

Distrazione ossea per l'allungamento mandibolare con un distrattore ad appoggio dentale completamente endorale

Yan Razdolsky D.D.S.
Libero professionista, Buffalo Grove, IL
Children's Memorial Hospital, Northwestern University,
and Highland Park Hospital, Chicago, IL USA

Traduzione a cura di:
Dr. Tiziano Baccetti, Dr. Lorenzo Franchi

*Il presente articolo è apparso sul 58° "Bollettino di Informazioni Ortodontiche".
Ripubblicato e tradotto su permesso dell'editore Leone S.p.A.
Copyright © 1999 Tutti i diritti riservati.

INTRODUZIONE

Cos'è l'osteogenesi per distrazione?

Definizione: l'osteogenesi per distrazione è il processo di generazione di nuovo osso per stiramento (istogenesi intramembranosa). Nel 1905, Codvilla ha introdotto il concetto di osteodistrazione¹. I problemi tecnici derivanti dalla distrazione delle ossa lunghe sono stati superati più tardi da alcuni ricercatori tra cui soprattutto Ilizarov e De Bastiani²,¹⁰² McCarthy et al. hanno descritto per primi nel 1992 la distrazione di mandibole ipoplasiche nell'uomo^{63, 64}. Gli effetti della distrazione non si limitano al tessuto osseo ma interessano anche i tessuti molli quali cute, muscoli, e strutture neurovascolari. La nostra sempre maggiore esperienza con questa tecnica per la correzione delle deformazioni facciali ha portato ad approntare alcune modifiche nel trattamento dei pazienti affetti da anomalie a livello scheletrico e dei tessuti molli. Inizialmente abbiamo utilizzato per la osteodistrazione dispositivi esterni per l'allungamento osseo e dei tessuti molli^{7, 101, 102}. Gli svantaggi di questa procedura consistevano nella comparsa di cicatrici cutanee e nella utilizzazione di apparecchiature ingombranti per circa 8 settimane.

Per cercare di superare questi inconvenienti della osteodistrazione mandibolare abbiamo sviluppato



un'apparecchiatura per la distrazione che è completamente endorale e ad appoggio dentale. Il presente lavoro vuole illustrare la nostra iniziale esperienza con questa apparecchiatura endorale ed appoggio dentale.

OBIETTIVO

Secondo McNamara il 90% dei pazienti ortodontici con malocclusione di II Classe presentano un deficit mandibolare.

Mentre nei soggetti in crescita possiamo stimolare la crescita mandibolare con apparecchiature funzionali (ad esempio l'apparecchio di Herbst), nei pazienti adulti siamo costretti a mascherare la malocclusione di II Classe con conseguente compromissione estetica (e talvolta riassorbimento radicolare degli incisivi superiori) oppure ad effettuare una osteotomia sagittale per raggiungere un'adeguata lunghezza mandibolare.

Problemi associati alla osteotomia sagittale:



- procedura chirurgica relativamente lunga (1,5-4 ore)
- deve essere eseguita in ospedale
- molto costosa (15.000-20.000 USD)
- le compagnie di assicurazione in molti stati americani la classificano nell'ambito della chirurgia estetica e quindi non la pagano
- aumentato pericolo potenziale di complicanze
- il paziente deve restare assente dal lavoro o da scuola per un periodo di 7-10 giorni
- variabilità dei risultati
- segmento prossimale difficile da controllare
- potenziale di recidiva specialmente con: fissazione a filo, resezione sagittale a livello condilare, morso aperto
- una volta eseguita è difficile tornare indietro
- non sono raccomandabili avanzamenti di più di 10 mm
- talvolta sono necessari innesti iliaci o dalle coste.

L'obiettivo della nostra ricerca sulla distrazione è stato quello di mettere a punto una metodica prevedibile per la correzione del deficit scheletrico a livello mandibolare nei soggetti adulti con malocclusione di II Classe, in grado di limitare gli inconvenienti, di ridurre i costi e di portare sempre a buoni risultati.

MATERIALI E METODI

La tecnica che è stata utilizzata per la osteogenesi per distrazione sulle mandibole ipoplasiche, comprende quattro fasi:



1. realizzazione di una corticotomia
2. periodo di distrazione
3. rimodellamento del tessuto rigenerato
4. stabilizzazione



Il numero e la posizione delle corticotomie sono stabilite in seguito all'analisi della cefalometria pre-operatoria, della tomografia computerizzata tridimensionale, della ortopantomografia e dei modelli in gesso delle arcate. La corticotomia viene praticata a livello della porzione scheletrica ipoplasica, sia essa il ramo o il corpo.

E' di fondamentale importanza che l'ortodontista crei 3-4 mm di spazio nella zona interprossimale dove verrà effettuata la corticotomia.

