

Apport des nouvelles technologies dans la mesure de l'ostéointégration en implantologie #1



Lauréat : Cyril Licha
Directeur de thèse : Ichai Lanati
Faculté : Paris V

Introduction

Depuis 20 ans, le développement des connaissances dans le domaine de l'implantologie a été exponentiel.

L'arrivée des implants à surfaces rugueuses a révolutionné la pratique en réduisant la durée d'ostéointégration jusqu'à 2 mois, grâce aux nouveaux états de surface. Cependant, avant la fin des années 1990, les seules techniques à la disposition du praticien pour évaluer l'ostéointégration d'un implant étaient qualitatives, la spécificité de ces méthodes était par conséquent faible.

Depuis, les industriels ont développé des méthodes quantitatives pour mesurer l'ostéointégration d'un implant. Dès lors, cela permet de s'affranchir du biais lié au praticien.

Il existe aujourd'hui principalement 2 méthodes quantitatives :

- la mesure par analyse biomécanique (Damping Capacity Analysis) ;
- la mesure par RFA (resonance frequency analysis).

Des interrogations subsistent quant à la fiabilité de ces appareils et quant à la précision de leurs mesures.

L'objectif de cette thèse a été de faire un état des lieux de ces nouveaux moyens d'évaluation, quant à la pertinence de l'utilisation de ces appareils de mesure quantitatifs en complément des méthodes qualitatives pour la mesure de l'ostéointégration en implantologie.

L'ostéointégration

L'ostéointégration se définit comme « *un processus conduisant à la liaison structurale et fonctionnelle entre une surface osseuse vivante et un implant mis en charge* » (1). La structure de l'os spongieux et de l'os cortical est très différente. La réaction d'ostéointégration est donc bien spécifique au type d'os rencontré.

L'ostéointégration dans l'os spongieux (2)

Le sang doit être la première matière à entrer en contact avec l'implant. Ainsi, un caillot sanguin se forme dans l'espace entre l'implant et le forage initial. Puis un réseau en 3 dimensions de fibrine se met en place et s'en suit une angiogenèse. Cela permet l'arrivée des cellules indifférenciées, qui dans les bonnes conditions, se différencient selon la lignée ostéoclastique. Selon la localisation de la néoformation osseuse, il se produira :

- **une ostéogenèse de contact** si la néoformation osseuse débute directement à la surface de l'implant ;
- **une ostéogenèse à distance** si la néoformation osseuse débute à partir de l'os adjacent préexistant.

Cela aboutit à la formation d'un os tissé. Enfin, l'os tissé ainsi néoformé va ensuite mûrir et se remodeler. L'organisation devient d'abord lamellaire puis haversien avec le remodelage permanent. Au fur et à mesure du remodelage et de la maturation, l'os devient de plus en plus résistant mécaniquement.

De la stabilité primaire à la stabilité secondaire

La stabilité primaire est une stabilité mécanique de l'implant dans l'os. La stabilité primaire est un facteur déterminant pour obtenir l'ostéointégration de l'implant (3).

La stabilité secondaire est une stabilité dite biologique. En effet, l'os ancien est remplacé par un nouvel os qui ira au contact de l'implant. **L'ostéointégration correspond donc à la stabilité secondaire.** Nous voyons ce passage de la stabilité primaire à la stabilité secondaire avec 3 courbes (Fig. 1) :

- la courbe noire correspond à la stabilité primaire qui va diminuer dans le temps avec le remodelage osseux ;
- la courbe pointillée bleue correspond à la stabilité secondaire et va augmenter avec le remodelage osseux ;
- la courbe bleue illustre la stabilité totale de l'implant.

Ainsi, il est observé une baisse de la stabilité de l'implant avec un minimum à 3 semaines, au croisement des courbes de la stabilité primaire et secondaire. La stabilité totale va ensuite remonter avec l'ostéointégration de l'implant. De ce fait, il est recommandé d'attendre au minimum 8 à 12 semaines avant la mise en charge d'un implant afin de permettre le remodelage osseux et par conséquent, l'ostéointégration.

Les facteurs locaux influençant la cicatrisation osseuse

La cicatrisation osseuse peut être influencée par de nombreux paramètres et il convient d'en tenir compte pour le choix du système implantaire, et de la planification ; qu'elle soit conventionnelle ou numérique. Cela comprend ainsi :

- **la qualité osseuse** : Lekholm et Zarb définissent 4 types osseux du plus dense (Type 1) au moins dense (Type 4) ;
- **la stabilité primaire** : elle est obtenue grâce au contact avec l'os cortical, il est plus difficile ainsi

d'obtenir une bonne stabilité primaire dans l'os de type IV ;

- **la température de forage** : l'élévation de la température peut provoquer la nécrose de l'os. La température maximale à ne pas dépasser est de 47 degrés pendant 1 minute (4).

Cependant, en clinique, la réalité est tout autre. Il a été montré que la température critique atteinte décroît très rapidement sauf si on maintient constamment une force importante (5).

Les biomatériaux

Historiquement, le matériau utilisé pour l'implantologie était le titane *commerciallement pur*. Puis dans les années 80, beaucoup de cas d'échecs étaient dus à la fracture non pas de la prothèse mais de l'implant. C'est ainsi qu'il a été développé un nouvel alliage de titane pour les implants dentaires. C'est le Ti6Al4V, alliage comportant environ 6 % d'aluminium et 4 % de Vanadium. L'intérêt de cet alliage est sa résistance à la rupture augmentée de près de 300 % par rapport au titane pur. Les implants en céramique peuvent être inertes ou bioactifs. Les implants bioactifs n'étant pas suffisamment résistants mécaniquement, ils sont surtout utilisés comme revêtement de surface pour accroître leur réactivité.

La forme de l'implant

Historiquement, l'implant dentaire a pris de nombreuses formes : lames, cylindres, disques. Aujourd'hui, la forme la plus utilisée est la vis. Celle-ci dispose du meilleur recul clinique.

Les états de surface

Les 2 principaux états de surface retrouvés en implantologie aujourd'hui sont les surfaces lisses et les surfaces rugueuses. L'ostéogenèse va différer selon l'état de surface.

Ainsi, la (Fig. 2) montre deux points.

- L'implant à surface lisse va plutôt avoir une ostéogenèse à distance et une réaction de corticalisation. Une coque osseuse épaisse et enveloppante entoure alors l'implant. Cette corticalisation est un phénomène lent : en effet, il faut laisser du temps

à l'os pour que celui-ci puisse arriver à la phase de « structure de havers », dernière étape du remodelage osseux.

- L'implant à surface rugueuse va plutôt avoir une ostéogenèse de contact et une réaction de trabéculisation. Des trabécules osseuses viennent s'encaster sur la première couche d'os néoformé et suivent généralement le dessin des spires de l'implant dans le but d'immobiliser l'implant de la manière la plus rapide et la plus efficace.

