

Commentary on: Periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) – a clinical dilemma

Un commentaire sur : le mouvement orthodontique accéléré par stimulation ostéogénique du parodonte – une alternative clinique

Itzhak BINDERMAN^{a,b,*}, Nasser GADBAN^b, Hila BAHAR^c, Avishai HERMAN^d, Avinoam YAFFE^c

^aDMD, Professor in Dentistry, 'Sackler' Faculty of Medicine and Department of Bio-Engineering, Department of Oral Biology, The Maurice and Gabriela Goldschleger School of Dental Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

^bDMD, Department of Prosthodontics, School of Dental Medicine, Hebrew University Hadassah, School of Dental Medicine, Jerusalem, Israel

^cDMD, MBA, PhD, 'Sackler' Faculty of Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

^dDMD, Department of Orthodontic, IDF Tel Hashomer, Israel

^eMS, DMD, Vice-Dean and Head of Teaching Curriculum Committee, Hebrew University Hadassah, School of Dental Medicine, Jerusalem, Israel

Available online: 23 August 2010 / Disponible en ligne : 23 août 2010

Summary

It is apparent that tooth movement is enhanced by procedures that elevate the remodeling of alveolar bone, and of periodontal and gingival fibrous tissues. The periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) also termed as Wilckodontics, involves full-thickness labial and lingual alveolar flaps accompanied with limited selective labial and lingual surgical scarring of cortical bone (corticotomy). Most of the authors suggest that the RAP is the major stimulus for alveolar bone remodeling, enabling the PAOO. However, we propose that detachment of the bulk of dentogingival and interdental fibers from coronal part of root surfaces by itself should suffice to stimulate alveolar bone resorption mainly on its PDL surfaces, leading to widening of the periodontal ligament space which largely attributes to accelerated osteogenic orthodontics. Moreover this limited fibrotomy also disrupts transiently the positional physical memory of dentition (PPMD), allowing accelerated tooth movement.

Résumé

Il est évident que les déplacements dentaires donnent de meilleurs résultats lorsqu'ils sont associés à des techniques qui améliorent le remodelage de l'os alvéolaire ainsi que des fibres gingivales et parodontales. Le mouvement orthodontique accéléré par stimulation ostéogénique du parodonte (MOASOP), également connu sous le nom de Wilckodontics, implique le recours à la levée de lambeaux de pleine épaisseur labiaux et linguaux associés à des rainures chirurgicales vestibulaires, linguales ou palatines réalisées de façon sélective et limitée sur l'os cortical (corticotomie alvéolaire). La plupart des auteurs soutiennent que le phénomène d'accélération régionale (en anglais regional acceleratory phenomenon, ou RAP) est le facteur principal qui stimule le remodelage de l'os alvéolaire, permettant ainsi le MOASOP. Nous pensons cependant qu'il devrait suffire de sectionner les fibres dentogingivales et supracrestales de la

*Correspondence and reprints / Correspondance et tirés à part.
e-mail address / Adresse e-mail : binderman.itzhak@gmail.com (Itzhak Binderman)

During retention period, a new biological and physical connectivity is generated that could be termed as new positional memory of the dental arch.

© 2010 CEO. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved

Key-words

- Periodontally accelerated osteogenic orthodontics.
- Strain reduction of gingival fibroblasts.
- Fiberotomy.
- Positional memory of dentition.

Introduction

Teeth are unique organs, which continuously are moving and changing position in the jaw to reach their final destination in the mouth. Tooth movement is a dynamic physiologic process that occurs throughout the development and function of human dentition, and it continues throughout lifetime albeit at a slower rate. The movement pattern of dentition is primarily established by the genetic programs of development, being also influenced by changes in their environment.

Dentition development starts by the invagination of the oral epithelium creating the dental lamina which determines the site and position of the teeth in the dental arch. Tooth buds develop inside the jaw tissue, followed by development of all tooth structures, until it reaches a peak where tooth crown and part of the root is formed. At specific times, signals of eruption begin the movement of the teeth toward their specific allocation in the mouth, until reaching the occlusion level. It is during this period that the development of the periodontium occurs providing an anchoring system of the teeth to alveolar bone and to marginal gingiva.

Orthodontists have used this natural phenomenon by superimposing external artificial force systems to align teeth into esthetic and functional positions. The orthodontic appliances and procedures were developed in conformance with Wolff's law that remodeling of bone and surrounding tissues is an adaptive biological response, to such external forces. It is well

partie coronale des surfaces radiculaires pour stimuler la résorption de l'os alvéolaire, surtout au contact du ligament parodontal. De cette façon, l'espace occupé par le ligament parodontal s'élargira, contribuant de manière significative au processus d'ostéogenèse orthodontique accélérée. Par ailleurs, cette fibrotomie partielle perturbe passagèrement la mémoire positionnelle physique des dents, ce qui permet une accélération du mouvement dentaire. Pendant la contention, la connectivité biologique et physique est régénérée, donnant naissance à ce qu'on peut appeler une nouvelle mémoire positionnelle au niveau de l'arcade dentaire.

© 2010 CEO. Édité par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Mots-clés

- Mouvement orthodontique accéléré.
- Stimulation ostéogénique du parodonte.
- Réduction de la tension sur les fibroblastes gingivaux.
- Fibrotomie.
- Mémoire de position dentaire.

