

Méthode non invasive d'évaluation d'un substitut osseux injectable

François Bodic^{a*}, Yves Amouriq^a, Marie Gayet-Delacroix^b, Olivier Gauthier^c, Jean-Michel Bouler^a, Guy Daculsi^a, Luc Hamel^a

^a Inserm 99 03, Centre de recherche sur les matériaux d'intérêt biologique, faculté de chirurgie dentaire, 1, place Alexis-Ricordeau, 44042 Nantes cedex, France

^b Service de radiologie centrale et d'imagerie médicale, CHU, Place Alexis-Ricordeau, 44042 Nantes cedex, France

^c École nationale vétérinaire de Nantes, route Gachet, 44300 Nantes, France

Reçu le 18 juillet 2001 ; accepté le 4 octobre 2001

Présenté par Michel Thellier

Abstract – Non-invasive evaluation of an injectable bone substitute. Despite the increasing number of techniques for the preservation of bone ridges after dental avulsion, no precise evaluation of alveolar filling has been performed to date. The criteria of available measurement techniques (probes, retroalveolar or panoramic radiography, and lateral telerradiography) are not sufficiently reliable and precise. This study investigated the reliability of evaluation based on CT images in comparison with retroalveolar radiography (the most precise radiographic technique, providing standardised images), direct measurements, and images obtained in scanning electron microscopy. After a preliminary investigation *ex vivo*, a study was performed *in vivo* on three beagles. Mandibular premolars were extracted, and the corresponding alveoli were filled with an injectable bone substitute composed of a calcium phosphate mineral load associated with hydroxypropyl methylcellulose. Measurements performed on CT images relative to visual and automatic detection of density changes and studies of density curves provided better precision than those obtained by retroalveolar radiography. *To cite this article: F. Bodic et al., C. R. Biologies 325 (2002) 345–353.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

computed tomography / injectable calcium phosphate / alveolar filling / dogs

Résumé – Malgré la multiplication des techniques de préservation et de maintien des crêtes osseuses après avulsion des dents, l'évaluation précise des comblements alvéolaires n'a pu être effectuée à ce jour. Les techniques disponibles, mesures par sondage, radiographies rétro-alvéolaires ou panoramiques et téléradiographies de profil ne présentent pas de critères de fiabilité et de précision suffisants. L'étude présentée détermine les possibilités et la fiabilité d'une évaluation grâce à des images issues de coupes tomодensitométriques. Ces images sont comparées à des radiographies rétro-alvéolaires (technique radiographique la plus précise : radiographies standardisées), des mesures directes et des images obtenues en microscopie électronique à balayage. Après une étude préliminaire *ex vivo*, une expérimentation *in vivo* est réalisée sur trois chiens de race Beagle, comprenant les extractions des prémolaires mandibulaires suivies de comblement des alvéoles correspondantes par un substitut osseux injectable (IBS) composé d'une charge minérale phosphocalcique associée à de l'hydroxypropylméthylcellulose. Les mesures effectuées sur les images tomодensitométriques par repérage visuel des structures et repérage automatique sur des changements de densité, et les études des courbes de densités apportent une meilleure précision que celles obtenue sur des radiographies rétro-alvéolaires. *Pour citer cet article : F. Bodic et al., C. R. Biologies 325 (2002) 345–353.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

tomодensitométrie / phosphate de calcium injectable / comblement alvéolaire / chiens

*Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : Francois.bodic@sante.univ-nantes.fr (F. Bodic).

Abridged version

1. Introduction

Despite the increasing number of procedures used for the preservation and augmentation of bone ridges after dental avulsion, no precise evaluation of alveolar filling has been performed to date. The criteria of available measurement techniques (probes, retroalveolar or panoramic radiography, and lateral teleradiography) are not sufficiently reliable and precise.

This study investigated the feasibility and reliability of evaluation based on computed tomography (CT) images in comparison with retroalveolar radiography (the most precise radiographic technique, providing standardised images), direct measurements, and scanning electron microscopy (SEM) images.

2. Materials and methods

After preliminary investigations *ex vivo*, a study was performed *in vivo* on three beagles. Three mandibular premolars were extracted, and the corresponding alveoli were filled with an injectable bone substitute composed of a calcium phosphate mineral load (hydroxyapatite + β tricalcium phosphate) associated with hydroxypropyl methylcellulose (HPMC). One side was filled and the other left unfilled to serve as a control. A calibrated lacuna was made in the vestibular wall of the second and third premolars.

CT images were obtained during brief general anaesthesia on a spiral mode scanner and studied in image analysis. Sections were observed directly after reorientation and then processed to obtain the best definition of bone contours and to perform distance and density measurements. A repositioning device was developed, using titanium wires as reference points to guide the reorientation. Height, width and density measurements were performed. Examinations were conducted before, one week after, and two months after extractions, and the measurements obtained were compared. The data were grouped in recapitulative tables and processed statistically and by Student tests.