Les techniques actuelles de mesure qualitative de l'ostéointégration

Les techniques qualitatives pour déterminer l'ostéointégration d'un implant reposent principalement sur l'appréciation des données cliniques et radiographiques à disposition du praticien lors de sa consultation à 4 mois post-opératoire.

L'évaluation clinique

- L'évaluation clinique commence d'abord par celle des tissus mous péri-implantaires en regard du site d'implantation. Ainsi, une muqueuse inflammatoire peut témoigner d'un épisode infectieux en cours ; la palpation des tissus mous peut objectiver une suppuration.
- Dans un 2^e temps, il conviendra de faire un test de percussion. L'implant ostéointégré doit produire un son clair à la percussion et doit être indolore. La douleur traduit une inflammation chronique de l'interface os-implant à cause de la présence de fibres.
- Ensuite, la vis de cicatrisation, de couverture ou la solution de temporisation doit être déposée. Une non ostéointégration de l'implant se traduit cliniquement par sa mobilité lors du dévissage/second temps chirurgical. On parle alors de fibro-intégration !
- Enfin, un contre-torque de 20 N.cm avec une clé dynamométrique sur l'implant peut être réalisé. **Si l'implant résiste à ce contre-torque, il peut être considéré comme ostéointégré. Ce test ne compromet pas l'ostéointégration (6).**

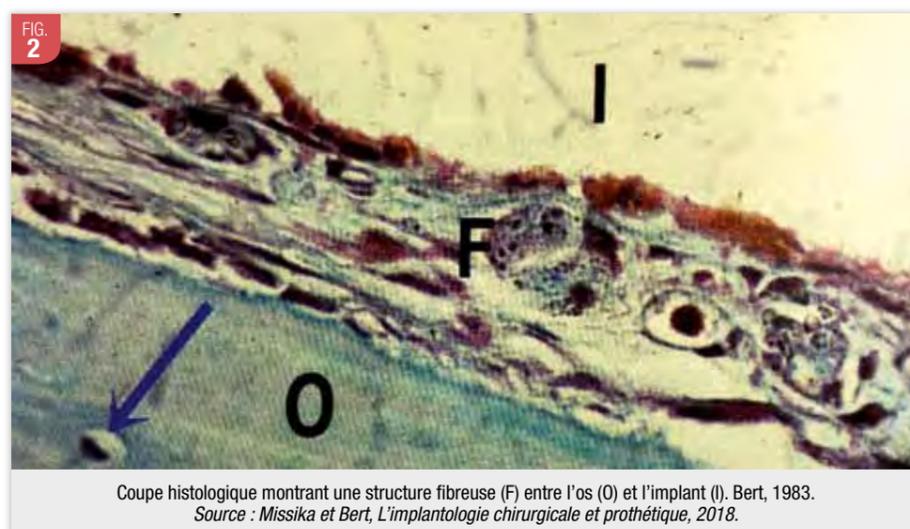
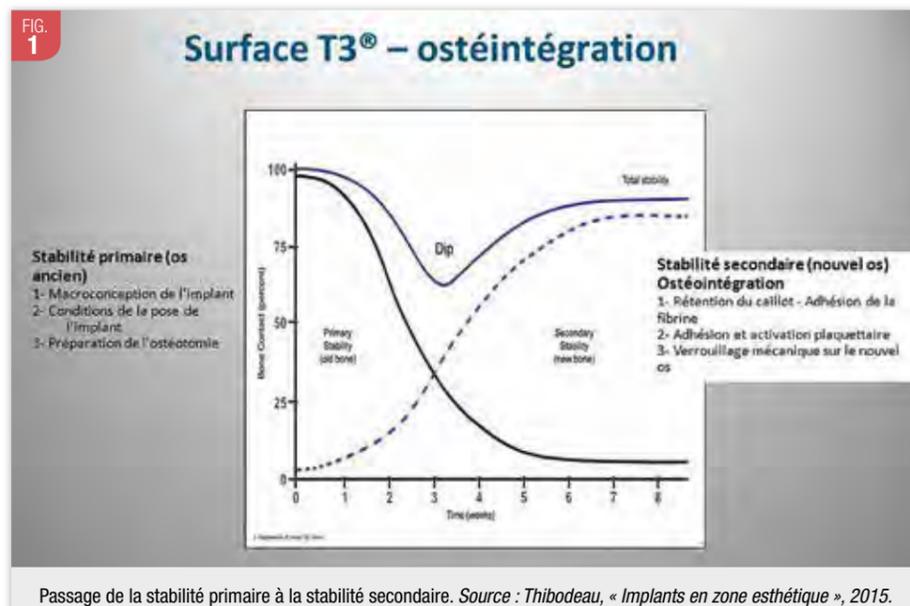
Si l'implant est mobile après contre-torque, il peut être retourné et une mise en nourrice de 3 mois supplémentaires peut lui être accordée. Si l'implant est toujours mobile après ces 3 mois, il doit alors être déposé (7).

Pour résumer, l'analyse clinique doit rechercher :

- une absence d'inflammation en regard du site implantaire,
- une absence de douleur à la percussion,
- un son mat et clair à la percussion,
- une absence de douleur à la palpation,
- une absence de douleur et de mobilité de l'implant au dévissage du pilier de cicatrisation. Dans la situation d'un 2^e temps chirurgical, une absence de mobilité de l'implant au dévissage de la vis de couverture,
- un implant immobile lors du contre-torque à 20 N.cm avec la clé dynamométrique.

La détermination radiographique

La détermination radiographique de la fibro-intégration est difficile à interpréter. Il est tout d'abord nécessaire de prendre une radio rétro-alvéolaire.



L'analyse se concentre sur une possible fibro-intégration de l'implant. Lorsque cela se produit, il existe une radio-clarté bordant la surface endo-osseuse de l'implant. On parle d'interface radio-claire entre

l'implant et l'os. C'est la manifestation radiologique de la fibro-intégration. Il est attendu d'avoir une lyse osseuse en regard du col implantaire 3 mois après la mise en place chirurgicale. En effet, il a été montré

qu'une lyse osseuse de 0,33 mm/an était visible les 6 premiers mois (8). De plus, il existe une différence significative entre le maxillaire et la mandibule, avec une perte supérieure au maxillaire. Enfin, pas de différence significative entre les implants posés en antérieur et en postérieur (9).

Cette analyse radiographique doit se faire en comparaison avec les radiographies antérieures. Le premier point de comparaison étant la radiographie de contrôle post-opératoire.

Pour résumer, l'analyse radiographique doit :

- rechercher une absence de radio-clarté bordant la surface de l'implant,
- quantifier la lyse osseuse au niveau du col implantaire,
- rechercher une absence d'image péri-apicale.

