

Distracción osteogénica del reborde alveolar: revisión de la literatura

Nikola Saulacic ⁽¹⁾, Pilar Gándara Vila ⁽¹⁾, Manuel Somoza Martín ⁽¹⁾, Abel García García ⁽²⁾

(1) Profesor colaborador de Master Medicina Oral, Cirugía Oral e Implantología. Facultad de Medicina y Odontología. Universidad de Santiago de Compostela

(2) Profesor Titular de Cirugía Oral. Facultad de Medicina y Odontología. Universidad de Santiago de Compostela. Jefe de Sección. Servicio de Cirugía Maxilofacial. Complejo Hospitalario Universitario de Santiago. España

Correspondencia:

Abel García García,
Facultad de Odontología
C/ Entreríos s/n
Santiago de Compostela
Teléfono: 606461881
E-mail: ciabelgg@usc.es

Recibido: 2-03-2003 Aceptado: 4-04-2004

Indexed:

-Index Medicus / MEDLINE
-EMBASE, Excerpta Medica
-Indice Médico Español
-IBECS

Saulacic N, Gándara-Vila P, Somoza-Martín M, García-García A. Distracción osteogénica del reborde alveolar: revisión de la literatura. Med Oral 2004;9:321-7.

© Medicina Oral S. L. C.I.F. B 96689336 - ISSN 1137 - 2834

RESUMEN

Uno de los principales problemas para la colocación de implantes dentales es la presencia de hueso insuficiente que impide que sean de una longitud y/o de un diámetro adecuados. Dentro de los métodos que se usan para el aumento del reborde alveolar se incluye tan solo desde hace una década la aplicación de los principios de distracción osteogénica (DO). Esta técnica se basa en la separación gradual de dos fragmentos de hueso perfectamente vascularizados, entre los que se forma un callo de distracción que progresivamente se transforma en hueso maduro. Un científico clave en el desarrollo de esta técnica fue el traumatólogo ruso Ilizarov. Esta revisión bibliográfica evalúa la metodología, el funcionamiento y las posibles aplicaciones de DO en el tratamiento de los defectos del reborde alveolar. Por sus cualidades demostradas, la DO podría sustituir el uso de injertos y regeneración ósea guiada para favorecer las relaciones esqueléticas de los rebordes alveolares.

Palabras clave: Aumento del reborde alveolar, distracción osteogénica, osteointegración

INTRODUCCION

La insuficiencia ósea de los huesos maxilares representa la situación clínica más exigente para las reconstrucciones con prótesis implanto soportadas. Las causas de la pérdida de hueso alveolar son enfermedad periodontal, trauma, procesos patológicos y deformidades congénitas. La disminución del reborde alveolar en la dirección apico – coronal impide la colocación de implantes de longitud suficiente y resulta en una relación corona – implante poco favorable. Frieberg y col. (1) demos-

traron que los implantes cortos fracasan más frecuentemente que los implantes largos.

Actualmente existen técnicas, como la inserción de implantes pterigoideos (2), la elevación de seno maxilar (3) y la transposición del nervio dentario (4) que permite la colocación de implantes largos pero que no reducen la dimensión vertical de la corona. Otras técnicas que influyen en esta relación corona-implante son los injertos de aposición en reborde alveolar (5), la regeneración ósea guiada (ROG) (6) y distracción ósea (7) que permiten la colocación de implantes más largos y coronas más cortas.

Los injertos de hueso tienen desventajas como la necesidad de segunda cirugía, dificultad de manejo de los tejidos blandos, morbilidad del lecho donante y reabsorción imprevisible, especialmente durante los meses anteriores a la colocación de los implantes (8). El término “mantenimiento del volumen” o “persistencia” debería ser sustituido por el término “supervivencia” porque se sabe que menos del 2 % de las células de los injertos óseos sobreviven al trasplante (9). Marx y col. (10) sugieren que los injertos de aposición se reabsorben fisiológicamente por un mecanismo de remodelación por la contracción de los tejidos blandos adyacentes al injerto.

Las principales limitaciones de ROG son la imposibilidad de conseguir estabilidad primaria en el momento de la colocación del implante, la posibilidad de infección de la superficie del mismo así como la necesidad de un período de curación más largo ya que al no mantener el espacio, se requiere mayor período de espera, entre 6 – 12 meses, durante el cual se prohíbe el uso de prótesis provisionales (11).

DISTRACCION OSTEOGENICA

Los principios básicos de la ingeniería del tejido incluyen: 1) aplicación de las células in vivo o in vitro, 2) desarrollo de nuevos biomateriales y 3) estímulo físico o químico que dan, como resultado, la reconstrucción de la pérdida del mismo (12). La técnica de distracción osteogénica (DO) ha revolucionado la ingeniería del tejido en ortopedia. La capacidad de inducir el callo en el hueso mediante osteotomía y el alargamiento de los segmentos proximales y distales es conocida como callotaxis (taxis – estiramiento en Latín). Supone un alargamiento prolongado, progresivo y gradual, que no interrumpe el suministro vascular (13). DO incluye dos procesos celulares principales: la osteogénesis (formación del callo y generación de hueso nuevo) y la histiogénesis (alargamiento del tejido blando – mucoperiostio, nervios y vasos) (14,15). Este procedimiento consta de tres períodos: 1) latencia; 2) alargamiento de los segmentos y 3) consolidación del hueso distraído.