Retroalveolar radiography (Agfa Dentatus M2[®] films) was performed with a Matig[®] generator (Trophy) at the beginning and end of general anaesthesia for extractions and then two months later. The images were standardised by a repositioning system and strictly identical processing. The radiographs were observed directly on a viewer and then with a magnifying glass before being digitised (Epson film scan[®]) for study on an image analyser. Tools were used to measure length and density.

The dogs were sacrificed two months after extractions and fillings, and alveoli were removed for SEM studies.

3. Results

A study performed on dry skull determined the acquisition parameters for CT images and the reliability of the procedure.

Measurements were obtained after image acquisition, reorientation and preparation. The results for each measurement technique (mean and standard deviation) are indicated in tables and then summarised in other recapitulative tables to compare ridge heights at the different experimental time-points.

Measurement reliability was assessed by comparing the diameters of the drills used to perform vestibular lacunae with the mean width of the lacuna on CT sections. Mean width was 2.47 mm for a drill diameter of 2.50 mm in the upper part of the lacuna, and 2.13 mm for a drill diameter of 2.00 mm in the lower part.

All measurements were performed using a reorientation for all alveoli on the same side. This reduced the reliability of reorientation as compared to a structure-by-structure procedure, but saved image-processing time. The mean standard deviation for all measurements was 0.14, and there were large standard deviations for some of the measurements performed at two months and for one dog at the level of the right half of the mandible. If these large deviations are eliminated, the mean standard deviation becomes 0.12. In 74% of cases, the standard deviation was greater for direct measurement than for density measurement, and the mean difference between the two measurement systems was 0.06 mm. Direct observation of images failed to give the precision expected. Density profiles provided a first approximation of scar tissue density, but were not informative about the quality of the tissue formed.

Analysis of retroalveolar radiographs raised a number of interpretation difficulties. All the alveoli treated were not visible, and the measurements obtained showed greater standard deviations than in CT image analysis. The densities obtained were always greater after two months of healing in filled than in unfilled alveoli.

The first studies of SEM images seemed to show a greater bone volume on the filled side in transverse sections through the middle of the lacuna. These images revealed non-electron-dense zones in alveoli on both filled and unfilled sides. After two months, only a small amount of ceramic granules were observed in close contact with the calcified tissue formed within filled alveoli.

4. Discussion

Various histological studies that provide reliable evaluation and are ordinarily used for animal experimentation are impracticable in man because of the impossibility of obtaining systematic samples.

Techniques based on CT sections have previously been reported for evaluation of alveolar fillings in the maxilla. However, the repositioning of CT images leads to imprecision in measurements.

Thus, the reliability and reproducibility of measurements depends on the precision of reorientation. Two months after extractions and fillings, some measurements could not be made because of the lack of difference in grey level between the alveolar zone and adjacent bone. Moreover, it was not clear in these images that the scar tissue formed was actually bone. Measurements showed that the reduction in the height of alveolar ridges was always greater on the unfilled side. The acquisition parameters were programmed to favour the reliability of measurements in millimetres, but to the detriment of density measurements. As the superposition of structures on radiographs masks some details, modified density differences and volumes must

be sizeable to be visualised. Nonetheless, this superposition provides an overall notion of volume that is not apparent on thin CT sections.

The three analytic techniques described here gave concordant results, even though the parameters considered were not exactly the same. Only histology can allow complete assessment of filling results, but this technique is not feasible in man. Therefore, CT-scan is the most suitable evaluation technique among the different methods that can be used to obtain clinical results.

5. Conclusion

This study provides a first approach to using CT-scan for quantitative evaluation of alveolar filling. The measurements were more precise (within 0.36 mm) than those obtained by retroalveolar radiography (0.4 mm in the best cases). In the present state of our research, the study of density profiles did not allow identification of tissues, but localised non-mineralised zones invisible in radiography. Advances in image analysis software should provide further improvement in the reliability of the results.

1. Introduction

De nombreuses techniques de comblement alvéolaires ont été expérimentées dans le but de préserver au maximum la hauteur des crêtes osseuses après extraction. Les biomatériaux utilisés sont d'origine humaine (autogreffes...), animale ou végétale. La tendance est à leur remplacement par des biomatériaux synthétiques pour assurer une plus grande sécurité et une meilleure disponibilité. Parmi ceux-ci, les céramiques phosphocalciques ont prouvé leur biocompatibilité et leur efficacité dans la préservation du capital osseux. Cette préservation est en effet un souci permanent des praticiens pour pouvoir réaliser les prothèses les plus aptes à remplir leur rôle fonctionnel et esthétique [1–4]. Mais l'évaluation clinique des résultats de ces techniques de préservation osseuse ne répond à aucun protocole précis à ce jour [5]. La résorption de l'os alvéolaire a été étudiée par de nombreux auteurs [1, 3, 6, 7], principalement à partir de téléradiographies de profil à 4 m [8–11], de radiographies panoramiques [12] et de radiographies rétro-alvéolaires [5, 13, 14]. Ces techniques, mesurant des hauteurs, présentent toutes des imperfections et des imprécisions, mais il n'existe actuellement aucune autre méthode non invasive utilisable chez l'homme [15–22].