Les échecs

La fibro-intégration correspond à la prolifération de fibres de collagène à la place de tissus osseux en regard de la surface implantaire. L'os peut se transformer en fibre mais l'inverse est impossible. L'ostéointégration ne se fera donc jamais en regard de cette surface implantaire. La dépose de l'implant est donc indiquée.

La douleur du 3^e jour est une douleur très caractéristique qui est la cause d'une compression de l'os trop importante ou à un échauffement de l'os lors de la chirurgie. C'est une douleur qui ne cède pas aux antibiotiques et aux anti-inflammatoires, et qui disparaît d'elle-même au bout de 2-3 semaines. C'est le tableau clinique d'une ostéite. À 3 mois post-opératoire, il sera systématiquement observé une fibro-intégration de l'implant. La dépose de l'implant est indiquée et doit se faire le plus rapidement possible (Tab. 1).

Le succès en implantologie

En 1986, *Albrektsson* (10) ce qu'il considère comme indispensable à la réussite du traitement implantaire :

- implant unitaire immobile quand il est testé cliniquement,
- la radiographie ne met pas en évidence de signes de lésions radioclaire à l'interface os-implant,
- la perte osseuse est inférieure à 0,2 mm annuellement après la première année de mise en charge.
- absence de douleur persistante, infection ou inconfort.

Ces critères garantissent un taux de succès à 85 % à 5 ans et 80 % à 10 ans (11).

En plus des critères énoncés par *Albrektsson*, toujours d'actualité, d'autres facteurs sont étudiés aujourd'hui pour essayer de préciser les critères de succès à longs termes des implants : le tabac (12), les maladies systémiques associées, la longueur de l'implant, le diamètre de l'implant, les marqueurs génétiques, les marqueurs immunologiques comme le TNF- α and IL-1 β , les patients avec antécédent de radiothérapie cervico-faciale.

Les paramètres influençant le succès en implantologie

- **Les greffes osseuses** : le praticien dans sa pratique implantaire est confronté de plus en plus souvent à un site implantaire préalablement greffé.
- **Le Cone Beam Computed Tomography (CBCT) pré-implantaire** : c'est l'étude indispensable pour préparer l'intervention et choisir l'implant (diamètre, longueur), anticiper les défauts osseux péri-implantaires et déterminer l'épaisseur de la corticale osseuse à traverser.
- **Le diamètre et la longueur de l'implant** : le choix dépend de la dent à remplacer et de la situation anatomique de départ.
- **Le torque d'insertion** : c'est la seule donnée quantitative obtenue par le praticien pendant

l'intervention pour jauger de la stabilité de l'implant. En effet, la stabilité primaire est un facteur déterminant pour obtenir l'ostéointégration de l'implant (13).

- Les défauts osseux péri-implantaires : un défaut osseux entraînera une diminution du contact os-implant.
- L'épaisseur de la corticale osseuse : la corticale osseuse est la partie de l'os la plus dense. Ainsi, une corticale plus épaisse permettra d'obtenir une meilleure stabilisation de l'implant en per-opératoire et donc une meilleure stabilité primaire.

Il est donc légitime de se poser les questions suivantes :

- comment les nouveaux appareils de mesure de l'ostéointégration vont-ils être influencés par ces paramètres qui peuvent influencer le succès de la thérapie implantaire ?
- ces nouvelles technologies pourront-elles anticiper l'échec implantaire ?
- sont-elles fiables ?
- qu'en dit la littérature ?

Les nouvelles technologies au service de l'ostéointégration

Les appareils de mesure par analyse biomécanique

Principe physique de fonctionnement

Damping capacity analysis (DCA) est une technique qui mesure l'amortissement du ligament desmodontal et évalue la mobilité de la dent. L'appareil de mesure comprend une pièce à main avec un embout métallique qui va frapper l'objet à tester seize fois en quatre secondes. L'appareil commercialisé est le Periotest.

Cette technique peut aussi être utilisée pour mesurer l'intégration d'un implant dans l'os. La machine va alors plutôt mesurer la déflexion de l'implant. La valeur est obtenue, sans unité, représentée en « PTV » ou valeur Periotest allant de -8 à +50 (14).

- PTV entre -8 et 0 représente une bonne stabilité.
- PTV entre 1 et 9 représente une stabilité moyenne.
- PTV entre 10 et 50 représente une stabilité insuffisante et l'implant ne devrait pas être mis en charge.



FIG. 3 Passage de la stabilité primaire à la stabilité secondaire. Source : www.robotlab.fr

L'analyse par DCA dans la littérature

Fiabilité du Periotest

Le Periotest est défini par le fabricant comme un appareil capable de mesurer la stabilité d'un implant dans l'os. Cependant, le consensus n'a pas été établi par les différentes études menées à ce sujet. D'un côté, c'est un appareil considéré comme peu fiable et dont les valeurs ne semblent pas reproductibles (15), et de l'autre il est décrit comme une méthode objective et reproductible pour mesurer la stabilité des implants (16). Il n'est donc aujourd'hui pas possible de conclure sur la fiabilité du Periotest pour mesurer la stabilité d'un implant dans l'os.

Les valeurs obtenues avec le Periotest dépendent de : la hauteur de mesure, de l'angle de mesure et de la distance de mesure entre la pièce à main et l'implant (17). Le Periotest est donc opérateur dépendant et ses valeurs ne peuvent être considérées comme fiables que chez un praticien entraîné.

TAB. 1	Descriptif	Illustration
Dévisage de l'implant	En cas de douleur ou du dévissage spontané de l'implant, celui-ci doit être déposé.	 Source : Bert, Complications et échecs en implantologie.
Douleur ou Absence de son « clair » à la percussion	La mobilité d'un implant est jugée comme une dent naturelle : mobilité entre 2 instruments métalliques. A la percussion, le son obtenu doit être clair.	 Source : Misch, Dental implant prosthetics - E-Book.
Ré-éruption spontanée de l'implant	L'implant peut en cas de fibrointégration être expulsé naturellement. La radiographie prise le jour de la ré-éruption de l'implant montre son éviction osseuse. L'implant doit être déposé.	 Source Bert, Complications et échecs en implantologie.
Liseré radiolaire à l'interface os-implant	En présence d'un liseré radiolaire à l'interface os-implant, il faut considérer que l'implant est fibro-intégré et il doit donc être déposé.	 Source : Bert, Complications et échecs en implantologie.
Lésion apicale à l'apex de l'implant	En cas de lésion apicale, Marc Bert rapporte des cas traités à l'image d'une chirurgie apicale à retro : levée d'un lambeau, découpe de l'implant à la fraise diamanté, nettoyage de la lésion et cicatrisation.	 Source : Bert et Behar, Gestion pratique des complications en implantologie.

