

# Effet des ultrasons pulsés de faible intensité sur la résorption radiculaire orthodontiquement induite causée par le torque :

Essai clinique contrôlé, prospectif, en double-aveugle

Hasnain Raza<sup>a</sup>; Paul W. Major<sup>b</sup> ; Douglas Dederic<sup>c</sup> ; Tarek El-Bialy<sup>d</sup>

## RÉSUMÉ

**Objectifs :** Évaluer les effets des ultrasons pulsés de faible intensité (LIPUS) sur la résorption des racines dentaires induite par l'orthodontie et causée par le torque chez l'homme. **Matériels et méthodes :** Dix patients en bonne santé (âgés de 12 à 35 ans) qui ont dû subir l'extraction de toutes les premières prémolaires dans le cadre de leur traitement orthodontique de routine ont été recrutés. Une torsion de 15° a été appliquée à l'arc en utilisant un TMA de 0,019 x 0,025 pouces dans un système de brackets de 0,022 pouce (Synergy R) qui a produit un couple radiculaire buccal d'environ 5 N/mm au niveau du bracket. En utilisant une conception de bouche scindée, une randomisation et un masquage, un côté de l'arcade a reçu LIPUS pendant 20 minutes par jour pendant 4 semaines à une intensité incidente de 30 mW/cm<sup>2</sup> de la surface des transducteurs. L'autre côté a servi d'autocontrôle et a reçu un transducteur fictif. Après 4 semaines, toutes les premières prémolaires ont été extraites et une analyse par tomographie assistée par ordinateur a été réalisée sur ces extractions. Une analyse statistique linéaire à modèle mixte a été utilisée.

**Résultats :** Les dents traitées par LIPUS présentaient un volume total de lacunes de résorption significativement inférieur à celui des dents témoins par une différence moyenne de (0,54 +/- 0,09 mm<sup>3</sup>) ( $P < .001$ ) et un pourcentage de résorption radiculaire par une différence moyenne de (0,33 +/- 0,05 mm<sup>3</sup>) ( $P < .001$ ). En outre, on a trouvé beaucoup moins de lacunes de résorption sur toutes les surfaces radiculaires dans le groupe LIPUS que dans le groupe témoin, sauf dans le cas de la surface distale.

**Limites :** Cette étude a été réalisée sur un nombre limité de cas pendant une période de 4 semaines.

**Conclusions :** LIPUS minimise la résorption radiculaire lorsqu'il est appliqué pendant le mouvement de torque de la dent sur une période de 4 semaines. (*Angle Orthod.* 2016 ;86 :550-557.)

**MOTS CLÉS :** Résorption radiculaire orthodontique ; Torque ; Ultrasons pulsés de faible intensité ; LIPUS ; Humain

## INTRODUCTION

La résorption radiculaire induite par l'orthodontie (RRO) est une conséquence inévitable du traitement orthodontique.<sup>1</sup> L'incidence de la RRO est supérieure à 90 %, <sup>2</sup> et la prévalence de la RRO mineure à sévère varie de 94 % à 6,6 %, respectivement.<sup>3</sup> Il a été rapporté que 6,6 % des patients orthodontiques dans une étude<sup>3</sup> avaient au moins une dent avec une RRO supérieure à 4mm. L'analyse par tomographie micro-informatique (micro-CT) est actuellement l'étalon-or pour la quantification de la RR.<sup>4</sup> La RIO est un problème multifactoriel qui peut résulter d'une combinaison de variabilités biologiques individuelles, de prédispositions génétiques et de facteurs mécaniques de l'orthodontie.<sup>5</sup> La force du torque induit une rotation bucco-linguale de la dent,<sup>6</sup> et a été identifiée comme l'un des principaux facteurs de risque de la RIO.<sup>7-10</sup> Plusieurs études ont exploré les traitements potentiels de la RIO <sup>11-14</sup> mais la seule modalité cliniquement acceptable rapportée est l'ultrason pulsé de faible intensité (LIPUS).<sup>15</sup> Le LIPUS est une onde de pression acoustique qui peut être utilisée pour le traitement de la RIO.

<sup>a</sup> Ancien étudiant diplômé, Département de dentisterie, Faculté de médecine et de dentisterie, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

<sup>b</sup> Professeur et président de la School of Dentistry, doyen associé principal, Faculté de médecine et de dentisterie, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

<sup>c</sup> Professeur de parodontie, École dentaire, Faculté de médecine et d'odontologie, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

<sup>d</sup> Professeur associé, Département d'orthodontie, École dentaire, Faculté de médecine et d'odontologie, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Auteur correspondant : Dr Tarek El-Bialy, 7-020D Katz Group Centre for Pharmacy and Health Research, Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta T6G 2E1, Canada (e-mail : telbially@ualberta.ca)

Accepté : Octobre 2015. Soumis : août 2015. Publié en ligne : 30 novembre 2015

© 2016 par la Fondation pour l'éducation et la recherche sur l'angle EH, Inc.