Introduction

Les dents sont des organes uniques qui se déplacent et changent de position sans cesse sur l'arcade avant d'atteindre leur position finale dans la cavité buccale. Le mouvement dentaire est un processus physiologique dynamique qui se poursuit pendant tout le développement et le fonctionnement de la denture. Il se prolonge, d'ailleurs, tout au long de la vie, quoique à un rythme moins soutenu. Le schéma du mouvement dentaire est surtout déterminé par les programmes génétiques gouvernant le développement; il est également influencé par les changements ayant lieu dans l'environnement oral.

Le développement de la dentition commence avec l'invagination de l'épithélium buccal, ce qui donne naissance à la lame dentaire qui va déterminer le site et la position des dents sur l'arcade dentaire. Les germes des dents se forment dans les tissus des maxillaires. Ensuite, ce sont toutes les structures dentaires qui se développent progressivement jusqu'à la formation de la couronne dentaire et d'une partie de la racine. À des moments précis, des signaux déclenchent l'éruption de la dent et son mouvement vers son emplacement spécifique dans la cavité buccale avant d'atteindre son niveau occlusal. Pendant ce stade, le parodonte se développe, fournissant aux dents un système d'ancrage entre les dents, l'os alvéolaire et la gencive.

Les orthodontistes utilisent ce phénomène naturel en exerçant une force extérieure artificielle afin d'aligner les dents dans des positions à la fois esthétiques et fonctionnelles. Des appareils et des techniques orthodontiques ont été mis au point en conformité avec la loi de Wolff qui stipule que le remodelage de l'os et des tissus environnants est une réponse biologique

accepted that tensile forces applied on the periodontal ligament (PDL) produce alveolar bone apposition while compression of the periodontal tissue produces resorption of alveolar bone.

In recent years, conventional orthodontic appliances combined with periodontal surgical procedures, dramatically accelerated tooth movement and post-treatment stability of the dentition [1]. Treatment of a large group of adult patients using this modified surgical procedure which included corticotomy was reported in 1991 and was referred to as “corticotomy-facilitated orthodontics” [2]. The periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) technique benefited from the past work [2], however, it includes some unique modifications [1,3,4]. This PAOO also termed as Wilckodontics [1,3,4], involves full-thickness labial and lingual alveolar flaps accompanied with limited selective labial and lingual surgical scarring of cortical bone (corticotomy) [3,4], barely reaching into the medullary bone adjacent to the roots of the teeth intended for movement, thereby posing little threat to tooth vitality. The enhanced tooth movement encountered is attributed mainly to surgical wounding of the cortical bone [3,4], which in response produces a burst of localised hard tissue remodeling, described as regional accelerated bone remodeling phenomenon (RAP) [5]. The contribution of mucoperiosteum flap surgery by sulcular incisions made around all the teeth to RAP bone remodeling phenomena was suggested by us 15 years ago [6]. Collectively, these procedures are based on the fact that the osteoclastic activity to resorb the cortical lamina dura of the alveolar bone during bone turnover is the key element in defining the kinetics of tooth movement [4]. In fact, osteopenia is achieved, a condition which relates to thinning of bone mass, making this bone more pliable to orthodontic forces.

In the present article, we shall critically evaluate the contribution of the mucoperiosteum flap without the corticotomy procedure, to PAOO. The reflection of labial and lingual full-thickness flaps includes intrasulcular incisions made around all teeth, also termed fibrotomy. Here, we further propose that fibrotomy by itself is a major signal for activating alveolar bone resorption, allowing PAOO.

The contribution of mucoperiosteum flap to PAOO

The PAOO procedure includes the reflection of labial and lingual full-thickness flaps by sulcular incisions made around

adaptée à de telles forces extérieures. Il est largement reconnu que les forces de traction appliquées au ligament parodontal (LPD) déclenchent l'apposition d'os alvéolaire alors que la compression au niveau du tissu parodontal entraîne la résorption de l'os alvéolaire.

Ces dernières années, l'association d'appareils orthodontiques conventionnels et de techniques chirurgicales parodontales a accéléré de façon spectaculaire les déplacements dentaires tout en améliorant la stabilité des dents en fin de traitement [1]. En 1991, une étude a rapporté l'utilisation d'une technique chirurgicale modifiée comprenant une corticotomie (orthodontie assistée par corticotomie) [2] sur un nombre important de patients adultes. La technique, connue sous l'appellation « mouvement orthodontique accéléré par stimulation ostéogénique du parodonte » (MOASOP) [1,3,4] ou encore sous le nom de « Wilckodontics », a bénéficié de ce travail préalable [2] quoiqu'elle comporte quelques modifications spécifiques. Avec cette technique, des lambeaux de pleine épaisseur sont réclinés dans les zones vestibulaire, linguale ou palatine associés à des rainures chirurgicales limitées et sélectives de l'os cortical des deux côtés (corticotomie) [3,4]. Les rainures pénètrent à peine l'os médullaire avoisinant les racines des dents à déplacer, compromettant peu la vitalité dentaire. L'amélioration du mouvement dentaire observée est attribuée surtout à la scarification chirurgicale de l'os cortical [3,4] qui réagit en déclenchant un remodelage rapide du tissu dur localisé, mécanisme appelé phénomène de remodelage osseux régional accéléré (ou RAP en anglais) [5]. Nous avons proposé, il y a une quinzaine d'années, l'association de la chirurgie par lambeau mucopériosté utilisant des incisions sulculaires tout autour des dents au phénomène de remodelage osseux RAP [6]. Dans l'ensemble, ces techniques s'appuient sur le fait que l'activité ostéoclastique, qui résorbe la paroi de l'alvéole pendant le renouvellement osseux, est l'élément clé dans la cinétique du mouvement dentaire [4]. En effet, l'ostéopénie ainsi provoquée diminue l'épaisseur de la densité osseuse et rend l'os plus malléable sous l'effet des forces orthodontiques.

