



Article Original

Caractérisation de la Microarchitecture Trabéculaire Alvéolaire Maxillaire et Mandibulaire

Characterization of maxillary and mandibular alveolar trabecular microarchitecture

Richard Sokolo^{1,2}, Thierry Molimard¹, Richard Matanda³, Florent Songo⁴, Hippolyte Situakibanza⁵, Luc Mokassa⁶, Victoria Haas⁷, Emilie Gadea^{7,8}, Thierry Thomas^{9,10}.

⁽¹⁾ Service d'ORL et chirurgie maxillo-faciale, Centre hospitalier Emile Roux Le Puy en Velay/France

⁽²⁾ Service de stomatologie et chirurgie maxillo-faciale, Département de chirurgie, Cliniques universitaires de Kinshasa

⁽³⁾ Service D'ORL, Cliniques universitaires de Kinshasa

⁽⁴⁾ Service d'odontologie pédiatrique, Cliniques universitaires de Kinshasa

⁽⁵⁾ Service des maladies infectieuses, Cliniques universitaires de Kinshasa

⁽⁶⁾ Service d'orthopédie et traumatologie, Cliniques universitaires de Kinshasa

⁽⁷⁾ Unité de recherche clinique, Centre hospitalier Emile Roux Le Puy en Velay/ France

⁽⁸⁾ Equipe SNA-EPIS, EA4607, Université Jean Monnet, Saint Etienne, France

⁽⁹⁾ Service de rhumatologie, CHU de St Etienne/France

⁽¹⁰⁾ INSERM U1059, Université de Lyon, Université Jean Monnet, Saint-Etienne/France

Auteur correspondant

Sokolo Richard
CH Emile Roux. Service d'ORL et chirurgie maxillo-faciale 12 BD Chantemesse 43000. Le Puy en Velay/France
Téléphone : 0033666866042
Email : sokolofr@yahoo.fr

Mots-clés : Microarchitecture trabéculaire – Mandibule – Maxillaire – Qualité osseuse

Keywords: Trabecular microarchitecture – Mandible – Maxilla - Bone quality

RÉSUMÉ

But. Cette étude avait pour but d'établir la différence de caractérisation de la microarchitecture entre le maxillaire et la mandibule. **Patients et méthodes.** Il s'est agi d'une étude de cohorte monocentrique. Un échantillon osseux était prélevé soit au maxillaire soit à la mandibule avant la pose de l'implant dentaire. Les échantillons osseux étaient acheminés au Laboratoire SAINBOISE à la faculté de médecine de St Etienne/France. Les variables de l'étude étaient le sexe, l'âge des patients, les sites de prélèvement osseux (mandibule et maxillaire), les paramètres microarchitecturaux trabéculaires. Les paramètres microarchitecturaux trabéculaires étaient analysés au microscanner SCANCO VIVA CT 40 et comparées entre ceux du maxillaire et ceux de la mandibule par le test de Student et le test U de Mann-Whitney. **Résultats.** Les moyennes des valeurs des paramètres microarchitecturaux étaient globalement plus élevées à la mandibule qu'au maxillaire. La fraction osseuse volumique BV/TV% ($p=0,040$) et l'index du modèle structurel SMI($p=0,038$) avaient une différence statistiquement significative entre la mandibule et le maxillaire. L'analyse de régression multiple n'a pas montré d'association(interaction) entre les paramètres microarchitecturaux trabéculaires et l'âge et le sexe des patients. **Conclusion.** Cette étude a montré une différence statistiquement significative de la caractérisation de la microarchitecture trabéculaire entre la mandibule et le maxillaire.

ABSTRACT

Purpose. The aim of this study was to establish the difference in the characterization of the microarchitecture between the maxilla and the mandible. **Patients and methods.** This was a single center cohort study. A bone sample was taken from either the maxilla or the mandible before the placement of the dental implant. The bone samples were sent to the SAINBOISE Laboratory at the Faculty of Medicine of St Etienne/France. The study variables were gender, patient age, bone harvesting sites (mandible and maxilla), trabecular microarchitectural parameters. The trabecular microarchitectural parameters were analyzed using the SCANCO VIVA CT 40 microscanner and compared between those of the maxilla and those of the mandible using the student test and the Mann-Whitney U test. **Results.** The mean values of the microarchitectural parameters were globally higher in the mandible than in the maxilla. The bone volume fraction BV/TV% ($p=0.040$) and the structural model index SMI ($p=0.038$) had a statistically significant difference between the mandible and the maxilla. Multiple regression analysis did not show any association (interaction) between trabecular microarchitectural parameters and patient age and sex. **Conclusion.** This study showed a statistically significant difference in the characterization of the trabecular microarchitecture between the mandible and the maxilla.

