

## INTRODUCTION

Nous assistons depuis quelques années pour des raisons professionnelles ou sociales à une demande accrue des patients pour des traitements orthodontiques esthétiques non visibles. C'est dans cette optique que des nouvelles techniques orthodontiques invisibles sont aujourd'hui proposées aux patients tels que les aligneurs orthodontiques. C'est une méthode qui consiste à porter une série de gouttières transparentes pour déplacer progressivement les dents étape par étape. L'inconvénient de cette nouvelle technique en pleine évolution est le manque d'une biomécanique codifiée qui permet d'assurer une bonne finition occlusale en fin de traitement. L'objectif de cette revue systématique est d'évaluer les possibilités et limites du traitement orthodontique par aligneurs dans le contrôle des axes dentaires tout en mettant en valeur 4 mouvements principaux distincts pouvant être programmés lors du traitement orthodontique à savoir (1):

- le sens horizontal : (translation, version)
- Le contrôle des axes radiculaires lors du mouvement du torque.
- La dérotation des dents antérieures
- Le sens vertical (ingression, égression)

## Efficacité des aligneurs dans le contrôle 3D des dents

La biomécanique des aligneurs orthodontiques s'améliore aujourd'hui ce qui permet d'élargir d'une part leur champ d'action et d'autre part pour mieux aborder de nouvelles possibilités thérapeutiques orthodontiques plus efficaces, d'où l'intérêt d'incorporation d'auxiliaire (Attachement, Power Ridge, Bite ramps, élastiques intermaxillaire) qui permettraient le contrôle de certains mouvements dentaires qui sont difficiles à atteindre seulement par aligneur. Il existe différentes formes d'attaches chacune utilisée selon le mouvement souhaité (2) :

- Contrôle de mouvement dentaire :
  - Power Ridge : Des petites surélévations de plastique qui permettent d'appliquer une force directement sur une dent, afin d'appliquer par exemple du torque au niveau des dents antérieures. Elles peuvent être placées en vestibulaire ou bien en lingual pour augmenter l'efficacité et peuvent également aider à la rétraction des incisives. Des points de pression peuvent aussi être ajoutés pour créer une force sur une dent et ainsi accomplir un mouvement particulier et mieux le contrôler.
  - Attaches ovalaires : Indiquées dans les égressions dentaires (choix par défaut horizontal) ces attaches seront conseillées sur les incisives pour les fermetures de béance antérieure, car elles sont plus discrètes que les rectangulaires.
  - Attaches rectangulaires verticales indiquées dans le mouvement de rotation.
- Contrôle de l'espace disponible par :
  - Réduction amélaire interproximale : Une (RIP) sera effectuée à chaque étape programmée dans le set-up virtuel. Il s'agit d'une excellente méthode de correction des encombrements dans les traitements.
  - Expansion d'arcade : indiquée en cas d'endognathie (non chirurgicale) d'endoalvéolie unie ou bilatérale, d'inversé d'articulé, d'inverse d'articulé et d'encombrement dentaire.
  - Extraction : Le choix des extractions se fera en fonction des objectifs thérapeutiques définis par le diagnostic et le plan de traitement du praticien.
- Contrôle de l'ancrage : En biomécanique orthodontique on définit l'ancrage comme : la résistance d'un corps au déplacement pouvant être assuré par différents dispositifs :
  - « Pontic kit »
  - TIM
  - Minivis



Figure 2: Gouttières orthodontiques invisibles

Figure 1: attachement optimisé d'égression

## MATERIELS ET METHODES

- Plusieurs études se sont intéressées à répondre à la question portant sur l'efficacité et possibilités des traitements par les aligneurs souples dans le contrôle des mouvements dentaires programmés.
- Nous avons adopté une stratégie de recherche basée sur une interrogation de trois bases de données bibliographiques, médicales et scientifiques de 2000 à 2020: PubMed (MEDELINE), Science Direct, Cochrane Library
- La recherche a utilisé les mots clés suivants: (Aligneurs or Aligners orthodontics (MeSH), AND (mouvement orthodontique OR tooth movement), (Efficacité des aligneurs orthodontiques).
- Une recherche manuelle a été effectuée sur la revue d'ODF JAO. Les articles ont été sélectionnés en se basant sur les critères d'inclusion suivants: des études de recherche in vivo, quantitative ou qualitative, prospective ou rétrospective. (diagramme de flux).