Questo garantisce una adeguata formazione di osso intramembranoso durante la distrazione e il rispetto del legamento parodontale su entrambi i lati della corticotomia, ed inoltre assicura che le radici non vengano intaccate durante la chirurgia.



Protocollo per la distrazione mandibolare con il Distrattore ROD™



1) Corone preformate in acciaio inossidabile vengono adattate sui secondi molari e sui primi premolari inferiori, ma sono possibili anche altre combinazioni (ad es. secondi premolari e primi molari). Preferiamo i secondi molari ed i primi premolari in quanto l'osteotomia viene effettuata tra secondi premolari e primi molari e quindi le corone non interferiscono con la chirurgia. La distrazione può essere eseguita anche distalmente al secondo molare.

2) Nella distrazione a livello del mascellare superiore le corone possono essere applicate dovunque, questo dipende dalla regione dove viene praticata l'osteotomia e dalla distrazione che si vuole realizzare.

3) Vengono prese le impronte con materiale siliconico; le corone sono quindi rimosse dagli elementi dentali, posizionate nell'impronta e stabilizzate in posizione. Le impronte vengono colate con gesso resistente al calore.

4) I modelli sono preparati con le corone posizionate sugli elementi dentali.

5) Per allineare gli attacchi rimovibili ROD™ e successivamente saldarli sulle corone si utilizza uno

specifico parallelometro.

6) Il modello con gli attacchi rimovibili ROD™ paralleli tra loro viene posto nel parallelometro al fine di saldare le viti per espansione bilateralmente (sui versanti vestibolari), in una corretta posizione tridimensionale come stabilito sulla base della cefalometria, delle panoramiche e dei modelli in gesso e degli altri esami diagnostici in modo tale da far sì che l'espansione proceda lungo un definito e prevedibile vettore di spostamento.

7) Una volta saldati gli espansori, due fili ortodontici (di diametro .030" o superiore) sono saldati a livello delle superfici linguali delle corone del secondo molare e del primo premolare e adattati alle superfici occlusali del primo molare e del secondo premolare. I fili così adattati verranno poi incollati sulle superfici occlusali di questi elementi dentali.



8) L'apparecchio ROD™ è ora pronto per essere cementato nella bocca del paziente per mezzo delle corone sul secondo molare e sul primo premolare. I fili linguali (saldati sulle superfici linguali delle corone del secondo molare e del primo premolare) vengono incollati sulle superfici occlusali del primo molare e del secondo premolare. I due espansori vestibolari sono ora rimossi, grazie agli attacchi rimovibili ROD™, per essere poi reinserti al momento della chirurgia e stabilizzati in

posizione per mezzo di una legatura con filo ortodontico o chirurgico passato nei fori verticali degli attacchi rimovibili ROD™. Gli incisivi inferiori vengono solidarizzati alle corone sui primi premolari o mediante un filo ortodontico o con incollaggio.

9) Tecnica chirurgica: una procedura ambulatoriale in anestesia locale e con sedazione intravenosa



La bocca è tenuta aperta con un apribocca di McKesson. L'anestesia mandibolare viene effettuata con tecnica tronculare utilizzando marcaina 0,5% con epinefrina 1:200.000. Inoltre, per favorire l'emostasi, si può iniettare lidocaina al 2% con epinefrina 1:100.000 nella zona dove verrà praticata la osteotomia. Viene quindi eseguito un taglio orizzontale in zona vestibolare 0,5 mm al di sotto della linea mucogengivale che si estenda dal secondo molare al primo premolare.

Successivamente viene creato un lembo mucoperiosteo a tutto spessore a livello del bordo inferiore della mandibola. Il periostio deve essere attentamente distaccato dall'osso con una leva di Freer ed un divaricatore di Seldin. Si posiziona quindi un divaricatore canalare di Obwegeser. Utilizzando una sega oscillante si esegue un taglio attraverso lo spessore della corticale esterna nello spazio tra secondo

premolare e primo molare. Questo taglio osseo continua fino alla corticale inferiore. Viene effettuata una seconda incisione nel solco gengivale dal secondo molare al primo premolare. Ancora una volta la mucosa deve essere sollevata attentamente fino a mobilizzare un lembo dalla zona dentoalveolare interprossimale nello spazio tra secondo premolare e primo molare. Una volta applicato il divaricatore di Sinn il taglio osseo viene continuato attraverso l'osso alveolare tra questi elementi dentali per mezzo della sega e di piccoli osteotomi. Viene poi effettuato un taglio osseo corrispondente a livello della corticale mediale, dopo aver sollevato un lembo mucoperiosteale dal primo premolare al secondo molare. Un trapano di Hall con una fresa lunga a fessura può essere utilizzata per creare un solco sul bordo inferiore per collegare il taglio laterale e quello mediale. Un piccolo osteotomo viene inserito nella porzione superiore del taglio attraverso l'osso alveolare e l'osteotomia è completata per mezzo di un leggero colpo di martelletto. Le ferite devono essere irrigate con soluzione salina e i margini vengono avvicinati e suturati con filo 4 (0). Si ripete una simile procedura sul lato opposto. Il chirurgo orale o l'ortodontista completa l'operazione cementando l'apparecchio ROD™ e legandolo con un filo passato attraverso il foro verticale. Il paziente viene mantenuto per 3 settimane sotto regime antibiotico.