Figure 1. Photos intrabuccales du patient montrant les appareils orthodontiques et leurs arcs.

stimulent une variété de cellules, y compris les cémentoblastes,<sup>16</sup> les odontoblastes,<sup>17</sup> les ostéoblastes,<sup>18</sup> les chondrocytes,<sup>19</sup> les cellules gingivales,<sup>20,21</sup> et les cellules du ligament parodontal.<sup>22</sup> Des études antérieures portant sur les effets de LIPUS sur la RIO ont rapporté que LIPUS favorise la cémentogenèse en augmentant l'activité du phosphate alcalin (ALP),<sup>16,23</sup> la synthèse du collagène- I,<sup>16</sup> et la protéine Runx-216 dans les cémentoblastes et inhibe la cémentoclastogenèse<sup>24-25</sup> En outre, une étude antérieure<sup>15</sup> a rapporté que LIPUS réduisait la sévérité de la RIO due à un mouvement orthodontique de type tipping et favorisait la réparation du cément. L'effet de LIPUS sur l'OIRR au cours d'autres types de mouvements dentaires orthodontiques reste inconnu. Par conséquent, l'objectif du présent essai clinique était d'évaluer les effets de LIPUS sur la RIO causée par un mouvement dentaire de torsion.

## MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche en santé de l'Université d'Alberta, Canada (Pro 00001454). Tous les participants à l'étude ont signé un document de consentement éclairé avant le début de l'expérience. La taille de l'échantillon a été calculée sur la base des données publiées par El-Bialy et al.<sup>15</sup> en utilisant la formule suivante<sup>26</sup> :

$$n = \sigma^2 \times (Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2 / d^2$$

$$n = (120)^2 \times (1.96 + 0.84)^2 / (100)^2$$

$$n = 12.$$

Le niveau de signification statistique et la puissance test ont été fixés respectivement à 0,5 et 0,8. Les participants à l'étude étaient 12 personnes en bonne santé, deux hommes et 10 femmes, avec une

âge moyen de 15,5 +/- 5,48 ans au début de l'étude, qui devaient recevoir un traitement orthodontique et subir l'extraction de toutes leurs premières prémolaires dans le cadre de leur traitement orthodontique. Au cours de l'expérience, deux patients ont été éliminés pour cause de non-coopération. Finalement, 10 patients, deux hommes et huit femmes, ont terminé l'étude.

Cette étude était un essai clinique prospectif, à bouche séparée, en double aveugle, randomisé et contrôlé. Pour chaque patient, l'arc de maintien de Nance et l'arc lingual mandibulaire ont été posés pour soutenir les premières molaires (ancrage) (figure 1). Toutes les premières prémolaires ont été collées avec des brackets Synergy-R (fente de 0,022 pouce) (RMO, Denver, Colo) en position passive à l'aide de fils de 0,021 à 0,025 pouce pour s'assurer que le couple de serrage soit nul au moment du collage. L'épaisseur du matériau de collage entre la base du bracket et la surface de la dent a varié pour tenir compte des variations de la pente de l'aspect buccal des dents. Ensuite, une torsion de 15u a été appliquée dans le fil

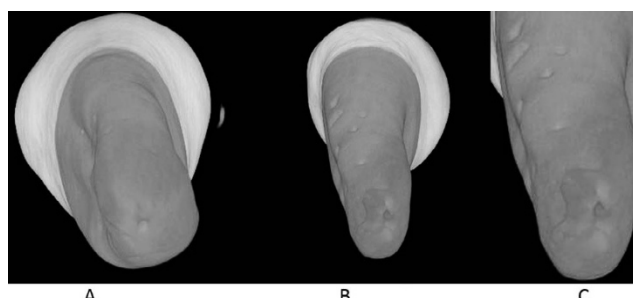


Figure 2. Illustration tridimensionnelle de l'image micro-CT de la prémolaire mandibulaire montrant les cratères de résorption radiculaire (A), la prémolaire traitée par LIPUS (B), la prémolaire de contrôle (C) et le cratère de résorption radiculaire en détail. Application du torque.

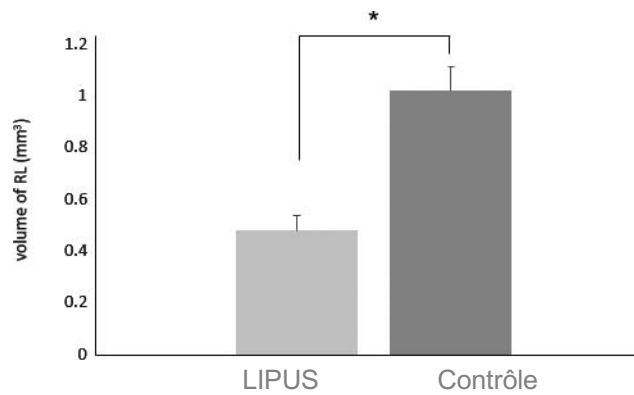


Figure 3. Volume total du RL (mm<sup>3</sup>) (moyenne 6 erreurs standard) dans le groupe LIPUS et le groupe témoin (\* P , .05).

sectionnel de 0,019 x 0,025 pouces (alliage titane et molybdène, RMO) reliant la première prémolaire et la première molaire de chaque côté, produisant un couple de racine buccale cliniquement approprié au niveau du bracket de la prémolaire d'environ 5 N/mm. La valeur du torque a été calibrée dans le laboratoire de biomécanique de l'Université d'Alberta, au Canada.

Pour chaque patient, les premières prémolaires supérieures et inférieures d'un côté ont été assignées au hasard pour recevoir des transducteurs LIPUS actifs, tandis que les prémolaires de l'autre côté ont été utilisées comme mesure d'autocontrôle et ont reçu des transducteurs fictifs. Avant le début de l'étude, les transducteurs LIPUS inactifs et actifs ont été codés en aveugle et leur apparence était indifférenciée, mais ils étaient marqués "à droite" ou "à gauche". Le clinicien, le coordinateur de l'étude, le patient et l'équipe de l'étude ont été informés des résultats de l'étude.