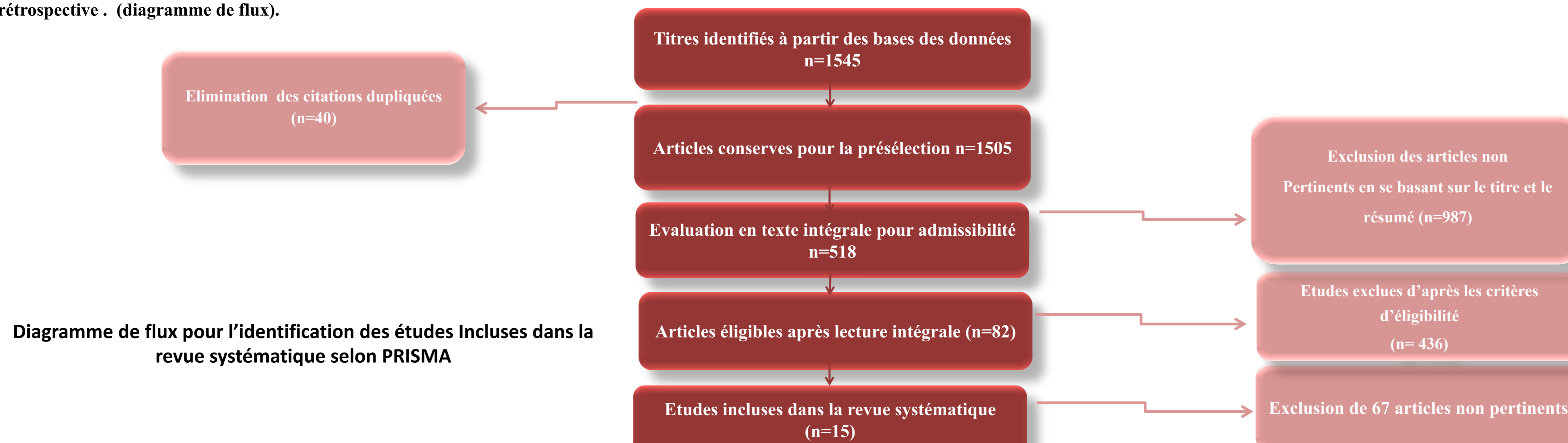


Figure 3: aligneurs orthodontiques



Figure 4: série d'aligneurs orthodontiques

## Résultats

Tableau 1 : Résumé des études incluses

ETUDE	OBJECTIFS	RESULTATS	ETUDE	OBJECTIFS	RESULTATS	ETUDE	OBJECTIFS	RESULTATS
Simon.M et al (4) (5) 2015	-Analyser l'influence des auxiliaires sur l'efficacité du traitement. (étude prospective)	Translation (MD) : prévisible par aligneur à 87% du mouvement attendu. Dérotation peu prévisible quantifiée à 32%. Torque non prévisible par aligneur orthodontique	Lombardo.L et al (9) 2015	-Evaluer la prévisibilité des mouvements programmés par des aligneurs orthodontiques (F22 (Sweden) Martina : nouvelle génération d'aligneur orthodontique en polyuréthane) en guidant les dents dans les positions planifiées par la simulation numérique. (Etude rétrospective)	Mouvements planifiés prévisibles par aligneurs orthodontiques avec précision moyenne de : Tip MD : 82,5 % ; Torque : 73% ; Rotation : 70% ; La rotation des canines inférieures était un mouvement extrêmement imprévisible par aligneurs orthodontiques.	Dai et al (15) 2019	-Comparer les résultats entre les mouvements dentaires attendus et ceux planifiés par aligneurs orthodontiques. (Etude rétrospective)	- Mouvements planifiés sont prévisibles par aligneurs ; Torque incisif prédit (-9,27°) celui atteint (-14,43°) ; Translation M de la 1 <sup>ère</sup> M sup (prédit : 0,87 et atteint : 3,13mm), Translation D (prédit : 0,88 et atteint : 3,19) ; Translation V-L (prédit : -6,60mm et atteint : -4,47mm)
Zhang.J et al (5) 2015	Evaluer la précision du mouvement de la dent antérieure (translation) à l'aide des aligneurs orthodontiques ( EA,Inc) dans des modèles numériques tridimensionnels intégrés. (Etude prospective)	Translation (VL) non prévisible avec aligneur ; les écarts moyens dans les positions des couronnes supérieures (0,376) et inférieure (0,398)	Granthold et al (10) 2017	-Evaluer la prédictibilité des mouvements dentaires planifiés par logiciel numérique avec aligneurs. (Etude rétrospective)	-Ingression plus importante des dents antérieures ; Rotation incomplète des dents antérieures ; Mouvements au niveau des dents postérieures n'étaient complètement atteints ; mouvements programmés sont prévisibles avec aligneur avec attachement	Sfondrini et al (16) 2018	-Comparer la linguo-version des incisives supérieures chez des patients traités par 3 techniques différentes dont les aligneurs orthodontiques ; (Etude rétrospective)	Torque I prévisible avec aligneurs orthodontiques (Invisalign) avec utilisation d'attachement optimisé (PowerRidge) ; torque obtenu avec arc en acier (019°025) pour les brackets conventionnels et les autoligaturants ; Aucune différence significative n'a été observée parmi les 3 groupes.
Kravitz et al. (6) 2009	-Evaluer l'efficacité du mouvement dentaire par aligneur orthodontique amovibles en polyuréthane. (Etude prospective)	-Le mouvement dentaire le plus précis : constriction linguale (47,1%) ; Le moins précis est le mouvement d'extrusion (29,6%) ; la canine inférieure était la dent la plus difficile à contrôler en rotation, surtout au-delà de 15°	Hennesy.J et al. (11) 2016	-Comparer la vestibulo-version de l'incisive mandibulaire produite par système fixe multi-attache et celle produite par aligneurs orthodontiques (Etude prospective -randomisée)	-Aucune différence statistiquement significative de la vestibulo-version entre les deux groupes traités par Brackett (5,3 14,3) et Invisalign (3,4 13,2).	