10) Il paziente torna dall'ortodontista 3-4 giorni dopo la chirurgia per iniziare la distrazione alla velocità di 0,5-1 mm al giorno, con un ritmo di 4 giri al giorno (1/4 di mm per giro) fino al raggiungimento dell'allungamento desiderato.

11) L'apparecchio ROD™ viene mantenuto passivo per circa due giorni dopo ciascun millimetro di espansione, per permettere una completa unione ossea. (Dopo l'ultimo giro preferiamo mantenere passivo l'apparecchio per cinque giorni).

12) L'unione ossea (completa ossificazione) può essere documentata per mezzo di radiografia.

13) L'apparecchio ROD™ viene rimosso dopo 6 settimane, si applicano gli attacchi ortodontici e il caso viene completato.

RISULTATI



Un totale di 6 pazienti è stato sottoposto ad allungamento mandibolare con un dispositivo per distrazione ad appoggio dentale completamente endorale (ROD™).

Tale dispositivo è stato applicato in un ambulatorio chirurgico evitando così il ricovero ospedaliero e riducendo i costi per il paziente fino all'80% rispetto alla procedura convenzionale di osteotomia sagittale eseguita in ospedale. I pazienti trattati con il distrattore endorale ad appoggio dentale (ROD)

hanno mostrato avanzamenti della mandibola di 10-14 mm. Quando la procedura viene programmata tridimensionalmente con l'apposito parallelometro in laboratorio, l'apparecchio ROD™ è in grado di produrre consistenti risultati sempre che il clinico:

- 1) crei, prima della chirurgia, uno spazio interprossimale a livello della zona dove verrà effettuata la corticotomia in maniera da preservare il parodonto degli elementi dentali e da facilitare la guarigione intramembranosa;
- 2) solidarizzi tutti gli elementi dentali del segmento distale in modo da prevenire la flessione del segmento osseo in seguito alla trazione verso il basso e l'indietro esercitata dal digastrico anteriore e dai muscoli sopraioidei;
- 3) calcoli esattamente il vettore di distrazione.



La distrazione, in associazione al rimodellamento dell'osso rigenerato, consente di ottenere una correzione tridimensionale della ipoplasia della mandibola che è proprio da considerarsi una anomalia tridimensionale.

Tale procedura consente non solo di creare nuovo osso membranoso a livello della zona della corticotomia, ma permette anche di ottenere incrementi a livello dei tessuti molli e delle strutture neurovascolari.

La distrazione scheletrica multiplanare eseguita sia con sistemi extraorali che con l'apparecchiatura endorale ad appoggio dentale ROD™ è una tecnica che consente quindi di ottenere incrementi a livello dei tessuti molli e delle strutture neurovascolari mentre si crea nuovo osso membranoso nella zona di insufficienza ossea. La metodica dell'osteotomia bicorticale vestibolare e linguale permette di posizionare il punto di distrazione esattamente nella zona di insufficienza ossea in modo da ottimizzare la correzione.

Le corticotomie endorali eseguite in associazione alla distrazione scheletrica sembrano offrire significativi vantaggi rispetto al trattamento classico della micrognazia nei pazienti con II classe scheletrica da insufficienza mandibolare.

I tessuti molli e le strutture scheletriche possono essere aumentate fino ad una normale configurazione.

Con questa metodica è possibile generare un tessuto osseo dello stesso tipo di quello della regione dove è praticata la distrazione ed inoltre la procedura chirurgica è assai meno traumatica per il paziente. Inoltre è assente la morbilità del sito donatore. L'occlusione può essere modificata con una precisione fino a 0,25 mm.

L'utilizzazione di corticotomie endorali e di dispositivi

endorali per distrazione ad appoggio dentale (ROD) consente di evitare gli svantaggi derivati dall'uso di perni esterni per la distrazione, consistenti principalmente nella comparsa di cicatrici cutanee durante il processo di distrazione, e dall'impiego di ingombranti apparecchiature esterne per un periodo di 8-9 settimane. Questa tecnica offre nuove speranze per il trattamento di pazienti affetti da un ampio spettro di severe anomalie craniofacciali o di pazienti ortodontici adulti con malocclusione di II classe da insufficienza mandibolare. La prossima generazione di apparecchi ROD™ sarà di tipo endorale, a parziale appoggio dentale, a parziale azione sull'osso, nel tentativo di spostare la zona della corticotomia distalmente al secondo molare inferiore.