INTRODUCTION

L'évaluation de la qualité osseuse est une des étapes fondamentales du traitement implantaire. La densité de l'os alvéolaire a occupé une place prépondérante dans l'évaluation de la qualité osseuse. Diverses classifications créées sur la densité osseuse se sont érigées : classification de Lekholm et Zarb [1], celle de Trisi et Rao [2], celle de Misch [3]. Cependant, définir la qualité osseuse en se basant uniquement sur la densité osseuse est réducteur [4] car cette définition ne tient pas compte d'un déterminant important qui est la microarchitecture trabéculaire. En effet,

la densité osseuse ne reflète que partiellement la qualité osseuse [5,6].

Une autre approche de la définition de la qualité osseuse est donc apparue, mettant en lumière la microarchitecture osseuse. Ainsi, le concept de la qualité osseuse a récemment évolué partant de l'approche de la densité osseuse pour aller vers une approche microstructurale [7, 8]. La microarchitecture de l'os trabéculaire est aussi un élément clé dans l'appréciation de la qualité du tissu osseux [9]. La qualité du réseau trabéculaire apparaît notamment comme

un facteur important pour le succès de la stabilité secondaire ou ostéo-intégration car ce réseau trabéculaire est responsable de la réponse biologique de l'os alvéolaire mais aussi du support mécanique de l'implant [10,11]. La caractérisation de la microarchitecture trabéculaire semble donc utile afin de prédire aussi bien les capacités de remodelage de l'os péri-implantaire que l'ancrage implantaire, d'adapter non seulement le protocole chirurgical mais aussi toute la chronologie thérapeutique [4]. Cette caractérisation de la microarchitecture trabéculaire est-elle différente au maxillaire et à la mandibule ?

A ce jour, divers outils sont disponibles pour évaluer de la microarchitecture osseuse.

L'histomorphométrie est restée longtemps l'outil gold standard de caractérisation de la microarchitecture osseuse trabéculaire. Elle est cependant irréversible, prend un long temps pour sa réalisation et est coûteuse [8].

Avec le développement de la microinformatique, de nouveaux outils de mesure permettant l'analyse tridimensionnelle de l'os sont apparus. Il s'agit de la microIRM et surtout du microscanner qui permettent tous les deux une exploration rapide de l'os [9]. La tomographie à faisceau conique ou Cone beam computer tomography (CBCT) avec une résolution de l'ordre de 80 à 100 µm présente des résultats similaires à ceux du microscanner [12]. De plus, elle est utilisable en pratique clinique.

L'évaluation de la microarchitecture trabéculaire pourrait avoir une valeur prédictive en implantologie dentaire et pourrait être un guide pour déterminer le temps nécessaire avant la mise en charge de l'implant [13].

En outre, une meilleure compréhension des différences possibles de microarchitecture trabéculaire entre la mandibule et le maxillaire pourrait également permettre aux cliniciens de choisir les options thérapeutiques implantaire optimales pour le patient.

Le but de cette étude était donc d'établir la différence de caractérisation de la microarchitecture trabéculaire entre le maxillaire et la mandibule.

PATIENTS ET METHODES

Type, site et période d'étude

Une étude de cohorte prospective monocentrique à visée exploratoire a été réalisée au Centre hospitalier Emile Roux Le Puy en Velay / France durant la période allant de mai 2017 à janvier 2019 soit 20 mois.

Les analyses des échantillons osseux ont été réalisées au laboratoire SAINBIOSE (Santé Ingénierie Biologie de St Etienne) de la faculté de Médecine de St Etienne/ France.

Population d'étude

La population d'étude était constituée des patients présentant un édentement, venus consulter pour la pose d'implants dentaires. Ils ont bénéficié d'une visite pré-implantaire basée sur l'examen clinique et paraclinique, sur les antécédents médicaux et chirurgicaux et sur la discussion du plan de traitement implantaire. Tous les patients ont reçu une notice d'information et ont signé un consentement éclairé avec un délai minimum de réflexion de 15 jours.