Houde et al (17) 2016	- Etudier la prévisibilité de l'expansion de l'arc par aligneur orthodontique ( Etude rétrospective).	Expansion d'arcade prévisible avec aligneurs orthodontique ; il y avait une différence statistiquement significative entre la simulation numérique réalisée et le résultat final obtenu ; la précision moyenne de l'expansion prévue avec le système Invisalign pour l'arcade supérieure était de 72,8% par contre au niveau de l'arcade inférieure la précision globale d'expansion était de 87,7% ;
Ravera et al. (7) 2016	Evaluer la prévisibilité du mouvement de translation (distalisation molaire) par aligneurs orthodontiques. (Etude rétrospective)	Mouvement de distalisation molaire est prévisible par aligneurs orthodontiques avec utilisation d'auxiliaire avec un contrôle optimal du sens vertical du secteur postérieur et une perte d'ancrage au niveau du secteur antérieur ; La première molaire s'est déplacée de 2,25 mm et la deuxième molaire s'est déplacée de 2,52 mm ;	Krieger et al (12) 2012	-Comparaison la position des dents avant et après traitement avec aligneurs orthodontiques (système Invisalign). -Corriger l'encombrement dans la région antérieure par aligneurs orthodontiques. ( Etude rétrospective)	Ingression et égression avec prévisibles avec aligneurs orthodontiques avec attachements (Invisalign).	Duncan et al (18) 2015	-Etudier la position de l'incisive mandibulaire ( translation, version) après traitement par aligneurs orthodontique. (Etude rétrospective)	Les mouvements de translation V-L (expansion) et de version (vestibulo-version) sont prévisibles avec aligneurs orthodontiques sans utilisation d'attachement ; la différence de la largeur d'arcade (une augmentation) entre T0 et T1 par aligneurs orthodontiques était statistiquement significative au niveau des 3 groupes.
Caruso et al (8) 2019	Analyser le contrôle de la dimension verticale dento-alvéolaire par aligneur orthodontique lors de la distalisation molaire. (Etude rétrospective)	Translation (MD) et torque I sont prévisibles avec aligneur avec utilisation d'attachement ; au bon contrôle de la dimension verticale dento-alvéolaire par aligneurs orthodontiques pendant le mouvement de (translation MD) distalisation des molaires supérieures.	Charalampakis, O et al (13) 2018	-Déterminer la précision des mouvements dentaires par aligneurs orthodontiques. (Etude rétrospective)	Tous les mouvements programmés sont prévisibles ; l'extrusion et les mouvements horizontaux de toutes les incisives étaient presque précis entre les quantités prévues et atteintes par contre l'intrusion était moins précise ; toutes les rotations obtenues étaient significativement inférieures à celles prévues.	Garnet et al (14) 2018	-Comparer le traitement orthodontique réalisé par appareil fixe multi-attache et aligneur dans la correction du recouvrement antérieur, et dans le contrôle de la DVO chez patients hyperdivergents (Etude rétrospective)	extrusion prévisible de l'incisive inférieure avec attachement optimisé ; Aucune différence statistiquement significative entre les 2 groupes lors de la correction du recouvrement incisif.

