



ISSN Print: 2394-7500
ISSN Online: 2394-5869
Impact Factor: 8.4
IJAR 2022; 8(5): 37-43
www.allresearchjournal.com
Received: 14-02-2022
Accepted: 23-04-2022

Richard Sokolo

a. Service d'ORL et Chirurgie
Maxillo-Faciale, Centre
Hospitalier Emile Roux Le Puy
en Velay/France
b. Service de Stomatologie et
Chirurgie Maxillo-Faciale,
Département de Chirurgie,
Cliniques Universitaires de
Kinshasa, Université de
Kinshasa/ R.D, Congo

Thierry Molimard

Service d'ORL et Chirurgie
Maxillo-Faciale, Centre hospitalier
Emile Roux Le Puy en Velay/
France

Florent Songo

Service D'odontologie Pédiatrique,
Cliniques Universitaires de
Kinshasa, Université de Kinshasa/
R.D. Congo

Hippolyte Situakibanza

Service des Maladies Infectieuses,
Cliniques Universitaires de
Kinshasa, Université de Kinshasa/
R.D. Congo

Richard Matanda

Service d'ORL, Cliniques
Universitaires de Kinshasa,
Université de Kinshasa/R.D. Congo

Luc Mokassa

Service D'orthopédie et
Traumatologie, Cliniques
Universitaires de Kinshasa,
Université de Kinshasa/R.D. Congo

Thierry Thomas

Service de Rhumatologie, Centre
hospitalier universitaire(CHU) de
St Etienne, France

Corresponding Author:

Richard Sokolo

a. Service d'ORL et Chirurgie
maxillo-faciale, Centre
hospitalier Emile Roux Le Puy
en Velay/France
b. Service de stomatologie et
chirurgie maxillo-faciale,
Département de Chirurgie,
Cliniques universitaires de
Kinshasa, Université de
Kinshasa/ R.D. Congo

Corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire et l'ostéo-intégration des implants dentaires

Richard Sokolo, Thierry Molimard, Florent Songo, Hippolyte Situakibanza, Richard Matanda, Luc Mokassa and Thierry Thomas

DOI: <https://doi.org/10.22271/allresearch.2022.v8.i5a.9720>

Abstract

Contexte: La qualité osseuse alvéolaire est évaluée sur base de la notion de la densité osseuse en préopératoire par la radiologie et en peropératoire par le chirurgien lors du forage durant la pose de l'implant dentaire. Cependant, la microarchitecture osseuse qui est aussi un déterminant important de la qualité osseuse n'est pas évaluée dans la pratique courante lors de la pose de l'implant dentaire.

Objectif: Définir la corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire et la stabilité secondaire (ostéo-intégration proprement dite) des implants dentaires afin d'observer ceux qui pourraient être prédictifs de cette stabilité secondaire.

Matériels et méthodes: Il s'agissait d'une étude de cohorte mono centrique. Les variables analysées étaient le quotient de stabilité implantaire(ISQ), l'âge et le sexe des patients, les sites de prélèvements osseux(mandibule, maxillaire), les paramètres micro architecturaux trabéculaires. 57 échantillons osseux trabéculaires étaient prélevés avant la pose des implants dentaires puis analysés par Microscanner SCANCO VIVA CT 40 pour mesurer les paramètres micro architecturaux trabéculaires. La stabilité secondaire de l'implant dentaire était mesurée à la 10^{ème} semaine post opératoire selon l'analyse de fréquence de résonance (ISQ).La corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires et l'ISQ était mesurée par le coefficient de Pearson.

Résultats: La moyenne de l'ISQ était de 75,59(7,59). L'analyse de la corrélation de Pearson a montré trois paramètres micro architecturaux ayant une forte corrélation statistiquement significative avec l'ISQ: la fraction osseuse volumique BV/TV% ($r=0,94$, $p=0,001$), l'épaisseur des travées Tb. Th ($r=0,75$, $p=0,001$) et l'index du modèle structurel SMI ($r= -0,73$, $p=0,001$).

Conclusion: Cette étude a défini trois paramètres micro architecturaux trabéculaires alvéolaires comme facteurs prédictifs de la stabilité secondaire pouvant rendre objective l'appréciation de la qualité osseuse avant la pose de l'implant dentaire et aider les praticiens dans leur prise de décision thérapeutique implantaire.