Tous les évaluateurs étaient aveugles aux cotes actives et témoin. Le LIPUS a été appliqué à l'aide d'un appareil à ultrasons sur mesure (SmileSonica Inc, Edmonton, Alberta, Canada) qui a été mis en place le même jour que la force orthodontique, à raison de 20 minutes par jour pendant 4 semaines. Les patients ont reçu l'instruction d'appliquer le transducteur à ultrasons sur les premières prémolaires assignées dans le pli muco-buccal. Un gel à ultrasons intrabuccal a été utilisé pour coupler l'énergie ultrasonore entre le transducteur et la gencive. Les paramètres LIPUS utilisés dans cette étude étaient des impulsions de 200 ms de large ayant chacune une fréquence de 1,5 MHz et une fréquence de répétition des impulsions de 1 kHz et délivrant une intensité de 30 mW/cm<sup>2</sup> de la surface du transducteur. Après 4 semaines, toutes les premières prémolaires ont été extraites, désinfectées dans de l'alcool à 70 % pendant 30 minutes et stockées dans un endroit sûr au

Tableau 1. Comparaison des variables mesurées pour la résorption radiculaire entre le groupe LIPUS (Low-Intensity Pulsed Ultrasound) et le groupe témoin, ainsi que les résultats de l'analyse statistique

| Résultats  | Groupe   | N  | Moyenne des données brutes (SE) <sup>a</sup> | Modèle linéaire mixte (valeur P) |
|--|----------|----|--|----------------------------------|
| Nombre de lacunes de résorption sur la surface buccale           | LIPUS    | 20 | 5.75 (0.602)                                 | .005                             |
|  | Contrôle | 20 | 8.40 (0.796)                                 |                                  |
| Nombre de lacunes de résorption sur la surface mésiale           | LIPUS    | 20 | 5.40 (0.701)                                 | .006                             |
|  | Contrôle | 20 | 8.40 (0.709)                                 |                                  |
| Nombre de lacunes de résorption sur la surface distale           | LIPUS    | 20 | 5.50 (0.766)                                 | .121                             |
|  | Contrôle | 20 | 6.95 (1.07)                                  |                                  |
| Nombre de lacunes de résorption sur la surface palatine/linguale | LIPUS    | 20 | 4.50 (0.52)                                  | .019                             |
|  | Contrôle | 20 | 6.80 (0.91)                                  |                                  |
| Hauteur des lacunes de résorption, mm                            | LIPUS    | 80 | 0.72 (0.05)                                  | .007                             |
|  | Contrôle | 80 | 0.94 (0.07)                                  |                                  |
| Profondeur des lacunes de résorption, mm                         | LIPUS    | 80 | 0.09 (0.005)                                 | .025                             |
|  | Contrôle | 80 | 0.11 (0.006)                                 |                                  |
| Volume total des lacunes de résorption, mm <sup>3</sup>          | LIPUS    | 20 | 0.48 (0.059)                                 | .001                             |
|  | Contrôle | 20 | 1.01 (0.092)                                 |                                  |
| Pourcentage de résorption de la racine de la dent                | LIPUS    | 20 | 0.21 (0.02)                                  | .001                             |
|  | Contrôle | 20 | 0.55 (0.06)                                  |                                  |

<sup>a</sup> SE indique l'erreur standard.

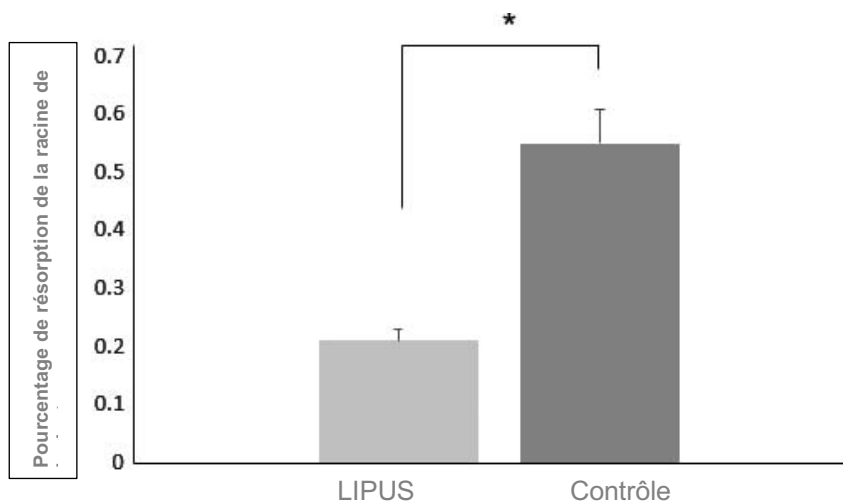


Figure 4. Pourcentage de résorption de la racine dentaire (moyenne 6 erreurs standard) dans le groupe LIPUS et le groupe témoin (\* P , .05).

Milli-Q Millipore (Bedford, Mass),<sup>8,27</sup> et ensuite ils ont été préparées pour le scanner micro-CT, comme décrit précédemment.<sup>8,28</sup> Les dents ont été scannées dans un scanner SkyScanH micro-CT (1076) à une résolution de 9 µm. L'analyse des images reconstituées a été effectuée comme décrit précédemment.<sup>28</sup> Les lacunes de résorption (RL) ont été analysées sur toute la longueur des racines, en commençant par la jonction cément-émail et en continuant jusqu'à l'apex de la racine. L'emplacement, le nombre, la hauteur et le volume des RL ont été calculés.<sup>28</sup> Le pourcentage de résorption de la racine dentaire a été calculé en ajoutant le volume de tous les RL au volume estimé de la racine dentaire, tel que déterminé par le logiciel de micro-CT.<sup>28</sup> Les racines dentaires ont été divisées en tiers cervical, moyen et apical pour analyser la distribution des RL sur toute la longueur de la racine. Lorsque toutes les mesures ont été effectuées, le code d'insu a été rompu et les variables ont été analysées pour les dents échographiées et les dents témoins.

