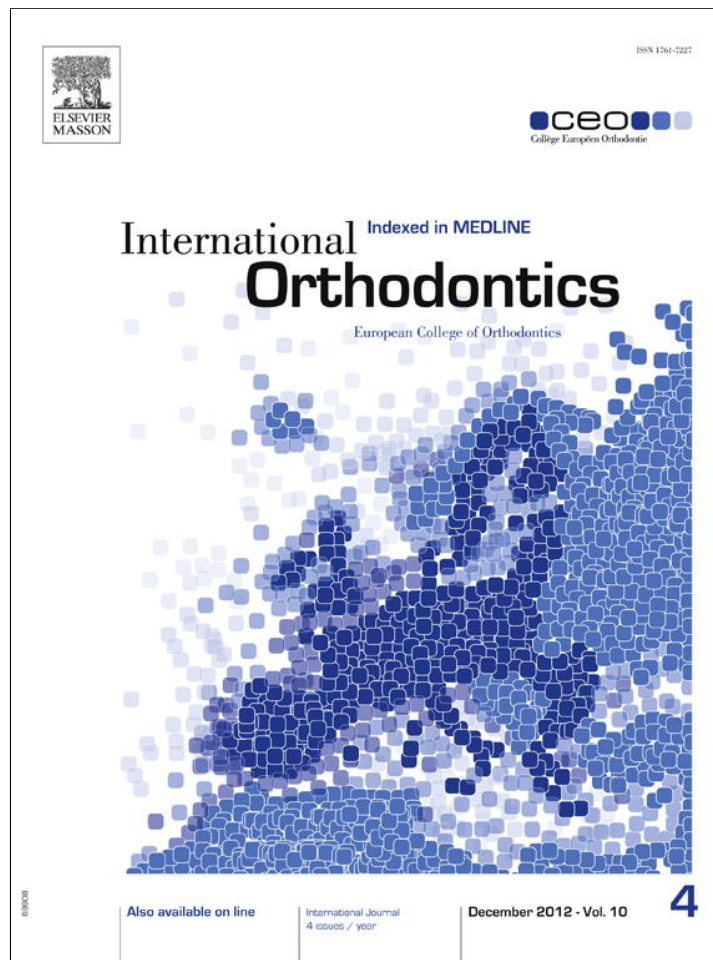


Provided for non-commercial research and education use.
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>

Original article
Article original

Effects of buccal and lingual enamel sandblasting on shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a self-etching primer

Effet du microsablage de l'émail vestibulaire et lingual sur la résistance au cisaillement d'attaches orthodontiques collées avec un primaire automordançant

Myriam MATI^a, Elie AMM^b, Joseph BOUSERHAL^b, Nayla BASSIL-NASSIF^{b,*}^aSin El Fil, Group Center, Beirut, Lebanon^bDepartment of Orthodontics, Faculty of Dental Medicine, Medical Sciences Campus, Saint-Joseph University, Beirut, Lebanon

Available online: 9 November 2012 / Disponible en ligne : 9 novembre 2012

Summary

The purpose of this study was to evaluate the effects of sandblasting on the initial shear bond strength (SBS) and on the bracket/adhesive failure mode of orthodontic brackets bonded on buccal and lingual enamel using a self-etching primer (SEP). The brackets were bonded using a SEP and composite resin on the buccal and lingual surfaces of 30 premolars with intact enamel and 30 premolars pretreated by sandblasting with 50 µm aluminum-oxide. Student's paired t-test was used to compare the groups for differences in SBS and a multiple Chi² test was performed to compare the bond failure mode. It was shown that sandblasting increases significantly SBS of the SEP on the buccal surfaces but the increase on the lingual surfaces is not statistically significant. A comparison of the adhesive remnant index scores indicated that there was more residual adhesive remaining on the teeth that were treated by sandblasting than on the teeth with intact enamel. Besides, there is no statistical difference between SBS of the SEP on buccal and lingual surfaces with intact enamel. Therefore, we can conclude that sandblasting improves the bond between

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets du microsablage sur la résistance au cisaillement (RAC) initiale et sur le mode de fracture du joint émail/attache d'attaches orthodontiques collées à l'aide d'un primaire automordançant (PAM) au niveau de l'émail vestibulaire et lingual. Les attaches ont été collées en utilisant un PAM et une résine composite sur les surfaces vestibulaires et linguales de 30 prémolaires intactes et sur 30 prémolaires prétraitées par microsablage avec des particules d'oxyde d'aluminium de 50 microns de diamètre. Le test-t de Student pour les séries appariées a été utilisé pour comparer les différences de RAC et le test du Chi² multiple pour évaluer le mode de fracture. Il a été démontré que le microsablage augmente de façon significative la RAC du PAM au niveau des surfaces vestibulaires. En revanche, l'augmentation au niveau des surfaces linguales n'est pas statistiquement significative. La comparaison des scores de l'indice d'adhésif résiduel montre que la proportion d'adhésif restante au niveau de l'émail traité par microsablage est plus importante que celle restante au niveau de l'émail intact. Par ailleurs, il n'y a pas de différence statistique entre la RAC du

* Correspondence and reprints / Correspondance et tirés à part :
Nayla BASSIL-NASSIF, P.O. Box 405, Hazmieh, Lebanon.
e-mail address / Adresse e-mail : nbassilnassif@yahoo.com

Effects of buccal and lingual enamel sandblasting on shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a self-etching primer

Effet du microsablage de l'émail vestibulaire et lingual sur la résistance au cisaillement d'attaches orthodontiques collées avec un primaire automordant

buccal and lingual enamel and resin ant that the SEP provides the same SBS on buccal and lingual intact surfaces.