Dans cette étude, nous réaliserons une évaluation critique de la contribution apportée par le lambeau mucopériosté en l'absence de la corticotomie au MOASOP. La réalisation de lambeaux vestibulaires, linguaux et palatins de pleine épaisseur comprend des incisions intrasulculaires tout autour des dents, procédure qu'on appelle aussi fibrotomie circconférentielle. Par ailleurs, nous proposons ici que la fibrotomie à elle seule envoie un signal important pour l'activation de la résorption de l'os alvéolaire, permettant ainsi le déclenchement du MOASOP.

La contribution du lambeau périosté au MOASOP

Le MOASOP requiert la réalisation de lambeaux vestibulaires, linguaux et palatins de pleine épaisseur au moyen d'incisions

the teeth. We and others have described that a burst of osteoclastic alveolar bone and soft-tissue remodeling is attained even by only elevating a full-thickness flap, without surgical wounding of the cortical bone [7–9].

Furthermore, we have demonstrated that alveolar bone resorption commences only when the full-thickness flap surgery is performed by a coronal approach (sulcular incision), in contrast to an apical surgical approach where no significant alveolar bone remodeling occurred [8]. It seems that by separating the mucoperiosteum from the bone without disrupting the gingival attachment to root surfaces is not accelerating bone remodeling. By coronal surgical approach, dentogingival and interdental Sharpey fibers are cut and detached from the cementum, while in the apical surgical approach they are not [8].

The mucoperiosteum flap elevation surgery can be separated into two procedures which have different biological effects on bone remodeling: (a) surgical detachment of dentogingival and interdental fibers, producing a strong signal for osteoclastic alveolar bone resorption on the inner aspect of the PDL facing the tooth and (b) separation of mucoperiosteum from bone and corticotomy which produces a burst of regional bone remodeling, described by Frost as regional acceleratory phenomenon (RAP) [5,6].

The surgical separation of the mucoperiosteum from teeth and alveolar bone consists both of:

- detachment of the marginal gingiva from coronal part of root surface (fiberotomy),
- detachment of mucoperiosteum from buccal and lingual cortical bone plates of the jaws. The detachment or degradation, specifically of dentogingival or/and interdental fibers attached to root surfaces is leading to alveolar bone resorption along the PDL aspect, increasing the width of PDL space [8,9] (fig. 1). It is still plausible whether detachment of mucoperiosteum from buccal and lingual plates contributes to a RAP phenomenon leading to reduction of bone density.

In a recent paper, Sabeoun et al. [4] resumed that the expressed level of the RAP response would not be pervasive enough to enable rapid tooth movement. They are stating that in order to achieve accelerated tooth movement cortical bone injury is necessary and therefore the mucoperiosteal flap surgery is not valid [4]. On contrary, our studies suggest that the detachment of marginal gingiva by itself, dramatically induces remodeling of alveolar bone on the inner aspect of PDL, increasing this way the periodontal space allowing accelerated tooth movement. The surgery of the dentogingival and interdental fibers is producing an abrupt drop of fibroblasts strain which normally are under physiologic strain by their anchorage to the collagen Sharpey fibers. The gingival fibroblasts which abruptly lose their

sulculaires réalisées autour des dents. Nous-mêmes et d'autres avons décrit comment une poussée rapide d'os alvéolaire ostéoclastique et un remodelage des tissus mous peuvent être obtenus en réclinant simplement un lambeau de pleine épaisseur sans lésion chirurgicale apportée à l'os cortical [7–9].

Par ailleurs, nous avons démontré que la résorption de l'os alvéolaire ne commence que lorsque le lambeau de pleine épaisseur est récliné par abord coronal (incision sulculaire) à la différence de l'approche apicale qui ne déclenche pas de remodelage significatif de l'os alvéolaire [8]. Il semblerait que le fait de séparer les lambeaux mucopériostés de l'os sans perturber l'épithélium de jonction n'accélère pas le remodelage osseux. Avec l'approche coronale, dentogingivale et interdentaire, les fibres de Sharpey sont sectionnées et détachées du ciment alors que dans l'approche apicale, elles ne le sont pas [8].

La chirurgie avec élévation de lambeaux mucopériostés se divise en deux interventions qui ont des effets biologiques contrastés sur le remodelage osseux. D'une part, il y a le débridement chirurgical des fibres dentogingivales et interdentaires qui envoie un signal fort déclenchant la résorption ostéoclastique de l'os alvéolaire sur la face interne du LPD. D'autre part, il y a la séparation mucopériostée de l'os et la corticotomie, qui déclenchent un remodelage osseux régional rapide que Frost a dénommé le « phénomène régional d'accélération » (RAP) [5,6].