CONCLUSIONI

Vantaggi dell'osteogenesi per distrazione rispetto alla osteotomia sagittale



cephalometrics- OLGA L. 18 YRS					
	1-96	N	10-96	2-97	5-97
fac<	78	87	81	83	83
sna	83	81	83	82	82
snb	76	78	77	77	79
anb	7	-2	7	4	3
y-axis	69	59	67	66	66
I	0	3	6	6	6
I	-4	0	-2	7	8
CO-A	98	94	94	94	94
CO-GN	110	122	110	122	120
ANS-ME	68	71	69	74	73

- meno invasiva, minor tempo operativo
- più semplice il controllo del segmento prossimale
- inferiore sanguinamento e gonfiore, minori complicanze post-chirurgiche, minor trauma
- può essere eseguita a livello ambulatoriale
- assenza di morbidità del sito donatore
- si genera osso dello stesso tipo di quello della regione dove è praticata la distrazione
- occlusione chirurgica facilmente controllabile
- la quantità di distrazione è "illimitata", riadattamento muscolare con la lenta crescita ossea
- non è necessario il ricovero in ospedale
- meno costosa (riduzione dell'80% dei costi)
- in molti stati le compagnie di assicurazione non coprono le spese per l'osteotomia sagittale della mandibola eseguita in ospedale
- scarsi rischi di danneggiamento del nervo alveolare
- nessuna necessità di stabilizzazione rigida o intermassellare
- nessuna interruzione delle normali attività del paziente
- non vengono interessati il segmento prossimale o l'articolazione temporo-mandibolare.

Un nuovo approccio non estrattivo per la diagnosi e il trattamento dei pazienti con II Classe scheletrica da insufficienza mandibolare: i casi di I, II Classe che presentano compensi a livello degli incisivi inferiori o

affollamento possono essere trattati senza estrazioni. Si può eseguire una distrazione mandibolare fino a portare gli incisivi inferiori in inversione di combaciamento al fine di ottenere la massima correzione scheletrica.

Gli incisivi inferiori possono essere poi arretrati verso la porzione ossea rigenerata.

Nei casi di II Classe con micrognazia e incisivi inferiori con o senza affollamento si può eseguire una distrazione distalmente al secondo molare. Se la distrazione viene effettuata tra gli elementi dentali, negli spazi creati devono essere poi applicati degli impianti.

Al contrario, con l'osteotomia sagittale, è necessario dapprima in genere estrarre i due primi premolari inferiori, arretrare gli incisivi inferiori e poi:

ESEGUITA LA CHIRURGIA



- corticotomia vs. osteotomia

- nessuna recidiva

- è possibile terminare l'allungamento mandibolare a qualsiasi lunghezza il paziente, i genitori o il clinico decidano di fermarsi. Addirittura, se necessario, è possibile diminuire (invertendo il senso di distrazione) la lunghezza raggiunta.



IL FUTURO DELLA DISTRAZIONE

Alcuni ricercatori stanno attualmente cercando di identificare geni specifici responsabili dell'attivazione e della disattivazione della osteogenesi. I nostri prossimi pazienti verranno trattati con una procedura di distrazione eseguita distalmente ai molari inferiori, con l'utilizzazione di placche in acciaio e di viti Leone ad attivazione anteriore al fine di spostare la zona di osteotomia distalmente ed evitare la creazione di uno spazio tra secondo premolare e primo molare.

Verranno inoltre tentate distrazioni per osteotomie subapicali, avanzamenti del mascellare superiore o aumenti verticali con l'utilizzazione di un apparecchiatura ROD™ modificata.

Un ringraziamento particolare va al signor Gene Kucher per il suo contributo a questo lavoro.

RIASSUNTO

L'osteogenesi per distrazione è stata utilizzata con successo al fine di aumentare la massa ossea e dei tessuti molli in pazienti affetti da varie deformità craniofacciali o anche in pazienti ortodontici con malocclusione di II classe da micrognazia. La nostra esperienza nel campo della osteodistrazione risale al 1992 con 66 osteotomie in 42 pazienti. La tecnica utilizzata per l'osteodistrazione comprende quattro fasi:



1. realizzazione di una corticotomia,
2. periodo di distrazione,
3. rimodellamento del tessuto rigenerato, seguito da
4. stabilizzazione.



I pazienti sono stati sottoposti a corticotomie endorali e applicazione di dispositivi extraorali o endorali per distrazione ad appoggio dentale (ROD) per facilitare la complessa distrazione multiplanare richiesta per il trattamento della specifica deformità. Sono state effettuate distrazioni graduali dell'osso e dei tessuti molli alla velocità e al ritmo di 1 mm al giorno in quattro fasi. Un periodo di stabilizzazione di due giorni seguiva ogni millimetro di allungamento.