## DISCUSSION

La biomécanique des aligneurs orthodontiques s'améliore aujourd'hui ce qui permet d'élargir d'une part leur champ d'action et d'autre part de mieux aborder de nouvelles possibilités thérapeutiques orthodontiques plus efficaces, d'où l'intérêt d'incorporation d'auxiliaires (Attachement, Power Ridge, Bite ramps, élastiques intermaxillaire) qui permettraient la réalisation de certains mouvements dentaires qui sont difficiles à atteindre seulement par aligneur (3).

- Translation : 2 études (6,18) ont prouvé que le mouvement de translation (MD, VL) est non prévisible avec aligneur orthodontique. L'utilisation d'auxiliaire (attachement, power ridge) permettrait d'optimiser les résultats et d'assurer le contrôle des axes dentaires lors du mouvement simulé sans apparition de mouvement indésirable tel que le mouvement de version incontrôlée. Cependant 7 études (5,9,10,12,15,17,18) ont confirmé la prévisibilité du mouvement de translation (MD, VL) avec aligneur orthodontique tout en ayant recours aux attachements.
- Le mouvement de translation n'est pas possible dans le sens (VL) et aussi dans le sens (MD) avec aligneur orthodontique. Cependant des attachements actuels optimisés (les power-ridge) pourraient contrôler les racines dans le sens (MD) ou dans le sens (VL).
- Version : 7 études (9,11,12,13,17,18) ont souligné que le mouvement de version est un mouvement prévisible avec aligneurs orthodontiques avec utilisation d'attachement. (9) ; Le mouvement de version (MD) a montré la plus grande prévisibilité à (82,5%) par rapport à l'idéal ; cela a été suivi par le mouvement de version (VL) à (72,9%)
- Le mouvement de version est prévisible par aligneurs orthodontiques mais reste limité avec la nécessité d'utilisation d'attachement pour améliorer les résultats et pour éviter l'apparition des mouvements orthodontiques indésirables lors du traitement.
- Torque : Simon.M et al (4) a confirmé que le mouvement du torque est non prévisible avec aligneur orthodontique, cependant 5 études (6,10,11,12,16) ont constaté que le mouvement de torque est prévisible avec utilisation d'attachement. (9) ; l'utilisation d'auxiliaire (attachement) de nouveaux artifices (power-ridge) renforçant au niveau cervical le contact entre la dent et la surface interne de l'aligneur permettrait d'obtenir plus de contrôle radicaire et donc optimiser la prévisibilité du mouvement du torque. Ils ont démontré (10) qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les 3 groupes traités avec aligneurs, brackets conventionnels et les autoligaturants par rapport à la quantité du mouvement du torque obtenu en fin de traitement.