Le but de ce travail est d'apprécier les possibilités et la fiabilité d'une évaluation sur coupes tomodynamométriques, complétant ou remplaçant les méthodes habituellement utilisées.

2. Matériels et méthode

Après une étude *ex vivo* sur tête de chien et crâne sec, des comblements d'alvéoles sont réalisés après extractions de prémolaires chez trois chiens de race Beagle. Des images tomodynamométriques sont réalisées immédiatement avant et après, puis deux mois après extraction et comblement.

2.1. Biomériau

Le matériau de comblement utilisé est un substitut osseux injectable (*Injectable Bone Substitute*, IBS), associant une charge minérale sous forme de grains (phosphate de calcium biphasique : hydroxyapatite 60% + phosphate tricalcique β 40%) à un polymère (hydroxypropylméthylcellulose E4M® en solution aqueuse à 3%) [23–26]. Le biomériau est conditionné en seringues à usage unique prêtes à l'emploi, stérilisées et emballées en sachets hermétiquement clos.

2.2. Protocole chirurgical

Les extractions et les comblements sont effectués sur trois chiens de race Beagle (provenant d'un élevage agréé auprès des Services vétérinaires pour l'expérimentation animale); la stabulation se fait conformément aux recommandations de la directive européenne 86/609/CEE du 24 novembre 1986. Trois prémolaires mandibulaires sont extraites sur chaque hémi-mandibule, un côté étant comblé; l'autre, non comblé, sert de témoin [25]. On réalise sur quatre alvéoles dans la paroi vestibulaire des deuxièmes et troisièmes prémolaires une lacune calibrée avec une fraise orientée dans le grand axe de l'alvéole. Ces lacunes donnent une référence de longueur et de hauteur pour permettre d'apprécier la fiabilité des mesures effectuées à partir des images tomодensitométriques.

2.3. Images tomодensitométriques

Les images tomодensitométriques sont obtenues à partir d'un scanner à acquisition hélicoïdale et étudiées sur une console SUN équipée d'un logiciel d'analyse Easy Vision CT/MR Version 2® (Philips Medical System Nederland BV 1996). L'examen est réalisé lors d'une courte anesthésie générale, induite par l'injection par voie intraveineuse d'une association de kétamine (Imalgène®, Merial SAS, Lyon, France) et de xylazine (Rompun®, Bayer Pharma, Puteau, France). Les coupes sont observées directement après réorientation (fenêtre de densité large : 2000 unités Hounsfield, centrée sur 400 UH), puis traitées pour obtenir la meilleure définition des contours osseux et effectuer des mesures de distance et de densité (fenêtre large : 2200 UH centrée sur 1100 UH). Les coupes tomодensitométriques étant orientées en fonction de la position du chien au moment de l'acquisition, il est nécessaire de les réorienter de manière à effectuer les mesures toujours au même endroit. La réorientation se fait par alignement de points anatomiques dans les trois plans de l'espace. Une gouttière de repositionnement a été mise au point avec des fils de repères en titane, permettant de contrôler cette réorientation.

Les mesures effectuées sont des mesures de hauteur, de largeur et de densité. Dix mesures ont été effectuées pour chaque structure, l'une par repérage direct avec un curseur, l'autre grâce au repérage par changement de densité, sur cinq réorientations successives des coupes. Ces examens sont effectués avant, huit jours après, et deux mois après extraction. Les mesures effectuées sont comparées entre les différents examens. Les résultats sont regroupés dans des tableaux récapitulatifs et traités par statistiques et tests de Student. L'acquisition des images et l'examen se font dans des conditions prédéterminées toujours identiques (Thickness 1.0, MA

175 mA, KV 100, ScanTime 1.0, FOV 195, Filter 2, Matrix 512, Delay Time 4, BAC on, Auto zoom on, No of rot 60, Table index 0.5, Recon index 0.3, Seq index 00).

2.4. Images radiologiques

Les radiographies rétro-alvéolaires (films Agfa Dentatus M2®) sont effectuées avec un générateur type Matig® (Trophy), au début et à la fin de l'anesthésie générale réalisée pour les extractions, puis après deux mois. Elles sont standardisées grâce à un système de repositionnement et un traitement toujours identique, comme cela est habituellement décrit dans la littérature [15, 17–20, 27]. Le système de repositionnement est constitué d'une plaque de résine PMMA (polyméthacrylate de méthyle), s'appuyant sur les pointes des cuspidés des canines et celles des cuspidés centrales des premières molaires. Le support des radiographies provient d'un système de RINN® modifié, dont le bras angulateur est solidaire du générateur radio. Cet ensemble permet de respecter toujours la même distance et la même angulation entre le faisceau de rayons X, le film et l'objet, ainsi qu'entre l'objet et le film lui-même. Le développement se fait manuellement, selon un protocole standardisé, dans des bains thermostatés de révélateur et de fixateur (Periomat® Durr Dental) renouvelés à chaque fois, en respectant les temps préconisés par le fabricant. Les radiographies sont observées directement sur un négatoscope, puis à la loupe; elles sont ensuite numérisées (Epson Film Scan®) pour être étudiées sur un poste d'analyse d'images PC Quantinet 500 MC® (Leica, Cambridge). Les outils utilisés sont ceux de mesure de longueur et de densité.