En el año 1869, Berhard von Langenbeck (16) publicó los primeros resultados experimentales de la distracción epifisal en animales. El primer caso clínico de distracción mandibular lo llevó a cabo Rosenthal en el año 1927 (17). Varios autores condenaron la distracción debido a las numerosas complicaciones que se producían (18). En el año 1973, Snyder realizó la primera distracción en el hueso membranoso mandibular (19). El nombre de Gabriel Abramowitch Ilizarov se asocia al Renacimiento de la DO, que realizó numerosas series de experimentos en perros. Basándose en su trabajo clínico, estableció los principios biológicos de DO: 1) el efecto de tensión – estrés en la génesis y el crecimiento de los tejidos y 2) la influencia del suministro de sangre y la carga en la forma del hueso y las articulaciones (14,15).

La aplicación de DO a los huesos membranosos ha expandido las posibilidades de los procedimientos reconstructivos del complejo craneofacial. La DO de la sínfisis mandibular fue publicada en primer lugar por Guerrero y col. (20). En el año 1992, McCarthy y col. describieron los resultados conseguidos con DO en pacientes con deformidades craneofaciales (21). Enseguida, muchos autores describieron el éxito en el alargamiento mandibular (22, 23) y maxilar (24, 25), en varios síndromes y en los casos de fisura palatina (26, 27). Como consecuencia de la formación de escaras extraorales (28), empezó el desarrollo de los distractores intraorales. Se ha demostrado el éxito de la aplicación de DO del proceso alveolar en el tratamiento de las fisuras alveolares (29-31), la expansión transversal del paladar (32, 33) y expansión de las suturas craneales (34, 35).

DISTRACCION OSTEOGENICA DEL REBORDE ALVEOLAR

Últimamente, la distracción osteogénica se ha establecido como un método del tratamiento del Aumento del Reborde Alveolar (ARA), para favorecer la relación esquelética en los pacientes. Diversos autores (36, 37, 38) evaluaron las posibilidades de uso de la distracción ósea en ARA en los experimentos con animales. Chin y Tooth (7) y Hidding y col. (39) fueron los primeros en demostrar la aplicación clínica de la DO. La técnica

consiste en la formación de un segmento óseo (transporte) preservando el periostio lingual, que se separa del hueso basal en dirección vertical. Los distractores ya disponibles se pueden clasificar como yuxtaóseos e intraóseos. Los yuxtaóseos se colocan en la cara bucal del hueso maxilar (39). La desventaja de los distractores yuxtaóseos es la inevitable curación por segunda intención. Los distractores intraóseos se colocan atravesando el segmento de transporte de la cresta alveolar en la dirección de la distracción (40). Gaggl y col. (41) simplificaron la técnica de distracción en ARA desarrollando el sistema que une las cualidades del distractor y del implante que no requiere la extirpación y se usa como implante permanente. Por su mecanismo, los distractores – implantes conllevan el riesgo adicional de infección interna por bacterias o de la superficie implante – hueso que se activa mecánicamente en el momento crítico de osteointegración durante la curación (42). En cuanto a las complicaciones que pueden producirse durante DO, García y col. (43) las dividieron en: 1) complicaciones en el momento de la cirugía, relacionadas con la osteotomía y colocación del distractor; 2) durante la distracción, por la dirección de distracción y complicaciones del tejido blando y 3) después de la distracción, por los defectos en la formación del hueso. Uckan y col. (44) encontraron sangrado en casos de osteotomía profunda, reabsorción significativa del fragmento distraído y dolor, durante el alargamiento mayor de 10mm. Klug y col. (45), Gaggl y col. (46) y Nocini y col. (47) describieron otras complicaciones como disestesia del nervio mentoniano y fractura mandibular.

En ausencia de un protocolo establecido de distracción ósea alveolar, los autores recomiendan un periodo de latencia de 5 – 7 días (48), una tasa de alargamiento de 0.5 – 1mm/día (49), y un período de consolidación de 8 – 12 semanas (50). A pesar del éxito conseguido en el estudio en perros (51), la distracción inmediata debería ser evitada por la posibilidad de formación de una dehiscencia y la exposición del hueso regenerado al ambiente oral (40). De acuerdo con los resultados conseguidos por Robioni y col. (52) y Horiuchi y col. (53) el ritmo óptimo de distracción alveolar horizontal parece ser de 0,25 mm/12 horas. Meyer y col. (49) demostraron que en la osteogénesis la magnitud del estímulo mecánico tiene mayor importancia que la frecuencia de la fuerza aplicada. La activación y el funcionamiento continuo de las células de formación ósea están relacionadas con la magnitud específica del estiramiento mecánico definido, que aunque no está todavía perfilado, sugiere la existencia tanto de un umbral superior como inferior de funcionamiento. El estrés tensional generado en los tejidos estirados estimula los cambios tanto a nivel celular como subcelular (54). El estiramiento de los osteoblastos parece que altera la regulación de la formación del hueso local, aumentando la expresión de los factores de crecimiento del hueso, se encontró que durante la distracción el nivel de prostaglandina E2 es constante (55). Durante la distracción y en 20 días de consolidación es notable el aumento del factor de crecimiento de fibroblastos - FGF (56) y del factor de crecimiento α 1 - TGF α 1 (57). El tejido fibroso del callo blando, así como los capilares y osteoides primarios, están orientados longitudinalmente a la dirección de

distracción (58). Cope y col. (59) observaron que la cantidad de cartílago en el hueso distraído membranoso se encuentra entre 2–3%, que se corresponde con los resultados encontrados por Aronson y col. (60) en huesos largos.