La séparation chirurgicale mucopériostée des dents et de l'os alvéolaire comprend :

- le décollement de la gencive marginale de la partie coronale de la surface radiculaire fibrotomie ;
- la séparation mucopériostée des corticales vestibulaire, linguale ou palatine sur les maxillaires. Le décollement des fibres dentogingivales et/ou interdentaires attachées aux surfaces radiculaires aboutit à une résorption de l'os alvéolaire à la surface du LPD, augmentant ainsi la largeur de l'espace parodontal [8,9] (Fig. 1). Il n'est toujours pas certain que le décollement mucopériosté des corticales vestibulaire, linguale ou palatine contribue à un phénomène de type RAP aboutissant à une réduction de la densité osseuse.

Dans une étude récente, Sebaoun et al. [4] ont rapporté que le niveau exprimé de la réponse RAP ne serait jamais suffisamment présent pour permettre le déplacement dentaire rapide. Ils affirment que pour réaliser un mouvement dentaire rapide il est nécessaire d'effectuer des lésions à l'os cortical et que, par conséquent, la chirurgie par lambeaux mucopériostés n'est pas valable [4]. En revanche, nos propres études suggèrent que le seul décollement de la gencive marginale induit de façon spectaculaire le remodelage de l'os alvéolaire à la surface intérieure du LPD, ce qui augmente l'espace parodontal et permet d'accélérer le mouvement dentaire. L'intervention réalisée sur les fibres dentogingivales et interdentaires produit une baisse brutale de la tension au niveau des fibroblastes qui, en temps normal, sont sous tension physiologique en raison

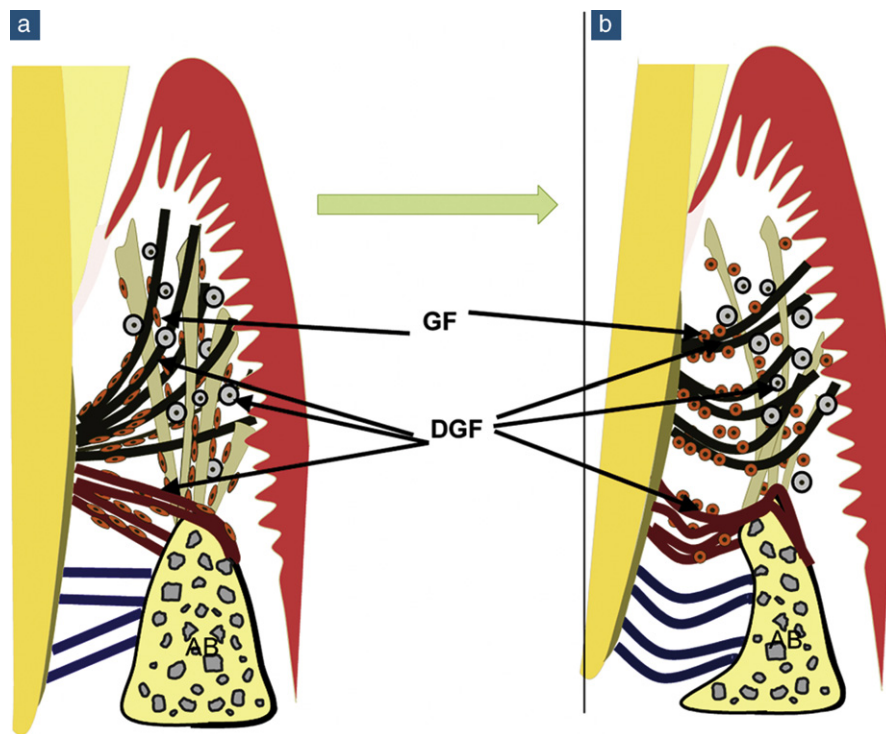


Fig. 1: The *fig. 1* describes the changes of dentogingival fibers (DGF), the changes of gingival fibroblasts (GF) and the changes in alveolar bone on the periodontal aspect toward the tooth pushed by orthodontic forces.

a: before tooth movement;

b: after a vector (arrow) is pushing a tooth. See that in (b) strain relaxation of DGF, rounding of GF and alveolar bone resorption.

Fig. 1 : La *fig. 1* décrit les changements au niveau des fibres dentogingivales (DGF), des fibroblastes gingivaux (GF) et les changements au niveau de l'os alvéolaire à la surface parodontale de la dent poussée par les forces orthodontiques.

a : avant le déplacement dentaire ;

b : après application d'un vecteur (flèche). Notez en (b) la relâchement de la tension des DGF, l'arrondissement des GF et la résorption de l'os alvéolaire.