PAM au niveau des surfaces vestibulaires et linguales non traitées. Nous pouvons donc conclure, que le microsablage améliore la liaison entre l'émail, vestibulaire ou lingual, et la résine et que le PAM permet d'obtenir la même RAC au niveau des surfaces vestibulaires et linguales intactes.

© 2012 CEO. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved

© 2012 CEO. Édité par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Key-words

- Shear bond strength.
- Sandblasting.
- Self-etching primer.
- Buccal and lingual enamel.
- ARI score.

Mots-clés

- Résistance au cisaillement.
- Microsablage.
- Primaire automordant.
- Émail vestibulaire et lingual.
- Score ARI.

Introduction

Air abrasion was first described by Black in 1945 as a method of preparing cavities. It involves the use of aluminum-oxide powder, which is carried in a fine stream of propelled air. As the particles collide with enamel, the kinetic energy of the particles is released, resulting in fracture of microscopic fragments of the target [1–3].

Phosphoric acid etching is the most frequently used method of enamel surface preparation prior to orthodontic brackets bonding. But since few years, a new generation of adhesives is available on the market. SEPs mix etching and priming agents into a single acidic primer solution that etches and primes simultaneously. Combining them into a single treatment step is likely to reduce clinical chairside time, which will help to improve clinical cost-effectiveness [4,5].

Although many studies have shown that SEPs provide the same SBS as conventional 3-steps adhesive technique [6–9], some researchers suggest, if additional SBS is desired, to precondition the enamel surface by burring, acid etching or sandblasting [10,11]. The buccal side of extracted teeth was used for all of these studies. But, as lingual orthodontics has become a preferred treatment option when esthetics is desired during orthodontic treatment and since bracket loss is one of the major problems faced, the effect of sandblasting, before the application of a SEP in lingual bracket bonding on human teeth, has to be more investigated. No study has compared the effect of sandblasting on SBS of SEPs between buccal and lingual surfaces.

The aim of our study was to evaluate the effects of enamel sandblasting on the initial SBS and on the bracket/adhesive

Introduction

Le sablage a été décrit pour la première fois par Black en 1945 comme méthode de préparation des cavités carieuses. Il implique l'utilisation d'oxyde d'aluminium en poudre propulsé par un jet d'air comprimé. Lorsque les particules entrent en collision avec l'émail, l'énergie cinétique des particules est libérée provoquant la fracture de fragments microscopiques de la cible [1–3].

Le mordantage à l'acide phosphorique est la méthode la plus répandue pour la préparation de la surface amélaire avant collage des attaches orthodontiques. Cependant, depuis plusieurs années, une nouvelle génération d'adhésifs est commercialisée. Les primaires automordants (PAM), ou *self-etching primer* en anglais, combinent agents de mordantage et primaire en une solution unique qui agit simultanément comme acide de mordantage et comme primaire. L'alliance de ces deux fonctions en une seule étape de traitement devrait normalement réduire le temps passé au fauteuil, améliorant ainsi le rapport coût/efficacité clinique [4,5].

De nombreuses études ont montré que les PAM fournissent la même résistance au cisaillement (RAC) que la technique conventionnelle de collage en trois étapes [6–9]. Néanmoins, lorsqu'une RAC plus élevée est requise, certains auteurs proposent de préparer la surface amélaire en alliant meulage, mordantage ou microsablage [10,11]. Dans toutes ces études, c'est la face vestibulaire des dents extraites qui a été utilisée. Néanmoins, comme l'orthodontie linguale est devenue l'option thérapeutique de prédilection quand un traitement orthodontique esthétique est recherché et puisque le décollement des attaches est l'un des problèmes les plus fréquents auxquels nous sommes confrontés, des recherches supplémentaires s'imposent pour tester l'impact du microsablage avant l'application d'un PAM lors du collage d'attaches linguales. Aucune étude n'a comparé l'effet du microsablage sur la RAC des PAM sur les surfaces amélaire vestibulaires et linguales.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'impact du microsablage de l'émail sur la RAC initiale et sur le mode de

failure mode of orthodontic brackets bonded with a SEP on the lingual and buccal surfaces of extracted human premolars.

Materials and methods

Sixty freshly-extracted human premolars (first, second, upper and lower) were collected, cleaned of calculus and soft tissue, and stored in a solution of 0.1% thymol. The criteria for tooth selection were: intact buccal and lingual enamel, no use of previous preconditioners or chemical agents such as hydrogen peroxide, no cracks caused by extraction forceps, and absence of caries, hypoplasia, white spots, abrasion or colorations.

The teeth were randomly divided into two groups (for intact or sandblasted enamel), each including 30 teeth with equal number of first, second, upper and lower premolars in each group to prevent bias caused by possible differences in bond strength among tooth types. Each group was further subdivided into two sub-groups, depending on the surface (buccal or lingual) to be tested. The teeth were sectioned from the root to the crown with a diamond disk on a slow-speed hand piece with water irrigation. Each crown was cut on a mesiodistal line from occlusal to cervical, providing a total of 120 halves.

The teeth were embedded longitudinally in cold-cure acrylic resin with the buccal or lingual surfaces available for bonding, depending on the surface to be tested (the buccal or lingual surface of each tooth was monitored for alignment with the force vector of the universal testing machine).

After the acrylic resin had cured, the tooth surfaces to be bonded were cleansed with non fluoridated, oil-free, pumice paste applied with a prophylactic brush on a slow-speed hand piece for 10 seconds, rinsed with water for 10 seconds, and dried with an oil- and moisture-free air spray for 10 seconds.

In the sandblasted group, the buccal and lingual surfaces were sandblasted using a Microetcher ER (Danville Engineering Inc., Danville, CA, USA) for 5 seconds at a distance of 5 to 10 mm approximately using 50 microns of aluminum-oxide powder, then rinsed with water for 10 seconds, and dried with oil- and moisture-free air spray for 10 seconds.