I cambiamenti morfologici sono stati documentati con una serie di radiografie e con fotografie cliniche.

Tutti i pazienti dopo trattamento hanno mostrato, oltre ai drammatici cambiamenti estetici, evidenti miglioramenti delle caratteristiche occlusali con conseguenti benefici della respirazione e dell'alimentazione. I soggetti trattati con dispositivi per distrazione esterni hanno richiesto una permanenza media in ospedale di 1.2 ± 0.6 giorni.



Trentasette pazienti sottoposti a osteodistrazione con dispositivo esterno hanno mostrato un avanzamento medio della mandibola di $18.4 \pm 4,7$ mm.

Recentemente sei soggetti sono stati trattati con un dispositivo per distrazione ad appoggio dentale completamente endorale (ROD). Nei pazienti trattati con il dispositivo per distrazione ad appoggio dentale endorale (ROD) la procedura chirurgica è stata praticata a livello ambulatoriale senza ospedalizzazione, riducendo così i costi di un 80% rispetto alla tecnica convenzionale di osteotomia sagittale eseguita in un ospedale. I pazienti trattati con il dispositivo per distrazione ad appoggio dentale endorale (ROD) presentavano un avanzamento mandibolare pari a 10-14 mm. Corticotomie endorali eseguite in associazione a distrazione scheletrica sembrano offrire significativi vantaggi

rispetto al trattamento classico della II Classe da micrognazia.

I tessuti molli e le componenti scheletriche vengono aumentate di dimensione fino ad assumere una configurazione normale. Si genera un tessuto osseo dello stesso tipo di quello della regione dove è praticata la distrazione e la procedura chirurgica si dimostra assai meno traumatica. E' assente la morbilità del sito donatore.

L'occlusione può essere modificata con una precisione fino a 0,25 mm. L'utilizzazione di corticotomie endorali e di dispositivi endorali per distrazione ad appoggio dentale (ROD™) consentono di evitare gli svantaggi derivati dall'uso di perni esterni per la distrazione, consistenti principalmente nella comparsa di cicatrici cutanee durante il processo di distrazione, e dall'impiego di ingombranti apparecchiature esterne per un periodo di 8-9 settimane.



Virtual Journal of Orthodontics
Copyright © 1998-2000 All rights reserved.

BIBLIOGRAFIA

1. Codvilla A: On the means of lengthening in the lower limbs, the muscles

HOME VJO 3.2

HOME VJO

- and tissues which are shortened through deformity. *Am J Orthop Surg* 2:353, 1905.
2. Ilizarov GA: The principles of the Ilizarov method. *Bull Hosp Joint Dis Orthop Inst* 48:1, 1988.
3. Ilizarov, G.A., and Ledyayev, V I.: The replacement of long tubular bone defects by lengthening distraction of one of the fragments. *Clin Orthop Rel Res* 280:7-10, 1992.
4. Ilizarov, G.A.: Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Rel Res* 250:8, 1990.
5. 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 Rel Res* 238:250, 1989.
6. 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 Rel Res* 239:263, 1989.
7. Pensler, J.M., Goldberg, D.P., Lindell, B., and Carroll, N.C.: Skeletal distraction of the hypoplastic mandible. *Ann Plast Surg*. 34: 130-137, 1995.
8. Moseley CF: Limb lengthening: The historical perspective, *Ortho Clinic North Amer* 22:555, 1991.
9. Paterson D: Limb lengthening procedures - A historical review. *Clin Orthop Res* 250:27, 1990.
10. Paley D: Current techniques of limb lengthening. *J. Ped Orthop* 8:73, 1988.
11. Bosworth DM: Skeletal distraction of the tibia. *Surg Gynecol Obstet* 66:912, 1938.
12. Pytti V: The operative lengthening of the femur. *JAMA* 77:934, 1921.
13. Putti V: Operative lengthening of the femur. *Surg Gynecol Obstet* 58:318, 1934.
14. Abbott LC: The operative lengthening of the tibia and fibia. *J Bone Joint Surg* 9:128, 1927.
15. Carrell WB: Leg lengthening. *South Med J* 22:216, 1929.
16. Brockway A and Fowley SB: Experiences with 105 leg lengthening operations. *Surg Gynecol Obstet* 72:252, 1942.
17. Dickson FD and Diveley KZ: A new apparatus for lengthening legs. *J Bone J Surg* 14:807, 1932.
18. Habough EJ and Finkelstein H: Leg lengthening with new stabilizing apparatus. *J Bone J Surg* 14:194, 1932.
19. Compere E: Indications for and against the leg lengthening operation. *J Bone Joint Surg* 18:692, 1936.
20. Allan FG: Bone lengthening. *J Bone Joint Surg* 34B:490, 1948.
21. Anderson WV: Leg lengthening. *J Bone Joint Surg* 34B:150, 1952.
22. Wagner H: Operative Lengthening of the femur. *Clin Orthop Rel Res* 136:125, 1978.
23. DeBastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L and Trivella G: Limb lengthening by callos distraction (callostasis). *J Ped Orthop* 7:129, 1987
24. Altuna G, Walker DA: Surgically assisted rapid orthodontic lengthening of the maxilla in primates - a pilot study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107:531-6 1995.
25. Abbott LC and Saunders JB de CM: The operative lengthening of the tibia and fibula. A preliminary report on the further development of the principles and technique. *Ann Surg* 110:961, 1939.
26. White SH and Kenwright J: The timing of distraction of an osteotomy. *J Bone Joint Surg* 72-B:356, 1990.
27. White SH and Kenwright J: The importance of delay in distraction of osteotomies. *Orthop Clin North Amer* 22:569, 1991.
28. Sproul JT and Price CT: Recent advances in limb lengthening. Part II: Biological advances. *Orthop Rev* 21:425, 1992