Keywords: Densité osseuse, paramètres micro architecturaux trabéculaires, quotient de stabilité implantaire

Introduction

La qualité osseuse alvéolaire est un facteur capital pour le choix thérapeutique implantaire [1]. L'évaluation de la qualité osseuse se fait sur base de la radiologie en préopératoire. L'évaluation clinique de la qualité osseuse basée sur la densité osseuse est effectuée par le chirurgien durant la pose de l'implant par l'appréciation de la résistance de section lors du forage. Cependant, ceci ne peut être considéré comme une mesure objective et ne peut être réalisé qu'en per opératoire [2]. En effet, la qualité osseuse n'est pas un simple synonyme de la densité osseuse. Elle englobe d'autres facteurs incluant la masse osseuse, les propriétés structurales telles que l'architecture au niveau macro et micro et les propriétés de la matrice [3, 4, 5].

Les travaux sur l'évaluation de la qualité de l'os alvéolaire vis-à-vis de l'ostéo-intégration des implants dentaires restent donc d'un grand intérêt car le défaut d'ostéo-intégration semble plus corrélé à la qualité de l'os alvéolaire [6]. Diverses classifications de la qualité osseuse alvéolaire notamment celle de Lekholm et Zarb, celle de Misch, celle de Trisi et RAO avaient restreint la définition de la qualité de l'os à la notion de la densité osseuse.

Or d'autres paramètres définissant l'environnement osseux peuvent avoir une large influence sur la stabilité implantaire [7, 8].

L'os cortical alvéolaire est reconnu comme facteur déterminant du processus d'ostéo-intégration dans sa phase de la stabilité primaire [3, 8, 9, 10]. L'importance de l'épaisseur de l'os cortical dans la stabilité primaire de l'implant dentaire a été démontrée dans l'étude de Nkenke *et al.* [11], dans celle *in vivo* de Miyamoto *et al.* [12] et dans celle de Rozé *et al.* [18].

La microarchitecture osseuse trabéculaire, c'est-à-dire le réseau tridimensionnel des travées osseuses fait d'unités structurales en plaques et en poutres, est un composant essentiel de la qualité osseuse [13]. Cependant, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire et la stabilité primaire de l'implant dentaire [8, 14].

Le rôle de l'os trabéculaire dans la stabilité secondaire n'est pas non plus clairement déterminé [8]. La microarchitecture trabéculaire comme autre déterminant de la qualité osseuse doit donc encore être évaluée puisqu'elle est susceptible de contribuer à la solidité osseuse, à la cicatrisation osseuse et à la rétention de l'implant [3, 15, 16, 17]. De plus, l'os spongieux a un turn over plus élevé que celui de l'os cortical et est en contact direct avec la plus grande partie de la surface de l'implant [17].

Puisque les implants dentaires sont placés principalement dans l'os spongieux, l'évaluation des paramètres micro architecturaux trabéculaires devrait être incluse dans l'appréciation de la qualité de l'os alvéolaire lors du choix thérapeutique implantaire.

L'évaluation de la microarchitecture trabéculaire ne se fait pas encore dans la pratique courante lors de la pose de l'implant dentaire.

Elucider la microarchitecture de l'os trabéculaire avant la chirurgie des implants dentaires serait très précieux [18]. Les paramètres micro architecturaux trabéculaires pourraient devenir des facteurs prédictifs de l'ostéo-intégration des implants dentaires. Ces paramètres sont déterminés soit par histomorphométrie soit par d'autres techniques d'imagerie, dont le micro scanner est le gold standard [19, 20].

La stabilité secondaire ou ostéo-intégration des implants dentaires est évaluée par plusieurs techniques dont la plus fiable est l'analyse de la fréquence de résonance.

Le but de notre étude était d'établir la corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire analysés par micro-scanner et la stabilité secondaire (ostéo-intégration) des implants dentaires mesurée par l'analyse de la fréquence de résonance au moyen de l'Osstell afin d'observer ceux qui pourraient être prédictifs de cette stabilité secondaire.

Matériels et Méthodes

1. Type d'étude

Il s'est agi d'une étude exploratoire de cohorte monocentrique. Elle a été réalisée selon les principes d'Helsinki et a reçu l'accord du comité de protection des personnes du CHU de St Etienne (comité d'éthique). Tous les patients ont reçu une note d'information et ont signé un consentement éclairé avec un délai de réflexion de 15 jours.

2. Variables de l'étude

Les variables analysées dans cette étude étaient les suivantes:

- L'ISQ (implant stability quotient): cette variable était mesurée selon l'analyse de la fréquence de résonance à l'aide de l'Osstell.
- Les caractéristiques démographiques des patients:
 - sexe,
 - âge.
- Les sites de prélèvement osseux:
 - mandibule,
 - maxillaire.
- Les paramètres microarchitecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire:
 - fraction osseuse volumique BV/TV%,
 - nombre des travées (1/mm) TbN,
 - épaisseur des travées (mm) TbTh,
 - espace entre les travées (mm) TbSp,
 - densité de la connectivité (1/mm³) Conn.D,
 - index du modèle structurel (Structural model index) SMI,
 - degré d'anisotropie DA.