The same SEP (Transbond™ Plus Self-Etching Primer, 3 M Unitek, Monrovia, CA, USA) was rubbed on the enamel surface according to Büyükyılmaz et al. [3] and thereafter, the

décollement des attaches orthodontiques collés avec un PAM sur les surfaces linguales et vestibulaires de prémolaires extraites.

Matériels et méthodes

Soixante prémolaires humaines fraîchement extraites (premières, deuxième, supérieures et inférieures) ont été recueillies et détartrées, nettoyées de tout tissu mou et stockées dans une solution de thymol à 0,1 %. Les critères de sélection des dents sont les suivants : émail vestibulaire et lingual intact, aucune application préalable de préconditionneurs ou d'agents chimiques tels que le peroxyde d'hydrogène, aucune fissure provoquée par les forceps d'extraction et l'absence de caries, d'hypoplasie, de taches blanches, d'abrasion et de coloration dentaire.

Les dents ont été réparties de manière aléatoire en deux groupes (émail intact ou microsablé), chacun comprenant 30 dents, avec un nombre égal de premières et de deuxième prémolaires et de prémolaires supérieures et inférieures dans chaque groupe pour prévenir tout biais causé par d'éventuelles différences de résistance au décollement entre les différents types de dents. Ensuite, chaque groupe a été subdivisé en deux sous-groupes, selon la surface (vestibulaire ou linguale) à tester. Les racines des dents ont été séparées des couronnes à l'aide d'un disque diamanté monté sur une pièce à main à basse vitesse sous irrigation à l'eau. Chaque couronne a été sectionnée le long d'une ligne mésiodistale d'occlusal en cervical fournissant ainsi un total de 120 demi-dents.

Les dents ont été enfouies dans le sens longitudinal dans une résine acrylique à polymérisation à froid. Les surfaces vestibulaires ou linguales étaient accessibles pour permettre le collage en fonction de la surface à tester (la surface vestibulaire ou linguale de chaque dent a été étudiée pour permettre l'alignement avec le vecteur de force des appareils à tester universels).

Après polymérisation de la résine acrylique, les surfaces dentaires à coller ont été nettoyées avec une pâte de pierre ponce sans fluor et sans huile pendant dix secondes à l'aide d'une brosse prophylactique montée sur une pièce à main à basse vitesse. Ensuite, elles ont été rincées à l'eau pendant dix secondes et séchées avec un jet d'air comprimé sans huile et sans humidité pendant encore dix secondes.

Dans le groupe à microsablage, les surfaces vestibulaires et linguales ont été microsablées avec un Microetcher ER (Danville Engineering Inc., Danville, CA, États-Unis) pendant cinq secondes à une distance d'approximativement 5 à 10 mm en utilisant une poudre d'oxyde d'aluminium de 50 microns de diamètre. Ensuite, elles ont été rincées à l'eau pendant dix secondes et séchées avec un spray à air sans huile et sans humidité pendant encore dix secondes.

Le même PAM (Transbond™ Plus Self-Etching Primer, 3 M Unitek, Monrovia, CA, États-Unis) a été appliqué en frottant la surface de l'émail selon la technique de Büyükyılmaz et coll.

Effects of buccal and lingual enamel sandblasting on shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a self-etching primer

Effet du microsablage de l'émail vestibulaire et lingual sur la résistance au cisaillement d'attaches orthodontiques collées avec un primaire automordant

same composite resin (Transbond™ XT, 3 M Unitek, Monrovia, CA, USA) was used for bonding in all the groups. Orthodontic metal brackets (upper right first premolars, Mini 2000™, Ormco Corporation, Glendora, Calif, USA) were bonded on the enamel with composite resin. Each bracket was subjected to a 300-g compressive force with a force gauge (Dontrix, GAC international, Inc.) for 10 seconds and any excess resin was removed with a small scaler.

Each tooth was then light-cured for 10 seconds mesially and 10 seconds distally with a 1200 mW/cm² LED curing light. After curing the resin, all samples were stored in de-ionized water at room temperature for 24 hours.

SBS was measured using a universal testing machine (M350, Testometric®, Testometric Company Ltd, Lancashire, Rochdale, UK) at a crosshead speed of 1 mm/min. Each tooth along with its resin base was fixed in the custom-made fixture so that the surface to be tested was parallel to the force during the shear strength test. An occluso-gingival load was applied to the bracket, producing a shear force at the bracket-tooth

[3]. Par la suite, la même résine composite (Transbond™ XT, 3 M Unitek, Monrovia, CA, États-Unis) a été utilisée pour le collage dans tous les groupes. Des attaches orthodontiques métalliques (premières prémolaires droites, Mini 2000™, Ormco Corporation, Glendora, Calif, États-Unis) ont été collées à l'émail avec une résine composite. Chaque bracket a été soumis à une force de compression de 300 g mesurée à l'aide d'une jauge de force (Dontrix, GAC international, Inc.) pendant dix secondes et toute trace de résine excédentaire a été éliminée avec un petit grattoir.

Ensuite, chaque dent a été photo-polymérisée pendant dix secondes côté mésial et pendant dix secondes côté distal en utilisant une lampe à polymériser à LED de 1200 mW/cm². Après polymérisation de la résine, tous les échantillons ont été stockés dans de l'eau déminéralisée à température ambiante pendant 24 heures.