29. Alonso JE and Regazzoni P: Bridging bone gaps with the Ilizarov technique, *Biologic Principles. Clin Plast Surg* 18:497, 1991.
30. Calhoun JH, Li T, Ledbetter BR, and Gill CA: Biomechanics of the Ilizarov fixator for fracture fixation. *Clin Orthop Rel Res.* 280:15, 1992.
31. Paley D: Problems, obstacles and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop* 250:81, 1990.
32. Fischgrund J, Paley D, and Suter D: Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop Rel Res.* 301:31, 1994.
33. Wolfson N, Hearn TC, Thomason JJ, and Armstrong PF: Force and stiffness changes during Ilizarov leg lengthening. *Clin Orthop* 250:58, 1990.
34. Harp JH, Aronson J and Hollis M: Noninvasive determination of bone stiffness for distraction osteogenesis by quantitative computed tomography scans. *Clin Orthop Rel Res* 301:42, 1994.
35. Aronson J and Harp JH: Mechanical forces as predictors of healing during tibial lengthening by distraction osteogenesis. *Clin Orthop Rel Res.* 301:73, 1994.
36. Young JWR, Kostrubiak IS, Resnick CS, and Paley D: Sonographic evaluation of bone production at the distraction site in Ilizarov limb-lengthening procedures. *AJR.* 154:125, 1990.
37. Derbyshire NDJ and Simpson AHRW: A role for ultrasound in limb lengthening. *Br J Radiol* 65:576, 1992.
38. Daniel BL, Wanders A, Zhang Y, Moskalik A, Folkers JB, Rubin IM, Gouret JA and Adler RS: The use of ultrasound mean acoustic attenuation to quantify bone formation during distraction osteogenesis performed by the Ilizarov method. *Invest Radiol* 29:933, 1994.
39. Blane CE, Herzenberg JE, and DiPietro MA. Radiographic imaging for Ilizarov limb lengthening in children. *Pediatr Radiol* 21:117, 1991.
40. Alho A, Bang G, Karaharju E and Armand I: Filling of a bone defect during experimental osteotaxis distraction. *Acta Orthop Scand.* 53:29, 1982.
41. Aronson J, Harrison BH, Stewart CL and Harp JH: The histology of distraction osteogenesis using different external fixators. *Clin Orthop Rel Res.* 241:106, 1989.
42. Michieli S and Miotti B: Lengthening of mandibular body by gradual surgical-orthodontic distraction. *J Oral Surg* 35:187, 1977.
43. Karp NS, Thorne CHM, McCarthy JG and Sissons HA: Bone lengthening in the craniofacial skeleton. *Plas Surg* 24:231, 1990
44. Karp NS, McCarthy JG, Schreiber JS, Sissons HA and Thorne CHM: Membranous bone lengthening: A serial histologic study *Ann Plas Surg.* 29:2, 1992.
45. Karharju EO, Peltonen J, Aalto K, Vauhkonen M, Kahri A and Alitalo I: Distraction bone healing. *Acta Orthop Scand* 59:477, 1988.
46. Karharju-Suvanto T, Karharju EO and Ronta R: Mandibular distraction; An experimental study in sheep. *J Cranio Maxillofac Surg* 18:280, 1990.
- 47.
48. Karharju-Suvanto T, Peltonen J, Kahri A and Karharju EO: traction osteogenesis of the mandible. An experimental study on sheep. *J Oral Maxillofac Surg* 21:118, 1992.
49. Califano L, Cortese A, Zupi A and Tajana G: Mandibular lengthening by external distraction: An experimental study in rabbits. *J Oral Maxillofac Surg* 52:1179, 1994.
50. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, Matsuda S and Shimomura Y: Bone lengthening in rabbits by callous distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surgery* 70-B:543, 1988.