3. Critères d'inclusion

- Être affilié ou ayant droit d'un régime de sécurité sociale.
- Patient sans distinction de sexe dont l'âge est égal ou supérieur à 18 ans.
- Présenter une édentation partielle ou totale dont la hauteur et la largeur de l'os alvéolaire ne nécessitent pas de greffe osseuse ni de régénération osseuse guidée.
- Donner son consentement éclairé.

4. Critères de non-inclusion

- Patient ayant eu une chirurgie pré-implantaire (greffe osseuse, surélévation du sinus maxillaire, régénération osseuse guidée).
- Patient sous corticothérapie au long cours.
- Patient ayant reçu de la radiothérapie cervico-faciale.
- Patient sous traitement par Biphosphonates.
- Cas d'extraction implantation immédiate et cas de mise en charge immédiate implantaire.

5. Déroulement de l'étude

L'étude s'est déroulée en deux phases: une phase clinique et une phase de laboratoire.

La durée de participation du patient à l'étude était de 10 semaines.

La phase clinique s'est déroulée de manière suivante:

- Sélection des patients sur base des critères d'inclusion et de non- inclusion.
- Prélèvement d'un échantillon osseux lors de la pose de l'implant. A l'aide de la tréphine de 2.8 mm de diamètre, un échantillon osseux était prélevé soit au maxillaire soit à la mandibule avant la pose de l'implant. Ensuite Les implants dentaires étaient posés par un même praticien selon la procédure chirurgicale du fabricant et étaient de marque Straumann SLA de diamètre soit de 4.1 mm soit de 4.8 mm et de longueur soit de 8 mm soit de 10 mm. Ces implants de surface SLA (Sand-blasted, large, grit, acid-etched) sont conçus pour faciliter l'ostéo-intégration de l'implant-os. Liang Fang *et al.* [17] ont suggéré que les implants SLA pouvaient être mis en charge à 8 semaines après la pose, ce qui justifie la mesure de l'ISQ par Osstell à la 10^{ème} semaine.

L'échantillon osseux prélevé était conservé dans l'éthanol 80° et acheminé au laboratoire SAINBIOSE (Santé Ingénierie Biologie St Etienne) à la faculté de Médecine de St Etienne.

- Mesure de l'ISQ à la 10^{ème} semaine post opératoire. La stabilité secondaire ou ostéo-intégration était évaluée à la 10^{ème} semaine post opératoire. La mesure de l'ISQ était effectuée à l'aide de l'appareil Osstell dont le principe de mesure repose sur l'analyse de la fréquence de résonance ou resonance frequency analysis (RFA). La RFA est exprimée en ISQ. Les fréquences de résonance ont été converties en un chiffre arbitraire variant de 1 à 100. La mesure s'effectuait en vissant sur l'implant un capteur ou SmartPeg et en approchant la sonde magnétique du SmartPeg sans le toucher dans la direction de l'implant. Les fréquences de résonance mesurées avec le SmartPeg étaient automatiquement converties aux valeurs ISQ. Deux mesures étaient prises, l'une dans le sens vestibulo-lingual et l'autre dans le sens mésio-distal. La moyenne de deux mesures était enregistrée.

La phase de laboratoire était effectuée au laboratoire SAINBIOSE.

Les échantillons osseux trabéculaires étaient analysés au microscanner à haute résolution de marque SCANCO VIVA CT40. 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.

7 paramètres microarchitecturaux étaient analysés: la fraction osseuse volumique BV/TV, le nombre des travées Tb.N, l'épaisseur des travées Tb.Th, l'espace entre les travées Tb.Sp, l'index du modèle structural SMI, la densité de connectivité Conn.D et le degré d'anisotropie DA.

6. Analyse statistique

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 numériques 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 et évaluée graphiquement.

La corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires et l'ISQ a été mesurée grâce au coefficient de corrélation de Pearson et au coefficient de détermination R². Un test de nullité du coefficient de corrélation permettait de déterminer la significativité. L'association(interaction) entre l'ISQ et les caractéristiques démographiques des patients était étudiée par l'analyse de régression multiple.

Le niveau de significativité a été fixé à 5%.

L'analyse statistique a été réalisée sous le logiciel R « Statistical Computing » version 3.6.3.