physiological anchorage are signaling alveolar bone resorption. This alveolar bone resorption is not considered as RAP phenomenon, rather it is a specific trigger of the gingival fibroblasts. Grevstad [7] reported earlier that, while a coronal mucoperiosteum flap surgical procedure resulted in alveolar bone resorption, a gingivectomy surgical procedure which includes disruption of marginal gingiva from the root surfaces and then discarding of the detached marginal gingiva including cells, abolished alveolar bone resorption. We have recently confirmed these findings by demonstrating that discarding the marginal gingiva, including the cells, during surgical elevation of the mucoperiosteum prevented alveolar bone resorption and bone loss. Gomez-Raman [10] evaluated the amount of crestal bone loss of interproximal teeth next to single tooth implants, in patients undergoing single tooth implant surgery. He found that the alveolar crest resorption was significantly higher when coronal approach of full-thickness mucoperiosteum flap was performed in

de leur ancrage aux fibres de Sharpey. Les fibroblastes gingivaux, perdant de façon brutale leur ancrage physiologique, envoient un signal qui déclenche la résorption de l'os alvéolaire. Cette résorption d'os alvéolaire ne peut pas être considérée comme un phénomène RAP. Elle constitue plutôt un déclencheur spécifique des fibroblastes gingivaux. Grevstad [7] avait rapporté antérieurement que là où la chirurgie par lambeaux mucopériostés déclenchait la résorption de l'os alvéolaire, la gingivectomie avec décollement de la gencive marginale des surfaces radiculaire abolissait la résorption de l'os alvéolaire. Nous avons récemment confirmé ces résultats en montrant que le décollement de la gencive marginale, cellules incluses, lors de l'élévation chirurgicale mucopériostée empêchait la résorption de l'os alvéolaire et la perte osseuse. Gomez-Roman [10] a évalué la perte osseuse crestale au niveau des dents interproximales voisines d'implants dentaires unitaires chez des patients ayant subi une chirurgie pour implantation de dents unitaires. Il a trouvé

comparison to a full-thickness flap, which avoided the detachment of dentogingival fibers and tissue.

Altogether, these findings support the notion that surgical sectioning and separation of the marginal gingiva from the dental root surfaces, thereby disrupting the dentogingival fibers and the interdental fibers is the major trigger for alveolar bone resorption [11]. In fact, we have demonstrated that alveolar bone resorption as a result of fiberotomy was decreased significantly by preventing activity of extracellular ATP on gingival fibroblasts, in rats [12]. It seems that release of ATP from marginal gingival cells as a result of dentogingival fiber detachment by interacting with its purinoreceptors activates osteoclastic alveolar bone resorption [12,13].

We therefore propose that fiberotomy of dentogingival and interdental fibers should suffice to stimulate alveolar bone resorption, thus enabling accelerated orthodontic tooth movement. Although corticotomy may enhance the amount and scope of bone resorption, this procedure produces most probably unnecessary trauma.

We therefore claim that acceleration of orthodontic tooth movement can be achieved by surgical detachment of dentogingival and interdental fibers from the coronal root surface, exclusively.

Relapse: positional physical memory of the dentition pattern

Normally, when the process of tooth movement is achieved, the new architecture of the dentition and surrounding tissues is stabilized and maintained by retention procedures. However, relapse after orthodontic treatment, the undesirable tendency of teeth to return to their original position was shown to be unpredictable and episodic [14]. Yoshida et al. [15] found that during relapse an active remodeling of PDL and alveolar bone progresses rapidly. Several authors have advocated surgical fiberotomy as an adjunct to a retention orthodontic procedure, in the reduction of relapse tendency [16].

A major advantage of the PAOO procedure is that relapse after this orthodontic treatment is minimal. By fiberotomy, disruption of the fibrous and cellular connectivity between neighbor teeth and between teeth and marginal gingiva is attained. It is our hypothesis that the genetic positioning of teeth in the dental arch during development of occlusion and their interdental strained fibrous and cellular connectivity establishes a “positional physical memory of dentition” (PPMD). During PAOO treatment, loss of interdental mechanical connectivity results also in a transient loss of PPMD, thus allowing rapid change in alignment of teeth in the dental arch effectively.

que la résorption de la crête alvéolaire était beaucoup plus élevée lors d'une approche coronale avec lambeaux mucopériostés de pleine épaisseur par rapport à une intervention avec lambeaux pleine épaisseur qui ne détachait pas les fibres et les tissus dentogingivaux.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment l'idée que le sectionnement et le détachement de la gencive marginale des surfaces radiculaires, qui ont pour effet de perturber les fibres dentogingivales et supracrestales, constituent les éléments déclencheurs les plus importants en matière de résorption de l'os alvéolaire [11]. En effet, nous avons démontré, chez le rat, que la résorption alvéolaire diminuait fortement à la suite d'une fibrotomie qui empêchait l'action de l'ATP extracellulaire sur les fibroblastes gingivaux [12]. Il semblerait que la libération d'ATP à partir des cellules de la gencive marginale suite au détachement des fibres dentogingivales, et par interaction avec ses purinorécepteurs, active la résorption ostéoclastique de l'os alvéolaire [12,13].

Nous proposons, par conséquent, que la fibrotomie des fibres dentogingivales et supracrestales devrait suffire pour stimuler la résorption de l'os alvéolaire et permettre ainsi l'accélération du mouvement dentaire orthodontique. Bien que la corticotomie augmente la quantité et l'étendue de la résorption osseuse, cette technique produit des effets traumatisants sans doute inutiles.

Nous soutenons donc qu'une accélération du mouvement dentaire orthodontique peut être obtenue par la seule séparation des fibres dentogingivales et supracrestales de la surface du collet radiculaire.