La RAC a été mesurée à l'aide d'une machine d'essai universelle (M350, Testometric®, Testometric Company Ltd, Lancashire, Rochdale, Royaume-Uni) à une vitesse de traverse de 1 mm/min. Chaque dent avec sa base en résine a été immobilisée dans un système individualisé de sorte que la surface à tester soit parallèle à la force pendant l'essai de RAC. Une charge occluso-gingivale a été appliquée

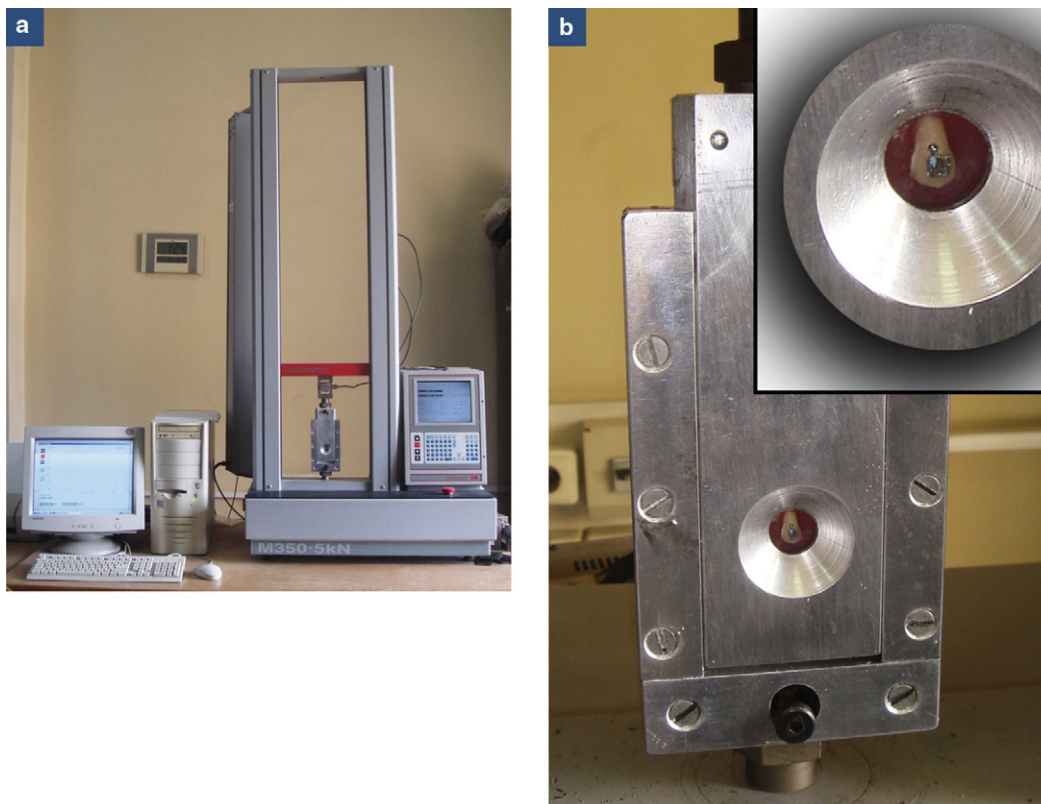


Fig. 1: a: universal testing machine; b: specimen for testing in the custom-made fixture.

Fig. 1 : a : appareil à tester universel ; b : échantillon d'essai dans l'appareil fait sur mesure.

interface (*fig. 1*). A computer electronically connected to the testing machine recorded the results from each test in Newton (N).

The enamel surface was examined under 10× magnification to determine how much residual adhesive remained on the tooth. The debonding characteristics of each specimen were established using the adhesive remnant index (ARI) promoted by Artun and Bergland [12]. ARI scores range from 0 to 3: 0 = no residual adhesive on the enamel; 1 = less than half of the adhesive remaining on the tooth surface; 2 = more than half of the adhesive remaining on the tooth; and 3 = all the adhesive remaining on the tooth, with a distinct impression of the bracket base.

Statistical analysis

The descriptive statistics including the mean, standard deviation, minimum and maximum values were calculated for the four groups evaluated.

The Kolmogorov-Smirnov normality test and the Levene variance homogeneity test were applied to the bond strength data. Because the data showed a normal distribution and homogeneity of variance, they were analyzed using Student's paired *t*-test. A multiple Chi-square χ^2 was used to compare the bond failure mode (ARI scores) between the four groups. Significance for all statistical tests was predetermined at $P < 0.05$.

Results

The results show that there is no statistical difference between the buccal and lingual surfaces with intact enamel. Sandblasting prior to bonding significantly increases SBS between buccal enamel and resin. There is also an increase in SBS between lingual enamel and resin, though it is not statistically significant. *Table I* presents the mean values (\pm SD) and range for intact and sandblasted enamel, buccal and lingual surfaces.

Multiple Chi² comparisons shows significant differences in ARI score among the four groups tested ($\chi^2 = 18.127$, $P = 0.01$). The intact enamel specimens showed mainly adhesive bond failure at the enamel/composite interface, whereas the sandblasted specimens showed cohesive bond failure with some composite resin remaining on the enamel. Sandblasting prior to bonding displaces the failure site from the enamel/composite interface to the composite/bracket interface. Thus, sandblasting enhances resin adhesion on the enamel. The ARI scores are listed in *Table II*.

à l'attache, produisant une force de cisaillement à l'interface bracket/dent (*fig. 1*). Un ordinateur connecté à la machine d'essai a enregistré les résultats de chaque test en Newton (N).

La surface amélaire a été examinée sous un agrandissement de 10× afin de déterminer la quantité d'adhésif restant sur la dent. Les caractéristiques de décollement de chaque échantillon ont été déterminées à l'aide de l'indice de résidu d'adhésif (IRA) développé par Artun et Bergland [12]. Les scores IRA vont de 0 à 3 : 0 = pas d'adhésif résiduel sur l'émail ; 1 = moins de la moitié de l'adhésif adhère encore à la dent ; 2 = plus de la moitié de l'adhésif adhère encore à la dent ; 3 = l'adhésif adhère encore intégralement à la dent et on y retrouve une empreinte nette de la base du bracket.