Critères d'inclusion et de non-inclusion

Les critères d'inclusion exigeaient que le patient sans distinction de sexe, affilié ou ayant un droit d'un régime de sécurité sociale soit âgé de 18 ans ou plus. Le patient devait avoir un édentement partiel ou total nécessitant la pose d'un ou de plusieurs implants. La hauteur et la largeur de l'os alvéolaire ne devrait pas nécessiter de greffe osseuse, ni d'élévation du sinus maxillaire ni de régénération osseuse guidée. De plus, Le consentement du patient était requis. Etaient exclus de l'étude les patients qui avaient subi une chirurgie pré-prothétique, une radiothérapie cervico-faciale ou qui étaient traités par corticothérapie au long cours ou par biphosphonates.

Variables de l'étude

Les variables analysées dans cette étude était l'âge et le sexe des patients, le site de prélèvement osseux (la mandibule et le maxillaire), les paramètres microarchitecturaux trabéculaires. Ces paramètres étaient la fraction osseuse volumique (BV/TV%), le nombre des travées (Tb.N) en 1/mm, l'épaisseur des travées (Tb.Th) en mm, l'espace entre les travées (Tb.Sp) en mm, la densité de la connectivité (Conn.D) en 1/mm³, l'index du modèle structurel(structural model index) (SMI) et le degré d'anisotropie (DA).

Echantillonnage et taille de l'étude

Notre étude était basée sur un échantillonnage de convenance constitué sur base de l'acceptation du patient à participer à l'étude et sur base des critères d'inclusion et de non-inclusion. 63 patients étaient éligibles à cette étude. 6 patients n'ont pas souhaité pour des raisons de convenance personnelle participer à cette étude. La taille de l'échantillon de l'étude était 57 patients.

Collecte des données et conduite de l'étude

Les données cliniques de l'étude ont été recueillies directement dans les cahiers d'observation, et au fur et à mesure des visites de l'étude puis validées par l'investigateur. Lors de leur recueil, les informations concernant les patients participant à cette étude étaient anonymisées (identification par le monogramme et le n° d'inclusion) selon les recommandations établies par la CNIL (commission nationale de l'informatique et des libertés).

Cette étude était conduite en deux phases : clinique et de laboratoire.

La première visite lors de la phase clinique était basée sur l'examen clinique et paraclinique, sur les antécédents médicaux et chirurgicaux à l'issue de laquelle les critères d'inclusion et non-inclusion étaient vérifiés. Une notice d'information était remise au patient qui était éligible à l'étude et un délai de réflexion d'au moins 15 jours lui était fixé pour donner son accord. Lors de la deuxième visite, si l'accord du patient était recueilli par la signature de la fiche du consentement éclairé, on procédait l'intervention chirurgicale. Celle-ci se réalisait sous anesthésie locale ; elle débutait par le prélèvement de l'os trabéculaire de 2,8mm de diamètre à l'aide de la tréphine suivi de la pose de l'implant dentaire. L'échantillon osseux prélevé était conservé à l'Ethanol 80° dans un flacon de 15ml et était

acheminé au laboratoire SAINBIOSE à la faculté de médecine de St Etienne.

Les visites de suivi (3^{ème} et 6^{ème} semaines) avaient pour objectif de contrôler le site opératoire. La visite de la 10^{ème} semaine post opératoire correspondait à la fin de l'étude pour le patient.

La phase de laboratoire était effectuée au laboratoire SAINBIOSE. Les échantillons osseux étaient analysés au microscanner SCANCO VIVA CT 40. Les paramètres d'acquisition étaient de 70 KV de tension électrique, de 110 μ A d'intensité et la résolution (taille de voxels) était de 10,5 μ m. Les reconstructions 3D étaient générées avec les paramètres suivants : sigma 1,5, support 2, threshold 295. Sept paramètres microarchitecturaux ont été analysés : BV/TV%, Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp, SMI, Conn.D et le DA. Les données de laboratoire étaient recueillies dans un fichier Excel® et puis analysés par un logiciel couplé au microscanner Scanco Viva CT 40.

Mesures pour réduire ou éviter les biais

La technique du prélèvement osseux à la tréphine relevait de la pratique habituelle. La même technique a été proposée à tous les patients inclus dans l'étude. La sélection des patients était effectuée dans un seul centre hospitalier (monocentrique). Un même opérateur a procédé au prélèvement des échantillons osseux chez tous les patients. Les conditions médicales pouvant altérer la qualité de l'os ont été exclues (corticothérapie au long cours, radiothérapie cervico-faciale, traitement par Biphosphonates).