Récidive : la mémoire physique positionnelle du schéma dentaire

Normalement, une fois le mouvement dentaire réalisé, la nouvelle architecture dentaire et les tissus environnants sont stabilisés et maintenus en place par des dispositifs de contention. Cependant, il a été démontré que la récidive orthodontique, à savoir, la tendance délétère des dents à vouloir regagner leur position initiale, est à la fois imprévisible et épisodique [14]. Yoshida et al. [15] ont trouvé que, lors d'une récidive, le LPD et l'os alvéolaire subissent un remodelage rapide. Pour réduire cette tendance à la récidive, plusieurs auteurs préconisent d'inclure une fibrotomie chirurgicale dans le déroulement de la contention orthodontique [16].

Le faible taux de récidive après ce type de traitement orthodontique représente un avantage majeur de la technique MOASOP. Grâce à la fibrotomie, la connectivité fibreuse et cellulaire entre les dents adjacentes et entre les dents et la gencive marginale a pu être interrompue. Nous postulons que la position génétique des dents sur l'arcade dentaire lors du développement de l'occlusion et les tensions inhérentes à leur connectivité cellulaire fibreuse et cellulaire interdentaire engendrent une « mémoire physique dentaire positionnelle » (MPDP). Pendant le traitement MOASOP, la perte de connectivité mécanique interdentaire induit également une

Later, during retention period, generation of a new fibrous and cellular physical connectivity between teeth is regained. A new positional physical memory of dentition (PPMD) is then attained with minimum of relapse.

The development of the PPMD starts by initiation of epithelial–mesenchymal interactions very early in development, which leads to formation of a dental lamina structure, at specific site in the upper and lower jaws of the oral cavity, this way establishing the genetic pattern of dentition in the adult. Later, a dental follicle surrounds each of the tooth buds in the jaws that is responsible for the eruption of the developed teeth in mammals, as demonstrated by the pioneering work of Marks Jr and Cahill [17]. We assume that from the time of induction and creation of dental lamina and all the way toward eruption and normal alignment of the dentition, a physical structural connectivity between the roots of the teeth, between the roots and marginal gingiva and between the roots and alveolar bone, in each jaw is established. This physical continuum of cell–cell and cell–matrix adherence is achieved mainly by local fibroblasts in the marginal gingiva and in the PDL. Because individual cells (both muscle and non-muscle) apply tractional forces on their fibrous extracellular matrix (ECM), a normal functional tonus also termed by Ingber as tensegrity develops [18,19]. This means that cells in the periodontium apply tractional physiological forces throughout the periodontium in a very organised fashion. Biologists have come to recognize that mechanical forces serve as important regulators at the cell and molecular levels, and that they are equally potent as chemical cues. Such tensegrity exists throughout the body in every tissue and organ (see review by Ingber) [19]. It is worthwhile to note that during root formation and tooth eruption four major tissues which compose the periodontium are generated in concert. Developmentally, the marginal gingiva is created and formed during tooth eruption, while the cementum, PDL, and alveolar bone are created during root development, being integrated at their interfaces. The marginal gingiva and papillae are the only regenerative tissues in the periodontium.

The microscopic nature of this structural connectivity is best described by Yamamoto et al. [20]. The anchored Sharpey collagen fibers (ECM) into the root cementum are surrounded by a network of fibroblasts strongly adhering to these fibers and adhere to each other creating a network of cells accompanying the fibers all the way to the periphery. The fibroblasts and collagen fibers, which extend from the cementum, create a very intimate physical and strong chemical attachment between the cells and the cementum surface, as well as tight cell surface attachments to the fibers. This bundles of collagen carrying a network of tense fibroblasts are running toward the

perte passagère de la MPDP, ce qui permet des modifications rapides et efficaces de l'alignement des dents sur les arcades. Plus tard, lors de la période de contention, la connectivité physique cellulaire et fibreuse se rétablit entre les dents. Une nouvelle MPDP est alors créée limitant au minimum le nombre de récives.

Le développement de la MPDP commence très tôt avec l'initiation des interactions épithéliomésenchymateuses. Ce processus aboutit à la formation de la lame dentaire à des sites spécifiques de la cavité orale au niveau des mâchoires supérieure et inférieure et établit ainsi le schéma génétique de la denture chez l'adulte. Plus tard, un follicule dentaire vient entourer chacun des germes dentaires dans les mâchoires. Ce follicule sera responsable de l'éruption des dents développées chez les mammifères, comme l'ont démontré les études novatrices de Marks Jr et Cahill [17]. Nous supposons, à partir du moment de l'induction et de la création de la lame dentaire et jusqu'à l'éruption et l'alignement normal de la denture, qu'il s'établit dans chaque maxillaire une connectivité structurelle physique entre les racines des dents, entre les dents et les gencives marginales et entre les racines et l'os alvéolaire. La continuité physique de cellule à cellule et l'adhésion cellule–matrice est réalisée principalement par des fibroblastes localisés dans la gencive marginale et dans le LPD. Comme les cellules individuelles (muscle et non-muscle) exercent des forces tractionnelles sur leur matrice fibreuse extracellulaire (MFE), il se développe un tonus fonctionnel normal qu'Ingber a nommé la tensegrité [18,19]. Cela signifie que les cellules parodontales exercent des forces tractionnelles physiologiques à travers l'ensemble du parodonte, et cela de façon très organisée. Les biologistes reconnaissent désormais que les forces mécaniques fonctionnent comme régulateurs essentiels aux niveaux moléculaire et cellulaire et qu'elles sont tout aussi puissantes que les stimuli chimiques. Ainsi, la tensegrité prévaut dans tout l'organisme au niveau de chaque tissu et organe (voir le compte rendu par Ingber) [19]. Il est intéressant de noter que pendant la formation des racines et l'éruption des dents, les quatre tissus importants qui constituent le parodonte sont générés en même temps. Vu sous l'angle développemental, la gencive marginale est générée et se forme pendant l'éruption dentaire, alors que le ciment, le LPD et l'os alvéolaire sont créés pendant le développement des racines et sont intégrés à leurs interfaces. La gencive marginale et les papilles sont les seuls tissus régénératifs au niveau du parodonte.