51. Delloye C, Delefortrie G, Costelier L and Vincent A: Bone regenerate formation in cortical bone during distraction osteogenesis. *Clin Orthop* 250:34, 1990.
52. Komuro Y, Takato T, Harii K and Yonemara Y: The histologic analysis of distraction osteogenesis of the mandible in rabbits. *Plast Reconstr Surg*. 94:1527 1994.
53. Aronson J: Temporal and spatial increases in blood flow during distr. osteogenesis. *Clin Orthop Rel Res* 301:1247 1994.
54. Leong JCY, Clark JA, Cornish LS and Yan ACMC: Viscoelastic behavior of tissue in leg lengthening by distraction. *Clin Orthop Rel Res* 139:102, 1979.
55. Ganey TM, Klotch DW, Sasse J, Odgen J and Garcia T: Evaluation of distraction osteogenesis by scanning electron microscopy. *Clin Orthop & Rel Res* 301:132, 1994.
56. Yagui N, Kojimoto H, Shimozi H and Shimomura Y: The effect of distraction upon bone, muscle and periosteum. *Orthop Clin North Amer* 22:563, 1991.
57. Block MS, Daire J, Stover J and Matthews M: Changes in the inferior alveolar nerve following mandibular lengthening in the dog using distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg*. 51:652, 1993.
58. Molina F and Ortiz-Monasterio F: Mandibular elongation and remodeling by distraction: A farewell to major osteotomies. *Plast Reconstr Surg* 96:825, 1995.
59. McCormick SU, McCarthy JG, Grayson BH, Staffenberg D and McCormick SA: Effect on mandibular distraction on the temporomandibular joint: Part 1 Canine Study. *J Craniofac Surg* 6:358, 1995.
60. McCormick SU, Grayson BH, McCarthy JG and Steffenberg D: Effect of mandibular distraction on the temporomandibular joint: Part 2, Clinical Study. *J Cran Surg* 6:364, 1995.
61. Snider CC, Levine GA, Swanson HM and Browne EZ: Mandibular lengthening by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 51:506, 1973.
62. McCarthy JG, Schrieber J, Karp N, Thorne CH, Grayson BH: Lengthening the human mandible by gradual distraction. *Plast Reconstr Surg* 89:1, 1992.
63. McCarthy JG: Mandibular bone lengthening. *Oper Tech Plast Reconstr Surg* 1:99, 1994.
64. McCarthy JG: The role of distraction osteogenesis in the reconstruction of the mandible in unilateral craniofacial microsomia. *Clin Tech Plast Surg* 1:105, 1994.
65. Ortiz-Monasterio F and Molina F: Mandibular distraction in hemifacial microsomia. *Oper Tech Plast Surg* 1:1057 1994.
66. Havlick RJ and Bartlett SP: Mandibular distraction lengthening in the severely hypoplastic mandible: A problematic case with tongue aplasia. *J Craniofac Surg* 5:305, 1994.
67. Habal MB: New bone formation by biologic rhythmic distraction. *J Craniofac Surg* 5:344, 1994.
68. Rachmiel A, Levy M and Laufer D: Lengthening of the mandible by distraction osteogenesis: Report of cases. *J Oral Maxillofac Surg* 53:838, 1995.
69. Siebert JW and Longaker MT: Microsurgical correction of facial asymmetry in hemifacial microsomia. *Oper Tech Plast Reconstr Surg* 1:93, 1994.
70. Janette AJ, Vicari FA, Bauer BS, Hollinger LD and Erickson MF: Treatment of upper airway obstruction secondary to mandibular deficiency by distraction osteogenesis. *J Oral Maxillofac Surg* 53 (suppl 4):967 1995.
71. Perrot DH, Berger R, Varjervik K and Kaban LB: Use of a skeletal distraction device to widen the mandible: a case report. *J Oral Maxillofac*

Surg 51:435, 1993.

72. Guerro C and Costasti G: Transverse Mandibular Deficiency in Bell WH (ed.): Modern Practice in Orthognathic and Reconstructive Surgery 3, Philadelphia, Saunders, 1992, p2383.

73. Guerro C and Bruzual L: Application spectrum of rapid mandibular expansion. Rev Venez Orthod 10:170, 1993.

74. Haas AJ: Rapid palatal expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. Angle Ortho 31:73, 1961.

75. Bell WH and Epker BN: Surgical orthodontic expansion of the maxilla. Am J Orthod 70:517, 1976.

76. Cleall JF, Bayne DI, Posen JM and Subtelny JD: Expansion of the midpalatal suture in the monkey. Angle Ortho 35:23, 1965.