Analyse statistique

Les statistiques descriptives comprenant les moyennes, les écarts types et les valeurs minimales et maximales ont été calculées pour les quatre groupes.

Le test de normalité Kolmogorov-Smirnov et le test d'homogénéité des variances de Levene ont été appliqués aux données relatives à la résistance au décollement. Comme les données ont montré une distribution selon la Loi Normale et une homogénéité des variances, elles ont été analysées à l'aide du test-*t* de Student pour les séries appariées. Un test χ^2 multiple a été utilisé pour comparer le mode d'échec du collage (scores IRA) entre les quatre groupes. La significativité de tous les tests statistiques a été préétablie à $p < 0.05$

Résultats

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de différence statistique significative entre les surfaces vestibulaires et linguales à émail intact. Le microsablage réalisé avant le collage augmente de façon significative la RAC entre l'émail vestibulaire et la résine. On note également une augmentation de la RAC entre l'émail lingual et la résine quoique cette valeur ne soit pas statistiquement significative. Le *Tableau I* présente les valeurs moyennes (\pm E-T) et la fourchette de RAC pour l'émail intact ou microsablé au niveau des surfaces vestibulaires et linguales.

Les comparaisons utilisant le χ^2 multiple montrent des différences de scores IRA significatives parmi les quatre groupes testés ($\chi^2 = 18,127$, $p = 0,01$). Au niveau des groupes à l'émail intact, le microsablage avant le collage déplace le site de la fracture de l'interface émail/composite à l'interface composite/base de l'attache. Le microsablage améliore donc l'adhésion de la résine à l'émail. Les scores IRA sont donnés dans le *Tableau II*.

Effects of buccal and lingual enamel sandblasting on shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a self-etching primer

Effet du microsablage de l'émail vestibulaire et lingual sur la résistance au cisaillement d'attaches orthodontiques collées avec un primaire automordançant

Table I

Descriptive statistics of SBS (N) for the four groups.

Tableau I

Statistiques descriptives de la RAC (N) des quatre groupes.

Group/Groupe	n	Mean ± SD/Moyenne ± ET	Range/Fourchette
Intact enamel/Émail intact			
Buccal/Vestibulaire	30	136.32 ± 58.02 ^a	33.29–238.44
Lingual/Lingual	30	117.42 ± 61.11 ^a	18.50–216.96
Sandblasted enamel/Émail microsablé			
Buccal/Vestibulaire	30	187.47 ± 88.10 ^b	75.46–396.00
Lingual/Lingual	30	148.16 ± 67.42 ^a	45.80–322.66

n: sample size; SD: standard deviation.

n : taille de l'échantillon ; E-T : écart-type.

^{a, b}Statistical significant difference between values having different letters (P < 0.05). Significant differences were found between a and b, and no significant difference among a.

^{a, b}Différence statistique significative entre les valeurs avec des lettres différentes (p < 0,05). Des différences significatives ont été relevées entre a et b, et pas de différences significatives parmi les a.

Table II

Frequency distribution of ARI.

Tableau II

Distribution de fréquence de l'IRA.

ARI/IRA	0	1	2	3
Intact enamel/Email intact				
Buccal/Vestibulaire	19	4	1	6
Lingual/Lingual	21	5	2	2
Sandblasted enamel/Email microsablé				
Buccal/Vestibulaire	9	6	1	14
Lingual/Lingual	12	4	1	13

0: no residual adhesive on the enamel; 1: less than half of the adhesive remaining on the tooth surface; 2: more than half of the adhesive remaining on the tooth; 3: all the adhesive remaining on the tooth, with a distinct impression of the bracket base.

0 : pas d'adhésif résiduel sur l'émail ; 1 : moins de la moitié de l'adhésif reste collée à la surface dentaire ; 2 : plus de la moitié de l'adhésif reste collée à la surface dentaire ; 3 : tout l'adhésif reste collé à la surface dentaire laissant une empreinte nette de la base du bracket.

Discussion

The aim of our study was to evaluate the effects of enamel sandblasting on the initial SBS of orthodontic brackets bonded with a SEP on the lingual and buccal surfaces of extracted human premolars.

The brackets used in this study are designed to be bonded on the buccal side of the teeth. However, as the morphology of the buccal and lingual surfaces of the premolars is almost similar and in an attempt to limit the number of variables involved in bond strength and related to the type of brackets (mesh, shape and size of the bracket base), the same type of brackets was used in all the experiments as in the study of Brosh et al. [13]

Discussion

L'objectif de notre étude est d'évaluer les effets du microsablage de l'émail dentaire sur la RAC initiale d'attaches orthodontiques collées avec un PAM sur les surfaces linguales et vestibulaires de prémolaires humaines extraites.

Les attaches utilisées dans cette étude ont été conçues pour être collées du côté vestibulaire des dents. Cependant, puisque la morphologie des surfaces vestibulaires et linguales des prémolaires est presque identique et comme nous cherchions à limiter le nombre de variables liées à la résistance au décollement ainsi qu'au type d'attaches utilisées (maillage, forme et dimensions de la base de l'attache), le même type d'attaches a été utilisé dans tous les essais, comme dans l'étude de Brosh et coll. [13].

Because of their low pH, SEPs produce an etching pattern similar to that created by phosphoric acid etchants but with a smaller amount of demineralization and less depth of penetration. [14] Many *in vitro* studies have investigated the bond strength of SEPs compared with the conventional etch and prime regimen and have found them to perform as well [8,15], if not better [6]. Clinical trials have reported similar failure rates for the conventional three-step system and the two-step system [5,16–19].