Generalmente los implantes se colocan entre la 8a – 12a semanas después de realizada la distracción (61, 42). El periodo entre la 4a y la 6a semana tiene una gran importancia en el procedimiento de mineralización (62). Por eso se supone que el distractor se podría retirar después de 6 semanas. En los perros, el gap de distracción cura en 5 semanas, que es el período mágico para los humanos (63). Sin embargo, se demostró la osteointegración de los implantes colocados en perros 3 semanas después de la distracción (64).

Parece que la osteointegración de los implantes en el hueso distraído ocurre de la misma forma que en el hueso natural. Estudios experimentales de Block y col. (63) demostraron que cuando el implante está bien fijado en el hueso distraído y en el hueso basal, los tiempos de carga son iguales que en la implantología tradicional. Gaggl y col. (50) encontraron un 65% de la superficie de integración de los distractores – implantes 6 meses después del alargamiento. En el trabajo más extenso publicado hasta ahora, Jensen y col. (42) encontraron la pérdida de 8 entre ochenta y cuatro implantes colocados en los casos más complejos de DO en el maxilar superior anterior. Gaggl y col. (46) y Uckan y col. (44) publicaron la pérdida de un implante colocado en el hueso distraído. A pesar de los casos descritos, la mayoría de los autores definen la restauración protética de los implantes colocados en el hueso distraído como funcional o ideal (43, 65-68). Chiapasco y col. (61) encontraron que de los veintiséis implantes colocados en el hueso distraído, en un plazo de 12 a 18 meses de la carga protética, la pérdida vertical de hueso en mesial y distal es similar a los valores reportados en la bibliografía en los implantes colocados en el hueso nativo.

DIRECCIONES FUTURAS

En los casos de aumento vertical de mandíbulas clase V y VI, Robiony y col. (52) consiguieron altura suficiente para la colocación de implantes llevando a cabo el procedimiento original de distracción ósea con el uso de una mezcla de partículas de hueso y plasma rico en plaquetas. En la atrofia mandibular severa el suministro vascular centrífugo, debido a la pérdida de dientes y periodonto se vuelve centrípeto. Durante el período de distracción, las células locales progenitoras son sometidas a proliferación y diferenciación a osteoblastos, que depende de una vascularización adecuada.

Las dudas del límite mínimo para realizar DO las aclararon Schmidt y col. (69), realizando el DO de periostio en conejos. El método aplicado resultó ser un éxito, pero todavía requiere una evaluación futura.

El uso de injertos y distracción conjunta en las reconstrucciones mayores todavía necesita una mayor investigación. Cho y col. (70) consideran que 4 meses después de la colocación del injerto se podría empezar con el alargamiento. Buis y col. (71) realizaron distracción con implante un año después de la colocación del injerto óseo en el caso de una fisura completa unilate-

ral. Se ha realizado DO de mandíbula e injerto vascularizado de escápula (72), de injerto condral de costilla (73) y de injerto vascularizado de fíbula (74-78). Aparicio y Jensen (79) fueron los primeros que publicaron el caso de DO alveolar horizontal, creando un segmento libre del tabique externo mandibular. De 3 implantes colocados, en un plazo de 2 años se observó la pérdida de 1.5mm de hueso marginal en el implante central. Por la dificultad de acceso y mantenimiento de los tornillos, aconsejaron limitar la distracción horizontal a 3 – 6mm. La distracción alveolar horizontal del segmento óseo libre realizada en perros por Nosaka y col. (80) dio como resultado una reabsorción del segmento transporte que no afectó la integración de los implantes. Watzek y col. (81) describieron un nuevo método, en el que, después de la osteointegración del implante, mueven el bloque de hueso que lo contiene en cualquier dirección. Bavitz y col. (82) en su intención de regenerar el periodonto mediante distracción, sólo consiguió pequeñas cantidades de cemento, fracasando en la producción de nuevo hueso.

A pesar del número limitado de pacientes y el corto plazo de control de los implantes colocados, la técnica de DO en ARA se puede considerar previsible, reduce la morbilidad postoperatoria y disminuye el período de rehabilitación. Parece que DO es un método fiable en la corrección de defectos verticales en los rebordes edéntulos, comparándolo con ROG e injertos óseos (61). La distracción proporciona la posibilidad de formación natural de hueso entre el segmento transporte y segmento basal en un período de tiempo relativamente corto. Elimínandose la necesidad de recoger hueso, reduce el tiempo de cirugía y la morbilidad subsiguiente. El procedimiento se realiza frecuentemente con anestesia local, con un postoperatorio favorable. Parece que el hueso regenerado resiste a la reabsorción y es capaz de aguantar las demandas funcionales y estéticas de las prótesis implanto – soportadas. La mayoría de las complicaciones que surgen durante DO se pueden considerar como menores, y las soluciones sencillas.

Durante el último decenio, aumentó el conocimiento y aprendizaje de las bases biológicas y las posibilidades de DO, como la función, estética y estabilidad de los dientes, de los huesos faciales y de los tejidos blandos. Hay que recordar el destino de muchas técnicas quirúrgicas “revolucionarias” que se malograron o, algo más alarmante, el sistema legal está determinando las compensaciones a sus “víctimas” (83). Parece que el entusiasmo inicial se ha calmado y que se pueden evaluar de forma crítica los resultados iniciales (84). La DO considerada como el procedimiento más biológico, podría sustituir en un futuro el uso de ROG e injertos óseos en ARA. El análisis preciso va a conseguir la mejora del método convirtiéndolo en un tratamiento previsible, funcional y estético, con resultados finales estables.