2.5. Images obtenues en microscopie électronique à balayage

Les chiens sont euthanasiés deux mois après extraction et comblement, par injection intraveineuse de pentobarbital sodique surdosé. Les mandibules sont immédiatement prélevées et placées dans un milieu fixateur à base de paraformaldéhyde. L'axe des alvéoles est repéré par des microradiographies; l'ensemble est préparé pour une observation en microscopie électronique à balayage par électrons rétrodiffusés (MEB JSM 6300, Jeol, Japon). Les images obtenues sont analysées après numérisation sur le poste d'analyse d'images PC Quantimet 500 MC (Leica, Cambridge, Royaume-Uni).

3. Résultats

3.1. Expérimentation ex vivo

Une étude a été réalisée sur crâne sec pour déterminer les paramètres d'acquisition à utiliser après extrac-

Tableau 1. Reproductibilité des mesures, repérage direct.

Réorientation	1	2	3	4	5	Moyenne
Largeur	6,60	6,50	6,60	6,40	6,50	6,52
Longeur	12,30	12,50	12,50	12,40	12,50	12,44

Tableau 2. Reproductibilité des mesures, repérage par densité.

Réorientation	1	2	3	4	5	Moyenne
Largeur	6,40	6,60	6,60	6,50	6,50	6,52
Longeur	12,30	12,40	12,50	12,40	12,40	12,40

tion et comblement. Les résultats obtenus sont indiqués dans le protocole d'acquisition cité au chapitre précédent.

Les images tomodensitométriques obtenues ont été analysées afin de déterminer la reproductibilité des mesures effectuées (Tableaux 1 et 2 ; Figs. 1–3).

3.2. Expérimentation in vivo

3.2.1. Images tomodensitométriques

Les mesures sont effectuées après acquisition, réorientation et préparation de l'image. Les résultats pour

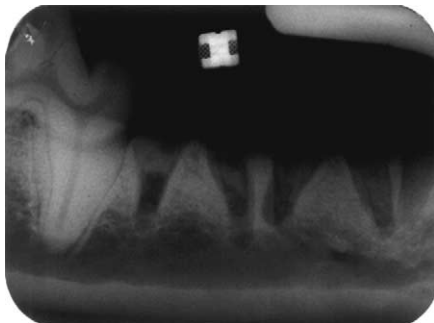


Fig. 1. Racine mésiale de la première prémolaire intéressée par l'étude sortant du champ de la radiographie.

chaque technique de mesure, avec moyenne et écart type, sont regroupés dans des tableaux. Ils sont ensuite regroupés dans des tableaux récapitulatifs pour comparer les hauteurs aux différents temps de l'expérimentation (Tableaux 3 ; Figs. 4 et 5).

La fiabilité des mesures peut être appréciée par la comparaison entre les mesures du diamètre de la fraise ayant servi à effectuer les lacunes vestibulaires et la moyenne de la largeur de la lacune, mesurée sur les coupes tomodensitométriques. Dans la partie haute de la lacune, la largeur moyenne est de 2,47 mm pour un diamètre de la fraise de 2,50 mm. Dans la partie basse, la largeur moyenne est de 2,13 mm pour un diamètre de la fraise de 2,00 mm.

L'ensemble des mesures est effectué avec une réorientation pour toutes les alvéoles d'un même côté. La fiabilité de la réorientation est alors diminuée par rapport à une réorientation structure par structure, mais permet un gain de temps pour le traitement des images. L'écart type moyen pour l'ensemble des mesures est de 0,14, avec des écarts types importants pour certaines mesures effectuées à deux mois, ainsi que pour un chien au niveau de l'hémimandibule droite. Si on élimine ces

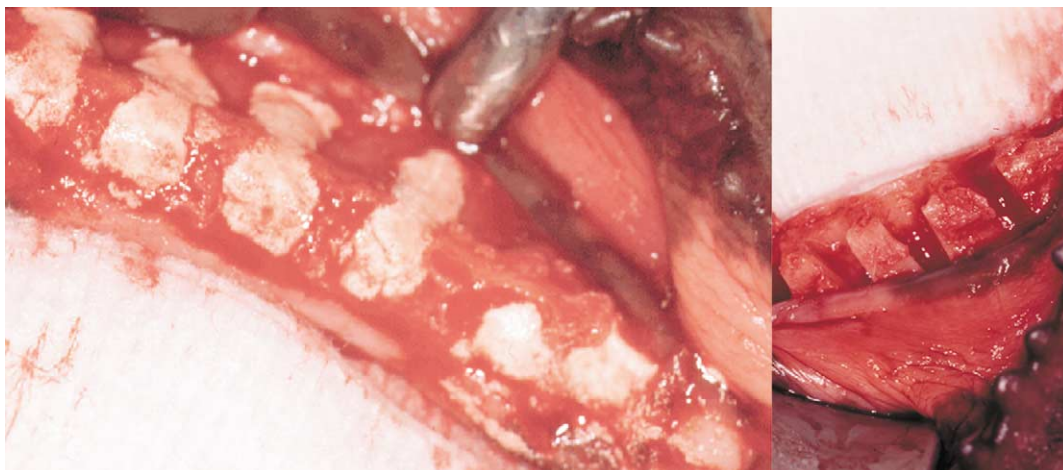


Fig. 2. Alvéoles avec lacune vestibulaire calibrée : comblées et non comblées.