7. Resultats

57 échantillons de l'os alvéolaire trabéculaire ont été prélevés auprès de 57 patients (un échantillon par patient), soit 36 (63%) chez les femmes et 21 (37%) chez les hommes. L'âge moyen des patients était de 57 ans (Table 1).

Table 1: Caractéristiques des patients

Sexe; % (n=57)	n	%
Homme	21	37,0%
Femme	36	63,0%
Age (Annees), (n=57)		
Moyenne (Ecart type)	57 (14,72)	
Médiane (Q ₁ - Q ₃)	58 (45 - 61)	
Site De Prelevement, % (n=57)		
Mandibule	38	67
Maxillaire	19	33

Tous les échantillons étaient de 2.8 mm de diamètre. 38 (67%) échantillons étaient prélevés à la mandibule, 19 (33%) échantillons au maxillaire. 50 (87.5%) échantillons étaient prélevés en secteur postérieur (prémolo-molaire) et 7 (12.5%) en secteur antérieur (incisivo-canin) des mâchoires (figure1).

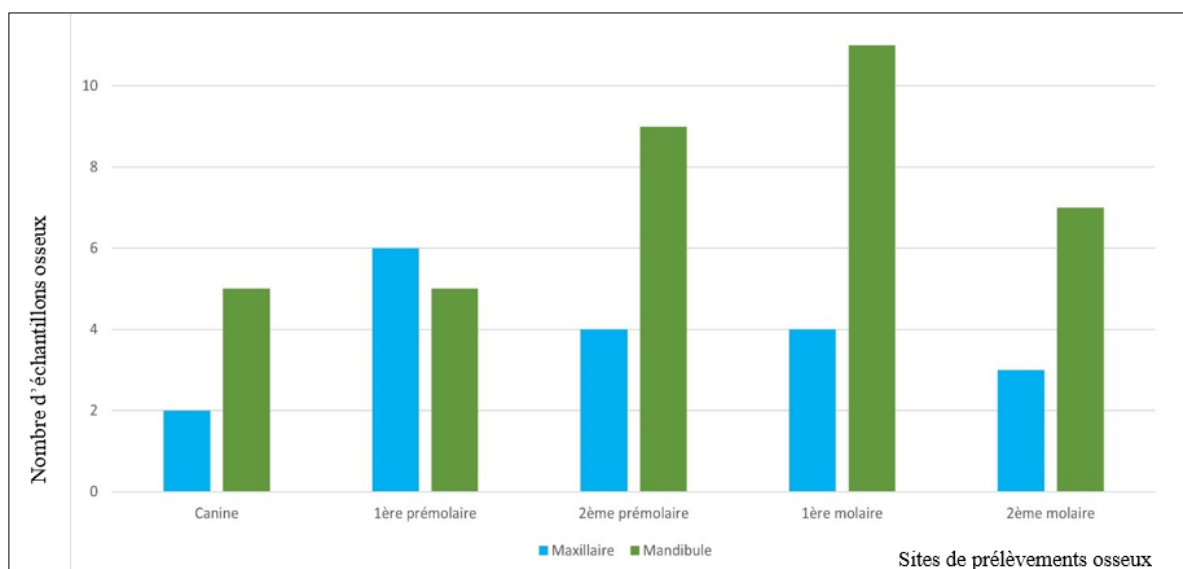


Fig 1: Répartition du prélèvement des échantillons osseux

Le table 2 montre les données descriptives des paramètres micro architecturaux trabéculaires. L'ISQ et 3 paramètres

micro architecturaux avaient une distribution normale ($p > 0.05$) selon le test de normalité de Shapiro-Wilk.

Table 2: Statistiques descriptives des paramètres micro architecturaux trabéculaires et ISQ (10e semaine)

Paramètres	Moyenne (écart-type)	Médiane (Q1-Q3)	p du test de la Normalité de distribution
BTVV%	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
ISQ	75,59 (7,59)	74,5 (70-82,25)	0,17*

Q1: premier quartile Q3: troisième quartile

*si $p > 0,05$ on peut considérer que la distribution des valeurs est normale (test de Shapiro-Wilk)

La stabilité secondaire (ostéo-intégration) était mesurée à la 10^{ème} semaine après la pose de l'implant dentaire selon l'analyse de fréquence (RFA) par Osstell exprimée par l'ISQ. Les mesures de l'ISQ étaient prélevées auprès de 56 patients, un patient ayant perdu son implant à la 6^{ème}

semaine. La moyenne de l'ISQ était de 75,59 (7,59). La valeur moyenne de l'ISQ à la mandibule était plus élevée qu'au maxillaire mais il n'y avait pas de différence statistiquement significative (Table 3).