- En 2009 Bouchez.R (1) a constaté que la prévisibilité du mouvement du torque par aligneurs orthodontiques avec utilisation d'attachement pouvant atteindre 15° maximum tout en assurant un bon contrôle des axes radiculaires des dents et en augmentant la durée de port. En conclusion et en se basant sur les résultats des études réalisées par les différents auteurs:
  - Le mouvement du torque est non prévisible avec aligneurs orthodontiques. L'incorporation de nouveaux artifices (power-ridge) permettrait l'application d'un couple de force efficace afin d'améliorer le contrôle des axes radiculaires.
- Rotation : 5 études (5,8,12,13,15) ont confirmé que le mouvement de rotation est prévisible par aligneurs orthodontiques avec utilisation d'attachement. (5) ; la dérotation PM a montré la précision la plus faible (32%), (8) ; La canine inférieure était la dent la plus difficile à contrôler en rotation avec aligneur surtout au-delà de 15° (12) ; l'expansion d'une canine inférieure est limitée à 10° ; la rotation des canines inférieures était un mouvement extrêmement imprévisible par aligneurs orthodontiques d'où la nécessité d'incorporation d'attachement.
- En 2009 Crosby.D (19) a confirmé à son tour la prévisibilité du mouvement de rotation arrivant au niveau incisif jusqu'à 45° et au niveau canin jusqu'à 30° contrairement aux résultats de Lombardo et al (10) qui ont limité la dérotation des canines inférieures à 10°
- En 2009 Kravitz. N et al (6) ont assuré la prévisibilité du mouvement de rotation par les aligneurs orthodontiques, ils ont confirmé également que la canine inférieure était la dent la plus difficile à contrôler en rotation, surtout au-delà de 15° avec utilisation d'attachement.
- En conclusion, le mouvement de rotation est prévisible avec degré limité par aligneurs orthodontiques ; ce qui rend indispensable l'utilisation d'attachement pour augmenter l'efficacité du résultat obtenu.
- Mouvements verticaux (Ingression, Egression) : 6 études (8,12,14,15,16,17) ont prouvé que les mouvements verticaux sont assez prévisibles par aligneurs orthodontiques avec utilisation d'attachement. Ils ont confirmé que l'over-bite n'était pas suffisamment réglé par gouttières orthodontiques avec une précision moyenne pour les mouvements d'intrusion antérieure et d'extrusion.
- En 2003 Joffe.L (20) a constaté également la prévisibilité du mouvement d'égression par aligneur orthodontique, il a limité ses résultats à 1mm au niveau incisif avec utilisation d'attachement et à 0,5 mm au niveau des molaires. Cependant ce déplacement selon lui au niveau postérieur semble très difficile voire impossible à réaliser.
- En conclusion, les mouvements verticaux pourraient être prévisibles avec aligneurs orthodontiques, permettant ainsi de résoudre des cas complexes grâce à l'utilisation de nouveaux artifices incorporés et aménagés soigneusement ( Bite ramp ) améliorant ainsi le degré du mouvement vertical requis.