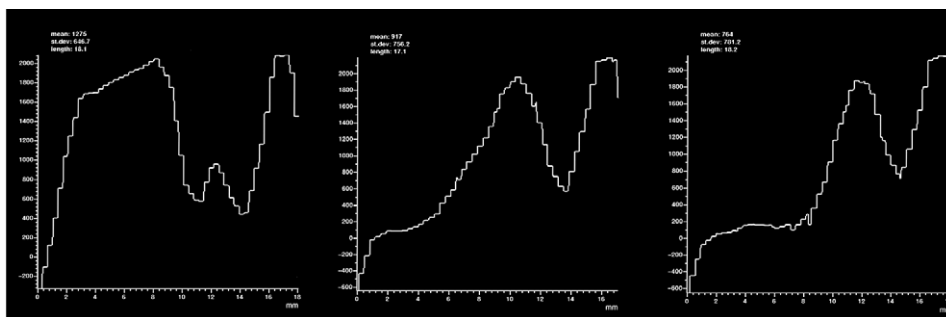


Fig. 3. Profils de densité correspondant à la coupe précédente.

valeurs extrêmes, on a alors un écart type moyen de 0,12. On remarque que, dans 74% des cas, l'écart type est supérieur dans la technique de mesure directe par rapport aux mesures par densité. Dans 75% des cas, la mesure effectuée directement par l'opérateur est supérieure à la mesure par densité. La différence de moyenne entre les deux méthodes de mesure est de 0,06 mm.

L'observation directe des images tomodynamométriques donne des résultats qui semblent contradictoires entre les différents chiens, et ne permet pas d'apporter des conclusions quant à l'évaluation des comblements. On note, sur les images obtenues 8 jours après comblement, et deux mois après, une fuite du biomatériau en dehors des alvéoles.

L'observation des profils de densité permet par comparaison avec ceux d'un septum osseux voisin (toujours le même) d'avoir une première approximation de la densité du tissu cicatriciel, mais ne permet pas d'apporter d'élément sur la qualité du tissu formé. On note sur ces profils un effondrement de la courbe de densité au sein des alvéoles comblées et non comblées, montrant des espaces non colonisés par un tissu dense aux électrons. Cependant, les courbes de densité nous montrent, après deux mois de cicatrisation, une densité très proche du tissu osseux voisin dans les alvéoles comblées, et légèrement inférieure du côté non comblé.

3.2.2. Radiographies rétro-alvéolaires

L'analyse des radiographies rétro-alvéolaires met en évidence un certain nombre de difficultés d'interprétation. Toutes les alvéoles traitées ne sont pas visibles. Les mesures obtenues montrent des écarts nettement plus importants que dans l'analyse des images tomodynamométriques. Les densités obtenues sont toujours plus élevées après deux mois de cicatrisation dans les alvéoles comblées par rapport aux alvéoles non comblées.

3.2.3. Images en microscopie électronique à balayage

Les premières études des images obtenues par microscopie électronique à balayage semblent mettre en

évidence, sur des coupes transversales passant par le milieu de la lacune, un volume osseux plus important du côté comblé. On distingue sur ces images des zones non denses aux électrons situées dans les alvéoles, tant du côté comblé que du côté non comblé. Il ne reste, après deux mois, qu'une faible quantité de grains de céramique dans le tissu calcifié formé au sein des alvéoles comblées. Les grains restants à ce niveau sont en contact intime avec le tissu formé.

4. Discussion

La conservation maximale de tissu osseux après extraction est une priorité pour tout praticien. Mais les extractions, même atraumatiques, sont toujours suivies d'une résorption plus ou moins importante [2–4, 8, 10]. Le comblement des sites d'extraction par un biomatériau apte à diminuer la perte osseuse est aujourd'hui classiquement décrit. L'ensemble de la littérature montre l'intérêt des céramiques de phosphate de calcium [11, 12, 14, 28, 29]; leur utilisation sous forme injectable [25, 26] facilite la manipulation.

Les différentes études histologiques donnent une évaluation fiable, et sont effectuées habituellement pour l'expérimentation animale [22, 28, 29]. Mais elles sont cependant irréalisables chez l'homme, du fait de l'impossibilité d'effectuer des prélèvements systématiques. Les différentes possibilités d'évaluation des résultats cliniques, observation clinique, mesures par sondage, radiographies rétro-alvéolaires, panoramiques ou téléradiographies de profil classiquement décrites présentent toutes des inconvénients non négligeables. Des techniques faisant appel à des coupes tomodynamométriques ont été précédemment décrites au maxillaire pour l'évaluation de comblements alvéolaires [13]. Leur comparaison avec les méthodes habituelles permet d'en apprécier les avantages et les limites.