Table 3: Moyennes (écart-type) de l'ISQ au maxillaire et à la mandibule

	Maxillaire	Mandibule	p
ISQ	73 (1,2)	76,92 (8,56)	0,065 ns

ns: non significatif

L'analyse de corrélation de Pearson a montré trois paramètres microarchitecturaux trabéculaires ayant une forte corrélation statistiquement significative avec l'ISQ. Il s'agissait de la fraction osseuse volumique BV/TV% ($r = 0,94$, $p < 0,001$), l'épaisseur des travées TbTh ($r = 0,75$, $p < 0,001$) et l'index du modèle structurel SMI ($r = -0,73$, p

$< 0,001$).

Le coefficient de détermination R^2 , par l'analyse de régression linéaire simple, a également montré une forte corrélation entre l'ISQ et ces trois paramètres. Aucune différence statistique n'était observée entre l'ISQ et les paramètres TbN, Conn.D, DA, et TbSp (Table 4).

Table 4: Corrélation entre ISQ et les paramètres microarchitecturaux trabéculaires

Paramètres	Coefficient de corrélation de Pearson	Coefficient de détermination $R^2\%$	p
BTVV%	0,94	88	0,01 *
Conn.D	- 0,19	3	0,168 ns
SMI	- 0,73	53	0,001 *
TbN	0,16	3	0,236 ns
TbTh	0,75	56	0,001 *
TB5p	- 0,26	7	0,053 ns
DA	0,25	6	0,060 ns

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

ns: non significatif

L'analyse de la régression multiple n'a montré aucune association entre l'ISQ et les caractéristiques démographiques des patients (âge, sexe) (Table 5).

Table 5: Analyse de la régression multiple de l'ISQ et caractéristiques démographiques des patients (Age, Sexe)

ISQ	Variables explicatives	Coefficient ajusté	IC 95 % (inf)	IC 95 % (sup)	p
	Age	0,09	- 0,07	0,24	0,27
	Sexe	- 0,21	- 4,7	4,28	0,13

*Les différences étaient considérées comme significatives pour $p < 0,05$

8. Discussion

Le concept de la qualité osseuse a récemment évolué de la seule analyse de la densité osseuse à l'approche microstructurale [21, 22].

L'objectif de notre étude était de définir la corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires de l'os alvéolaire et la stabilité secondaire (ostéo-intégration proprement dite).

Dans notre étude, nous avons mesuré 7 paramètres micro architecturaux et évalué la corrélation entre ces 7 paramètres (BV/TV, Tb.N, Tb.Th, Tb.Sp, Conn.D, SMI, DA) et la stabilité secondaire (ostéo-intégration) des implants

dentaires analysée selon l'analyse de la fréquence de résonance exprimée en quotient de stabilité implantaire ou implant stability quotient (ISQ). Notre étude a montré que la fraction osseuse volumique BV/TV, l'épaisseur des travées Tb.Th et l'index du modèle structurel SMI pouvaient être considérés comme facteurs prédictifs de la stabilité secondaire.

En effet, l'analyse de coefficient de Pearson a montré une forte corrélation statistiquement significative entre 3 paramètres et la stabilité secondaire (ostéo-intégration): BV/TV ($r = 0,94$, $p < 0,001$), Tb.Th ($r = 0,75$, $p < 0,001$), SMI ($r = -0,73$, $p < 0,001$).

L'analyse de régression linéaire simple a montré un coefficient de détermination R^2 de 88% pour BV/TV, de 53% pour SMI et de 56% pour Tb.Th traduisant une bonne qualité d'ajustement du modèle. Il n'a pas été observé de corrélation statistiquement significative entre les autres paramètres (Tb.N, Tb.SP, Conn.D et DA) et l'ISQ.

Blok *et al.* (9) dans leur étude suggéraient que la fraction osseuse volumique BV/TV et l'épaisseur des travées Tb.Th pouvaient être des facteurs prédictifs de l'ostéo-intégration dans sa phase de stabilité primaire.

Par l'analyse de la régression multiple, aucune association (interaction) n'était trouvée entre l'ISQ et les caractéristiques démographiques des patients (âge, sexe).

Par rapport au site de prélèvement des échantillons osseux, l'ISQ à la mandibule était plus élevée qu'au maxillaire mais il n'y avait pas de différence statistiquement significative ($p=0,065$). Ersanli *et al.* [23], Balleri *et al.* [24], Bishof *et al.* [25] ont également trouvé que l'ISQ était plus élevée à la mandibule qu'au maxillaire durant la phase de cicatrisation osseuse.

