

Caractérisation biomécanique des implants dentaires de faible diamètre

Donald Responde, PhD, Ingénieur d'Essai Senior, Zimmer Biomet

Introduction

Les implants de faible diamètre sont conçus pour être posés dans des sites ne permettant pas la mise en place d'implants de plus grand diamètre en raison de limitations anatomiques. Par exemple, les implants de faible diamètre peuvent être utilisés dans des zones comportant des espaces étroits entre dents adjacentes, entre les racines de dents convergentes, ou en cas de crête trop fine. En outre, les implants de faible diamètre permettent de remplacer des dents de petite taille, par exemple les incisives latérales du maxillaire et de la mandibule. Dans la mesure où les implants de faible diamètre sont posés en secteur antérieur, les considérations esthétiques sont également essentielles lors de leur conception.

Plusieurs études ont évalué l'efficacité des implants de faible diamètre. Par exemple, une évaluation de 316 implants de faible diamètre suivis sur une période de 10 ans a démontré un taux de survie cumulatif de 92,3 % sans fracture de l'implant¹. Dans le cadre d'une autre étude portant sur 510 implants de divers types², avec des diamètres de 3,0 à 3,5 mm, trois implants seulement ont été perdus, soit un taux de survie de 99,4 %. En règle générale, ces études à long terme ont montré que les implants de faible diamètre peuvent présenter des taux de survie similaires à ceux des implants de plus grand diamètre, ce qui permet de penser que les implants de faible diamètre représentent une option de traitement prometteuse pour les situations interdisant l'emploi d'implants de plus grand diamètre.

Malgré leurs résultats prometteurs, les implants de faible diamètre présentent toutefois plusieurs inconvénients potentiels susceptibles de limiter leur utilisation. Les facteurs de risques biomécaniques, en particulier, doivent être soigneusement analysés avant toute utilisation clinique³ des implants de faible diamètre. Il a été démontré que la taille réduite des implants de faible diamètre s'accompagne d'une réduction des propriétés mécaniques⁴, ce qui suggère que des essais de résistance à la fatigue pour les implants de faible diamètre sont conseillés pour réduire le risque de fracture en pratique clinique. De plus, une simulation mathématique de la distribution des tensions autour des implants a démontré que le diamètre de l'implant a davantage d'impact sur sa résistance mécanique que sa longueur⁵. Toutes les études, tant théoriques qu'expérimentales, concluent qu'une caractérisation mécanique des implants de faible diamètre est essentielle.

La stabilité primaire, qui est importante pour faciliter l'ostéointégration des implants dentaires⁶, représente un autre facteur crucial. Dans la mesure où les implants de faible diamètre présentent une surface inférieure à celle des implants de plus grand diamètre, la réduction du contact avec l'os est susceptible de réduire la stabilité primaire. Il a été proposé de recourir à des implants de diamètre plus important pour améliorer la stabilité primaire dans les cas où une faible densité osseuse est courante⁷. Pour s'assurer que les implants de faible diamètre offrent une stabilité primaire suffisante, il est possible d'effectuer des tests de couple d'insertion. En outre, des essais mécaniques de torsion permettent de s'assurer que la résistance des implants de faible diamètre est suffisante pour le couple d'insertion. Ces tests et les données des essais de résistance à la fatigue peuvent réduire le risque de rupture mécanique dans les applications cliniques.

Pour caractériser les propriétés biomécaniques des implants de faible diamètre, nous avons examiné les modèles suivants : Zimmer Biomet Eztetic® 3.1 x 13 mmL, Astra Tech OsseoSpeed™ EV 3.0 x 13 mmL, BioHorizons® Laser-Lok® 3.0 x 12 mmL et Nobel Biocare NobelActive® 3.0 x 13 mmL. L'objectif de cette étude était d'évaluer le couple d'insertion, la limite d'élasticité à la torsion et les propriétés de fatigue de chaque implant.

Méthodes

Fatigue

Les échantillons ont été inclus dans du ciment Dycal (Dentsply, Milford, DE, États-Unis). Les piliers ont été assemblés avec les implants correspondants, puis serrés aux valeurs de couple indiquées dans les instructions d'utilisation de chaque modèle. Des coiffes d'essai ont ensuite été fixées sur les piliers afin d'assurer une distribution similaire des charges pour tous les systèmes d'implants. Les essais de fatigue ont été menés selon la norme ISO 14801 à une température de 20 °C ± 5 °C. Les charges ont été appliquées à 14 Hz et ont varié entre une charge maximale et 10 % de celle-ci. Selon la norme ISO 14801, chaque implant a été testé sur 5 millions de cycles, afin de simuler la charge fonctionnelle des implants dentaires. Les courbes de fatigue ont ensuite été générées pour calculer la limite d'endurance de chaque système d'implant.