Le chien est un modèle animal déjà utilisé dans de nombreux travaux en odontologie [22, 28, 29]. L'inclinaison des branches horizontales de la mandibule ne permet pas d'obtenir d'images fiables de toutes les

Tableau 3. Tableau récapitulatif des mesures sur images tomодensitométriques.

Chien 1 côté gauche hauteur alvéole						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
35	M	8,62	8,61	-0,01	7,11	-0,50
	D	8,04	8,01	-0,03	7,27	-0,74
36	M	8,78	8,82	0,04	7,55	-1,27
	D	8,43	8,40	-0,03	8,16	-0,24
37	M	9,30	9,42	0,12	9,01	-0,41
	D	9,21	8,78	-0,43	9,51	0,73
Chien 1 côté gauche largeur alvéole						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
35	M	4,72	4,94	0,22	4,16	-0,78
	D	5,70	5,15	-0,55	5,68	0,53
36	M	5,44	4,88	-0,56	5,27	0,39
	D	5,87	5,30	-0,57	6,49	1,19
37	M	5,50	4,36	-1,14	5,50	1,14
	D	5,54	4,97	-0,57	5,87	0,90
Chien 1 côté gauche hauteur alvéole repère						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
35	M	1,02	1,35	0,33	1,20	-0,15
	D	0,64	0,64	0,00	1,68	1,04
36	M	1,44	1,70	0,26	2,70	1,00
	D	1,30	1,42	0,12	2,98	1,56
37	M	1,58	1,77	0,19	2,58	0,81
	D	1,97	1,88	-0,09	2,79	0,91
Chien 1 côté droit hauteur alvéole						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
45	M	8,54	8,16	-0,38	—	—
	D	7,68	7,55	-0,13	—	—
46	M	8,32	8,59	0,27	—	—
	D	8,32	8,36	0,04	—	—
47	M	9,24	9,53	0,29	—	—
	D	9,97	10,28	0,31	—	—
Chien 1 côté droit largeur alvéole						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
45	M	4,41	4,43	0,02	—	—
	D	5,80	6,06	0,26	—	—
46	M	5,26	5,35	0,09	—	—
	D	5,96	5,69	-0,27	—	—
47	M	5,77	5,51	-0,26	—	—
	D	5,37	5,68	0,31	—	—
Chien 1 côté droit hauteur alvéole repère						
		A	8J	8J – A	2M	2M – 8J
45	M	0,14	0,03	-0,11	0,93	0,90
	D	0,70	0,73	0,03	3,20	2,47
46	M	1,16	1,26	0,10	2,59	1,33
	D	1,46	1,39	0,07	3,51	2,12
47	M	1,70	1,82	0,12	3,64	1,82
	D	2,10	2,10	0,00	3,84	1,74

Mesures obtenues par la moyenne de cinq mesures directes et de cinq mesures par densité. M = mésiale ; D = distale. A = Moyennes des mesures effectuées avant les extractions. 8J = Moyenne des mesures effectuées huit jours après extractions et comblements. 2M = Moyennes des mesure effectuées deux mois après extraction et comblement. 8J – A = Différence de hauteur entre les moyennes effectuées huit jours après extraction et effectuées avant extraction. 2M – 8J = Différence de hauteur entre les moyennes obtenues deux mois après extraction et huit jours avant extraction.

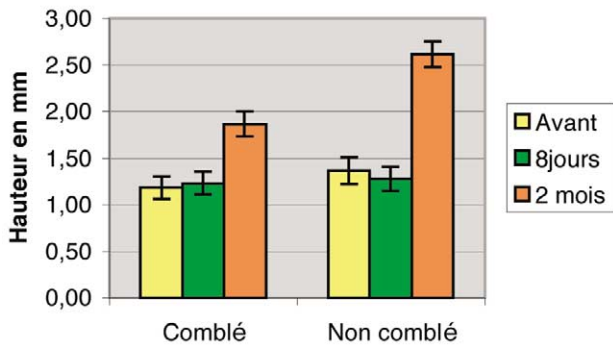


Fig. 4. Comparaison de la hauteur des crêtes alvéolaires par rapport à un repère anatomique fixe.

alvéoles concernées. Le palais, entièrement plat chez le chien, empêche de réaliser des radiographies standardisées au maxillaire.

Le repositionnement des images tomодensitométriques induit une imprécision des mesures.

La fiabilité et la reproductibilité des mesures dépendent donc de la précision de la réorientation. Plus les repères utilisés sont précis et proche de la structure à mesurer, plus la précision sera grande. Ceci explique les faibles écarts types obtenus (0,07) lors de l'étude in vitro (repositionnement des coupes sur la racine à mesurer), ainsi que les écarts types de l'étude in vivo, en moyenne plus importants (0,12), le repositionnement étant effectué pour toutes les alvéoles d'un côté. On note que, deux mois après extraction et comblement, certaines mesures sont rendues impossibles par l'absence de différence de niveau de gris entre la zone de l'alvéole et l'os voisin, sans que l'on puisse toutefois affirmer sur ces images que le tissu cicatriciel formé est de l'os. Les mesures effectuées montrent une perte de

hauteur des crêtes alvéolaires toujours supérieure du côté non comblé. Les paramètres d'acquisition ont été programmés afin de favoriser la fiabilité des mesures en millimètres au détriment des mesures de densité ; cependant, même en modifiant ces paramètres, on conserve des écarts types élevés pour les mesures de densité. Ceci ne nous permet pas de qualifier le tissu cicatriciel rencontré.