Application of the SEP in this investigation was performed according to Büyükyılmaz et al. [6], who recommend eliminating the air-drying step. Since the bonding protocol was performed by one operator without assistance, the solvent was able to evaporate as the composite resin was applied to the bracket base and the bracket positioned on the tooth surface. For Aljouni et al. [20], light-curing the SEP together with the adhesive after placing the orthodontic bracket don't significantly diminish SBS as compared with light-curing the SEP and the adhesive separately. As this approach eliminates one more step in the bonding procedure and in order to reduce potential operator errors, the primer was not light-cured separately.

Testing at 24 h was chosen as it has been reported previously by Turk et al. [15]. The SBS was measured on a universal testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min [21–23]. Each tooth along with its resin base was fixed in the custom-made fixture [9,21,23,24] so that the surface to be tested was parallel to the force during the shear strength test. An occluso-gingival load was applied to the bracket, producing a shear force at the bracket-enamel interface.

There are many methods of applying SBS testing, such as wire loops [4,25,26] and chisel-edge sticks [6,27] or flat-end rods [28]. It is likely that in many of these studies the force is not applied parallel to the adhesive joint but at an angle determined by the surface of the tooth and the direction of the force vector. Moreover, the force is either applied under the bracket wings or in the bracket slot, resulting in a peeling-like force.

This variability may result in a significant problem in studies evaluating bond strength. The tips of the test blades cannot be accurately placed once the force is applied. They may deviate towards the tooth or away from it, which may significantly affect the results. According to Klocke and Kahl-Nieke [29], SBS and ARI scores increase significantly when there is a deviation of force direction toward the enamel surface and decrease significantly when there is a deviation of force direction away from it. This demonstrates that laboratory measurements of SBS are not valid if there is a discrepancy in debonding force direction

En raison de leur faible pH, les PAM produisent une surface mordancée semblable à celle produite par les agents de mordantage contenant de l'acide phosphorique mais en provoquant moins de déminéralisation et avec une profondeur de pénétration moins marquée [14]. Beaucoup d'études *in vitro* se sont penchées sur la résistance au décollement des PAM par rapport aux protocoles de mordantage conventionnels et leur ont trouvé des performances équivalentes [8,15], sinon meilleures [6]. Des essais cliniques ont rapporté des taux d'échec similaires pour le système conventionnel à trois étapes et pour le système à deux étapes [5,16–19].

L'application du PAM dans cette étude a été réalisée selon la technique de Büyükyılmaz et coll. [6], qui recommandent l'élimination de l'étape de séchage au jet d'air. Puisque ce protocole de collage a été effectué par un seul opérateur et sans assistance, le solvant a eu le temps de s'évaporer pendant l'application de la résine sur la base des attaches et le positionnement des attaches sur la surface dentaire. Pour Aljouni et coll. [20], le fait de photopolymériser le PAM et la résine adhésive en même temps après placement de l'attache orthodontique ne diminue pas de façon significative la RAC par rapport à une procédure de photopolymérisation séparée du PAM et de l'adhésif. Comme cette technique élimine une étape supplémentaire dans le processus de collage et afin de réduire les erreurs potentielles dues à l'opérateur, le PAM n'a pas été photopolymérisé séparément.

Nous avons opté pour des essais à 24 heures, comme rapporté précédemment par Turk et coll. [15]. La RAC a été testée sur une machine d'essai universelle à une vitesse de traverse de 1 mm/min [21–23]. Chaque dent a été fixée en même temps que sa base de résine sur l'appareil fait sur mesure [9,21,23,24] pour garantir le parallélisme de la surface à tester et de la force pendant l'essai de RAC. Une charge occluso-gingivale a été appliquée à l'attache afin de produire une charge de cisaillement à l'interface attache/émail.

Il existe de nombreuses méthodes pour tester la RAC tels que des fils avec des boucles [4,25,26], des tiges à lame de ciseau [6,27] et des tiges à extrémité plate [28]. Il est probable que, dans beaucoup de ces études, la force n'est pas appliquée en parallèle à la liaison adhésive mais avec un angle déterminé par la surface de la dent et la direction du vecteur de force. Par ailleurs, la force est, soit appliquée sous les ailettes des attaches, soit dans la gorge de l'attache, ce qui produit un effet de bras de levier et donc une force de pelage. Cette variabilité peut causer des problèmes majeurs dans les études qui évaluent la résistance au décollement. Les extrémités des lames utilisées pour l'essai ne peuvent pas être placées avec précision une fois la force appliquée. Elles peuvent être déviées en direction de la dent ou, au contraire, dans le sens opposé, ce qui a un impact significatif sur les résultats. Selon Klocke and Kahl-Nieke [29], les scores RAC et IRA augmentent de façon significative si la force est déviée en direction de la surface de l'émail et diminuent significativement quand la direction de la force s'éloigne de la surface amélaire. Cela montre que les évaluations de la RAC faites en laboratoire

and shows the usefulness of the custom-made fixture used in this study.

We found no significant difference in SBS between the intact buccal and lingual surfaces, which is not in agreement with the results of Brosh et al. [13]. However, buccal sandblasting significantly increases SBS of the SEP tested, which is in agreement with the results of Amm et al. [10] and Sengun et al. [11]. The increase in surface area resulting from sandblasting may account for the increase in bond strength [11].

Moreover, the intact enamel surface is hypermineralized and contains more fluoride than sandblasted enamel. Prismless layer on enamel surface is less conducive to bonding by SEP application. [25] Sandblasting enamel allows the SEP to condition the subsurface enamel, and expose crystallites [30].

Although sandblasting of the lingual enamel results in an increase in SBS as well, it is not statistically significant, which disagree with the results obtained by Wiechmann [31] and Cal-Neto et al. [32] but is consistent with the study of Brosh et al. [13].