La meilleure description de cette connectivité structurelle est donnée par Yamamoto et al. [20]. Les fibres de collagène de Sharpey (ECM) ancrées au ciment radiculaire sont entourées d'un réseau de fibroblastes qui adhèrent fortement aux fibres ainsi qu'à eux-mêmes créant ainsi un maillage de cellules qui accompagnent les fibres jusqu'à la périphérie. Les fibroblastes et les fibres de collagène qui partent du ciment créent une adhésion chimique très intime et très forte entre les cellules et la surface du ciment aussi bien que des attaches étroites entre les cellules de surface et les fibres. Ces faisceaux de collagène portant un réseau de fibroblastes en tension se

neighbor teeth and mingle with similar fibers coming from the neighbor teeth (interdental fibers). Moreover, in the erupted teeth, bundles of collagen fibers (Sharpey fibers) run from the cementum of the cervical part of the root toward the papilla, toward the periosteum that is lining the alveolar bone, and toward the adjacent teeth. This cellular and fibrous structural matrix physical connectivity created by the genetic development and eruption of dentition can be considered as the memory of pattern of dentition (PPMD). As in any 3D structure, mechanical up or down loading of the teeth is transmitted across the above-described structural elements that are physically interconnected.

There is no doubt that the PDL plays a pivotal role in mediating between the alveolar bone and the root surface cellular network during physiological, iatrogenic and therapeutic tooth movement. The PDL cells have the capacity to regulate the tissue remodeling processes, and synthesize and resorb the matrices of alveolar bone, cementum, and the PDL itself. Unlike bone and PDL, which regain their original structure after removal of an applied mechanical force, the marginal gingiva tissue does not regain its pretreatment structure, possibly being associated with slow remodeling changes during and after application of orthodontic forces [21]. It is also apparent that tooth movement is enhanced by procedures that elevate the remodeling of alveolar bone, and of periodontal and gingival fibrous tissues. In fact, during PAOO treatment, the marginal gingival attachment to the root surface is disrupted, this way the tooth movement is not delayed since now it is strictly dependent only on PDL and alveolar bone remodeling. Therefore, it is reasonable to speculate that excessive orthodontic forces are not needed in PAOO treatment to achieve these accelerated rates of tooth movement. Moreover, this might be the reason that no significant apical root resorption is observed using this procedure.

In conclusion

The teeth in the dental arch are anchored both to marginal gingiva and to alveolar bone mechanically and biologically. When a force vector is applied on teeth, they are capable to move within the periodontal tissues, including alveolar bone and marginal gingiva. This movement is enhanced by procedures that elevate the remodeling of alveolar bone, and of periodontal and gingival fibrous tissues. It seems that the pace and activity of alveolar bone remodeling is much higher than that of marginal gingiva. Studies from our laboratory and others support the notion that fibrotomy of dentogingival and interdental fibers should suffice to stimulate alveolar bone resorption, thus, enabling accelerated orthodontic tooth movement.

prolongent jusqu'aux dents voisines et se mélangent à des fibres similaires provenant des dents adjacentes (fibres interdentaires). Par ailleurs, dans les dents évoluées, des faisceaux de fibres de collagène (fibres de Sharpey) partent du cément sur la partie cervicale de la racine vers la papille et le périoste recouvrant l'os alvéolaire et en direction des dents adjacentes. Cette connectivité physique de la matrice structurale cellulaire et fibreuse engendrée par le développement et l'éruption des dents constitue, pourrait-on dire, la mémoire du schéma de la denture. Comme dans toute structure tridimensionnelle, la mise en charge mécanique verticale des dents est transmise à travers les éléments structurels physiquement interconnectés mentionnés ci-dessus.

Il ne fait aucun doute que le LPD joue un rôle central dans la médiation entre l'os alvéolaire et le réseau de cellules à la surface des racines pendant tout mouvement physiologique, iatrogène ou thérapeutique. Les cellules du LPD ont la capacité de réguler les processus de remodelage tissulaire : elles synthétisent et résorbent les matrices de l'os alvéolaire, du cément et du LPD lui-même. À la différence de l'os et du LPD, qui reprennent leur structure initiale une fois arrêtée la force mécanique appliquée, les tissus de la gencive marginale ne retrouvent pas leur structure de début de traitement du fait, peut-être, qu'ils sont associés à un lent processus de remodelage pendant et après l'application de forces orthodontiques [21]. Il est également évident que le mouvement dentaire se trouve facilité du fait de techniques qui améliorent le remodelage de l'os alvéolaire ainsi que des tissus fibreux gingivaux et parodontaux. En effet, pendant le traitement par MOASOP, la connexion entre la gencive marginale et la surface radiculaire est interrompue de telle sorte que le mouvement dentaire n'est plus freiné puisqu'il ne dépend désormais que du remodelage du LPD et de l'os alvéolaire. Il est loisible, par conséquent, de spéculer que des forces orthodontiques excessives ne sont pas nécessaires dans le traitement par MOASOP afin d'atteindre cette accélération du mouvement dentaire. De plus, il se peut que ce soit justement pour cette raison qu'aucune résorption de la racine apicale n'est relevée pendant ce procédé.