### Mesures de fiabilité intraréférentielle

Le nombre et l'emplacement, la hauteur, la profondeur et le volume du RL ainsi que le pourcentage de résorption de la racine dentaire ont été mesurés par le même investigateur deux fois à une semaine d'intervalle afin de tester la fiabilité intraréférentielle.

### Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel Statistique Package for the Social Sciences (SPSS version 20, Chicago, Ill). En raison de la conception de la bouche divisée, les données avaient une structure de paires appariées et les ensembles de données n'étaient pas indépendants les uns des autres. En outre, les données ont été collectées à plusieurs reprises auprès du même sujet chez qui le facteur répété est supérieur/inferieur et gauche/droite, et nous disposions donc de quatre mesures pour chaque sujet. Par conséquent, les mesures ont pu avoir une structure corrélée au sein du sujet. Pour analyser les données

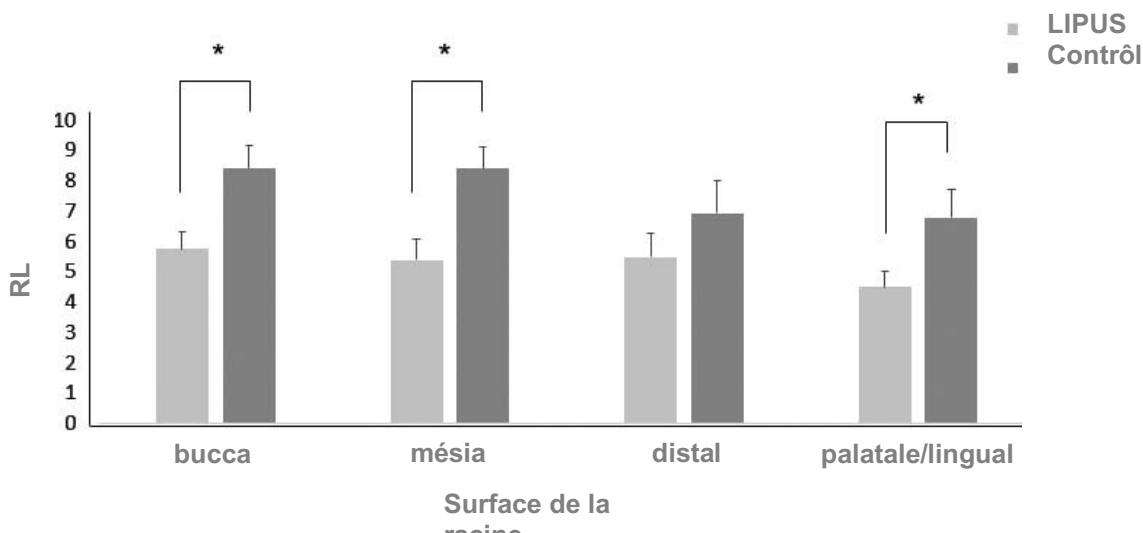


Figure 5. Nombre de RL (moyenne 6 erreurs standard) sur différentes surfaces de la racine dans le groupe LIPUS et le groupe de contrôle (\* P , .05).



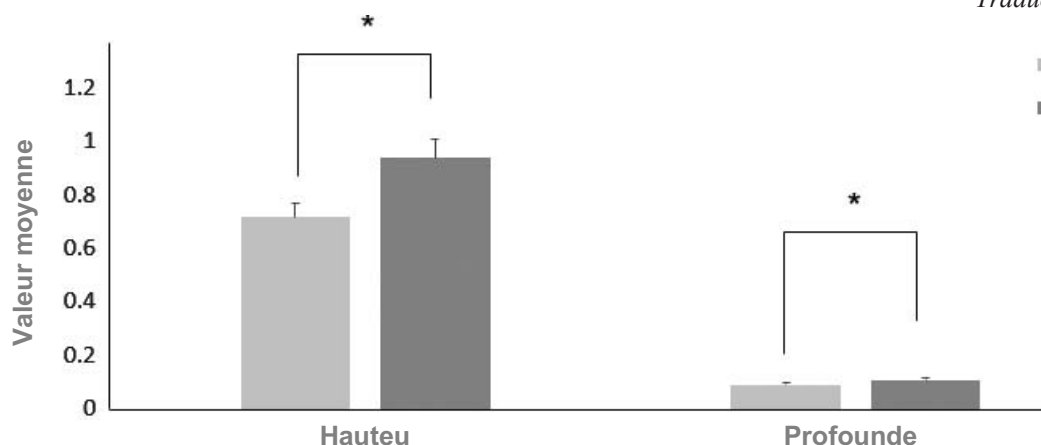


Figure 6. Hauteur et profondeur du RL (mm) (moyenne 6 erreurs standard) dans le groupe LIPUS et le groupe de contrôle (\*  $P < .05$ ).

mesurées sur le même sujet, un modèle linéaire mixte a été recommandé par le biostatisticien, en supposant une structure de covariance (ou de corrélation) spécifique de la variable de résultat (par exemple, symétrie composée, etc.). La fiabilité intraréférentielle de toutes les variables a été déterminée à l'aide du coefficient de corrélation infraclasse (ICC).