Analyses statistiques

La saisie des données a été réalisée sous le logiciel Microsoft Excel®.

Les paramètres qualitatifs ont été décrits en termes d'effectifs et de pourcentages.

Les paramètres quantitatifs ont été décrits en termes de moyennes/médianes et d'écart-types/intervalles interquartiles. Pour ces derniers, la normalité de la distribution a été effectuée par le test de Shapiro-Wilk.

La comparaison des paramètres microarchitecturaux trabéculaires entre le maxillaire et la mandibule a été réalisée grâce au test de Student et au test U de Mann-Whitney.

L'association (interaction) entre les paramètres microarchitecturaux trabéculaires et les caractéristiques démographiques des patients a été étudiée par l'analyse de régression multiple. Le niveau de significativité a été fixé à 5%. Tous les patients inclus dans l'étude ont été analysés et aucune imputation des valeurs manquantes n'a été effectuée. L'analyse statistique a été réalisée sous le logiciel R « Statistical Computing » version 3.6.3.

Considérations éthiques

Cette étude avait reçu l'accord de la CNIL à la date du 12 janvier 2017 sous le n° 2024524 v0 et du comité des protections des personnes SUD EST du CHU de St Etienne (comité d'éthique) à la date du 9 janvier 2017 sous le n° 216-A01680-51. Elle avait également reçu l'avis favorable de la Délégation à la Recherche Clinique et à l'Innovation (DRCI), faculté de médecine de St Etienne, Université Jean Monnet, référence SL-PZ/CS-2016-063 à la date du 7 juillet 2016.

RESULTATS

Participants

La majorité des échantillons osseux trabéculaires de l'étude (63%) était prélevée chez les femmes. 57 échantillons osseux trabéculaires étaient prélevés (un échantillon par patient). L'âge moyen des patients était de 57 ans.

Données descriptives

Tous les échantillons étaient de 2.8 mm de diamètre (Figure 1).

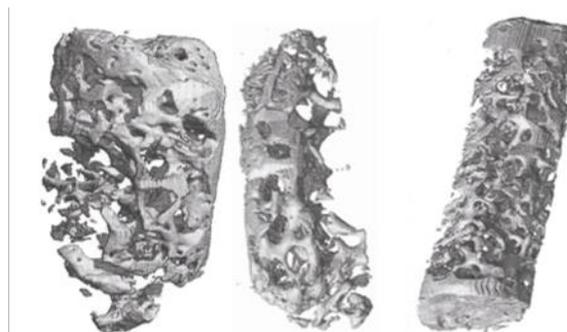


Figure 1 : Reconstruction 3D des échantillons de l'os trabéculaire par microscanner

Plus de deux tiers des prélèvements ont été effectués au niveau de la mandibule. 87,5% des échantillons osseux trabéculaires étaient prélevés au secteur postérieur de la mandibule et du maxillaire et 12,5% au secteur antérieur. 7 paramètres microarchitecturaux étaient analysés par microscanner.

Le tableau 1 montre des données descriptives des paramètres microarchitecturaux trabéculaires. Par rapport à la forme des distributions des valeurs, seules les distributions de la fraction volumique osseuse (BV/TV%), de l'épaisseur des travées (Tb.Th) et de l'espace entre les travées (Tb.Sp) pouvaient être assimilées à des distributions normales (p du test de normalité de Shapiro > 0,05).

Principaux résultats

Le tableau 2 montre les moyennes des paramètres microarchitecturaux à la mandibule et au maxillaire. Les valeurs des paramètres microarchitecturaux étaient globalement plus élevées à la mandibule qu'au maxillaire. La fraction osseuse volumique BV/TV et l'index du modèle structurel SMI avaient une différence statistiquement significative entre la mandibule et le maxillaire. La fraction volumique osseuse BV/TV était de 34% à la mandibule, de 26% au maxillaire avec une valeur p de 0,040. Le SMI à la mandibule était de 0,73 et au maxillaire de 1,59 avec une valeur p 0,038. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre la mandibule et le maxillaire pour les autres paramètres (Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp, Conn.D, DA). Tb.N ($p=0,054$) et Tb.Sp ($p=0,051$) avaient des valeurs à la limite de la significativité. L'analyse de régression multiple réalisée a montré qu'il n'y avait pas d'association (interaction) entre les paramètres microarchitecturaux trabéculaires et les caractéristiques démographiques des patients (âge, sexe) (Tableau 3).