ENGLISH

Distraction osteogenesis of the alveolar ridge: a review of the literature

SAULACIC N, GÁNDARA-VILA P, SOMOZA-MARTÍN M, GARCÍA-GARCÍA A. DISTRACTION OSTEOGENESIS OF THE ALVEOLAR RIDGE: A REVIEW OF THE LITERATURE. MED ORAL 2004;9:321-7.

SUMMARY

One of the principal problems in dental implantation is the lack of sufficient bone height or width. In the case of the alveolar ridge, a very effective technique for resolving this problem is distraction osteogenesis, introduced in this context about a decade ago. This technique is based on the gradual separation of a mobile but fully vascularized bone segment from the basal bone, leading to the formation of an intervening soft callus which gradually transforms to mature bone. A key researcher in the development of this technique was the Russian traumatologist Ilizarov. The present article reviews alveolar ridge distraction procedures and their clinical application. Alveolar ridge distraction may often be preferable to bone grafting or guided bone regeneration for increasing ridge height and width prior to implantation.

Key words: *Alveolar ridge augmentation, distraction osteogenesis, osteointegration.*

INTRODUCTION

Lack of sufficient maxillary bone height or width is one of the most frequent problems in dental implantation. Causes of bone loss include periodontal disease and other pathological processes, trauma, and congenital deformities. Insufficient alveolar ridge height (i.e. in the apico-coronal direction) impedes the use of implants of sufficient length, giving a inadequate crown-to-implant length ratio. Frieberg et al. (1) have demonstrated that short implants fail more frequently than longer implants.

Techniques are currently available that permit placement of long implants without reducing the vertical dimension of the crown, such as the use of pterigoid implants (2), augmentation of the floor of the maxillary sinus (3), and dental nerve transposition (4). Other techniques that can be used to modify crown-to-implant length ratio include autologous alveolar ridge bone grafts (5), guided bone regeneration (GBR) (6) and distraction osteogenesis (7), all of which increase ridge height and thus permit the use of longer implants and shorter crowns.

Bone grafting has disadvantages including the need for secondary surgery, difficulties in the management of soft tissues, morbidity of the donor bed, and unpredictable absorption, particularly during the months prior to implant placement (8). The terms "volume maintenance" and "persistence" are widely

used to describe graft performance, but should perhaps be replaced by "survival", since in fact less than 2% of bone graft cells survive the transplant (9). Marx et al. (10) suggest that autologous grafts are resorbed physiologically by a remodelling mechanism as a result of contraction of adjacent soft tissues. The principal limitations of GBR are the impossibility of achieving primary stability during implant placement, the possibility of infection of the bone surface, and the need for a long recovery period (6 - 12 months) during which provisional prostheses cannot be used (11).

DISTRACTION OSTEOGENESIS

Basic strategies for tissue engineering include 1) introduction of new cells (i.e. grafting), 2) reconstruction using biomaterials, and 3) the application of physical or chemical stimuli to induce tissue regeneration (12). Distraction osteogenesis techniques fall into this latter category, and have revolutionized tissue engineering in orthopaedics. Distraction osteogenesis is based on callotaxis (from the Latin *taxis* = stretching), the gradual stretching of the reparative callus that forms around bone segments interrupted by osteotomy or fracture. This stretching process is gradual, allowing maintenance of blood flow (13). The bone regeneration involves two processes: osteogenesis (callus formation and generation of new bone) and histiogenesis (lengthening of the soft tissue, i.e. mucoperiosteum, nerves and blood vessels) (14,15). Clinically, the procedure comprises three periods: 1) latency, 2) distraction, and 3) consolidation.

The first experimental studies of epiphyseal bone distraction were reported in 1869 by Bernhard von Langenbeck (16). The first clinical application of mandibular distraction was reported in 1927 by Rosenthal (17). Several authors subsequently criticized the technique in view of the numerous complications arising in these early years (18). In 1973, Snyder performed the first distraction of membranous mandibular bone (19). However, the full development of the technique is due to Gabriel Abramowitch Ilizarov, who in the 1950s performed numerous experiments in dogs and greatly advanced the clinical utility of this technique. Ilizarov established the basic biological principles of distraction osteogenesis: 1) the influence of tension-stress on osteogenesis and tissue growth, and 2) the influence of blood supply and mechanical load on the shape of the newly formed bone (14,15).

The application of distraction osteogenesis in membranous bones has greatly expanded our toolkit for reconstructive procedures in the craniofacial complex. Distraction of the mandibular symphysis was first performed by Guerrero et al. (20) in 1990. In 1992, McCarthy et al. reported results obtained by distraction in patients with craniofacial deformities (21). Subsequently, many authors have reported successful mandibular (22,23) and maxillary (24,25) lengthening, in patients with various disorders including hereditary cleft palate (26,27). To prevent the formation of extraoral scars (28), intraoral distractors began to be used. Distraction osteogenesis has been shown to be useful for the treatment of alveolar fissures (29-31), transverse expansion of the palate (32,33), and expansion of the cranial sutures (34,35).