Coupe histologique montrant une structure fibreuse (F) entre l'os (O) et l'implant (I). Bert, 1983. Source : Missika et Bert, L'implantologie chirurgicale et prothétique, 2018.

Analyse du CBCT et PTV

L'analyse pré-opératoire du CBCT présente une bonne corrélation avec la mesure prise par le Periotest en per-opératoire (18). En effet, grâce à la détermination de la densité osseuse radiographique lors de l'analyse du CBCT pré-implantaire, il pourrait ainsi être possible de prédire une valeur PTV du futur implant en per-opératoire.

Il semble que la corrélation entre le torque d'insertion et le PTV soit plus importante qu'entre le torque d'insertion et l'ISQ (Implant Stability Quotient) (19). Le Periotest semble être l'appareil qui pourrait prédire l'échec de l'implant à s'ostéointégrer lors de la mesure per-opératoire (20).

Que faut-il retenir ?

- Le Periotest est un appareil qui permet de mesurer l'amortissement du ligament parodontal et donne une valeur comprise entre -8 et 50, -8 étant la valeur traduisant l'ankylose.
- Développé au départ pour les dents naturelles, il permet également de prendre des mesures sur des implants.
- Sa valeur est dépendante de l'angle et de la position du Periotest par rapport à l'implant ou la dent. Ainsi, la mesure devient praticien dépendant et donc moins fiable chez le praticien non entraîné.
- Il semble être l'appareil le plus à même de prédire l'échec implantaire.
- Mais il n'est pas, à l'heure actuelle, le meilleur instrument pour mesurer l'ostéointégration en implantologie.

Les appareils de mesure par RFA (resonance frequency analysis)

Principe physique de fonctionnement

L'analyse de la fréquence de résonance ou RFA est une technique qui consiste à mesurer la déflexion de l'implant dans l'os après envoi d'une impulsion électromagnétique sur un transducteur transvissé sur l'implant (21).

Au départ, le transducteur était un élément composé de 2 pièces en piezo-céramique. Le signal électromagnétique envoyé par l'émetteur faisait vibrer le transducteur. Cette vibration créait un mouvement oscillatoire, analysé par un oscilloscope, et donnant une fréquence en Hertz.

En 2004, Osstell lance le Smartpeg. Il s'agit d'un transducteur beaucoup moins volumineux, non câblé, composé de 3 éléments : le pas de vis de l'implant à tester, un hexagone pour faciliter le serrage, et la pièce réceptrice du signal électromagnétique. Le Smartpeg est en aluminium et à usage unique. En effet, il y aurait un risque de corrosion du Smartpeg lors du passage à l'autoclave et sa réutilisation entraînerait une usure de son filetage (22), ce qui pourrait fausser les mesures réalisées.



FIG. 4 Matériel pour la mesure par RFA. Source : Auteur, 2020.

L'Osstell envoie donc 4 impulsions électromagnétiques avec différentes fréquences ce qui entraîne la vibration du Smartpeg et donc de l'implant. La fréquence est ensuite mesurée, enregistrée et l'appareil va donner une valeur sans unité appelée l'ISQ (Implant Stability Quotient). Cette valeur, comprise entre 0 et 100 permet de mesurer la stabilité de l'implant dans l'os. C'est le standard mondial pour mesurer la stabilité d'un implant. À 0, la fréquence

mesurée est d'environ 3 000 Hz et à 100, la fréquence mesurée est d'environ 8 000 Hz (23).

La formule mathématique qui permet d'obtenir l'ISQ pour l'Osstell est la suivante :

$$ISQ = (f4 \times e) + (f3 \times d) + (f2 \times c) + (f1 \times b) + a$$

Avec f4, f3, f2, f1 correspondant aux 4 fréquences mesurées par l'Osstell après vibration du Smartpeg et a, b, c, d, e qui sont cinq coefficients dont l'information est confidentielle et propriété de l'Osstell. Une analyse *in vitro* par résonance laser montre que l'algorithme appliqué par l'Osstell Mentor et Osstell IDx pour calculer les valeurs ISQ est correct. Les valeurs obtenues par les modèles précédant l'Osstell Mentor et Osstell IDx ont été sous-estimées (24). La question de la recherche du meilleur torque d'insertion du Smartpeg, pour une bonne lecture de l'ISQ, montre que :

- le serrage optimal du Smartpeg sur l'implant se situe entre 10 et 17 Ncm pour une mesure précise de l'ISQ avec la technique par RFA.
- le serrage à 20 Ncm a entraîné un dommage au filetage du Smartpeg sur tous les implants utilisés (25).



FIG. 5 Mesure de l'ISQ avec l'Osstell Beacon. Source : Auteur, 2020.

Le transducteur du Penguin RFA est appelé le Multipeg. Le Multipeg est un transducteur en titane. Il est donc autoclavable et réutilisable à la différence du Smartpeg de chez Osstell qui est généralement à usage unique.



FIG. 6 Le Penguin RFA à gauche avec son Multipeg et le Driver à droite. Source : Sennerby, Resonance frequency analysis for implant stability measurements. A review, 2015.

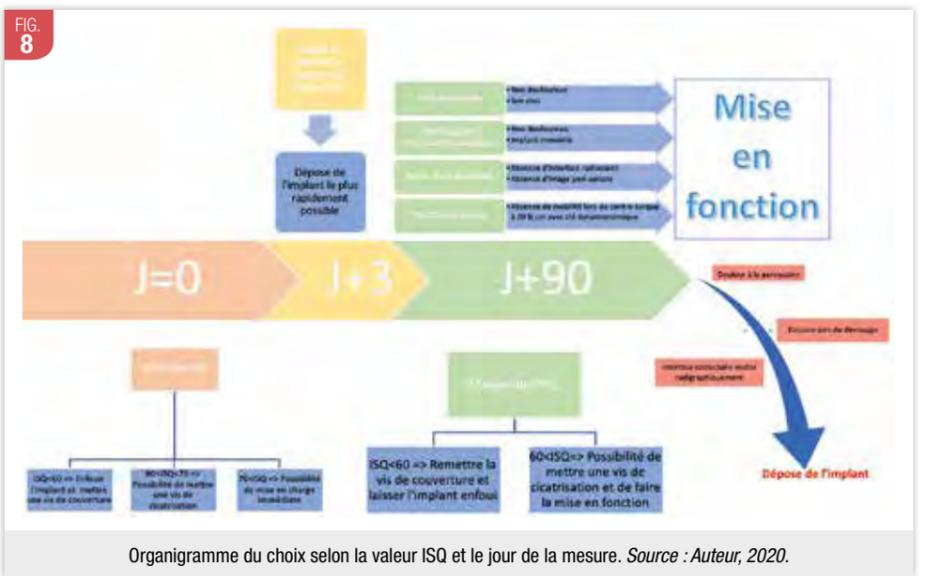
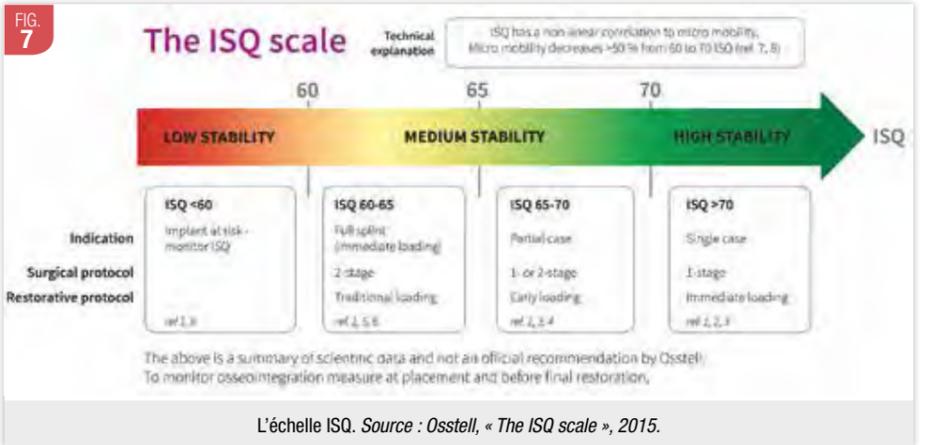
L'échelle de l'ISQ (Sennerby et A) donne les valeurs attendues lors de la mesure par l'Osstell et leurs significations.