L'étude des profils de densité permet, en revanche, de localiser des zones non denses aux rayons X que l'on retrouve aussi sur les images au MEB (il sera toutefois nécessaire d'effectuer une cartographie précise de ces zones pour les deux techniques d'imagerie, afin de pouvoir affirmer leur correspondance). Les radiographies rétro-alvéolaires ne laissent pas apparaître de zones non denses aux rayons X au sein des alvéoles après deux mois de cicatrisation. Il faut remarquer également que la fuite du matériau en dehors des alvéoles n'est pas visible sur les radiographies rétro-alvéolaires, alors qu'elle est mise en évidence sur les coupes tomодensitométriques. La superposition des structures sur les radiographies masque un certain nombre de détails, les différences de densité et les volumes modifiés devant être suffisants pour être visibles [15, 17, 18]. Cette superposition donne, en revanche, une image globale avec une notion de volume que nous ne retrouvons pas sur des coupes tomодensitométriques fines.

Les trois techniques d'analyse décrites ici donnent des résultats concordants, bien que les paramètres analysés ne soit pas exactement les mêmes. Seule l'histologie nous permet d'avoir une évaluation complète des résultats d'un comblement, mais est irréalisable chez l'homme. Le scanner présente alors le moyen d'évaluation le plus complet parmi les différentes

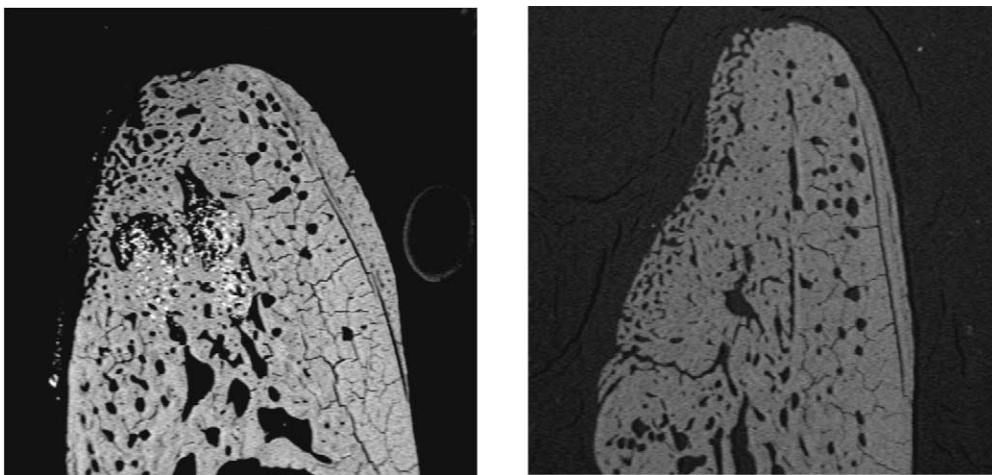


Fig. 5. Microscopie électronique à balayage, électrons rétro-diffusés, deux mois après extraction et comblement. À gauche, côté comblé ; à droite : côté non comblé.

méthodes utilisables pour des résultats cliniques. La prolongation de cette étude avec le recueil de résultats histologiques complets est nécessaire pour compléter les résultats obtenus.

5. Conclusion

Cette étude donne une première approche des possibilités du scanner dans l'évaluation d'un comblement

alvéolaire. L'approche quantitative est intéressante, les mesures obtenues étant plus précises (précision de 0,36 mm) que celles obtenues sur les radiographies rétro-alvéolaires (0,4 mm dans le meilleur des cas). L'étude des profils de densités ne permet pas dans l'état actuel de nos recherches de qualifier le tissu rencontré, mais permet de localiser des zones non minéralisées, invisibles à la radiographie. L'amélioration permanente des logiciels d'analyse d'images devrait améliorer encore la fiabilité des résultats recherchés.

Remerciements. Les auteurs remercient le Dr E. Aguado, chef du service de chirurgie à l'École nationale vétérinaire de Nantes, et le Pr. B. Dupas, chef du service de radiologie centrale et imagerie médicale.