DISTRACTION OSTEOGENESIS OF THE ALVEOLAR RIDGE

Recently, distraction osteogenesis has become established as a technique for alveolar ridge augmentation (ARA). Various authors (36-38) have evaluated the potential of distraction osteogenesis for ARA in animal experiments. Chin & Toth (7) and Hidding et al. (39) were the first to report clinical use of distraction osteogenesis for ARA. The technique involves freeing a bone segment (the transport segment) from the basal bone, but retaining attachment via the lingual periosteum. The available distractors can be classified as juxtaosseous and intraosseous. Juxtaosseous distractors are placed on the buccal face of the maxillary bone (39). Intraosseous distractors run through the transport segment in the direction of distraction (40). Gaggl et al. (41) have described a simplified technique for ARA using "distraction implants", which do not require subsequent removal. However, this technique may increase the risk of bacterial infection at or near the implant site as a result of movement of the implant-bone interface during healing (42). Complications that may arise during alveolar distraction have been classified by us (43) into three groups: 1) problems arising during surgery, generally related to osteotomy and distractor placement; 2) complications arising during distraction, including incorrect direction of distraction and soft-tissue complications; and 3) complications arising after distraction, due to defective bone formation. Uckan et al. (44) reported bleeding in cases of deep osteotomy, and pain and significant resorption of the distracted fragment in distractions of more than 10 mm. Klug et al. (45), Gaggl et al. (46) and Nocini et al. (47) have described other complications, including dysesthesia of the mental nerve and mandibular fracture.

Although there are not yet established protocols for alveolar bone distraction, different authors have recommended a latency period of 5 - 7 days (48), a distraction rate of 0.5 - 1 mm/day (49), and a consolidation period of 8 - 12 weeks (50). So-called "immediate distraction" has shown promising results in dogs (51), but should probably be avoided in view of the possibility of dehiscence formation and the exposure of the newly formed bone to the oral environment (40). According to the results obtained by Robiony et al. (52) and Horiuchi et al. (53), the optimal rate for horizontal alveolar distraction is probably about 0.5 mm/day. Meyer et al. (49) have demonstrated that in fact the magnitude of force applied is more important than its frequency of application. The minimum and maximum force inducing activation and continued function of the cells contributing to osteogenesis is not accurately known. The tension-stress effect (i.e. biological stress due to the mechanical tension exerted by the stretching process) leads to changes at both cellular and subcellular level (54). The stretching process appears to affect the local-scale regulation of bone formation, increasing the expression of bone growth factors, although prostaglandin E2 levels remain constant (55). During distraction and over the 20 days of consolidation, there is a marked increase in the levels of fibroblast growth factor (FGF) (56) and growth factor b1 (TGFb1) (57). The fibrous tissue of the soft callus, as well as the capillary blood vessels and primary osteoid, are oriented longitudinally, in the direction of distraction (58). Cope

et al. (59) found that cartilage makes up about 2 - 3% of distracted membranous bone, in line with the results of Aronson et al. (60) in long bones.

Implants are generally placed about 8 - 12 weeks after distraction (42, 61). The period between the 4th and 6th week is very important for mineralization (62), and in line with this it may be acceptable in some cases to place implants after only 6 weeks. In dogs, one study found that the distraction gap heals within 5 weeks (63), i.e. within the critical period for humans. However, another study found osteointegration of implants placed a mere 3 weeks after distraction (64).

Osteointegration of implants in distracted bone appears to take place in a similar way to osteointegration in native bone. Experimental studies by Block et al. (63) indicated that when implants are well fixed in the distracted bone and basal bone, they survive as long as implants in native bone; though note that implants were only monitored for a year in this study. Gaggl et al. (50) found that 65% of the surface of the distractor implants was osteointegrated 6 months after distraction. In the most extensive study published to date, Jensen et al. (42) reported loss of 8 of 84 implants in the anterior maxillary; these 8 implants were complex distraction cases. Gaggl et al. (46) and Uckan et al. (44) have both reported failures of implants placed in distracted bone. However, most authors consider implantation following distraction to be a highly effective and useful technique (43,65,66,67,68). Chiapasco et al. (61) studied 26 implants placed in distracted bone and loaded for 12 - 18 months, and found that vertical bone loss on the mesial and distal faces was similar to that reported for implants placed in native bone.

FUTURE DIRECTIONS

Robiony et al. (52) achieved sufficient vertical augmentation of class-V and -VI mandibles for implant placement using a novel distraction osteogenesis technique involving the introduction of bone particles and platelet-rich plasma. In severe mandibular atrophy of this type, centrifugal blood supply becomes centripetal, due to loss of teeth and periodont. During the distraction period, local progenitor cells undergo proliferation and differentiation to osteoblasts, which require good vascularization. Thus Robiony et al.'s method, which aims to enhance vascularization, may be useful.

Doubts about the minimum ridge height requirement for distraction osteogenesis were clarified by Schmidt et al. (69), who performed periosteal distraction experiments in rabbits. The method proved successful but certainly requires further evaluation.

The joint use of bone grafts and distraction osteogenesis for major reconstructions still requires detailed investigation. Cho et al. (70) consider that distraction can be commenced within 4 months of grafting. Buis et al. (71) placed a distractor implant one year after grafting, in a patient with unilateral complete cleft palate. Other studies have applied mandibular distraction after implantation of vascularized scapular grafts (72), costochondral grafts (73) or vascularized fibular grafts (74-78). Aparicio and Jensen (79) were the first to report the clinical use of horizontal alveolar distraction, using a free segment in the external mandibular wall. Three implants were fitted in this study, and after 2 years about 1.5 mm of marginal bone around