En per-opératoire

- Au-dessus de 70, représenté par la zone verte, il est considéré que l'implant a une bonne stabilité. Une chirurgie en 1 temps est possible et la mise en charge immédiate peut se faire sans inquiétude.
- Entre 65 et 70, la chirurgie en 1 temps est indiquée.
- Entre 60 et 65, il est recommandé une chirurgie en 2 temps.
- En dessous de 60, l'implant doit être enfoui : la chirurgie en 1 temps est fortement déconseillée.

Lors du contrôle après ostéointégration

- Au-dessus de 70, représenté par la zone verte, il est considéré que l'implant est bien ostéointégré. La mise en charge peut se faire sans inquiétude.
- Entre 60 et 70, l'ostéointégration et la stabilité sont correctes. L'implant peut alors être mis en charge.
- En dessous de 60, l'implant présente un risque et ne doit pas être mis en charge.



Pour résumer

- L'ISQ est le standard mondial pour mesurer la stabilité d'un implant dans l'os.
- L'échelle de l'ISQ, proposé par Osstell permet de pouvoir orienter sa thérapeutique selon la situation rencontrée par le praticien
- L'Osstell et le Penguin permettent la prise de mesure par RFA afin d'obtenir une valeur en ISQ.
- Le Smartpeg (Transducteur Osstell) est à usage unique et le Multipeg (Transducteur Penguin) est réutilisable et autoclavable.
- Le choix du transducteur se fait selon l'implant choisi.
- La prise en main de l'Osstell et du Penguin est très simple et la mesure est instantanée.
- Le praticien peut décider, grâce à l'échelle de l'ISQ proposée par Osstell, quelle thérapeutique est la plus adaptée dans la situation rencontrée.
- Le serrage du transducteur doit se faire à la main.

L'Analyse par RFA dans la littérature

Corrélation entre ISQ et PTV

Il ne semble pas exister aujourd'hui de consensus quant à une corrélation entre ISQ et PTV (26, 27). En effet, d'une part (28), il est démontré qu'il existe une relation mathématique linéaire entre ISQ et PTV : $PerioTestValue (PTV) = 15,54 + (-0,26 \times ISQ)$. D'autre part (29), il est mis en évidence une absence de corrélation entre ISQ et PTV.

Néanmoins, l'auteur nuance son propos : il ne préfère pas l'utilisation d'un appareil plutôt qu'un autre mais recommande que le praticien choisisse sa méthode de mesure, fasse ses analyses comparatives et son suivi avec le même appareil pour une meilleure lecture des résultats.

Grefe osseuse et ISQ

Avec l'évolution des techniques de reconstruction osseuse verticale ou horizontale, le praticien qui souhaite poser un implant rencontre beaucoup plus fréquemment un os greffé.

Il existe une corrélation négative entre l'ISQ et les implants posés dans de l'os greffé (30). En effet, La valeur d'ISQ est statistiquement inférieure lorsque la mesure se fait dans l'os greffé (31).

Diamètre de l'implant et ISQ

Le diamètre de l'implant semble être un critère de sélection pour le praticien à la recherche d'un implant qui pourra avoir une bonne stabilité primaire selon la dent à restaurer (32). En effet, biomécaniquement parlant, il conviendra d'opter pour un implant de diamètre supérieur pour la réhabilitation d'une molaire plutôt qu'une incisive avec un diamètre moindre.

En 2018, il a été démontré une influence du diamètre de l'implant sur la mesure de l'ISQ en per-opératoire. En effet, il a été mis en évidence une différence statistiquement significative entre l'implant de diamètre 3,5 mm et 4 mm en per-opératoire (33) et dont les valeurs d'ISQ étaient plus importantes pour l'implant de diamètre 4 mm. Dès lors, Cependant, après ostéointégration, cette différence n'est plus mise en évidence statistiquement.

Longueur de l'implant et ISQ

La longueur de l'implant semble être un critère de sélection pour le praticien à la recherche d'un implant qui aura une bonne stabilité primaire en per-opératoire (34).

En 2018, il a été démontré une influence de la longueur de l'implant sur la mesure de l'ISQ en per-opératoire. En effet, il a été mis en évidence une différence statistiquement significative entre l'implant de 9 mm et les implants de 11, 13 et 15 mm en per-opératoire avec la mesure par RFA (35) et dont les valeurs d'ISQ étaient plus importantes pour l'implant de 15 mm. Cependant, après ostéointégration, cette différence n'est plus mise en évidence statistiquement.

Torque d'insertion (ou couple d'insertion) et ISQ

Le torque d'insertion de l'implant est la première donnée chiffrée que l'on peut recueillir lors de la pose d'un implant. Il est donc légitime de rechercher si une corrélation existe entre la mesure de l'ISQ (Implant Stability Quotient) et le torque d'insertion. Il a été mis en évidence *in vitro* une corrélation entre le torque d'insertion et l'ISQ (36). Une corrélation mathématique linéaire a même été modélisée (37).

Cette même corrélation a également été mise en évidence cette fois-ci *in vivo* (38).