## CONCLUSION

En raison de la diversité des études incluses dans la revue et leur méthodologie, il était difficile de tirer des conclusions concrètes sur les possibilités et limites des traitements par les aligneurs souples dans le contrôle 3D des dents. L'orthodontie par aligneur est récente et en plein développement ne doit pas être perçue comme une technique déjà figée et codifiée. Les résultats obtenus ont prouvé que les aligneurs orthodontiques sont capables d'assurer la prévisibilité et la possibilité de certains mouvements sans difficulté (mouvement de version) avec utilisation d'attachement cependant le mouvement de translation et de dérotation reste encore peu prévisible et limités à obtenir avec aligneurs orthodontiques. En se basant sur ces résultats, le contrôle des mouvements dentaires avec aligneurs orthodontiques est une évolution exponentielle et permanente depuis plusieurs années ce qui fait que de nouveaux attachements optimisés rendant aujourd'hui certains mouvements plus réalisables et efficaces (par exemple : mouvement de translation, rotation et torque) permettant ainsi de mieux maîtriser le contrôle des axes dentaires lors des phases de finitions sans avoir recours aux techniques conventionnelles multi-attaches. Le bien être du patient prends une part aussi grande dans le traitement que la qualité du contrôle thérapeutique et les développements futurs sont très prometteurs tant du point de vue connaissances biologiques et biomécaniques que du point de vue infographique (imagerie 3D) (3).

## REFERENCES

- Proffit WR. Contemporary orthodontics. St. Louis, Mo: Elsevier Mosby; 2012.
- Bouchez R. Les traitements orthodontiques invisibles. Paris: Quintessence International; 2009; 142p.
- Simon M. Traitement par gouttière d'alignement transparent. In: Elsevier Masson. Dentisterie esthétique le livre; 2017.
- Simon M, Kravitz J, Schwartz J, et al. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique regarding lingual torque, premolar derotation and molar distalization. BMC Oral Health 2014; 14(14): 1-7.
- Zhang XJ and al. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. Korean J Orthod. 2015.
- Kravitz N, Kometani B, Begole E et al. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009; 135(1):27-35.
- Lombardo L et al. Angle Orthodontist. 2015 85(3): 454-466.
- IOS Press. 2012. p. 587-517.
- Deves N et al. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. Progress in Orthodontics. 2016; 17(1): 2-9.
- Caruso S et al. Impact of molar tooth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: a retrospective study. BMC Oral Health 2019; 19(1):9; 1-5.
- Lombardo L, Arzuffi A, Romita F et al. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. Progress in Orthodontics. 2017; 18(2): 2-12. Angle Orthodontist. 2015 85(3): 454-466.
- Granthold T, Ish C, et al. How accurate is Invisalign in nonrotation cases? Arc predicted tooth positions achieved? Angle Orthod. 2012; 76(6):809-815.
- Hennesy J, Garvey T, Al Awady E et al. A randomized clinical trial comparing mandibular incisor proclination produced by fixed labial appliances and clear aligners. (12) Krieger, Sotthorn J, Marillat J et al. Invisalign® treatment in the anterior region: Were the predicted tooth movements achieved? J Orthod. 2012; 37(5):265-276.
- Charalampakis O, Hlodi K, et al. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2018; 154(1):47-54.
- Garrett B, Mahand K, Nguyen M, et al. Cephalometric comparison of adult anterior open bite treatment using clear aligners and fixed appliances. Angle Orthod. 2018; 80(1):1-7.
- Houde J et al. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: First premolar extraction treatment with Invisalign. Angle Orthod. 2019; 89(5):797-807.
- Strobel M, Gaudin P, Castelfranco T, et al. Buccolingual Inclination Control of Upper Central Incisors of Aligners: A Comparison with Conventional and Self-Ligating Brackets. Biomed Research International. 2018; 2:8.
- Houde J et al. The predictability of transverse changes with Invisalign. Angle Orthodontist. 2016; 80(9): 1-6.
- Duncan O.J. et al. Changes in mandibular incisor position and arch form resulting from Invisalign correction of the crowded dentition treated mesio-distally. Angle Orthodontist. 2015; 80(8): 1-7.
- Crosby D, et al. A patient-classification system for Invisalign cases. (20) Joffe L. Invisalign: early experiences. J Orthod. 2003; 30(4):348-352.