the central implant had been lost. In view of the difficulty of access to and maintenance of the screws, these authors suggest that distraction distance in horizontal distractions should be no more than 3 - 6 mm. Nosaka et al. (80) performed horizontal alveolar distraction of free bone segments in dogs, observing resorption of the transport segment that did not affect osteointegration of the implant. Watzek et al. (81) described a new method in which, after osteointegration, the bone block containing the implant can be moved in any direction. Bavitz et al. (82) attempted periodont regeneration by distraction, but were only able to generate small amounts of cement, not new bone. In conclusion, and despite the relatively small number of patients studied to date and the relatively short periods for which implants have been monitored, distraction osteogenesis appears to be a reliable technique for alveolar ridge augmentation, reducing both postoperative morbidity and the length of the recovery period. Distraction osteogenesis appears to be at least as reliable as guided bone regeneration and bone grafting as a method for augmenting insufficient height of edentulous ridges (61). It enables bone formation between the transport segment and the basal segment in a relatively short period of time. Since there is no need to obtain bone from elsewhere, surgery time and postoperative morbidity are evidently reduced. Generally only local anaesthesia is required, again reducing postoperative morbidity. The regenerated bone appears to be highly resistant to resorption, is capable of supporting heavy functional loads, and enables the placement of implants with good aesthetics. Most complications arising during distraction osteogenesis can be considered minor, and are readily resolved.

During the last decade, our understanding of the biological basis and clinical potential of distraction osteogenesis has increased dramatically, in parallel with advances in our understanding of the function, aesthetics and stability of the teeth, facial bones and soft tissues. Many apparently revolutionary surgical techniques have subsequently proved to be problematic, or indeed detrimental to patient health (83): by contrast, our ongoing experience with distraction osteogenesis is very positive, and strongly suggests that this technique is here to stay (84). In the future, it seems likely that distraction osteogenesis may replace guided bone regeneration and bone grafting for alveolar ridge augmentation. Detailed studies will no doubt lead to improvements in methodology, making this a reliable procedure offering good functional outcome, good aesthetic outcome, and long-term stability.

BIBLIOGRAFIA/REFERENCES

- Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4,641 consecutively placed Branemark dental implants: a study from stage 1 surgery to the connection of completed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991;6:142-6.
- Krekmanov L, Kahn M, Rangert B, Lindstrom H. Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:405-14.
- Lorenzetti M, Mozzati M, Campanino PP, Valente G. Bone augmentation of the inferior floor of the maxillary sinus with autogenous bone or composite bone grafts: a histologic-istomorphometric preliminary report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:69-76.
- Jensen J, Reiche-Fischel O, Sindet-Pedersen S. Nerve transposition and implant placement in the atrophic posterior mandibular alveolar ridge. *J Oral Maxillofac Surg* 1994;52:662-8.
- Triplett RG, Schow SR. Autologous bone grafts and endosseous implants: complementary techniques. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:486-94.
- Tinti C, Parma-Benfenati S. Vertical ridge augmentation: surgical protocol and retrospective evaluation of 48 consecutively inserted implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1998;18:434-43.
- Chin M, Toth BA. Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: review of five cases. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:45-53.
- Lundgren S, Rasmusson L, Sjostrom M, Sennerby L. Simultaneous or delayed placement of titanium implants in free autogenous iliac bone grafts. Histological analysis of the bone graft-titanium interface in 10 consecutive patients. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999;28:31-7.
- Zins JE. Discussion. En: Chen NT, Glowacki J, Bucky LP, Hong HZ, Kim WK, Yaremchuk MJ: The roles of revascularization and resorption on endurance of craniofacial onlay bone grafts in the rabbit. *Plast Reconstr Surg* 1994;93:714-22.
- Marx RE, Shellenberger T, Wimsatt J, Correa P. Severely resorbed mandible: predictable reconstruction with soft tissue matrix expansion (tent pole) grafts. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:878-88.
- Simion M, Jovanovic SA, Tinti C, Benfenati SP. Long-term evaluation of osseointegrated implants inserted at the time or after vertical ridge augmentation. A retrospective study on 123 implants with 1-5 year follow-up. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:35-45.
- Bertolami CN. Principles of Tissue Engineering. *J Oral Maxillofac Surg* 1998;56:24.
- Yasui N, Kojimoto H, Shimizu H, Shimomura Y. The effect of distraction upon bone, muscle, and periosteum. *Orthop Clin North Am* 1991;22:563-7.
- Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clin Orthop* 1989;238:249-81.
- Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop* 1989;239:263-85.
- Von Langebeck B. Ueber krankhaftes Längenwachstum der Röhrenknochen und seine Verwerthung für die chirurgische Praxis. *Berl Klin Wochenschr* 1869;26:265.
- Sonntag E, Rosenthal W eds. *Lehrbuch der Mund- und Kieferchirurgie*. Leipzig: Georg Thieme; 1930. p. 173-5.
- Abbott LC. The operative lengthening of the tibia and fibula. *J Bone Joint Surg* 1927;9:128-52.
- Snyder CC, Levine GA, Swanson HM, Browne EZ Jr. Mandibular lengthening by gradual distraction. Preliminary report. *Plast Reconstr Surg* 1973;51:506-8.
- Guerrero C. Rapid mandibular expansion. *Rev Venez Ortod* 1990;48:1-2.
- McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, Thorne CH, Grayson BH. Lengthening the human mandible by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 1992;89:1-8; discussion 9-10.
- Diner PA, Kollar EM, Martinez H, Vazquez MP. Intraoral distraction for mandibular lengthening: a technical innovation. *J Craniomaxillofac Surg* 1996;24:92-5.
- Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI, Rodriguez AM. Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1997;35:383-92.
- Chin M, Toth BA. Le Fort III advancement with gradual distraction using internal devices. *Plast Reconstr Surg* 1997;100:819-30;831-2.
- Carls FR, Sailer HF. Seven years of clinical experience with mandibular distraction in children. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:197-208.
- Molina F, Ortiz Monasterio F, de la Paz Aguilar M, Barrera J. Maxillary distraction: aesthetic and functional benefits in cleft lip-palate and prognathic patients during mixed dentition. *Plast Reconstr Surg* 1998;101:951-63.
- Polley JW, Figueroa AA. Rigid external distraction: its application in cleft maxillary deformities. *Plast Reconstr Surg* 1998; 102: 1360-72;1373-4.
- Mofid MM, Manson PN, Robertson BC, Tufaro AP, Elias JJ, Vander Kolk CA. Craniofacial distraction osteogenesis: a review of 3278 cases. *Plast Reconstr Surg* 2001; 108: 1103-14;1115-7.
- Liou EJ, Chen PK, Huang CS, Chen YR. Interdental distraction osteogenesis and rapid orthodontic tooth movement: a novel approach to approximate a wide alveolar cleft or bony defect. *Plast Reconstr Surg* 2000;105:1262-72.
- Yen SL, Gross J, Wang P, Yamashita DD. Closure of a large alveolar cleft by bony transport of a posterior segment using orthodontic archwires attached to bone: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 2001;59:688-91.
- Henkel KO, Ma L, Lenz JH, Jonas L, Gundlach KK. Closure of vertical alveolar bone defects with guided horizontal distraction osteogenesis: an expe-