## RÉSULTATS

Le test de fiabilité a montré une concordance absolue dans le nombre de RL. La reproductibilité des autres variables était également très élevée, les valeurs ICC étant comprises entre 0,981 et 0,997.

Dans l'ensemble, les résultats de l'étude ont montré que le LIPUS réduisait de manière significative les lésions radiculaires par rapport au groupe témoin (figure 2). Le volume RL du groupe LIPUS était significativement inférieur à celui du groupe témoin ( $P < .001$ ) (Figure 3 ; Tableau 1). De plus, le pourcentage moyen de résorption radiculaire du groupe LIPUS était significativement inférieur à celui du groupe témoin ( $P < .001$ ) (Figure 4 ; Tableau 1). LIPUS a diminué le nombre de RL sur les surfaces mésiales, buccales et palatines des racines par rapport au groupe témoin ( $P < 0,05$ ), tandis qu'il a diminué sur la surface distale, mais de façon non statistiquement significative (figure 5 ; tableau 1). La hauteur corono- apicale et la profondeur des LR étaient également significativement inférieures dans le groupe LIPUS par rapport au groupe témoin (figure 6 ; tableau 1) ( $P < 0,05$ ).

En général, c'est la région apicale qui présente le plus grand nombre de RL, suivie du tiers moyen et de la région cervicale.

Tableau 2. Nombre moyen de lacunes de résorption à chaque niveau/tiers de la racine

| Partie/Troisième de la racine | N  | Moyenne des données brutes (SE)* |
|-------------------------------|----|----------------------------------|
| Tiers cervicale               | 40 | 4.38 (0.38)                      |
| Tiers moyen                   | 40 | 8.15 (0.829)                     |
| Tiers apical                  | 40 | 16.58 (0.818)                    |

\*SE indique l'erreur standard.

troisième (tableau 2). LIPUS a réduit de manière significative le nombre de LR au niveau apical et au niveau moyen de la racine par rapport au groupe témoin (figure 7 ; tableau 3) ( $P < 0,05$ ). Cependant, aucune différence significative n'a été constatée entre le groupe LIPUS et le groupe témoin en ce qui concerne le nombre de RL au niveau cervical (figure 7 ; tableau 3) ( $P > 0,05$ ). Aucune différence significative n'a été constatée dans la sévérité de l'OIRR entre les dents supérieures et inférieures dans les deux groupes ( $P > 0,05$ ) (tableaux 4 et 5).

## DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont démontré que LIPUS réduisait le volume total de RL et le pourcentage de résorption radiculaire de plus de 50 % au cours d'un mouvement dentaire de couple cliniquement pertinent. Cela peut être dû à l'effet anabolique de LIPUS sur les cémentoblastes qui ont soit aidé à réparer la LR, soit stimulé la sécrétion d'une couche de ciment protectrice contre la RORO.<sup>16,23,24,29</sup> De plus il a été démontré que LIPUS peut inhiber l'activité des ostéoclastes en diminuant le rapport Récepteur activateur du facteur nucléaire kappa-B ligand/Ostéoprotégérine (RANKL/OPG).<sup>23,24,30</sup> Cela pourrait également être dû à l'effet anti-inflammatoire de LIPUS,<sup>31</sup> car il a été rapporté qu'il diminuait le facteur de nécrose tumorale- $\alpha$  ou l'interleukine  $1\beta$ <sup>31</sup> qui sont également impliqués dans la prolifération et la différenciation des cellules odontoclastiques.<sup>32</sup> Nos résultats sont en accord avec les rapports précédents<sup>15,25,30,31</sup> qui ont montré significativement moins de RL dans les dents traitées par LIPUS par rapport aux dents de contrôle, sauf pour la surface distale. La surface distale du groupe LIPUS présentait un nombre inférieur de LR par rapport au groupe témoin, mais cette différence n'était pas significative. La plupart des patients de cette expérience avaient leurs premières prémolaires en rotation dito-palatine, ce qui rendait la pénétration des ultrasons plus faible vers la surface distale. En utilisant l'analyse par éléments finis, Vafaeian et al.<sup>33</sup> ont démontré la relation quantitative entre les épaisseurs de ciment régénéré et la puissance des ultrasons. Ils ont