Paramètres	Moyenne (écart-type)	Médiane (P1-P3 [^])	p du test de la Normalité de distribution
BVTV%	31 (13)	29 (23 - 28)	0,07*
Conn.D	20,82 (21,08)	10,88 (9,06 - 25,82)	0,00
SMI	1,01 (1,81)	1,49 (0,57 - 2,0)	0,00
TbN	2,15 (0,44)	2,09 (1,87 - 2,27)	0,00
TbTh	0,24 (0,08)	0,25 (0,19 - 0,29)	0,70*
TB5p	0,48 (0,09)	0,49 (0,42 - 0,52)	0,64*
DA	1,28 (0,1)	1,26 (1,21 - 1,34)	0,00

Q1 : premier quartile. Q3 : troisième quartile. *Si p>0,05 on peut considérer que la distribution des valeurs est normale (test de Shapiro-Wilk).

	BV/TV%	Conn.D	SMI	Tb.n	Tb.Th	Tb.Sp	DA
Mandibule	34(0,13)	20,34(20,1)	0,73(0,06)	2,23(0,46)	0,25(0,08)	0,46(0,09)	1,29(0,11)
Maxillaire	26(0,09)	21,79(13,3)	1,59(0,98)	2(0,36)	0,22(0,08)	0,51(0,09)	1,26(0,08)
P	0,040*	0,8	0,038*	0,054	0,146	0,051	0,323

*Les différences étaient considérées être significatives pour p<0,05.

Variables explicatives	Coefficient ajusté	IC 95% (Inf)	IC 95% (Sup)	p
BV/TV%				
Age	0	0	0	0,44
Sexe	0,01	-0,06	0,07	0,84
Conn.D				
Age	-0,3	-0,71	0,11	0,14
Sexe	9,2	-2,73	21,13	0,13
SAN				
Age	0,02	-0,01	0,06	0,19
Sexe	-0,92	-1,92	0,07	0,07
Tb.N				
Age	0	-0,01	0	0,37
Sexe	0,13	-0,11	0,38	0,27
Tb.Th				
Age	0	0	0	0,55
Sexe	-0,01	-0,05	0,04	0,8
Tb.Sp				
Age	0	0	0	0,51
Sexe	-0,03	-0,08	0,03	0,34
DA				
Age	0	0	0	0,08
Sexe	-0,01	-0,07	0,05	0,78

Les différences étaient considérées être significatives pour p<0,05.

DISCUSSION

L'objectif de notre étude était d'établir la différence de caractérisation de la microarchitecture trabéculaire entre le maxillaire et la mandibule.

Notre étude a montré une différence statistiquement significative des paramètres microarchitecturaux entre la mandibule et le maxillaire pour deux variables : la fraction volumique osseuse BV/TV et l'index du modèle structural SMI. La BV/TV avait une valeur de 34% à la mandibule et de 26% au maxillaire avec une valeur p de 0,040. Le SMI était de 0,73 à la mandibule et de 1,59 au maxillaire avec une valeur p de 0,038 ; le résultat obtenu pour ces variables indique que l'os trabéculaire de la mandibule était plus dense et était constitué de plus de travées en forme de plaques que de poutres par rapport à l'os maxillaire. Les autres variables (Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp, Conn.D, et DA) n'avaient pas montré des différences statistiquement significatives entre le maxillaire et la mandibule. Cependant, Tb.N et Tb.Sp avaient des valeurs proches de la significativité avec respectivement une valeur p de 0,054 et

de 0,051). L'analyse de régression multiple a montré qu'il n'y avait pas d'association (interaction) entre les paramètres microarchitecturaux et les caractéristiques démographiques des patients (âge, sexe).

Kim YJ *et al.* [12] ont recherché à l'aide du microscanner la corrélation entre la densité minérale osseuse (DMO) et les paramètres microarchitecturaux. Ils ont observé une corrélation linéaire entre BV/TV et DMO avec le rho de Spearman de 0,99 (p=0,01). De plus, tous les paramètres microarchitecturaux étaient plus élevés à la mandibule qu'au maxillaire. Dans leur étude, le paramètre le plus distinct était le SMI qui était 3,3 fois plus élevé à la mandibule qu'au maxillaire ; ce qui signifiait que la mandibule présentait une microarchitecture trabéculaire avec plus de plaques que le maxillaire. Kim JE *et al.* [14] ont évalué la microstructure de l'os trabéculaire de la mâchoire humaine selon des sites variés. La BV/TV n'avait pas de signification statistique entre la mandibule et le maxillaire. Leurs régions antérieures présentaient une valeur BV/TV plus élevée que leurs régions postérieures et la mandibule avait une valeur plus élevée que le maxillaire.