- perimental study in pigs and first clinical results. *J Craniomaxillofac Surg* 2001; 29:249-53.
32. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999;37:268-72.
33. Pinto PX, Mommaerts MY, Wreakes G, Jacobs WV. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *J Oral Maxillofac Surg* 2001;59:994-1000:1001.
34. Persing JA, Morgan EP, Cronin AJ, Wolcott WP. Skull base expansion: craniofacial effects. *Plast Reconstr Surg* 1991;87:1028-33.
35. Sasaki A, Sugiyama H, Tanaka E, Sugiyama M. Effects of sutural distraction osteogenesis applied to rat maxillary complex on craniofacial growth. *J Oral Maxillofac Surg* 2002; 60: 667-75.
36. Nishimura T, Jinbo M, Ikeda H, Sasaki M, Nara J, Toriyabe Y. Study on ridge augmentation by callus distraction (callotaxis). *Jpn J Oral Maxillofac Surg* 1992;38:1357-63.
37. Block MS, Chang A, Crawford C. Mandibular alveolar ridge augmentation in the dog using distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54: 309-14.
38. Oda T, Sawaki Y, Ueda M. Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis using titanium implants: an experimental study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999;28:151-6.
39. Hidding J, Lazar F, Zoller JE. The vertical distraction osteogenesis of the alveolar bone. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:72-3.
40. Chin M. Distraction osteogenesis for dental implants. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 1999;7:41-63.
41. Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Distraction implants: a new operative technique for alveolar ridge augmentation. *J Craniomaxillofac Surg* 1999;27: 214-21.
42. Jensen OT, Cockrell R, Kuhike L, Reed C. Anterior maxillary alveolar distraction osteogenesis: a prospective 5-year clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:52-68.
43. García AG, Martín MS, Vila PG, Maceiras JL. Minor complications arising in alveolar distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:496-501.
44. Uckan S, Dolanmaz D, Kalayci A, Cilasun U. Distraction osteogenesis of basal mandibular bone for reconstruction of the alveolar ridge. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2002;40:393-6.
45. Klug C, Millesi G, Millesi W, Schopper C, Ewers R. Vertical callus distraction for mandibular augmentation: L-shaped osteotomy and GBR by titanium membranes. *J Craniomaxillofac Surg* 2000;28:55.
46. Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Distraction implants in alveolar ridge augmentation: a 2-year follow-up. *J Craniomaxillofac Surg* 2000; 28:101.
47. Nocini PF, Wangerin K, Cortelazzi R, Kretschmer W, Albanese M. Distraction osteogenesis in preprosthetic surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 2000; 28:100.
48. Burchardt H. The biology of bone graft repair. *Clin Orthop* 1983;174:28-42.
49. Meyer U, Meyer T, Wiesmann HP, Stratmann U, Kruse-Losler B, Maas H *et al.* The effect of magnitude and frequency of interfragmentary strain on the tissue response to distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57: 1331-9;1340-1.
50. Gaggl A, Schultes G, Regauer S, Kärcher H. Healing process after alveolar ridge distraction in sheep. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;90:420-9.
51. Tavakoli K, Walsh WR, Bonar F, Smart R, Wulf S, Poole MD. The role of latency in mandibular osteodistraction. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:209-19.
52. Robiony M, Polini F, Costa F, Politi M. Osteogenesis distraction and platelet-rich plasma for bone restoration of the severely atrophic mandible: preliminary results. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:630-5.
53. Horiuchi K, Uchida H, Yamamoto K, Hatano N. Anteroinferior distraction of the atrophic subtotal maxillary alveolus for implant placement: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:416-23.
54. Holbein O, Neidlinger-Wilke C, Suger G, Kinz L, Claes L. Ilizarov callus distraction produces systemic bone cell mitogens. *J Orthop Res* 1995;13:629-38.
55. Meyer U, Meyer T, Schlegel W, Scholz H, Joos U. Tissue differentiation and cytokine synthesis during strain-related bone formation in distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2001;39:22-9.
56. Tavakoli K, Yu Y, Shahidi S, Bonar F, Walsh WR, Poole MD. Expression of growth factors in the mandibular distraction zone: a sheep study. *Br J Plast Surg* 1999;52:434-9.
57. Mehrara BJ, Rowe NM, Steinbrech DS, Dudziak ME, Saadeh PB, McCarthy JG *et al.* Rat mandibular distraction osteogenesis: II. Molecular analysis of transforming growing factor beta – 1 and osteocalcin gene expression. *Plast reconstr Surg* 1999;103:536-47.
58. Yasui N, Kojimoto H, Sasaki K, Kitada A, Shimizu H, Shimomura Y. Factors affecting callus distraction in limb lengthening. *Clin Orthop* 1993;293:55-60.