Interpretation of the ARI scores shows that, on both surfaces, sandblasting enhances the bond between the enamel surface and the adhesive. This indicates a stronger bond of the resin on sandblasted enamel than on intact enamel. If intact enamel results on more adhesive fracture at the enamel/resin interface, sandblasted enamel results on more cohesive fracture at the resin/bracket interface with more residual adhesive remaining on the enamel after debonding. Therefore, after sandblasting, the adhesive bond to the enamel was higher than the cohesive strength of the adhesive.

In spite of the increase in the adhesive bond on the lingual surfaces, the increase in SBS is not statistically significant. This means that even if the bond strength at the enamel/resin interface could reach higher values, the resin itself or the resin/bracket interface would still fail at low force load. This suggests weak links in the bonding chain caused by bracket design and/or variables in resin performance. Since the same type of brackets was used on both surfaces and since SBS on the buccal surfaces is higher than on the lingual surfaces, the mesh design could not be the weak link of the adhesive joint. Therefore, the performance of the resin must be inadequate. Since the bracket base is not adapted to the lingual morphology, the absence of uniformity of resin thickness beneath the brackets and the thick adhesive joints could have weakened bond strength. Eliminating the rinsing, drying and priming stages of the conventional bonding protocol, whilst maintaining acceptable bond strength and minimizing enamel damage seems attractive, especially when lingual appliances are used.

Although our findings suggest that sandblasting of the surfaces is recommended when additional strength is required (even

ne sont pas valides si la direction de la force de décollement n'est pas parallèle à la surface à tester et souligne l'intérêt de l'appareil fait sur mesure utilisé dans cette étude.

Nous n'avons pas trouvé de différence significative au niveau de la RAC entre les surfaces vestibulaires et linguales intactes, résultat qui est en désaccord avec les résultats de Brosh et coll. [13]. Cependant, le microsablage vestibulaire augmente significativement la RAC du PAM testé, ce qui concorde avec les résultats d'Amm et coll. [10] et de Sengun et coll. [11]. L'augmentation de la surface produite par le microsablage pourrait expliquer l'augmentation de la résistance au décollement [11].

De plus, la surface amélaire intacte est hyperminéralisée et contient plus de fluor que l'émail microsablé. La couche aprismatic à la surface de l'émail se prête moins bien au collage par application d'un PAM [25]. Le microsablage de l'émail permet au PAM de préparer l'émail en surface et d'exposer les cristallites [30].

Bien que le microsablage de l'émail lingual permette d'accroître la RAC, cette augmentation n'est pas statistiquement significative, ce qui est en désaccord avec les résultats obtenus par Wiechmann [31] et Cal-Neto et coll. [32] mais confirme les résultats de l'étude de Brosh et coll. [13].

L'analyse des scores IRA révèle que, sur les deux faces, le microsablage améliore la liaison entre la surface amélaire et l'adhésif. La liaison entre la résine et l'émail microsablé est donc plus forte qu'avec l'émail non traité. S'il y a plus de fractures adhésives à l'interface résine/attache au niveau de l'émail intact, par contre, au niveau de l'émail microsablé, il y a plus de fractures cohésives à l'interface résine/base de l'attache avec davantage d'adhésif résiduel restant sur l'émail après décollement de l'attache. Par conséquent, après microsablage, la liaison adhésive à l'émail est plus forte que la force cohésive de l'adhésif.

Malgré l'augmentation de la liaison adhésive aux surfaces linguales, l'accroissement de la RAC n'est pas statistiquement significatif. Cela veut dire que, même si la résistance au décollement au niveau de l'interface émail lingual/résine augmente, la résine elle-même ou l'interface émail/résine se fracture tout de même à une charge de force faible. Cela suggère donc qu'il existe des liaisons faibles au niveau de la chaîne de collage provoquées par la conception de l'attache et/ou par des variables au niveau de la performance de la résine. Puisque le même type d'attaches a été utilisé au niveau des surfaces vestibulaires et linguales et puisque la RAC est plus élevée pour les surfaces vestibulaires que pour les surfaces linguales, ce n'est pas le design de la maille qui constitue le maillon faible de l'interface adhésive mais plutôt la résine de collage. Comme la base de l'attache n'est pas adaptée à la morphologie linguale, l'épaisseur de la résine sous la base de l'attache n'est pas uniforme et son épaisseur plus importante à certains endroits du joint adhésif a pu diminuer la résistance au décollement.

L'élimination des stades de rinçage, de séchage et de pose du primaire prévus dans le protocole de collage conventionnel,

though an extra step is needed) and that SEPs could be used for lingual bonding, more *in vitro* studies are considered necessary.

Conclusion

In this study, we have evaluated the effects of sandblasting on the initial SBS and on the bracket/adhesive failure mode of orthodontic brackets bonded on buccal and lingual enamel using a SEP. We found that:

- enamel sandblasting improves the bond of the SEP between buccal and lingual enamel and resin;
- there is no statistical difference between SBS of the SEP on the buccal and lingual surfaces with intact enamel.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

associée à une résistance au décollement acceptable et à la réduction de la perte d'émail, semble intéressante, surtout avec les appareils linguaux.

Même si nos résultats suggèrent de microsabler la surface amélaire si on veut augmenter la résistance au décollement (même si une étape additionnelle est nécessaire) et que les PAM pourraient être utilisés pour le collage lingual, de nouvelles recherches *in vitro* sont nécessaires.