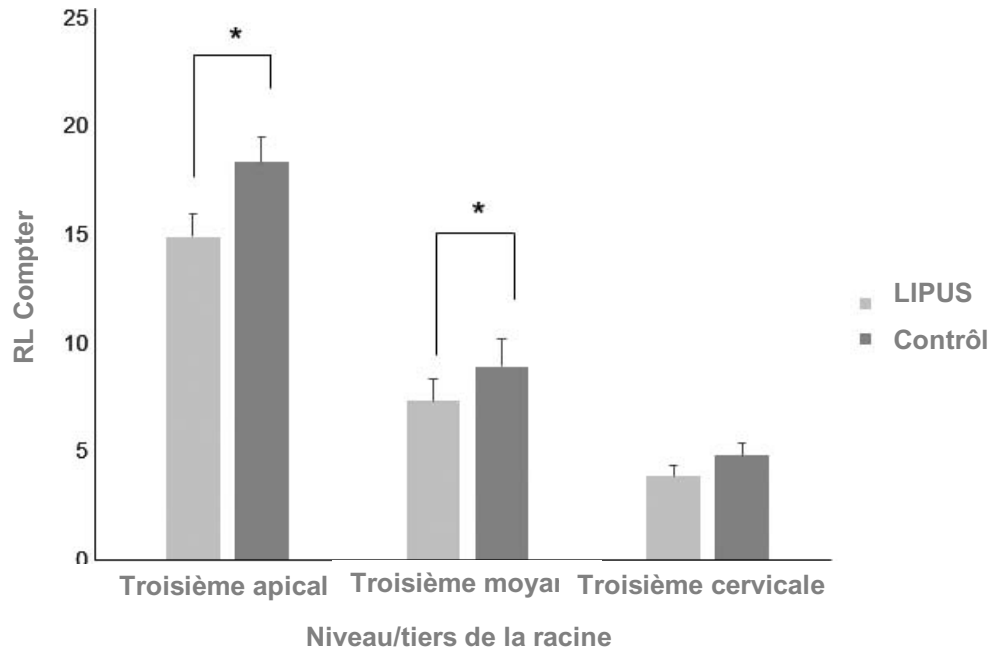


Figure 7. Nombre de RL (moyenne 6 erreurs standard) à différents niveaux/tiers de la racine dans le groupe LIPUS et le groupe de contrôle (\*  $P$ , .05).

Tableau 3. Comparaison du nombre de lacunes de résorption à chaque niveau/tiers de la racine entre les ultrasons pulsés de faible intensité (LIPUS) et le groupe témoin, ainsi que les résultats de l'analyse statistique

| Résultats           | Groupe   | N  | Moyenne des données brutes (SE) <sup>a</sup> | Modèle linéaire mixte (valeur $P$ ) |
|---------------------|----------|----|--|-------------------------------------|
| Troisième cervicale | LIPUS    | 20 | 3.90 (0.492)                                 | .079                                |
|                     | Contrôle | 20 | 4.85 (0.595)                                 |                                     |
| Tiers moyen         | LIPUS    | 20 | 7.35 (1.027)                                 | .046                                |
|                     | Contrôle | 20 | 8.95 (1.29)                                  |                                     |
| Tiers apical        | LIPUS    | 20 | 14.95 (1.022)                                | .01                                 |
|                     | Contrôle | 20 | 18.40 (1.127)                                |                                     |

<sup>a</sup>SE indique l'erreur standard.

Tableau 4. Comparaison des résultats des variables mesurées de la résorption radiculaire entre les dents supérieures et inférieures dans le groupe LIPUS (Low-Intensity Pulsed Ultrasound)

| Résultats   | Groupe     | N  | Moyenne des données brutes (SE) <sup>a</sup> | Modèle linéaire mixte (valeur $P$ ) |
|---|------------|----|--|-------------------------------------|
| Nombre de lacunes de résorption sur la surface buccale      | Supérieure | 10 | 6.58 (0.898)                                 | .169                                |
|   | Plus bas   | 10 | 5.0 (0.775)                                  |                                     |
| Nombre de lacunes de résorption (RL) sur la surface mésiale | Supérieure | 10 | 4.90 (0.781)                                 | .667                                |
|   | Plus bas   | 10 | 5.90 (1.187)                                 |                                     |
| Nombre de RL sur la surface distale                         | Supérieure | 10 | 6.50 (1.26)                                  | .333                                |
|   | Plus bas   | 10 | 4.50 (0.8)                                   |                                     |
| Nombre de RL sur la surface palatine/linguale               | Supérieure | 10 | 5.90 (0.623)                                 | .021                                |
|   | Plus bas   | 10 | 3.10 (0.58)                                  |                                     |
| Pourcentage de résorption de la racine de la dent           | Supérieure | 10 | 0.22 (0.038)                                 | .959                                |
|   | Plus bas   | 10 | 0.20 (0.029)                                 |                                     |
| Volume total du RL, <sup>mm</sup> 3                         | Supérieure | 10 | 0.58 (0.11)                                  | .139                                |
|   | Plus bas   | 10 | 0.40 (0.039)                                 |                                     |

<sup>a</sup>SE indique l'erreur standard.

Tableau 5. Comparaison des résultats des variables mesurées de la résorption radiculaire entre les dents supérieures et inférieures dans le groupe de contrôle

| Résultats   | Groupe     | N  | Moyenne des données brutes (SE) <sup>a</sup> | Modèle linéaire mixte (valeur P) |
|---|------------|----|--|----------------------------------|
| Nombre de lacunes de résorption (RL) sur la surface buccale | Supérieure | 10 | 9.30 (1.3)                                   | .171                             |
|   | Plus bas   | 10 | 7.50 (0.87)                                  |                                  |
| Nombre de RL sur la surface mésiale                         | Supérieure | 10 | 8.80 (1.14)                                  | .360                             |
|   | Plus bas   | 10 | 8.0 (0.882)                                  |                                  |
| Nombre de RL sur la surface distale                         | Supérieure | 10 | 8.50 (1.59)                                  | .064                             |
|   | Plus bas   | 10 | 5.40 (1.33)                                  |                                  |
| Nombre de RL sur la surface palatine/linguale               | Supérieure | 10 | 7.80 (1.54)                                  | .235                             |
|   | Plus bas   | 10 | 5.80 (0.96)                                  |                                  |
| Pourcentage de résorption de la racine de la dent           | Supérieure | 10 | 0.64 (0.11)                                  | .059                             |
|   | Plus bas   | 10 | 0.44 (0.06)                                  |                                  |
| Volume total du RL, mm <sup>3</sup>                         | Supérieure | 10 | 1.08 (.154)                                  | .241                             |
|   | Plus bas   | 10 | 0.91 (0.112)                                 |                                  |

<sup>a</sup>SE indique l'erreur standard.