Références

- [1] A. Tallgren, The continuing réduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed longitudinal study covering 25 years, *J. Prosthet. Dent.* 27 (2) (1972) 120–131.
- [2] D.A. Atwood, Reduction of residual ridges: a major oral disease entity, *J. Prosthet. Dent.* 26 (3) (1971) 266–279.
- [3] D.A. Atwood, Postextraction changes in the adult mandible as illustrated by microradiographs of midsagittal section and serial cephalometric roentgenograms, *J. Prosthet. Dent.* 13 (5) (1963) 810–824.
- [4] L. Jahangiri, et al., Current perspectives in residual ridge remodeling and its clinical implication: a review, *J. Prosthet. Dent.* 80 (2) (1998) 224–237.
- [5] H.T. Howell, et al., Utilisation d'une éponge collagène résorbable imprégnée de rhBMP-2 pour la préservation ou l'augmentation de la crête alvéolaire : évaluation et étude de faisabilité, *Rev. Int. Paro. Dent. Rest.* 17 (2) (1997) 125–139.
- [6] G.E. Carlsson, G. Persson, Morphologic changes of the mandible after extraction and wearing of dentures, *Odont.* 18 (1967) 27–52.
- [7] P. Weiss, O. Gauthier, J.M. Boulter, X. Grimandi, G. Daculsi, Injectable bone substitut using a hydrophilic polymer, *Bone* 25 (Suppl. 2) (1999) 675–709.
- [8] D.A. Atwood, A.C. Willard, Clinical, cephalometric, and densitometric study of reduction of residual ridges, *J. Prosthet. Dent.* 26 (3) (1971) 280–295.
- [9] J.R. Crum, G.E. Rooney, Alveolar bone loss in overdentures: a 5-year study, *J. Prosthet. Dent.* 40 (6) (1978) 610–613.
- [10] C.L.B. Lavelle, Preliminary study of mandibular shape after tooth loss, *J. Prosthet. Dent.* 53 (5) (1985) 726–730.
- [11] H. Meijer, et al., Radiographic evaluation of mandibular augmentation with prefabricated hydroxylapatite/fibrin glue implants, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 55 (1997) 138–144.
- [12] R.P. Ellwood, R.M. Davies, H.V. Worthington, Evaluation of dental subtraction radiography system, *J. Periodontol. Res.* 32 (1997) 241–248.
- [13] H.T. Howell, et al., Utilisation d'une éponge collagène résorbable imprégnée de rhBMP-2 pour la préservation ou l'augmentation de la crête alvéolaire : évaluation et étude de faisabilité, *Rev. Int. Paro. Dent. Rest.* 17 (2) (1997) 125–139.
- [14] J. Mathai, et al., Tricalcium phosphate ceramic as immediate root implants for the maintenance of alveolar bone in partially edentulous mandibular jaws. A clinical study, *Aust. Dental J.* 34 (5) (1989) 421–426.
- [15] R.P. Ellwood, R.M. Davies, H.V. Worthington, Evaluation of dental subtraction radiography system, *J. Periodontol. Res.* 32 (1997) 241–248.
- [16] D.J. Flint, et al., A diagnostic comparison of panoramic and intraoral radiographs, *Oral Surg. Oral Med.* 85 (6) (1998) 731–735.
- [17] E. Hausmann, K. Allen, Reproducibility of bone height measurements made on serial radiographs, *J. Periodontol.* 68 (9) (1997) 839–841.
- [18] E. Hausmann, et al., Studies on the angular reproducibility of positioning adjacent to an X-ray tube 2. A new electronically guided, force-sensitive sensor-based alignment system, *J. Periodont. Res.* 30 (1995) 294–297.
- [19] M. Jeffcoat, et al., Extraoral control of geometry for digital subtraction radiography, *J. Periodontol. Rest.* 22 (1987) 396–402.
- [20] B. Kullendorff, M. Nilsson, Diagnostic accuracy of digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 82 (1996) 585–589.
- [21] V.E. Rushton, K. Horner, The use of panoramic radiology in dental practice, *J. Dent.* 24 (1996) 185–201.
- [22] A.D. Sherer, et al., Evaluation of implanted durapatite particles in fresh extraction sockets to maintain the alveolar ridge in beagle dogs, *J. Prosthet. Dent.* 57 (3) (1987) 331–337.
- [23] G. Daculsi, P. Weiss, J. Delecryn, et al., Composition pour biomatériaux ; procédés de préparation, brevet n° WO95/21634, 1995.
- [24] G. Daculsi, P. Weiss, A. Dupraz, et al., Composition pour biomatériaux ; procédés de préparation, brevet n° WO97/05911, 1997.
- [25] O. Gauthier, D. Boix, G. Grimandi, et al., A new injectable calcium phosphate biomaterial for immediate bone filling of extraction sockets: a preliminary study in dog, *J. Periodontol.* 70 (1999) 359–367.
- [26] M.W. Vanier, Subtraction radiography, *J. Periodontol.* 67 (1996) 949–950.
- [27] Q. Xie, A. Ainamo, R. Tilvis, Association of residual ridge resorption with systemic factors in home live elderly subjects, *Acta Odontol. Scand.* 55 (1997) 299–304.
- [28] S.D. Cook, Evaluation of a hydroxylapatite HA/resorbable suture implant for alveolar ridge augmentation, *J. Oral Implantol.* 20 (4) (1994) 292–298.
- [29] E.B. Nery, R.Z. Legeros, K.L. Linch, L. Kelvin, Tissue response to biphasic calcium phosphate ceramic with different ratio of HA/BTCP in periodontal osseous defects, *J. Periodontol.* 63 (9) (1992) 729–735.