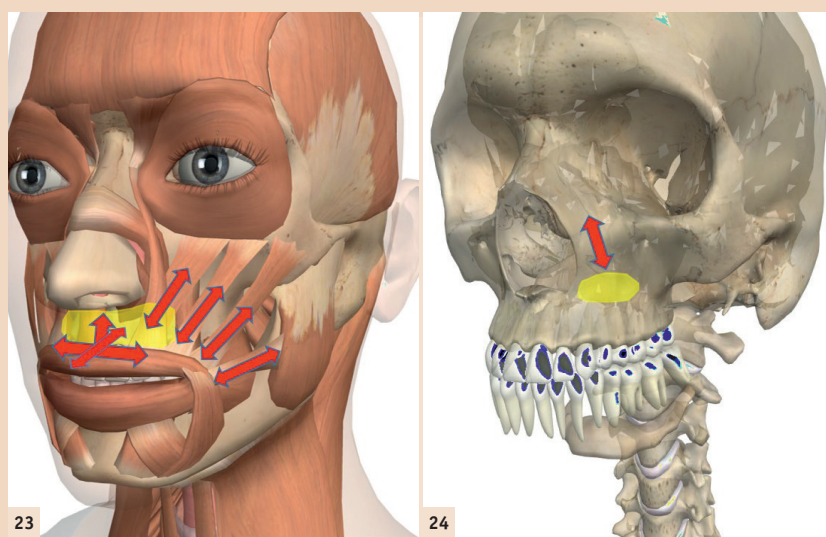


Abb. 23: Darstellung der multivektoriellen Scherkräfteinwirkungen auf das Augmentationsgebiet im Frontzahnabschnitt des Oberkieferalveolarkammes. – Abb. 24: Darstellung der monovektoralen Kräfteinwirkung auf das Augmentationsgebiet bei natürlicher Atmung.

(Abb. 23) versus geringe axiale Kräfte auf das subantrale Augmentationsgebiet durch die Druckschwankungen in der Kieferhöhle beim Atmen (Abb. 24). Hier müssen weitere histomorphometrische Auswertungen und Finite-Element-Studien im Zeitverlauf der Knochenregeneration Aufschluss über die Auswirkungen dieser Kräfte geben. Jedenfalls kann im Vergleich zu nativem Oberkieferalveolarknochen sowohl mit MoSHBs als auch BiSHBs eine signifikante Verbesserung der biomechanischen Stabilität des Regenerates erzielt werden, wobei BiSHBs mit 60 % HA-Anteil wieder signifikant bessere Ergebnisse erbringen als MoSHBs (100 % β -TCP), was auf die raschere Resorption des β -TCP zurückzuführen sein könnte. Die Frage, ob der langfristige Verbleib von osseointegriertem Hydroxylapatit im Augmentat, das offensichtlich die biomechanische Stabilität des Implantatlagers signifikant erhöht und eine bessere Langfristprognose für das Implantat unter funktioneller Belastung verspricht, als Fremdkörper betrachtet wird, bleibt eine philosophische Frage. Hydroxylapatit als elementarer Bestandteil des Röhrenknochens und der Kompakta des Unterkiefers jedes Säugetieres kann kein Fremdkörper sein und wirkt möglicherweise Biegekräften durch Lastenleitung über osseointegrierte Implantate besser entgegen als es der reine, eher elastische Geflechtknochen des Kiefers kann, der evolutionär für die Kräfteinleitung über das Parodontalligament natürlicher Zähne optimiert wurde, nicht aber zur Aufnahme starr osseointegrierter Implantate. Auch hier müssen Finite-Element-Simulationen Aufschluss über die Biomechanik geben.

Zusammenfassung

Die Schonung und Vitalerhaltung von Periost- und Kieferknochen durch präzise Präparations- und Osteotomietechniken mittels Piezotome-Chirurgie und der Einsatz von selbsthärtenden Biomaterialien als erster echter Ersatz für autologe Knochenblöcke hat die Entwicklung weniger komplexer Operationstechniken ermöglicht, die auch in ungeübter Hand zu einer höheren Erfolgsrate bei geringerer Patientenmorbidity führen können. Sie scheint auch die biomechanische Qualität des Augmentates für die

Aufnahme von Implantaten im Vergleich zum nativen Kieferknochen signifikant zu verbessern. Das leichtere Erlernen und Anwenden dieser Techniken entbindet den praktisch tätigen Oralchirurgen nicht von der Pflicht, in jedem einzelnen Patientenfall das Wissen um die Mechanismen der Knochenheilung und -regeneration praktisch umzusetzen und diese Techniken dem individuellen Fall entsprechend bestmöglich zu adaptieren. [DT](#)



Kontakt

Infos zum Autor Dr. Tröhdan

Infos zur Autorin Dr. Schlichting

Infos zum Autor Prof. Dr. Wainwright

Infos zum Autor Dr. Kurrek

DDr. Angelo Chistian Tröhdan
 Institut für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und Zahnheilkunde
 Allgemeines Krankenhaus der Gemeinde Wien „Hietzing“
 Wolkersbergenstr. 1
 Pavillon 3a
 1130 Wien, Österreich
 dr.troedhan@gmail.com

Dr. Izabela Schlichting
 Zentrum für Gesichtsästhetik
 Wien
 Bräuhausgasse 12
 1050 Wien, Österreich
 ordination.tsl@gmail.com

Prof. Dr. Marcel A. Wainwright
 SWISS BIOHEALTH AG
 Brückenstr. 13–17
 8280 Kreuzlingen, Schweiz
 info@swiss-biohealth.com

Dr. Andreas Kurrek
 Implantologie-Praxis
 Oberkassel
 Dominikanerstr. 10
 40545 Düsseldorf, Deutschland
 dr.kurrek@gmail.com