Couple d'insertion

Un substrat osseux artificiel (Sawbones, Vashon Island, WA, États-Unis), avec une couche corticale de 3 mm (0,8 g/cm³) et un noyau de 0,5 g/cm³, a été choisi pour simuler l'os dense. Ce substrat a été sectionné en cubes d'environ 2 cm de côté. Une ostéotomie appropriée a été créée dans chaque cube de substrat osseux artificiel, en respectant le protocole de forage dans l'os dense propre à chaque fabricant. Les instruments de pose et les cubes de substrat osseux artificiel ont ensuite été fixés dans des dispositifs conçus sur mesure. Après alignement de l'implant sur l'ostéotomie, un système de torsion électromécanique Bionix (MTS, Eden Prairie, MN, États-Unis) a été utilisé pour faire tourner l'implant à 8 tr/min jusqu'à ce que l'implant affleure avec la surface supérieure du substrat osseux. Cinq implants de chaque fabricant ont été testés de la sorte. Les valeurs maximales de couple d'insertion ont été enregistrées pour chaque implant à l'aide du système Bionix.

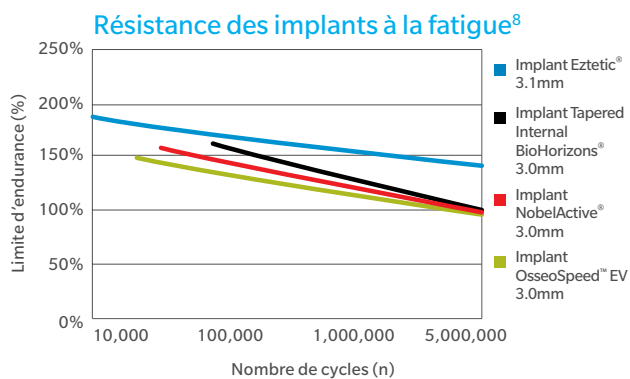
Meilleure résistance à la torsion

Les implants ont été inclus dans une colle époxy 3M Scotch-Weld (3M, St. Paul, MN, États-Unis) et mis à durcir pendant 48 heures. Les fixations ont été conçues pour maintenir les implants inclus et les instruments de pose correspondants. Après alignement de chaque instrument de pose sur son implant inclus, un système de torsion électromécanique Bionix (MTS, Eden Prairie, MN, États-Unis) a été utilisé pour faire tourner l'implant, via son instrument de pose, à 10 degrés/min jusqu'à rupture de l'ensemble implant-instrument de pose. Des courbes de couple/rotation ont été enregistrées pour chaque échantillon et analysées suivant la norme ISO 13498 afin de calculer la limite d'élasticité de chaque échantillon.

Résultats

Fatigue

Selon la norme ISO 14801, des courbes de fatigue ont été générées pour tous les types d'implants en les testant à 14 Hz sur 5 millions de cycles, afin de simuler la charge fonctionnelle d'un implant dentaire. Tous les systèmes d'implants ont présenté des limites d'endurance équivalentes, à part celui de Zimmer Biomet dont la limite d'endurance s'est avérée 43 % supérieure à celle des implants Astra Tech, Nobel et BioHorizons (Figure 1). Les implants Nobel, Astra Tech et BioHorizons ont présenté des défaillances tant sur l'implant que sur la vis. Pour leur part, les implants Zimmer Biomet ont présenté des défaillances sur l'implant et la vis au niveau de l'inclusion⁸.

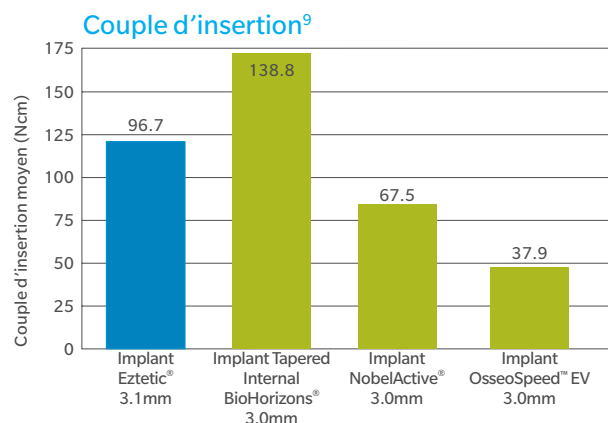


Tous les produits ont été testés par incréments de 2,2 kg.