Cependant, cette étude n'a pas identifié les caractéristiques spécifiques de la microstructure à chaque région de la mâchoire [14] et n'a pas fourni des directives expliquant comment utiliser ces données cliniquement [15].

Fanuscu et Chang [16] ont démontré des variations microstructurales aux sites spécifiques de la mandibule et du maxillaire. Leur étude était basée sur des échantillons provenant d'un seul cadavre. Ainsi, leurs résultats étaient jugés peu probables pour représenter la microstructure osseuse humaine en général [14,15].

Blok Y *et al.* [17] dans leur étude sur la microarchitecture et la minéralisation de l'os alvéolaire humain ont obtenu une différence significative entre le maxillaire et la mandibule pour deux paramètres : la fraction volumique osseuse BV/TV et l'épaisseur des travées Tb.Th ($p < 0,010$). Ces paramètres étaient significativement plus élevés à la mandibule qu'au maxillaire mais la densité minérale n'était pas significativement différente.

Alberto Monje *et al.* [18] dans une revue systématique et méta-analyse ne suggèrent pas une différence de la BV/TV au niveau des sites anatomiques et concluent que des facteurs tels que l'état d'atrophie osseuse et la nature des échantillons (os issus du cadavre humain versus os humain vivant, os exposé longtemps ou pas dans le formol) influencent la fraction volumique osseuse BV/TV.

Nos résultats confirment que les paramètres microarchitecturaux sont plus élevés à la mandibule qu'au maxillaire comme d'ailleurs les travaux de Kim YJ [12] et Kim JE [14]. Cependant, ils ont l'avantage d'être issus des échantillons osseux humains vivants et ont mis en évidence l'importance de la fraction volumique osseuse BV/TV et de l'index du modèle structurel SMI. La différence microstructurale entre la mandibule et le maxillaire était marquée pour Kim YJ *et al* par SMI, pour Kim JE *et al* par Tb.Th et pour Blok *et al* par BV/TV et Tb.Th. Leurs échantillons osseux étaient issus de l'os humain des cadavres. Ce fait pourrait-il expliquer cette différence ? BLOK *et al.* [17] suggèrent que la résistance osseuse dépend principalement de BV/TV. La mandibule offre une résistance supérieure au maxillaire.

Nos échantillons osseux trabéculaires ont été scannés par microscanner (Scanco Viva Ct 40) à haute résolution. Le microscanner est accepté comme modalité gold standard pour l'évaluation des microstructures trabéculaires mais il ne peut être employé en clinique [5, 19-21]. Ses résultats sont similaires à ceux de l'histomorphométrie conventionnelle [22]. D'autres études ont été menées, comparant les résultats du CBCT sur l'évaluation de la microarchitecture trabéculaire avec ceux du microscanner.

Ibrahim *et al.* [20] ont étudié trois paramètres microstructuraux (Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp) auprès des échantillons analysés par microscanner et le CBCT et ont montré que la corrélation de Pearson entre le CBCT et μ CT était de 0,82 pour Tb.Th, de 0,94 pour Tb.Sp et de 0,85 pour Tb.N. Ils ont conclu que le CBCT peut être utilisé pour évaluer la microstructure trabéculaire au site d'implant dentaire [23]. Concernant BV/TV, le coefficient de corrélation entre CBCT et micro-CT reporté par Parsa *et al.* [24], par Van Dessel *et al.* [25], par Kim JE *et al.* [26] était respectivement de 0,82, 0,76 et 0,61. Le CBCT montre une précision comparable avec le microscanner à haute

résolution dans l'évaluation des structures trabéculaires [27]. De plus, le CBCT offre l'avantage d'être utilisable en clinique.

La fraction volumique BV/TV est le paramètre microarchitectural le plus important [28]. Elle représente la masse osseuse trabéculaire [26]. Celle-ci semble plus importante à la mandibule qu'au maxillaire. Le SMI traduit la prévalence de poutres ou de plaques dans une structure [29]. La mandibule semble présenter plus de plaques que de poutres.