59. Cope JB, Samchukov ML. Regenerate bone formation and remodeling during mandibular osteodistraction. *Angle Orthod* 2000;70:99-111.
60. Aronson J, Harrison BH, Stewart CL, Harp JH Jr. The histology of distraction osteogenesis using different external fixators. *Clin Orthop* 1989;241:106-16.
61. Chiapasco M, Romeo E, Vogel G. Vertical distraction osteogenesis of edentulous ridges for improvement of oral implant positioning: a clinical report of preliminary results. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:43-51.
62. Smith SW, Sachdeva RC, Cope JB. Evaluation of the consolidation period during osteodistraction using computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:254-63.
63. Block MS, Gardiner D, Almerico B, Neal C. Loaded hydroxylapatite-coated implants and uncoated titanium-threaded implants in distracted dog alveolar ridges. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:676-85.
64. Nosaka Y, Tsunokuma M, Hayashi H, Kakudo K. Placement of implants in distraction osteogenesis: a pilot study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:185-92.
65. McAllister BS. Histologic and radiographic evidence of vertical ridge augmentation utilizing distraction osteogenesis: 10 consecutively placed distractors. *J Periodontol* 2001;72:1767-79.
66. Lehrhaupt NB. Alveolar distraction: a possible new alternative to bone grafting. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:121-5.
67. Gaggl A, Schultes G, Rainer H, Kärcher H. The transgingival approach for placement of distraction implants. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:793-6.
68. García García A, Somoza Martín M, Gandara Vila P, Lopez Maceiras J. Alveolar ridge osteogenesis using 2 intraosseous distractors: uniform and nonuniform distraction. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:1510-2.
69. Schmidt BL, Kung L, Jones C, Casap N. Induced osteogenesis by periosteal distraction. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:1170-5.
70. Cho BC, Seo MS, Baik BS. Distraction osteogenesis after membranous bone onlay grafting in a dog model. *J Oral Maxillofac Surg* 2001; 59: 1025-33.
71. Buis J, Rousseau P, Soupre V, Martinez H, Antoine Diner P, Paule Vazquez M. "Distraction" of Grafted Alveolar Bone in Cleft Case Using Endosseous Implant. *Cleft Palate Craniofac J* 2001;38:405-9.
72. Polley JW, Breckler GL, Ramasastry S, Figueroa AA, Cohen M. Simultaneous distraction osteogenesis and microsurgical reconstruction for facial asymmetry. *J Craniofac Surg* 1996;7:469-72.
73. Corcoran J, Hubli EH, Salyer KE. Distraction osteogenesis of costochondral neomandibles: a clinical experience. *Plast Reconstr Surg* 1997;100:311-5;316-7.
74. Friedrich RE, Hellner D, Plambeck K, Schmelzle R. Application of B-scan ultrasonography for analysis of callus distraction in vascularized fibular grafts of the mandible: a report of three patients. *J Oral Maxillofac Surg* 1997;55: 635-40.
75. Yonehara Y, Takato T, Harii K, Hirabayashi S, Susami T, Komori T, *et al.* Secondary lengthening of the reconstructed mandible using a gradual distraction technique—two case reports. *Br J Plast Surg* 1998;51:356-8.
76. Nocini PF, Wangerin K, Albanese M, Kretschmer W, Cortelazzi R. Vertical distraction of a free vascularized fibula flap in a reconstructed hemimandible: case report. *J Craniomaxillofac Surg* 2000;28:20-4.
77. Chiapasco M, Brusati R, Galio S. Distraction osteogenesis of a fibular revascularized flap for improvement of oral implant positioning in a tumor patient: a case report. *J Oral Maxillofac Surg* 2000;58:1434-40.
78. Klesper B, Lazar F, Siessegger M, Hidding J, Zoller JE. Vertical distraction osteogenesis of fibula transplants for mandibular reconstruction—a preliminary study. *J Craniomaxillofac Surg* 2002;30:280-5.
79. Aparicio C, Jensen OT. Alveolar ridge widening by distraction osteogenesis: a case report. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001;13:663-8.
80. Nosaka Y, Kitano S, Wada K, Komori T. Endosseous implants in horizontal alveolar ridge distraction osteogenesis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002; 17:846-53.
81. Watzek G, Zechner W, Crismani A, Zauza K. A distraction abutment system for 3-dimensional distraction osteogenesis of the alveolar process: technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:731-7.
82. Bavitz JB, Payne JB, Dunning D, Glenn A, Koka R. The use of distraction osteogenesis to induce new suprabony periodontal attachment in the beagle dog. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:596-603.
83. Booth RP. Reflections on distraction osteogenesis. A surgical distraction or the 'future'? *Br J Oral Maxillofac Surg* 2001;39:179-80.
84. Reyneke JP. Reflections on: distraction osteogenesis. Distraction osteogenesis—the future? *Br J Oral Maxillofac Surg* 2001;39:180-1.