77. Murray J McG and Cleall JF: Early tissue response to rapid maxillary expansion in the midpalatal suture of the rhesus monkey. Angle Ortho 50:1654, 1970.

78. Ekstrom C, Henrikson CO and Jensen R: Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. Am J of Orthod 71:449, 1977.

79. Haas AJ: Long term post-treatment evaluation of rapid palatal expansion. Angle Orthod 50:189, 1980.

80. Bishara SE and Staley RN: Maxillary expansion: Clinical implications. Am J of Orthod Dentofac Orthop 91:3, 1987.

81. Block MS and Brister GD: Use of distraction osteogenesis for maxillary advancement: preliminary results. J Oral Maxillofac Surg 52:282, 1994.

82. Block MS, Cervini D, Chang A and Gottsegen GB: Anterior maxillary advancement using tooth supported distraction osteogenesis. J Oral Maxillofac Surg 53:561, 1995.

83. Glat PM, Staffenberg DA, Karp NS, Holliday RA, Steiner GS and McCarthy JG: Multidimensional directional osteogenesis: The canine zygoma. Plast Reconstr Surg 86:399, 1990.

84. Lo AKM, Colcleugh RG, Allen L, Wyek LV and Bite U: The role of tissue expanders in an anophthalmic animal model. Plast Reconstr Surg 86:399, 1990.

85. Eppley BL, Holley S and Sadove AM: Intraorbital tissue expansion on orbitomaxillary growth in anophthalmos. Ann Plas Surg 31:19, 1993.

86. Rachmiel A, Potparic P, Jackson IT, Sugihara T, Clayman L, Topf JS and Forte RA: Midface advancement by gradual distraction. Br J Plas Surg 46:201, 1993.

87. Rachmiel A, Jackson IT, Potparic Z and Laufer D: Midface advancement in sheep by gradual distraction: A 1-year follow up study. J Oral Maxillofac Surg 53:525, 1995.

88. Robinson RC: (personal communications), 1995.

89. Persing JA, Babler WJ, Naorsky MJ, Edgerton MT and Jane JA: Skull expansion in experimental craniosynostosis. Plast Reconstr Surg 78:594, 1986.

90. Persing JA, Morgan EP, Cronin AJ and Wolcott WP: Skull base expansion: Cranifacial effects. Plast Reconstr Surg 87:1028, 1991.

91. Remmler D, McCoy FJ, O'Neil D, Willoughby L, Patterson B, Gerald K and Morris DC: Osseous expansion of the cranial vault by craniostasis. Plast Reconstr Surg 89:787, 1992.

92. Tschakaloff A, Loskin HW, Money MD, Siegel MI, Losken A and Swan J: Internal calvarial bone distraction in rabbits with experimental coronal suture immobilization. J Cranofacial Surg 4:177, 1993.

93. Baron CM, Ferder M, Jimenez DF, Grossman L, Hall C, Stauch B and Argamaso RV: Distraction of the frontal bone outside the cranial plane: A rabbit model. J Cranofac Surg 4:177, 1993.

94. Costantino PD, Shybut G, Friedman CD, Pelzer HJ, Manani M, Shindo

- ML and Sisson GA: Segmental mandibular regeneration by distraction osteogenesis: An experimental study. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 116:535, 1990.
95. Costantino PD and Fridman CD: Distraction osteogenesis. Applications for mandibular regrowth. Otolaryngol. Clinic North Amer 24:1433, 1991.
96. Costantino Pd, Friedman CD, Shind ML, Houston G and Sissons GA: Experimental mandibular regrowth by distraction osteogenesis. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 119:511, 1993.
97. Gantous A, Phillips JH, Cotton P and Holmberg D: Distraction osteogenesis in the irradiated mandible. Plast Reconstr Surg 93:164, 1994.
98. Gantous DJ, Goguen LA and Karmody CS: Distraction osteogenesis for reconstruction of mandibular symphyseal defects. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 120:911, 1994.
99. Suzanne U. McCormick, M.S., D.D.S.: Osteodistraction. Selected Readings in Oral and Maxillofacial Surgery. vol 4, num 7, Univ. of Texas. Dallas.
100. Martin Chin, DDS and Bryant A. Toth, MD: Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: J Oral Maxillofacial Surgery 54:45-53, 1996
101. Yan Razdolsky, DDS, Jay M. Pensler, MD, and Stuart Dessner, DMD: Skeletal distraction for mandibular lengthening with a completely intraoral tooth borne distractor; Abstract, submitted for Moyer's Distraction Symposium, Ann Arbor, MI, USA, 1997 American Association of Orthodontists, Philadelphia, PA, USA, 1997, and First International Congress of Distraction, Paris, France, 1997
102. Goldberg, D.P., Pensler, J.M., Lindell, B., and Carroll, N.C: Skeletal distraction for mandibular lengthening, Plast Surg Forum 16:217, 1994