également observé une plus grande épaisseur de ciment dans les zones de la racine ayant reçu une plus grande pression ultrasonore, et vice versa.<sup>33</sup>

Aucune différence significative n'a été trouvée dans la sévérité de l'OIRR causée par le couple entre les prémolaires supérieures et inférieures dans les deux groupes. Cela pourrait être dû à l'amplitude relativement faible du couple utilisé dans cette expérience (environ 5 N/mm) qui pourrait ne pas être suffisante pour produire un contact des racines de ces prémolaires avec leur plaque corticale respective.<sup>7,10</sup>

Dans notre étude, une résorption radiculaire plus importante a été observée au niveau du tiers apical, suivi du tiers moyen et du tiers cervical. Cela est probablement dû au fait que le torque entraîne une concentration des forces de compression au niveau de l'apex, qui est plus susceptible de résorber la racine. Schwartz<sup>31</sup> a signalé que la force orthodontique ne devait pas dépasser la pression sanguine capillaire et que les zones dans lesquelles la force orthodontique dépassait la pression sanguine capillaire présentaient une résorption radiculaire.<sup>37</sup> Hohmann et al.<sup>10</sup> ont étudié l'effet du torque sur la pression hydrostatique du ligament parodontal (PDL) à l'aide d'une analyse par éléments finis. Bartley et al.<sup>8</sup> ont appliqué un couple de 2,85 N/mm (285 g/mm) et ont observé une résorption plus importante au niveau apical qu'au niveau moyen et cervical. Casa et al.<sup>9</sup> ont appliqué un couple de 6 N/mm et ont rapporté une résorption radiculaire sévère au niveau de l'apex. La RR apicale est cliniquement significative, car la RL peut s'accumuler dans la région apicale et conduire à un raccourcissement permanent de la racine et à une réduction du rapport couronne/racine.<sup>38,39</sup> Notre étude a également mis en évidence l'effet délétère du couple sur la RIO, comme cela a été précédemment rapporté.<sup>8,9</sup> Comme cette période de 4 semaines correspond à l'intervalle de temps habituel entre deux rendez-vous orthodontiques, une activation supplémentaire de la force orthodontique ou des appareils orthodontiques peut considérablement augmenter le risque de RIO. L'application de LIPUS n'a cependant pas permis de guérir complètement les cratères de réabsorption

pendant cette période. D'autres traitements à long termes d'essais cliniques évaluant l'effet de LIPUS sur la RIO seront utiles pour déterminer l'efficacité de LIPUS dans l'accélération de la réparation du ciment sur des périodes de temps prolongées. En outre, de futures études bénéficieraient de l'évaluation du mouvement de la dent et du niveau de cytokines, qui peuvent être évalués en les recueillant du liquide crévulaire en même temps que l'application du LIPUS.

## CONCLUSIONS

- Le présent essai clinique permet de conclure que l'application quotidienne de LIPUS pendant 20 min/j pendant 4 semaines a permis de réduire de manière significative la gravité de la RIO causée par le torque chez l'homme.

## RÉFÉRENCES

- Tsesis I, Fuss Z, Rosenberg E, Taicher S. Radiographic evaluation of the prevalence of root resorption in a Middle Eastern population. *Quintessence Int Berl Ger* 1985; 2008 ; 39:e40-e44.
- Harry MR, Sims MR. Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. *Angle Orthod*. 1982 ; 52:235-258.
- Lund H, Grondahl K, Hansen K, Grondahl H-G. Résorption radiculaire apicale au cours d'un traitement orthodontique. A prospective study using cone beam CT. *Angle Orthod*. 2012;82:480-487.
- Dudic A, Giannopoulou C, Martinez M, Montet X, Kiliaridis S. Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against micro-computed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Oral Sci*. 2008;116:467-472.
- Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement : a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137:462-476 ; discussion 12A.
- Profitt W, Ackerman J. *Diagnosis and Treatment Planning in Orthodontics*. St Louis, Mo : CV Mosby ; 1994.
- Kaley J, Phillips C. Facteurs liés à la résorption radiculaire dans la pratique de l'Edgewise. *Angle Orthod*. 1991;61:125-132
- Bartley N, Turk T, Colak C, et al. Physical properties of root cementum : part 17. Résorption radiculaire après l'application de 2,5u et 15u de couple radiculaire buccal pendant 4 semaines : une étude par tomographie par micro-ordinateur. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;139:e353-e360.