Cependant, certaines études montrent une très faible voire absence de corrélation entre le torque d'insertion et l'ISQ (39, 40). Ainsi, le torque d'insertion d'un implant serait complètement indépendant de la mesure par RFA. Une méta-analyse de 2009 a montré une forte corrélation entre le torque d'insertion et l'analyse par RFA (41). Le problème étant que cette méta-analyse a presque 10 ans et de nouvelles études plus récentes ont justement mis en évidence l'absence de corrélation entre le torque d'insertion et la mesure de l'ISQ (42, 43). Il est donc intéressant de se demander si malgré la puissance de preuve de la méta-analyse, celle-ci ne serait-elle pas dépassée par les nouvelles recherches publiées dans la littérature.

Orientation de la sonde de mesure et ISQ

Il a été précédemment mis en évidence que la mesure du PTV avec le Periostest était influencée par l'orientation de la sonde de mesure (44). Il n'a pas été mis en évidence une différence significative entre l'orientation de la sonde RFA lors de la mesure et la valeur en ISQ (45).

BIC et ISQ

Le BIC (Bone-to-implant Contact) est une valeur très intéressante pour évaluer l'ostéointégration d'un implant. En effet, plus la valeur est élevée, plus il peut être considéré que l'os est en contact avec l'implant. Avec le remodelage osseux, le BIC augmente.

Il a été mis en évidence une corrélation entre la mesure de l'ISQ et le BIC (46). Avec le remodelage osseux, le BIC augmente. L'augmentation de l'ISQ avec le temps déjà décrit (47) peut ainsi s'expliquer par l'augmentation du BIC lors de la phase d'ostéointégration ou intégration biologique de l'implant. **L'ISQ est donc une option fiable pour estimer indirectement le degré d'ostéointégration de l'implant.**

Défaut osseux péri-implantaire et ISQ

En 2010, il a été montré *in vitro* une corrélation statistiquement significative entre le défaut osseux péri-implantaire et la mesure de l'ISQ (48). En effet, plus le défaut osseux péri-implantaire est important, plus la valeur mesurée est faible.

En 2016, même si aucune corrélation statistiquement significative n'a été mise en évidence, il a été observé une relation inversement proportionnelle entre l'ISQ et la perte osseuse marginale (49). Ainsi, vu la corrélation entre le BIC et l'ISQ (50), plus la perte osseuse marginale augmente, plus la surface d'os en contact avec l'implant diminue donc plus l'ISQ devrait diminuer.

Épaisseur de la corticale osseuse et ISQ

Grâce au CBCT pré-implantaire, il devient possible de mesurer précisément l'anatomie osseuse du site opératoire. Ainsi, l'analyse de l'épaisseur de la corticale osseuse en pré-implantaire a permis de mettre en évidence (51) :

- il existe une faible corrélation entre l'épaisseur de la corticale osseuse mandibulaire et la valeur d'ISQ prise en per-opératoire,
- il n'y a pas de corrélation entre l'épaisseur de la corticale osseuse maxillaire et la valeur d'ISQ prise en per-opératoire.

Prédiction de l'échec implantaire et ISQ

La mesure par RFA serait incapable de prédire et d'anticiper l'échec implantaire (52, 53). En effet, la sonde RFA n'a pas été en mesure de détecter les implants qui ont échoué au test du contre-torque à 35 N.cm après cicatrisation. De plus, il est également mis en évidence que pour les implants considérés comme non conformes (rotation de l'implant ou douleur au contre-torque), après test du contre-torque, la valeur d'ISQ reste très haute (>70 ISQ). La mesure par RFA semble donc incapable de prévenir les échecs implantaires. Il a cependant été observé que les implants en échec ont eu une

valeur d'ISQ statistiquement inférieure aux implants en succès en per-opératoire (54).

Différence entre Osstell et Penguin

Il existe une corrélation entre les résultats de mesure de l'ISQ avec l'Osstell ISQ et le Penguin RFA (55). De plus, l'Osstell ISQ est capable de mesurer de manière fiable et répétitive l'ISQ avec un Multipeg (transducteur initialement commercialisé pour fonctionner avec le Penguin RFA) alors que le Penguin est incapable de donner une mesure fiable de l'ISQ avec le Smartpeg (transducteur initialement commercialisé pour fonctionner avec l'Osstell) (56). D'une part l'absence de différence statistiquement significative entre le Penguin et l'Osstell pour la mesure de l'ISQ a été mise en évidence (57). D'autre part, il existe une différence statistiquement significative de mesure entre l'Osstell ISQ et le Penguin de l'ordre de 1 ISQ (58), ou 1,86 ISQ (59) selon les études. Néanmoins, 1,86 ISQ n'est pas une différence significative lorsque l'on raisonne cliniquement.

Le raisonnement clinique doit primer sur l'utilisation aveugle de ces nouvelles technologies de mesure de l'ostéointégration. Le praticien doit garder à l'esprit que la valeur obtenue par mesure avec l'Osstell ou le Penguin est indicative. Dès lors, le praticien devra user de son sens clinique et faire la synthèse de toutes les informations recueillies avant et pendant la chirurgie pour prendre la décision : torque d'insertion, greffe osseuse associée, greffe de tissus mous associée, patient bruxomane, type d'os, etc. D'un point de vue pratique, l'ergonomie du Penguin semble plus facile comparée à l'ergonomie de l'Osstell. Le Multipeg magnétisé permet une mise en place plus facile, et la lecture de l'ISQ plus visible. Enfin, le Penguin semble plus facile à utiliser : son utilisation est moins liée à l'expérience du praticien avec la machine.

Fiabilité de l'Osstell

L'Osstell Mentor (60) et l'Osstell ISQ montrent une excellente répétabilité et reproductibilité. De plus, il

a été montré l'absence de différence significative de variabilité de mesure entre les deux appareils (61). *In vivo*, un test Kappa de Cohen à 0,97 montre une excellente répétabilité et reproductibilité de l'Osstell (62).

In vitro, l'Osstell est un appareil fiable pour la mesure de l'ISQ lorsque les implants sont posés dans des blocs osseux artificiels durs (63, 64). Une seule mesure est donc suffisante pour avoir un résultat fiable.

Fiabilité du Penguin

Le Penguin est un appareil qui présente une très bonne répétabilité et reproductibilité (65).

In vitro, il peut être considéré comme fiable pour estimer la stabilité implantaire lorsque la mesure est prise dans des blocs artificiels durs (66, 67). Dans les blocs osseux artificiels trop mous, les valeurs obtenues ne sont pas exploitables.

#whdentalwerk
f t i n p @
video.wh.com

Plus d'info
sur
wh.com



Moins d'incertitude, plus de sécurité



OSSTELL
A GED COMPANY



implantmed PLUS



stable!



Connectivité,
traçabilité
et sécurité
des soins

Nouveau

Implantmed Plus avec le module Osstell
pour des résultats de traitement fiables.