Histomorphology Equipment, la fraction osseuse volumique BV/TV est le paramètre le plus important [26, 27]. Elle représente la masse osseuse trabéculaire [15]. En effet, la solidité de l'os trabéculaire dépend principalement de la fraction osseuse volumique BV/TV et de l'épaisseur des travées [9, 28, 29]. Blok Y *et al.* [9] dans leur étude ont trouvé une moyenne de 0,31 (0,17) soit 31% de la fraction osseuse volumique. Dans notre étude, la moyenne de BV/TV était également de 31%. Raül Gonzalez Garcia et Florencio Monje [30] dans leur étude ont trouvé une moyenne supérieure aux nôtres de 48,7 (17,85%).

L'index du modèle structurel SMI est un indicateur de l'architecture trabéculaire de type plaque et/ou poutre. Le SMI traduit la prévalence de cylindres (poutres) ou de plaques dans une structure [31]. Une structure en plaque aura une valeur proche de 0 et une structure en poutre une valeur proche de 3 [30]. La moyenne de 1,01 (1,8) dans notre étude signifie que les travées osseuses étaient plus constituées de plaques que de poutres. Les travées en forme de plaque déterminent une forte résistance osseuse [26].

Blok Y *et al.* [9] dans leur étude suggéraient que le degré d'anisotropie DA optimisait la résistance de l'os trabéculaire dans une direction spécifique et, de ce fait, pouvait aussi être considéré comme facteur prédictif du succès implantaire. Huh *et al.* [32] ont proposé que DA puisse être un facteur fort de la prédiction de la solidité trabéculaire. Dans notre étude, le DA avait une moyenne de 1,28 (0,1). Cette moyenne proche de 1 est faible comparée à celle de Raül Gonzalez Garcia et Florencio Monje [30] qui était de 2,7. Notre faible moyenne de DA serait due au fait que 87,5% de nos prélèvements étaient réalisés dans le secteur postérieur du maxillaire et de la mandibule. En effet, les forces dans la région antérieure du maxillaire et de la mandibule sont principalement orientées dans une direction tandis que dans la région postérieure les forces sont orientées dans deux ou plusieurs directions [9].

Plusieurs auteurs ont étudié la corrélation entre les paramètres micro architecturaux et la stabilité primaire. Rozé *et al.* [9], Nkenke *et al.* [11], Miyamoto *et al.* [12], sur des échantillons osseux des mâchoires des cadavres humains, n'ont pas trouvé de corrélation entre les paramètres micro architecturaux trabéculaires et la stabilité primaire.

Se-Ryong King *et al.* [33] dans leur étude ont montré que la stabilité primaire de l'implant mesurée par la fréquence de

la réponse de l'implant était hautement corrélée avec les paramètres microstructuraux trabéculaires 3D en utilisant le microscanner et le cone beam. Blok Y *et al.* [9] ont trouvé que la stabilité primaire de l'implant coïncidait avec la fraction osseuse volumique BV/TV et le DA très élevés. La plupart de ces études ont été réalisées soit sur l'os humain du cadavre soit sur des modèles animaux ou d'autres matériaux et reposaient sur une mesure de la stabilité primaire basée sur l'ancrage mécanique de l'implant dentaire et de l'os alvéolaire.

Dans notre étude, nous avons évalué la stabilité secondaire (ostéo-intégration) par la méthode d'analyse de la fréquence de résonance à l'aide de l'appareil Osstell. En effet, Meredith *et al.* [34] ont décrit une approche clinique non invasive nommée RFA pour l'évaluation de la stabilité implantaire. Cette technique évalue l'ancrage osseux autour de l'implant en mesurant la fréquence de résonance d'un transducteur couplé à l'implant. Les valeurs pour les implants ostéo-intégrés avec succès sont rapportées entre 57-82 ISQ [35]. La RFA est supérieure aux autres analyses (percussion, analyse radiologique, le torque d'insertion, le periotest) [36]. Bien que la percussion et l'évaluation radiologique soient communément utilisées, leurs résultats ne sont pas toujours fiables, souvent en cas d'encapsulation fibreuse [37]. La mesure du torque d'insertion, quoique simple durant la pose de l'implant, n'est pas applicable dans le processus du traitement et de suivi implantaire [38]. Le periotest est critiqué à cause de son manque de résolution, de sa pauvre sensibilité et de sa susceptibilité à la variabilité selon l'opérateur [39].

Les échantillons osseux trabéculaires de cette étude ont été scannés par micro scanner à haute résolution (Scanco Viva CT [40]). Le micro scanner est accepté comme modalité gold standard pour l'évaluation des microstructures trabéculaires mais il ne peut être employé en clinique [5, 10, 20, 40]. Ses résultats sont similaires à ceux de l'histomorphométrie conventionnelle [41].