La différence de caractérisation microarchitecturale entre la mandibule et le maxillaire pourrait expliquer le fait que l'ostéo-intégration des implants dentaires analysée selon l'analyse de la fréquence de résonance et exprimée en ISQ (implant stability quotient ou quotient de stabilité implantaire) soit plus élevée à la mandibule qu'au maxillaire. En effet, Ersanli *et al.* [30], Balleri *et al.* [31], Bischof *et al.* [32] ont montré dans leurs études que l'ISQ était plus élevé à la mandibule qu'au maxillaire durant la période de cicatrisation osseuse.

La différence de caractérisation de la microarchitecture entre le maxillaire et la mandibule permettrait de prédire les capacités de remodelage de l'os péri-implantaire et devrait amener le praticien à adapter les protocoles (en un temps, en deux temps, de mise charge rapide), les séquences thérapeutiques implantaire (normale ou sous-dimensionnée), de réaliser le choix implantaire (cylindrique, conique) pour une optimisation de la fiabilité thérapeutique.

L'échantillonnage non homogène de cette étude (87,5% d'os prélevés au secteur postérieur maxillaire et mandibulaire contre 12,5% au secteur antérieur) en constitue la limite et pourrait expliquer la non-significativité de certaines variables entre le maxillaire et la mandibule.

CONCLUSION

Cette étude a montré une différence statistiquement significative de la microarchitecture trabéculaire entre la mandibule et le maxillaire essentiellement au niveau de la fraction volumique osseuse BV/TV et de l'index du modèle structurel SMI. Les autres variables n'étaient pas statistiquement significatives entre le maxillaire et la mandibule.

D'autres études devraient être réalisées pour affiner cette différence de caractérisation entre le maxillaire et la mandibule par une étude comparative entre le CBCT et le μ CT et de préférence sur des échantillons humains prélevés chez les vivants.

Conflit d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Financement

Nous n'avons reçu aucun financement pour cette étude

Contribution des auteurs

Richard Sokolo, Thierry Molimard et Thierry Thomas : conception, réalisation, analyse et rédaction du manuscrit. Florent Songo, Richard Matanda, Luc Mokassa, Emilie Gadea, Victoria Haas : revue de la rédaction du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