Figure 1 : Limites d'endurance d'implants étroits (n = 11). Les essais de résistance à la fatigue menés selon la norme ISO 14801 ont démontré qu'à 5 millions de cycles les implants de Zimmer Biomet présentaient une limite d'endurance supérieure de 43 % à celle des implants Astra Tech, Nobel et BioHorizons.

Couple d'insertion

Les valeurs de couple maximales ont été enregistrées lors de l'insertion des implants dans un substrat osseux artificiel. Le couple d'insertion moyen pour chaque marque d'implant a été calculé. Tous les implants ont été entièrement mis en place sans présenter de défaillances⁹. Les valeurs de couple d'insertion ont été respectivement de 96,7 ± 4,1, 138,8 ± 4,9, 67,5 ± 6,1 et 37,9 ± 1,6, N-cm pour les implants Zimmer Biomet, BioHorizons, Nobel et Astra Tech (Figure 2)⁹. Les valeurs de couple d'insertion des implants Zimmer Biomet étaient donc supérieures de 43 % et 154 %, respectivement, à celles des implants Astra Tech et Nobel⁹.



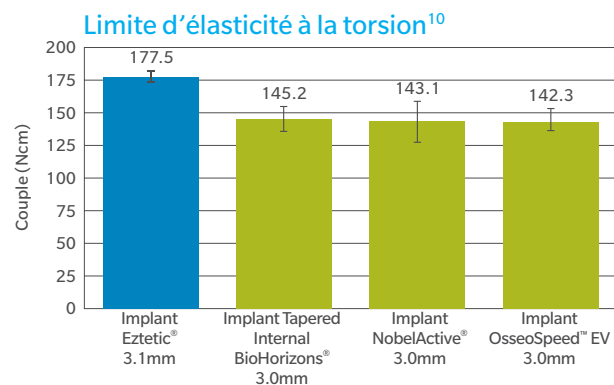
Essai technique en laboratoire avec un substrat osseux dense⁹.

Figure 2 : Couple d'insertion moyen des implants de faible diamètre (n = 5). Les essais de couple d'insertion dans un substrat osseux artificiel ont démontré que les implants Zimmer Biomet avaient un couple d'insertion 43 % supérieur à celui des implants Astra Tech et 154 % supérieur à celui des implants Nobel. Les données sont présentées sous forme de moyenne ± écarts-types.

Limite d'élasticité à la torsion

Des essais de couple ont été menés jusqu'à rupture de l'implant et/ou de l'instrument de pose. Les résultats ont été quantifiés sous forme de limite d'élasticité, calculée selon la norme ISO 13498. Les valeurs de limite d'élasticité ont été de 177,5 ± 4,9, 145,2 ± 10,5, 143,1 ± 17,4 et 142,3 ± 7,1 N-cm respectivement pour les implants Zimmer Biomet, BioHorizons, Nobel et Astra Tech (Figure 3)¹⁰. La limite d'élasticité de l'implant Zimmer Biomet est donc supérieure de 24 %, 23 % et 22 % respectivement à celles des implants Astra Tech, Nobel et

BioHorizons¹⁰. Les implants Nobel et Astra Tech ont échoué au niveau de l'interface instrument de pose/implant¹⁰. Les implants Zimmer Biomet ont échoué au niveau de l'inclusion et les implants BioHorizons à la paroi de l'interface¹⁰.



Essai technique en laboratoire avec les implants et leurs instruments de pose spécifiques¹⁷.

Figure 3 : Valeurs de limite d'élasticité pour des implants de faible diamètre (n = 6). Les essais de résistance de la connexion menés selon la norme ISO 13498 ont démontré que les implants Zimmer Biomet présentaient des valeurs de limite d'élasticité supérieures de 24 %, 23 % et 22 % à celles des implants BioHorizons, Nobel et Astra Tech, respectivement. Les données sont présentées sous forme de moyenne ± écarts-types.

Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer le couple d'insertion, la limite d'élasticité à la torsion et les propriétés de fatigue d'implants de faible diamètre de Zimmer Biomet, Astra Tech, BioHorizons et Nobel. Les données ont démontré que les implants Zimmer Biomet présentaient les valeurs de limite d'endurance à la fatigue et de limite d'élasticité en torsion les plus élevées. De plus, les implants Zimmer Biomet ont présenté des valeurs de couple d'insertion plus élevées que les implants Nobel et Astra Tech.