D'autres études ont été menées comparant les résultats du CBCT (Cone beam computed tomography) sur l'évaluation de la microarchitecture trabéculaire avec ceux du microscanner et ont conclu que le CBCT montre une précision comparable avec le microscanner à haute résolution dans l'évaluation des structures trabéculaires [10, 42]. Le CBCT offre l'avantage d'être utilisé en clinique.

Notre étude présente comme limite son échantillonnage inhomogène avec 87,5% des prélèvements osseux au secteur postérieur du maxillaire et de la mandibule. Cela pourrait expliquer l'absence de corrélation avec l'ISQ des certains paramètres notamment le degré d'anisotropie. De plus, elle n'a pas tenu compte des variabilités inter et intra-individuelles.

Des études variées [3, 17, 43] ont montré que la compréhension de la microarchitecture de l'os trabéculaire peut donner une information importante sur sa compétence mécanique et son influence sur le pronostic de l'implant dentaire.

Comprendre la microarchitecture trabéculaire osseuse des mâchoires au site de la pose de l'implant avant la chirurgie implantaire est donc utile pour choisir une méthode chirurgicale ou un implant dentaire [44].

9. Conclusion

Notre étude a défini trois paramètres micro architecturaux comme facteurs prédictifs de la stabilité secondaire: la fraction osseuse volumique BV/TV, l'épaisseur des travées

Tb.Th et l'index du modèle structurel SMI. Ces paramètres ont montré une forte corrélation avec l'ISQ exprimant une forte stabilité secondaire avec une valeur moyenne de 75, 59 [7, 59].

Nous proposons que d'autres études puissent être faites en utilisant le CBCT, qui est de pratique clinique, et établir des normes des valeurs des paramètres prédictifs de l'ostéointégration des implants dentaires de manière à rendre objective l'appréciation préopératoire de la qualité osseuse et à aider les praticiens dans leur prise de décision thérapeutique implantaire.

Références

- Martinez H, Renault P, Bianca G. Chronologie du traitement implantaire: évolution des concepts. Dans: Martinez H, Renault, Georges-Renault G, Pierrisnard L, Rouach T, eds. Les implants: chirurgie et prothèse. Choix thérapeutiques. Wolters Kluwer: CdP, 2008, p. 1-37.
- 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.
- Fanuscu M.L, Chang TL. Three-dimensional morphometric analysis of human cadaver bone: microstructural data from maxilla and mandible. *Clin Oral Implants Res.* 2004;15(2):213-8.
- Felsenberg D, Boonen S. The bone quality framework: determinants of bone strength and their interrelationships, and implications for osteoporosis management. *Clin Ther.* 2005;27:1-11.
- Bouxsein ML. Bone quality: where do we go from here? *Osteoporos Int.* 2003;14:S118-S127.
- Senneby L, Roo J. Surgical determinants of clinical success of osseointegrated oral implants: a review of the literature. *Int J Prosthodont.* 1998;11(5):408-20.
- Pattijn V, Jaecques SV, De Smet E, *et al.* Resonance frequency analysis of implants in the guinea pig model: influence of boundary conditions and orientation of the transducer. *Med Eng Phys.* 2007;29(2):182-90.
- Rozé J, Babu S, Saffarzadeh A, Cayet-Delacroix M, Hoomaert A, Layrolle P. Correlating implant stability to bone structure. *Clin Oral Impl Res.* 2009;10:1140-5.
- Blok Y, Gravesteijn FA, Van Ruijven LJ, Koolstra JH. Micro-architecture and mineralization of the human alveolar bone obtained with micro CT. *Archives of Oral Biology.* 2013;58:621-7.
- 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):1-5.
- Nkenke E, Hahn M, Weinzierl K, *et coll.* Implant stability and histomorphometry: a correlation study in human cadavers using stepped cylinder implants. *Clin Oral Implants Res* 2003;14(5):601-9.
- Miyamoto I, Tsuboi Y, Wada E. *et coll.* Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at time of surgery: clinical, prospective, biomechanical and imaging study. *Bone* 2005;37(6):776-80.
- Chappard D, Baslé M-F, Legrand E, Audran M. Trabecular bone microarchitecture: a review. *Morphologie.* 2008;92(292):162-70.
- Akca K, Chang TL, Tekdemir I, Fanuscu MI. Biomechanical aspects of initial intraosseous stability and implant design: a quantitative micro-morphometric analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17(4):465-72.
- Jo-Eum Kim, Won-Jin Yi, Min-Suk Heo, Sam-Sun Lee, Soon-Chul Choi, Kyung-Hoe Huh. 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.
- Minkin C, Marinho VC. Rôle of osteoclast at the bone implant interface. *Adv Dent Res.* 1999;13:49-56.
- Liang Fang, Xi Ding, Hui-Ming Wang, Xing-Hao Zhu. Chronological changes in the microstructure of bone during peri-implant healing: a microcomputed tomographic evaluation. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2014;52:816-821.
- Jung-Ting Ho, Jay Wu, Heng-Li Huang, Michael Chen YC, Lin-Jyh Fuh, Jui-Ting Hsu. Trabecular bone structural parameters evaluated using dental cone-beam computed tomography: cellular synthetic bones. *Biomed Eng Online.* 2013;12:115.
- Martin-Badosa E, Amblard D, Nuzzos Elmoutaouakkil A, Vicol Peyrin F. Excised bone structures in mice: imaging at three-dimensional synchrotron radiation microCT. *Radiology.* 2003;229:921-28.
- Burghardt AJ, Link TM, Majumdar S. High-resolution computed tomography for clinical imaging of bone microstructure. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:2179-83.
- Panmekiate S, Ngonphloy N, Charoenkam T, Faruangkorn T, Pauwels R. Comparison of mandibular bone microarchitecture between micro-CT and CBCT images. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(5):20140322.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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;17:512-520.
- Parfitt AM, Drezner MK, Glorieux FH, Kanis JA, Malluche H, Meunier PJ, *et al.* Bone Histomorphometry: Standardization of Nomenclature, Symbols, and Units. *Journal of Bone and Mineral Research.* 1987;2(6):595-610.
- Chappard C. Méthodes d'évaluation de la microarchitecture de l'os trabéculaire humain. *Médecine/Sciences.* 2012;28:1111-5.
- Ulrich D, Van Rietbergen B, Laib A, Rueggsegger P. The ability of three-dimensional structural indices to reflect mechanical aspects of trabecular bone. *Bone.* 1999;25:55-60.