9. Casa MA, Faltin RM, Faltin K, Sander FG, Arana-Chavez VE. Résorptions radiculaires dans les premières prémolaires supérieures après l'application d'un moment de couple continu. Intra-individual study. *J Orofac Orthop, Fortschritte Kieferorthopa" die Organ Official J Dtsch Ges Fu" r Kieferorthopa" die.* 2001;62:285-295.
10. Hohmann A, Wolfram U, Geiger M, et al. Pression hydrostatique du ligament parodontal avec des zones de résorption radiculaire après l'application d'un moment de torsion continu. *Angle Orthod.* 2007;77:653-659.
11. Gonzales C, Hotokezaka H, Karadeniz EI, et al. Effects of fluoride intake on orthodontic tooth movement and orthodontically induced root resorption. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2011;139:196-205.
12. Seifi M, Atri F, Yazdani MM. Effets de la thérapie laser de bas niveau sur le mouvement orthodontique des dents et la résorption radiculaire après la préservation de l'alvéole artificielle. *Dent Res J.* 2014;11:61-66.
13. Altan AB, Bicakci AA, Mutaf HI, Ozkut M, Inan VS. Les effets de la thérapie laser de bas niveau sur la résorption radiculaire induite par l'orthodontie. *Lasers Med Sci.* 2015;30(8):2067-2076.
14. Ekizer A, Uysal T, Gu" ray E, Akkus, D. Effet de la thérapie de photobiomodulation médiée par LED sur le mouvement orthodontique des dents et la résorption des racines chez le rat. *Lasers Med Sci.* 2015;30:779-785.
15. El-Bialy T, El-Shamy I, Graber TM. Repair of orthodontically induced root resorption by ultrasound in humans. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2004;126:186-193.
16. Inubushi T, Tanaka E, Rego EB, et al. Effects of ultrasound on the proliferation and differentiation of cementoblast lineage cells. *J Periodontol.* 2008;79:1984-1990.
17. Scheven BA, Man J, Millard JL, et al. VEGF and odontoblast-like cells : stimulation by low frequency ultrasound. *Arch Oral Biol.* 2009;54:185-191.
18. Hasuie A, Sato S, Udagawa A, Ando K, Arai Y, Ito K. In vivo bone regenerative effect of low-intensity pulsed ultrasound in rat calvarial defects. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111:e12-e20.
19. Iwabuchi Y, Tanimoto K, Tanne Y, et al. Effects of low-intensity pulsed ultrasound on the expression of cyclooxygenase-2 in mandibular condylar chondrocytes. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014;28:261-268.
20. Shiraishi R, Masaki C, Toshinaga A, et al. Les effets de l'exposition aux ultrasons pulsés de faible intensité sur les cellules gingivales. *J Periodontol.* 2011;82:1498-1503.
21. Mostafa NZ, Uludag" H, Dederich DN, Doschak MR, El-Bialy TH. Effets anabolisants des ultrasons pulsés de faible intensité sur les fibroblastes gingivaux humains. *Arch Oral Biol.* 2009;54:743-748.
22. Hu B, Zhang Y, Zhou J, et al. La stimulation par ultrasons pulsés de faible intensité facilite la différenciation ostéogénique des cellules du ligament parodontal humain. 352. *PLoS One.* 2014;9:e95168.
23. Dalla-Bona DA, Tanaka E, Oka H, et al. Effects of ultrasound on cementoblast metabolism in vitro. *Ultrasound Med Biol.* 2006;32:943-948.
24. Dalla-Bona DA, Tanaka E, Inubushi T, et al. Cementoblast response to low- and high-intensity ultrasound. *Arch Oral Biol.* 2008;53:318-323.
25. Liu Z, Xu J, Lingling E, Wang D. Ultrasound enhances the healing of orthodontically induced root resorption in rats. *Angle Orthod.* 2012;82:48-55.
26. Rosner B. *Principes fondamentaux de la biostatistique.* 7e édition. Boston, Mass : Brooks/Cole ; 2011. 232 p.
27. Malek S, Darendeliler MA, Rex T, et al. Physical properties of root cementum : part 2. Effect of different storage methods. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2003;124:561-570.
28. Wierzbicki T, El-Bialy T, Aldaghreer S, Li G, Doschak M. Analysis of orthodontically induced root resorption using micro-computed tomography (micro-CT). *Angle Orthod.* 2009;79:91-96.
29. Al-Daghreer S, Doschak M, Sloan AJ, et al. Effet des ultrasons pulsés de faible intensité sur la résorption radiculaire induite par l'orthodontie chez le chien beagle. *Ultrasound Med Biol.* 2014;40 : 1187-1196.
30. Inubushi T, Tanaka E, Rego EB, et al. La stimulation par ultrasons atténue la résorption de la racine dentaire induite par l'application d'une force expérimentale. *Bone.* 2013;53:497-506.
31. Nakamura T, Fujihara S, Yamamoto-Nagata K, Katsura T, Inubushi T, Tanaka E. Low-intensity pulsed ultrasound reduces the inflammatory activity of synovitis. *Ann Biomed Eng.* 2011;39:2964-2971.
32. Zhang D, Goetz W, Braumann B, Bourauel C, Jaeger A. Effet des récepteurs solubles à l'interleukine-1 et au facteur de nécrose tumorale alpha sur la réabsorption radiculaire induite expérimentalement chez les rats. *J Periodont Res.* 2003;38:324-332.
33. Vafaeian B, Al-Daghreer S, El-Rich M, Adeeb S, El-Bialy T. Simulation d'ultrasons de faible intensité se propageant dans une structure dento-alvéolaire de chien mâle pour étudier les relations entre les paramètres ultrasoniques et la régénération du ciment. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41:2173-2190.
34. Puente MI, Galba'n L, Cobo JM. Initial stress differences between tipping and torque movements. A three-dimensional finite element analysis. *Eur J Orthod.* 1996;18:329-339.
35. Henry JL, Weinmann JP. The pattern of resorption and repair of human cementum. *J Am Dental Assoc.* 1951;42 : 270-290.
36. Srivicharnkul P, Kharbanda OP, Swain MV, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 3. Dureté et module d'élasticité après application de forces légères et lourdes. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2005 ; 127:168-176 ; quiz 260.
37. Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr.* 1932;18 : 331- 352
38. Dorow C, Sander F-G. Développement d'un modèle pour la simulation de la charge orthodontique sur les premières prémolaires inférieures à l'aide de la méthode des éléments finis. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopa" die Organ Official J Dtsch Ges Fu" r Kiefer- orthopa" die.* 2005;66:208-218.
39. Proffit W, Fields H, Sarver D. *Contemporary Orthodontics.* Philadelphie, Pa : Elsevier ; 2006.