Les essais de résistance à la fatigue sont d'une importance cruciale pour évaluer l'efficacité de la conception d'un implant, en particulier pour les implants de faible diamètre³. Les études de distributions des tensions indiquent qu'un diamètre étroit augmente les tensions imposées à l'implant^{11, 12}. Ces contraintes accrues sont susceptibles d'augmenter le risque de rupture par fatigue¹³, un facteur particulièrement important pour les implants de faible diamètre. Dans cette étude, les données des essais de résistance à la fatigue ont montré que l'implant Zimmer Biomet présentait une plus grande résistance à la fatigue que les implants Astra Tech, Nobel et BioHorizons. Ces résultats suggèrent que la conception de l'implant Zimmer Biomet lui permet de mieux résister aux contraintes appliquées pendant les essais de résistance à la fatigue et, au final, de présenter une plus faible probabilité de fracture des composants. Des propriétés de résistance à la fatigue nettement supérieures représentent un avantage particulièrement important pour les implants de faible diamètre, puisque des études ont montré que de plus faibles diamètres sont susceptibles de réduire la résistance à la fatigue des implants dentaires¹⁴.

Les résultats des tests de torsion montrent que l'implant Zimmer Biomet présente la limite d'élasticité la plus élevée. Cette meilleure limite d'élasticité de l'implant Zimmer Biomet peut

s'expliquer par des différences de conception de l'implant et/ou de l'instrument de pose, lesquelles permettraient à l'ensemble implant-instrument de pose de résister à des contraintes plus importantes avant de céder. Une limite d'élasticité plus élevée est préférable, car elle réduit le risque de défaillance en cas d'application d'un couple anormalement élevé. De plus, la limite d'élasticité doit être nettement supérieure au couple d'insertion correspondant, afin de réduire le risque de défaillance lors de l'insertion.

Les données sur le couple d'insertion viennent compléter les résultats des tests de résistance à la fatigue en démontrant les différences potentielles de stabilité primaire des implants. Les résultats de cette étude suggèrent que les implants Astra Tech et Nobel pourraient présenter une stabilité primaire inférieure à celle des implants Zimmer Biomet. De faibles valeurs de couple d'insertion, signe d'une stabilité primaire inférieure, peuvent suggérer un risque accru de défaillance de l'implant¹⁵. Un couple d'insertion plus faible pourrait avoir des conséquences notables, en particulier dans les régions antérieures où l'esthétique joue un grand rôle. En effet, la stabilité primaire est un paramètre important dans le choix entre une prothèse provisoire ou la mise en charge immédiate de l'implant¹⁶. Cependant, un couple d'insertion élevé qui se rapprocherait de la limite d'élasticité en torsion pourrait s'avérer préjudiciable, puisqu'il pourrait augmenter le risque de défaillance lors de l'insertion. Le couple d'insertion de l'implant BioHorizons est à 95,5 % de sa limite d'élasticité, alors que celui de l'implant Zimmer Biomet est à 54,5 % de sa propre limite d'élasticité. En restant éloigné de la limite d'élasticité, le couple d'insertion élevé des implants Zimmer Biomet indique une réduction du risque de défaillance de l'implant pendant l'insertion, ainsi qu'une plus grande probabilité d'assurer la stabilité primaire.

Plusieurs facteurs sont susceptibles de contribuer aux propriétés mécaniques élevées observées pour les implants Zimmer Biomet. La géométrie de l'implant et la précision de son usinage pourraient le rendre plus résistant aux défaillances et augmenter sa résistance à la fatigue. Il semble que la connexion conique à double calage par friction de l'implant Zimmer Biomet contribue également à l'intégrité mécanique de celui-ci, en lui assurant un meilleur potentiel de résistance aux charges. En outre, l'implant Zimmer Biomet est fabriqué à l'aide d'un alliage de titane plus robuste que les matériaux en titane commercialement pur également utilisés dans les applications dentaires¹⁷. Ces facteurs de conception pourraient jouer un rôle dans les valeurs élevées de résistance à la fatigue, de limite d'élasticité à la torsion et de couple d'insertion présentées par l'implant Zimmer Biomet.

Conclusions

La caractérisation biomécanique est essentielle pour évaluer les implants de faible diamètre, puisque la réduction du diamètre de l'implant peut entraîner une réduction de son intégrité mécanique³. Les résultats de cette étude ont montré que les implants Zimmer Biomet présentaient des valeurs plus élevées de limite d'endurance à la fatigue et d'élasticité à la torsion que les implants Astra Tech, BioHorizons et Nobel. De plus, les implants Zimmer Biomet ont présenté des valeurs de couple d'insertion plus élevées que les implants Nobel et Astra Tech. L'ensemble de ces résultats suggère que l'implant Zimmer Biomet aura une meilleure stabilité primaire, une meilleure résistance à la torsion et une meilleure résistance à la rupture par fatigue que les autres implants de faible diamètre.