Conclusion

Dans cette étude, nous avons analysé l'effet du microsablage sur la RAC initiale et sur le mode de fracture des attaches orthodontiques collées à l'émail vestibulaire et lingual à l'aide d'un PAM. Nous avons conclu que :

- le microsablage de l'émail améliore la liaison du PAM entre la résine et l'émail vestibulaire ou lingual ;
- il n'y a pas de différence statistique entre la RAC du PAM au niveau des surfaces vestibulaires et linguales des dents à l'émail intact.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

References/Références

1. Black R. Air abrasive: some fundamentals. *J Am Dent Assoc* 1950;41(6):701–10.
2. Black R. Application and reevaluation of air abrasive technique. *J Am Dent Assoc* 1955;50(4):408–14.
3. Black R. Technic for nonmechanical preparation of cavities and prophylaxis. *J Am Dent Assoc* 1945;32(15):955–65.
4. Aljubouri YD, Millet DT, Gilmour WH. Laboratory evaluation of a self-etching primer for orthodontic bonding. *Eur J Orthod* 2003;25:411–5.
5. Banks P, Thiruvengkatachari B. Long-term clinical evaluation of bracket failure with a self-etching primer: a randomized controlled trial. *J Orthod* 2007;34:243–51.
6. Büyükyılmaz T, Usumez S, Karaman AI. Effect of self-etching primers on bond strength—are they reliable? *Angle Orthod* 2003;73:64–70.
7. Davari AR, Yassaei S, Daneshkazemi AR, Yosefi MH. Effect of different types of enamel conditioners on the bond strength of orthodontic brackets. *J Contemp Dent Pract* 2007;8(1):1–7.
8. Dorminey JC, Dunn WJ, Taloumis LJ. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a modified 1-step etchant-and primer technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:410–3.
9. House K, Ireland AJ, Sherriff M. An *in vitro* investigation into the use of a single component self-etching primer adhesive system for orthodontic bonding: a pilot study. *J Orthod* 2006;33:116–24.
10. Amm EW, Hardan LS, Bou Serhal JP, Glasl B, Ludwig B. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with self-etching primer to intact and pre-conditioned human enamel. *J Orofac Orthop* 2008;69:383–92.

11. Sengun A, Orucoglu H, Ipekdal I, Ozer F. Adhesion of two bonding systems to air-abraded or bur-abraded human enamel surfaces. *Eur J Dent* 2008;2:167–75.
12. Årtun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333–40.
13. Brosh T, Strouthou S, Sarne O. Effects of buccal versus lingual surfaces, enamel conditioning procedures and storage duration on brackets debonding characteristics. *J Dent* 2005;33:99–105.
14. Cal-Neto JP, Miguel JA. Scanning electron microscopy evaluation of the bonding mechanism of a self-etching “primer” on enamel. *Angle Orthod* 2006;76(1):132–6.
15. Turk T, Elekdag-Turk S, Isic D. Effects of self-etching primer on shear bond strength of orthodontic brackets at different debond times. *Angle Orthod* 2007;77(1):108–12.
16. Aljubouri YD, Millett DT, Gilmour WH. Six and 12 months’ evaluation of a self-etching primer versus two-stage etch and prime for orthodontic bonding: a randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 2004;26:565–71.
17. Cal-Neto JP, Quintao CA, De Oliveira Almeida MA, Mendes Miguel JA. Bond failure rates with a self-etching primer: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:782–6.
18. Manning N, Chadwick SM, Plunkett D, Macfarland TV. A randomized clinical trial comparing “one-step” and “two-step” orthodontic bonding systems. *J Orthod* 2006;33:276–83.
19. Reis A, Dos Santos JE, Loguercio AD, De Oliveira Bauer JR. Eighteen-month bracket survival rate: conventional versus self-etch adhesive. *Eur J Orthod* 2008;30:94–9.
20. Ajlouni R, Bishara SE, Oonsombat C, Denehy GE. Evaluation of modifying the bonding protocol of a new acid-etch primer on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2004;74:410–3.
21. Linklater RA, Gordon P. An ex vivo study to investigate bond strengths of different tooth types. *J Orthod* 2001;28:59–65.
22. Yamada R, Hayakawa T, Kazai K. Effect of using self-etching primer for bonding orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2002;72:558–64.
23. Van Wavere Hogervorst WL, Feilzer AJ, Prahl-Andersen B. The air-abrasion technique versus the conventional acid-etching technique: a quantification of surface enamel loss and a comparison of shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:20–6.
24. Kitayama S, Nikaido T, Ikeda Masaomi, Foxton RM, Tagami J. Enamel bonding of self-etch and phosphoric acid-etch orthodontic adhesive systems. *Dent Mater J* 2007;26(1):135–43.
25. Canay S, Kocadereli I, Akça E. The effect of enamel air abrasion on the retention of bonded metallic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:15–9.
26. Sargison AE, McCabe JF, Millet DT. A laboratory investigation to compare enamel preparation by sandblasting or acid etching prior to bracket bonding. *Br J Orthod* 1999;26:141–6.
27. Berk N, Başaran G, O’zer T. Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes. *Eur J Orthod* 2008;30:183–9.
28. Olsen ME, Bishara SE, Damon P, Jakobsen JR. Comparison of shear bond strength and surface structure between conventional acid etching and air abrasion of human enamel. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;112:502–6.
29. Klocke A, Kahl-Nieke B. Effect of debonding force direction on orthodontic shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:261–5.
30. Shinohara MS, De Oliveira MT, Di Hipólito V, Giannini M, De Goes MF. SEM analysis of the acid-etched enamel patterns promoted by acidic monomers and phosphoric acids. *J Appl Oral Sci* 2006;14(6):427–35.
31. Wiechmann D. Lingual orthodontics (Part 3): Intraoral sandblasting and indirect bonding. *J Orofac Orthop* 2000;61:280–91.
32. Cal-Neto JP, Castro S, Moura PM, Ribeiro D, Miguel JAM. Influence of enamel sandblasting prior to etching on shear bond strength of indirectly bonded lingual appliances. *Angle Orthod* 2011;81:151–4.