Conclusion

Les dents sur les arcades dentaires sont ancrées mécaniquement et biologiquement à la fois aux gencives marginales et à l'os alvéolaire. Lorsqu'un vecteur de force s'exerce sur les dents, celles-ci sont en mesure de se déplacer à l'intérieur des tissus parodontaux, y compris l'os alvéolaire et la gencive marginale. Ce mouvement est accéléré au moyen de techniques qui améliorent le remodelage de l'os alvéolaire et des tissus fibreux parodontaux et gingivaux. Il semblerait que la vitesse et l'activité du remodelage de l'os alvéolaire soient beaucoup plus élevées que celles observées pour la gencive marginale. Les études conduites dans notre laboratoire et dans d'autres confirment l'idée qu'une fibrotomie réalisée sur les fibres dentogingivales et interdentaires

devrait suffire pour stimuler la résorption de l'os alvéolaire, permettant ainsi d'accélérer le déplacement dentaire orthodontique.

Conflict of interest statement

None.

Conflits d'intérêt

Aucun.

References/Références

1. Wilcko WM, Ferguson DJ, Bouquot JE, Wilcko T. Rapid orthodontic decrowding with alveolar augmentation: case report. *World J Orthod* 2003;4:197-205.
2. Suya H. Corticotomy in orthodontics. In: Hosl E., Baldauf A. (Eds.), *Mechanical and biological basics in orthodontic therapy*. Hütlig Buch, Heidelberg, Germany, 207–26.
3. Sebaoun JD, Ferguson DJ, Wilcko MT, Wilcko WM. Alveolar osteotomy and rapid orthodontic treatments. *Orthod Fr* 2007;78(3):217–25.
4. Sebaoun JD, Kantarci A, Turner JW, Carvalho RS, Van Dyke TE, Ferguson DJ. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J Periodontol* 2008;79(9):1679–88.
5. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop Relat Res* 1989;248:283–9 [Review].
6. Yaffe A, Fine N, Binderman I. Regional accelerated phenomenon in the mandible following mucoperiosteal flap surgery. *J Periodontol* 1994;65(1):79-83.
7. Grevstad HJ. Doxycycline prevents root resorption and alveolar bone loss in rats after periodontal surgery. *Scand J Dent Res* 1993;101(5):287–91.
8. Binderman I, Adut M, Zohar R, Faibish D, et al. Alveolar bone resorption following coronal versus apical approach in a mucoperiosteal flap surgery procedure, in the rat mandible. *J Periodontol* 2001;72(10):1348–53.
9. Kaynak D, Meffert R, Günhan M, Günhan O, Ozkaya O. A histopathological investigation on the effects of the bisphosphonate alendronate on resorptive phase following mucoperiosteal flap surgery in the mandible of rats. *J Periodontol* 2000;71(5):790–6.
10. Gomez-Roman G. Influence of flap design on peri-implant interproximal crestal bone loss around single tooth implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16(1):61–7.
11. Binderman I, Bahar H, Yaffe A. Strain relaxation of fibroblasts in the marginal periodontium is the common trigger for alveolar bone resorption: a novel hypothesis. *J Periodontol* 2002;73(10):1210–5.
12. Binderman I, Bahar H, Jacob-Hirsch J, et al. P2X4 is up-regulated in gingival fibroblasts after periodontal surgery. *J Dent Res* 2007;86(2):181–5.
13. Hoebertz A, Arnett TR, Burnstock G. Regulation of bone resorption and formation by purines and pyrimidines. *Trends Pharmacol Sci* 2003;24(6):290–7.
14. Franzen TJ, Brudvik P, Vandeska-Radunovic V. Supporting dental tissue changes during relapse in rat molars. In: Davidovitch Z., Suthanarak S. (Eds.), *Biological mechanisms of tooth eruption, resorption and movement*. Harvard Society for the Advancement of Orthodontics, Boston, MA, USA p. 341–8.
15. Yoshida N, Jost-Brinkmann PG, Koga Y, Mimaki N, Kobayashi K. Experimental evaluation of initial tooth displacement, center of resistance, and center of rotation under the influence of an orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120(2):190–7.
16. Edwards JG. A long-term prospective evaluation of the circumferential supracrestal fiberotomy in alleviating orthodontic relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93(5):380–7.

17. Cahill DR, Marks Jr. SC. Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle. *J Oral Pathol* 1980;9(4):189-200.
18. Ingber DE. Tensegrity: the architectural basis of cellular mechanotransduction. *Annu Rev Physiol* 1997;59:575–99.
19. Ingber DE. Mechanobiology and diseases of mechanotransduction. *Ann Med* 2003;35(8):564–77.
20. Yamamoto T, Domon T, Takahashi S, Islam N, Suzuki R, Wakita M. The structure and function of periodontal ligament cells in acellular cementum in rat molars. *Ann Anat* 1998;180(6):519–22.
21. Redlich M, Shoshan S, Palmon A. Gingival response to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116(2):152–8.