La stabilité de l'implant peut se mesurer précisément avec le module ISQ, disponible en option. Combiné au couple, cette mesure augmente la fiabilité des étapes du traitement.

L'Osstell IDx et l'Osstell Beacon mesurent la stabilité des implants de façon autonome au fauteuil ou en complément de l'Implantmed Plus et de son module ISQ.

Connectivité entre le Beacon et l'Implantmed Plus d'une part, le Beacon et l'IDx Pro d'autre part, permettant de visualiser les mesures ISQ sur chaque unit.

Dispositifs médicaux de classe 2a / CE 0297 / DQS(1)
- 2a / CE 0402 / SP(2). Veuillez lire attentivement les instructions figurant dans la notice d'utilisation.
Produits non remboursés par les organismes de santé.
Fabricant : W&H (1) / Osstell (2), Juin 2021

Paramètres	Articles	Consensus/Absence de consensus/Données insuffisantes pour conclure	Résultat de consensus	Valeur équivalente une fois l'ostéointégration obtenue
Corrélation entre ISQ et PTV	- Anilmiti et al. 2017 - Kwon et al. 2016	Absence de consensus	/	/
Greffes Osseuse et ISQ	- HUANG et al. 2017	Données insuffisantes pour conclure	/	/
Diamètre de l'implant et ISQ	- ORTA et al. 2010 - Sweeney et al. 2015 - HUANG et al. 2017 - Meeb et al. 2018	Absence de consensus	/	NON
Longueur de l'implant et ISQ	- Sweeney et al. 2015 - HUANG et al. 2017 - Meeb et al. 2018	Absence de consensus	/	NON
Torque d'insertion	- ORTA et al. 2010 - Brito-Velasco et al. 2017 - Sweeney et al. 2015 - Lopez et al. 2018 - Diaz-Castro et al. 2019 - Cebal et al. 2009	Absence de consensus	/	/
Orientation de la sonde de mesure et ISQ	- ORTA et al. 2010	Consensus	Absence de corrélation entre l'orientation de la sonde et l'ISQ	OUI
Défaut osseux péri-implantaire et ISQ	- ORTA et al. 2010 - Hinojosa et al. 2019	Consensus	Plus le défaut osseux péri-implantaire est important, plus la valeur mesurée de l'ISQ est faible.	/
BIC et ISQ	- Chen et al. 2017 - Hinojosa et al. 2019	Données insuffisantes pour conclure	/	/
Epaisseur de la corticale osseuse et ISQ	- TANAKA et al. 2018	Données insuffisantes pour conclure	/	/
Différence entre Osstell et Penguin	- Jhal et al. 2020 - Becker et al. 2018 - Diaz-Castro et al. 2019 - Norton et al. 2018	Consensus	Absence de différence statistiquement significative entre le Penguin et l'Osstell pour la mesure de l'ISQ	OUI
Fiabilité de l'Osstell	- Hertenstein et al. 2012 - Jaramilla et al. 2014 - Hertenstein et al. 2013 - Rodriguez et al. 2018 - Ramon et al. 2018 - Koo et al. 2019	Consensus	L'Osstell est un appareil fiable pour la mesure de l'ISQ	/
Fiabilité du Penguin	- Diaz-Castro et al. 2019 - Ramon et al. 2018 - Rodriguez et al. 2018	Consensus	Le Penguin est un appareil fiable pour la mesure de l'ISQ	/
Prédiction de l'échec implantaire et ISQ	- Kroll et al. 2015 - Becker et al. 2018 - Hinojosa et al. 2019	Absence de consensus	/	/
Analyse du CBCT et ISQ	- Meeb et al. 2018 - Jhal et al. 2020 - Sweeney et al. 2015	Données insuffisantes pour conclure	/	/

Récapitulatifs des paramètres étudiés et leurs articles correspondants. Source : Auteur, 2020.

Et que nous dit la littérature depuis le 15 juillet 2020 ?

Afin de compléter l'analyse de la littérature faite lors de l'élaboration de cette thèse, une nouvelle recherche PubMed, avec la même équation de recherche, a été réalisée. Le diagramme de flux ci-dessous décrit le processus d'identification des articles sur cette période.

Genre et ISQ

Malgré l'observation de valeurs d'ISQ plus importante chez l'homme plutôt que la femme, il n'a pas été démontré une corrélation entre genre et ISQ (68).

Macrogéométrie des implants et ISQ (69)

La macrogéométrie de l'implant comprend à la fois la forme propre des spires implantaire mais également l'état de surface. Il n'existe pas de différences entre les différents designs de l'implant le jour de la chirurgie.

- À 4 semaines, il existe une différence significative dans la valeur d'ISQ pour les implants avec traitement de surface SLA active : en effet, il y a une ostéogénèse de contact plus importante grâce à la forte mouillabilité de la surface de l'implant.
- À 8 semaines, il n'existe plus de différence dans la valeur d'ISQ entre les différents designs de l'implant.

Les implants avec le design du plateforme switching ont eu de meilleures valeurs d'ISQ : il convient de se demander si ce design tendrait à devenir le nouveau gold standard en implantologie ?

Vascularisation osseuse et ISQ (70)

Il y a corrélation positive entre vascularisation osseuse et ISQ.

Technique chirurgicale et ISQ (71)

La technique chirurgicale n'a pas d'influence sur la stabilité primaire et secondaire de l'implant. En effet, la stabilité primaire dépend le plus souvent de l'ancrage de l'implant dans l'os cortical et la stabilité secondaire du remaniement osseux lors de l'ostéointégration. Le Quantitative Ultrasound (QU), une nouvelle méthode de mesure alternative à la RFA ? (72).

Une nouvelle méthode expérimentale de mesure de l'ostéointégration a été décrite dans cet article. Plutôt que d'utiliser une onde électromagnétique, une onde ultrasonique est envoyée vers le transducteur dédié et vissé sur l'implant.

QU semble avoir une meilleure corrélation avec le BIC, que le BIC et l'ISQ.

QU semble avoir une plus grande reproductibilité des résultats : en effet, l'onde électromagnétique fait vibrer l'os dans sa globalité alors que QU ne fait vibrer que jusqu'à 30 microns autour de la surface de l'implant.

Cependant, l'étude présente plusieurs limites : les mesures ont été faites *in vivo* sur un faible nombre de lapins (raison éthique), avec un seul type d'implant. De plus, la mesure du BIC est faite sur seulement 2 coupes, donc peu représentative : en effet, la surface de l'implant est en contact avec l'os sur 360°.