REFERENCES

1. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In : Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T ; Tissue-integrated prostheses : osseointegration in clinical dentistry. Chicago : Quintessence Publ. 1985.
2. Trisi P, Rao W. Bone classification : clinical-histomorphometric comparison. Clin Oral Implants Res. 1999 ;10 :1-7.
3. Misch CE. Density of bone : effet on treatment plans, surgical approach, healing and progressive bone loading. Int J Oral Implant 1990 ;6 :23-31.
4. Banayan S, Ella B, Rouas P, Coutant J.C, Pothuand L, Lassere J.F, Caix P. Intérêts du procédé TBS dans la détermination de la qualité de l'os en odontologie. Actualités Odonto-Stomatologiques 2010;252:325-37.
5. Burghardt AJ, Link TM, Majumdar S. High- resolution computed tomography for clinical imaging of bone microstructure. Clin Orthop Relat Res. 2011;469:2179-93.
6. Bauer JS, Link TM. Advances in osteoporosis imaging. European Journal of Radiology 2009;71:440-9.
7. Panmekiate S, Ngonphloy N, Charoenkam T, Faruankorn T, Pauwels R. Comparison of mandibular bone microarchitecture between micro-CT and CBCT images. Dentomaxillofacial Radiology 2015;44(5),20140322.
8. Wirth AJ, Goldhahn J, Flaig C, Arbenz P, Müller R, van Lenthe GH. Implant stability is affected by local bone microstructural quality. Bone 2011; 49:473-8.
9. Chappard D, Baslé M-F, Legrand E, Audran M. Trabecular bone microarchitecture: a review. Morphologie 2008;92(292):162-70.
10. De Oliveira R.C, Leles C.R, Normanha L.M, Lindh C, Ribeiro-Rotta R.F. Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008;105(2):231-8.
11. Traini T, Degidi M, Lezzi G, Artese L, Piattelli A. Comparative evaluation of the peri-implant bone tissue mineral density around unloaded titanium dental implants. J Dent. 2007;35(1):84-92.
12. Kim YJ, Henkin J. Micro-computed tomography assessment of human alveolar bone: bone density and three-dimensional micro-architecture. Clin Implant Dent Relat Res. 2015;17(2):307-13.
13. Choël L, Last D, Duboeuf F, Seurin MJ, Issac M, Guillot G. Trabecular alveolar bone microarchitecture in human mandible using high resolution magnetic resonance imaging. Dentomaxillofacial Radiology 2004;33:177-82.
14. Kim JE, Shin JM, Oh SO, Yi WJ, Heo MS, Lee SS et al. The three dimensional microstructure of trabecular bone: analysis of site-specific variation in the human jaw bone. Imaging Sci Dent. 2013;43(4):227-233.
15. Lee JH, Kim HJ, Yun JH. Three-dimensional microstructure of human alveolar trabecular bone: a micro-computed tomography study. J Periodontal Implant Sci. 2017;47(1):20-9.
16. Fanuscu M.I; Chang T.L. Three-dimensional morphometric analysis of human cadaver bone: microstructural data from maxilla and mandible. Clin Oral Implants Res. 2004; 15(2):213-8.
17. Blok Y, Gravesteyn F.A, Van Ruijven L.J, Koolstra J.H. Micro-architecture and mineralization of the human alveolar bone obtained with microCT. Archives of Oral Biology 2013;58:621-7.
18. Monje A, Hsun-Liang Chan, Galindo-Moreno P, Elnayef B, Suarez-Lopez del Amo F, Feng Wang, Hom-lay Wang. Alveolar bone architecture: A systematic review and meta-analysis. J Periodontol. 2015;86(11):1231-48.
19. Boussein ML. Bone quality: where do we go from here? Osteoporos Int. 2003;14:118-127.
20. Ibrahim N, Parsa A, Hassan B, Van der Stelt P, Wismeijer D. Diagnostic imaging of trabecular bone microstructure for oral implants: a literature review. Dentomaxillofac Radiol. 2013;42(3):20120075.
21. Donnelly E. Methods for assessing bone quality: a review. Clin Orthop Relat Res. 2011;469(8):2128-2138.
22. Müller R, Van Campenhout H, Van Damme B, et al. Morphometric analysis of human bone biopsies: a quantitative structural comparison of histological sections and micro-computed tomography. Bone 1998;23:59-66.
23. Ibrahim N, Parsa A, Hassan B, van der Stelt, Aartman IH, Wismeijer D. Accuracy of trabecular bone microstructural measurement at planned dental implant sites using Cone Beam CT datasets. Clinical Oral Implant Research 2013;25(8):941-45.
24. Parsa A, Ibrahim N, Hassan B, Van der Stelt P, Wismeijer D. Bone quality evaluation at dental implant site using multislice CT, micro-CT, and ConeBeam CT. Clin Oral Implants Res. 2015;26:1-7.
25. Van Dessel J, Huang Y, Depypere M, Rubira-Bullen I, Maes F, Jacobs R. A. Comparative evaluation of cone beam CT and micro-CT on trabecular bone structures in the human mandible. Dentomaxillofac Radiol. 2013;42(8):20130145.
26. Kim JE, Yi WJ, Heo MS, Lee SS, Choi SC, Huh KH. Three-dimensional evaluation of human jaw bone microarchitecture: correlation between the microarchitectural parameters of cone beam computed tomography and micro-computer tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2015;120(6):762-70.
27. Liang X, Zhang Z, Gu J, Wang Z, Vandenberghe B, Jacobs R, et al. Comparison of micro- CT and cone Beam CT on the feasibility of assessing trabecular structures in mandibular condyle. Dentomaxillofac Radiol. 2017;46(5):20160435.
28. Parfitt AM, Drezner MK, Glorieux FH, Kanis JA, Malluche H, Meunier PJ, Ott SM, Recker RR. Bone Histomorphometry: Standardization of Nomenclature, Symbols, and Units. Journal of Bone and Mineral Research 1987;2(6):595-610.
29. Hildebrand T, Rüegsegger P. Quantification of bone microarchitecture with the structure model index. Comput Methods Biomech Biomed Engin. 1997;1:15-23.
30. Ersanli S, Karabuda C, Beck F, Leblebicioglu B. Resonance frequency analysis of one-stage dental implant stability during osseointegration period. J Periodontol. 2005;76:1066-1071.
31. Balleri P, Cozzolino A, Ghelli L, Momicchioli G, Varriale A. Stability measurements of osseointegrated implants using Osstell in partially edentulous jaws after 1 year of loading: a pilot study. Clin Implant Dent Relat Res. 2002;4:128-132.
32. Bischof M, Nedir R, Abi Najm S, Szmukler-Moncler S, Samson J. A 5-year life table analysis on wide neck ITI implants with prosthetic evaluation and radiographic analysis: results from a private practice. Clin Oral Implants Res. 2006;17:512-52