1. Arsan V, Bolukbasi N, Ersanli S, Ozdemir T. (2010). Evaluation of 316 narrow diameter implants followed for 5-10 years: a clinical and radiographic retrospective study. *Clin Oral Implants Res.* 21(3), 296-307.
2. Degidi M, Piattelli A, Carinci F. (2008). Clinical outcome of narrow diameter implants: a retrospective study of 510 implants. *J Periodontol.* 79(1), 49-54.
3. Davarpanah M, Martinez H, Tecucianu J-F, Celletti R, Lazzara R. (2000). Small-diameter implants: indications and contraindications. *J Esthet Dent.* 12(4), 186-194.
4. Allum SR, Tomlinson RA, Joshi R. (2008). The impact of loads on standard diameter, small diameter and mini implants: a comparative laboratory study. *Clin Oral Implants Res.* 19(6), 553-9.
5. Himmlova, L, Dostalova, T, Kacovsky, A, Konvickova, S. (2004). Influence of implant length and diameter on stress distribution: a finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 91(1), 20-5.
6. Kohn, DH. (1992). Overview of factors important in implant design. *J Oral Implantol.* 18(3), 204-19.
7. Langer B, Langer L, Herrmann I, Jorneus, L. (1993). The wide fixture: a solution for special bone situations and a rescue for the compromised implant. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 8(4), 400-8.
8. Données disponibles.
9. Données disponibles.
10. Données disponibles.
11. Petrie, CS, Williams, JL. (2005). Comparative evaluation of implant designs: influence of diameter, length, and taper on strains in the alveolar crest. A three-dimensional finite-element analysis. *Clinical Oral Implants Research.* 16, 486-494.
12. Qian, L, Todo, M, Matsushita, Y, Koyano, K. (2009). Effects of implant diameter, insertion depth, and loading angle on stress/strain fields in implant/jawbone systems: finite element analysis. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants.* 24, 877-886.
13. Quek, CE, Tan, KB, Nicholls, JI. (2006). Load fatigue performance of a singletooth implant abutment system: effect of diameter. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants.* 21, 929-936.
14. Boggan, RS, Strong, JT, Misch, CE, Bidez, MW. (1999). Influence of hex geometry and prosthetic table width on static and fatigue strength of dental implants. *J Prosthet Dent.* 82(4), 436-40.
15. Sakoh J, Wahlmann U, Stender E, Nat R, Al-Nawas B, Wagner W. (2006). Primary stability of a conical implant and a hybrid, cylindrical screw-type implant in vitro. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 21(4), 560-6.
16. Gapski R, Wang HL, Mascarenhas P, Lang NP. (2003). Critical review of immediate implant loading. *Clin Oral Implants Res.* 14, 515-527.
17. Elias, CN, Lima, JHC, Valiev, R., Meyers, MA (2008). Biomedical applications of titanium and its alloys. *Jom.* 60(3), 46-49.

Contactez-nous au +33(0)1- 45 12 35 35 ou rendez-vous sur zimmerbiometdental.fr

Zimmer Biomet Dental
Global Headquarters
4555 Riverside Drive
Palm Beach Gardens, FL 33410, USA
Tel: +1-561-776-6700
Fax: +1-561-776-1272

Zimmer Dental SAS
Batiment Quebec
19 Rue d'Arcueil
94528 Rungis Cedex
Tel : +33-1-45-12-35-35
Fax : +33 1-45-60-04-88
ZB.commandes@zimmerbiomet.com

Sauf indication contraire, comme indiqué ici, toutes les marques déposées sont la propriété de Zimmer Biomet et tous les produits sont fabriqués par une ou plusieurs des filiales dentaires de Zimmer Biomet Holdings, Inc., commercialisés et distribués par Zimmer Biomet Dental et par ses partenaires de commercialisation autorisés. OsseoSpeed est une marque commerciale de Dentsply. BioHorizons et Laser-Lok sont des marques déposées de Evollution IP Holdings, Inc. NobelActive est une marque déposée du groupe Nobel Biocare. Les marques et les noms de produits de tiers cités dans le présent document appartiennent à leurs propriétaires respectifs. Pour plus d'informations sur le produit, veuillez consulter l'étiquette individuelle ou la notice du produit. La disponibilité des produits peut être limitée dans certains pays/certaines régions. Ce document est destiné exclusivement aux cliniciens et n'inclut aucun avis ni recommandation médical(e). La distribution à tout autre destinataire est formellement interdite. Ce document ne doit pas être dupliqué ni réimprimé sans l'autorisation écrite expresse de Zimmer Biomet Dental. ZB0958FR REVA 11/19 ©2019 Zimmer Biomet. All rights reserved.