Mesurer l'ISQ directement depuis le pilier implantaire ou la vis de cicatrisation : mythe ou réalité ? Fiabilité ? (73, 74)

2 études se sont intéressées à l'idée de mesurer la valeur de l'ISQ directement depuis une pièce intermédiaire transvissée sur l'implant. Cela présente plusieurs avantages :

- la possibilité de mesurer l'ISQ sur des implants « fragiles » ou en cours de cicatrisation sans risque de dévissage de l'implant lors du retrait de la vis ou du pilier de cicatrisation ;
- préserver le pas de vis implantaire en limitant les interventions sur l'implant ;
- limiter les dommages sur les tissus mous lors des étapes de vissages/dévisages des pièces prothétiques ;
- placement plus aisé par le clinicien (car plus coronaire).

Dans l'étude *in vitro*, il n'est pas démontré de corrélations ni de relations proportionnelles entre mesure de l'ISQ sans pilier et mesure avec pilier de différentes hauteurs et angulations.

Dans la 2^e étude, un prototype de vis/pilier de cicatrisation transgingival, compatible avec les Smartpeg Osstell, est testé toujours dans l'optique de limiter le vissage/dévisage des pièces intermédiaires lors de l'ostéointégration. Ce pilier, avec plusieurs hauteurs gingivales, permet la mesure avec le transducteur toujours à 1,8 mm au dessus du pas de vis implantaire. Cette étude montre la bonne répétabilité et reproductibilité des mesures. Il pourrait donc s'agir d'une pièce qui permet d'obtenir des mesures fiables de l'ISQ sans compromettre la cicatrisation des implants fragiles.

Que faut-il retenir ?

- L'Osstell IDX, l'Osstell ISQ et le Penguin ont montré une très bonne reproductibilité et répétabilité. Ces appareils de mesure peuvent donc être considérés comme fiables pour la mesure de l'ISQ en implantologie. Une seule mesure est suffisante.
- Le Penguin semble minorer sa mesure entre 1 et 1,86 ISQ par rapport à l'Osstell.
- L'Osstell ISQ est capable de mesurer l'ISQ avec un Multipeg (transducteur du Penguin).
- Le Penguin est incapable de mesurer l'ISQ avec un Smartpeg (transducteur de l'Osstell).
- Le Penguin semble plus ergonomique à utiliser que l'Osstell. L'Osstell nécessite une courbe d'apprentissage.
- La Mesure de l'ISQ est statistiquement inférieure lorsque la mesure se fait dans de l'os greffé.
- La littérature ne fait pas consensus sur une possible corrélation entre le PTV et l'ISQ.
- Les études ne font pas consensus sur la question de la corrélation entre le torque d'insertion et l'ISQ.
- Plus un défaut osseux péri-implantaire est important, plus la mesure de l'ISQ sera faible.
- Il n'est pas possible aujourd'hui de démontrer une corrélation entre l'ISQ et le diamètre ou la longueur d'un implant.
- La valeur d'ISQ augmente avec le temps durant la phase d'ostéointégration et même après mise en charge.
- L'orientation de la sonde RFA n'a pas d'incidence sur la mesure de l'ISQ.
- Les implants en échec ont une valeur statistiquement inférieure aux implants en succès le jour de la chirurgie.
- Le Penguin et l'Osstell sont incapables de prédire l'échec implantaire.
- Il existe une corrélation positive entre l'ISQ et le BIC. L'ISQ semble donc être une méthode fiable pour estimer indirectement l'ostéointégration d'un implant.
- Aucune étude n'a été réalisée avec un Osstell Beacon. Il y a nécessité aujourd'hui de prouver la fiabilité de celui-ci en comparaison avec les autres produits de la marque.
- Il serait pertinent aujourd'hui de faire une méta-analyse pour comparer les appareils de mesure de la stabilité implantaire. En effet, la dernière qui a été publiée date de 2009.

FIG. 9

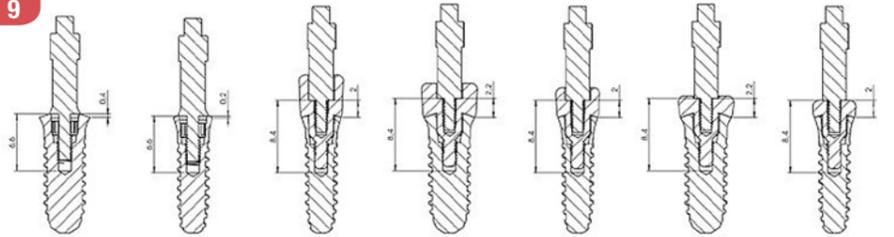


Schéma montrant la position toujours constante du smartpeg, quel que soit le pilier utilisé. Source : Guerrero-González, Monticelli, et Saura García-Martín, Reliability of the Resonance Frequency Analysis Values in New Prototype Transepithelial Abutments : A Prospective Clinical Study.

FIG. 10



Position toujours constante du smartpeg, quel que soit le pilier utilisé. Source : Guerrero-González, Monticelli, et Saura García-Martín, Reliability of the Resonance Frequency Analysis Values in New Prototype Transepithelial Abutments : A Prospective Clinical Study.

Il peut ainsi poser son diagnostic et décider de la meilleure thérapeutique à mettre en place. Un praticien qui cherche à s'équiper d'un système de mesure de l'ostéointégration préférera se tourner vers la technologie par RFA (Osstell, Penguin, etc.) plutôt que le Periotest.

Pour conclure, ces nouveaux appareils de mesure sont :

- un outil quantitatif fiable et reproductible pour estimer la stabilité d'un implant en per-opératoire. Ainsi, le clinicien pourra choisir sa technique de temporisation.
- une manière efficace et fiable de décider de la mise en charge d'un implant lors du contrôle de l'ostéointégration.

Je soussigné docteur Cyril Licha déclare n'avoir aucun lien ou conflit d'intérêts avec les marques citées dans cet article.

Conclusion

La littérature montre que pour mesurer l'ostéointégration d'un implant, la technique par RFA (Osstell et Penguin) est plus fiable et plus reproductible que la technique par DCA (Periotest). Cependant, le Periotest semble être l'appareil qui est le plus à même à prédire un échec implantaire. En effet, l'Osstell et le Penguin ont été incapable de prédire l'échec d'un implant à s'ostéointégrer, à partir de mesures enregistrées le jour de la chirurgie.

Au final, le praticien doit pouvoir utiliser toutes les données recueillies, en plus de la mesure par le Periotest, l'Osstell ou le Penguin :

- l'anamnèse,
- l'examen clinique,
- l'examen radiologique,
- le test contre-torque.

Bibliographie

1. Brånemark, Albrektsson, et Zarb, Prothèses ostéointégrées : l'ostéointégration en pratique clinique.
2. Davarpanah, Szmukler-Moncler, et Rajzbaum, Manuel d'implantologie clinique : consolidation des savoirs et ouverture sur l'avenir.

Toute la bibliographie est à retrouver sur www.aonews-lemag.fr