29. Majumdar S, Kothari M, Augat P, Newitt DC, Link TM, Lin JC, *et al.* High-resolution magnetic resonance imaging: three-dimensional trabecular bone architecture and biomechanical properties. *Bone*. 1998;22(5):445-54.
30. Gonzalez-Garcia R, Monje F. Is micro-computed tomography reliable to determine the microstructure of the maxillary alveolar bone? *Clin Oral Implants Res*. 2013;24(7):730-7.
31. Hildebrand T, Rüeggsegger P. Quantification of bone microarchitecture with the structure model index. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 1997;1:15-23.
32. Huh KH, Yi WJ, Jeon IS, *et al.* Relationship between two-dimensional and three-dimensional bone architecture in predicting the mechanical strength of the pig mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006;101:363-73.
33. Se-Ryong Kang, Sung-Chul Bok, Soon-Chul Choi, Sam-Sun Lee, Min-Suk Heo, Kyung-Hoe Huh. The relationship between dental implant stability and trabecular bone structure using cone beam computed tomography. *J Periodontal Implant Sci*. 2016;46(2):116-127.
34. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res*. 1996;7:261-7.
35. Park K-J, Kwon J-Y, Kim S-K, Heo S-J, Koak J-Y, Lee J-H, *et al.* The relationship between implant stability quotient values and implant insertion variables: a clinical study. *J Oral Rehabil*. 2012;39(2):151-9.
36. Manresa C, Bosch M, Echeverria JJ. The comparison between implant stability quotient and bone-implant contact revisited: an experiment in Beagle dog. *Clin Oral Implants Res*. 2014;25(11):1213-21.
37. Sargolzaie N, Samizade S, Arab H, Ghanbari H, Khodadadifard L, Khajavi A. The evaluation of implant stability measured by resonance frequency analysis in different bone types. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2019;45:29-33.
38. Friberg B, Sennerby L, Meredith N, Lekholm U. A comparison between cutting torque and resonance frequency measurements of maxillary implants. A 20-month clinical study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 1999;28:297-303.
39. Meredith N. Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont*. 1998;11(5):491-501.
40. Donnelly E. Methods for assessing bone quality: a review. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(8):2128-2138.
41. 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.
42. 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.
43. Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P. Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004;24:316-25.
44. Rong-Ting He, Ming-Gen Tu, Heng-Li Huang, Ming-Tzu Tsai, Jay Wu, Jui-Ting Hsu. Improving the prediction of the trabecular bone micro architectural parameters using dental cone-beam computed tomography. *BMC Med Imaging*. 2019;19(10):1-9.